

A Nyírség geofizikai kutatása*

KISS J.[@], VÉRTESY L., ZILAHÍ-SEBESS L., TAKÁCS E., GULYÁS Á.

Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (MBFSZ),
1145 Budapest, Columbus u. 17–23., Hungary.
[@]E-mail: kiss.janos@mbfsz.gov.hu

A nyírségi terület földtani szempontból az ország egyik legkevésbé ismert területe. Ez a nagyon vastag kainozoos üledékes összletnek és a benne megjelenő miocén vulkanitoknak köszönhető. A vastag (akár 5000 m) laza üledék miatt nem ismerjük a prekainozoos medencealjzat-képződményeket (a részletes megismerése mélyfúrással drága mulatság lenne), a változó összetételű és vastagságú miocén vulkanitok pedig, a geofizikai kutatásoknak jelentenek akadályt. A pannon képződmények alatt 1000–1500 m mélységben megjelenő vulkanitok leárnyékolják az alattuk lévő összleteket, így a geoelektromos és a szeizmikus mérések nem képesek pontos információt szolgáltatni a vulkáni összletek alól. A vulkanitok lehatárolása tehát döntő kérdés a Nyírségben, amíg ez nem történik meg, addig mindenféle földtani-geofizikai kutatásnak túl nagy a rizikója. Cikkünkben potenciáltér-adatokat felhasználva teszünk erre egy próbálkozást.

Kiss, J., Vértesy, L., Zilahi-Sebess, L., Takács, E., Gulyás, Á.: Geophysical research of Nyírség area

Nyírség is one of the geologically most unknown areas of the country. This is due to the very thick Cenozoic sedimentary deposit and the Miocene volcanites present in it. Due to the thick loose sediment (up to 5000 m) we do not know the pre-Cenozoic bedrock formations (detailed exploration by deep drilling would be an expensive affair), the Miocene volcanites of variable composition and thickness cause difficulties for geophysical research. Volcanoes appearing below the Pannonian sediments at depths of 1000–1500 m overshadow the subsets below them, so geoelectric and seismic measurements cannot provide accurate information under volcanic formations. Delimitation of volcanites is thus a decisive issue in the Nyírség, and until this is done all geological-geophysical research has a high risk. In this article we make an attempt based on potential field data.

Beérkezett: 2019. november 20.; *elfogadva:* 2019. december 15.

Bevezetés

A Nyírség földtani felépítése a széles körben elterjedt vulkáni összletek miatt máig nem teljesen tisztázott. Az egyes vulkáni képződmények elterjedésének, vastagságának meghatározására, a vulkanitok alatti összletek kutatására a mai napig nincs bevált kutatási gyakorlat, megbízhatóan alkalmazható módszeregyüttes. Így olyan a nyersanyagkutatási szempontból is lényeges kérdésekre, hogy vannak-e és milyen elterjedésben üledékes kőzetek a vulkanitok alatt, vagy hogy hol milyen felépítésű az aljzat, nincsenek kielégítő válaszok.

Ehhez sok adatra lenne szükség, de éppen e nehézségek miatt a máshol nagy mennyiségű adatot szolgáltató nyersanyagkutatás itt bizonytalan kimenetelű, ezért többszöri nekifutás ellenére is az eddigi kutatási adatok mennyisége, korszerűsége messze elmarad Magyarország más medenceterületeihez képest.

Jelenleg az általános földtani és vulkanológiai érdeklődés nem teremt elegendő okot (forrást) új adatokat is szolgáltatató kutatásokra. A korábbi, általános célú, állami finanszírozású országos geofizikai felmérések és a részleges ipari szénhidrogén-kutatás céljából végzett geofizikai méréseknek köszönhetően a meglévő archív (gravitációs, mágneses, szeizmikus, geoelektromos és légi geofizikai) mérési adatok feldolgozását új feldolgozási eszközökkel, komplex módon kíséreljük meg. Az MBFSZ „Mélyföldtani kutatások geofizikai módszerekkel” projektje keretében folyó munka eddigi eredményei lehetőséget ígérnek a bázisos-intermedier vulkáni testek korábbiaknál nagyobb pontosságú lehatárolására a mágneses és szeizmikus adatok alapján. Továbbá a savanyú vulkáni testek és tufák lehatárolása szeizmikus és gravitációs adatok alapján, valamint vastag miocén vulkanitok szeizmikus takarási zónájában a nagy szerkezeti határok detektálására gravitációs és mágneses adatok alapján.

Előzmények

A „Mélyföldtani kutatások geofizikai módszerekkel” projekt keretében 2005 óta dolgozunk fel archív regionális mélyföldtani és kéregkutató szelvényeket (Kiss 2005, Kiss 2009, Kiss és Madarasi 2012 és intézeti/szolgálati éves belső jelentések). A munka lényege új potenciáltér-feldolgozási eljárások alkalmazása és több geofizikai módszer adatának együttes komplex kiértékelése, értelmezése.

2012-ben értünk el a Nyírség területéhez. Kezdetben azokat a nyírségi regionális szelvényeket vizsgáltuk, amelyek mentén a gravitációs és mágneses adatok mellett, szeizmikus (pl. CEL04 litoszféra kutató szelvény) és/vagy magnetotellurikus szelvények (pl. A-18 szelvény) is rendelkezésre álltak. Viszonylag korszerű szénhidrogénipari szeizmikus szelvények váltak publikussá a nyírségi terület kutatási jogainak visszaadásával.

2017-ben a szelvények nyomvonala mentén mágneses adatokból egy automatikus feldolgozási eljárás, a Naudy-dekonvolúció (Naudy 1970, Naudy 1971, Kiss és Prácsér 2016) segítségével próbáltuk meghatározni az intermedier, illetve ennél bázisosabb lávaképződmények helyzetét.

Hogy miért csak az intermedier és az annál bázisosabb lávákat, miért nem az összes vulkáni képződményt próbáltuk kimutatni? A válasz banálisan egyszerű, csak a bázisos képződményeket lehet jelentős mágnesezettségük alapján egyértelműen azonosítani. Azaz sem a savanyú lávákat (pl. riolit), sem a vulkáni törmelékét nem lehet elkülöníteni mágneses paramétereik alapján a környező üledékes kőzetektől. A savanyú lávák a medencealjzat-képződményekkel mutatnak azonos/átfedő paramétereket, míg a tufás képződmények a laza törmelékes üledékes kőzetekkel. A savanyú lávák térbeli elhelyezkedése alapján, nagyobb sűrűségük miatt elvileg szintén kimutathatók, ha azok a laza üledékes összletben jelentkeznek, de ehhez először tudnunk kell az adott terület földtani felépítését (például a prekainozoos medencealjzat mélységét), amelynek a meghatározása még több geofizikai módszer együttes alkalmazása mellett sem egyszerű feladat a Nyírségben.

A szelvény mentén kapott, mágneses feldolgozási eredményeket összevetettük a területről rendelkezésre álló légi mágneses anomália-térképpel. Az anomáliák bipoláris jellege, a hatók felett kirajzolódó „mozaik” anomáliák a közvetlen összevetést, értelmezést nem teszik lehetővé. A feldolgozásokkal sikerült a bipoláris jelleget megszüntetni (alap- és szűrt térképek esetén egyaránt), valamint spektrálanalízissel és sávszűréssel három mélységtartománynak a mágneses hatását elkülöníteni. Ezzel lehetővé vált a mágnesesható-kijelölés szelvény menti és a térképi eredményeinek összevetése és együttes értelmezése.

A szelvény menti és térképi feldolgozások képet adtak a mágneses anomáliák lehetséges forrásairól, amit tovább kellett ellenőrizni a szeizmikus reflexiók, illetve geoelektromos szelvényeken. Ehhez a szeizmikus időszelvényeket át kellett alakítani mélységszelvényekké, hogy a feldolgozási eredmények összevethetők legyenek. A magneto-

tellurikus méréseket is elő kellett venni és újra feldolgozni, elemezni az E polarizációs és H polarizációs inverzió eredményeit és összevetni azokat.

Az újabb generációs (2001–2005) szeizmikus szelvények közül 10 db-ot újra feldolgoztunk, annak érdekében, hogy a preannon vulkáni összleteket is magukban foglaló képződmények jobban tagolhatók legyenek. A feldolgozások elkészültek, a szelvények értelmezése még nem teljesen.

Elkészítettük a szelvények mélységváltozatait is annak érdekében, hogy a potenciáltér-adatok térkoordinátákkal meghatározott hatói a szeizmikus reflexiók képpel összevethetők legyenek.

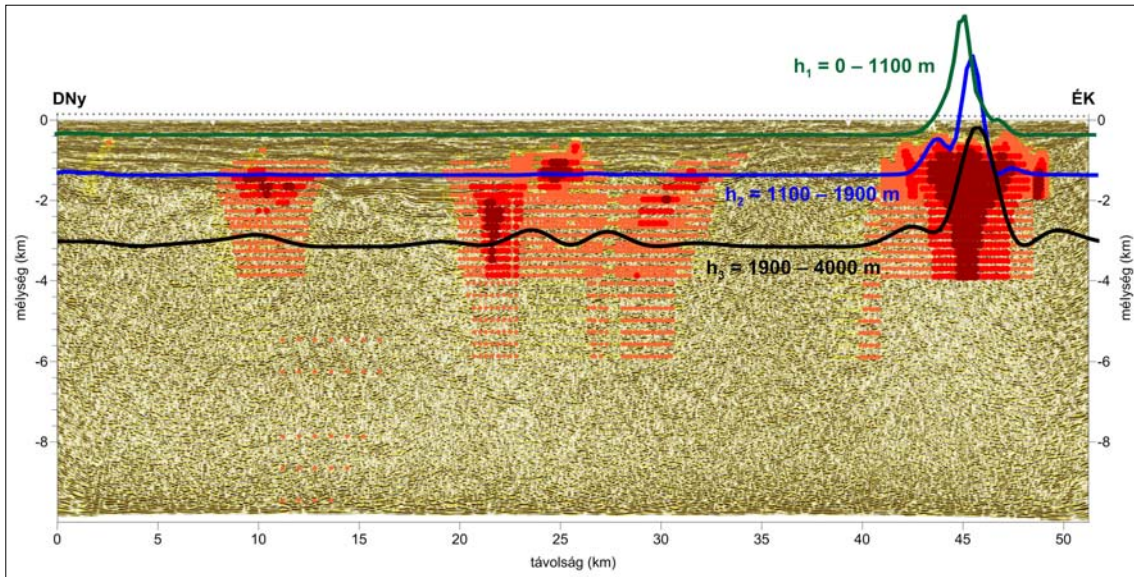
2018-tól a feladat a szeizmikus mélységszelvények és a szelvények mentén kapott Naudy-megoldások részletesebb összevetése volt, azaz a bázisos lávaképződmények beazonosítása a szeizmikus reflexiók kép alapján. Ezek a vizsgálatok rámutattak arra, hogy a kezdeti elképzeléseink helyesek voltak, és lokális mágneses hatókat, dajkokat, vulkáni benyomulásokat sikerült azonosítani a mágneses és szeizmikus adatok összevetésével a szelvények mentén, amit területileg kiterjesztettünk a transzformált mágneses térképek alapján.

A Mátészalka környéki feldolgozások rámutattak arra, hogy a 4–5 km-es vastagságú üledékes összlet vizsgálatára a gravitációs Bouguer-anomáliatérkép szűrésével (spektrálanalízis) kapott térképek a legalkalmasabbak. A szűrt Bouguer-anomáliatérkép (0–2000 m mélységtartomány hatása) jól használható az üledékes medence inhomogenitásainak a vizsgálatára, illetve az ebben a közegben (mélységben) megjelenő nem mágneses savanyú vulkáni lávaképződmények kimutatására, ilyen például a nagyecsed vulkáni összlet (Necs-1), amely 3000 m átfúrt vulkanit ellenére nem azonosítható a mágneses anomália térképen. A cikk nagyrészt ezeket a munkákat mutatja be dióhéjban.

„A puding próbája”

Hogy a geofizikai módszerek mennyire sikeresek egy adott földtani feladat megoldásában, azt részterületek vagy szelvények mentén elvégzett feldolgozásokkal lehet a legjobban szemléltetni. Egy ilyen feldolgozási mintaként ismertetjük a nyírségi Nyi-8 szeizmikus szelvényt.

A Nyi-8 szelvény mentén elvégzett mágneses adatfeldolgozások eredményét az *1. ábra* mutatja, azaz a szeizmikus mélységszelvényt és a Naudy-féle hatókijelölés (Naudy 1970, Naudy 1971, Kiss és Prácsér 2016) eredményeit (narancssárga-piros-barna pontthalmaz, megbízhatóság szerint színezve: minél biztosabb, annál sötétebb a szimbólum). A szelvényen feltüntettük a spektrális szűrés eredményeként előállt, mélységszeletelt és transzformált (plusz-mínusz anomáliák kiküszöbölésével elkészített) mágneses anomáliatér görbéit a spektrális mélységnek megfelelő mélységszinten. A megjelenítés segítségével láthatóvá válik, hogy a különböző mélységtartományokban hogyan jelennek meg a bázisos magmás képződmé-



1. ábra A Nyi-8 szeizmikus reflexiós mélységszelvény Naudy-megoldásokkal és a transzformált, sávszűrt mágneses térkép anomáliagörbéivel (zöld, kék és fekete görbe) a közpémlységek szintjén megjelenítve (51 km hosszú szelvény 10 km-es mélységig)

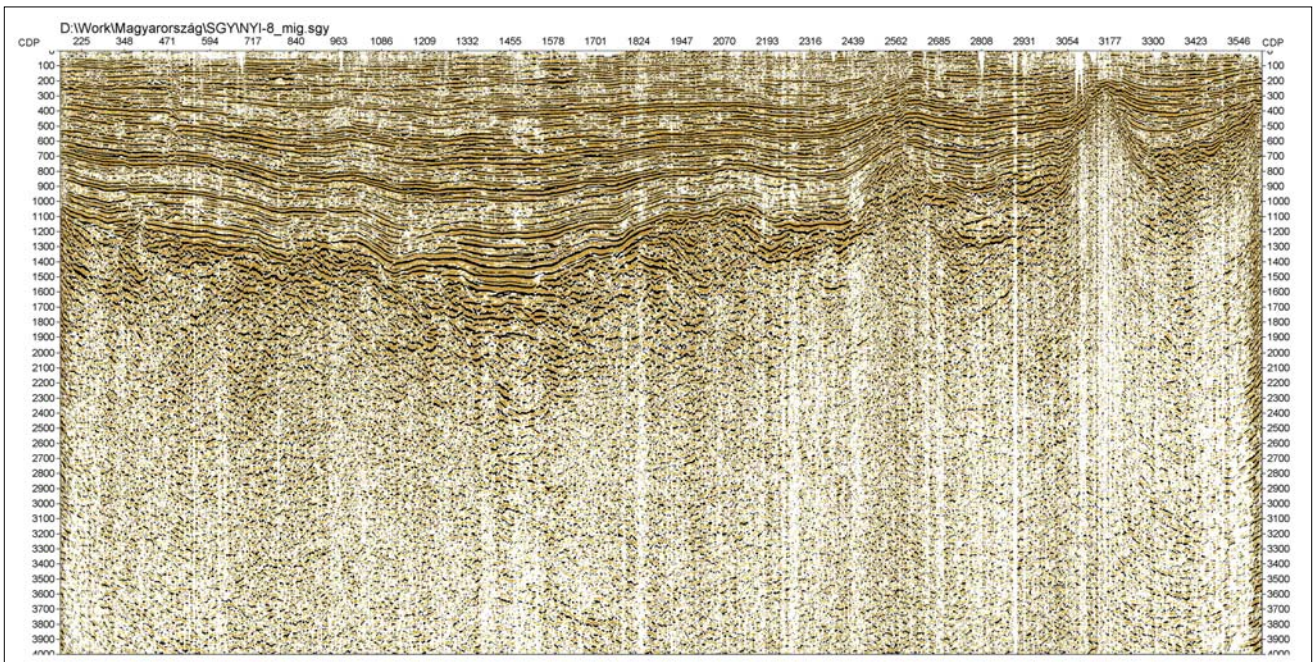
Figure 1 Nyi-8 seismic reflection depth section with the solutions of Naudy-deconvolution and with the matched filtered magnetic anomaly curves (green, blue and black) at their spectral depths (51 km long and 10 km deep part of the section)

nyek. Ahol nincs hatás, ott a görbe alapszinten van. Ahol van hatás, ott megjelenik az anomália kiemelkedve az alapszintből.

0–1100 m és 1100–1900 m mélységtartományokban csak 45–50 vkm (vonalkilométer) között, valahol Tiszaszalka környékén lehetett mágneses hatót azonosítani. Az 1900 m-nél nagyobb mélységtartományban azonban már több helyen (10, 23 és 27 vkm) is jelentkeznek anomális ha-

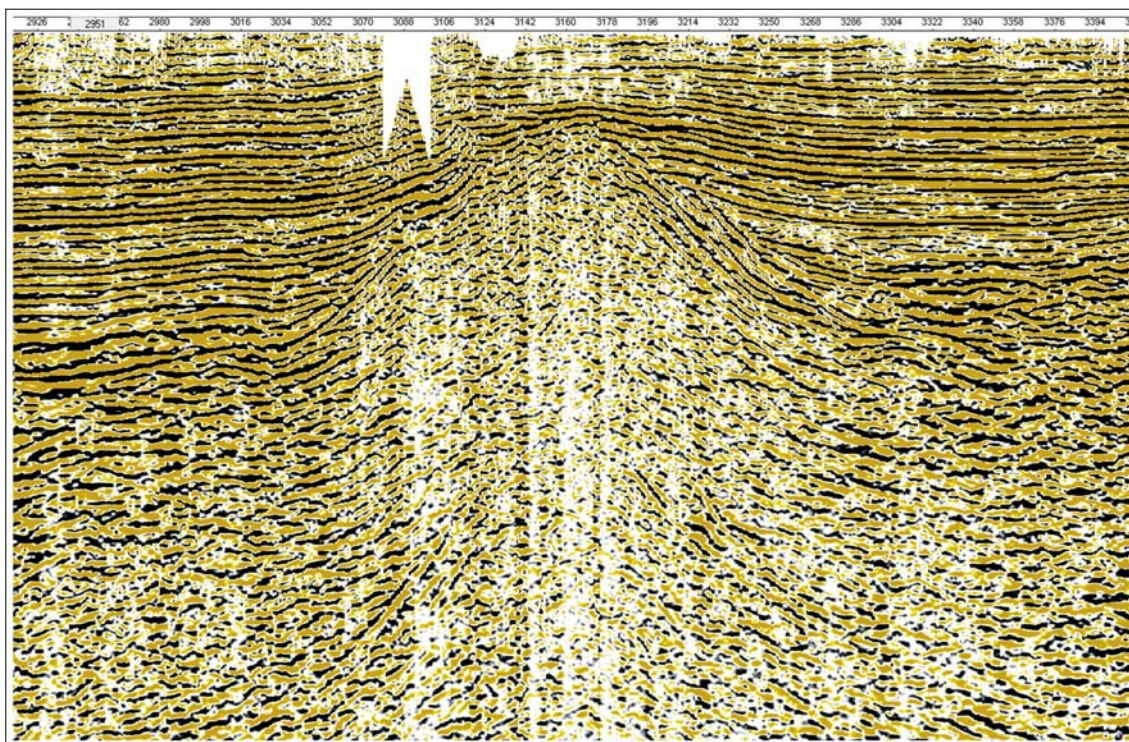
tások. A 45–50 vkm-es tartományban azonban minden mélységben jelen van az anomális mágneses hatás. Érdekes tehát ezt a tartományt (a felső 3 km-t) a szeizmikus mélységszelvényen részletesebben is megjeleníteni, amit a 2. ábra mutat.

