

Mágneses spektrális szűrések utáni adatfeldolgozás és -értelmezés

Kiss J.

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

A módszerfejlesztések legfontosabb célja, hogy képesek legyünk a geofizikai adatokból a legtöbb hasznosítható (földtani) információt kinyerni, azaz az adott fizikai paraméterrel rendelkező test (földtani képződmény) térbeli (x, y, z) lehatárolását, illetve fizikai paramétereinek a meghatározását elvégezni. A legtöbb geofizikai módszer nem abszolút, hanem relatív mérési adatokat eredményez, azaz a változást mutatja be valamihez képest. Ilyen esetekben a fizikai paraméter pontos meghatározása háttérbe kerül, és a térbeli helyzet meghatározására és a relatív paraméter meghatározására hagyatkozunk. Arra például, hogy 1 km-es mélységtartományban az ország területén hol kell mágneses hatóra (bázisos összetételű földtani képződményre) számítani?

A spektrális szűrésekkel különböző mélységű hatások analitikus szétválasztására nyílik lehetőség. A különböző mélységekre szűrt adatokból relatív mélységmetszetet szerkeszthetünk (Kiss, Vértesy 2020), ami vertikális síkban ad képet a mágneses ható helyzetéről, ez viszont sokszor fontos háttérinformáció lehet, pl. mélyfúrások telepítésekor vagy földtani szelvény szerkesztésekor.

A cikkben ezekre mutatunk be országosan és lokálisan is példát.

Kiss, J.: Data processing and interpretation after spectral filtering of magnetic data

The most important goal of the methodological development is to be able to extract most of the usable (geological) information from the geophysical data, i.e. to define the spatial location (x, y, z) of the body (contour of the geological formation) of given physical parameters and to determine its real physical parameters. Most geophysical methods do not result absolute field values rather relatively measured values, i.e., they show the changes relative to some others. In such cases, the exact determination of the physical parameter is in the background and we rely on the spatial position and the relative parameter determination. For example, where should we expect magnetic bodies (geological formations with a basic composition) in depth range of 1 km in the country?

Spectral filtering allows the analytical separation of effects of different depths. From the data filtered for different depths, we can construct a relative depth section (Kiss, Vértesy 2020) that gives a picture in a vertical plane of the position of the magnetic causative bodies, which in turn can often play the role of important background information, e.g. when to install deep wells or edit a geological section.

In this article, we present examples of these cases on a country-side scale as well as locally.

Beérkezett: 2020. augusztus 18.; *elfogadva:* 2020. szeptember 21.

Előzmények

Magyarország területéről rendelkezünk országos fedettséget adó geofizikai térképekkel. Ilyen például a földmágneses ΔZ anomália-térkép, amelynek első verziója 1966-ban készült el (Haáz, Komáromy 1966), majd a digitális adatbázis feltöltése után, 2006-ban készült egy újabb módosított változat is (Kiss, Gulyás 2006). A térképek alapja az 50-es évek óta szinte folyamatosan végzett földi mágneses terepi felmérés. Az adatok részben utak mentén

kvázihálózatú, részben célzott kutatási területek sűrű, szabályos hálózatú felméréséből álltak rendelkezésre. A mérési pontok nominális távolsága 1500 m volt országos szinten és a nem összefüggő kisebb részterületeken, többnyire szabályos hálózatú méréseknél 50–500 m közötti. Ez a mérési adatrendszer folyamatosan bővülve, egységesítve 2000 óta digitálisan is rendelkezésünkre áll (Kiss 2018).

Módszertani szempontból érdemes megemlíteni az SEG 75 éves évfordulójára készült, talán legteljesebb mágneses összefoglaló tanulmányt (Nabighian et al. 2005), amely a

módszer történetét, az alkalmazott feldolgozási technikákat és a fejlesztésben szereplő legfontosabb cikkeket (szakembereket) mutatja be egyszerre. Ezen eljárások, feldolgozások többsége hazai szakmai publikációkban – a *Magyar Geofizika* oldalain különböző cikkeiben – meg is jelentek az elmúlt évtizedekben (pl. Kiss 2009, Kiss 2013).

A mágneses adatokat napi szinten használjuk földtani feladatok megoldására, komplex módon a többi földtani, geofizikai adattal. Módszertani kutatások is történtek a mágnesség jelenségének vizsgálatára (pl. Kiss et al. 2011), a regionális értelmezések során (pl. Kiss 2016, Kiss et al. 2017a) vagy lokális földtani problémák vizsgálatára (pl. Kiss et al. 2017b, Kiss, Prácser 2016). Vizsgáltuk azt is, hogy az anomáliák spektrális törvényszerűségeit hogyan tudjuk felhasználni a mindennapi térképi és szelvény menti adatfeldolgozásokban (pl. Kiss 2013, Kiss, Prácser 2016, Kiss, Vértesy 2020). Ezt a sorozatot folytatva készült a következő cikk, amely a mágneses adatok spektrális szűrésén keresztül a felszínközeli mágneses hatók kimutatására mutat be egy országos térképet és egy részterületi esettanulmányt.

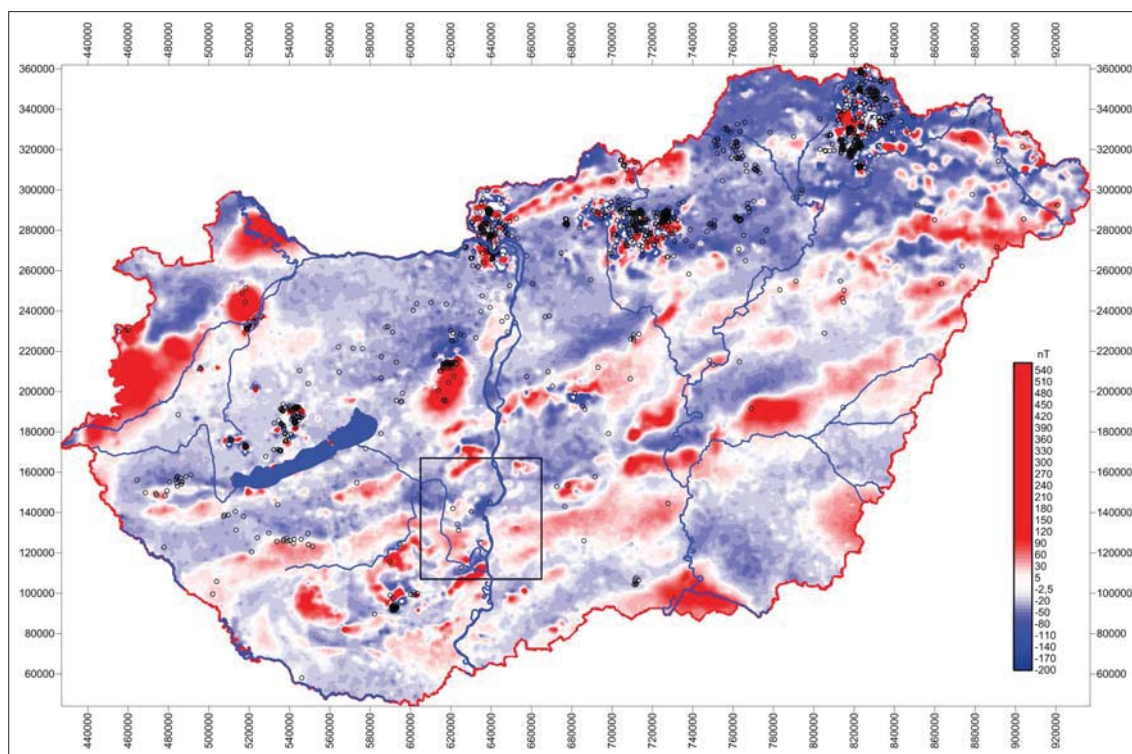
Alapfeldolgozás az országos adatokon

Korábbi cikkben és előadásban (Kiss 2015, Kiss et al. 2015) bemutattuk, hogy a mágnesesanomália-térkép alapján a mélyfúrásokból pontszerűen ismert bázisos, elsősorban

magmás képződmények térbeli kiterjesztését, összekapcsolását, illetve lehatárolását direkt módon nem lehet elvégezni. Az anomáliák és a képződmények helyzete nem mutat egyértelmű, szoros kapcsolatot (1. ábra). Ez azért meglepő, mert a mágneses anomáliák a távolságtól fordított arányosan, köbösen függenek, azaz minél messzebb van a ható a felszíntől (a mérő szenzortól), annál gyengébb lesz a hatása. Így tehát elvileg a felszínközeli testek hatásának kellene legerősebben jelentkeznie a mágneses-anomália-térben. A gyakorlat azonban rációfolt erre az elképzelésre, mivel az anomális hatást a fizikai és a geometriai paraméterek együttesen határozzák meg. Ezek a paraméterek a mágnesszettség (indukált + remanens¹⁾), a közzertérfogat (méret), a forma és a távolság (vagy mélység), de ezek közül úgy tűnik, hogy a térfogati tényezőnek a hatása talán a legjelentősebb (Kiss, Vértesy 2020).

