

Dipól-dipól pszeudomélység-szelvények spektrális vizsgálata¹

TÓTH ZOLTÁN²

A cikk a kötött vonatkozási mélységekkel ábrázolt dipól-dipól szelvények Fourier-spektrumát elemzi. A térfrekvencia-tartományban elkülönítjük a földtani információktól, a mérési elrendezéstől és az ábrázolás sajátosságaitól eredő tartományokat, így az értelmezést gyakran nehezítő, ún. álanomáliákat is. Frekvenciatartományban definiált szűrőkkel kísérletet teszünk a földtani információk kiemelésére.

Z. TÓTH: The spectra examination of dipole array pseudosections

The paper examines the Fourier transform of dipole-axial pseudosections. The geological information, the parameters of configuration and the feature of depiction (what often annoyed the interpretation) are separated in the frequency domain. The frequency filtering attempts to enhance the geological information.

Bevezetés

A dipól-dipól mérési elrendezést hatékonyan és gyakran használják a mérnökgeofizikában. A mérések kiértékelését újabban igen jó eredményeket adó inverziós eljárások [DOBRÓKA et al. 1991] és modellezőprogramok [PRÁCSER 1998] segítik. A gyakorlatban azonban az értelmezés gyakran a pszeudomélység-szelvényekre is támaszkodik. Ezekről a szelvényektől (mint általában a paraméterterképektől és szelvényektől) elsősorban azt várjuk, hogy a lehetőségekhez képest minél hűebben adják vissza a földtani képződmények méreteit és elhelyezkedését. A négyelektrodás geoelektromos szelvényezéseknél általános probléma a mérés vonatkozási pontjának a kijelölése. A felszínen mért potenciálból számított látszólagos fajlagos ellenállás elsősorban a mérő- és tápelektrodák közti térrészre jellemző érték. A vonatkoztatási pont elhelyezése erősen meghatározza a szelvény végső képét. A dipól-dipól pszeudomélység-szelvényen például ezt a pontot a mérő- és tápelektrodák felezőpontjából húzott negyvenöt fokos egyenesek metszéspontjába tesszük (1. ábra). Ekkor a H vonatkozási mélység

$$H = \left(\frac{R}{2}\right) \cdot \operatorname{tg}(45^\circ) = \left(\frac{R}{2}\right),$$

ahol

R — a táp- és mérő-elektrodapárok középpontjainak távolsága.

Ez az ábrázolásmód olyan torzulásokat (álanomáliaképet) okoz, ami a legtöbb esetben jól kivehető a spektrumképen is.

A szakirodalomban az inverziós eljárásokon [GYULAI, ORMOS 1997] kívül fellelhetők a vonatkozási mélységgel [ROY, APPARAO 1971], illetve annak módosításával [EDWARDS 1977] kapcsolatos vizsgálatok. A földtani információ kiemelésének másik módja lehet a mérési adatok szűrési vizsgálata [TSOKAS, TSOURLOS 1997].

Ez a cikk a már említett spektrumkép alapján elemzi a szelvényeket.

1. Jellegzetesen torzult pszeudomélység-szelvények

A következő modellek szemléletesen mutatják az axiális

dipól elrendezésnél kapott jellegzetes anomáliaképet. A szelvényeket 5 mélység szintig számítottam 20 m-es elektrodátávolsággal. A numerikus előremodellezést az ELGI-ben PRÁCSER Ernő által kifejlesztett programmal végeztem.

1.1. Üregszerű és vertikális ható (2. ábra)

A homogén feltérbe ágyazott véges kiterjedésű inhomogenitás (2. ábra *a.* része) az üregkutató feladatok alapmodelljeként is tekinthető. Az üreg okozta dipól-dipól anomália lefutását és az üreg kimutathatóságát FERENCZY [1980] analitikusan vizsgálta. A témával kapcsolatos paraméterérzékenységi vizsgálatokról GYULAI [1998] adott átfogó képet. A 2. ábra *b.* része egy vertikálisan nagy kiterjedésű, dike szerkezetű modell pszeudoszselvényét mutatja. A ható szélessége 20 m.

Látható hogy a kapott pszeudomélység-szelvények hasonlóságot mutatnak. Ezt a hasonlóságot a gyakorlatban a mérési pontatlanságok és a geológia bonyolultsága (rétegzettség, más hatók jelenléte) is erősítheti. Figyelemre méltó jelenség a vertikális ható esetében, hogy míg 60 m mélységben nagy látszólagos fajlagos ellenállás lenne a földtani modellhez közelebb álló, addig épp itt kapunk relatív ellenállás-minimumot. Ebben az esetben tehát oly mértékben torzul az anomáliakép, hogy az zavarhatja az értelmezést.

1.2. Több üreg együttes hatása

A 3. ábrán látható három üreget a szelvényen két jól elkülöníthető anomália jelzi. Az anomáliák épp az üregek közti térrészre esnek. A modell és a pszeudomélység-szelvény között tehát ismét olyan különbségek adódnak, amelyek igen megnehezítik az értelmezést. Több üreg szuperponálódott hatásával és annak lehetséges szétválasztásával egyébként a már említett FERENCZY [1980] és NYÁRI [1997] foglalkozik.

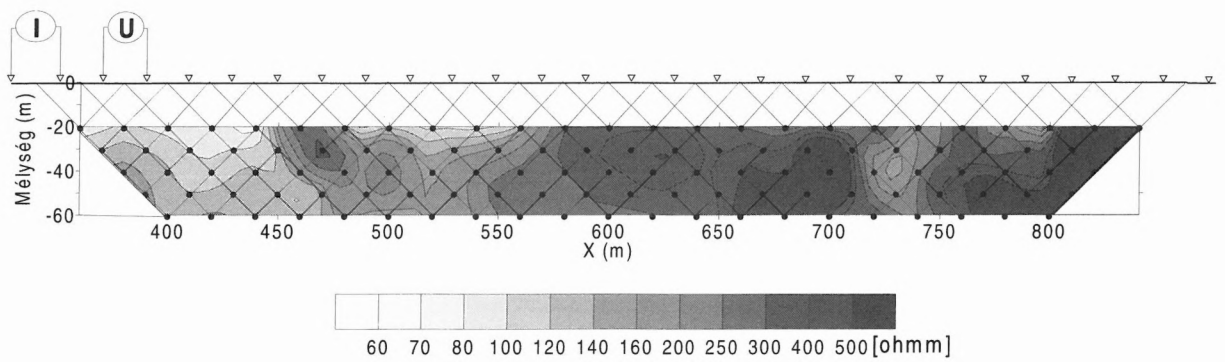
1.3. Terepi adatokból szerkesztett pszeudomélység-szelvények

A 4. ábrán két gyakorlati példa látható. Mindkét szelvényen jelentkeznek a jellegzetes álanomália alakok: az *a.* szelvényen 1250–1400 m és 1410–1510 m, a *b.* szelvényen pedig 550–650 m és 670–770 m között.

