

Feldolgozások a dunántúli MTOA-03 (CEL08) magnetotellurikus alapszelvény mentén

KISS J. @, SZEKENYI R. M.

Szabályzott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága (SZTFH), Földtani Igazgatóság,
1123 Budapest, Alkotás utca 50.
@E-mail: janos.kiss@sztfh.hu

A korábbi DKH-1, SB-5, MV-2 szelvények és a litoszférakutató CEL08 szeizmikustomográfia-szelvény mentén végzett új magnetotellurikus szondázások alkotják az MTOA-03 szelvényt, amelyek a Kisalföld, a Dunántúli-középhegység (Balaton-felvidék), Dunántúli-dombság és a Mecsek-Mórágó szigetehegység fizikai paramétereinek vízszintesen és függőlegesen bekövetkező változásait vizsgálják. Megtalálhatók a szelvény mentén az Alpokalja metamorf képződményei, a középhegységi vonulat paleozoos és mezozoos üledékes kőzetei és a Balaton-felvidéken a köpenyzárványokat felszínre hozó pannon bazaltvulkanizmus termékei is.

Az MTOA-03 szelvény nyomvonalában gravitációs, mágneses és szeizmikus mérési adatok is rendelkezésre álltak, így a sűrűség, mágnesezettség, szeizmikus sebesség mellett az elektromos fajlagosellenállás- és fázisparamétert is be tudtuk vonni a kéregsztű vizsgálatokba, azaz a komplex geofizikai értelmezésbe.

Kiss, J, Szekenyi, R. M.: The Transdanubian MTOA-03 magnetotelluric profile

The MTOA-03 (CEL08) profile examines the horizontal and vertical variations in the physical parameters of the Kisalföld, the Transdanubian Central Mountains (Balaton Highlands), the Transdanubian Hills, and the Mecsek-Mórágó island range. Pannonian basaltic volcanism bring mantle intrusions into the surface, it also appears, as witness peaks, along the section.

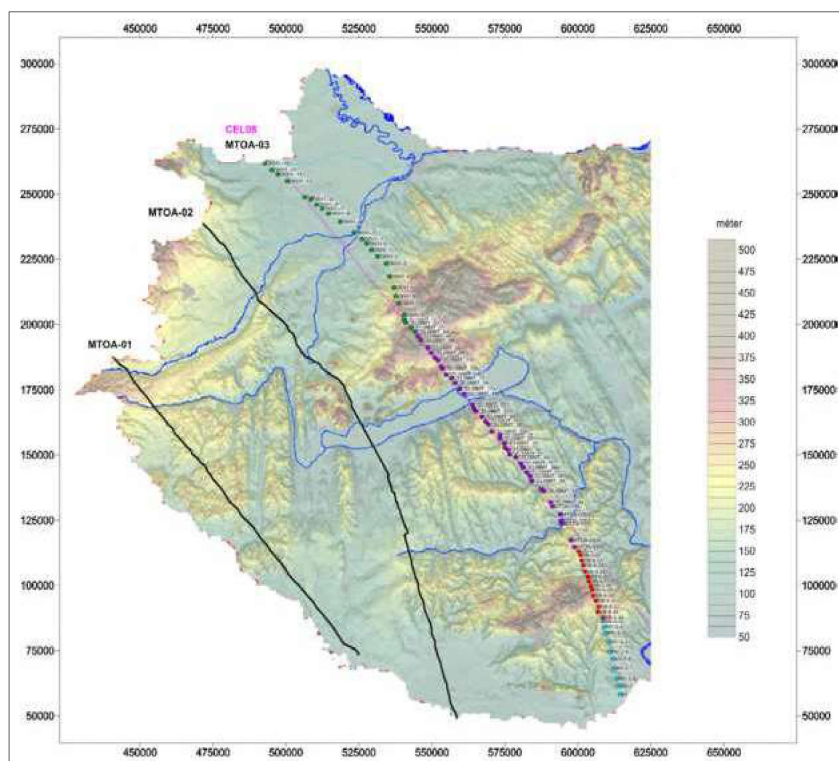
Gravity, magnetic, and seismic data were also available along the MTOA-03 profiles, so in addition to density, magnetization, and seismic velocity, we were able to include the electrical resistivity and phase parameters in the investigation of the crust, i.e., in the complex geophysical interpretation.

Beérkezett: 2026. április 23.; *elfogadva:* 2026. június 11.

Bevezetés

A Magyar Geofizikában közölt korábbi tanulmányainkban ismertettük az MTOA-01 (vagy CEL07) és MTOA-02 magnetotellurikus (MT) alapszelvényeket (Kiss, Szekenyi 2023, Szekenyi et al. 2024, Kiss et al. 2024). Ezek a szelvények a Dunántúlt közel É–D irányban átszelő archív MT mérési adatokból összeszerkesztett, regionális elektromágneses alapszelvények (1. ábra), amelyek közel merőlegesen metszik a nagyszerkezeti vonalakat (Rába-vonal, Középmagyarországi-vonal és Mecsek-alja-vonal).

2000-ben mérték le a CEL08 szeizmikus litoszférakutató szelvényt (Gúthy et al. 2000, Fancsik et al. 2001, Kiss 2009) a Hanságtól Tihanyon keresztül Mohácsig (1. ábra). A szeizmikus szelvény mentén, közvetlenül a szeizmikus mérések után, nem történtek magnetotellurikus mérések egészen 2015-ig, amikor elkezdtük a terepi MT méréseket. Az archív adataink alapján a szelvény elejét ki tudtuk váltani a DKH-1 szelvénnel, ami a CEL08 nyomvonalához nagyon közel mérődött le még 1983-ban.



1. ábra MTOA alapszelvények és az MTOA-03 szelvény magnetotellurikus szondázásai a domborzati térképen. (DKH-1 – zöld, CEL08 – lila, SB-5 – piros, MV-2 – világoskék pontokkal)

Figure 1 MTOA base profiles and the MTOA-03 magnetotelluric soundings on the topographic map. (DKH-1 – green, CEL08 – purple, SB-5 – red, MV-2 – light blue dots)

A CEL08 szelvény további, D-i folytatásában történtek újabb MT mérések 2015–2024 között a Balaton-felvidéken és a Közép-magyarországi Zónában. A szelvény D-i részén is voltak archiv mérési adatok, amelyeket felhasználtunk. Ilyenek voltak például az SB-5 és az MV-2 magnetotellurikus szelvények (Kiss J., Varga G. 2003). Az SB-5 szelvény első 20 pontjának adatai elvesztek, ezért ott újabb terepi mérésekre volt szükség, hogy összekössük az É-i és D-i szelvényszakaszokat (1. ábra). A szelvény mentén végzett megjelenítésnél rövid pontazonosító neveket használtunk az eredeti helyett.

Magnetotellurikus mérési adatok, eredmények

A nyomvonal nem teljesen egyenes, így kisebb eltérések a szelvénymenti helyszínrajzi elemekben elképzelhetők. Alapvetően a nyomvonal menti távolságot vettük alapul.

A 2. ábra teteje a ρ_{xy} , a 2. ábra közepe pedig a ρ_{yx} látszólagos fajlagosellenállás-görbéket mutatja. Látszik, hogy a különböző idejű MT mérések mintázása eltérő, a legfrissebb mérések mintázása (kezdő és végső frekvenciája) tágabb mélységtartományt fognak át a szelvény közepén.

