

Felszínközeli üregek mélységének és méretének meghatározása geoelektromos dipólszelvényezéssel

FERENCZY LÁSZLÓ*

A felszínközeli, 4–5 m mélységben elhelyezkedő üregek kutatása általában geoelektromos módszerrel történik. Homogén feltételekben levő, végtelen hosszú és fajlagos ellenállású, vízszintes hengernek a potenciáltérre gyakorolt hatása meghatározható. Megfelelően kiválasztott elektród terítési rendszerre számított látszólagos-fajlagos-ellenállás-görbék alapján nomogram készíthető. A nomogramból egy adott dipóltávolsággal mért látszólagos fajlagos-ellenállás-görbe maximumánál az üreg mélysége és mérete kiolvasható.

A kisebb talajinhomogenitások hatásának kiszűrésére és az üregek által okozott anomáliák kiemelésére ún. maradék-anomália görbék számíthatók.

Ha 10%-os ellenállásnövekedés jelenti az üreg kimutathatóságának alsó határát, akkor dipólszelvényezéssel az üregek $h = 4,5 R$ mélységig kutathatók (R az üreg sugara).

Исследование приповерхностных пустот, расположенных на глубине 4–5 м, проводится, как правило, геоэлектрическим способом. Влияние на потенциал горизонтального цилиндра бесконечной длины и удельного сопротивления, расположенного в однородном полупространстве, можно определить. На основе кривых кажущегося удельного сопротивления, рассчитанных на соответствующую выбранную систему перекрытия, можно построить номограмму. С номограммы, при максимуме некоторой кривой кажущегося удельного сопротивления с заданным дипольным расстоянием можно считать глубину и размеры пустоты.

С целью исключения влияния небольших неоднородностей почвы, а также и для увеличения аномалий от пустот, можно рассчитать кривые остаточных аномалий.

Если увеличение сопротивления в 10% означает нижний предел возможности обнаружения пустоты, то с помощью дипольного профилирования можно исследовать пустоты до глубин $h = 4,5 R$ (R означает радиус пустоты)

Detection of shallow cavities lying about at a depth of 4–5 m can be made in general by means of geoelectric methods. One can determine the influence of a horizontal cylinder of infinite length and specific resistivity upon the potential field. Basing on specific resistivity curves computed for a suitable chosen layout system one can construct a nomogram from which one can read out depth and dimension of the cavity at the maximum of the specific resistivity curve measured with a given dipole distance.

In order to filter out the effect of minor ground inhomogeneities and to eliminate anomalies caused by the cavities one can compute so called residual anomaly curves.

If the lower limit of determinability at a resistivity increase is 10%, then the cavities can be detected down to a depth: $h = 4,5 R$, where R denotes the radius of the cavity.

1. Bevezetés

A felszín közelében levő ismeretlen üregek kimutatása és helyének meghatározása sok gondot okoz. A tapasztalatok azt mutatják, hogy akkor jelentenek nagy problémát, mikor a felszín közelében, vagy valamilyen objektum alapszintje alatt 4–5 m mélységig helyezkednek el.

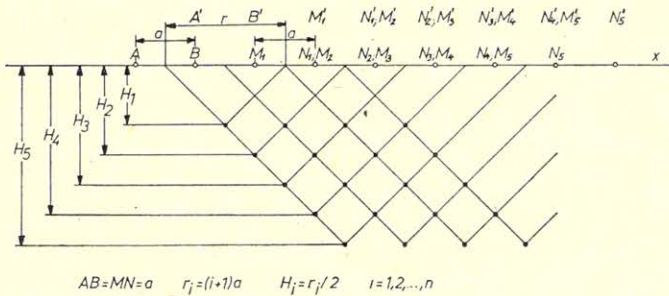
Üregkutatásra legtöbbször a geoelektromos eljárást alkalmazzák. Többek között geoelektromos szelvényezéssel nyert ellenállásgörbék segítségével jelölhetők ki az üregek. Az üregeknek a potenciáltérre gyakorolt hatását elméleti úton számítani lehet. Különböző elektród elrendezésekre meghatározott ellen-