A továbbiakban vizsgáljuk meg a szelvények spektrális elemzésének a lehetőségeit.

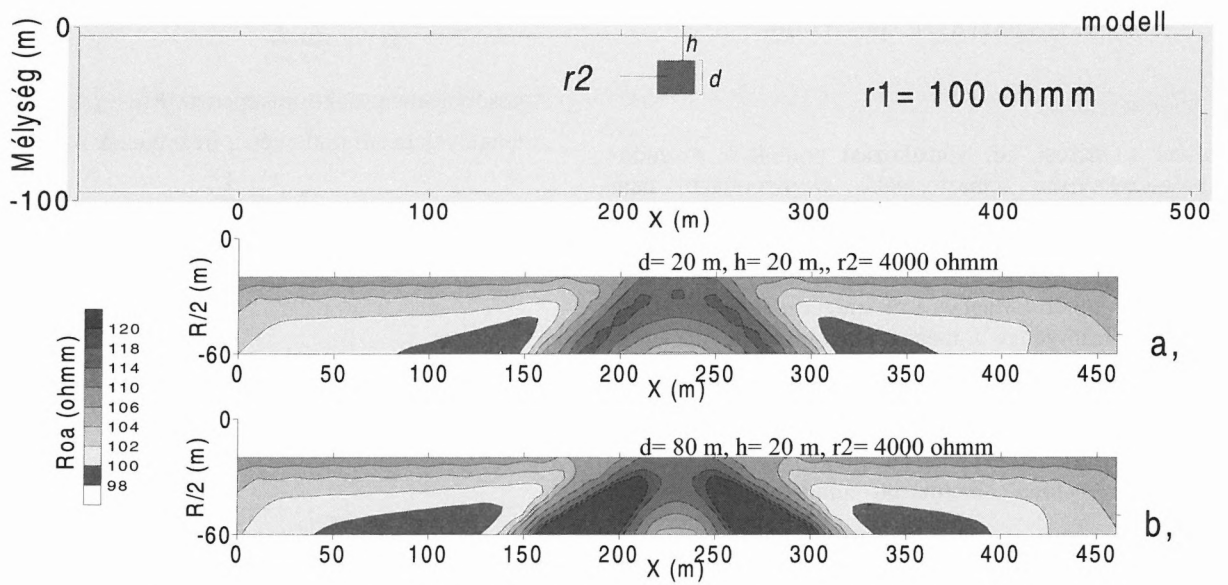
¹ Az Ifjú Szakemberek Ankétján Siófokon 1999. március 23-án elhangzott, elméleti kategóriában I. díjat nyert előadás

² Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17–23.



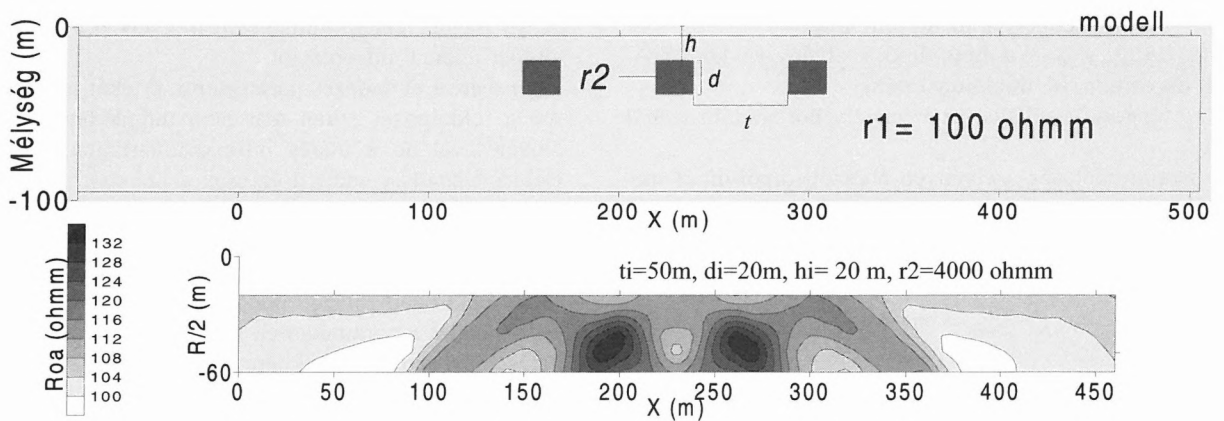
1. ábra. Pszeudómélység-szelvény mérési adatokból

Fig. 1. Apparent resistivity pseudosection



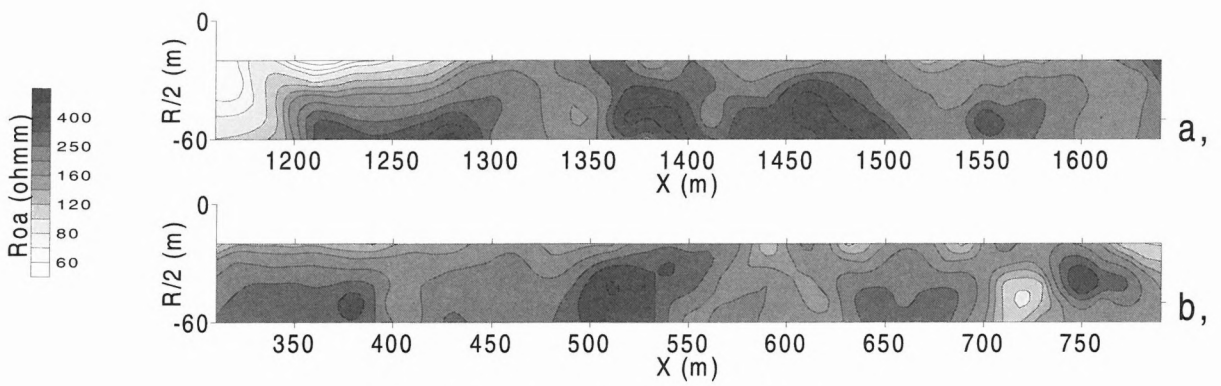
2. ábra. Üregszerű (a) és vertikális (b) hatóra kapott pszeudómélység-szelvények és a modell

