

- [1] Brümmer, O. — K. H. Brauer — G. Suwalski: Z. angew. Physik 16 (1963), 27.
 [2] Petrova, G. N.: Izv. Ak. Nauk SZSZSZR, Sr. geof. 11, 1961.
 [3] Stiller, H.: Habilitationsschrift, Berlin, 1961.
 [4] Suwalski, G. — H. Vollstädt: Wiss. Z. Humb. Univ., Berlin, XV (1966), megjelenőben.
 [5] Vogler, G.: Z. angew. Physik 8 (1961), 185.
 [6] Vollstädt, H.: Dissertation, Berlin, Humb. Univ., 1965.
 [7] Vollstädt, H.: Jb. Schmidt-Obs. Erdmagn., Niemeck, 1964, Akademie-Verlag, Berlin 1966.
 [8] Vollstädt, H.: Freiburger Forschungshefte C 202, megjelenőben.
 [9] Vollstädt, H.: Izv. Akad. Nauk SZSZSZR, Ser. geof., megjelenőben.
 [10] Vollstädt, H., G. Suwalski: Heidelb. Beitr. Min. Petr. 11 (1965) 382 — 392.

MAGYAR GEOFIZIKA VIII. ÉVF. 2 — 3. SZ.

Különböző elrendezésű geoelektromos fajlagos-ellenállásmódszerek kritikai vizsgálata

EGERSZEGI PÁL

A geoelektromos szondázási módszereket három csoportba oszthatjuk az elektróda-elrendezések alapján:

1. potenciál,
2. gradiens és
3. több áramkörös elrendezés.

1. A hárompotenciálós módszer három vagy két görbe együttes mérésével lehetővé teszi a vertikális és horizontális inhomogenitás szétválasztását.

2. A gradiens elrendezések közül a MAN módszer legérzékenyebb a horizontális inhomogenitások kimutatására.

3. A terelőáramos módszer négy terelő elrendezése alkalmas a horizontális inhomogenitások kimutatására és kiküszöbölésére.

A vertikális irányú áramsűrűség-eloszlás alapján bizonyított, hogy a terelőáramos elrendezésnek legnagyobb a behatolása, főleg pozitív ellenállás kontraszt esetén.

В зависимости от установки электродов, методы электрического зондирования разделяются на три группы:

1. потенциальные
2. Градиентные
3. многоконтурные установки

1. Трехпотенциальный метод с одновременной записью трех или двух кривых, позволяет разделить вертикальные неоднородности от горизонтальных.

2. Из градиентных установок наиболее чувствительной к горизонтальным неоднородностям является установка MAN.

3. В Методе с направляющим током установка с четырьмя направляющими приспособлениями позволяет выделить и исключить горизонтальные неоднородности.

Изменения плотности тока по вертикали показывают, что наиболее значительная глубинность характерна для установки с направляющим током, особенно при наличии положительного контраста сопротивлений.

Die geoelektrischen Sondierungsverfahren können auf Grund der Elektrodenanordnung in drei Gruppen eingeteilt werden:

1. Potentialanordnungen,
2. Gradientenanordnungen und
3. Anordnungen mit mehreren Stromkreisen.

1. Die Dreipotentialmethode ermöglicht — durch die simultane Messung von drei Kurven — die Trennung der vertikalen und horizontalen Inhomogenität.

2. Von den Gradientenanordnungen die MAN-Methode weist die höchste Empfindlichkeit beim Nachweis der horizontalen Inhomogenitäten.

3. Die Lenkstrommethode mit der Vier-Lenkstrom-Anordnung ermöglicht den Nachweis und die Eliminierung von horizontalen Inhomogenitäten.

Auf Grund der Betrachtung der vertikalen Stromdichteverteilung gilt als erwiesen, dass die Lenkstromanordnung die grösste Eindringungstiefe aufweist, besonders im Falle eines positiven Widerstandskontrasts.

A fajlagos-ellenállásmérés gyakorlatában általában a négyelektrodás elrendezés vált be. A négy elektrodával három különböző konfiguráció állítható elő (1), ha eltekintünk az elektroda-távolság arányok változtatásától. E három elrendezés a következő:

$$AMNB \quad ABNM \quad MANB,$$

melyeket α , β és γ -val jelölünk.