* NME Geofizikai Tanszék

állásgörbékét vizsgálva megállapítható, hogy az üreg kimutathatósága szempontjából leglényegesebb az optimális elektród terítési rendszer kiválasztása, melynél az alábbi szempontokat kell figyelembe venni:

- jellegzetes, jól felismerhető és mennyiségileg is értékelhető anomáliák mérését tegye lehetővé,
- megfelelő sűrűn történjék a fajlagos ellenállás értékek mérése a vonal mentén mind horizontális, mind vertikális irányban,
- és gazdaságos legyen.

Különböző elektród-elrendezésekkel végzett fajlagos-ellenállás-szelvényezések hatékonyságát elméleti úton számított látszólagos fajlagos-ellenállásgörbék segítségével lehet vizsgálni [1]. Ezek alapján megállapítható, hogy az előzőekben felsorolt szempontoknak leginkább a dipól axiális, vagy más néven a növelt Eltran-elektrod-elrendezés [2] felel meg, melynél az elektródtávolság $AB = MN = a$, a dipólok közötti távolságok, $r = 2a, 3a, 4a, \dots$, azaz $r_i = a(1+i)$ és a vonatkozási mélység, melyekre a átszólágos fajlagos-ellenállás értékek vonatkoznak, $H_i \approx r_i/2$, ahol $i = 1, 2, \dots, n$ (1. ábra). Az a távolság és az r_n megválasztása a kutatási mélységtől függ. Felszínközeli üregek kutatásánál általában $a=2$ m és $r_n=12$ m [3].



ГЭО 80/7-1

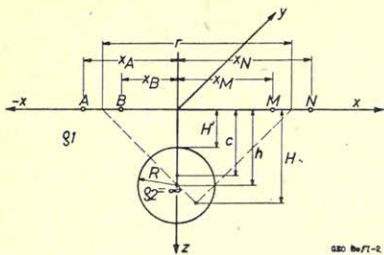
1. ábra. Növelt Eltran terítési rendszer

Рис. 1. Элтран – расширенная система перекрытия

Fig. 1. Increased Eltran spread system

2. Az üregek hatásának matematikai leírása

Egy ρ_1 fajlagos ellenállású homogén féltér belsejében vegyünk fel egy henger alakú, ρ_2 fajlagos ellenállású testet. A matematikai eljárás egyszerűsödik, ha az üreget az y tengellyel párhuzamos végtelen hosszú henger helyettesíti (2. ábra). Általában a föld felszínén elhelyezett áram- és mérőelektrodok segítségével, valamint a Laplace-egyenletet kielégítő és a határfeltételeket teljesítő megoldással meghatározható a ρ_s látszólagos fajlagos ellenállás görbéje tetszőleges elektród elrendezéseknél. A dipól axiális elrendezés paraméterei: x_A, x_B az áramelektrodok, x_M, x_N a mérőelektrodok távolsága a z tengelytől (2. ábra). Az üreg geometriai paraméterei: R az üreg sugara; h az üreg középpontjának a felszíntől való távolsága; H' az üreg tetejének mélysége; c a behatolási mélység és $c = (h^2 - R^2)^{1/2}$, melynél a maximális látszólagos fajlagos ellenállás számítható, ha $c = r/2$.



2. ábta. Geofizikai-matematikai modell

Рис. 2. Геофизическо – математическая модель

Fig. 2. Geophysical-mathematical model

Levezethető, hogy az üreg által okozott látszólagos fajlagos ellenállás anomália az üreg tengelyére merőleges szelvény mentén a következőképpen számítható:

$$\varrho_s/\varrho_1 = 1 + \frac{\Delta V_{ST}}{\Delta V_0} \quad (1)$$

ahol ΔV_{ST} az üreg által okozott „zavar”-potenciál, ΔV_0 az üreg nélküli homogén féltér „normál”-potenciálja. Bipoláris koordinátarendszerben az alábbi összefüggések nyerhetők [4]:

