



Zárójelentés

OTKA T-043100

MAGYARORSZÁG GRAVITÁCIÓS LINEAMENSTÉRKÉPE

Témavezető:

BODOKY TAMÁS

Közreműködtek:

**KISS JÁNOS
GULYÁS ÁGNES
VÉRTESY LÁSZLÓ
PRÁCSER ERNŐ**

Budapest, 2007

Tartalomjegyzék

Összefoglaló.....	4
Bevezetés.....	5
Manuális lineamens kijelölés.....	5
Automatikus eljárások.....	10
Hatóperem kijelölés.....	10
Horizontális gradiens módszer.....	11
Euler 3D eljárás.....	15
Mélységi szűrések lehetőségei.....	16
A lineamensek.....	18
Hivatkozások.....	20
1. függelék: Az anomáliák spektrális jellegét befolyásoló tényezők vizsgálata.....	22

Ábrajegyzék

1. ábra: Árnyékolt Bouguer-anomália térkép (irányszög: 135°, magasságszög: 45°).....	7
2. ábra: Árnyékolt Bouguer-anomália térkép (irányszög: 315°, magasságszög: 45°).....	7
3. ábra: Gravitációs térgradiens térkép.....	8
4. ábra: A Bouguer-anomália térkép horizontális gradiense.....	8
5. ábra: A gradiens térkép AGC szűrése.....	9
6. ábra: A gradiens térkép texturális szűrése.....	9
7. ábra: SOBEL szűrt Bouguer-anomália térkép (irány: 0°).....	10
8. ábra: A horizontális gradiens maximumok pontszerűen megjelenítve.....	11
9. ábra: A horizontális gradiens maximumok pontszerűen, a vektor irányszöge alapján színezve.....	12
10. ábra: Horizontális gradiens maximumok „vonalas” megjelenítése.....	13
11. ábra: A nagyobb hatás (piros vonal) elnyomja a kicsit (zöld szaggatott vonal).....	13
12. ábra: A hatóperemek megszűnnek, gyengülnek egy vonal után.....	14
13. ábra: Elkanyarodik a hatóperem, iránnyal együtt.....	14
14. ábra: A hatóperem folyamatos, de a gradiens iránya változik.....	14
15. ábra: Mélység-meghatározás az Euler 3D feldolgozásból.....	15
16. ábra: Hatóperemek a 20 km-nél kisebb hullámhosszúságú anomáliákból.....	17
17. ábra: Hatóperemek az 5 km-nél nagyobb hullámhosszúságú anomáliákból.....	17
18. ábra: Magyarország gravitációs lineamensei.....	18
19. ábra: Magyarország összevont gravitációs lineamensei.....	19

20. ábra: Válogatott lineamensek (fekete szaggatott vonal) és a földtani szerkezeti vonalak (piros folytonos vonal).....	19
21. ábra: Eltérő sűrűségkontraszt mellett kialakuló anomália-görbék	22
22. ábra: Eltérő sűrűségkontraszt mellett kialakuló anomália-görbék, normálás után — a görbék fedésben vannak	22
23. ábra: Eltérő mélység mellett kialakuló anomália-görbék	22
24. ábra: Eltérő mélység mellett kialakuló anomália-görbék normálás után	22
25. ábra: Eltérő méretek mellett kialakuló anomália-görbék	23
26. ábra: Eltérő méretek mellett kialakuló anomália-görbék, normálás után.....	23
27. ábra: Fél-amplitúdónál egymásba csúsztatott görbék eltérő vízszintes méretek esetén .	23
28. ábra: Fél-amplitúdónál egymásba csúsztatott görbék eltérő mélységek esetén	23
29. ábra: Fél-amplitúdónál egymásba csúsztatott különböző hullámhosszúságú szinusz hullámok	24

Összefoglaló

Magyarország gravitációs lineamens térképe kutatási témát az a felismerés indította útjára, hogy az archív gravitációs adatokban ezidáig fel nem használt földtani információ rejlik. Megfelelő adatfeldolgozással a rejtett vagy nem könnyen értelmezhető információk előhívhatók. További lehetőséget láttunk a nagytömegű, az ország egészére kiterjedő adatrendszer egységes szemléletű feldolgozásában. A munka első lépéseként az megszerkesztettük és publikáltuk Magyarország Bouguer-anomália térképét (ELGI, 2005). A térképet a Geophysical Transactions mellékleteként, ismertetővel ellátva juttattuk el a szakma képviselőihez (Vol. 45. No. 2. pp. 99–104, 2006).

2005–2006-ban végzett képfeldolgozási munkák eredményeként egy sor transzformált térkép készült, amelyek az elemzésekre, a hatóperem kijelölésekre és lineamens meghatározásra alkalmasak voltak (különböző mesterségesen árnyékolt Bouguer-anomália térkép, AGC szűrt térkép, különböző gradiens térképek, textúrálisan szűrt térképek, élkimelt térképek, irányszűrt térképek, analitikusan felfelé folytatott térképek, frekvenciaszűrt térképek és maradékanomália térképek).

A munka utolsó fázisában (2006) elvégzett feldolgozásaink során a lineamenseket automatikus és a manuális eljárásokkal jelöltük ki:

1. Képfeldolgozási eszközök alkalmazásával, a különböző szűrt, transzformált térképek alapján, vagy az automatikus eljárások eredményeképpen kapott hatóperemek felhasználásával vizuális lineamens-kijelölést végeztünk. A manuálisan megszerkesztett lineamens rendszer alkalmas regionális léptékű szerkezetföldtani következtetések megalapozásához, illetve a meglévő szerkezetföldtani kép pontosításához.
2. Az automatikus eljárásokat alkalmazva 2D, 3D hatóperem kijelöléseket végeztünk. Célirányos feldolgozási algoritmusok eredményeként kisebb-nagyobb vonalszakaszok voltak megjeleníthetők — ezek rendszere is már lineamensnek tekinthető. Az ilyen módon előállított lineamens, illetve ezek további amplitúdó vagy irány szerinti szűrésével meghatározott csoportjai objektív szerkezeti indikációként értelmezhetők.

Modellezéssel vizsgáltuk a gravitációs anomáliák sűrűség-, mélység- és méretfüggését. A gravitációs hatók valamely paramétere hogyan változtatja meg a Bouguer-anomália nagyságát, formáját, hullámhosszát. A vizsgálatok azt mutatták, hogy a gravitációs anomáliatér spektrális jellege független a sűrűségkontraszttól és a test méretétől. Az anomáliák hullámhosszúságát alapvetően a hatók mélysége határozza meg. Megjegyezzük, hogy egyes esetekben az egymásra szuperponálódó terek (jelinterferencia) véletlenszerű spektrális hatásokat okozhatnak.

Az eredményeinket számos előadáson mutattuk be a szakmának és más tudományterület kutatóinak. A legérdekesebb lineamenseket a Magyar Geofizika (2006. 47. évfolyam, 2. szám) cikkében publikáltuk, felhívva a szakma figyelmét néhány a köztudatban eddig kevésbé ismert, feltételezhetően szerkezeti mozgások által determinált lineamensre.

A kijelölt lineamens földtani megfeleltetésének kezdeti lépéseit az MGE vándorgyűlésén, Zalakaroson mutattuk be. Az előadások anyagának jelentős részét az ELGI honlapján is elérhetővé tettük a nagyközönség és a földtani kutatók számára.

Meggyőződésünk, hogy az eredményeink számos más kutatási témának (szerkezetföldtan, botanika, hidrogeológia) szolgáltatott földtanilag hasznos információt és az OTKA keretén belül végzett módszertani kutatásaink újabb kutatási célokat is generálhatnak.

Bevezetés

Az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet kezelésében lévő országos gravitációs adatbázis több mint 380000 mérési adatot tartalmaz. Az ország felmértsége nem egyenletes, de csak kevés olyan terület van, ahol az adathiány miatt nem lehet a gravitációs adatokból földtanilag is hasznosítható információt kinyerni (a felmértség: több mint 4 pont/km² az ország egészére, de mégis vannak olyan területrészek, ahol a felmértség az 1 pont/km²-t sem éri el).

A felmértség inhomogenitása miatt országosan az 500, illetve 1000 m-es rácsba interpolált adatok jelenthetik a kiindulási adatállományt Magyarország gravitációs lineamens térképének elkészítéséhez. Ennél kisebb rács kiválasztása esetén az interpolálás álanomáliákat eredményez, a feldolgozásainkkal a mérések nyomvonalát mutatnánk ki a földtani hatások helyett.

A Bouguer-anomália térkép szerkesztésénél fontos paraméter volt a korrekciós sűrűség, ami medence területeken 2000 kg/m³, míg a kibúvásos területeken 2670 kg/m³. Mivel alapvetően az üledékes medencével fedett területek szerkezeti viszonyait kutatjuk — a kibúvásos területeken már a felszínen is jól azonosíthatóan jelentkeznek a vetők és képződményhatárok, így a feldolgozás további lépéseiben a 2000 kg/m³ korrekciós sűrűséggel számolt Bouguer-anomália térképet használtuk.

A *lineamens* fogalmát, O'LEARY (1977) úrfelvételekre alkalmazott megfogalmazását kissé módosítva, az alábbiak szerint adjuk meg:

„A lineamens olyan egyszerű, vagy összetett lineáris jelenség, amely folyamatos alakzattá áll össze, a környezetétől jól elkülönül, és feltehetően felszín alatti jelenséget tükröz”

A gravitációs adatrendszer esetében a felszíni vagy felszín alatt lévő különböző sűrűségű kőzetek kontaktusa — képződmény- vagy szerkezeti határ — okozza az adatrendszerben megjelenő (vagy megjeleníthető) vonalszerű jelenségeket, a lineamenseket.

Többféle eljárást alkalmaztunk ezeknek a lineamenseknek a kimutatására, mint pl. szűrések, képfeldolgozás, textúra elemzés és hatóperem kijelölések.

Manuális lineamens kijelölés

A modern adatmegjelenítési lehetőségek, pl. az árnyékolás, egészen új dimenziókat nyitott meg a térképek vonalas elemeinek kiszűrésénél, illetve értelmezésénél. Ezek a megjelenítések felhívják a figyelmünket a vonalasan jelentkező változásokra, azokra is a kisebb jelenségekre, amelyeket vizuálisan a hagyományos megjelenítés mellett, nem lehet észrevenni. Különböző irányú árnyékolást alkalmazva, különböző irányú szerkezeti vonal hatását emelhetjük ki — legélesebben az jelentkezik, amelyik helyzete merőleges a megvilágításra — az árnyékolás irányára (1. ábra, 2. ábra). A térképi adatokat nem változtatva csak a megjelenítés segítségével egyfajta irányszűrést érünk el.

Az ábrákon a fő, DNy–ÉK-i szerkezeti irányra merőleges irányok kiemelésével (merőleges megvilágítás) is olyan lineamensok rajzolódnak ki, ami a szerkezet-földtani térképeken vagy csak szakaszosan, vagy egyáltalán nem azonosíthatók. Néhányat ezek közül a lineamensok közül piros nyíllal és számmal jelöltünk az ábrákon.

A 135°-os megvilágítású térképen az első ilyen lineamens körülbelül Debrecen magasságában a K-i határszélről indul a Közép-Mátra–Cserhát irányába (1. ábra, 1-es nyíl). A Mátra gravitációs maximummal egybeeső vulkanitjai alatt ez a lineamens nem látható. A vonal a felfelé folytatott légi mágneses térképen azonban azonosítható — ez a cserhádi andezit-telérek fő iránya és feltételezhető a vulkán mélységi gyökerének is a szerkezeti magyarázata. A Mátra főgerincétől D-re a Darnó-vonal mélyebbre kerülése, valamint annak ÉNy-i irányú eltolódása ennek a lineamensnek köszönhető. A lineamens a Diósjenői-vonalon túl is követhető.

Jól azonosítható lineamens a Dunántúlon jól ismert Kapos-vonal (1. ábra, 2-es nyíl), amely K-i irányban követhető a Tiszáig vagy akár tovább az országhatárig is követhető. Az Alföldön bizonytalanabban és haránt irányú szerkezettel szabdaltan.