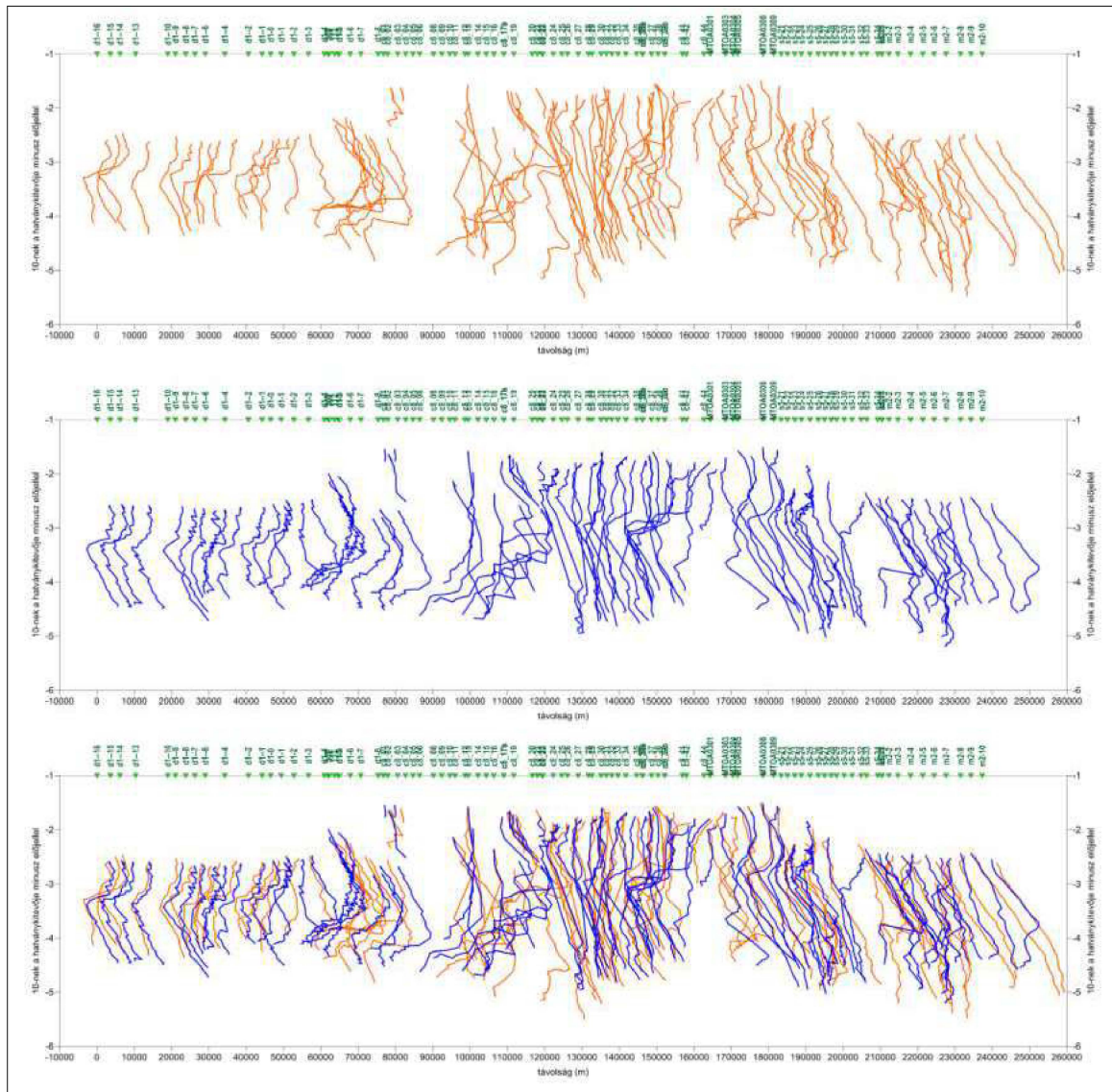
A görbefeformák alapján a Dunántúli-középhegységben és annak ÉNy-i peremén (60–110 vkm) mért görbéknek jelentkezők jelentősebb változások a mélységgel (a szondázási görbék visszagörbülnek). Ez látszik az együttes megje-

lenítésben is (2. ábra, alul) illetve 145–160 vkm-nél hasonló jelenséget figyelhetünk meg.

Az AniMax¹⁾ logaritmikus tengelyű mélységszelvényen (3. ábra) több maximumhely is kirajzolódik. A felszínhez közel jelentkezik maximum Ajkánál, kb. a Kab-hegy alatt (85 vkm körül, <100 m), Tihanynál (110–115 vkm, <100 m) és Kapos folyó mentén (170 vkm körül, <100 m mélységben). További közel függőleges anizotrópiamaximumot találunk mélyebb szinten, ~500 m mélyen 155 vkm-nél és 1000 m-nél nagyobb mélységben, a 65, 87 és 110 vkm-nél. Az első három, a felszíni mágneses kőzetekhez kapcsolódik (pannon bazalt, miocén andezit), addig a mélyebbek eredete bizonytalan. Eredete lehet szerkezeti, de magmás eredetű is (3. ábra).

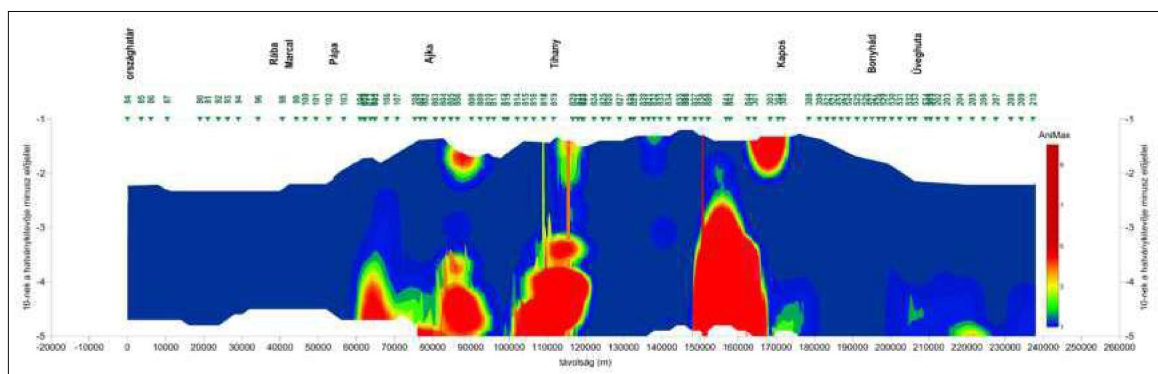
A látszólagos fajlagosellenállás-szelvényeken (4. ábra) határozottan elkülönül a Kisalföld, a Bakony, a Közép-magyarországi Zóna és a Baranyai-szigethegység környezete. Ha a fázisparamétert (5. ábra) is figyelembe vesszük, már sokkal árnyaltabb képet kapunk. A középhegység D-i peremén 50–100 vkm között nagy mélységben is a 45°-nál nagyobb fázisértékek jól vezető összeteteket, jelentős földtani változásokat jeleznek. A laza üledékes medencék a szelvény tetején hasonló, 45°-nál nagyobb fázisokkal jelentkeznek, ezek elsősorban a Kisalföld területén és a Kapos folyó É-i előterében azonosíthatók a fázis értékek alapján.

A 45°-nál nagyobb fázisértékek 40–100 vkm között jelentkezők 5-től 20 km mélységig (5. ábra). Ezek azok a zónák, amelyeket a Kisalföld magnetotellurikus mérései-



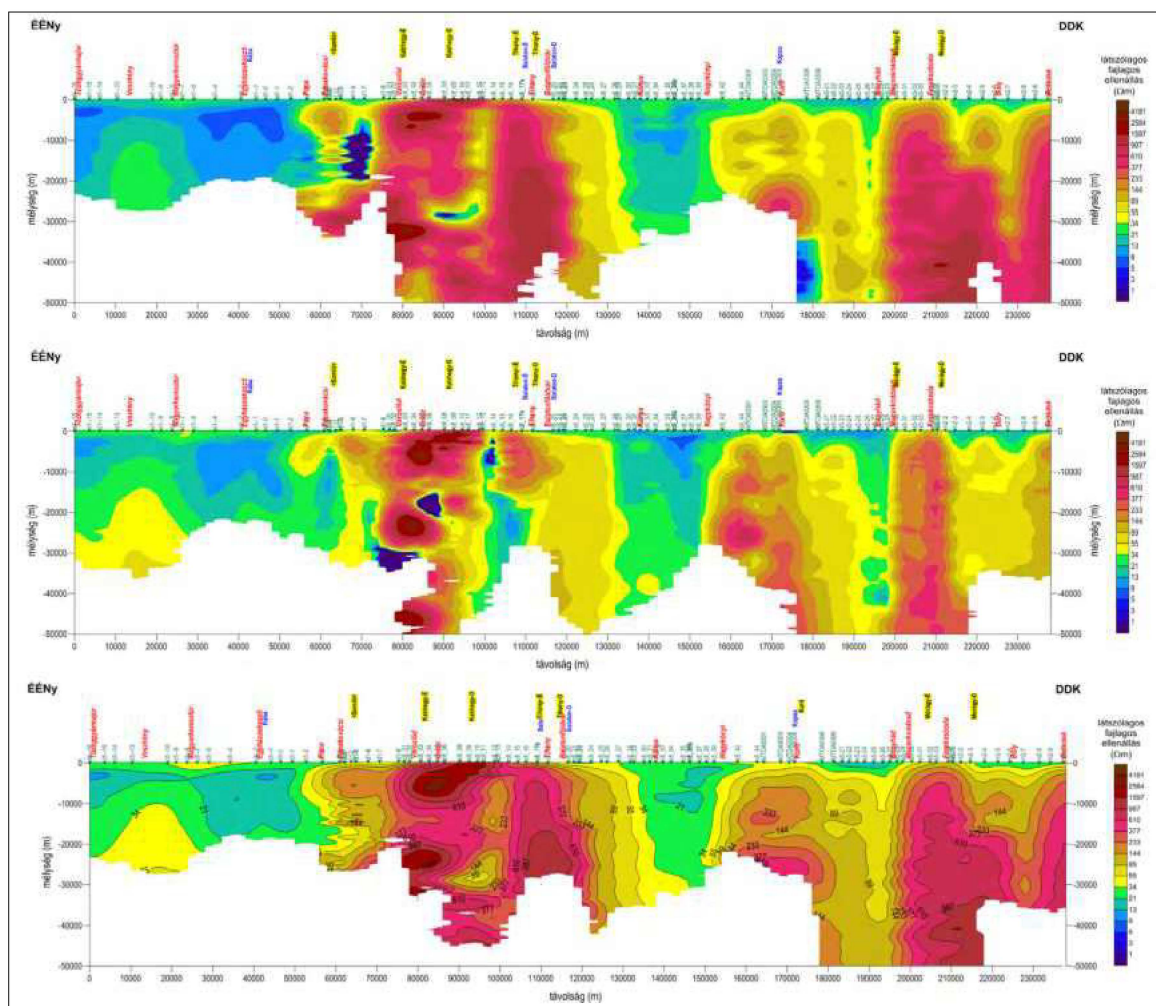
2. ábra MT impedanciából (Z_{xy}) kiszámolt egyszerűsített látszólagos fajlagosellenállás-görbék (ρ_{xy}) – felül, MT impedanciából (Z_{yx}) kiszámított egyszerűsített látszólagos fajlagosellenállás-görbék (ρ_{yx}) – középen. Mindkét polarizációnak a látszólagos fajlagos ellenállás görbéi az MTOA-03 szelvény nyomvonalában – alul (nagyon zajos görbék és pontszerű zajok kiszűrve, az adatok logaritmus mélységskála mentén vannak megjelenítve)

