

A Nyírség mélyföldtani értelmezése – lokális vulkánmorfológia a geofizikai mérések alapján

Kiss J.^{1,*}, Cserkész-Nagy Á.¹, Lőrincz K.¹, Rádi K.^{2,#}

¹Szabályzott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága (SZTFH), Földtani Igazgatóság,
H-1051 Budapest, Sas utca 20–22.

²Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (MBFSZ), Budapest

*E-mail: janos.kiss@sztfh.hu

#E-mail: radikaroly@gmail.com

A legutóbbi cikkünk a Nyírség területéről a relatív sűrűségnek és relatív mágnesezettségnek a térbeli eloszlását mutatja be, illetve az ezek alapján beazonosított morfológiai jeleket, amelyeket a miocén kori vulkáni működéssel hoztunk kapcsolatba. A cikk konklúziója az volt, hogy a kapott vulkánmorfológiai elemeket más geofizikai módszerek vagy földtani adatok alapján is tesztelni kellene. Új mérésekre vagy fúrás lemélyítésre nincs keret, de a meglévő adatok alapján néhány tesztelést, szelvények mentén végzett feldolgozást minimális költséggel elvégezhetünk. Cikkünk ennek a munkának az eredményeit mutatja be.

Kiss, J., Cserkész-Nagy, Á., Lőrincz, K., Rádi, K.: The interpretation of the deep geological construction of Nyírség – local volcanic morphology based on geophysical measurements

Our most recent paper presented the spatial distribution of relative density and relative magnetization in the Nyírség region, and the morphological features that we have associated with Miocene volcanic activity. The conclusion of the paper was that the volcanic morphological elements obtained should be tested against other geophysical methods or geological data. There is no budget for new measurements or drilling deeper, but some testing and processing along sections based on existing data can be done at minimal cost. Our article presents the results of this work.

Beérkezett: 2023. október 31.; elfogadva: 2023. december 27.

1. A sűrűségi és mágnesezettségi voxel (térbeli grid) adatrendszer elemzése és megjelenítése, vulkán szerkezeti elemek geofizikai kimutatása

A Nyírség és a Tokaji-hegység területén rengeteg geofizikai mérés történt a földtani felépítés megismerése és kutatófúrások telepítése céljából. Ennek ellenére a földtani ismereteink tulajdonképpen csak a miocén összletekig, a miocén vulkanitok szintjéig terjednek. A vulkáni összletek elérése a fúrások leállítását eredményezte, a geofizikai (elsősorban szeizmikus és elektromágneses) adatok értelmezésekor pedig takarékos jellegükönél fogva a vulkanitok egyfajta határt képeztek.

A mélyföldtani kutatások keretében a szeizmikus és magnetotellurikus szelvények értelmezéséhez a gravitációs és mágneses adatokat is bevontuk. A potenciáltér elméle-

téből kiindulva és módszertani vizsgálatokkal (Kiss, Vértesy 2020) megtámogatva úgy tűnt, hogy van még továbblépési lehetőség a legegyszerűbb és a legrégebb óta használt geofizikai módszerek alkalmazásával. A szeizmikus adatok földtani értelmezését számos azokból származtatott attribútum segíti elő, amelyek közül a legfontosabbakat – azok felhasználását a nyírségi területen – a *Függelék* mutatja be.

A gravitációs Bouguer-anomália-térkép, a földi mágneses anomália-térkép és a légi mágneses anomáliatérkép spektrálanalízisével, a térfrekvencia alapján az eltérő mélységű hatásokat szétválasztottuk (Kiss et al. 2019B). A frekvenciaszűrt térképeken megjelenő változások legvalószínűbb mélységét meg lehet határozni.

A spektrálisan szűrt erőter-geofizikai (gravitációs és mágneses) anomália-térképek nem összevethetők egymással, mivel rendkívül nagy az eltérés az anomáliák amplitü-

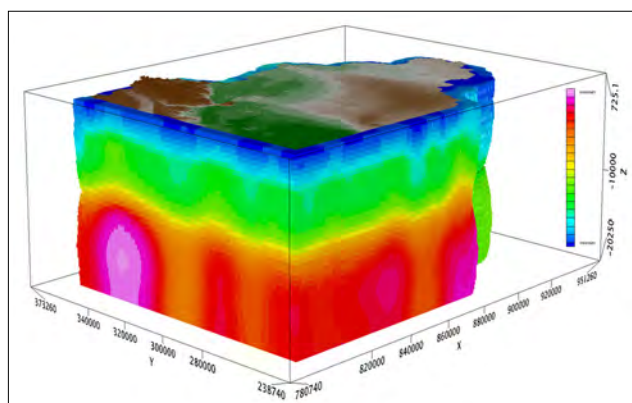
1. táblázat | Spektrálanalízis és mélységbecslés eredményei a Nyírségben
Table 1 | Spectral analysis and depth estimation results at the Nyírség area

Geofizikai adat	Domináns spektrális mélység (m)	Mélységköz, „ugrás” (m)	Mélységtartomány (m)	Egyszerűsített értelmezés
Szűrt Bouguer-anomália	200	NA	<500	fiatal laza fedő (zaj)
	1 300	1 100	500–2 400	idős, tömörödött fedő
	4 500	3 200	2 400–7 000	medencealjzat
	16 000	11 500	7 000<	Conrad- (Moho-?) szint
Szűrt légi mágneses	430	NA	<800	felszíni vulkanitok
	1 360	930	800–2 600	sekély eltemetett vulkanitok
	4 500	3 140	2 600–6 000	mély eltemetett magmatitok
	9 000	4 500	6 000<	magmás, metamorf aljzat
Szűrt földi mágneses	1 000	NA	<1 450	felszínközeli vulkanitok
	2 000	1 000	1 450–3 100	mélybeli vulkanitok
	11 200	9 200	3 100–15 500	magmatitok (intrúziók, Conrad?)
	27 700	17 500	15 500<	Moho-szint (?)

dójában, azaz a minimum–maximum értékekben. Vizsgálataink szerint ez a gravitáció esetében leginkább az eltérő tömegnek (sűrűség \times térfogat), míg a mágnesség esetében az eltérő mágneses momentumnak (mágnessézség \times térfogat) köszönhető.

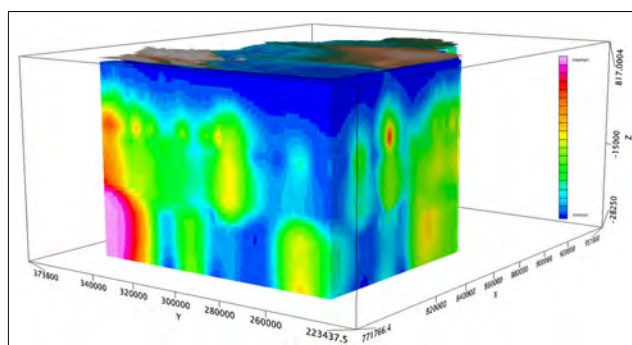
A tömegben és a mágneses momentumban is jelen van a közettérfogat hatása. A kiindulási alaptérképek esetén a tömeg hatása mindenhol ugyanaz, ezért nem foglalkozunk vele. Az eltérő spektrális mélységű térképek esetén az eltérő mélységtartományok (1. táblázat) miatt a térfogatok is eltérőek lesznek, miközben egy adott spektrális mélység térképén a térfogat mindenhol állandónak tekinthető.

0–1 érték közé normálva a spektrálisan szűrt térképeket, tulajdonképpen az eltérő térfogatok hatását ejtjük ki, felerősítve a fizikai paraméterek változását. Azaz, mélységről mélységre ráfókuszálunk a fizikai paraméterek megváltozásából származó hatásokra, és az erőter-geofizikai anomália-térképből relatív paramétertérképeket készítünk. A spektrálisan szűrt térképek esetében meghatározott mélységek miatt a származtatott adatok három dimenzióban (x , y , z + fizikai paraméter) is rendelkezésre állnak, így elkészíthetővé váltak kétdimenziós relatív sűrűségi és mágnessézségi mélységmetszetek (Kiss 2021A) és a háromdimenziós relatív térmodell is (Kiss 2021B, 2022). Azért relatív, mert nem a valós közzetfizikai paramétereket kaptuk meg, hanem csak az azonos szintben lévő összeletek egymáshoz viszonyított relatív eltéréseit, kontrasztját. Ezzel egyfajta nagyítóként a legkisebb eltéréseket is felerősítettük, kizárva a szűrt térképek eltérő térfogatából (eltérő mélységtartományok miatt) származó amplitúdóbeli eltéréseket és kiemelve az azonos szinteken bekövetkező paraméterbeli változások hatását.



1. ábra | Háromdimenziós relatív sűrűségi térrács (voxel) a domborzattal DNy felől

Figure 1 | Three-dimensional relative density spatial grid (voxel) with topography from SW



2. ábra | Háromdimenziós mágnessézségi térrács (voxel) a domborzattal DNy felől

Figure 2 | Three-dimensional magnetization field grid (voxel) with topography from SW

Minden szűrt térképet normálva maximális fizikai paraméterérzékenységet kapunk az adott spektrális mélységekben. (Relatív sűrűség és relatív mágnesezettség, ami az adott szinten megjelenő kontrasztot, a minimum- és maximumértékeket jelöli. A továbbiakban a színskála mellett megjelenő minimum és maximum felirat is erre utal, azaz nem valódi sűrűséggel és mágnesezettséggel van dolgunk!) A különböző mélységszinteknek a relatív paraméterei segítségével mélységmetszeteket (Kiss 2021A), háromdimenziós térbeli eloszlásokat (Kiss 2022) készítettünk, ezek megjelenítése nagymértékben segítheti az eltemetett szerkezetek kimutatását. A kapott térrács izofelületei olyan morfológiát rajzolnak ki, amely a Nyírség és a Tokaji-hegység területére jellemző építő (konstruktív) és romboló (destruktív) vulkáni tevékenység lenyomataiként értelmezhető.

Az adatok háromdimenziós kezelését és megjelenítését a Geosoft (Oasis Montaj) programrendszerrel készítettük el. Az 1. ábra egy tömbben mutatja a relatív sűrűség térbeli eloszlását, a 2. ábra pedig a relatív mágnesezettség térbeli eloszlását. Látszik, hogy a belső szerkezetek kimutatása szempontjából a különböző vízszintes vagy függőleges metszetek mellett a legérdekesebb a paraméterek – relatív sűrűség (σ , [kg/m³]) vagy relatív mágnesezettség (ϵ , [nT/km²]) – szerint végzett leválogatás, azaz az azonos értékű felületek háromdimenziós megjelenítése.

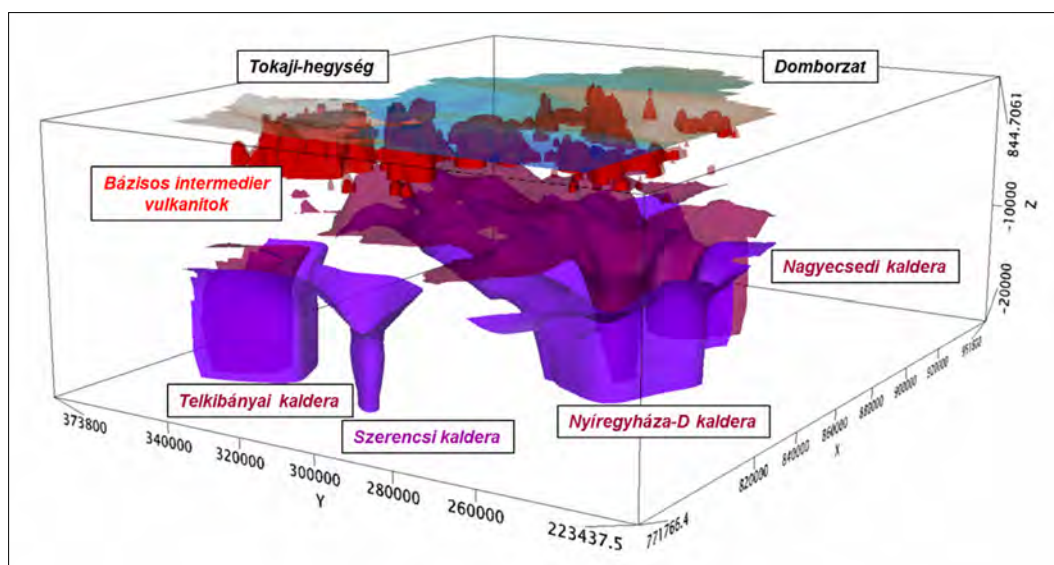
A destruktív vulkánmorfológiai elemeket (kirobbanási kúrtókat és kalderákat) a kristályos környezetben sikerült legjobban azonosítani csökkent sűrűségük alapján viszonylag nagy, ~10 km körüli mélységben: ilyenek a Telkibánya-Gönc, a Szerencs, a Nyíregyháza-D és a Nagyecsed környéki kúrtók, kalderák. Kisebb mélységekben már csak

a nagyobb ovális vagy izometrikus minimumzónák látszanának, amit a fedő üledékes összletek miatt elsőre nem feltétlenül kapcsolnánk magmás (vulkáni) tevékenységhez.

A konstruktív mélybeli morfológiai elemeket (vulkáni kúpok, szubvulkánokat, feltételezett magmacsatornákat) a mágneses maximumok alapján tudtuk azonosítani – már a felszíntől a Tokaji-hegységben vagy felszínközelségben, a Bodrogeközben. A Nyírségben a nagy tömzsős megjelenés kb. 4000–5000 m-es mélységtől, kisebb méretű lokális megjelenés 2000–2500 m-től van várhatóan jelen. Az 1500–2500 m mélységben, a kainozoos fedőben megjelenő vulkanitok valaha felszínre ömlött lávaképződmények lehetnek (3. ábra). Ez azt jelenti, hogy a Tokaji-hegység felszíne és a Nyírség vulkáni paleofelszíne között mára már 2000–2500 m szintkülönbség van.

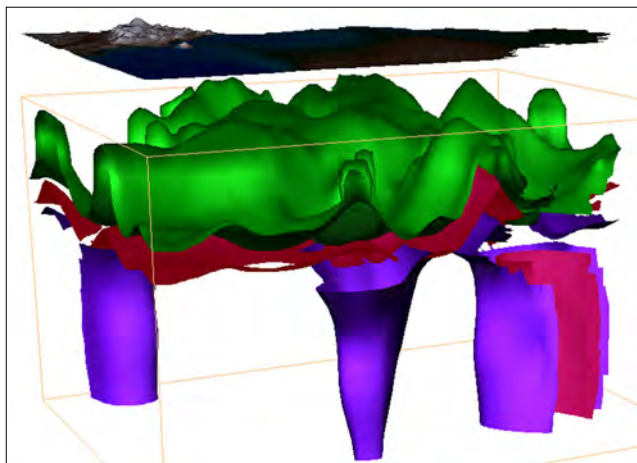
A kisebb, lokális anomáliák savanyú intrúzív és effúzív összleteket is jelentkezhetnek, de ezeket a kőzetfizikai paraméterek átfedése és a kis térfogat miatt nem lehet egyértelműen elkülöníteni. A résztéma keretében végzett munka részletesebb ismertetése a *Magyar Geofizika* hasábjain korábban már megjelent (lásd Kiss 2022).

Néhány háromdimenziós sűrűség-határfelületet mutat a 4. ábra. A felszíni domborzat alatt jelentettük meg a 3000, 3100 és 3200 kg/m³ relatív sűrűségek izoértékeit. Már a 3000-es érték is erősen hullámzó felületet ad, a telkibányai kaldera felett egészen mélyre kerül (ez a kaldera lehet legközelebb a felszínhez, így a kalderaszerkezetet feltöltő vulkáni hamu és vulkántörmelékcsés összlet sűrűsége nagy mélységig kicsi). A nagyecsed kaldera mélyebb és nagyobb is. Belsejében a 3000-es szint még nem látszik, de a 3100-as szint már vertikális henger formájában megjelenik. A Nyíregyháza D-i kaldera csak a 3200-as értéknél látszik



3. ábra Leválogatott relatív sűrűségi (lila-bordó színek) és mágnesezettségi (piros szín) határfelületek. Romboló vulkánműködés hatására kialakuló kúrtó- és kalderaformák (sűrűségminimumok) a kristályos medencealjazatban és építő jellegű morfológiai elemek, bázisos vagy intermedier intrúziók, szubvulkáni testek, sztratovulkáni összletek (mágnesezettségmaximumok) a felső 1-2 km-ben, azaz a fedőösszletekben

Figure 3 Selected relative density (purple-violet colours) and magnetisation (red colour) interfaces. Craton and caldera forms (density minima) in the crystalline basement and constructive morphological elements, basal or intermediate intrusions, subvolcanic bodies, stratovolcanic assemblages (magnetization maxima) in the upper 1-2 km, i.e. in the overlying basins, due to eruptive volcanic activity



4. ábra A Nyírség (Tokaj) terület domborzata (felül) és a relatív sűrűségi térrács szintjei (alul). *Jelmagyarázat:* zöld – 3000 kg/m³, bordó – 3100 kg/m³ és lila – 3200 kg/m³. Balról jobbra a telkibányai, a Nyírség-D-i és a nagyecsed kaldera. A szerencsi kaldera egy nagyobb sűrűség szinten jelenik csak meg, ezért itt nem látható. A kalderák, kirobbanási kürtők minimumzónaként jelentkeznek, ahol befelé csökken a sűrűség, amit a nagyecsed kaldera belsejében megjelenő bordó szín is jelez

Figure 4 The topography of the Nyírség (Tokaj) area (top) and the levels of the relative density-space grid (bottom). *Legend:* green – 3000 kg/m³, burgundy – 3100 kg/m³ and purple – 3200 kg/m³. From left to right can be seen the Telkibánya, Nyírség-D and Nagyecsed calderas. The Szerencs caldera only appears at a higher density level, so it is not visible here. The calderas and eruption pipes appear as a minimum zone, where the density decreases inwards, which is also indicated by the burgundy color appearing inside the Nagyecsed caldera

és tölcser formát mutat. A szerencsi kaldera kisebb, és csak 3200 feletti értéknél jelenik meg.

