

Módszer bányabeli körülmények között a térben lejátszódó közetmechanikai folyamatok elektromos úton történő vizsgálatára

SZABÓ JÁNOS* – GÉRESI GYULA*

A Mecseki Ércbányászati Vállalatnál 1966 óta végzünk közetmechanikai céllal geoelektromos megfigyeléseket. Ezek tapasztalatainak egy részét már korábban közzétük [12]. Újabb módszertani és értelmezési eredményeinket tartalmazza a cikk.

В Мечекском рудодобывающем предприятии с 1966 года проводится электроразведка с целью изучения механических свойств пород. Ранее сообщалось о части полученных результатов [12]. В статье рассматриваются результаты новой методики и интерпретации.

At the Mecseki Ércbányászati Vállalat geoelectrical surveys have been carried out since 1966 for analysing rock mechanical events. Some of the results were published previously [12]. This paper describes the latest data requisition and interpretation results.

Bányavágatokban

A kőzetek fajlagos ellenállása az időben a legkülönbözőbb okok következtében megváltozhat. Különösen érvényes ez bányabeli körülmények között, ahol egyrészt a létesített üregek körül a megbontott egyensúlyi helyzet, a nyomás és hőmérséklet változások, a pórusok folyadéktartalmának megváltozása, a kialakult repedések, törések stb. vezethetnek a kőzet eredeti fajlagos ellenállásának megváltozásához, másrészt a fenti tényezőknek közeli bányászati munkák hatására történő időbeli megváltozása is a kőzettömeg fajlagos ellenállásának megváltozását okozhatják. Ezek a változások – irodalmi adatok és saját tapasztalataink alapján – mérhető nagyságúak, a még megengedhető mérési hiba értékét jóval meghaladhatják ([1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [12]).

Egy megfelelően rövid időtartam alatt végrehajtott mérési sorozat (és itt megfelelően rövid időtartamnak vagyunk kénytelenek tekinteni a vizsgálat alá vont vágat, vagy vágatszakaszcso egy szeri felméréséhez szükséges legrövidebb időtartamot) a meghatározott térfogaton belüli kőzettömeg stacionér fajlagos ellenállás-eloszlásáról ad információt, abból a vizsgált paraméter időben változó voltáról, annak irányáról természetesen nem kaphatunk képet. Ez utóbbiak akkor határozhatók meg, ha az első mérési sorozatot, annak technikáját pontosan követve, újabb időpont(ok)-ban megismételjük, és az eredeti állapottól való eltérés-(eke)-t valamilyen módon ábrázoljuk.

A bányavágatokban használt fajlagos ellenállásmérés metodikája lényegében megegyezik a felszíni kutatási-mérnökgeofizikai feladatok megoldása során alkalmazottakkal ([6], [11], [12], [13], [14]) azokkal a főbb eltérésekkel, hogy bányabeli körülmények között a mérések kivitelezéséhez nem áll korlátlan tér rendelkezésre, azonkívül egy bizonyos áramelektroda-távolságon túl a faj-

* Mecseki Ércbányászati Vállalat, Pécs

lagos ellenállás mért eredményére a vágatot, vagy bányáüreget körülvevő egész tér köztömege befolyást gyakorol. Figyelembe kell venni a vágat hatását is egy bizonyos áramelektroda távolságon túl. A vágat, mint gyakorlatilag végtelen ellenállású térrész mérési eredményeinket nagy mértékben befolyásolja, hatása azonban korrekcióba vehető [14]. Négyelektrodás elrendezés esetén a ρ_k fajlagos ellenállás az áramelektrodákon betáplált I áramerősséggel, a potenciál-elektrodákön mért ΔU potenciál-különbséggel és egy K geometriai tényezővel arányos. A geometriai tényező, a négy elektroda térbeli elhelyezésétől függ. Ha A -val és B -vel az áramelektrodák, M -el és N -el a potenciálektródák helyét jelöljük, akkor a végtelen sík felszínén elhelyezett négy elektroda esetén a $K_{2\pi}$ geometriai tényező, a szimmetrikus Schlumberge: elrendezés esetén

$$K_{2\pi} = \frac{\pi \overline{AM} \cdot \overline{AN}}{\overline{MN}}.$$

Ha a négy elektrodát a térben, a vizsgálandó anyagon belül helyeznénk el, a $K_{2\pi}$ geometriai tényező

$$K_{4\pi} = \frac{2\pi \overline{AM} \cdot \overline{AN}}{\overline{MN}}$$

lenne.

