

Nem egyenközű hálózat szerint mintavételezett mágneses anomália pólusra redukálása inverziós Fourier-transzformációval

VASS P.[@], NUAMAH D. O. B.

Miskolci Egyetem, Geofizikai Intézeti Tanszék, 3515 Miskolc-Egyetemváros

[@]E-mail: gfvassp@uni-miskolc.hu

A dipólus jellegű, lokális mágneses anomáliák térképi adatrendszereinek pólusra redukálása hatékonyan segít a felszín alatti hatók elhelyezkedésének megállapításában és a lehatárolásban. A feldolgozás műveletének szokásos végrehajtása frekvenciartománybeli szűrés formájában történik, ami igényli az adatok kétdimenziós Fourier-transzformációját a térfrekvencia-spektrum előállításához. A végeredmény minőségét nagymértékben befolyásolja a számított spektrum minősége. A hagyományosnak tekinthető kétdimenziós diszkrét Fourier-transzformáció (2D DFT), valamint a gyors Fourier-transzformáció (2D FFT) nagyon érzékeny a mérési hibákra kívül a mérési hálózat pontjainak elhelyezkedésére és a területi adatsűrűsége is. Jelentősen javíthatjuk a számított spektrum minőségét az ún. inverziós Fourier-transzformáció (IFT) kétdimenziós változatának alkalmazásával. A cikk keretein belül igyekszünk bemutatni, hogy milyen előnyökkel járhat ennek a módszernek a felhasználása. Különböző területi adatsűrűségű, egyenközű és nem egyenközű hálózatok szerint mintavételezett adatrendszereket készítettünk a Vatta-Maklári-árok délkeleti peremén található mezőkövesdi küszöb mágneses anomália-térképe alapján. A 2D DFT algoritmust csak az egyenközű hálózatok esetében tudtuk alkalmazni, és az eredmények minősége tekintetében egyáltalán nem lehetünk elégedettek. Az inverziós feladatmegoldáson alapuló 2D HLSQFT algoritmus azonban mind az egyenközű, mind a szabálytalan hálózatok adatrendszerei esetében jól teljesített, és a területi adatsűrűség csökkenése sem okozott jelentős minőségbeli romlást.

Vass, P., Nuamah, D. O. B.: Reduction of a non-uniformly sampled magnetic anomaly to the magnetic pole by means of Inversion Fourier Transform

The reduction of magnetic map datasets representing local anomalies of dipolar nature to the magnetic north pole effectively assists the localization and delimitation of subsurface causative bodies. The procedure is usually executed in the form of frequency domain filtering, so it requires the two-dimensional Fourier transform of input data to produce the spatial frequency spectrum. The quality of final results is highly affected by the quality of computed spatial frequency spectra. The traditionally used two-dimensional Discrete Fourier Transform (2D DFT) and its fast variant, the two-dimensional Fast Fourier Transform (2D FFT) are very sensitive to not only the errors in measurement but also the areal distribution of measuring stations and the areal density of data. However, the quality of computed spectra can significantly be improved by means of the two-dimensional variant of Inversion Fourier Transform. The authors try to present in the paper how advantageous may be the application of this method. Uniformly and non-uniformly sampled data sets with different areal densities of data were generated from a magnetic anomaly map indicating the effect of Mezőkövesd threshold located in the south-east margin of Vatta-Maklár trough. The 2D DFT algorithm could only be applied to the uniformly sampled data sets, and the quality of results are not satisfying at all. On the contrary, the 2D HLSQFT algorithm based on inverse problem solution worked well for both uniformly and non-uniformly sampled data sets. Furthermore, the decrease in areal density of data did not even cause significant quality loss.

Beérkezett: 2018. november 13.; *elfogadva:* 2020. augusztus 26.

Bevezetés

Az időben és/vagy térben változó jelenségek vizsgálatára igen hasznos eszköznek bizonyult a Fourier-analízis, melynek segítségével a mért jelet frekvencia-, ill. térfrekvenciatartománybeli (azaz spektrális) viselkedése alapján is megvizsgálhatjuk. A mérési adatok mindig hibával terheltek, így a feldolgozás, ill. értelmezés módszereit abból a szempontból is vizsgálnunk kell, hogy azok milyen mértékben zajérzékenyek. A Fourier-transzformáció és annak diszkkrét változatai (pl. DFT, FFT) a bemeneti jel tartományában jelentkező hibákat is leképezik a frekvenciatartományba, emiatt zajérzékeny eljárásoknak tekinthetők. A mérési adatsorokat terhelő véletlen zaj ellen hatásosan védekezhünk a mérési adatok számának növelésével és a geofizikai inverzió túlhatározott feladatok megoldására szolgáló eljárásainak bevonásával az adatfeldolgozási folyamatba. Ennek ismeretében adódott Dobróka Mihálynak, a Miskolci Egyetem Geofizikai és Térinformatikai Intézete korábbi intézetigazgató egyetemi tanárának az a gondolata, hogy a Fourier-transzformáció esetére az inverzió eszköztárának felhasználásával találunk megoldást, ezáltal csökkentve annak zajérzékenységét.

Ennek első eredményeként sikerült a Fourier-transzformációt túlhatározott lineáris inverz feladat megoldására visszavezetni egydimenziós esetben (Dobróka, Vass 2006). Az eljárás lényege, hogy a frekvenciaspektrumot alkalmasan megválasztott függvényrendszer szerinti sorfejtéssel közelítve, a véges tagból álló sor tagjai sorfejtési együtthatóinak mint ismeretlen paramétereknek a meghatározása révén juthatunk el a kívánt célhoz. A programok formájában is kifejlesztett algoritmusok a legkisebb négyzetek (LSQ) és az iteratív újrásúlyozás (IRLS) módszereit használták fel az inverz feladat megoldásához. Az utóbbi változat rezisztenciája a kiugró zajokkal szemben már az első tesztek során megmutatkozott. Az értelmezési tartománya miatt kedvezőnek mutató Hermite-függvények rendszere alkalmazásával kapcsolatban akkor még gondot jelentett a tagfüggvények inverz Fourier-transzformáltjainak számítása, amelyet numerikus integrálással hajtottunk végre. Később ennek a problémának a hatékonyabb megoldására találtunk analitikus formulát, amellyel azonban még nem közvetlenül lehetett számítani a kívánt integrálok értékeit. Az Hermite-polinomokat alkotó hatványfüggvények és a függvényrendszer súlyfüggvénye szorzatainak inverz Fourier-transzformáltjait tudtuk számítani közvetlenül, és rekurziós algoritmussal képeztük ezekből a tagfüggvényekre vonatkozó integrálok értékeit. Ennek az eljárásnak az alkalmazása azonban már jelentősen javított a gyorsaságon és az eredmények minőségén (Vass, Dobróka 2009a, 2009b). Az addig elért eredmények összegzéséből készült doktori értekezés (Vass 2010) részletesen ismerteti az Hermite-függvénysor alkalmazásán alapuló módszereket (HLSQFT, HIRLSFT Cauchy-súlyozással), valamint az intervallumonként konstans függvényekre és a Dirac-féle delta-függvények sorozatára épülő inverziós Fourier-transzformációs algoritmusokat is.