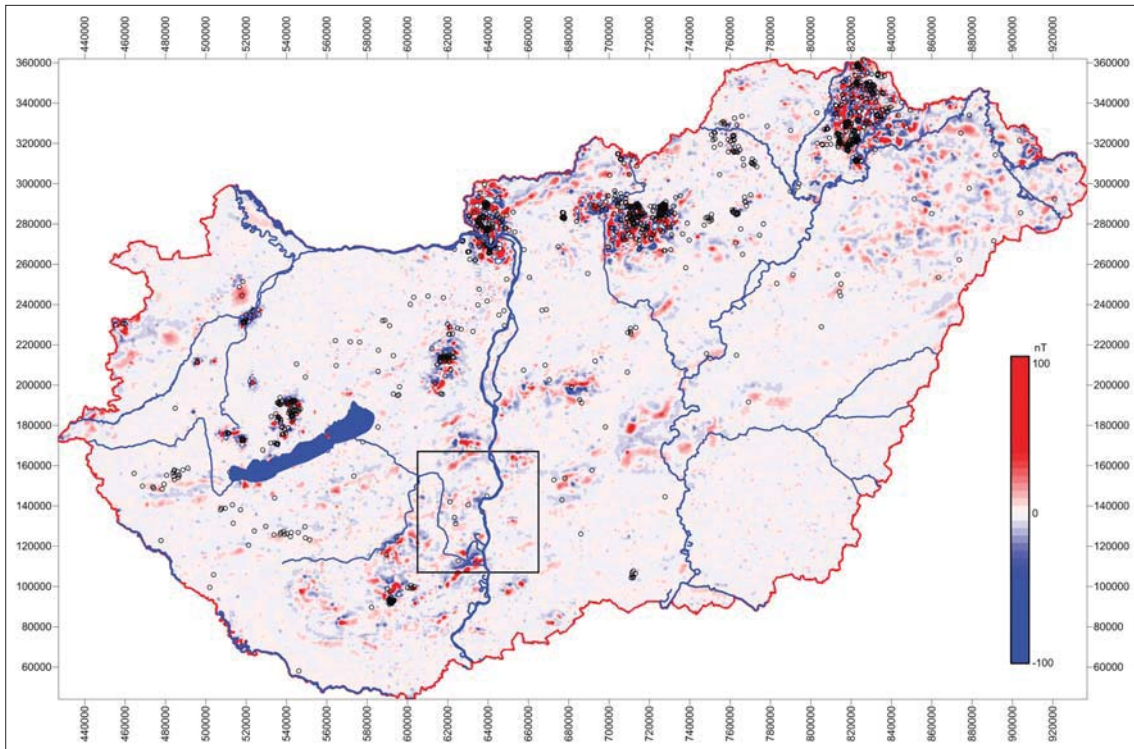
A mélyfúrásokban harántolt, lokális, kis térfogatú mágneses testek időnként azonosíthatatlanok az anomália-térképen, miközben a térképen hosszan nyomon követhető anomáliapázták eredete viszont földtani szempontból többnyire ismeretlen (példa az értelmezésre: Kiss et al. 2017a), ami azt jelzi, hogy a térfogati hatás domináns lehet az anomália kialakulásában és azok azonosíthatóságában.

Látszott azonban az is, hogy spektrális szűréssel, azaz a mágneses anomáliák mélységi szelektálásával/fókuszálásával a térfrekvencia alapján elkülöníthetők/kiszűrhetők azok a hatások, amelyeket a felszínközeli fúrásokban is



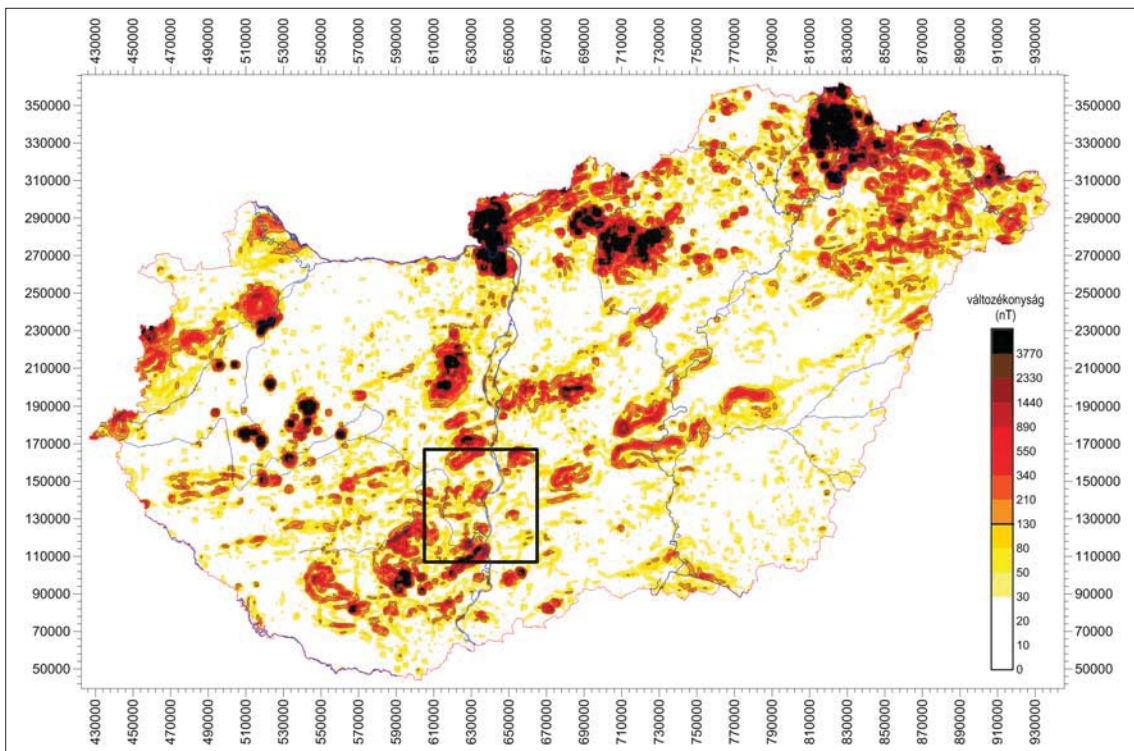
1. ábra Földi mágneses ΔZ adatokból transzformált²⁾ ΔT anomália-térkép bázisos magmás lávaképződményeket harántoló fúrásokkal (a paksi mintaterületet fekete kontúr jelzi)

Figure 1 ΔT anomaly map transformed from field magnetic ΔZ data with boreholes crossing basic igneous lava formations (black contour indicates the Paks study area)



2. ábra | Spektrálanalízis alapján szűrt mágneses ΔT anomália-térkép – a felső 1 km-es tartomány hatása (a paksi mintaterületet fekete kontúr jelzi)

Figure 2 | Filtered magnetic ΔT anomaly map based on spectral analysis – effect of the upper 1 km depth range (black contour indicates the Paks study area)



3. ábra | Az anomális mágneses tér változékonysága Magyarország területén a földi mérések alapján, azaz a bázisos földtani képződmények elterjedésének területi lehatárolása (a paksi mintaterületet fekete kontúr jelzi)

Figure 3 | Variation of the magnetic anomaly field of Hungary based on field measurements, territorial delimitation of the distribution of basic geological formations (black contour indicates the Paks study area)

harántolt, bázisos képződmények okoznak (Kiss 2013). Nyilvánvalóan le kellett fejteni a mélybeli hatásokat az anomáliatérrel azért, hogy a felszínközeli (felső 1 km) összletnek a mágneses hatását azonosíthassuk (2. ábra). Mindezt úgy kellett elvégeznünk, hogy a lehetséges települési mélységet is meghatározzuk, amit az ekvivalens hatók spektrális mélységbecslése tett lehetővé. Az eredményként kapott, rengeteg lokális, nagyon változó (mozaik)anomália elsőre értelmezhetetlennek tűnt, látszott, hogy ez még mindig nem elegendő a hatók beazonosításához, és még kell valami az azonosításhoz...

A hatók pontosabb területi lehatárolásához a dipóltér leegyszerűsítése és értelmezhetőbbé tétele volt szükséges. Egy olyan feldolgozási lépés kellett, amellyel a mágneszettségi vektor és a test térbeli helyzetéből adódó változó, plusz-mínusz anomáliát egy stabil, egyértelmű anomáliává alakíthatjuk. Ezt először a Nyírség alatti eltemetett vulkanitok kimutatására alkalmaztuk (Kiss et al. 2019), majd e tapasztalatok, valamint néhány mintaterület vizsgálati eredménye után (lásd később), az egész országra kiterjesztettük.