$$\Delta V_0 = \frac{I \varrho_1}{2\pi} \left[\ln \frac{1 - \cos(\xi_M - \xi_A)}{1 - \cos(\xi_M - \xi_B)} - \ln \frac{1 - \cos(\xi_N - \xi_A)}{1 - \cos(\xi_N - \xi_B)} \right] \quad (2)$$

$$\Delta V_{ST} = \sum_{m=1}^{\infty} -\frac{2I \varrho_1}{m\pi} \frac{\alpha}{e^{2m\eta_0} - \alpha} [(\cos m \xi_B - \cos m \xi_A) \cdot (\cos m \xi_M - \cos m \xi_N) + (\sin m \xi_B - \sin m \xi_A) \cdot (\sin m \xi_M - \sin m \xi_N)], \quad (3)$$

ahol I az áramerősség,

$$\alpha = \frac{\varrho_2 - \varrho_1}{\varrho_2 + \varrho_1}, \quad \eta_0 = \ln \left(\frac{h}{R} + \sqrt{\frac{h^2}{R^2} - 1} \right)$$

és

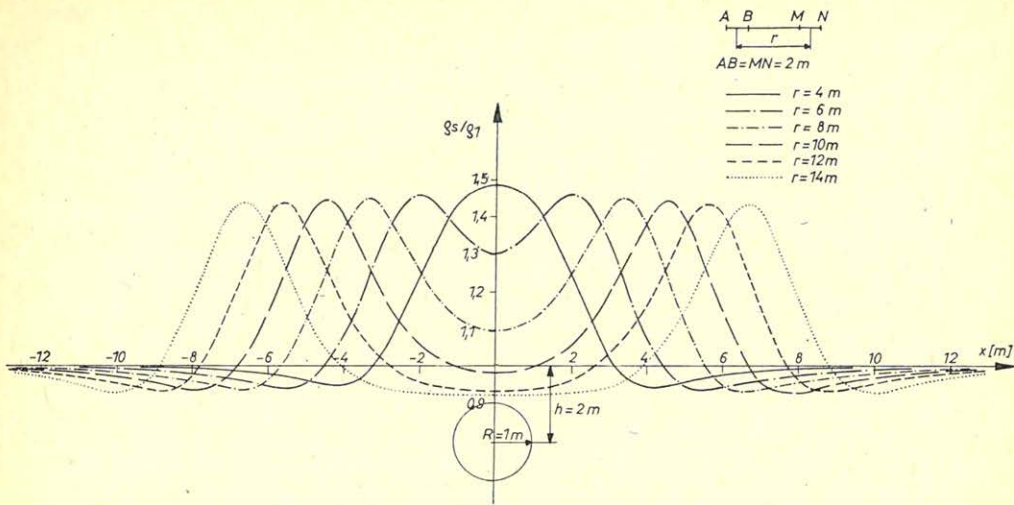
$$\xi_A = 2 \arctan \frac{\sqrt{h^2 - R^2}}{y_A}; \quad \xi_B = 2 \arctan \frac{\sqrt{h^2 - R^2}}{y_B}$$

$$\xi_M = 2 \arctan \frac{\sqrt{h^2 - R^2}}{y_M}; \quad \xi_N = 2 \arctan \frac{\sqrt{h^2 - R^2}}{y_N}$$

A fenti összefüggések alapján ϱ_s/ϱ_1 programozható asztali kalkulátorral számítható. Látszólagos fajlagos-ellenállás-görbéket mutat a 3., 4. és 5. ábra, ahol az üregek sugara 1 m; mélységük $h = 2, 3$ és 4 m; a dipóltávolságok $r = 4, 6, 8, 10, 12$ és 14 m; $AB = MN = 2$ m. Az üreg fajlagos ellenállása $\varrho_2 = \infty$.

