

A. ERKEL — M. BOD:

INTERPRETATION THE RESULTS OF INDUCED POTENTIAL
MEASUREMENTS WITH RESPECT TO LABORATORY EXPERIMENTS

The theory of the induced potential developed by a current in rock samples is discussed together with laboratory test and its conclusions, drawing some directives for further experiments.

**A GERJESZTETT POTENCIÁL MÉRÉSEK EREDMÉNYEINEK
KIÉRTÉKELÉSE, TEKINTETTEL A LABORATÓRIUMI KÖZET-
VIZSGÁLATOKRA**

ERKEL ANDRÁS és BOD MAGDOLNA

A fúrólukak gerjesztett potenciállal történő vizsgálata a hazai alkalmazott geofizika egyik legfiatalabb ága. A mérési eljárást és a módszer műszertechnikai részét a Magyar Geofizikusok Egyesületének pécsi ankétján Dr. Sebestyén Károly ismertette. Ő foglalkozott részletesen az eljárás eddigi és várható eredményeivel. Dolgozatunkban röviden ismertetjük a módszer alapgondolatát és fejlődését, a gerjesztett potenciál szelvényezésnél fellépő fizikai és kémiai folyamatokat, a laboratóriumi közetvizsgálatok módszerét és a mérések értelmezését.

A gerjesztett potenciál szelvényezés alapgondolata és fejlődése

Mesterségesen előidézett potenciált először Bakuban észleltek egy fúróluk természetes potenciáljának pontszerű mérése közben. A megfigyelők észrevették, hogy az áram megszakítása után a galvanométer mutatója kismértékben kitér. A jelenség nem minden rétegben volt észlelhető. Ez a véletlen jellegű felismerés, amely szerint az áramhatásnak kitett közetben másodlagos potenciál keletkezik, adta a gerjesztett potenciál módszer alapgondolatát. A fúrólukban a gerjesztett potenciálra vonatkozó első rendszeres kísérleteket C. Schlumberger végezte az 1930-as évek elején.

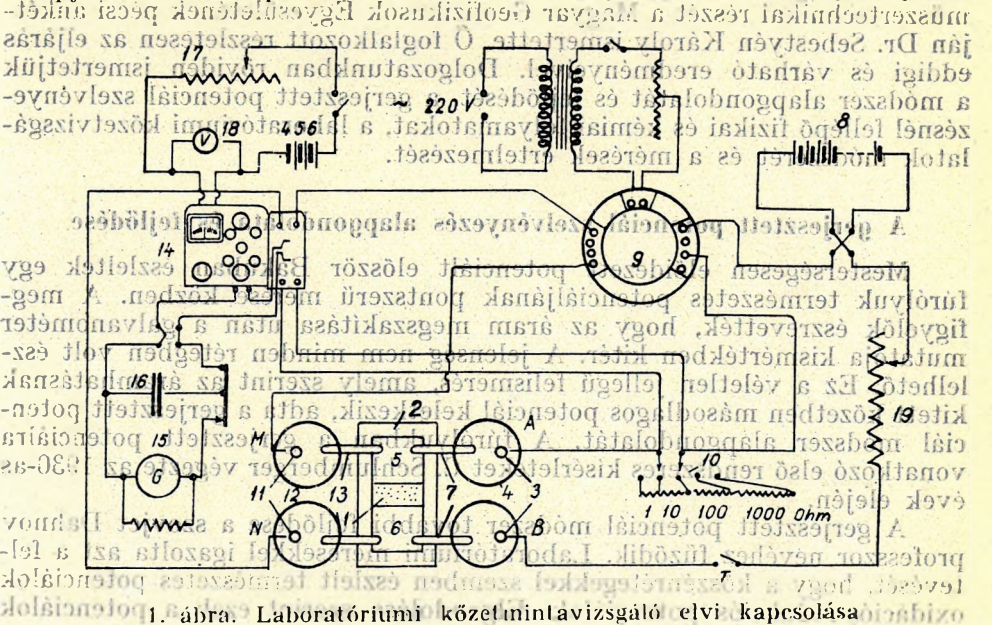
A gerjesztett potenciál módszer további fejlődése a szovjet Dahnov professzor nevéhez fűződik. Laboratóriumi mérésekkel igazolta azt a feltevést, hogy a kőszénrétegekkel szemben észlelt természetes potenciálok oxidációs-redukciós potenciálok. Elgondolása szerint ezek a potenciálok