2. Eltemetett vulkánok, vulkánmorfológiai formák a Nyírség területén

A potenciáltér-módszerek sajátosságait felhasználva ma már a nagy (~10 km-es) mélységekben megjelenő paramé-

terváltozásokat is képesek vagyunk robusztusan bontani, elkülöníteni a különböző mélységű hatásokat, anomális testeket, elsősorban a sajátos megjelenési formájuk alapján, ami természetesen, a háromdimenziós térben mutatható meg legjobban. A megjelenési forma még nem teljesen egyértelmű bizonyosága a magmás (intruzív vagy effuzív) tevékenységnek és lehet, hogy csak a véletlen műve az adott forma megjelenése, vagy például egy lokális üledékes medence leképeződése. Mivel a Nyírségben 1500 m

2. táblázat

Vulkánmorfológiai elemek és azonosításuk a Nyírségben (n.a. – nincs adat; is – nem egyértelmű, de igen)

Table 2

Volcanic morphological elements and their identification in the Nyírség (igen = “yes”, nem = “no”, n.a. = “not available data” and is = “sometimes yes or no”)

Vulkánmorfológia	No.	Település	Azonosítás				
			domborzat	szeizmika	mágnesség	magneto-tellurika	gravitáció
Konstruktív vulkánmorfológia (lokális vulkáni kúp, szubvulkán)	1.	Napkor	nem	igen	igen	igen	igen
	2.	Tizzaszalka	nem	igen	igen	n.a.	igen
	3.	Telkibánya	igen	n.a.	igen	n.a.	igen
	4.	Beregsurány (Tarpa)	nem	is	igen	n.a.	igen
	5.	Rudabányácska (Sátoraljaújhely)	igen	n.a.	igen	n.a.	igen
	6.	Vágáshuta (Kovácsvágás)	igen	n.a.	igen	n.a.	igen
	7.	Kopasz-hegy (Tokaj)	igen	is	igen	n.a.	igen
Konstruktív vulkánmorfológia (hasadékvulkánok –szubvulkánok, intrúziók, vulkáni kúpok sorozata)	8.	Tokaj–Eperjes	igen	n.a.	igen	n.a.	igen
	9.	Tokaj–Királyhelmec	is	n.a.	igen	n.a.	is
	10.	Kisvárda–Barabás	nem	n.a.	igen	n.a.	is
	11.	Hajdúdorog–Tarpa	nem	n.a.	igen	n.a.	igen
	12.	Nyírbátor–Nagybánya	is	n.a.	igen	n.a.	is
Destruktív vulkánmorfológia (kaldera, kürtő, kráter)	13.	Szerencs	is	n.a.	igen	n.a.	igen
	14.	Telkibánya–Gönc	nem	n.a.	is	n.a.	igen
	15.	Nyíregyháza-D	nem	is	is	igen	igen
	16.	Nagyecsed	nem	is	is	n.a.	igen

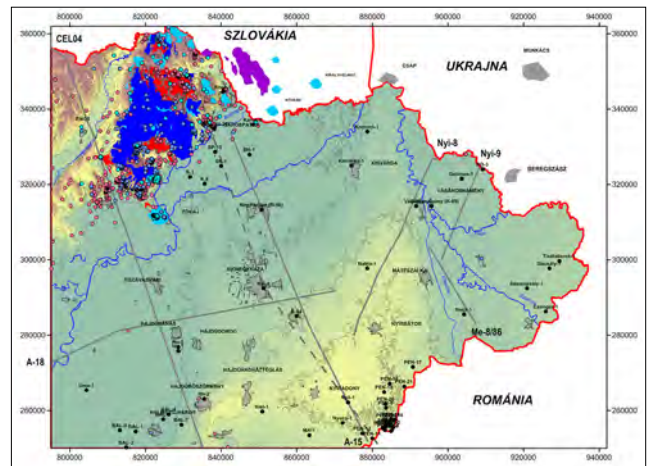
vastagságot meghaladó pannóniai–kvarter üledékek alatti elhelyezkedő testeket vizsgálunk, így a közvetlen ellenőrzésre csak néhány mélyfúrás adata áll rendelkezésre, újabb fúrásokra nincs lehetőség. Másik lehetőségként a nagy mélységet kutató geofizikai módszerek, mint például a szeizmika és a magnetotellurika adatai állhatnak még rendelkezésünkre.

Összeállítottunk egy táblázatot, amely a Tokaj–Nyírség területén megismert felszíni és eltemetett magmás és vulkáni képződmények kimutatásának lehetőségét mutatja be (2. táblázat) az eddigi tapasztalataink alapján. A mágneses tulajdonságok (maximumok) esetén a bázisos, intermedier, főleg a konstruktív jellegű magmás képződmények nyomait tudjuk követni. A gravitáció esetében inkább a destruktív jellegű vulkanizmus azonosítható minimumok formájában. A lokális maximumok esetén a konstruktív savanyú magmás tevékenység sem zárható ki, de ennek felismerése sokkal bizonytalanabb a változatos vulkáni megjelenési formák és a nagy sűrűségű kísérő üledékes kőzetek jelenléte miatt. A táblázatból látszik, hogy sokféle adat összevetésére és az objektumok pontos azonosítására korrekt és látványos megjelenítésére van szükség. A különböző módszerek alkalmazhatóságának azonban megvannak a korlátai, amelyeket módszerenként a következőkben foglalkunk össze.

– *Szeizmika* – A szeizmikus CH-kutató reflexiós szelvények behatolási mélysége csak a vulkáni képződmények legfelső szintjéig ad értelmezhető adatokat. (Ennek okát vizsgáljuk, nem zárható ki, hogy az előfeldolgozás során elvégzett tisztító műveletek a vulkanitok alatti hasznos jelek egy részét is kiszűrték, de a vulkanitok változó fizikai paraméterei, szabálytalan települési viszonyai is okozhatják ezt a jelenséget. A olajiparban használt célorientált adatfeldolgozási standardok miatt célszerű új-ravizgálni!). Az mindenképpen igaz, hogy a jelentős vastagságú fedő vulkáni formációk leárnyékolják a mélyebb zónákat, bizonytalanná téve azok leképezhetőségét.

A szeizmikus tomográfia ez alól kivétel, de a kutatási területen mindössze 3 db ilyen nagy mélységű kéregkutató szelvény van (Guterch 2002, Hajnal et al. 2004, Kiss 2021A) ritka hálóban lemérve.

– *Magnetotellurika* – Nagy mélységek kutatására alkalmas, de a szelvények itt is csak hiányos felmértéssel állnak rendelkezésre, részletes elemzések, vizsgálatok szükségesek, mert mágneses határfelületek jelenléte esetén durva torzulások lépnek fel, amelyek – csak a fajlagos ellenállás változásai alapján – nehezen ismerhetők fel, illetve nehezen értelmezhetők (Kiss és Prácser 2021). A felmértési adatok alapján megállapítható, hogy a regionális gáz- és olajvezetékek, azok esetleges korrózióvédelme, illetve az erős egyenáramú vasúti hálózat erős elektromágneses zajt okoz, ami behatárolja a magnetotellurikus mérések alkalmazhatóságát. A Barátság kőolajvezetékektől északra (6. ábra) minden mérésünk zajos! Az ipari zajt a csővezeték és az ukrán oldal egyen-



5. ábra A Nyírség és a Tokaji-hegység területe a fejezetben hivatkozott szeizmikus szelvények nyomvonalával. Felszíni andezitek (kék poligon), dácitok (világoskék poligon), riolitok (piros poligon), prekainozoos medencealjzat-képződmények (lila poligon) és fúrásaik felszínközeli vulkanitokkal (hasonló színű pontokkal) a Tokaji-hegységben és a nyírségi fúrások sok esetben eltemetett vulkanitokkal (fekete pontokkal és névvel)

Figure 5 The area of Nyírség and Tokaj mountains with the traces of the seismic sections referred to in the chapter. Surficial andesite (blue polygon), dacite (light blue polygon), rhyolite (red polygon), Precenozoic basement formations (purple polygon) and their drillings with near-surface volcanics (with similar coloured dots) in the Tokaj Mountains and drillings in the Nyírség with often buried volcanic rocks (with black dots and names)

áramú vasúthálózata is okozhatja, de a felszínre felemelkedő bázisos vulkanitok is közrejátszhatnak a zaj tágabb környezetbeli elterjedésére.

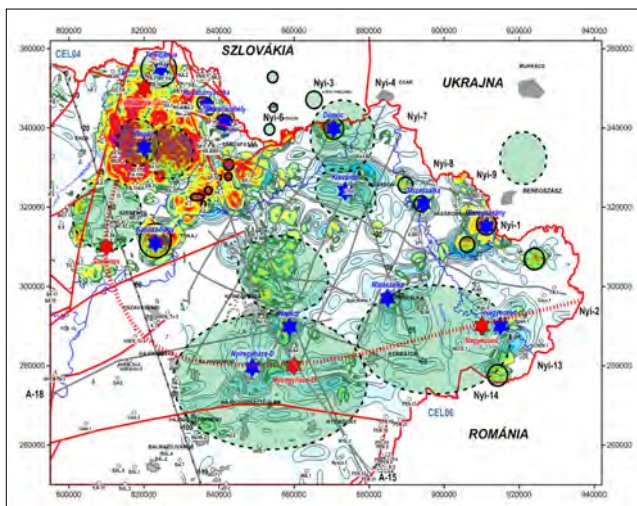
– *Mélyfúrások* – Mindösszesen 9 db 2000 m-nél nagyobb talpmélységű fúrás van a területen (Necs-1, Bakta-1,



6. ábra Magnetotellurikus mérési pontok a Nyírségi területen a vasúti hálózattal és a főbb olajvezetékekkel. MT szelvények (sötétkék) – inverzióra alkalmas szelvénymenti mérési pontok piros szimbólummal

Figure 6 Magnetotelluric measuring points in the Nyírség area with the railway network and the main oil pipelines. MT sections (blue) – inversion measurement points with red symbol

Kom-1, Nyi-1, G-1, Mk-3, Me-23, Ma-1, Hn-1), amelyek szintén csak a legfelső „takaró jellegű” vulkáni képződményeket érték el. Egyedül a Necs-1 fúrás fúrta át a (~3000 m vastagságú) miocén vulkanitokat. A Kom-1 fúrás a nyírségi terület É-i peremén, nagyszerkezeti zóna közelében mélyült, de helyzeténél fogva csak kis vastagságban (1178 m) fúrt vulkanitokat, peremi helyzetben a medencealjzat képződmények felett (vulkanitos fúrások táblázatát korábban már publikáltuk (Kiss 2021B)).



7. ábra Geofizika alapján feltételezett bázisos magmás (kék csillag) és savanyú magmás (piros csillag) vulkáni kitörési központok és feltételezett kürtő és kaldera szerkezetek (zöld ellipszis) (Kiss 2022)

Figure 7 Geophysical suggested basic magmatic (blue star) and felsic magmatic (red star) volcanic eruption centres and suggested pipe and caldera structures (green ellipse) (Kiss 2022)

A geofizikai mérési adatok sűrűsége természetesen hártart szab a földtani képződmények pontos lehatárolásának, de sok esetben néhány pont alapján is beazonosítható az intrúzió vagy szubvulkáni test a mélyben.

Konstruktív vulkánmorfológia – lokális vulkáni kúpok (7. ábra)

1. Napkor
2. Tiszaszalka
3. Telkibánya
4. Beregsurány–Tarpa
5. Rudabányácska–Sátorlajújhely (Sátor-hegy és Fekete-hegy)
6. Vágáshuta–Kovácsvágás (Fekete-hegy és Som-hegy)
7. Tokaj (Kopasz-hegy)

Konstruktív vulkánmorfológia – hasadékvulkánok, szubvulkánok, intrúziók, kúpok sorozata (7. ábra)

8. Tokaj–Eperjes
9. Tokaj–Királyhelme
10. Kisvárda–Barabás
11. Hajdúdorog–Tarpa
12. Nyírbátor–Nagybánya

Destruktív vulkánmorfológia – kaldera, kirobbanási kürtő, kráter (7. ábra)

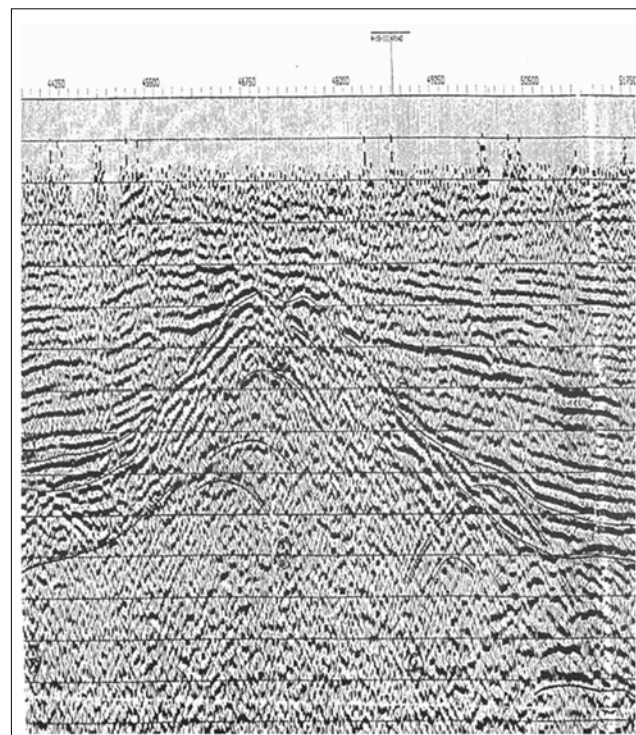
13. Szerencs
14. Telkibánya–Gönc
15. Nyíregyháza-D
16. Nagycsed

2.1. Magmás (intruzív, effuzív) testek azonosítása

2.1.1. Napkor

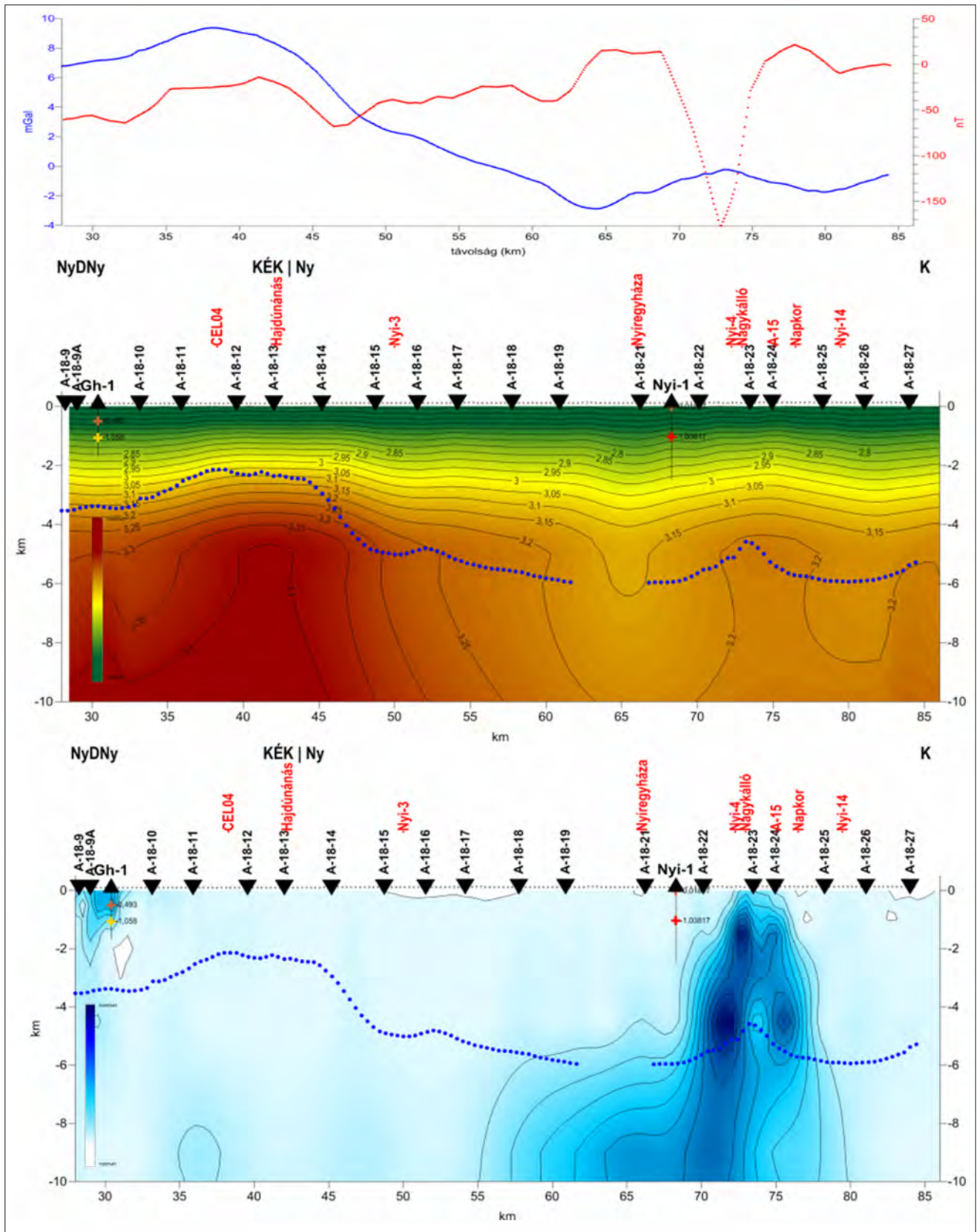
A napkori vulkáni kúp szeizmikus képe (8. ábra) már régóta ismert, hiszen 1996-ban Nemesi László, Polcz Iván, Szeidovitz Győzőné és Stomfai Róbert a *Magyar Geofizika* hasábjain publikálták az erről szóló cikküket (az ELGI korábbi, belső „kéziratos” jelentéseiben is biztosan megtalálható). A vulkáni kúp az A-18 szelvényen, az A-15 szelvényen való találkozási ponttól 2-3 km-re, Ny-ra található, Nyíregyházától DK-re, ahol egy klasszikus kúpforma rajzolódik ki a szeizmikus reflexiókból (8. ábra).

