Különböző elektróda-elrendezések aszimmetria-érzékenysége

*EGERSZEGI PÁL**

A tanulmány vizsgálja a különböző elektróda-elrendezésű geoelektromos szelvényezésnél az aszimmetriaérzékenységet, azaz a fajlagos ellenállás ugrásszerű horizontális változása kimutatásának érzékenységét. A vizsgálatok során megállapítja, hogy aszimmetrikus elrendezés és két áramkör együttes alkalmazása ugrásszerűen megnöveli az aszimmetria-érzékenységet. Ezt a terelőáramos módszernél úgy érjük el, hogy irányonként külön-külön állítjuk be a $\Delta U = 0$ feltételt. Megfelelő nagy terítési hányados ($n = 4-7$) alkalmazásával a terítésen kívüli ugrásszerű horizontális fajlagos ellenállás-változások is kimutathatók. Erre a célra egy vagy két, 45°-kal elforgatott négyterelős terítés a legalkalmasabb. A kimutathatóság távolsága függ az ellenálláskontraszt (k) értékétől, de $n = 4-7$ terítési hányadosnál közelítőleg $A_0 A_1$ távolság kétszeresének vehetjük.

В работе изучается чуствительность на асимметрию при электрофилировании с различным размещением электродов, т. е. чувствительность определения скачкообразного горизонтального изменения удельного сопротивления. В результате исследований было установлено, что асимметричная расстановка и совместное применение двух сетей тока скачкообразно увеличивает чувсвительность на асимметрию. Это в методе направленного поия достигается тем, что для каждого направленья отдельно устанавливается условие $\Delta u = 0$. При применении соответсвующего большого коэффициента расстановок ($n = 4-7$) можно достичь скачкообразного горизонтального изменения удельного сопротивления вне расстановки. Для этой цели наиболее приемлимой является одна или две повернутых под углом 45° четырехэлектродных расстановок. Расстояние на котором достигается возможность регистрации этой вгличины зависит от значения контраста сопротивления (к), и при коэффициентах расстановок $n = 4-7$ приблизительно равно двукратному расстоянию $A_0 A_1$.

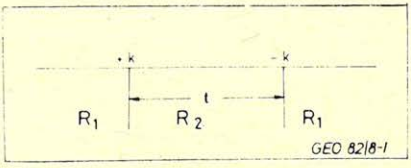
In the paper the asymmetry sensitivity is discussed in case of geoelectrical profiling with various electrode arrays, namely the sensitivity of observation of abrupt horizontal alteration of the resistivity is discussed. It is pointed out that asymmetry- sensitivity considerably increases by the simultaneous application of an asymmetrical array and two circuits. In case of the method with focussed current this is obtained by adjusting the condition $\Delta U = 0$ in each direction. By the application of suitably high spread ratio ($n = 4-7$) the sudden off-spread alterations can also be observed. For this purpose one or two spreads with 4 focussing electrodes rotated by 45° are the most suitable ones. The distance of detectability depends on the value of the resistivity contrast (k) but at spread ratio $n = 4-7$ this can be estimated as the double of the distance $A_0 A_1$.

Előző cikkemben [1] a különböző elektróda-elrendezéseket abból a célból vizsgáltam, hogy a „behatolási mélység" miként változik az „aktív" elektródák, illetve az áramkörök számától. Jelen cikkben az elektródaelrendezések aszimmetriaérzékenységét vizsgáljuk. Az aszimmetriaérzékenység előnyös a közel horizontális irányú ellenállás-változás kimutatásánál, míg hátrányos a geoelektromos szondázásnál.

Az aszimmetriaérzékenység vizsgálatát az *1. ábrán* feltüntetett geoelektromos modellen végezzük, illetve ennek egy szélső esetében, amikor $t = 0$ és így egyetlen kontrasztfelület van pozítív vagy negatív K értékkel [$k = (R_2 - R_1)/(R_2 + R_1)$]. Ennek a vizsgálatnak az a célja, hogy kiválasszuk a legmegfelelőbb elektródaelrendezést oldalirányú – elsősorban vetősíkkal elválasztott – ugrásszerű ellenállás-változás kimutatására. A vizsgálatot a *2. ábrán* látható elektródaelrendezéseken végeztük el.

