

Az anomális elektromágneses térösszetevők inverziós szempontú elemzése¹

TAKÁCS ERNŐ²

A laterális földtani változások határvonalának felderítéséhez, az elektromágneses tér anomális komponensei kedvező sajátosságúak. Ez a tény különösen akkor használható ki, ha a tér forrásának primer térerősségében hiányzik valamilyik összetevő és a megfelelő anomális komponens közvetlenül mérhető. Emiatt ezen határvonalak indikálásának lehetőségén túlélve érdemes az anomális összetevők inverziójával foglalkozni, ami forrásuk — a hozzájuk kötődő elektromos töltések, illetve dipólusok — felszín alatti eloszlásának meghatározását jelenti.

A tanulmány egyrészt azt vizsgálja, hogy a töltéseknek és dipólusoknak milyen eltérő sajátosságai vannak az anomális elektromos és mágneses komponensek létrehozásában. Másrészt szimulált adatokon teszteli PATELLÁNAK [1997] eredetileg a természetes potenciál adatok inverziójára kidolgozott eljárását.

E. TAKÁCS: Analysis of the anomalous electromagnetic field components in view of their inversion

The secondary components of the electromagnetic field are highly informative in the mapping of lateral changes of the geological setting. They can be used especially in the case, when some components are absent in the primary field of the source and the anomalous — secondary part — of the field can be measured directly. Consequently it is worth — besides the possibility of the indication — to be concerned in the inversion of the secondary components, which means in the determination of the subsurface charge-, especially dipole-distribution connected to the inhomogeneities.

The paper examines on the one hand the peculiarities the charges and dipoles have in the creation of the secondary components, on the other hand tests by simulated data PATELLA's procedure [1997] elaborated originally to the inversion of SP data.

Bevezetés

A földtani inhomogenitásoktól származó anomális — szekunder — térerősség-komponensek az elektromágneses tér forrásától csak meglehetősen nagy távolságra képesek érzékelhető mértékben módosítani a náluk lényegesen nagyobb értékű primer — az inhomogenitás nélküli esetben mérhető — térerősséget. A nagymélységű kutatásnál emiatt jelentős adó-vevő távolságra van szükség. Más a helyzet akkor, ha az adó primer térerősségének hiányzik valamilyik komponense. Ilyenkor a kis értékű anomális összetevő önmagában mérhető és így az adó közvetlen közelében is képes a nagy mélységben levő inhomogenitások indikálására [TAKÁCS, HURSÁN 2000]. Emiatt érdemes a szekunder komponensek inverziójával foglalkozni.

Tanulmányomban egy — az anomális összetevők szempontjából sajátosságoknak mondható — elektromágneses módszer példáján egy gondolatmenetet szeretnék vázolni. Ebben az anomális összetevők létrejöttét és sajátosságait elemezve vázolólok fel az anomális komponensek értelmezésében figyelembe veendő tényeket és inverziójuk egy lehetséges változatát.

A kiválasztott metodika a béléscsővel és körülötte kis távolságra — 10–100 m-re — körkörös földelt elektródákkal végzett geometriai, vagy frekvenciaszondázás. Megalapozása 1990-től a 2383 sz. OTKA téma keretében történt, majd a MOL támogatásával kísérleti mérések is folytak [TAKÁCS et al. 2001, TAKÁCS et al. 1995]. Meg kell azonban jegyezni, hogy a béléscső helyett egy központi

felszíni elektróda is használható, ahogyan azt az említett teljesen azonos alapelvű, körkörös elhelyezett elektromos dipólusokkal végzett tranziensszondázás teszi [MOGILATOV, BALASKOV 1996].

A vizsgálat tárgyául választott módszer azért kedvező az anomális komponensek szempontjából, mert primer térerősségének forrása vertikális elektromos dipólusok — VED — sorozatának vehető. Ebből következően ennek a forrásnak a felszínen csak radiális irányú elektromos —ER — primer térerőssége van. A sugárirányú mérési szelvényre merőleges tangenciális elektromos összetevőt — EFI —, valamint a radiális, tangenciális és vertikális mágneses összetevőt — HR, HFI, HZ — tisztán a felszín alatti inhomogenitások hozzák létre [TAKÁCS 1995]. A primer tér árameloszlása a hagyományos forrásokéhoz képest lényegesen kisebb térfogatban koncentrálódik és így különösen alkalmas a lokális 3-D-s, blokkos szerkezetek kutatására. A béléscső-elektroda felszín alatti árambevezetése miatt adott adó-vevő távolságoknál nagyobb mélységből kaphatunk információt, mint más mesterséges áramterű szondázásnál. A VED jelleggel azonban az is együtt jár, hogy indikációi a megszokottakhoz képest más jellegűek.