A 2. ábra alapján jól követhető, hogy a 200–800 m mélységtartományban közel vízszintesen rétegzett, hullámzó felületek 43–47 vkm (CDP = 3000–3300) szakaszon meg-



2. ábra Nyi-8 szeizmikus reflexiós mélységszelvény (51 km hosszú szelvény CDP-vel megadva és 4 km-es mélységig megjelenítve – erős kimagasítás)

Figure 2 Nyi-8 seismic reflection depth section (51 km long and 4 km deep part of the section)

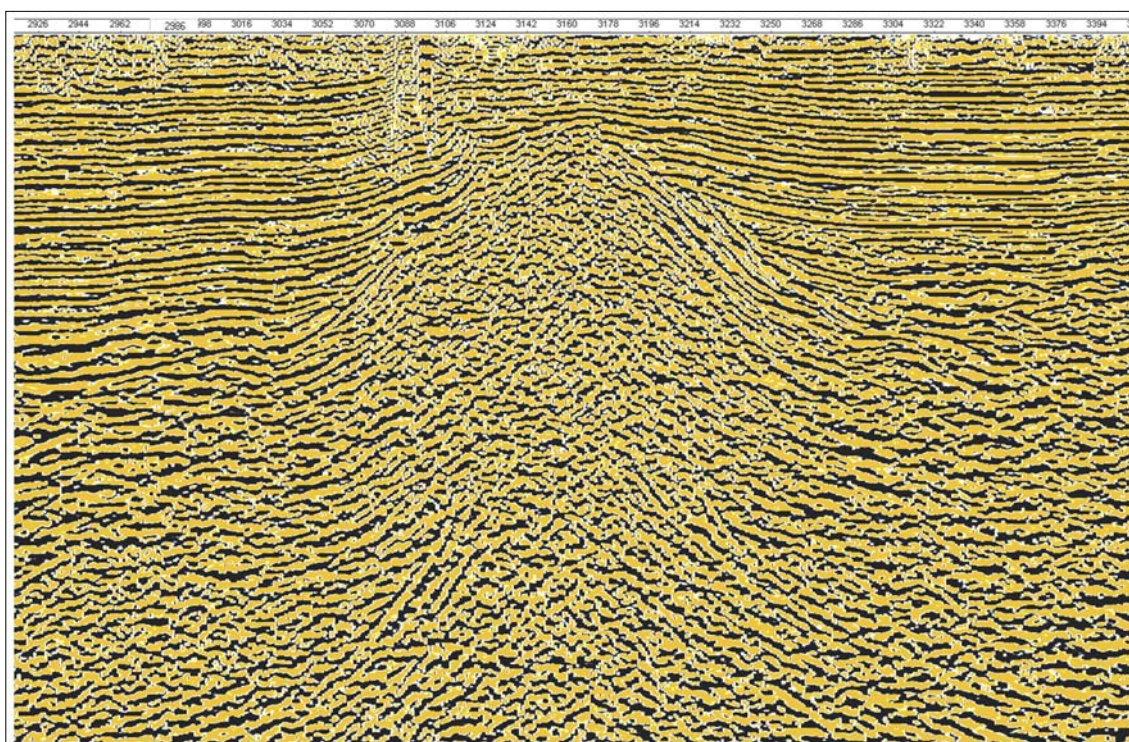


3. ábra | A (szub)volkáni test kinagyított részlete a Nyi-8 szelvény ÉK-i végén (CDP = 3150 környezete, Tiszaszalka)

Figure 3 | The picture of sub volcanic body at the end of the Nyi-8 seismic sections (CDP = 3150, at Tiszaszalka)

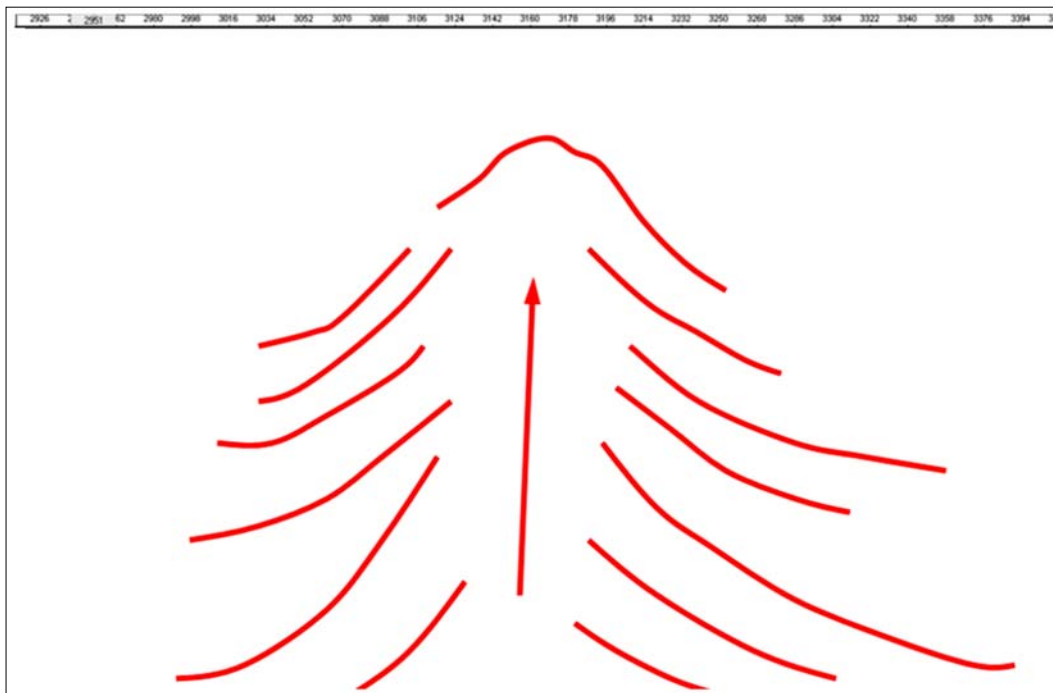
törnek egy nagyon erős, meredek reflexiós határfelülettel jelentkező objektumon. A prepannon összetekben a benyomulás hatása kevésbé azonosítható, de ott is jelen

van, ami a megjelenítés fókuszáásával láthatóvá is tehető (3., 4. ábra). Kirajzolódik a nagyobb mélység irányából a felszín felé felnyomuló magmás anyag mozgása által létre-

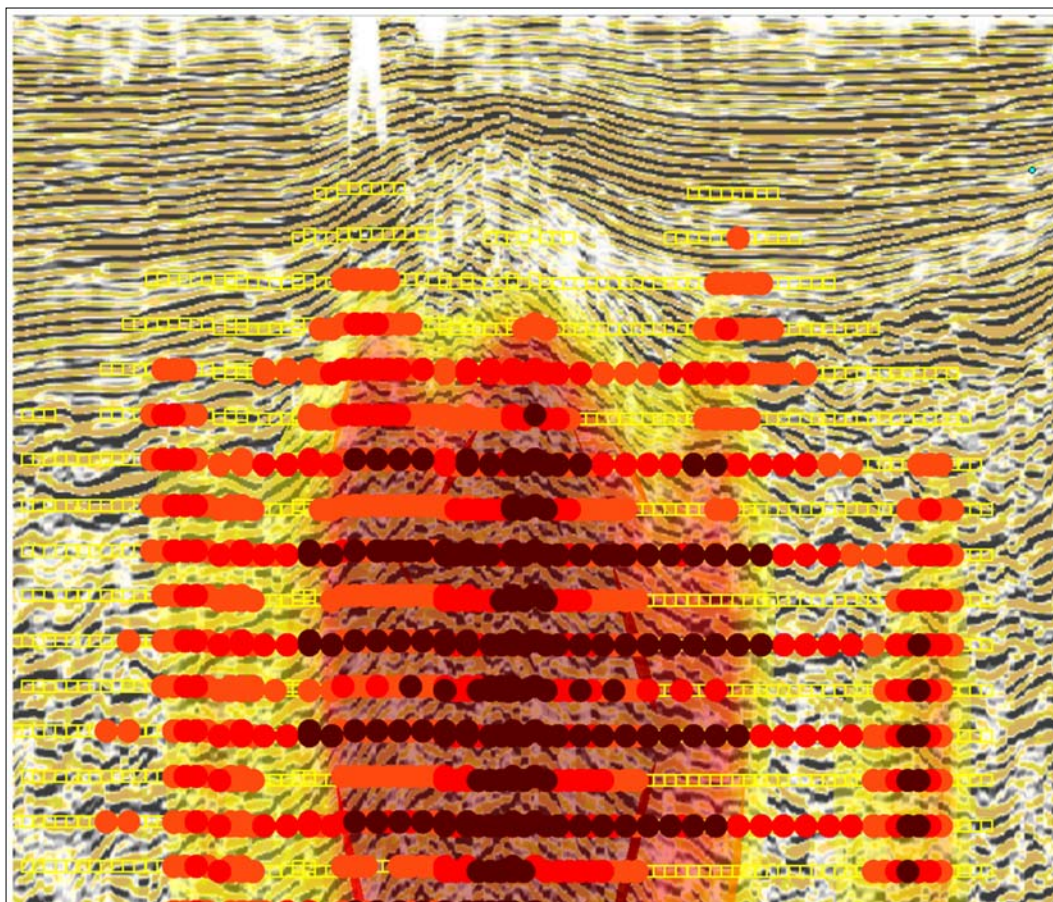


4. ábra | A (szub)volkáni test kinagyított részlete a Nyi-8 szelvény ÉK-i végén az AGC szűrés után (szeizmikus fenyő)

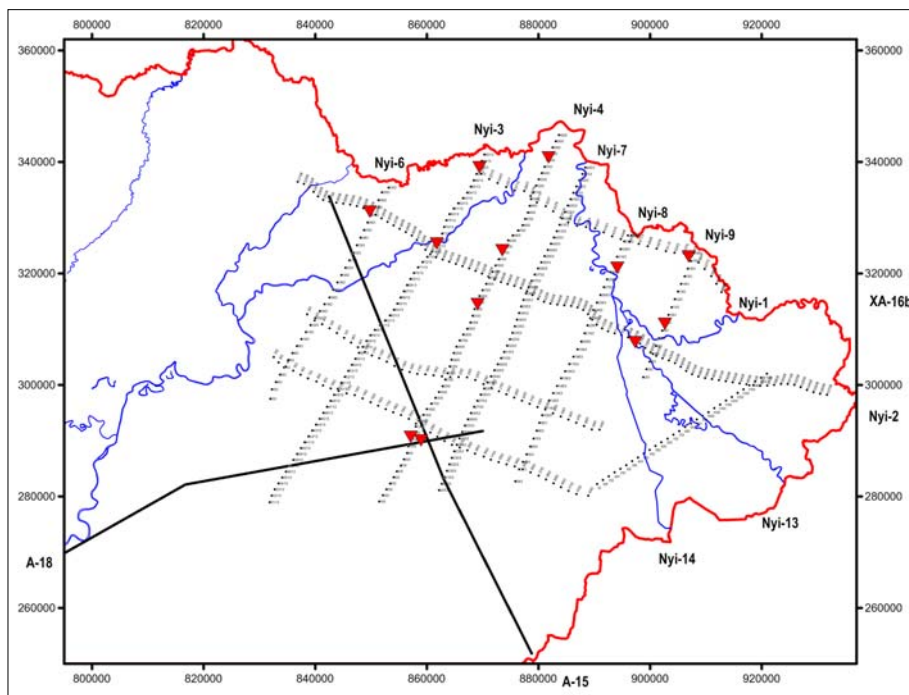
Figure 4 | The picture of sub volcanic body at the end of the Nyi-8 seismic sections after AGC filtering ("seismic pine tree")



5. ábra | Szeizmikus fenyő (erős reflexiók kiemelésével) a Nyi-8 szelvény alapján
 Figure 5 | „Seismic pine tree” (strong reflections) at the Nyi-8 seismic section



6. ábra | A szubvulkáni test a Nyi-8 szelvény ÉK-i végén (44–45 vkm, CDP = 3150 környezete) mágneses Naudy-megoldásokkal (pontok és színezés)
 Figure 6 | The sub volcanic body at the end of Nyi-8 seismic section with Naudy-solutions (with dots and colours)

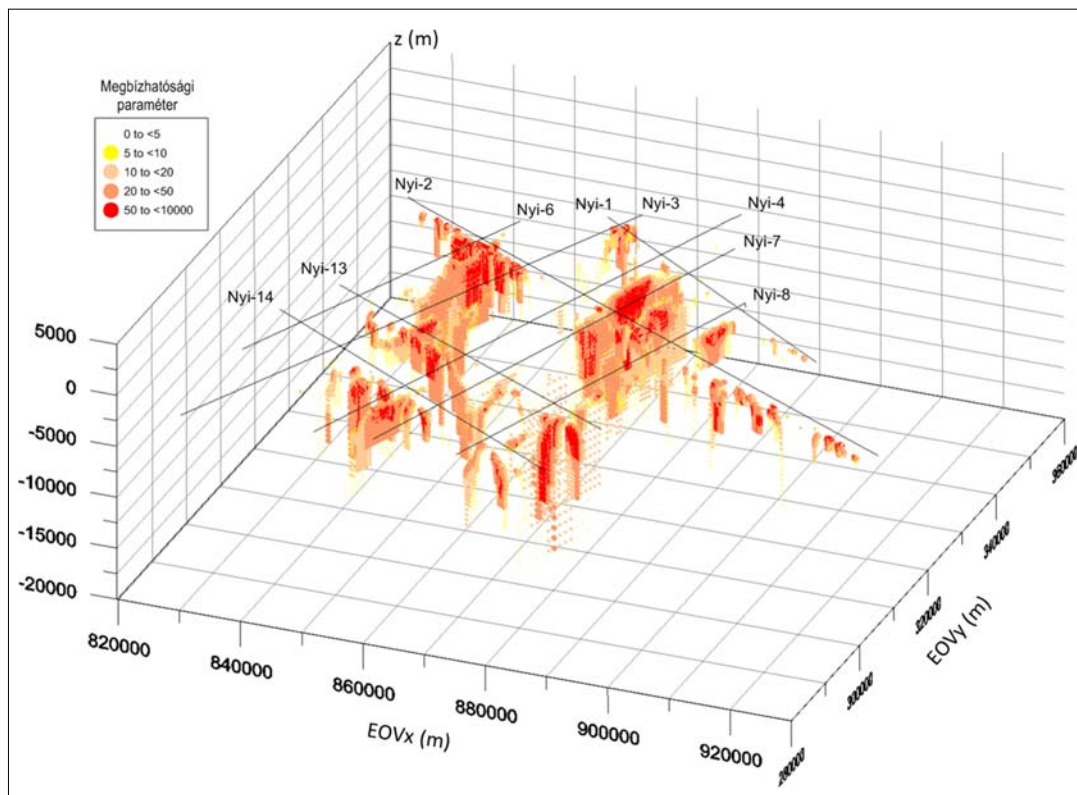


7. ábra | Vulkanómorfológia-gyanús helyek a nyírségi szeizmikus szelvényeken (digitális szelvény CDP ponttal, analóg szelvény vonalként megadva)

Figure 7 | Suspected volcanic morphology sites on the area of Nyírség, based on seismic sections (digital seismic profiles showed by CDP points, the analogue ones by lines)

hozott „szeizmikus fenyő”, azaz egy fenyőfa ágainak megfelelő szeizmikus reflexiórajzolat. A reflexiók kép alapján

az üledékes környezetbe történt magmás benyomulás kora is (pannon) megbecsülhető.



8. ábra | Egyszerűsített szeizmikus mérési háló a mágneses Naudy-feldolgozások eredményével háromdimenziós megjelenítésben (nézet DDK-i irányból)

Figure 8 | Simplified seismic measurement network with results of magnetic Naudy-solutions in 3D (view from SSE)

Tekintettel arra, hogy a vulkáni képződmények geometriája rendkívül változatos, és legkevésbé sem felel meg a rétegzett féltér modellnek, ezért a reflexiós kép alapján azonosításuk csak ritkán olyan egyértelmű, mint a Nyi-8 szelvény esetében.

Ezek az előzetes, alapszelvények mentén elvégzett Naudy-feldolgozások felhívták a figyelmet a mágneses adatok használhatóságára a Nyírségben. Ahogy a Nyi-8 szelvény mentén a mágneses anomália alapján sikerült azonosítani, majd a szeizmikus reflexiók alapján pontosítani az eltemetett magmás-vulkáni képződmények geometriáját feltételezhető, hogy a Nyírség területén máshol is számíthatunk hasonló eredményekre.

A többi szeizmikus szelvényt is módszeresen végigvizsgálva (7. ábra), figyelembe véve a mágneses szelvény menti Naudy-féle hatókijelölések eredményeit (8. ábra), több hasonló, de kevésbé egyértelmű vulkáni felépítményt azonosíthatunk.

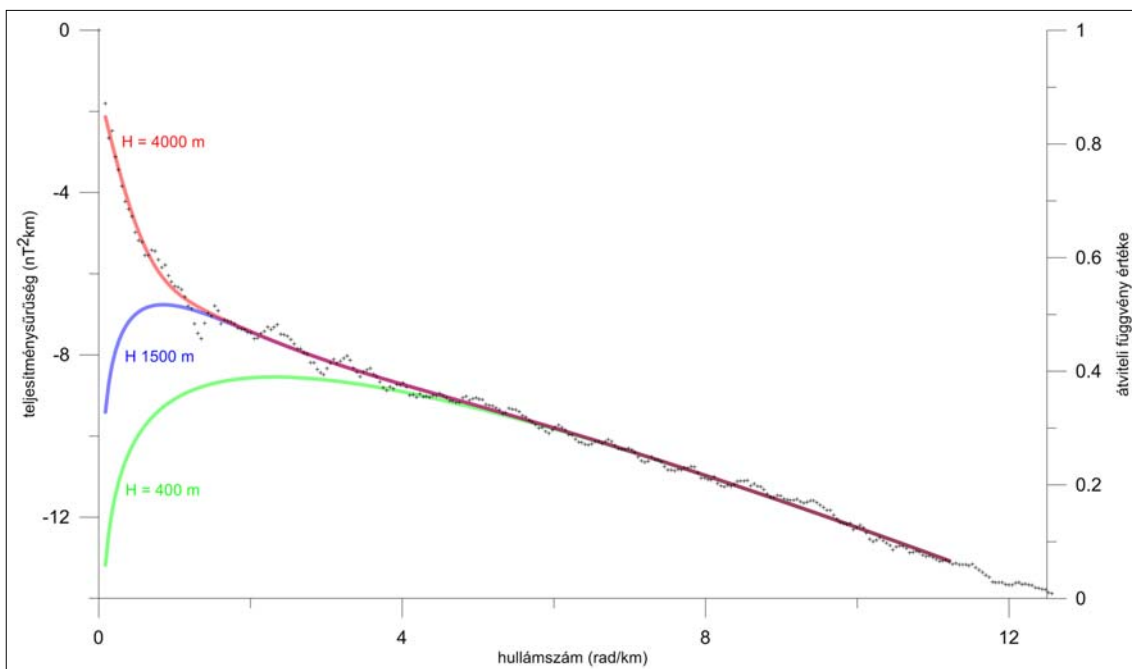
A Naudy-féle szelvény menti feldolgozás eredményeit (8. ábra) megpróbáltuk területileg is kiterjeszteni. A szelvények mentén kapott Naudy-feldolgozások térbeli adatszerkezet eredményeztek ugyan, de a „kevés” szelvény és a ritka háló miatt azokból közvetlenül nem lehetett háromdimenziós képződménylehatárolásokat végezni. Valamilyen más megoldást kellett keresni. Ehhez a sűrű légi mágneses adatok (12. ábra) spektrális szűrését, mélységselektelését, a mágnesestérgradiens-számítást és statisztikai feldolgozásokat alkalmaztunk – meghatározva a mágneses hatók lehetséges helyét és mélységét – összhangban a szelvény menti mágneses feldolgozásokkal.

Mágneses anomália-térkép – spektrális szűrések

A szelvényeken egyértelműen jelentkező mágneses hatók mélységét az anomáliák térfrekvenciája alapján spektrálanalízissel állapíthatjuk meg (9. ábra). Ez természetesen csak egy közelítő mélység, amely megmutatja, hogy az anomáliák térfrekvenciája alapján a hatás milyen mélységtartományból származik. Ezeknek a jellegzetes mélységeknek az anomáliáit sávszűréssel meg tudjuk határozni, amihez az átviteli függvényeket (10. ábra) használjuk: az eljárást mélységi szelektelésnek (*depth slicing*) hívják (Cordell 1985, Kiss 2013). A spektrális mélység (az átviteli függvény maximumára jellemző érték) azonban nem egyetlen mélységpontot jelöl, ahogyan az átviteli függvény formájából is sejthető, hanem egy mélységtartományt. A spektrumból kapott mélységek és az átviteli függvények metszéspontjai alapján ezek a tartományok meghatározhatók (11. ábra). A $H_1 = 400$ m spektrális mélységhez az 1100 m-nél kisebb mélységek tartoznak. A $H_2 = 1500$ m spektrális mélységhez az 1100–1900 m-es mélységtartomány, végül a $H_3 = 4000$ m spektrális mélységhez az 1900 m-nél nagyobb mélységek. A spektrális mélységeket a jelfrekvencia alapján domináns mélységek adják meg.

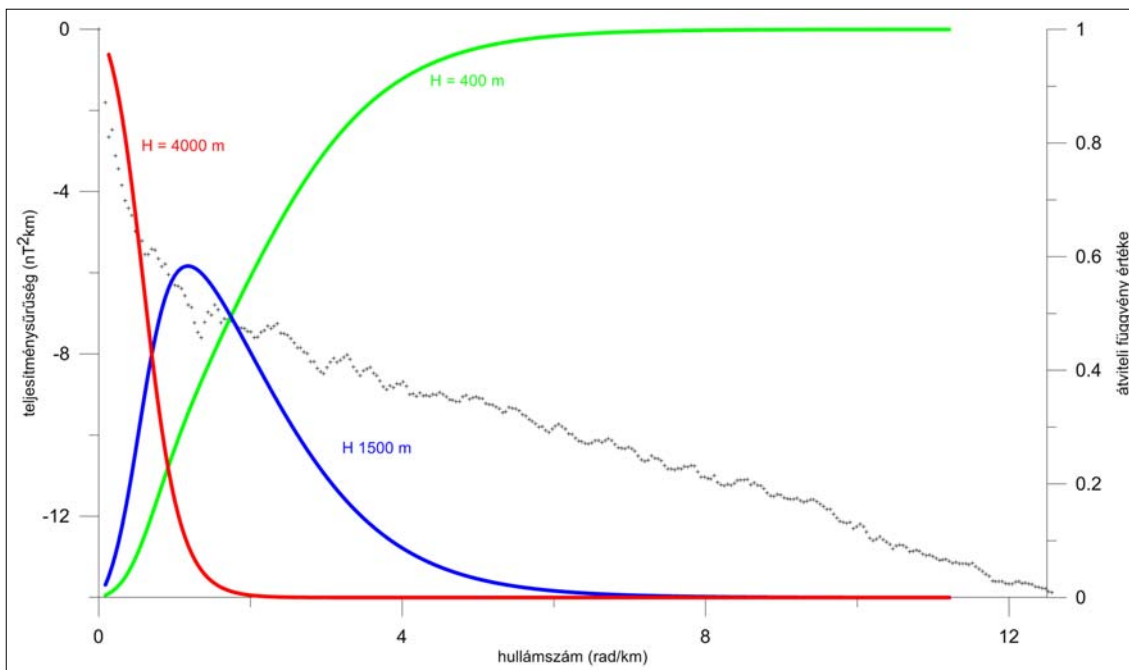
A mágneses hatók területi elterjedését (vízszintes méretét) különböző mélységszinteken/mélységtartományokban az átviteli függvények által meghatározott sávszűrés (Cordell 1985) eredményeként előálló mágneses térképek adatai alapján fogjuk nyomon követni.