3. A mérések értelmezése

A 3, 4 és 5. ábrán látható elméleti görbéket összehasonlítva más elektród-elrendezésre számítottakkal, lényeges eltérések mutatkoznak:

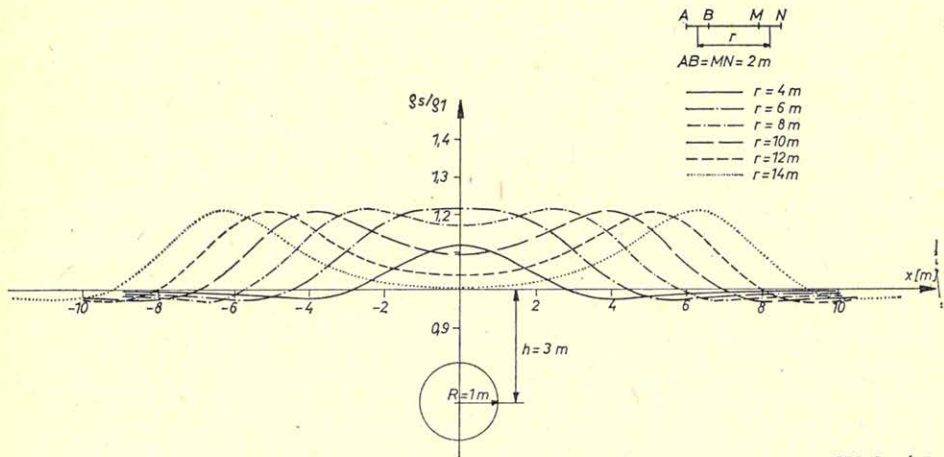


GEO 80/7-3

3. ábra. $R = 1$ m sugarú, $h = 2$ mélységű üreg számított anomália görbéi

Рис. 3. Расчитанные кривые аномалий от пустоты с глубиной $h = 2$ м и радиусом $R = 1$ м

Fig. 3. Computed anomaly-curves of a cavity with depth $h = 2$ m and a radius of $R = 1$ m



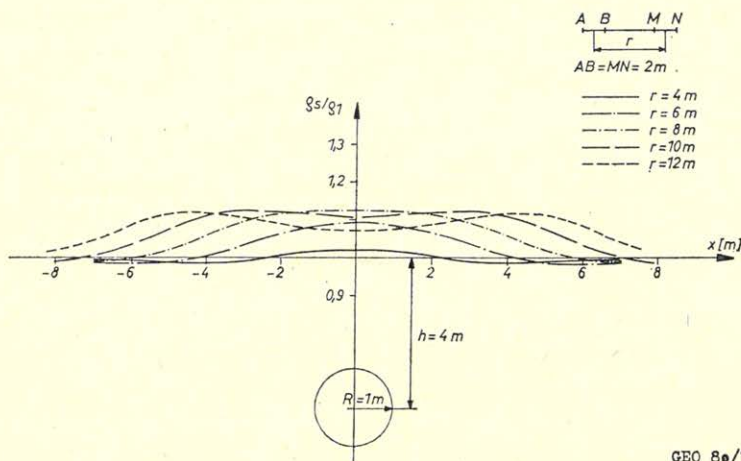
GEO 80 / 7-4

4. ábra. $R = 1$ m sugarú, $h = 3$ m mélységű üreg számított anomália görbéi

Рис. 4. Расчитанные кривые аномалий от пустоты с глубиной $h = 3$ м и радиусом $R = 1$ м

Fig. 4. Computed anomaly-curves of a cavity with depth $h = 3$ m and a radius of $R = 1$ m

- ha $r/2 \cong h$, akkor a görbének egy maximuma, ha $r/2 > h$ akkor a tengelyre szimmetrikusan két maximuma, az üreg felett pedig minimuma van;
- a fiktív maximumok az r növekedése ellenére közel egyenlő értékűek és ott jelentkeznek, ahol a mérőelektrodapár vagy az áramelektrodapár az üreg fölé kerül (az elektrodapárok felezőpontja a koordináta-rendszer kezdőpontjában van);
- az egy maximumú görbék közül a legnagyobb anomália értékű annál a dipóltávolságnál adódik, mely közelítőleg megegyezik az üreg mélységével, azaz $h \approx r/2$.
- az oldalminimumok szintén r -től függetlenül közel egyező nagyságúak és növelik az anomália görbe élességét.



