

Erőtér-geofizikai adatok spektrálanalízise és paramétervizsgálata – a Nyírség példáján* (Módszertani ismertető)

KISS J.

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

Az erőtér-geofizikai adatok spektrálanalízise segítségével mód nyílik a hatók mélységének becslésére, meghatározására. A kapott térképek lehetőséget teremtenek az egy szinten mért mágneses és gravitációs mérési adatok újfajta feldolgozására, mélységi értelmezésére. A spektrális szűrés maga már régóta ismert volt, de a kapott szűrt térképek eltérő amplitúdója miatt nehezen lehetett ezeket felhasználni, maradt a vizuális interpretáció és a térképeken végzett feldolgozási rácsműveletek.

A gravitációs szűrt térképek mélységének meghatározása magával hozta a kétdimenziós relatív sűrűség-mélység-metszetek és a háromdimenziós relatív sűrűség-térrács elkészítésének lehetőségét. Az analógia, amely a gravitációs és a mágneses erőtér-geofizikai adatok között van, nyilvánvalóvá teszi, hogy a relatív mágnesezettség-mélységmetszetek és háromdimenziós relatív mágnesezettség-térrácsok elkészítése is lehetséges némi trükközéssel.¹⁾

Az ilyen jellegű feldolgozást azonban módszertanilag is meg kell alapozni. Ezt a relatív mélységmetszetek elkészítésének bemutatásával (Kiss, Vértesy 2020) már részben megtettük, most kicsit jobban elmélyedve ebben a háromdimenziós alkalmazásnak a módszertani alapjait is be akarjuk mutatni, amit 2022-ben az MGE és MFT közös vándorgyűlésén szóban már ismertettünk (Kiss 2022a).

Kiss, J.: Spectral analysis of force field geophysical data and investigation of the parameters on the example of the Nyírség (Methodological description)

Spectral analysis of the potential field geophysical data allows estimating and determining the depth of the effects. The resulting maps provide an opportunity for a new way of processing and depth interpretation of magnetic and gravity data measured at a single level. The filtering itself has been known for a long time, but the different amplitudes of the resulting filtered maps made them difficult to use, leaving visual interpretation and processing grid operations on the maps.

Determining the depth of the gravity-filtered maps brought with it the possibility of producing two-dimensional relative density-depth sections and a three-dimensional relative density grid (voxel). The analogy between gravity and magnetic field geophysical data makes it obvious that it is possible to produce relative magnetization depth sections and three-dimensional relative magnetization grids (voxel), with some trickery.

However, such processing needs to be methodologically based. We have already partially done this by presenting the preparation of relative depth sections (Kiss, Vértesy 2020), and now we want to go a little deeper into the methodological basis of this three-dimensional application, which we have already presented orally at the joint MGE and MFT traveling meeting in 2022 (Kiss 2022a).

Beérkezett: 2025. május 5.; elfogadva: 2025. május 29.

* A 2022. évi MFT és MGE vándorgyűlésen elhangzott előadás alapján készült cikk.

Bevezetés

A mélyföldtani kutatások keretében a nyírségi szeizmikus és magnetotellurikus szelvények értelmezéséhez a gravitációs és (légi)mágneses adatokat is aktívan felhasználtuk, amelyek már az 50-es, 60-as évektől rendelkezésre álltak.

Az anomália térképek spektrális szűrése (Kiss et al. 2019), mélység-meghatározása (azaz az anomáliák hullámhosszára alapozott, ekvivalens modellek segítségével végzett mélységbecslése) alapján kétdimenziós relatív sűrűségi és mágnesezettségi mélységmetszeteket készítettünk (Kiss et al. 2019, Kiss, Vértesy 2020, Kiss 2021a, Kiss et al. 2023), de mivel a spektrális szűrésből származtatott adatok három dimenzióban (x, y, z , kiegészítve a mért paraméterrel) is rendelkezésre álltak, így elkészíthetővé váltak a háromdimenziós relatív sűrűségi és mágnesezettségi térrácsok is (Kiss 2022a, 2022b).

A mélyföldtani kutatás keretében, az ország ÉK-i csücskében, megpróbáltuk a geofizikai adatokat az országhatáron túlról is beszerezni, így előállt a térségnek a domborzati (1. ábra), gravitációs Bouguer-anomália (2. ábra) és mágneses ΔT -anomália (3. ábra) térképe is (Kiss 2021b, Kiss et al. 2023).

A határon túlra kiterjesztett alaptérképek vizuális értelmezésre alkalmasak voltak, segítettek a földtani értelmezésben, viszont digitális feldolgozásra már nem használhatók az eltérő (nem megfelelő) mintavételi távolságok miatt. Így csak a hazai geofizikai adatokat használtuk fel a spektrális szűrések során. Az adatrendszerek között meglévő

„eltérések” a mágneses anomália térképen látszanak legjobban.

A földtani célú geofizikai eredmények bemutatása során a cikkekben nem mindig lettek ismertetve a módszertani alapok, így most kicsit visszatérünk az alapokhoz!

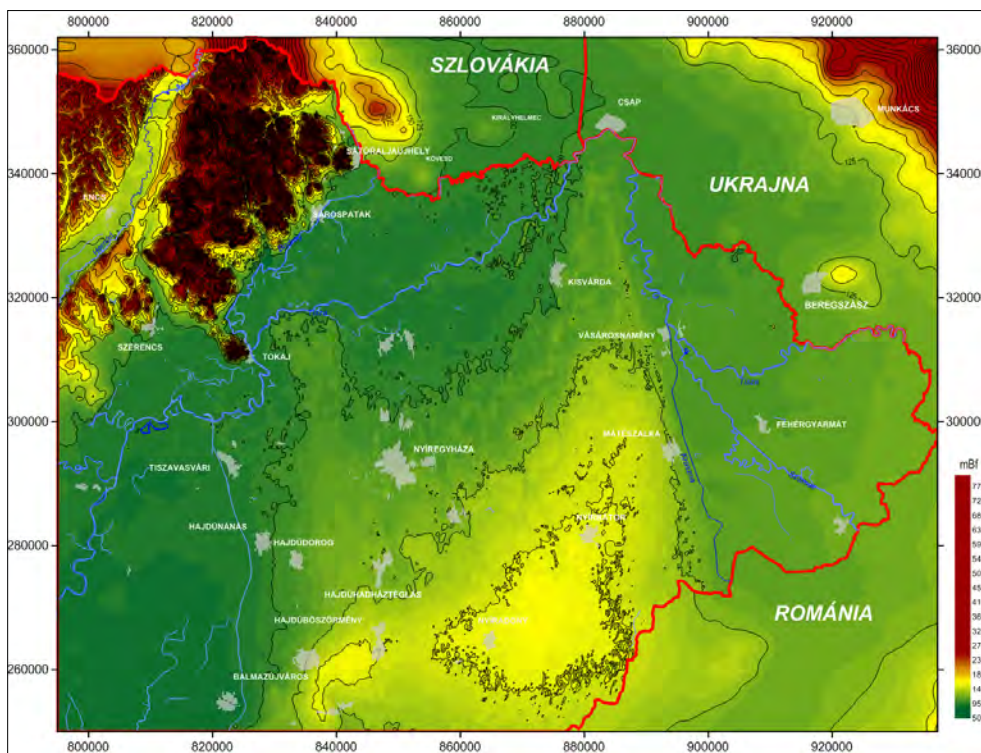
Erőtér-geofizikai alapok, paraméterek

A nehézségi erő, azaz a tömegvonzás képletét (1) látjuk alább. Látszik, hogy vannak változó tagok és vannak állandó (konstans) tagok a képletben. A változó tagok közül a sűrűség lineárisan, a mélység fordított négyzetesen, a térfogat pedig – felbontható méretdimenzióakra, és a legegyszerűbb geometriai forma, a kocka esetén – lineárisan köbös kifejezés (1):