A vulkáni forma a Nyíregyháza-D kaldera – 2. táblázat 15-ös számú destruktív vulkánformája (Kiss 2022) peremén található (7. ábra) – valószínűleg egy vulkáni parazitakúp. A vulkáni test több mérési adatban is azonosítható, ahogyan azt a 2. táblázat mutatja. A gravitációs anomália-görbén csak egy kis lokális maximumként jelentkezik 73 vkm-nél (9. ábra, felül), de a mágneses anomália a szel-



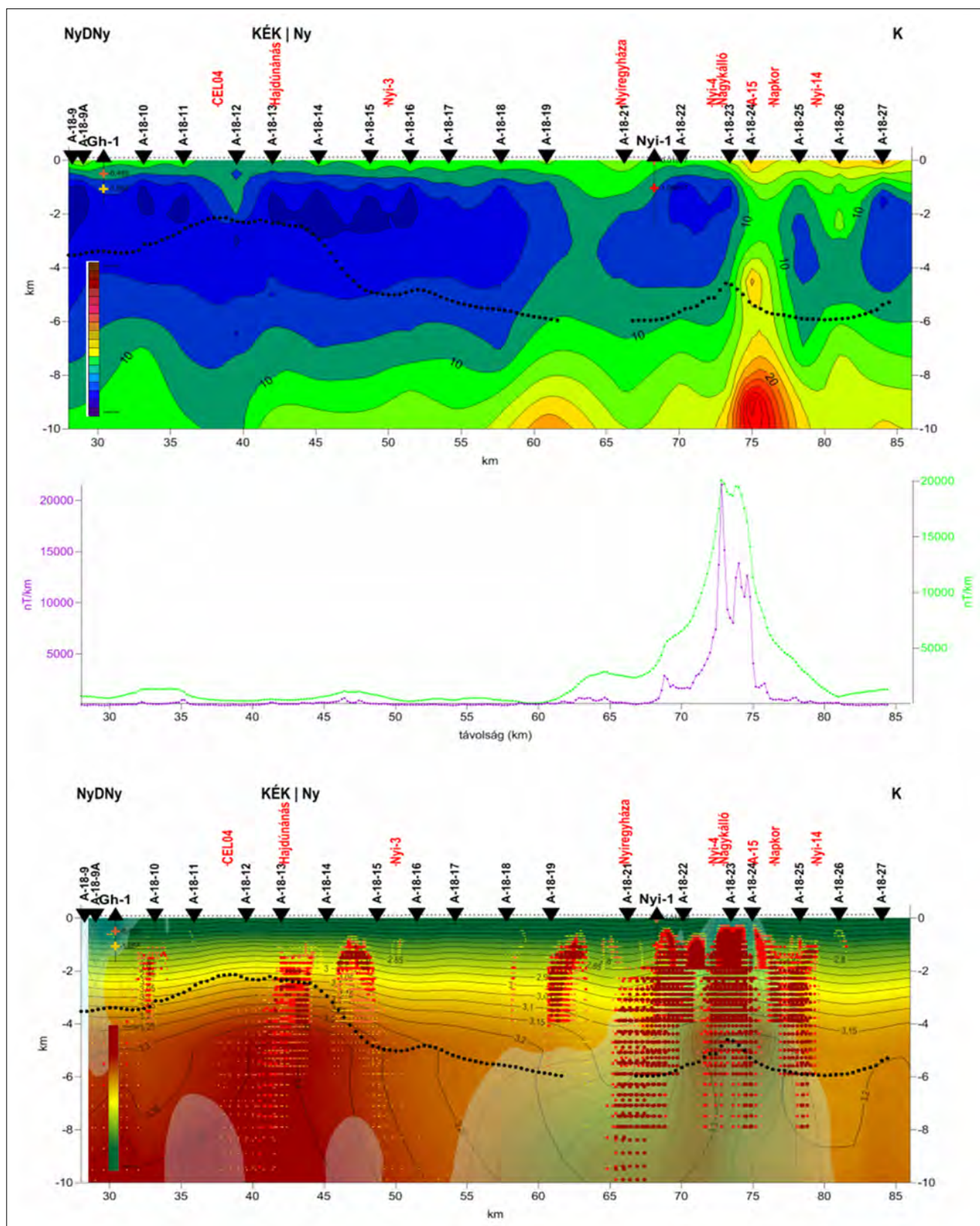
8. ábra Napkori vulkán szeizmikus képe az A-18 időszelvény mentén (Nemesi et al. 1996). Az A-15 szelvény metszéspontja jelölve van az ábrán

Figure 8 Napkor volcano on the A-18 seismic reflection time-section (Nemesi et al. 1996). The intersection of section A-15 is marked on the figure



9. ábra | Gravitációs Bouguer-anómia- és mágneses ΔT anómia-görbék az A-18 szelvény mentén – felül. Relatív sűrűségi mélységmetszet az A-18 szelvény mentén – középen. Relatív mágnesezettségi mélységmetszet az A-18 szelvény mentén – alul (kék pontvonal – kétréteges gravitációs inverziós mélység)

Figure 9 | Gravity Bouguer anomaly and magnetic ΔT anomaly curves along section A-18 – top. Relative density depth section along section A-18 – middle. Relative magnetization depth section along section A-18 – bottom (blue dot-line – two-layered gravity inversion depth)

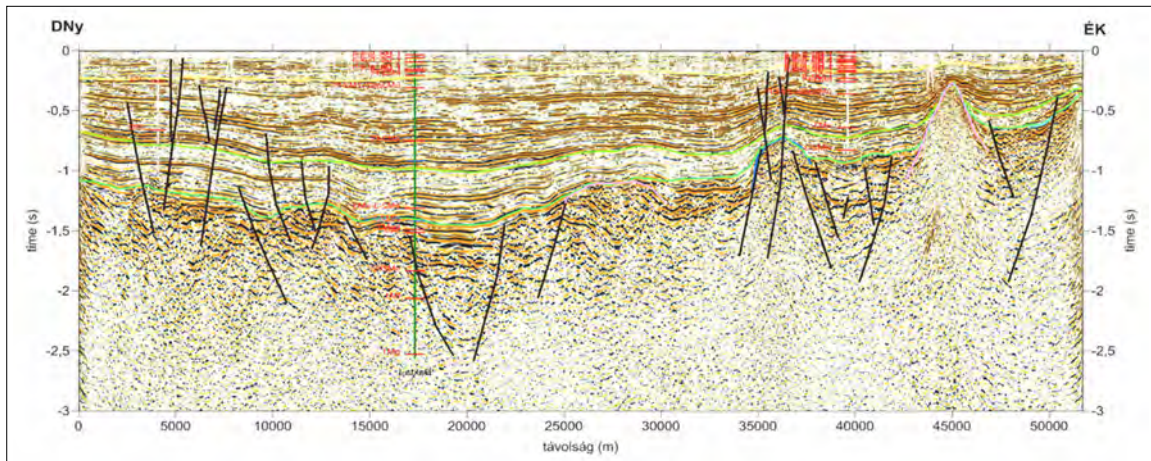


10. ábra Látszólagos fajlagos ellenállás (R_{oxy}) mélységmetszet az A-18 szelvény mentén – felül. Szelvény menti mágneses analitikus jel (kontaktus és lemez modellre) – középen és sűrűségi (zöld–sárga–barna) és mágnesezettségi (áttetsző fehér–kék) mélységmetszetek és a Naudy-féle mágnesezhető-kijelölések (sárga–piros–barna pontthalmaz) – alul

Figure 10 Apparent resistivity (R_{oxy}) depth section along section A-18 – top. Magnetic analytical signal along the section (for contact and plate model) – middle and density (green-yellow-brown) and magnetization (translucent white-blue) depth sections and Naudy's magnetic assignments of magnetic bodies (yellow-red-brown point set) – bottom

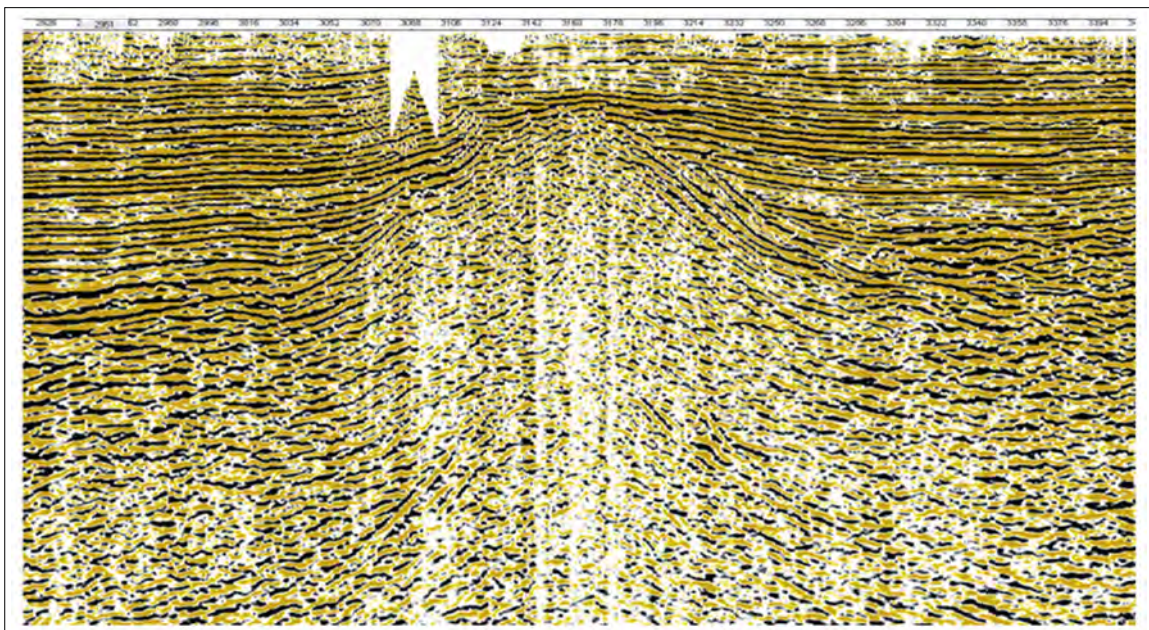
vény nyomvonalában már kiugró negatív értéként jelentkezik. A szelvény nem a test geometriai közepén haladt keresztül, hanem annak északi peremén (indukált mágneszettség esetén, ezért a térbeli \pm előjelű anomália helyett csak egy erős minimum jelenik meg 70–75 vkm-nél). A relatív sűrűségi (9. ábra, középen) és a relatív mágneszettségi (9. ábra, alul) mélységmetszeteken (Kiss, Vértesy 2020) is azonosítható a test. A sűrűségparaméter alapján egy csökkent sűrűségű zónában megjelenő lokális maximumként, míg a mágneses paraméter alapján egy meredek dőlésű, közel függőleges lemezszerű testként azonosítható.

A szelvény mentén magnetotellurikus mérések is történtek. A szelvényt újrafeldolgoztuk és kiszámoltuk a látszólagos fajlagos ellenállási mélységmetszeteket is. A ritka mérési pontrendszer miatt gyakorlatilag egy pontos anomáliaként jelentkezik a H-polarizációs látszólagos fajlagosellenállás-értékek (R_{oxy}) alapján (10. ábra), a sűrűségi és mágneszettségi paraméterekkel összhangban. A tapasztalatok alapján szinte mindegyik geofizikai paraméterben jelentkezik a miocén vulkanitok hatása, azaz kellően nagy térfogatú és fizikai paraméterében az üledékektől jelentősen eltérő képződményt kell feltételeznünk, amit szépen leképez a szeizmikus szelvény.



11. ábra Nyi-8 szeizmikus időszelvény (értelmezés: Cserkész-Nagy Ágnes, Kiss et al. 2019A) (sárga – kvarter talp, zöld – felsőpannon talp, világoskék – alsópannon talp, püspöklila – szubvulkán)

Figure 11 Nyi-8 seismic time section (interpretation by Ágnes Cserkész-Nagy, Kiss et al. 2019A) (yellow – base of quaternary, light green – base of upper Pannonian, green and light blue – base of lower Pannonian, bishop's violet – subvolcanic body)



12. ábra A (szub)vulkáni test kinagyított részlete a Nyi-8 szeizmikus időszelvény ÉK-i végén (CDP = 3150 környezete, Tiszaszalka, Kiss et al. 2019)

Figure 12 Enlarged detail of the (sub)vulcanic body at the NE end of the Nyi-8 seismic time section (CDP = 3150 vicinity, Tiszaszalka, Kiss et al. 2019)

2.1.2. Tiszaszalka

A következő eltemetett, lokális vulkáni kúp a Tiszaszalka mellett található, amely az anomális mágneses hatás és szeizmikus reflexiók kép („szeizmikus fenyő”) alapján pontosan beazonosítható (11., 12. ábra).

A szelvény a 2018. évi mélyföldtani jelentésben már bemutatásra került:

„A Nyi-8 szelvényen (11. ábra), a 44–46 vkm-nél (Tiszaszalka alatt) található a legszebb vulkáni forma, egy a laza üledékes kőzetekbe benyomuló vulkáni anyag hatása, ami kúp formájában jelenik meg, mivel a felszínt nem éri el. A kinagyított képen (12. ábra) jól elkülöníthető a konkordánsan települő üledékes kőzetek közel vízszintes rétegződése és a benyomuló test hatására kialakuló meredek reflexiók a vulkáni test szélein 200–700 m mélységtartományban, és a szeizmikus fenyő rajzolata a medencealjzatban, 300–2000 m mélységtartományban. Ennek a testnek jól azonosítható mély gyökérzónája van. A magmás eredetű kőzet-benyomulás a reflexiók kép alapján egyértelműen beazonosítható, de vajon a kőzet milyenségére tudunk-e valamit mondani? Ehhez a segítségül hívjuk a mélységszeltelet, transzformált mágneses térképeket.

Látható, hogy a Nyi-8-as szelvény ÉK-i végén a 44–46 vkm környezetében lokális mágneses anomália található a 400 m-es spektrális mélységben (0–1100 m mélységtartomány), s látszik továbbá, hogy az anomália a 4000 m-es

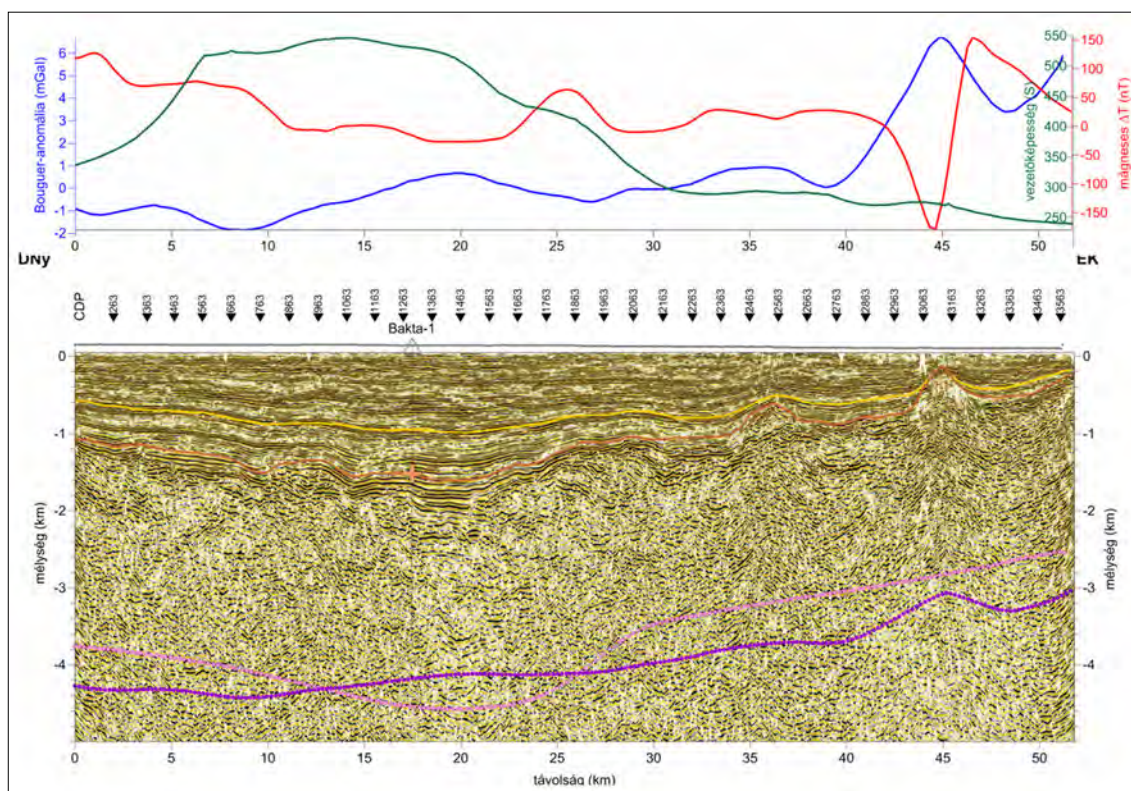
spektrális mélység térképén (1900 m-nél nagyobb mélységek) is megjelenik. Mivel a mágneses térképeken egyértelműen azonosítható, így a test anyaga intermedier andezit lehet, esetleg bazalt.” (Kiss et al. 2018)

Tulajdonképpen a lényeg tömören benne van, de ve-
gyük sorra az azóta elkészült relatív mélységmetszeteket is, amelyek megerősítik a korábbi értelmezésünket! A szeizmikusan kimutatott vulkanit helyét a gravitációs Bouguer-anomália-görbe (kék görbe, 13. ábra) lokális maximummal hozza, a mágneses ΔT anomália negatív–pozitív extrémummal (piros görbe, 13. ábra) jelzi a testet, amely a közel vertikális helyzete mellett valószínűleg reverz remanens mágnesezettségű (normál mágnesezettség esetén a negatív extrémum északon jelenik meg). A vulkáni test helyzete a szeizmikus mélységszelvényen (13. ábra) kevésbé kontrasztosan jelenik meg.

A mágnesezettségi mélységmetszeten (14. ábra, felül) a vulkáni test jól azonosítható a sűrűségi mélységmetszettel (14. ábra, középen) megegyező pozícióban. A mágneses Naudy-hatókijelölés is egyértelműen jelzi a mágneses ható jelenlétét, amit a feldolgozásokkal 4 km mélységig egyértelműen azonosítani tudunk (14. ábra, alul).