A kritikai vizsgálat tárgyát képező fajlagos-ellenállásmérő elrendezéseket három csoportra osztjuk fel:

1. Az egyenközű (potenciál) elrendezések és a három potenciál-elrendezés kombinációja, a hárompotenciális módszer,

2. nagy elektrodátávolság-arányokkal rendelkező (gradiens) elrendezések és

3. több áramelektrodát alkalmazó elrendezések.

A kritikai vizsgálatot a hárompotenciális módszerrel kezdjük. Vizsgáljuk meg, hogy ez a módszer miként tudja szétválasztani a horizontális és vertikális inhomogenitások hatását.

Hárompotenciális módszer

Egyenközű hárompotenciális módszer esetén az α és γ konfiguráció kombinációjára a következő egyenlet érvényes (2):

$$\frac{4\rho_a^{\gamma}(s) + \rho_a^{\alpha}(3s)}{3\rho_a^{\alpha}(s) + 2\rho_a^{\gamma}(2s)} = A'(s), \quad (1)$$

melynél horizontális inhomogenitástól mentes térben

$$A'(s) = 1.$$

Amennyiben $A'(s) \approx 1$, akkor horizontális inhomogenitás torzítja a mért görbét.

A horizontális inhomogenitás kimutatására más módszer is van. A három görbe bizonyos esetekben metszi egymást. Vizsgáljuk meg, mi a feltétele annak, hogy a metszéspontot vertikális inhomogenitás hozza létre.

Ha felírjuk a három variációra a horizontális inhomogenitástól mentes feltételre vonatkozó látszólagos fajlagos-ellenállásokat az első réteg fajlagos-ellenállásának egységében

$$\frac{\rho_a^{\alpha}}{\rho_1} = 2G(s) - G(2s),$$

$$\frac{\rho_a^{\beta}}{\rho_1} = 3G(s) - 3G(2s) + G(3s),$$

$$\frac{\rho_a^{\gamma}}{\rho_1} = \frac{3}{2}G(s) - \frac{1}{2}G(3s),$$

ahol $G(s) = \frac{2\pi s}{\rho_1 I} V(s)$ potenciálfüggvény (3), bármelyik kettőt egyenlővé

téve egymással a következő összefüggés hozható le (4):

$$2G(s) - G(2s) = 3G(2s) - 2G(3s),$$

ahol a bal oldal s között *Wenner*-elrendezéssel mért látszólagos fajlagos ellenállás ρ_1 egységében, a jobb oldal pedig $\overline{AB} = 5s$ és $\overline{MN} = s$ között *Schlumberger*-elrendezéssel mért látszólagos fajlagos ellenállás szintén ρ_1 egységében.

Ez az összefüggés akkor is fennáll jó közelítéssel, ha az \overline{MN} távolságnál csak azt a megszorítást tesszük, hogy $\overline{AB}/\overline{MN} > 3$, tehát

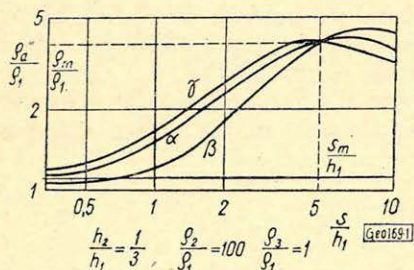
$$\rho_{\overline{AB}=3x} \approx \rho_{\overline{AB}=5x},$$

ahol x egy tetszőleges távolság.

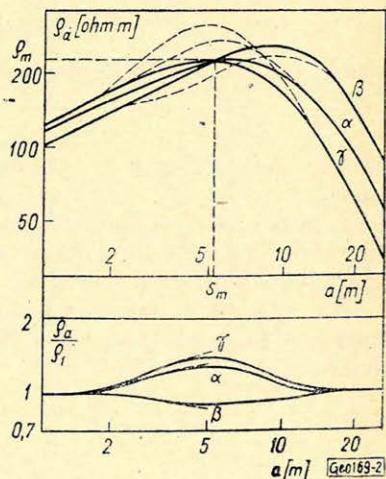
Ebből következik, hogy oldalirányú inhomogenitástól mentes térben, ha $\overline{AB} = 3x$ -nél metszéspont van, akkor az α variációval mért látszólagos fajlagos ellenállás megegyezik az $\overline{AB} = 5x$ mellett α variációval mért látszólagos fajlagos ellenállással.

