

# A geoelektromos térkiyományos módszer alkalmazhatóságának néhány kérdése

B A R A N Y I I S T V Á N

A térkiyományos elektromos módszer alkalmazásának gondolata a 30-as évekre nyúlik vissza, azonban a módszer nem nyert általános bevezetést a geoelektromos kutatásban, mivel az ajánlott észlelési metodika: két tápáram vonal egyidejű alkalmazása, három feszültségmérés stb. bonyolulttá, munkaigényessé teszi a terepi méréseket.

A térkiyományos módszer előnye a szokványos geoelektromos mérésekkel szemben vitathatatlan. Különösen vonatkozik ez a megállapítás a VESZ mérésekre, úi. a módszer alkalmazása jelentősen szűkíti az ekvivalencia határokat, a térkiyományos módszer VESZ görbéi határozottabban fejezik ki a geoelektromos felépítést, mint a szokványos VESZ görbék.

A szerző javaslata szerint a hagyományos metodikával végzett VESZ mérés alapján kapott ellenállás-értékekből közvetlenül képezhető a térkiyományos módszer VESZ görbéje, ami megfelelő térkiyományos elméleti görbesereggel értékelhető.

A módszer ily módon történő alkalmazásának egyedüli kötöttsége: a szokványos metodikával meghatározott ellenállásértékek nagy pontosságú meghatározása (a megengedhető hiba kb. 1%).

A Magyarországon gyártott GE műszercsalád tagjai biztosítanv tudják az ilyen pontosságú ellenállás-érték meghatározásokat, ezért a térkiyományos módszer javasolt metodikával történő bevezetése műszertechnikailag is megalapozott.

Вопрос о применении метода вычитания поля в электроразведке возник уже в 30-х гг., однако метод не получил широкого применения, так как предложенная методика: одно-временное применение двух питающих линий, измерение трех разностей потенциалов, и т.п., связана со сложными и трудоемкими полевыми работами.

Метод вычитания поля имеет несомненные преимущества перед обычными методами электроразведки. С особой наглядностью эти преимущества наблюдаются в методе ВЭЗ, поскольку благодаря применению метода вычитания поля в значительной мере сужаются пределы принципа эквивалентности, причем получаемые кривые ВЭЗ отражают геoeлектрический разрез более однозначно и определенно, чем кривые ВЭЗ, получаемые при применении обычной методики.

По предложению автора по значениям кажущихся сопротивлений, получаемым обычной методикой ВЭЗ, можно непосредственно строить кривые ВЭЗ по методу вычитания поля и интерпретировать их при помощи теоретических кривых того же метода.

Единственным ограничением при применении предложенной методики вычитания поля является резкое требование к точности получения значений кажущихся сопротивлений (порядка 1%).

Серия электроразведочной аппаратуры типа ГЕ, выпускающаяся в Венгрии, позволяет достигать необходимой точности измерений, в связи с чем возможность широкого применения метода вычитания поля обеспечена и по аппаратурной части.

Der Gedanke der Anwendung der geoelektrischen Methode der Feld-Subtrahierung liegt bis zu den 30-en Jahren zurück, sie wurde in die geoelektrische Praxis nicht allgemein eingeführt, da die vorgeschlagene Beobachtungsmethode, die gleichzeitige Anwendung zweier Speisestromlinien, drei Potentialmessungen usw. komplizierte und mühevollc Feldarbeit erfordert.

Die Methode der Feld-Subtrahierung besitzt gegenüber den gewöhnlichen geoelektrischen Methoden unbestreitbare Vorteile. Das gilt besonders für die elektrischen Vertikalsondierungen, da die Methode die Grenzen der Äquivalenz besonders einengt und deshalb die mit der Methode der Feld-Subtrahierung gewonnenen vertikalen Sondierungskurven der geoelektrischen Aufbau besser wiedergeben, als die der üblichen Methoden.

Nach dem Vorschlag des Verfassers kann aus den mit üblichen Vertikalsondierungen gewonnenen Widerstandswerten die vertikale Sondierungskurve der Methode der Feld-Subtrahierung direkt ermittelt werden, was dann mit Hilfe von theoretischen Kurven der Methode der Feld-Subtrahierung ausgewertet werden kann.