Hasonlóan hosszan követhető lineamens az Alföldön jelentkezik a Duna-Tisza közéből a D-i határtól húzható Debrecenig, az iránya ÉK-i (1. ábra, 3-as nyíl).

A 315°-os megvilágítás mellett más lineamenseket lehet kiemelni, főleg a közel É–D irányúak érdekesebbek. Ezek közül az első (2. ábra, 4-es nyíl) az Esztergomtól Szekszárd irányába jelentkező ívelt vonal, ami É-Dunántúlon a Balaton-vonalig határozott lineamensként, a D-Dunántúlon főleg az anomáliák szakadás helyei alapján követhető nyomon, egészen a Mórággyi-rögig.

A másik ilyen lineamens a Börzsöny K-i peremétől indul és a Duna-Tisza között a Duna öntésterületének K-i peremén fut, egészen a Duna és a D-i országhatár találkozásáig (2. ábra, 5-ös nyíl).

A Bouguer-anomália térképből könnyű kiszámítani a gravitációs térgradienst (analitikus jel), ami gradiens jellegénél fogva a felszíni inhomogenitásokra érzékeny (3. ábra). Ennek jó példája a Balaton- (és a vele párhuzamos Buzsáki-) és Tamási-vonalak (6-os és 7-es nyíl), markáns megjelenése a térgradiens térképen. A két vonal helyzete kölcsönösen eltolódik a találkozási pont után. Élesen jelentkezik a Darnó-vonal is (8-as nyíl) ÉK-szakasza, amelynek irányítotttsága a Tamási-vonalnak megfelelő. Érdekes lokális gyűrűs, vagy inkább ellipszis alakú ható jelentkezik térgradiens maximumokból a Nyírség területén (3. ábra, 9-es számmal jelölve), valószínűleg vulkáni eredetű.

A gradiens térképeket is felhasználhatjuk a lineamensek kijelölésére, mivel a gravitációs tér vízszintes irányú változása, ott jelentkezik legélesebben, ahol két különböző sűrűségű képződménynek meredek dőlésű kontaktusa van. A Bouguer-anomália térképből kapott horizontális gradiens térképet a 4. ábra mutatja. A térképen nem jelöltünk be lineamenseket, noha jól azonosíthatóak rajta a különböző irányítotttságú vonalas anomáliák, mert a későbbiekben ismertetésre kerülő automatikus hatókijelölésnek ez az alaptérképe.

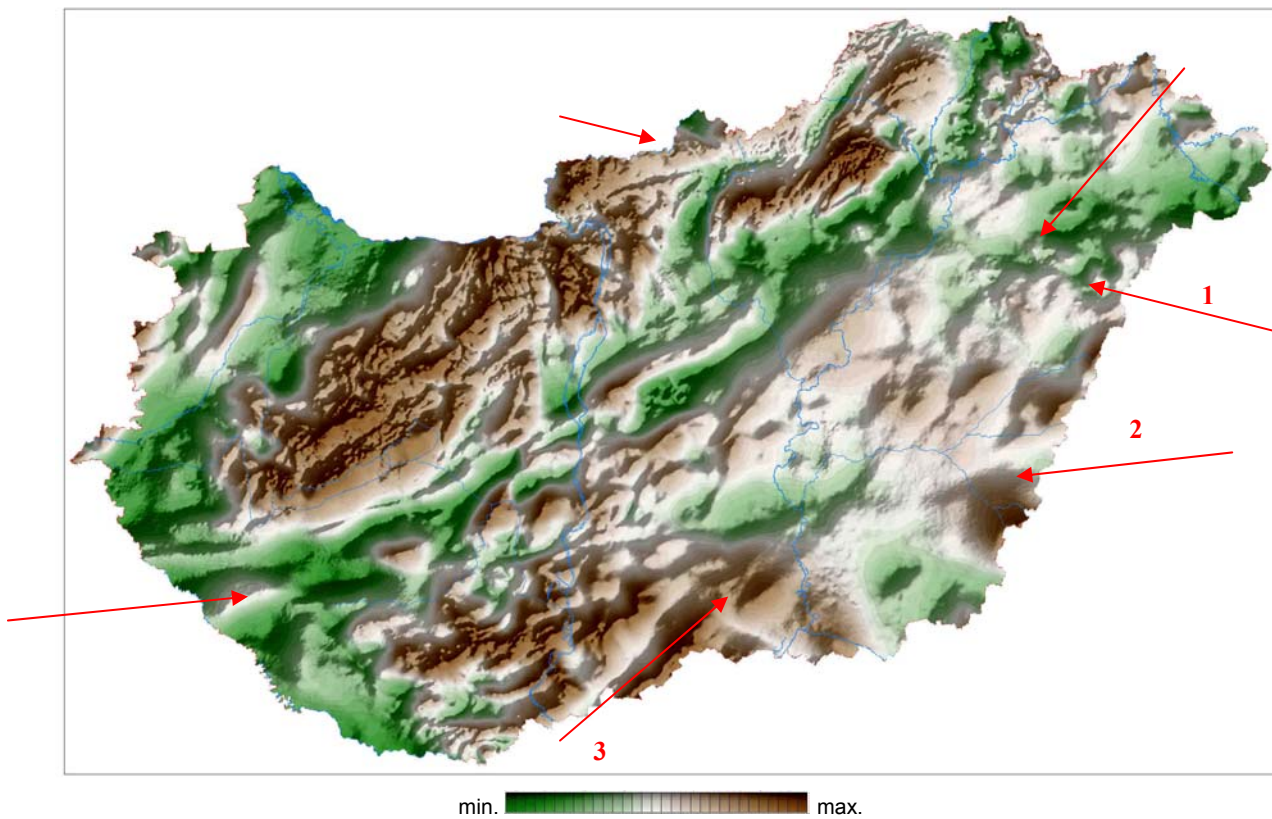
A horizontális gradiens színes megjelenítése felhívja a figyelmet arra, hogy vannak olyan változások, amelyeket a nagyobb gradiensű hatások elnyomnak. Ezek is adhatnak olyan irányokat, amelyeket hosszan nyomonkövethetők, tehát a horizontális gradiensnek a nagyságát, az irányát is érdemes vizsgálni. A horizontális gradiens térképen a korábban kimutatott irányok (1–8 számú nyíllal jelzett határfelületek) jelentős része jól nyomonkövethető. A nagy gradiensű változások egyértelműen jelen vannak a fő szerkezeti vonalak mentén, mint például a Balaton-vonal, Tamási-vonal, Darnó-vonal stb.

A horizontális gradiens térképen a nagy gradiensű hatások elnyomják a kisebb amplitúdójú (pl. mélyebb eredetű), de esetleg hasonló fontosságú változások hatását. Ennek kiküszöbölésére alkalmaztuk az AGC szűrést a térképi adatrendszeren, amely azonos amplitúdóra hozza az eredetileg különböző mértékű változásokat (5. ábra).

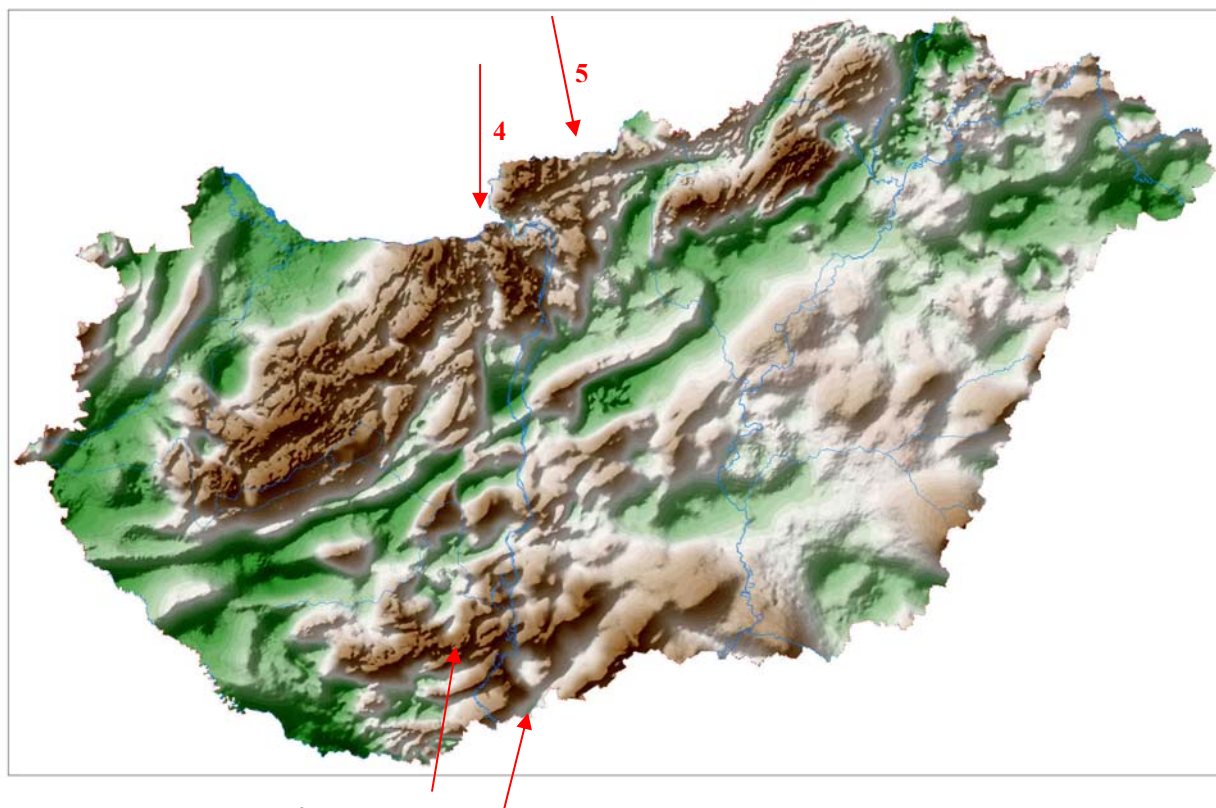
A texturális szűrők a térkép szöveti jellegének változását emelik ki. A szűrés (textúra-egység számítása) az eredeti gravitációs térképen — annak enyhe-vonalú lefutása miatt — nem alkalmazható eredményesen, de a gradiens térkép szűrése meglepően jó eredményt ad (6. ábra). Jól kiemeli az egészen kicsi változásokat és azok menetét a térben. A spektrális jellege mélységi tagolásra ad lehetőséget, azaz minél szélesebb a vonal, annál nagyobb mélységű a ható. A térkép vonalas elemek sokaságát tükrözi vissza, aminek elemzése új módszertani kihívást jelent.

Látványosan jelenik meg a Dunántúli Középhegység ÉNy-i pereme (6. ábra, 10-es nyíl), vagy a Kisalföld DK-i pereme. A Kisalföld NyÉNy-i peremét azonban egy többlépcsős szerkezet jelzi (6. ábra, 11-es nyilak).

