

# Látszólagos magnetotellurikus vezérszint kialakulása a laza üledéksorban

L A N D Y K O R N É L N É, N A G Y Z O L T Á N \*

*Az MT módszer területén leggyakrabban és legáltalánosabban tárgyalt, vízszinteshez közel álló településű rétegsor esetén a nagy harántellenállású, vékony rétegek észrevehető hatást alig okoznak.*

*A számítógépezérelt MT mérőrendszerrel (ismertetése a 24. Geofizikai Szimpóziumon történt) a Pannon-medence területén két éve folyó kutatásoknak már a kezdeti eredményei olyan nyomkövethető jelenségekre hívták fel a figyelmet, amelyek – szerkezeti vagy litológiai eredetű ok miatt – a fenti modellel ellentmondásban vannak. A laza üledéksorban egy nem várt látszólagos vezérszint alakul ki.*

*Az előadás a mérésekkel kimutatott jelenségek magyarázatát keresi, alapul véve szovjet szerzők korábbi monográfiájában ismertetett elméletet és számítási eljárást. Továbbiakban a hasonló modellek vizsgálatának jelentőségét tárgyaljuk a szénhidrogénkutatás szempontjaiból.*

*В толще с близким к горизонтали залеганием слоев, которая чаще всего и вообще обуславливается в области применения магнитотеллурического метода, тонкие слои с высоким поперечным сопротивлением почти не вызывают заметного эффекта.*

*Уже первые результаты работ, проведенных в районе Паннонского бассейна в течение двух лет с помощью компьютеризированной измерительной системы MT (которая была изложена на 24-ом Геофизическом симпозиуме), обратили внимание на такие прослеживаемые явления, которые находятся в явном противоречии вышеуказанной модели по структурным или литологическим причинам. В толще рыхлых осадков формировался неожиданный кажущийся опорный горизонт.*

*В работе ищется объяснение на выявленные в результате измерений явления, причем за основу принимаются теория и способ расчета, изложенные в прежней монографии советских авторов. В дальнейшем, обсуждается значение исследования подобных моделей с точки зрения поисков и разведки углеводородов.*

*In case of strata series of nearly horizontal bedding – a case dealt with most frequently and in all generality in the domain of magnetotelluric soundings – thin beds of high transversal resistivity hardly produce an observable effect.*

*Investigations carried out in the Pannonian basin in the last two years by means of a computer controlled magnetotelluric measuring system (its description has been given in the fra of the 24th Symposium) have drawn the attention already in their starting phase to such observable phenomena which are in contradiction – owing to structural or lithological factors – to the above mentioned model. Within the loose strata series an unexpected apparent leading horizon will develop.*

*The paper is seeking an explanation of the demonstrated phenomena, basing on a theory and computing method of Soviet authors dealt with in an earlier monography. Further the importance of the investigation of similar models has been dealt with from the point of view of hydrocarbon exploration.*

A magnetotellurikus módszer alkalmazása néhány éve új perspektívákat kapott a hazai kőolajipari geofizikai kutatásokban a számítógépezérelt terepi MT mérőrendszer üzemeltetésével.

A hazai kutatásban 1978 óta működő MTDR-2 típusú (Geotronics Co. gyártmánya) mérőrendszerrel végzett magnetotellurikus kutatás céljaira a Geofizikai Kutató Vállalatnál kifejlesztett számítógépes feldolgozási rendszert már 1979-ben ismertettük a 24. Geofizikai Szimpóziumon megtartott előadásunkban, Krakóban.