Die einzige Beschränkung, die bei einer derartigen Anwendung der Methode der Berücksichtigung bedarf, ist eine recht hohe erwünschte Genauigkeit der mit der gewohnten Methodik bestimmten Widerstandswerte (zugelassener Fehler etwa 1%).

Die in Ungarn hergestellten GE-Apparaturen ermöglichen eine derart genaue Bestimmung der Widerstandswerte, sodass die Einführung der Methode der Feld-Subtrahierung mit der vorgeschlagenen Methodik auch instrumentell begründet ist.

A geofizikai módszerek földtani kutatási alkalmazhatósága döntő mértékben függ az adott módszer felbontóképességétől, vagyis attól, hogy a módszer milyen megbízhatóan, mennyire egyértelműen – tehát lehetőleg ekvivalencia mentesen – mutatja ki a kutatott képződmények különböző paraméterekkel jellemezhető kisebb-nagyobb változásait.

Különösen vonatkozik ez a felszíni geoelektromos módszerek alkalmazhatóságára. A geoelektromos módszerek felbontóképességének növelése érdekében jelenleg főleg a sokelektródás, irányított áramterű elektrodaelrendezéssel folynak elsősorban metodikai kísérletek.

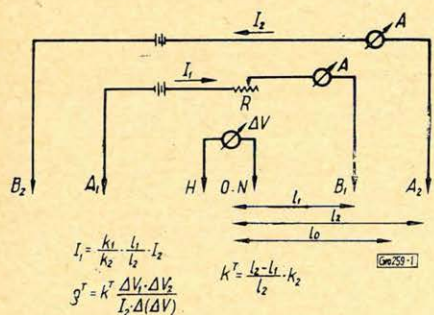
Mi egy másik, kevésbé ismert, azonban véleményünk szerint a hagyományos geoelektromos módszereknél lényegesen jobb felbontóképességű módszerrel, az ún. térkivonásos geoelektromos módszer alkalmazhatóságáról szeretnénk néhány szót szólni, mely kivitelezését tekintve egyszerűbb és gazdaságosabb, mint a sokelektródás rendszerekkel végzett mérések.

A térkivonásos módszer alkalmazásánál az A. A. Petrovskij által az 1930-as években kapott alapképletből indulnak ki:

$$\varrho^T = \frac{dl}{d \frac{l}{\varrho_l}} \quad (1)$$

ahol  $l$  a fél terítési távolság  $\left(\frac{AB}{2}\right)$  és  $\varrho_l$  az  $l$  terítési távolságnál észlelt látszólagos ellenállás-érték. A  $\varrho^T$  egy látszólagos ellenállás-érték, mely általában nem egyenlő a  $\varrho_l$  értékével és a geoelektromos szelvény paramétereitől, valamint az elektroda elrendezés méreteitől függ.

A térkivonásos módszer lényegét, jelenleg ajánlott szondaelrendezését és észlelési metodikáját, melyet a Novoszibirszki Geofizikai Tröszt dolgozott ki B. I. Rabinovics vezetésével, az 1. ábrán mutatjuk be.



1. ábra. A térkivonásos elektromos módszer elektroda elrendezése

Fig. 1. Установка электродов при электроразведочном методе вычитания поля

Fig. 1. Elektrodenanordnung der Methode der Feldsubtrahierung

$$g^T = \frac{dl}{\alpha \frac{l}{g_l}} = \frac{\Delta l}{\Delta \frac{l}{g_l}} = \frac{l_2 - l_1}{\frac{l_2}{g_{l_2}} - \frac{l_1}{g_{l_1}}} = \frac{l_2 - l_1}{k_2 \left( \frac{l_2}{\Delta V_2} - \frac{k_1 \cdot l_1}{k_1 \cdot l_2 \cdot \Delta V_1} \right)}$$

ha  $k^T = k_2 \cdot \frac{l_2 - l_1}{l_2}$  és  $D = \frac{k_1}{k_2} \cdot \frac{l_2}{l_1}$   
 kapjuk:  
 $g^T = \frac{k^T}{\frac{I_2}{\Delta V_2} \cdot \frac{I_1}{D \Delta V_1}}$  ha  $I_1 = D I_2$   
 $g^T = k^T \frac{\Delta V_1 \cdot \Delta V_2}{I_2 \cdot \Delta(\Delta V)}$  ahol  $\Delta(\Delta V) = \Delta V_1 - \Delta V_2$