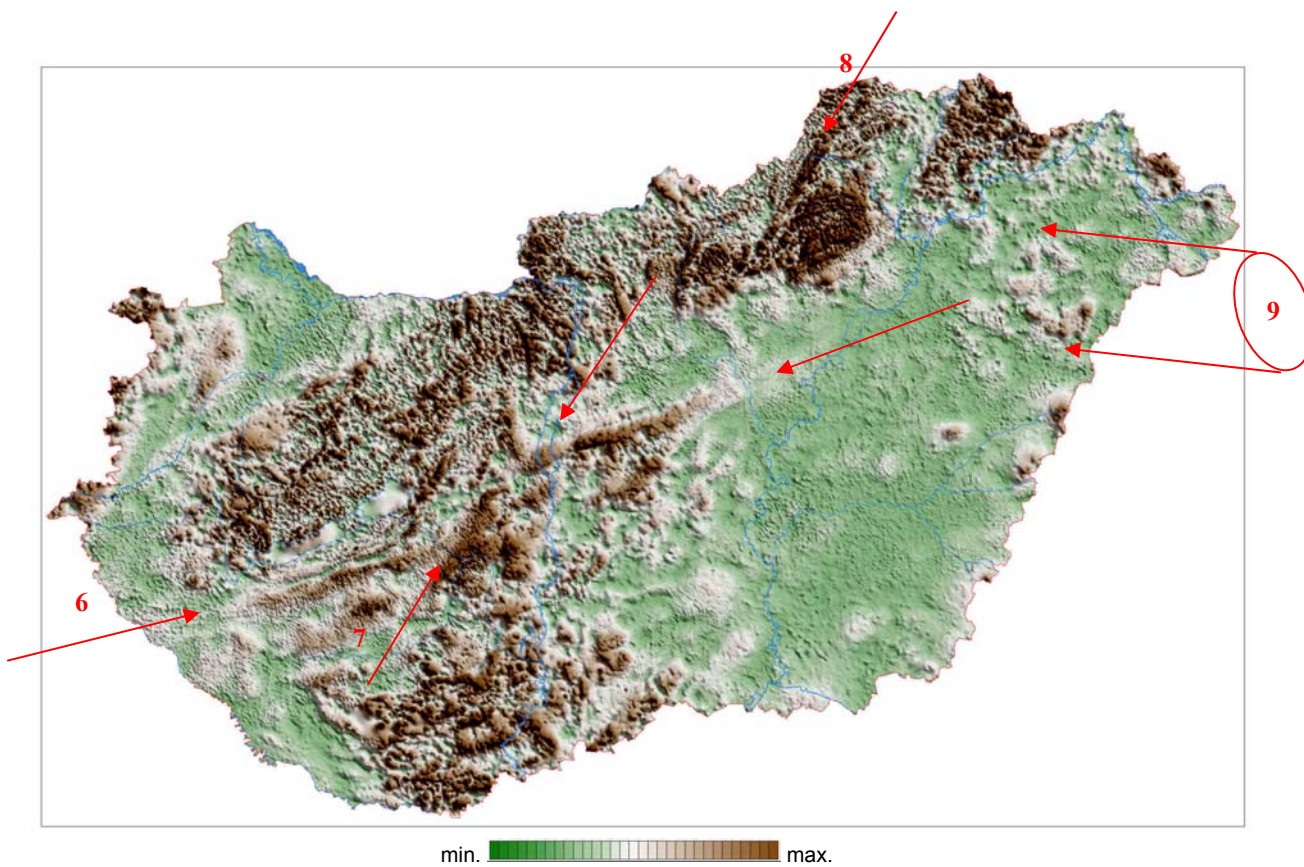
Érdekes váltás figyelhető meg a Tisza vonalában az Alföldön (6. ábra, 12-es nyíl). texturális jelleg hirtelen megváltozását a D-i országhatártól egészen Hevesig nyomon lehet követni.



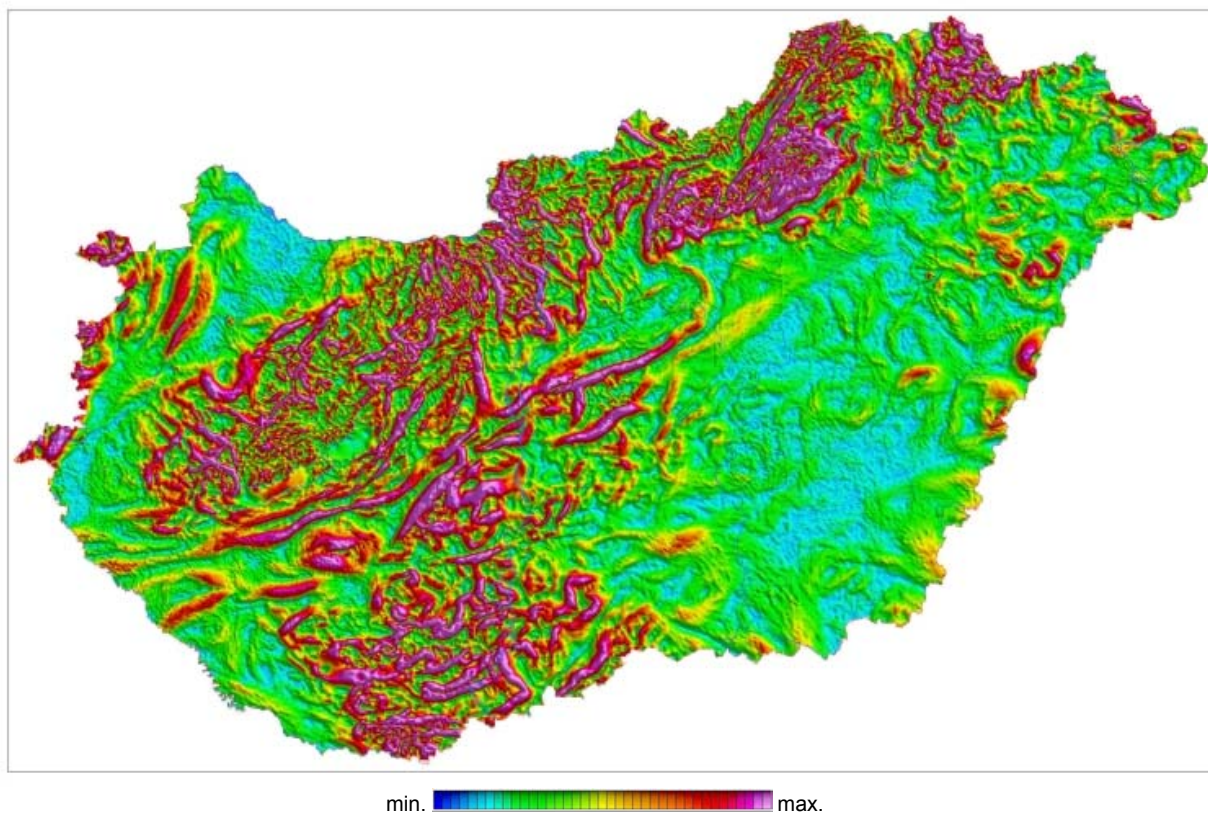
1. ábra: Árnyékolt Bouguer-anomália térkép (irányszög: 135°, magasságszög: 45°)



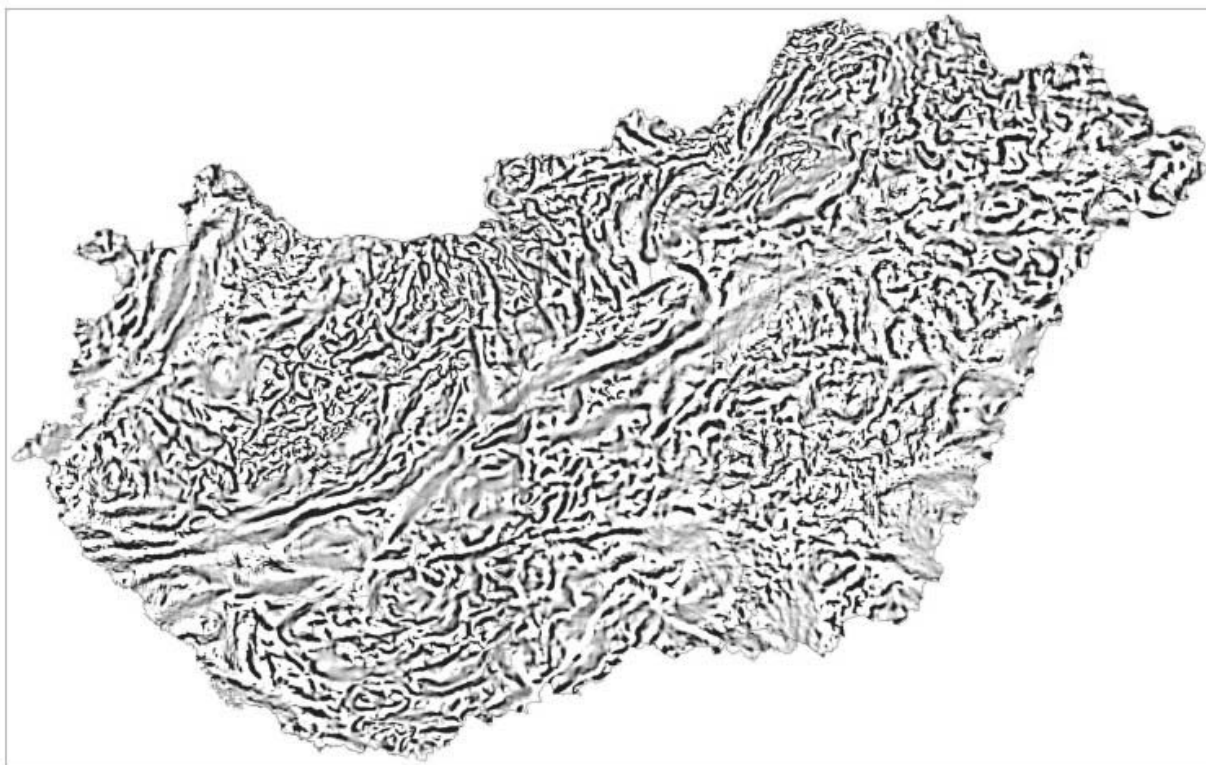
2. ábra: Árnyékolt Bouguer-anomália térkép (irányszög: 315°, magasságszög: 45°)
(színkód az előző ábrán)