Fig. 2. Apparent resistivity pseudosections for cave-like (a) and dike-like (b) bodies and the model



3. ábra. Több ható együttes hatását tartalmazó pszeudómélység-szelvény és modell

Fig. 3. Apparent resistivity pseudosection for three caves model



4. ábra. Gyakorlati pszeudómélység-szelvények
Fig. 4. Apparent resistivity pseudosections

2. A szelvények spektruma

2.1. Mintavételezés

Mivel a mérési, ill. vonatkozási pontok a pszeudómélység-szelvényen transzformálás szempontjából nem megfelelő rácsban helyezkednek el, interpolálással a diszkrét Fourier-transzformáció elvégzésére alkalmas négyzet-rács szerint kell számítani a látszólagos fajlagos ellenállás értékeit. A mintavételnél és a rácsméret megválasztásánál figyelembe kell venni a mérési elrendezés paramétereit, valamint a később alkalmazásra kerülő transzformációs algoritmus sajátosságait. Ha a szelvényt csak a maximális x, y kiterjedésig akarjuk vizsgálni, akkor a paraméterek összefüggéseit a következő képletek adhatják:

Az interpolációnál alkalmazott mintavételi távolságok (T_x, T_y):

$$T_x = \frac{(x_{\max} - x_{\min})}{M} \quad (1)$$

$$T_y = \frac{(y_{\max} - y_{\min})}{N} \quad (2)$$

ahol

T_x, T_y — az x, y tengelyek menti mintavételi távolságok,

M, N — az x, y tengelyek menti felbontás,

$x_{\max}, x_{\min}, y_{\max}, y_{\min}$ — a dipól-dipól szelvény x, y koordinátáinak maximum, ill. minimum értékei.

Az y tengely vertikális, az x tengely horizontális irányt mutat.

A pszeudómélység-szelvényen ábrázolt dipól-dipól mérés elektródakonfigurációval megadott határai:

$$x_{\max} - x_{\min} = (p-1) \cdot AB, \quad (3)$$

$$y_{\max} - y_{\min} = (m-1) \cdot \frac{AB}{2}, \quad (4)$$

ahol

p — az AB pozíciók száma,

m — a mélységek száma,

AB — az elektródátávolságok.

Mintavételezés után diszkrét Fourier-spektrumot számíthatunk:

$$F(u, v) = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{k=0}^{N-1} f(i, k) \cdot e^{-j \cdot 2\pi \left(\frac{i \cdot u}{M} + \frac{k \cdot v}{N} \right)}.$$

A későbbiekben spektrumképen az $|F(u, v)|$ képét értem.

A tengelyek menti mintavételi frekvenciák (f_{mu}, f_{mv}):

$$f_{mu} = \frac{1}{T_x} \quad (5)$$

$$f_{mv} = \frac{1}{T_y} \quad (6)$$

(1)–(3), ill. (2)–(4) behelyettesítéssel:

$$f_{mu} = \frac{M}{(p-1) \cdot AB} \quad (7)$$

$$f_{mv} = \frac{N}{(m-1) \cdot \frac{AB}{2}} \quad (8)$$

A (7) és (8) képletek alapján elmondható, hogy a mintavételi frekvenciát (vagy a módszer felbontását) három tényező segítségével befolyásolhatjuk:

— M, N interpolációs felbontás: értékét legalább $2p$ -re, ill. $2m$ -re kell választani (a helyes mintavétel miatt), de nem érdemes azoknál sokkal nagyobb értéket venni, hiszen az így megnövekedő mintavételi frekvencia nem hordoz többlet földtani információt.

— p, m mérési elrendezés paramétereit: értékét természetesen a feldolgozás során már nem tudjuk befolyásolni. Növelésével nő a mérés információtartalma, de adott elektródátávolság mellett ez csak a mérendő térrész területét terjeszti ki. Tehát a szelvény hossza és behatolási mélysége változik, de az addig ki nem mutatható kisebb objektumok hatása továbbra sem lesz értékelhető.

— AB elektródátávolság: adott kiterjedésű szerkezetek esetén ennek a paraméternek van valódi felbontásnövelő hatása, ezt azonban szintén a mérés megtervezésénél kell figyelembe venni.

2.2. Spektrumszámítási lehetőségek

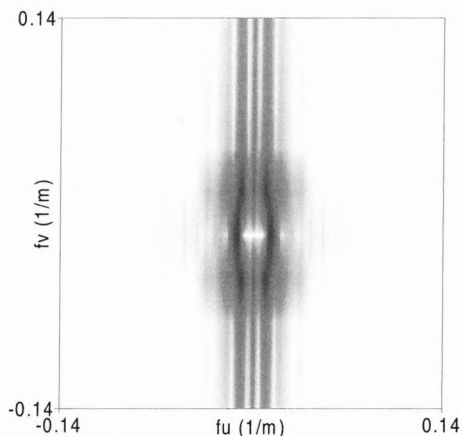
A továbbiakban a következő egyszerűsítésekkel éltem. Az 1. ábrát megvizsgálva látható, hogy az ábrázolt pontok egyenlő távolságra vannak egymástól, ezért a tengelyek menti mintavételi távolságok lehetnek egyenlők: $T_x = T_y$.

A vizsgálatoknál használt további paraméterek, melyeket már részben említettem: $p=25$, $m=5$, $AB=20$ m. Az is látszik, hogy vertikálisan jóval kisebb a szelvény kiterjedése, mint horizontálisan, ezért M és N értékét három szempont szerint választottam:

1. Mivel a mérési elrendezés elsősorban a horizontális változásokra érzékeny — amit a szakirodalomban fellelhető paraméterérzékenységgel kapcsolatos vizsgálatok is alátámasztanak [NYÁRI 1997, GYULAI 1989] —, érdemes először x irányban felvenni M -et, és ezután számítani N -et:

$$N \approx \frac{(m-1)}{2 \cdot (p-1)} \cdot M \quad (9)$$

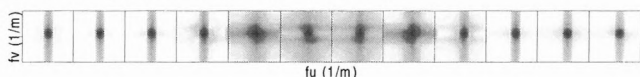
Így pl. $M=128$ mellett (9) alapján $N \approx 11$, ami jóval kisebb y irányú felbontóképességet jelent. Ez okozza az 5. ábrán a v tengely menti egész tartományon meglévő durva sávokat. A spektrumkép egyébként a 2. ábra üregszerű modelljére számított szelvényhez tartozik.