A különböző hullámhosszúságú anomáliák elkülönítése, majd a dipólus jelleg eltüntetése a digitális adatfeldolgozás-



9. ábra | Légi mágneses adatok spektrálanalízise, főbb spektrális mélységek meghatározása spektrum inverzióval, az adatok spektruma (fekete pontok) és az illesztett mélységek színes spektrumgörbéi

Figure 9 | Spectral analysis of airborne magnetic data, determination of main spectral depths by spectral inversion, data spectrum (black dots) and spectral curves of fitted depths with colour lines



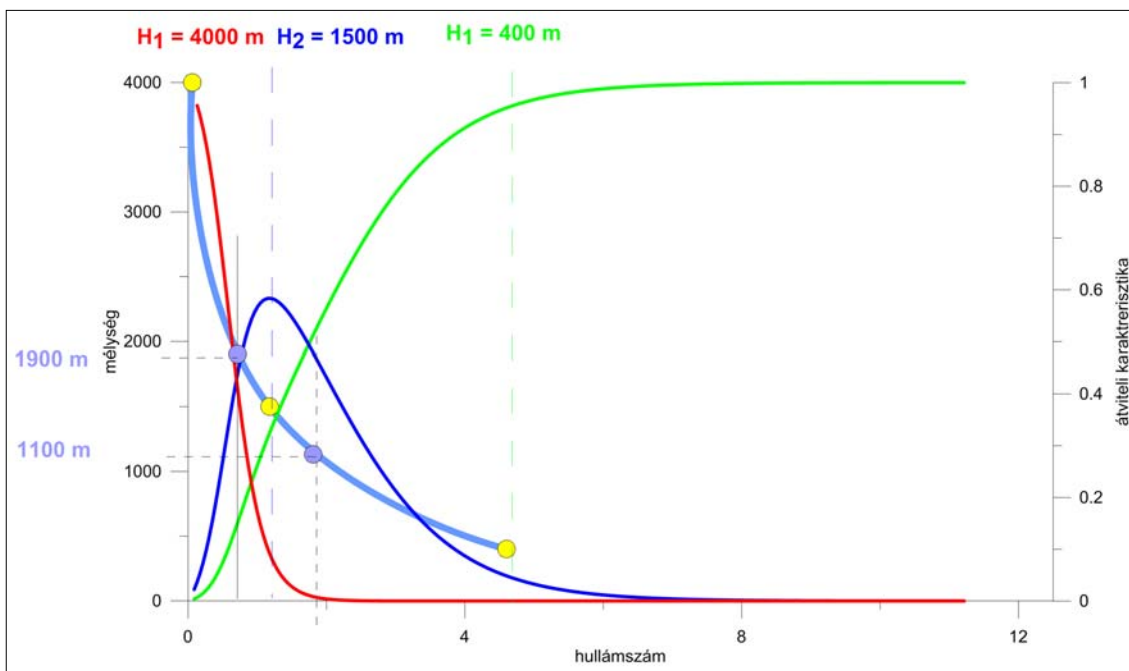
10. ábra Légi mágneses adatok spektrálanalízise, főbb spektrális mélységek meghatározása spektruminverzióval, az adatok spektruma (fekete pontok) és a szűrő átviteli függvények

Figure 10 Spectral analysis of airborne magnetic data, determination of main spectral depths by spectral inversion, data spectrum (black dots) and transfer function of the filters with colour lines

nak a része, így objektívnek tekinthető. A megjelenítés során használt határértékek már az értelmező szubjektív döntésétől függenek (13., 14., 15. ábra), ezért van bennünk némi bizonytalanság (különböző mélységek hatásának vizsgálatokor különböző térfogatú térrészek együttes hatá-

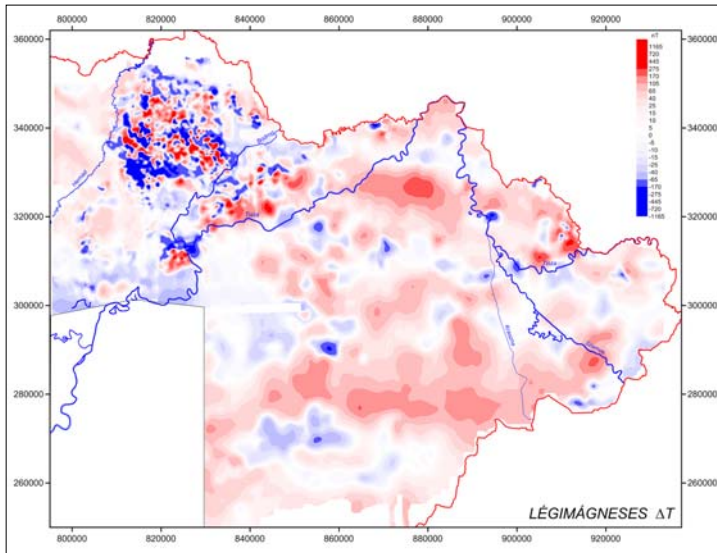
sát látjuk, amely az anomáliák amplitúdójában is megjelenik).

Az elvégzett feldolgozások egyfajta fókuszálást jelentettek, de a vastag lávaképződmények (vulkáni központok, intrúziók, lávapadok) azonosításához ki kellett egészíteni

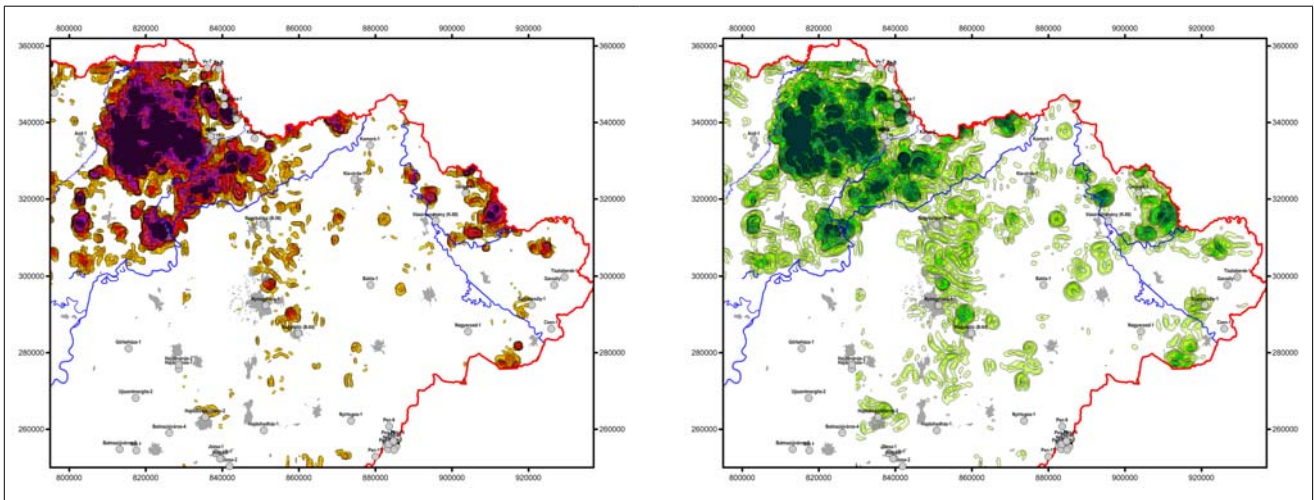


11. ábra A mélységtartományok meghatározása a spektrális mélységek (sárga pontok) alapján meghatározott görbe (világos kék vonal) és az átviteli függvények metszéspontja (kék pontok) segítségével; $H_1 = 400$ m (<1100 m), $H_2 = 1500$ m (1100–1900), $H_3 = 4000$ m (>1900)

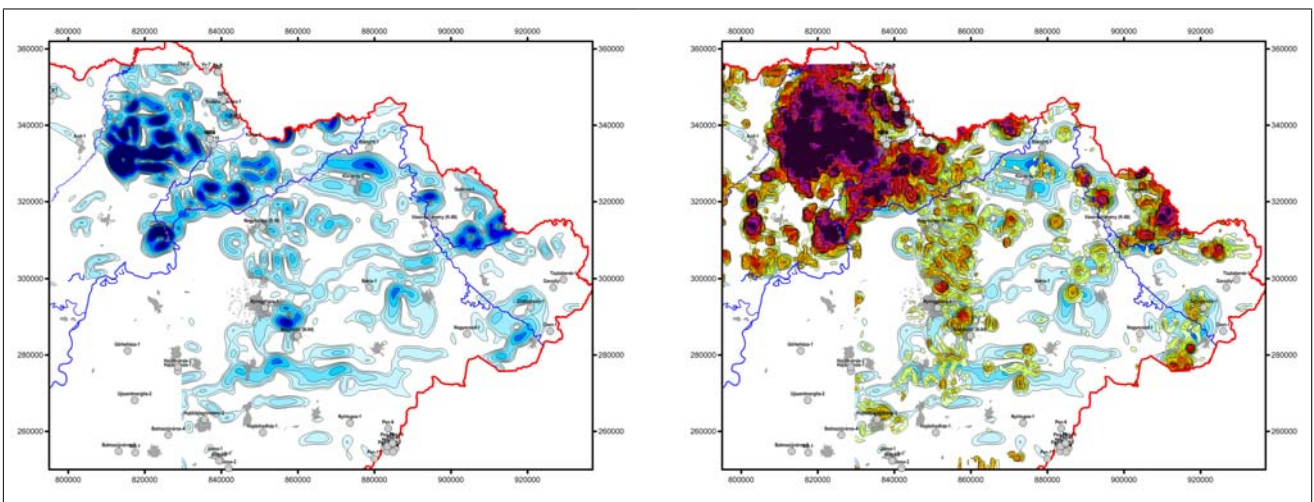
Figure 11 Determination of depth ranges using a curve (light blue line) determined by spectral depths (yellow dots) and intersection of transfer functions (blue dots); $H_1 = 400$ m (<1100 m), $H_2 = 1500$ m (1100–1900), $H_3 = 4000$ m (>1900)



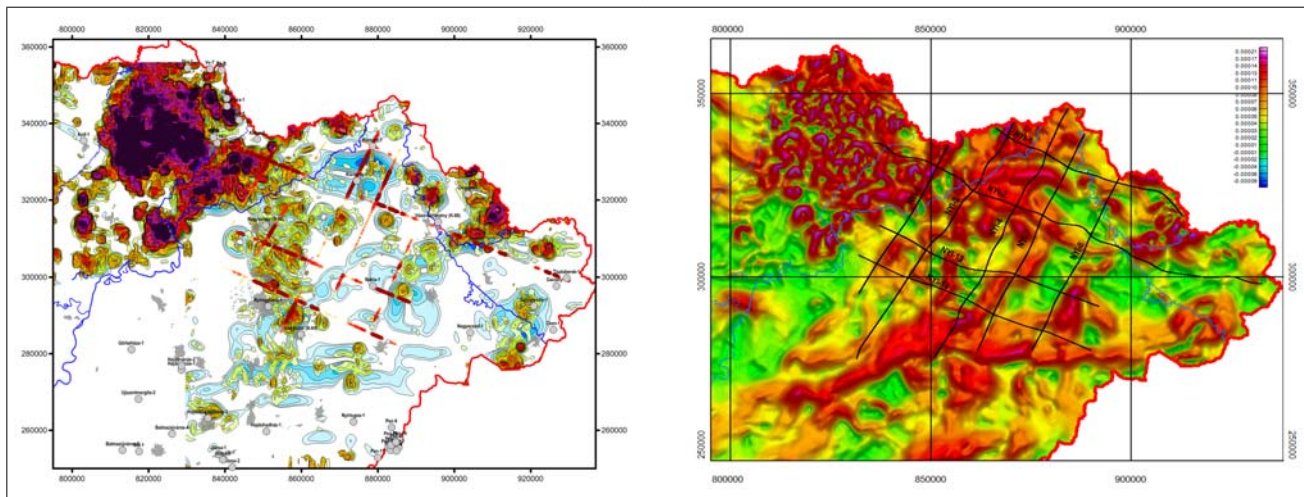
12. ábra | Nyírségi légi mágneses ΔT anomáliatérkép
 Figure 12 | Airborne magnetic anomaly map of Nyírség area



13. ábra | Spektrális vizsgálatok alapján meghatározott 0–1100 (*balra*) és 1100–1900 m (*jobbra*) közötti szint transzformált anomáliatérképe
 Figure 13 | Map of transformed anomaly of 0–1100 m (*left panel*) and 1100–1900 m (*right panel*) depth range determined by spectral analysis



14. ábra | Spektrális vizsgálatok alapján meghatározott $h > 1900$ m mélységszint transzformált anomália térképe (*balra*) és egy hibrid kép (*jobbra*), amely egyesíti a három különböző mélységű adatrendszert (a sötétedő színek a változékonyság növekedését jelzik)
 Figure 14 | Map of transformed anomaly at $h > 1900$ m depth range determined by spectral analysis (*left panel*) and a hybrid image (*right panel*) that combines anomalies of three different depth ranges (darkening colours indicate increased variability)



15. ábra Balra: Spektrális vizsgálatok alapján meghatározott transzformált anomáliatérképek és a szelvények menti Naudy-megoldások térképi megjelenítése (sötétedő színek mágneses hatót jeleznek). Jobbra: Transzformált földi mágneses anomália-térkép (pszeudogravitációs transzformáció, horizontálisgradiens-képzés és AGC-szűrés) a mágneses hatók kiemelésé céljából

Figure 15 Left panel: Combined anomaly maps determined by spectral analysis and Naudy solutions along profiles (darkening colours indicate magnetic causative bodies). Right panel: Transformed field magnetic anomaly map (horizontal gradient of pseudogravity transformation with AGC filtering) to highlight magnetic causative bodies

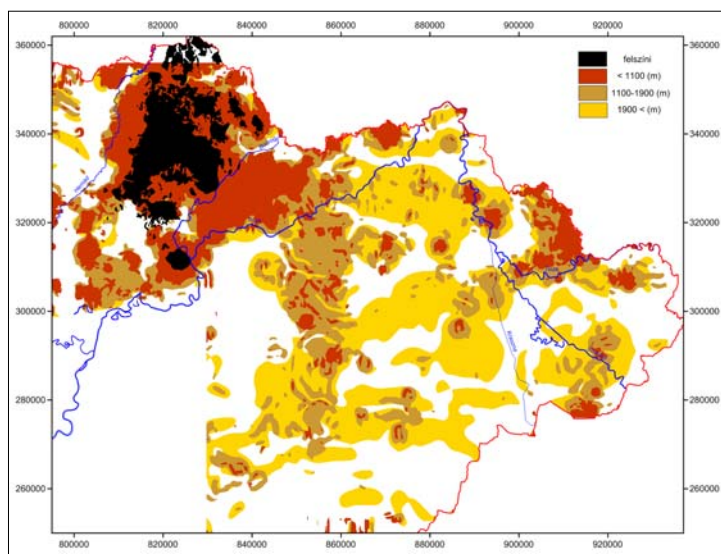
még valamivel az eszköztárat. Mivel eltemetett helyzetben csak nagyobb térfogatú földtani képződményeknek a lehatárolására van esély, és mivel a lávák sűrűsége általában nagyobb környezeténél, a medencealjzat sűrűségével vetekszik, így a gravitációs térképi adatokat lehetett még segítségül hívni.

Az első két spektrális mélység (400 m és 1500 m) mágneses anomália-térképe (13. ábra) nagyon hasonló képet mutat, lokális anomáliák és néhány összefüggő zóna, amelyek a miocén magmás, mágneses kőzeteknek az elterjedését mutathatják a felső 2000 m-es mélységtartományban. A 4000 m-es spektrális mélység már részben eltérő képet mutat (16. ábra). A terület egy részén ez a mélység már a medencealjzat mélysége, ahol a miocén mágneses magmás kőzetek jelen lehetnek, de az idősebb magmás és mágneses metamorf kőzetek megjelenése sem zárható ki. Az anomáliák a mélység miatt már kevésbé

választhatók szét, ebben az esetben a sávosság, azaz a szerkezeti kapcsolat megítélésünk szerint sokkal határozottabban jelen van.

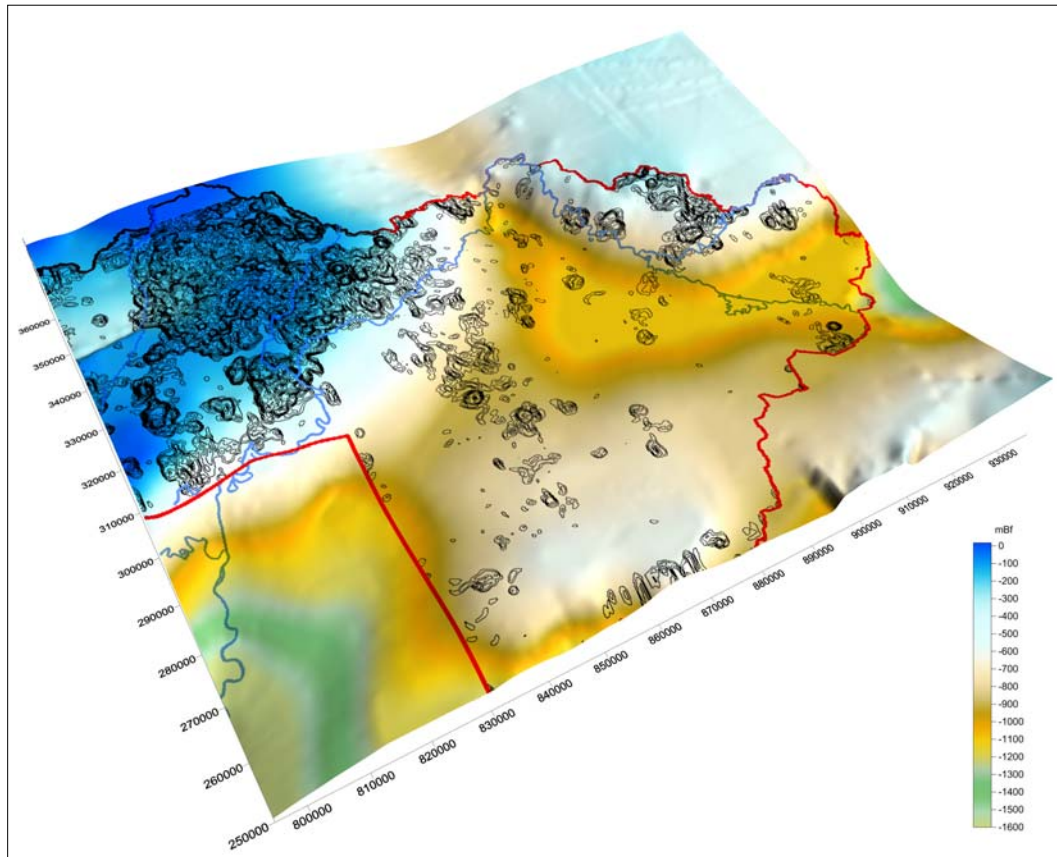
Az országos pannon talp térképen (földtani térmodell 2018) megjelenítve a legfelső szint transzformált mágneses anomáliáit (17. ábra) azt láthatjuk, hogy azok a miocén kiemelkedéseken (ÉNy-on, Tokaji-hegységben és a Bodrogközben) vagy a kiemelkedések peremén jelentkeznek (D-en és ÉK-en a kék-sárga színátmenet), körberajzolva azokat, illetve helyenként egyfajta hidat képezve közöttük (Sátoraljaújhely és Nyíregyháza között, illetve Sátoraljaújhely és Záhony között).

Ettől eltérés csak lokális hatók esetében jelenik meg, ilyen például a korábban bemutatott Nyi-8 szelvény mentén megjelenő minivulkán (szubvulkáni test), amelynek a kora már inkább pannon és nem idősebb miocén. Ez ott jelentkezik, ahol a pannon talp 1100 m-nél mélyebben ta-



16. ábra Mágneses vulkáni testek elhelyezkedése a légi mágneses adatok feldolgozása alapján (vázlat)

Figure 16 Location of magnetic volcanic bodies based on data processing of airborne magnetic data (schematic map)



17. ábra | Pannon talp (prepannon-tető) domborzati térképe és a legfelső (<1100 m mélységű) mágneses hatók legvalószínűbb helyzete (légi mágneses adatok csak a piros kontúrvonalon belül álltak rendelkezésre)

Figure 17 | Map of the Pannonian base (pre-Pannonian roof) and the most probable position of the highest (<1100 m depth) magnetic bodies (airborne magnetic data were only available within the red contour line)

lálható, lásd a pannon talp mélységtérképet. Az összetételében ez már inkább bazaltos, pannon korú vulkanit lehet, amelyhez hasonló a Bodroghöz fúrásai tártak fel.

A második mágneses anomáliaszint 1100–1900 m között van, ez viszont már a terület nagyobb részén a pannon talp alatt, azaz a miocén összletekben jelenik meg. Mindebből arra következtethetünk, hogy a pannonnal idősebb miocén korú képződmények tetődomborzatát alapvetően a miocén korú vulkanizmus határozza meg.