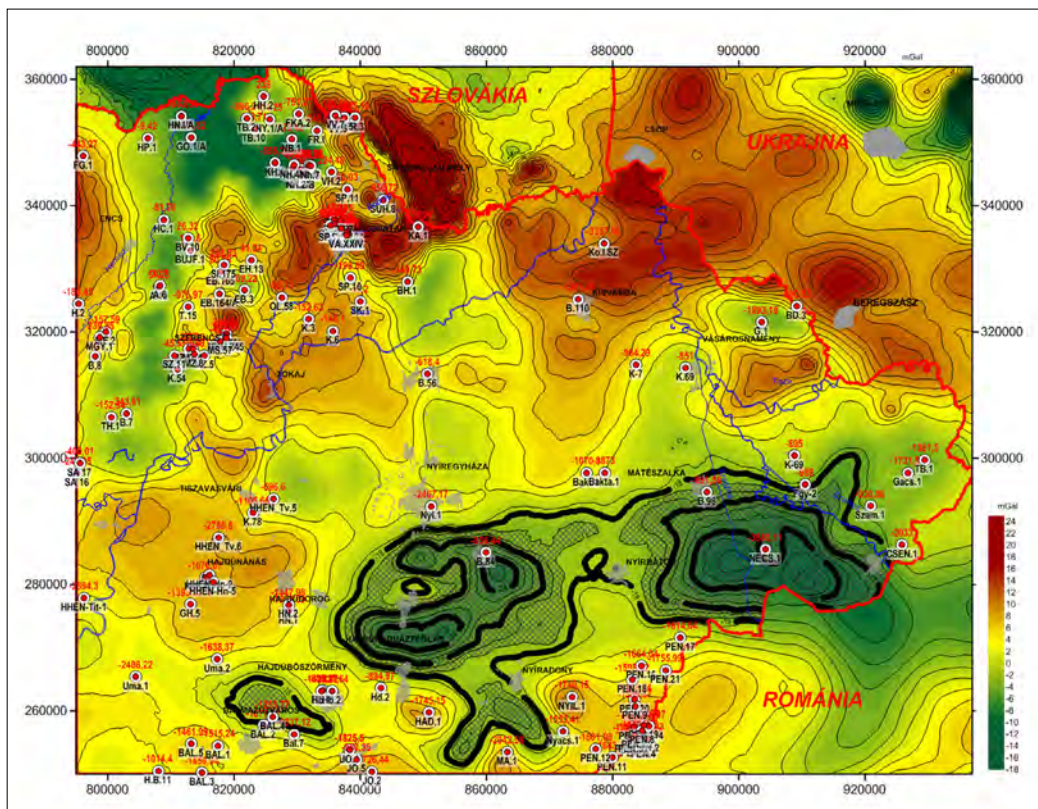
$$F_g = (\gamma m_e M) / r_i^2 = (\gamma m_e V \sigma) / r_i^2 = (\gamma m_e r_v^3 \sigma) / r_i^2. \quad (1)$$

- γ – gravitációs állandó,
- m_e – egységnyi mérőtömeg (állandó),
- M – a ható tömege,
- r_i – a ható és a mérőeszköz távolsága,
- σ – sűrűségkontraszt,
- r_v – a módszer behatolási mélysége (a térfogat egyik dimenziója).

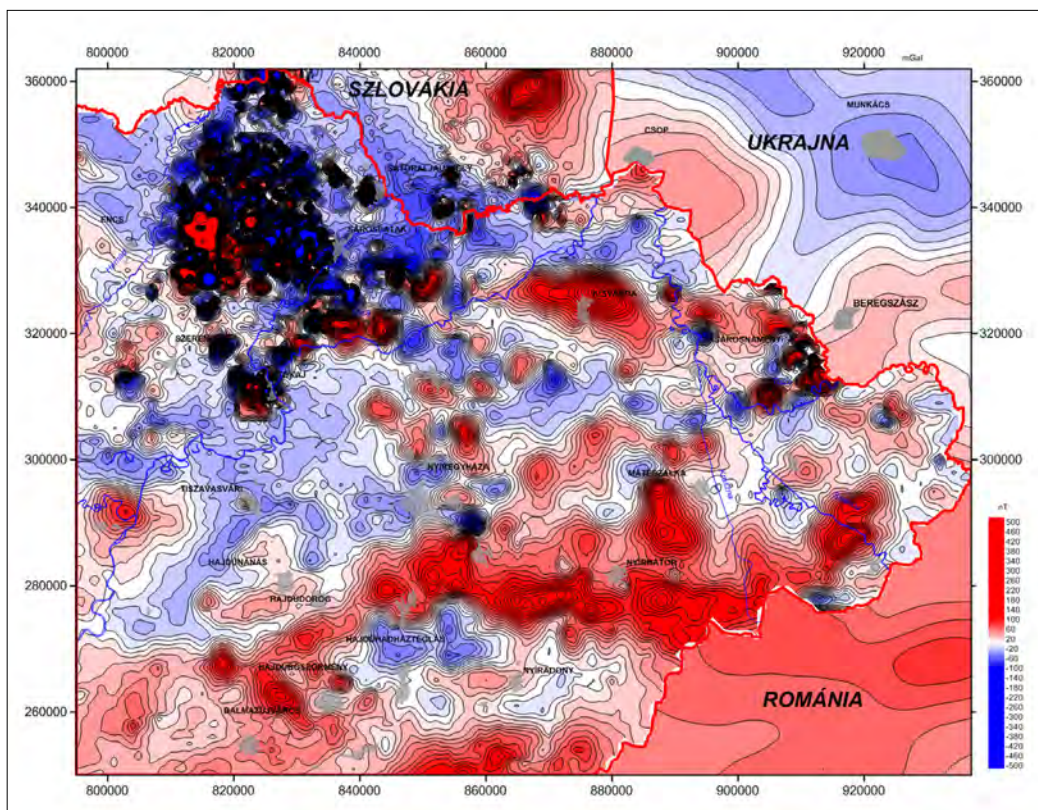
A gravitáció, illetve a mágneses anomáliatér képlete esetén a párhuzamot – a potenciálok között meglévő analógiák alapján – könnyen beláthatjuk. A képletek alapján a három változó (geometriai méret, szondatávolság vagy



1. ábra | Domborzati térkép – ÉK-Magyarország és a határon túli területek
Figure 1 | Topographical map – North-Eastern Hungary and areas beyond the border



2. ábra | Gravitációs Bouguer-anomália-térkép a fontosabb mélyfúrásokkal – ÉK-Magyarország és a határon túli területek
 Figure 2 | Gravity Bouguer anomaly map with major boreholes - North-Eastern Hungary and areas beyond the border



3. ábra | Mágneses ΔT -anomália-térkép – ÉK-Magyarország és a határon túli területek
 Figure 3 | Magnetic anomaly map ΔT – North-Eastern Hungary and areas beyond the border

mélység és fizikai paraméter) nem egyforma mértékben határozzák meg az anomáliateret.

A nehézségi térerő esetében a változóktól való függést (2) a következő egyszerű formában lehet megadni:

$$F_{\text{grav}} = f(r_v^3, r_i^{-2}, \sigma^1). \quad (2)$$

A mágneses térerő esetében az összefüggés hasonló, anynyi különbséggel, hogy itt nem egy lineárisan változó sűrűségparaméterrel van dolgunk, hanem egy exponenciálisan változó mágnesezettséggel (J). Az Eötvös–Poisson-összefüggés (3) alapján a „ható és mérőeszköz távolságot” nem négyzetesen, hanem köbösen kell figyelembe venni, azaz a mágneses erőtér lecsengése gyorsabb lesz (4) – Z deriváltnyi különbség van a gravitációs térhez képest.

$$\Phi_M = \frac{J}{\gamma\sigma} \frac{\partial\Phi_G}{\partial i} = \frac{J}{\gamma\sigma} \frac{\partial\Phi_G}{\partial z} = \frac{J}{\gamma\sigma} \Delta g, \quad (3)$$

ahol

Φ_M – mágneses potenciál,

Φ_G – gravitációs potenciál,

J – mágnesezettség-kontraszt

γ – gravitációs állandó,

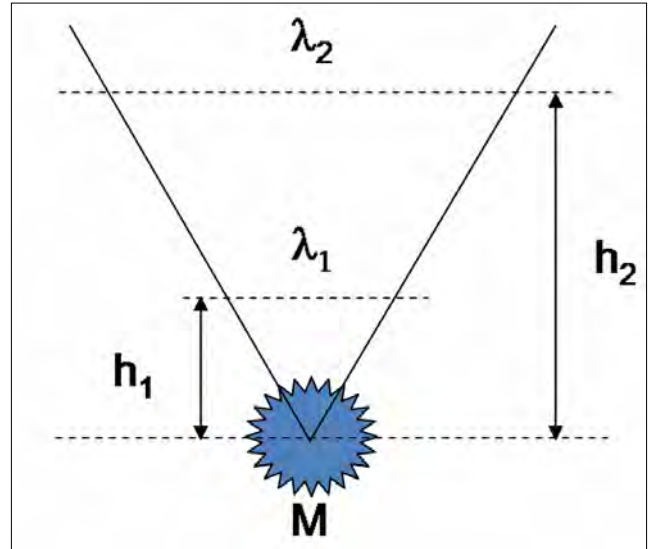
σ – sűrűség-kontraszt

i – a mágnesezettség iránya;

z – vertikális irány a pólusra redukálás miatt

(RTP = reduction to the pole)

Δg – gravitációs tér.