5. ábra. Számított spektrum, $M=128$, $N=11$

Fig. 5. Calculated spectrum, $M=128$, $N=11$

2. Az x és y irányú egyenlő felbontás érdekében szegmentálhatjuk is a szelvényt (6. ábra):



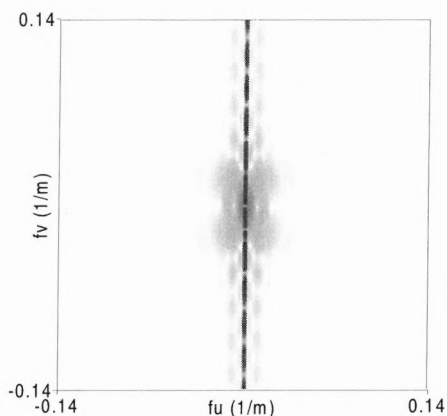
6. ábra. Számított spektrum, $M=10$, $N=10$

Fig. 6. Calculated spectrum, $M=10$, $N=10$

Ezt azonban csak az x irányú felbontás kárára (valamint x irányú csonkítás mellett) tudjuk megtenni, így végeredményként durva felbontású részképek sorozatát kapjuk.

3. Úgy is egyenlő felbontásúvá tehetjük — a két irány mentén — a spektrumot, ha az 1. pont szerint interpolált ($N \neq M$) méretű rácsot ($N'=M$)-re egészítjük ki. Ekkor az (M, N) rácson kívüli rácpontok konstans értéket vesznek fel. Természetesen ezzel nagymennyiségű, földtani jelentéssel nem rendelkező pontot viszünk az adatrendszerbe, de az eredményül kapott spektrumkép (7. ábra) jobban tanulmányozható.

A 7. ábrán is megjelennek a v tengely menti sávok, de ezt inkább a kiegészített rács ugrásfüggvény-szerű lefutása okozza. Alacsony u frekvenciákon $\sin c(v)$ alakok jelennek meg. A spektrum itt is a 2. ábra üregszerű esetéhez tartozik. A továbbiakban bemutatásra kerülő spektrumképeket ezzel a módszerrel számítottam.

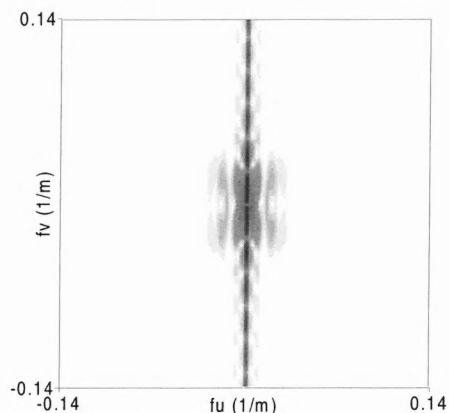


7. ábra. Számított spektrum egyetlen üregszerű ható esetén, $M=128$, $N'=128$

Fig. 7. Calculated spectrum for cave-like body, $M=128$, $N'=128$

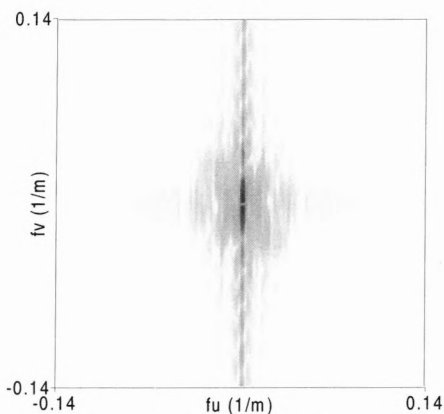
2.3. Néhány szelvény spektrumképe

A 7. és a 8. ábra a 2.a és a 3. ábra szelvényeinek, a 9. ábra pedig egy terepi szelvénynek a spektrumát mutatja. Mindhárom kép — a földtanilag eltérő modellek ellenére — hasonló felépítést mutat, ami azt valószínűsíti, hogy a spektrális kép önmagában nem alkalmas földtani értelmezésre. Igen jellegzetesek azonban az alacsony frekvenciákon fellépő $f_u \approx f_v$ körüli markáns foltok.



8. ábra. Számított spektrum három darab üregszerű ható esetén, $M=128$, $N'=128$

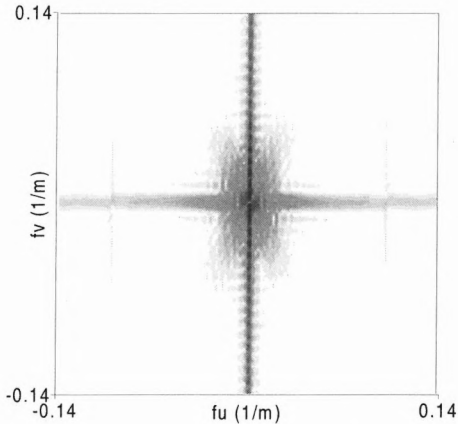
Fig. 8. Calculated spectrum for three cave like bodies, $M=128$, $N'=128$



9. ábra. Számított spektrum mért szelvény esetén, $M=128$, $N'=128$

Fig. 9. Calculated spectrum for a measured profile, $M=128$, $N'=128$

A következő két ábra (10. és 11. ábra), valamint a 7. ábra esetén mind a földtani modell (üregszerű ható, 2.a. ábra), mind a mérési paraméterek (p , m , AB) azonosak, csupán a vonatkozási mélység és N értéke (a szelvény y irányú rövideülése, ill. megnyúlása miatt) tér el. Az egyik esetben 60° (10. ábra), a másikban 30° (11. ábra), ill. a 7. ábrán 45° a H számításánál használt szög. A szög növelésével láthatóan egyre meredekebb egyenesek mentén helyezkednek el a spektrum foltjai. A már említett (a 7. ábrán $f_u \approx f_v$ körüli) markáns foltok elhelyezkedése tehát nagyban függ az ábrázolás szögétől. Ezen összefüggés alapján kísérletet lehet tenni a szelvény ábrázolási szögtől származó torzulásainak spektrális alapú szűrésére.