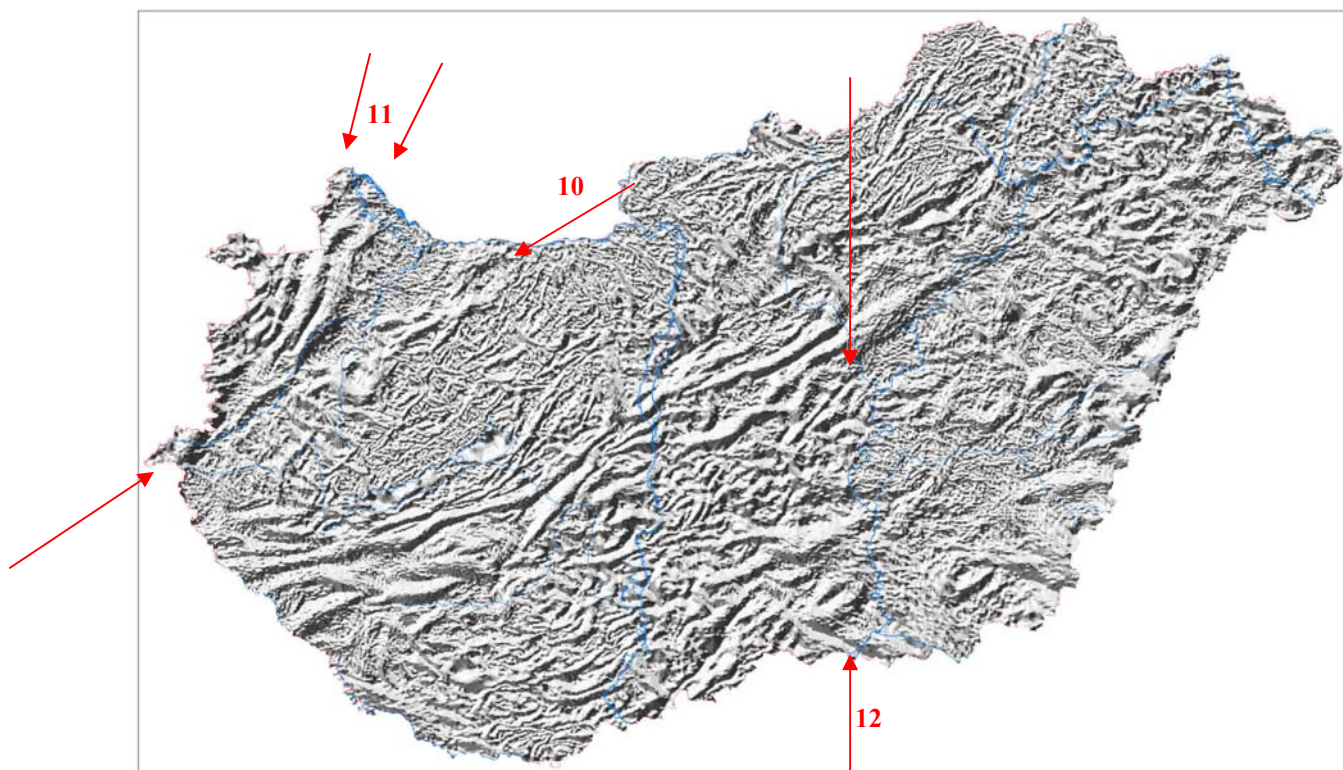
3. ábra: Gravitációs térgradiens térkép



4. ábra: A Bouguer-anomália térkép horizontális gradiense



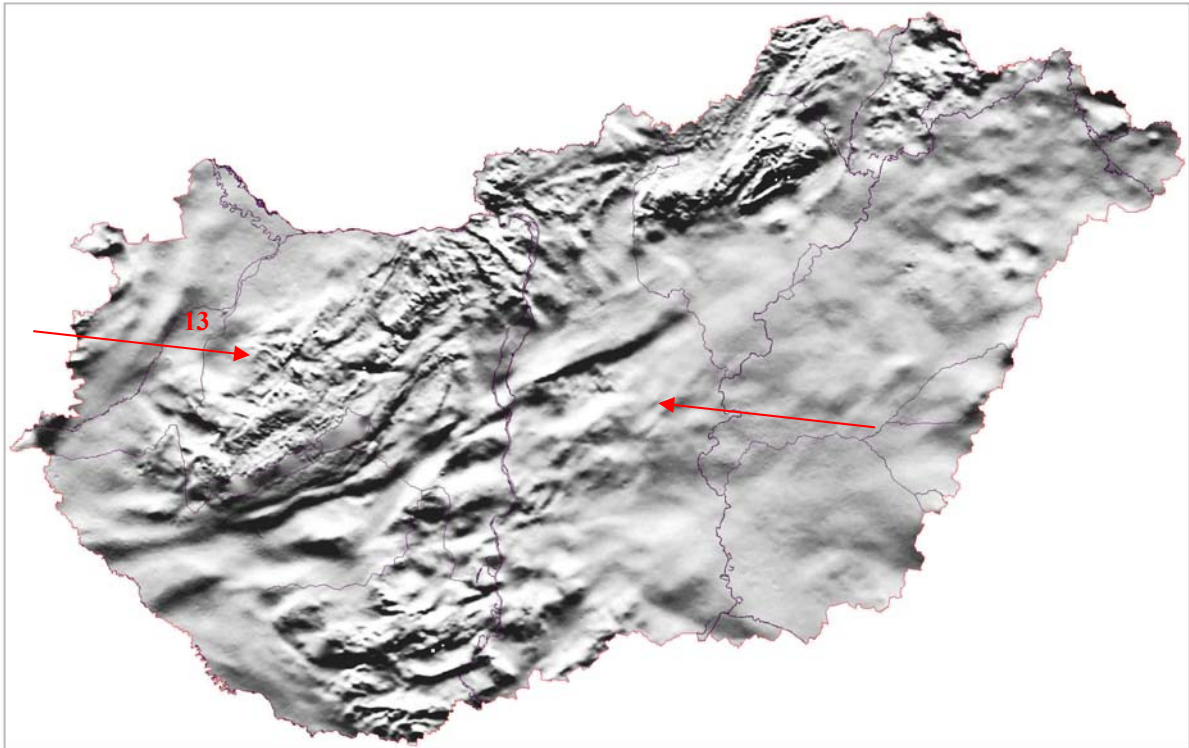
5. ábra: A gradiens térkép AGC szűrése (a maximumvonalatok fekete színnel)



6. ábra: A gradiens térkép texturális szűrése

A távérzékelési adatok feldolgozásában általánosan elterjedt a különböző irányszűrők alkalmazása (ebben az esetben a szűrés után a térkép eredeti értékei nem maradnak meg). Az egyik ilyen szűrő az élkítűző „SOBEL” szűrő. A szűrt térképek fekete-fehér megjelenítésben alkalmazva, mutatják ki legjobban a változásokat. A SOBEL szűrés az eredeti képet sehol nem adja vissza — mivel a szűrőmátrix összege = 0, de az éleket kiemeli. A látszólagos megvilágítás irányát tetszőlegesen változtathatjuk, így minden szerkezeti irányt kiemelhetünk.

Az É-i irányú SOBEL szűrt térképen (7. ábra) a Dunántúlon egy jellegzetes vonalat lehet kimutatni, a Telegdi-Roth-vonalat (13-as nyíl). A vonalnak megfelelő irányítottságot még a Duna-Tisza között is, az öntéstalajok elterjedési területén is ki lehet mutatni.



7. ábra: SOBEL szűrt Bouguer-anomália térkép (irány: 0°)

A Különböző feldolgozások segítségével sikerült kimutatni, illetve jelezni olyan gravitációs lineamenseket, amelyek földtani megfelelői régóta ismertek, és vannak, amelyek csak szakaszosan ismertek. A lineamensek segítségével a földtani szerkezeti vonalak pontosíthatók. Néhány lineamens vagy irányítottság újnak tekinthető, földtani értelmezésük még hátra van.

Automatikus eljárások

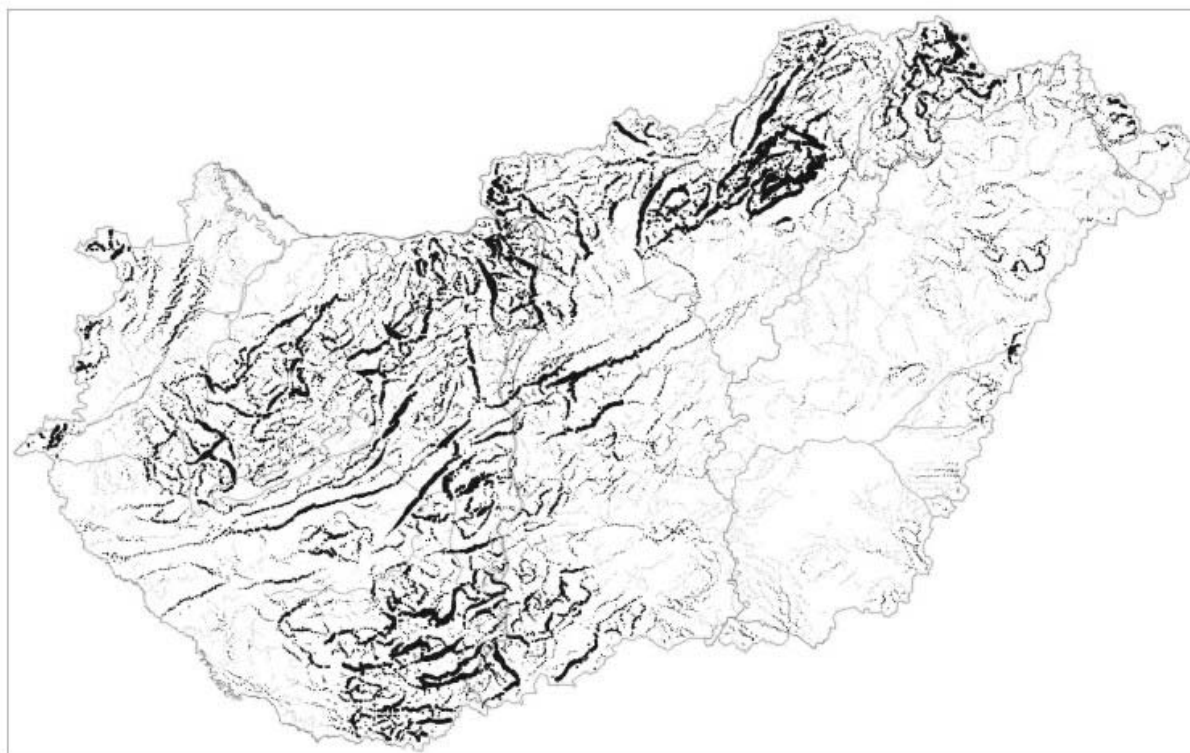
Hatóperem kijelölés

Lineamensek objektív meghatározáskor az anomáliatér jellegzetességeit automatikus eljárások (algoritmusok) segítségével vizsgáljuk és határozzuk meg. A kapott jellegzetességek térbeli helyzete illetve egyes attribútumai alapján a lineamensek kijelölhetőek. Ezt mutatjuk be a következőkben.

Horizontális gradiens módszer

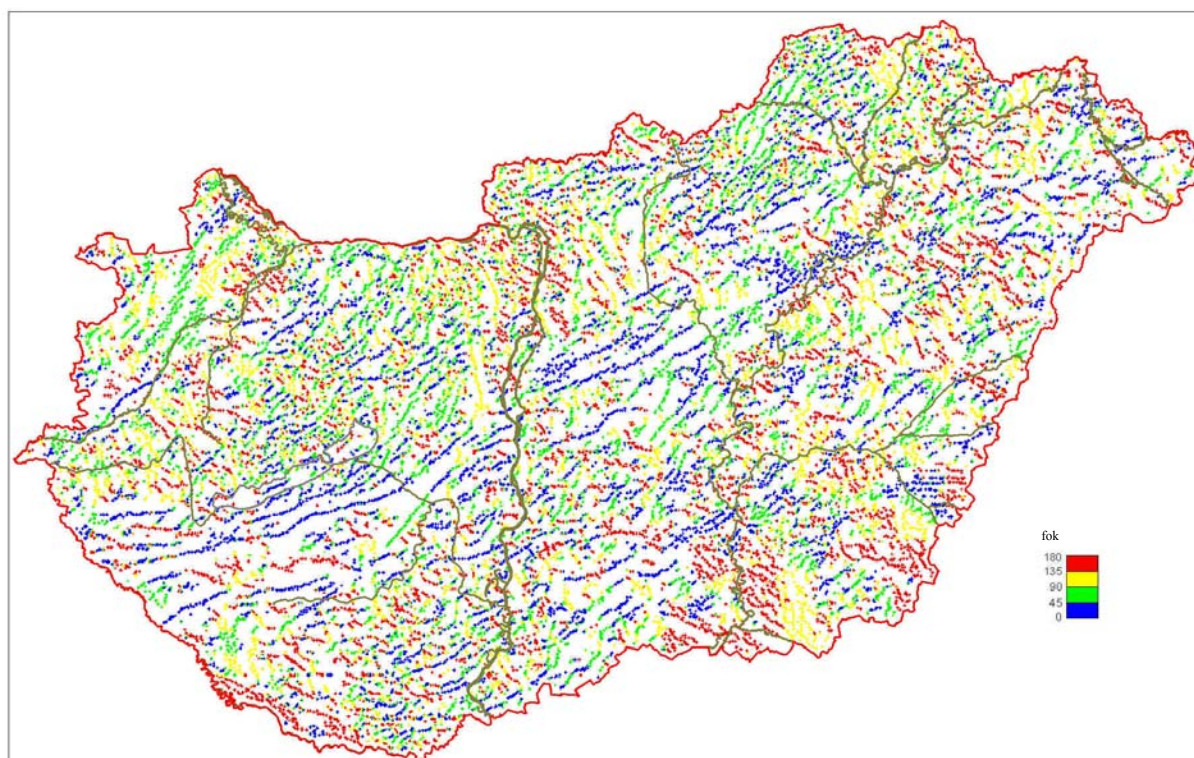
Az horizontális gradiens módszer a közel függőleges határfelületek kimutatására alkalmas. Cordell (1979) elmélete alapján a Blakely-Simpson (1986) valósították meg az eljárást, ami hatóperemek kijelölésére szolgál, térképi adatrendszerek esetén.

A feldolgozás alapja, hogy a gravitációs tér vízszintes irányú legnagyobb változása, ott jelentkezik, ahol két különböző sűrűségű képződménynek meredek dőlésű kontaktusa van. A gravitációs tér inflexiós pontjai — horizontális gradiens maximumok — az ilyen képződményhatárok felett jelentkeznek. Ezt a tulajdonságot használjuk fel a hatóperem kijelölések során, amikor a Bouguer-anómália térképek horizontális gradiens maximumait különböző kritériumok alapján leválogatjuk, majd megjelenítjük. A kapott ponttérkép a szerkezeti változásokra, képződményhatárookra hívják fel a figyelmet a képződmények eltérő sűrűsége alapján. Ezekből vizuális összevonásokkal szerkeszthetjük meg a gravitációs lineamens térképet.