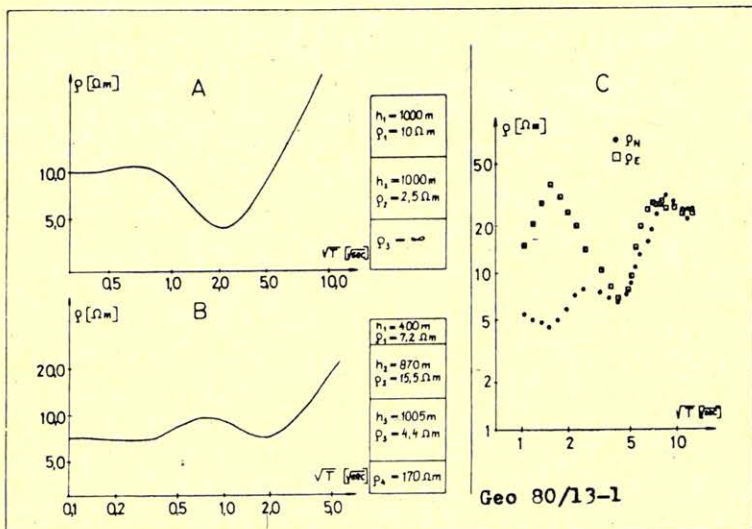
Magyarországon a Pannon-medence területén a magnetotellurikus módszer egyik fő feladata a több kilométer vastagságú, harmadidőszaki üledékes összlet és az alatta települő idősebb korú aljzat kutatása.

\* Geofizikai Kutató Vállalat

A legáltalánosabban elképzelt és leggyakrabban várt modell a 2–5 km vastag kis vagy közepes fajlagos ellenállású laza üledéksor alatt nagy fajlagos ellenállású – gyakran közelítőleg szigetelő tulajdonságú – aljzat, amely a magnetotellurikus kutatás vezérszintjének tekinthető.

Egy ilyen sematizált modellnek a Pannon korú rétegsor átlagos ellenállásviszonyai között az *1a ábrán* látható háromréteges elméleti görbe felel meg közelítőleg.

A tapasztalatok szerint a laza üledéksorban horizontális települési viszonyok mellett még viszonylag nagy fajlagos ellenállású rétegek sem okoznak számottevő hatást az MT szondázások látszólagos fajlagos ellenállás görbéin, különösen akkor, ha ezen réteg vastagsága a települési mélységéhez viszonyítva nem nagy.



1. ábra a, b. Példák a magyar medencében várható magnetotellurikus modell elméleti görbéire. c. A horizontális modellel nem értelmezhető mért terepi görbe

Рис. 1. а – б. Теоретические кривые магнитотеллурической модели, ожидаемой в венгерском бассейне. в Кривая, измеренная в полевых условиях, которая не может быть интерпретирована с помощью горизонтальной модели.

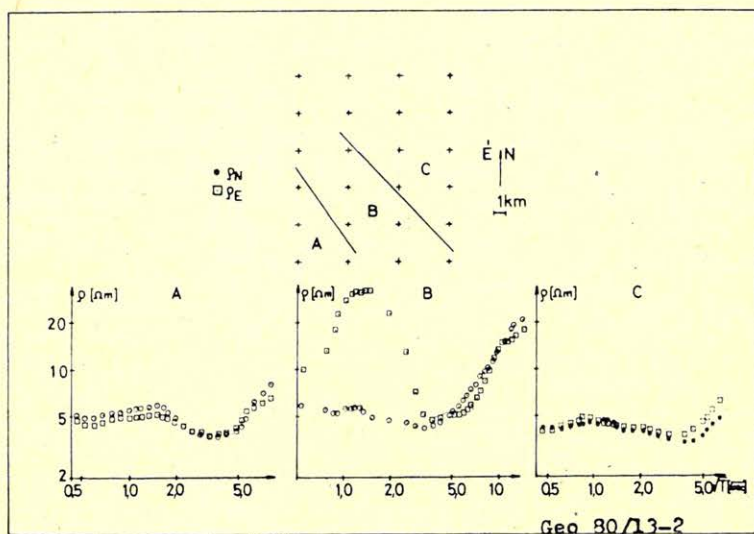
Fig. 1. а – б Theoretical curves of the magnetotelluric model to be expected in the Hungarian Basin c Measured field curve not to be explained by a horizontal model

Ennek illusztrálására az *1b ábra* szolgál. Ezen egy közepes fajlagos ellenállású, vastag réteg által okozott hatást láthatjuk, amikor a réteg vastagsága közel kétszerese a a települési mélységének. Fordított esetben, ha a települési mélység lenne kétszerese a beágyazott nagyobb fajlagos ellenállású réteg vastagságának, a réteg jelenléte még megnövekedett fajlagos ellenállása esetén is alig okozna ilyen szemmel látható hatást a szondázási görbéin.