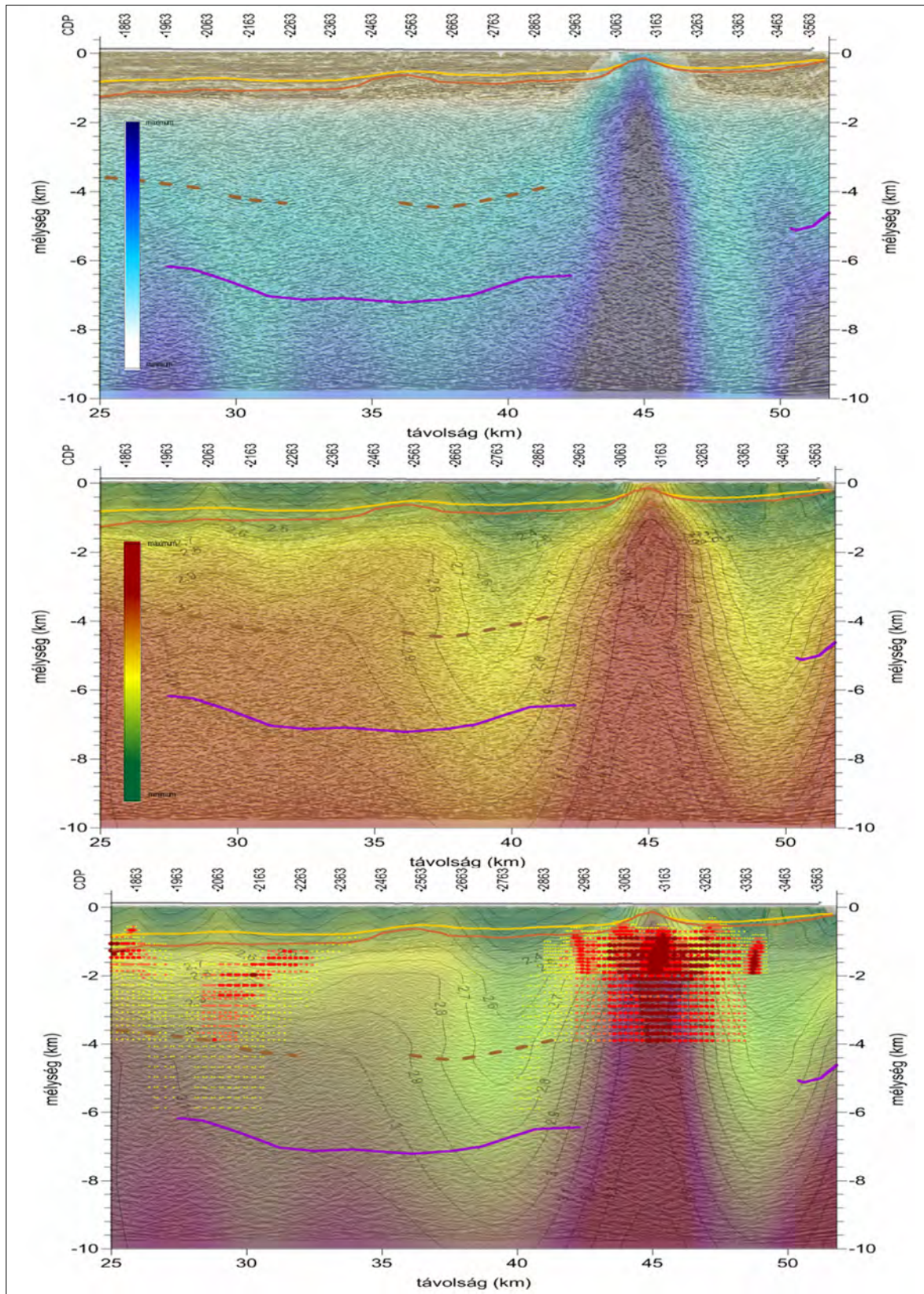
2.1.3. Telkibánya

Telkibánya és környéke már több tanulmányban bemutatásra került (Zelenka 2000, Kiss, Zelenka 2009, Zelenka et



13. ábra Gravitációs Bouguer-anomália- és mágneses ΔT anomália-görbék a Nyi-8 szelvény mentén – felül, Ny-8 szeizmikus reflexiók mélységszelvény értelmezési szintekkel – alul (sárga – felsőpannon talp, barackszín – alsópannon talp, lila – feltételezett medencealjzat)

Figure 13 Gravity Bouguer anomaly and magnetic ΔT anomaly curves along the Nyi-8 section – top, Nyi-8 seismic reflection depth section with interpretation levels – bottom (yellow – base of upper Pannonian, peach – base of lower Pannonian, violet – supposed basement)



14. ábra | Relatív mágnesezettségi mélységmetszet a Nyi-8 szelvény mentén – felül. Relatív sűrűségi mélységmetszet a Nyi-8 szelvény mentén – középen. Komplex geofizikai szelvény a Nyi-8 vonal mentén – alul. A sűrűségi (zöld-sárga-barna) és mágnesezettségi (áttetsző fehér-kék) mélységmetszetek és a Naudy-féle mágnesezhető-kijelölések (sárga-piros-barna pontthalmaz) a reflexiók háttérrel

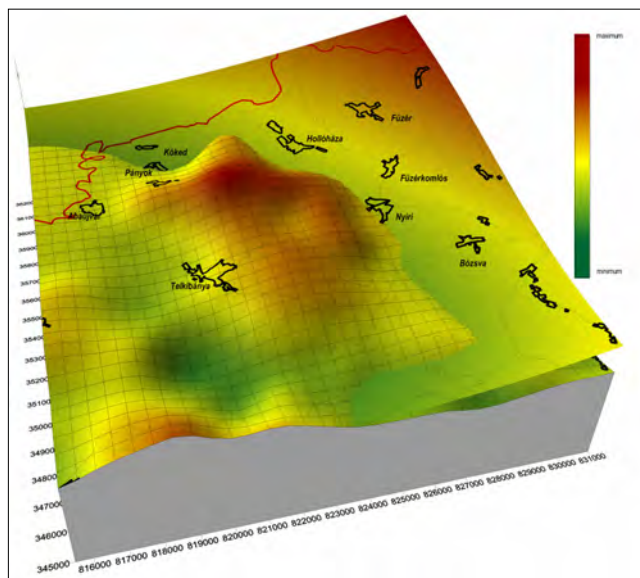
Figure 14 | Relative magnetization depth section along the Nyi-8 section – top. Relative density depth section along the Nyi-8 section – middle. Complex geophysical section along the Nyi-8 line – bottom. Density (green-yellow-brown) and magnetization (transparent white-blue) depth sections and Naudy magnetic solutions (yellow-red-brown point set) with reflection background

al. 2012, Kiss et al. 2017, Kiss 2022). A legutolsó cikkben a főbb kitörési központok azonosítása történt meg gravitációs és mágneses mérési adatok alapján. A telkibányai kaldera a Tokaj–Eperjesi hegylánc része, azaz a vulkáni ívnek az egyik tagja, amiképpen Regéc is. Mindkettő egyedi kitörési központnak is számít, mert morfológiailag és geofizikailag (mélyföldtani felépítés alapján) is el lehet különböztetni.

A 15. ábra két spektrális szint Bouguer-anomália-térképét mutatja (1,3 km és 16 km spektrális mélységek). A felső a miocén vulkanitok által determinált sűrűség szint, amely kiemelkedik a környezetéből, az alsó pedig a mélysége alapján a Conrad-határfelülethez kapcsolható, simább lefutású szint.

2.1.4. Beregsurány (Tarpa)

E vulkáni kúp középpontján nem megy keresztül szeizmikus szelvény, így talán csak közvetve tudjuk vizsgálni a földtani környezetet, például a Nyi-9 szeizmikus szelvény segítségével (16. ábra). A gravitációs Bouguer-anomáliagörbén ez a vulkáni kúp (20–21 vkm környékén) gyakorlatilag nem látszik, ráadásul egy gravitációs minimumnak a peremére esik, ami esetleg egy kürtő- vagy kalderaszerkezet szélét is jelezheti. A mágneses anomáliák viszont több helyen is jelentkeznek, amivel a vulkáni testek helyzetét talán pontosíthatjuk majd. A szeizmikus szelvényen a mágneses anomáliáknak megfelelően jelentkeznek vulkanizmusra utaló reflexiós felületek, amelyek mélybeli pozitív morfológiai formákat, kiemelkedéseket (9–15 vkm és 19–21 vkm) eredményeznek (16. ábra).



15. ábra Telkibányai vulkáni objektum a (szűrt) gravitációs térképeken. $H = 1,3$ km (sraffozott) és $H = 16$ km mélység Bouguer-anomália-térképe (sraffozás nélkül)

Figure 15 Telkibánya volcano on (filtered) gravity maps. $H = 1.3$ km (with hatching) and $H = 16$ km depth Bouguer anomaly map (without hatching)

A relatív sűrűségi mélységmetszet (17. ábra, felül) megerősíti ennek a szeizmikus értelmezésnek a jogosságát, azaz a mélybeli pozitív morfológiai formákat 9–15 vkm és 19–21 vkm között, amelyek relatív sűrűség-növekedést eredményeznek. A relatív mágnesezettségi mélységmetszeten (17. ábra, középen) is megjelennek ezek a jellegzetességek, s emiatt – mivel mágneses a közeg – így biztosan állítható, hogy miocén vulkanitokat látunk. Ez a komplex szelvényen (17. ábra, alul), a Naudy-féle hatókijelöléssel együtt is jól látszik: egy viszonylag nagy magmás-vulkáni test (8–15 vkm között) és egy lokális vulkáni kúp 21–22 vkm között.

A 18. ábra mágneses változékonysági térképe alapján – noha a szelvény nem a fő mágneses vonulaton megy keresztül – látszik a szelvény ÉK-i végén, a Gelénes-1 fúrástól DNy-ra egy oldalsó, különálló vulkáni kúp mágneses anomáliája. A 18. ábra mágneses változékonysági térképe alapján mindhárom eltemetett lokális vulkáni kúp – a napkori (A-18 szelvény mentén), a tiszaszalkai (Nyi-8 szelvény mentén) és a beregsurányi (Nyi-9 szelvény mentén) – jól beazonosítható.

2.1.5. Rudabányácska (Sátoraljaújhely)

A Sátoraljaújhely és Rudabányácska között található a dácitos szubvulkán (Sátor-hegy és Magas-hegy), kiemelt helyzetben van, és a felszínen is tanulmányozható ismert szubvulkáni test (Gyarmati 1977).

2.1.6. Vágáshuta (Kovácsvágás)

Az előző vulkáni kúptól ÉNy-ra, Vágáshuta és Kovácsvágás között jelentkezik a dácitos szubvulkán (Som-hegy és a Fekete-hegy), kiemelt helyzetben van, és a felszínen is tanulmányozható ismert szubvulkáni test (Gyarmati 1977).

2.1.7. Kopasz-hegy (Tokaj)

A Bodrog és a Tisza találkozásánál található dácitos szubvulkán, kiemelt helyzetben van, és a felszínről is tanulmányozható ismert szubvulkáni test (Gyarmati 1977)

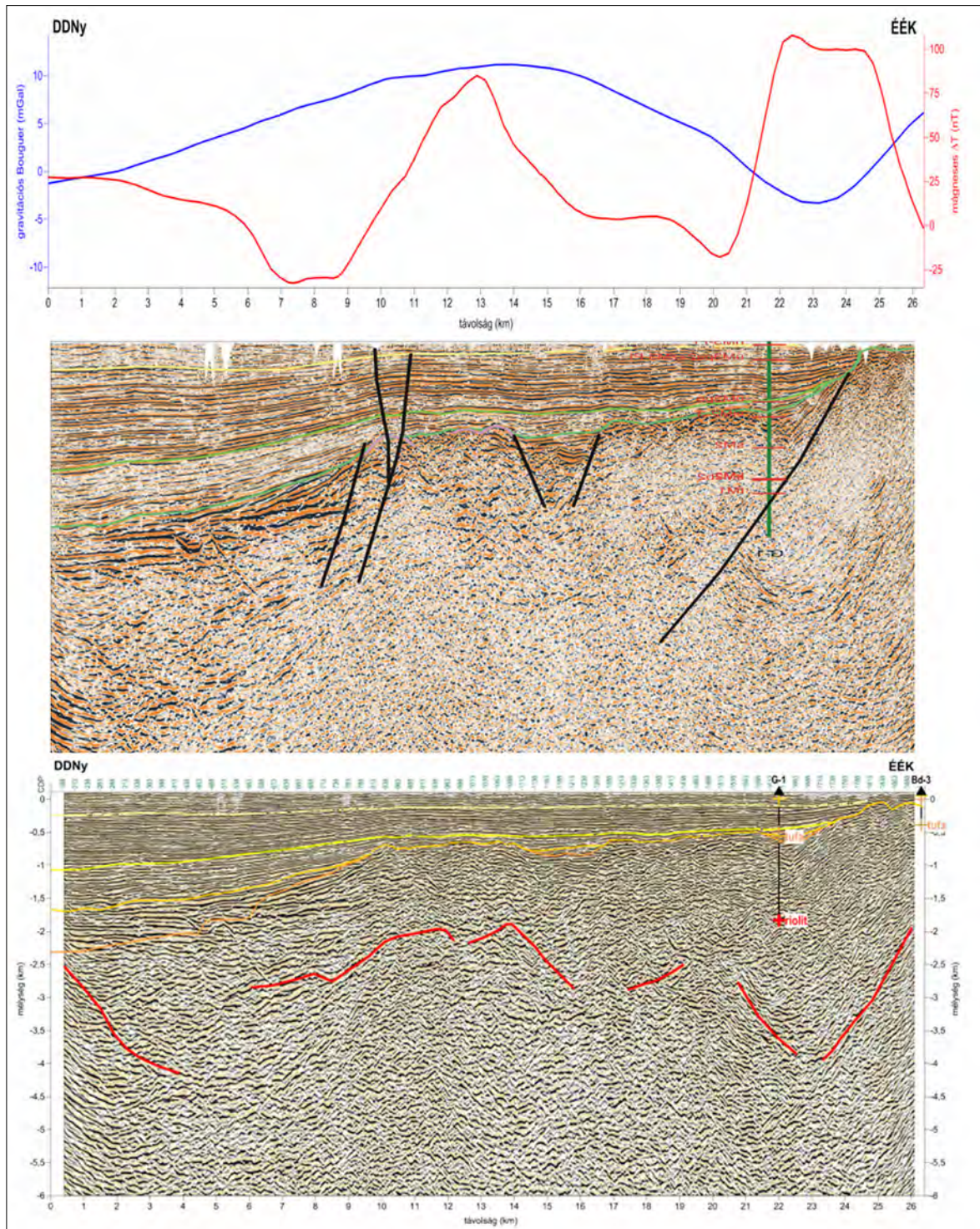
2.1.8. Tokaj–Eperjes hegylánc

Ez a miocén vulkanitokból álló ívelt hegygerinc, rendkívül jól beazonosítható a domborzat alapján (19. ábra, balra), ahogyan a Tokaji-hegység is mint vulkáni hegység. A vonulat kezdeti ÉÉK-i iránya íves átmenettel átcsap ÉÉNy-i irányba.

A vulkáni vonulat a gravitációs Bouguer-anomália-térképen (19. ábra, jobbra) regionális szempontból minimum–maximum zónák közötti, átmeneti helyzetben található, míg lokálisan az egyes lávaképződményekből álló hegycsúcsok egyedi gravitációs maximumokat okoznak ebben az átmeneti sávban. A hegylánc Ny-i pereme a Hernád-vonal, amelynek az iránya a Felvidéken megtörik

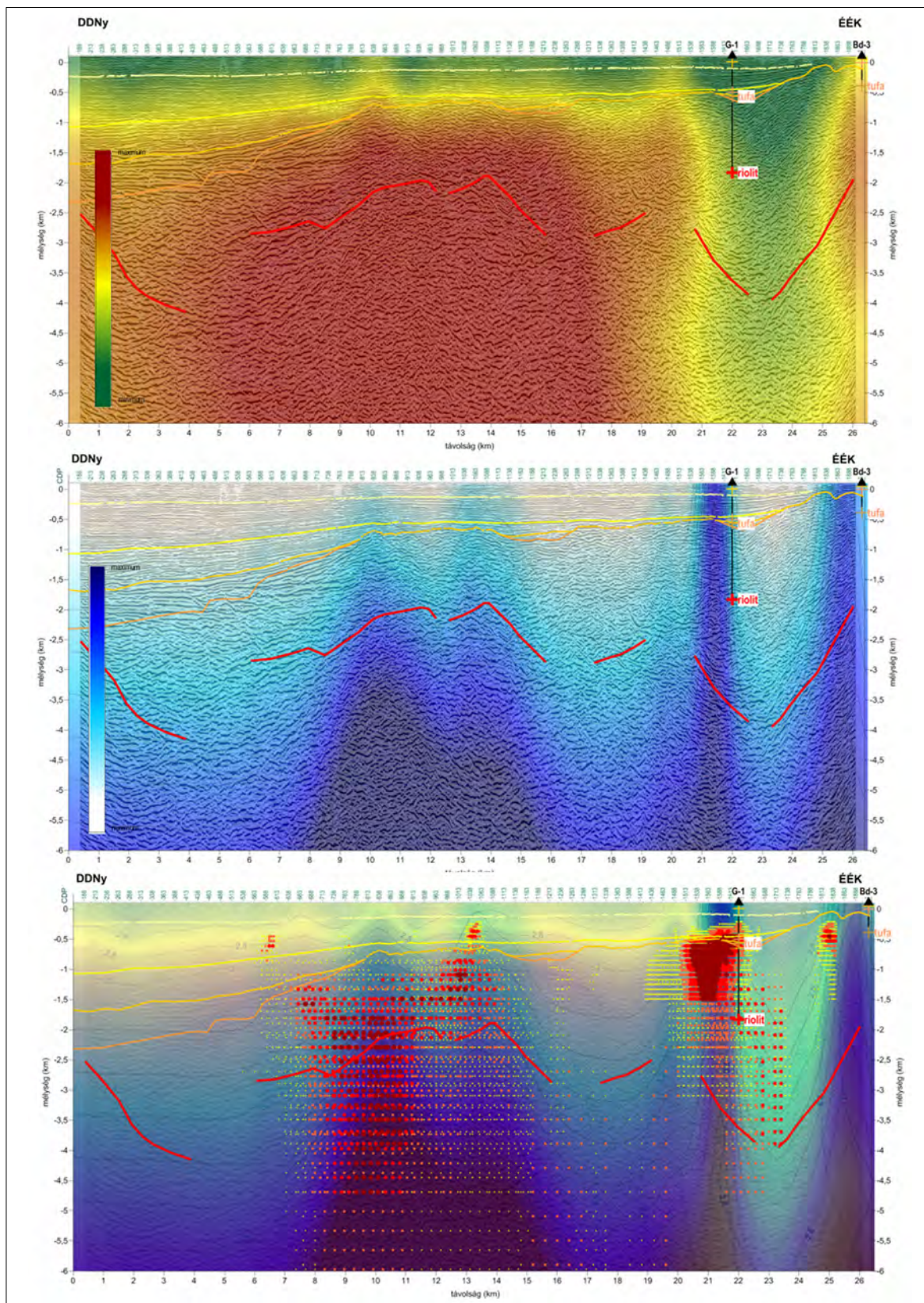
és felveszi a K-Kárpátok vonulatának irányát, amely a TESZ² iránya is egyben.