4. ábra | Egyszerű geometriájú lokális ható mélység–hullámhossz összefüggése

Figure 4 | Depth–wavelength relationship of a simple geometry local body

$$F_{\text{mag}} = f(r_v^3, r_i^{-3}, J^1). \quad (4)$$

Számszerűsítve a változó paramétereket, illetve azok értéktartományát, meghatározhatjuk azok szerepét az anomáliák kialakulásában (1. táblázat).

1. táblázat | Fizikai paraméterek várható változékonysága az erőtér-geofizikai képletekben

Table 1 | Expected variability of physical parameters in force field geophysical formulas

Paraméter	Alapérték	Nagyságrend
s^1 (sűrűség)	2000–3000 kg/m ³	(10 ³)
r_i^2 (ható-távolság)	1–n × 10 000 m	(1–10 ⁸)
r_i^3 (ható-távolság)	1–n × 10 000 m	(1–10 ¹²)
r_v^3 (geometriai méret)	100–10 000 m	(10 ⁶ –10 ¹²)
J^1 (mágnesezettség ²)	0–11 900 000	(0–10 ⁷)

2. táblázat | Magyarországi gravitációs és mágneses térképek spektrálisan szűrt adatainak szélsőértékei

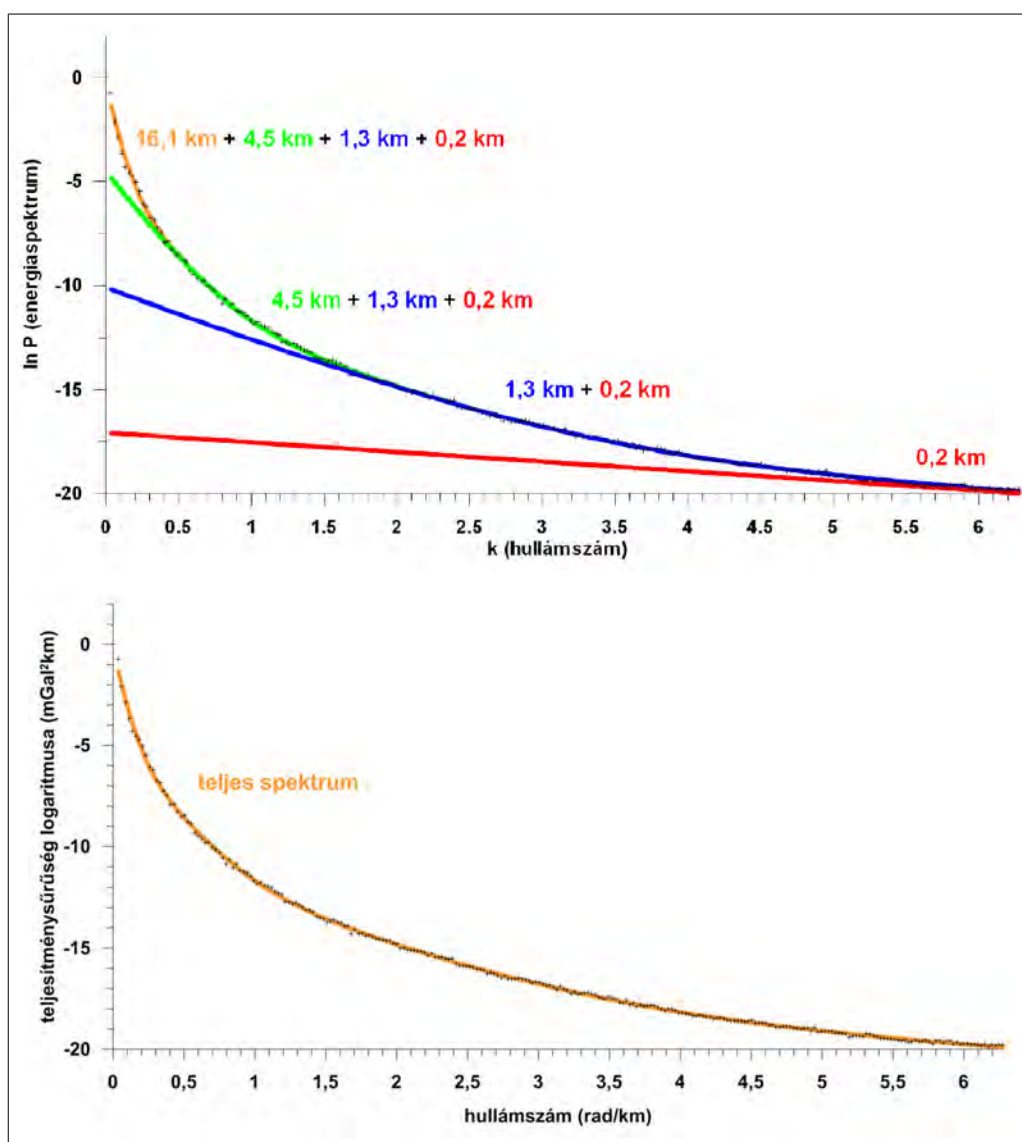
Table 2 | Extreme values of spectrally filtered data from Hungarian gravity and magnetic maps

Szűrt térkép	Mértékegység	Minimum	Maximum	Tartomány
Bouguer-anomália				
dg_h200m	mGal	–0,50	0,78	1,28
dg_h1300m	mGal	–3,34	4,91	8,25
dg_h4500m	mGal	–13,19	9,21	22,40
Mágneses anomália				
ldT_400m	nT	–1167,71	1488,98	2656,69
ldT_1360m	nT	–298,59	285,33	583,92
ldT_4500m	nT	–138,81	83,43	222,24

A Bouguer-anomália amplitúdója lineárisan függ a sűrűségtől, de erősebben, négyzetesen a ható mélységtől, viszont hagyományos alkalmazás esetén nem függ a térfogattól, mert a felszínen mért nehézségi erőtér mérésakor a térfogat mindig ugyanaz, ezért állandónak tekinthető. Ezek a paraméterek határozzák meg az anomália-térképek amplitúdóját (amplitúdófaktorok).

Az egyes anomáliák hullámhosszája a lokális hatók mélységével vannak összefüggésben (hullámhosszfaktor). A mélységi függőség meghatározása az anomáliák hullámhosszája alapján spektrálanalízis segítségével lehetséges! Spektrális szűrések esetén viszont a térfogat (az adott mélységtartomány közötti tömege) már nem tekinthető állandónak, hanem a behatolási mélységtartománytól függő változó mennyiség lesz, ami extrém módon változó amplitúdóértékekben jelenik meg.

A modellezésekből tudjuk, illetve 4. ábra segítségével könnyen beláthatjuk, hogy a mélység és a hullámhossz között milyen összefüggés van. A tértartománybeli frekvencia (egységnyi távolságra eső hullámhosszak száma) tehát közvetlen kapcsolatban van a ható mélységi helyzetével. A tértartománybeli frekvenciákat spektrálanalízissel tudjuk vizsgálni és frekvencia (hullámhossz) alapján szétválogatni. Ez egyszerűen magyarázható azzal, hogy egy nagyfrekvenciás jel (erőtérváltozás) nem jöhet csak egy bizonyos mélység feletti tartományból. A különböző hatások jelinterferenciája miatt a kisfrekvenciás jelekre ez már nem igaz, így a különböző kis mélységű (nagy frekvenciájú) hatások szuperponálódnak, amely kisfrekvenciás jellé állhat össze – információ hiányában – nem tudjuk figyelembe venni, nem tudjuk kezelni.