Az 1. ábra szemlélteti egy három réteges elméleti görbén az előbb elmondottakat.

Amennyiben metszéspont esetében ez a feltétel nem teljesül, akkor a metszéspont helye horizontális inhomogenitás hatására tolódik el. Erre példaként bemutatjuk a 2. ábrán látható terepi görbéket. Láthatjuk, hogy ebben az eset-



1. ábra
Фиг. 1.
Fig. 1.



2. ábra
Фиг. 2.
Fig. 2.

ben a metszéspontra nem érvényes a (2) feltétel. Ha megnézzük a 3. ábrán az $A'(s)$ folytonos görbét, melyet az (1) egyenlet alapján számoltunk, az is azt mutatja, hogy horizontális inhomogenitás miatt torzul a görbe.

A görbe korrekciójánál segítségünkre van még a következő két feltétel is. Képezzük az s közü $Eltran$ és egyenközü MAN elrendezés kombinációját:

$$\frac{2Q_a^\gamma(s)}{\varrho_1} - \frac{Q_a^\beta(s)}{\varrho_1} = 3G(2s) - 2G(3s) \approx Q_{AB=5s}^\alpha$$

és

$$\frac{2Q_a^{\gamma'}(s)}{\varrho_1} + \frac{Q_a^{\beta'}(s)}{\varrho_1} = 3Q_a^{\alpha'}(s) \approx 3Q_{AB=3s}^\alpha$$

A görbe emelkedő tendenciájánál:

$$Q_{AB=5s}^\alpha > Q_{AB=3s}^\alpha,$$

tehát

$$2Q_a^{\gamma'}(s) - Q_a^{\beta'}(s) > \frac{2}{3}Q_a^{\alpha'}(s) + \frac{1}{3}Q_a^{\beta'}(s),$$

azaz

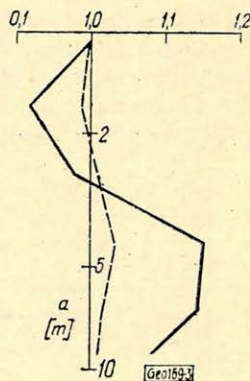
$$Q_a^{\gamma'}(s) > Q_a^{\beta'}(s), \quad (3)$$

csökkenő tendenciánál viszont

$$Q_a^{\gamma'}(s) < Q_a^{\beta'}(s). \quad (4)$$

Ezeknek a feltételeknek megfelelően korrigált görbét folytonos vonal jelöli a 2. ábrán és a két görbe különbsége az ábra alján látható. A 3. ábrán szaggatott vonallal jelöltük a korrigált görbe alapján számított $A'(s)$ görbét, ami alátámasztja a korrekció helyességét,

Az eddig elmondottakból következik, hogy a hárompotenciális módszer alkalmas a horizontális és vertikális inhomogenitások szétválasztására.



3. ábra
 Fig. 3.

Gradiens elrendezések

A horizontális inhomogenitástól mentes feltérben a gradiens elrendezéssel (*Schlumberger*, dipol, MAN) mért látszólagos fajlagos-ellenállások az ún. $H(r)$ függvényvel fejezhető ki:

$$H(r) = -r^2 \left[\frac{G(r)}{r} \right]' = [Q_a^\alpha]_{grad}$$

Hasonlítsuk össze a *Schlumberger* elrendezést a *Wenner* elrendezéssel, azaz egy gradiens elrendezést egy potenciál elrendezéssel. Összehasonlítási alapul válasszuk a $k = +1$ ellenállás-kontrasztú kétréteges esetet, amikor is $\rho_2 \rightarrow \infty$. Válasszuk az \overline{AB} távolságot mindkettőnél ugyanakkorának, akkor

$$r = \frac{a + 2a}{2} = \frac{3}{2} a.$$

A fajlagos ellenállás-görbe aszimptotájára írjuk fel $H(r)$ közelítő értékét, azaz a differenciál-hányados helyett használjuk a differencia-hányados kifejezést

$$\begin{aligned} [\rho_a^\alpha]_{grad.} &= \dot{H}(r) = -r^2 \left[\frac{G(r)}{r} \right]' \approx \left(\frac{3}{2} a \right)^2 \frac{\frac{G(a)}{a} - \frac{G(2a)}{2a}}{2a - a} = \\ &= 1,125 [2G(a) - G(2a)] = 1,125 [\rho_a^\alpha]_{pot.} \end{aligned}$$