Az MTDR mérőrendszerrel a Pannon medencében két éve folyó kutatásoknak már a kezdeti eredményei is olyan jelenségekre hívták fel a figyelmet, amelyek rávilágítottak az ilyen, túlzottan leegyszerűsített modellekben való gondolkodás ellentmondásaira, ugyanakkor a kapott szondázási görbék értelmezése a

szokásos horizontális rétegzettségű modellek alapján nem is lehetséges. Egy ilyen esetre az 1c ábra ad példát.

A 2. ábrán az eset általános képét látjuk. Mintegy 200 km<sup>2</sup> kiterjedésű kutatási területen közelítőleg szabályos hálózat mentén telepített MT állomásponatokon végzett mérések alapján az állomásponatok egy jól lehatárolható zónájában a látszólagos fajlagos ellenállások polárdiagramjának maximum-, illetve minimum-értékeiből szerkesztett szondázási görbék szignifikáns eltérésekkel jellemezhetők. A fajlagos ellenállás polárdiagramja a látszólagos fajlagos ellenállás azimutális változását ábrázolja egy adott frekvencián.



2. ábra. A kutatási terület tipikus mért görbéinek területi eloszlása

Рис. 2. Пространственное распределение типичных кривых измерения в исследуемом районе.

Fig. 2. Areal distribution of the typical measured curves of the investigated territory

A 2a és 2c ábrán az anomáliamentes modellt jellemző görbék láthatók. A 2b ábra a szignifikáns eltérésekre mutat egy jellemző példát, amelyből az is egyértelműen kitűnik, hogy az eset a szokásos vízszintesen rétegzett modell segítségével nem értelmezhető.

Az anomális zónában a maximum és minimum értékekből szerkesztett szondázási görbék közötti eltérés mértéke ugyan változó, azonban az eltérés mindennél megfigyelhető. Az eltérés nemcsak a maximum és minimum értékekből szerkesztett görbéken jelentkezik, hanem két egymásra merőleges azimutra (pl. É és K) megszerkesztett szondázási görbék a főirányok stabilitása miatt hasonlóan viselkednek.

Az anomális jelenség zónájában az ellenállás-diagramok maximumaiból szerkesztett görbék viselkedése olyan, mintha az üledéksorban a nagyellenállású aljzat felett, annak településéhez képest kisebb mélységben egy újabb nagyellen-

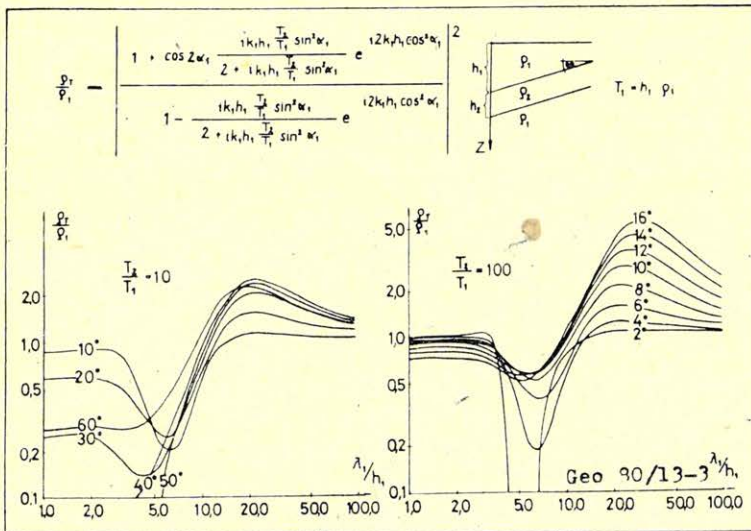
állású vezérszint jelenne meg, látszólag jelentős vastagsággal. Az ellenállás-diagramok minimum értékeiből szerkesztett görbéken ez a jelenség nem figyelhető meg, viselkedésük az anomáliamentes terület görbéihez hasonló. Viszont a mélybeli aljzat mindkét polarizáció alapján egyértelműen követhető és azonosítható.