5. ábra | Különböző mélységek egyedi illetett spektrumai (fent) és azok eredő spektrumgörbéje országos gravitációs adatokból (lent)
 Figure 5 | Individual spectra at different depths (upper panel) and their resulting spectral curve from national gravity data (lower panel)

A spektrálanalízis eredményeinek vizsgálata során kapott tapasztalatokból tudjuk, hogy a szűrt térképek nem összevethetőek egymással, mivel rendkívül nagy az eltérés az amplitúdó (minimum–maximum) értékekben.

A fenti elemzések alapján ez gravitáció esetében leginkább az eltérő tömegeknek ($V\sigma$), a mágnesség esetében az eltérő mágneses momentumoknak (VJ) köszönhető (2. táblázat).

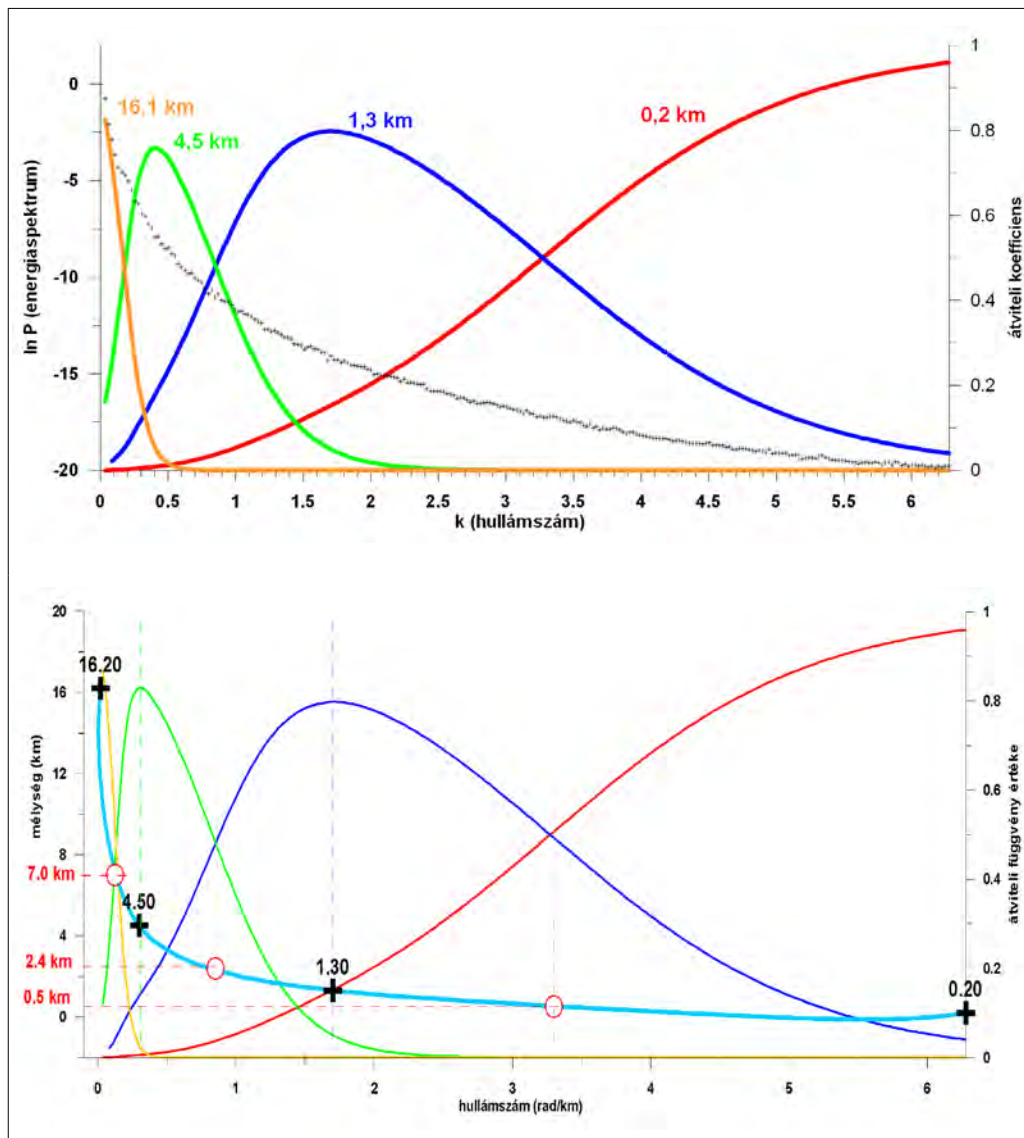
A tömegben és a mágneses momentumban is ott van a közzetértogat hatása (lásd a tartományoszlop változó értékeit). A különböző spektrális mélységtartományok esetén más-más térfogat lesz, de egy adott spektrális mélység esetén állandó térfogattal számolhatunk.

A 0–1 érték közé normálva³⁾ a spektrálisan szűrt térképeket, tulajdonképpen az eltérő térfogatok hatását gyengítjük (szedjük ki), a fizikai paraméter (sűrűség, mágne-

szettség) hatásának relatív növelése mellett. Azaz mélységről mélységre ráfókuszálunk a fizikai paraméterek megváltozásából származó hatásokra. Ezzel az eljárással az erőtér-geofizikai térképek szűréséből relatív paramétertérképeket készíthetünk.

A spektrálanalízis során, a térfrekvencia alapján, ekvivalens modellek segítségével meghatároztuk a mágneses vagy gravitációs hatók spektrális mélységét, ezt mutatja az 5. ábra felső része. A kiindulási anomália tulajdonképpen különböző mélységű hatásoknak az eredője, és a kiindulási anomáliatérkép spektruma ezt az eredő hatást mutatja (5. ábra alsó része).

A spektrális mélységek az átviteli függvények maximumhelyeit adják meg, de az átviteli függvények alapján látszik, hogy itt valójában nem konkrét mélységekről, hanem mélységtartományokról van szó. Az átviteli függvények



6. ábra Gravitációs térkép spektrális átviteli függvényei (fent) és az átviteli függvény maximumai és kereszteződései (lent)

Figure 6 Transfer function curves (upper panel) with depth of maximum and crossing places of the transfer functions (lower panel) for gravity

maximumhelyei (6. ábra, felső rész) adott konkrét mélységeket jelölnek, de az átviteli függvények nem egy adott mélységet, hanem egy tágabb környezetet, pontosabban egy mélységtartományt mutatnak ott, ahol az adott átviteli görbe felül van! Az átviteli függvénygörbék metszéspontjai határozzák meg a mélységtartományokat (6. ábra, alsó rész).

2019-ben a vándorgyűlésen (Kiss 2022a), majd publikációban (Kiss et al. 2019) is bemutattuk azokat az ábrákat, amelyek a sávszűrés során megadják a spektrális mélységeket, illetve a szűrt térképekre jellemző mélységtartományokat. Ezeknek a mélységeknek egyszerűsített előzetes (robosztus) földtani besorolást is adhatunk a Nyírség területére (3. táblázat).

A vándorgyűlésen (Kiss 2022a) és cikkben (Kiss et al. 2019) bemutattuk a különböző spektrális szűrésekből kapott gravitációsanomália-térképeket is. A különböző amplitúdójú térképek színezése tulajdonképpen majdnem ugyanolyan normálás, mint amit a frekvenciaszűrt adatokon alkalmaztunk. Ezt az eljárást – a normálást vagy normalizálást – úgyszólván napi szinten alkalmazzuk a geofizikai térképek megjelenítésekor.