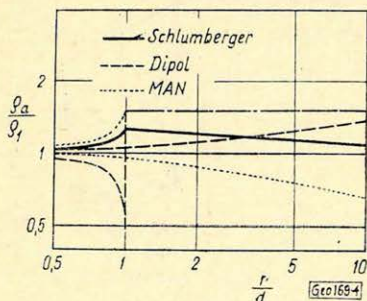
Ennél a levezetésnél feltételeztük, hogy $G(r)/r$ értéke lineárisan változik. Ez azonban csak közelítőleg áll fenn, de ennek ellenére levonhatjuk a következőt, hogy a gradiens elrendezésnek nagyobb a behatolása, mint a potenciál elrendezésnek.

A határozott integrállá átalakított kétréteges tükrözési formulából (5)

$$[\rho_a^\alpha]_{grad.} \approx 1,08 [\rho_a^\alpha]_{pot.}$$

A három gradiens-elrendezés egymásközötti összehasonlítására vegyünk fel egyetlen vertikális kontrasztfelületet, mely ρ_1 és ρ_2 fajlagos-ellenállású homogén közeget választ el ($k = 0,5$). Legyen a szondázási középpont d távolságra a kontrasztfelülettől, akkor r/d függvényében a 4. ábra szemlélteti a látszólagos fajlagos-ellenállás változását. Dipol és *MAN* elrendezésnél a mérő-dipol, illetőleg a *B* elektróda két oldalon helyezkedhet el. Ennek megfelelően két görbét kapunk, míg *Schlumberger* elrendezésnél a szimmetria miatt csak egyet. Az $r/d > 1$ esetben láthatjuk, hogy a *B* elektródának két oldalra való

helyezésével a *MAN* elrendezésnél kapunk legnagyobb különbséget, amiből következik, hogy a *MAN* módszer a legérzékenyebb horizontális inhomogenitásokra a gradiens elrendezések közül. Ha $r/d = 5/3$ -nál kiszámítjuk a dipol és *MAN* elrendezésnél a $\Delta\rho$ látszólagos fajlagos ellenállás-különbséget, valamint a Lee elrendezésre vonatkozólag, akkor azt kapjuk, hogy Lee elrendezésnél $\Delta\rho = 0,09\rho_1$, dipol elrendezésnél $\Delta\rho = 0,4\rho_1$, *MAN* elrendezésnél $\Delta\rho = 0,6\rho_1$



4. ábra

Φ uz. 4.

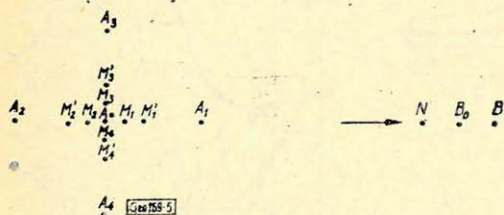
Fig. 4.

Több áramelektrodát alkalmazó elrendezések

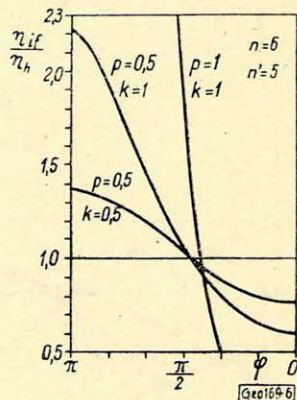
A több áramelektrodát felhasználó teritések közül az irányított áramterű módszert vizsgáljuk meg (6). A módszerre jellemző,

hogy két áramkör van: a mérőáram és a terelőáram. A terelőáram biztosítja, hogy a mérőáram a mérési tartományon belül a felszínre közel merőlegesen ha-