* Borsodi Szénbányák, Miskolc

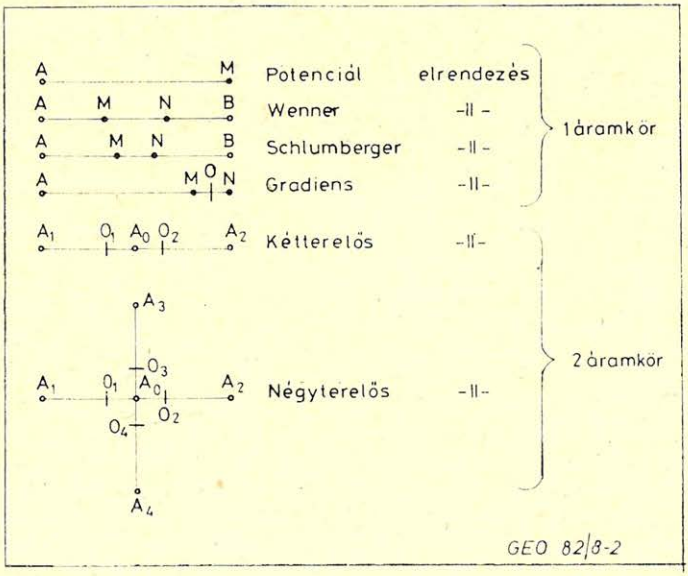
Az elrendezések – a gradiens elrendezés kivételével – szimmetrikusak, és így az *1. ábra* geoelektromos modelljénél szimmetrikus görbét kapunk eredményül *(3., 4., 5.* és *7. ábra)*. Ezeknél a szimmetrikus görbéknél az aszimmetria-érzékenység szempontjából nem beszélhetünk nagy különbségről. A mért R_a/R_1 érték maximálisan R_2/R_1 értékét érheti el, ami a kontrasztfelület két oldalán elhelyezkedő közeg fajlagos ellenállásának a hányadosa. Így mivel $k = 0{,}9$ ellenálláskontrasztnál $R_2 = 19 \times R_1$, a mért R_a/R_1 érték nem lehet nagyobb *19*-nél.



1. ábra. Vizsgálatok geoelektromos modellje

Рис. 1. Электроразведочная модель исследований

Fig. 1. The geoelectric model of the researches



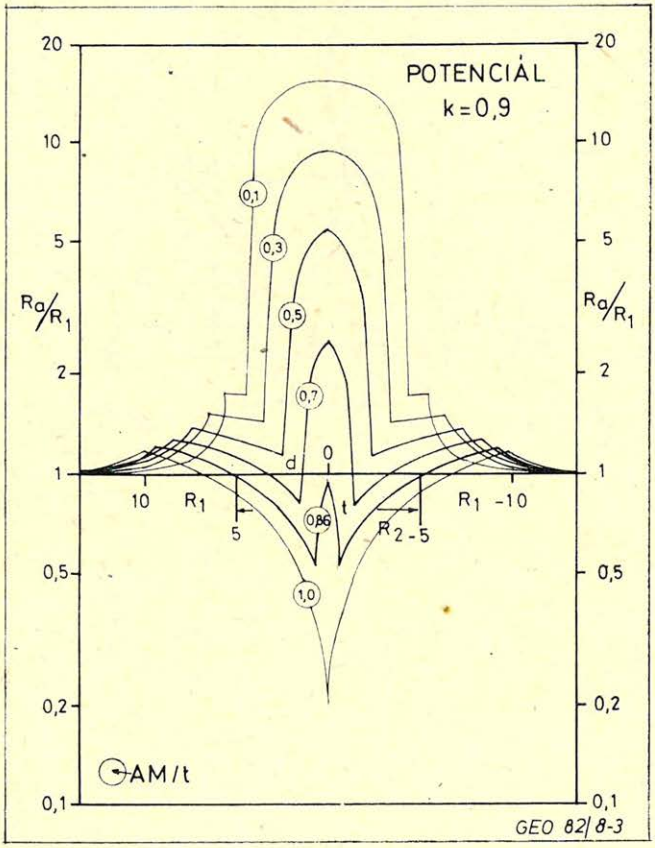
2. ábra. Különböző elektróda-elrendezések, ○ árambevezető ● mérő elektróda helye

Рис. 2. Расстановки электродов ● питающий электрод, измерительный электрод

Fig. 2. Different electrode arrays, ○ the location of the current-electrode ● the location of the measuring electrode

Az egyes görbék R_a/R_1 értékeit d, illetőleg x függvényében hordtuk fel, feltüntettük a görbéken a terítési távolság és a két kontrasztfelület közötti távolság *(t)* hányadosát. (d-vel jelöltük a terítési középpont és a kontrasztfelületek felezőpontja közötti távolságot t egységben, míg x a két mérőelektróda felezőpontja *(0)* és a bal oldali kontrasztfelület közötti távolságot t egységében.)