A kézirat 1955. április 7-én érkezett be.

kémiai, illetve elektrokémiai módszerekkel oly mértékben fokozhatók, hogy összemérhetőkké válnak a fűrólyukban észlelt egyéb természetes potenciálokkal. Sikerült kimutatnia, hogy az oxidáló reagensek normál század, normál ezred koncentrációja mellett az oxidációs potenciál többször tíz, illetve száz mV-ot is elérhet. A vizsgálatok első pozitív eredményei lehetővé tették annak feltételezését, hogy ugyanilyen eredményeket kapnak a kőzetek elektromos áram hatására történő oxidációjánál is. Többévi kísérletezés alapján a négyelektrodos szonda mutatkozott legmegfelelőbbnek a mérések végrehajtására. Az árambevezető elektródok 5–10 m-re helyezkednek el egymástól, az egyik mérőelektrodot pedig valamelyik megosztott árambevezető elektród között helyezték el. Ilyen elektród-elrendezésnél a gerjesztett feszültséget az árambevezető elektród közvetlen közelében, a legnagyobb gerjesztő áramsűrűség helyén vizsgálhatjuk. A mérés folyamán a pulzátorral egyszer a gerjesztő áramkört, egyszer pedig a mérő áramkört zárjuk. Mérés közben tehát pulzáló egyenáram hatásának tesszük ki a rétegeket, s az áram kikapcsolása után mérjük a gerjesztett feszültséget. Így mód van a szelvényezést a szonda lengéscsillapításával folyamatosan végezhetjük.

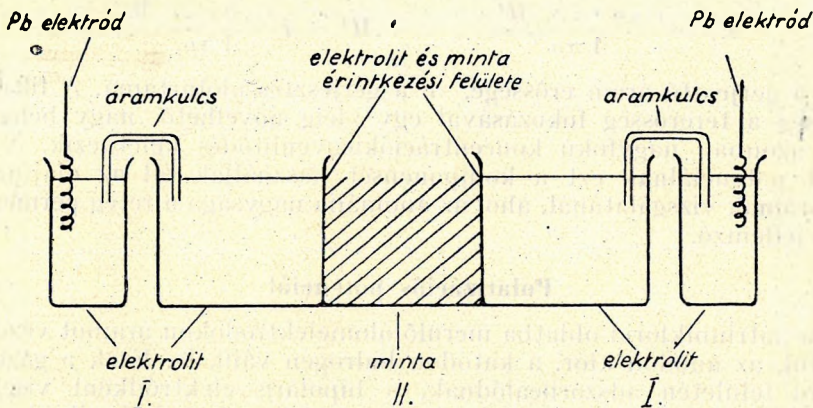
A kőzetekben végrehajtott elektrokémiai folyamatok ismertetése

A kémiai, elektrokémiai folyamatok tárgyalásánál Dahnov megállapításaiból indulunk ki. Dahnov megállapításait saját kísérleteink alapján szerzett tapasztalatainkkal továbbfejlesztettük és helyességükről