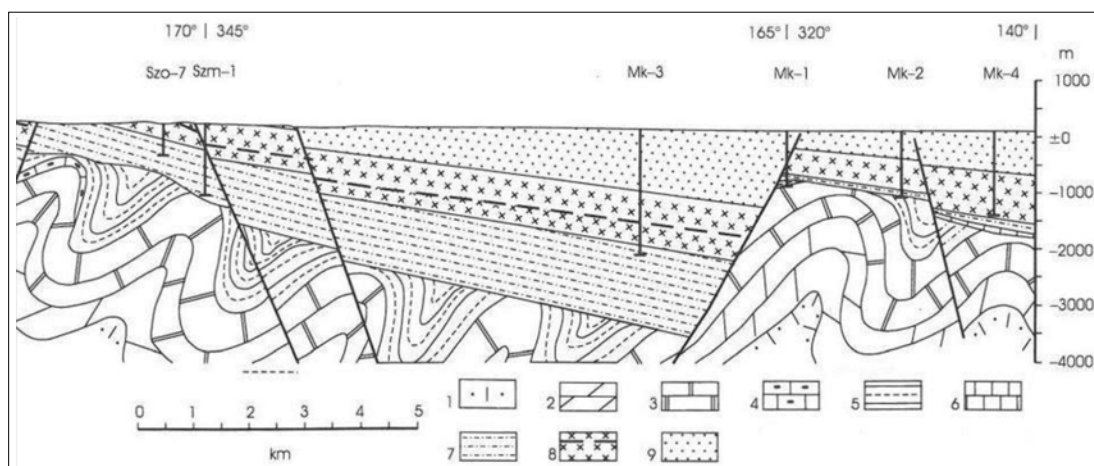
Vizsgálatok tárgyát képezte a későbbiekben a HLSQFT algoritmuson alapuló módszer (Vass 2012) és a HIRLSFT algoritmus továbbfejlesztéseként kidolgozott ún. Steiner-súlyokat alkalmazó változat zajcsökkentő képessége (Szegedi, Dobróka 2012, 2014a). A számítási pontosság és gyorsaság szempontjából újabb és jelentős javulást hozott a skálázott Hermite-függvények inverz Fourier-transzformáltjainak közvetlen számítására szolgáló analitikus formulák matematikai levezetése. Ennek kulcsa az Hermite-függvények speciális tulajdonságában rejlik, ugyanis ezek a függvények az inverz Fourier-transzformáció sajátfüggvényei (Dobróka et al. 2012).

Az alkalmazási lehetőségek irányába mutató fejlesztés új lendületet kapott. Kiemelhető a Hilbert-transzformált előállítás (Szegedi, Dobróka 2014b), valamint az inverziós alapú kétdimenziós Fourier-transzformáció kifejlesztése (Szegedi 2015). Ennek két változatát vezették be a skálázott Hermite-függvényrendszer kétdimenziós kiterjesztésén alapulva. Az inverz feladat megoldásában az LSQ és az IRLS módszereket használó változatok rövidítései: 2D HLSQFT és 2D HIRLSFT. Az utóbbinak az újrásúlyozáshoz alkalmazott különböző súlyszámítási megoldások szerint további változatai léteznek (pl. Cauchy-súlyozás, Steiner-súlyozás). Sikeresen alkalmazták a Steiner-súlyokkal működő 2D HIRLSFT algoritmust mesterségesen felvett mágneses hatóra számított mágneses anomália-pólusra redukálásában, először egyenközzel mintavételezett adatrendszerek esetében (Dobróka et al. 2017). Ezt követően a nem egyenközzel mintavételezett adatrendszerekhez végzett vizsgálatok is sikeres eredményeket hoztak zajmentes és zajos viszonyok modellezése mellett egyaránt (Nuamah, Dobróka 2018, 2019).

Az inverziós Fourier-transzformáció továbbfejlesztésének és alkalmazásának legújabb tudományos eredményei, a Legendre-polinomok rendszerén alapuló sorfejtés bevezetése egydimenziós és kétdimenziós esetekben (LLSQFT, LIRLSFT, 2D LLSQFT, 2D LIRLSFT), az Hermite-függvények rendszerén alapuló régebbi változat (HLSQFT) skálaparaméterének optimalizálására szolgáló algoritmus kidolgozása, valamint további sikeres vizsgálatok a HLSQFT és a HIRLSFT egy- és kétdimenziós változataival (Nuamah 2020). Utóbbiak közül talán jelentőségükben kiemelkednek a valódi mágneses anomália-térképből származó adatrendszereken végzett pólusra redukálási tesztek. Ennek eredményeit a továbbiakban mutatjuk be.