2. ábra. A térkivonásos módszer  $g^T$  ellenállás számítási képlete

Fig. 2. Формула вычисления сопротивления  $g^T$  при методе вычитания поля

Fig. 2. Berechnungsformel für  $g^T$  bei der Feldsubtrahierungsmethode

Az ábrán látható, hogy a  $g^T$  meghatározásához két tápáram-vonal:  $A_1 B_1$  és  $A_2 B_2$ , valamint egy mérővonal:  $MN$  szükséges.

A mérési metodika és a  $\varrho^T$  meghatározása a következőképpen történik:

1. Egyidejűleg mindkét tápvonalat bekapcsolják ellentétes irányú áramokat hozva létre a talajba: az áramerősség értékeit úgy választják meg az  $R$  ellenállás segítségével, hogy

$$I_1 = \frac{K_1}{K_2} \frac{l_2}{l_1} I_2, \quad (2)$$

ahol  $I_1$  és  $I_2$  az  $A_1 B_1$ , illetve  $A_2 B_2$  tápvonalakon átfolyó áramok erőssége,  $K_1$  és  $K_2$  az  $A_1 B_1$ , ill.  $A_2 B_2$  elektródaelrendezés koeficiensei.

Ezután meghatározzák az egyidejűleg bekapcsolt  $A_1 B_1$  és  $A_2 B_2$  tápvonalak közt elhelyezkedő  $MN$  elektródákon jelentkező különbség feszültségértékét:  $\Delta(\Delta V)$ -t.

2. Meghatározzák az  $A_1 MNB_1$  elektródaelrendezéshez tartozó  $\Delta V_1$  és  $I_1$  értékeket.

3. Meghatározzák az  $A_2 MNB_2$  elektródaelrendezéshez tartozó  $\Delta V_2$  és  $I_2$  értékeket.

Ezután a

$$\varrho^T = K^T \frac{\Delta V_1 \cdot \Delta V_2}{I_2 \Delta(\Delta V)} \quad (3)$$

képlet felhasználásával, ahol  $K^T = K_2 \frac{I_2 - I_1}{I_2}$ , meghatározzák a  $\varrho^T$  értéket.

Az így meghatározott  $\varrho^T$  érték az  $l = \frac{l_1 - l_2}{2}$  felterítési távolságra vonatkozik.

Az adott képlet levezetését a Petrovskij által megadott alapképletből a 2. ábrán mutatjuk be.

A térkivonásos módszer fizikai értelmezését tekintve a kapott  $\varrho^T$  ellenállás-érték olyan látszólagos ellenállás, melynek értékére a felsőbb geoelektromos rétegek lényegesen kevésbé hatnak, mint a hagyományos módszerrel meghatározott  $\varrho$  értékére az adott  $l$  terítési távolság esetében.

A 3. ábrán azonos paraméterekre vonatkoztatott hagyományos  $VESZ$  görbét és a térkivonásos módszer  $VESZ$  görbáját tüntettük fel. Az ábrán ugyancsak feltüntettük a tényleges fajlagos ellenállás mélység szerinti változását is.