1. ábra. Laboratóriumi kőzetmintavizsgáló elvi kapcsolása
1 a beágyazott minta; 2 parafin tál; 3 olomelektrodok; 4–12 üvegedények; 5–6 közvetítő elektrolit; 8 gerjesztőtelep; 9 pulzátor; 10 árammérő söntök; 11 kalomel elektródok; 14 potencióméter; 15 tükros galvanométer; 16 kondenzátor; 17 feszültségosztó; 18 voltmérő; 19 árambeállító ellenállás

megbizonyosodtunk. A kőzetminták laboratóriumi gerjesztett potenciál vizsgálatait az 1. ábrán látható mérőberendezéssel végezzük. A vizsgálandó kőzetet ismert koncentrációjú és ellenállású nátriumklorid oldatba helyezzük. A minta egyik oldalán elhelyezkedő oldat — az elektródrendszer és a réteg közt található elektromos közvetítő folyadék — az iszap szerepét tölti be, ezért ellenállását az iszap ellenállásával megegyezőnek választjuk. A minta másik oldalán levő oldat a bevezető elektródok közt elhelyezkedő kőzeteket helyettesíti. A mérési körülmények ily módon a fűrólyuk mérések körülményeivel azonosak. A gerjesztett feszültséget a minta két oldalán elhelyezett kalomel-elektrodok segítségével kompenzátorral mérjük.



2. ábra

A gerjesztett potenciál a vizsgált kőzet fizikai és kémiai jellemzőitől függően több komponensből tevődik össze. Ezeket külön-külön, kialakulásuk sorrendjében tárgyaljuk.

Az oldatban, az oldat és minta határfelületén, valamint a vizsgált mintában végbemenő elektrokémiai folyamatokat a 2. ábra alapján ismertetjük.

A gerjesztő áramot a két ólomelektrodon vezetjük be. Az oldatban (I) az áramot a Na^+ és Cl^- ionok vezetik. Az ionos vezetést a mintában (II) elektronos vezetés váltja fel. (A későbbiekben látni fogjuk, hogy a mintában is felléphet ionos vezetés.)

Filtrációs potenciál

Az oldatba merülő minta felületén az áram bekapcsolása előtt is kialakulhat Helmholtz-féle elektromos kettős réteg (2), ami a kőzet anyagától függően az anion vagy kation felületi szelektív adszorpciójára vezethető vissza. Az oldat ekkor a kevésbé adszorbeálódó ionokban dúsul. Az így kialakult álló hidratációs rétegnek az oldat belső részeihez viszonyított potenciálját nevezik ζ (zéta) potenciálnak. Az iszapnak a rétegbe történő behatolásakor az áramlás irányában töltésvándorlás következik be.

Az ionvándorlásnak ez a fajtája alakítja ki a filtrációs potenciált. A filtrációs potenciál függvénye az iszap elektromos állandóinak. (A ρ ellenállásnak, az ε dielektromos állandónak, a μ viszkozitásnak, a ΔP nyomáskülönbségnek és a ζ zétapotenciálnak.) Gerjesztéskor az elektromos tér irányában elektrooszmotikus nyomás jön létre, amelynek hatására a fűrőiszap a rétegbe áramlik. Az áram kikapcsolása után megkezdődik a folyadék visszaáramlása, és az ezzel kapcsolatosan fellépő filtrációs potenciál adja a permeabilis közeteknél a gerjesztett potenciál anomáliát. A filtrációs potenciálnak és az elektromos tér hatására keletkező nyomáskülönbségnek a számítására Dahnov a következő képletet adja meg:

$$E_f = \frac{\varepsilon \cdot \rho \cdot \zeta \cdot \Delta P}{4 \pi \mu} \quad \Delta P = I \frac{\varepsilon \cdot \rho \cdot \zeta \cdot \Delta t}{4 \pi \mu},$$

ahol I a gerjesztő áram erőssége, Δt a gerjesztés időtartama. A filtrációs feszültség a térerősség fokozásával egy ideig növelhető, nagy behatolás esetén azonban nagyfokú koncentrációkiegyenlítődes keletkezik. A gerjesztett potenciálnak ezt a komponensét használják fel az olajfúrások rétegsorainak vizsgálatánál, ahol az anomália nagysága a réteg permeabilitására jellemző.