Mágneses anomália pólusra redukálása a 2D HLSQFT alkalmazásával

A vizsgálatok alapjául szolgáló mágneses anomália hazánk északkeleti részéhez, ezen belül is a Mezőkövesd környéki területhez kapcsolódik. A földtani szerkezet itt érdekesen alakul, ugyanis a Bükkalja délkeleti előterében húzódó Vatta-Maklári-árok délkeleti peremét a mezőkövesdi küszöb határolja. Az árokban az alaphegység felszíne 3000



1. ábra Földtani szelvény Szomolya és Mezőkövesd közötti szakasza (Pelikán et al. 2005 alapján). 1: alsó triász formációk, 2: Hámori Dolomit, 3: Bervai Mész, 4: Felsőtárkányi Mész, 5: jura-formációk, 6: Szépvölgyi Mész, 7: oligocén-formációk, 8: miocén tufák, 9: pannon-üledékek, Szo, Szm = Szomolya, Mk = Mezőkövesd

Figure 1 Geological cross-section between Szomolya and Mezőkövesd (based on Pelikán et al. 2005). 1: lower Triassic formations, 2: Hámor Dolomite, 3: Berva Limestone, 4: Felsőtárkány Limestone, 5: Jurassic formations, 6: Szépvölgy Limestone, 7: Oligocene formations, 8: Miocene tuffs, 9: Pannonian sediments, Szo, Szm = Szomolya, Mk = Mezőkövesd

méteres tengerszint alatti mélység alá süllyed, míg a küszöbnél már kiemelt helyzetben található a 800 méter körüli mélység szintjével. A küszöbön túl az Alföld irányába haladva már újra egyre mélyebb helyzetbe került a medencealjzat a vetők menti lesüllyedéseknek köszönhetően (Pelikán et al. 2005). Az alaphegységre települő paleogén-neogén rétegsor vastagságát alapvetően a medencealjzat mélység szintje határozza meg. Mindezt jól szemlélteti az

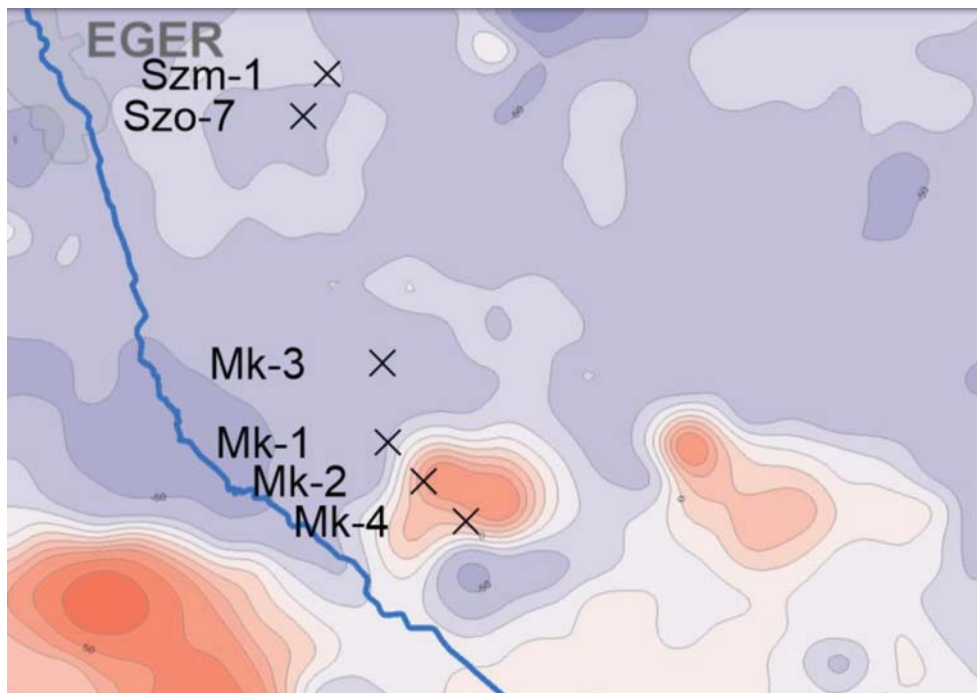
1. ábra geológiai szelvénye, melynek nyomvonala éppen az említett szerkezeti elemeken halad át.

A mezőkövesdi küszöb tömegtöbbletet jelent a környezetéhez képest, mivel az alaphegységnek e kiemelt részét alkotó kőzetformációk térfogatsűrűsége meghaladja azoknak a fiatalabb korú üledékes és vulkáni tufarétegeknek a térfogatsűrűségét, amelyek az oldalirányban mélyebb fekvésű medencealjzatra nagyobb vastagságban települtek.



2. ábra A Vatta-Maklári-árokhoz társuló lokális minimum, a mezőkövesdi küszöb hatását jelző lokális maximum, valamint az 1. ábra szelvényén is feltüntetett fúrások helyei a Szomolya és Mezőkövesd közötti terület Bouguer-anomália-térképén (Magyarország gravitációs Bouguer-anomália-térképének részlete alapján)

Figure 2 A local minimum associated with the Vatta-Maklár trough, a local maximum indicating the effect of Mezőkövesd threshold and the positions of boreholes marked in Fig. 1. on the Bouguer anomaly map of the area between Szomolya and Mezőkövesd (based on the portion of Bouguer Anomaly Map of Hungary)



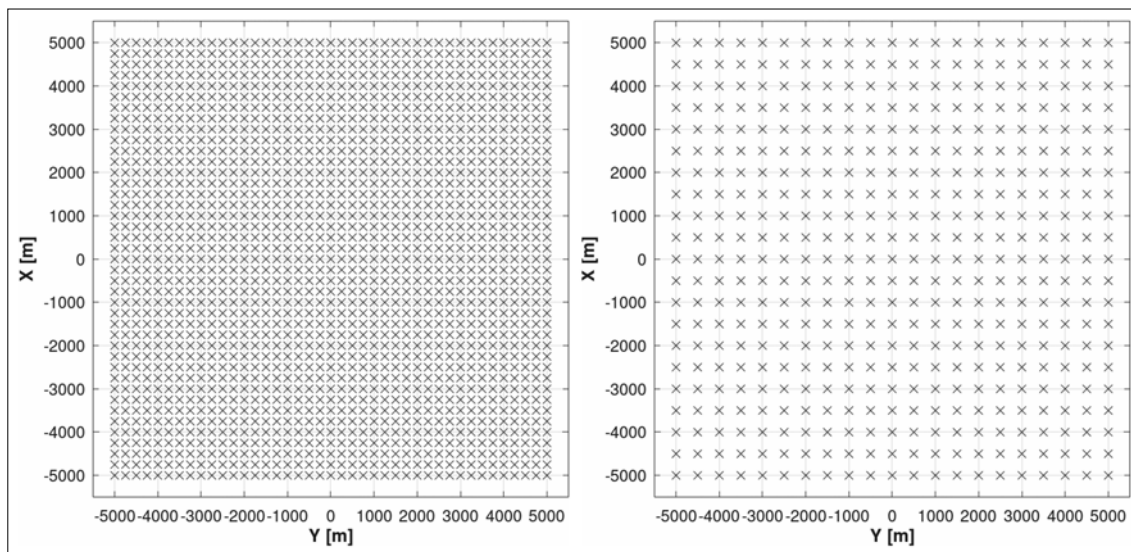
3. ábra A mezőkövesdi küszöbhez társuló, dipól jellegű lokális anomália, valamint az 1. ábra szelvényén is feltüntetett fúrások helyei a Szomolya és Mezőkövesd közötti terület mágneses ΔZ -anomália-térképén (Magyarország mágneses ΔZ -anomália-térképének részlete alapján)