A mágneses adatok esetében kicsit eltérő volt a megvalósítás, mivel a mágneses anomáliatérnek a mágnesezettségtől való vektoros jellegét a szűrések után egyszerűbben kezelhető anomáliatérre kellett alakítani (ott legyen anomália, ahol a mágneses ható van). Erre a legalkalmasabbnak tűnt a mágneses anomáliatér egységnyi területre eső szórásértékének (mágneses változékonyságnak) megjelenítése, mivel a legnagyobb értékek ott fognak jelentkezni, ahol a mágneses ható van (ezt a mágneses tulajdonságok nem lineáris növekedési jellege is felerősíti). A kiindulási mágneses anomáliákból kapott szűrt térképek alapján ki-

számítottuk azok mágneses változékonysági térképét. A változékonysági paraméter kiejti a mágneses dipóljelleg által okozott bizonytalanságokat, s ott lesz a legnagyobb az értéke, ahol mágneses ható van a közelben.

A sűrűségparaméter változása a mélységgel a tömörödési trend alapján az adott mélységtartományban körülbelül ugyanabban a ($n \times 10^3 \text{ kg/m}^3$) nagyságrendben jelentkezik (7. ábra jobb oldalán), ezzel szemben a térfogat (a mélységtartomány köbe) drasztikusan, nagyságrendileg is változik (7. ábra bal oldalán). Először 3 jegyű, majd 4, 5 és végül 6 jegyű értéket vesz fel a 10^6 szorzó mellett (4. táblázat)! Ezt az eltérő, domináns térfogati hatást kellett ki-kompenzálni a spektrálisan szűrt mérési adatokból, felerősítve a fizikai paraméter hatását.

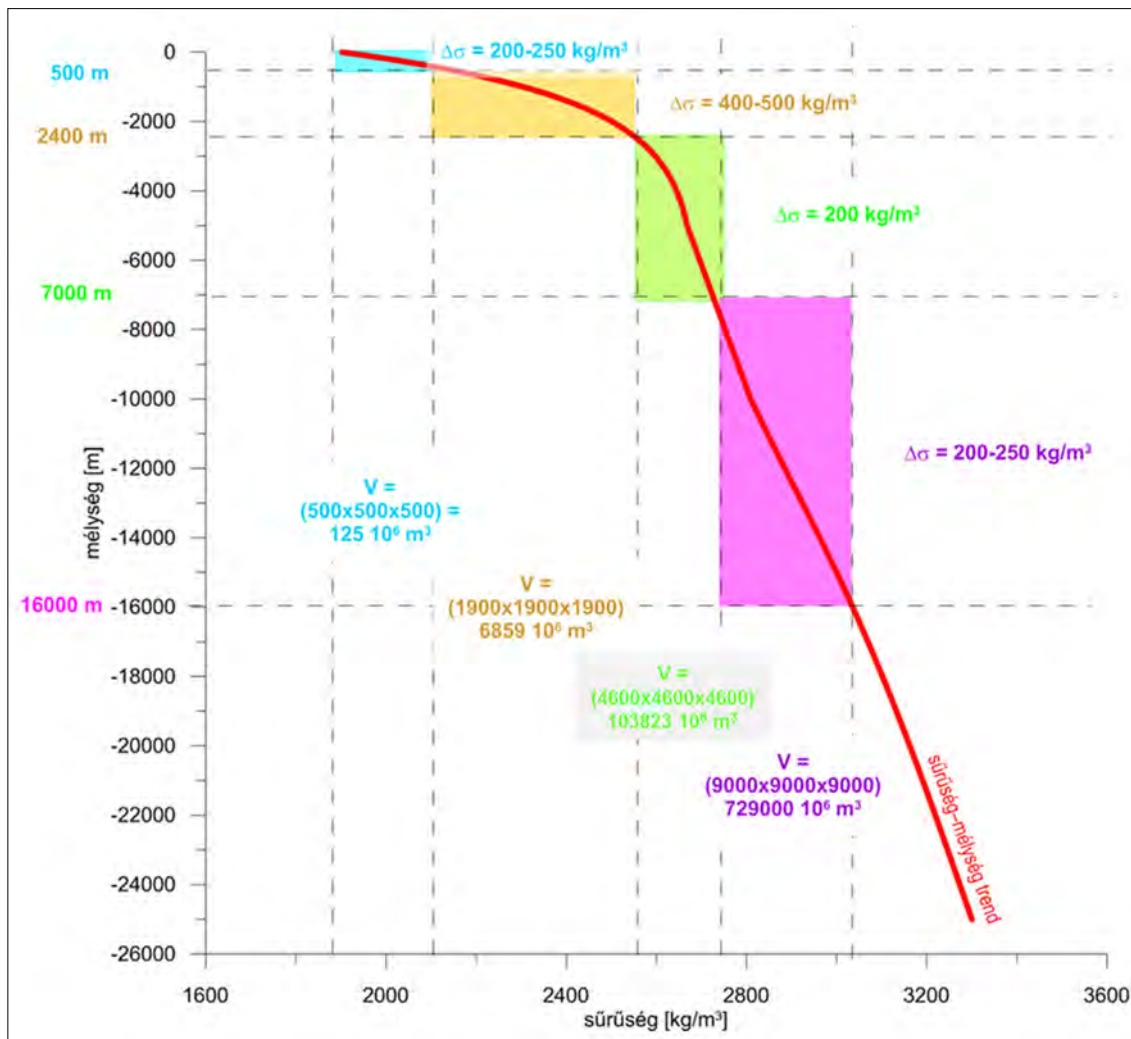
A mágneses paraméter esetében más a helyzet! Itt szigorúan véve nincs mélységi trend, noha a felső kéreg savanyú, az alsó kéreg bázisos, a köpeny viszont ultrabázisos kőzetekből áll. Mágnesességről azonban csak a Curie-hőmérséklet mélységéig beszélhetünk. A mágnesezettség viszont nem lineáris, hanem sokkal inkább exponenciálisan változó fizikai paraméter. A feldolgozások során azonban időnként érdemes alkalmazni valamilyen mélységfüggést a sok „úszó” test elkerülése céljából, mert hogy a magmás anyag valahonnan a mélyből érkezik, így az oldalhatások kivételével minden vulkáni képződménynek van feláramlási útvonala (gyökere, magmacsatornája vagy magmakamrája).

Ha a kapott frekvenciaszűrt, normált gravitációs adatokat megterheljük a mélyfúrás-geofizikai adatokból ismert mélységi sűrűség-trenddel, akkor a valós sűrűségeloszlásnak nagyságrendileg megfelelő relatív sűrűségértékeket kapunk négy különböző mélységszintre. Ez viszont már egy háromdimenziós interpoláció alap-adatrendszerre le-

3. táblázat | Spektrális mélységek, mélységtartományok és azok robosztus értelmezése a Nyírség gravitációs és mágneses adatai alapján

Table 3 | Spectral depths, depth ranges and their robust interpretation based on gravity and magnetic data of Nyírség

Geofizikai adat	Spektrális mélység (m)	Mélységköz, „ugrás” (m)	Mélységtartomány (m)	Egyszerűsített értelmezés
Szűrt Bouguer-anomália	200	NA	<500	fiatal laza fedő (zaj)
	1300	1100	500–2400	idős, tömörödött fedő
	4500	3200	2400–7000	medencealjzat
	16000	11500	7000<	Conrad-szint (?)
Szűrt légi mágneses	430	NA	<800	felszíni bázisos vulkanitok
	1360	930	800–2600	sekély eltemetett bázisos vulkanitok
	4500	3140	2600–6000	bázisos magmatitok (intrúziók)
Szűrt földi mágneses	9000	4500	6000<	magmás, metamorf aljzat
	1000	NA	<1450	felszínközeli bázisos vulkanitok
	2000	1000	1450–3100	mélybeli bázisos vulkanitok
	11200	9200	3100–15500	magmatitok (intrúziók)
	27700	17500	15500<	Moho-szint (?)