Polarizációs potenciál

Ha nátriumklorid oldatba merülő ólomelektrodokon áramot vezetünk keresztül, az anódon klór, a katódon hidrogén válik le. Ezek a gázok az elektród felületén adszorbeálódnak, a bipoláris elektródként viselkedő minta felülete gázokkal telítődik: H_2 - Cl_2 gázelektroda keletkezik. Az áram kikapcsolása után ennek a gázelemnek az elektromotoros erejét kalomel-elektrodokhoz viszonyítva is mérhetjük. A gázok leválása azonban csak meghatározott feszültségnél, az ún. bontási feszültségnél következik be. Az oldatban ugyanis igen kis áramsűrűségeknél vegybontás nincsen, s ilyenkor a befektetett elektromos energia csak arra használódik fel, hogy az ionokat a súrlódás ellenében mozgassa (3).

A laboratóriumi kísérletek során csak néhány esetben, főleg igen tiszta minta (grafit) vizsgálata esetén sikerült elérnünk a bontási feszültséget. Ebben az esetben lemérhettük a H_2 - Cl_2 gázelemünk polarizációs elektromotoros erejét, 2200 mV-ot. Egyébként más kísérleteknél alkalmazott gerjesztő feszültségek nem voltak elégségesek ahhoz, hogy az oldatban bontás következzen be, és így a H_2 és Cl_2 transzportja a bipoláris elektródként viselkedő minta két oldalán csak diffúz jellegű volt.

A gázok leválása az elektród és így a minta anyagától függően bizonyos túlfeszültséggel megy végbe. A hidrogénleválás túlfeszültségére a Tafel-féle formula ismeretes:

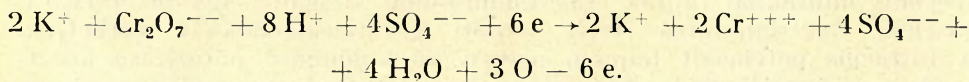
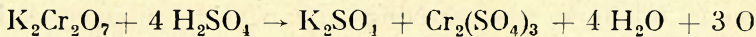
$$\eta = a + b \log i,$$

ahol a az elektród anyagától, b a külső feltételektől függő állandó, i az áramsűrűség. Ha a minta felületén adszorbeálódott H_2 és Cl_2 gáz nem lép a minta anyagával kémiai reakcióba, akkor csupán a H_2 - Cl_2 gázelem elektromotoros erejét észleljük méréseinknél.

Oxidációs-redukciós potenciál

Ha a H_2 , illetve Cl_2 gáz a minta anyagával kémiai reakcióba lép, redukcióról, illetve oxidációról beszélhetünk. Ha ugyanis a H_2 kémiai reakcióba lép, elektront ad le és az elektródot redukálja, a Cl_2 pedig reakcióba lépésekor elektront vesz fel és az anyagot oxidálja. Legnagyobb oxidáló képessége a klórnak van. Ezt bizonyítja az a tény is, hogy megváltozik a szén felülete, ha áram hatásának tesszük ki (1).