Figure 3 A local dipolar anomaly associated with the Mezőkövesd threshold and the positions of boreholes marked in Fig. 1. on the magnetic ΔZ anomaly map of the area between Szomolya and Mezőkövesd (based on the portion of Magnetic ΔZ Anomaly Map of Hungary)

A Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat honlapján elérhető Magyarország gravitációs Bouguer-anomália-térképének részlete alapján készített 2. ábrán a tömegtöbblet hatása egyértelműen megmutatkozik egy pozitív anomáliája formájában.

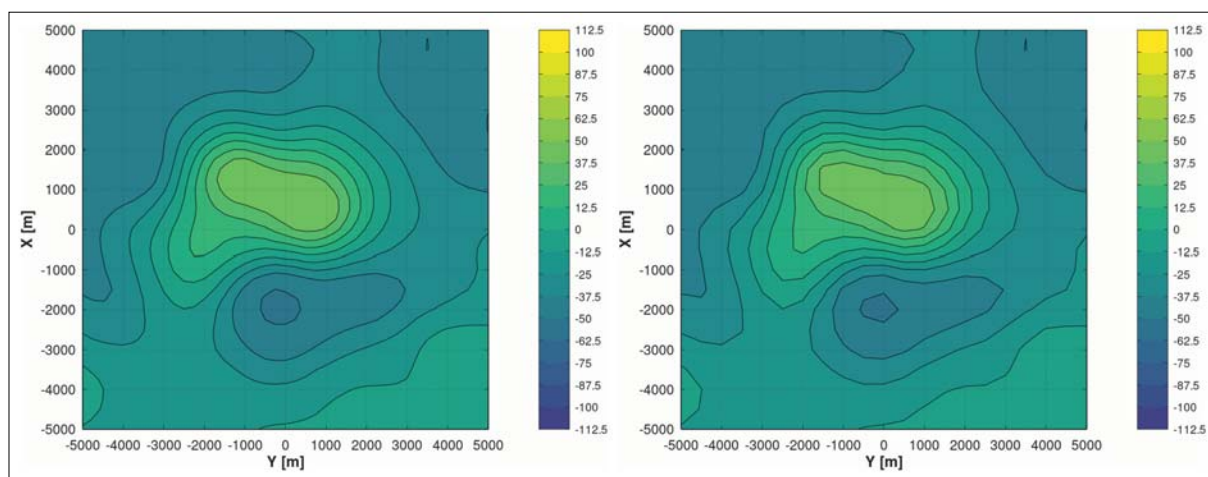
A szerkezetet ábrázoló geológiai szelvényen (1. ábra) látható, hogy jelentős vastagságú miocén tufa fedí az idő-

sebb képződményeket. A szerkezet közelében és a felett mélyített fúrások közül, az Mk-4 jelű fúrás rétegsoradatai álltak rendelkezésünkre. Eszerint sötétszürke, andezit-tufaként azonosított miocén korú kőzetet harántoltak a forgatóasztal szintjétől számított 440 és 1496 méter közötti mélységzakaszon, és elérték az oligocén korú üledékes réteget is. A forgatóasztal tengerszint feletti magassága



4. ábra A digitalizált mágneses anomália-térképből előállított adatrendszerek egyenközű hálózati pontjai a 250 m-es (balra) és az 500 m-es (jobbra) mintavételi közökkel

Figure 4 The equidistant grids of data points generated from the digitized magnetic ΔZ anomaly map with sampling intervals of 250 m (left) and 500 m (right)



5. ábra A helyi mágneses anomália egyenközű hálózatok alapján készült izovonalas térképei a 12,5 nT intervallumokra osztott szín-skálákkal (balra a 250 m-es, jobbra pedig az 500 m mintavételi közű változat)

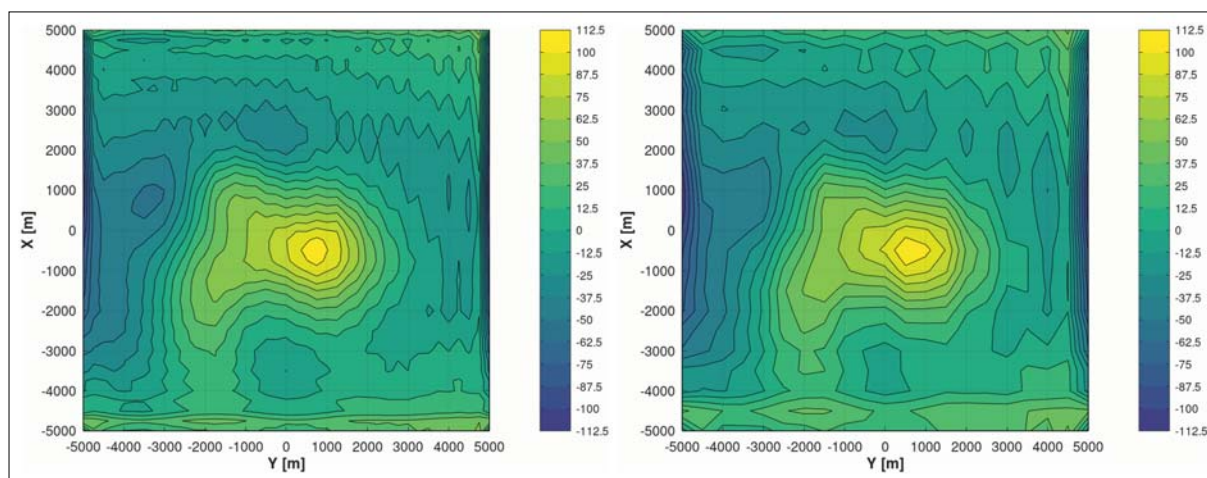
Figure 5 Contour maps of the local magnetic anomaly based on the equidistant grids with colour scales graduated in intervals of 12.5 nT (sampling intervals of 250 m on the left and 500 m on the right)