A mágnesesanomália-térkép (20. ábra, alul) megerősíti, hogy a Tokaj–Eperjesi hegylánc teljes egészében interme-



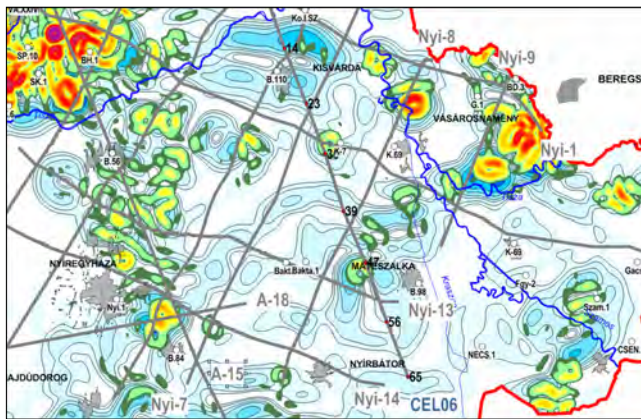
16. ábra Nyi-9 szeizmikus időszelvény (értelmezte: Cserkész-Nagy Á., Kiss et al. 2019A) – felül, (sárga – kvarter talp, zöld – felsőpannon talp, világoskék – alsópannon talp, püspöklila – szubvulkán). Gravitációs Bouguer-anomália- és mágneses ΔT anomália-görbék – középen, Nyi-9 szeizmikus reflexiók mélységzselvény értelmezési szintekkel – alul (vajszínű – kvarter talp, sárga – felsőpannon talp, narancs – alsópannon talp, piros – preneogén talp)

Figure 16 Seismic time section Nyi-9 (interpreted by Cserkész-Nagy Á., Kiss et al. 2019A) – top (yellow – base of quaternary, light green – base of upper Pannonian, green and light blue – base of lower Pannonian, bishop’s violet – subvolcanic body). Gravitational Bouguer anomaly and magnetic ΔT anomaly curves – middle, Nyi-9 seismic reflection depth section with interpretation levels – bottom (butter colour – base of quaternary, yellow – base of upper Pannonian, orange – base of lower Pannonian, red – preneogene basement)



17. ábra | Relatív sűrűségi mélységmetszet a Nyi-9 szelvény mentén – felül. Relatív mágnesezettségi mélységmetszet a Nyi-9 szelvény mentén – közepén. Komplex geofizikai szelvény a Nyi-9 vonal mentén – alul. A sűrűségi (zöld-sárga-barna) és mágnesezettségi (áttetsző fehér-kék) mélységmetszetek és a Naudy-féle mágnesezhető-kijelölések (sárga-piros-barna pontthalmaz) a reflexió háttérrel

Figure 17 | Relative density depth section along the Nyi-9 line – top. Relative magnetization depth section along the Nyi-9 line – middle. Complex geophysical section along the Nyi-9 line – bottom. Density (green-yellow-brown) and magnetization (transparent white-blue) depth sections and Naudy magnetic solutions (yellow-red-brown point set) with reflection background



18. ábra | Seizmikus szelvény nyomvonalak (pl. Nyi-9) a szűrt légi mágneses változékonysági térképen (zöld-sárga-piros felszínközeli, kék árnyalatok mélybeli hatókkal)

Figure 18 | Seismic section traces (e.g. Nyi-9) on the filtered airborne magnetic variability map (green-yellow-red near-surface, blue shades with deep-surface effects)

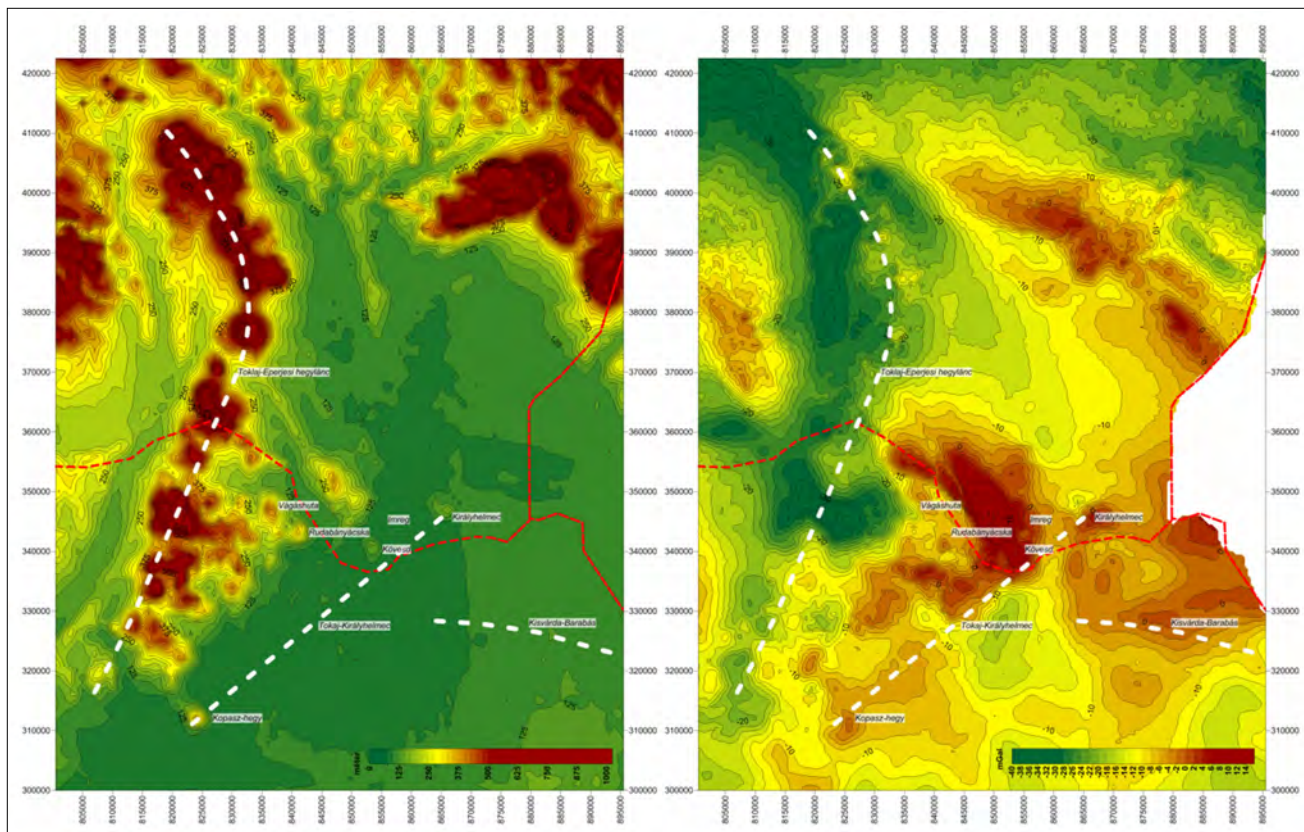
dier vulkáni képződményekből áll, legfőképpen andezitből, mivel a környezetétől jelentősen eltérő mágnesezettségű zónaként rajzolódik ki.

2.1.9. Kisvárdai–Barnabás

Ez a Ny–KDK irányú vonulat sem látszik már a Nyírség területén a domborzati térkép (19. ábra, balra) alapján. A gravitációs Bouguer-anomália-térkép (19. ábra, jobbra) alapján egyfajta választófelületként azonosítható, de a vonaltól É-ra egy gyűrűs gravitációs anomália rajzolódik ki, amely formája alapján akár vulkányszerkezet is lehet. A vonulatot a mágneses adatok megjelenítéséből (20. ábra), illetve azok adatfeldolgozásából azonosítottuk (Kiss et al. 2019, Kiss 2021B). A mágneses vonulat szép ív mentén beleszalad a Kárpátok Ny-i előhegységeként megjelenő andezites hegységvonulatba.

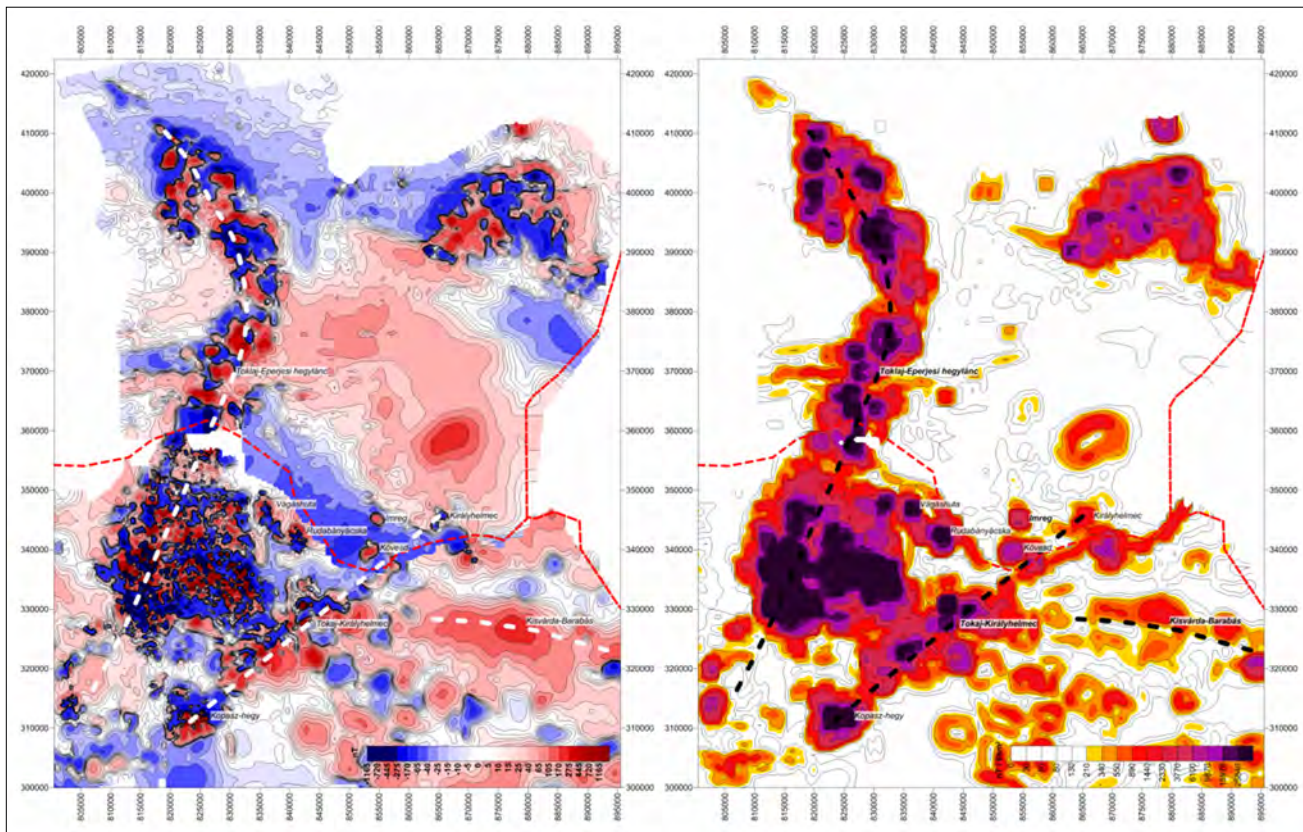
2.1.10. Hajdúdorog–Tarpa

Ez a hasadékvulkán Tokaj–Királyhelmececs vonulattal (DNy–ÉK) majdnem párhuzamosan fut, de ez egy nagyobb mélységű vulkáni vonulat a Nyírségben (21. ábra). Mindkettő irányítottága a Közép-magyarországi Zóna irányának felel meg, s mindkét vonal hirtelen ér véget a határon túl, valahol Kárpátalja területén (elhal a TESZ-nek megfelelő irányú földtani szerkezetekben). A hasadékvulkán vagy egy vonal mentén megjelenő vulkáni



19. ábra | A Tisza–Bodrog régió (TIBREG) terület domborzata (balra) és Bouguer-anomália- (jobbra) térképe rajta a lokális vulkáni kúpok és a vulkáni vonulatok (Tokaj – Kopasz-hegy, Vágáshuta, Rudabányácska, Imreg, Kövesd, Királyhelmececs, Tokaj-Eperjesi hegylánc, Tokaj-Királyhelmececs, Kisvárdai-Barnabás)

Figure 19 | Topographic relief (left) and Bouguer anomaly (right) map of the Tisza–Bodrog region (TIBREG) showing local volcanic cones and fissure volcanic ranges (Tokaj – Kopasz Hill, Vágáshuta, Rudabányácska, Imreg, Kövesd, Királyhelmececs, Tokaj-Eperjesi mountain range, Tokaj-Királyhelmececs, Kisvárdai-Barabás)



20. ábra A Tisza–Bodrog régió (TIBREG) terület mágneses ΔT anomália- (balra) és mágneses változékonysági térképe (jobbra) rajta a lokális vulkáni kúpok és a hasadékvulkáni vonulatok (Tokaj – Kopasz-hegy, Vágáshuta, Rudabányáscka, Imreg, Kövesd, Királyhelmecek, Tokaj–Eperjesi hegylánc, Tokaj–Királyhelmecek, Kiszvárd–Barabás)

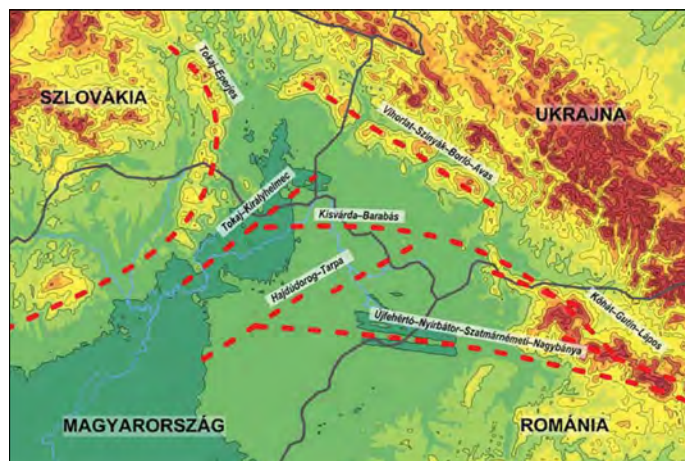
Figure 20 Magnetic ΔT anomaly (left) and magnetic variability map (right) of the Tisza–Bodrog region (TIBREG) showing local volcanic cones and fissure volcanic ranges (Tokaj – Kopasz Hill, Vágáshuta, Rudabányáscka, Imreg, Kövesd, Királyhelmecek, Tokaj–Eperjesi mountain range, Tokaj–Királyhelmecek, Kiszvárd–Barabás)

kúpok sorozata mindenképpen nagyszerkezeti kapcsolatot, mélytöréseket jelent az adott területen. Ezt mutatja a 22. ábra, amelyen a Ny-i irányból a kitérképezett nagyszerkezeti vonalak (Haas et al. 2010, 22. ábra, piros vonalak) folytatásaként jelennek meg a főleg mágneses anomáliák alapján azonosított hasadékvulkáni vonulatok (22. ábra, fekete szaggatott vonalak).

A vonalak túlnyúlnak az országhatáron (Kiss 2021B), de a határon túl az elérhető geofizikai (mágneses) adatok rossz felbontása miatt az azonosításuk bizonytalan.