A potenciál elrendezésénél *(3. ábra)*, ha a terítési távolság megközelíti t értékét, olyan jellegű görbét kapunk, mintha R_2 kisebb lenne R_1-nél, azaz a görbe nehezen értelmezhetővé válik. A Wenner elrendezésnél *(4. ábra)*, ha $AB > t$,

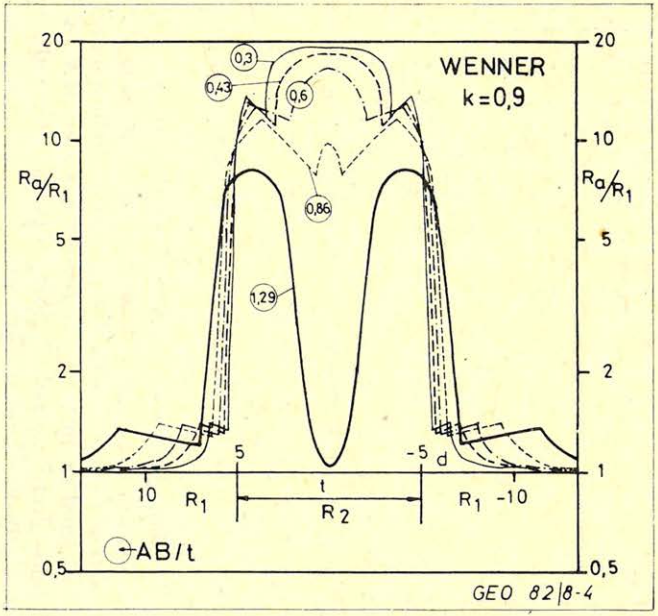


3. ábra. Potenciál elrendezésre számított fajlagos ellenállásgörbék állandó terítési távolságnál

Рис. 3. Кривые удельного сопротивления вычисленные для потенциальных схем при постоянных длинах разносов

Fig. 3. Resistivity curves computed for potential array, at constant spread distance

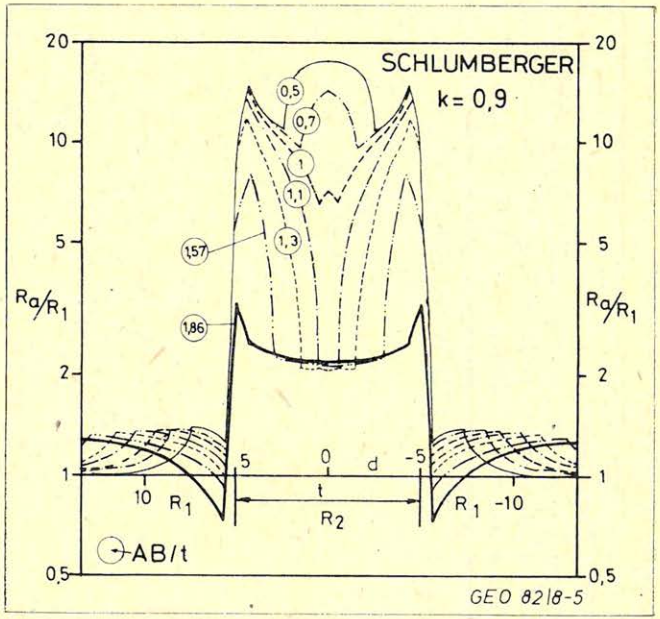
akkor a görbe szabálytalan alakú lesz *(M* alak), bár $d = 0$-nál R_a/R_1 értéke nagyobb marad *1*-nél. Schlumberger elrendezésnél *(5. ábra)* a görbe amplitudója egy adott kisebb értékhez *(* $\sim 2{,}2$*)* közeledik, ha $AB > t$. Schlumberger elrendezésnél változó AB távolsággal számítottuk a görbéket, de az MN távolság mindig $t/10$ vagy $t/7$. Kétterelős elrendezésnél *(7. ábra)* a görbe alakja alig változik, amikor A_1A_2/t *0,6* és *1,43* közötti értéket vesz fel.