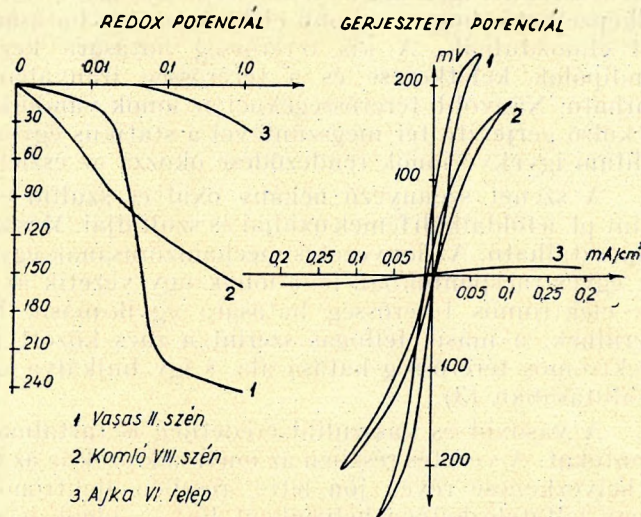
Laboratóriumi méréseink során az elektromos árammal gerjesztett potenciál vizsgálatok mellett egyes szénmintákon még kémiai oxidációs-redukciós folyamatokat is vizsgáltunk. Az esetek túlnyomó többségében az elektromos árammal történő vizsgálatainknál a gerjesztett potenciál és ugyanazon szénmintán mért redoxpotenciál változása egyezést mutatott. Amint az a 3. ábrán bemutatott példán is látható, a nagyobb redoxpotenciált adó minta nagyobb gerjesztési aktivitással rendelkezik. A vizsgálatokat elektródpotenciál-mérésre vezettük vissza. A káliumbikromátot és kb. 2% kénsavat tartalmazó oldat a következő reakciógyenlet értelmében oxidál:



A redox potenciált elméletileg a Nernst formulából számolhatjuk ki:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \frac{RT}{n F} \ln \frac{[ox]}{[red]},$$

ahol [ox] és [red] az oxidált, illetve redukált formák koncentrációját jelenti. (Jelen esetben a Cr^{6+} , illetve a Cr^{3+} ionok koncentrációját.) Minél



3. ábra. A redox és gerjesztett potenciálgörbék összehasonlítása

nagyobb tehát valamely rendszerben az oxidált forma koncentrációja a redukált forma koncentrációjához viszonyítva, annál pozitívabb a redoxpotenciál.

Ion-átrendeződés

Az egyes üledékes kőzeteket alkotó ásványokban, a rács- és láncszerkezeteknél igen nagy a lehetősége gyengébb kötésű ionok jelenlétének. Elképzelhető, hogy nagyobb elektromos tér hatására ezek eredeti helyükről elmozdulnak. A kis térerősség hatására kezdetben csak bizonyos iondipólok keletkezése és a térerősség irányában történő rendeződése várható. Nagyobb térerősségeknél az ionok vándorlása is bekövetkezik. A külső gerjesztő tér megszűntével a statikus egyensúlyi helyzetet visszaállítani igyekvő ionok rendeződése okozza az észlelt anomáliát.

A szén szennyező néhány oxid és szulfid elektronvezetést mutat, mint pl. a földalkáli fémek oxidjai és szulfidjai. Más kristályokban ionvezetés tapasztalható. Az ionvezetés mechanizmusának egyik magyarázata szerint az egyes rácpontokban levő ionok úgy vezetik az elektromosságot, hogy az elektromos térerősség hatására egyik-másik üresen hagyott helyre kerülnek, a másik felfogás szerint a rács között meghúzódnak jutnak az elektromos térerősség hatása alá, s így bujkálva vesznek részt a töltések szállításában (3).

A vasoxid és vasszulfid eredetileg is tartalmaz be nem töltött rácpontokat. A vezetés részben az ionoknak ezekbe az üregekbe való folytonos áthelyezkedése révén jön létre, részben elektronok mozgása révén úgy, hogy feltételezhetően helyenként Fe^{+++} ionok is vannak a rácsban jelen a túlnyomó többségben levő Fe^{++} ionok mellett, és ezeknek a töltésváltása teszi lehetővé az elektronok mozgását (3).

Végso fokon a kristályrácsban lejátszódik a vegyértékváltás folyamata, mely lényegében oxidációs és redukációs jelenség. Feltételezhetően ez olyan folyamat, amely potenciálmeghatározóként szerepel a gerjesztési vizsgálatoknál.