Bouguer-anomáliatérkép – prekainozoos medencealjzat

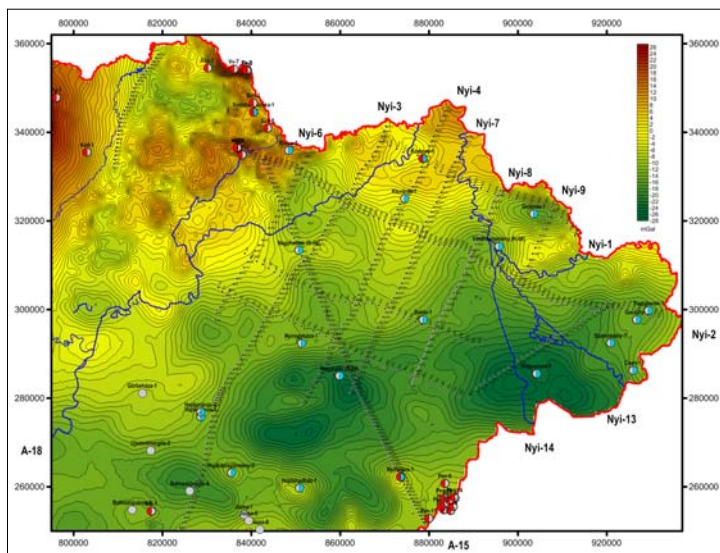
A Bouguer-anomáliatérkép értelmezéséhez referenciamelységadatokra van szükség. A prekainozoos medencealjzatot csak a Tokaji-hegység területén, a sárospataki és sátorlajújhelyi mélyfúrások érték el néhányszor 100 m-ben a terület É–ÉK-i határán, illetve D-en a flis zónában, a penészleki mélyfúrások nagyobb 2 km körüli mélységben. A Komoró-1 az egyetlen olyan mélyfúrás, amely a kutatási terület belső részén (ez is az É-i peremen) elérte a prekainozoos medencealjzatot (3200 m), noha több 2000–4000 m-es talpmélységű fúrás is van a területen (Necs-1, Bakta-1, Nyir-1, G-1, Hn-1).

Bár a Tokaji-hegység területén a medencealjzat néhányszor 100 m mélységben van a sárospataki fúrások alapján (18. ábra), a Nyírségben a korábban említett mélyfúrások alapján 4000 m-nél nagyobb mélységű medence várható.

A gravitációs izosztikus anomáliatérkép (18. ábra) a felső néhányszor 10 km összlet gravitációs hatását mutatja. Ebből spektrálanalízis alkalmazásával több olyan mélység-szint is kimutatható, ahol jelentős sűrűség inhomogenitás van.

A nyírségi területre elvégzett spektrális szűrés a 2770 m-es mélységet adta meg legnagyobb hatómélységnek, amely nem a prekainozoos medencealjzat mélysége. A terület méretei meghatározzák a térképen azonosítható anomáliák legnagyobb hullámhosszúságát (ezzel a spektrális behatolási mélységet). A gravitációs határfelület 2770 m-es mélységi elhelyezkedése feltételezhetően még miocén inhomogenitásokat jelez, hiszen a Bakta-1 4000 m-es talpmélységű fúrás nem érte el a prekainozoos medencealjzatot, a Necs-1 szintén 4000 m-es talpmélységű fúrás 3760 m-nél harántolt mélységi magmás diorit (talán kréta korú) kőzeteket.

Mivel esetünkben 2770 m-nél nagyobb medencealjzat-mélységet feltételezünk, így nagyobb területet kellett választani a spektrális szűréshez, ezért a korábbi országos spektrális feldolgozás (Kiss 2014) eredményeit használtuk fel (19–21. ábra).



18. ábra | Izosztikus anomáliatérkép a szeizmikus szelvényhálózattal és a medencealjzatot ért (piros félkör) és vulkanitot harántolt (kék félkör) mélyfúrásokkal

Figure 18 | Isostatic anomaly map with seismic profile network and wells crosscut the basement (red semi-circle) and the vulcanite (blue semi-circle)

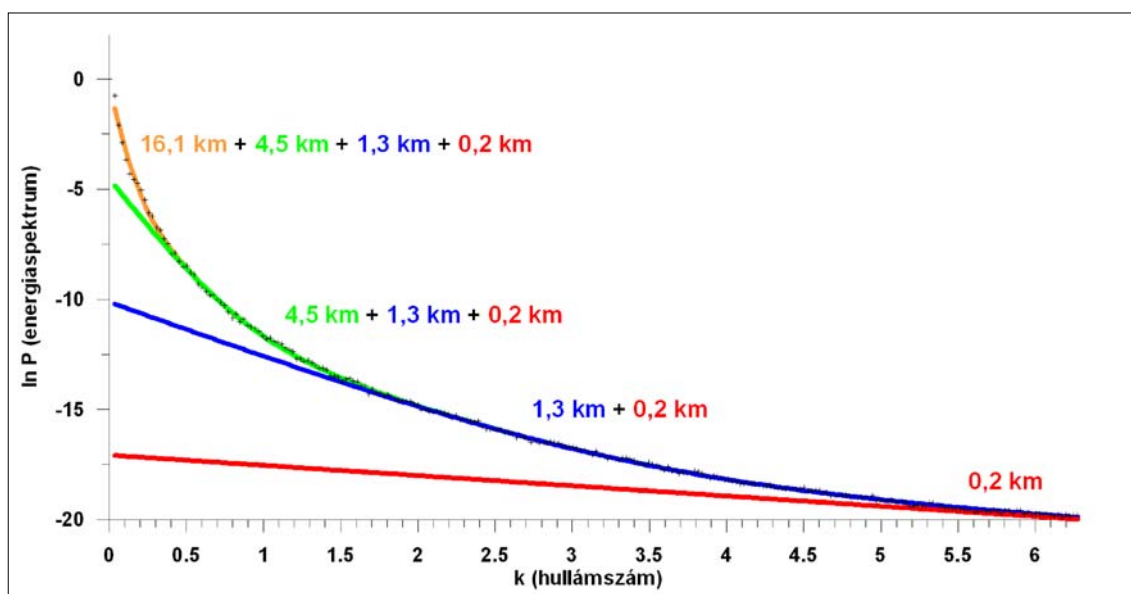
Sávzűrésekkel a spektrumok alapján leválogattuk az adott mélységtartományokhoz tartozó szűrt Bouguer-anomáliákat. Ezek az anomáliatérképek a kiválasztott mélységtartomány sűrűségeloszlását fogják megadni.

A nagy kérdés az, hogy lesznek-e olyan maximumok, amelyek a kis sűrűségű üledékekben megjelenő nagy sűrűségű lávákra utalnak. Ilyen szempontból a legérdekesebb példa a Necs-1 fúrás és környezete. A fúrás a kiindulási Bouguer-anomáliatérképen (23. ábra, jobb) az egyik legnagyobb ellipszis formájú minimum közepén található (lokális maximummal). A fúrás ~3000 m vastagságban vulkanitot (andezit, dácit, riolit és tufái) fúrt, de közvetlen felte nem tapasztalunk mágneses anomáliát, így a mágneses anomália-térkép alapján a vulkanit nem látszik. A sávzűrt Bouguer-anomáliatérképeken azonban ez a maximum szinte mindegyiken azonosítható, bár az 500-

2400 m-es mélységtartomány térképén (22. ábra, jobb) látszik a legjobban.

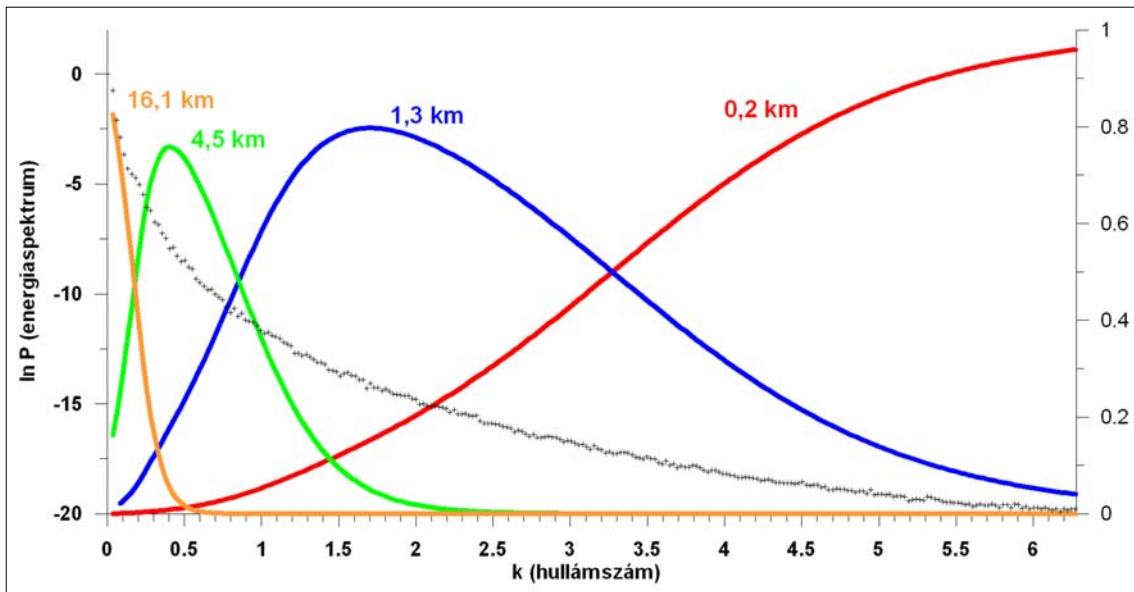
Másik érdekes példa Újfehértó (Nyírségtől D-re) alatt jelenik meg (23. ábra, jobb), ahol szintén egy nagy, ellipszis formájú gravitációs minimum közepe lokális maximummal jelentkezik, és minden szűrt térképen azonosítható. Nem kizárt, hogy ezt is savanyú lávaképződményekből álló vulkanikus kőzetek okozzák. Az értelmezés helyességét fúrás (Necs-1) vagy szelvény menti geofizikai mérés (pl. Nyi-4 szeizmikus szelvény eleje) erősíthetik meg (18. ábra).

Összességében a kiválasztott kutatási területen van egy ~6000 km²-es belső területrészt, ahonnan nem rendelkezünk fúrásos medencealjzatra vonatkozó mélységadattal, s csak a geofizika segítségével lehetséges a mélységet meghatározni.



19. ábra | Gravitációs adatok spektrálanálízise, főbb spektrális mélységek meghatározása spektrum inverzióval, az adatok spektruma (fekete pontok) és az illesztett mélységek színes spektrumgörbéi

Figure 19 | Spectral analysis of gravity data, determination of major spectral depths by spectral inversion, data spectrum (black dots) and colour spectral curves of the fitted depths



20. ábra Gravitációs adatok spektrálanalízise, főbb spektrális mélységek meghatározása spektrum inverzióval, az adatok spektruma és a szűrő átviteli függvények

Figure 20 Spectral analysis of gravity data, determination of major spectral depths by spectral inversion, data spectrum (black dots) and transfer functions of filters by colour lines

Az országos szinten elvégzett elemzés (Bouguer-anomália és a mélyfúrási adatok összevetése, 4-es számú regressziós modell, Kiss et al. 2018) alapján a területre kiszámoltuk a prekainozoos medencealjzat feltételezhető mélységét. Mivel országos adatrendszert használtunk, így nincs pontos egyezés, a sárospataki, komorói és penészeleki fúrásokkal, de a hiba északon 1000 m körüli, délen jóval nagyobb.

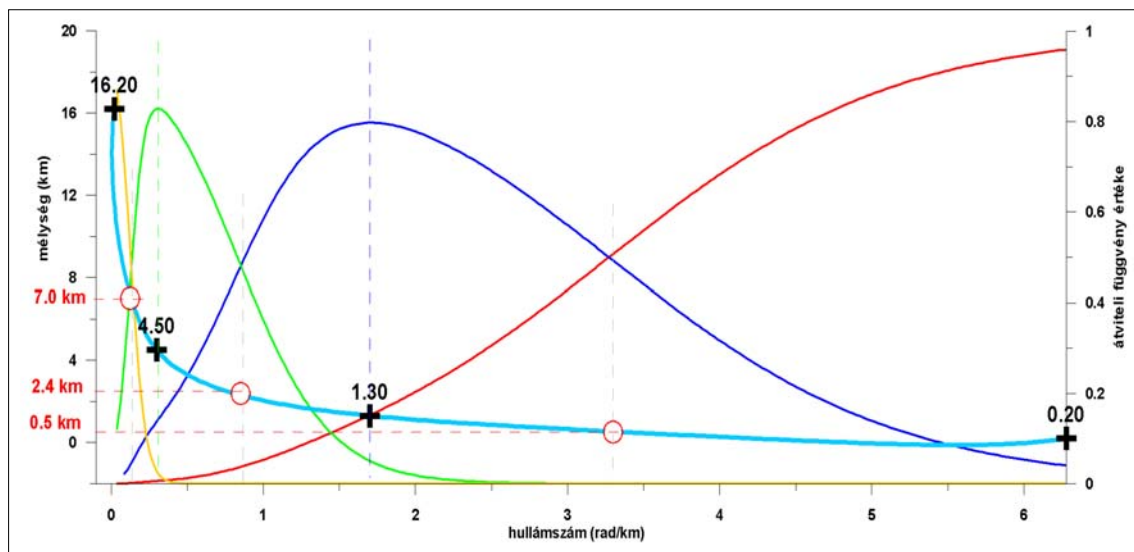
A mélységtérképet a nyírségi területre +1000 m-rel korigáltuk – feltételezve, hogy alapvetően a medencealjzat mélységének változásai, azaz annak tendenciái határozzák meg a Bouguer-anomália menetét –, így a sárospataki

fúrások mélységadatának megfelelő mélységet kaptunk (24. ábra).

Mélyfúrás-geofizikai adatok

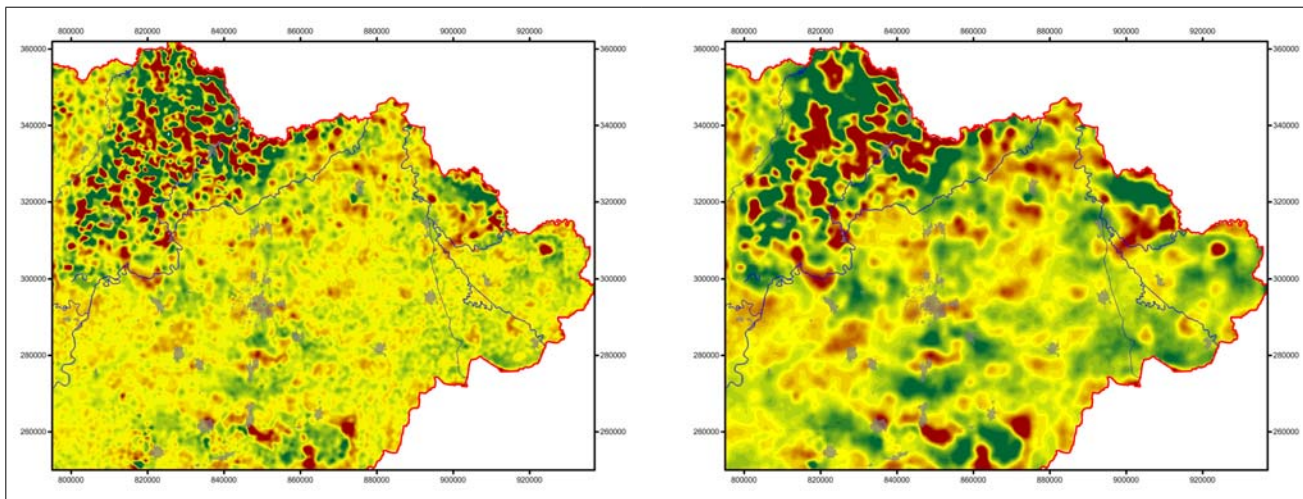
A gravitációs mélységtérkép sűrűség- és/vagy mélységváltozásokat mutat. A térkép értelmezéséhez használnunk kell a területről rendelkezésre álló mélyfúrás-geofizikai adatokat.

A 25. ábra a kainozoos összletek jellemző sűrűségét mutatja a mélyfúrás-geofizikai (Egyek-1, Csen-1, Bakta-1 és

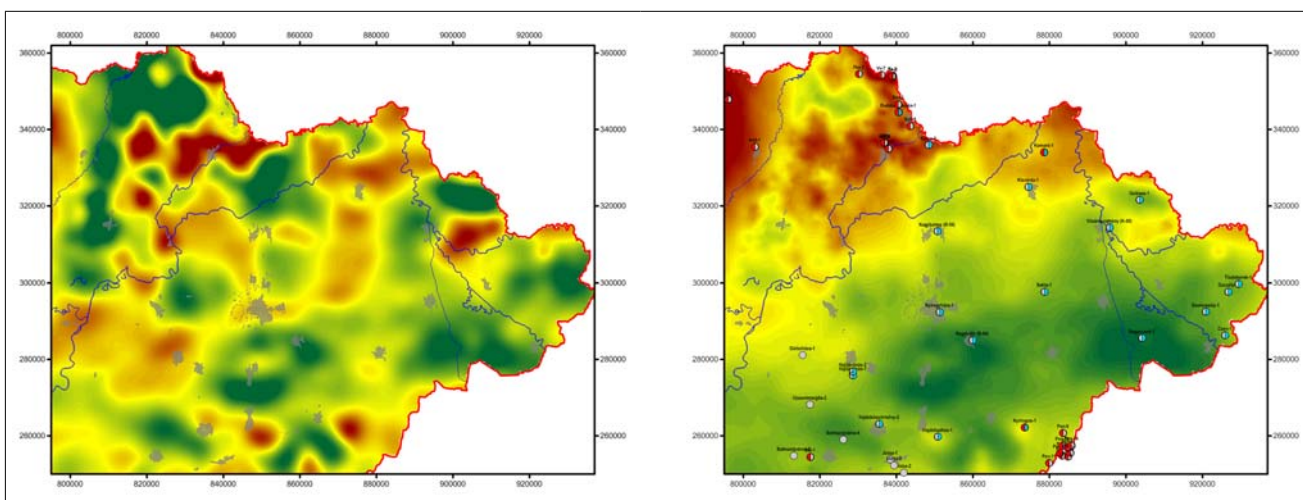


21. ábra Mélységtartományok a spektrális mélységek (fekete kereszt) alapján meghatározott görbe (világos kék vonal) és az átviteli függvények metszéspontja (piros kör) segítségével; $H_1 = 200$ m (<500 m), $H_2 = 1300$ m (500–2400 m), $H_3 = 4500$ m (2400–7000 m), $H_4 = 16200$ m (>7000 m)

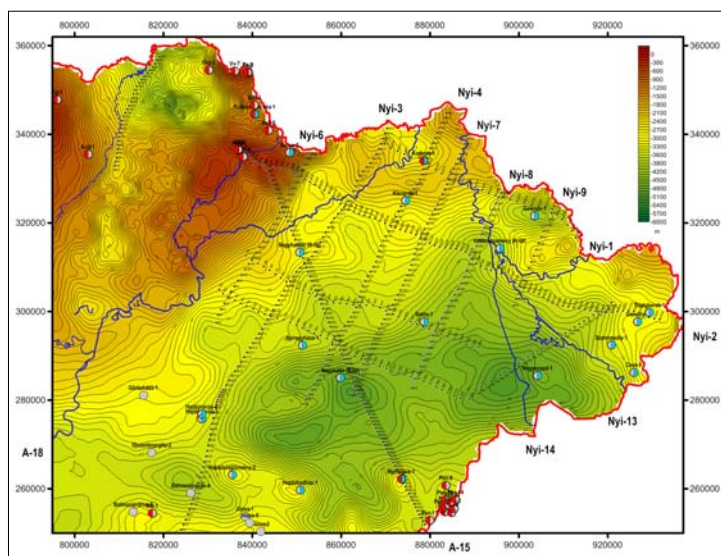
Figure 21 Depth ranges using a curve (light blue line) determined by spectral depths (black cross) and intersection (red circle) of transfer functions; $H_1 = 200$ m (<500 m), $H_2 = 1300$ m (500–2400 m), $H_3 = 4500$ m (2400–7000 m), $H_4 = 16200$ m (>7000 m)



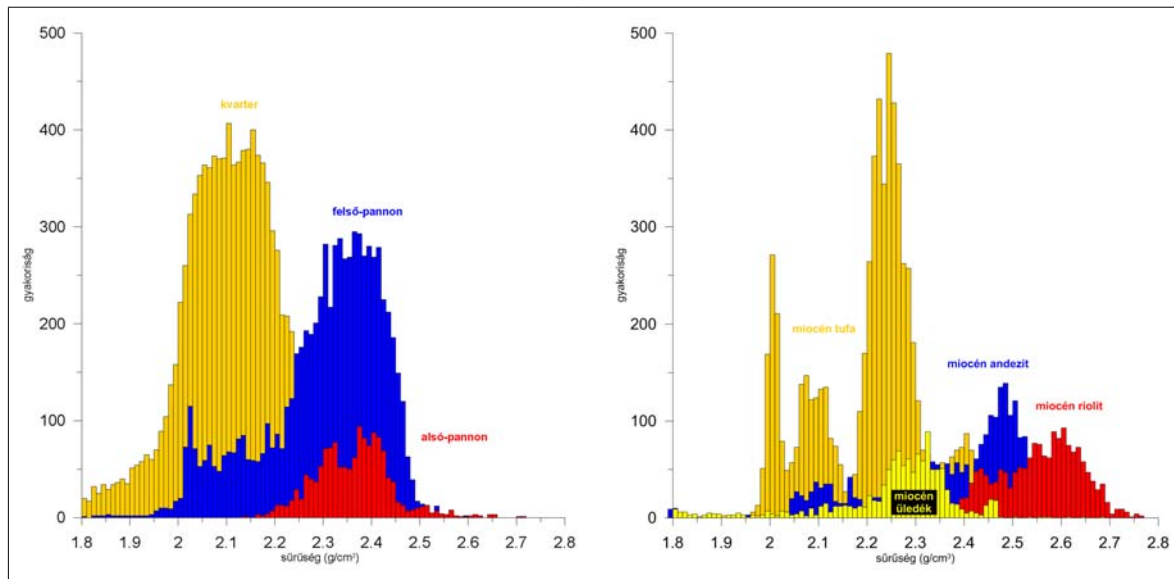
22. ábra | Spektrális vizsgálatok alapján meghatározott 0–500 m (*balra*) és 500–2400 m (*jobbra*) közötti szint (szűrt) Bouguer-anomáliatérképe
Figure 22 | Filtered Bouguer anomaly maps of 0–500 m (*left panel*) and 500–2400 m (*right panel*) depth ranges determined by spectral analysis



23. ábra | Spektrális vizsgálatok alapján meghatározott 2400–7000 m közötti szint (*balra*) és a teljes Bouguer-anomáliatérkép (*jobbra*) (mélyfúrások jelölése, piros félkör: elérte a prekainozoos medencealjazatot, kék félkör: vulkanitokat harántolt)
Figure 23 | Filtered Bouguer anomaly map of 2400–7000 m (*left panel*) depth range and the complete Bouguer anomaly map (*right panel*) determined by spectral analysis (red semicircle: reached the pre-Cenozoic basement, blue semicircle: crossed vulcanite)



24. ábra | A nagy sűrűségű medencealjazat mélységtérképe a gravitáció alapján, mélyfúrásokkal a Nyírség területén (piros félkör: elérte a prekainozoos medencealjazatot, kék félkör: vulkanitokat harántolt)
Figure 24 | Depth map of the high density basement based on gravity with wells in the Nyírség területén (piros félkör: elérte a prekainozoos medencealjazatot, kék félkör: vulkanitokat harántolt)



25. ábra Kainozoos összletek sűrűség-histogramjai a mélyfúrás-geofizikai adatok alapján a Nyírségben (Egyek-1, Csen-1, Bakta-1 és Gacs-1 mélyfúrások alapján)

Figure 25 Density histograms of Cenozoic formations based on borehole logging data in Nyírség (based on Egyek-1, Csen-1, Bakta-1 and Gacs-1 wells)

Gacs-1) adatok alapján. Jól látszik, hogy a lávaképződmények eltérnek nagyobb sűrűségükkel a többi képződménytől. Meglepő módon a riolitos lávák sűrűsége nagyobb,

mint az andezites láváké, amiben a fúrómagok leírásának bizonytalansága is benne van.