8. ábra: A horizontális gradiens maximumok pontszerűen megjelenítve (a méret az amplitúdóval arányos)

A horizontális gradiens nagysága és a maximumok helye pontosan meghatározható, térképi adatrendszer esetén a lokális gravitációs hatót a maximumok körberajzolják. A maximumok nagysága arányos a jelölésben alkalmazott szimbólum (kör) nagyságával (8. ábra). Az amplitúdó információját is tartalmazó megjelenítéssel a felszínközeli, nagy sűrűségkontrasztal jellemezhető váltási helyek élesen kijelölhetők. A térképen a 0–1500 m mélyen lévő, az aljzat felszínének nagy (500 m-t meghaladó) szintkülönbséget okozó szerkezeti vonalak — Tamási-vonal, Buzsáki-vonal, Váli-törés vagy a Zagyva-árok K-határvetője — jól meghatározhatók.

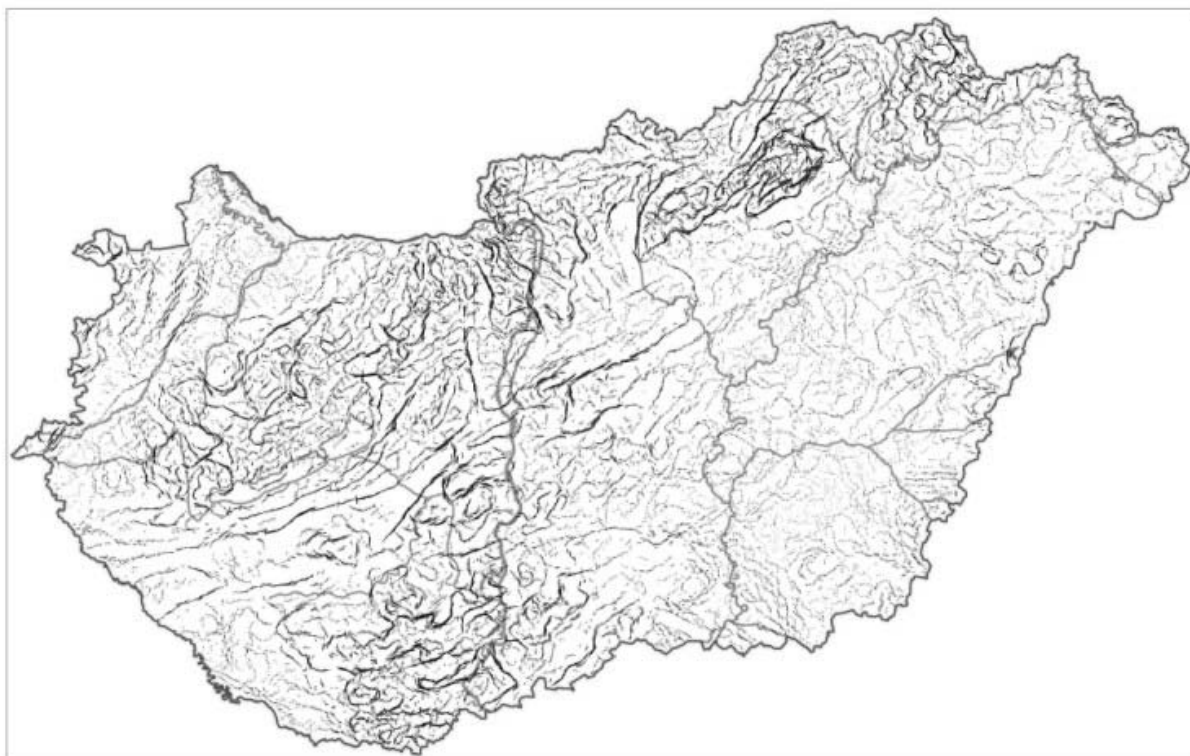


9. ábra: A horizontális gradiens maximumok pontszerűen, a vektor irányszöge alapján színezve

A horizontális gradiens számításánál nemcsak az amplitúdó, hanem a gradiens iránya is informatív lehet, amit analitikusan könnyen megkaphatunk. A horizontális gradiens térképet a maximum pontokon irány-szerinti megszínezésben (kék, piros, zöld és sárga 45 fokos tartományokban, azonos szimbólummal) megjelenítve mutatjuk (9. ábra). Az eredménytérkép értelmezhetősége nem egyértelmű, az egyes szerkezetek kapcsolatának felismerését segíti. A megjelenítés texturális jellege alapján egyes szerkezeti egységek elkülöníthetők. Lehetőség van a ponttérképet úgy megjeleníteni, hogy figyelembe vesszük a horizontális gradiens változásának irányát, valamint nem pontokat alkalmazunk, hanem kis vonalakat, amelyeknek hossza a horizontális gradiens amplitúdójával arányos nagyságú, iránya merőleges a gradiens irányára, azaz adott esetben a szerkezeti vonal irányát adja (10. ábra). A térkép automatikus lineamens kijelölésnek tekinthető.

A horizontális gradiens kijelölés eredményeinek elemzése során felhasználjuk tehát:

- a horizontális gradiens amplitúdóját;
- a horizontális gradiens irányát;
- a horizontális gradiens amplitúdóját és irányát.

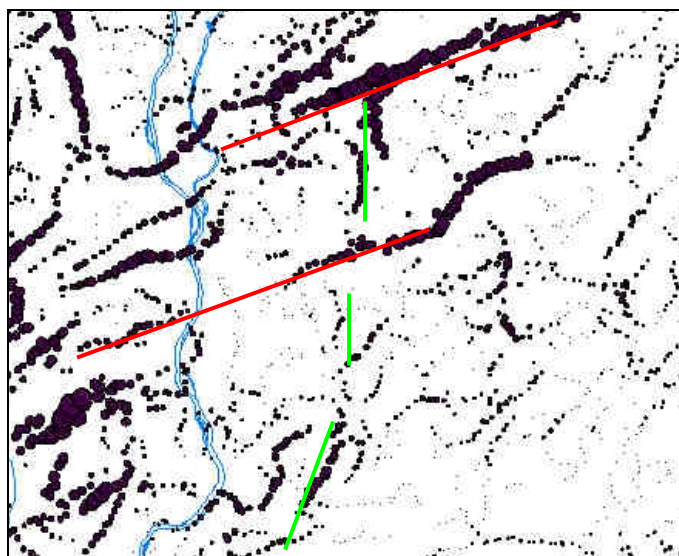


10. ábra: Horizontális gradiens maximumok „vonalas” megjelenítése
(a vonal hossza az amplitúdó, irányfottsága a gradiens irányától függ)

A horizontális gradiens maximumok további vizsgálata azt mutatja, hogy vannak még a jelzett maximum helyeken túl is olyan jellegzetességek, amelyet figyelembe vehetünk a hatóperemek vizsgálatakor, vagy a földtani értelmezés során.

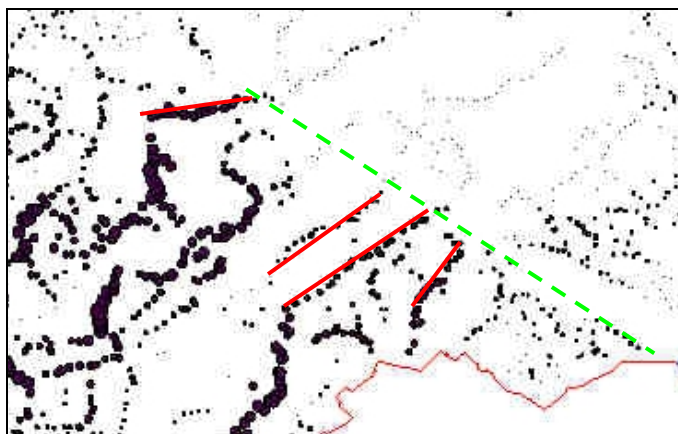
Ezek a következők:

- a gradiens maximumok elhelyezkedésének és attribútumainak jellegzetességei
- Különböző hatások átfedése (11. ábra);



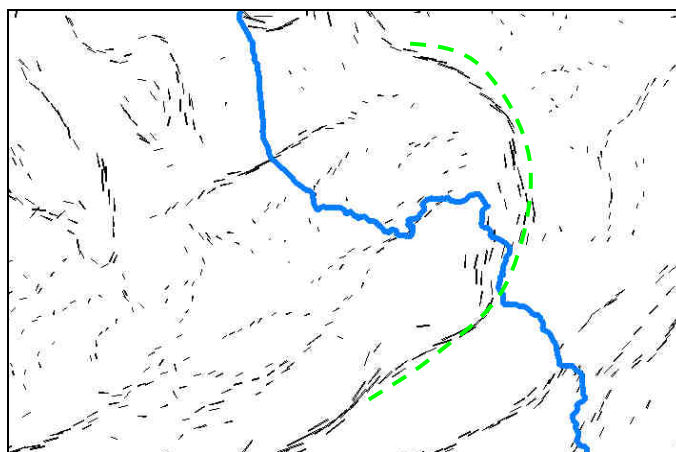
11. ábra: A nagyobb hatás (piros vonal) elnyomja a kicsit (zöld szaggatott vonal)

- hatóperemek megszakadnak, elvégződnek vagy az amplitúdó megváltozik egy határvonal (zöld) után (12. ábra);



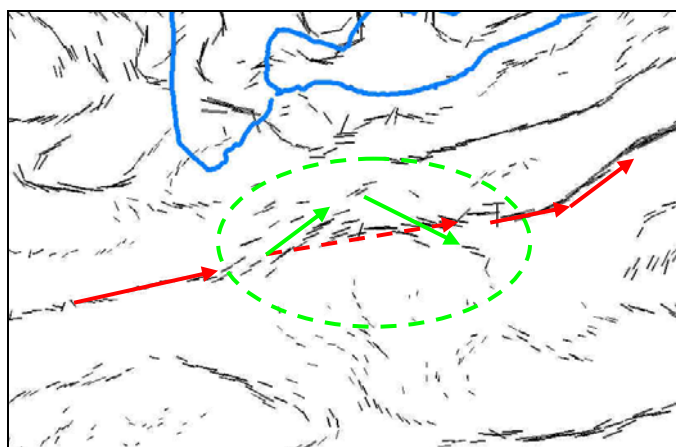
12. ábra: A hatóperemek megszűnnek, gyengülnek egy vonal után

- a gradiens irányítottsága folyamatosan változik (13. ábra);



13. ábra: Elkanyarodik a hatóperem, iránnyal együtt

- a gradiens irányítottsága hirtelen megváltozik, az irányok rendezettsége felborul (14. ábra);