Tekintettel arra, hogy a bányában adott átmérőjű vágatban mérünk, a fenti két geometriai tényező akkor alkalmazható, ha az áramelektrodák egymástól való távolsága a vágat átmérőjéhez képest kicsi $AB/2/d < 0,5$ vagyis a tápelektrodák távolsága a vágat átmérőjénél kisebb), vagy azt jelentősen meghaladja. ($AB/2/d > 5$, vagyis a tápelektrodák távolsága a vágatátmérő tízszeresénél nagyobb). A két szélső érték meghatározása érdekében a $K_{2\pi}$ értéket a C_B -szorzóval módosítani kell [14]. Az *I. táblázatban* néhány tápelektrodátávolság-vágatátmérő hányadoshoz tartozó C_B szorzó értéket tüntettünk fel.

I táblázat – Таблица 1. – Table 1.

$\frac{AB}{2d}$	0,5	1	1,3	1,5	1,7	2	2,5	3	4	5	6	10
C_B	1	1,1	1,25	1,45	1,55	1,65	1,75	1,85	1,95	1,98	2	2

A fentieknek megfelelően a vágatátmérőnél kisebb tápelektroda-távolsággal meghatározott fajlagos ellenállásérték a vágatnak ahhoz az oldalához közelső köztömeget jellemzi, amely oldalához az elektrodákat illesztettük. Ha ellenben a fajlagos ellenállásértéket a vágatmérő tízszeresét meghaladó tápelektroda távolsággal határozzuk meg, a kapott értékben a vágat jelenléte már elhanyagolható mértékben játszik szerepet és így az a vágatot körülvevő, az áram- és potenciál-elektrodátávolságok által meghatározott nagyságú köztömege vonatkozik. A két szélső helyzet közötti tápelektroda-távolságokkal mért értékek információtartalma az előbbieken leírtakból következik: kis tápelektroda-távolságoknál az információ inkább az elektrodák felőli térfélre vonatkozik, azt növelve pedig előbb az „oldal”-irányok, majd a teljes tér kezdi éreztetni a hatását. A vágatátmérőhöz képest kis tápelektroda-távolságok alkalmazá-

sával és a vágat különböző helyeire (a talpra, az oldalfalakra, a főtérre) illesztett elektródákkal végzett mérésekkel a vágatot körülvevő kisvastagságú kőzet-tömegben belüli változások térbeli eloszlása figyelhető meg. Ilyen módon a mechanikai változásnak kitett térrész helyére vonatkozó információ is nyerhető.

Ez utóbbi azzal a következménnyel járhat, hogy bizonyos, a vágat közvetlen környezetében lejátszódó folyamatok megfigyelése érdekében a méréseket nem elég a vágat talpán elvégezni, azokat a vágat oldalfalain és főtéjén is végre kell hajtani.

A bányavágatot körülvevő kőzetek fajlagos ellenállása megváltozásának mérésére javasolt módszer az ellenállás-szondázás és az ellenállás szelvényezés kombinációja, szimmetrikus Schlumberger elektróda-elrendezés alkalmazásával. Megfelelő mérési pontsűrűség mellett minden egyes pontban több, különböző áramelektroda távolsággal fajlagos ellenállásmérés történik. Mivel az információ mélységet az áramelektrodák távolsága szabja meg, azokat a minimálistól (vágat közeli hatások) a vágat hosszúsága által megengedett ésszerűen maximális (kívánt vizsgálati mélység) nagyságig kell megválasztani.

