MAGYAR GEOFIZIKA
56. évf. (2015) 1. szám, 21–42

TANULMÁNY

A Pannon-medence geomágneses anomáliái és a mélyfúrással feltárt bázisos földtani képződmények kapcsolata

Kiss J.

Magyar Földtani és Geofizikai Intézet (MFGI), 1143 Budapest, Stefánia út 14.
E-mail: kiss.janos@mfgi.hu

A 2006-ban elkészített 1:500 000-es méretarányú mágneses térkép nyomdai kiadása (Kiss és Gulyás 2006) mérsékelt szakmai érdeklődés ellenére előhozta a mágneses anomáliák értelmezésének problematikáját. A kérdéssel országos szinten utoljára Posgay Károly foglalkozott a 60-as években, és azóta senki nem szólt hozzá érdemben.

Ebben a cikkben a mágnesesanomália-térkép és az MFA mélyfúrási adatbázis adatait vetjük össze földtani értelmezés céljából. A munka során megállapítható volt, hogy a fúrásokban harántolt magmás kőzetek elhelyezkedése nem ad magyarázatot a mágneses anomáliák jelentős részére. Úgy tűnik, hogy a fúrási talpmélységnél mélyebben elhelyezkedő képződmények hatása tükröződik az anomáliatérképen, amely képződményekről viszont nincsenek közvetlen információink. Vannak azonban olyan adatok, például litoszférakutató szeizmikus szelvények, amelyek anomáliái térképi megjelenítésben összevethetőek a mágneses anomáliákkal, és választ adhatnak azok eredetére.

Kiss, J.: Connection between geomagnetic anomalies and mafic geological formations penetrated by wells in the Pannonian Basin

The 1:500 000 scaled magnetic anomaly map of Hungary published by Kiss and Gulyás (2006) brings up the interpretation problems of magnetic anomalies. The first interpretation of magnetic anomalies carried out country-wide was made by Posgay in the 1960's and since then nobody has studied the subject in all detail.

This paper is going to compare the magnetic anomaly map and the borehole data of MFA database with the aim of geological interpretation. It could be ascertained in course of this study that location of cross-cut magmatic rocks in drillings did not give an explanation for a considerable part of magnetic anomalies. It seems that depth location of magnetic source bodies giving the anomaly effect is deeper than the bottom of the boreholes. We have no direct information about those depths, but there are some other data, e.g. velocity anomalies known from deep seismic profiling, which show good correlation with magnetic anomaly zones.

Beérkezett: 2015. március 20.; *elfogadva:* 2015. június 9.

Bevezetés

A mágneses adatokkal, illetve a lemeztektonika és a vulkanizmus kapcsolatával foglalkozó korábbi cikkeinkben bemutattuk az ország és a régió mágnesesanomália-térképét, vizsgáltuk az anomáliákat okozók lehetséges hatókat nagyszerkezeti és lemeztektonikai szempontból, és azok feltételezhető mélységét spektrálanalízissel. Az országos adatok alapján digitális hatóperem-kijelölést (Kiss 2013), a Kárpát-Pannon régió mágnesesanomália-térképe alapján vizuális (analóg) mágneseslineamens-meghatározást végeztünk (Kiss 2014).

A feldolgozások célja a mágneses hatásokért felelős hatók (és folyamatok) azonosítása volt, ami nem egyszerű dolog, mert változik a képződmények összetétele, helyzete, geometriája és mágnesezettsége (annak nagysága és iránya is) a térben (valószínűleg időben is), és e tulajdonságok közül a hatók egy részénél szinte semmit sem ismerünk pontosan.

ISSN 0025-0120 © 2015 Magyar Geofizikusok Egyesülete

Egy ilyen azonosítás során a legfontosabb kontrolladatot a felszíni és a mélyfúrásból ismert bázikus magmás, metamorf kőzetelterjedés jelentheti. Ezeket az ismereteket fogjuk körbejárni – tudva és figyelembe véve persze azt, hogy ami rendelkezésünkre áll, az csak egy *szűk, néhány kilométeres mélységtartomány szórványadata,* legalábbis térgeometriai szempontból.

Ennek a hibának a kiküszöbölésére megvizsgáltuk a litoszférakutató szeizmikus szelvényeket is, amelyek behatolási mélysége majd egy nagyságrenddel nagyobb, mint a mélyfúrásoké.

Országos adatok vizsgálata

A korábbi cikkben (Kiss 2013) az anomáliák hatómélységének vizsgálatakor már látszott, hogy a hazai mélyfúrásokból kinyerhető adatok csak a felső két mélységtartomány (0–2 km között) mágneses hatóinak vizsgálatára adhatnak kiegészítő információt, mert a harmadik szint 11 km-es mélysége a fúrások számára gyakorlatilag elérhetetlen.

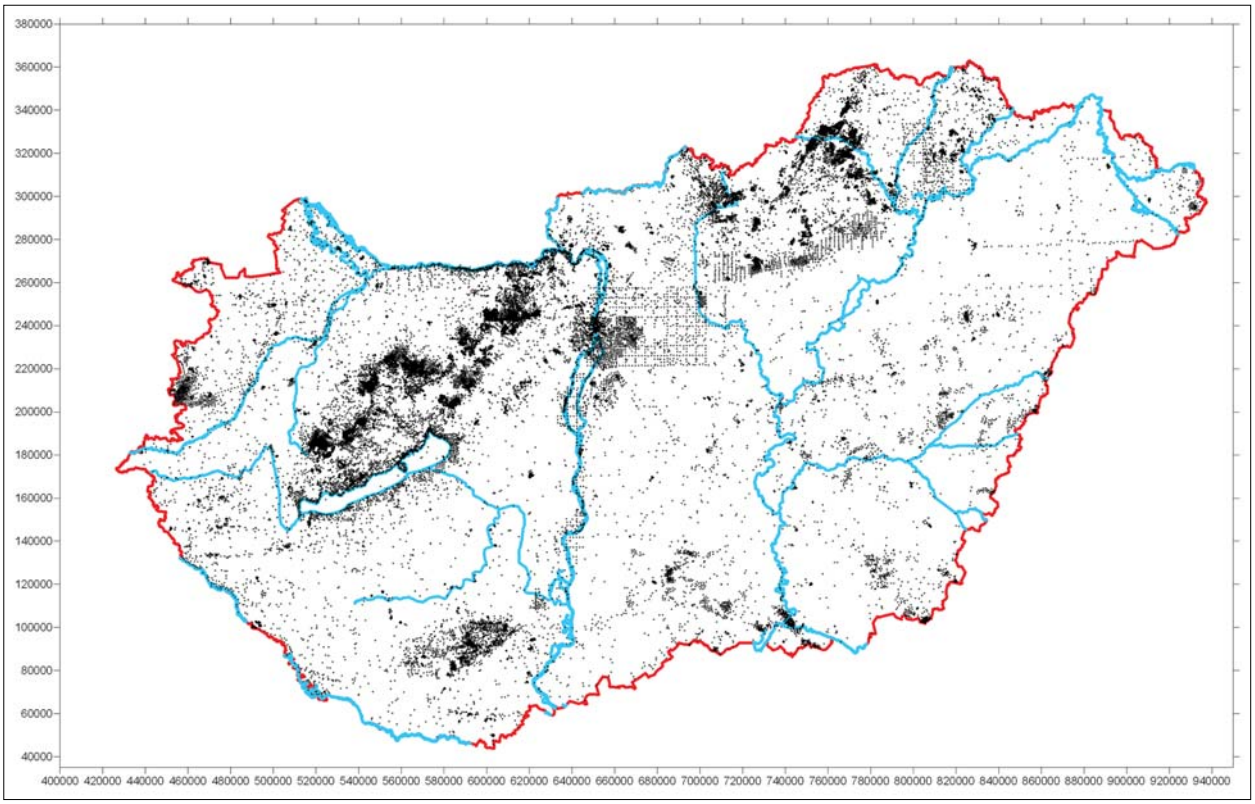
A korábbi munkák, amelyekben a fúrások magmás és vulkáni képződményeit számba vették, alapvetően analóg, vizuális összegzések voltak olyan szerzőktől, akik hosszú évtizedeket töltöttek el a földtani – többek közt magmás – képződmények kutatásában. Ezt az összegző munkát ismételjük meg, de már számítógépes, digitális adatkezelés segítségével. Ismét elővettük tehát a fúrási adatokat, és vizsgálataink elsődleges célja az országos mágnesesanomália-térkép értelmezésének földtani megalapozása, az anomáliáért felelős eltemetett földtani képződmények azonosítása.

Arra teszünk kísérletet tehát, hogy az ország mélyfúrási alapadataiból kiindulva – amennyire lehetséges – értelmezzük az országos mágnesesanomália-térképet, beazonosítsuk a mágneses anomáliát okozó földtani képződményeket és megvizsgáljuk azok elhelyezkedését. Ehhez először a mélyfúrási adatokat kell elemeznünk hatóazonosítás céljából, majd a kapott eredményeket összevetnünk a mágneses adatokkal és a korábbi cikkünkben (Kiss 2013) bemutatott digitális feldolgozások eredményeivel, pl. a mélységszeletelés eredményeként kapott sávszűrt térképekkel.

Fúrási alapadatok

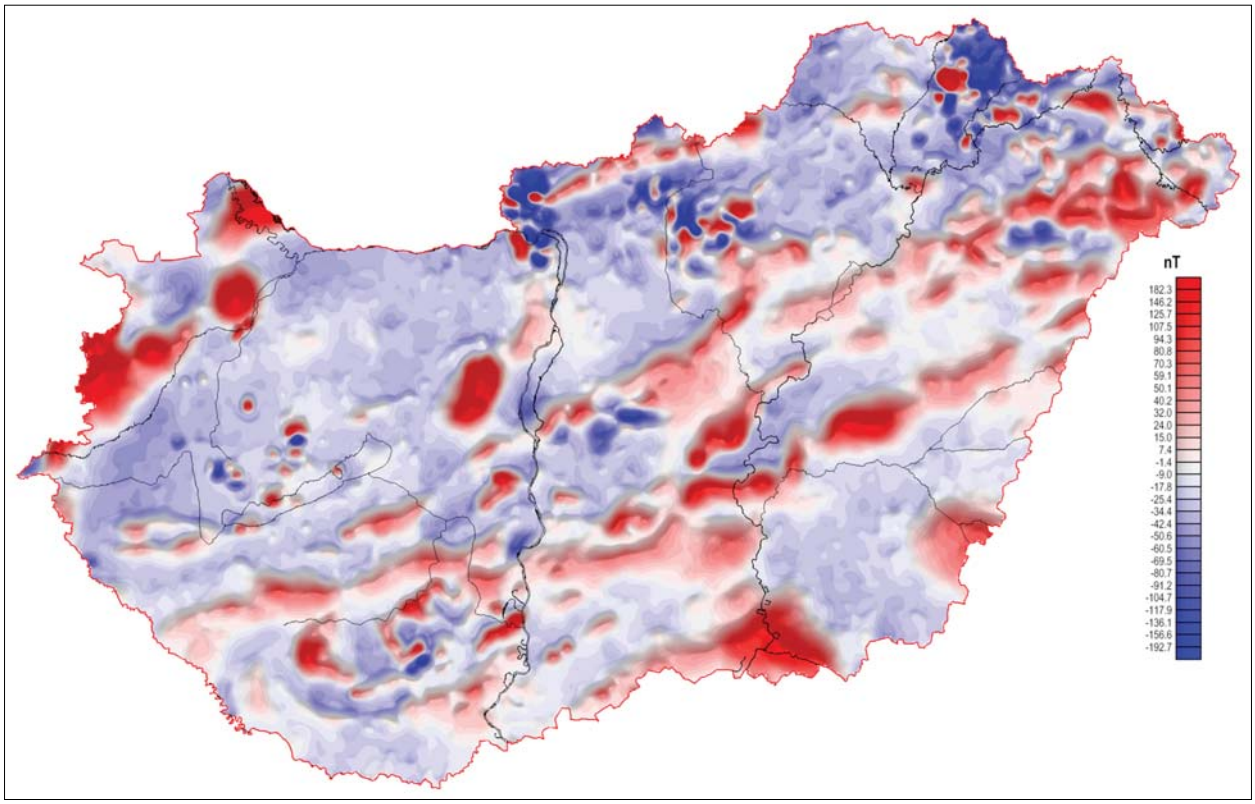
A Magyar Geológiai Szolgálat működése során a Központi Földtani Hivatal által szerkesztetett *Mélyfúrási Alapadatok* kiadványkötetek adatai alapján létrehozta a „*m*ély*f*úrási *a*lapadatok" (MFA) adatbázisát (Ó. Kovács és Kovács 2002), amelyet a magyarországi mágneses anomáliák azonosítása céljából elemeztünk *(1. ábra)*. Azt vizsgáltuk, hogy mely földtani képződmények azok, amelyek mint hatók szerepet játszhatnak a magyarországi mágnesesanomália-tér *(2., 5. ábra)* kialakulásában.

Ez a kb. 60000 mélyfúrás (rétegsorral együtt ~180000 rekord), ha nem is azonos eloszlásban, de lefedi az ország



1. ábra Magyarország mélyfúrási adatbázisának (MFA) ponteloszlási térképe

Figure 1 Location of the boreholes of Hungarian drilling database, called MFA



2. ábra Pólusra redukált, felülvágó szűrővel megszűrt mágneses ΔT anomália térkép
Figure 2 Magnetic ΔT anomaly map (reduced to the magnetic pole and low-pass filtered)

egész területét *(1. ábra),* ezért alkalmas lehet egy ilyen típusú vizsgálatra, és az eredmény új információval bővítheti tudásunkat.

A *2. ábra* a mágnesesanomália-térkép pólusra redukált, szűrt változatát mutatja, ahol a nagyfrekvenciás anomáliákat eltűntettük, közel konstans értékűre állítva ez által a hátteréret. Ilyen módon a hosszan nyomon követhető, szerkezetekhez kapcsolható mélyebb hatásokat emeltük ki. A kiszűrt, felszínközeli hatások mágnesesanomália-térképét később az *5. ábra* mutatja be.

Geomágneses szempontból a legfontosabb hatók a magmás kőzetek *(1. táblázat),* mivel közöttük vannak a legerősebben mágnesezett képződmények. Ide tartoznak az ultrabázikus, bázikus mélységi és kiömlési magmás kőzetek, azokon belül is elsősorban a lávaképződmények. Persze a savanyú mélységi magmás (pl. gránit) és kiömlési kőzeteket (pl. riolitot) is vizsgáljuk, mivel a különböző vulkánműködési időszakokban a lávaanyag kemizmusában is jelentkezhetett eltérés. A savanyú magmatitok alatt/felett/mellett bázisosabb összetételű anyag rejtőzhet, illetve több kitörési fázis eltérő összetételű képződményei vannak jelen, egymás hegyén-hátán. Azt is figyelembe kell venni, hogy a magmás anyag a Föld mélyéből kerül a felszínre, és a kiindulási bázisos (bazalt-gabbró) alapanyag a felszínre emelkedés során elszenvedett hatásokra alakulhat át savanyú magmává vagy vulkanittá.

1. táblázat A mágneses szempontból érdekes magmás és metamorf képződmények táblázata (Ravasz, Kovács 1977 és Pantó 1976 alapján, módosítva)
Table 1 Different magmatic and metamorphic formations perspective in point of view magnetic anomalies (after Ravasz, Kovács 1977 and Pantó 1976, modified)

Magmás kőzetek								
Típus		Túltelített		Telített		Telítetlen		
Keletkezési hőmérséklet		600	750		850	950		1600
Mélységi		gránit	granodiorit, tonalit	szienit	diorit, monzonit	gabbró norit	nefelin-szienit	peridotit piroxenit
Kiömlési	*paleo-*	kvarcporfir riolit	kvarcporfirit dácit	ortofir trachit	profirit andezit	diabáz, dolerit bazalt	fonolit pikrit	kimberlit, nefelinbazanit
	neo-							
Átalakult kőzetek								
Metamorf		gneisz	zöldpala, kloritpala		szerpentinit [a)]	amfibolit, granulit, eklogit		

Második fontos csoport a metamorf képződményeknek az a csoportja *(1. táblázat),* amelyeknek eredeti kiindulási kőzete bázikus összetételű volt vagy valamely átalakulás során vált azzá – persze a savanyú gneiszek elterjedésének elemzése sem haszontalan nagyszerkezeti szempontból. A Tisza nagyszerkezeti egység fúrásaiban, pl. az ortogneisz (!) nagy százalékban tartalmaz ultramafikus zárványokat (M. Tóth et al. 2015), amelyek mágneses hatóként is megjelenhetnek.

Sokszor a mágneses értelmezések során nem számolunk a metamorfitokkal, pedig Magyarország legerősebben mágneses képződményei között a metamorfitok előkelő helyet foglalnak el.

Az MFA adatbázis tartalmazza azokat az elsődleges információkat, amelyek a mágnesesanomália-térkép vizsgálata és értelmezése szempontjából érdekesek lehetnek. Ilyenek a kőzet típusa, kora, földrajzi helye és mélysége. A több mint 60 000 db mélyfúrás által harántolt földtani rétegsorból ki kell választani a mélységi és kiömlési magmás kőzeteket, valamint azokat a metamorf képződményeket, amelyek számunkra érdekesek lehetnek.