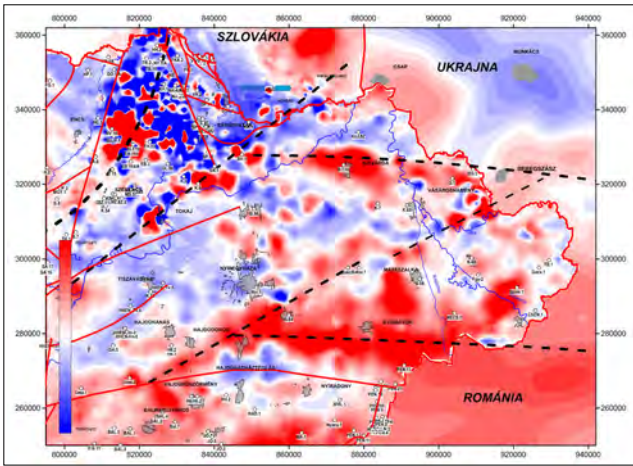
2.1.11. Nyírbátor–Nagybánya

Ez a hasadékvulkáni vonulat a Hajdúdorog–Tarpa vonalból indul Hajdúhadház magasságában, és a Kiszvárd–Barabás



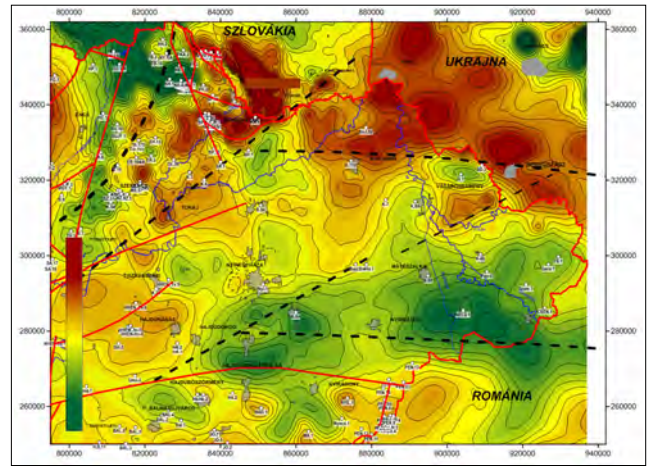
21. ábra ÉK-Magyarország és környezte domborzati térképe, rajta az ismert és eltemetett miocén vulkáni képződmények vonulatai (piros szaggatott vonal). A vonulatot a mágneses-anomália-térkép (Tokaj–Eperjes, Tokaj–Királyhelmecek, Kiszvárd–Barabás, Hajdúdorog–Tarpa, Újfehértó–Nagykálló–Nyírbátor–Szalmánémeti–Nagybánya mágneses-anomália-vonulatok) és a domborzati adatok alapján lehet beazonosítani (Kiss 2021B)

Figure 21 Topographic map of North-Eastern Hungary and its surroundings, it's showing the outlines of known and buried Miocene volcanic formations (red dashed line). The lineaments can be identified based on the magnetic anomaly map (Tokaj–Eperjes, Tokaj–Királyhelmecek, Kiszvárd–Barabás, Hajdúdorog–Tarpa, Újfehértó–Nagykálló–Nyírbátor–Szalmánémeti–Nagybánya magnetic lineaments) and on the topographic data (Kiss 2021B)



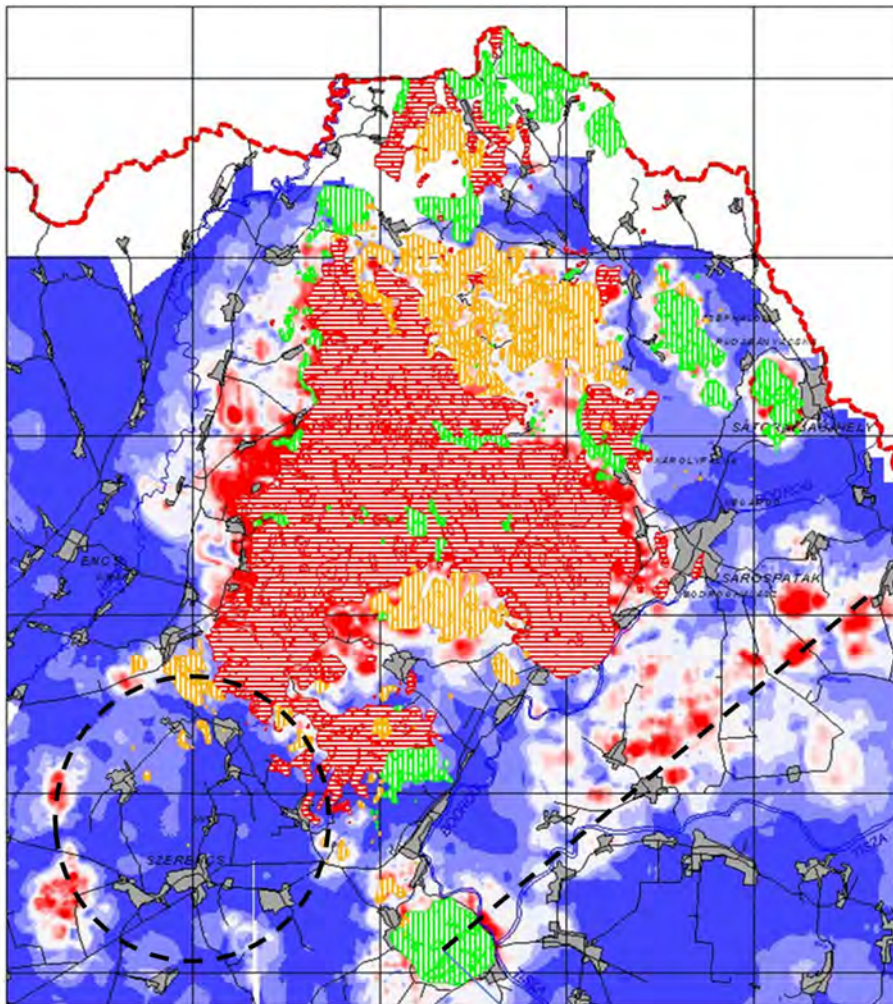
22. ábra Nagyszerkezeti vonalak (piros), hasadékvulkáni vonulatok (szaggatott fekete) a mágnesesanómália-térképén

Figure 22 Major structural lines (red), fissure-volcanic lines (dashed black) on the magnetic anomaly map



23. ábra Nagyszerkezeti vonalak (piros), hasadékvulkáni vonulatok (szaggatott fekete) a Bouguer-anómália-térképén

Figure 23 Major structural lines (red, Haas et al. 2010), fissure-volcanic lines (dashed black) Bouguer anomaly map



24. ábra A Tokaji-hegység felszíni vulkanitjai sraffozással (piros – andezit, zöld – dácit, narancssárga – riolit) a mágneses térgradiens térképén. Piros színnel megjelennek az eltemetett helyzetű, felszínközeli bázisos, intermedier lávaközetek is (andezit, dácit, bazalt) a bodrogszék hasadékvulkán és a Szerencsi-kaldera pereme mentén (szaggatott vonallal jelölve)

Figure 24 Surface volcanic rocks of the Tokaj mountains with hatching (red – andesite, green – dacite, orange – rhyolite) on the magnetic analytical signal (spatial gradient) map. Intermediate lava rocks (andesite, dacite, basalt) with buried near-surface basement are also shown in red on map along the rim of the Bodrogszék fissure volcano and the Szerencsi caldera (indicated by dashed lines)

szerkezettel párhuzamos Ny–KDK irányú lefutást mutat. A Bouguer-anomália-térképen (23. ábra) e vonal mentén jelentős minimumokat azonosíthatunk, mint pl. Nyíregyháza-D és Nagyecsed, amelyek savanyú kemizmusú vulkáni robbanásos kitorési központoknak értelmezünk (Kiss 2022). Ez a vonal kifut a K-Kárpátok vulkáni vonulatába Nagybánya magasságában.

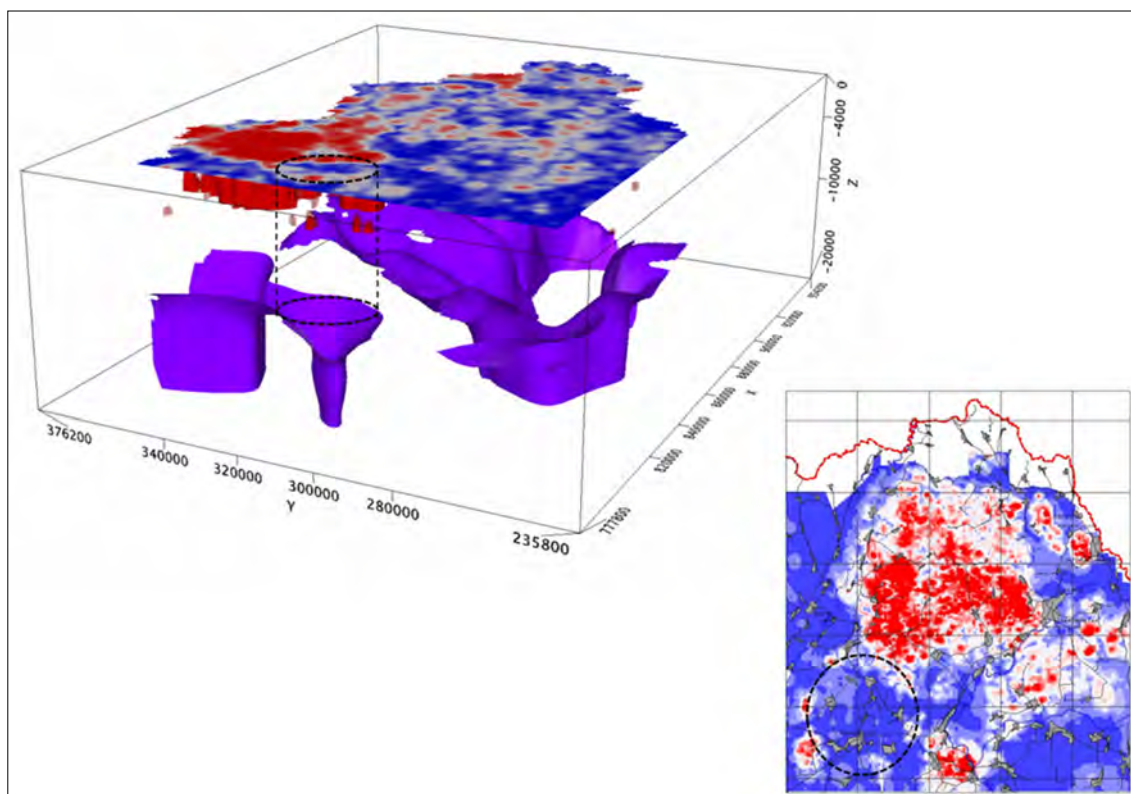
2.1.12. Szerencsi-kaldera

A 2000-es évek elején egy OTKA-téma kapcsán kezdtünk el részletesen foglalkozni a Tokaji-hegység adatainak összegyűjtésével és feldolgozásával. Ennek keretében a légi mágneses adatokat is elővettük. A hegység földtani térképének felszíni vulkanitelterjedése (Gyarmati 1977) és az általunk elkészített mágnesestérgradiens-térkép (24. ábra) jó egyezést mutatott. A térkép fedett részein a felszínközélnben található, de már eltemetett helyzetű vulkanitokat is jelzett a feldolgozás, amely a 24. ábra térképén piros színű foltokkal jelenik meg a Bodroghözben és Szerencs körzetében. Az előbbi egy hasadékvulkáni vonulat (bazalt, andezit), az utóbbi a Szerencsi-kaldera peremén elhelyezkedő bázisosabb vulkanitokat (andezit, dácit) jelzi.

A Szerencsi-kaldera mély gyökérrészét a relatív sűrűségi térrács egyik minimumfelülete alapján sikerült beazonosítani, amely szinte pontosan a mágneses anomáliagyűrű alatt jelentkezik (25. ábra). A Szerencsi-kaldera felett áthaladt a CEL04 litoszférakutató szeizmikus szelvény.

vény ismertetése a nyírségi munka keretében már megtörtént (Kiss 2021A), de a 3D relatív eloszlások miatt célszerű volt azt elővenni. A 26. ábra (felülről a második része) mutatja a „sebességanomália”-szelvényt, azaz a szeizmikus sebességeloszlás és a mélységgel bekövetkező átlagos sebességnövekedési trend eltéréseinek mértékét. A medencealjzat vagy a nagy sebességű fedőlávák megemelkedett sebességű szintjében (2600–4500 m/s, 4–7 km mélységtartományban) szakadások jelentkeznek, az egyik 28 vkm-nél, a másik 43 vkm-nél, ahol az átlagos sebesség menettől való eltérés lecsökken, ablakot nyitva az alsó kéreg felé.

A légi mágneses mérési adatokon (26. ábra, legfelül) a kalderaperemi lávakúpok hatása maximumok formájában jól látszik a szelvény nyomvonalában a térgradiensértékek lefutásában. Az ábra alapján látszik, hogy mágneses anomáliák csak 28, 46 és 53 vkm-nél jelentkeznek. A sebességanomália-maximumok bontása emiatt bizonytalan, mert a savanyú lávaképződmények és a kristályos üledékes kőzetek hasonlóan jelenhetnek meg. Az intermedier vagy bázisosabb képződmények a törések mentén kisebb térfogattal és inkább függőlegeshez közeli geometriával jelentkeznek. A mágnesezettségi mélységmetszet (26. ábra, középen) alapján a feláramlási zóna (kürtő) helyzete nem függőleges, hanem északias dőlésű, feltételezve, hogy a lávaképződményeknek csak indukált mágnesezettségük van. A Naudy-féle hatókijelölés mutatja a bázisos lávaképződmények legvalószínűbb helyzetét. A sűrűségi mélységmetszetek (26. ábra, alul) szintén maximumot jeleznek a mágneses



25. ábra A relatív sűrűségi térrács izofelületének és a mágnesestérgradiens-anomáliáknak a kapcsolata a Szerencsi-kaldera esetén

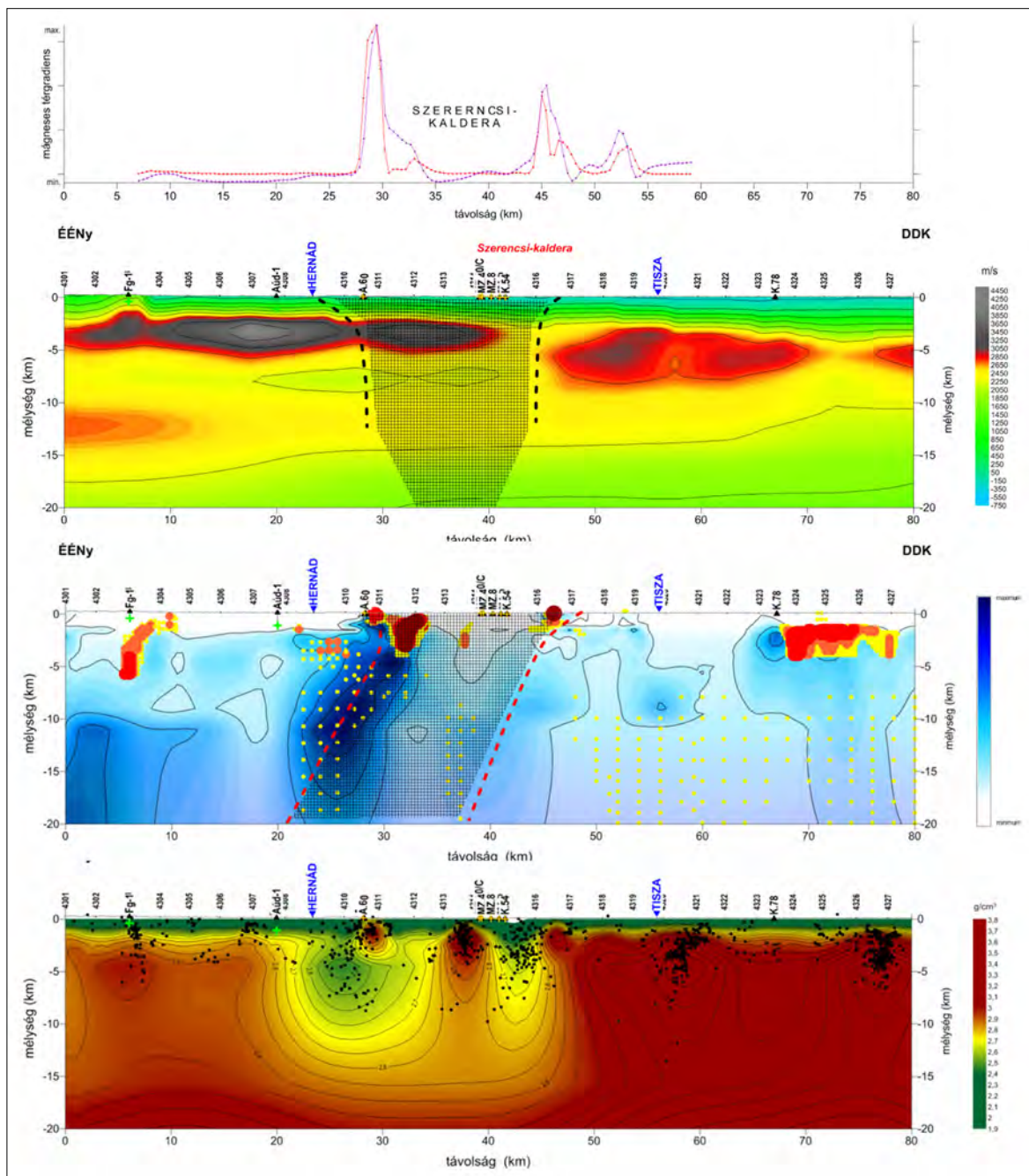
Figure 25 Relation between the surface of relative density voxel and magnetic analytical signal (spatial gradient) anomalies at the Szerencs caldera

hatóknál, köztük viszont mély, csökkent sűrűségű zóna rajzolódik ki.

2.1.13. Telkibánya–Gönc

Telkibányával korábban már foglalkoztunk (lásd 15., 19. és 20. ábra). A terület Bouguer-anomália-térképén, Telkibánya felett jól látszik a lokális gravitációs maximum, amelyet

szinte minden oldalról minimumok vesznek körül (19. ábra). Egy szűkebb területre a spektrális szűrések alapján két különböző mélységszintet is megjelenítettünk háromdimenziós kép formájában (15. ábra). Ez szintén mutatja a kirobbanásos kaldera miatt kialakult nagyméretű gravitációs minimumot, amelynek a közepében – feltételezhetően egy újabb kitörés következtében – centrális vulkáni kúp alakult ki.