Figure 2 Curves of simplified apparent resistivity (ρ_{xy}) calculated from MT impedance (Z_{xy}) – top. Curves of simplified apparent resistivity (ρ_{yx}) calculated from MT impedance (Z_{yx}) – middle. Apparent resistivity curves for both polarizations along the MTOA-03 profile – bottom (curves with high noise and point-like noise filtered out, all data is displayed on a logarithmic depth scale)



3. ábra Anizotrópiamaximumok (AniMax) a szűretlen görbék alapján az MTOA-03 szelvény nyomvonalában (logaritmus mélységskála mentén)

Figure 3 Anisotropy maxima (AniMax) based on unfiltered curves along the MTOA-03 section (on a logarithmic depth scale)



4. ábra MTOA-3 látszólagos fajlagosellenállás-mélységszelvény (ρ_{xy}) – felül, látszólagos fajlagosellenállás-mélységszelvény (ρ_{yx}) – közepén, normált látszólagos fajlagosellenállás-mélységszelvény (ρ_{as}) – alul

Figure 4 Depth section of the apparent resistivity (ρ_{xy}) of MTOA-3 – top, depth section of the apparent resistivity (ρ_{yx}) – middle, normalised apparent resistivity (ρ_{as}) – bottom

nek értelmezésekor a Rába-vonaltól DK-re megjelenő dunántúli vezetőképesség-anomáliának írtak le (DVA, Ádám és Verő 1964, Takács 1968, Ádám 1992) és grafitos képződményekkel hozták összefüggésbe. A magnetotellurikus adatok térképi feldolgozása egy háromdimenziós kéreg-anomáliát mutat a Balaton-felvidék alatt (Kiss 2025).

Az anizotrópiamaximumok megjelenítése lineáris mélységszála mentén (6. ábra) látványosan jelzi, hogy a magmás kőzetek megjelenése (pl. bazaltok) anizotrópiamaximumot okoz (Somló, Kab-hegy, Tihany, Kapos folyó É-i előtere). A számítás jellegéből adódóan ott, ahol nincs anizotrópia, ott az AniMax értéke ~ 1 . Ahol ez az érték 2 fölé megy, ott szerkezeti hatás várható, ahol ennél is jóval magasabb, ott 3D hatás vagy magmás képződmény jelenlétével kell számolni. 60–65 vkm-nél a Somló, 80–90 vkm-nél a Kab-hegy és 105–115 vkm-nél, Tihany környékén, valamint a Kapos folyó előterében (adathiányos területen, c8-42-es MT pont környezete), a felső néhány km-es mélységtartományban mindenhol 3-nál magasabb AniMax-érték tapasztalható. A 10-es anizotrópia érték közel függőleges, bazaltos magma csatornákat jelezhetnek, kivéve ta-

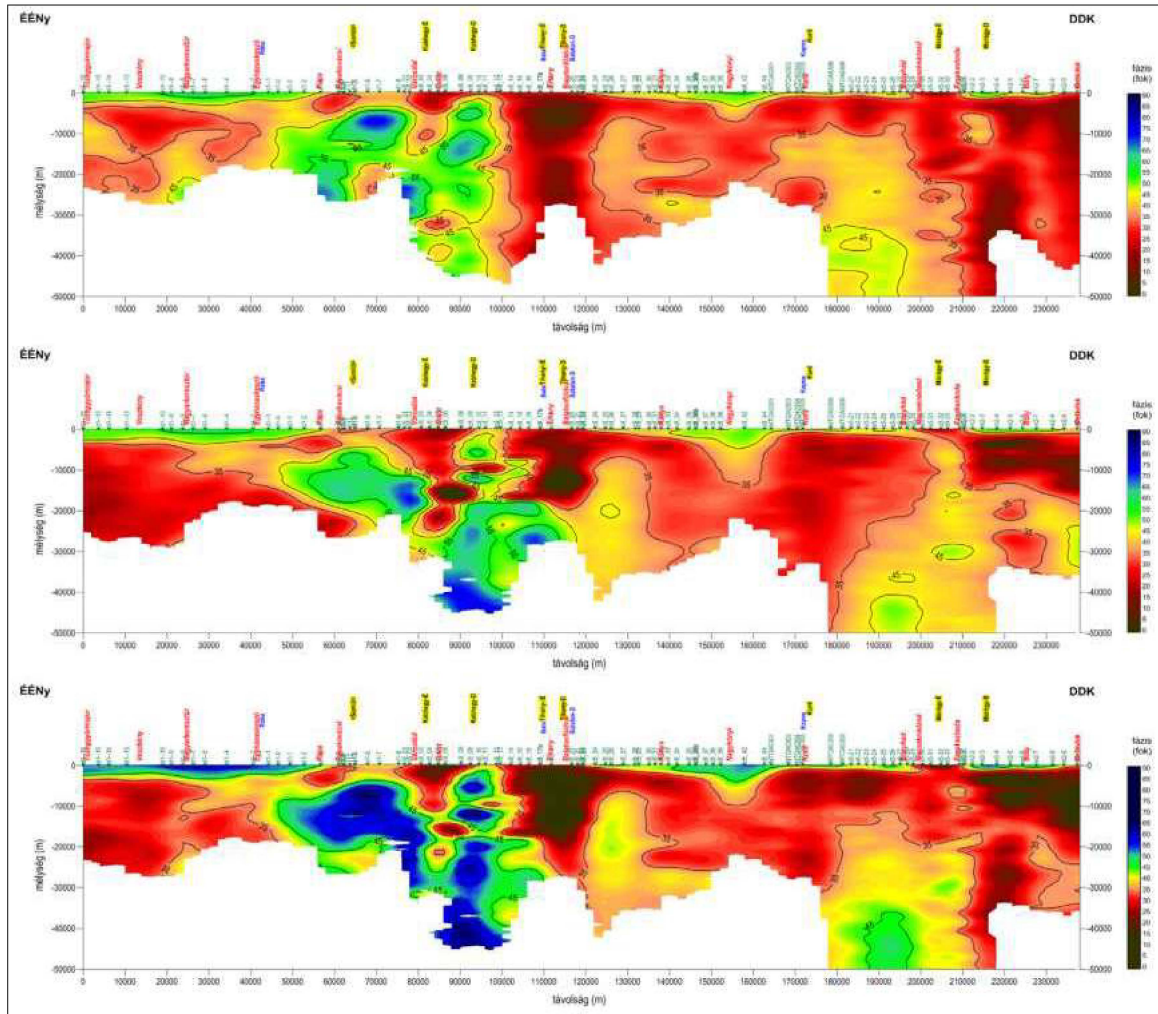
lán 160 vkm-nél, ahol az adathiány miatt egy rossz mérési adat (pl. c8-42), vagy az interpolálás elviheti az anizotrópia értékét.

További geofizikai mérési adatok, eredmények

Érdeemes itt is összevetni a gravitációs, mágneses (7., 8. ábra) és a magnetotellurikus mérések eredményeit. A 9. ábra mutatja a spektrálanalízis segítségével készített sűrűségi mélységmetszetet. A korábban említett blokkosodás itt is megfigyelhető. Nagy sűrűségű blokkként azonosítani lehet a Kisalföldön a Mihályi-nyerget 17–18 vkm-nél, majd a középhegységi vonulatot 60–130 vkm között és végül Dél-Dunántúlon a Mecsek-hegység és a Mórággy-rög blokkját 205–230 vkm között.

A Rába-vonal és a Középmagyarországi-vonal jól azonosítható minimumzónaként jelentkeznek, a többi relatív minimumzóna is szerkezeti kapcsolattal bír.