A mérési eredményeket pszeudó-szelvényen ábrázoljuk, log-normál elrendezésben: a megfelelő méretarányban kijelölt mérési pontok alatt az egyes \overline{AB}_i áramelektroda távolsággal meghatározott – és az irodalomból is ismert módon a vágat – hatással javított – ρ_i fajlagos ellenállásértékeket $\log \frac{\overline{AB}_i}{3}$

távolságokban tüntetjük fel ($\frac{\overline{AB}_i}{3}$ -t tekintjük \overline{AB}_i -hez tartozó információs mélységnek), a kapott ponthalmazból izovonalas szelvényt szerkesztünk. Hangsúlyozzuk, hogy az így nyert szelvény nem a mérési pontok alatti, feletti, vagy egyéb irányú feltérben (2π), hanem a vágatot körülvevő, az alkalmazott maximális áramelektroda-távolság által meghatározott nagyságú, teljes térben (4π) elhelyezkedő kőzettömeg fajlagos ellenállásának eloszlásáról ad információt.

Mint arra már a fentiekben utaltunk, a fajlagos ellenállás változások és ezen keresztül az azokat kiváltó okok, egy újabb időpontban, vagy időpontokban végrehajtott ismétlőmérésekkel és a kapott eredményeknek az előző mérési sorozat eredményeitől való eltéréseinek vizsgálatával kísérhetők figyelemmel. A kapott eltéréseket célszerű a pszeudo-izohmm szelvényekkel azonos méretű különbség szelvényeken ábrázolni. A különbség szelvények lehetnek abszolút eltérés és relatív szelvények. Az előbbieket esetén az eltérés szelvényen az adott mérési pontokban az adott \overline{AB}_i áramelektroda-távolsággal mért fajlagos ellenállásértéknek az alapul választott időpontban hasonló feltételek mellett meghatározott értékektől való ohmm-ban kifejezett változását tüntetjük fel az illető vonatkozási pontokban, és szerkesztünk izovonalas abszolút eltérési szelvényt ($\Delta\rho$), a másik esetben az alapul választott időpontban meghatározott értéket 100%-nak véve, az eltérést %-ban fejezzük ki és a kapott értékből izovonalas relatív eltérési szelvényeket szerkesztünk $\left(\frac{\Delta\rho}{\rho_B} 100\right)$.

Két mérési időpont közötti változás értékeléséhez egyes esetekben az abszolút eltérés szelvény, más esetekben a relatív eltérés szelvény ad használhatóbb információt. Az átlagosan alacsony fajlagos ellenállással bíró környezetben már a kis, akár mérési pontatlanságból adódó változások is nagy relatív eltéréseként jelentkeznek. Ilyen esetekben az abszolút eltérési szelvényeket

elszerű az értelmezéshez alapul venni. Ugyanakkor az átlagosan magas fajlagos ellenállásértékekkel jellemzett területeken a relatív eltérés szelvényét kell felhasználni.