GEO 80/7-5

5. ábra. $R = 1$ m sugarú, $h = 4$ m mélységű üreg számított anomália görbéi

Рис. 5. Расчитанные кривые аномалий от пустоты с глубиной залегания $h = 4$ м и радиусом $R = 1$ м

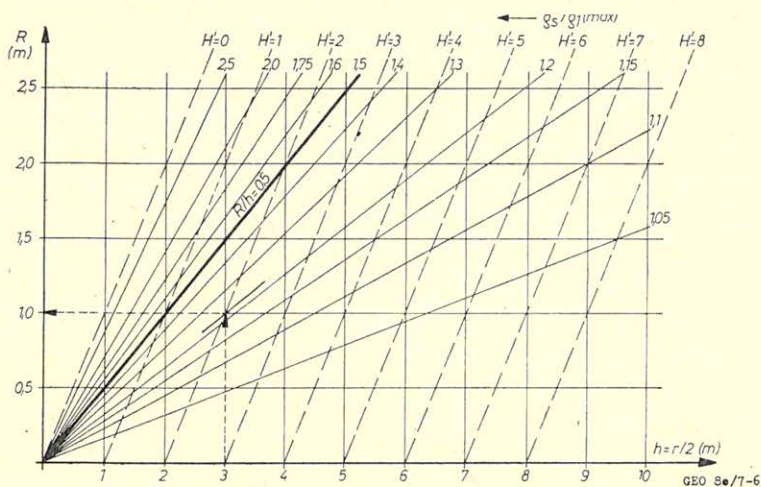
Fig. 5. Computed anomaly-curves of a cavity with depth $h = 4$ m and a radius of $R = 1$ m

A számítások rámutattak arra, hogy a mennyiségi értelmezés egyedüli korlátját a c behatolási mélység jelenti. Ugyanis a legnagyobb anomáliaérték $c = r/2$ esetén adódna. Ismeretlen méretű és mélységű üregek kutatásánál azonban c értéke ismeretlen, ezért a kutatási mélységtartomány hozzávetőleges ismerete alapján történik $r/2$ megválasztása. Könnyen kiszámítható, hogy felszínközeli üregek kutatásánál nem követünk el nagy hibát, ha $R/h < 0,5$ és $R < 2$ m esetén a $c \approx h$ feltételezéssel élünk. Például ha $R = 1$ m, $h = 3$ m, akkor $c = 2,83$ m. A $c = r/2$ -nél és a $h = r/2$ -nél számított maximális anomália értékek eltérése pedig csak 1–2%.

Az előzőek alapján $a = 2$ m-es dipól axiális elektrod elrendezésre olyan nomogram készíthető, melynek segítségével meghatározható az üreg h mélysége és R sugara (6. ábra). Annál az $r/2$ -nél, melynél a látszólagos fajlagos ellenállás érték a legnagyobb és a görbének egy maximuma van, R , h , és H' a nomogramból meghatározható. Például, ha $r/2 = 3$ -nál a mért $Q_s/Q_{1(\max)} = 1,22$, akkor az üreg sugara $R = 1$ m, középpontjának a mélysége $h = 3$ m, tetejének a

felszíntől való távolsága $H' = 2$ m. Az ábrán a $R/h = 0,5$ vonaltól balra levő területre eső pontok csak közelítő értékeket adnak, mivel itt már nem teljesül a $c \approx h$ feltétel.

Jelentse 10%-os ellenállásnövekedés az üreg kimutathatóságának alsó határát ($\rho_s/\rho_{1(\max)} = 1,1$), akkor az 1 m sugarú üreg 4,5 m, az 1,5 m sugarú 6,75 m, a 2,0 m sugarú 9,0 m mélységből mutatható ki, azaz az üreg teteje és a felszín közötti távolság 3,5; 5,25 és 7,0 m. Dipól axiális szelvényezéssel tehát az üregek $h = 4,5R$ mélységből mutathatók ki.