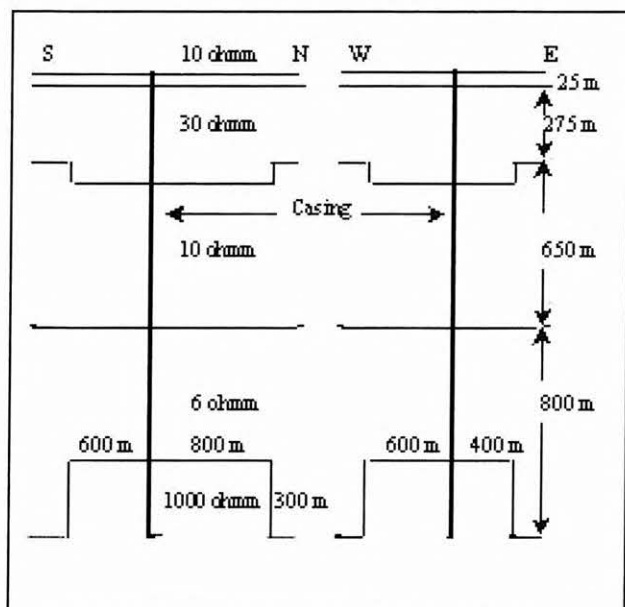
1. Az anomális komponensek létrejötté és sajátosságai

A következőkben többször szerepel majd egy modell, amit vizsgálataimban a direkt feladat megoldásánál használtam (1. ábra). A laterális inhomogenitások É–D irányban megnyúlt téglalaktak. Az alsó a medencealjzat felboltozódása — magassága 300 m, szélessége 1000, hosszúsága 1400 m — és fedőlapja 1450 m mélységben van. A felső — fedésben az alsóval — egy felszínhez közelebbi réteg lefelé

¹ Beérkezett: 2002. augusztus 6-án

² Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszék, H-3515 Miskolc, Egyetemváros

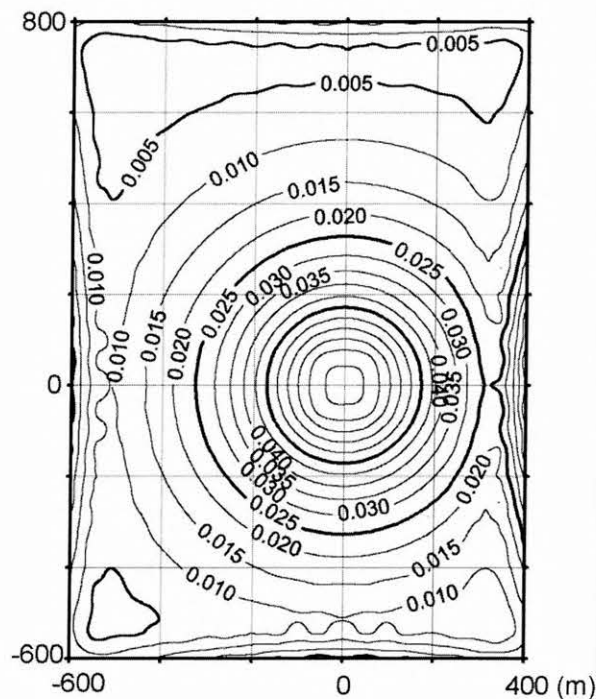
történő kivastagodása a 300–350 m mélységtartományban. A béléscső aszimmetrikusan harántolja mindkettőt.



1. ábra. A béléscsővel harántolt laterális inhomogenitások modelljének oldalnézeti vetületei

Fig. 1. Side view of the 3D inhomogeneity model penetrated by the casing

Nézzük meg először, hogy hogyan alakul ki és milyen az alsó inhomogenitás hatása a felszíni térerősség-komponensekre. A béléscső árama az alsó téglatest felszínén elektromos töltéseket halmoz fel a 2. ábra szerinti eloszlásban.

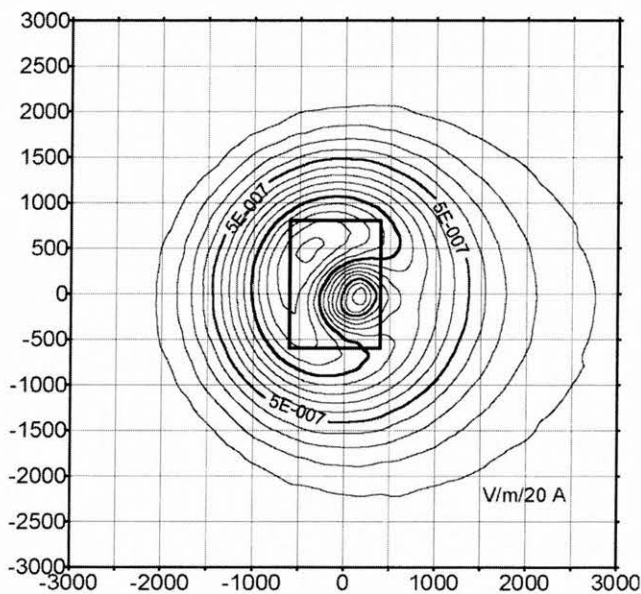


2. ábra. „Áramerősség” eloszlás az 1. ábra alsó inhomogenitásának felső és oldalsó lapjain

Fig. 2. “Current intensity” distribution on the upper and side faces of the lower inhomogeneity in Fig. 1

Az ábrán egy síkba hozva szerepelnek a fedő és az oldalsó lapok töltései. Ezek pontforrások sokaságaként hozták létre a felszínen az anomális — az inhomogenitástól eredő — elektromos térerősség-összetevőket. Az oldallapokon a töltéseloszlás maximuma a csőhöz legközelebbi pontban alakul ki. A felső és alsó lapokon a béléscsőnél nagy a töltés-felhalmozódás. Viszont előjelük alul és felül ellentétes és így egymás ellen hatva — különösen szimmetrikus feltöltődésnél — nagymértékben csökkenthetik e lapok hatását.