Az *1. táblázat* magmás képződményei a SiO_2-tartalom alapján vannak csoportosítva. A túltelített kőzetek irányából a telítetlen kőzetek felé haladva egyre nő a sötét elegyrészek mennyisége és ezzel együtt pl. a magnetit mennyisége. Míg a túltelített kőzetek szerepe jelentéktelen, addig a telítetlen magmás kőzetek összetételük alapján potenciális mágneses hatók lesznek.

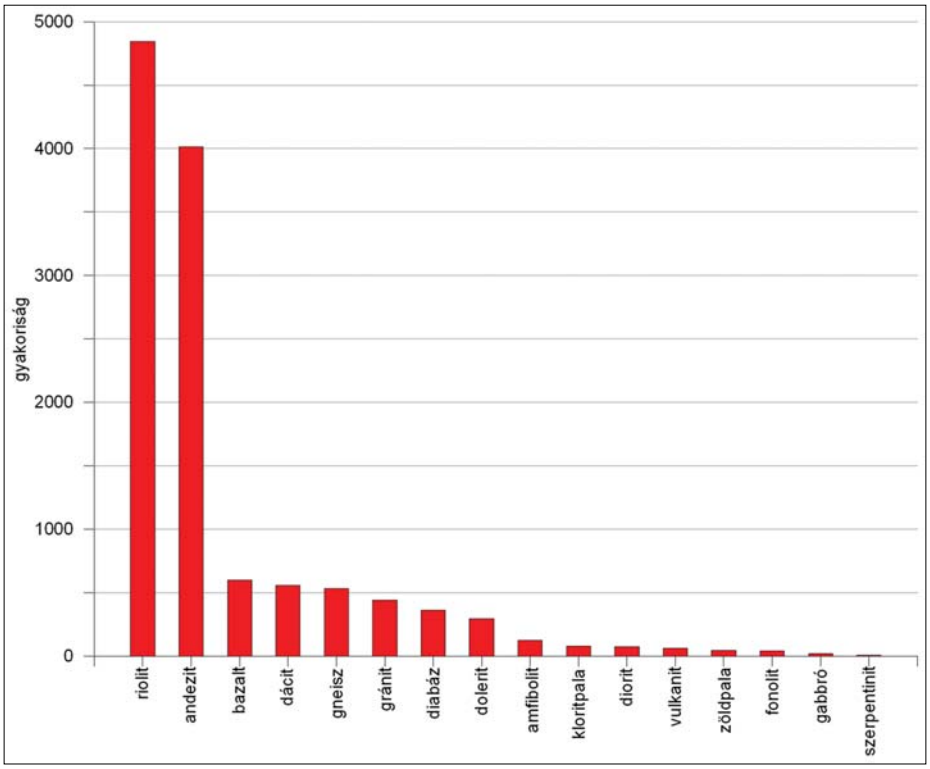
A metamorf kőzetek esetében is alapvetően a vastartalom dönti el a mágneses jelleget, azaz az anyakőzet összetétele, ilyenformán a zöldpala (kloritpala) is lehet mágneses, de a szerpentinit és az amfibolit az, amely jelentős mágneses hatással bírhat. Az ultrabázisos granulittal és eklogittal csak a nagyobb mélységek esetén kell mágneses hatóként számolni, bár a Tisia területén már elérhető mélységben (Görcsöny-1 fúrás) is találtak eklogitot.

A gneisz kiindulási anyakőzete, pl. kvarchomok vagy gránit lehetett, ezért annak közvetlen mágneses hatása nincs, de a keletkezés során egy bázisosabb „kéreg" a gneisz körül is kialakulhat, amit a gránitok esetében már többször megtapasztaltunk (pl. Vértesy et al. 2004), vagy a kialakulása, vándorlása során ultrabázisos anyagokat, zárványokat is magával ragadhat (M. Tóth et al. 2015).

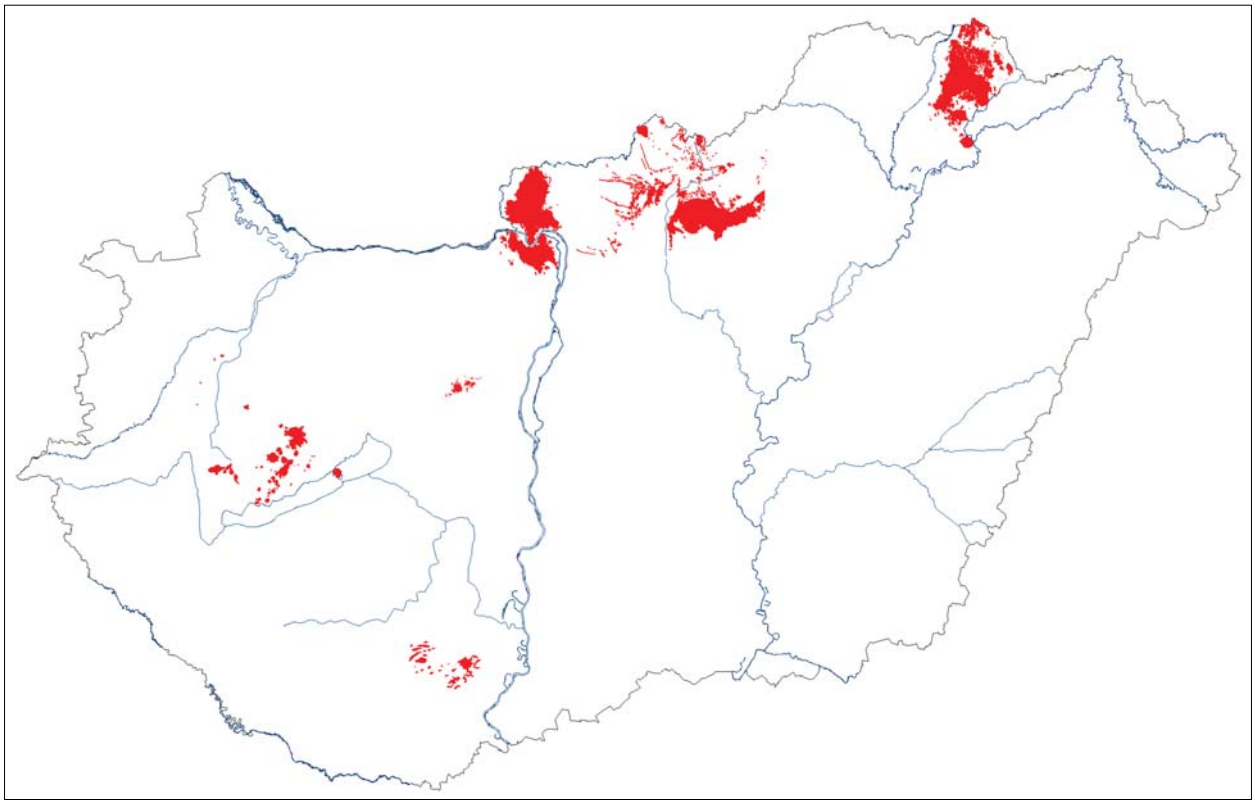
Az egyes földtani képződmények fúrásokban harántolt gyakoriságát mutatja a *3. ábra*. Az oszlopdiagramok esetében a láva, tufa, agglomerátum, illetve törmelék nem volt elkülönítve, márpedig a tufaszórás anyaga messzire eljuthat a kitörési központtól. A riolit és andezit szembetűnő túlsúlya részben a tufáknak köszönhető, részben pedig, annak, hogy ezek a fiatal, neogén képződmények találhatók a mélyfúrásokkal leginkább elérhető mélységtartományban.

A riolittufaszintek annyira elterjedtek, hogy litosztratigráfiai alapszintként használjuk őket Magyarországon.

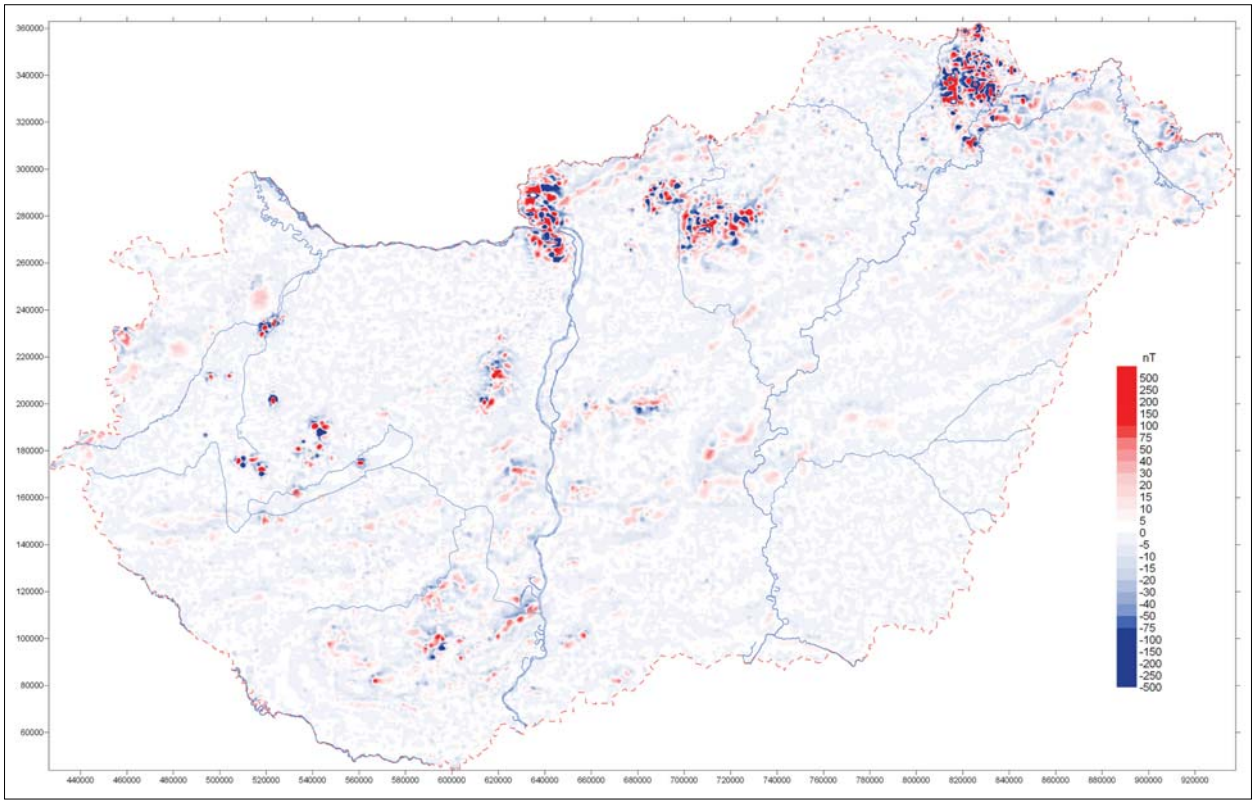
A mágneses térkép értelmezésekor segítségül hívhatjuk még a földtani térképezés által jelzett felszíni magmás kőzetek elterjedési térképét. Ezek a magmás képződmények *(4. ábra)* a mágneses anomáliák néhány nagyobb csoportját (nagyfrekvenciás anomáliák) fedik csak le, amiről ko-



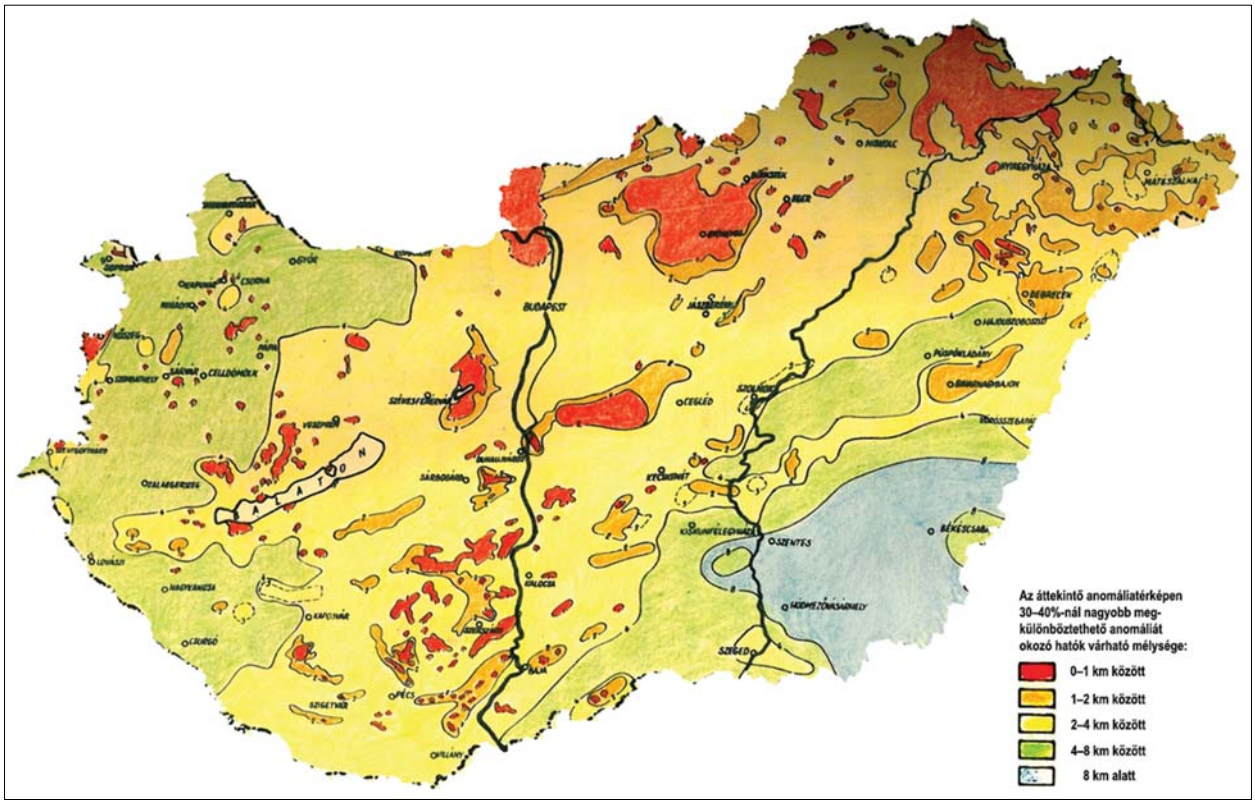
3. ábra | Az *1. táblázat* földtani képződményeinek gyakorisága az MFA adatbázisban (tufa, láva együtt)
Figure 3 | The frequency of the appearance of different geological formations (tuffs and lavas together)



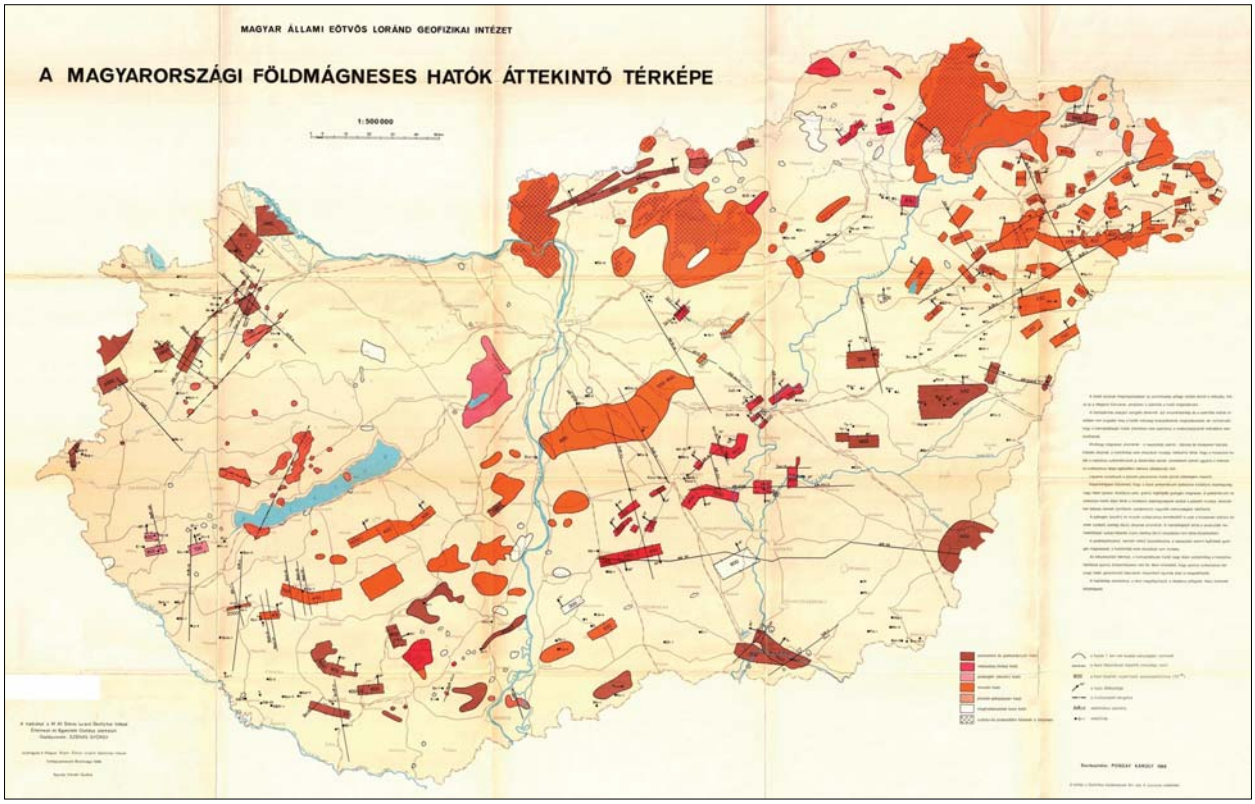
4. ábra | Ismert felszíni magmás képződmények Magyarország területén
Figure 4 | The known near-surface magmatic formations of Hungary