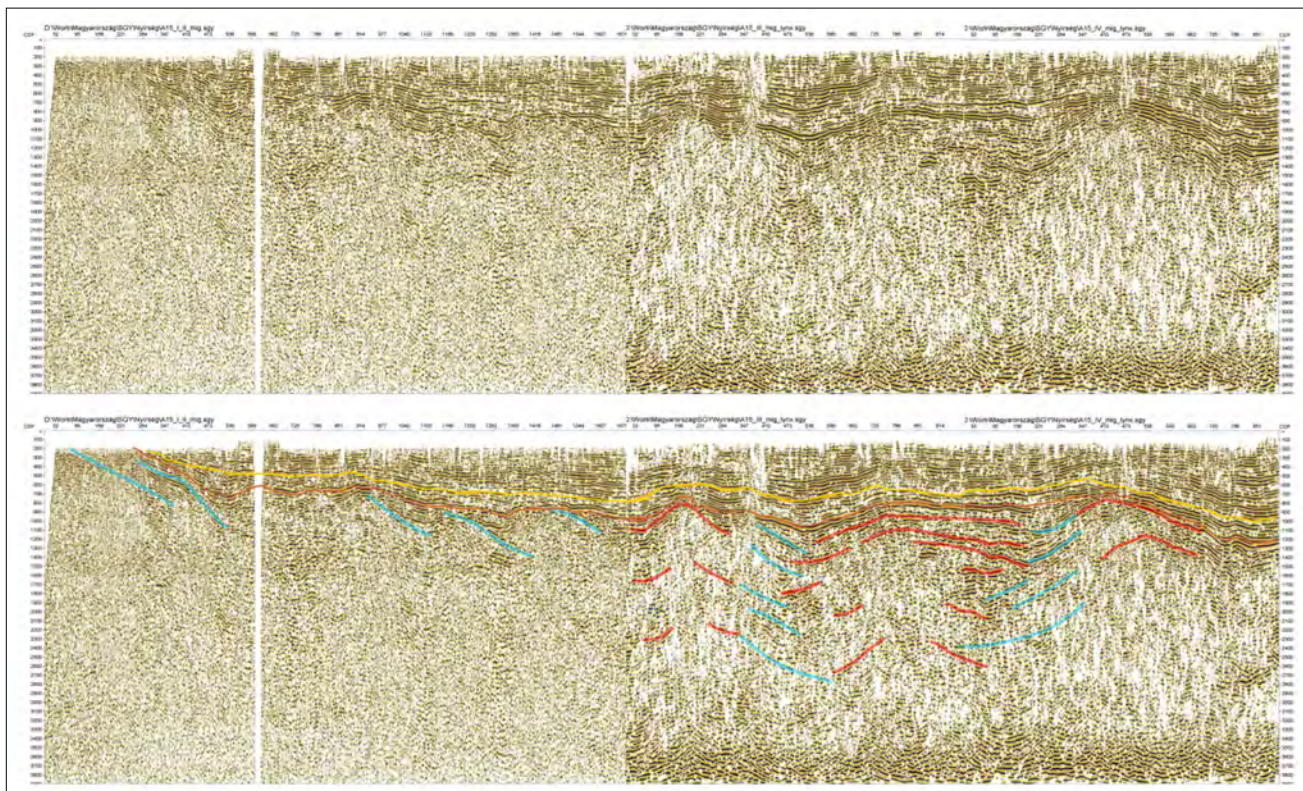
26. ábra A Szerencsi-kaldera feltételezhető helyzete (szaggatott vonallal) a CEL04 „sebességanomália” mélységszelvényen az anomáliagörbékkel (felül), a mágnesezettségi mélységszelvényen a Naudy-féle hatókijelöléssel (középen) és a sűrűségi mélységmetszet a gravitációs hatókijelöléssel (alul) – a nyomvonalat az 27. ábra mutatja

Figure 26 The assumed location of the Szerencsi caldera (dashed line) on the CEL04 “velocity anomaly” depth section with the anomaly curves (top), the magnetization depth section with the Naudy influence (middle) and the density depth section with the gravity influence (bottom) – the trace is shown in Fig. 27

2.1.14. Nyiregyháza-D

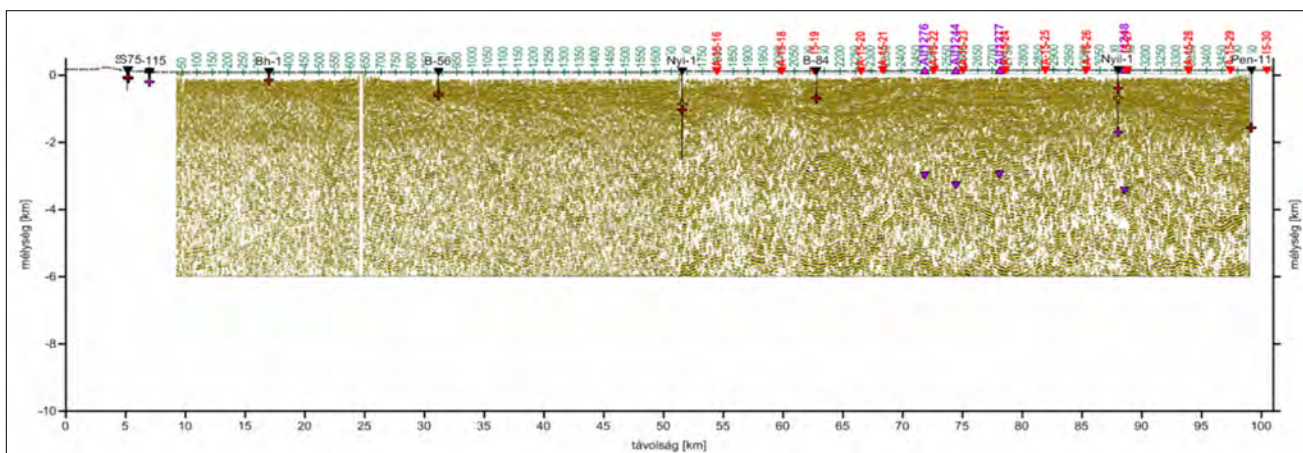
A Nyi-1 mélyfúrás 1600 m vastagságban fűrt vulkanitot a fúrás talpig (3579 m), azaz durván 2000 m-től már összefüggően vulkanitok vannak (ebből mindössze ~200 m az andezit). Ez a fúrás a gravitációs minimumzóna peremén van, azaz a vulkáni tufakitöltés lehet az egyik oka a minimumzónának. A szeizmikus reflexiós adatok alapján érződik egy depressziós süllyedék

a gravitációs minimummal azonos helyzetben (27. ábra, Kiss et al. 2019), bár a kürtő- vagy kalderaperem a szeizmika behatolási (fókuszálási) mélységénél nagyobb mélységbe tehető, s ezért nem látszik csak a teteje. A szeizmikus szelvénynek elkészült a mélységi változata is (28. ábra), amelyet újra elövetünk és a sűrűségi (29. ábra) és mágneszettségi mélységmetset (29. ábra), valamint a Naudy-féle hatókijelölés alapján (30., 31. ábra) újraértelmeztünk.



27. ábra | Az A-15 szeizmikus reflexiós összehajtogatott időszelvények felül és egy értelmezett változat alul, rétegszerű reflexiókkal a pannon alatt (kék vonal) és szubvulkáni formára utaló reflexiókkal (piros vonal) (Kiss et al. 2019)

Figure 27 | Seismic reflection A-15 with stitched time sections at top and an interpreted version at bottom, with strati form reflections beneath the Pannonian (blue line) and reflections indicative of subvolcanic form (red line) (Kiss et al. 2019)



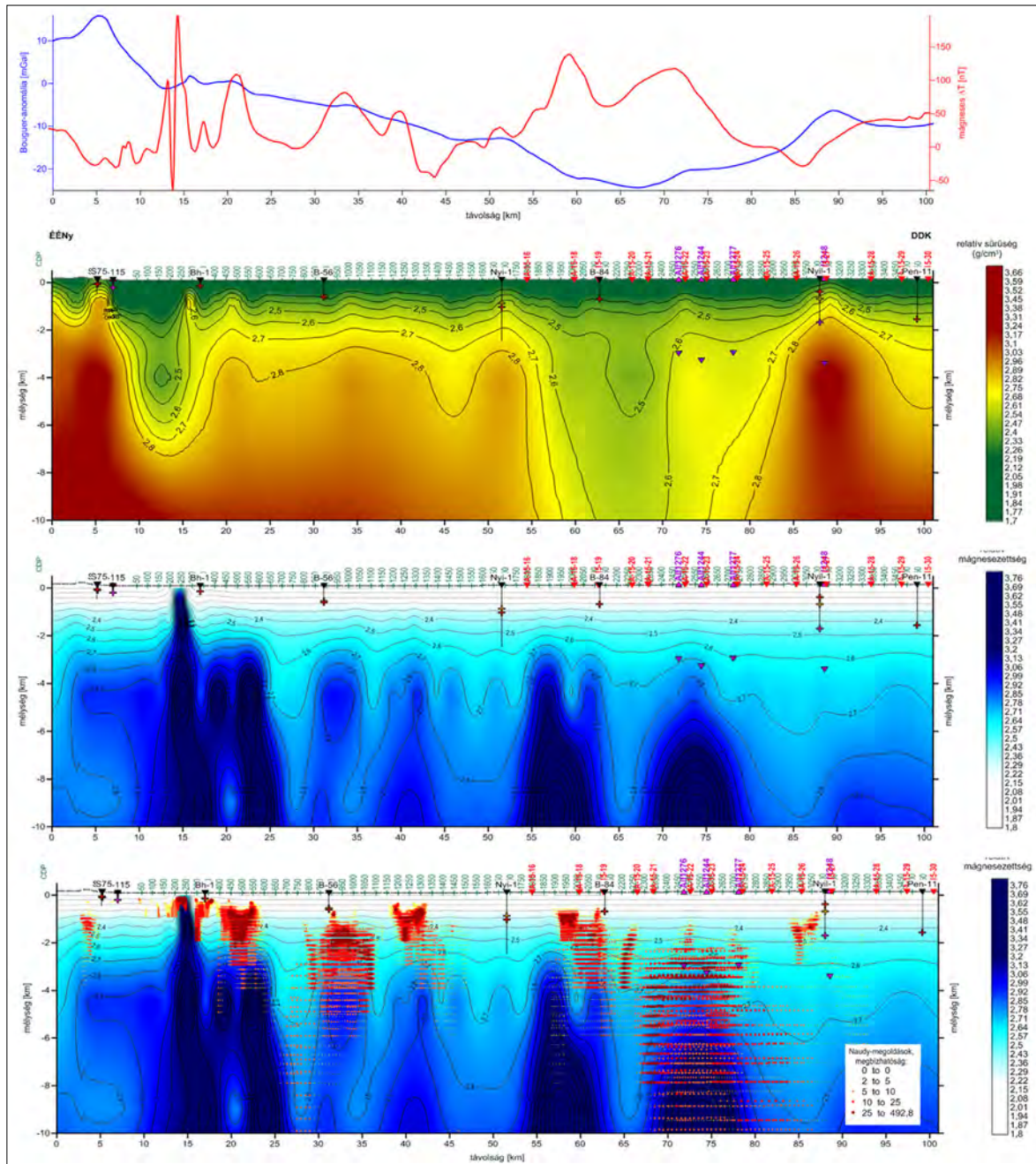
28. ábra | A-15 szeizmikus reflexiós mélységszelvény fúrásokkal, VES szondázások nagy ellenállású szintjével (lila színnel) és szeizmikus CDP pontokkal (zöld színnel)

Figure 28 | A-15 seismic reflection depth section with boreholes and VES soundings with high resistivity level (in purple) and seismic CDP points (in green)

2.1.15. Nagyecsed

Sajnos a Nagyecsed-kaldera feltételezett helyén, azaz a gravitációs minimumon nem halad át újkori, digitálisan is elérhető szeizmikus szelvény, noha a korai szeizmikus mérések (Bodoky et al. 1974, Bodoky et al. 1977) lefedték ezt a területrészt is,⁴⁾ sőt a Necs-1 fúrás lemélyítése előtt a geofizika a mérési eredmények alapján vulkáni kürtőt valószínűsített.

A DNY-ÉK irányú XA-16b szelvény a szerkezet peremén fut, az ÉÉNy-DDK irányú Me-8 szelvény pedig, É-i irányból ráfut a szerkezetre, de csak a középponti lokális maximumig ér el, így a teljes szerkezetet nem tudjuk nyomon követni, így csak a kaldera peremtől a kaldera közepig van esély az azonosításra (32. ábra). Az Me-8 szelvény nyomvonalában van a Necs-1 mélyfúrás (CDP = 850, a nyomvonalától DNY-ra 1,4 km-re), amely majd 3 km vastag miocén vulkanitot harántolt a pannóniai összletek alatt.



29. ábra A-15 szelvény relatív sűrűségi mélységmetszet fúrásokkal és felettük az gravitációs- és mágnesesanomália-görbék – felül, a szelvény relatív mágnesezettségi mélységmetszete fúrásokkal – középen, szelvény relatív mágnesezettségi mélységmetszet fúrásokkal, VESZ szondázások nagy ellenállású szintjével (lila színnel) és szeizmikus CDP pontokkal (zöld színnel) és a Naudy-féle hatókijelölés eredményeivel – alul

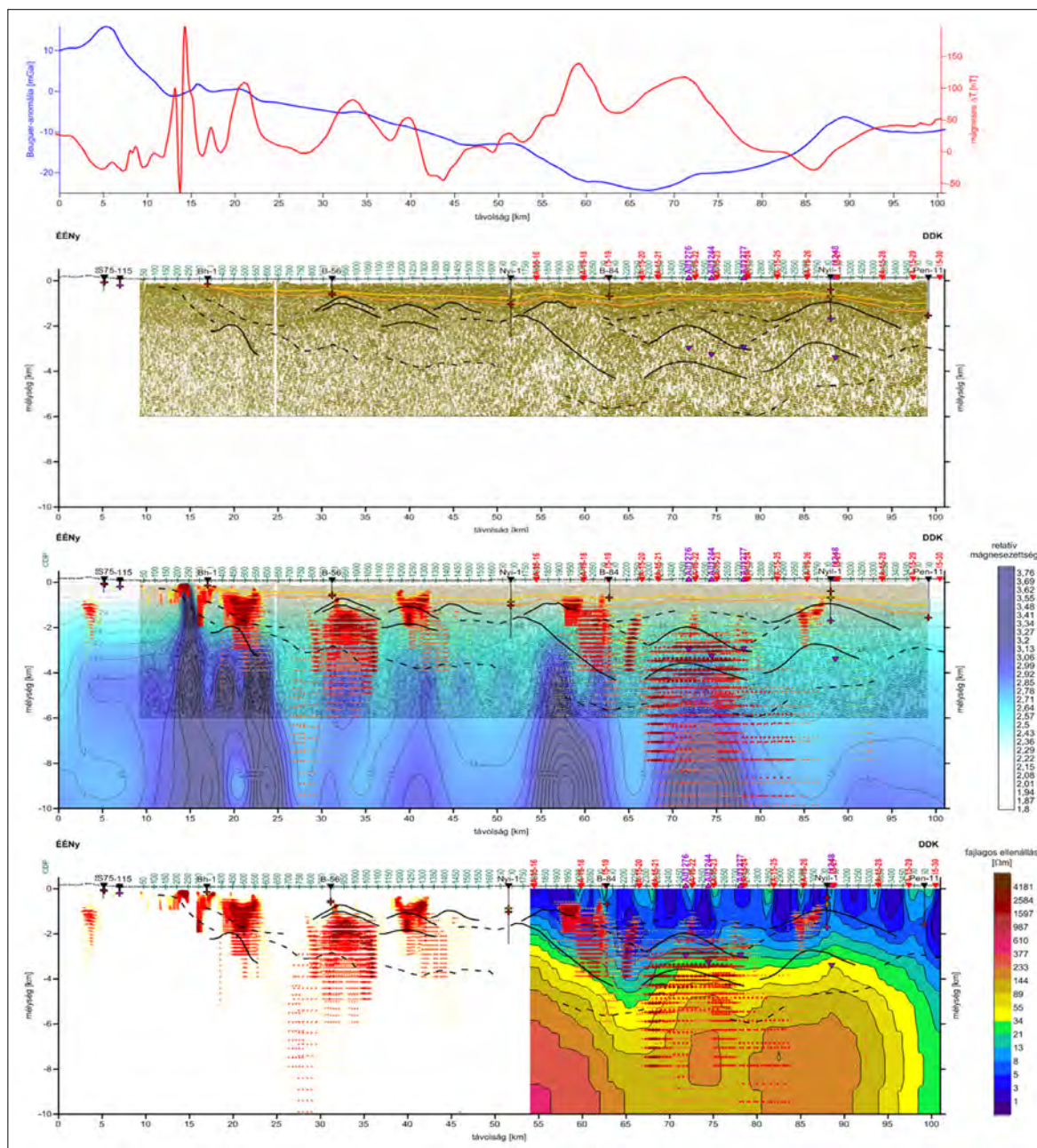
Figure 29 A-15 relative density depth section with boreholes – middle, relative magnetisation depth section with boreholes, high-resistivity level of VES soundings (in purple) and seismic CDP points (in green) with the Naudy’s deconvolution results – bottom

A vulkáni összlet vastagsága alapján és a háromdimenziós relatív sűrűségmodell formája alapján ez egy vulkáni kalderaszerkezet. A kérdés az, hogy a szeizmikus mérések behatolási mélysége és a reflexiók kép alapján meg tudjuk-e erősíteni ezt az értelmezést szelvénymenti feldolgozás alapján.

Első lépésben az összes szeizmikus szelvény egységes értelmezését végeztük el (Lőrincz 2021), amelyben az Me-8

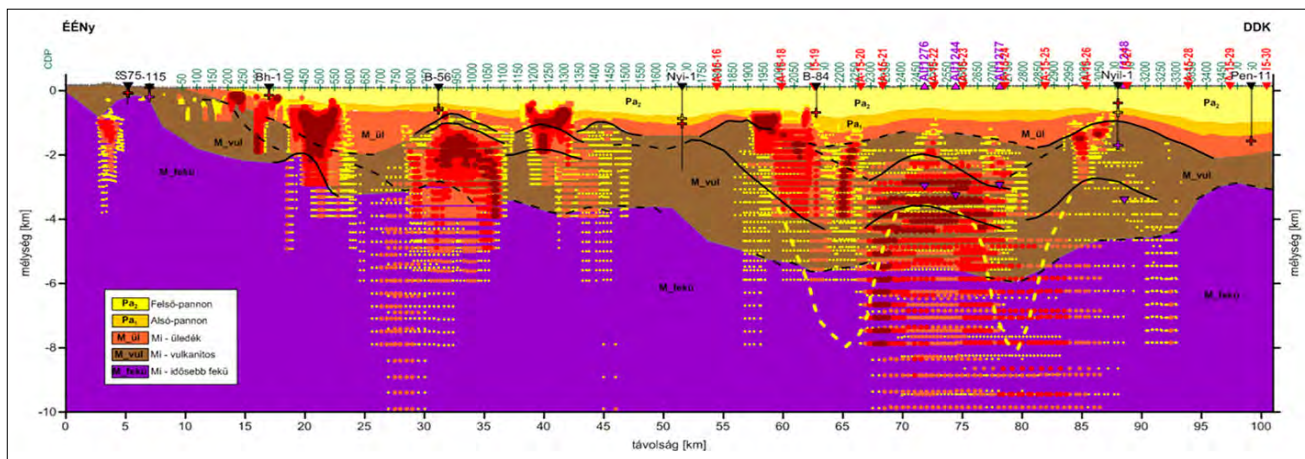
szelvény is benne volt (33. ábra, alul), amelyet később a sűrűségi és mágnesezettségi térmodell elkészítése után egy komplex, de egyszerűsített értelmezés követett (33. ábra, közép).