Az aljzat felboltozódásából eredő anomális radiális elektromos összetevő — 3. ábra — nagyon kedvező sajátosságú, mert szélső értékeinek kontúrja meglehetősen jól követi az inhomogenitást. Önmagában azonban nem mérhető és csak a mért értékből a feltételezett primer térerősséget levonva származtatható. Az anomális és a primer radiális térerősség összegéből — amit valójában mérünk — levezetett látszólagos fajlagos ellenállás eloszlása viszont már a 4. ábra szerinti lesz. A „forrás” VED jellegéből adódóan a nagy ellenállású aljzat egy bizonyos távolságig csökkenti a látszólagos fajlagos ellenállást. A környezeténél mintegy 3%-kal kisebb értékű sáv már távolabbról kíséri a hatót és a kép nagy területen aszimmetrikussá válik.

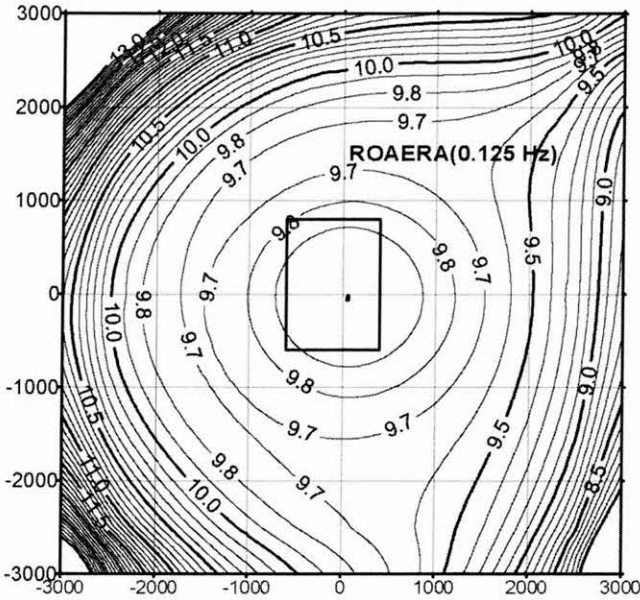


3. ábra. Az alsó inhomogenitástól származó anomális radiális elektromos összetevő felszíni izovonalai

Fig. 3. Contour map of the anomalous radial electric component caused by the lower inhomogeneity

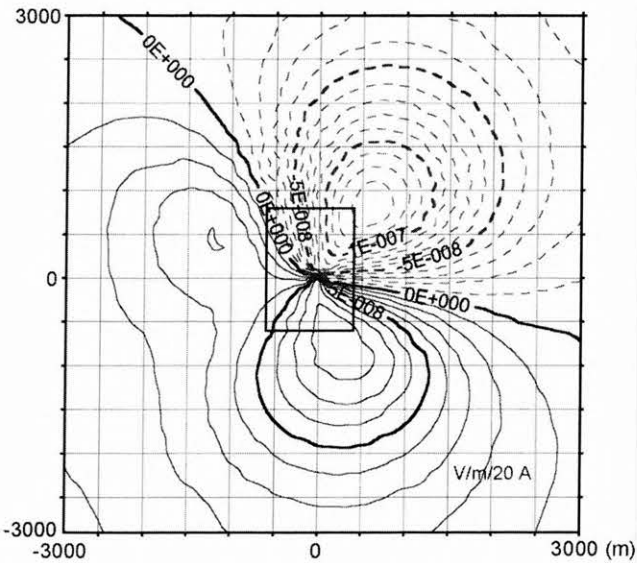
A tangenciális — a szelvényre merőleges — elektromos összetevő a töltéseloszlásnak a mérési pont rádiusvektorára vonatkozó aszimmetriájával arányos (5. ábra). Területi eloszlásának olyan a képe, mintha görbült tengelyű, nulla-értékű sávban elhelyezkedő bipólusok alakítanák ki. K-en ez a tengely majdnem merőleges az oldallapra. A szélső értékek helye is erre toldott el, mintegy kijelölve a K-i oldallapot. Az inhomogenitás fedő- és alaplapjai töltéseloszlásuk elterésétől függően kisebb mértékben járulnak hozzá a tangenciális elektromos összetevő kialakításához. Az éles minimumzóna — ahonnan nézve a töltéseloszlásban nincs aszimmetria — markáns indikátora a béléscsőhöz

közeli lineamentumoknak. Fel kell hívni a figyelmet arra, hogy ez az összetevő laterális inhomogenitás nélkül nem létezne. Forrása ugyanis kizárólag maga a mélybeli inhomogenitás. Emiatt, ha a mélybeli szinteken megfelelő áramsűrűség biztosítható, az adó-vevő távolságtól függetlenül — még a béléscső közvetlen közelében is — nagy mélységből detektálható.