A bemutatott és szignifikáns eltéréssel jellemezhető szondázási görbék az MT módszer elméletét leíró szakirodalomban már mintegy 10 évvel ezelőtt tárgyalt árnyékolási jelenség alapján értelmezhetők. Iszajev, Kaufman et al. szovjet geofizikusok e témakörben végzett részletes vizsgálataik alapján az 1970-ben Novoszibirszkben megjelent monográfiájukban [3] bemutatták, hogy a magnetotellurikus módszernél alkalmazott frekvenciasávok bizonyos tartományában az elektromágneses síkhullám teljes visszaverődést szenvedhet a hullámtérben levő dőlt síknak megfelelő rétegről, ha a dőlés szöge, illetve a dőlt síknak tekinthető réteg harántellenállása kritikus értéket ér el. A harántellenállás egy diszkrét réteg esetére a réteg vastagságának és fajlagos ellenállásának szorzata

$$T_i = h_i \cdot \rho_i$$

ahol  $T_i$  — a réteg harántellenállása ( $\text{ohm} \cdot \text{m}^2$ );  
 $h_i$  — a réteg vastagsága (m)  
 $\rho_i$  — a réteg fajlagos ellenállása ( $\text{ohm} \cdot \text{m}$ )

A harántellenállás mint relatív érték a dőlt réteg feletti közeg eredő harántellenállásához van viszonyítva. A szerzők néhány számított modell alapján kimutatták, hogy már néhány fokal dőlésszögeknél is erős árnyékoló hatás következ-



3. ábra. Árnyékolási jelenség elméleti görbéi különböző dőlésszögek esetén, ha a harántellenállások hányadosa 10, ill. 100

Рис. 3. Теоретические кривые явления затенения при различных углах наклона и отношении характеристических сопротивлений, соответственно, 10 и 100.

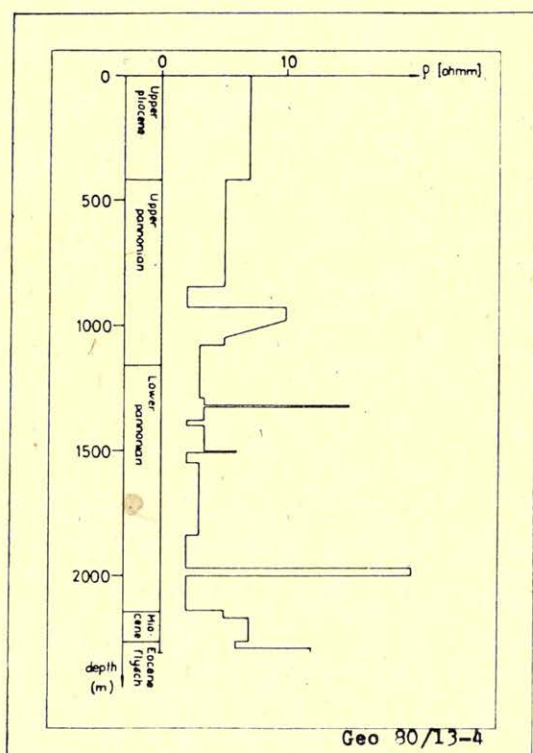
Fig. 3. Theoretical curves of a shading phenomenon for various dipping angles, when the ratio of the transversal resistivities is 10, resp. 100.

het be viszonylag vékony rétegek esetén is, ha a relatív harántellenállás nagyobb, mint 100 vagy közelítőleg 1000.

Ilyen esetre számított fajlagos ellenállásértékeket a 3. ábra mutat.

A látszólagos fajlagos ellenállás ilyen esetben egy háromréteges modell MT görbéjéhez hasonló, amikor a középső réteg nagy fajlagos ellenállású és viszonylag vastag.

Tételezzük fel, hogy a kutatási területen kapott MT szondázási görbék szignifikáns eltéréseit az előzőekben leírt árnyékolási jelenséggel magyarázhatjuk. Ha a geoelektromos szelvény ilyen esetben valamilyen nagyobb fajlagos ellenállású betelepült réteget tartalmaz, úgy az várhatóan a dőlés irányában okoz észlelhető árnyékolást, azonban nagy dölések esetében az árnyékolás nemcsak a dőlésirányban, hanem egy szélesebb azimutális tartományban is észlelhetővé válik. A csapásirányban árnyékolás nem lép fel, tekintve, hogy ebben az irányban a dőlés zérus.