1. táblázat Egyszerűsített földtani-geofizikai modell
Table 1 Simplified geological-geophysical model

Kor	Litológia	Sűrűség	Szuszceptibilitás	Sebesség		Fajlagos ellenállás
		kg/m ³ ^(a)	mikroCGS ^(b)	m/s ^(c)	m/s ^(d)	Ωm ^(e)
Q	homok	2100	50	1800	1750	10–70
Pa2	homok, agyag	2100–2250	50	2100–3000	1750–2300	4–40
Pa1	homok, agyag	2100–2300	50	3200	1750–2500	10–70
M	üledék	2300–2550	50	NA	2000–4000	60–200
Mt	riolittufa, dácittufa	2200–2650	200	4100	3700–4500	40–200
Ma	piroxénandezit	2700–2750	6000	5200	5000–5500	1000–10000
Mr	riolit	2650–2700	1000	NA	4750–5250	100–1000000
Pg	aleurit, homokkő, agyamárga	2460–2510	50	NA	2700	20–1000
MZA	kréta diorit	2640–2700	10000	NA	6200	100–1000000
	mész-kő, homokkő	2640–2650	50	NA	5100	100–1000000
PZA	fillit, amfibolit	2690–2710	100	NA	6000	1000–100000
	gneisz	2690–2730	1000	NA	5800	1000–100000
PRA	csillámpala kvarcit	2650–2750	200	NA	6250	>1000000

^{a)} Nyírségi mélyfúrás-geofizikai adatok alapján

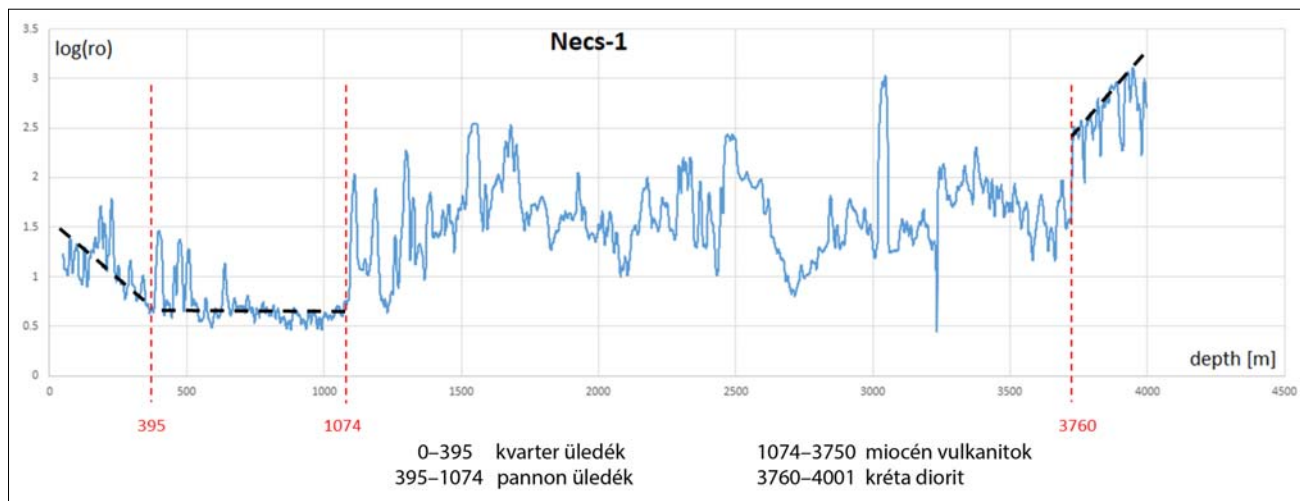
^{b)} Nyírségi magmintákon végzett mérések alapján

^{c)} Szeizmikus adatfeldolgozás alapján (Cserkés-Nagy et al.2019)

^{d)} Karotázsadatok alapján

^{e)} Nyírségi geoelektromos mérések alapján (Nemesi és Hobot 1981)

dőlt betűvel – szakirodalmi adatok



26. ábra | A Necs-1 mélyfúrás mélyfúrás-geofizikai fajlagos ellenállás szelvénye rétegsorral (logaritmus skála mentén)
 Figure 26 | Apparent resistivity borehole logging section of Necs-1 well (by log scale)

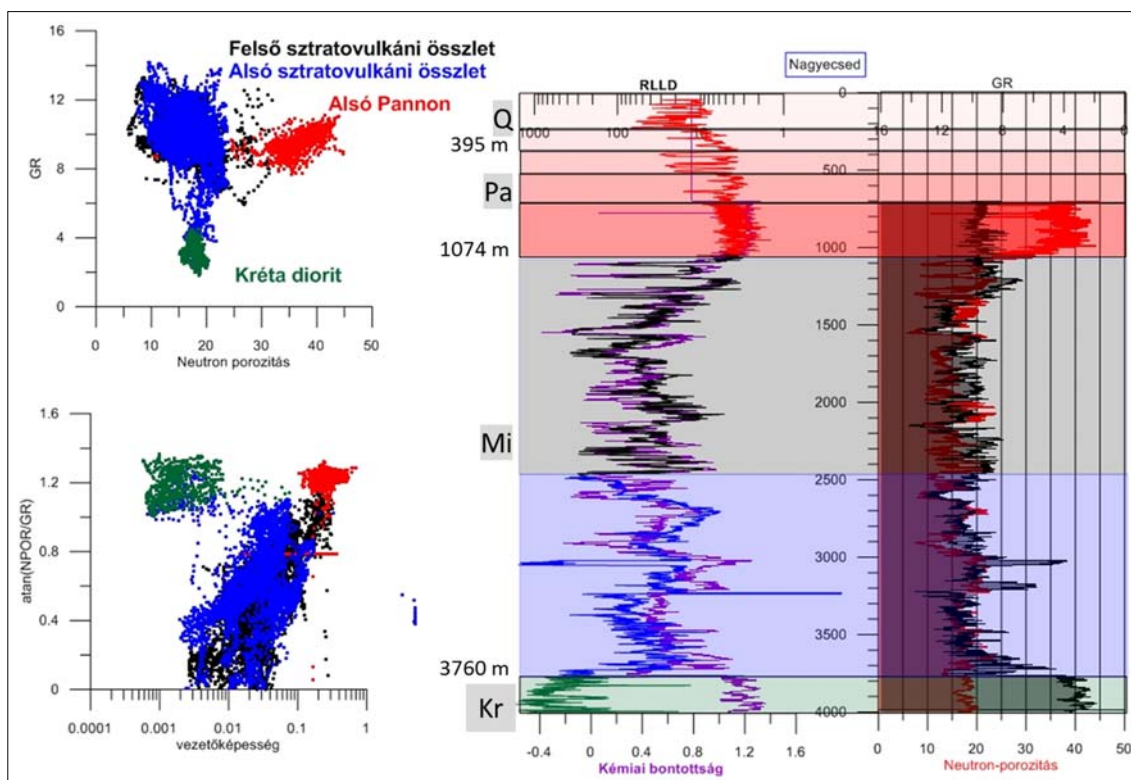
A vastag miocén lávaképződmények medencealjzatként viselkedhetnek, így a nagy sűrűségű felszín, amelyet meghatározunk, az lehet egyszer a prekainozoos medencealjzat, de lehet a közvetve/közvetlenül a medencealjzatra települő lávaképződmények teteje is.

A Nyírség É-i peremén a Tokaji-hegységben néhány mélyfúrás (pl. sárospataki Sp-5, S-7 fúrások) elérte a prekainozoos medencealjzat-képződményeket viszonylag kevés vulkanitos fedővel. Ezek a fúrások referenciaszintként felhasználhatóak. A Komoró-1 fúrás is elérte a pre-

kainozoos medencealjzatot, de az aljzat felett 1500 m vulkáni összlet van, ami zavart okozhat.

Ezeket a pontokat referenciaadatként felhasználva meghatározható a nyírségi terület belső, ismeretlen részének nagy sűrűségű medencealjzat szintje (24. ábra).

A mélyfúrási adatok hisztogramjai (25. ábra) és az 1. táblázat alapján is látszik, hogy a több kilométeres mélységben található medencealjzat-képződményeket pontosan nem ismerjük, és azok fizikai paraméterei is csak analógia alapján becsülhetők. Normál diagenezist feltételezve azon-



27. ábra | Nagyecséd-1 fúrás – mélyfúrás-geofizikai adatok, osztályok
 Figure 27 | Nagyecséd-1 well – borehole logging geophysical data and classes based on them

ban ezeknek a képződményeknek a sűrűsége valószínűleg nagyobb, mint a fiatalabb törmelékes összeteké, és a miocén lágák sűrűségét is meghaladja.

Vizsgálni kell egyrészt azokat a helyeket, ahol a Bouguer-anomáliatérkép hirtelen változásokat mutat, és a mágneses anomália-térkép alapján mágneses hatás is van. Meghatározva ezeket a bázisos lágaképződményekre gyanús helyeket a területi feldolgozások alapján, ellenőrizni kell azokat: azok geometriáját a szeizmikus reflexiók kép alapján, kijelölve a vulkáni magmás kőzetekre jellemző formákat.

Itt használhatjuk fel a gravitációs adatokat és azok spektrális szűréséből kapott, különböző szintek hatását tükröző mélységszeletelt Bouguer-anomáliatérképeket.

A 26. ábra a Necs-1 mélyfúrás-geofizikai fajlagos ellenállás szelvényét mutatja. A szelvényen jól látható, a felszínközeli kvarterképződmények fajlagos ellenállása 5–30 Ωm között változik, és a mélységgel arányosan, csökken. A felső pannon szélsőértékei kezdetben elérik a 30 Ωm-t, de alapvetően 5–7 Ωm között váltakoznak, illetve az alsó pannon esetében állandósulnak. A miocén összletek elérésekor az alapszint felugrik a 30 Ωm-re, és benne 300–1000 Ωm-es ciklikus betelepülések (lágapadok talán) láthatók. A miocén összlet vastagsága 2700 m körüli. 3760 m-től tapasztalható határozott fajlagos ellenállás-növekedést a fúrásleírások alapján kréta diorit okozza. A mélyfúrás-geofizikai mért és származtatott adatok alapján is vizsgáltuk az összletek tulajdonságait (27. ábra), mint például az elektromos fajlagos ellenállást/vezetőképessé-

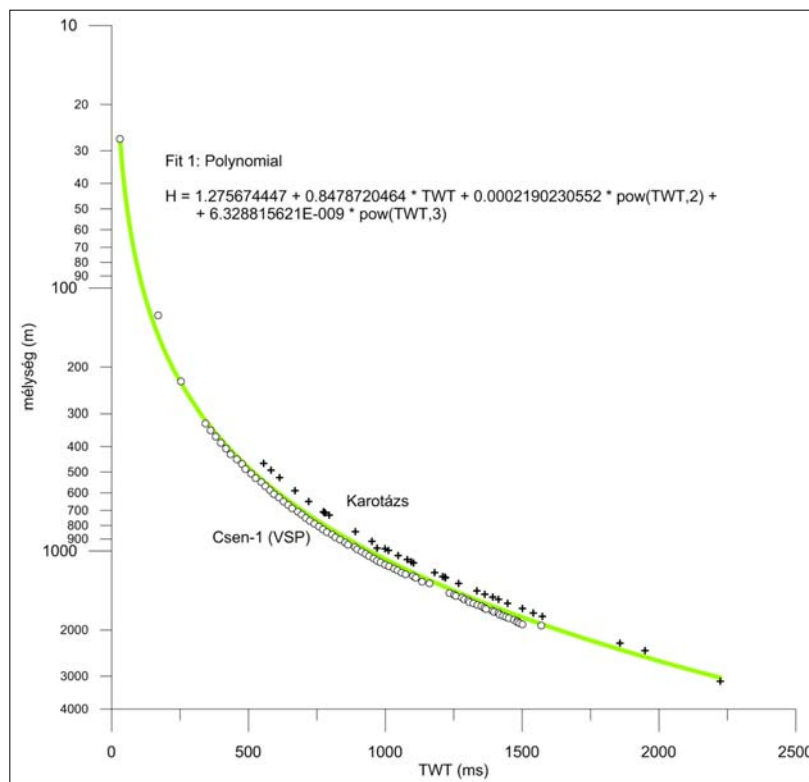
get (RLLD), neutronporozitást (NPOR), természetes gamma-aktivitást (GR).

A geoelektromos mérések (vertikális elektromos szondázás vagy dipólszondázás) esetén „Q–H–A” típusú görbe valószínűsíthető, azaz a fajlagosellenállás-érték hullámzó (többlépcsős) csökkenése után annak hullámzó (többlépcsős) emelkedése várható. Ez a kiértékelés szempontjából kedvezőtlen, mert a Q és az A típusú görbék esetén bizonytalan a vastagságmeghatározás.

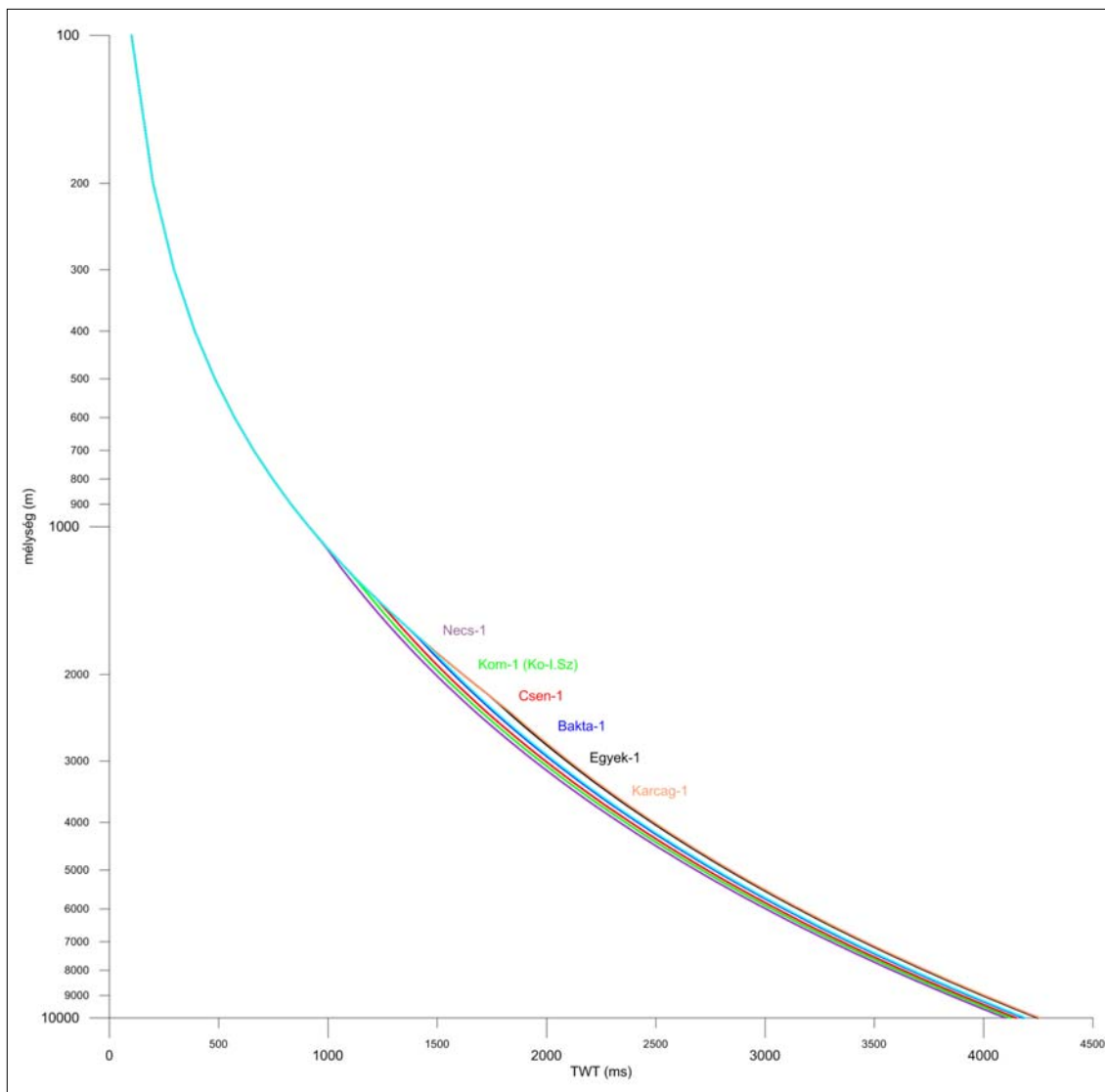
Állandó bizonytalanságot okoz a szeizmikus szelvények időben végzett értelmezésének összevetése a mélység-adatokkal (fúrás, más geofizikai módszer). A meglévő karotázsadatok alapján ez a hiba is áthidalható volt, megszerkesztettük az idő (TWT) és mélység összefüggést, meghatározva az analitikus összefüggést a mélység–idő paraméterek között.

Ezek a karotázsadatok (28. ábra, keresztek jelölve) a pannon talpmélységig álltak rendelkezésre, de a legfelső laza összletek és a miocén összletek nincsenek már benne, tehát a pannon talpig vehető többé-kevésbé pontosnak. A Csen-1 mélyfúrásban VSP mérési adatok által rendelkezésre (28. ábra, karikákkal jelölve), így csak a felső 30 m összefüggése hiányzik az teljes idő–mélység összefüggésből.

A mélyfúrás-geofizikai adatok alapján igazolható megállapítás, hogy szinte mindenhol határozott diszkordanciát, azaz egykor felszíni képződményeket (mállási kérget) találunk a pannon és miocén összletek kontaktusán. A pannon medencekitöltés története tehát elkülönül az előtte lévő



28. ábra | Idő–mélység összefüggés grafikon a pannon összletekre
 Figure 28 | Time–depth relationship graph for Pannonian sediments



29. ábra | Idő–mélység összefüggés a prekainozoos üledékekre, néhány alpfúrásra kiszámítva
 Figure 29 | Time–depth relationship graph for pre-Cenozoic sediments calculated for some boreholes

történésektől. A diszkordanciafelület egyben erős paramé-
 terváltozást jelent az üledékekben (29. ábra). Ez többek
 között azért fontos megállapítás, mert a szeizmikus idő-
 szelvények mélységkonverzióját jelentős mértékben befo-
 lyásolja a rövid szakaszon gyorsan megugró sebességérték.
 Az analógiák miatt a sűrűségparaméterben is ugyanez a
 változás tapasztalható, azaz a miocén képződmények meg-
 jelenése nem tekinthető folytonos paraméterváltozásként,
 hanem jelentős sűrűség- és sebességugrásként, amely
 mindkét módszerben határfelületként jelentkezik.