4. ábra. Az alsó inhomogenitás hatása a radiális elektromos összetevőből számított látszólagos fajlagos ellenállás izovonalaira

Fig. 4. Effect of the lower inhomogeneity to the apparent resistivity contour map calculated from the radial electric amplitude

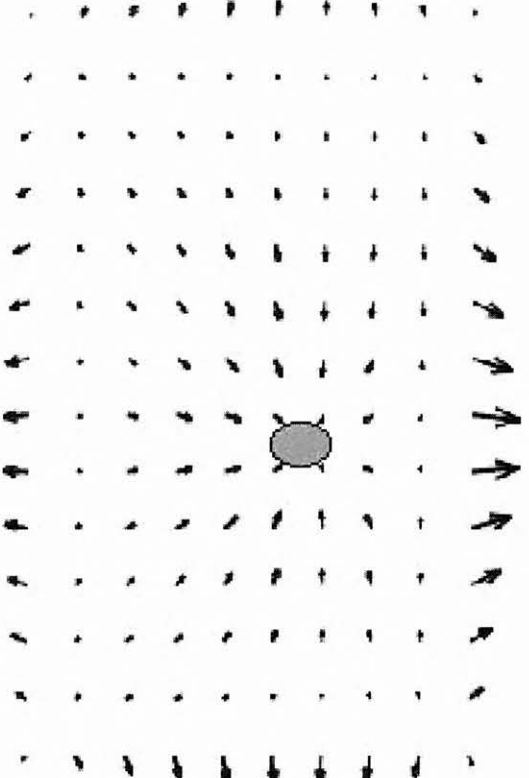


5. ábra. Az alsó inhomogenitástól származó tangenciális elektromos összetevő felszíni izovonalai

Fig. 5. Contour map of the tangential electric amplitude caused by the lower inhomogeneity

Az anomális mágneses összetevőket azok az inhomogenitáson belüli áramok hozzák létre, amelyek a töltések fenntartásához szükségesek. Az alsó és a fedőlap töltéseihez tartozó áramnak aszimmetrikus feltöltődés mellett

vertikális és horizontális összetevője is van. A vertikális áramnak azonban nincs a felszínen mágneses tere. Így a felszíni mágneses térerősségben csak a vízszintes áramoknak — azaz az általuk alkotott, inhomogenitáson belüli horizontális, változó irányú elektromos dipólusoknak — a hatása jelenik meg. Az 6. ábrán ezen vízszintes elektromos dipólusok momentumának eloszlását mutatom be az inhomogenitás belsejében. A nyilak hossza arányos az első inhomogenitás 100 m x 100 m alapú hasábjában kialakuló momentummal. A hozzájuk tartozó egyes felszíni mágneses komponensek eredője a komponens egyedi jellege szerint kötődik ahhoz az eredő áramsávhoz, ami a tangenciális elektromos összetevő minimumában kirajzolódott. Jól mutatja ezt példaképpen a vertikális mágneses térerősség területi eloszlása (7. ábra).



stack (N, M)

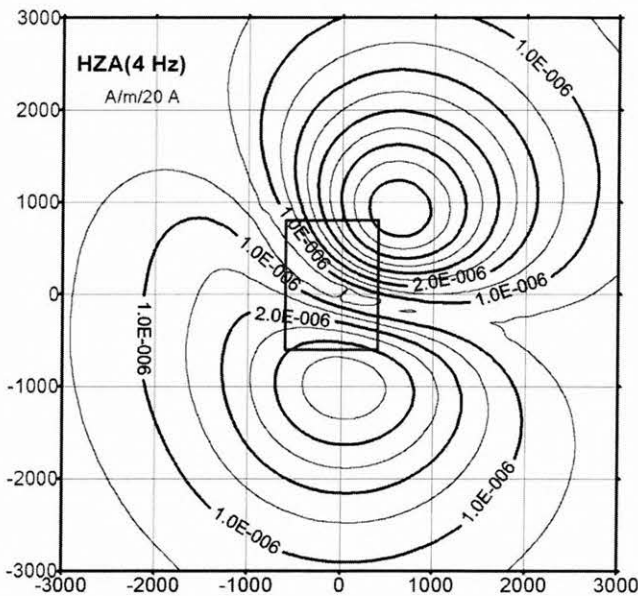
6. ábra. A térfogat-elemenkénti vízszintes elektromos dipólusok momentumainak eloszlása az alsó inhomogenitáson belül

Fig. 6. Momentum distribution of the horizontal electric dipoles inside the volume elements of the lower inhomogeneity

2. A felszín alatti horizontális elektromos dipólus szerepe az anomális térerősségek inverziójában

Az eddigiekből az következik — és nemcsak erre a módszerre vonatkozóan —, hogy az anomális komponensek inverziójával

- az elektromos összetevőnél az inhomogenitás felületén eloszló töltések vagy az inhomogenitáson belüli vízszintes és függőleges elektromos dipólusok helyét,
- a mágneses összetevőknél pedig a hozzájuk kötődő vízszintes elektromos dipólusok helyét kell keresnünk.



7. ábra. Az alsó inhomogenitástól származó vertikális mágneses összetevő felszíni izovonalai

Fig. 7. Contour map of the vertical magnetic amplitude caused by the lower inhomogeneity

A 2. és 6. ábrán látható, hogy a hasáb alakú inhomogenitásoknál a töltések és a hozzájuk tartozó vízszintes áramdipólusok eloszlásában az oldalsó lapoknak a bélcsőhöz legközelebbi pontjában kialakuló maximumoknak van döntő szerepük. A megnyúltság növekedésével a közeli oldallapok töltésmaximumai válnak dominánssá és szinte egyetlen vízszintes dipólus térerősségének jellegzetességei fognak megjelenni.