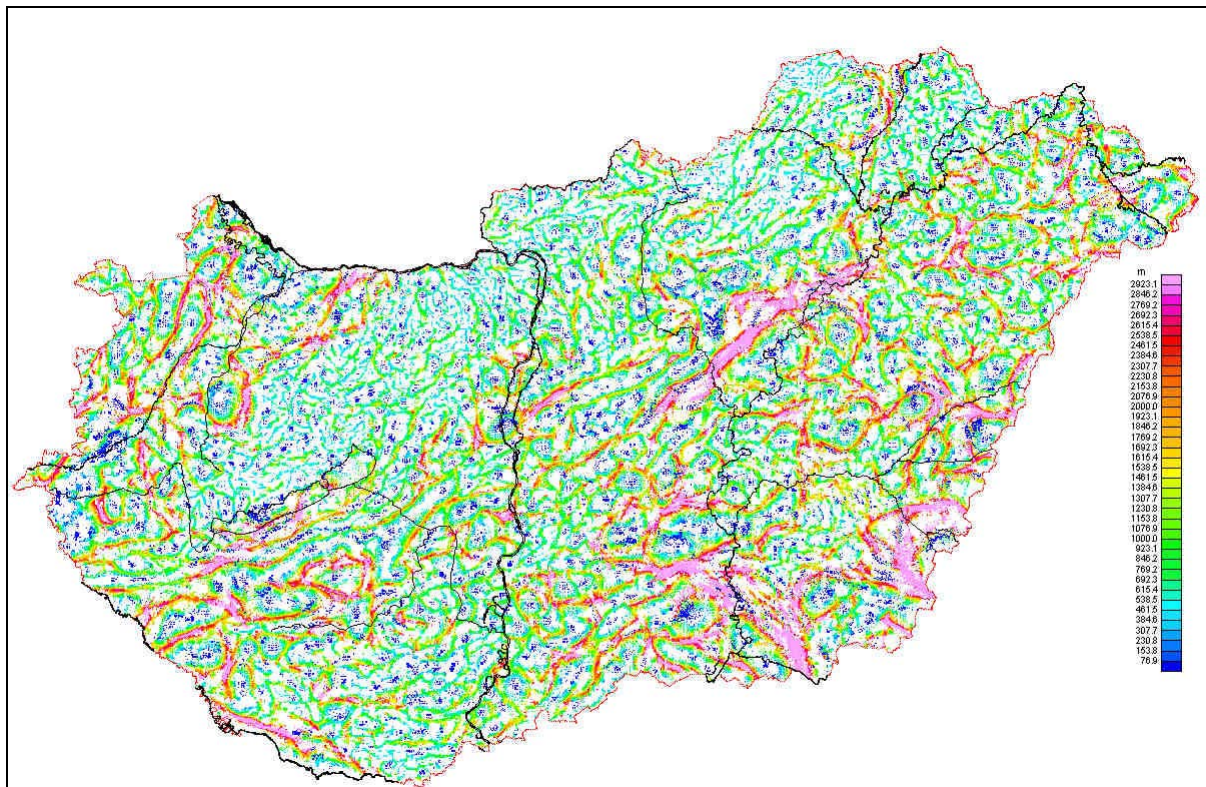


14. ábra: A hatóperem folyamatos, de a gradiens iránya változik

Euler 3D eljárás

Az Euler egyenletek alapján Thompson (1982) dolgozta ki az Euler dekonvolúció módszerét, amikor a gravitációs tér és azok deriváltjának vizsgálatából következtet a hatóperem helyzetére és a mélységére. A feldolgozás során lehetőség van a ható geometriája (strukturális index) alapján leszűkíteni a megoldásokat.

A feldolgozásokat rácsba interpolált adatokon végezzük, az eredmény természetesen a kiindulási adatrendszerétől is függ. Minél nagyobb a rács mérete, annál nagyobb lesz a mátrix mérete, ami a feldolgozás elvégzéséhez szükséges. A bemutatott eredményeket az 500 m-es rácsba interpolált adatokból kaptuk, eltérő 3-, 5-, és 7-es mátrix méretek mellett a dájk, vagy szalag modell esetében. A szerkezeti vonalak mentén jól látható az uralkodó szín és a színskála alapján a legvalószínűbb mélység. A színskálát úgy állítottuk be, hogy a 2000 m-t meghaladó mélységben jelentkező domináns sűrűség változás esetén a hatóperem színe vörös-lila legyen.



15. ábra: Mélység-meghatározás az Euler 3D feldolgozásból
(megengedett — legnagyobb mélységhiba 25%, — legnagyobb vízszintes eltávolodás 10 km)

A térképen az eltemetett helyzetben lévő alföldi, kistáplai, közép-dunántúli és Dráva-menti szerkezeti vonalak a nagyobb mélységet jelző vörös-lila színekkel jelentkeznek, szemben a kisebb mélységű vonalakkal.

Mélységi szűrések lehetőségei

A különböző mélységű hatások elkülönítését más módokon is elérhetjük. Lehetőséget ad erre a frekvenciaszűrés illetve az analitikus felfele folytatások és a maradék-anomáliaképzés is.

1. Frekvenciaszűrések:

A felüláteresztő (HIGHPASS) szűrők csak a nagyfrekvenciás (kis hullámhossz) részt engedik át, amit a felszínhez közeli hatások, változások jellemeznek.

Az aluláteresztő (LOWPASS) szűrők csak a kisfrekvenciás (nagy hullámhossz) részt engedik át, ami a mélybeli változásokat mutatja.

Sávszűrők (BANDPASS) alkalmazása adott frekvenciatartomány kiemelésére.

2. Analitikus folytatások:

A felfelé folytatásokkal a felszíni inhomogenitások hatását gyengítjük, illetve a maradék-anomáliaképzéssel éppen azokat emeljük ki.

3. Gradiens-képzés:

A felszínközeli hatások nagyobb amplitúdóval és változékonysággal jelentkeznek, mint a mélybeliek, mivel a mérőeszközhöz ezek vannak legközelebb. Ebből adódik, hogy egy derivált térkép mindig a felszínközeli jellegzetességet emeli ki.

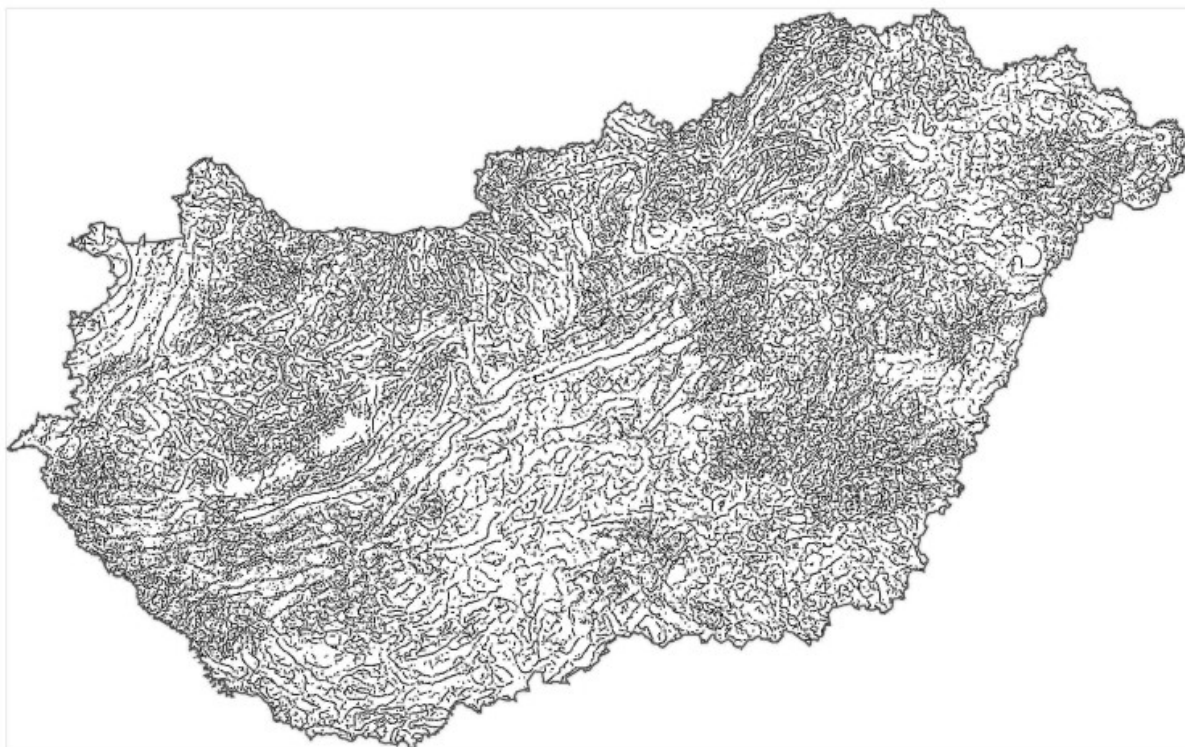
Mindhárom eljárás alkalmas arra, hogy a különböző mélységből érkező hatásokat kiemeljük, vagy éppen elnyomjuk s ezzel, a jelek egyfajta „mélységi szűrését” végezzük el.

A frekvenciaszűrés esetén az anomáliák térbeli hosszúsága alapján szelektálunk, ami a ható települési mélységétől függ elsősorban (1. függelék).

A frekvenciaszűrt térképből szerkesztett horizontális gradiens térképeken ugyanúgy elvégezhetjük a hatóperem kijelöléseket, mint az alaptérképen. Az eredmény-térképeken nyomon követhetjük a kis felszínközeli sűrűség-változásokat (highpass szűrés) és a regionális változásokat (lowpass szűrés). A felszínhez legközelebbi hatók esetében az amplitúdó nagysága is erősen befolyásolja a megjelenítést. A felszínközeli medencealjzat kibúvások környezetében koncentrálnak a hatóperemek, de csak a nagy gradiensű változások jelennek meg kontrasztosan, míg a kis amplitúdójú változások kevésbé feltűnően.

A regionális hatások esetében a hatóperemből már jobban kirajzolódnak a vonalas alakzatok. Az is megfigyelhető, hogy az amplitúdó nagysága sokkal kisebb változásdinamikát mutat ezeken a térképeken, mint a felszínközeli hatások esetében. Látszik, hogy a nagyfrekvenciás felszínközeli inhomogenitások sűrűségkontraszt-függő hatása már nincs jelen, csak egy adott mélységtartomány sokkal homogénebb változásai tükröződnek vissza.

A horizontális gradiens módszerrel kimutatott hatóperemek esetében az amplitúdó nagyságával végeztük a megjelenítést, de esetenként célszerű az azonos méretű szimbólumokat használni. Ezzel a megjelenítéssel jobban elkülöníthetők a vonalasan megjelenő hatóperemek a kaotikus pontrendszerektől, azaz a hasznos földtani információ a „zajtól”. A következő képek (16. ábra highpass szűrés esetében, és 17. ábra a lowpass szűrés esetében) ezt a fajta megjelenítést mutatják.



16. ábra: Hatóperemek a 20 km-nél kisebb hullámhosszúságú anomáliákból (azonos méretű szimbólumokkal)



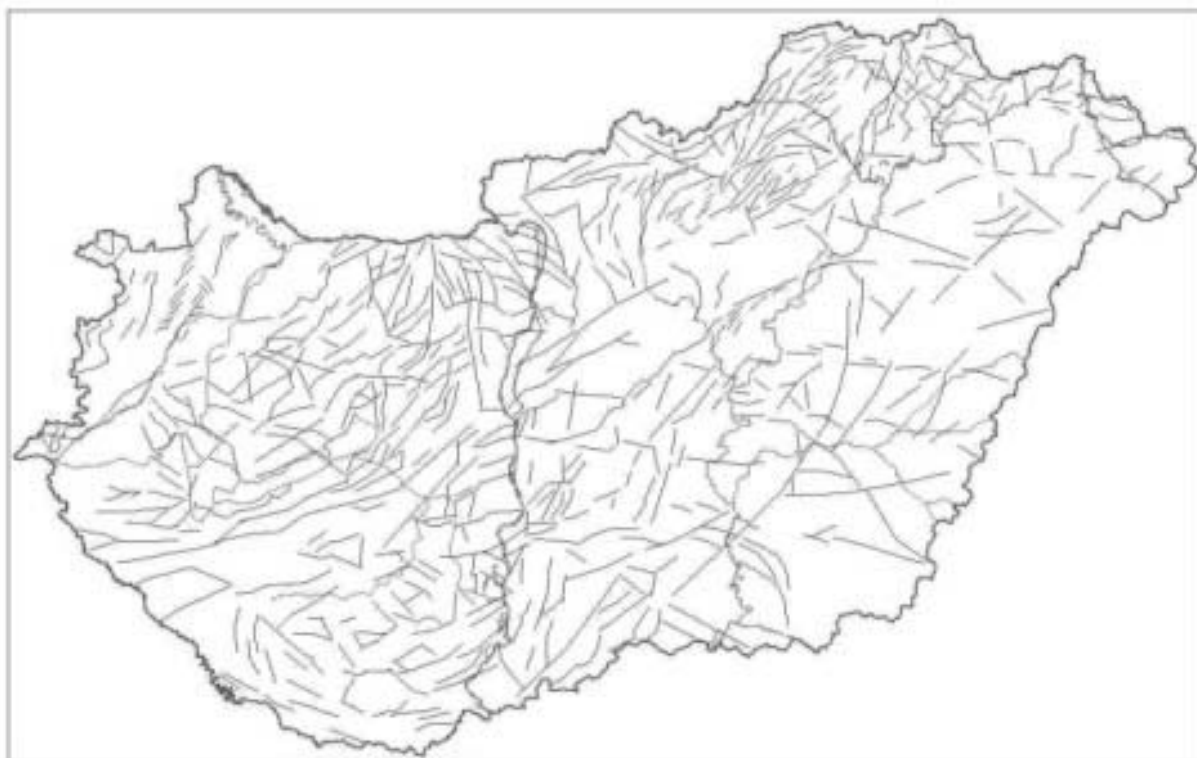
17. ábra: Hatóperemek az 5 km-nél nagyobb hullámhosszúságú anomáliákból (azonos méretű szimbólumokkal)

Az utolsó térképen (17. ábra) nagyon szépen elkülönülnek a sűrűségváltozások jellegzetes vonalas megjelenései. A szűrt térképek felhasználásával vizuális lineamens kijelölést is végezhetünk, a különböző szűrések eredményeként kapott vonalakat eltérő színnel megjelenítve a lineamensek egyfajta mélységi szelektálását érhetünk el.