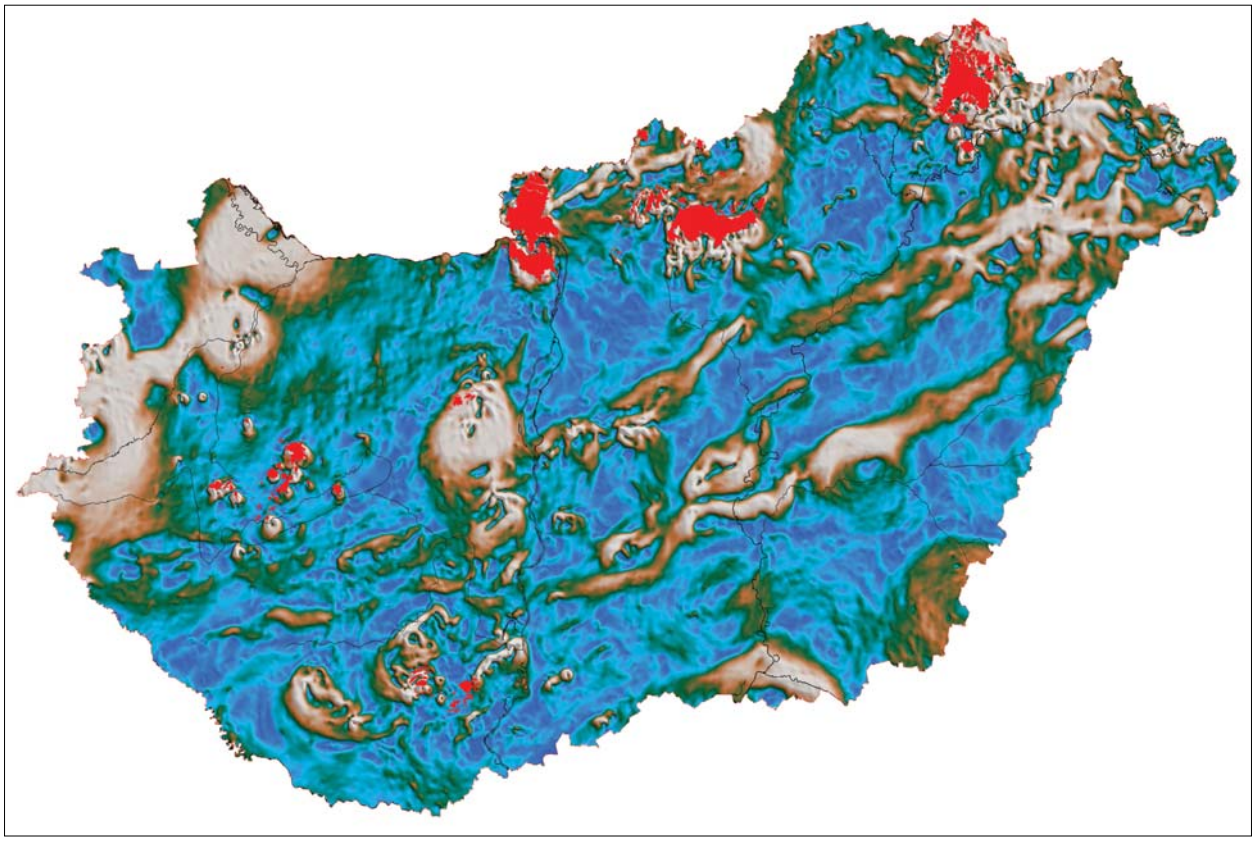
5. ábra | Az 1,2 km-es mélység mágnesesanomália-térképe (gyakorlatilag az a frekvenciatartomány, amelyet a *2. ábra* nem tartalmaz a „zajszűrés” miatt)
Figure 5 | Magnetic anomaly map of 1,2 km depth sources. (These signals are the high-frequency ones filtered from map of *Fig. 2*)



6. ábra | A mágneses hatók várható mélysége analóg feldolgozási eljárások alapján (Posgay 1966a)
Figure 6 | Depth of magnetic sources interpreted by analogue methods (Posgay 1966a)



7. ábra | A mágneses hatók várható mélysége és szuszceptibilitása analóg eljárások alapján (500 000-es térkép lekicsinyített változata, Posgay 1966b)
Figure 7 | Depth and susceptibility of magnetic sources interpreted by analogue methods (resized copy of published M = 1:500 000 map, Posgay 1966b)



8. ábra Mágneses hatók térképe (egy új transzformált mágnesesanomália-térkép; ld. a szövegben) a felszíni vulkanitok (piros színnel) elterjedésével

Figure 8 Map of magnetic sources (a new transformed magnetic anomaly map described in the paper) by location of near surface volcanites (red polygons)

rábbi mágnesesadat-feldolgozással foglalkozó cikkünk (Kiss 2013) egyik ábrájával („Az 1,2 km-es mélység mágnesesanomália-térképe") való összevetés alapján győződhetünk meg *(5. ábra)*. Látható, hogy a felszínközeli vulkanitok a mágneses térben mozaikszerű anomáliákat alkotnak, ami részben az eltérő mágnesezettségi tulajdonságoknak, részben a hatók felszíni, változatos geometriájának köszönhetően alakult ki.

Jól látszik, hogy a felszíni elterjedésből ismert magmás képződmények mindegyike megjelenik a szűrt mágneses térképen, sőt a mágneses térkép alapján valószínűsíthető még néhány magmás (metamorf) képződmény felszínközelben (pl. Örkényi-árok a Duna–Tisza köze É-i részén, vagy Alsónána környéke a Dél-Dunántúlon).

Posgay Károly mágneses hatóvizsgálataiban (Posgay 1962, 1966a, 1966b, 1967) szintén jelzi ezeket a felszínközeli, 0–1 km mélységben elhelyezkedő mágneses képződményeket *(6., 7. ábra)*. A felszínhez legközelebb lévő hatók jól azonosítható anomáliákat okoznak, amelyeken az analóg mélységmeghatározások is jól működtek. Persze az analóg feldolgozások esetében nagyon fontos volt a megfelelő anomáliapárok kiválasztása, azaz a vizsgálandó szelvény nyomvonala, mert csupán néhány kilométerre a kiválasztott szelvénytől egy másik párhuzamos szelvényen az anomália és ebből következően a ható paraméterei is már drasztikusan megváltozhatnak. A készült térképek *(6., 7. ábra)* a szelvénymenti feldolgozási eredményeknek a térképi (területi) kiterjesztései.

Mély hatók esetében még az összetartozó anomáliák kiválasztása sem egyértelmű. A spektrális vizsgálatokkal nemcsak a felszínközeli, de a nagyobb mélységekből származó hatások is vizsgálhatókká váltak (Kiss 2013).

Összességében, a felszíni magmás képződmények elterjedése *(4. ábra)* első közelítésben nem ad magyarázatot az egész országon áthúzódó mágnesesanomália-vonulatokra *(2. ábra),* ergo olyan eltemetett képződmények okozhatják a hatást, amelyeket a felszínről nem ismerünk, de amelyet a mélyfúrások esetleg elérhettek.

A mágnesesanomália-térképből transzformációk sorával (pszeudogravitációs transzformáció, horizontális gradiensképzés, AGC-szűrés) a főbb mágneses hatásokat ki lehet emelni, s ha erre még rátesszük az ismert felszíni vulkanitok elterjedését, akkor láthatjuk igazán, hogy hány olyan mágneses ható van, amelyet a felszínről nem ismerünk, és csak a fúrási adatok alapján lehet – ha egyáltalán lehet – beazonosítani azokat *(8. ábra)*.

A *8. ábra* megjelenítése azért érdekes, mert a mágnesesen azonosítható, különböző mélységű hatásokat az AGC-szűrés közel azonos amplitúdóval jeleníti meg. Azaz a felszínközeli és a mély hatók egyszerre látszanak.

Adatválogatások

Kőzettípus szerint (tufa, láva)

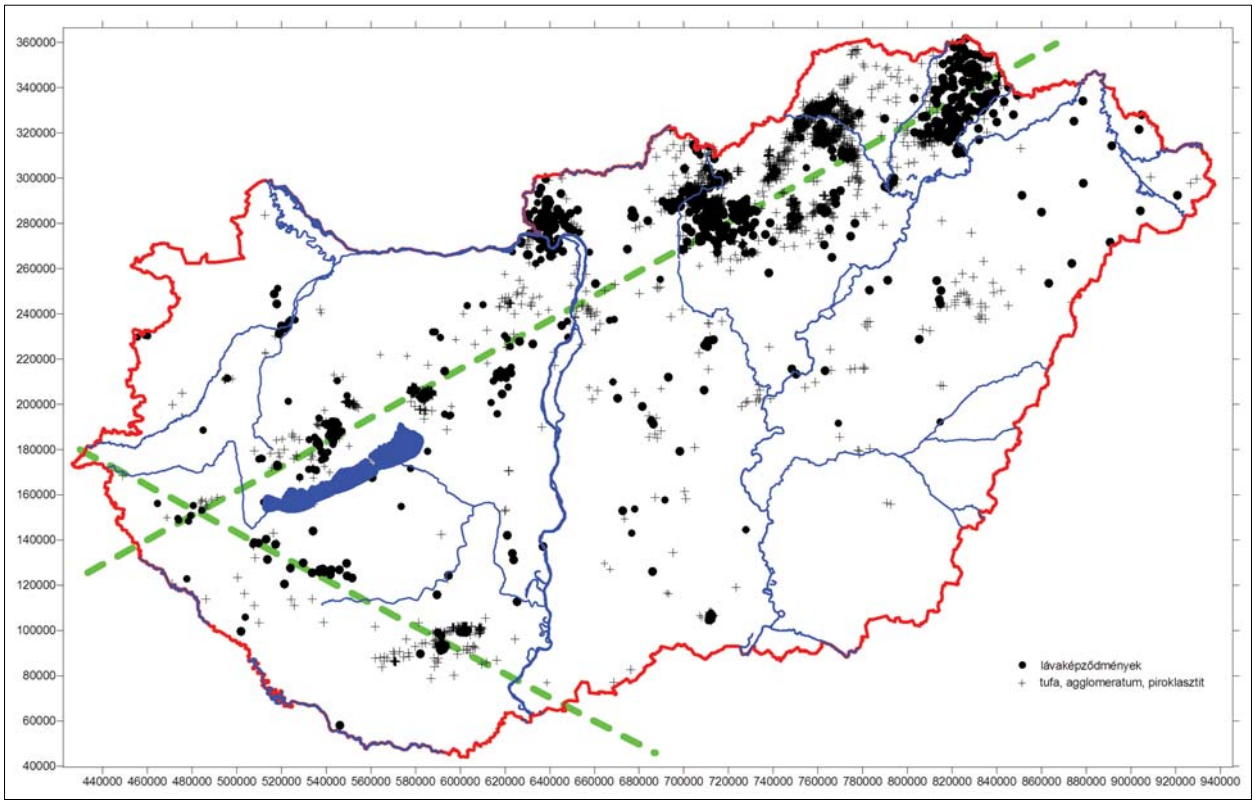
Az adatelőkészítés során az MFA adatbázisból leválogattuk az *1. táblázat* földtani képződményeit, azaz minden olyan réteget, amelyben pl. az „andezit” szó szerepel. Persze ezekben a rétegekben az andezit többféle módon jelen lehet: andezit-láva, andezit-telér, andezit-tufa, andezit-agglomerátum, andezit-piroklasztit, andezit-törmelék stb., tehát további szelektálásra van szükség. A tufák, agglomerátumok vagy törmelékek nem fognak jelentős mágneses anomáliákat okozni, viszont a lávaképződmények fontosak lehetnek mint mágneses hatók. Amennyiben a lávaképződmények törmelékben vagy áthalmozott állapotban találhatók és nem eredeti helyzetben, akkor anomális mágneses terük jelentéktelen lesz, mert a kaotikus elrendeződésű – mágnesezettségű – kőzetdarabok egymás mágneses hatását kioltják. Érdemben tehát csak a helyben maradt, összefüggő lávaképződmények hatásával szabad foglalkozni.

Sajnos a fúrásleírások ilyen szempontból nem teljesen következetesek, ezért a lávaképződmények leválogatását pontosan nem lehet elvégezni (a törmelékként megjelenő „andezit” szó a fúrásleírásban esetenként semmiben sem különbözik a vastag, lávapados kifejlődésű „andezit” szótól). A munka során lávaként értelmeztünk minden olyan andezitet, ahol a képződmény leírásában az „andezit” önmagában szerepelt. Ahol az „áthalmozott” jelző és a „tufa”, „agglomerátum”, „törmelék” kiegészítő szavak szerepeltek kötőjellel vagy jelzőként, az már nem tekinthető lávának. Sajnos „andezit-láva” és „andezit-tufa” együtt is megjelenhetnek a fúrás leírásokban, ilyenkor a lávaképződmények a fontosak, s a réteget láva tartalma miatt lávaként értelmeztük. Persze ezek a kategóriák csak a kiömlési magmás kőzetek esetében érdekesek, a mélységi magmás, plutoni vagy szubvulkáni képződményeknél ilyen kategóriák nincsenek. A metamorf kőzeteknél pedig csak az átalakulás foka, a metamorfózis mértéke, jellege (epi-, mezo- és katazónás metamorfizmus), kemizmusa jelenthet típusbeli eltérést. Erről azonban kevés információnk van.

A paleogén és neogén láva- és tufaképződmények fúrásbeli előfordulását mutatja a *9. ábra*. Ezeknek az effuzív kőzeteknek a magyarországi rajzolata kettős jelleget mutat. Egyrészt a középhegységi vonulatnak megfelelő irányban jelentkeznek (elszórtan a Közép-magyarországi zónában is), másrészt a Szentgotthárd–Mohács vonal mentén, a Dunántúlon. Az első irány a Közép-magyarországi nagyszerkezeti vonal irányának felel meg, amelytől főleg északra jelentkeznek a vulkanitok, a másik irány pedig, a Periadriai-vonal (illetve a TESZ vonal) irányának felel meg, ami lokálisan a Dráva-árok É-i peremét jelzi (*9. ábra,* zöld szaggatott vonalakkal jelölve).