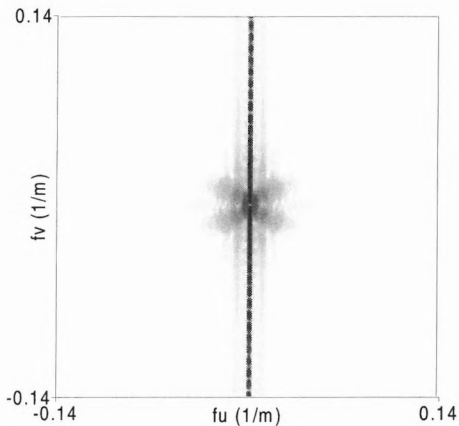


10. ábra. Számított spektrum üregszerű ható esetén,

$$H = \left(\frac{R}{2}\right) \cdot \operatorname{tg}(60^\circ), \quad M=128, N'=128$$

Fig. 10. Calculated spectrum for cave-like body,

$$H = \left(\frac{R}{2}\right) \cdot \operatorname{tg}(60^\circ), \quad M=128, N'=128$$



11. ábra. Számított spektrum üregszerű ható esetén,

$$H = \left(\frac{R}{2}\right) \cdot \operatorname{tg}(30^\circ), \quad M=128, N'=128$$

Fig. 11. Calculated spectrum for cave-like body,

$$H = \left(\frac{R}{2}\right) \cdot \operatorname{tg}(30^\circ), \quad M=128, N'=128$$

3. Spektrális szűrés lehetőségei

Mivel az ábrázolás módja (ill. a vonatkozási mélység megválasztása) láthatóan erősen befolyásolja mind tér,

mind térfrekvencia-tartományban a szelvény képét, célszerű keresnünk olyan módszereket, melyek ezt a hatást gyengítik. Ilyen lehet a térfrekvencia-tartományban vett szűrés. Célunk, hogy a szűrt képen előtérbe kerüljenek a földtani felépítésnek tulajdonítható változások. Az általános forma a következő:

$$K_{u,v} = F_{u,v} \cdot H_{u,v},$$

ahol

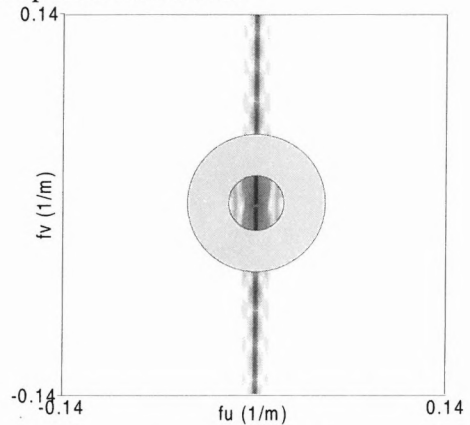
$F_{u,v}$ — a szelvény Fourier-transzformáltja,

$H_{u,v}$ — a frekvenciatartomány-beli szűrő,

$K_{u,v}$ — a javított kép Fourier-transzformáltja.

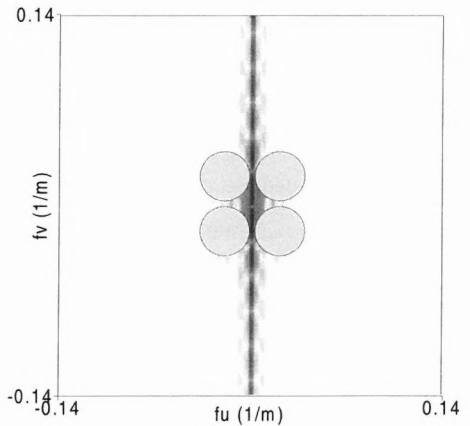
A szűrt képet a $K_{u,v}$ inverz Fourier-transzformáltja adja.

A 12. és 13. ábra két alapvető szűrőtípust mutat be. Míg 12. ábra esetén a nem kívánt hatást minden irányban, addig a 13. ábrán csak a már tárgyalt ábrázolási szög környezetében szűrjük ki. Az eddigi vizsgálatok csak vizuális összehasonlításon alapultak, így az egyes szűrőtípusok jóságára nem lehet pontos választ adni.



12. ábra. Sávszűrő

Fig. 12. Band filter



13. ábra. Irányszűrő

Fig. 13. Direction filter

Sávszűrő:

$$0 \quad \text{ha } R_b \leq \sqrt{(u)^2 + (v)^2} \leq R_k, \quad (10)$$

$H_{u,v} =$

1 egyébként,

ahol

R_b — alsó határfrekvencia (belső kör),

R_k — felső határfrekvencia (külső kör).

Írány menti szűrő:

$$H_{u,v} = \begin{cases} 0 & \text{ha } \left| \sqrt{(|u-X|^2 + |v-Y|^2)} \right| \leq R, \\ 1 & \text{egyébként,} \end{cases} \quad (11)$$

ahol

X — a szűrt tartomány u irányú eltolása,

Y — a szűrt tartomány v irányú eltolása,

R — a szűrt tartomány sugara.

4. Szűrési eredmények

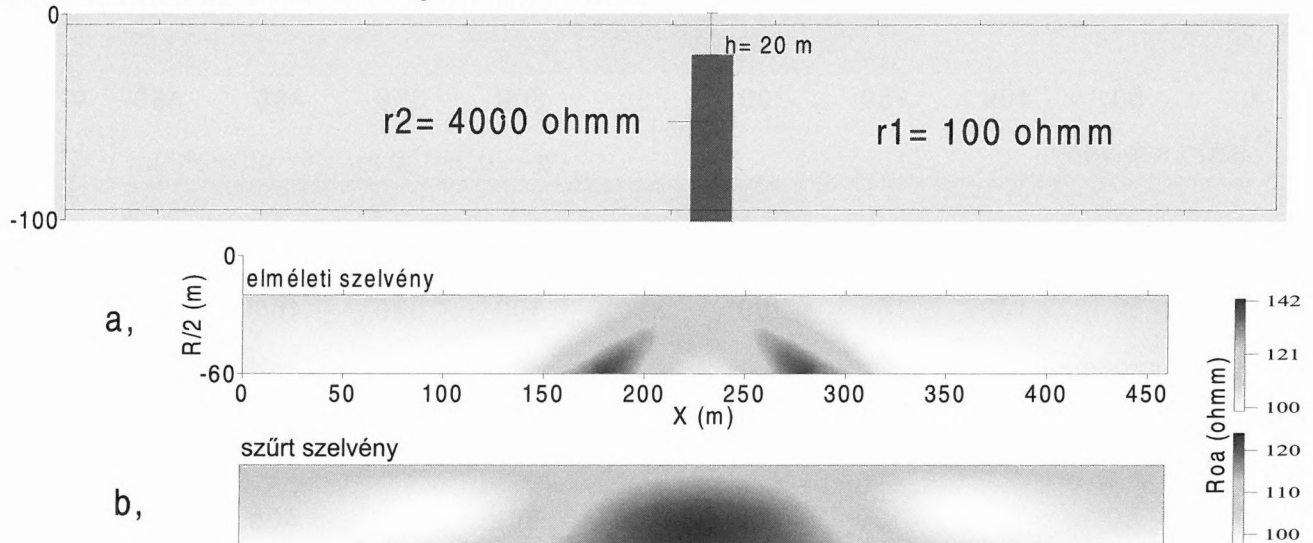
Elegendően alacsony alsó határfrekvenciákat véve mindkét szűrőtípus rendkívül hasonló eredményt adott. Természetesen a határfrekvenciák tologatása bizonyos esetekben javított a képen, de egységesen elfogadható képet csak a megfelelően alacsony frekvenciáról indított, széles tartományt átfogó (nagy frekvenciatartományt lefedő) szűrők adtak. Elsősorban a szűrés lehetőségét szerettem volna