4. ábra. Wenner elrendezésre számított fajlagos ellenállásgörbék állandó terítési távolságnál

Рис. 4. Кривые удельного сопротивления вычисленные для расстановок Веннера при постоянной длине разноса

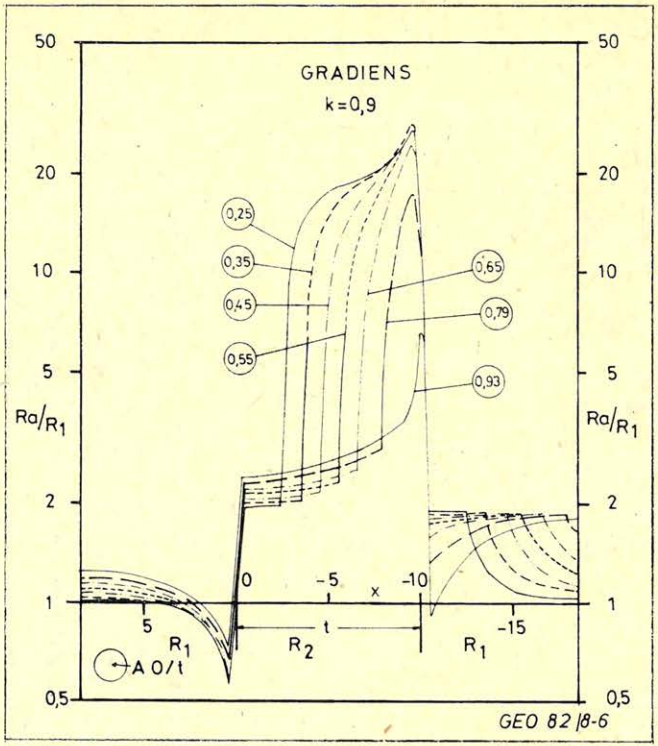
Fig. 4. Resistivity curves computed for Wenner array, at constant spread distance



5. ábra. Schlumberger elrendezésre számított fajlagos ellenállásgörbék állandó terítési távolságnál

Рис. 5. Кривые удельного сопротивления вычисленные для расстановок Шлюмберже при постоянной длине разноса

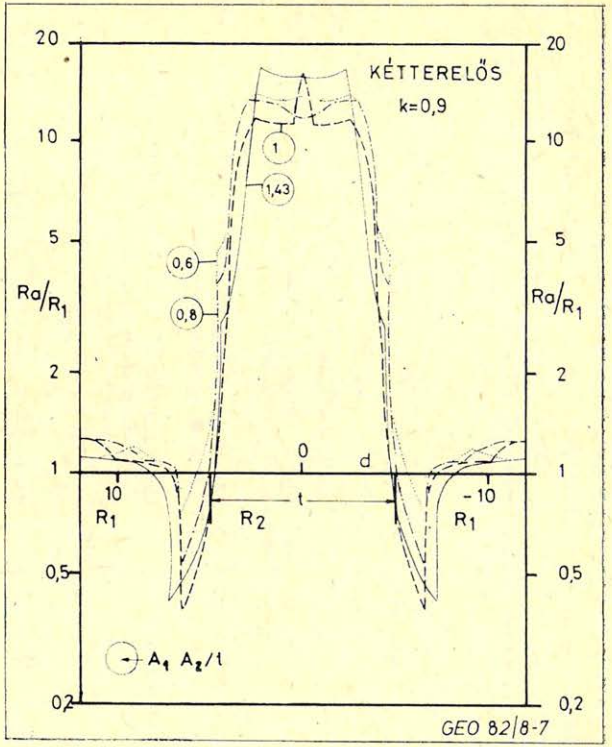
Fig. 5. Resistivity curves computed for Schlumberger array, at constant spread distance



6. ábra. Gradiens elrendezésre számított fajlagos ellenállásgörbék állandó terítési távolságnál

Рис. 6. Кривые удельного сопротивления для градиент – схем при постоянной длине разноса.

Fig. 6. Resistivity curves computed for gradient array, at constant spread distance

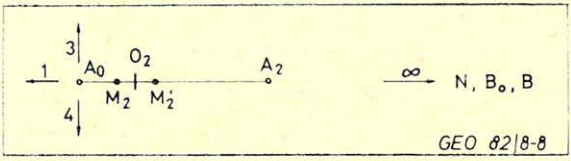


7. ábra. Kétterelős elrendezésre számított fajlagos ellenállásgörbék állandó terítési távolságnál

Рис. 7. Кривые удельного сопротивления для двухэлектродных расстановок при постоянной длине разноса

Fig. 7. Resistivity curves computed for array with 2 focussing electrodes, at constant spread distance