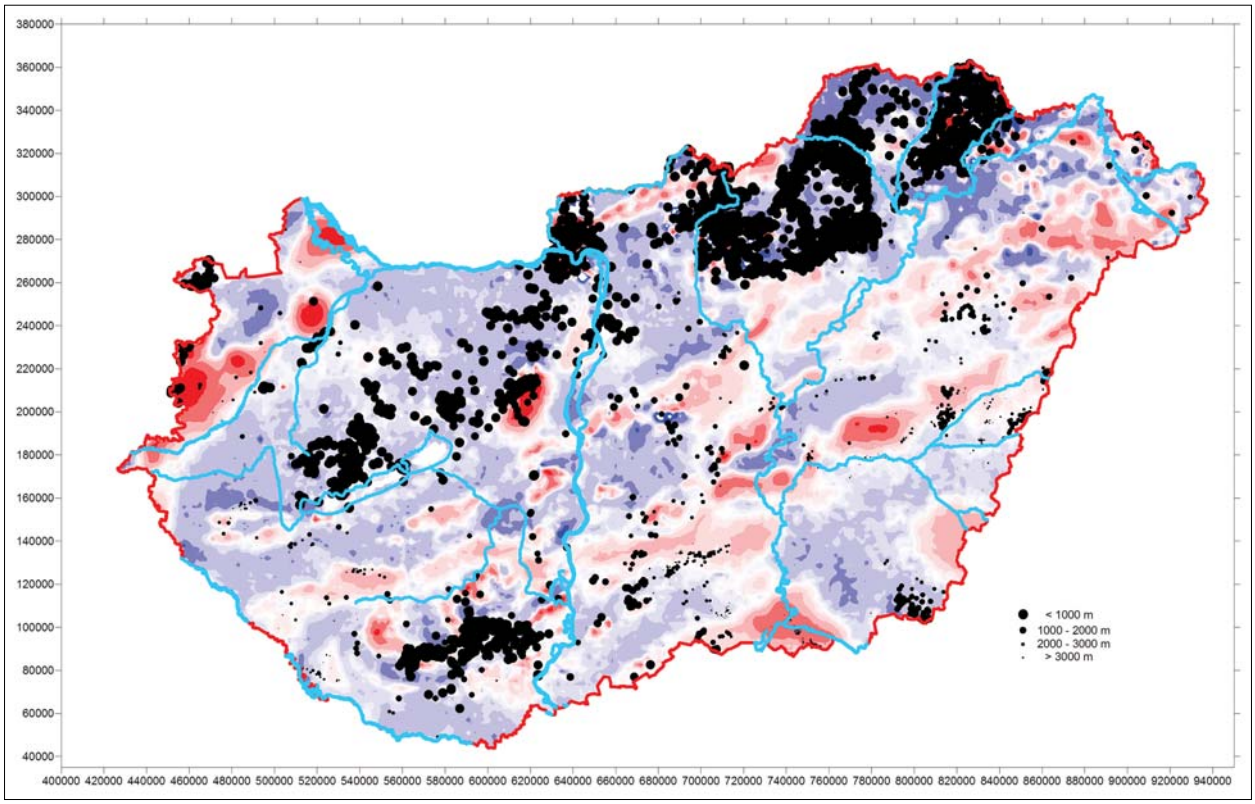
Mélység szerint

A vulkanitokat és metamorfitokat vizsgálhatjuk a mélységi helyzetük alapján. Megjelenítve a képződményeket a fúrás-



9. ábra Paleogén és neogén bázisos láva- és tufaképződmények az MFA nyilvántartásbeli mélyfúrásokban

Figure 9 Paleogene and neogene mafic lava and tuff formations in the boreholes based on MFA database



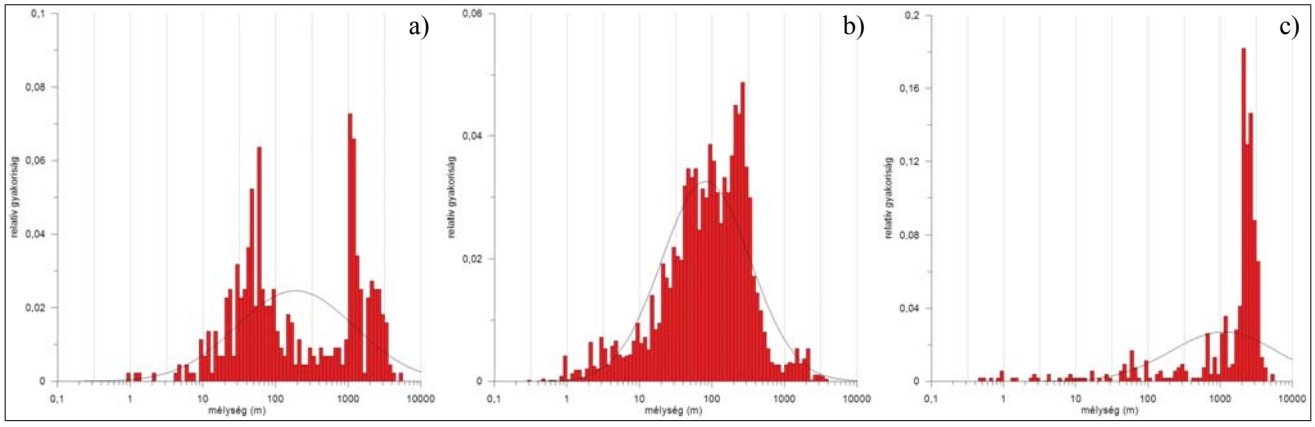
10. ábra Az *1. táblázat* földtani képződményei a fúrásokban, a mélységgel fordítottan arányos szimbólumokkal (háttér: mágneses ΔZ anomáliatérkép)

Figure 10 Geological formations of *Table 1* in the boreholes with depth related symbols (background the magnetic ΔZ anomaly map)

ban harántolt mélység alapján (fordítottan arányosan, kiemelve a felszínközeli képződményeket) azt tapasztaljuk, hogy a mágneses anomáliák jelentős részéhez nem kapcsolódik fúrásokból ismert, mágneses hatóként számba vehető földtani képződmény *(10. ábra)*.

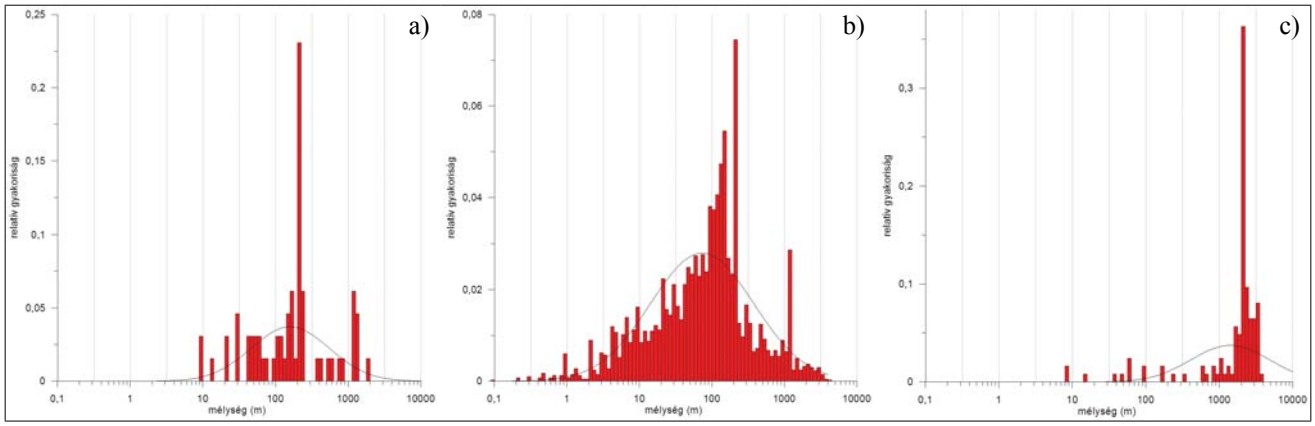
A felszínközeli mágneses hatókat (nagy szimbólumok) a középhegységi zónában és a Mecsekben találunk *(10. ábra)*. Az ország többi részén egy-egy fúrásban elvétve jelen vannak, de tömeges megjelenésük nincs. Ebből adódóan felmerül a kérdés, hogy az ország többi részén vajon hiányoznak-e ezek a képződmények, vagy csak a fúrásokkal nem értük el ezeket? Sajnos a kisméretű pontok (mély helyzetű magmás képződmények) sem fedik le az anomális zónák nagy részét, ami arra enged következtetni, hogy a mágneses hatók mélyebb helyzetben vannak, mint a fúrásokkal elért talpmélység.

A magmás és metamorf kőzetek egyes kőzettani csoportjainál *(1. táblázat)* is érdemes volt megvizsgálni a mélységi elhelyezkedést. A táblázat alapján a túltelített kőzetektől indulva sorba vesszük a különböző kőzetek fúrásokban harántolt mélységadatait.

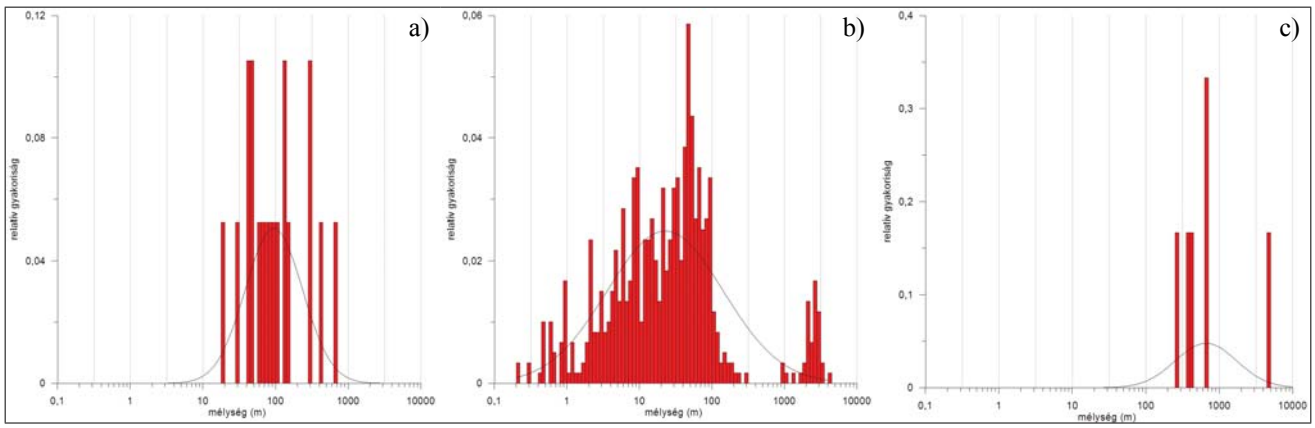


11. ábra A gránit a), a riolit b) és a gneisz c) mélybeli elhelyezkedésének hisztogramja

Figure 11 Histogram of depth locations of granites a), riolites b) and gneiss c) in the boreholes



12. ábra A diorit a), az andezit b) és az amfibolit c) mélybeli elhelyezkedésének hisztogramja
Figure 12 Histogram of depth locations of diorites a), andesites b) and amphibolites c) in the boreholes



13. ábra A gabbró a), a bazalt b) és a szerpentinit c) mélybeli elhelyezkedésének hisztogramja
Figure 13 Histogram of depth locations of gabbros a), basalts b) and serpentinites c) in the boreholes

A túltelített kőzetek (gránit, riolit, gneisz) mélységi hisztogramját mutatja a *11. ábra*. A két módusz (hisztogrammaximum) alapján látszik, hogy a gránit sok helyen a felszínről ismert (Velencei-hegység, Mórágyi-rög illetve másutt törmelékben), de 1000, sőt 2000–3000 m mélységben is elérték fúrásokkal (ez nem meglepő, hiszen a felső kéregnek elvileg uralkodó képződménye a gránit). A riolit 2000 m-en túl is kimutatható, de gyakorlatilag, a felső 1000 m jelenti azt a mélységet, ahol a fúrásokban leginkább találkozunk velük. Egészen más a helyzet a gneisszel, a felszínközeli (pl. Soproni-hegység) szórványos megjelenés mellett a legjellemzőbb mélység 2200 m körül, és a maximum eloszlása néhányszor 1000 m-t átölel (2000–4000 m-es mélységtartomány).

A telített kőzetek (diorit, andezit, amfibolit) csoportján szinte megismétlődik a túltelített kőzetek mélységi jellegzetességei *(12. ábra)*. A különbség csak az, hogy itt már potenciális mágneses hatókról van szó, tehát a mágnesesanomália-térkép értelmezésénél ezekkel a képződményekkel már számolni kell. Ennek megfelelően a felszíni hatóként elsődlegesen az andezitet lehet megnevezni, majd a mélységi eredetű diorit következik, amely a földkéreg mozgásainak köszönhetően helyenként a felszín közelébe kerül. Az amfibolitot pedig mélybeli hatóként kell számításba venni (módusza 2100 m körül van), mivel az csak adott hőmérséklet- és nyomásviszony mellett alakul ki. Olyan törvényszerűség rajzolódik ki, amelyet tankönyvekben tanítanak, de azért jó látni az összefüggéseket a több mint 12 000 db mélyfúrás hisztogramja alapján.

A telítetlen kőzetek *(13. ábra)* között vannak a legerősebb mágneses hatók. A gabbró alapvetően mélységi magmás kőzet, nagy mélységben képződött, mégis a földtani mozgásoknak köszönhetően előfordul a felszín közelében is (pl. Darnó-zóna körzetében). A bazalt szintén a felső 300 m-ben a leggyakoribb, de a kréta idején keletkező bazaltok 2000–4000 m mélységben is megtalálhatók (pl. kréta bazaltok az Alföldön), jól elkülönülő módusszal jelentkeznek. A szerpentinitek mint metamorf képződmények 5000 m mélyen is azonosíthatók (az egyik legmélyebb fúrásban elért mágneses ható), de a földkéreg mozgásai sok helyen a felszín közelébe emelték ezeket a metamorf képződményeket (Mecsek, Kőszegi-hegység).

A magmás és metamorf képződmények mélységi elhelyezkedésének vizsgálatai azt mutatják, hogy a mély ($h >$ 2 km) mágneses hatók esetében nem elsősorban miocén vulkanitokra kell gondolni, mert nagyon kicsi a előfordulási valószínűsége a 12000 fúrás adatai alapján kapott hisztogramokat vizsgálva. Ezeknek a miocén képződményeknek a

felszíni elterjedése nagy, de a mélybeli előfordulása relatívan kicsi.

A mélybeli hatók esetén viszont számolni kell a metamorfitokkal (pl. amfibolit, szerpentinit), amelyek a fúrási adatok alapján a nagyobb mélységekre sokkal inkább jellemzők lehetnek. Ez viszont jelzi a metamorf képződmények és az ezeket létrehozó földtani folyamatok megismerésének fontosságát.

Mivel csak a mélyfúrásokból kapott adatokat használtuk fel, így nem kaphatunk teljes képet az egyes képződmények mélységi eloszlásáról, de talán a főbb trendek már ezekből is kirajzolódnak.

Kor szerint

A képződmények kora geodinamikai szempontból lehet érdekes. A kréta, eocén, oligocén vagy a miocén vulkanizmus szerepe a kéregmozgások és szubdukció vizsgálatának szempontjából lehetnek mérvadóak különösen akkor, ha ezek a képződmények mágneses anomáliákhoz egyértelműen köthetők.

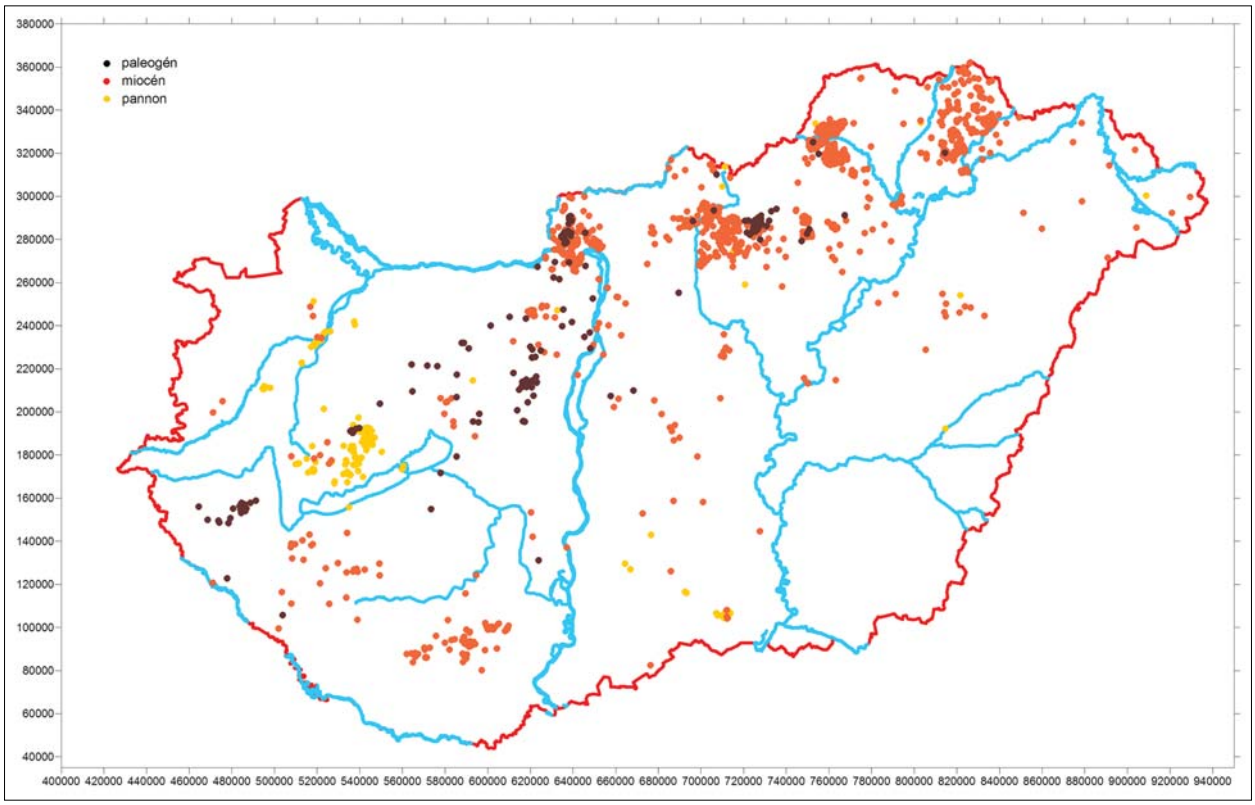
Alapvető szabály, hogy a vulkanitok kora a befoglaló törmelékes kőzetnél csak fiatalabb lehet, a fúrásokban talált magmás képződmények leírása esetén is ezt a szabályt alkalmazták és csak ritkán volt pontosabb kőzettani kormeghatározás (pl. K-Ar).

Érdemes megnézni a bázisos, kiömlési kőzetek kor szerinti megjelenítését, amelyet a *14. ábra* mutat. Meglepő, hogy miközben az eocén–oligocén andeziteket a Balaton D-i pereme mentén tartjuk nyilván, a mélyfúrásokban megjelenő vulkanitok, a Dunántúli-középhegység területén szinte összefüggő vonalrendszert alkotnak Zalától egészen a Dunazug-hegységig. Ez lehet a paleogén szubdukciós mészalkáli vulkanizmus zónája. Ezután a miocén vulkanizmus következik, Börzsönytől egészen a Tokaji-hegységig. Ez talán a neogén szubdukciós mészalkáli vulkanizmus magyarországi zónája.