A szüretlen mágneses anomáliák változékonysági térképét³⁾ mutatja a 3. ábra. A térkép nagyszerűsége abban rejlik, hogy közvetlenül mutatja a több évtizeden keresztül Magyarország területén lemerített mágneses adatok alapján érzékelhető mágneses (bázisos összetételű) földtani képződmények területi elhelyezkedését.

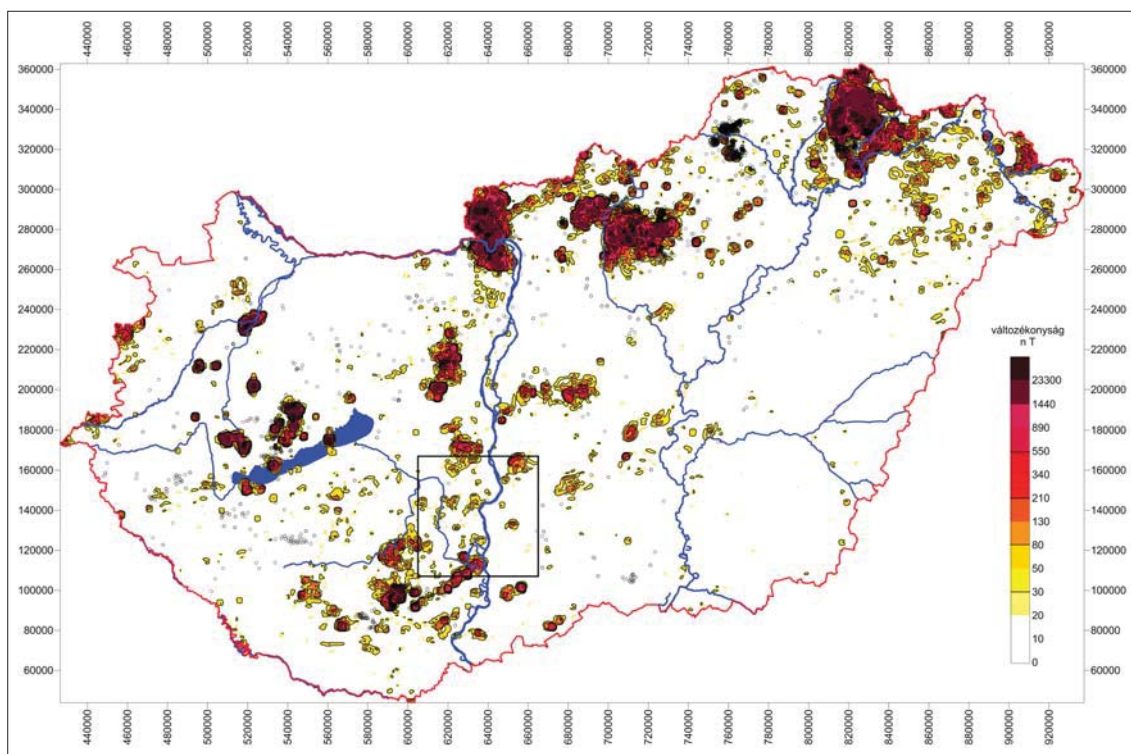
Ez a térkép az összes hatót jelzi, a spektrálisan szűrt térkép viszont csak adott mélységtartományok hatását mutatja.

A felszínközeli (max. 1 km-es mélységű) hatók erős mágnesezettsége miatt a spektrálisan szűrt anomáliák amplitúdója még jelentős (2. ábra), mivel az üledék és a mágneses földtani képződmények mágnesezettsége között több nagyságrend eltérés is lehet. A pozitív és negatív anomáliapárok miatt azonban az eredeti térképen bonyolult, nehezen értelmezhető a szűrt, nagyfrekvenciás mágneses anomália-tér.

A 4. ábra mutatja a spektrális szűrt térképnek a változékonyságát, azaz ahol a szűrt térképen nincs változás, ott a változékonysági térkép alapértéken (nulla körül) van, ahol pedig változás van, azaz mágneses ható van az adott mélységtartományban, ott a térkép értéke nullától eltérő. Eltűnnek a 2. ábra jellegzetes pozitív-negatív anomáliapárjai, a térkép (4. ábra) letisztult, és könnyebben felhasználhatóvá és értelmezhetővé válik.

Ha a spektrálisan szűrt legfelső mélységszint változékonysági térképét vizsgáljuk a bázisos magmás lávaképződményeket harántoló fúrásokkal, akkor sokkal tisztább, érthetőbb képet kapunk (4. ábra). Országos léptékben a kis térfogatú, bázisos magmás kőzetet harántoló fúrások azonban még mindig bezavarnak az összképbe, ezért érdemes egy konkrét részterületet megvizsgálni.

Tulajdonképpen megjelent már egy dolgozat, amely a nyírségi részterület ilyen jellegű mágneses feldolgozási



4. ábra A felszíni 1 km-es mélységtartomány mágneses változékonysági térképe a bázisos magmás lávaképződményeket harántoló fúrásokkal (a paksi mintaterületet fekete kontúr jelzi)

Figure 4 Variation of magnetic anomaly field of the 1 km depth range with boreholes crossing basic igneous lava formations (black contour indicates the Paks study area)

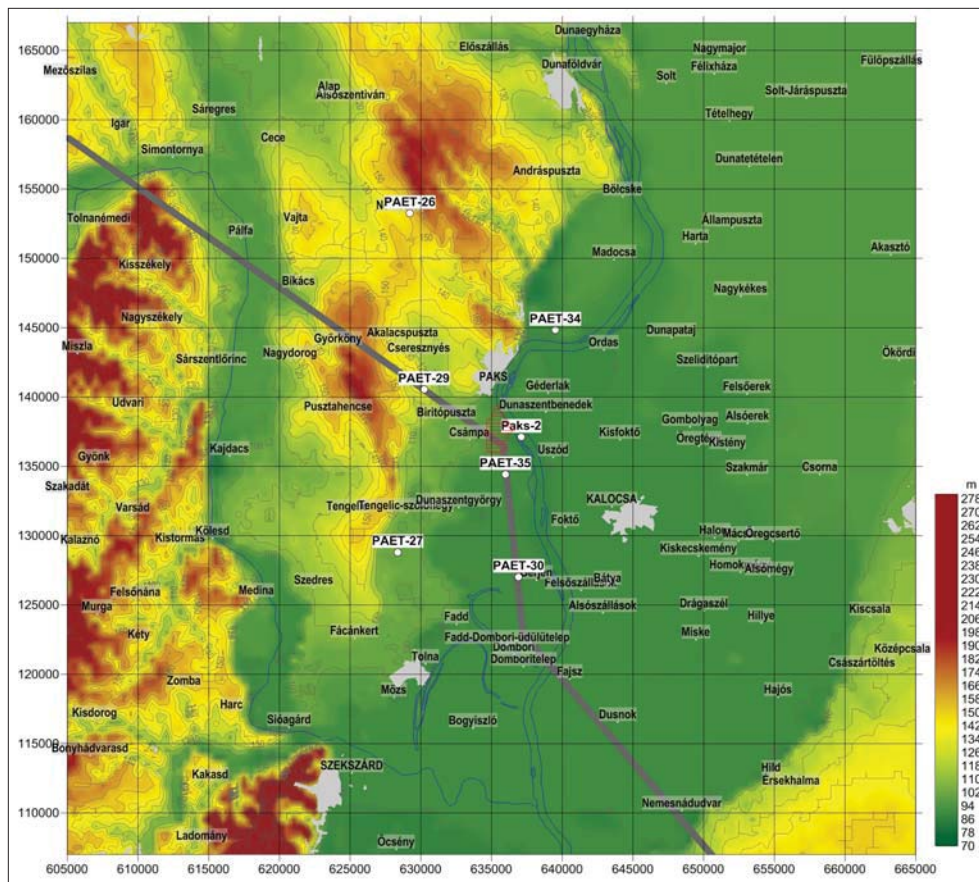
eredményeit mutatta be (Kiss et al. 2019). Érdekes azonban más, kutatási szempontból érdekes vagy perspektivikus részterületeken is kipróbálni az eljárást, mint pl. Paks környéke.

Paksi mintaterület

Paks területén több kutatási és mérési kampány volt. Először az atomerőmű elhelyezése céljából végzett kutatások (~60-as években), majd a kis és közepes aktivitású atomerőműi hulladékot lerakóhelyének kutatásakor (1996-tól), legutoljára a Paks-II program keretében, ami az atomerőmű bővítése céljából történt (2015-től).

Az 5. ábra Paksnak a környezetét mutatja, ahol az atomerőmű-beruházás miatt a közelmúltban szerteágazó földtani kutatás folyt. A munkának része volt a PAET jelű mélyfúrások lemélyítése, majd földtani szelvény szerkesztése (lásd később).