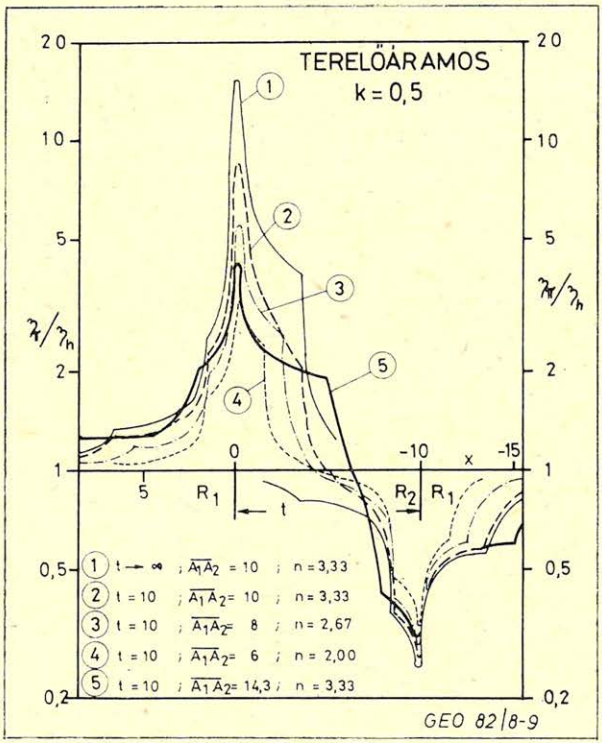
Az aszimmetriaérzékenység megnő az aszimmetrikus elrendezésnél. Így a gradiens elrendezéssel számított görbék *(6. ábra)* maximális értéke *50%*-kal meghaladja R_2/R_1 értékét. Az aszimmetrikus elrendezésnek ezt az előnyét használhatjuk ki, ha a terelőáramos elrendezésnél a figyelő elektródákat *(M* és *M')*



8. ábra. $\Delta U = 0$ feltétel irányonkénti beállításának sémája a terelőáramos módszernél ○ árambevezető ● mérő elektróda helye

Рис. 8. Схема установки условия $\Delta И = 0$ для каждого направления в методе направленного поля. ○ питающий электрод ● измерительный электрод

Fig. 8. Scheme of directional adjustment of the condition $\Delta U = 0$ in case of the method with focussed current, ○ current electrode ● measuring electrode



9. ábra. η_π szelvénymenti változása ($k = 0,5$)

Рис. 9. Изменение η_π вдоль профиля ($\kappa = 0,5$)

Fig. 9. The alteration of η_π along the section ($k = 0,5$)

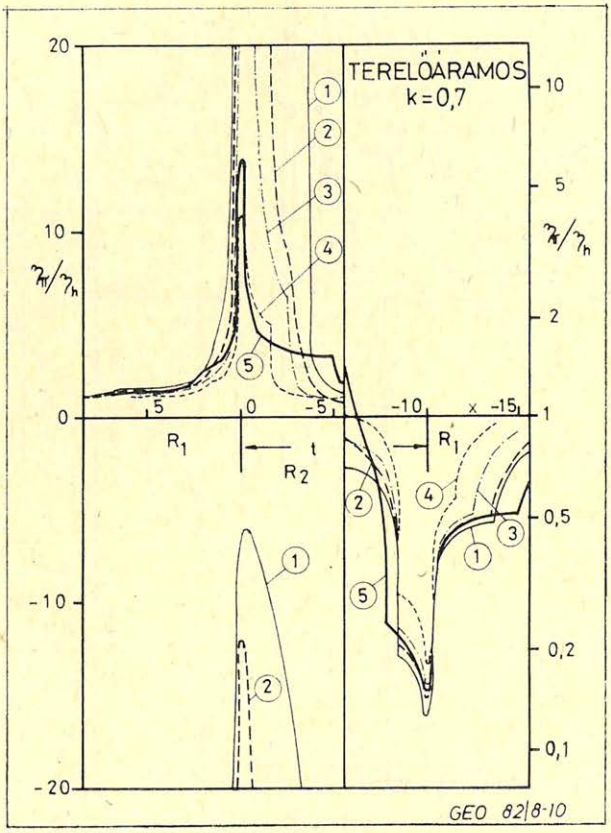
nem szimmetrikusan üzemeltetjük, azaz a megfelelő M vagy M' elektródákat nem zárjuk rövidre, hanem a $\Delta U = 0$ feltételt irányonként állítjuk be *(8. ábra)*.

Kérdés az, hogy mit kell mérnünk a terelőáramos módszernél, hogy megfelelő érzékenységgel mutassuk ki a horizontális ugrásszerű ellenállás-változást. Kétterelős terítésnél a látszólagos fajlagos ellenállás a következőképpen fejezhető ki:

$$R_a/R_1 = C[U_{A_0M} + \eta_i(U_{A_1M} + U_{A_2M})].$$

U-val azt a potenciált jelöljük, ami az M elektródán kialakul a megfelelő áramelektróda hatására; η_i pedig az inhomogén féltérben mérhető terelőáramhányadost jelenti. C egy állandó.