111,77 m volt. A bükkaljai piroklasztikumösszetet alkotó három, képződési korszakok szerint is elkülönülő formáció közül, valószínűleg a Tari Dácittufát írták le andezitufaként. A másik két riolittufa formációhoz képest ennek színe sötétebb, valamint nagyobb átlagos titán- és vastartalom jellemzi. (Pelikán et al. 2005). A piroklasztikus kőzetben jelenlévő ferromágneses ásványok (pl. ilmenit) miatt helyi mágneses anomália is társul a szerkezethez. A Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat honlapján elérhető Magyarország mágneses ΔZ -anomáliáit ábrázoló térképének részletéből készült 3. ábrán az anomália dipólus jellege jól látható.

A számítógépi adatfeldolgozásra is alkalmas mágneses adatrendszerek előállításának első lépésében a raszteres térképrészlet izodinamgörbéinek rendszerét digitalizáltuk az anomália elegendően nagy környezetében. Az így kapott adatok alapján az anomáliát lefedő 10×10 km nagy-

ságú, négyzet alakú területet egyenközű hálózatok szerint mintavételeztük a krigelés módszerének alkalmazásával. A 250 és 500 méteres mintavételi közök választásával egy finomabb és egy durvább területi felbontású adatrendszert állítottunk elő. Ezek vonatkozási pontjainak hálózátát, valamint a hozzájuk tartozó adatokból készített izovonalas anomália-térképeket a 4. és 5. ábra mutatja be.

Először a diszkrét Fourier-transzformáció kétdimenziós változatát (2D DFT) alkalmaztuk az anomália térfrekvencia-spektrumának előállításához. A számított térfrekvencia-spektrumot a pólusra redukálás átviteli függvényével (Kis 2009) szűrtük, majd kétdimenziós inverz diszkrét Fourier-transzformáció (2D IDFT) segítségével jutottunk el a pólusra redukált anomália-térképhez. Általános esetben a pólusra redukálás műveletének sikeres elvégzéséhez szükség van a ható indukált és remanens mágnesezettségéből származó mágneses terek inklinációinak és dekli-



6. ábra A pólusra redukált mágneses anomália izovonalas térképei a két egyenközű hálózatra vonatkozóan a 2D DFT felhasználása esetén (balra a 250 m-es, jobbra pedig az 500 m mintavételiközű változat)

Figure 6 Contour maps representing the reduction of magnetic anomaly to the magnetic pole executed on regular grids by using 2D DFT (sampling intervals of 250 m on the left and 500 m on the right)

nációinak ismeretére. Ezek a paraméterértékek sajnos nem álltak rendelkezésünkre. A probléma megoldása érdekében a remanens és indukált mágneses terekre ugyanazokat az inklináció- és deklinációértékeket alkalmaztuk. Meghatározásuk egy pontszerű mágneses dipól analitikus formulával számítható mágneses terével végzett kísérletezés segítségével történt. A deklináció és inklináció értékeit úgy választottuk meg, hogy a pontszerű mágneses dipólus mágneses anomáliájának orientációja a lehető legjobban egyezzen a valódi szerkezet mágneses anomáliájával. Ennek a kvalitatív technikának az alkalmazásával meghatározott inklináció értéke -47° -nak, a deklináció pedig -10° -nak adódott.

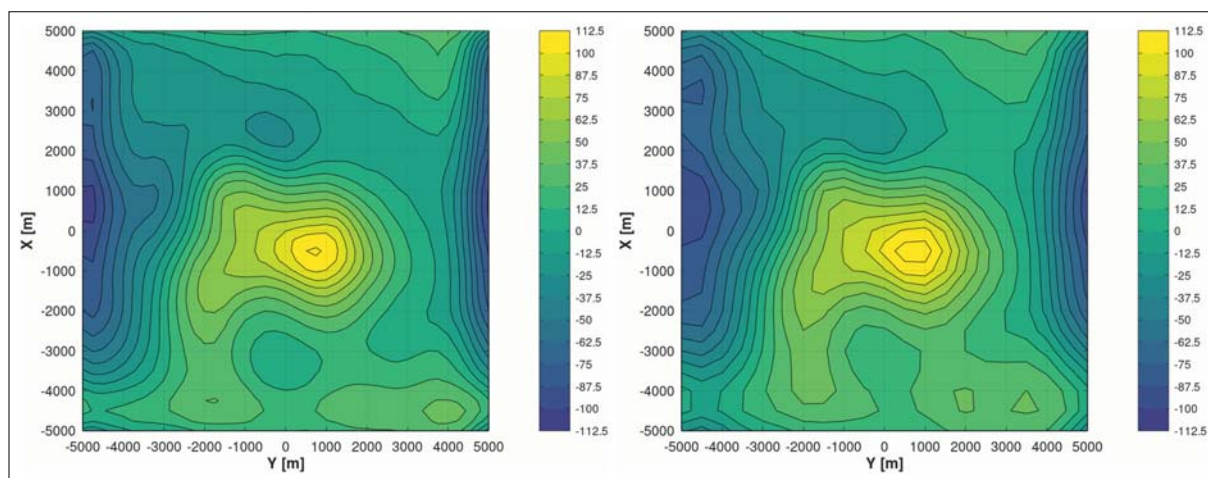
A pólusra redukálás eredményeit mutatja be a 6. ábra a két eltérő mintavételezéssel készült adatrendszer esetén. Az ábra kvalitatív elemzése alapján elmondható, hogy a fentiekben ismertetett eljárás sikeres volt – hiszen a kiindulási anomália mágneses dipól jellege helyett már monopól jellegű anomália-térképekhez jutottunk –, ám az eredmények minőségét tekintve nem lehetünk elégedettek. Az izovonalak sokszöges lefutása arra utal, hogy a hagyományosnak tekinthető 2D DFT algoritmus számítógépi alkalmazása járulékos hibával terheli meg a feldolgozási eljárást. Ez a kedvezőtlen hatás a nagyobb mintavételi közlél készült, azaz rosszabb felbontású adatrendszer esetén erőteljesebben jelentkezik.