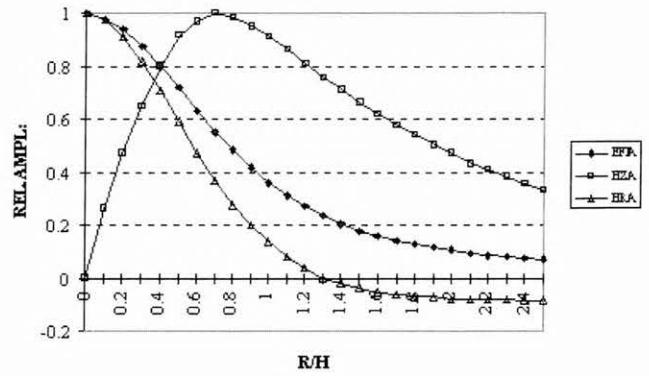
A fentiekből egyben az is következik, hogy az inverzióban az inhomogenitás átlagos mélységének megadása könnyebben megoldható, mint a teljes, zárt kontúr vonal meghatározása.

Tekintve, hogy a felszín alatti vízszintes elektromos dipólus az anomális komponensek kialakításában meghatározó, vizsgáljuk meg a felszíni térerősség összetevőinek sajátosságait.

A felszín alatti, homogén feltételekben levő, egyenáramú, horizontális elektromos dipólus térerősség-összetevőinek maximumokra normált görbéit a dipólus irányára merőleges szelvényen a 8. ábra mutatja a dipólus felszíni vetületétől mért távolság és a dipólus mélysége hányadosának függvényében. A jól kijelölhető karakterisztikus pontok — mint például a HZ komponens maximuma, a HR komponens nulla-átmenete, a félértékű helyek, de a görbék teljes menete is — a mágneses módszerhez hasonlóan alkalmas a mélység és a dipólus helyének becslésére. Tapasztalataim szerint az ilyen becslések egészen jó közelítésűek voltak.

Az inverzióban szükség van a föld alatti elektromos dipólus felszíni térerősségei direkt feladatának megoldására.

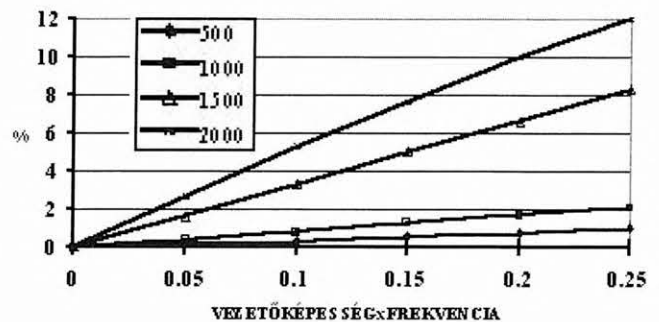
Egyenáramnál az anomális tér forrásainak — a mélyben kialakult töltéseknek és horizontális dipólusoknak — a térerősség-összetevői a homogén feltétel felszínére egyszerű képletekkel kaphatók. Az említett normálás után csak a geometriai adatok szerepelnek bennük.



8. ábra. A mélybeli horizontális elektromos dipólus tangenciális elektromos (EFI), radiális és vertikális mágneses (HR, HZ) térerősségének maximumokra normált értékei a felszíni, a dipólus irányára merőleges szelvényen a távolság és mélység hányadosának függvényében

Fig. 8. Normalised to their maximum amplitude curves of the tangential electric (EFI), radial and vertical magnetic (HR, HZ) components due to a buried electric dipole as a function of separation/depth quotient

Rétegzett feltér esetében az elektromos összetevő képlete már bonyolultabbá válik. Viszont a mágneses komponensek a kvázistacionárius tartományban függetlenek a rétegzettségétől. Így a homogén feltételek vonatkozó képletek a kisfrekvenciás tartományban — egy elfogadható felső határig — a rétegzett fedő esetében is alkalmazhatók maradnak. Megvizsgáltam például, hogy a vertikális mágneses komponensnél hogyan változik meg maximumának helye a fedőösszlet effektív vezetőképessége és a frekvencia szorzatának függvényében, aminek eredménye a 9. ábrán szerepel különböző mélységű dipólusokra. Látható például, hogy 1000 m-es dipólusmélységnél 2,5 Hz-en a maximum eltolódása 10%-on belül van. Egyébként elvileg korrekció is alkalmazható. Ugyanis a kis indukciószámok tartományában a fajlagos ellenállásra érzékeny fázisszögéből — például a HZ komponens maximumnál mért fázisából — levezethető a fedő effektív vezetőképessége is [TAKÁCS et al. 2000].



9. ábra. A különböző mélységű, egyenáramú, felszín alatti, vízszintes elektromos dipólus vertikális mágneses térerőssége maximumának eltolódása a frekvencia növekedése miatt a vezetőképesség és a frekvencia szorzatának függvényében

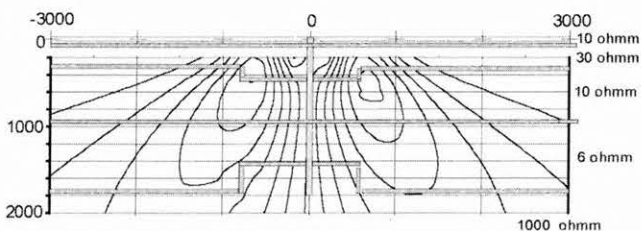
Fig. 9. Frequency-shift of the vertical magnetic amplitude maximum due to a buried, horizontal direct current dipole in different depths as a function of the conductivity x frequency product

3. Inverziós vizsgálatok PATELLA módszerével

Láttuk, hogy az anomális térerősség-összetevők inverziójának feladata a mélybeli elektromos felületi töltések, illetve horizontális dipólusok eloszlásának valamilyen rekonstrukciója. Azonos a feladata a mostanában ismét sűrűbben szereplő természetes potenciál anomáliák inverziójának. Analógia kereshető azonban a gravitációs és mágneses inverziós eljárásokkal is.