A fúrások egy részében 700 m körüli mélységben andezit harántoltak, a PAET-29 fúrás (1. táblázat) 729,58 m-től a talpig (1220,42 m vastagságban), a PAET-34 fúrás (2. táblázat) 699,55 m-től 1224,9 m-ig (525,35 m vastagságban). Egy korábbi fúrás (Paks-2, 3. táblázat) alapján már ismert volt, hogy 1100 m mélységben miocén andezit is jelen van. A mi szempontunkból vizsgálva ez azért érdekes, mert Magyarországon a miocén andezit az egyik leg szélesebb körben elterjedt mágneses ható.



5. ábra Paks és környéke a domborzati térképen az 500 m-nél mélyebb mélyfúrásokkal és a szerkesztett földtani szelvény (lásd később) nyomvonalával

Figure 5 Paks and its surroundings on the topographic map with deep wells (deeper than 500 m) and the path line of the geological section (see below)

1. táblázat A PAET-29 fúrás egyszerűsített rétegsora (formációk)

Table 1 Simplified sequence in PAET-29 borehole (by formations)

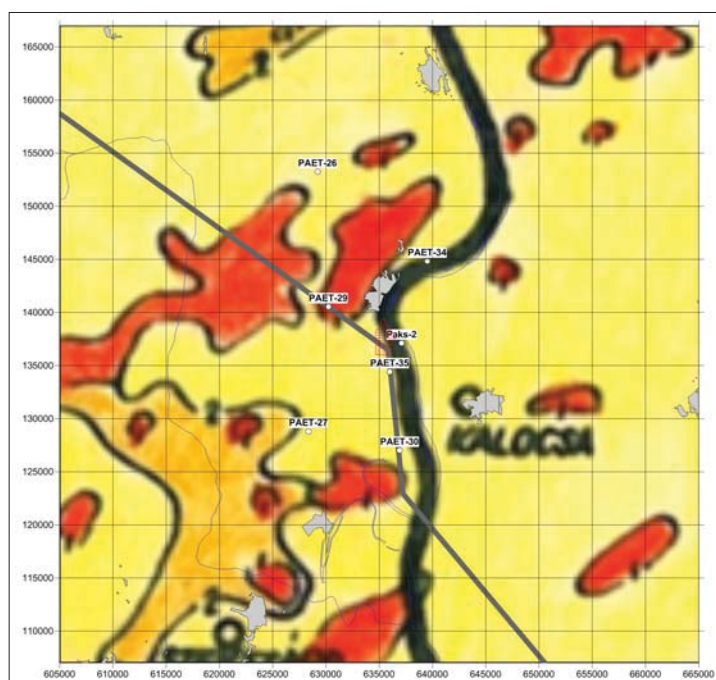
	Mélységtől	Mélységig	Formációk	masl_től	masl_ig	Vastag
PAET-29	0,00	611,30	teljes szelvényű	133,19	-478,11	611,30
	611,30	635,85	Tinnye	-478,11	-502,66	24,55
	635,85	723,60	Lajta	-502,66	-590,41	87,75
	723,6	729,58	Mecseki Andezit tufa	-590,41	-596,39	5,98
	729,58	1950,00	Mecseki Andezit	-596,39	-1816,81	1220,42

2. táblázat | A PAET-34 fúrás egyszerűsített rétegsora (formációk)
Table 2 | Simplified sequence in PAET-34 borehole (by formations)

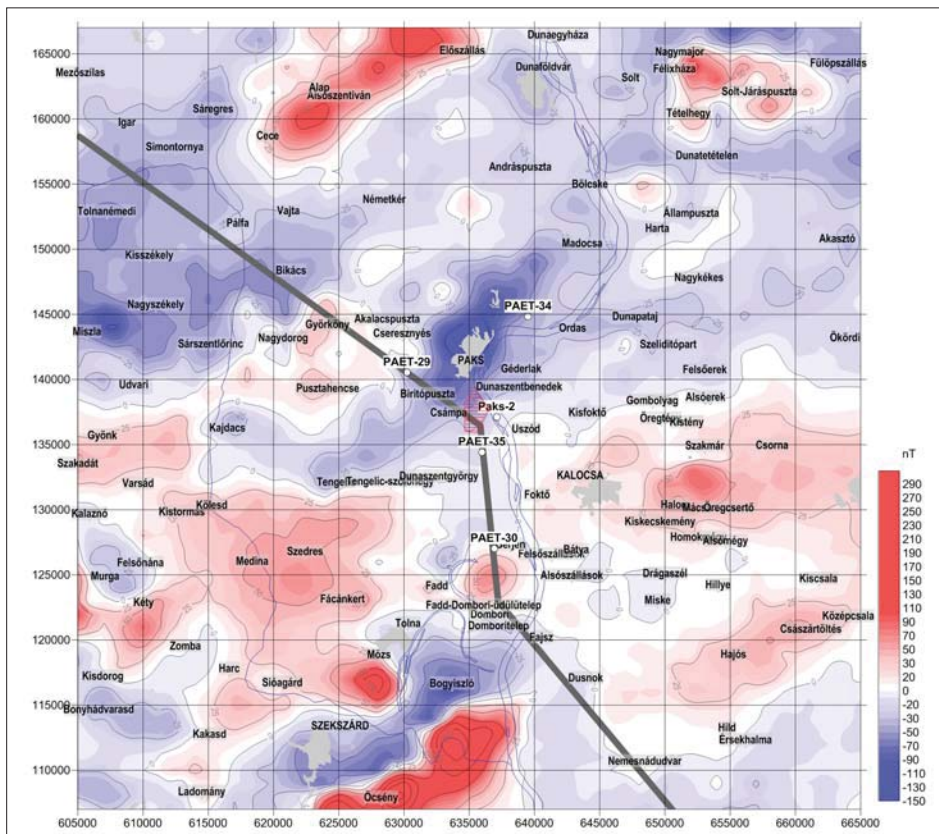
	Mélységtől	Mélységig	Formációk	masl_tól	masl_ig	Vastag
PAET-34	0,00	690,30	teljes szelvényű	133,19	-557,11	690,30
	690,30	699,55	Lajta	-557,11	-566,36	9,25
	699,55	1224,90	Mecseki Andezit	-566,36	-1091,71	525,35
	1224,90	1498,40	Szászvári	-1091,71	-1365,21	273,5
	1498,40	1499,20	Gyulakeszi	-1365,21	-1366,01	0,80
	1499,20	1526,20	Szászvári	-1366,01	-1393,01	27,00
	1526,20	1546,17	Gyulakeszi	-1393,01	-1412,98	19,97
	1546,17	1785,70	Szászvári	-1412,98	-1652,51	239,53
	1785,70	1832,46	Gyulakeszi	-1652,51	-1699,27	46,76
	1832,46	1832,95	breccsa	-1699,27	-1699,76	0,49
	1832,95	1867,80	Variszkuszi metamorfit	-1699,76	-1734,61	34,85

3. táblázat | A Paks-2 fúrás egyszerűsített rétegsora (litológia)
Table 2 | Simplified sequence in Paks-2 borehole (by lithology)

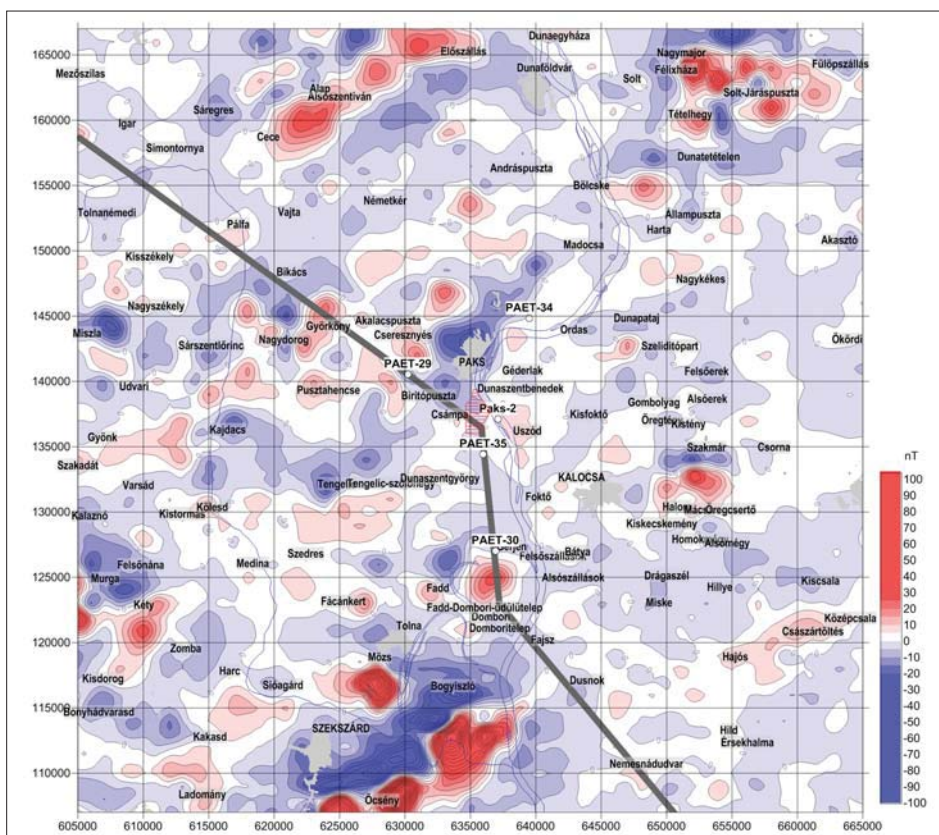
	Mélységtől	Mélységig	Litológia	masl_tól	masl_ig	Vastag
Paks-2	0,0	27,3	homok/kavics/agyag/	150,0	122,7	27,3
	27,3	525,6	agyagmárga/aleurit/homok/	122,7	-375,6	498,3
	525,6	628,4	agyagmárga/mésmárga/	-375,6	-478,4	102,8
	628,4	655,1	agyagmárga/agyag/homokkő/mészke/riolittufa/	-478,4	-505,1	26,7
	655,1	718,5	agyagmárga/márga/agyag/homokkő/	-505,1	-568,5	63,4
	718,5	1089,0	agyagmárga/márga/homokkő/riolittufa/ mészke/dolomit/barnaköszén/riolittufa/tuft/	-568,5	-939,0	370,5
	1089,0	1593,0	tuft/aleurit/aleurolit/dácitandezit/agyagmárga/	-939,0	-1443,0	504,0