Ezután azt vizsgáltuk meg, hogy ugyanazon bemenő adatrendszerek esetében hogyan változik az eredmény, ha a szűrési eljárás során a 2D HLSQFT algoritmus segítségével számítjuk ki a térfrekvencia-spektrumot. A spektrumot természetesen az előző vizsgálat során használt átviteli függvénnyel szűrtük meg, majd a 2D IDFT algoritmus alkalmazásával számítottuk a szűrt spektrumból a pólusra redukált térképi adatrendszert. Az eredményeket a 7. ábra mutatja be a két eltérő felbontású esetre. Az ábra gyors szemrevételezése és összehasonlítása az előzővel is elegendő ahhoz, hogy megállapítsuk 2D HLSQFT algoritmus

alkalmazásának köszönhető minőségi javulást. A spektrumszámítás eredményeképpen fellépő hiba (nevezhetjük zajnak is ezt az előnytelen jelösszetevőt) tehát jelentős mértékben csökkenthető az Hermite-függvények rendszere szerinti sorfejtés előnyét kihasználó speciális algoritmus alkalmazásával.

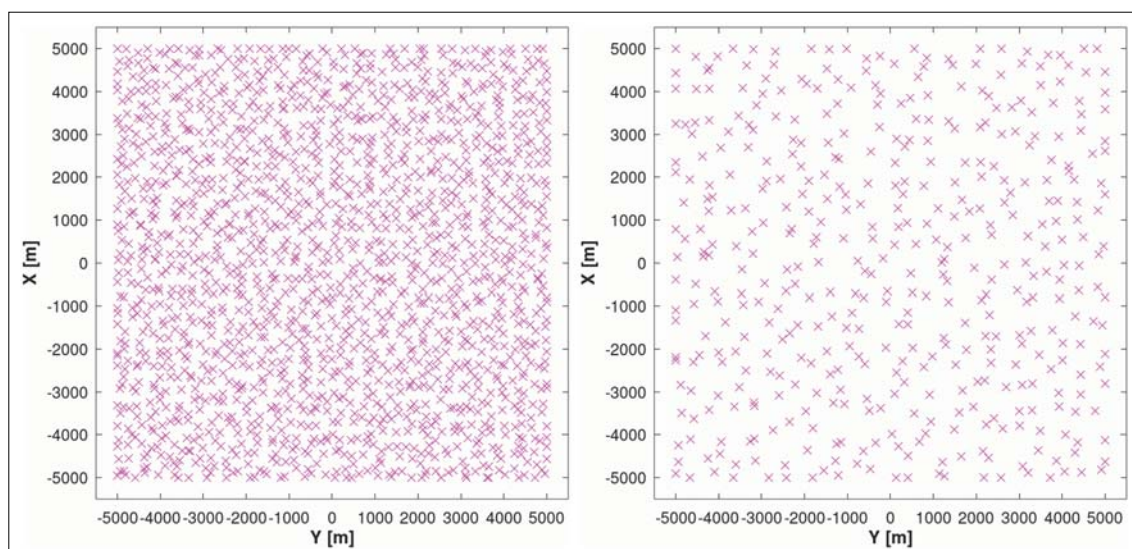
Még nagyobb előnye mutatkozik meg azonban ennek az algoritmusnak olyankor, amikor a bementi adatrendszer vonatkozási rendszerében értelmezett pontok nem egyenközű mintavétel szerint helyezkednek el. Ilyen esetben a 2D DFT algoritmus közvetlenül nem, csak egy kétdimenziós interpolációs művelet előzetes végrehajtása után alkalmazható, amelynek a segítségével egyenközűvé tesszük az adatrendszert. Az interpoláció azonban számítási hiba forrását is jelenti, amelyhez a 2D DFT hibája is hozzáadódik. Emiatt a 6. ábrán már bemutatott eredményekénél jobb minőségre semmiképpen sem számíthatunk. A DFT algoritmusnak létezik ugyan nem egyenközű mintavételezett adatsorokra alkalmazható változata, amelyet NUDFT (Non-uniform Discrete Fourier Transform) rövidítéssel is szoktak azonosítani, de ezzel még egydimenziós esetben is rosszabb eredményhez jutunk, mint az interpoláció után végrehajtott DFT alkalmazása esetében. Emiatt semmi okunk nem lehet annak feltételezésére, hogy az NUDFT algoritmus kétdimenziós kiterjesztése minőségi megoldást fog eredményezni a frekvenciatartománybeli szűrések területén.

A HLSQFT alkalmazásának azonban egyáltalán nem feltétele az egyenközű mintavételezés sem egy-, sem kétdimenziós esetben. Természetesen a lokális felbontás túlzott lecsökkenése, azaz a mintavételi közlél túlzott megritkulása, az adatrendszer más részeinek átlagosan jobb felbontásához képest minőségi romláshoz vezet a szűrés végeredményét tekintve. A homogénnek tekinthető területi adatsűrűség, vagy másképpen fogalmazva az adatpontok nagyjából egyenletes megoszlása, azonban nagyon kedvező alapot jelent a jó minőségű eredmények biztosításá-



7. ábra A pólusra redukált mágneses anomália izovonalas térképei a két egyenközű hálózatra vonatkozóan a 2D HLSQFT felhasználása esetén (balra a 250 m-es, jobbra pedig az 500 m mintavételi közlél változat)

Figure 7 Contour maps representing the reduction of the magnetic anomaly to the magnetic pole executed on regular grids by using 2D HLSQFT (sampling intervals of 250 m on the left and 500 m on the right)