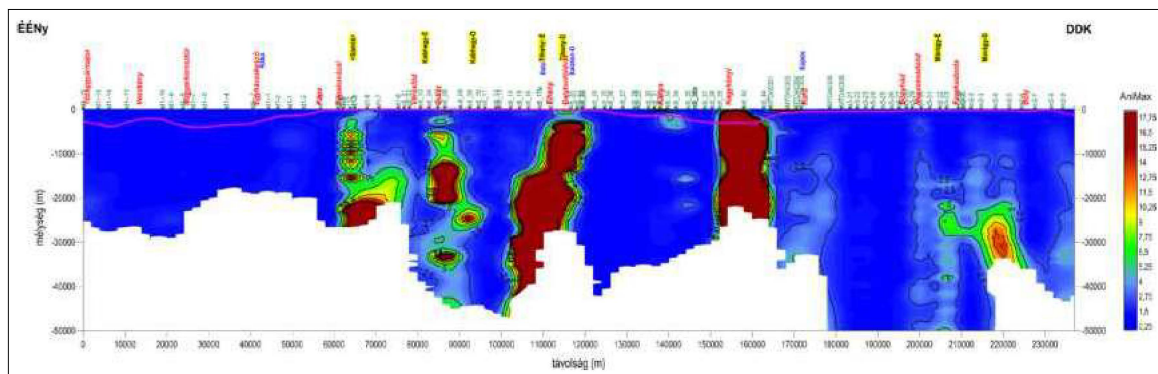
A mágnesezettségi mélységmetszet (10. ábra) azonosíthatjuk a Pástor-vulkánt (10–50 vkm körül), a keme-



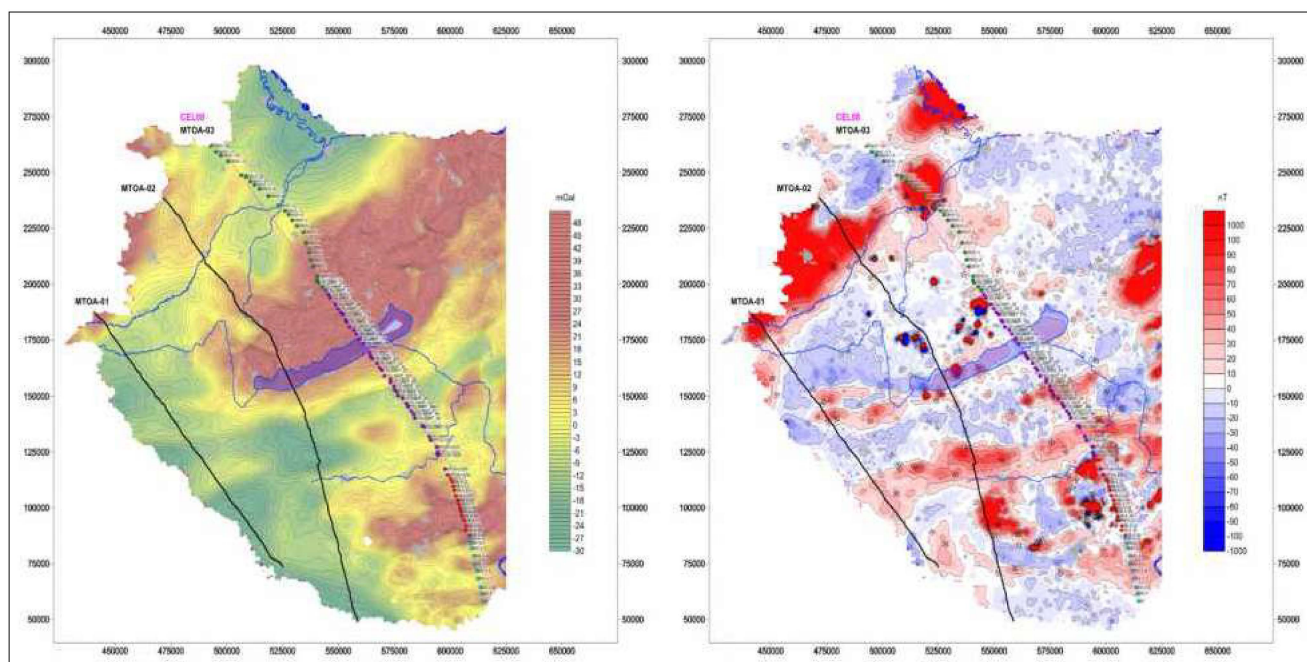
5. ábra MTOA-03 impedanciafázisok (φ_{xy}) (felül), (φ_{yx}) (középen) és az átlagfázis (φ_{ave}) mélységszelvénye (alul)
Figure 5 Depth section of the MTOA-03 impedance phases (φ_{xy}) (top), (φ_{yx}) (middle), and the average phase (φ_{ave}) (bottom)

nesháti bazaltokat (38–40 km), a tihanyi bazalt tanúhegyet (114 vkm körül). Mélyebben több kisebb hatás azonosítható, például Kab-hegy (80–90 vkm, de a nyomvonal elkerülte a hegyet), vagy a Közép-magyarországi Zóna alatt (140–150 km), illetve a Kapos-vonaltól D-re, illetve kisebb hullámszám a Mecsek-aljánál (205 vkm).

A ritka mérési háló miatt a kisebb testek nem jelennek meg, továbbá a testek felső helyzetét a felbontástól függően pontosan mutatja, de a mágneses test alsó részének azonosítása bizonytalan (kicsi a mágnesezettségi kontraszt a felszínhez közelebb lévő testekhez képest). A szelvény mentén már a CEL08 szelvény esetében elvégeztük a mág-

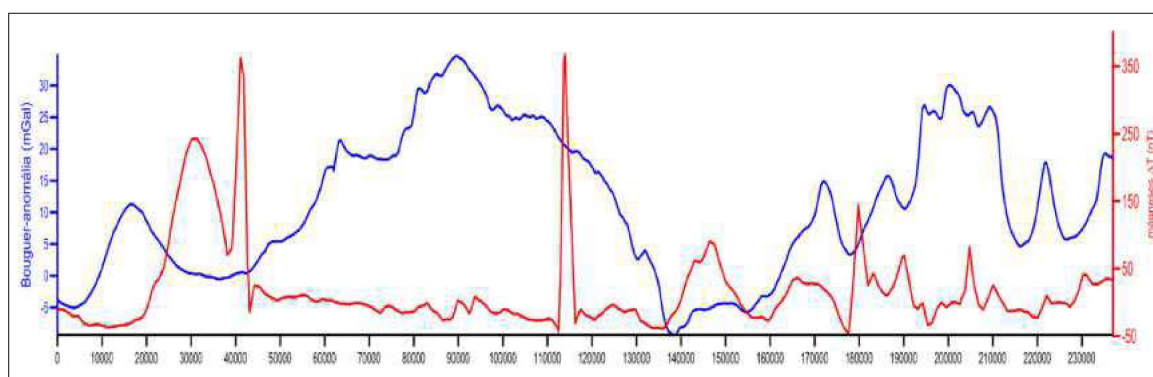


6. ábra MTOA-03 látszólagos fajlagos ellenállás anizotrópiamaximum-mélységmetsete
Figure 6 Depth section of the maximum apparent resistivity anisotropy for MTOA-03



7. ábra A Dunántúl izosztatikusan korrigált Bouguer-anomália-térképe és a mágneses ΔZ anomália-térkép a magnetotellurikus alapszelvények nyomvonalával és az MTOA-03 szondázási pontjaival

Figure 7 Map of the isostatically corrected Bouguer anomaly and the magnetic ΔZ anomaly in Transdanubia, showing the routes of the magnetotelluric base profiles and the MTOA-03 sounding points



8. ábra Bouguer-anomália és mágneses ΔT anomália a szelvény nyomvonalában (Kiss 2009)

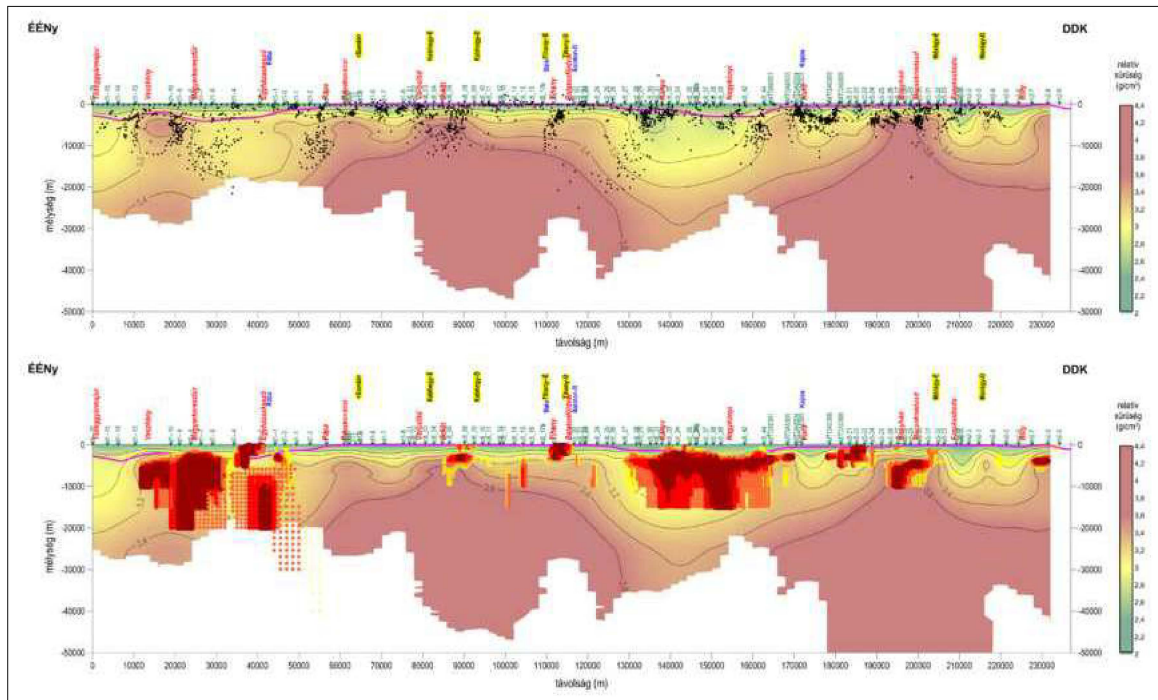
Figure 8 Bouguer anomaly and magnetic ΔT anomaly along the profile (Kiss 2009)

neses Naudy-féle hatókijelöléseket (Kiss, Prácsér 2016). Most ezeket is rátettük a szelvényre, elcsúsztatva és korrigálva a távolságokat, amelyek a némileg eltérő nyomvonalból adódtak.