Az 1. sz. hagyományos  $VESZ$  görbe paraméterei  $\varrho_1 = 10$ ,  $\varrho_2 = 100$ ,  $h_1 = 10$ , a 2. sz. görbe az ugyanezen paraméterű geoelektromos szelvény térkivonásos módszerének  $VESZ$  görbéje. A két görbe összehasonlítása mutatja, hogy:

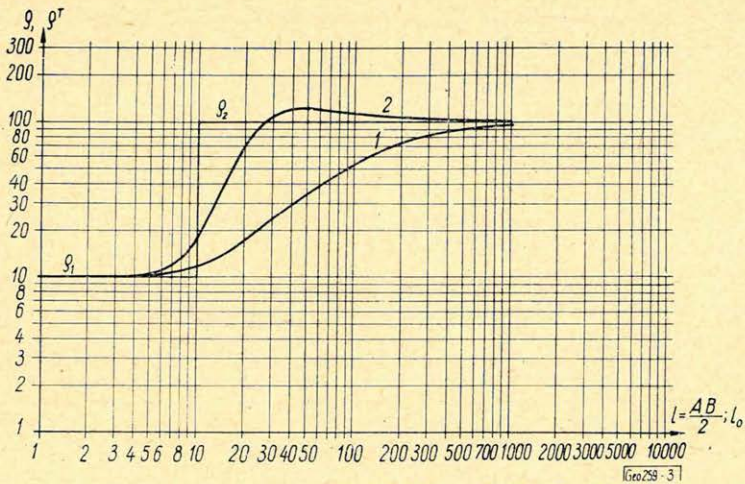
1.  $\lim_{l \rightarrow 0} \varrho^T = \varrho_1$

2.  $\lim_{l \rightarrow \infty} \varrho^T = \varrho_2$

3. Az 1. és 2. pontban leírtak azt jelentik, hogy homogén közegben  $\varrho^T = \varrho \text{ const.}$ , ahol  $\varrho$  – fajlagos elektromos ellenállás.

4. A két görbe összehasonlítása mutatja, hogy a  $\varrho^T$  görbe lényegesen kisebb terítési távolságban megközelíti a  $\varrho_2$  értéket, mint a hagyományos  $VESZ$  görbe.

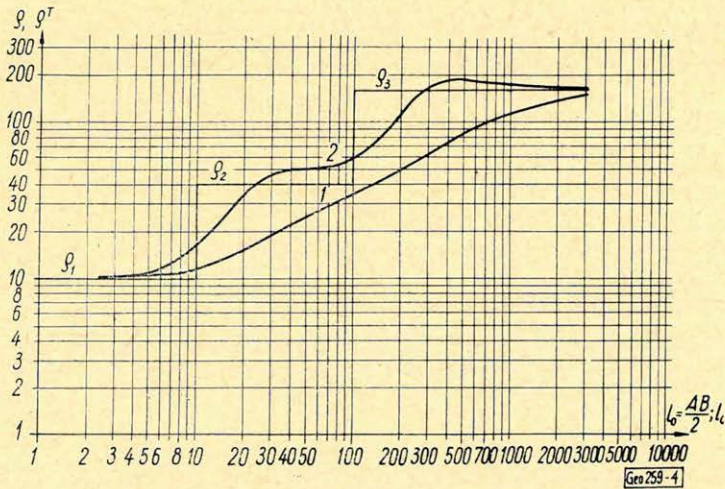
A térkivonásos módszer jobb felbontóképességének bizonyítására a 4. és 5. ábrákat mutatjuk be.



3. ábra. Azonos paraméterű kétrétegű VESZ görbék  
 1 – hagyományos VESZ görbe  
 2 – térkivonásos VESZ görbe

Фиг. 3. Двухслойные кривые ВЭЗ с одинаковыми параметрами  
 а – обыкновенная кривая ВЭЗ  
 б – кривая ВЭЗ при методе вычитания поля

Fig. 3. VES-Kurven mit denselben Parameterwerten (zwei Schichten)  
 1 – konventionelle VES-Kurve  
 2 – VES-Kurve der Feldsubtrahierungsmethode