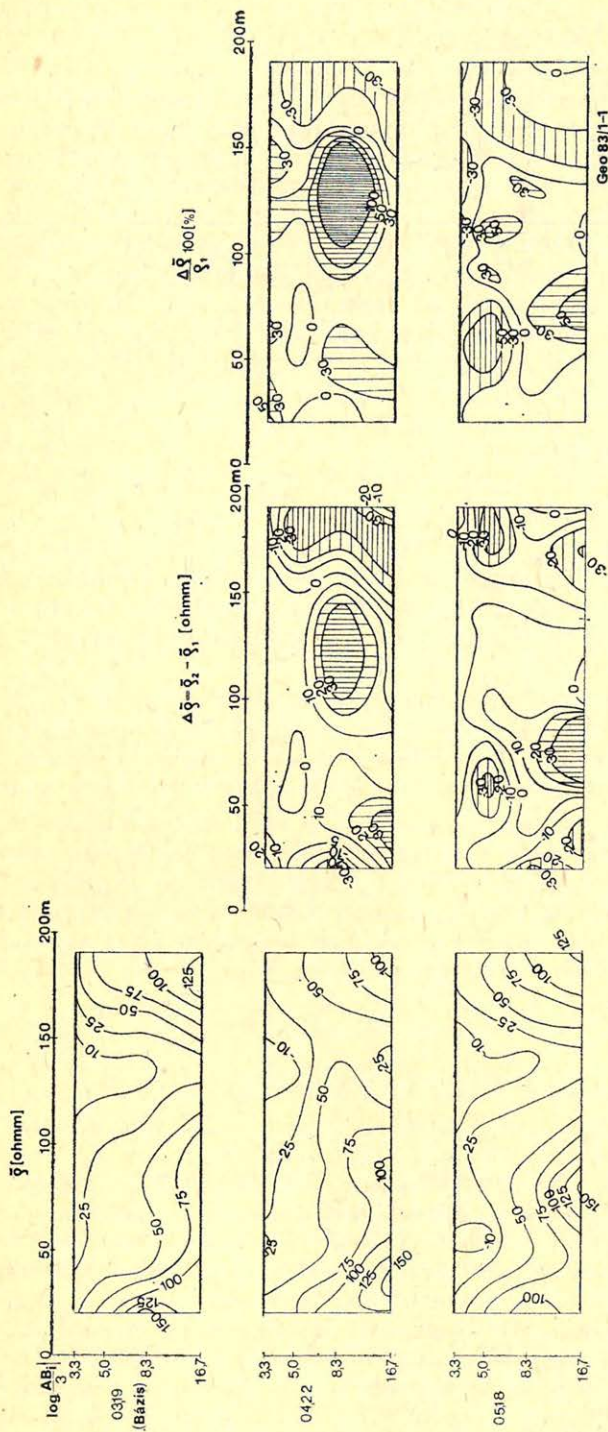
A kőzet fajlagos ellenállásának változásait a korábbiakban felsorolt tényezők közül, bányakörülmények között, főként a feszültség-átrendeződések és nyomásváltozások következtében kialakuló rugalmas alakváltozások (kőzet-térfogat-pórustérfogat változások) és a kőzet-tönkremenetel (törések, repedések, kőzet-felaprózódások) hozzák létre. A nyomás-növekedés hatására létrejövő térfogat (pórustérfogat) csökkenés, valamint a kőzet-tönkremenetel a vizsgált kőzet fajlagos ellenállásának növekedéséhez, a nyomáscsökkenéssel együttjáró térfogat (pórustérfogat) növekedés pedig a fajlagos ellenállás csökkenéséhez vezet.

A kőzet fajlagos ellenállását megváltoztató nyomásváltozások viszonylag nagyobb térrészre terjednek ki. Változékonny földtani felépítésű környezetben, vagy ahol az azonos összetételű kőzettömegben belül a kőzet szerkezetének megváltozásai jelentős fajlagos ellenállásbeli eltéréseket okoznak, a „lokális”-nak minősíthető, esetenként kis oldalirányú kiterjedéssel, de nagy amplitúdóval jelentkező, nagy gradiensű fajlagos ellenállás-anomáliák zavarhatják a „regionális” tér változásainak megfigyelését. Érdemes ezért a „lokális” anomáliák hatását valamilyen módon, például átlagolással lecsökkenteni. Megfelelőnek látszik a szelvénymenti súlyozott átlagok számítása és a pszeudoszelvényeknek ezekkel az átlagértékekkel, illetve az átlagértékekből levezetett abszolút és relatív-eltérés értékekkel történő megszerkesztése.

Az 1. ábrán egy bányavágat szakaszon négy különböző terítési távolsággal, 10 m pontsűrűséggel, három különböző időpontban (1981. 03. 19., 04. 22. és 05. 18.) végzett mérések adataiból a fentiek alapján szerkesztett pszeudo-izoohm szelvényeket, és az első mérési állapottól, mint bázistól való eltérés szelvényeket tüntettük fel. Az eltérés szelvényeken a 20 ohm-t, illetve a 30%-ot meghaladó eltéréseket vonalkázással jelöltük. A bázishoz viszonyított növekedést a függőleges, a csökkenést a vízszintes vonalkázások jelentik.