A kisalföldi Pásztori-vulkánnak nevezett mágneses hatót a mágnesezettségi mélységmeteszet egészen mély gyökerűnek mutatja (10. ábra), bár a Naudy-megoldások a tetejét 2-3 km-re teszik. A felszíni pannon bazalt (Egyházaskesző–Malomsok vonal) jól azonosítható a mélységmeteszet és a mágneses Naudy-féle hatókijelölés alapján is. Somló nem látszik a szelvényen egyrészt mert különálló tanúhegy, másrészt, mert noha bevetítettük az MT adatok értelmezéséhez, de a szelvény nyomvonalán kívül található (kb. 25 vkm-re). A Somlóhoz nagy sűrűségű mélységi blokk kapcsolható a 9. ábra (alul) alapján, mint ahogyan

a Kab-heggyhez. és tulajdonképpen Tihanyhoz is, ami elvileg ellentmond az izosztáziának. Feltételezhetően egy másik hatással is számolni kell, a kéreg-köpeny határra benyomuló nagy sűrűségű bazaltos magma hatásával (magma underplating).

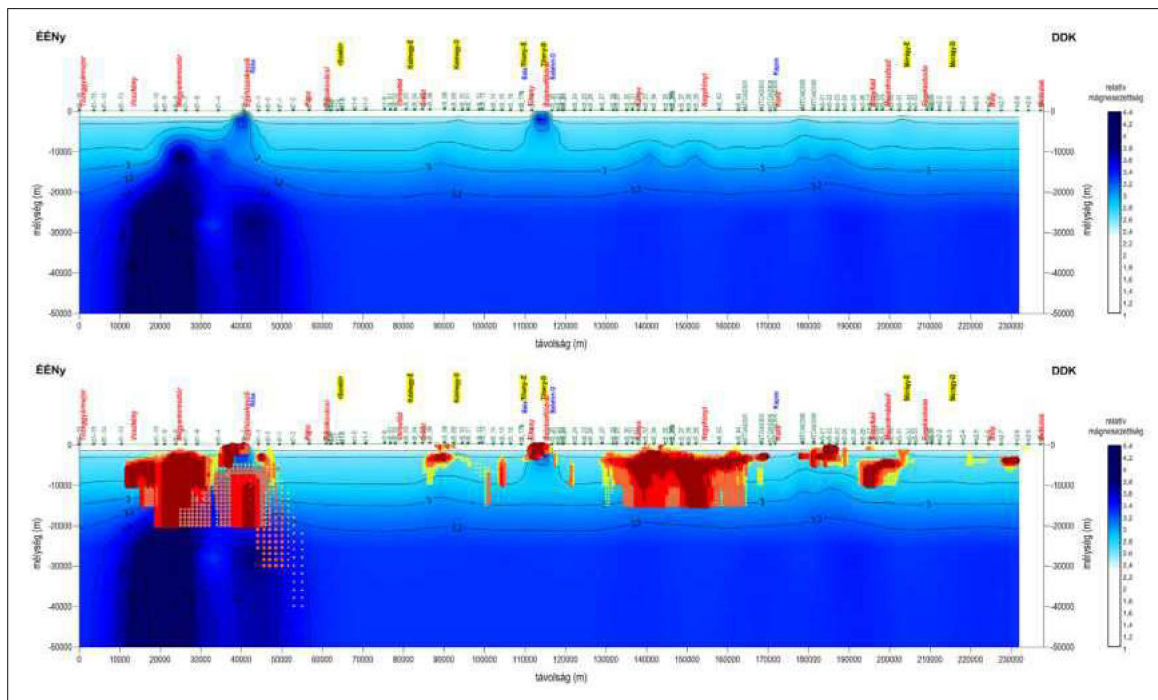
Ez a mélybeli nagy sűrűségű blokk azonban nem mutat mágneses tulajdonságot a mágnesezettségi mélységmeteszet alapján (10. ábra), miközben a Pásztori-vulkán alatt mély, mágneses gyökérzóna azonosítható! Valószínűleg a Curie-mélységnél kisebb mélységben nincs összefüggő, nagy tömegű mágneses anyag, csak közel függőleges, lokális bazalttelérek a kristályos kőzet repedéseiben, de a fő tömeg a Curie-mélység alatt jelentkezik, ahol már nem mágneses.



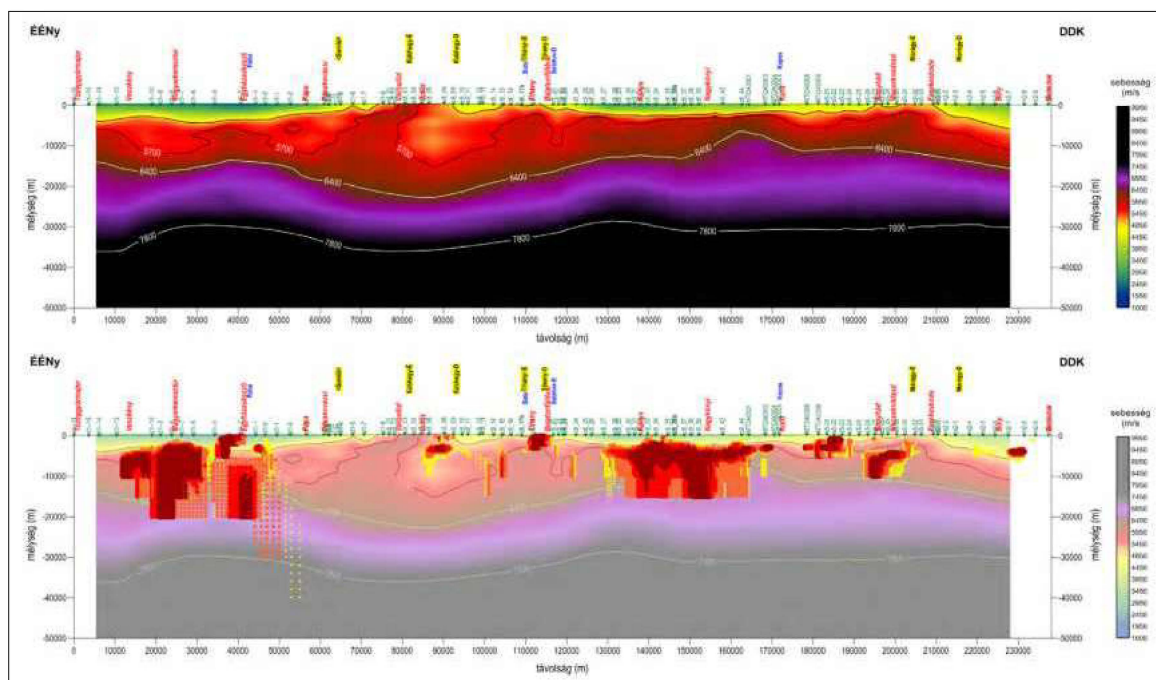
9. ábra | MTOA-03 relatív sűrűségi mélységmetszete gravitációs hatókijelöléssel (felül) és a Naudy-féle mágneses hatókkal (alul)
Figure 9 | Depth section of relative density for MTOA-03 (top), with gravity automatic source detections (middle) Naudy's magnetic bodies (bottom)

Kab-hegy magasságában is megjelennek Naudy-féle testek, és a relatív sűrűség-eloszlás is maximumot mutat (11. ábra), noha a nyomvonal a Kab-hegyet sem érintette. Tihany egyértelműen jön mindkét megjelenítésben, a mérési szelvény Tihanyi-félszigeten ment keresztül (1. ábra).

Mivel az MTOA-03 szelvény a CEL08 litoszférakutatató szeizmikus szelvényel közel azonos nyomvonalon halad, így a szeizmikus v_p sebesség mélységmetszete (Fancsik et al. 2001) is rendelkezésre áll (11. ábra), amivel a korábbi években már többször foglalkoztunk (Kiss 2009, Kiss és



10. ábra | MTOA-03 relatív mágnesezettségi mélységmetszete (felül) és a Naudy-féle mágneses hatókkal (alul)
Figure 10 | Depth section of relative magnetization for MTOA-03 (top) with the Naudy's magnetic bodies (bottom)



11. ábra MTOA-03 szeizmikus sebesség mélységmetszete (felül) és a Naudy-féle mágneses hatókkal (alul)

Figure 11 Depth section of seismic velocities for MTOA-03 (top) with the Naudy's magnetic bodies (bottom)

Prácser 2016). A kezdő és végpont nem pontosan ugyanaz, és a DKH-1 magnetotellurikus szelvény a kisalföldi szakaszon ívelt nyomvonala is eltér a CEL08 litoszféraszelvény nyomvonalától, valamint a D-i végén a Kapos folyótól más nyomvonalon halad (1. ábra), így nem pontosan illeszthető a sebességszelvény az MTOA-03 szelvényvel.

A sebességszelvényen tájékoztatási céllal feltüntetettük a Conrad-felületnek megfelelő, 6400 m/s értékű izovonalat, amely érdekes módon pont ott van legközelebb a felszínhez, ahol a mágneses Naudy-megoldások bázisos/neutralis magmás képződményeket jeleznek. Felmerül a gyanú, hogy az alsó kéreg (SiMa) bázisos képződményei emelkedtek itt Curie-hőmérséklet feletti tartományba. Ez a jelenség az izosztáziával is kapcsolatban lehet, mivel a Kisalföld és a Közép-magyarországi Zóna vastagabb üledékes medencéi alatt azonosítható a jelenség (Kiss 2010).