4. ábra. A kutatási terület környezetében mélyült fúrás elektromos karotázsszelvényből készült átlagellenállás görbe

Рис. 4. Кривая среднего сопротивления, сконструированная на основе профиля электрического каротажа скважины, пробуренной в исследуемом районе.

Fig. 4. Average resistivity curve prepared from the electric log of a well deepened in the vicinity of the area of investigation.

A valóságban megfigyelt jelenség igen hasonló ehhez az elképzelt esethez, azonban kérdéses, hogy számíthatunk e ezen a területen olyan viszonylag nagy fajlagos ellenállású rétegek megjelenésére, amelyek relatív harántellenállása nagyobb, mint 100.

A kutatási terület közvetlen környezetében mélyült mélyfúrásokban végzett elektromos lyukszelvényezési adatok vizsgálata azt mutatta, hogy mind az alsó pannon, mind a felső pannon korú rétegsorban található ezen a területen a környezetükhöz képest megnövekedett fajlagos ellenállású rétegek.

A 4. ábra egy ilyen esetre mutat példát. A számított értékek szerint azonban ezeknek a relatív haránt ellenállása legfeljebb 5–10 körüli. Megjegyezzük, hogy pl. a 4. ábrán kb. 2000 m mélységben jelentkező nagyobb fajlagos ellenállású réteg szénhidrogénteleppel kapcsolatos.

Az eset tisztázására megismételtük az említett szerzők modellszámításait a relatív harántellenállás kisebb értékeire, nagyobb dőlésszögek esetére, alapul véve a szerzők által közölt elméletet, valamint a közölt formulákat. Ez utóbbiaknál szükségessé vált néhány értelemzavaró sajtóhiba kiküszöbölése.

Számításaink eredményeit a 3. ábra mutatja, a relatív harántellenállás értékei 10 és 100. Az eredményekből egyértelműen kitűnik, hogy az árnyékolási jelenség kisebb harántellenállásnál is fellép, ha a dőlésszög megnő. Ennélfogva a kutatási területen az anomális zónában mért MT görbék szignifikáns eltérését tekinthetjük a fiatal pannon üledéksorban a környezeti adatok alapján megismert nagyobb fajlagos ellenállású rétegek által okozott árnyékoló hatásnak, elsősorban a nagy rétegdőlések következményeként.

Figyelemreméltó ugyanakkor a 3. ábrán bemutatott eredmények között az az anomális ellenállás-csökkenés, amelyet a magasabb frekvenciánál mutatnak a  $T_i = 10$  értékre számított adatok. Tekintettel a nagy dőlésszögekre, ez a jelenség nagyon hasonló a vertikális kontaktus esetére számított fajlagos ellenállásértékek viselkedéséhez, amelyet 1962-ben publikált Kunetz és D'Erceville [1]. Ezt az anomális ellenállás-változást az MT görbék interpretációjánál figyelembe kell venni a tévedések elkerülése érdekében.

