

Magnetotellurikus éléleti szondázási görbék
anizotróp ellenállású rétegek felett

dr. Verő József – Varga Gyula

Néhány évvel ezelőtt a Magyar Tudományos Akadémia Számítástechnikai Központjában program készült a magnetotellurikus mélyszondázások eredményeinek feldolgozásához (1. [3]). Ez a program lehetővé tette, hogy adott ellenállású és vastagságú, de különben homogén (azaz vízszintes síkokkal határolt, és minden irányban azonos ellenállású) rétegek felett meghatározhassuk különböző periódusú elektromágneses variációk (másképp a hullámok különböző behatolási mélysége) esetére a látszólagos fajlagos ellenállást. Tekintettel arra, hogy ez utóbbi a természetes elektromágneses variációk elektromos és mágneses komponenseinek arányából gyakorlatilag is meghatározható (magnetotellurikus módszer), lehetőség nyílik arra, hogy a megfigyelés helye alatt az egyes különböző mélységben elterülő rétegek elektromos ellenállását meghatározzuk (1. [2]).

A Magyar Tudományos Akadémia Geofizikai Kutatólaboratóriuma már körülbelül öt éve végez a gyakorlatban magnetotellurikus mélyszondázásokat. Tekintettel arra, hogy a méréseknek elég nagy periódus-tartományt (10 sec-1 nap) kell telőlelnie, a mérések elég hosszadalmasak. Ennek ellenére sikerült az ország területén kb. 20 pontban a mélyszondázási görbéket meghatározni. Kiderült, hogy a vízszintes homogenitás feltételezését a mérések értelmezésében nem lehet fenntartani. Ugyanis két egymásra merőleges irányban végezve el a szondázást, a kapott görbék nem egyeznek meg, hanem közöttük lényeges különbségek vannak. Ennek magyarázatára tehát vízszintes irányban is inhomogenitást kell feltételeznünk. Tekintettel arra, hogy a görbék egyes sajátosságai az egész medence területén hasonlóak (pl. kis periódus ($T < 60 \text{ sec}$) esetén az ellenállás K-Ny, nagyobb periódusok esetén É-D-i irányban nagyobb), valószínűbb, hogy ez az inhomogenitás az üledékes kőzetek alatt fekvő kristályos alaphegység közettömegéből ered, oly módon, hogy ennek ellenállása É-D-i irányban nagyobb, mint K-Ny-i irányban. Hasonló jellegű inhomogenitás más rétegekben, így esetleg az üledékekben is lehetséges. (Az anizotrópiának egyébként számos más forrása is lehet, így pl. szerkezeti hatás, árnyékoló réteg stb., a jelen esetben elsősorban a nagy térbeli kiterjedés miatt számítunk az alaphegység irányfüggő ellenállására.)

A magnetotellurikus szondázási görbék értelmezése anizotróp rétegeket is tartalmazó rétegsor felett lényegesen bonyolultabb feladat, mert míg anizotrópia nélkül egy réteget két adat (ellenállás és vastagság) jellemez, ehhez most még két adat (egy másik irányú ellenállás, és a maximális ellenállás iránya) is járul. Tovább bonyolítja a helyzetet, hogy több anizotróp réteg esetében nem mellékes a primér hullám polarizációja sem.

Anizotróp rétegsor felett észlelhető magnetotellurikus görbéket elméleti úton többek között O'Brien és Morrison határozott meg. Véletlen egybeesés folytán az általuk meghatározott görbesereg nem esik túlságosan messze azoktól a görbéktől, amelyek a Magyar Medencére jellemzőek. Ezért célszerűnek látszott, hogy a program O'Brien és Morrison módszere alapján készüljön el az anizotróp rétegek ese-

tére. Sajnálatos módon a cikkben sok sajtóhiba és félreérthető magyarázat van, így a levezetések jó részét meg kellett ismételni a hibák felismerése és kiküszöbölése céljából.

Az elkészült program lehetővé teszi, hogy alaposabb ismereteket kaphassunk az eddigi mérési anyag alapján is a Magyar Medence mélyszerkezetére azáltal, hogy az egyes paraméterek változtatásával a lehetséges modellek számát jelentősen csökkenteni tudjuk, ha a görbék különbözőségének okát egy bizonyos rétegben, vagy esetleg több rétegben meghatározzuk. Ez komoly hozzájárulást jelentene nemcsak a Magyar Medence mélyszerkezetének ismeretéhez, hanem történetének feltáráshoz is. Mivel a Magyar Medence magnetotellurikus felmérése az elsők között van a világon, ezek az eredmények világviszonylatban is sok újat tudnának mondani, nem is beszélve arról, hogy anizotróp modellekkel való értelmezésnek eddig csak nagyon szórványos kísérletei ismeretesek.