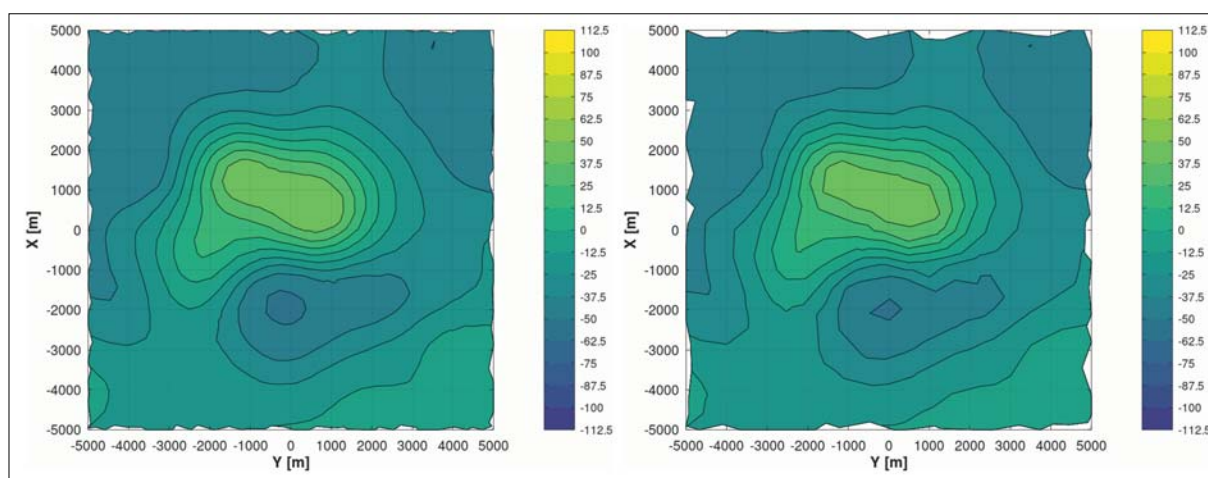
8. ábra Az egyenközü hálózatokból leszámaztatott szabálytalan hálózatok pontjai

Figure 8 Points of the irregular grids derived from the regular grids

hoz. Ennek bizonyítása érdekében végeztük el az alábbi vizsgálatot.

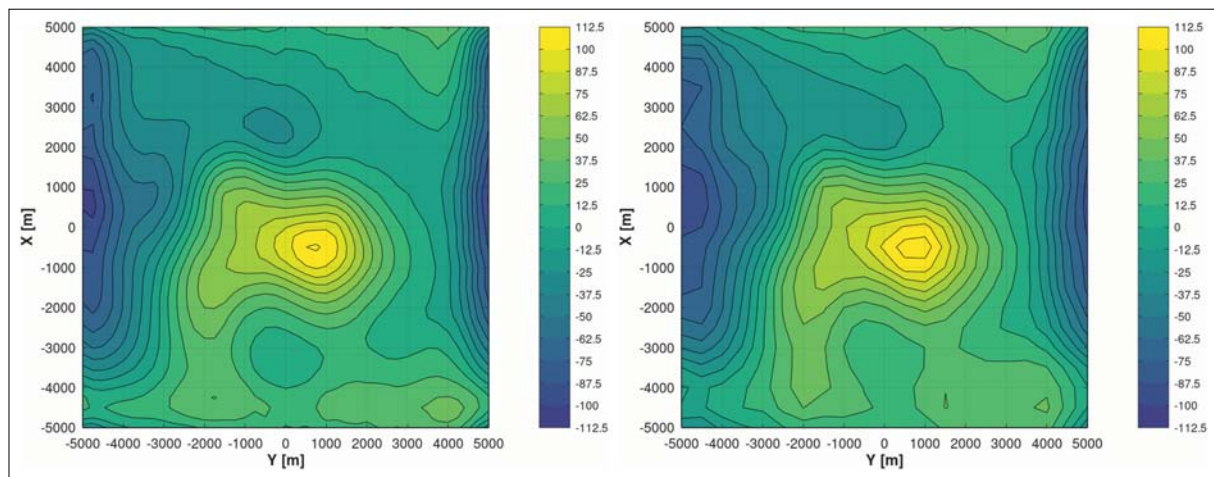
A 4. ábrán bemutatott egyenközü hálózatoskat eltorzítottuk véletlen számokkal biztosított, különböző mértékű eltolásokkal mindkét vetületi koordinátengely irányában. Az ilyen módon előállított szabálytalan hálózatoskat a 8. ábra mutatja be. Az adatpontok számai tehát nem változtak az egyenközü hálózatoskhoz képest, csak a pontok elhelyezkedése vált szabálytalaná. A mágneses anomália értékeit interpolációval határoztuk meg a módosult hálózatos pontokra vonatkozóan. A szabálytalan hálózatoskra interpolált értékekből készített izovonalas térképek a 9. ábrán láthatók. Ha ezeket a térképeket összehasonlítjuk az egyenközü hálózatosk adatrendszerével készített anomália-térképekkel, akkor némi romlást tapasztalhatunk, ami természetes következménye az interpolációnak.

A korábban már említett eljárásnak megfelelően először számítottuk a szabálytalan hálózaton mintavételezett mágneses anomália térfrekvencia-spektrumát a 2D HLSQFT algoritmust implementáló programmal, majd ezt szoroztuk a pólusra redukálás átviteli függvényével. Az ilyen módon szűrt spektrumot a 2D IDFT-vel számítottuk vissza a térképi vonatkozási rendszer tartományába. A pólusra redukált izovonalas térképek a 10. ábrán tanulmányozhatók. Összehasonlítva ezeket az egyenközü mintavételezett hálózatoskon végzett pólusra redukálás eredményeivel (7. ábra) azt tapasztaljuk, hogy nincs jelentős minőségi romlás. A 2D HLSQFT alkalmazása tehát mind az egyenközü, mind a nem egyenközü hálózatosk esetében kiváló minőségű eredményt képes adni.