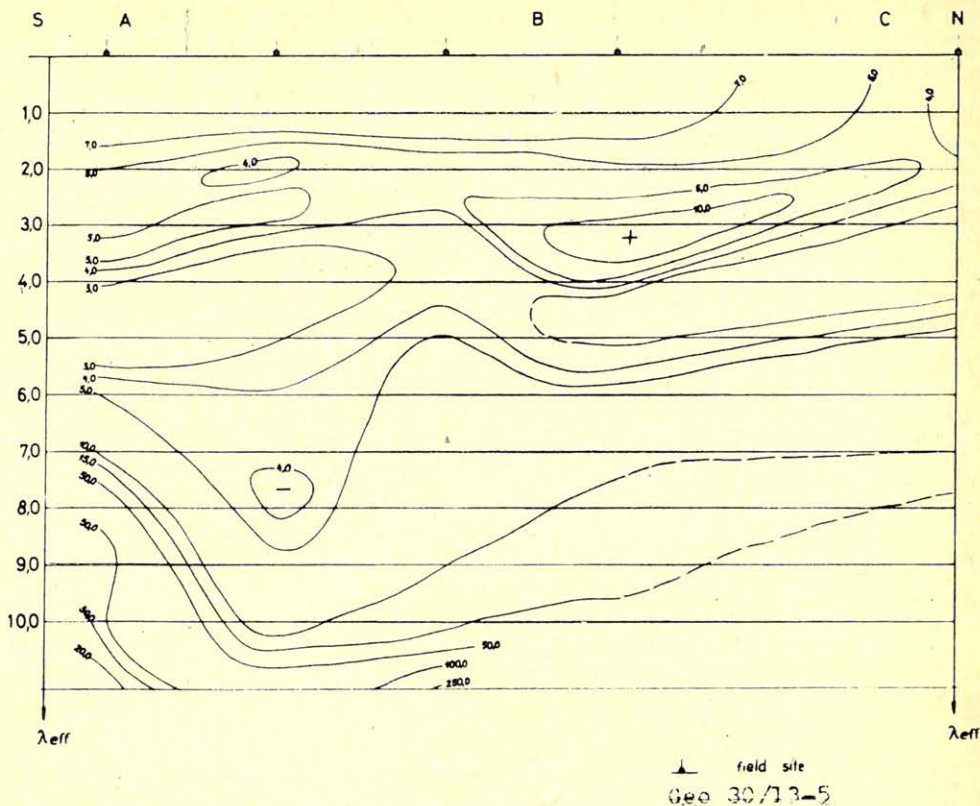
Az 5. ábrán bemutatott fajlagos ellenállás szelvény alátámasztja az észlelt szignifikáns eltérések zónájában levő nagydőlésű szerkezet létezésének realitását.

A bemutatott vertikális szelvényben a fajlagos ellenállás izovonalait a behatolási mélységgel arányos effektív paraméter függvényében ábrázoltuk. Az izovonalak jellemző fajlagos ellenállású mélységintervallumokat korrelálnak, az ún. intervallum ellenállás szelvény szerkesztését Matvejev 1974-ben publikált eljárását [2] felhasználva végeztük. Az intervallum-ellenállás izovonalainak menete a szerkezeti formákkal kapcsolatos.

Az 5. ábrán bemutatott intervallum-ellenállás szelvény egyértelműen mutatja nagydőlésű szerkezet jelenlétét az észlelt szignifikáns eltérések zónájában. Ennek a szerkezetnek kimutatása a magnetotellurikus mérések új eredménye.

A bemutatott eset alapján az észlelt szignifikáns eltérések megmagyarázhatók a pannon korú rétegsorba települt nagyobb fajlagos ellenállású rétegek árnyékoló hatásával. Az árnyékoló jelenség nyomon követése és zónájának további körvonalazása jelentőséggel bír a területen a jövőben végzendő szénhidrogén-kutatás szempontjából.

Másrészt a bemutatott eset is hangsúlyozza annak fontosságát, hogy a magnetotellurikus mérési eredmények értelmezésénél a reális geológiai feltételek-



5. ábra. A kutatási terület egy D–É irányú intervallum-ellenállás szelvénye

Рис. 5. Профиль интервал-сопротивление в направлении северюг в исследуемом районе.

Fig. 5. Interval-resistivity profile of N–S direction of the area of investigation

nek megfelelő inhomogén feltérre vonatkozó megoldásoknak a jövő fejlesztési feladataiban, az inverz feladatnál szerepet kell kapnia.

#### IRODALOM

- [1] D'Erceville, I., and Kunetz, G., 1962.: The effect of a fault on the earth's natural electromagnetic field. Geophysics 27, 65 l.
- [2] Matveyev, B. K., 1974: Interpretation of Electromagnetic Soundings „Nedra”, Moscow, (In Russian).
- [3] Isaev, G. A., Kaufman, A. A., Rabinovich, B. J., Shatokhin, V. N.: On the Effect of Dipping Layer Boundaries on the Electromagnetic Field and its Applications in Geoelectric Prospecting. Theory of the Electromagnetic Fields as Applied in Geophysical Prospecting. Siberian branch of „Nauka”, Novosibirsk 1970. (In Russian).