6. ábra. Nomogram üregek mélységének és sugarának meghatározásához

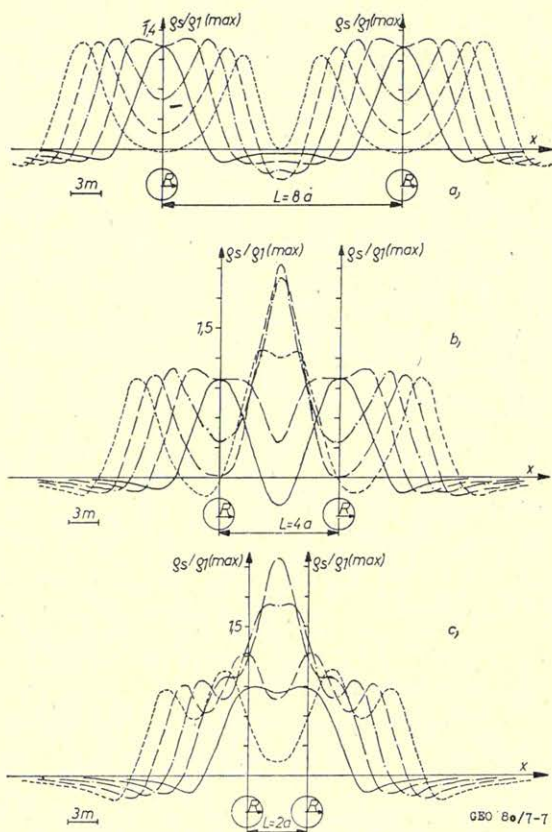
Рис. 6. Номограмма для определения глубины залегания и радиуса пустот

Fig. 6. Nomogram for determination of depth and radius of cavities

4. Két üreg egymásra hatása

A kutatási tapasztalatok azt mutatják, hogy gyakran több üreg is található egy kisebb területen belül. Ilyen esetben a dipól axiális elektród elrendezéssel meghatározott látszólagos fajlagos ellenállásgörbék – attól függően, hogy a két üreg milyen L távolságra van egymástól – eltérnek az egyetlen üreg felett számítottól. Modell mérésekkel igazolható, hogy a két üreg külön-külön jelentkező hatása $L < 9a$ távolságoknál összeadódik. Ilyen látszólagos fajlagos ellenállás görbéket mutat a 7. ábra, ahol az üregek sugara és az elektródok távolsága ($AB = MN = a = R$) egyenlő. Megállapítható, ha két üreg távolsága $L = 8a$, akkor az anomália görbék már észrevehetően torzulnak (7a. ábra). Az üregek távolságának csökkenésével a két üreg között egy közel kétszeres nagyságú álanomáliát kapunk (7b. ábra) és $L = 2a$ távolságnál az anomália görbe jellege is megváltozik (7c. ábra). Abban az esetben, amikor az üregek közvetlen egymás mellett vannak ($L = a$), az anomáliagörbe hasonlít egy $2R$ sugarú üreg anomália képéhez.

Két közeli üreg esetén a nomogram az oldalsó maximumok anomália értéke és a különböző dipól távolságokkal nyert görbék minimumai és maximumai alapján csak becslésekre használható.



7. ábra. Két közeli üreg számított anomália görbéi $a = R$ esetén

Рис. 7. Расчитанные кривые аномалий для двух близких пустот в случае $a = R$

Fig. 7. Computed anomaly-curves of two nearby cavities

5. Maradék-anomália görbék

Az elméleti számítások homogén feltérben levő végtelen fajlagos ellenállású, a terítésre merőleges tengelyű hengeres üregekre vonatkoznak. Az üregkutatási feladatok során azonban az üregeket magában foglaló közeg ritkán homogén. Különösen a felszínközeli (1 m-ig) talaj apró inhomogenitásai zavarják az anomália képet. Ezek nemcsak a legkisebb dipóltávolsággal mért látszólagos fajlagos ellenállás görbét, hanem a mélyebb szintekét is befolyásolják. Ezért gyakran már az is problémát okoz – főleg mélyebben levő üregek kutatásánál – hogy az üregekre jellemző anomália képet felismerjük. A kisebb inhomogeni-