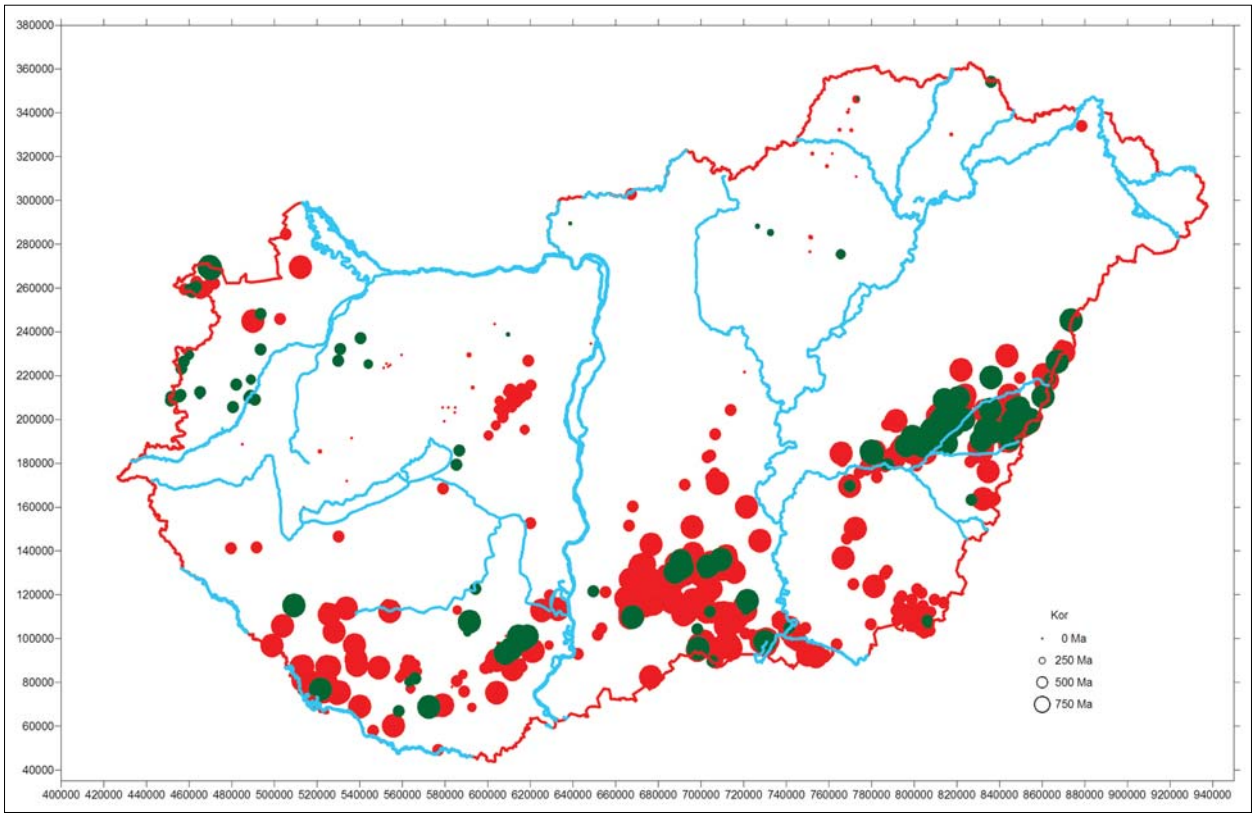
A táblázatbeli metamorf képződményeket feltárt fúrások megjelenítése *(15. ábra)* a földtani korral arányos méretű szimbólummal a Tisza-egység területét rajzolja ki. Látszik, hogy a Tisza-egység mágneses metamorf képződményeinek kora prekambrium (ide kapcsolhatók a gránitok is), ezzel szemben az ALCAPA-egységen belül, az Alpokalja vonulattól eltekintve paleozoosak vagy annál fiatalabb besorolásúak. Ez azt is jelenti, hogy a két egységen kirajzolódó mágneses vonulatokat nem érdemes együtt értelmezni, mert két különböző világot, eltérő idejű kifejlődést mutathatnak.

Köztes elemként jelenik meg a Balaton D-i peremén, egészen a Velencei-hegységig a savanyú magmás képződményekből álló gránitvonulat.

Természetesen a fúrási adatok elemzéséből kapott információk nem adnak sem időben, sem területileg teljes képet, leginkább azért, mert a fúrások nem egyenletesen helyezkednek el, és azok mélysége kutatási céltól függően, területegységenként is eléggé változó. Az ALCAPA területén a mezozoos képződmények alkotják a pretercier medencealj-

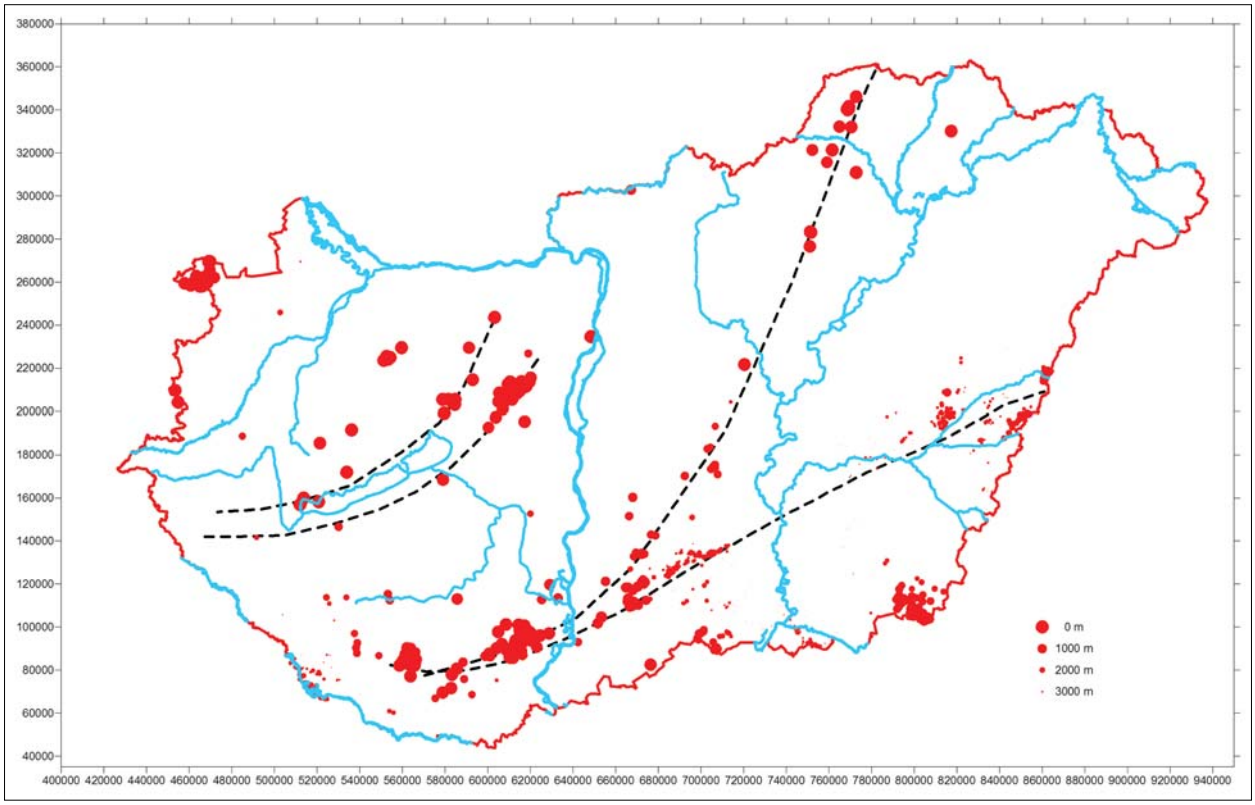


14. ábra | A paleogén és a neogén bázisos kiömlési kőzetek megjelenése a mélyfúrásokban kor szerint színezve
Figure 14 | Paleogene and neogene mafic volcanites in the boreholes coloured by the ages



15. ábra Metamorf zöldpala (kloritpala), amfibólit, szerpentinit (bázisos képződmények zöld szimbólummal), valamint gneisz és a magmás gránit (savanyú képződmények piros szimbólummal) a mélyfúrásokban a korral arányos megjelenítés mellett

Figure 15 Metamorphic green sheets (chlorite sheets), amphibolites, serpentinites (mafic formations by green symbols) and gneisses with magmatic granites (felsic formations by red symbols) in the boreholes sized with the ages



16. ábra Gránitot és gneiszt ért fúrások a *mélységgel* fordítottan arányosan szimbólummal megjelenítve

Figure 16 Locations of boreholes with granites and gneisses by symbols depending on *depth* of these formations

zatot, de az idős metamorf képződmények a mélyben biztosan megtalálhatóak, amit a fúrások sokszor már nem tártak fel. Az Alföld jelentős részén viszont a metamorf képződmények jelentik a pretercier medencealjzatot az eltérő földtani kifejlődésből adódóan.

A mélyfúrásadatokból kapott rajzolatok érdekesek, de mivel nem elég sűrű és ráadásul szabálytalan ponthálózatból kaptuk ezeket, könnyen tévútra vihetnek minket.

Mindezen veszélyek ellenére tanulságos megvizsgálni, hogy a mélyfúrásokkal feltárt képződményeknek van-e sajátos lenyomata, illetve mintázata az ország területén.

Képződményelterjedés szerint

Példaként vizsgáljuk meg a mélységi magmás gránitnak és annak metamorf megfelelőjének, a gneisznek az elhelyezkedését, mivel ezekből sok van. Ny-ról induló, DNy–ÉK-i irányítottságba beálló ívelt vonal menti megjelenést tudunk azonosítani *(16. ábra)*. A DNy–ÉK-i irány már ismerős, hiszen a Tamási-, Budai- és Darnó-vonalak irányítottságának felel meg. A megjelenítés során a fúrást jelölő szimbólum nagysága fordítottan arányos a képződménynek a fúrásban harántolt mélységével, azaz a felszínközeli gránitok nagy, a mély helyzetűek kis piros szimbólummal jelennek meg.

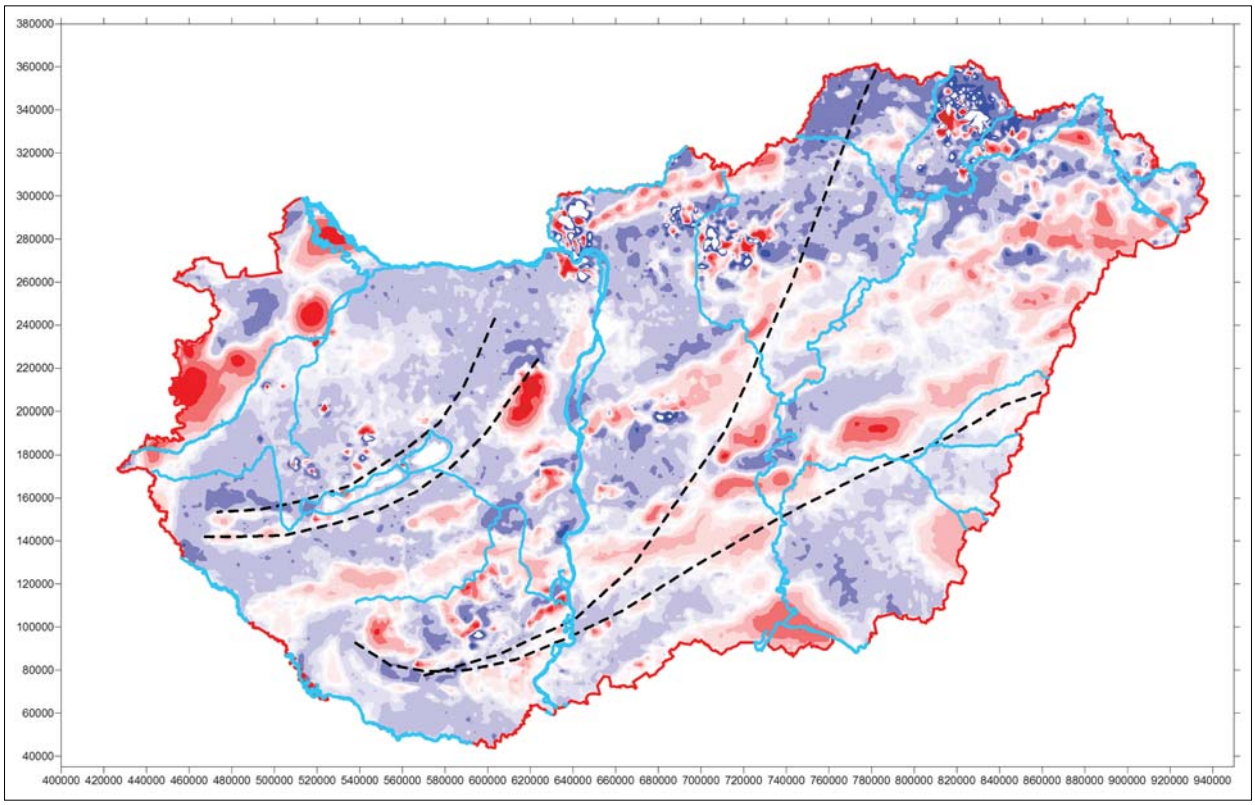
Az így kapott vonal a mágnesesanomália-térképen a mágneses zónák megszakadásaként egyfajta texturális elemként jelentkezik a Duna–Tisza közén *(17. ábra)*.

Délen, a gránitok elterjedésében (kisebb piros szimbólumok) is látszik egyfajta határvonal, amely Ny-on a Mecsekalja-vonallal, K-en irányban a Codru-takaróval mutat rokonságot *(16. ábra)*.

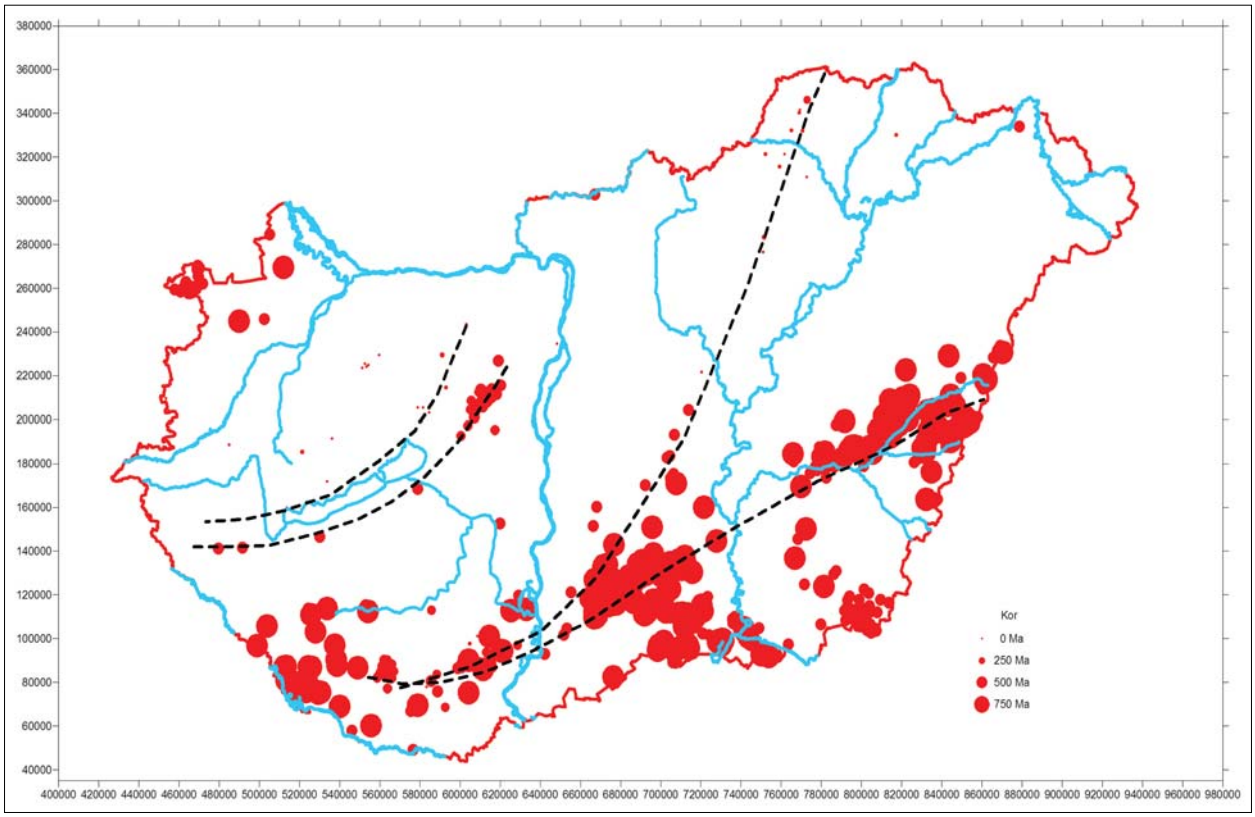
A gránitok kora a fúrások alapján prekambriumtól a kvarterig terjed, nyilvánvalóan a legfiatalabb képződményekben csak törmelékek formájában vannak jelen, de valahonnan azoknak is oda kellett kerülniük.