A bazaltos anyag a felszínközélen is lokálisan megjelenik, például Egyházaskeszőnél (40 vkm), a Kab-hegy (80–90 vkm) alatt, vagy Tihanyánál (115 vkm). Ezekhez megemelkedett sebességek kapcsolódnak (11. ábra). Az egyházaskeszői és tihanyi bazaltokat a mágneses anomáliák is jelzik (10. ábra), de Kab-hegyet a szelvény nyomvonal elkerülte, így a távolsággal arányosan lecsengő mágneses anomáliatérben a bazalt hatása oldal irányból már nem érződik, csak egy mélyebb szinten.

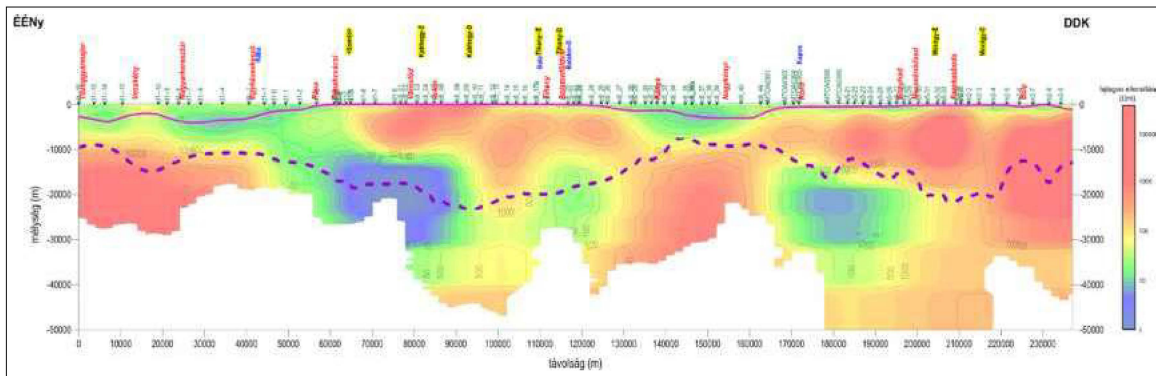
MT inverziók és értelmezések

Elkészítettük ennek az alapszelvénynek 2D inverzióját (TE, TM és közös inverzió). Az inverziók általános beállításainak a következőket használtuk:

- topográfia figyelembe vétele (az állomások magasság értékei alapján)
- „smooth model inversion”
- minimum-maximum ellenállás (1–50 000 Ωm)
- bemenő adat: a simított görbék
- frekvencia tartomány: 10^4 – 10^{-5} Hz
- figyelembe vettük a bemenő adatok szórását, ha rendelkezésre álltak
- max. 60 iteráció

Elvégeztük a 2D inverzióhoz szükséges szerkezetelemzést a domborzati, a Bouguer-anomália- és a mágneses-anomália-térkép alapján, amiből nagyjából 65° -os szerkezeti csapásirány adódott. Ezért az állomások adatainak egységes, 65° -os forgatása mellett döntöttünk az inverzió elvégzése előtt.

A 12. ábra az MT TM módú adatok 2D inverziójának eredményét mutatja. Ez kevésbé érzékeny a szerkezetekre, ezért a földtani blokkok kijelölése és a prekainozoos medencealjzat felszínének nyomon követése szempontjából kedvezőbb, mint a TE módú mérési adat. A szelvényre feltettük a Haas-féle medencealjzat-görbét. Az eredmények vizsgálata azt mutatta, hogy a fajlagosellenállás-mélységszelvény és a Bouguer-anomália-görbe között negatív korreláció van (a mélységszelvényre rátettük a tükrözött Bouguer-anomália-görbét, 12. ábra, szaggatott lila görbe). Ez gyakorlatilag megfelel az izosztázia elvéből adódó törvényszerűségnek, azaz ahol a felszínen nagy fajlagos ellenállású (~nagy sűrűségű) képződmény van (pl. medencealjzat-kibúvás Balaton-felvidéken), ott a görbe mélyebben húzódik, ahol laza üledékes medenceképződmények vannak, ott ez a görbe feljebb található. Ahol legjobban meg-



12. ábra Invertált fajlagosellenállás-szelvény (TM), a Haas-féle medencealjzatszinttel (püspöklila vonal) és a szelvényre önkényesen rávetített negatív Bouguer-anomáliával (szaggatott lila vonal)

Figure 12 Inverted resistivity section (TM), showing the Haas's basement level (purple line) and the negative Bouguer anomaly arbitrarily superimposed on the section (dashed purple line)

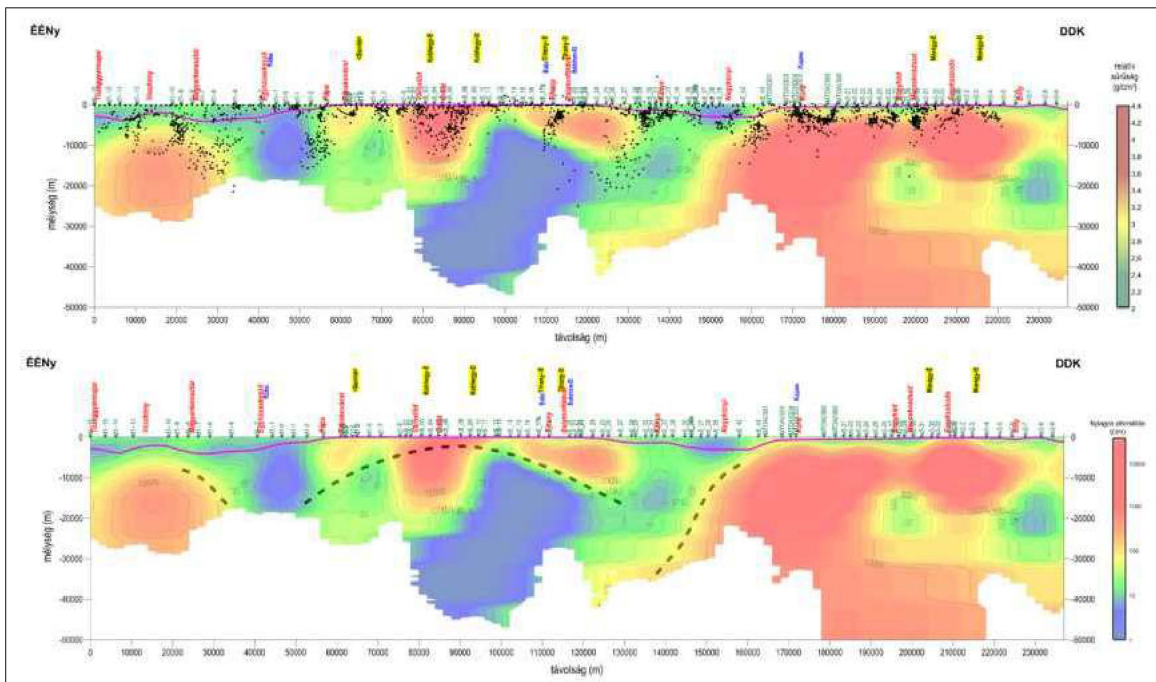
közelíti a felszínt, ott alsó kéreg típusú képződményeket, mágneses hatókat (Közép-magyarországi Zóna, Kisalföld) jeleznek a mágneses feldolgozások.

Az MT TE módú adatok 2D inverziójának az eredményét a 13. ábra mutatja. Mivel ez a szerkezetek kijelölésében a legérzékenyebb, a fajlagosellenállás-mélység-metszetet a gravitációs hatókijelöléssel vetettük össze (13. ábra, felül).

A mélységmetszeten jól azonosíthatóak a Rába-vonal és a Közép-magyarországi-vonal mentén megjelenő jól vezető zónák. A Dunántúli középhegységi egység mezozoos blokkja az Ausztróalpi és Dél-dunántúli Mecseki-egység között jelenik meg. Ebben a középső zónában

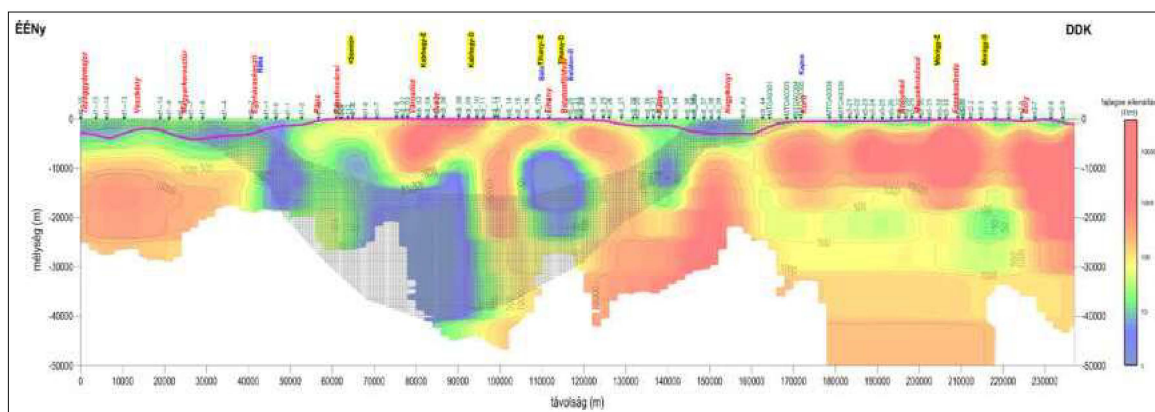
megtalálható a Dunántúli Vezetőképesség Anomália (DVA) is, amely a Kab-hegy és Tihany között 5 km mélységtől lefelé jelentkezik nagyon kicsi fajlagosellenállás-értékekkel.