Az alkalmazott elektrodaelrendezéssel vizsgált térfogaton belül mindkét eltérés-szelvény fajtán egyértelmű fajlagos ellenállásnövekedés figyelhető meg a 04. 22. időpontban a 30–40 m és a 90–150 m, valamint a 05. 18. időpontban a 60–90 m szakaszokon. Hasonló nagyságú fajlagos ellenállás-csökkenés a 04. 22. időpontban a 170–190 m, ill. a 05. 18. időpontban a 40–70 m és a 170–190 m szakaszon mutatkozik. A fenti változások a vágat közeli térrészben (pl. a 05. 18. időpontban a 40–70 m között), teljesen a vizsgált térrészen belül (pl. a 04. 22. időpontban a 90–150 m között) játszódtak le, vagy kiterjedésük a vizsgálat alá vont térrészen túl is feltételezhető (pl. a 04. 22. időpontban a 30–40 m és a 170–190 m között, ill. a 05. 18. időpontban a 60–90 m és a 170–190 m között). A jelölt vágatszakaszokat körülvevő térben tehát az adott időpontokban, a bázisállapothoz képest, a fajlagos ellenállás megnövekedése esetén kőzetnyomásnövekedés, illetve fajlagos ellenálláscsökkenés esetén kőzetnyomás-csökkenés valószínűsíthető. Természetesen arra nézve, hogy a nyomásváltozás a vágat tengelyéhez viszonyítva melyik irányban következett, csak a vágat-közeli jelenségek esetén és speciális elektrodaelhelyezések (főtén, oldalfalakon és talpon) alkalmazása esetén várhatunk választ.

Az eltérés szelvények kőzetmechanikai jellegű értelmezését nagy mértékben elősegítené, ha laboratóriumi vagy bányabeli kísérletekkel meg lehetne határozni, hogy adott kőzetre, adott fajlagos ellenállásértékre, adott bányára, vagy



1. ábra. Egy bányavárat szakasz fajlagos ellenállás és eltérés pszeudoszérvényei. A függőleges vonalkázás a fajlagos ellenállás növekedését, a vízszintes vonalkázás a fajlagos ellenállás csökkenését jelzi.

Рис. 1. Псевдопрофили удельного сопротивления и отклонений в забое. Вертикальная штриховка показывает увеличение, а горизонтальная снижение удельного сопротивления. Fig. 1. Specific resistivity and deviation pseudo-profiles taken in a mineshaft. Vertical lines show the increase of specific resistivity horizontal lines show decrease of specific resistivity.

bányatérsegre vonatkozóan mekkora változás az, amely egyértelműen már a kőzet mechanikai változásából következik.

A kőzetmechanika a maga eszközeivel a bányában elsősorban a kőzet rugalmas alakváltozásával kapcsolatos jelenségek, folyamatok vizsgálatára képes. Megfigyelései általában egy-egy pontra vonatkoznak, a kapott eredmények viszonylag kis kőzettömegről adnak információt, szemben az elektromos ellenállás fentiekben vázolt információs térfogatával. Ez utóbbi nagyságának — és ez a javasolt módszer egyik fontos előnye — csak a vizsgált környezetben kialakított bányatérség kiterjedése szab határt. Amennyiben egy adott bányában, bányamezőben a fajlagos ellenállás megváltozását előidéző kőzetmechanikai jelenség mibenlétének előkísérletekkel való megismerése megtörtént, lehetőség nyílik a módszer autonóm alkalmazásával az adott kőzetmechanikai jelenségnek, folyamatnak a kőzetmechanikai megfigyelés hatáskörzetét többszörösen meghaladó térben történő figyelemmel kísérésére.

Kis kiterjedésű bányatérsekben

Kőzetmechanikai jellegű megfigyelésekre igen sokszor van szükség olyan helyeken is, ahol az előzőekben vázolt komplex szelvényezés — szondázási módszer nem alkalmazható (zsomptér, kamra, pillér stb.). Ilyen helyeken egy pontban kivitelezett, időben ismétlődő fajlagos ellenállásmérés sorozattal lehet a szűkebb környezet kőzeteinek mechanikai állapotában bekövetkezett változásokat megfigyelni.

Bányatérsegenként elvégzett előkísérletek során kell tisztázni azt, hogy valamely kőzetmechanikai paraméter egyfajta megváltozása a fajlagos ellenállás milyen megváltozását eredményezi. Ezt időben ismétlődő, párhuzamosan végzett kőzetmechanikai — geofizikai mérési sorozatok elvégzésével lehet megállapítani.