Kezdeti vizsgálataimhoz választásom egy, a PATELLA által publikált, a természetes potenciál, majd később az egyenáramú mérések 2-D, és 3-D-s inverziójára kidolgozott eljárására esett [PATELLA 1997, MAURIELLO et al. 1998]. Tapasztalatszerzés céljából először csak a szelvény menti módosulatót próbáltam ki és az ellenőrzés biztosítására a bemutatott modell szimulált adatait használtam. A kiválasztott szelvények az anomális térerősség-komponensek maximumain haladnak át.

PATELLA eljárásának az a lényege, hogy előzetes feltételezések nélkül a felszín alatti térrész változó mélységű síkjainak rácshálózatán egységnyi erősségű pontforrásokat, vagy egységnyi momentumú elektromos dipólusokat helyez el és ezek térerősségének számított adatsorát keresztkorrelálja a mért értékek adatsorával. A szelvény menti inverzió képletében — 10. ábra — x a mérési pont, x_q és z_q a feltételezett forrás helyének koordinátái, E_x a mért térerősség, I_x a forrás fajtájától és a mért térerősség-összetevőtől függően alakuló mintavételi függvény. Ez utóbbi csak a feltételezett forrás koordinátáit tartalmazza. A keresztkorrelációs függvény adatsorából a különböző forrásokhoz és térerősség komponensekhez tartozó, eltérő C normáló tényező figyelembevételével származtatható azután az egyes forráshelyzetekre a töltés, illetve a dipólus $\eta(x_q, z_q)$ előfordulási valószínűsége. Izovonalainak a szelvény menti inverzióanalízis függőleges metszeten, a 3-D-s inverzióanalízis az egyes mélybeli horizontális síkokon kirajzolódó, záródó szélső értékű helyei jelölik ki a töltés- vagy dipólus-felhalmozódás legvalószínűbb helyét.



$$\eta(x_q, h_q) := C \cdot \int_{-\infty}^{\infty} E_{xx}(x) \cdot I_{xx}(x - x_q, h_q) dx$$

$$C := \left[\int_{-\infty}^{\infty} [E_{xx}(x)]^2 dx \cdot \int_{-\infty}^{\infty} [I_{xx}(x - x_q, h_q)]^2 dx \right]^{-0.5}$$

10. ábra. Az anomális radiális elektromos térerősségből számított töltés-előfordulási valószínűség metszete az É-D-i szelvény alatt

Fig. 10. Charge occurrence probability section calculated from anomalous radial electric amplitude along the N-S profile

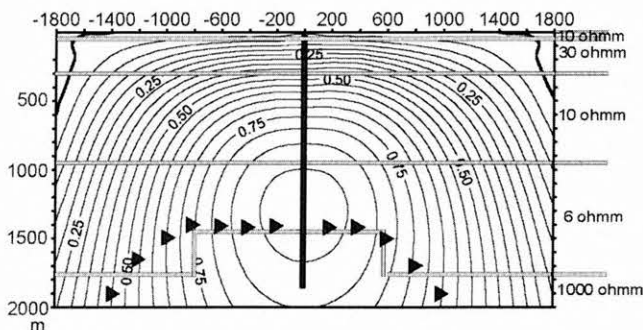
Első próbálkozásként az anomális radiális elektromos összetevőt invertáltam. A felső inhomogenitás oldallapjait a szélső értékek helye eléggé jól adja vissza (10. ábra). Az

alsó inhomogenitás megléte viszont csak az izovonalak megnyúltságából sejtethető. Ezen nem lehet csodálkozni, hiszen az elektromos összetevőben — különösen a kisebb távolságoknál — elenyésző az alsó inhomogenitástól származó jel a felső inhomogenitáshoz képest. Emellett ennél a komponensnél alapvető probléma még a terepi méréseknél a nagy értékű primer rész eltávolítása a mért értékből. Továbbá az is, hogy valójában rétegzett feltételre vonatkozó mintavételi függvényt kellene alkalmazni, amihez a rétegsor esetleg csak a mélyfúrás adataiból vehető fel.

Ezzel szemben a mágneses komponensekben várhatóan kedvezőbb a helyzet, mert

- nincs primer térerősség,
- a kisméretű tartományban az effektív fajlagos ellenállásnak — és így a rétegsornak — nincs szerepe, vagy mivel a fázisszögből levezethető, esetleg figyelembe is vehető,
- nagyobb az esély a mélyebb hatók indikálására, mert a mágneses komponensben kisebb a felszínhez közelebbi inhomogenitások hatása.

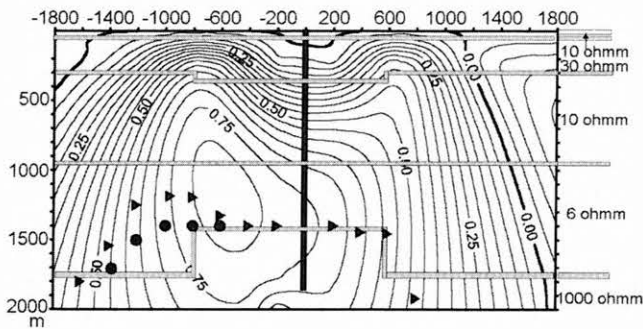
Példaként a vertikális mágneses összetevőt véve benne az aljzat felboltozódása a 11. ábrán látható formában jelenik meg. A nagy mélység miatt a kép meglehetősen simított, és a legnagyobb valószínűségű hely felfelé tolódva jelent meg. A háromszögek az egyes állomásokon az előfordulási valószínűség helyi maximumát jelölik.