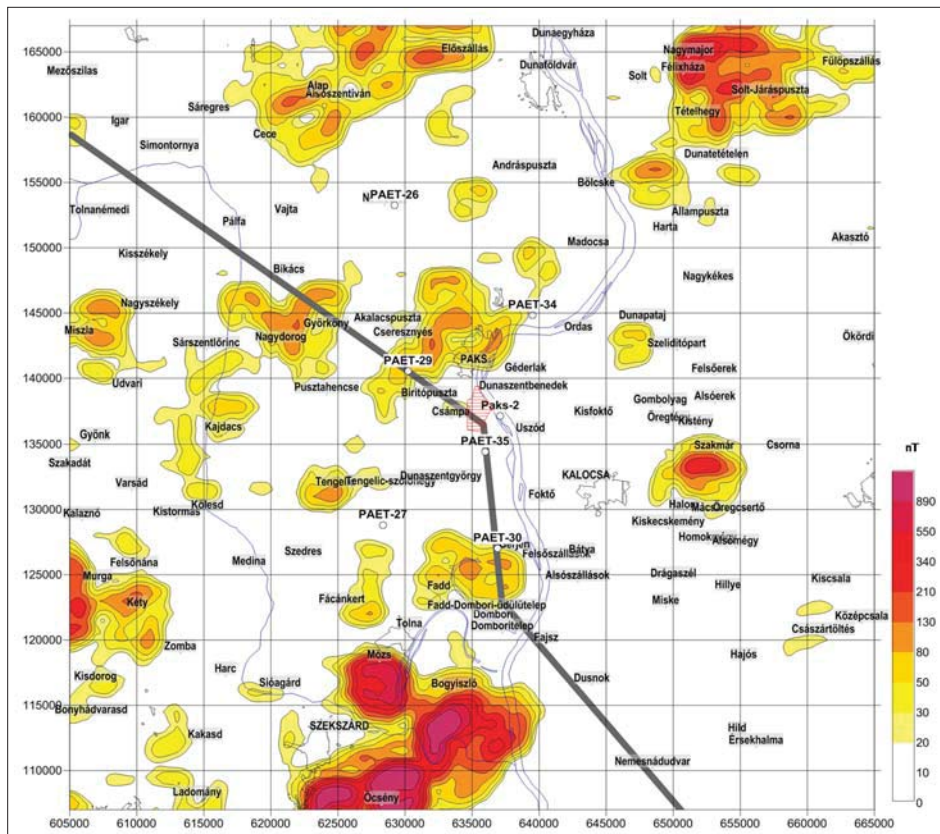
6. ábra | Mágneses hatók helyzete és becslt mélysége a paksi területre (piros színezés: 1 km-es becslt mélység, narancssárga színezés: 2 km-es becslt mélység, Posgay 1966a, részlet)
Figure 6 | Position and estimated depth of magnetic formations on the Paks area (area filled with red: estimated depth 1 km, area filled with orange: estimated depth 2 km (Posgay 1966a))



9. ábra | ΔZ adatokból transzformált mágneses ΔT anomália-térkép
 Figure 9 | Magnetic ΔT anomaly map transformed from ΔZ data



10. ábra | Szűrt mágneses ΔT anomália-térkép (a felső 1 km-es mélység mágneses hatása, részlet az országos adatrendszerből)
 Figure 10 | Filtered magnetic ΔT anomaly map (magnetic effect of the upper 1 km depth, fragment from the country-side data)



11. ábra | 1 km mélységben a mágneses hatók területi lehatárolása a spektrálisan szűrt mágneses adatok változékonysági térképe alapján
 Figure 11 | Spatial delimitation of magnetic bodies at a depth of 1 km based on the variation of spectral filtered magnetic data

Ezúttal bennünket elsősorban a paksi területre érdekel. A maximumpár nélküli minimumzóna azt jelzi, hogy remanens mágnesezettségű hatóval van dolgunk (ezt valószínűleg *Posgay Károly* is felismerte 1966-ban). Az anomália rajzolva, a közép-magyarországi zónának megfelelően elnyújtott minimum szerkezethez kapcsolódó eltemetett mágneses hatót jelez. A mágneses ható pontos mélységét az alaptérkép alapján csak becsülni lehet. A két mélyfúrás a minimumzóna peremi részein található hasonló helyzetben.

Elvégezve a mágneses adatok spektrális szűrését (Kiss 2013), a térfrekvencia alapján leválogattuk a felső 1 km mélységből származó mágneses hatásokat (10. ábra).

A Szekszárd–Bogyiszló anomáliavonulat most is azonosítható, a legerősebb mágneses hatás a térképen. A Tengelic–Paks–Madocsa minimumzóna szétesett több kisebb méretű nagyfrekvenciás anomáliára (a mélybeli hatás jelentős része eltűnt), a Cece–Előszállás maximumvonulat szintén feldarabolódott, de még mindig dominánsan jelen van. Megjelent több kisebb anomáliazóna, mint például Ny-on a Kéty–Kisdorog–Felsőnána térségben, Kalocsától K-re Szakmár alatt, valamint Solt–Járáspuszta tágabb környezetében ÉK-en.

Pakstól Ny-ra, egészen Sárszentlőrincig több kisebb-nagyobb, az alapszintből kiemelkedő minimum- és maximumanomália azonosítható, de a legnagyobb anomália továbbra is Paks alatt, illetve mellett, a Ny-i oldalon azonosítható. A PAET-29 fúrás a plusz-mínuszos anomáliák