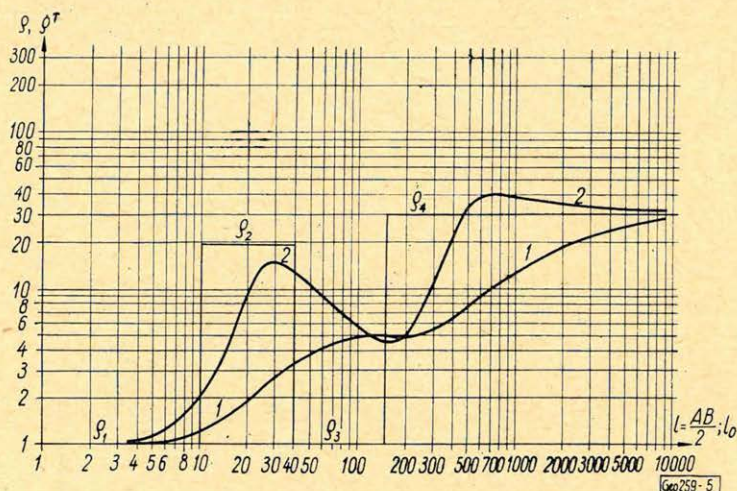
4. ábra. Azonos paraméterű háromrétegű VESZ görbék  
 1 – hagyományos VESZ görbe  
 2 – térkivonásos VESZ görbe

Фиг. 4. Трехслойные кривые ВЭЗ с одинаковыми параметрами  
 а – обыкновенная кривая ВЭЗ  
 б – кривая ВЭЗ при методе вычитания поля

Fig. 4. Dreischichten – VES-Kurven mit denselben Parameterwerten  
 1 – konventionelle VES-Kurve  
 2 – VES-Kurve der Feldsubtrahierungsmethode

A 4. ábra 1. sz. görbéje  $\rho_1 = 10$ ,  $h_1 = 10$ ,  $\rho_2 = 40$ ,  $h_2 = 90$ ,  $\rho_3 = 160$  paraméterű  $A$  típusú hagyományos  $VESZ$  görbe. A második réteg igen gyengén kifejezett, azért bizonytalanul interpretálható. A 2. sz. görbe az ugyanezen paraméterekre vonatkoztatott térkivonatos  $VESZ$  görbe, lényegesen jobban fejezi ki a geoelektromos rétegsort.

Az 5. ábrán bemutatott 1. sz.  $VESZ$  görbe paraméterei:  $\rho_1 = 1$ ,  $h_1 = 10$ ,  $\rho_2 = 19$ ,  $h_2 = 30$ ,  $\rho_3 = 1$ ,  $h_3 = 110$ ,  $\rho_4 = 30$ , tehát  $KH$  típusú négyrétegű görbe, de geoelektromos paraméterei miatt annyira rosszul kifejezett, hogy gyakorlatlan kiértékelő  $A$  típusú háromrétegű görbének is értékelhetné, a ténylegestől teljesen eltérő paraméterekkel. A rétegsornak megfelelő térkivonatos módszer  $\rho^T$  görbéje viszont – bizonyítva a módszer jobb felbontóképességét – igen határozottan jelzi a második, nagy ellenállású és az alatta következő kis ellenállású réteget is.



5. ábra. Azonos paraméterű négyzetrétegű  $VESZ$  görbék  
 1 – hagyományos  $VESZ$  görbe  
 2 – térkivonatos  $VESZ$  görbe

Фиг. 5. Четырехслойные кривые ВЭЗ с одинаковыми параметрами  
 а – обыкновенная кривая ВЭЗ  
 б – кривая ВЭЗ при методе вычитания поля

Fig. 5. Vierschichten –  $VES$ -Kurven mit denselben Parameterwerten  
 1 – konventionelle  $VES$ -Kurve  
 2 –  $VES$ -Kurve der Feldsubtrahierungsmethode

Annak ellenére, hogy az ismertett térkivonatos módszer határozott előnyei bizonyítottak a szokványos elektromos mérésekkel szemben, véleményünk szerint a módszer nem az öt megillető helyet foglalja el a geoelektromos mérések komplexumában. Ez valószínűleg a szokványos módszerhez viszonyított bonyolultabb észlelési metodika miatt (két egyidejűleg bekapcsolt tápáram vonal, két árammérés, az áramerősség arányának beállításával szemben támasztott szigorú követelmények ( $\pm 0,35\%$ ), három feszültségmérés, melyek közül különösen bonyolult a kis értékű  $\Delta(\Delta V)$  észlelése stb.) állhatott elő.