A Mórágyi-rög környéki kutatások kimutatták, hogy a gránit kontaktzónájában a bázisos magmás képződmények is mindig megjelennek. Talán ezzel lehet összefüggésben, hogy az Alföldön a nagy mélységű (h > 3000 m) és idős (500 Mév) gránit–gneisz képződményekhez a 27,7 km-es mélység mágneses anomáliái kapcsolódnak leginkább *(16., 18., 19. ábra)*. Bár itt ismét előtérbe kerülnek azok az ortogneiszek a Tisza nagyszerkezeti egységen, amelyek nagy mennyiségű ultrabázisos kőzetzárványt tartalmaznak.

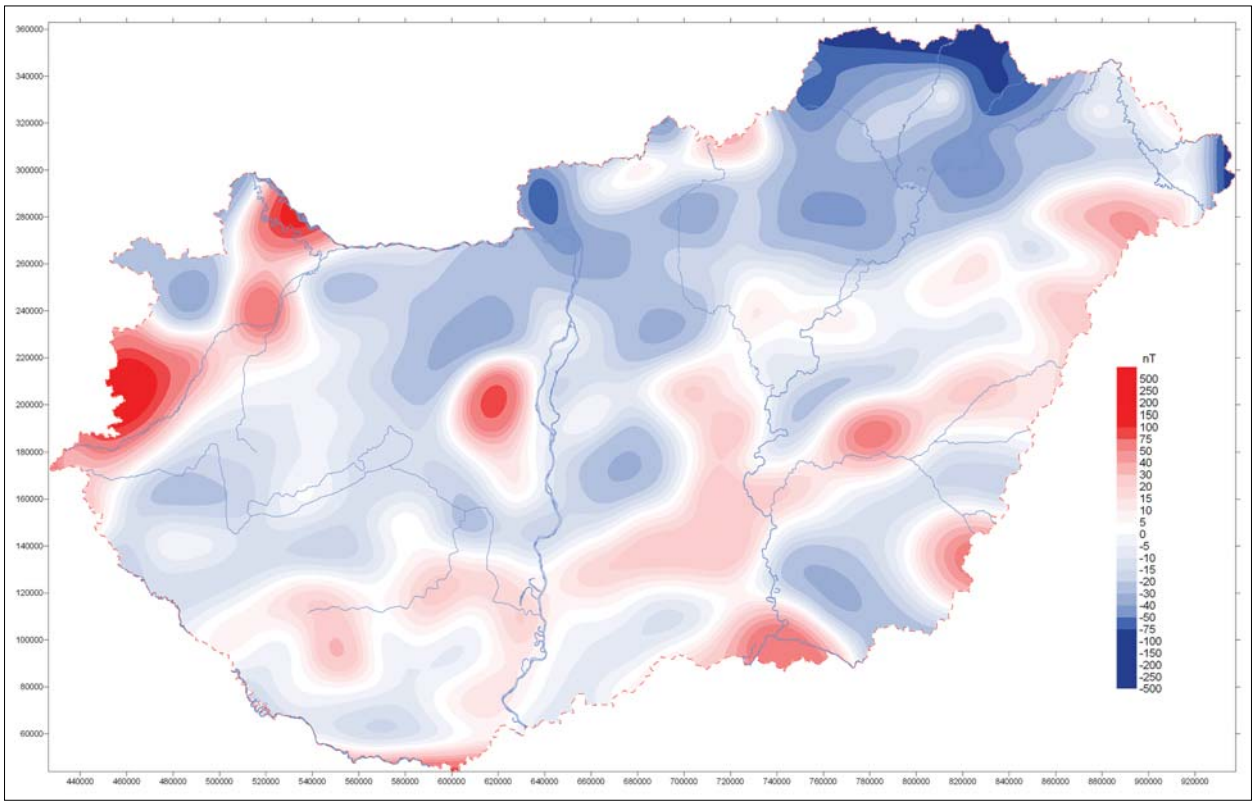
„Lényeges információt nyújt a riolitos és gránitos kőzetek földrajzi elhelyezkedése. Ezek általában szubdukciós övezetekben, mégpedig aktív kontinentális szegélyeken találhatók, mint például az Andokban, ahol a földkéreg vastagsága meghaladja a 40–50 km-t. A gránitok másik fő előfordulási területe az úgynevezett kollíziós zónák térsége, ahol kontinentális kőzetlemezek feszülnek egymásnak, és ennek következtében magas hegyláncok jönnek létre, mint például az Alpok vagy a Himalája. A kollíziós zónákban jellemzően vastag a kontinentális kéreg, a Moho-felület akár az 50–60 km mélységben húzódhat. A szilíciumban gazdag



17. ábra | Magyarország mágneses ΔZ anomáliatérképe a gránit–gneisz tengelyvonalakkal
Figure 17 | Magnetic ΔZ anomaly map with the main axis lines of the granites



18. ábra Gránitot és gneiszt ért fúrások a *korral* arányosan szimbólummal megjelenítve
Figure 18 Locations of boreholes with granites and gneisses by symbols depending on *age* of these formations



19. ábra A 27,7 km-es mélység mágnesesanomália-térképe
Figure 19 Magnetic anomaly map of 27.7 km depth sources

magmák keletkezése tehát többnyire vastag földkéreggel jellemzett területekhez kötött. Ebben az esetben a földkéreg alsó részén már jóval az átlagosnál magasabb a hőmérséklet, és akár elérheti a jelenlévő kőzetek olvadáspontját is. A SiO_2-gazdag magmák létrejöttében azonban nagy szerepet játszanak a bazaltos magmák is. Ezek a kőzetolvadékok a vastag kontinentális kéreg alatt sokszor megakadnak és a Moho-felület alatt terülnek szét. Az 1200 °C hőmérsékletű bazaltos magmák különösen, ha mennyiségük is jelentős, átfűthetik a földkéreg alsó részét, és a hőmérséklet emelkedése olvadást okozhat. A földkéreg bazaltos összetételű metamorf kőzeteinek olvadáspontja jóval kisebb, mint a peridotit kőzeteké, azaz a magmaképződés kb. 50 km mélységben már akár 1000–1100 °C hőmérsékleten megindulhat. Az olvadás során riolitos összetételű magma keletkezik, ha azonban az így létrejövő SiO_2-gazdag olvadék keveredik az alatta lévő bazaltos magmával, akkor egy homogén dácitos magma jöhet létre. Ilyen dácitos magmák gyakoriak mind az Andokban, mind az észak-amerikai Kordillerákban." (Harangi et al. 2013).

A másik példa a telítetlen magmás kőzeteknek (diabáz, fonolit, dolerit és kréta bazaltok) a fúrások alapján kirajzolódó helyzete lehetne *(20. ábra),* amely szintén vonalas rajzolatot ad (a fiatal pannon bazaltokat nem tüntettük fel). A vonal irányítottsága a Közép-magyarországi vonal irányítottságának megfelelő, de azzal párhuzamosan, attól É-ra és D-re szakaszosan azonosítható.

A Litértől a Velencei-hegység É-i pereméig futó mágneses anomáliavonulat például része ennek a vonalnak, és a folytatása K-en a Mátra É-i peremén megy keresztül, a Darnó-zóna irányánál valamivel nagyobb azimuttal *(21. ábra)*.

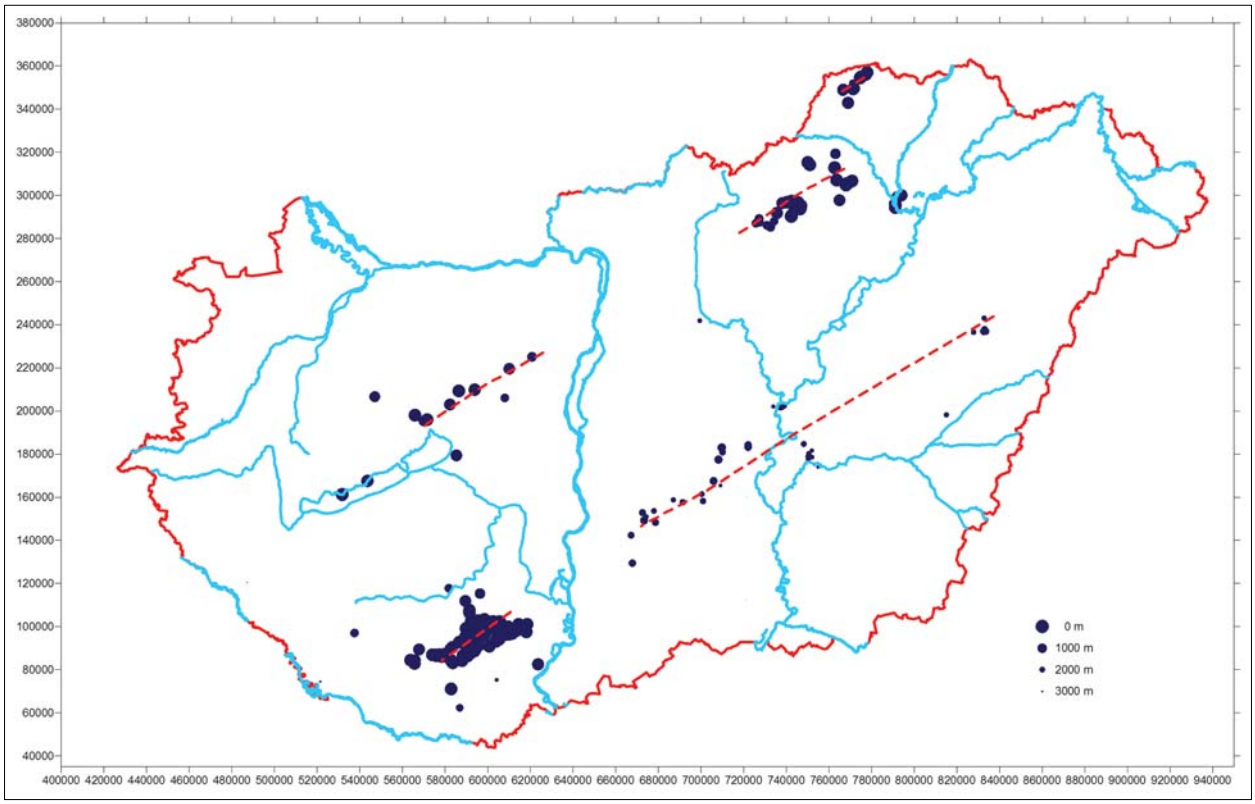
A D-i vonal iránya teljesen illeszkedik a mágneses-anomália-térkép vonulataihoz, de a diabázok, doleritok és fonolitok helyzete mégsem hozható közvetlenül kapcsolatba a mágneses anomáliákkal, bár a fúrásokban jelentkező hatók „szórása" *(20. ábra)* a Tisza környékén a mágneses anomáliákkal összeegyeztethetően jelentkezik *(21. ábra)*.

A középhegységi területen a hatók felszínközelben vannak, az Alföldön azonban nagyobb, 1000 m-t meghaladó mélységben találhatók.

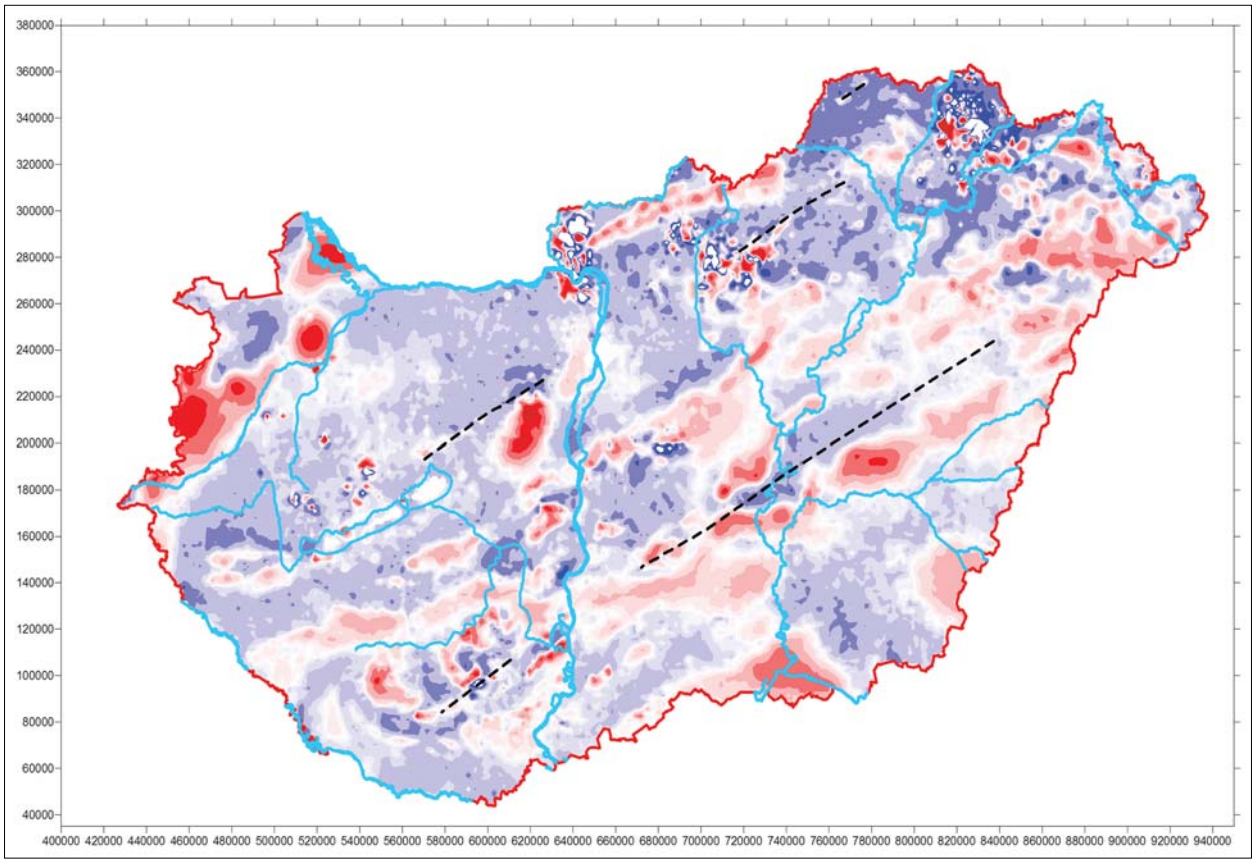
Szemelvények a vulkanitokról

1) Az első példa a zalai terület eocén–oligocén (Benedek et al. 2004) andezitjeiről szól:

„Az eocén andezitek az olajkutató mélyfúrások alapján Zalatárnok–Pusztaederics vonaláig váltak ismertté Zalában, kb. 500 km^2-en 500–600 m átlagos vastagságban. A Zalaszentmihály-2 fúrás tárta fel 1250 m-es legnagyobb vastagságban, ahol uralkodóan – kb. 70%-ban – piroklasztikum. A feltárt lávakőzetek térbeli elhelyezkedése alapján egyes szerzők hasadékvulkánra következtetnek." (Székely 1997).



20. ábra | **Figure 20** Diabázt, doleritet, fonolitot és kréta bazaltot ért fúrások a mélységgel fordítottan arányosan szimbólummal megjelenítve
Locations of boreholes with diabases, dolerites and fonolites with the Cretaceous basalts by symbols depending on depth of these formations



21. ábra Magyarország mágneses ΔZ anomáliatérképe a diabázos tengelyvonalakkal

Figure 21 Magnetic ΔZ anomaly map with the main axis lines of the diabases

Ez a mélyfúrás azt mutatja, hogy a feltárt vulkáni összlet nagy része piroklasztikum, amelynek valószínűleg jelentéktelen mágneses hatása lesz. A zalai eocén, oligocén magmás tevékenység produktumai közül csak a kiömlési lávakőzetek vagy ezek mélységi magmás változatai (pl. diorit) fognak mágneses anomáliát okozni. A mágnesesanomália-vonulat alakja szintén hasadékvulkánra enged következtetni, bár a fúrási adatok és az anomália között nincs egyértelmű korreláció.

2) Egy másik példa, a Mátra környéki miocén andezitekről:

„A Petőfibánya-1 hidrogeológiai szerkezetkutató fúrás 90 m-től 2003 m-ig andezites összletben haladt. Az andezites összlet 1200 m-ig igen sok üledékes anyagot is tartalmazott, ami piroklasztikum áthalmozásra utal. Az andezites összlet – piroklasztikum és lávakőzet egyaránt – erősen átalakult." (Székely 1997)

A Mátra süllyedő előterében felhalmozódott vulkáni anyag rengeteg üledéket tartalmaz, és erősen átalakult. Nincs tehát egy jól körvonalazható mágneses ható és az átalakulás miatt a mágnesezettség megléte is erősen kétséges.

3) Szintén a Mátra környéki eltemetett miocén vulkanitok adják a harmadik példát:

„A Detk-1 szerkezetkutató fúrás a falutól 1800 m-re DK-re (mintegy 10 km-re a Mátrától) 950 m-ben érték el a vulkáni összletet, és 1050 m vastagságban megfúrták. A vastagság alapján arra lehetne következtetni, hogy vulkáni csatornába fúrtak. A fúrásszelvény alapján azonban 7–15 m-es andezit (dácit, riodácit) és 1–5 m-es különféle piroklasztikum rétegek ritmusosan változnak. Tehát nagy vastagságú, mintaszerű sztratovulkáni szerkezetbe fúrtak bele, s még 2000 m mélyen sem jutottak fekübe." (Székely 1997).