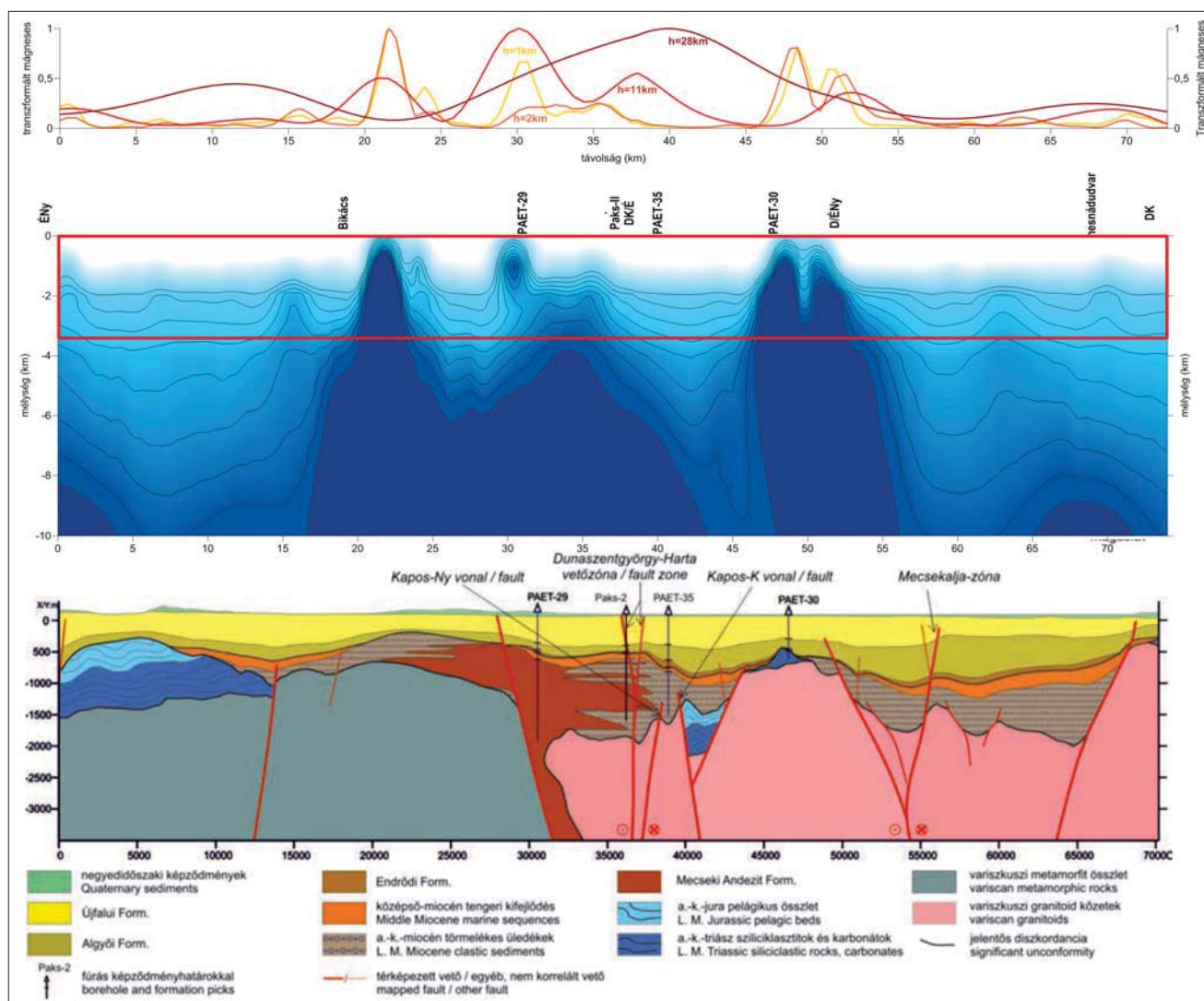
között található, a PAET-34 fúrás közvetlen környezete már anomáliamentes részre esik.

A térkép még a gyakorlottabb kiértékelő számára is bizonyolultnak tűnik – nehéz állást foglalni, hogy hol vannak-e a mozaikanomáliák alatt a lehetséges mágneses hatók és azoknak mekkora a kiterjedése!

A 11. ábra mutatja a szűrt mágneses anomália-térképből kiszámított változékonysági térképet. A térképen csak a 20-nál nagyobb értékek vannak megjelenítve. A 11. ábra térképe letisztulva mutatja az eltemetett mágneses hatók legvalószínűbb helyzetét. A térkép színekecskéje (érzékenysége) önkényesen megválasztott, de a látvány jól mutatja a PAET-fúrásokban harántolt andezitek vastagságviszonyát. Látszik, hogy a feláramlás egy DNy–ÉK-i irányított zóna (szerkezet) mentén valószínűsíthető, és annak központi része a 2–7 km-re, ÉK-re található a PAET-29 fúrástól.

A földtani szelvény nyomvonalában is érdemes megnézni a spektrális szűrésekből (12. ábra, felül) elkészíthető relatív mágnesezettségi mélységmetszetet (12. ábra, közepén). A mágnesezettségi metszet elkészítésének módját előző publikációnk (Kiss, Vértesy 2020) mutatta be.

A 12. ábrán azt látjuk, hogy 1 km-es mélységtartományban nem a PAET-29 mélyfúrás környékén van a legnagyobb a mágneses ható. Bikáctól D-re, 22 vkm-nél, illetve közvetlenül a PAET-30 fúrás mellett D-en is erősebb, nagyobb mágneses ható látszik, amelyek a földtani



12. ábra Mágneses hatók mélységi lehatárolása. Szűrt, normált mágneses változékonysági görbék (4 mélységre) a földtani szelvény nyomvonalában (felül), a görbék alapján megszerkesztett relatív mágnesezettségi mélységmetszet (középen) és a korábban készült földtani szelvény (alul). A földtani szelvény csak a felső 3500 m-re készült el, ezt a tartományt a mélységmetszeten piros kerettel kiemeltük

Figure 12 Depth determination of the magnetic formations along the geological section. Filtered, normalized magnetic variability curves (for 4 depths) along the profile of the geological section (top), the relative magnetization depth section constructed based on the curves (middle), and the geological section made earlier (bottom). The geological section was completed only for the upper 3500 m, which is highlighted with a red frame on the depth section

szelvényen (12. ábra, alul) nem jelennek meg. Az is látszik, hogy a felvett szelvény nyomvonala nem a legnagyobb amplitúdójú mágneses anomálián megy keresztül, ahogyan a PAET-29 sem ott lett lemélyítve.

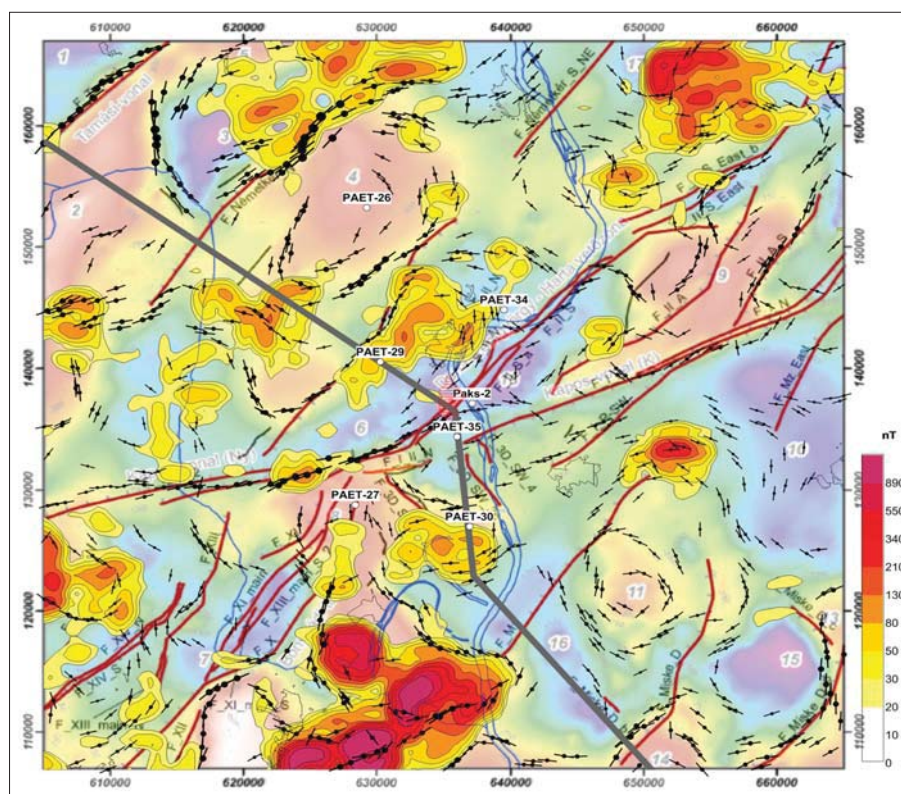
A mágneses hatók az 1 km-es spektrális tartományban már megjelennek, ami azt jelenti, hogy felső peremük mélysége 1 km-nél kisebb mélységben található. A mágneses adatok felmértésége (1500 m-es nominális pont-távolság) miatt ennél pontosabb mélységmeghatározás nem lehetséges. A mágneses ható mágnesezettségi paramétereit nem ismerve a kétdimenziós modellezés is bizonytalan eredményeket adna (paleomágneses vizsgálatokról, mágnesezettségi paramétereikről nincs tudomásunk).

Az andezit test és a szerkezet kapcsolatának vizsgálatakor érdemes a gravitációs adatokat is elővenni. Az

izosztatikusan korrigált (Moho-hatástól mentes) Bouguer-anomália-térképet és a gravitációs hatóperemek egyértelműen jelzik az andezit kapcsolatát a tektonikával, illetve a tektonikai árokkal (13. ábra).

Míndez a paksi munkák során megszerkesztett pre-kainozoos aljzattető térképén is azonosítható (15. ábra). A tektonikai vonalak lefutása és a gravitációs hatóperemek összességében jó egyezést mutatnak, részleteiben azonban vannak eltérések, például a telephely környezetében is.

A Dunaszentgyörgy-Harta Vetőzóna ÉK-i irányból egyenesen nem folytatható a Kapos-vonalig, mert a gravitációs hatóperemek alapján szétnyílik a vetőzóna! ÉK-ről a vető a Duna vonalát követve éri el Ordast, majd azt elhagyva két irány valószínűsíthető. Az egyik, követve a Duna kanyarodását, azaz egy K-Ny-i eltolódás után



15. ábra A prekainozoos aljzatmorfológiai elemek és vetőrendszerek (mint háttér, halványan) és a gravitációs hatóperemek, valamint a bázisos vulkanitok elhelyezkedése a felső 1 km-es mélységtartományban

Figure 15 Pre-Cenozoic basement morphology and fault system (as a background) with gravity edge detections as well as basic volcanites in the upper 1 km depth range based on magnetic data

Paks település DK-i peremén fut tovább, majd Paksot és a Duna medrét elhagyva az eredeti irányítottságának megfelelően Csámpa felé éri el a Kapos-vonalat. A másik irány egyszerűbb, egyenesebb, ekkor Ordastól Uszód felé folytatódva éri el a Kapos-vonalat.