Az összefüggés alapján megállapítható, hogy R_a/R_1 változása hasonló lesz a *4.–7. ábrán* látottakhoz, ha η_i értéke csak kis mértékben változik. Ahhoz tehát,



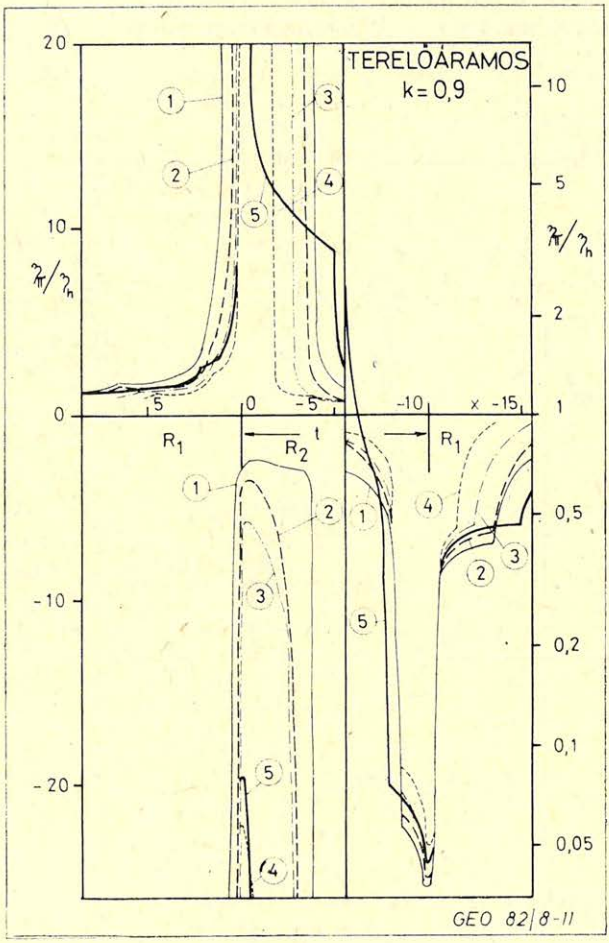
10. ábra. η_π szelvénymenti változása ($k = 0{,}7$) A görbék paraméterének jelentése a *9. ábrán* látható

Рис. 10. Изменение η_π вдоль профиль ($\kappa = 0{,}7$). Значения параметров кривых даны на *рисунке 9.*

Fig. 10. The alteration of η_π along the section ($k = 0{,}7$) The meaning of the parameters of the curves can be seen on *Fig. 9.*

hogy a terelőáramos módszernél a geoelektromos tér aszimmetriájának hatására nagy változásokat kapjunk R_a/R_1 mért értékeiben, η_i értékének is nagy mértékben kell változnia. Ennek megfelelően tehát horizontális ugrásszerű ellenállásváltozások hatásának kimutatására elegendő η_i meghatározása, azaz a terelőáram és a mérőáram erősségének mérése.

Az inhomogén féltérben mért terelőáram-hányadost η_π-vel jelöljük, ha az A_0 elektródától balra elhelyezkedő figyelő elektródákon állítjuk be a $\Delta U = 0$ feltételt, azaz az 1. irányban és η_0-val, ha a 2. irányban [2]. Az 1. és 2. irány merőleges a kontraszt felületekre A homogén féltérben mért terelőáram-hányadost η_h-val jelöljük.



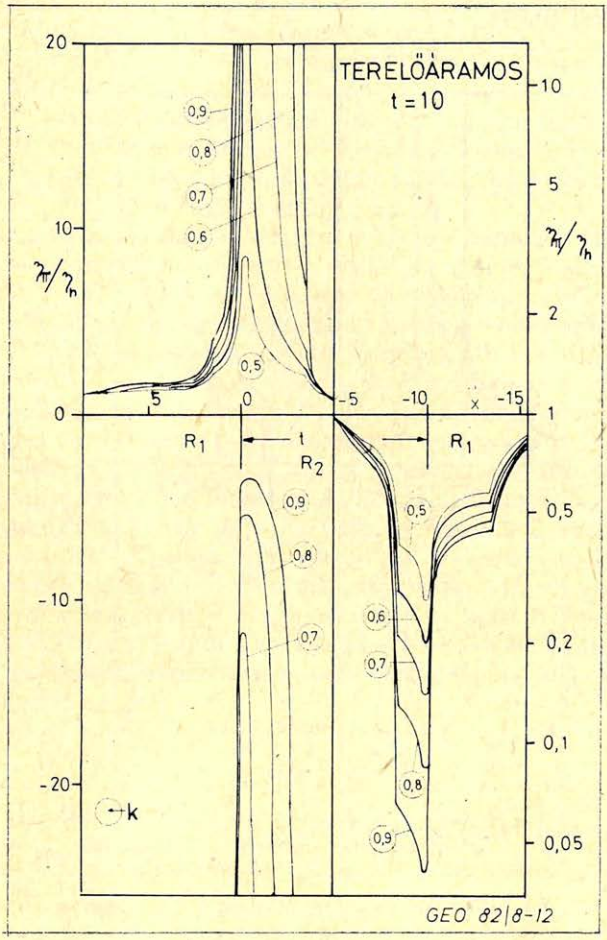
11. ábra. η_π szelvénymenti változása ($k = 0{,}9$) A görbék paraméterének jelentése a *9. ábrán* látható

