

Bányavágatok alatti bauxitfekü kimutatása geoelektromos mérésekkel*

SZABÓ JÁNOS – NYERGES LAJOS – KAKAS KRISTÓF**

Az 1973-ban elvégzett bányageofizikai mérések feladata a telepszerűen, másutt lencseszerűen kifejlődött bauxittestben haladó feltáró bányavágat, fejtési bányatérsg alatti feküfelszín (dolomüfelszín) szintváltozásainak kimutatása volt. A feküfelszín feltárása hagyományosan általában 5 m-ként lemélyített bányabeli furatokkal történt. E módszernek két hiányossága van:

- pontszerü információ a karsztos tér felszínéről,
- nyomás alatti karsztvizet tartalmazó fekü esetében a furatból beáramló víz elárasztja a vágatlatpat.

Kísérleti méréseink nem terjedtek ki minden ismert feküszerkezeti különböző kőzetféleségekre, vagy az omlasztásos fejtésmód következtében különbözőképpen fellazult fedőkőzeteket tartalmazó bányatérsgre, de az eredményekből több értékes következtetést vonhattunk le:

- a) A bauxitbányák körülményei geoelektromos mérések kivitelezéséhez megfelelőek.
- b) A 4 alkalmazott mérési eljárás közül hárommal (ellenállás- szelvényezés, vertikális szondázás, sekélyrefrakciós mérések) a kutatási feladat viszonylagos pontossággal megoldható.
- c) Ha oldalirányban az aljzatnak nagy szintváltozásai vannak (csapásban haladó vágatnál gyakori), mindegyik módszer megbízhatósága leromlik.
- d) A fúrások feltárásnálgyorsaságban, költségben az ellenállás- szelvényezés jobbnak mutatkozik, megbízhatósága viszont nem egyenletes, így ún. támfúrásokkal üzemszerű használatra javasolható.
- e) Abban az esetben, ha fúrások mélyítése (a nyomás alatti vizet tároló fekü esete) nem engedhető meg, célszerűen megválasztott mérési komplexum alkalmazását javasoltuk.
- f) A mérések technikailag kivitelezhetőek, az általában használt berendezések bányabeli mérésre alkalmassá tehetőek.
- g) További előrelépést jelent, ha a vágathatás és a fedőben levő rétegek hatásának problémáját matematikai modellezéssel megoldjuk.

Перед горно-геофизическими работами, проведенными в 1973 г. была поставлена задача выявить поведение подошвы бокситов (поверхность доломитов) под горными выработками, проходящими через бокситовые тела, имеющие пластобразную, или же местами линзовидную форму. Прослеживание поверхности подошвы принято осуществлять путем бурения подземных скважин через 5 м. Данная методика имеет два основных недостатка:

- получение точечной информации о поверхности карстового пространства;
- при наличии в подошве карстовых вод, находящихся под давлением, приток воды из скважины может привести к обводнению забоя горной выработки.

Проведенными опытными электроразведочными работами не были охвачены горные выработки со всеми известными видами строения подошвы, с наличием различных разновидностей горных пород или покровных отложений с различной степенью разрыхления, связанной с методом разработки разрушением, но все же полученные результаты позволяют делать ряд интересных выводов:

- a) бокситовые рудники характеризуются условиями, благоприятными для проведения электроразведочных работ;
- b) три из применявшихся методов электроразведки (метод сопротивлений, вертикальное электрическое зондирование, КМПВ малых глубин) позволяют решить поставленную задачу с удовлетворительной точностью;
- v) При наличии значительных вариаций уровня основания в боковом направлении часто встречающихся в выработках, проходящих по простиранию) снижается достоверность каждого метода;

* Elhangzott 1974. szeptemberben, a XIX. Szimpóziumon, Torunban.

** Szabó János; Mecseki Érbányászati Vállalat, Pécs
Nyerges Lajos; Bauxitkutató Vállalat, Balatonalmádi
Kakas Kristóf; Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, Budapest.

- г) По сравнению с буровым методом метод сопротивлений оказывается более эффективным по быстроте и по расходам, но его достоверность не является равномерной, в связи с чем предлагается применять данный метод с бурением так назыв. опорных скважин;
- д) В том случае, если не допускается бурить скважины (случай подошвы с водой под давлением), предлагается применять целесообразно выбранный комплекс методов;
- е) Наблюдения технически осуществимы, а обычно применяемые виды аппаратуры могут быть приспособлены к измерениям в горнорудных условиях;
- ж) Дополнительному повышению эффективности работ способствует решение проблемы о проходке горной выработки и о границах раздела в кровле посредством математического моделирования.