Az említett módszer, melynek leírása [1]-ben található meg, a magnetotellurikus görbék elméleti számítását anizotróp rétegeket is tartalmazó rétegsor felett határozza meg különböző vízszintes irányokban. A rétegsort egy xyz koordináta-rendszerben véve fel, amelyben a z tengely pozitív iránya lefelé mutat, a különböző vízszintes irányokat az xy síkban az x tengely pozitív irányával bezárt ϕ szöggel realizálja. A számítás a Maxwell-egyenletek alapján az egyes rétegek közti folytonossági határfeltételek figyelembevételével rétegenként felfelé haladva a legalsó (∞ vastagságúnak feltételezett) réteg és a közbenső rétegek elektromágneses paraméterei és a felszínen észlelhető elektromágneses paraméterek között határoz meg számszerű kapcsolatot az adott elektromágneses variációra vonatkozólag. Ez a kapcsolat egy 4×4 -es, ált. komplex elemű mátrixszal adható meg, amelynek segítségével, a mátrix elemei közti kapcsolatok alapján, a felszíni elektromos és mágneses komponensek aránya meghatározható, melyekből az illető variációra vonatkozó fajlagos ellenállást megkaphatjuk a ϕ szöggel megadott irányban.

A feladat megoldására szolgáló algoritmust az alábbi módon adhatjuk meg:

1./ Meghatározandó a

$B = \Omega \cdot T_n \cdot A_{n-1} \dots A_1 A_0$ 4×4 -es komplex elemű mátrix, ahol

$$\Omega = \begin{bmatrix} \frac{1}{\omega \mu_0} & & & 0 \\ & \frac{1}{\omega \mu_0} & & \\ & & 1 & \\ 0 & & & 1 \end{bmatrix} \quad \text{diagonális mátrix,}$$

$$A_i = \bar{T}_{i+1}^{-1} \cdot T_i,$$

$\omega = \frac{2\pi}{T}$, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ állandó, T periódusidő sec-ban,

$$k_1^{(i)} = s_1^{(i)} \cdot e^{j\frac{\pi}{4}}, \quad k_2^{(i)} = s_2^{(i)} \cdot e^{j\frac{\pi}{4}},$$

z_i az i -edik réteg felső határoló síkjának az applikátája a felvett koordináta rendszerben, ϕ_i az i -edik rétegben lévő anizotrópia felderítéséhez szükséges változó szög, amely 0° és 180° között bármely értéket felvehet.

2./ Legyen a legelső réteg paramétereiből, mint komponensekből álló vektor U , a felszínen észlelt paraméterek vektora pedig V ,

$$V = \begin{bmatrix} H_x \\ H_y \\ E_x \\ E_y \end{bmatrix}$$

A $V = BU$ egyenlőségből közvetlen kapcsolat létesíthető a H_x , H_y és E_x , E_y mennyiségek közt:

$$E_x = aH_x + bH_y$$

$$E_y = cH_x + dH_y$$

Ha a és d , b és c -hez viszonyítva elhanyagolhatóan kicsinyek ($a \approx d \ll b, c$), akkor ezek az összefüggések lehetőséget nyújtanak az x és y irányú látszólagos fajlagos ellenállások meghatározására a

$$\rho_x = \frac{1}{\omega \mu_0} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2 \quad \text{és} \quad \rho_y = \frac{1}{\omega \mu_0} \left| \frac{E_y}{H_x} \right|^2$$

képletek alapján.

3./ ϕ_i különböző értékei mellett a különböző T értékekhez tartozó ρ_x és ρ_y értékek meghatározzák a kívánt magnetotellurikus görbesereget.

A leírt algoritmus programja Ural 2 gépre készült EFT autokódban. Kisebb T értékekre a gép szám-ábrázolási korlátai miatt a program nem volt alkalmazható. Ezt a hiányosságot a későbbiekben pótolta a leírt algoritmus CDC 3300-as gépre készült USASI-FORTRAN programja.

I r o d a l o m

- [1] Douglas P. O'Brien - H.F. Morrison : Electromagnetic fields in an n-layer anisotropic half-space. Geophysics, XXXII. No. 4. 1967. aug.
- [2] М.Н. Бердичевский : Электрическая разведка методом теллурических токов (ГОСТОПТЕХ-ИЗДАТ, Москва 1960)
- [3] Varga Gyula : A Föld belső szerkezetének vizsgálata magnetotellurikus módszerekkel. (MTA SzK Közlemények 1967. ápr.)

S u m m a r y

Magnetotelluric theoretical sounding curves over anisotropic resistance layers

The paper deals with the mathematical processing of the results of magnetotelluric deep-soundings performed over anisotropic layer-series. Based on the method O'Brien - Morrison, by application of Maxwell equations it establishes numerical relationships between the electromagnetic parameters of undermost and medium layers, as well as those to be sensed on the surface. By their aid it finds in a given horizontal direction, for a given electromagnetic variation the apparent specific resistance.

Р е з ю м е

Магнитно-теллурические теоретические кривые зондирования над
слоями анизотропического сопротивления

В статье рассматривается математическая обработка результатов магнитно-теллурического глубинного зондирования над анизотропическими толщами. Устанавливаются численные связи между электромагнитными параметрами нижних и средних слоев и электромагнитными параметрами, наблюдаемыми на поверхности по методу О'Брайена и Моррисона с применением уравнений Максвелла. На этой основе определяется кажущееся удельное сопротивление в данном горизонтальном направлении по отношению к данной электромагнитной вариации.