A magnetotellurikus adatok térképezési feldolgozásában (Kiss 2025) a DVA-hoz kapcsolható MT fázisanomáliák egy 3D testet jeleztek, kb. 5 km mélységtől, aminek magyarázata magmás benyomulás, ehhez kapcsolódó kőzetolvadék vagy jól vezető, illetve mágneses anyag megjelenése az adott mélységben. A 13. ábra alsó részén az 50–130 vk között behúzott szaggatott értelmezési vonal (amely a sűrűségmélység-metszet alapján is azonosítható), a középhegységi domborzatot kialakító benyomulásra



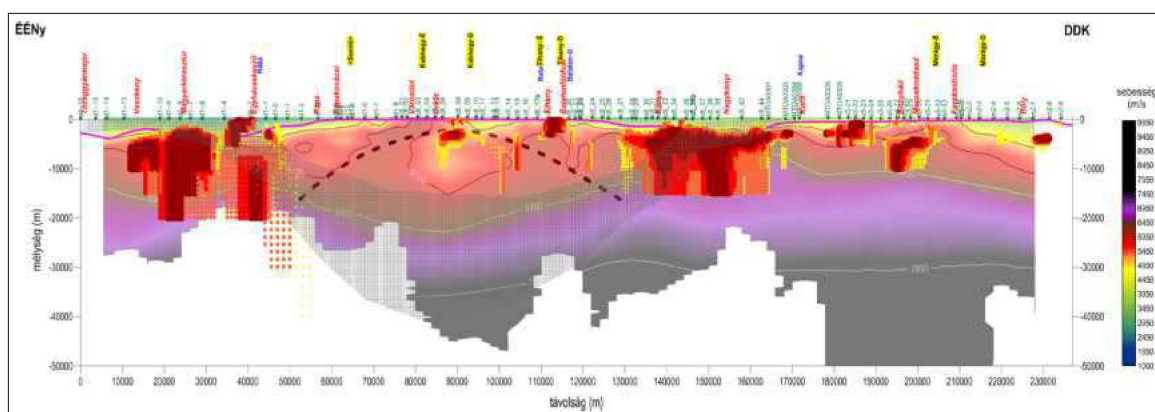
13. ábra Invertált fajlagosellenállás-szelvény (TE), a Haas-féle medencealjzatszinttel (püspöklila vonal) és a gravitációs hatókijelöléssel (felül), valamint egy lehetséges kéregszintű értelmezési vonalakkal (szaggatott fekete vonalak, alul)

Figure 13 Inverted resistivity section (TE), showing the Haas's basement level (purple line) and the gravity source detections (top), as well as a possible crustal-level interpretation line (dashed black lines, bottom)



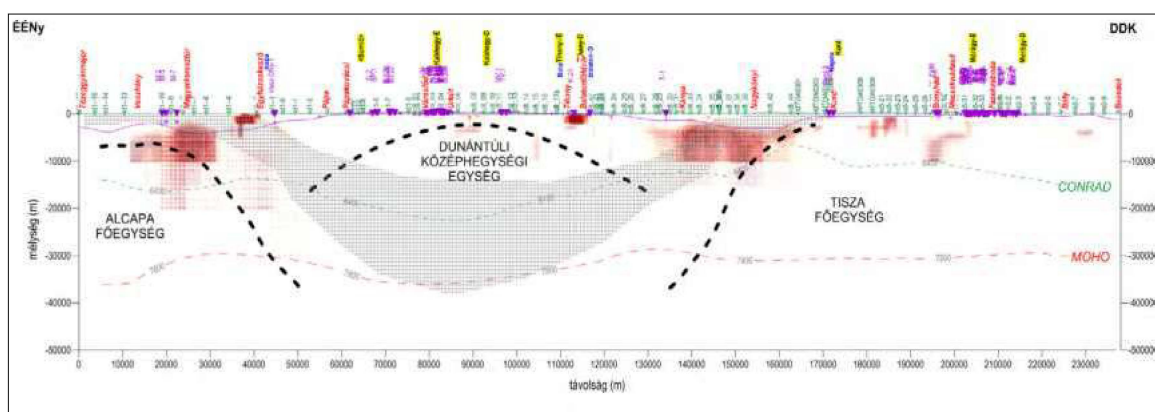
14. ábra Invertált fajlagosellenállás-szelvény (TE és TM együttes inverzió), a Haas-féle medencealjzatszinttel (püspöklila vonal) és a jól vezető zónák grafikus (sraffozásos) összekötésével

Figure 14 Inverted resistivity section (TE and TM common inversion), showing the Haas's basement level (purple line) and the graphical (hatched) connection of the highly conductive zones



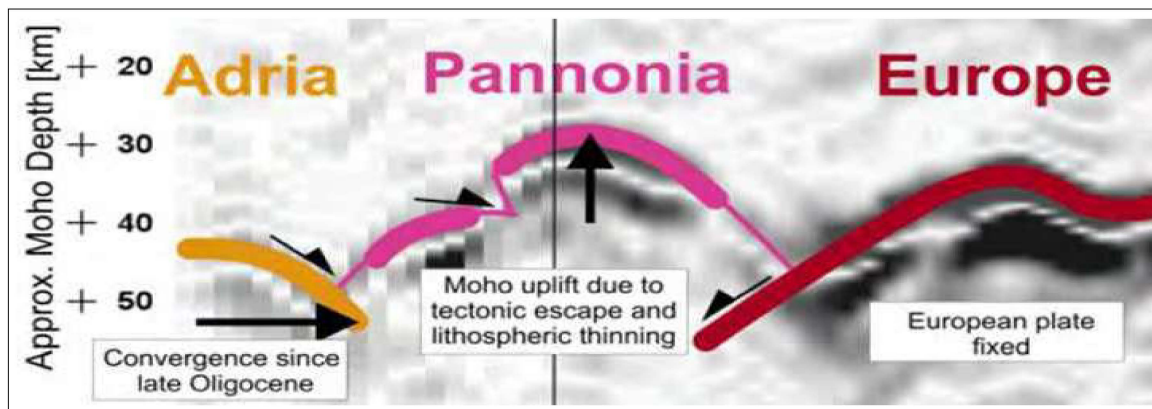
15. ábra Szeizmikus sebességszelvény, Naudy-féle hatókijelölés eredményeivel és néhány MT értelmezéssel (a Haas-féle medencealjzat szinttel – püspöklila vonal)

Figure 15 Seismic velocity section, with the Naudy's magnetic causative bodies and some MT interpretations (by basement level of Haas – purple line)



16. ábra Egy blokkos litoszféraszintű értelmezési vázlat. (Prekainozoos medencealjzat – lila vonal, szeizmikus Conrad – zöld szaggatott vonal, szeizmikus Moho – piros szaggatott vonal, mágneses Naudy-féle hatókijelölés – sárga-piros-barna pontok, mélyfúrások medencealjzat szinttel – lila szimbólum és felirat, főbb inverziós MT határfelületek – fekete szaggatott vonal, MT jól vezető zóna – sraffozással, MT mérési pontok – zöld felirat, települések – piros felirat)

Figure 16 This is a lithosphere level interpretive schema. (PreCenozoic basement – purple line, seismic Conrad – green dashed line, seismic Moho – red dashed line, magnetic Naudy contour – yellow-red-brown dots, deep boreholes at basement level – purple symbol and label, major MT inversion interfaces – black dashed line, MT high-conductivity zone – hatched, MT measurement points – green label, settlements – red label)



17. ábra Egy regionális litoszféraszelvény értelmezése az Alpok–Kárpátok átmeneti zónában. [A MOHO-határfelület helyzete konvergens lemezmozgások esetén (DNy–ÉK és DDNy–ÉÉK irányú szelvény) (Brückl et al. 2006)]

Figure 17 Interpretation of a regional lithospheric section in the Alpine–Carpathian transition zone. [We can see the position of the MOHO boundary in the case of convergent plate movements (Cross-section in the SW–NE and SSW–NNE directions) (Brückl et al. 2006)]

utalhat. Ennek középpontja a Kab-hegy (legnagyobb vulkáni ösztérfogattal), peremi részei pedig D-en Tihany, É-on a Somló, lokális jellegű bazaltvulkanizmussal.

A kétdimenziós közös inverzió egy másfajta kapcsolatot is jelezhet, mert a Rába-vonal és a Közép-magyarországi-vonal dőlésében és elektromos fizikai paraméterében a Dunántúli-középhegységi egység gyökérszónájával (14. ábra, sraffozva) is kapcsolatban lehet – az izosztatikusan megvastagodó kéreg, izosztatikusan gyökérszóna formáját mutatja, amit a sebességszelvényen is látunk (15. ábra).