Ebből a fúrásból az látszik, hogy jelentős vastagságú lávakőzet van, amely rétegszerűen, több szintben jelentkezik eltérő összetétellel. A lávák minél savanyúbbak, annál kevésbé mágnesesek, valamint a különböző idejű (bádeni és kárpáti) lávák mágnesezettsége is eltérő lehet. Összességében nincs meg sem a megfelelő egységes kőzettömeg (mágneses ható), sem a viszonylag homogén mágnesezettség (az eltérő irányú mágnesezettségek egymást gyengítik), így a vulkáni lávák hatásának megjelenése az anomáliatérben bizonytalan.

4) A Nyírségi vulkanizmusra példa, a Nagyecsed-1 mélyfúrás. A fúrásban a vulkanitos összlet vastagsága meghaladja a 2600 m-t. Persze itt sem tisztán vulkáni anyagból áll, hanem itt is keveredik a miocén üledékekkel. A vulkáni anyag is kellően változatos, riolit, dácit, andezit és azok törmelékei, tufái. Azaz egységes test sem összetétel alapján, sem kifejlődés alapján nem definiálható.

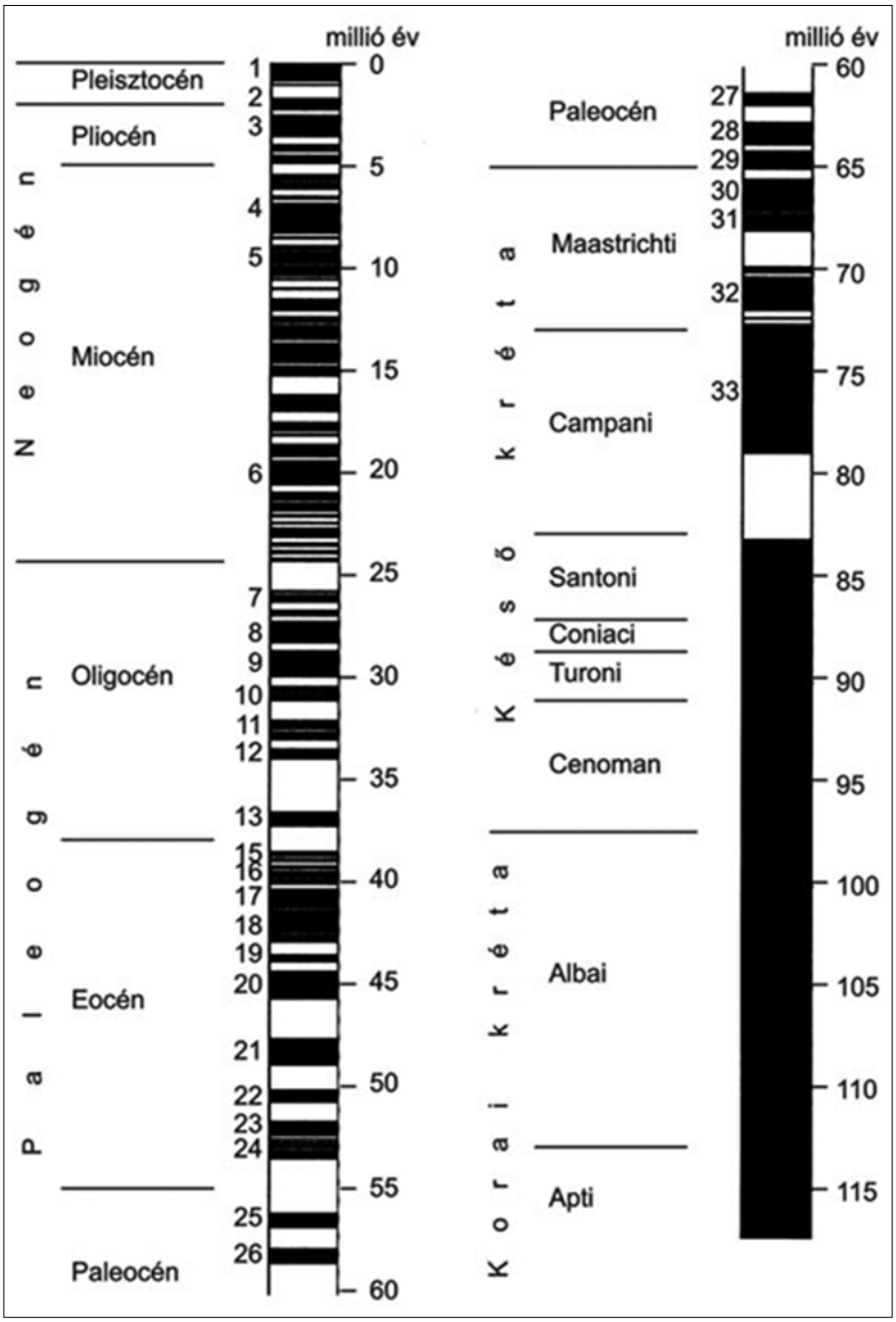
A fenti néhány példa azt jelzi, hogy a miocén vulkáni anyag vastagon jelen van a Pannon-medencében, de a képződési körülmények, a vulkáni működés jellege (típusa, gyakorisága) és utóélete erősen determinálja, hogy milyen mágneses anomália alakulhat ki felette.

Mágneses anomáliák és az azt meghatározó tényezők

A mágnesesanomália-térkép értelmezése fontos, mert olyan információk lehetnek benne, amelyeket sem a fúrásokból, sem más mérésekből nem ismerhetünk. Vannak a földtani felépítésben olyan jellegzetességek, amelyek csak a mágneses tulajdonságok alapján azonosíthatók. Miért nem tettük meg eddig? Ehhez következzen a mágneses anomáliatér kialakulását befolyásoló néhány tényező ismertetése, amelyek óvatosságra intenek bennünket a mágneses anomáliák értelmezésekor.

Mágnesezettségi faktor

Ezt a tényezőt részben már érintettünk, de érdemes részletesebben is megvizsgálni. Eddig azt vizsgáltuk, hogy van-e



22. ábra | Normál és reverz paleomágneses periódusok a kréta és fiatalabb kőzetek esetében (Cox 1982 alapján)
Figure 22 | Normal and reverse paleomagnetic periods of after Cretaceous rock formations (after Cox 1982)

mágnesezhető anyag, ugyanakkor nem kevésbé érdekes kérdés a mágnesezettség milyensége. A Föld normál mágneses tere és a kőzetek mágneses szuszceptibilitása együtt határozza meg az indukált mágnesezettséget. A kőzeteknek azonban remanens mágnesezettsége is lehet, amely a képződésük során alakult ki (rögzült), s amelyet az akkor jellemző földi mágneses tér és a kőzet szuszceptibilitása határozott meg. A Föld mágneses terének nagysága és iránya azonban változott a földtörténet folyamán, így a remanens mágnesezettség lehet sokkal nagyobb vagy sokkal kisebb, mint az indukált mágnesezettség. Ráadásul a remanens mágnesezettség lehet normál és reverz is, és a képződmények mozgása, rotációja tovább bonyolíthatják a helyzetet.

A *22. ábra* mutatja a jura utáni időszakok normál és reverz paleomágneses periódusait. Látszik, hogy pillanatnyi ismereteink alapján csak a kréta időszakban volt hosszabb ideig stabil mágnesezettség, de utána a paleogén és neogén időszakot folyamatos pólusátfordulások jellemezték. Ez azt jelenti, hogy az egyes paleomágneses periódusok mágneses tere a következő periódusban ellentétesre változott.

Ezek szerint a kréta időszak eltérő kitörésű idejű bazaltjai esetében lehet számolni stabil (azonos) mágnesezettségi iránnyal és ebből adódóan stabil mágneses paraméterekkel. Az 55–75 millió évből csak egy 5 és egy 3 millió éves időintervallumban volt a mágnesezettség reverz, míg a paleogén és neogén vulkanitok esetében a rendkívül gyakori pólusátfordulások miatt a vulkáni működés során képződő lávakőzetek mágnesezettsége is szintről szintre (térben és időben) változó, sok esetben ellentétes lesz. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy az eltérő idejű vulkanitok még erős mágnesezettség esetén is közömbösíthetik egymás mágneses hatását, aminek köszönhetően gyenge vagy jellegtelen mágnesesanomália-tér alakul ki felettük.

Szerencsés esetben a paleomágneses mérések megadhatják a kőzet mágneses tulajdonságait (mágneses szuszceptibilitását és remanens mágnesezettségét), s ha a kőzeten belül ez stabil, nem változik, akkor az anomális mágneses hatás kiszámítható. Ilyen pozitív példa volt a Püspökszilágyi Radioaktív Hulladékokat Feldolgozó és Tároló (PRHFT) tágabb környezetének vizsgálatakor végzett paleomágneses mérések és a mágneses paraméterek alapján készített modellezés – mágneses haté, azaz andezit-telér lehatárolás (Kiss et al. 2006).

Az esetek többségében azonban a mágneses haté mélyen eltemetett helyzetben van, így paramétereit nem tudjuk megmérni.

Geometriai faktor

A magmás képződmények helyzetüket és megjelenési formájukat tekintve is nagyon eltérőek lehetnek. Ismertek olyan vulkanitok, amelyek több 100 vagy több 1000 km^2 területet fednek le közel azonos vastagsággal, miközben a kitörési központról gyakorlatilag nincsenek információk (sztratovulkáni, takaró vulkáni képződmények, pl. trapp bazaltok). Más esetekben a vulkánkitörés helye, központja és a magmás képződmények elterjedése szinte egybeesik (intrúziók, szubvulkáni testek, dagadó kúpok). Nyilvánvaló, hogy mindez az összetétel és a képződési feltételek függvénye, amelynek megismerése részletes vizsgálatokat igényel. A földtörténet során aztán ezek a képződmények felszínre kerültek, vagy éppen eltemetődnek fedőüledékekkel, szerkezeti mozgások szabdalták fel és vonszolták el egymástól a blokkokat és forgatták azokat.

A hatók lehetnek izometrikus vagy elnyújtott formájúak, továbbá közel vízszintesek, ferdék vagy függőlegesek. Az elnyújtott testek esetén könnyű mágnesezési irányok alakulnak ki, másodlagos hatásokra pedig még az izometrikus testekben is megjelenhet a mágneses irányanizotrópia.

Interpretációs nehézségek

A gravitációs nehézségi erőtér a Föld felszínén mindenhol és mindig függőlegesen hat – „Newton almája” mindig lefelé, a Föld középpontja felé esik, az alma közepének és a Föld közepének mint vonatkoztatási pontoknak a tömegvonzása miatt. A gravitációs ható pontszerű hatók szuperponálódásából eredeztethető, így értelmezése viszonylag egyszerű.

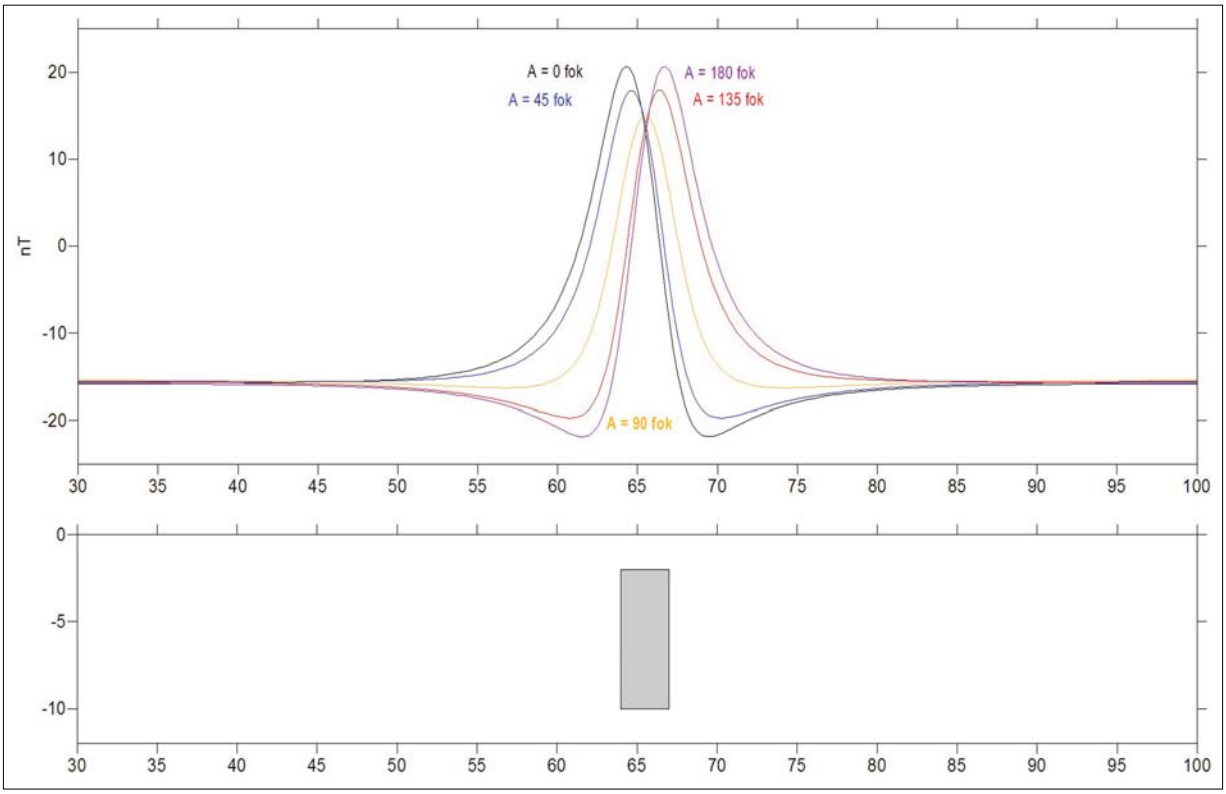
A mágneses erőtér a Föld különböző pontjain a függőlegestől (a sarkokon) a vízszintesig (az egyenlítőnél) változó, ferde szögű vektortér, mert a Föld mágneses tere egy hatalmas mágneses dipólus. Az inklinációs szög mutatja meg a mágneses vektor dőlésszögét, amely Magyarországon 63,5° körüli. Azaz egy tömeg nélküli „mágneses alma” nem csak függőlegesen eshetne lefelé a Földön!

A mágneses hatók elemi mágneses dipólokból állnak, amelyek vagy az indukáló tér hatására alakulnak ki (indukált mágnesezettség), vagy a kőzet képződésekor korábban megszerzett és a kőzetbe stabilan beégett mágnesezettség formájában vannak jelen (remanens mágnesezettség). A két mágnesezettség külön-külön, illetve egyszerre is jelen lehet.

Az elemi dipólus irányának kialakulása függ az anyag geometriájától, illetve mágnesezettségi paramétereitől, anizotrópiájától (lásd pl. könnyű mágnesezési irány) valamint az indukáló mágneses tér és a remanens mágnesezettség irányától. A kőzetblokkok a földtani időben mérve mozognak is, vonszolódnak, illetve forognak (rotálnak), ezért a remanens mágnesezettség (deklinációs) iránya is változhat. Ezt vizsgáljuk a paleomágneses vizsgálatok során. Ebből adódóan a kőzetblokkok felett kialakuló mágnesesanomália-tér rendkívül változatos lesz és szuperponálódó mágneses dipólok teréből áll.

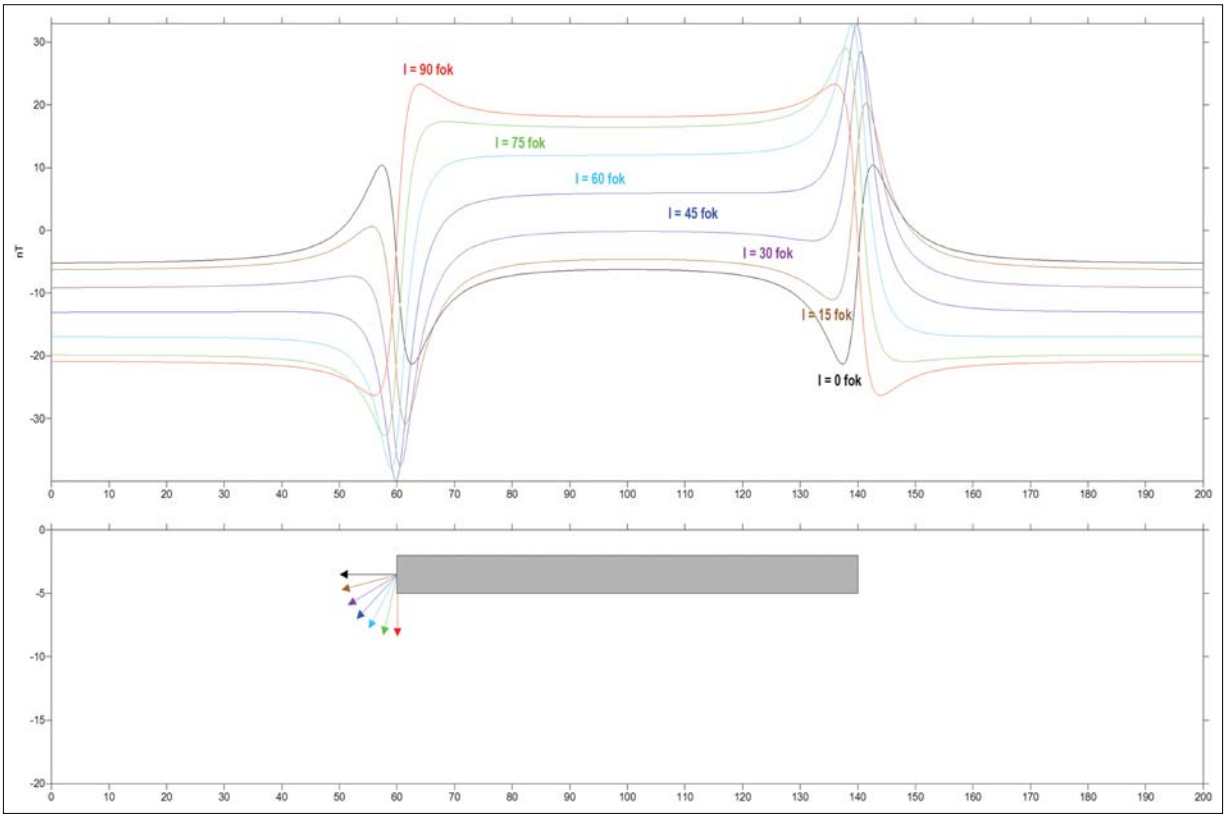
A mágnesezettségi faktor hatását néhány egyszerű modell alkalmazásával elvégzett, kétdimenziós elméleti görbe számításával érdemes tovább elemezni, bemutatva az interpretációs nehézségek okát. A modellezéskor, az egyszerűség kedvéért csak indukált mágnesezettséggel számoltunk a következő modellekre:

– függőleges véges lemez *(23. ábra)*,
– két irányból véges, vízszintes lemez *(24. ábra)*.