9. ábra A helyi mágneses anomália szabálytalan hálózatosk alapján készült izovonalas térképei a 12,5 nT intervallumokra osztott színskálákkal

Figure 9 Contour maps of the local magnetic anomaly based on the irregular grids with colour scales graduated in intervals of 12.5 nT



10. ábra A pólusra redukált mágneses anomália izovonalas térképei a két szabálytalan hálózatra vonatkozóan a 2D HLSQFT felhasználása esetén

Figure 10 Contour maps representing the reduction of the magnetic anomaly to the magnetic pole executed on irregular grids by using 2D HLSQFT

Összefoglalás

A vizsgálatok során arra kerestünk választ, hogy milyen előnyökkel járhat a pólusra redukálás eredményeire nézve az inverziós alapon működő 2D HLSQFT eljárás alkalmazása a térfrekvencia-spektrum számításában. Megállapítható, hogy míg a 2D DFT algoritmust közvetlenül csak az egyenközü hálózatok esetében lehet alkalmazni, a 2D HLSQFT használatának nincs ilyen korlátja. Az eredmények vizuális kiértékelése egyértelműen bizonyítja, hogy a 2D DFT sokkal nagyobb mértékű minőségromlást eredményez, mint a 2D HLSQFT, és a területi adatsűrűség csökkenése ezt a hatást még inkább növeli. Ezek a megállapítások természetesen a 2D FFT algoritmusra is igazak, hiszen a gyors Fourier-transzformáció csak gyorsítani képes az adatfeldolgozás műveletét az eredmény minőségének javítása nélkül. Kijelenthető továbbá, hogy a 2D HLSQFT mind az egyenközü, mind a szabálytalan hálózatok adatrendszerei esetében jól teljesített, és a területi adatsűrűség csökkenése sem okozott jelentős minőségi romlást az eredményekben. A kedvező eredmények lelkesítőleg hatnak abban az irányban, hogy további vizsgálatokkal és fejlesztésekkel bizonyítsuk a módszer alkalmazásában rejlő minőségi előnyöket, és bővítsük a gyakorlati alkalmazhatóság körét.

Köszönetnyilvánítás

A kutatómunka a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karának GINOP-2.3.2-15-2016-00031 jelű „Innovatív megoldások a felszín alatti vízkészletek fenntartható hasznosítása érdekében” című projektjének részeként – a Széchenyi 2020 program keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Strukturális és Beruházási Alapok társfinanszírozásával valósult meg.

A tanulmány szerzői

Vass Péter, Nuamah Daniel Oduru Boatey

Hivatkozások

- Dobróka M., Szegedi H., Vass P. (2017): Inversion-based Fourier transform as a new tool for noise rejection. In: *Fourier Transforms – High-tech Application and Current Trends*. InTech, Rijeka, Croatia, Print ISBN 978-953-51-2893-9, Online ISBN 978-953-51-2894-6, <http://dx.doi.org/10.5772/62751>
- Dobróka M., Szegedi H., Vass P., Turai E. (2012): Fourier transformation as inverse problem – an improved algorithm. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 47/2, 185–196, DOI: 10.1556/AGeod.47.2012.2.7, <http://https://akjournals.com/view/journals/074/47/2/article-p185.xml>
- Dobróka M., Vass P. (2006): Fourier transform as a robust inverse problem. In: *European Association of Geoscientists & Engineers, Conference Proceedings, Near Surface 2006 – 12th EAGE European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics*, Sept. 2006, cp-14-00134, ISBN: 978-90-73781-62-7, <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201402756>
- Kis K. (2009): *Magnetic methods of applied geophysics*, Eötvös Univ. Press, ISBN 978-963-284-057-4
- Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, Magyarország gravitációs Bouguer-anomália-térképe. https://map.mbfisz.gov.hu/gravitacios_anomalia/
- Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, Magyarország mágneses anomáliatérképe: https://map.mbfisz.gov.hu/magneses_anomalia/
- Nuamah D. O. B. (2020): Inversion-based Fourier transform algorithm used in processing non-equidistantly measured magnetic data. PhD Thesis, University of Miskolc
- Nuamah D. O. B., Dobróka M. (2018): Reduction to pole of non-equidistantly measured magnetic data using an inversion-based Fourier transformation algorithm. *Geosceince and Engineering Journal*, 6/9, 32–39. HU ISSN 2063-6997
- Nuamah D. O. B., Dobróka M. (2019): Inversion-based Fourier transformation used in processing non-equidistantly measured

- magnetic data. *Acta Geod. Geophys.* 54, 411–424. <https://doi.org/10.1007/s40328-019-00266-4>
- Pelikán P., Less Gy., Kovács S., Pentelényi L., Sásdi L. (2005): A Bükk hegység földtana. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, ISBN 963 671 253 0
- Szegedi H. (2015): Inverziós módszerfejlesztés a Fourier-transzformált zajérzékenységének csökkentésére. PhD-értekezés, Miskolci Egyetem
- Szegedi H., Dobróka M. (2012): Robusztus Fourier-transzformáció Steiner-súlyok alkalmazásával. *Magyar Geofizika*, 53/1, 21–28, ISSN 0025-0120.
- Szegedi H., Dobróka M. (2014a): On the use of Steiner's weights in inversion-based Fourier transformation – robustification of a previously published algorithm. *Acta Geodaetica et Geophysica*, 49/1, 95–104. Print ISSN 2213-5812, Online ISSN 2213-5820, DOI: 10.1007/s40328-014-0041-0., <http://link.springer.com/article/10.1007/s40328-014-0041-0>
- Szegedi H., Dobróka M. (2014b): Hilbert-transzformált előállítása inverziós alapú robusztus Fourier-transzformációval. *Magyar Geofizika*, 55/1, 21–29.
- Vass P. (2010): A Fourier-transzformáció mint inverz feladat. PhD-értekezés, Miskolci Egyetem
- Vass P. (2012): Random noise reduction capability of the Hermite polynomial based least squares Fourier transform method. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 47/3, 328–343, DOI: 10.1556/AGeod.47.2012.3.4, <https://link.springer.com/article/10.1556/AGeod.47.2012.3.4>
- Vass P., Dobróka M. (2009a): Robust Fourier transform algorithm using inversion tools. In: European Association of Geoscientists & Engineers, Conference Proceedings, Near Surface 2009 – 15th EAGE European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Sept. 2009, cp-134-00053, ISBN: 978-90-73781-72-6, <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20147040>
- Vass P., Dobróka M. (2009b): Sorfejtéses inverzió I. Fourier-transzformáció mint inverz feladat. *Magyar Geofizika*, 50/4, 141–152, ISSN 0025-0120.