A miocén üledékekben a tömörödési trend ugyanúgy
 megjelenik, de a pannon talp mélységétől függően más ér-
 tékekről indulva és eltérő meredekséggel egészen a prekai-
 nozoos medencealjzatig jelen lehet.

A 29. ábra mutatja az idő (TWT) és a mélység (h) kap-
 csolatát a főbb mélyfúrás-geofizikai adatok alapján. Ezek
 után a sebesség–mélység és a sűrűség–mélység összefügg-
 és is meghatározható.

Kőzetfizikai megfontolások (magmintákon elvégzett mérések alapján)

A kőzetfizikai paraméterek vizsgálata során azt tapasztal-
 juk, hogy a különböző földtani képződmények elkülöní-
 tésében szignifikáns jelentőségű a mágneses szuszcepti-
 bilitás maximumának, illetve a sűrűség minimumának
 az értéke. A modellezések során ennek a két jellemző
 értéknek a használatával tudjuk elkülöníteni a hatókat
 mint összevont földtani képződményeket.

Ez látszólag furcsa, ezért a megállapítás némi magyará-
 zatra szorul:

- A mágneses anomáliák kialakulásában a legnagyobb
 mágnesszuszeptibilitás-értéknek van a legfőbb sze-
 repe, pl. a *bázisos (esetleg intermedier) vulkanitok* hatá-
 sa, amely egyszerűen elnyomja a kisebb szuszceptibilitás
 hatását. Nyilván a bázisos vulkanitok is elveszthetik –
 pl. másodlagos változások hatására – a mágnesezett-

2. táblázat | Képződménycsoportosítások lehetséges módjai
Table 2 | Possible ways to group formations

Szuszeptibilitás	Sűrűség	Képződmény
$\kappa > 100$ mCGS	$\sigma > 2,35$ g/cm ³	vulkáni lávakőzetek
$\kappa < 100$ mCGS	$\sigma > 2,35$ g/cm ³	MZ, PZ alaphegység vagy nagy mélységű, de fiatalabb törmelékes összlet (pl. miocén vagy paleogén)
$\kappa < 100$ mCGS	$\sigma < 2,35$ g/cm ³	törmelékes (üledékes vagy vulkáni) összlet

ségüket, s a szuszeptibilitás értéke egészen az üledékes összletek szintjéig csökkenthet, de mégis ezek a képződmények többnyire – éppen a legnagyobb mágnesezettségérték alapján – a környezetüktől elkülöníthetők. Azaz, ami mágneses, az biztos, hogy nem kvarter, hanem pannon vagy miocén korú képződmény. Az üledékes képződmények szuszeptibilitása pl. kontaktmetamorfózis során jelentősen megnövekedhet, de ezek csak nagyon szűk területre, kis tértartományra korlátozódnak, és még ekkor sem érik el a vulkanitok szuszeptibilitás maximumértékeit.

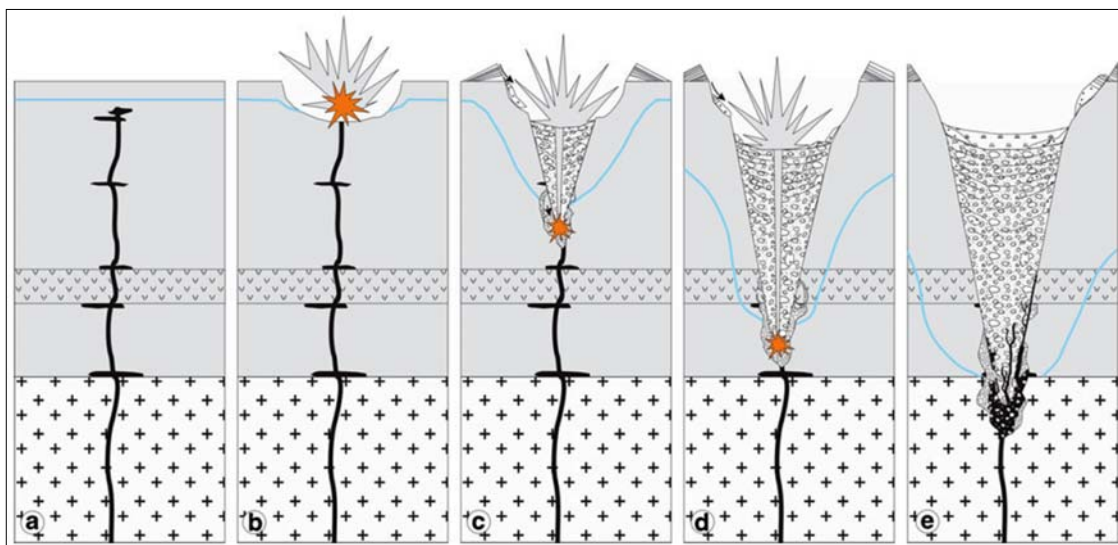
- A laza törmelékes képződmények az elhelyezkedési mélység függvényében változtatják a sűrűségüket. Minél mélyebben vannak, annál nagyobb lesz az érték. A maximális sűrűséget bizonytalan meghatározni, az többféle tényezőtől is függhet. A törmelékes üledékes kőzetek esetében a tömörödési trend szabályozza a kőzetek sűrűségét és sebességét. Egy mezozoos mészkő sűrűsége azonban még kiemelt helyzetben sem csökkenhet le a laza törmelékek jellemző értékeire. A feldarabolódás itt is drasztikus sűrűségváltozást okozhat, de ez ismételt csak lokális jellegű változásokat jelent.

A törvényszerűségeket mutatja a képződmények szuszeptibilitás-sűrűség összefüggése is, amelyet a 2. táblázat ismertet.

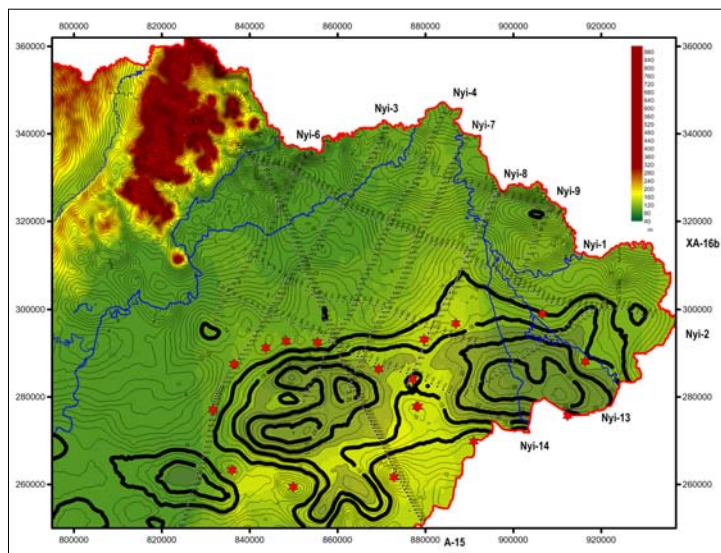
Vulkanológiai aspektusok

Sok esetben tapasztaljuk, hogy a gravitációs anomália menete nincs összhangban a felszínközeli földtani felépítéssel. A gravitációs maximumok esetén ez azzal lehet összefüggésben, hogy az ismert földtani szerkezetek vagy például egy vízszintes diszkordanciafelület alatt antiklinális szerkezet van, azaz olyan idősebb, nagy sűrűségű képződmények jelennek meg a behatolási mélységtartományban, amelyek térfogatuk és magasabb sűrűségük miatt maximumot okoznak.

Ugyanez a jelenség előfordulhat ellentétes előjellel is: egy nagy gravitációs minimumzóna, amelyet földtani ismereteink alapján nem tudunk megmagyarázni, egy mély nyírási (fellazulási) zóna miatt is kialakulhat, de a vulkáni robbanásos kitörési tevékenység (például „maar¹⁾ diatréma²⁾” vagy kaldera³⁾) is okozhat lokális minimumokat. Ebben az esetben egy vulkáni csatorna vagy a kirobbanási kaldera töltődik fel lazább, kisebb sűrűségű vulkáni törmelékekkel (30. ábra). A Nyírség területén megjelenő ellipszis formájú gravitációsminimum-anomáliák kb. 20 km átmérőjűek, feltételezve, hogy egy az egyben a kaldera méretet mutatják, a területük <300 km² körüli lehet, tehát a méretük alapján lehetnek vulkánmorfológiai eredetű anomáliák.

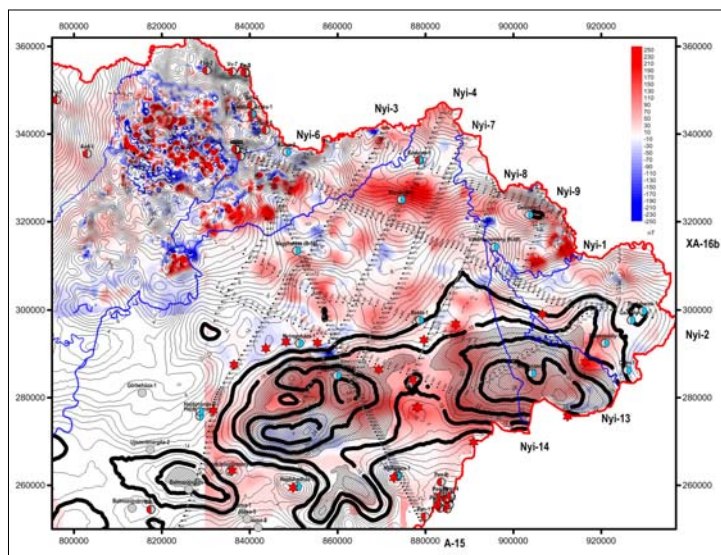


30. ábra | Maar diatréma kialakulásának fázisai (Kurszlaukis és Fulop 2013)
Figure 30 | Phases of the development of Maar diatreme (Kurszlaukis és Fulop 2013)



31. ábra A nyírségi terület domborzati térképe (színekkel), az izosztatikus korrekcióval korrigált Bouguer-anomália (izovonalakkal, a legnagyobb minimumok kivastagítva, sraffozással) és az 1300 m-es spektrális mélység lokális gravitációs maximumai (piros csillaggal)

Figure 31 Topography map of Nyírség area by isolines of Bouguer anomaly (main minimums by bold and hatching) and local gravity maxima of filtered gravity map of 1300 m spectral depth (red star)



32. ábra A nyírségi terület légi mágneses anomália-térképe (színekkel) és az izosztatikus korrekcióval korrigált Bouguer-anomália (izovonalakkal, a legnagyobb minimumok kivastagítva, sraffozással) és az 1300 m-es spektrális mélység lokális gravitációs maximumai (piros csillaggal), valamint a vulkanitot harántoló mélyfúrásokkal

Figure 32 Airborne magnetic anomaly map of the Nyírség area by isolines of Bouguer anomaly (main minimums by bold and hatching) and local gravity maxima of filtered gravity map of 1300 m spectral depth (red star) and boreholes crossed the vulcanite

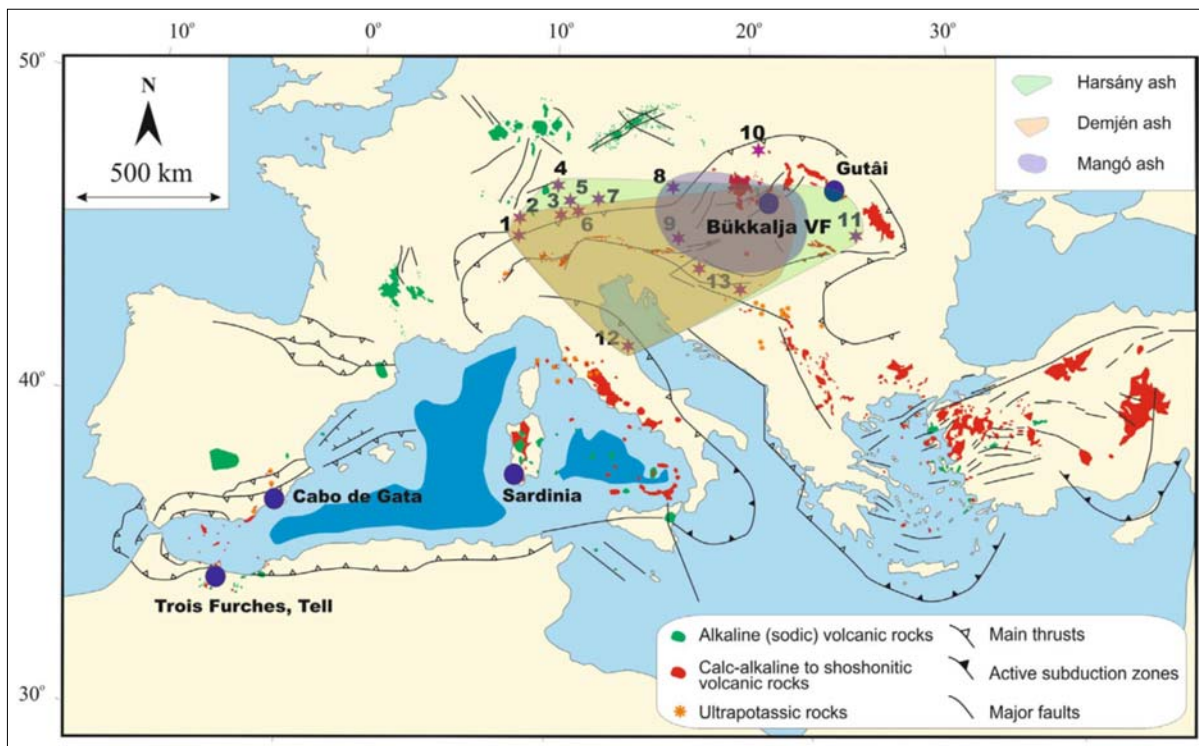
A robbanásos kitörések, kalderák a savanyú, sok szilícium-dioxidot tartalmazó, illetve intermedier magmákra jellemzők. Egyrészt, mert ezekben eleve több lehet az oldott illóanyag, mint a bázikus magmákban, másrészt, mert olvadáspontjuk alacsonyabb, tehát kihülés közben gáztartalmuk nagyobb részét veszítik el. A kalderákat többnyire intermedier andezitek vagy savanyú riolitok hozzák létre, és ezek a képződmények, illetve származékaik töltik ki azok belsejét is.

A savanyú vulkáni anyag robbanásos kitörése során a kéreg nagy mélységig fellazul, majd a kirobbant anyag helye vulkáni hamuval és törmelékkel töltődik fel, ez utóbbi képződmények az illóanyagok miatt sokszor porózusak (pl. horzsakő vagy habkő), és ebből adódóan kisebb sűrűségűek.

Horzsakő olyankor keletkezik, amikor a magmás robbanásos vulkáni működés során a nagyon forró, nagy nyomású anyag hirtelen kirepül a tűzhányóból. A habkő szokatlanul likacsos szerkezete azért alakul ki, mert egyidejű a felszínre jutó anyag gyors lehűtése és a gyors nyomás-

csökkenés. A túlnyomáscsökkenés következtében gázbuborékok jönnek létre általa, hogy csökken a lágában az oldott gázok oldhatósága (például a vízgőz és széndioxid), így a gázok gyorsan kiszabadulnak. A hirtelen hűlés a megszilárduló lágába fagyasztja a túlnyomáscsökkenés miatt keletkezett gázbuborékokat, és kialakul a likacsos szerkezetű kőzet.

Ilyen vulkáni jelenségek lokális jellegű kerek vagy ellipszis formájú morfológiát hoznak létre, aminek gravitációs hatása is lokális gravitációs minimum formájában jelenik meg. A nyírségi vulkáni mezőn ez nem meglepő jelenség. A Kárpát-medence egyik legnagyobb összefüggő vulkáni központja lehetett a lágaképződmények alapján a Tokaj-Nyírség vulkáni terület.⁴⁾ A vizes környezetben történt robbanásos savanyú magmás kitörés – a lerakódott tufa mennyisége alapján – igen komoly tömeghiányt okozhatott, amit eddig még nem sikerült sehol azonosítani. Ilyen szempontból a nyírségi nagy gravitációs minimumok figyelmet érdemelnek, mivel a minimumok jelentős tömeghiányról árulkodnak.



33. ábra | Vulkáni törmelékes összletek (agglomerátum, tufa) miocén üledékes medencékben, a tufaszórás lehetséges központjainak feltüntetésével (Lukács et al. 2018)

Figure 33 | Selected occurrences of ash deposits within Miocene sediments, locations of possible sources of volcanic eruption (Lukács et al. 2018)

A 31. ábra a színes domborzati térképet mutatja, amelyre feltettük az izosztatikussal korrigált Bouguer-anomália izovonalait, valamint sraffozással kiemeltük a legnagyobb minimumokat. A térképen elhelyeztük az 1300 m-es spektrális mélység (0–2000 m mélységtartomány) lokális gravitációs maximumait piros csillaggal.

A mélyfúrás adatok alapján a prepannon szint az 1000–1500 m-es tartományban található ezen a területén, a medencealjzat pedig 4000 m-en, illetve annál mélyebben. Így a felső 2000 m-ben nagy sűrűségű medencealjzat-képződmények nem lehetnek, viszont ebben a mélységtartományban a miocén vulkáni működés lávaképződései már jelen lehetnek, így a szűrt térkép (felső 2000 m) gravitációs maximumai már ezektől a nagy sűrűségű lávaktól származhatnak, ezek okozzák a lokális gravitációs maximumokat.

A légi mágneses térkép (32. ábra) alapján láthatjuk, hogy a minimumzónában is jelen vannak a mágneses anomáliák elkent formában, ami mélybeli mágneses hatásokat (bázisos vulkanitokat) jelez.

A földtani és vulkanológiai szakemberek régóta próbálják beazonosítani a miocén tufaszórások lehetséges központjait. A harsányi, demjéni és mangói tufaszórás szórt tufaanyagát területileg több-kevésbé beazonosították (Lukács et al. 2018), de a nagy mennyiségű anyag forrása többesélyes lehet (33. ábra). Az ábra alapján látszik, hogy a tufaelterjedés a K-Kárpátok vonulatától Ny-ra azonosítható.

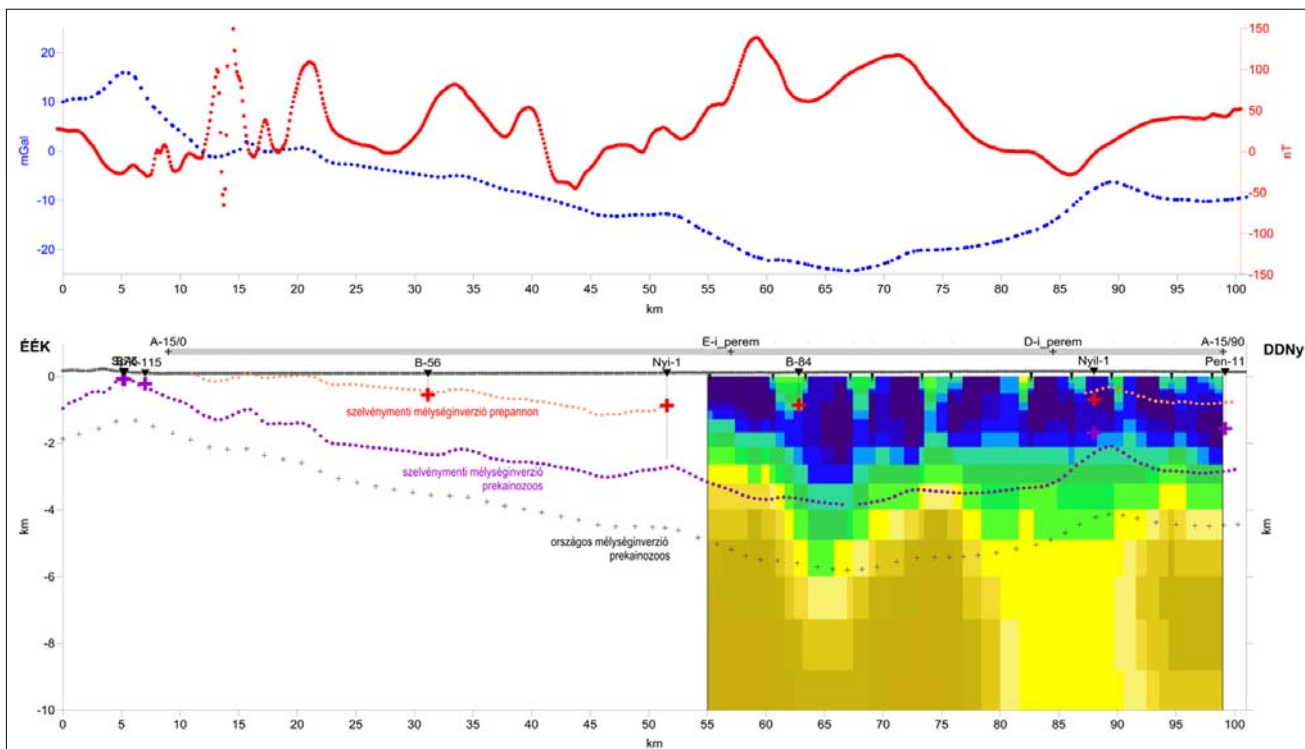
Szelvény menti feldolgozások – A-15 szelvény

Kitüntetett szerepe van azoknak a fúrásoknak és szeizmikus szelvényeknek, mint például az A-15 szelvénynek, amely Sárospatak közeléből indul, és a Nyíl-1 fúráson keresztül Penészleknél végződik. Az A-15 szelvényrel gyakorlatilag egy nyomvonalon, de felfűzve rá a sárospataki Sp-7, a nagyhalászi B-56, a nyíregyházai Nyi-1, a nagykálói B-84, és a Pen-11 számú fúrásokat, komplex adatfeldolgozásokat végeztünk.