A peremi medencék mentén, ahol a gyökérszóna megszűnik, izosztatikusan alapon köpenykiemelkedések vannak, amelyek a mágneses adatokon elvégzett Naudy-féle hatókijelölések alapján nagyobb mennyiségű bázisosabb (mágmás) anyagot hoznak felszínközelbe (alsó kéregből származó anyag kerül a Curie-hőmérsékletnél kisebb hőmérsékletű mélységbe). Ezek a nyomásviszonyok megváltozása miatt az üledékes medencéket elérve, azok alján terülnek szét vízszintesen, de néhány esetben akár a felszínig is feljöhhetnek.

A középhegységi zónában, a kristályos kőzetekben ezzel ellenkezően, a szerkezetek mentén, vertikális telérek, repedések mentén, a felszínen azonosítható tanúhegyek formájában, elszórta jelentkezik a bazaltos kőzetanyag, azaz nincs jelen tömegesen.

A 16. ábra egy lehetséges litoszféraszintű értelmezést mutat. Felmerül a kérdés, hogy az ALCAPA (Ausztro-Alpi Főegység) és a TISZA (Mecseki Főegység) kompressziója, avagy egy bazaltbenyomulás miatt alakult ki a MT mérések értelmezéséből kirajzolódó szerkezet (fekete szaggatott vonal). Ez a vázlat nagyon hasonlít egy a K-Alpok területén mért szeizmikus litoszféraszelvény értelmezésére (17. ábra). A különbség csak annyi, hogy a K-alpi szeizmikus értelmezésen a Moho szintjében mutatnak ki egy hasonló konvergens lemezmozgások hatására kialakult rajzolatot. A geodinamikai mozgásoknak köszönhető változások miatt az eltérő szelvényirányok ellenére hasonló rajzolatot mutatnak, csak az európai lemez egyik esetben észak-európai, másik esetben pedig dél-európai.

A földtani egységek találkozásánál, a fő szerkezeti vonalak (Rába-vonal – 40 vkm és Közép-magyarországi-vonal – 135 vkm) mentén a mágneses adatok alapján felszíni, illetve mélybeli magmás tevékenység azonosítható. A Dunántúli Középhegységi Egység kristályos kőzeteiben is megjelenik a bazaltvulkanizmus, de ott lokálisan lehet csak jelen, feltételezhetően egyedi magmacsatornákon keresztül kerül felszínközelbe, aminek emlékét őrzik a köpeny-zárványokat is tartalmazó (Embey-Isztin 2017) Balatonfelvidéki bazaltos tanúhegyek. Ezekre az anizotrópiajelenségek alapján következtethetünk (6. ábra), bár az MT mérések ponttávolsága nem tud megfelelő felbontást biztosítani ehhez. A CEL08 litoszféraszintű sebességszelvény (15. ábra) alapján a középhegység alatt megjelenik az izosztatikusan gyökérszóna, mellette a peremi medencék / nagyszerkezeti zónák mentén a Moho- és a vele szinkronban mozgó Conrad-határfelület is megemelkedik (16. ábra).

Összefoglalás

Jelen tanulmányban ismét egy magnetotellurikus alapszelvény (MTOA-03) komplex mérési adatait és ez ebből kapott eredményeket mutattuk be. A szelvény az északi határszéltől (a Hanságtól) a déli határszélig (Villány–Mohács) húzódik a Dunántúl területén. A szelvény nyomvonala kapcsolódik a CEL-08 litoszféraszintű-szelvény nyomvonalához, bár a magnetotellurikus mérések nyomvonala helyenként (elején és végén) attól eltérő (1. ábra).

A feldolgozási eredményekben megjelennek az üledékes medenceterületek, a prekainozoos medencealjzat kibúvások, a felszíni vulkanitok és a mélybeli magmás kőzetek hatása, nem beszélve a szerkezeti zónák és a mélység miatt ma még ismeretlen eredetű, fázis alapján detektálható kéreganomáliákról (Kiss 2025). A szelvény mentén a sűrűnek tűnő mérési pontok között 2–8 km távolság van, és a legelső szondázási frekvencia 1500–2500 m mélységben jelenik meg, így a felszíni földtani adatokra a mérés

értelmezésekor csak regionális felépítés szempontjából számíthatunk.

A magnetotellurikus nyers mérési adatok (látszólagos fajlagos ellenállás és fázis) megjelenítése során vizsgáltuk a szondázási görbéket, az azokból kapott mélységmetszeteket, összevetettük a gravitációs és mágneses adatokkal és feldolgozási eredményekkel, valamint elkészítettük a magnetotellurikus mérési adatok kétdimenziós inverzióját is.

A különböző irányú magnetotellurikus mérési adatok eltérő földtani sajátosságokat tükröznek vissza az érzékelő szondák helyzetének függvényében. A kettő közötti eltérés (anizotrópia) összetételbeli és szerkezeti változásokra hívják fel a figyelmet (6. ábra). A kapott invertált fajlagos-ellenállás-mélység-szelvények megjelenítése néhány sajátos, kéregszerkezeti és vulkanológiai összhatást mutat, amit a gravitációs, mágneses és szeizmikus mérések alapján ellenőrizhetünk.

A kiegészítő gravitációs, mágneses és szeizmikus adatok nélkül nehéz lenne értelmezni a magnetotellurikus mérés eredményeit, mivel kevés mélybeli földtani információval rendelkezünk. Csak néhány sekély fúrás van a szelvény nyomvonalában, és ezek közül csak a kisalföldi fúrások értek el a néhány kilométeres mélységet. A legmélyebb fúrás: Bogyoszló, M-2 fúrás, talp: 2507 m. A fúrások többsége, a Dunántúli-középhegységben és a Mórággyi-rögön található, és sekélyebbek (16. ábra). A fúrások az adott lépések és megjelenítés mellett szinte alig látszanak (16. ábra).

A tanulmány szerzői

Kiss János, Szebenyi Renáta Mónika

Jegyzet

¹⁾ AniMax – Anizotrópiamaximum, $R_{\text{AniMax}} = (|\rho_{xy}/\rho_{yx}| + |\rho_{yx}/\rho_{xy}|)/2$.

Hivatkozások

Ádám A., Verő J. (1964): Ergebnisse der regionalen tellurischen Messungen in Ungarn. Acta Technica 47, 761–773.

Ádám A. (1992): A dunántúli elektromos vezetőképesség-anomália földtani és módszertani jelentősége, Akadémiai székfoglaló: 1990. szeptember 24. Értekezések, emlékezések. Akadémiai Kiadó, Budapest. ISBN 963-05-6403-3

Brückl E., Behm M., Bleibinhaus F., Grad M., Guterch A., Keller G. R., Thybo H., CELEBRATION 2000 & ALP2002 Working Groups (2006): Tectonic interpretation of a 3D seismic model of the Eastern Alps, EGU poster

Embey-Isztin A. (2017): Köpenyeredetű kőzetek felismerésének története és szerepe a geológiai gondolkodás fejlődésében. Földtani Közöny, 147/4, 415–422. <https://doi.org/10.23928/foldt.kozl.2017.147.4.415>

Fancsik T., Redlerné Tátrai M., Hegedűs E., Kummer I., Mészáros F., Kovács A. Cs., Csabafi R., Jánváriné Kántor I., Zilahi-Sebess L., Varga G., Török I. (2001): Magyarország földtani térmodelje. Jelentés a 2001. évi feladatok elvégzéséről, p. 25. Kézirat, ELGI, MBFGA adattár (Ad.1872)

Gúthy T., Hegedűs E., Redlerné Tátrai M. (2000): Litoszféra kutatás 1998–2000. Kézirat, ELGI (AD.1811), MBFGA adattár

Kiss J. (2009): A CEL08 szelvény geofizikai vizsgálata. Magyar Geofizika, 50/2, 59–74.

Kiss J. (2010): Mély medencék izosztikus hatása, Magyar Geofizika, 51/3, 1–13.

Kiss J. (2025): Háromdimenziós kéreganomália a magnetotellurika alapján a Balaton-felvidéken. Magyar Geofizika, 66/4, 118–135.

Kiss J., Prácser E. (2016): Szelvény mentén végzett adatfeldolgozási eljárások – hatókijelölés, frekvenciaszűrés és mélységfókuszálás – alkalmazása a CEL08 vonalon. Magyar Geofizika, 57/2, 69–87.

Kiss J., Varga G. (2003): Gravitációs, földmágneses és magnetotellurikus modellezés. Jelentés a kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok tervezett üveghutai tárolójával kapcsolatos ELGI által 2002-ben végzett geofizikai munkálatokról. Kézirat, MBFGA adattár

Kiss J., Szebenyi R. M. (2023): Dunántúli magnetotellurikus MTOA-01 alapszelvény (CEL07 litoszférakutató szeizmikus tomográfia-szelvény mentén). Magyar Geofizika, 64/2, 78–94.

Kiss J., Szebenyi R. M., Lukács T. (2024): Magnetotellurikus Országos Alapszelvények – A dunántúli MTOA-02 szelvény komplex feldolgozása. Magyar Geofizika, 65/4, 138–152.

Szebenyi R., Kiss J., Héja G. H. (2024): Using archived magnetotelluric data for geologic interpretation in the Transdanubian Region. Acta Geodaetica et Geophysica, 59, 311–329. <https://doi.org/10.1007/s40328-024-00440-3>

Takács E. (1968): Anomalous conductivity of the upper crust in the NW foreground of the Bakony Mountains. Acta Geod. Geoph. Mont. Hung., 3, 155–160