7. ábra | A sűrűségkontraszt (a trend görbétől jobbra) és a térfogat (a trend görbétől balra) változása a különböző mélységtartományok esetén
 Figure 7 | Changes in density contrast (right from the trend curve) and volume (left from the trend curve) for different depth ranges

het, amelyet az ismert felszíni sűrűséggel kipótolva esetleg öt, nélküle négy mélységszintre relatív sűrűség paramétert eredményez a térben, amiből egy robusztus sűrűség-térrácsot (voxelt) tudunk készíteni. A térrácsot először csak az adatrendszernek megfelelő ráctávolsággal érdemes kiszámítani az adathiányos térrészek elkerülése miatt,

de ezután rácsból rácsba történő interpoláció segítségével tovább sűrűsíthetjük a mintázást, és tetszőleges sűrűség-szintek adatait tudjuk leválogatni (8. ábra). Az ábrán a relatív sűrűségeloszlás háromdimenziós tömbje látszik. Ezt szeletelhetjük a fő tengelyek (x, y, z) irányában vagy a sűrűségparaméter (σ) értékei alapján. A 8. ábra a voxelt úgy

4. táblázat | Változó paraméterek (sűrűség, mélység, térfogat) hatása a tömegvonzásra az általános tömörödési trend alapján a szűrt gravitációs térképek esetén kétféle térfogati megközelítés mellett
 Table 4 | Effects of varying parameters (density, depth, volume) on mass traction based on the general compression trend for filtered gravity maps with two different volume approaches

Szűrt gravitáció spektrális mélység (m)	Mélységköz (m)	Középmélység (m)	Sűrűségparaméter [kontraszt] (kg/m^3)	Térfogat_v1 [mélységköz köbe - kocka] ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	Térfogat_v2 [mélységköz sugarú félgömb] ($\times 10^6 \text{ m}^3$)
200	500	250	225	125	523
1300	1900	1450	450	6859	12763
4500	4600	4700	200	103823	407513
16000	9000	11500	225	729000	6367397

mutatja, hogy mind az x , mind az y irányban levágtunk vékony részeket, hogy a térrácsból kapott sűrűségi izofelületek előbújjanak, láthatóvá váljanak.

A relatív sűrűség térrácsának különböző értékei mentén leválogatott felületek (szintek) érdekes morfológiát, földtanilag értelmezhető szinteket mutatnak.

Különböző relatív sűrűségértékek szerint megjelenítve, nem kívánt részeket elhagyva érdekes képet kapunk (9. ábra), hiszen a különböző alapszintek elhagyásával kürtő- vagy kalderaszerű felületeket tudunk azonosítani a háromdimenziós térben – relatív sűrűségminimumokat a nagy sűrűségű kristályos kőzetek közegében (9. ábra).

A vulkánmorfológia ezeknél a relatív sűrűségértékeknel jelenik meg a leglátványosabban:

- $3,06 \text{ g/cm}^3$ → Nagyecsed kaldera (Necs-1 fúrás, 3 km vastagságú vulkanit),
- $3,12 \text{ g/cm}^3$ → Telkibánya-Gönc kaldera,
- $3,19 \text{ g/cm}^3$ → Nyíregyháza-D kaldera,
- $3,38 \text{ g/cm}^3$ → Szerencsi kaldera (a parazitakúpok mágneses gyűrűt is alkotnak).

A vulkánmorfológia először szűk, kürtőszerű, majd a kisebb sűrűségek irányában kibővül, esetenként szerkezetek mentén hasadékszerűen irányítottan kinyílik. A közzettani jelleg és a mélység határozza meg, hogy mely sűrűségérték mellett rajzolódnak ki a kürtők és a kaldera szerkezetek. Ezek a szerkezetek nagy mélységben vannak, így csak a nagyecsed kaldera azonosítható egyértelműen, mivel a Necs-1 mélyfúrás 3 km vastag vulkáni összletet fúrt a relatív sűrűségminimumon belül. A többi esetben nincs lehetőségünk a földtani azonosításra, bár a

szerencsi kalderaszerkezetet már a 2000 években kimutattuk a kaldera peremei mentén megjelenő, felszínen is azonosított parazitakúpoknak mágneses térgradiens- és szűrt gravitációsanomália-térkép alapján (Zelenka et al. 2007).

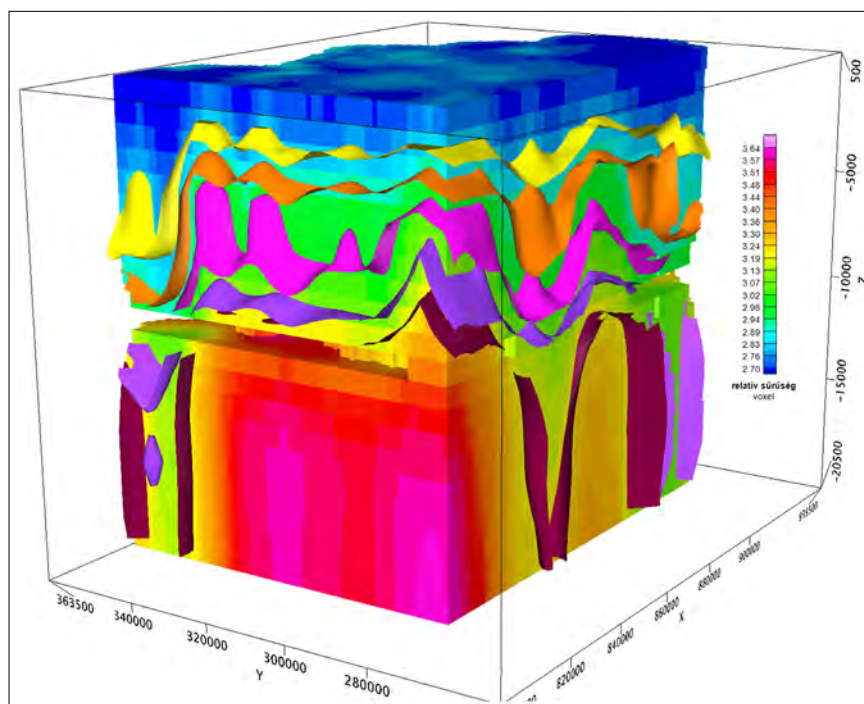
A mágneses adatokból képzett relatív mágnesezettségi térrács is változatos. Mágneses adatokból kétféle is rendelkezésre állt, a ritkább földi mérések (1500 m-es háló) és a sűrűbb, de területileg hiányos légi mágneses mérési adatok.

A földi ritkább adatok alapján a nagyobb bázisos, intermedier magmás kőzetek tömszös előfordulásait (intrúziók, batolitok, szubvulkánok) lehet azonosítani, míg a sűrűbb légi mágneses mérési adatok alapján a kisebb testek (lávatakarók, lávafoszványok, hasadékvulkánok, lakkolitok, neckek, sillek, dike-ok) azonosíthatók (Kiss 2022, Kiss et al. 2023).