Aim of mine-geophysical measurements made in 1973 was the detection of level variations of the upper surface of the underlying rocks (dolomite level) under drift tunnels running in bauxite with layered or lense-shape development and under working areas. The detection of the surface of the underlying rock by the conventional method uses drill holes deepened in general at 5 m distances one from another. This method presents two defects:

- we get only spot-like informations about the surface of the carstic area,
- in case of an underlying rock containing carstic water this flows in and inundates the bottom of the tunnel.

Our experimental measurements could not be extended to all kind of rocks with known structure of underlying layers or to areas containing the superincumbent rocks in variously loosened state owing to the breaking-off working mood. Nevertheless, many interesting consequences could be drawn, as follows:

- a) Conditions of bauxite mines are suitable for making geoelectric measurements.
- b) Out of the four methods applied three are suitable for solving the problems to be investigated with a relative accuracy (resistivity sounding, vertical electric sounding, shallow refraction measurements).
- c) If the underlying rock presents great level changes laterally (as it is frequent in case of an opening running along strike-direction), the reliability of all the methods diminishes.
- d) Resistivity sounding appears to be cheaper as the detection by means of drillings, but its reliability is not uniform, so that it can be proposed for routine application only with accompanying control drill-holes.
- e) In case no drilling can be allowed (that is the case of an underlying rock containing pressurized water), a suitably chosen measuring complex has been proposed.
- f) Devices used generally in the applied measuring techniques can be adapted to mine measurements.
- g) A further development can be achieved by solving the problem of the influence of openings and of the limiting surfaces of superincumbent layers through mathematical modelling.

1973. évi bányageofizikai méréseink egyik feladata a telepszerűen, más helyeken lencseszerűen kifejlődött bauxittestben haladó feltáró vagy fejtési bányatérség, bányavárat alatti feküfelszín (dolomitfelszín) színváltozásainak kimutatása volt. Az alsó eocén agyagos-meszes kifejlődésű fedő és a felső triász dolomit, mészkő rétegek között elhelyezkedő, 7–15 m vastagságú bauxit a fedővel közel sík felülettel érintkezik. A fekü karsztos, egyenetlen felszínű, a karsztos egyenetlenségek 1–5 m-es szintkülönbséget mutatnak. A nagy vonalakban üde dolomit és az érctest között fellazult, törmelékes, porlódott, dolomitos (átmeneti) öv van, amelynek vastagsága néhány dm-től 1–2 m-ig terjedhet.

Nem kell külön hangsúlyoznunk, hogy a különböző, de szintes szeletosztású fejtési módoknál fontos a fekütérszín alakulásának, helyzetének minél pontosabb ismerete. Ennek feltárása hagyományosan általában 5 m-ként lemélyített bányabeli furatokkal történik.

A módszernek két hiányossága van:

- pontszerű információt ad a karsztos térszínről;
- nyomás alatti karsztvizet tartalmazó fekü esetében a furatból beáramló víz eláztatja a vágattalpat.

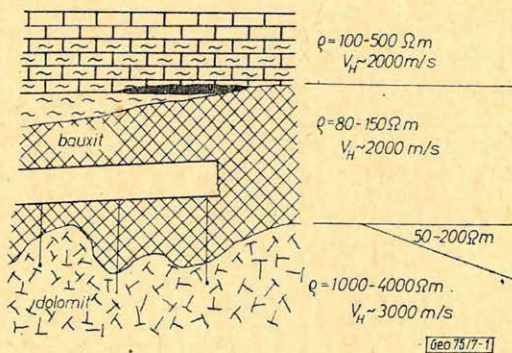
A feladat fizikailag megfogalmazva a következő (1. ábra):

A vágat talpa alatt a viszonylag jól vezető ($\rho_k = 80 - 160 \text{ ohm}$) és közepes határsebességű ($V_H = 2000 \dots 3000 \text{ m/s}$) bauxit vastagságának meghatározása megoldható, tekintve, hogy a bauxit fekéjre nagy ellenállású ($\rho \sim 2000 \text{ ohm}$) és feltételezhetően nagyobb határsebességű ($V_H \sim 3000 \text{ m/s}$) képződmény.

A feladat nehézségét a dolomit anyagában és geometriájában változatos felszíne és a vágat tértorzító hatása jelenti.

Ideális körülmények között azonban félkvantitatív értelmezés is elképzelhető. Ebben az esetben a mért paraméter és a mélységérték között gyengébb-szorosabb korrelációnak kell lennie.