A szelvény feletti anomáliagörbék a fő jellegzetességeket már előrevetítik. A Tokaji-hegység területén a medencealjzat felszínközélen van (fúrásokkal igazolt), itt Bouguer-anomália maximumot ad. Az Alföld területén a Bouguer-anomália nagy minimumot mutat, miközben pozitív mágneses anomáliák azonosíthatók.

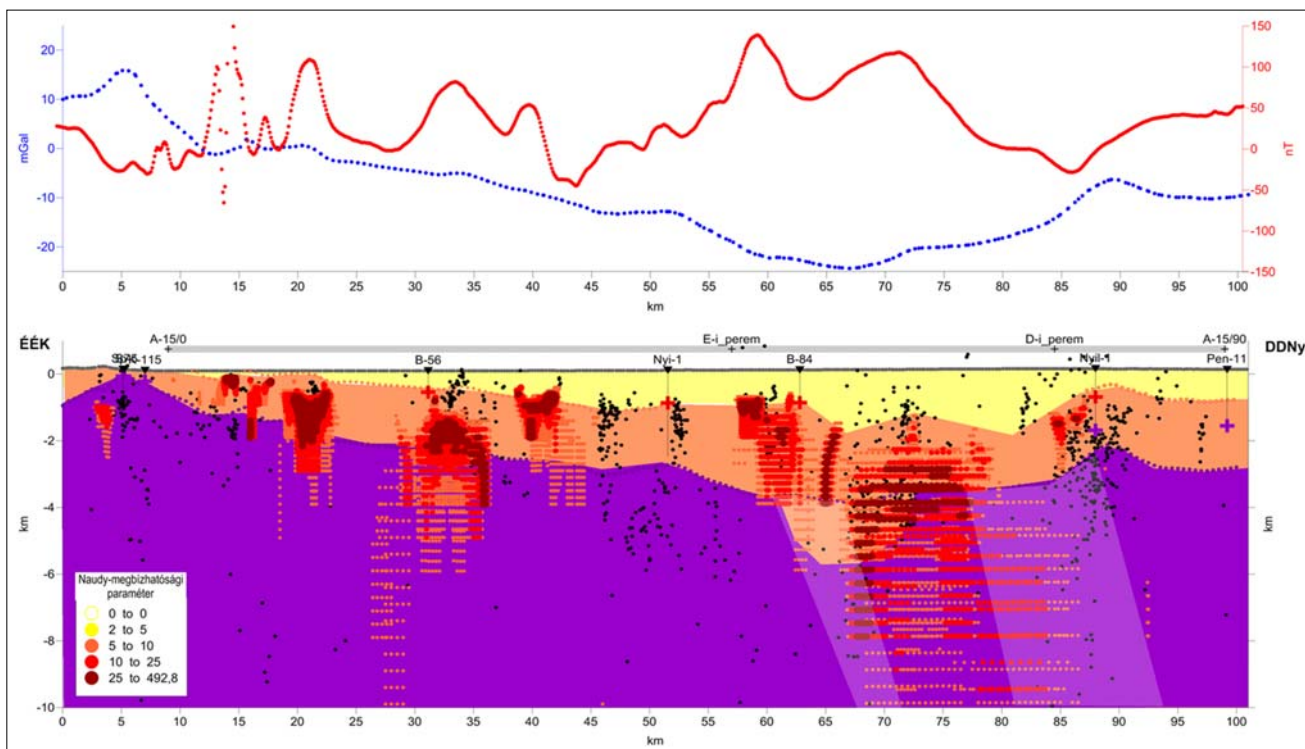
A sárospataki és nyírlugosi (esetleg penészleki) mélyfúrások lehetőséget adtak a pretercier medencealjzatnak megfelelő sűrűség szint nyom követésére az egész Nyírségi területen. Ez a 34. ábrán sötétkék pontvonalként jelenik meg. Hasonló szintként talán a prepannon szint is követhető, ld. 34. ábra, narancsszínű pontvonal.

Az inverzió során a referencia-mélység szintet ÉÉK-en a Tokaji-hegységi fúrásokhoz beállítva, az invertált mélység görbe a nyírlugosi fúrás aljzatszintjét néhány 100 m-es hibával megközelíti, de a hiba a penészleki fúrás esetében már az 1 km-t is meghaladja. Az országos invertált mélységtérkép adataival gyakorlatilag párhuzamosan



34. ábra A-15 komplex geofizikai szelvény. Felül gravitációs (kék) és mágneses (piros) anomáliagörbék, alul gravitációs invertált mélységgörbék, szelvény menti prekainozoos (lila kereszt), prepannon (piros kereszt), országos prekainozoos (fekete kereszt), MT kétdimenziós inverzióból kapott fajlagosellenállás-szelvény és a szeizmikus szelvény nyomvonala (szürke vonal)

Figure 34 Complex geophysical profile A-15. Gravity (blue) and magnetic (red) anomaly curves (above), gravity inverted depth curves: pre-Cenozoic (purple cross), pre-Pannonian (red cross), country-side pre-Cenozoic (black cross) and apparent resistivity section of MT 2-dimensional inversion (grey line) along the seismic profile



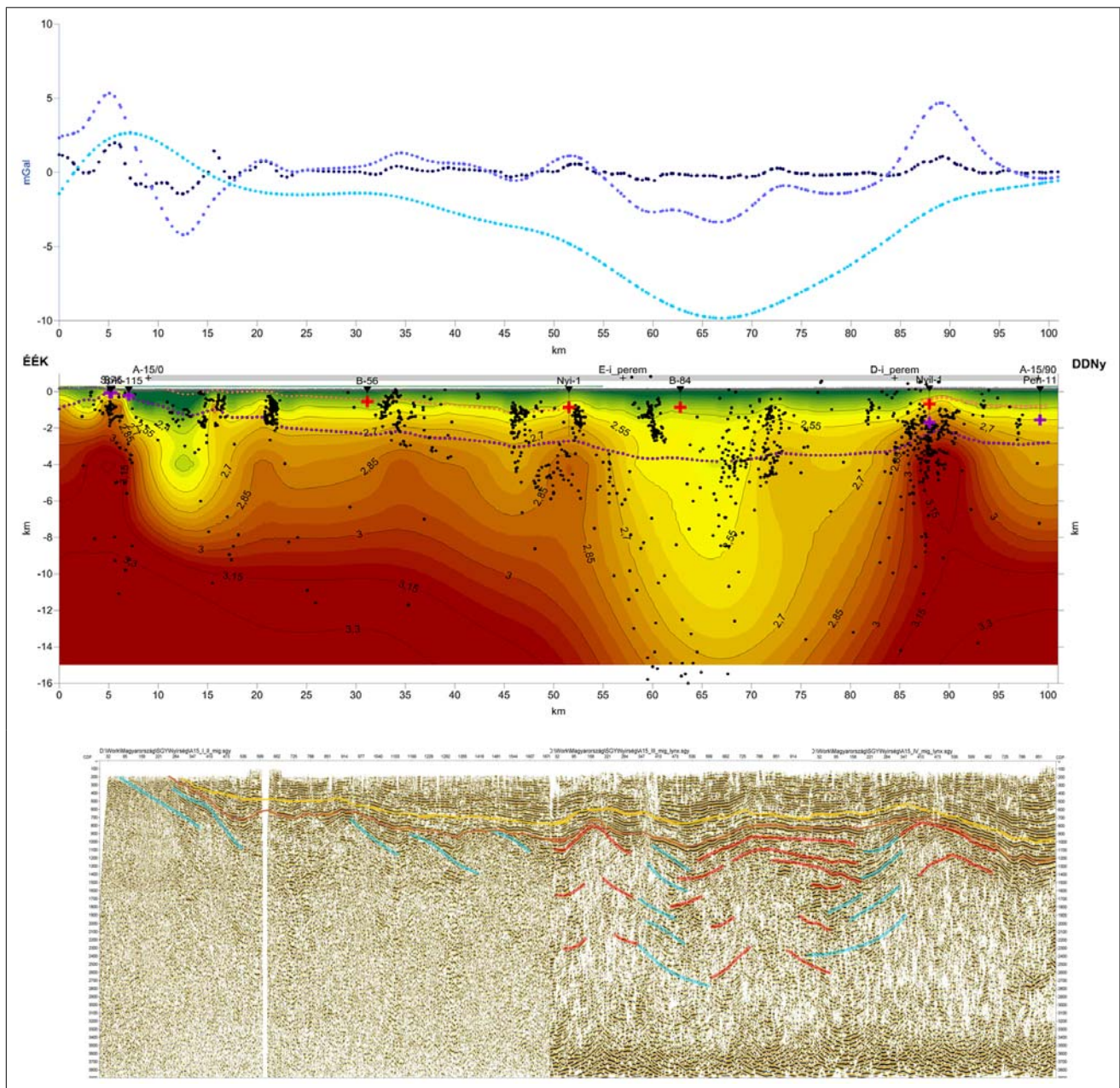
35. ábra Lehetséges földtani modell (citromsárga: Q-Pa, narancssárga: Mi, lila: medencealjzat) gravitációs (fekete) és a mágneses Naudy-féle hatókijelölés (barna-piros-narancssárga színnel)

Figure 35 Schematic geological model (yellow: Q-Pa, orange: Mi, purple: pre-Cenozoic basement formations) with gravity (black dots) and magnetic Naudy (brown-red-orange) automatic causative body determinations

lefutó mélységgörbe 1–1,5 km-rel feljebb jelentkezik (34. ábra).

A magnetotellurikus mérések alapján az látszik, hogy a szelvény menti inverziós mélységszint (prekainozoos medencealjzat) lefutása és a fajlagos ellenállásban bekövetkező váltás (zöld-sárga szint) hasonló mélységet mutat, de az MT mérésekből tagoltabb medencealjzat-felszín rajzolódik ki. Az is látszik, hogy a szelvény végén, DDNy-on a mélyfúrásokban harántolt medencealjzatszint még a jól vezető zónában van, azaz a kréta–paleogén flis nem viselkedik medencealjzatként.

A miocén vulkanitok szintje és a prepannon szint a Nyírség területén gyakorlatilag ugyanaz, mivel a vulkáni törmelékes összletek szinte mindenhol jelen vannak. A sűrűségkontraszt és a referenciamélység módosításával ezt a szintet is sikerült viszonylag jól megközelíteni az inverzióval, hiszen csak a B–84-es fúrás vulkanitszintje tér el jelentősen (itt nem folytatódik a mélységgörbe). Ez utóbbi annak köszönhető, hogy a nagy Bouguer-anomáliaminimum nem a vulkanit tetejével, hanem inkább a vulkanitok aljával van kapcsolatban, itt kivastagodhat a miocén vulkáni törmelékes összlet. A törmelékes vulkáni összlet talpa a magneto-



36. ábra Szűrt gravitációs anomáliák az A-15 szelvény mentén (felül) és a belőlük számolt sűrűségmetszet (középen) s a három darabból összeillesztett szeizmikus reflexiós időszelvény értelmezési vázlattal (alul)

Figure 36 Filtered gravity anomalies along the A-15 section (upper panel) and calculated density section (middle panel) and the seismic reflection time section (from three pieces) with interpretation sketch (lower panel)

tellurikus szondázási eredmények alapján 5 km mélységre tehető (34. ábra). Ebben a mélységben a tömörödésből adódóan a vulkáni törmelék sűrűsége a környezetével összevethető, azaz gyakorlatilag eltűnik a kimutatható sűrűségkontraszt a különböző földtani képződmények között. A sűrűségkontraszt jelentéktelen, de a törmelékes összetétel térfogata (tömege) jelentős, így az elenyésző sűrűségkülönbség ellenére a képződmények gravitációs hatása mégis jelentkezik.

Ezt tesztelhetjük a szűrt gravitációs anomáliák (36. ábra, felül) alapján. A szűrt görbéket 0–1 értékek közé normalva, az adott spektrális mélységre vonatkoztatva kapunk egy relatív sűrűségváltozási menetet. Ez a területre jellemző 0–1 közé normált tömörödési trenddel kiegészítve egy relatív sűrűség–mélység eloszlást, azaz egy sűrűségmetszetet kapunk (36. ábra, középen). A szeizmikus szelvény regionális értelmezése hasonló mélyülő tendenciát mutat (36. ábra, alul).

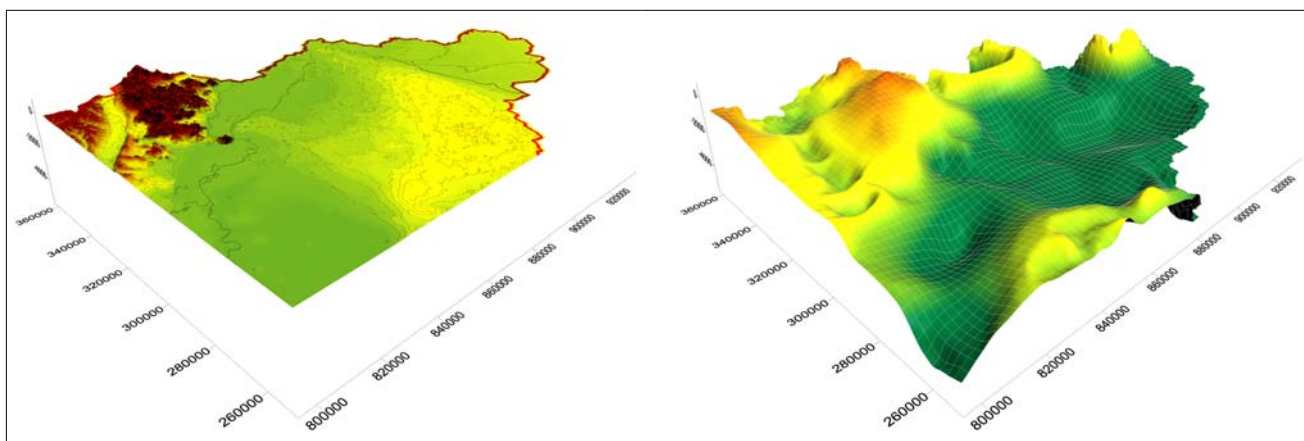
Kezdeti háromdimenziós térmodell

A terület digitális adatrendszere lehetővé teszi a háromdimenziós vizsgálatokat. Ezt érdemes a domborzattal kezd-

ni egyrészt azért, mert jól mutatja az északon, a Tokaji-hegységben a felszínen megjelenő (az egész Nyírség területén felszín alatt várható) miocén-pannon vulkáni (andezit-riolit) képződményeket, másrészt a Nyírség területén jelentkezik egy gyenge morfológiai kiemelkedés, amelynek az eredete érdekes lehet (37. ábra, balra). Ez a szint a legfelső szint, azaz felülről a földtani modell zárófelülete.

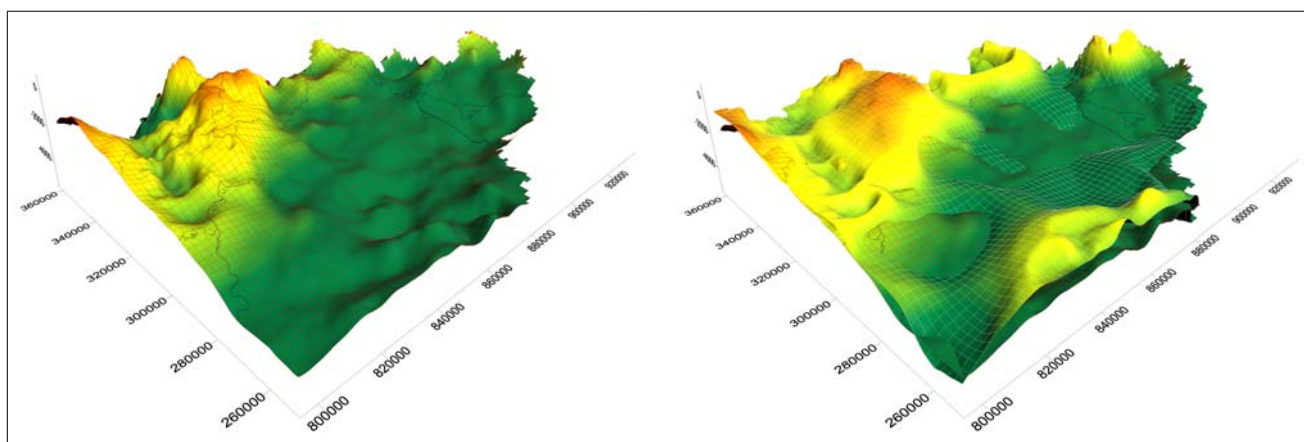
Az alsó határfelületet is megadhatjuk, a korábbi földtani-geofizikai vizsgálatok alapján megszerkesztett prekainozoos medencealjzat-térkép formájában (37. ábra, jobbra). Ilyen felület több forrásból is rendelkezésre áll (Kilényi-Sefara 1991, Jordán 2004 [Tanács és Rálish 1990 alapján], valamint Haas et al. 2010). Mivel a Nyírség területén nagyon kevés a mélyfúrás adat, így ez a térkép alapvetően szeizmikus mérési adatok alapján készíthető.

Az országos gravitációs és mélyfúrás adatok korrelációjából származtatott mélységtérkép (38. ábra, balra) a nyíregyházi és a nagyecsedői minimumok esetében 4–5 km-es mélységű prekainozoos medencealjzatot jelez. A területen mélyült legmélyebb fúrások ennek nem mondanak ellent (Bakta-1, Nyi-1). A prekainozoos medencealjzat-térkép és a gravitációs mélységtérkép között különbségek vannak,



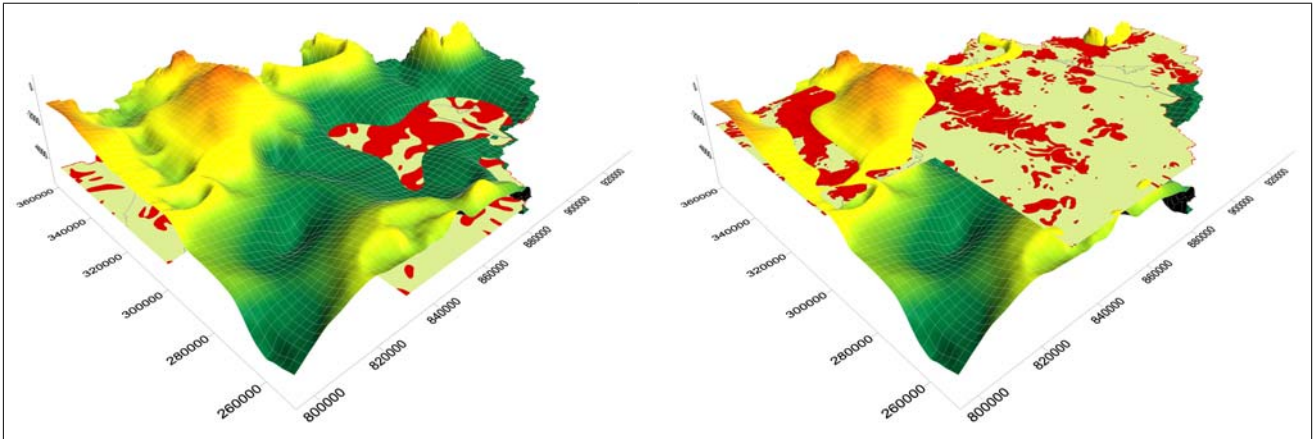
37. ábra | Háromdimenziós domborzat (balra) és prekainozoos medencealjzat-térkép (jobbra), Jordán (2004)

Figure 37 | Map of three-dimensional topography (left panel) and pre-Cenozoic Basement (right panel), based on Jordan (2004)

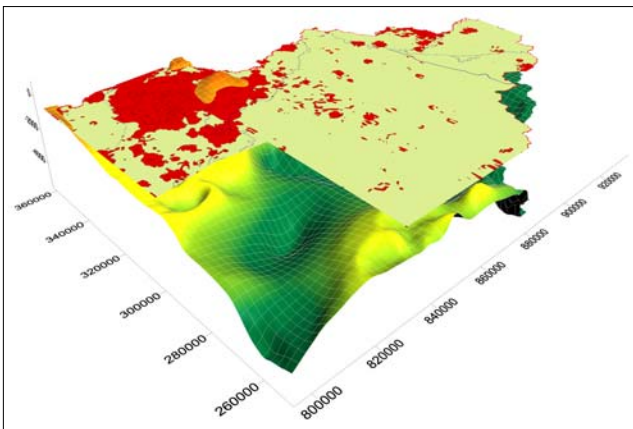


38. ábra | Gravitációs mélységtérkép (balra, piros sraffozás) és a prekainozoos mélységtérkép együttes megjelenítése (jobbra, fehér sraffozás)

Figure 38 | Depth map based on gravity (left panel, red hatch) and the same map with the pre-Cenozoic depth map together (right panel, white hatch)