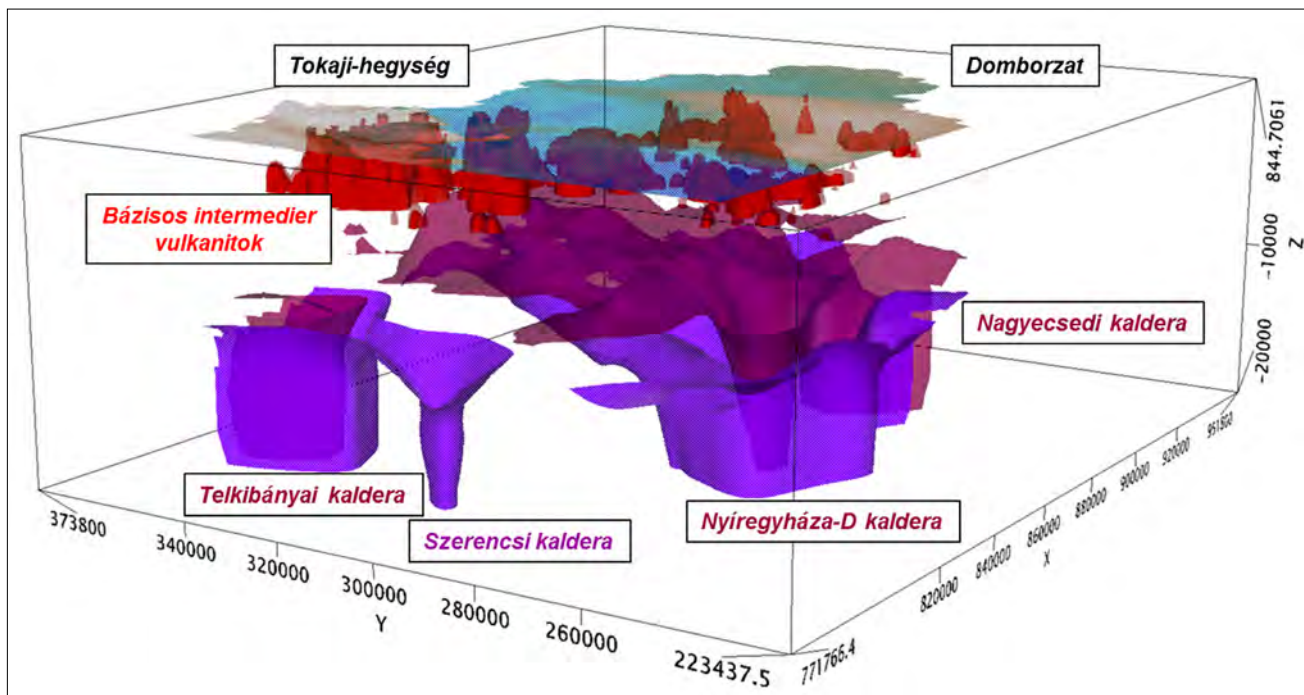
A Nyírség területén valami hasonlót szerettek volna elérni a különböző magasságokban elvégzett légi mágneses mérésekkel a 60-as években (Komáromy, Hoffer 1967, Hoffer et al. 1970). A mágneses voxel alapján meg kell állapítani, hogy módszertani szempontból ez az elképzelés teljesen megalapozott volt, csak a vulkáni összlet túl nagy (~1500 m vagy nagyobb) mélységben található, így a kiválasztott repülési magasságok mellett nem lehetett a mélységi bontást elvégezni.

A földi mérésekből kapott robusztus mágnesezettségi maximumok, amelyek egyértelműen kapcsolódnak a felszínről ismert, vagy más mérési adatokból feltételezett vulkán szerkezetekhez a következők:

- Tokaji-hegység: Regéc–Erdőbénye kitorési központ,
- Tokaji-hegység: Telkibánya kitorési központ,



8. ábra | Az x és y irányban részben megvágott relatív sűrűség-térrács (voxel) és benne néhány kiemelt sűrűség-szint megjelenítése
Figure 8 | The relative density voxel, partially truncated in the x and y directions, and some highlighted density levels in it



9. ábra | Leválogatott relatív sűrűség-határfelületek (azonos bordó és lila színű elnevezéssel), valamint egy mágneses határfelület (pirossal)
 Figure 9 | Selected relative density boundary surfaces (labelled in the same burgundy and purple colours) and a magnetic boundary surface (in red)

- Kisvárda eltemetett kitörési központ,
- Nyíregyháza-D kitörési központ,
- Nagyecsed kitörési központ,
- Bodrogek hasadékvulkán.

A légi mágneses adatok az üledékes összletek szintjén megjelenő bázisos vulkanitokat is mutatják, de ezek elhelyezkedése kaotikus, aminek értelmezéséhez nincsen elég (földtani) információnk és a geofizikai adatok alapján nehéz a határértéket beállítani a vulkáni és a nem vulkáni képződmények között.

A háromdimenziós képek vulkanológiai szempontból nagyon érdekes dolgokat mutatnak (Kiss 2022b), de a kiértékeléseinket tesztelni kell más adatokkal is. Ennek egy része az újabb szeizmikus és magnetotellurikus szelvények mentén végzett feldolgozásokkal már megtörtént (Kiss et al. 2023), de nem minden esetben.

Összefoglalás

Jelen tanulmányban az erőtér-geofizikai adatok spektrális szűrésének felhasználhatóságát vizsgáltuk az amplitúdófaktor és a hullámhosszfaktor alapján. A fizikai paraméterek hatása megjelenik mindkét faktorban, de nem egyformán, ezt viszont fel tudjuk használni mélységfüggő relatív paraméterek definiálására (relatív sűrűség és relatív mágneszettség). Ezek nem valódi fizikai paraméterek lesznek, ahogy a nevük is mutatja, de szoros összefüggést mutatnak azokkal. Jelzik azokat a helyeket, ahol azonos szintben eltérő módon viselkednek ezek a paraméterek, azaz a

relatív eltéréseket mutatják meg nekünk az adott mélységekben.

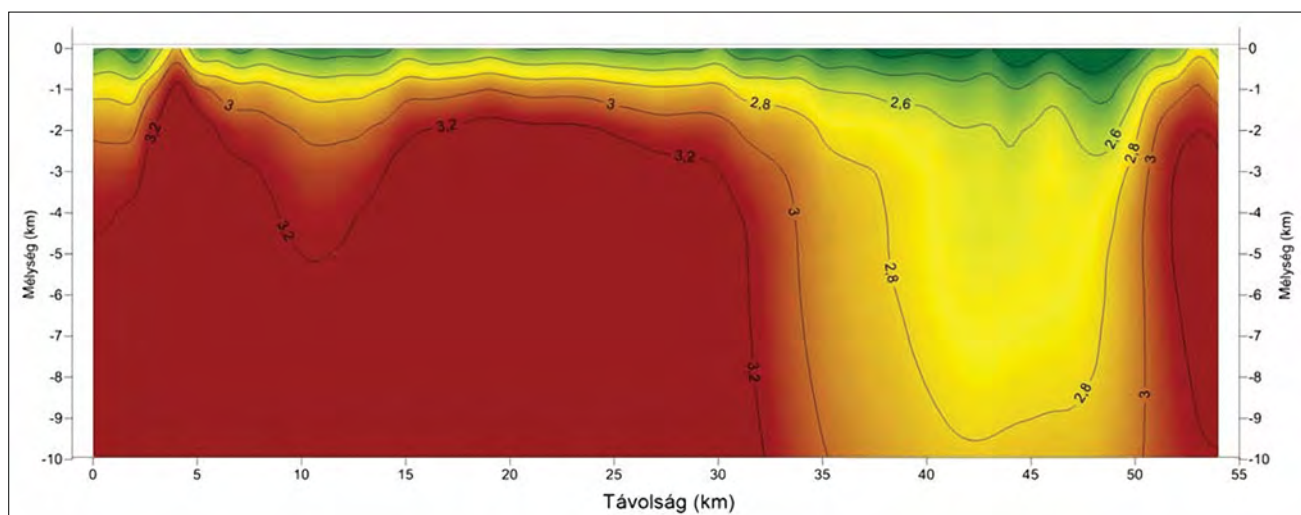
Az ekvivalens hatók fogalmát Dampney (1969) vezette be a geofizikai adatfeldolgozásoknál. A mágneses adatok spektrális vizsgálatát és eredményeinek felhasználását mélységbecslésre először Spector és Grant (1970) alkalmazta lemezszerű modellre. A módszer az idők folyamán sokat finomodott, és Cordell (1985), majd Phillips (2001), a USGS kutatói az eljárást továbbfejlesztették (ekvivalens hatók és spektrálanalízis összedolgozása), a feldolgozást kiterjesztették a gravitációs és a mágneses hatókra is, paraméterezéssel elkülönítették a különböző geometriájú (ekvivalens réteg és féltér) modelleket is.

A nemzetközi szakirodalomban nem találni nyomát az eljárás további fejlesztésének, pedig a folytatás lehetősége – a gyakorlati alkalmazás – ott rejtett a fenti eljárásokban.

A továbblépés 2018-ban lett kidolgozva (Kiss et al. 2018), és később lettek publikálva az első ilyen alkalmazások (Kiss et al. 2019, Kiss, Vértesy 2020, Kiss 2020) a relatív sűrűségi és relatív mágneszettségi mélységmetaszetek elkészítésével (10. ábra), majd ezzel szinte egyidőben a Nyírség területére készített háromdimenziós relatív sűrűség-térácsot és relatív mágneszettségi térácsot Kiss szerzőtársaival (Kiss et al. 2019), amelyekből vulkán szerkezeti elemeket határoztak meg (8., 9. ábra).