A két adatsor közötti megfelelően szoros kapcsolat kimutatása esetén a fajlagos ellenállásmérési adatokból szerkesztett grafikonok elégségesek lesznek a jelenség figyelemmel kísérésére, és esetleg a kőzetmechanikai megfigyeléshez szükséges munkák (pl. elmozdulásmérő és más berendezések beépítése, mérési sorozatok elvégzése, értékelése) egy részét el lehet hagyni, a kőzetmechanikai megfigyelési hálózatot ésszerűen ritkítani lehet.

Összefoglalás

A Mecseki Ércbányászati Vállalatnál 1966 óta történnek kőzetmechanikai céllal geoelektromos mérések. Jelen cikkben ezek közül a bányavágatokat, ill. kis kiterjedésű bányatérsegeket körülvevő kőzettömegben főként a kőzet mechanikai állapotában beállt változások hatására kialakuló fajlagos elektromos ellenállásváltozások megfigyelésére alkalmazott, illetve javasolt módszert írjuk le. Ismertetjük a fajlagos ellenállás időbeli változásának megfigyelésére alkalmazott mérési metodikát, a mért adatok és a meghatározott változások ábrázolásának módját és utalunk a kapott eredmények értelmezhetőségére. A nagy kőzettömegben lejátszódó változásokat kimutató módszer elsősorban a bányabeli kőzetmechanikai-bányabiztonsági megfigyelési komplexum egyik komponenseként alkalmazható a kőzetnyomás változásainak indikálására. A nyomás és a fajlagos ellenállás közötti kapcsolat ismerete esetén a vázolt módszer lehetőséget ad a kőzetmechanikai megfigyelési rendszerek ritkítására is.

- [1] *Avesjan, G. M., Metvejenko, A. A., Sztefankovics, Z. B.*: Nyomás hatása homokkövek fizikai tulajdonságaira.
- [2] *Yamazaki, Y.*: 50. Electrical conductivity of strained rocks. The first paper. Bull. of the Earthquake Researc Inst. Vol. 43. (1965).
- [3] *Yamazaki, Y.*: 75. Electrical conductivity of strained rocks. The second paper. Bull. of the Earthquake Research Inst. Vol. 44. (1966).
- [4] *Yamazaki, Y.*: 44. Electrical conductivity of strained rocks. The third paper. Bull. of the Earthquake Research Inst. Vol. 45. (1967).
- [5] *Yamazaki, Y.*: Coseismic resistivity steps. Tectonophysics, 22. (1974).
- [6] *Szabó J. et al.*: Geofizikai módszerek alkalmazása az ércbányászatban. Bányaiipari szakirodalmi tájékoztató. NIMDOK. Budapest. 1981. 5–6. szám.
- [7] *Egerer F.*: Üledékes kőzetek elektromos fajlagos ellenállásának változása a frekvencia és nyomás függvényében. Magyar Geofizika. XVI. évf. 2. sz.
- [8] *Fitterman, D. V., Madden, Th. R.*: Resistivity observation during Creep events at Melendy Ranch, California. Journal of Geophysical Research. Vol. 82. No. 33. (1977).
- [9] *Mazella, A., Morrison, H. P.*: Electrical resistivity variations associated with earthquakes on the San Andreas Fault. Science, 185. (1974).
- [10] *Tsutomi Mashimo et al.*: Electrical conductivity measurement of fayalite under shock compression up to 56 GPa. Journal of Geophysical Research. Vol. 85. No. B4. (1980).
- [11] *Szabó J., Szabó L.*: Kőzetmozgás tanulmányozása geofizikai módszerekkel a mecseki ércbányákban. Magyar Geofizika. XIV. évf. 2. sz.
- [12] *Szabó J., Tirkala F., Virágh P., Buzási L.*: Bányabeli geoelektromos vizsgálatok. Bányászati és Kohászati Lapok. – Bányászat. 103. évf. 8. sz. (1970).
- [13] *Szabó J., Baranyi I.*: Modelovanie zadacs podzemnoj elektrorazvedki metodom Szaprotivlenij. Izvesztija vüszcsih ucsebnüh zavedenij. 1964. 12. sz.
- [14] *Szabó J., Baranyi I.*: Az egyenáramú és alacsony frekvenciás váltakozóáramú kutatási módszerek földalatti alkalmazhatóságáról. Bányászati Lapok. 1966. 2. sz.