Azonban, ha az alaképlet levezetését megnézzük, láthatjuk, hogy a  $\rho^T$  értékét meghatározhatjuk a hagyományos metodikával észlelt félterítési távol-

ságok:  $l_1, l_2$ , valamint a hozzájuk tartozó  $\varrho_{l_1}, \varrho_{l_2}$  értékek ismeretében is, vagyis a hagyományos metodikával meghatározott  $VESZ$  görbéből közvetlenül, egyszerű számítással a

$$\varrho^T = \frac{l_2 - l_1}{\frac{l_2}{\varrho_{l_2}} - \frac{l_1}{\varrho_{l_1}}}$$

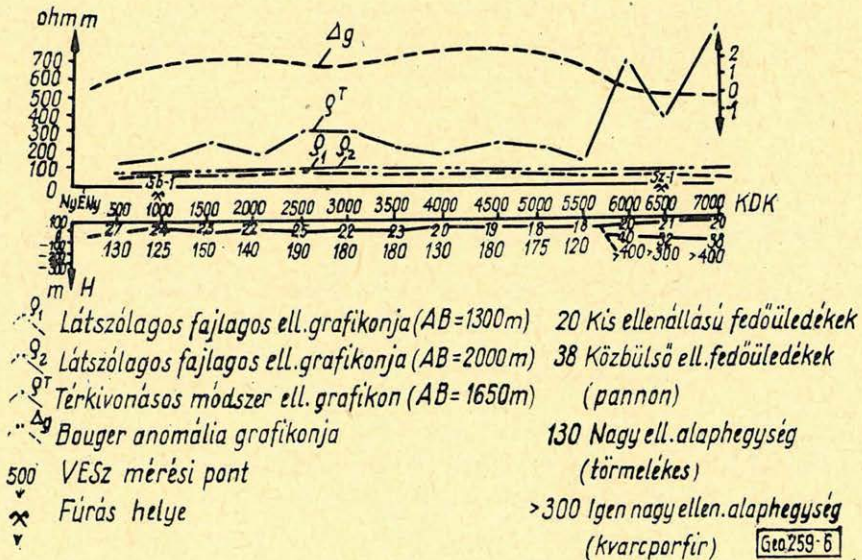
képlet alapján meghatározható a térkivonásos  $VESZ$  görbe, ha a hagyományos  $VESZ$  méréseknél az  $A_1B_1, A_2B_2, A_3B_3, A_iB_i$  terítési távolságokhoz tartozó  $\varrho_{l_1}, \varrho_{l_2}, \varrho_{l_3}, \varrho_{l_i}$  értékeket szomszédos páronként a fenti képletbe helyettesítve felhasználjuk a  $\varrho^T$  kiszámításához.

A  $VESZ$  mérések kiértékelő görbeseregéből hasonló elvet alkalmazva a javasolt egyszerű számítással képezhetők a térkivonásos módszer elméleti kiértékelő görbeserei.

Az ismertetett transzformációs módszer alkalmazásának, vagyis a hagyományos  $VESZ$  görbékől a térkivonásos  $\varrho^T$   $VESZ$  görbék közvetlen képzésének egyedüli, de szigorú feltétele, hogy a  $\varrho_i$  meghatározásokat a szokásosnál lényegesen nagyobb pontossággal kell végezni.

A jelenleg érvényben levő minőségi követelmények általában a  $\varrho_i$  meghatározások  $\pm 5\%$ -os pontossággal történő elvégzését írják elő.

Ahhoz azonban, hogy a  $\varrho_i$  görbe hibája ne haladja meg a  $\pm 5\%$ -ot, a  $\varrho_i$  értékeket a  $VESZ$  görbe meredekségéből, valamint a kiválasztott  $\frac{l_2}{l_1}$  aránytól függően, kb.  $\pm 1\%$ -os pontossággal kell meghatározni. Ilyen pontosságú terepi észlelésre jelenleg nem mindegyik típusú geoelektromos műszer alkalmas.