Az eljárást 2022-ben az MFT és MGE közös vándorgyűlésén mutattunk be részletesebben, és ebben a tanulmányban az előadás anyagát ismertettük. Az eljárás röviden a következő:

1. A szűrt anomália-térképek szélsőértékeinek különbözősége miatt nehéz a hatásokat rangsorolni, a térképeket együttesen kezelni, értelmezni, ennek feloldására



10. ábra | Az első publikált relatív sűrűség-mélységmetszet (részletesen lásd: Kiss, Vértesy 2020)
Figure 10 | The first published relative density depth section (for details see Kiss and Vértesy 2020)

a „min–max normalizálási” technikát alkalmaztuk – a térképek értéktartományát 0–1 értékek közé konvertáltuk.

2. Az alapképletek, alap összefüggések paramétervizsgálata rámutatott, hogy a szűrt térképek eltérő extrémumaiért elsősorban az eltérő közettérfovatok a felelősek. A min–max normalizálás az eltérő térfogatok hatását korrigálja, s ezzel a kőzetek sűrűségéből származó hatást felerősíti.
3. A normált értékek adott spektrális mélységre vonatkoznak, így a mélységadatok hozzárendelésével (valamint a mélységtartományok meghatározásával) előállt egy háromdimenziós adatrendszer.
4. Az üledékek esetében ismert a tömörödésből (Athy 1930) származó sűrűség–mélység trend (Gardner et al. 1984, Sobolev, Babeyko 1994, Christensen, Mooney 1995, Szabó 1993, Szabó, Páncsics 1999, Mészáros, Zilahi-Sebess 2001). A litoszférakutatási eredmények alapján ez az összefüggés kibővíthető, azaz kéregszintű sűrűség–mélység trend határozható meg (pl. Kiss 2005, 2021a).
5. A szűrt térképek normált értékéhez hozzá tudunk rendelni a tömörödési trendből származó értékeket, és a kettő együtt a köztetsűrűségnek nagyságrendileg megfelelő relatív sűrűséget eredményez. A hozzárendelésnél érdemes figyelembe venni a kristályos medencealjzat mélységét mint referenciaszintet (ott törik meg a sűrűség–mélység görbe). Ahol a normált térkép (szelvény) értéke nulla, ott a tömörödési trendből származó érték jelenik meg, ahol nem nulla, ott a tömörödési trendhez képest növekmény jelenik meg, azaz a normált érték és a tömörödési érték összeadódik.
6. A mágneses adatoknál hasonló az eljárás, mint a gravitációnál, csak itt a szűrt értékek helyett, az abból képzett (mágnesezettségi iránytól független) változékonysági paramétereket kell használni a normalizáláskor. A mágnesezettség esetében nincs igazi mélység-

trend, mert a mágneses tulajdonságok szélsőségesen változnak, de a gyakorlati tapasztalatok azt mutatják, hogy alkalmazása itt is hasznos lehet.

A feldolgozási eljárást a Nyírség vulkanológiai (Kiss 2022b) és a Budapest geotermikus kutatásában is eredményesen alkalmaztuk (Falus et al. 2024).

A tanulmány szerzője

Kiss János

Jegyzetek

- ¹⁾ A vektortérből adódó pozitív-negatív anomáliákat egyszerűsíteni kellett.
- ²⁾ Maximum érték – a magnetit mágnesezettsége 250 SI szuszceptibilitás és $T_0 = 47\,500$ nT térerő esetén.
- ³⁾ A szakirodalomban „min–max normalizálási technikának” hívják az eljárást $[X_n = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})]$.

Hivatkozások

- Athy L. F. (1930): Compaction and oil migration. American Association of Petroleum Geologist Bulletin, 14, 25–35.
- Christensen N. I., Mooney W. D. (1995): Seismic velocity and composition of the continental crust: A global view. J. Geophys. Res., 100/B7, 9761–9788.
- Falus Gy., Maros Gy., Berecki Z., Kun É. (2024): Budapest Geotermikus Kutatási Program. A budapesti termálkarszt fenntartható hasznosítását megalapozó, döntéstámogatói célú földtani, geofizikai és vízföldtani kutatás eredményei. Kézirat – SZTFH belső jelentés, p. 59. SZTFH-MÁFGBA Adattár.
- Gardner G. H. F., Gardner L. W., Gregory A. R. (1984): Formation velocity and density – The diagnostic basics for stratigraphic traps. Geophysics, 39, 770–780.
- Hoffer E., Komáromy I., Schönviszky L. (1970): Előzetes jelentés a Nyírségben 1967–68-ban végzett légi mágneses mérésekről. Kézirat – ELGI belső jelentés, p. 38. SZTFH-MÁFGBA Adattár

- Kiss J. (2005): A CELEBRATION-7 szelvény komplex geofizikai vizsgálata, és a „sebességanomália” fogalma. *Magyar Geofizika*, 46/1, 25–34.
- Kiss J. (2020): Mágneses spektrális szűrések utáni adatfeldolgozás és -értelmezés. *Magyar Geofizika* 61/2, 75–89.
- Kiss J. (2021a): A szeizmikus litoszféra kutató szelvények felhasználása a nyírségi kutatásokban. *Magyar Geofizika*, 62/2, 105–123.
- Kiss J. (2021b): Eltemetett vulkáni kitörési központ(ok) nyomában ÉK-Magyarországon. *Magyar Geofizika*, 62/3, 150–169.
- Kiss J. (2022a): Relatív térbeli fizikai paramétereloszlások a Tokaji-hegységben és a Nyírségben. Eltemetett vulkánmorfológiai elemek kimutatása gravitációs és mágneses mérési adatok alapján. Szóbeli előadás – Földtani és Geofizikai Vándorgyűlés 2022. október 14–16., Budapest
- Kiss J. (2022b): Relatív térbeli fizikai paramétereloszlások a Nyírség és a Tokaji-hegység területén. Eltemetett vulkánmorfológiai elemek kimutatása gravitációs és mágneses mérési adatok alapján. *Magyar Geofizika*, 63/1, 1–17.
- Kiss J., Cserkész-Nagy Á., Lőrincz K., Rádi K. (2023): A Nyírség mélyföldtani értelmezése lokális vulkán morfológia a geofizikai mérések alapján. *Magyar Geofizika*, 64/3, 131–155.
- Kiss J., Vértesy L. (2020): A potenciáltér-anomáliák paraméterfüggősége és spektrális mélységmetszetek. *Magyar Geofizika*, 61/1, 8–18.
- Kiss J., Vértesy L., Rádi K., Takács E., Detzky G., Füsi B., Gulyás Á., Paszera Gy., Deák Zs. V., Bauer M. (2018): Mélyföldtani kutatások geofizikai módszerekkel – MBFSZ belső jelentés. Kézirat, p. 89. SZTFH–MÁFGBA Adattár
- Kiss J., Vértesy L., Zilahi-Sebess L., Takács E., Gulyás Á. (2019): A Nyírség geofizikai kutatása. *Magyar Geofizika*, 60/3, 103–130.
- Komáromy I., Hoffer E. (1967): Jelentés az Alföld északkeleti részén 1966-ban végzett többszintű légi mágneses mérésekről. ELGI belső jelentés. Kézirat, p. 64. SZTFH–MÁFGBA Adattár
- Mészáros F., Zilahi-Sebess L. (2001): Compaction of the sediments with great thickness in the Pannonian Basin. *Geophysical Transactions*, 44/1, 21–48.
- Sobolev S., Babeyko A. Y. (1994): Modelling of mineralogical compositions, density and elastic wave velocities in anhydrous magmatic rocks. *Surveys in Geophysics*, 15, 515–544.
- Szabó Z. (1993): Magyarország üledékhatással javított gravitációs térképe. Kézirat, ELGI belső jelentés, Kézirat, p. 14. SZTFH–MÁFGBA Adattár
- Szabó Z., Páncsics Z. (1999): Rock densities in the Pannonian Basin, Hungary. *Geophysical Transactions*, 42/1–2, 5–28.
- Zelenka T., Gyarmati P., Horváth I., Kiss J., Vértesy L., Mártonné Szalay E., Pécskay Z. (2007): Tokaji-hegység paleovulkáni újraértékelése. AGB előadás, OTKA beszámoló.