A viszonylag ritka gravitációs adatok alapján ez a két szerkezet É-ről, illetve D-ről kerüli a paksi telephelyet, és nem azon megy keresztül, amint azt a 14. ábra értelmezett vetőrendszere mutatja. A 15. ábra együtt mutatja a hatóperemeket és az értelmezett vetők nyomvonalát.

A gravitáció általában mélyebb szerkezeteket jelez, mint amit a szeizmikus mérésekből értelmezünk és Paks környékének gravitációs felmérése sem eléggé részletes, így a kapott hatóperemek is egy regionálisabb szerkezeti képet mutatnak, amelyeket országos vizsgálatok alapján már korábban is láttunk (Kiss 2006). Az andezittest Paks környezetében a sűrűségviszonyokat is megbolygathatja, ami a hatóperem lefutását is nyilvánvalóan befolyásolja.

Összefoglalás

A mágneses anomália-térkép elvileg jelzi a mágneses hatókat vagy legalábbis a mágneses tér azon változásait, amelyeket a földtani képződmények (bázisos magmatitok és metamorfitek) okoznak. Ahol vannak ilyen változások, ott van valamilyen bázisos földtani képződmény, ugyan-

akkor ahol nincsenek anomáliák, ott egyértelműen kijelenteni azt, hogy nincsenek mágneses hatók, nem lehet, mert vízszintes, lemezszerű testek ilyen helyeken is előfordulhatnak.

Már többször közzétettük (Kiss 2009, Kiss et al. 2015), hogy a nagy kiterjedésű lemezszerűen elterülő mágneses testeket gyakorlatilag csak a peremeken jelentkező anomáliák jelzik, az ilyen testek közepe felett, még szerencsés esetben is csak alapszint-emelkedés vagy -csökkenés látszik. A magmás kőzetek esetében sokszor az összetételből adódóan nincs is mágneses hatás (savanyú magmatitok vagy másodlagos hatásokra átalakult bázisos magmatitok).

A spektrális mélységszeletelés (adott mélységtartományok hatásának vizsgálata) és a változékonyság együttes alkalmazása alapján ki tudjuk mutatni, hogy hol vannak nagy valószínűséggel mágneses hatók, amint azt a paksi fúrások környezetében fentebb bemutattuk.

Korábban – már 1966-ban analóg módon – a mágneses anomáliák vizsgálata alapján (Posgay 1966a,b) vagy az országos digitális adatfeldolgozásokkal a mágnesestér-gradienst ábrázoló térképen, illetve annak vertikális integrálján (Kiss 2013), de a pszeudogravitációs térkép horizontális gradiensen (Kiss 2015) a paksi anomáliák rosszabb felbontásban (mivel országos térképek), de egyértelműen azonosíthatóak voltak. Az új paksi PAET-fúrások fel is tárták nekünk az anomáliák okozóit, de azok várható ki-

terjedése nem derült ki, amelynek a meghatározására a jelen cikk mágneses adatfeldolgozásai alapján lehetőség nyílik.

Az országos 1,5 km mintavételi sűrűségű anomália-térkép felbontása nem a legjobb, légi mágneses mérések nem fedik le a területet, a nagyobb sűrűségű paksi mágneses mérési anyag zárólva van, számunkra nem elérhető, pedig az valószínűleg még pontosabban határolná le a 700 m mélységben elhelyezkedő andezitek horizontális kiterjedését.

Készült egy tanulmány is a paksi mérésekről és feldolgozásokról (Horváth et al. 2019), amelyre a cikkben hivatkoztunk is, de a mért mágneses adatrendszer és annak feldolgozása ott nem jelenik meg.

A 2D szeizmikával sűrűn felmért területek esetében a gravitációs anomália-térkép megadhatja a harmadik dimenziót, a térbeli kapcsolatot. A 3D szeizmika mellett pedig, független adatrendszerként ellenőrzésre jól használható a gravitációs adatrendszer. A paksi területen kvázihálózatú gravitációs mérések állnak rendelkezésre: utak mentén, 500 m-enként mérve, közte több kilométeres adathiányos területekkel. Tehát az egyik legolcsóbb kutatási módszerrel, a gravitációval nincs optimálisan lefedve a terület, miközben rengeteg pénzt elköltöttünk a földtani kutatásokra.

Ez a dolgozat jelzi, hogy az új feldolgozási eljárások (lásd Kiss 2013, Kiss 2015, Kiss, Vértesy 2020) segítségével tudunk új információkat szerezni még a régi archív geofizikai mérési adatokból is. Cikkünkben bemutattuk ezeknek az új feldolgozási eljárásoknak a gyakorlati alkalmazását az országos adatrendszeren, majd a paksi terület térképi adatain, illetve egy korábban megszerkesztett paksi földtani szelvény mentén.

Mágneses térképi feldolgozásaink alapján megadtuk a felszínközeli (1 km-nél kisebb mélységben jelentkező) mágneses képződmények (andezitek, bazaltok) várható földrajzi lehatárolását (x, y) és a kiválasztott földtani szelvény mentén azok várható szelvény menti elhelyezkedését (x, y, z).

A rendelkezésünkre álló adatrendszer ennél pontosabb lehatárolást nem tesz lehetővé.

A tanulmány szerzője

Kiss János

Jegyzetek

- ¹⁾ Az 1. Függelékben bemutatjuk néhány ásvány és kőzet Königsberger-hányadosát (Q), azaz a remanens és indukált mágneszettség közötti arányt ($Q = J_r/J_i$).
- ²⁾ A transzformációnál az egységesített ΔZ adatokat, $63,5^\circ$ inklinációs és 3° deklinációs értéket használtunk.
- ³⁾ A változékonyságot az adatok statisztikai vizsgálata alapján a „szórás” paraméterrel jellemezhetjük. Ennek megfelelően a szórás egy adott terület- vagy szelvényegységre vonatkozó statisztikai paraméter, amelyet egy mozgóablakos szűrési eljárással lehet meghatározni. Az ablak nagysága az adatrendszer sűrűségétől, a vizsgálat céljától és a feldolgozást végző szak-

embertől függ. Ahol a mágneses tér legnagyobb változásai vannak, ott a szórás maximális értéket vesz fel. A mágneses hatók ezen a helyeken a legvalószínűbbek.

Hivatkozások

- Clark D. A. (1983): Magnetic properties of pyrrhotite applications to geology and geophysics. MSc Thesis, University of Sydney, 256 pp.
- Clark D. A. (1997): Magnetic petrophysics and magnetic petrology: aids to geological interpretation of magnetic surveys. AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics, 17/2, 83–103.
- Haáz I., Komáromy I. (1966): Magyarország földmágneses térképe, a függőleges térerősség anomáliái. 500000-es nyomtatott térkép. ELGI kiadvány
- Horváth F., Koroknai B., Tóth T., Wórum G., Konrád Gy., Kádi Z., Kudó I., Hámori Z., Filipcski P., Németh V., Szántó É., Biró A., Koroknai Zs., Földvári K., Kovács G. (2019): A „Kaposvonat” középső szakaszának szerkezeti-mélyföldtani viszonyai és neotektonikai jellegei a legújabb geofizikai vizsgálatok tükrében. Földtani Közlöny, 149/4, 327–350.
- Kiss J. (2006): Magyarország gravitációs lineamenstérképe – első eredmények. Magyar Geofizika, 47/2, 1001–1010.
- Kiss J. (2009): Gravitációs és mágneses feldolgozások és modellezések a földtani környezet megismerése céljából. Doktori (PhD) értekezés, NyME Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola, Sopron
- Kiss J. (2013): Magyarországi geomágneses adatok és feldolgozások: spektrálanalízis és térképi feldolgozások. Magyar Geofizika, 54/2, 89–114.
- Kiss J. (2015): A Pannon-medence geomágneses anomáliái és a mélyfúrással feltárt bázisos földtani képződmények kapcsolata. Magyar Geofizika, 56/1, 21–42.
- Kiss J. (2016): A gravitációs és mágneses anomáliák átfogó értelmezése a Kárpát-Pannon-régióban. Földtani Közlöny, 146/3, 275–298.
- Kiss J. (2018): Gravitációs, mágneses és légi geofizikai adatbázisok. Magyar Geofizika, 59/3, 129–148.
- Kiss J., Gulyás Á. (2006): Magyarország mágneses ΔZ anomália-térképe, M = 1:500 000-es nyomtatott térkép. ELGI-kiadvány
- Kiss J., Prácsér 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. (2020): Potenciáltér-anomáliák paraméterfüggősége és spektrális mélységmetszetek. Magyar Geofizika, 61/1, 8–18.
- Kiss J., Vértesy L., Gulyás Á., Kovács A. Cs., Fancsik T. (2015): Bázisos földtani képződmények és a mágneses anomáliák, MGE Vándorgyűlés, Budapest
- Kiss J., Vértesy L., Fancsik T., Kovács A. Cs., Madarasi A., Gulyás Á. (2017a): Tisia, a geofizika adatok tükrében és a litoszférakutató szelvények szeizmikusan nagy sebességű zónáinak értelmezése. Magyar Geofizika, 58/4, 209–229.
- Kiss J., Vértesy L., Gulyás Á. (2017b): Földmágneses esettanulmányok a Balaton-felvidékről, a Duna–Tisza közéről és a Tokaji-hegység területéről. Magyar Geofizika, 57/4, 126–151.
- Kiss J., Vértesy L., Zilahi-Sebess L., Takács E., Gulyás Á. (2019): A Nyírség geofizikai kutatása. Magyar Geofizika, 60/3, 103–130.