Az elektromos szondázási görbék vágatban történő mérés esetén az ellenállásértékek normál változásán túlmenően tartalmaznak az ún. vágathatást is. A vágat méretéhez képest elhanyagolható \overline{AB} távolságoknál a vágat talpán végzett szondázásokhoz a felszíni féltérre vonatkozó geometriai korrekciót kell alkalmazni. Nagy \overline{AB} távolságoknál, vagyis, ha a bá-



1. ábra. Bauxittest idealizált szelvénye

Рис. 1. Идеализированный разрез бокситового тела

Fig. 1. Idealized profile of a bauxite body

nyavágat mérete hanyagolható el az \overline{AB} távolsághoz képest a geometriai korrekciós faktor az előbbinek kétszerese, azaz teljes térre vonatkozik. Ahol az \overline{AB} és a vágat összemérhető, az irodalom által ajánlott „vágathatás korrekciót” kell alkalmazni. Ebben az esetben

$$\rho_a = K_0 C_F \frac{\Delta V}{I},$$

ahol: K_0 a féltérre vonatkoztatott geometriai korrekciós faktor, C_F pedig a vágathatás-korrekció értéke.

A C_F meghatározására korrekciós függvényt használtunk (2. ábra). Ennek jóságát mutatja, hogy a szondázási görbék analitikus úton kiértékelhetők voltak és a mélységmeghatározás pontossága szempontjából is megállták a helyüket (3. ábra).

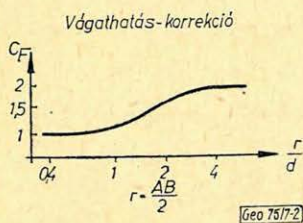
A szondázási görbék alapján megállapítottuk, hogy a bauxit fajlagos ellenállása $80 - 100 \text{ ohmm}$. A bauxit fellazult száraz módosulata nagyobb ellenállású ($120 - 150 \text{ ohmm}$). Az aljzat ellenállása 2000 ohmm .

A görbék pontos értékelését nehezíti és a fúrásos anyagokkal való összehasonlítását bonyolítja a geoelektromos jel átfogó volta. Ennek ellenére szondázást célszerű végezni, ha új ismeretlen geoelektromos viszonyok közt kezdenek kutatást, vagy ha a fekéj karsztvízszint alatt van.

A geoelektromos szondázások hátrányai: egyrészt nem képezik le elég finoman a dolomit változatos felszínét, másrészt a mérés és az értelmezés hosszú folyamat.

A bányavágatokban alkalmazott ellenállásszelvényezésnek két feladatát különböztetjük meg.

Az átnézetes szelvényezésnek feladata hosszú szakaszon eldönteni: a vágat talpa alatt kis, vagy nagy vastagságú-e a bauxit. A részletező szelvényezésből már kvantitatív adatokat kívánunk nyerni a bauxit vastagságára és az aljzat finomszerkezetére.



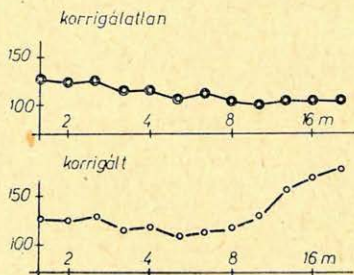
2. ábra. Szondázási korrekciós görbe.

(Vágathatás korrekciós görbe)

Рис. 2. Кривая поправок зондирования (кривая поправок за горные выработки)

Fig. 2. Correction graph of a sounding (Correction graph of a gallery)

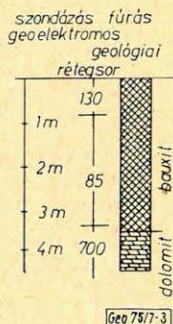
Szondázási görbék



3. ábra. Szondázási görbék

Рис. 3. Кривые зондирования

Fig. 3. Sounding curves

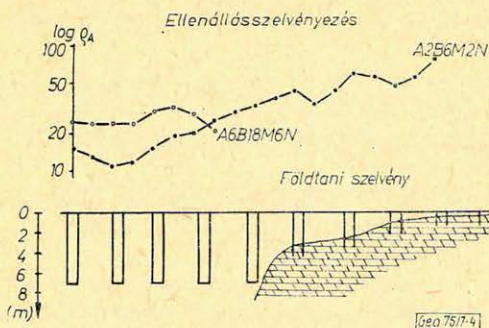


Geo 75/7-3

Az átnézetes szelvényezésnél felhasználható elektródarendszer kiválasztására modellkísérleteket végeztünk. A közbülső gradiens, a szimmetrikus és a dipól-dipól elrendezéssel felvett nagyszámú kísérleti szelvény analízise azt mutatta, hogy a dipól-dipól elrendezés adja a leghasználhatóbb eredményt. Bizonyos határok között a modell mélységének megváltozása nem változtatja meg a mért ellenállásszelvény alakját, csak amplitúdóját. Ennek alapján ideális szelvényben jó korrelációt határozhatunk meg a mért adatok és a fekü települési mélysége között.