Рис. 11. Изменение η_π вдоль профиля ($\kappa = 0{,}9$). Значения параметров кривых даны на *рисунке 9.*

Fig. 11. The alteration of η_π along the section ($k = 0{,}9$) The meaning of the parameters of the curves can be seen on *Fig. 9.*

9–11. ábrákon tüntettük fel kétterelős elrendezésnél a hányadosokat különböző A_1A_2 és n értéknél, n a terítési hányados

$$n = \frac{A_0A}{A_0O}.$$



12. ábra. η_π szelvénymenti változása k függvényében

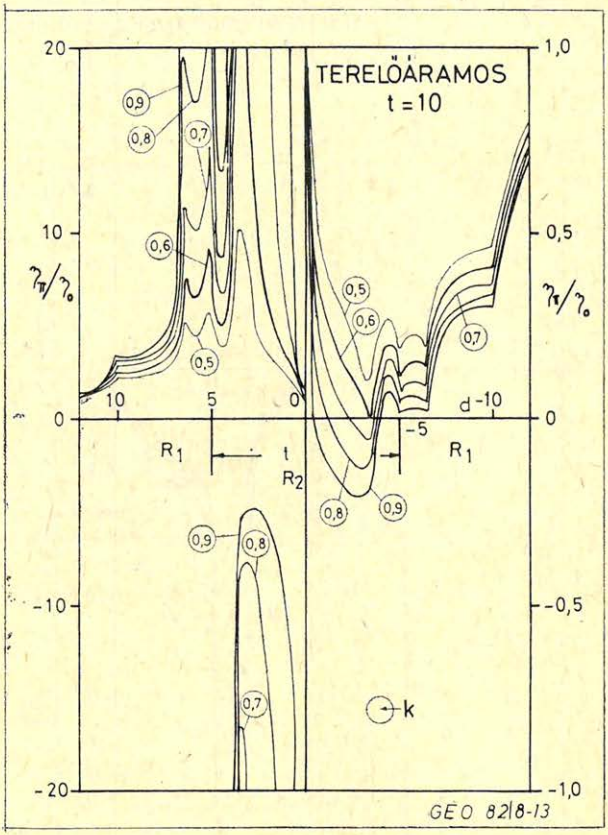
Рис. 12. Изменение η_π вдоль профлия в зависимости от κ.

Fig. 12. The alteration of η_π along the section versus k

Ha megfigyeljük ezeket a görbéket, azt tapasztaljuk, hogy a maximális η_π/η_h érték messze meghaladja az R_2/R_1 fajlagos ellenálláshányadost. Így a *9. ábrán*, amikor $k = 0{,}5$, azaz $R_2 = 3 \times R_1$, $(\eta_\pi/\eta_\pi)_{max}$ még $n = 2$-nél is (4. görbe) meghaladja R_2/R_1értékét, míg $n = 3{,}33$-nál (2. görbe) *8,4.* A *10. ábrán* ($k = 0{,}7$, azaz $R_2 = 5{,}7\ R_1$) ez a hatás növekszik, és $\eta\pi/\eta_h$ maximális értéke $n = 3{,}33$-nál (2. görbe)-$12/\eta_\pi$ értéke az inhomogenitás mértékétől függően nö-

vekszik $+\infty$-ig, majd $-\infty$-től tart 0 felé, azaz a kis negatív érték nagyobb ∞-nél A *11. ábrán* ($k = 0{,}9$, azaz $R_2 = 19\ R_1$) $(\eta_\pi/\eta_h)_{max}$ $n = 3{,}33$-nál (2. görbe) $-3{,}4$. A *10.* és *11. ábra* jobb oldalán – hasonlóan a *12. ábrához* – logaritmikus léptéket alkalmazunk az *1*-nél kisebb értékek szemléletesebbé tételére.