Kiss J., Zilahi-Sebess L., Szarka L. (2011): A mágnesség jelensége és a Hopkinson-effektus. *Magyar Geofizika*, 52/3, 151–169.

Nabighian M. N., Grauch V. J. S., Hansen R. O., LaFehr T. R., Li Y., Peirce J. W., Phillips J. D., Ruder M. E. (2005): The historical development of the magnetic method in exploration. *Geophysics*, 70/6, 33–61. DOI: 10.1190/1.2133784

Posgay K. (1962): A magyarországi mágneses hatók áttekintő térképe és értelmezése. *Geofizikai Közlemények*, 11/1–4, 77–99.

Posgay K., (1966a): A magyarországi földmágneses hatók áttekintő vizsgálata. Kandidátusi értekezés

Posgay K. (1966b): A magyarországi földmágneses hatók áttekintő térképe, 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.

1. Függelék

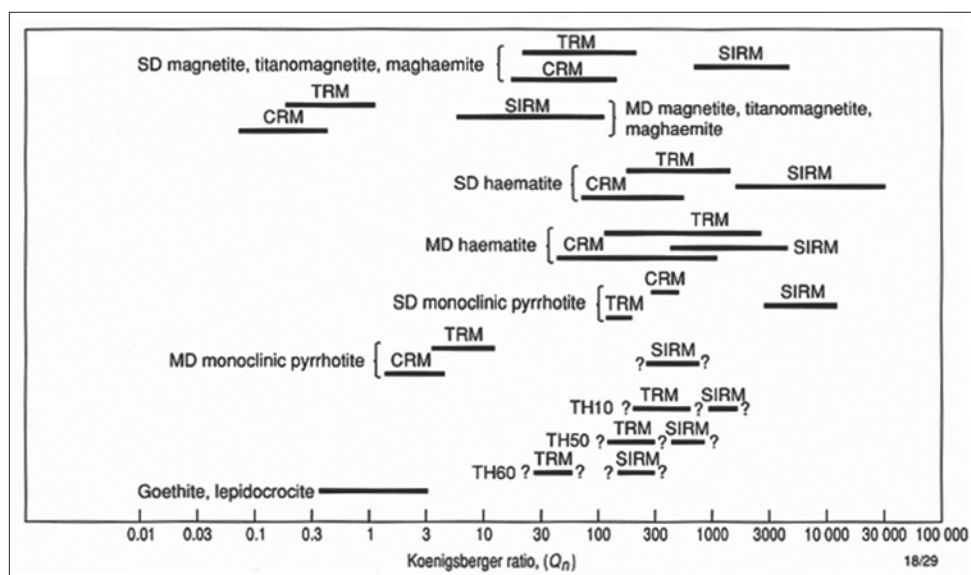
Remanens mágnesezettség mértéke – Königsberger-arányok

Clark (1983, 1997) publikációiban találtak ezeket az összefoglaló táblázatokat, amelyek nagy valószínűséggel általánosíthatók az egész Földre.

A 16. ábra a mágneses ásványok Königsberger-arányait mutatja. Látszik, hogy a TRM, azaz termális és a SIRM, azaz telített izotermikus remanens mágnesezettség esetén a legnagyobbak a Q értékei, akár 10 000-es értéket is elérhetnek. Érdekesség továbbá, hogy tulajdonságai alapján a magnetitet tartjuk a leginkább mágneses ásványnak, mégis a remanens mágnesezettség vizsgálatakor a pirrotin és a hematit tűnik a legerősebben mágnesezettnek.

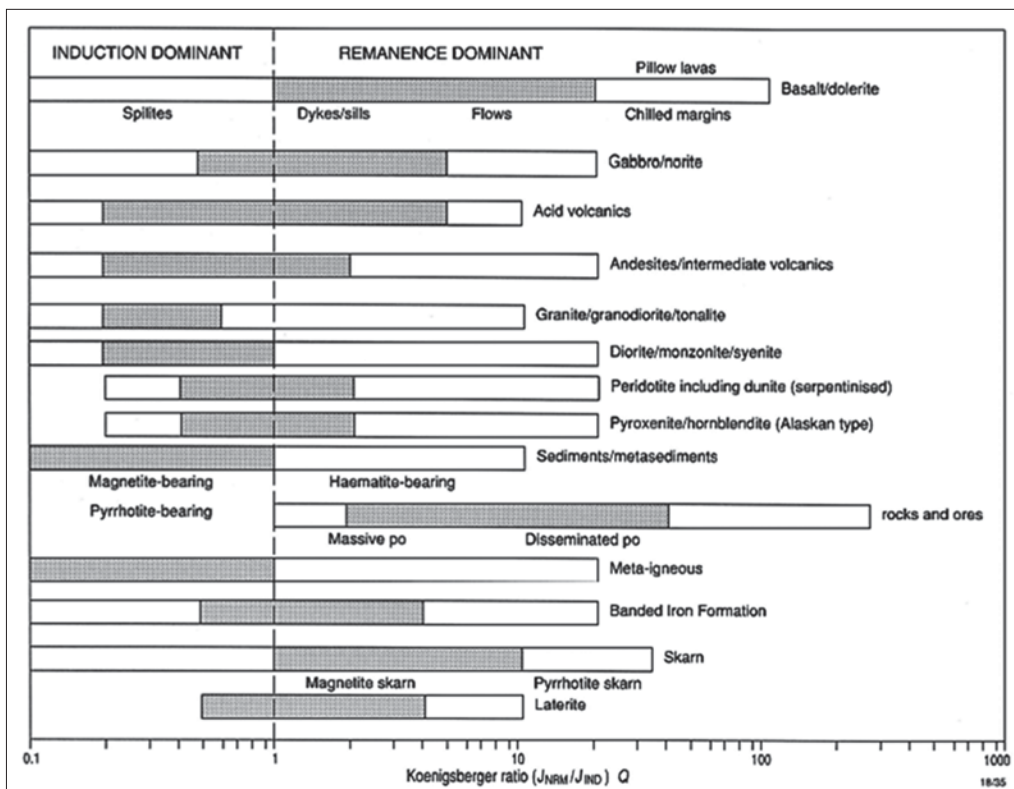
Itt persze felmerül a kérdés, hogy ezeknek az ásványoknak mekkora az alap mágneses szuszceptibilitása, ha nagyon kicsi, akkor annak az ezerszerese sem lesz túl nagy érték!

A 17. ábra a mágneses kőzetek Königsberger-arányait mutatja. Érdekes megfigyelni, hogy a középértékek alapján a gránitra, a granodioritra, a diorit, a monzonitra, a metavulkanitokra és a magnetit tartalmú üledékekre (azaz a plutóni, a metamorf és az üledékesre) az indukált mágnesezettség, ugyanakkor a bazaltra, a doleritre, azaz kiömlési kőzetekre, valamint a pirrotintartalmú és szkarnos kőzetekre, ércekre a remanens mágnesezettség a jellemző.



16. ábra Königsberger-arány a főbb mágneses ásványok esetén (Clark 1997) (CRM = kémiai remanens mágnesezettség, TRM = termoremanens mágnesezettség, SIRM = telített izotermikus remanens mágnesezettség, SD = egydomén, MD = multidomén)

Figure 16 Königsberger ratio for major magnetic minerals (Clark 1997) (CRM = chemical remnant magnetisation, TRM = thermoremanant magnetisation, SIRM = saturation isothermal remnant magnetisation, SD = single domain, MD = multi domain)



17. ábra Königsberger-arány a főbb mágneses kőzetek esetén (Clark 1997)

Figure 17 Koenigsberger ratio for major magnetic rocks (Clark 1997)