11. ábra. A vertikális mágneses térerősségből számított dipólus-előfordulási valószínűség metszete az alsó inhomogenitás esetében a maximumon átmenő szelvény alatt

Fig 11. Horizontal electric dipole occurrence probability section calculated from the vertical magnetic amplitude due to the lower inhomogeneity along the profile through the maximum

A két inhomogenitás esetére vonatkozó eredmény — 12. ábra — annyiban biztató, hogy a kvázistacionárius geometriai szondázás eredményében külön-külön megjelent mindkét inhomogenitás indikációja. A felsőnél egy szűrés izolálná a kétoldali lokális szélső értéket. Alul a felfelé tolódás mértéke az előzővel azonosnak mondható, de hangsúlyozottabbá vált a K-i és Ny-i oldal aszimmetriája. Az inhomogenitás nagyobb kiterjedésének oldalán, ahol a térerősségek is nagyobbak — a negatív tengely mentén — a felső inhomogenitás jelentős torzulást okoz a valószínűség maximumainak helyzetében. A szelvény belső szakaszán — -600 és +600 m között, ahol különösen nagy a felső inhomogenitás hatása — kihagyva az értékeket a körökkel jelölt megfelelőbb eredmény adódott.



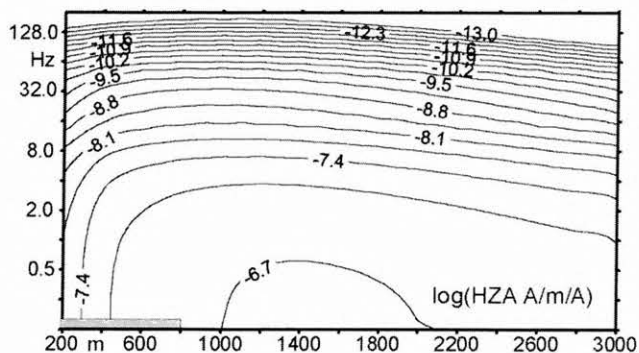
12. ábra. A vertikális mágneses térerősségből számított dipólus-előfordulási valószínűség a felső és alsó inhomogenitás esetére a maximumon átmenő szelvény alatt

Fig. 12. Horizontal electric dipole occurrence probability section calculated from the vertical magnetic component due to the upper and lower inhomogeneities along the profile through the maximum

Feltétlenül említeni kell, hogy a szelvény menti inverzió durva közelítésekkel dolgozik. Így a szelvény mérési pontjai alatt koncentrált, azonos irányítottaságú elemi dipólusokkal helyettesíti a valójában területi és a szelvényre aszimmetrikus eloszlású — ráadásul változó irányú — dipólusok sokaságát. Nem vonja be az inverzióba a szélső értékek és minimumsávok nagyon karakterisztikus területi alakulását. Emiatt mindenképpen indokolt a továbblépés a 3-D-s változat kipróbálása felé és nyilvánvalóan élni lehetne az inverziós kutatások gazdag tárházának más kínálatával is, beleértve a térerősség-komponensek együttes felhasználását.

4. Mérések a frekvenciatartományban

A tapasztalat szerint a Patella-féle és általában a geometriai szondázási adatok inverziójának megbízhatósága és felbontási képessége a kimutatandó inhomogenitások mélységével rohamosan romlik, amit az elkerülhetetlen zajok még fokoznak. Az inhomogenitás mélységének növekedésével annak indikálásához egyre hosszabb szelvény mérésre van szükség. Emiatt vizsgáltam a frekvencia-szondázás teljesítőképességét is.

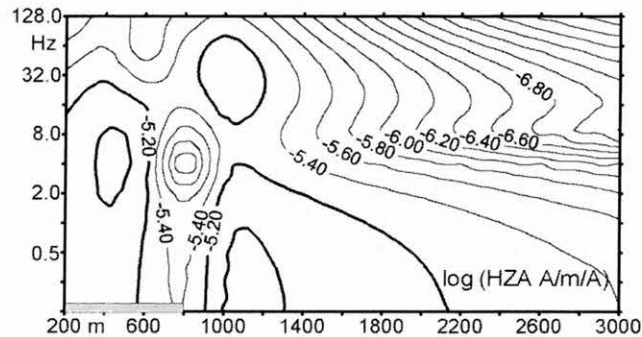


13. ábra. A vertikális mágneses térerősség távolság-frekvencia metszete az alsó inhomogenitás mellett a maximumon átmenő szelvényre

Fig. 13. Separation-frequency section of the vertical magnetic amplitude due to the lower inhomogeneity along the profile through the maximum

A laterális inhomogenitások várhatóan vetők mentén alakulnak ki és emiatt számolni kell azzal, hogy egymás fölött több 2-D-s vagy 3-D-s inhomogenitás fordul elő. Láttuk, hogy geometriai szondázással történő elkülönítésük problematikus.

Összehasonlítás céljából a 13. ábra azt mutatja, hogy a távolság-frekvencia metszeten hogyan rajzolódik ki az aljzat felbontozódása. Egyébként ebben az esetben a karakterisztikus pontok alapján végzett becslés a mélységre és a lehatárolásra is nagyon megfelelő.