6. ábra.  $V_i-1$  sz. profil geoelektromos szelvénye

Фиг. 6. Геоэлектрический разрез по профилю  $V_i-1$

Fig. 6. Geoelektrisches Bild des Profils  $V_i-1$

A Magyarországon gyártott *GE* műszer-család legutóbbi években kifejlesztett közép- és mélylehatolású szondázási műszerei, a mérő, illetve tápáramkörök megfelelő szigetelésének, illetve árnyékolásának biztosításával lehetővé teszik a megfelelő pontosságú észleléseket, s ezáltal biztosítva van, hogy gyakorlatilag a régi metodika meghagyásával a korábbi *VESZ* méréseknél jobb felbontóképességű, ún. térkivonásos eljárást alkalmazzuk.

A térkivonásos módszert azonban nemcsak a *VESZ* méréseknél lehet felhasználni, hanem a szimmetrikus szelvényezésnél is.

A 6. ábrán egy geoelektromos szelvényt mutatunk be, melynek két pontjában fúrások mélyültek. A  $Ny$ -i részen a fúrás 70 m vastagságú, fiatal, agyagos, homokos képződmények alatt vastag alsó-permi homokkövekbe, a  $K$ -i részen mélyült fúrás pedig 260 m vastagságú fiatalkori képződmények alatt kvarcporfirba jutott. A szelvény-menti geoelektromos mérések feladata a fiatal képződmények vastagságának, valamint a permi homokkő-kvarcporfir kontaktusának meghatározása volt.

A feladat megoldására *VESZ* méréseket végeztünk. A mérések alapján látható, hogy a szelvény jelentős részén a 18–27 ohmm ellenállású és 70–150 m vastagságú fiatal üledékek alatt 120–200 ohmm fajlagos ellenállású alaphegység települ, amit azonosítani lehet az *Sb-1.* sz. fúrásban harántolt permi homokkövekkel. A szelvény 5500–6000 métere közt a geoelektromos szelvény jellege erősen megváltozik, ui. a fedőüledékek vastagsága megnövekszik, s az alatta települő alaphegység ellenállása meghaladja a 300–400 ohmm-t, melyet a kvarcporfirral lehet azonosítani. A geoelektromos szelvény felett felépítettük az  $A_1B_1=1300$  m és  $A_2B_2=2000$  m terítési távolságoknál észlelt  $\rho_1$  és  $\rho_2$  ellenállás-grafikonokat, melyek végső soron azonosak a jelzett terítési távolságok esetében észlelhető szimmetrikus szelvényezés grafikonjaival. A grafikonok meglehetősen jellegtelenek, közel azonos szint körül ingadoznak, sőt a szelvény  $K$ -i részén a fedőüledékek kivastagodása miatt az ellenállás-értékek csökkennek, s egyáltalán nem jelzik, hogy ezen a szakaszon az alaphegység ellenállása megnövekszik, annak ellenére, hogy erre különösen az  $AB=2000$  m terítés megfelelő lehatolási mélységet biztosít.

Ugyanezen bemutatott grafikonok adatainak felhasználásával számítottuk ki a térkivonásos módszer  $\rho^T$  értékeit az egyes észlelési pontokban és építettük fel a  $\rho^T$  grafikont, mely meggyőzően jelzi a nagy ellenállású kvarcporfir és kisebb ellenállású permi homokkövek kontaktusának helyzetét, igazolva ezzel a térkivonásos módszer hatékonyabb alkalmazhatóságát a szokványos kétértékes szimmetrikus szelvényezési eljárás eredményeihez viszonyítva.

Meggyőződésünk, hogy a későbbiek folyamán az ismertett módszer a javasolt egyszerű átszámításos metodika alkalmazásával igen sok olyan geológiai feladat megoldására fog alkalmazást nyerni, melyek megoldása a hagyományos módszerekkel a viszonylag kis felbontóképesség miatt nem lehetséges.

Jelenleg Magyarországon az elméleti görbék számításának előkészületein kívül elsősorban a módszer különböző földtani körülmények közötti gyakorlati alkalmazásának kérdéseivel foglalkoznak.