Láthatjuk tehát, hogy amikor a figyelőelektródák áthaladnak a kontrasztfelületen ($d = 5$, illetve -5), akkor a terelőáram-hányados rendkívül nagy ($-3{,}4$), vagy kicsi (0,04).



13. ábra. η_π/η_0 szelvénymenti változása k függvényében

Рис. 13. Изменение η_π/η_0 вдоль профиля в зависимости от κ.

Fig. 13. The alteration of η_π/η_0 along the section versus k

Ha mind az 1. és 2. irányban külön-külön állítjuk be a $\Delta U = 0$ feltételt, azaz mérjük η_π és η_0 értékét, a két inhomogén terelőáram-hányadost is viszonyíthatjuk egymáshoz. A *12. ábra* η_π/η_0, míg a *13. ábra* η_π/η_0 változását szemlélteti különböző k értékek mellett, ha $A_1A_2 = t$ és $n = 3{,}33$. A *13. ábra* jobb oldalán nyújtott léptéket alkalmaztunk.

Az eddig elmondottak alapján leolvashatjuk azt a következtetést, hogy az elektromos fajlagos ellenállásmérésnél a különböző elrendezésű terítések vonat-

kozásában az aszimmetria-érzékenységet, azaz a fajlagos ellenállás ugrásszerű horizontális változása kimutatásának érzékenységét egyrészt aszimmetrikus elrendezéssel, másrészt két áramkör alkalmazásával növelhetjük. A terelőáramos elrendezésnél, mely két áramkörrel rendelkezik, az aszimmetrikus elrendezést úgy érjük el, hogy a *8. ábra* szerint irányonként állítjuk be a $\Delta U = 0$ feltételt. A terelőáramos módszernél az aszimmetria-érzékenységet tovább növelhetjük a térítési hányados *(n)* növelésével, amint a *9.–11. ábrán* látszik.

A terítési hányados növelésének természetesen határt szab az a követelmény, hogy a figyelőelektródák közötti távolsághoz képest pontszerű legyen a két elektróda, azaz az MM' távolságának az elektróda átmérőjének ötszörösénél nagyobb nak kell lennie. A minimális terítési távolságtól függően legoptimálisabb, ha n értékét *4* és *7* között választjuk. Ilyen terítési hányadossal mérve nemcsak a kontrasztfelület harántolása során kapunk kiugró értéket, de egy vető-síkhoz közeledve előre jelezhetjük a hatását irány szerint.

Vetők, azaz ugrásszerű horizontális fajlagos ellenállásváltozás kimutatására a négyterelős terítés alkalmasabb, mint azt már egy előző cikkemben kifejtettem [2]. A vetősíkhoz közeledve egy vagy két egymáshoz képest *45°*-kal elfordított négyterelős terítéssel meghatározhatjuk a vető csapásvonalára merőleges normális irányát, mivel a különböző irányokban beállított $\Delta U = 0$ feltétellel meghatározott η_i értékek szabályos görbét írnak le. Az értékek szórása miatt megfelelőbb, ha nem *4*, hanem *8* irányban állítjuk be a $\Delta U = 0$ feltételt, azaz két, egymáshoz képest *45°*-kal elforgatott négyterelős terítéssel mérünk.

Összefoglalásként elmondhatjuk, hogy a különböző irányokban beállított $\Delta U = 0$ feltétellel mérve a terelőáramos módszer aszimmetriaérzékenysége nagy mértékben megemelkedik, így ez a módszer elsősorban horizontális ellenállásváltozás kimutatására alkalmas. Ezen kívül az irányok variációja lehetőséget ad a terítésen kívül horizontális ellenállásváltozás kimutatására. A kimutathatósági távolság, azaz az a terítési középpont és a kontrasztfelület közötti távolság, ami mellett egyértelműen kimutatható a kontrasztfelület hatása, függ a kontrasztfelület k értékétől. Kimutathatósági távolságnak közelítőleg az A_0A_1 távolság kétszeresét vehetjük.

IRODALOM

[1] *Egerszegi P.:* Elektódák helyének és két tápkör alkalmazásának hatása a geoelektromos szondázásnál. Magyar Geofizika XXI. évf. 5. sz. p. 185–192. 1980.

[2] *Egerszegi P.:* Oldalirányú inhomogenítások kimutatása és hatásának kiküszöbölése a terelőáramos módszernél. Magyar Geofizika VI. évf. 3–4. sz. 1965.