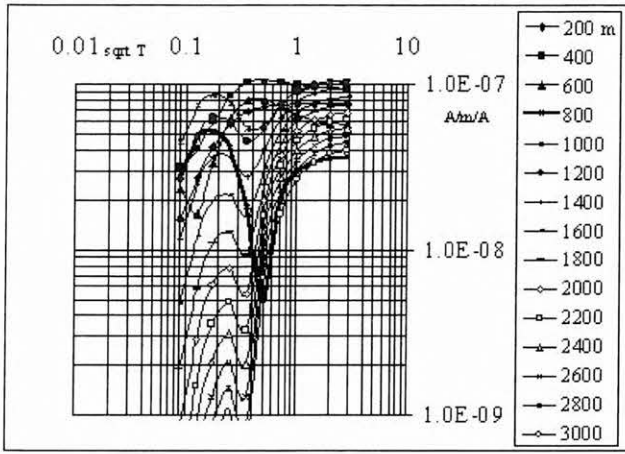
14. ábra. A vertikális mágneses térerősség távolság-frekvencia metszete a felső és alsó inhomogenitás esetére a maximumon átmenő szelvényen

Fig. 14. Separation-frequency section of the vertical magnetic amplitude due to the upper and lower inhomogeneities along the profile through the maximum

Váratlan jelenség lép fel, ha a felső inhomogenitás is jelen van (14. ábra). Az inhomogenitásoktól eredő jelek szuperpozíciója nagy távolságig megmaradó és egyre élesebbé váló minimumsávot hoz létre, aminek alapján a laterális és a mélység szerinti lehatárolás lehetősége is javul. Már az inhomogenitások fölötti állomásokon is határozottan látszik, hogy az anomális térnek két forrása van. A geometria-szondázásnál a térerősséggörbe távolság-függésének trendváltozása ezt csak a szelvény távolabbi részén jelezne. A frekvenciatartomány-beli elkülönülő indikáció végigvonul a szelvényen. Hiba lenne a maximum-sávokat a 600 m-en túli állomásokon réteggként értelmezni. Talán még világosabban utal a frekvenciatartomány-beli mérés szerepére a horizontális és vertikális lehatárolásban a frekvenciaszondázási görbék rajzolata. Példaként a 15. ábrán a 14. ábrával azonos szelvény görbéi láthatók. A blokkok határán 800 m-nél drasztikus alakváltozás van, majd fokozatosan állandósul a görbék alakja.

A fentiekből úgy tűnik, hogy frekvenciaszondázást végezve a laterális lehatároláshoz és a vertikális felbontáshoz rövidebb szelvény mérése is elegendő, mint a kvázistacionárius geometriai szondázásnál. A változókéony, éles helyi indikációk önmagukban is jól alkalmazhatók az értelmezésben. Hozzá kell azonban tenni, hogy célszerű alaposan tanulmányozni ezen indikációk törvényszerűségeit, mert sajátágaik erősen függenek a hatók alakjától és adott alak mellett a szelvény irányától.

Minden eddigi elemzés arra a következtetésre vezet, hogy az anomális elektromágneses térösszetevőknek nagyon karakterisztikus és nagy dinamikájú, az értelmezésben és az inverzióban valószínűleg jól hasznosítható indi-



15. ábra. A vertikális mágneses összetevő frekvencia-szondázási görbéi a maximumon átmenő szelvényen

Fig. 15. Vertical magnetic amplitude frequency sounding curves along the profile through the maximum

kációi vannak a laterális inhomogenitásokról. Ezek azonban csak igen részletes mérésekkel foghatók meg és a nagy mérési adathalmazból teljes egészében csak egy professzionális 3-D-s inverzió tudná ezeket teljes értékűen hasznosítani.

Tanulmányom előadásként hangzott el a 2002. évi inverziós ankéton. Általa kívántam köszönteni öt évtizedet

közelítő barátságunktól és együttműködésunktől indítva dr. STEINER Ferenc egyetemi tanár urat 70. Születésnapján.

HIVATKOZÁSOK

- MAURIELLO P., MONNA D., PATELLA D. 1998: 3D geoelectric tomography and archeological applications. *Geophysical Prospecting* **46**, 543–570
- MOGILATOV V., BALASKOV D. 1996: A new method of geoelectrical prospecting by vertical electric current soundings. *Journal of Applied Geophysics* **36**, 31–44
- PATELLA D. 1997: Introduction to ground surface self-potential tomography. *Geophysical Prospecting* **45**, 653–681
- TAKÁCS E. 1995: The normal surface electric field of an E-field excited steel casing. *Acta Geodaet., Geophys. Hung.* **30**, 331–341
- TAKÁCS E., HURSÁN G. 2000: Háromdimenziós inhomogenitások indikációi a béléscső-elektroda elektromágneses térének szekunder komponenseiben. *Magyar Geofizika* **41**, 3, 108–114
- TAKÁCS E., NAGY Z., FERENCZY L. 2001: Experiences obtained with the first use of the frequency sounding by casing pipe excitation. *Geosciences, Publ. of the Univ. of Miskolc, Ser. A, Mining* **59**, 153–190
- TAKÁCS E., SZARKA L., VARGA M. 1995: Elektromágneses kutatás a mélyfúrások béléscsővének felhasználásával. *Magyar Geofizika* **36**, OTKA különszám, 60–64