A gravitációs Bouguer-anomália-görbe (33. ábra, felül) alapján feltételezhető, hogy a nagy sűrűségű aljzat DDK irányban egyre mélyebbre kerül. Kimutatható egy ilyen lefutású reflexiók szint a szelvény elején 2500 ms-tól indul és



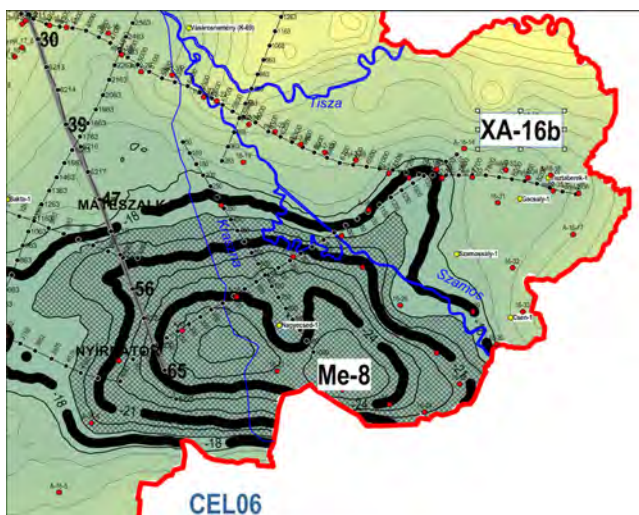
30. ábra A-15 szeizmikus reflexiók mélységszelvény fúrásokkal és a gravitációs- és mágnesezettségi görbékkel, néhány jellegzetes reflexió és pozitív (kupola) forma kiterjesztésével – felül; áttetsző színekkel a mágnesezettségi mélységszelvény és rajta a Naudy-féle hatókijelölés eredményei – középen, magnetotellurikus mérések fajlagos ellenállás mélységmetszete fúrásokkal. VESZ szondázások nagy ellenállású szintjével (lila háromszögek) és szeizmikus CDP pontok (zöld színnel), MT pontok (piros színnel) – alul

Figure 30 A-15 seismic reflection depth section with boreholes with gravity and magnetic anomaly curves, with some characteristic reflections and positive (dome) shapes twisted – top; in transparent colours, the magnetization depth section and Naudy's results – middle, magnetotelluric measurements with specific resistivity depth section with boreholes. VES probing with high resistivity level (purple triangles) and seismic CDP points (green colour), MT points (red colour) – bottom



31. ábra A-15 szelvény az értelmezett földtani szintekkel, néhány jellegzetes reflexióval (fekete vonal), a magnetotellurikus nagy ellenállású szinttel (sárga vonal) és a mágneses Naudy-féle hatókijelölés eredményével. A kalderaszerkezet a szeizmikus reflexiók, a mágneses hatók és a magnetotellurikus fajlagos ellenállások menete alapján is valószínűsíthető 55–90 vkm között

Figure 31 A-15 section with the interpreted geological levels, some characteristic reflections (black line), with the magnetotelluric high resistivity level (yellow line) and the result of the magnetic Naudy's interpretation results. The caldera structure is also plausible based on the sequence of seismic reflections, magnetic effects and magnetotelluric resistivity between 55–90 vkm



32. ábra Az XA-16b és a Me-8 szeizmikus szelvények nyomvonala a nagyecsed-i gravitációs minimumon

Figure 32 Trace of the seismic sections XA-16b and Me-8 at the gravity minimum of Nagyecsed

a reflexiók szelvényéig 4000 ms (14,5 vkm-ig) követhető. Az előzetes értelmezésben (2021) ez a szint szintén megjelenik, de részben a miocén összletek tetejeként, részben nagy sűrűségű aljzatként, részben vulkáni rétegeként. Az Me-8 szelvény rövid, és nem a mély vulkanitokra volt fókuszálva, ezért a szintet nem tudjuk végig követni, mivel mélyebben fut, és csak a kaldera É-i peremét fedi le. 22–23 km-nél látszik egy vulkáni (sztratovulkáni?) kúp (1000 m-től), amelyet a Necs-1 mélyfúrással részben fel is tártak. Az Me-8 szelvény egy rövid szelvény, így eddig ezzel a szelvényrel a téma keretében részletesen nem foglalkoztunk, ezért annak mélység-szelvény-változata sem készült el. Az értelmezett időszelvény két változatát a 33. ábra mutatja.

3. Összefoglalás

Komplex adatfeldolgozás és adatmegjelenítés segítségével vizsgáltuk az eltemetett vulkáni képződményeket és a felettük kialakuló geofizikai erőtereket. Először a térképi adatokat elemeztük (Kiss et al. 2019), amelyek segítettek az összefüggő földtani formációk, szerkezetek térbeli követésében, azonosításában, majd spektrálanalízissel mélyégi szelektálást végeztünk a gravitációs és mágneses adatokon. Relatív sűrűségi és mágnesszeti térácst készítettünk az adatok felhasználásával (Kiss 2022), amelyek alapján vulkánmorfológiai elemeket lehetett azonosítani. Ezután a mért geofizikai szelvények értelmezési és feldolgozási eredményeit vetettük össze ott, ahol a háromdimenziós rács alapján intruzív vagy effuzív vulkáni képződményeket értelmeztünk. A szelvények mentén különböző geofizikai módszerek (gravitáció, mágnesség, szeizmika, magnetotellurika), különböző fizikai paraméterek és különböző automatikus feldolgozási eljárások segítségével ellenőriztük a vulkáni képződmények legvalószínűbb helyeit.

Feldolgozási tapasztalataink alapján a vulkáni lávaképződmények megjelennek a szeizmikus reflexiók képben, de csak a szeizmika alapján bizonytalan a beazonosításuk. Az intermedier és bázisos magmás képződmények mágneses hatásuk alapján azonosíthatók, a savanyú magmás képződményeknél bonyolultabb a helyzet, mert csak szerencsés esetben, a képződmények morfológiája alapján azonosíthatóak, ami még több módszer alkalmazása esetén is bizonytalannak tűnik.

A relatív sűrűségi és mágnesszeti térácst alapján kimutatott szerkezeteket (Kiss 2022) a szeizmikus szelvények mélységtartományában azonosítani tudtuk, de néhány szerkezet a szelvények behatolási mélységnél nagyobb mélységben található/azonosítható. A magnetotellurika is képes kimutatni elsősorban a lávaképződményeket.

nyeket, illetve a nagyobb eltemetett kalderaszerkezeteket a megnövekedett, illetve lecsökkent fajlagos ellenállás alapján. A vulkányszerkezetek kimutatásukhoz azonban el kell mélyedni a különböző adatfeldolgozások eredményeiben, meg kell találni a megfelelő megjelenítési módot és komplex módon értelmezni kell az előálló nagy mennyiségű adatot.

A feldolgozások az ELGI, MFGI, MBFSZ és SZTFH intézményein belül felgyülemlett adatok, módszertani tapasztalatok alapján a mélyföldtani (mélygeofizikai) kutatási program keretében készült 2022-ben.

A tanulmány szerzői

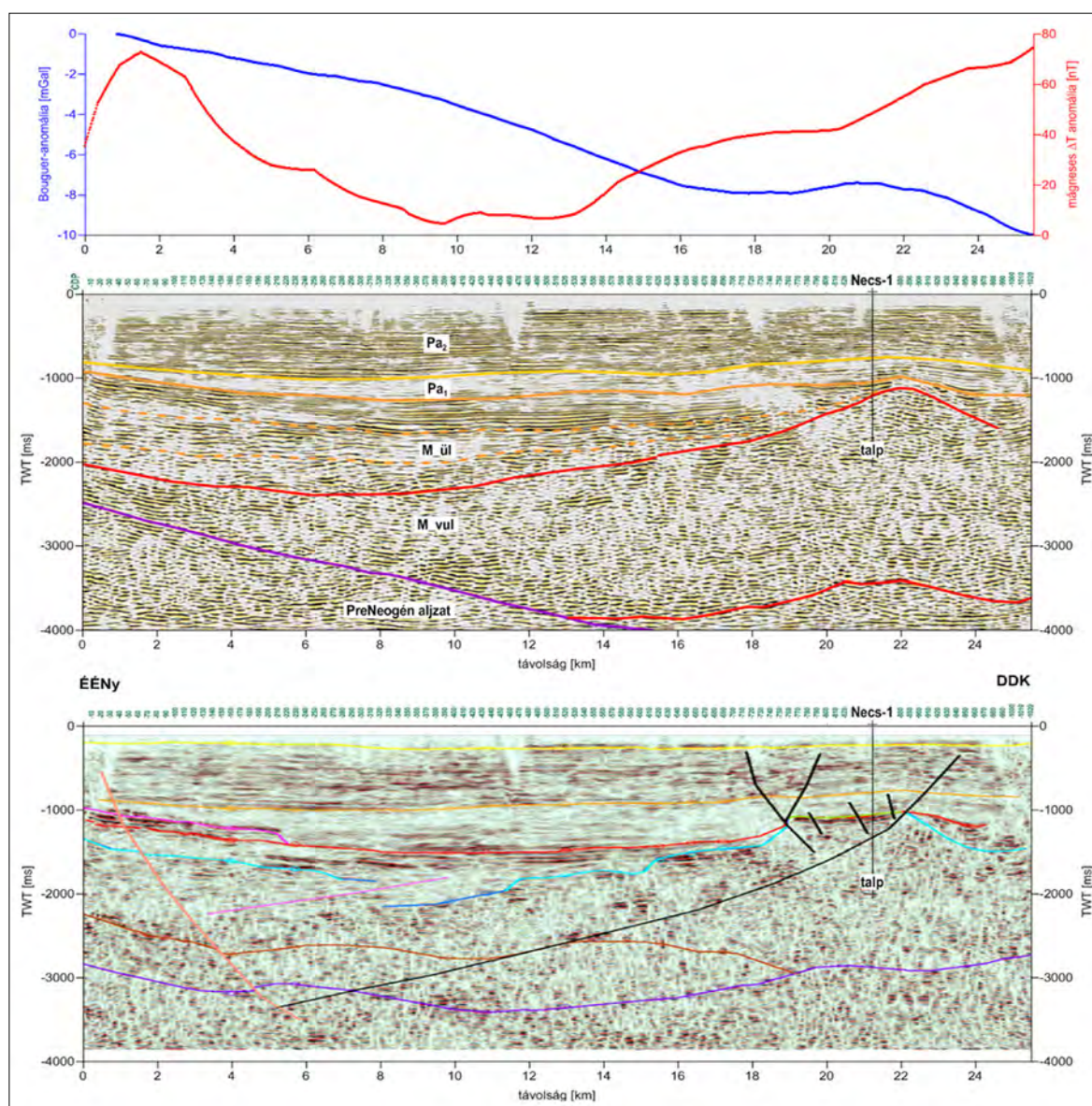
Kiss János, Cserkés-Nagy Ágnes, Lőrincz Katalin, Rádi Károly

Jegyzetek

- ¹⁾ vkm = vonalkilométer vízszintes távolság
- ²⁾ TESZ – Trans European Suture Zone
- ³⁾ sebességanomália – a szelvény mentén az átlagos sebességmenettől való eltérés mértéke (Δv paraméter)
- ⁴⁾ „Két nagyon régi olajos mélyrefrakciós szelvény, a BoR–3b és a BoR–16 pontosan a Necs–1 fúrásnál keresztelték egymást. A fúráson áthaladó ELGI-s No. 14/70 reflexiós szeizmikus szelvény nevezetessége, hogy ez volt a Magyarországon mért első többszörös fedésű (3×) szeizmikus szelvény.” (Bodoky Tamás)

Hivatkozások

Bodoky T., Hobot J., Jánvári J., Nemesi L., Polcz I., Szabó G.-né., Szeidovitz Gy.-né (1974): Jelentés a Nyírségben végzett áttekintő geofizikai mérésekről (1961–1973), MBFG Adattár



33. ábra Me–8 szeizmikus időszelvény értelmezett reflexiókkal. Részletes szeizmika alapján: Lőrincz Katalin, 2021 (alul), komplex adatok alapján egyszerűsített: Kiss János, 2022 (középen) gravitációs és mágneses anomáliagörbék (felül)

Figure 33 Me–8 seismic time section with interpreted reflections, based on detailed seismics interpretation by Katalin Lőrincz, 2021 – bottom, simplified interpretation based on complex data by János Kiss, 2022 – middle and gravity and magnetic anomaly curves – top

- Bodoky T., Jánvári J., Nemesi L., Polcz I., Szeidovitz Gy.-né (1977): Komplex geofizikai kutatások eredményei a Nyírségben. *Általános Földtani Szemle*, 10
- Guterch A. (2002): Central European lithospheric experiment based on refraction 2000, The Celebration 2000 seismic experiment. *Geologica Carpathica*, 53.
- Gyarmati P. (1977): A Tokaji-hegység intermedier vulkanizmusa. *Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve*, LVIII. p. 195.
- Haas J., Budai T., Csontos L., Fodor L., Konrád Gy. (2010): Magyarország pre-kainozoos földtani térképe, 1:500 000. (Pre-Cenozoic geological map of Hungary, 1:500 000). A Magyar Állami Földtani Intézet kiadványa, Budapest.
- Hajnal Z., Hegedűs E., Keller G. R., Fancsik T., Kovács A. Cs., Csabafi R. (2004): Low-frequency 3-D seismic survey of upper crustal magmatic intrusions in the northeastern Pannonian Basin of Hungary. *Tectonophysics*, 388, 239–252.
- Kiss J. (2021A): A szeizmikus litoszférakutató szelvények felhasználása a nyírségi kutatásokban. *Magyar Geofizika*, 62/2, 105–123.
- Kiss J. (2021B): Eltemetett vulkáni kitérés központ(ok) nyomában ÉK-Magyarországon. *Magyar Geofizika*, 62/3, 150–169.
- Kiss J. (2022): Relatív térbeli fizikai paraméter-eloszlások a Nyírség és a Tokaji-hegység területén, Eltemetett vulkánmorfológiai elemek kimutatása gravitációs és mágneses mérési adatok alapján. *Magyar Geofizika*, 63/1, 1–17.
- Kiss J., Cserkész-Nagy Á., Zilahi-Sebess L., Rádi K., Vértesy L., Gulyás Á., Bauer M., Takács E., Gúthy T., Orosz L., Deák Zs. V., Paszera Gy. (2019A): GOFO-5 Mélyföldtani kutatások geofizikai módszerekkel (2019. évi jelentés), MBFG Adattár, Kézirat, p. 58.
- Kiss J., Vértesy L. (2020): A potenciáltér-anomáliák paraméterfüggősége és spektrális mélységmetszetek. *Magyar Geofizika*, 61/1, 8–18.
- Kiss J., Vértesy L., Gulyás Á. (2017): Földmágneses esettanulmányok a Balatonfelvidékről, a Duna–Tisza közéről és a Tokaji-hegység területéről. *Magyar Geofizika*, 57/4, 126–151.
- Kiss J., Vértesy L., Rádi K., Takács E., Detzky G., Füsi B., Gulyás Á., Paszera Gy., Deák Zs. V., Bauer M. (2018): Mélyföldtani kutatások geofizikai módszerekkel (2018. évi jelentés), MBFG Adattár, Kézirat, p. 89.
- Kiss J., Vértesy L., Zilahi-Sebess L., Takács E., Gulyás Á. (2019B): A Nyírség geofizikai kutatása. *Magyar Geofizika*, 60/3, 103–130.
- Kiss J., Zelenka T. (2009): Geological features, geophysical measurements and interpretation at the Telkibánya research area. In: *Geosciences, Telkibánya Geology, Proceedings of the University of Miskolc, Series A, Mining, Vol. 78*
- Lőrincz K. (2021): A Nyírség szeizmikus értelmezése, p. 6., Kézirat, Belső tanulmány, MBFSZ
- Nemesi L., Polcz I., Szeidovitz Gy.-né, Stomfai R. (1996): ÉK-Magyarország vulkanikus kőzetei a geofizikai mérések alapján. *Magyar Geofizika*, 37/3, 130–142.
- Zelenka T. (2000): A Tokaji-hegység vulkáni szerkezeteinek távérzékeléses (úr- és légifotó) vizsgálatai. *Földtani Kutatás*, 37/4, 13–17.
- Zelenka T., Gyarmati P., Kiss J. (2012): Paleovolcanic reconstruction in the Tokaj Mountains. *Central European Geology*, 55/1, 49–84. DOI: 10.1556/CEuGeol.55.2012.1.4

Függelék

Szeizmikus attribútumok a nyírségi szeizmikus szelvények értelmezésében (Lőrincz 2021)

- *Envelope (burkoló)*: az amplitúdók burkolóját jeleníti meg, kiemeli a reflexiós képben megjelenő különbséget, a vulkanitok lehatárolására a legalkalmasabb attribútum, de a flis elkülönítését is elősegíti.
- *Average energy (átlagenergia)*: az egyes részekre jellemző reflexiós kép különbségét átlagolva mutatja meg, ezáltal segít ezek lehatárolásában – az aljzat kijelölésben volt hasznos.
- *Instantaneous phase (pillanatnyi fázis)*: a vonalas elemek folytonosságát emeli ki azáltal, hogy csak a jelek fázisát jeleníti meg, így a kis amplitúdójú reflexiók ugyanolyan erősen jelennek meg, mint a nagyok – a tektonika, diszkordanciafelületek kijelölésében hasznos eszköz.
- *Similarity (koherencia)*: ahol nem koherensek a jelek, vagyis kicsi a hasonlóság, ott ad nagy értéket – tipikusan ilyenek a vetők, tehát a vetők azonosításában hatékony.
- *Finite difference (jellegkülönbség)*: kiemeli az egyes részekre jellemző reflexiós jellegkülönbséget, így a vulkanitok/üledékek/flis lehatárolásában segít.
- *Relative acoustic impedance (relatív akusztikus impedancia)*: az akusztikus impedanciakülönbséget erősíti fel, ezáltal differenciáltabb reflexiós képet eredményez, a véges differenciánál is erőteljesebben elkülönülnek rajta a vulkanitok/üledékek/flis reflexiós jellemzői.
- *Paraphase (parafázis)*: vizuálisan ad használható képet az üledék/vulkanit/flis elkülönítésben.

Továbbá a nem attribútum jellegű eljárások:

- *Frequency filtering (frekvenciaszűrés eljárás)*: 5–10 ÷ 30–40 Hz sávszűrés alacsony frekvenciás felülvágással, a kis frekvenciás komponensek kiemelésére – egy letisztultabb reflexiós képet hoz létre, így a vulkanit/üledék elkülönítését és a Pannon feké alatti felületek értelmezését segíti.