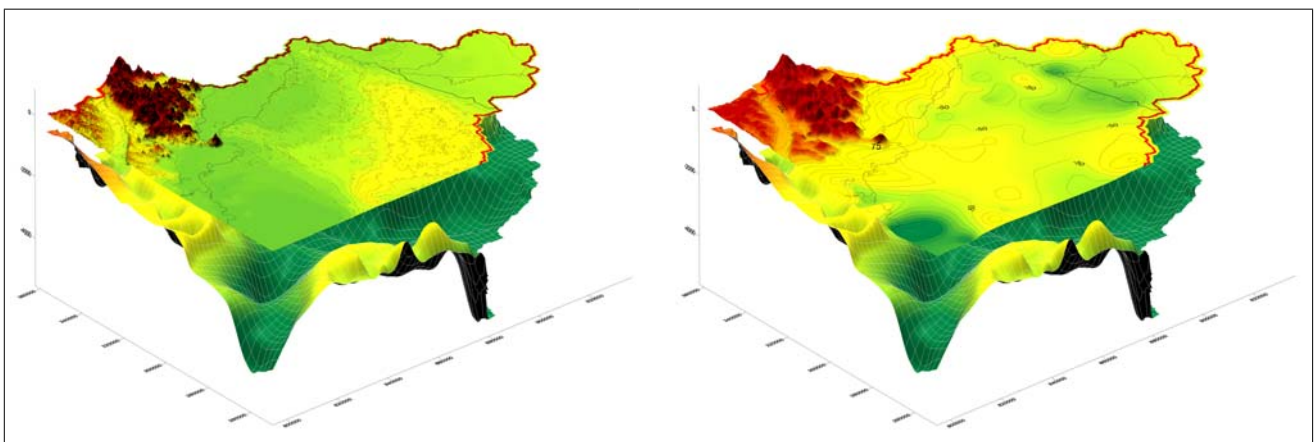
39. ábra Háromdimenziós prekainozoos mélységtérkép és a 4000 m-es szinten jelentkező mágneses hatók (*balra*) és a prekainozoos mélységtérkép és a 1500 m-es szinten jelentkező mágneses hatók (*jobbra*)
Figure 39 Three-dimensional map of pre-Cenozoic basement depth and magnetic effects at 4000 m depth level (*left panel*) and the same map with magnetic effects at 1500 m depth level (*right panel*)



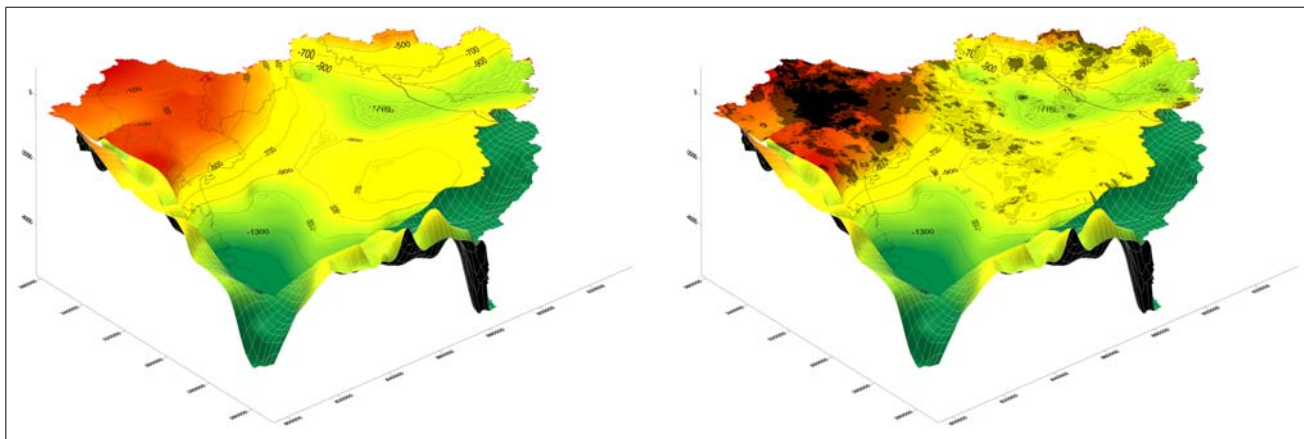
40. ábra Háromdimenziós prekainozoos mélységtérkép és a 400 m-es szinten jelentkező mágneses hatók
Figure 40 Three-dimensional map of pre-Cenozoic basement depth and magnetic effects at 400m depth level

amelyek a vulkáni felépítmény eltérő szeizmikus/gravitációs viselkedéséből adódhatnak (38. ábra, jobbra). A gravitációs mélységtérkép az eltemetett „hegylábi” részeken mutat tömegtöbbletet, amit Tokaji-hegység D-i leszakadásánál azonosíthatunk sávosan.

A bázisos magmás képződményeket a légi mágneses anomália-térkép alapján vizsgálhatjuk. Spektrális szűréssel a főbb mélységszintek kijelölhetőek, és transzformációk alapján az anomális részek leválogathatók. A leválogatás után különböző szintekben a legvalószínűbb mágneses hatók kontúrvonalai megjeleníthető. Ezt mutatják a következő ábrák. A 39. ábra bal oldalán a prekainozoos mélységtérkép és a 4000 m-es szinten jelentkező mágneses hatók (piros poligonok), a 39. ábra jobb oldalán a prekainozoos mélységtérkép és a 1500 m-es szinten jelentkező mágneses hatók (piros poligonok) látszanak. A mélyebb medencékben a vulkanitok vannak felül, de a Tokaji-hegység esetében látszik, hogy a mágneses hatók jelentős része a medencealjzat alatt is jelen vannak a szinttérképek alapján.



41. ábra Háromdimenziós prekainozoos mélységtérkép a domborzattal (*balra*) és a prekainozoos mélységtérkép a kvarter talp felszínével (*jobbra*)
Figure 41 Three-dimensional pre-Cenozoic depth map with topography (*left panel*) and pre-Cenozoic depth map with Quaternary base surface (*right panel*)



42. ábra | Háromdimenziós prekainozoos mélységtérkép a pannon talp felszínével (*balra*), és ezen feltüntetve a felszíni vulkanitok (fekete), a 400 m-es mélység mágneses hatói (szürke) és 1500 m-es mélység (sraffozás) poligon térképe (*jobbra*)

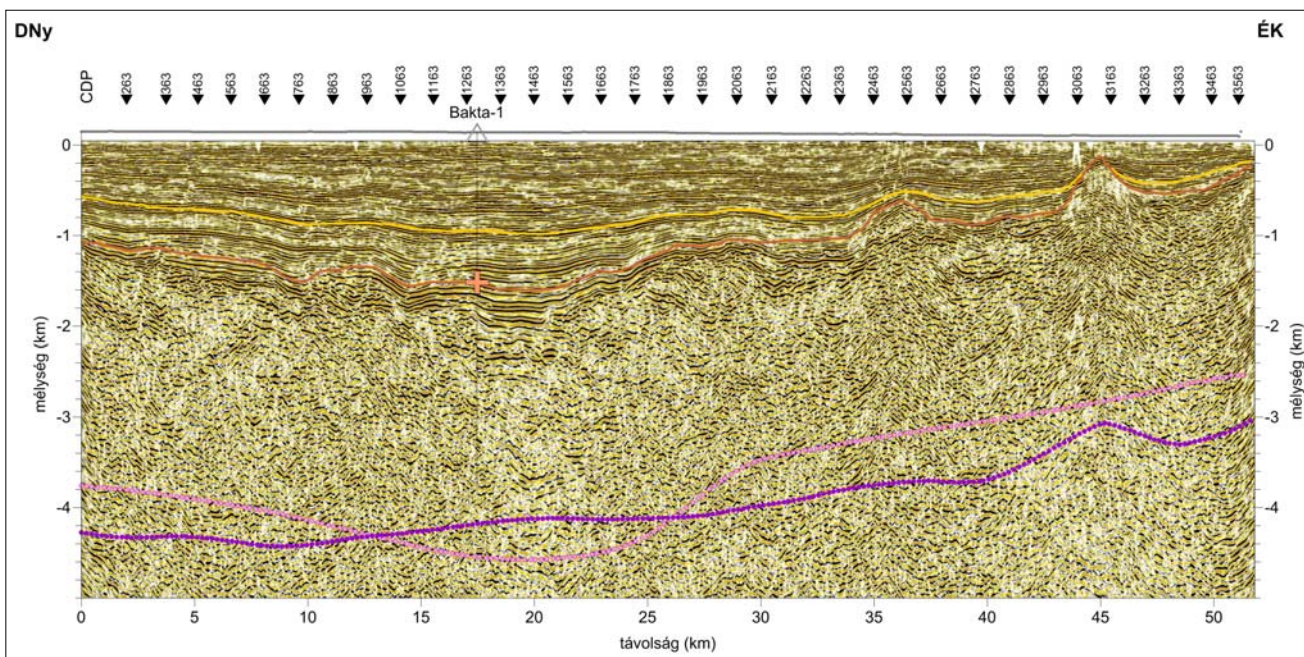
Figure 42 | Three-dimensional pre-Cenozoic depth map with Pannonian base surface (*left panel*) and the same map with polygons of surface volcanoes (black), 400 m depth (gray), and 1500 m depth supposed magnetic causative bodies (hatched) (*right panel*)

A prekainozoos mélységtérképet és a 400 m-es szint mágneses hatóit mutatja a 42. ábra. A Nyírség területén néhány kisebb foltszerű mágneses ható van csak a fedőben, ezzel szemben Tokaji-hegység területén látszik, hogy a bázisos, intermedier képződmények (miocén andezit, dácit) nagyon kis mélységben, gyakorlatilag a felszíntől jelen vannak. Sárospatak és Sátoraljaújhely között a medencealjzat-kiemelkedés a 400 m-es mágneses spektrális mélység fölé is kerül.

A földtani térmodell elemei között azonban nemcsak a prekainozoos medencealjzat szintje jelenik meg, hanem további szintek is, mint például a kvarter talp, és a pannon

talp is. Ezeket is célszerű elemezni, nézzük meg ezeket a domborzattól haladva lefelé!

A domborzati és prekainozoos mélységtérképet (*balra*), valamint a prekainozoos mélységtérképet és a kvarter összletek alját (*jobbra*) mutatja a 41. ábra. Szembetűnő, hogy a domborzat és a kvarter talp a Nyírség területén eltérő lefutást mutat. Ezt elsősorban a felszíni erózióval, a folyók (Tisza, Kraszna, Szamos, Bodrog, Hernád) tevékenységével magyarázhatjuk. A folyók azonban mindig lefelé folynak, ami azt jelenti, hogy a felszíni domborzat (és a folyók) helyzetét valami más határozza meg.



43. ábra | A Nyi-8 szeizmikus reflexiók szelvény a gravitációs mélység szinttel (sötétlila), földtani prekainozoos medencealjzattal (püspöklila) az alsó pannon (narancssárga), felső pannon (sárga) talpszintekkel

Figure 43 | Seismic reflection profile Nyi-8 with gravity depth (dark purple), geological pre-Cenozoic basement (bishop's purple) with lower-Pannonian (orange), upper-Pannonian (yellow) base levels

A következő szint, a pannon talp (prepannon aljzat, 42. ábra) az Alföld alatt megfigyelhető enyhe megemelkedése a nyírségi területen kapcsolatban lehet a miocén vulkanitok által (legalább is részben) kialakított paleo-domborzattal. A prepannon (pannon talp) felület felemelkedése a Tokaji-hegység peremén, ÉK-en a jelentkezik.

Ha kiemelt vulkánmorfológiai formára történt az üledékképződés, akkor kiemelkedéssel települ az üledék, ha viszont a terület recens süllyedése nem egyforma mértékű volt, a kiemelt részeken kisebb mértékű, esetleg emelkedett is a földtörténet folyamán, akkor párhuzamos, de nem vízszintes üledékrétegződést kell tapasztalnunk. A „csúcsos” reflexiók a Nyi-8 szelvény mentén (44. ábra) nagy valószínűséggel szubvulkáni testek lesznek, amit az üledékes földtani szintek is jeleznek.

A szeizmikus adatok feldolgozása és értelmezése választ adhat erre a kérdésre, és pontosíthatja a ritka adatrendszer alapján elkészített kvarter és pannon szintek mélységtérképét. Ehhez kapcsolódhat a 2000-es évek elején a MOL számára mért magnetotellurikus szelvények, amelyek bevonása a komplex értelmezésbe további mélység szintek kijelölésére, pl. prekainozoos medencealjzat felszínének meghatározására is esélyt adhat.

Összefoglalás

Térképi

A mágneses anomáliák spektrális vizsgálata alapján, a Nyírség területén, több szinten is le tudtuk határolni az eltemetett vulkanitokat (vastag főleg bázisos vulkáni összeteteket), amelynek a jelenléte a fedőben – vizsgálataink szerint – a tellurikus vezetőképesség-anomáliák alapján is követhető (44. ábra). Mivel a magmaanyag alapvetően alulról jön felfelé, így a magmás kőzetek forrása (magmacsatorna, magmakamra) is valahol a kijelölt területek alatt várható. Mélyebb szintek hatóinak beazonosítása, lehatárolása az

átfedő hullámhosszúságú mágneses anomáliák miatt nem lehetséges.

A Bouguer-anomáliák a nagy sűrűségű medencealjzatot, illetve az arra közvetlenül települt lávaképződmények felszínét képezik le, a szűrt anomáliák a fedő inhomogenitását mutatják, aminek pontos értelmezéséhez több – a miocént teljesen harántoló – fúrásra és szeizmikus szelvényre lenne szükség. Annyi azonban megállapítható, hogy a fedőben nagy sűrűséggel jellemezhető zónák litológiai szempontból csak „úszó” lávaképződmények lehetnek.

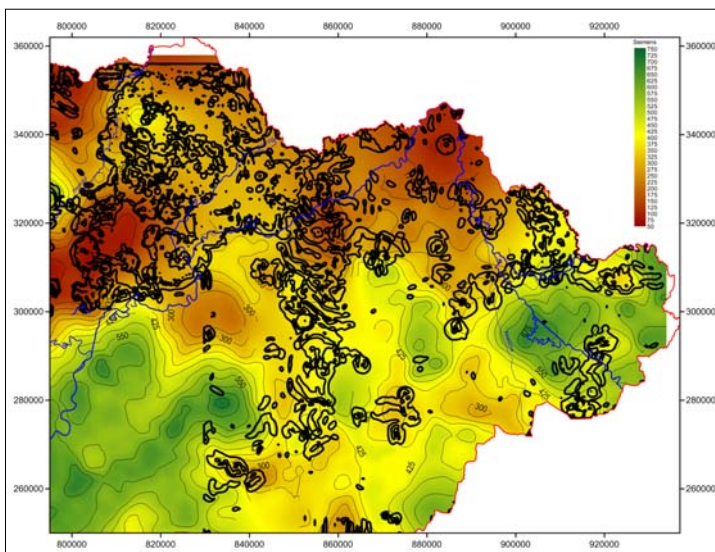
Tektonikai és vulkánmorfológiai jelenségek azonosítására is látunk esélyt a potenciáltér-anomáliák alapján, de itt is további kontrolladatok szükségesek (nagyszerkezetek, nyírási zónák, vulkáni kürtősorok és a robbanásos árcok földtani értelmezésekor).

Szelvények mentén

A vulkanitok pontosabb geometriájának vizsgálata az adatok szelvény menti feldolgozása alapján részben lehetséges. Szelvények mentén sok esetben egyedi formákat azonosíthatunk, lásd például vulkáni test a Nyi-8 szelvény esetében (Tiszaszalka alatt) vagy korábban, az A-18 szelvény mentén azonosított „napkori vulkán” (Nemesi és Hobot 1981) és további azonosított eltemetett vulkáni formák a Nyírségben (Zelenka et al. 2004). Bonyolult geometriájú vulkán szerkezetek azonosítása a mélységgel arányosan növekvő hullámhosszúságú mágneses anomáliák miatt és az ebből adódó jelinterferencia miatt nem lehetséges.

Komplex – szeizmikus, gravitációs, mágneses és magnetotellurikus – feldolgozások alapján van esély a medencealjzat követésére, bizonyos korlátozások mellett. Referencia-mélység adatok hiányában azonban a szintazonosítás (mélység, képződmény) bizonytalan.

A feldolgozási és értelmezési folyamat nem áll itt meg, tovább vizsgáljuk a Nyírség eltemetett titkait a meglévő föld-



44. ábra Korreláció a tellurikus 25 s periódusú vezetőképesség-térképe (vezetőképesség-anomália izovonalai csak a mért területeken vannak jelölve, máshol interpolált adat van) és a 400 m és 1500 m szintek mágneses hatópolygonjai (vastag fekete kontúrvonalak) között

Figure 44 Correlation between the telluric conductivity map of the 25 s period (conductivity anomaly isonlines are only marked in the measured areas, there is interpolated data elsewhere) and the magnetic polygons of the supposed volcanic bodies of the 400 m and 1500 m levels (thick black contour lines)

tani és geofizikai adatok alkalmazásával – ez egy következő tanulmány témája lehet.

A tanulmány szerzői

Kiss János, Vértesy László, Zilahi-Sebess László, Takács Ernő, Gulyás Ágnes

Jegyzetek

* A 2019. évi Földtani-geofizikai Vándorgyűlésen elhangzott „Nyírség, a potenciáltér-adatok tükrében” c. előadás kibővített változata.

¹⁾ *Maar-vulkánok*nak az egyetlen, nagy robbanással kialakuló vulkánok egy karakteres csoportját nevezik. Nevük egy rajnai német dialektusból ered, („Meer” németül tenger) végső forrása a latin „mare” szó, és a közepüket rendszerint feltöltő tavak tengerszem jellegére utal.

²⁾ *Diatréma* vagy vulkáni csatorna egy olyan nyílás a földkéregben, amelyen keresztül a magma a felszínre tör. A diatrémát általában automagmatikus breccsa tölti ki: a megszilárdult magmában a csatorna oldalairól leszakított kőzetdarabok „úsznak”.

³⁾ *Kaldera* a robbanásos kitörések eredménye. Olyankor képződik, amikor a magmakamrában annyira megnő a túlnyomás, hogy a felszabadult gázok fordított kúp alakban lerobbantják a magmakamrát fedő kőzeteket. Ezután a fedő maradáka koncentrikus törésvonalak mentén berogy a kiürült gázok helyére. A teljes beomló terület elérheti a több száz vagy akár a pár ezer négyzetkilométert is.

⁴⁾ „Az elmúlt 20 millió év legnagyobb vulkáni kitöréseit produkáló időszak 14 és 18 millió éve volt, és mindez a Pannon (Kárpát) medencében történt! Több mint 4000 km³ vulkáni anyag terült szét a térségben, és még 1000 km-t meghaladó távolságban is hullott a vulkáni hamu!” (Harangi Szabolcs, Tűzhányó Blog)

Hivatkozások

Cordell L. (1985): A stripping filter for potential field data. In: 55th Annual International Meeting, SEG, Expanded abstract, pp. 217–218.

Cserkész-Nagy Á., Bauer M., Csabafi R., Kiss J., Kóborné Bujdosó É., Takács E. (2019): Mátészalka környezetének geotermális célú földtani vizsgálata geofizikai adatok alapján. Kézirat, MBFSZ adattár, p. 56.

Haas J., Budai T., Fodor L., Csontos L., Konrád Gy. (2010): Magyarország pre-kainozoos földtani térképe M = 1:500 000. Magyarország Földtani Térképsorozata, MÁFI

Jordán Gy. (2005): A fürdőfejlesztésekkel kapcsolatban a hazai termásvízkezelés fenntartható hasznosításáról és a használt víz

kezeléséről szóló hidrogeológiai kutatás. Zárójelentés a Gazdasági és Közlekedési Minisztérium megbízásából a VITUKI-MÁFI-AQUAPROFIT Konzorcium keretében a VITUKI Kht. által 2004–2005. évben végzett munkákról. Kézirat, MÁFI

Kilényi É., Sefara J. (1991): Pre-Tertiary Basement Contour Map of Carpathian Basin Beneath Austria, Czechoslovakia and Hungary. *Geophysical Transactions* 36/1–2, 15–36.

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

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

Kiss J. (2013): Magyarországi geomágneses adatok és feldolgozások: spektrálanalízis és térképi feldolgozások. *Magyar Geofizika*, 54/2, 89–114.

Kiss J. (2013): Magyarország Bouguer-anomáliatérképének frekvenciatarománybeli vizsgálata és értelmezése. *Magyar Geofizika*, 55/4, 163–178.

Kiss J., Madarasi A. (2012): A PGT-1 szelvény komplex geofizikai vizsgálata (nem szeizmikus szemmel). *Magyar Geofizika*, 53/1, 29–54.

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

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. Kézirat, MBFSZ adattár

Kurszlaukis S., Fulop A. (2013): Factors controlling the internal facies architecture of maar-diatreme volcanoes. *Bulletin of Volcanology*, 75(761), DOI: 10.1007/s00445-013-0761-y.

Lukács R., Harangi Sz., Guillong M., Bachmann O., Fodor L., Buret Y., Dunkl I., Sliwinski J., Quadt A., Peytcheva I., Zimmerer M. (2018): Early to Mid-Miocene syn-extensional massive silicic volcanism in the Pannonian Basin (East-Central Europe): Eruption chronology, correlation potential and geodynamic implications. *Earth-Science Reviews*, 179, 1–19.

Naudy H. (1970): Une methode d’analyse sur profi les aeromagnetiques. *Geophysical Prospecting*, 18, 56–63.

Naudy H. (1971): Automatic determination of depth on aeromagnetic profiles. *Geophysics*, 36, 717–722.

Nemesi L., Hobot J. (1981): A Tiszavidék és a Tiszántúl mélyszerkezeti viszonyai és földtani-geoelektromos modellje. *Geofizikai Közlemények*, 27, 7–105.

Tanács J., Rálish L.-né (1990): Magyarország földtani atlasza, Magyarország Kainozoos képződményeinek alulnézeti térképe, M = 1:500 000. MÁFI kiadvány

Zelenka T., Balogh K., Kozák M., Pécskay Z., Ravasz Cs., Újfalussy A., Balázs E., Kiss J., Nemesi L., Püspöki Z., Széky-Fux V. (2004): Buried Neogen volcanic structures in Hungary. *Acta Geologica Hungarica*, 47/2–3, 177–219.