A gerjesztett potenciál vizsgálatoknál az egyes komponensek szétválasztása nem lehetséges. A polarizációs, oxidációs, filtrációs potenciálok egy-egy mérés folyamán összegeződnek. Az egyes komponensek hatását speciális mintáknál tudjuk csak külön-külön vizsgálni. Így pl. a $\text{H}_2\text{-Cl}_2$ gázelem elektromotoros erejét tömött grafit-elektrodokkal mérhetjük. A filtrációs potenciált teljesen inaktív és különböző porozitású kőzetmintákon vizsgálhatjuk. Az ionátrendeződés okozta anomáliákra az ún. száraz, oldat nélküli gerjesztéssel kapunk feleletet. A természetben található kőzetek igen változatos ásványi összetételűek és porozitásúak, s ezért az észlelt gerjesztett potenciál mint összegezett hatás jelentkezik. Első megközelítésben tehát nem tudjuk az észlelt potenciálok lényeges részét valamely eredendő okra visszavezetni. A gerjesztett potenciál idő- és nagyságrendi változásában azonban lesznek olyan jellemző értékek, amelyek az egyik vagy másik komponens döntő befolyását egyértelműen meghatározzák.

A gerjesztési hiszterézis karakterisztikái

A mérési eredményeket koordináta rendszerben ábrázoljuk, ahol az abszcissa a gerjesztő áramsűrűség mA/cm²-ben, az ordináta pedig a gerjesztett potenciál mV-ban. A mintavizsgálatokat négy folyamatban végezzük:

a) MÉRJÜK a gerjesztett potenciált a pozitív áram növekvő értékei mellett.

b) Csökkentjük a gerjesztő áram erősségét és mérjük a gerjesztett feszültséget.

c)–d) Megismételjük a folyamatot negatív irányú árammal.

A gerjesztett potenciál értéke az áramerősség fokozásával egy bizonyos értékig növekszik, majd telítettséget ér el. A mérési eredményeket diagramban ábrázolva hiszterézisgörbét kapunk. A görbén öt karakterisztikus értéket különböztetünk meg (4. ábra). Ezek:

1. Az indítási áramsűrűség.

2. A görbe kezdeti szakaszának iránytangense.

3. A telítettségél jelentkező gerjesztett potenciál.

4. A V_r remanens potenciál nagysága.

5. A hiszterézisgörbe területe.

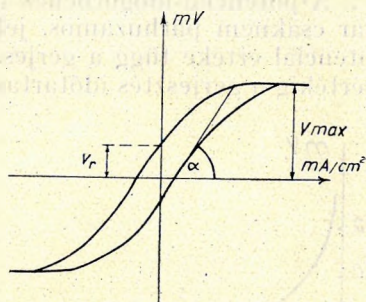
A hiszterézisgörbe karakterisztikus értékeinek kialakulását az alábbiakban ismertetjük.

Valamely rendszerben a gerjesztési folyamat megindulásához meghatározott térerősségre van szükség. Ezt a térerősséget előállító áramsűrűséget nevezzük indító áramsűrűségnek. Az indító áramsűrűség elsősorban a minta ellenállásának függvénye. Ha a minta porózus és filtráció van, a görbe a nulla pontból azonnal emelkedni kezd.

A gerjesztő áram növelésével fokozzuk az áram oxidáló hatását. Ennek folytán az oxidáltabb forma koncentrációját növeljük s az áram kikapcsolása után mérjük a megváltozott koncentráció viszonyoknak megfelelő potenciált. Így értelmezhető a gerjesztett potenciál növekedése a gerjesztő áram növelésével.

A gerjesztett potenciál görbéjének meredekségét a felsorolt négy komponens közül az határozza meg, amelyik az adott közet ásványtani, kémiai és fizikai paramétereitől függően a legjobban kialakulhat. Mivel egy redox rendszer oxidáló vagy redukáló hatását aszerint fejt ki, hogy nálánál pozitívabb vagy negatívabb redoxpotenciálú rendszerrel áll-e szemben, miközben a pozitívabb potenciálú rendszerre redukálólág, a negatívabbra pedig oxidálólág hat, azért a gerjesztő áram irányának megváltozásánál a gerjesztett potenciál előjele is megváltozik.