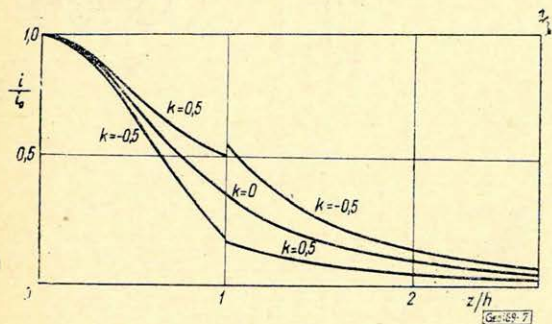
ladjon. A négy terelőelektrodás elrendezést az 5. ábra szemlélteti. A terelőáram helyes beállítását az MM' figyelőelektroda-páron mért $\Delta V=0$ potenciálkülönbséggel ellenőrizzük. Horizontális inhomogenitástól mentes feltérben mind a négy irányban ugyanazt a terelő áram hányadost kapjuk, míg horizontális inhomogenitás jelenlétében a 6. ábra szerint változik az iránytól függően a terelőáramhányados értéke (7). Ebből következik, hogy az oldalhatás így ki-mérhető.



5. ábra
 Физ. 5.
 Fig. 5.



6. ábra
 Физ. 6.
 Fig. 6.

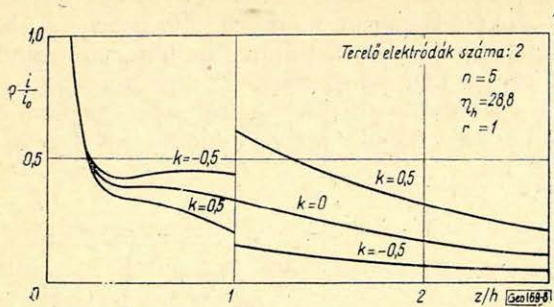


7. ábra
 Физ. 7
 Fig. 7.

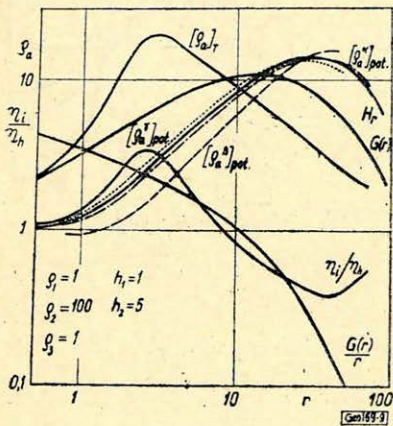
Vizsgáljuk most meg az egy áramkört és a két áramkört alkalmazó (terelőelektrodás) terítések behatolási változásait vízszintes ellenálláskontraszt hatására. E célból vizsgáljuk meg az áramsűrűség z szerinti változását két táp-elektroda esetére a felezőben emelt függőleges mentén egyetlen vízszintes ellenálláskontraszt (k) jelenlétében.

A 7. ábra szemlélteti homogén, $k = 0,5$ és $k = -0,5$ esetben i/i_0 változását z/h függvényében. i_0 a felszínen mért áramsűrűség, h a réteghatár mélysége. Az ábrából leolvashatjuk, hogy pozitív ellenálláskontraszt csökkenti, negatív ellenálláskontraszt növeli az egy áramkörös elrendezés behatolását.

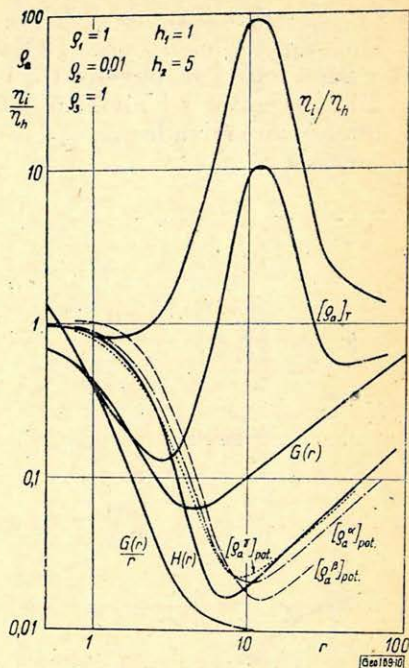
Irányított áramterű elrendezésnél, mivel az áramvonalak iránya merőleges a felszínre, ellentétben az egy áramkört használó elrendezésekkel, nem az áramsűrűség, hanem a $\rho \cdot i$ szorzat jellemző a behatolásra. A 8. ábra szemlélteti két terelő-elektroda alkalmazásánál $\rho \cdot i/i_0$ változását z/h függvényében. Az ábrá-



8. ábra
 Фиг. 8.
 Fig. 8.