A lineamensek

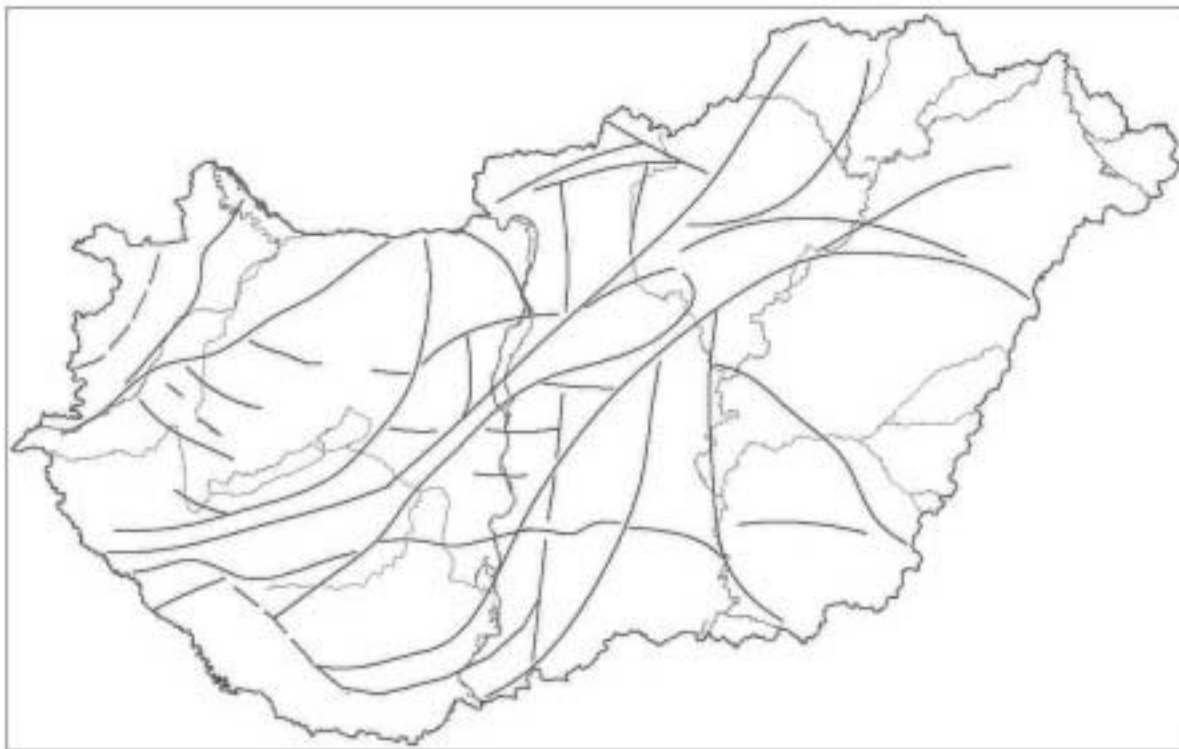
A szűrések, transzformációk, a felfelé folytatások eredményeként született térképek, valamint a hatóperem kijelölések óriási, nehezen áttekinthető adatrendszer eredményeztek. Számos vonalrendszer jelölhető ki. Az alábbi megoldás 18. ábra egy valószínű lineamens-rendszert mutat be.

Az összetett vonalrendszer generalizálásával áttekinthetőbb lineamens-hálózatot is szerkesztettünk (19. ábra).

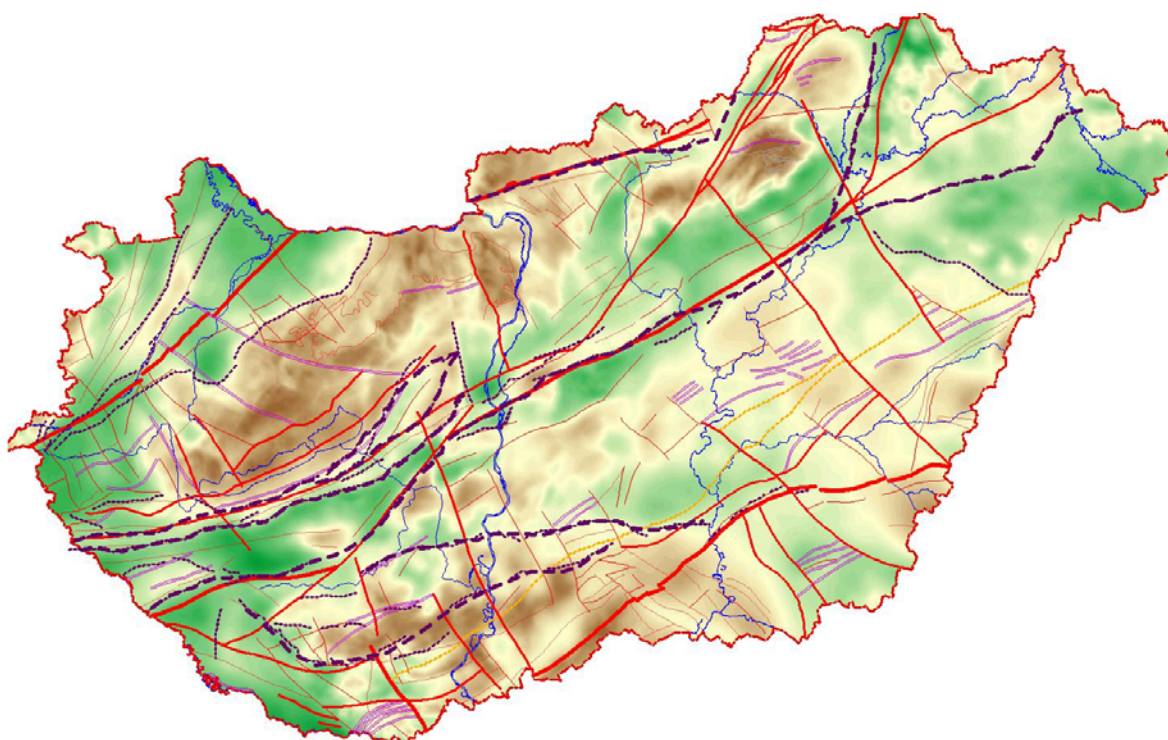


18. ábra: Magyarország gravitációs lineamensei

A kijelölés természetesen szubjektív. Számos megoldás elképzelhető. Egy másik értelmezés során a földtani szerkezeti egységek között kijelölhető, legmarkánsabbnak tekintett lineamenseket (fekete szaggatott, illetve pontozott vonal) jelöltük ki az ismert földtani szerkezet vonalainak (piros folytonos vonal) környezetében (18. ábra). A Magyar Állami Földtani Intézet által 1990-ben kiadott Magyarország Szerkezetföldtani Térképe került felhasználásra.



19. ábra: Magyarország összevont gravitációs lineamensei



20. ábra: Válogatott lineamensek (fekete szaggatott vonal) és a földtani szerkezeti vonalak (piros folytonos vonal)

Az ismert földtani szerkezeti vonalak és a gravitációs lineamensok között elvégzett tételes összevetés alapján az alábbi megállapításokat tesszük:

- A lineamensok és a szerkezeti vonalak között van összefüggés;
- Az összefüggés a nagy aljzatrelief változással jellemezhető vonalak felett egyértelmű;
- Az eltemetett területeken a lineamensok inkább az aljzatszint változásával, mint az aljzat belüli szerkezeti változással van összefüggésben;
- A nagy amplitúdójú fiatal normál vetők éles folyamatos lineamensként jelentkeznek — Váli-törés, Zagyva-árok, Szalatkai vonal, az oldaleltolódások szakaszosan — különböző szakaszokon eltérő aljzatrelief kontraszt lehet;
- Fiatal, feltolódást eredményező mozgások éles folyamatos vonallal (Mecsek-alja zóna, Bakócai törés);
- Az összefüggés kb. 2500 m mélységtartományig érvényes;
- Aljzat belüli határok leképezése a pontos aljzatmorfológia felhasználásával — a hatásának korrekcióba vételével lehetséges;
- Nagy mélységdinamika esetén AGC korrekció, vagy egyéb szűrés alkalmazandó;
- Nagyfokú oldalelmozdulás — feltételezve, hogy ez együtt jár jelentős és változatos aljzatszintkülönbséggel — szakaszokból előálló lineamens alapján várható (pl. Kapos-vonal, Közép-magyarországi vonal);

Meggyőződésünk, hogy eredményeink számos más kutatási témának (szerkezetföldtan, botanika, hidrogeológia) szolgálnak földtanilag hasznos információt és az OTKA keretén belül végzett módszertani kutatásaink újabb kutatási célokat generálnak.

Hivatkozások

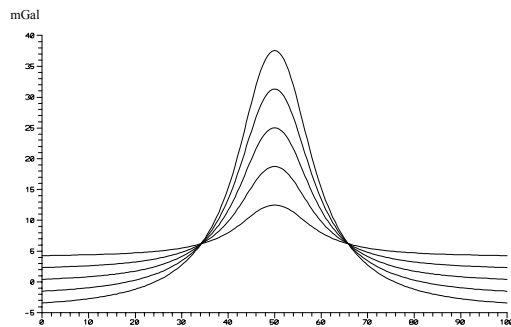
1. BLAKELY R.J., SMPSON R.W. 1986: Approximating edges of source bodies from magnetic or gravity anomalies, *Geophysics*, Vol. 51, P. 1494–1498
2. CORDELL, L., 1979: Gravimetric expression of graben faulting in Santa Fe Country and the Espanola Basin, New Mexico, *New Mexico Geol. Soc. Guidebook*, 30th Field Con., p. 59–64.
3. HORVÁTH F. 2004: A Pannon-medence földtani-geofizikai modellje, *Magyar Geofizika*, 45. évfolyam különszám, 102–107. old.
4. KISS J., GULYÁS Á. 2005: Magyarország gravitációs Bouguer-anomália térképe. M=1:500 000-es nyomtatott térképe, ELGI kiadvány
5. KISS J. 2006: Magyarország gravitációs Bouguer-anomália térképe, *Geophysical Transactions*, Vol. 45. No.2. pp. 99–10
6. KISS J.: Magyarország gravitációs lineamens térképe — első eredmények, *Magyar geofizika*, 2006. 47. évfolyam, 2. szám, 1001–1010 old.
7. KOVÁCSVÖLGYI S. 1994/B: A Békési medence gravitációs és földmágneses anomáliáinak értelmezése az újabb ismeretek tükrében, *Magyar Geofizika*, 35. évfolyam, 2. szám, 90–94. old.
8. KOVÁCSVÖLGYI S. 1995: DK-Magyarország gravitációs és földmágneses anomáliáinak értelmezése, *Magyar Geofizika*, 36. évfolyam, 3. szám, 198–202. old
9. KOVÁCSVÖLGYI S. 2005: Kelet-magyarországi területek felszíni erőtér-geofizikai adatainak statisztikai vizsgálata, *Geophysical Transactions*, Vol. 45. No. 2. 39–64 old.
10. MÉSZÁROS F., ZILAHÍ-SEBES L. 2001: Nagyvastagságú üledékek kompaktiója a Pannon-medencében, *Geophysical Transactions*, Vol. 44. No. 1. 21–48. old.