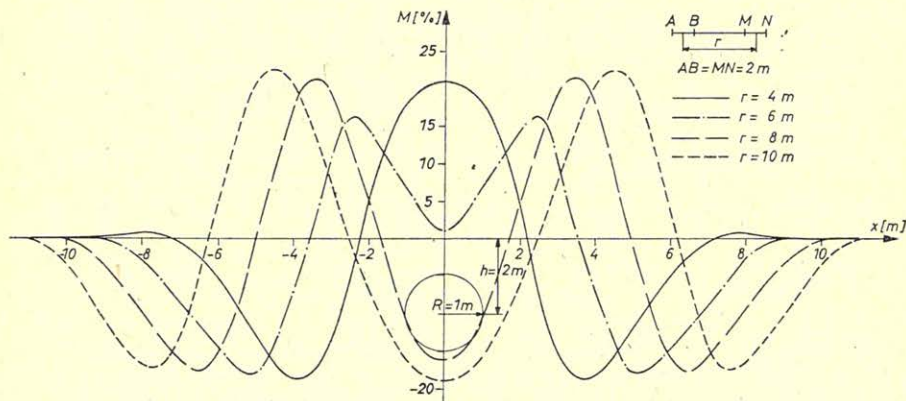
tások hatásának kiszűrésére és az üregek által okozott anomáliák kiemelésére ún. maradék anomália görbék számíthatók. Az azonos dipóltávolságokhoz tartozó ϱ_s látszólagos fajlagos ellenállás értékeket kis környezetben átlagolva és ezen $\bar{\varrho}_s$ átlagértéket a mért ϱ_s -ből kivonva megkapjuk a $M(\%)$ maradék anomália értékét a következők szerint:

$$M_i(\%) = (\varrho_{s_i} - \bar{\varrho}_{s_i}) \cdot \frac{100}{\varrho_{s_i}}, \quad (4)$$

ahol

$$\bar{\varrho}_{s_i} = \frac{1}{5} \sum_{i=2}^{i+2} \varrho_{s_i}, \quad i = 3, 4, 5, \dots, n$$

A 8. ábrán bemutatott maradék anomália görbékéből látható, hogy alakra nagyon hasonlóak a látszólagos fajlagos ellenállás görbékhez. A nagy negatív értékek az anomália görbét élesebbé teszik és elősegítik az üregek könnyebb felismerését.



GEO 80/7-8

8. ábra. $R = 1$ m sugarú, $h = 2$ m mélységű üreg, számított maradék anomália görbéi

Рис. 8. Кривые остаточных аномалий, рассчитанные для пустоты с глубиной залегания $h = 2$ м и радиусом $R = 1$ м

Fig. 8. Computed residual-anomaly-curves of a cavity of radius $R = 1$ m and depth $h = 2$ m

6. Összefoglalás

Az elméleti számítások igazolták, hogy felszínközeli üregek kutatására a dipól axiális elektród elrendezés a bevezetésben leírt szempontoknak eleget tesz. Az üregek fölött mért, különböző mélységekre vonatkozó látszólagos fajlagos ellenállás görbék a r dipóltávolságtól függően jellegzetes, jól felismerhető és mennyiségileg is értelmezhető anomália képet mutatnak. A maradék-anomália-görbék segítségével a mélyebben fekvő és inhomogén közetben levő üregek is kimutathatók.

A különböző méretű és mélységű üregek kimutatásának alsó határa egyben definiálja azt a legnagyobb dipóltávolságot, melyből gazdaságosan tervezhető a mérési rendszer. Az $a = 2$ m-re elhelyezett elektródákkal mért anomáliagörbék alapján egymáshoz közeli üregek is kimutathatók. Nagyobb elektród távolságok ($a > 2$ m) esetén ugyanakkora üregeknél az anomáliák nagysága és élessége csökken. Kisebb, pl. $a = 1$ m elektród távolságoknál viszont ugyanazon mélység kutatásához négyszeres időre lenne szükség.