érzékelteni, és nem egy általános szűrőt megadni. A kiinduló és az eredményszelvényeket legtöbbször pixeles formátumban jelenítettem meg. Ez alól kivétel a 18. ábra, ahol a többivel ellentétben nem a szerkezet geometriája, hanem ellenállásviszonyai változnak, így itt egységes színskála lett felvéve. A szűrő említésénél a típus után a (10), ill. (11) képletekben szereplő paraméterek vannak megadva. du , ill. dv a megfelelő tengelyek léptékét jelzi:

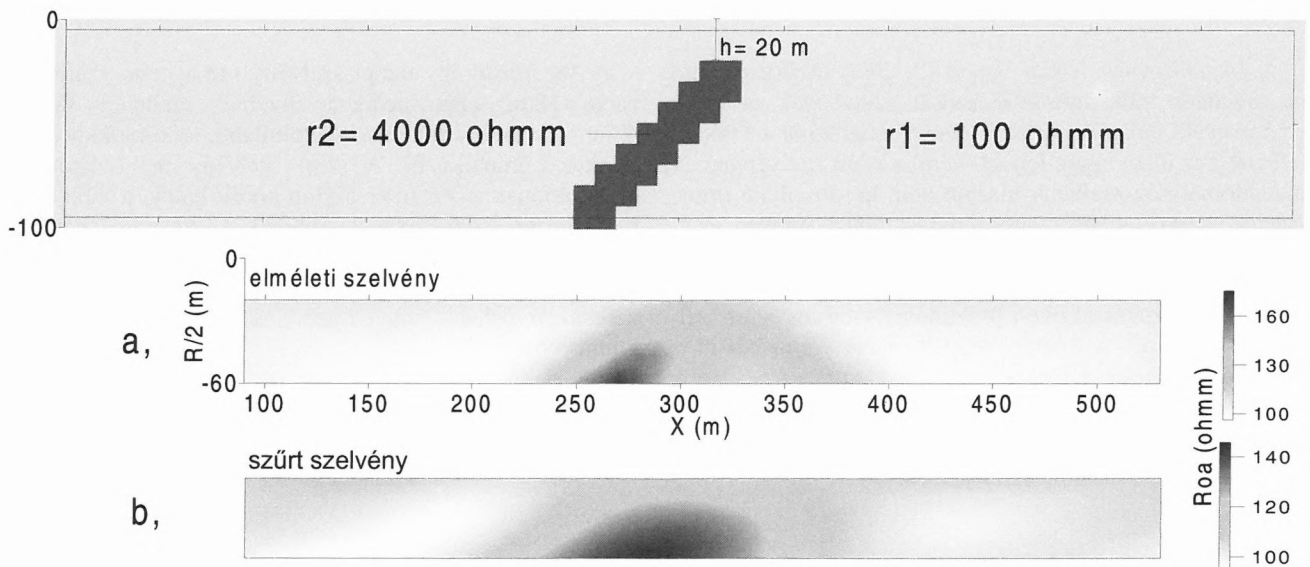
$$du = \frac{f_{mu}}{M},$$

$$dv = \frac{f_{mv}}{N}.$$

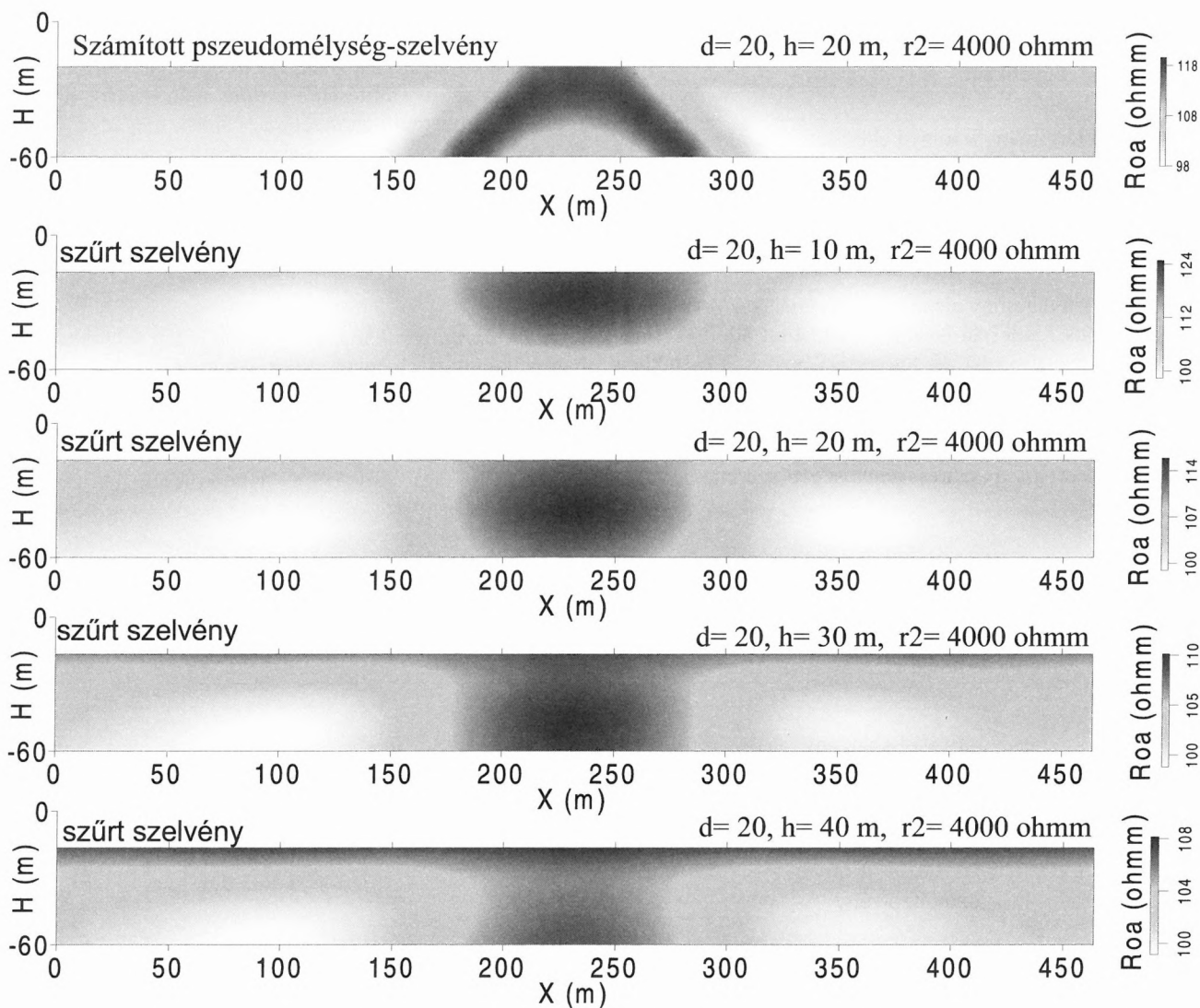
A 14. ábrán vertikális, a 15. ábrán pedig 45 fokban dőlt hatóra kapott szelvények szűrt eredményeit láthatjuk. A 14. ábrán a földtani modellhez hűen vertikálisan megnyúlt a szűrt kép, a 15. ábrán pedig oldalhatásoktól mentes, dőlt szerkezet látható.