11. O'LEARY D.W. (1977): Remote Sensor Applications to Tectonism and Seismicity in the Northern Part of Mississippi Embayment, *Geophysics*, VOL. 42. NO. 3 pp. 542–548
12. THOMPSON, D.T., 1982, EULDPH: A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data
Geophysics, v.47, p.31–37.
13. SZABÓ Z., PÁNCSICS Z. 1999: Kőzetsűrűségek a Pannon-medence magyarországi részén, *Geophysical Transactions*, Vol. 42. No. 1–2. 5–28. old.
14. S. WYBRANIEC, M. BIELIK, B. MEURERS, J. ŠVANCARA, K. KLOSKA, D. RUESS, V. SZALAIÓVÁ, J. ŠEFARA, T. GRAND, R. PAŠTEKA, J. VOZÁR, CZ. KRÓLIKOWSKI, Z. PETECKI, O. POLECHONSKA, 2005: Gravity map of Central Europe — CELEBRATION 2000 area, EGU, General Assembly Vienna, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 7, 01556,

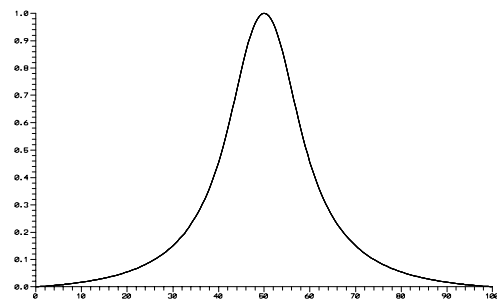
1. függelék: Az anomáliák spektrális jellegét befolyásoló tényezők vizsgálata

A különféle hatók felett kialakuló anomáliák formája — hullámhossza — két fő paramétertől függ. Az első a fizikai tulajdonság (sűrűség, szuszceptibilitás), a másik a geometria. Amíg a fizikai tulajdonság egy változóval jellemezhető, addig a geometria a ható méretével és a mélységével írható le. Egy ható (szabályos geometriájú test) felett kialakuló anomália hullámhosszúságának vizsgálatakor foglalkoznunk kell az adott fizikai tulajdonság hatásával, valamint a települési mélység és a test méretéből származó hatások vizsgálatával.

- Mitől függ az anomália hullámhossza (sűrűségkontrasztól, vagy a mélységtől)?
Egy szabályos geometriájú test gravitációs terét különböző sűrűségértékekre kiszámítva az eredményeket összevetve azt tapasztaljuk, hogy az anomáliák hullámhossza független a sűrűségtől, csak az amplitúdó értéke változik a különböző sűrűségek esetén. Az anomáliákat normálva (a maximális amplitúdó értékét mindig 1-nek véve), a görbék fedésben találjuk, azaz pontosan ugyanolyan hullámhosszúságú anomáliát adott minden egyes sűrűség esetén — azaz az anomália hullámhossza független a sűrűségtől.



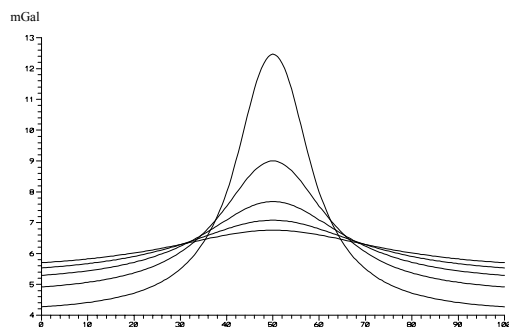
21. ábra: Eltérő sűrűségkontraszt mellett kialakuló anomália-görbék



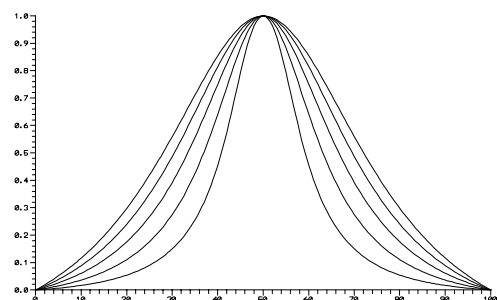
22. ábra: Eltérő sűrűségkontraszt mellett kialakuló anomália-görbék, normálás után — a görbék fedésben vannak

A 21. ábra mutatja a különböző sűrűségű hatóra kiszámolt gravitációs anomália görbékét, az amplitúdó normálás után viszont csak „egy” görbe látszik — a többi fedésben van, mivel ugyanolyan hullámhosszúságú (22. ábra). Megállapítható, hogy a sűrűség nincs hatással a kialakult anomália hullámhosszára.

Vizsgáljuk meg, hogy a mélység milyen hatással van egy konstans sűrűséggel rendelkező test gravitációs terére. Ha a modellt folyamatosan egyre nagyobb mélységben helyezve a kapott anomáliákat összevetjük, akkor nyilvánvalóvá válik, hogy a mélység az, ami az anomáliák hullámhosszát meghatározza.



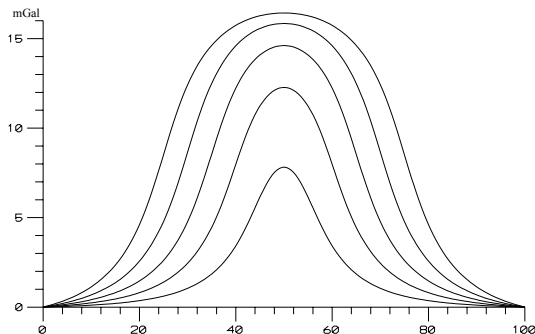
23. ábra: Eltérő mélység mellett kialakuló anomália-görbék



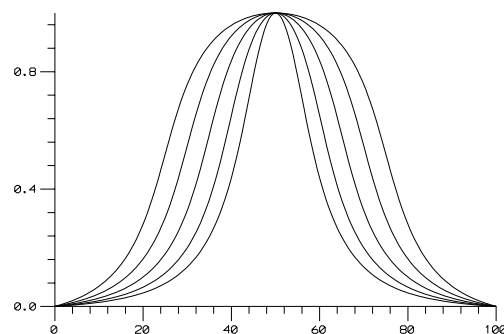
24. ábra: Eltérő mélység mellett kialakuló anomália-görbék normálás után

A. 23. ábra a különböző mélységben elhelyezkedő testek gravitációs hatását, míg a 24. ábra a görbék normálás után mutatja. Jól látható, hogy az eltérő mélységből származó görbék hullámhosszúsága változik, minél mélyebbről jön a hatás, annál szélesebb az anomáliagörbe.

A frekvenciaszűrés eredményének megértéséhez már csak egyetlen dolgot kell tisztáznunk, hogy elképzelhető-e olyan ekvivalens modell, ahol a ható mindhárom paraméterében (mélység, méret és sűrűség) megváltozva ugyanazt az anomáliagörbét írja le, mint az eredeti modell. Amennyiben ezt a lehetőséget ki tudjuk zárni, a megoldás egyértelművé válik. Az előző megoldásokból láthatjuk, hogy azonos hatóméret esetén csak a mélység határozza meg az anomália hullámhosszát. Ha a horizontális méret változik, akkor az anomáliák amplitúdója és hullámhosszúsága is megváltozik (25. ábra). Normálva a görbék a hullámhosszúság egymáshoz viszonyított aránya jobban láthatóvá válik (26. ábra).

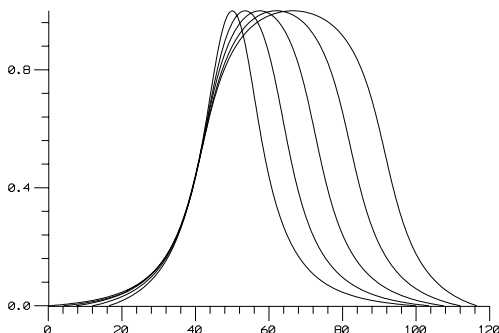


25. ábra: Eltérő méretek mellett kialakuló anomália-görbék

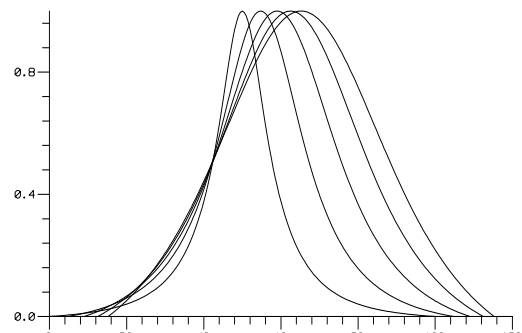


26. ábra: Eltérő méretek mellett kialakuló anomália-görbék, normálás után

Elcsúsztatva a normált görbék a horizontális tengely mentén, azonos fél-amplitúdó értékig akkor láthatjuk, hogy az azonos mélységű, eltérő szélességű modellek esetén (25. ábra, 26. ábra) az összetolt száraz legalább 50%-ban (0,25–0,75 értéktartományban) fedésben vannak, azaz az anomáliák hasonló hullámhosszúságúnak tekinthetők (27. ábra).

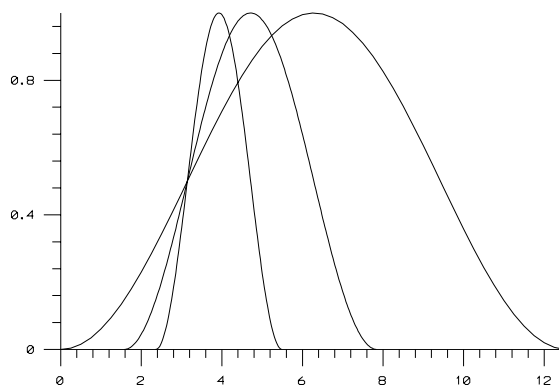


27. ábra: Fél-amplitúdónál egymásba csúsztatott görbék eltérő vízszintes méretek esetén



28. ábra: Fél-amplitúdónál egymásba csúsztatott görbék eltérő mélységek esetén

Abban az esetben, amikor a ható mélységét változtattuk (23. ábra és 24. ábra), a fél-amplitúdó értékénél egymásba csúsztatott görbék eltérőek lesznek (28. ábra) — gyakorlatilag nincs közös szakasz, csak közös érték, a 0,5-es értéknél. Ha megnézzük a különböző hullám-hosszúságú szinusz jeleket, amelyeket a fél-amplitúdónál egymásba csúsztattunk (29. ábra), akkor a hasonlóság egyértelmű. Vegyük észre a görbék legyezőszerű szétválását, amit a 28. ábra is láthatunk, fél-amplitúdó magasságban.



29. ábra: Fél-amplitúdónál egymásba csúsztatott különböző hullámhosszúságú szinusz hullámok

A vizsgálatok azt mutatják, hogy a gravitációs anomáliatér spektrális jellegét alapvetően a hatók mélysége határozza meg. Az egymásra szuperponálódó terek miatt a testek mérete, változatos geometriája is okozhat változásokat, amelyek a spektrális jellegét is befolyásolhatják, ezek azonban véletlenszerűek. Az egyszerű geometriájú hatókon elvégzett vizsgálatok alapján azt mondhatjuk, hogy az adatok spektrális jellegét elsődlegesen a hatók mélysége határozza meg.

Az elkészült frekvencia-szűrt gravitációs térképek spektrális mélysége alapján is tesztelhetjük az eredményeket. A különböző „highpass” szűrésekből kapott térképek behatolási mélysége elvileg ugyanezt a függést mutatja. Ennek megfelelően a szűrt térképekből kapott hatóperemek egy adott mélységtartomány változásait tükrözik vissza.

A Fourier-transzformáció alapú frekvenciaszűrés során a szinuszos jel interferenciájából származó torzulások nem szűrhetőek ki.