A telítettséget egy rendszernél akkor érjük el, amikor a domináló komponens kialakításában szereplő tényezők hatása a gerjesztéssel tovább nem fokozható. Így pl. ha egy mintán adott áramerősségnél az oxidációs



4. ábra. A gerjesztési hiszterézisgörbe

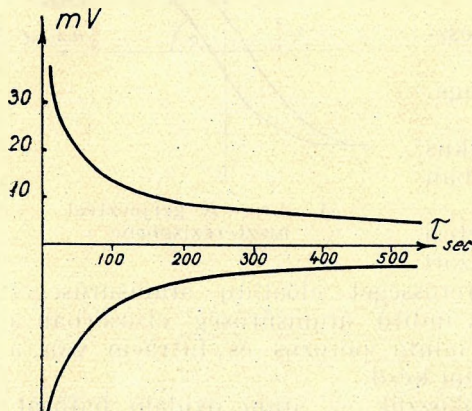
és redukciós formák koncentrációinak különbségében maximális értéket értünk el, az áramerősség további fokozásával nem növekszik a gerjesztett potenciál. A grafit esetében a telítettséget pedig a minta két oldalán leváló H_2-Cl_2 gázelem polarizációs elektromotoros ereje határozta meg.

A gerjesztett potenciál időbeli változására a feszültség-idő diagramok nyújtanak szemléltető képet. Az 5. ábrán látható görbék exponenciális jellegűek. A potenciál időbeli változására Dahnov a következő empirikus összefüggést adja meg:

$$\Delta V = \Delta V_0 \cdot e^{-\frac{\tau}{\lambda}},$$

ahol ΔV_0 a gerjesztett potenciál az áram kikapcsolásának pillanatában, λ időállandó függvénye a közet sajátosságainak, τ az észlelés időtartama.

A potenciál-időgörbék az a szakasza, amely az abszcissa tengellyel már csaknem párhuzamos, jellemző a remanens potenciálra. A remanens potenciál értéke függ a gerjesztő áram nagyságától, előjelétől és bizonyos mértékig a gerjesztés időtartamától is (7. ábra c görbék). A görbe második



5. ábra. Potenciálidőgörbe

szakaszánál, vagyis a csökkenő áramerősséggel történő gerjesztésnél a keletkezett potenciálhoz hozzáadódik az előző gerjesztésből visszamaradó remanens potenciál. Emiatt alakul ki a $\Delta V = f(i)$ görbe hiszterézis jellege. A gerjesztett potenciál komponensei közül feltételezhetően csak a polarizációs és oxidációs potenciál az, amely időben eléggé állandó. Az ionátrendeződés okozta potenciál a másodperc tört része alatt kiegyenlítődhetik, a filtrációs potenciál időbeli változására pedig a gerjesztés időtartama lehet döntő befolyással.

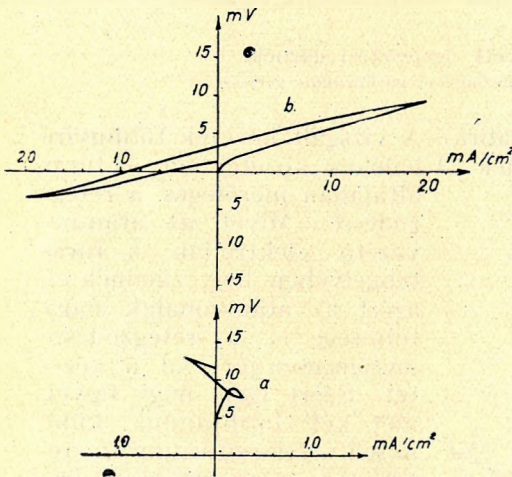
Laboratóriumi vizsgálataink módszere

A kőzetminta vizsgálatok közben néhány olyan jelenséget tapasztaltunk, amelyek szükségessé tették a mérések módszeres végzését. A vizsgálatokat igyekeztünk úgy összeállítani, hogy azok külső feltételei a terepmérésekkel megegyezőek legyenek.