23. ábra Függőleges, vastag kétdimenziós lemez indukált ΔT mágneses tere 0, 45, 90, 135 és 180°-os szelvényirányok mellett, indukált mágnesezettség esetén

Figure 23 Induced Magnetic ΔT anomalies over a two-dimensional vertical slab of different 0, 45, 90, 135 and 180° profile azimuth



24. ábra Két irányból véges, vízszintes lemez indukált ΔT mágneses tere különböző mágneses inklinációk esetén

Figure 24 Induced magnetic ΔT anomalies over a both side limited horizontal slab of different inclinations

Az első esetben függőleges vastag lemez modell felett észlelhető ΔT anomáliák láthatók, különböző irányú szelvények esetén, állandó inklináció mellett *(23. ábra)*. A szelvényirány mindig merőleges a test csapására, mint a kétdimenziós modellezéseknél általában. A különböző görbék a különféle irányú szelvényeken 0, 45, 90, 135 és 180°-os szelvényirány (azaz azimut) mellett mutatják a kialakuló anomáliákat *(23. ábra)*.

Egy általános, ferde helyzetű lemeznek 1-2 extrémuma van, amennyiben a mélység felé végtelen kiterjedésű, vagy ha nem, akkor esetleg 3, mivel az alsó perem hatása is érződik. A függőleges vastag lemez esetében látszik, hogy a fő maximum a ható közelében alakul ki, de a ható helyzetét leginkább a legnagyobb gradiensű pont helyzete jellemzi, amely általános esetben a test felett, speciális esetben, amikor az anomália szimmetrikus maximumot (minimumot) ír le, a test peremeinek közelében jelentkezik.

Hasonló hatása lehet a testek remanens (nem a Föld jelenkori, hanem múltbeli mágneses erőteréből származó) mágnesezettségének, amely tetszőleges dőlésirányokat és azimutot – akár ellentétest is – felvehet. Ne felejtsük el a különböző geodinamikai mozgásokat, rotációkat, amelyek megváltoztatják a képződmények helyzetét, az eredeti helyzethez képest! Tulajdonképpen ezt használjuk fel a paleomágneses mérési adatok értelmezésekor. A kétféle, indukált és remanens mágnesezettség jelenléte, azok szuperponálódó hatása nagyon megnehezíti a mágneses értelmezést.

A következő modell esetében egy vízszintes lemez felett kialakuló mágneses tér hatását látjuk különböző mágnesezettségi irányok (különböző inklinációs szögek) esetén *(24. ábra)*. Elemezzük az értelmezés szempontjából a modell felett kialakuló anomáliát!

Ebben az esetben a 4 extrémum jelentkezik, amely 2 ferde lemez hatásának felel meg, vagy egy speciális helyzetű, adott esetben közel vízszintes lemez hatásának, amelynek a két vége okozza az anomáliát. Ha a test kiterjedésével vetjük össze az anomáliateret, akkor azt látjuk, hogy az anomáliák a test pereménél jelentkeznek, és van egy olyan középső rész, ahol a mágneses ható felett nincs anomália, pontosabban nincs változás a mágnesesanomália-térben.

A test hosszanti tengelye és a mágneses inklináció iránya közötti szögtől függ a ható kimutathatósága. Az $I = 0^{\circ}$ esetén, ami a ható hosszanti tengelyének iránya, a ható középen az anomáliagörbe a szélső alapszintnek megfelelő értéket veszi fel. Nincs semmilyen jele a mágneses hatónak! Ahogy nő az inklináció, úgy nő az eltérés a középső rész térereje és a szélső alapszint értékek között.

Az $I = 90^{\circ}$ esetén lesz értékben a legnagyobb a különbség a középső és a szélső alapszint értékei között. Egy megemelkedett (alap)szint jelzi a mágneses hatót, amely a vízszintes lemez közepe (75–125 km) felett jelentkezik. Ha a méréseinkkel csak e tartományon belül mérünk, akkor nem lesz olyan anomális jel, amelyből a mágneses test jelenlétére következtethetnénk.

A szélsőértékek nagysága szintén a mágnesezettségi iránytól függ. Az $I = 0^{\circ}$ esetén, tengelyirányban az anomália értéktartománya 30 nT, míg az $I = 90^{\circ}$ esetén, tengelyre merőlegesen az értéktartomány 50 nT szélességű, tehát majdnem a duplája az előzőnek.

Ebből látszik, hogy egy terület vizsgálatakor a mágneses terepi méréseinkkel lehetőleg ki kell menni a felismerhető anomális zónából (ezt terepen nehéz megállapítani), a normál háttérértékkel jellemezhető anomáliamentes zónába! Ha ezt nem tesszük meg, akkor fennáll a veszély, hogy nem ismerjük fel a mágneses hatót, amely felett mérünk.

Térképi adatrendszerek esetében ez úgy jelentkezik, hogy a maximumvonulatok között (amelyek jelzik a mágneses hatót) nem tudhatjuk, hogy jelen van-e a mágneses ható (mint közel vízszintes lemez), vagy egyáltalán nincs mágneses ható.

Bonyolult, egymás felett elhelyezkedő hatók esetén még egyszerű geometriájú testeket feltételezve is nagyon nehéz a szuperponálódó és ezért bonyolult anomáliagörbék értelmezése. Sok esetben csak megemelkedett alapszint jelzi a rétegszerű ható jelenlétét, és csak a peremi részeken találunk értelmezhető anomáliákat. Ez azt jelenti, hogy ahol anomália van, ott biztosan van mágneses ható, ahol viszont nincs anomália, ott nem mondhatjuk azt, hogy nincs mágneses ható! Nagy területek lesznek tehát, ahol mélyben ott van a mágneses ható, de a mágnesesanomália-tér alapján nem tudjuk kimutatni. Ezért minden előzetes információ, pl. a ható jellegéről, lehetséges geometriájáról fontos lehet az értelmezéskor.

Az Eötvös–Poisson-összefüggés alapján a mágneses- és a gravitációsanomália-terek között egy deriváltnyi különbség van. A mágneses tér a ható mélységének növekedésével sokkal gyorsabban fog lecsengeni, mint a gravitációs tér. Ez azt is jelenti, hogy a mágneses hatókat sokkal kisebb mélységig lehet megbízhatóan követni, mint a gravitációs hatókat, illetve a kis amplitúdójú mágneses anomáliáknak a szerepe az értelmezésekben emiatt felértékelődik.

Talán ez is okozhatja azt, hogy miért nem látunk nagy kiterjedésű, mélybeli mágneses hatókat Magyarország, illetve a Kárpát-medence területén, miközben a bázisos magmás képződmények felszíni és mélyfúrásbeli elterjedése alapján azok jelenléte erősen valószínű.

Összegzés

A munka során kigyűjtöttük magmás képződményeket harántolt mélyfúrásokat, megvizsgáltuk, hogy a fúrásokból kirajzolódó mintázat milyen kapcsolatban van a mágnesesanomália-térképpel.

A felszíni vulkanitok és a mágneses anomáliák nyilvánvaló kapcsolata ellenére a mélyfúrásokból kirajzolódó kép csak nagyon laza korrelációt mutat a mágnesesanomália-térképpel. Ennek legfőbb oka talán a mélyfúrások nem egyenletes talpmélysége és földrajzi elhelyezkedése, mert a fúrások általában nem a magmás képződmények kutatása céljából mélyültek.

A gyenge korreláció a következőképpen értelmezhető:

– A mélyfúrások nem érték el a mágneses hatókat, tehát amit az anomáliatérképen látunk, azt a fúrások alapján

nem lehet vagy csak nagyon vázlatosan lehet megmagyarázni, következésképpen a mágneses hatók új információt hordoznak a mélybeli felépítésről.
– A magmás képződmények különböző hatások miatt egyrészt szétdarabolódtak – nincsenek nagy, homogén tulajdonságú tömbök, vagy ha vannak, akkor csak azok peremeit ismerjük fel (annak van erős mágneses hatása), másrészt átalakultak – elvesztették mágneses tulajdonságaikat, amit például metamorf átalakulások, forró fluidumok okozhatnak, vagy sok esetben eltérő mágnesezettséget eredményező felújult magmás tevékenység. Ebben az esetben a mágneses anomáliák leginkább blokkhatárokat, lemezperemeket, szerkezeti vonalakat jelezhetnek.
– A tufák, agglomerátumok és a piroklasztitok között lehetnek ugyan erősen mágneses kőzetdarabok, de összhatásukban – a mágneses dipólok kaotikus elhelyezkedése miatt (egymás hatását kioltva) – nem okoznak jelentős mágneses anomáliát.

Komoly munkát fog jelenteni 2015-ben az MFA adatbázis és az átértékelt, formáció alapú fúrási adatok (GEOBANK) adatainak összevetése, amely tovább javíthatja a mágneses értelmezést. Ennek ellenére tovább kell vizsgálnunk a mágneses anomáliákat más földtani, geofizikai és petrofizikai információk bevonásával is az anomáliák eredetének megismerése céljából. A térkép értelmezése új információkat adhat a bázisos magmás és metamorf kőzetek helyzetéről a mélyfúrások mélységtartományán túlról.

A cikk terjedelme már nem engedi meg, hogy a legújabb eredményeket – amelyeket a Tisia konferencián szóbeli előadásként bemutattunk (Kiss et al. 2015) – itt is beépítsük, ehhez egy újabb cikk megírására van szükség, de a teljesség kedvéért néhány szóval utalnunk kell rá:

A Tisia nagyszerkezeti egység É-i határának vizsgálata során a CEL07, CEL08, CEL05, CEL04, PGT-1 és PGT-4 szelvények feldolgozási eredményei mélybeli hatásokra irányították figyelmünket. A szelvények tanulmányozása során nagy, az alsó kéreg sebességét megközelítő sebességű anomális zónákat (benyomulások?) találtunk a felső kéregben, ott, ahol az izosztázia alapján Moho-kiemelkedéseket vártunk. Mivel a nagy sebességű zónák, és a mágneses anomáliák egy része erős korrelációt mutat, így a zónák (a hatók) anyagaként bázisos, bazalt-gabbró összetételű képződményekre gondoltunk, ami az alsó kéregre jellemző. Ez a bázikus anyag a meggyengült zónák mentén felemelkedett, benyomult a felső kéregbe, aminek hatását esetenként a felszínen is azonosíthatjuk, vulkanizmus és különféle kéreganomáliák formájában.

A sebességanomáliák helyének térképi megjelenítése a mágnesesanomália-térkép sávos rajzolatával megegyező elhelyezkedést mutat, ami a korábbi elemzések alapján a 11 km körüli mélység hatóira jellemző (Kiss 2013). A mágneses anomáliasávokkal korreláló sebességanomáliák az esetek többségében 5–15 km között azonosíthatóak.

Ezek a hatók a mélyfúrások behatolási tartományán kívül vannak, ezért közvetve, mélyfúrásokkal nem is kutathatók.

A litoszférakutató mérések sebességszelvényei alapján azonosíthatjuk a mélységi mágneses hatókat, s ezek révén magyarázatot kaphatunk az országot NyDNy–KÉK irányban átszelő, hosszú, néhányszor 10 nT amplitúdójú mágneses anomáliákra.

Köszönetnyilvánítás

A munka során felhasználtuk a mélyfúrási adatbázisokat, a mágneses adatbázist és a publikált felszíni vulkanit elterjedési térképeket, amiért köszönet a MÁFI, ELGI, MGSZ, MFGI, MBFH és ELTE szakembereinek, akik ezeket létrehozták és kezelték.

A munka kapcsolódott az MFGI „Erőtér-geofizikai módszertani kutatások” tevékenységéhez és „Mélyföldtani kutatások geofizikai módszerekkel” című projekthez, melyek keretében folyamatosan gyűjtjük az adatokat – földtani-geofizikai információkat – a geofizikai anomáliatérképek komplex értelmezéséhez, a pontosabb földtani interpretáció érdekében.

A tanulmány szerzője

Kiss János

Jegyzet

[a)] A szerpentinit akkor keletkezik, ha vízben gazdag környezetben a bázikus és ultrabázikus magmás kőzetek olivin és piroxén ásványai átalakulnak szerpentin ásványokká.

Hivatkozások

Benedek K., Pécskay Z., Szabó Cs., Jósvai J., Németh T. 2004: Paleogene igneous rocks in the Zala Basin (Western Hungary): link to the paleogene magmatic activity along the Periadriatic Lineament. Geologica Carpathica 55/1, 43–50

Cox A. 1982: Magnetostratigraphic time seale. In: W. B. Harlatad el al. (eds), A GeologicTime Scale. Cambridge Univ. Press, Cambridge, pp. 63–84

Harangi Sz., Szakmány Gy., Józsa S., Lukács R., Sági T. 2013: Magmás kőzetek és folyamatok – gyakorlati ismeretek magmás kőzetek vizsgálatához, TÁMOP-4.1.2.A/1-11/1-2011-0073, ELTE Internetes jegyzet

Kiss J. 2013: Geomágneses adatok feldolgozása és értelmezése: spektrális mágneses adatfeldolgozás és képfeldolgozás. Magyar Geofizika 54/2, 89–114

Kiss J. 2014: Lemeztektonika, vulkanizmus és a Kárpát-Pannon régió geomágnesesanomália-térképe. Magyar Geofizika 55/2, 51–81

Kiss J., Gulyás Á. 2006: Magyarország mágneses ΔZ anomália-térképe. M = 1:500 000-es nyomtatott térkép, ELGI kiadvány

Kiss J., Sőrés L., Füsi B., Geiger J., Mező Gy. 2006: Kutatási Jelentés a Püspökszilágyi Radioaktív Hulladékokat Feldolgozó és Tároló (RHFT) környezetének egyszerűsített földtani térmodelljéről. Kézirat, ELGI Adattár – 2006. október 30.

Kiss J., Vértesy L., Gulyás Á., Madarasi A. 2015: Tisia – a geofizikai adatok tükrében. TISIA Konferencia kiadványa, ISBN 978-963-8221-56-8, p. 76

M. Tóth T., Schubert F., Fisher-Nagy Á., Molnár L., Zachar J., Dabi G., Fintor K., Kovács G. 2015: A Tisia metamorf aljzata. TISIA Konferencia kiadványa, ISBN 978-963-8221-56-8, p. 76

Ó. Kovács L., Kovács P. G. 2002: Adatforrásaink – a Magyar Geológiai Szolgálat információbázisa. Földtani Kutatás 39/3, 7–12

Pantó G. 1976: Ásvány és kőzettan. Műszaki Könyvkiadó, Budapest

Posgay K. 1962: A magyarországi mágneses hatók áttekintőtérképe és értelmezése. Geofizikai Közlemények 11/1–4, 77–99

Posgay K. 1966a: A magyarországi földmágneses hatók áttekintő vizsgálata. Kandidátusi értekezés, MFGI Geofizikai Szakkönyvtár

Posgay K. 1966b: A magyarországi földmágneses hatók áttekintőtérképe, M = 1:500 000. Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet kiadványa

Posgay K. 1967: A comprehensive survey of geomagnetic masses in Hungary. Geophysical Transactions 16/4, 1–118

Ravasz Cs., Kovács J. 1977: Földtan II. (Ásvány és kőzettan). Műszaki Könyvkiadó, Budapest

Székely A. 1997: Vulkánmorfológia (Tűzhányó-felszínmorfológia). ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 234 o.

Vértesy L., Fancsik T., Fejes I., Gulyás Á., Hegedűs E., Kovács A. Cs., Kovács P., Kiss J., Madarasi A., Sőrés L., Szabó Z., Tóth Z., Varga G. 2004: Felszíni geofizikai kutatások a Bátaapáti (Üveghuta) – telephelyen és tágabb környezetében. MÁFI Évi jelentés 2003.