A felszíni (kiszáradt) réteg jelenléte és a dolomítfekü esetleges ellenállásváltozása miatt célszerű az átnézetes szelvényezést is két paraméterrel végezni (kis és nagy behatolóképeségű elrendezések). A szelvény (4. ábra) az egyik vágatban A2B6M2N és A6B18M6N elrendezéssel mért ellenállásszelvényeket mutatja be.

A részletező ellenállásszelvényezéssel a lehetőségekhez képest teljes földtani szelvényt kívánunk nyerni, és az értelmezés megbízhatósága céljából a lehető legtöbb zavaró hatást kell kiküszöbölnünk. Emiatt nem elegendők azok az irodalomból ismert eljárások, amelyek a kapott ellenállásmetszetet értelmezik. Az ellenállásmetszetet úgy kapjuk, hogy az áram- és a potenciálelekt-



4. ábra. Ellenállás-szelvények

Рис. 4. Кривые сопротивления

Fig. 4. Resistivity profiles

ródok virtuális távolsága felével egyenlő mélységbe felhordjuk a mért ellenállásértéket. Változtatva az elektródák távolságát és a mérési pont helyét, a felhordott értékekből olyan anomaliaszelvény rajzolható, amely nagyban –

egészben tükrözi az ellenállás-inhomogenitások alakját és mélységét. Ez az eljárás azonban igen érzékeny az oldalirányú inhomogenitások torzító hatására és kvantitatív mélységszámításra nem alkalmas.

Elméleti vizsgálatok és a bauxitbányában végzett kísérleti mérések vizsgálatából a következő megállapításokra jutottunk:

a) a torzító hatásokra a háromelektrodás elrendezés a legérzékenyebb, ahol az egyik áramelektroda nagy távolságban van,

b) a mért ellenállásértékeket a potenciálelektrodák középpontja alá kell felhordani, és ezzel az elektrodatorzulások a földtani hatásoktól elkülöníthetők (például az ellenállásmetszeten az *A*-elektroda által létrehozott torzító hatás $22,5^\circ$ -os tengelyű ál-anomáliaként jelentkezik, amely könnyen észrevehető),

c) célszerű a „belső” és a „külső” elrendezéssel is lemérni a szelvényt, azaz a potenciálelektrodákat egyszer az áramelektrodák közé, egyszer pedig ezeken kívül elhelyezni. A két ellenállásmetszet együtt kell értelmezni,

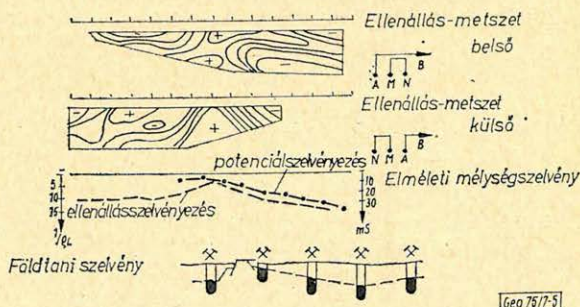
d) a kapott ellenállásmetszeten végre kell hajtani a szondázásokról már ismertetett vágathatás-korrektciót, és a fentiek után még megmaradt statisztikus torzulásokat térbeli szűréssel kell eltávolítani.

A részletező ellenállásszelvényezés ilyen végrehajtása lényegesen több mérést igényel, mint az áttekintő szelvényezés. Ezt azonban a kapott anyag jósága indokoltá teszi. A mérést egyébként jelentősen meggyorsította, hogy sokeres kábelt, egyszerre telepített elektrodasorozatot és ehhez szerkesztett léptetőegységet használtunk.

A jó minőségű ellenállásmetszet lehetőséget nyújt mélységszámítás elvégzésére is. A fentiek szerint előállított ellenállásmetszeteiből kiválasztható az az értéksor, amelyre nézve közel lineáris az összefüggés a dolomit települési mélysége és a mért ellenállásérték reciproka között. A korrelációs tényező néhány fúrás vagy szondázás alapján határozható meg. Ezzel az eljárással jó eredményeket kaptunk a geoelektromos mélységadatok és a fúrások között a kísérleti terület nagyobb részén.