14. ábra. Számított (a) és szűrt (b) szelvények vertikális hatóra. Szűrő: sáv, $Rb \approx 4du$, $Rk \approx 10du$
Fig. 14. Calculated (a) and filtered (b) profiles for dyke-like body. Filter: band, $Rb \approx 4du$, $Rk \approx 10du$



15. ábra. Számított (a) és szűrt (b) szelvények 45°-ban dőlt vertikális hatóra. Szűrő: sáv, $Rb \approx 4du$, $Rk \approx 10du$
Fig. 15. Calculated (a) and filtered (b) profiles for 45° dyke-like body. Filter: band, $Rb \approx 4du$, $Rk \approx 10du$



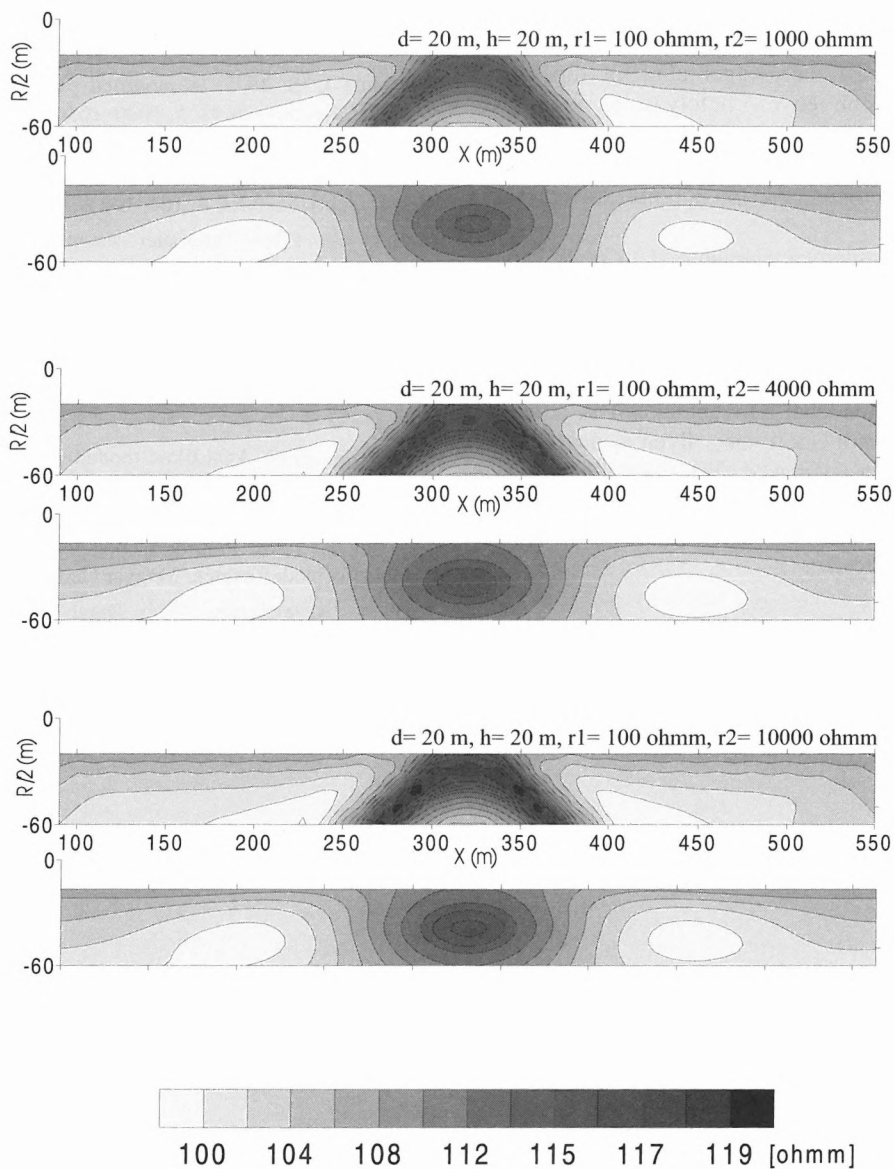
16. ábra. Számított és szűrt szelvények üregszerű hatóra különböző hatómélység mellett. Szűrő: irány, $X \approx Y \approx 10du$, $R = 8du$

Fig. 16. Calculated and filtered profiles for cave-like body with different depth. Filter: direction, $X \approx Y \approx 10du$, $R = 8du$