9. ábra
 Фиг. 9.
 Fig. 9.



10. ábra
 Фиг. 10.
 Fig. 10.

ból leolvashatjuk, hogy a pozitív ellenálláskontraszt növeli, a negatív ellenálláskontraszt csökkenti a behatolást, azaz fordított az eset, mint az egy áramkört alkalmazó elrendezéseknél.

Összefoglalás

Az eddig elmondottakat összefoglalóan jól szemlélteti a 9. és 10. ábrán feltüntetett két elméleti-görbe együttes. A 9. ábra egy K típusú háromréteges, a 10. ábra egy H típusú háromréteges eset. Mindegyiken a következő elméleti görbéket rajzoltuk meg:

$G(r)$ már említett potenciál-függvény,

$\frac{Gr}{r}$ melynek differenciálhányadosa $H(r)$ -rel arányos,

$H(r)$ gradiens elrendezés esetében a látszólagos fajlagos-ellenállás $[Q_a]_{grad}$.

$[Q_a^x]_{pot}$ Wenner elrendezés esetében a látszólagos fajlagos ellenállás.

$[Q_a^y]_{pot}$ Eltran elrendezés esetében a látszólagos fajlagos-ellenállás.

$[Q_a^z]_{pot}$ egyenközű MAN elrendezés esetében a látszólagos fajlagos-ellenállás,

- η_i/η_h négyterelős elrendezésnél az inhomogén és homogén terelőáramhányados viszonya, ha a terítési hányados $n = 5$,
 $[Q_a]_T$ négyterelős elrendezésnél ($n = 5$) a látszólagos fajlagos-ellenállás.

A hárompotenciális módszernél jól látható az emelkedő és süllyedő szakasznál a görbék sorrendje és a metszéspont elhelyezkedése.

Jól látható a behatolás-különbség a gradiens és a Wenner elrendezés között, valamint a két áramkörös és az egy áramkörös elrendezés között. Azt is láthatjuk, hogy míg pozitív ellenálláskontrasztnál (K típus) a szélsőérték abszcisszáinak hányadosa 10, addig negatív ellenálláskontrasztnál (H típus) csak 2,5, ami alátámasztja az áramsűrűség-vizsgálatokból levont következtést.

IRODALOM

- [1] *E. W. Carpenter*: Some Notes Concerning the Wenner Configuration. — Geophysical Prospecting, Vol. III. Nr. 4. 1955.
- [2] *E. W. Carpenter* and *G. M. Habberjam*: A Tri-potential method of Resistivity Prospecting. — Geophysics, Vol. XXI. No. 2., 1956.
- [3] *H. M. Mooney*, *W. W. Wetzel*: The Potentials about a Point Electrode and ... The University of Minnesota Press, Minneapolis. 1956.
- [4] *Egerszegi Pál*: Geoelektromos szondázásnál véges kiterjedésű felszinközeli földtani alakzatok zavaró hatásának kiküszöbölése, tektonikai vonalak kimutatása. NME Közleményei, Miskolc. (Megjelenés alatt.)
- [5] *M. Unz*: Relative Resolving Power of Four-point Resistivity Configurations. — Geophysics, Vol. XXVIII. No. 3., 1963.
- [6] *J. Csókás*: A Focused-field Geoelectrical Method. Acta Technica, Tom. 43. Fasc. 3.-4. 1963.
- [7] *Egerszegi Pál*: Oldalirányú inhomogenitások kimutatása és hatásának kiküszöbölése a terelőáramos módszernél. Magyar Geofizika, VI. évf. 3-4. sz. 9. old.