Az 5. ábra a részletező ellenállásszelvényezés folyamatát mutatja be a kincsesi bauxitbánya II/a síklőjában mért adatokon. A felső két ellenállásmetszetet a különböző behatolási mélységű „belső” és „külső” elrendezésből kaptuk. A következő szelvény az egyesített és szűrt metszeteiből kiválasztott értéksorból kapott reciprokellenállás-szelvény, amely ilyen reprezentációban már közvetlenül korrelálható a fúrásokból kapott földtani szelvényvel.

A kísérleti mérések több hibalehetőségre is felhívták a figyelmünket, amelyek a mélységszámítást pontatlanná vagy irreálissá tehetik. Nagy behatoló-képességű szelvényezésnél a főtérben levő alacsonyellenállású tömegek a vágat-



5. ábra. Részletező ellenállás-szelvényezés, potenciálszelvény

Рис. 5. Детальная съемка по методу сопротивлений, кривая, полученная по методу потенциалов

Fig. 5. Detailed resistivity profile, potential profile

hajtás-korrektíótól függetlenül is értelmezhetetlen anomáliákat okoznak. A bauxit alatti oldallirányú (tehát a vágatra merőleges) inhomogenitások megszüntethetik az említett korreláció linearitását.

Anomáliát okoznak egyes, a vágattalppal jó ohmikus kapcsolatban levő berendezések (sínek, kábelek) is.

Kísérleteket végeztünk a Magyarországon már széles körben alkalmazott rögzített tápvonalas ellenállásszelvényezés, hazai néven potenciálszelvényezés alkalmazásával is. Ez a módszer az előbbi háromelektrodás szelvényezésből úgy származtatható le, hogy a másik árambetápláló elektródát is a kutatási mélységhez képest igen nagy távolságba visszük és a mérés közben csak az MN elektródákat mozgatjuk. E módszer előnye, hogy a laterális inhomogenitások hatása méginkább kiküszöbölődik, és az ismertett földtani modellre egzakt mélységszámítási eljárásunk van. Hátránya, hogy érzékeny a fedőben levő ellenállásváltozásokra, és a behatolási mélysége nem változtatható.

Egy ilyen potenciálszelvényezés eredményét mutatja be az 5. ábra alsó része. A potenciáltérképezés mért adata (az $S =$ összegzett hosszirányú vezetőképeség) jól korrelál a fúrások mélységadatával.

Ilyen jó eredményre – tapasztalataink szerint – dőlésirányban telepített szelvényeknél számíthatunk. A csapásirányú szerkezeteket a módszer ilyen változata nem tudja leképezni, megegyezésben a felszíni mérések tapasztalataival.

A kísérleti mérések nem terjedtek ki minden ismert feküszerkezetű, különböző kőzetfélésegeket, vagy az omlasztásos fejtésmód következtében különbözőképpen fellazult fedőkőzeteket tartalmazó bányatérsegre, de az eredményektől több, számunkra értékes következtetést vonhattunk le.

- a) A bauxitbányák körülményei geoelektromos mérések kivitelezéséhez megfelelőek.
- b) A négy alkalmazott mérési eljárás közül hárommal (ellenállás-szelvényezés, vertikális szondázás és sekélyrefrakciós mérés) a kutatási feladat viszonylagos pontossággal megoldható.
- c) Ha oldallirányban az aljzatnak nagy szintváltozásai vannak (csapásban haladó vágatnál gyakori), mindegyik módszer megbízhatósága leromlik.
- d) A fúrások feltárástól – gyorsaságban, költségben – az ellenállás-szelvényezés jobban mutatkozik, megbízhatósága viszont nem egyenletes, így ún. „*támfúrásokkal*” üzemszerű használatra javasolható.
- e) Abban az esetben, ha fúrások mélyítése (a nyomás alatti vizet tároló fekü esete) nem engedhető meg, célszerűen megválasztott mérési komplexum alkalmazását javasoltuk.
- f) A mérések technikailag kivitelezhetők, a használt berendezések bányabeli mérésre alkalmasak.
- g) További előrelépést jelent, ha a vágathatást és a fedőben levő rétegek hatásának problémáját matematikai modellezéssel megoldjuk.

IRODALOM

- [1] Dr. Szabó János: Kísérleti geoelektromos ellenállásmérések a rákhegyi és a Halimba II. bauxitbányákban. 1973. Adattár.
- [2] Dr. Szabó János – Baranyi István: Az egyenáramú és alacsony frekvenciás váltakozó áramú kutatási módszerek földtani alkalmazhatóságáról. Bányászati lapok 1966. 2. sz.
- [3] Kakas Kristóf: Jelentés a bauxit fedőjének geofizikai módszerekkel végzett bányabeli meghatározásáról. 1973. Adattár.
- [4] Podzemnaja geofizika. Izdatyelsztvo Nyedra. 1973.