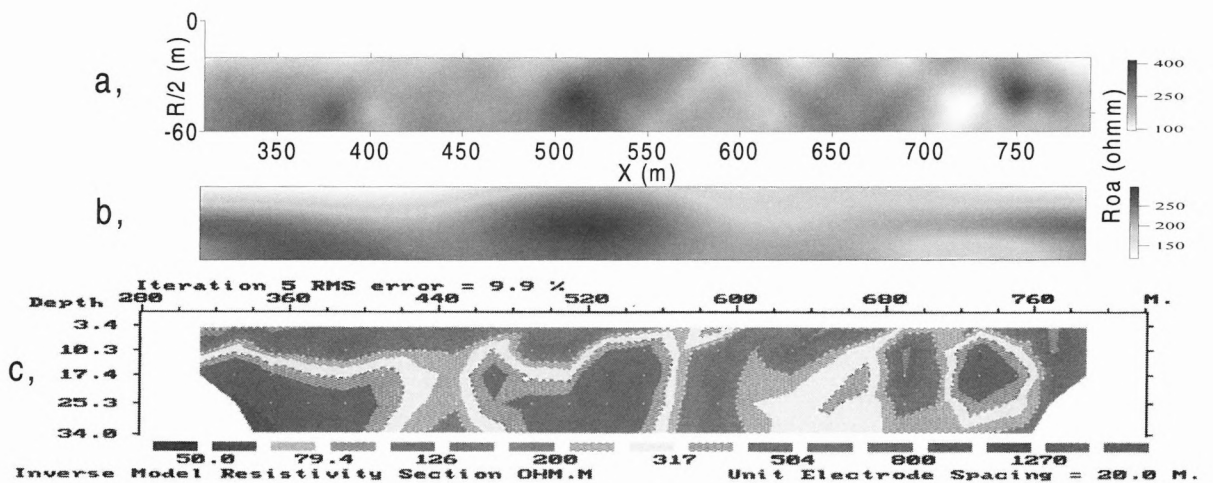
A 16. ábráson a már ismert (2. ábra) üregszerű ható mélységének változtatásával kapott szelvények és szűrt eredményeik láthatók. A ható relatív maximuma a földtani felépítéshez hűen egyre lejjebb kerül a szűrt szelvényen. A pszeudomélység-szelvény viszont nem hordoz ilyen információt, gyakorlatilag azonos lefutást mutat minden esetben.

A 17. ábráson szintén az üregszerű ható (2. ábra) ellenállás-változtatással nyert pszeudomélység- és szűrt szelvényeit láthatjuk. A földtani modell relatív változását itt is jól követi a szűrt szelvény.

A 18. ábrán egy terepi szelvény (18.a.) van szűrés alá vetve (18.b.), alatta pedig az inverziós eredmény látható (18.c.). Az ábráson egy bonyolultabb, több blokkból álló szerkezet mutatkozik. A szűrt szelvény bal oldalán jól kirajzolódnak a 360 m és 520 m körüli hatók, a jobb oldalon viszont gyengébben mutatkozik az inverziós eredményen fellelhető 650 m és 750 m körüli két anomália. Az ábrák színskáláinak (nem túl szerencsés) különbsége ellenére azért látható, hogy a szűrt és inverziós eredmények lefutása hasonló.



17. ábra. Számított és szűrt szelvények üregszerű hatóra különböző hatóellenállás mellett. Szűrő: irány, $X \approx Y \approx 10du$, $R \approx 8du$
 Fig. 17. Calculated and filtered profiles for cave-like body with different resistivity. Filter: direction, $X \approx Y \approx 10du$, $R \approx 8du$



18. ábra. Mért (a) és szűrt (b) szelvény, valamint inverziós eredmény (c)
 Fig. 18. Measured (a) and filtered (b) profiles and an inversion profile (c)

5. Összefoglalás

A kötött vonatkozási mélységgel ábrázolt dipól-dipól szelvények lefutását több tényező befolyásolja. Számunkra legértékesebb a földtani szerkezet hatása, de mérési hibák és az ábrázolás torzulásai is jelen vannak. Az ábrázolás szögével összefüggő torzulások jól nyomon követhetők a Fourier-spektrumon.

A fenti szűrési eredmények alapján biztató képet kapunk a dipól-dipól pszeudomélység-szelvények spektrális szűréséről. A vizsgált szerkezetek esetén a szűrt szelvényeken a földtani információ került előtérbe.

Az általános, bármely szelvény esetén jó eredményt adó szűrők megadása fontos lehet a továbbiakban. A jelen dolgozat szándékosan nem adott meg ilyen szűrőket (csak típusokat), hiszen a problémakör több vizsgálatot igényel. Csak ezen vizsgálatok (és ezek megfelelő eredményei) után lehet kísérletet tenni a módszer földtani-geofizikai értelmezésbe történő beillesztésére.

HIVATKOZÁSOK

DOBRÓKA M., GYULAI Á., ORMOS T., CSÓKÁS J., DRESEN L.
1991: Joint inversion of seismic and geoelectric data recorded

in an underground coal mine. *Geophysical Prospecting* **39**, 643–665

EDWARDS L. S. 1977: A modified pseudosection for resistivity and IP. *Geophysics* **42**, 5, 1020–1036

FERENCZY L. 1980: Felszínközeli üregek mélységének és méretének meghatározása geoelektromos dipól szelvényezéssel. *Magyar Geofizika* **XXI**, 4, 164–142

GYULAI Á. 1989: Parameter sensitivity of underground DC measurements. *Geophysical Transactions* **35**, 3, 209–225

GYULAI Á. 1998: A geoelektromos üregkutatás néhány kérdése. *Magyar Geofizika* **39**, 2, 43–50

GYULAI Á., ORMOS T. 1997: Vertikális elektromos szondázások kiértékelése 1.5-D inverziós módszerrel. *Magyar Geofizika* **38**, 1, 25–35

NYÁRI ZS. 1997: Analitikus modellezés a geoelektromos üregkutatás lehetőségeinek vizsgálatára. *Magyar Geofizika* **38**, 3, 194–204

PRÁCSER E. 1998: Pontforrás potenciáljának a számítása kétdimenziós modell esetén. *Magyar Geofizika* **39**, 4, 126–131

ROY A., APPARAO A. 1971: Depth of investigation in direct current methods. *Geophysics* **36**, 5, 943–959

TSOKAS G. N., TSOURLOS P. 1997: Transformation of the resistivity anomalies from archeological sites by inversion filtering. *Geophysics* **62**, 36–43