Ha pl. 24 db elektród csatlakozik a mérőműszer gyorskapcsolójához, mellyel a mérő- és tápdipólok különböző helyzetbe kapcsolhatók, akkor $a = 2$ m és $r = 4, 6, 8, 10$ és 12 m esetén 46 m hosszú szelvény mentén 5 mélységszintből $1 - 1,5$ óra alatt 110 db látszólagos-fajlagos-ellenállás adat mérhető.

IRODALOM

- [1] *H. Milúter, R. Rösler, W. Losch*: Theoretische Modellkurven zum geoelektrischen Hohlraumnachweis. VEB BuS Welzow 1977.
- [2] *S. S. West*: Three-layer resistivity curves for the Eltran electrode configuration. Geophysics, Vol. V., No 1, pp. 43–46.
- [3] *Csókás J. – Gyulai Á. – Lénárd M.*: Mérnökgeofizika az építőiparban. Építőanyag, XXVI. évf. 1974. 1. sz. 13–17. old.
- [4] *D. S. Parasnis*: Long horizontal cylindrical ore body at arbitrary depth in the field of two linear current electrodes. Geophysical Prospecting Vol. XII. No. 4. pp. 457–487.

Könyvszemle

Szlabóczky Pál: Magyarázó Borsod és környékének vízföldtani atlaszához. A Központi Földtani Hivatal és a Magyar Állami Földtani Intézet megbízásából kiadta a Vízügyi Dokumentációs és Továbbképző Intézet, Budapest, 1978. 98 oldal, 15 szelvényvel, 59 ábrával és 12 képpel.

Borsod és környékének vízföldtani atlaszát Deák János és Szlabóczky Pál szerkesztette. Az Atlasz 12 lapot tartalmaz:

1. lap: Eligazító térkép; 2. lap: Jelmagyarázat a hidrogeológiai térképlapokhoz; 3., 4., 5., 6. lap: Hidrogeológiai térképek; 7. lap: Jelmagyarázat a fő vízadó összletek jellemzéséhez és a vízföldtani egységek elvi rétegoszlopához; 8. lap: a fő vízadó összletek jellemzése; 9., 10., 11., 12. lap: elvi rétegoszlopok.

A Magyarázó két fő részből áll: I. fejezetben a szerző ismerteti Borsod és környékének fő vízadó összleteit, az alapadatok kiválasztását és területi értékelését. A II. fejezetben részletesen tárgyalja a terület vízföldtani egységeit a következő felosztásban: 1. Szendrő hegység; 2. Aggtelek-rudabányai hegység; 3. Bükk hegység; 4. Mátra hegység; 5. Tokaji hegység; 6. Ózd-salgótarjáni oligocén dombvidék; 7. Ózd-borsodi szénmedence; 8. Mátra-Bükkalja; 9. Szerencsi dombvidék; 10. Cserhát; 11. Sajó-Hernádvölgy; 12. Mezőség; 13. Taktaköz; 14. Bodroghöz és Rétköz; 15. Hajdúság; 16. Nyírség.

A tetszetős kivitelű atlasz és magyarázó az érdekelt szakmák szempontjait figyelembe véve készült, mely elsősorban vízteleptani beállítottságú, azaz a vízadó képződmények térbeli elterjedését és vízföldtani jellemzőit adja meg. Figyelemre méltó, hogy az atlasz és magyarázója nem csak a hidrogeológus, de a rokonszakmák szakemberei számára is egyértelmű és érthető.

Borsod és környékének vízföldtani atlasza és magyarázója rendkívül hasznos és melegen ajánlható minden Északkelet-Magyarországon dolgozó és földtani kutatással foglalkozó szakember számára.

(Ferenczy L.)