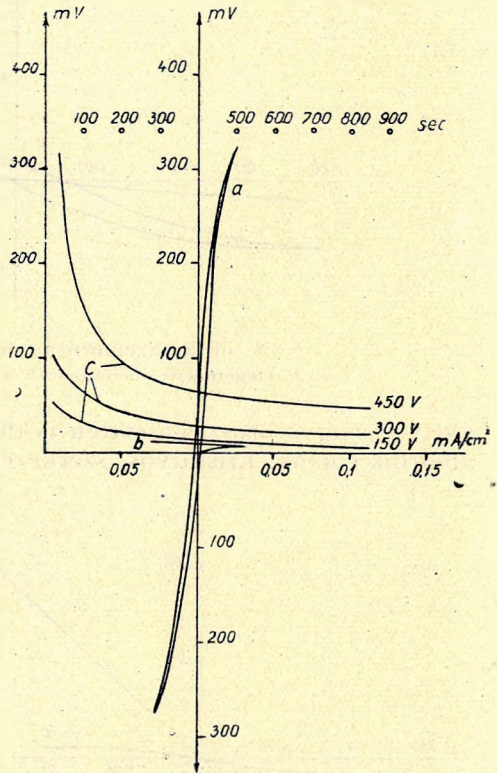
A 6. ábra egy porózus agyagmintán felvett diagramot mutat be. Az *a* görbét a minta oldatba helyezésekor, a *b* görbét pedig négy nap iktatás után kaptuk. Az *a* görbe igen érdekes és az eddigi mérések során még soha nem tapasztalt karakterisztikát mutat, míg a *b* görbe a porózus kőzetekre jellemző hiszterézishurkot írja le. A két görbe különbözőségének magyarázata az, hogy a porózus minta az ázás következtében telítődött

s a második mérés alkalmával már permeabilis, rétegvízzel rendelkező közetek jellegzetes potenciálgörbéjét adta. Első megállapításunk tehát az, hogy a vizsgálandó mintát a mérés megkezdése előtt bizonyos ideig áztatni kell, mivel a fúrólyukakban is az egyes rétegek hosszabb ideig érintkeznek az iszappal.

A fúróiszapot helyettesítő oldat ellenállásának változtatásakor azt tapasztaltuk, hogy az egyes minták aktivitása egyenes arányban van az iszap ellenállásával. Minél nagyobb ugyanis az iszap ellenállása, annál meredekebb az ugyanazon köze-
ten mért gerjesztett potenciálgörbe. Azonos felépítésű, de különböző ellenállású iszappal feltöltött fúrások



6. ábra. Forróz agyagmintája gerjesztési diagramja



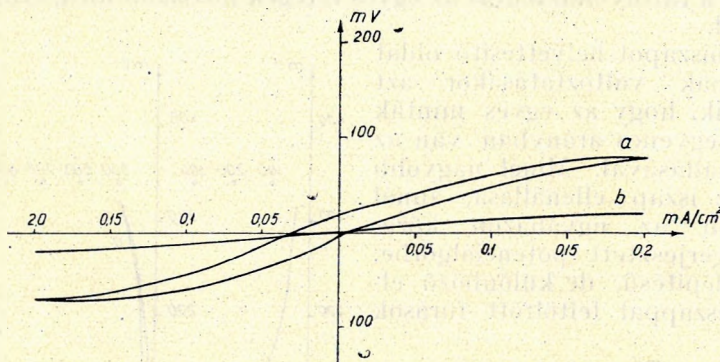
7. ábra. Trachidolerit gerjesztési és potenciál időgörbéi

gerjesztett potenciálszelvényéből tehát más aktivitásokra következtethetünk.

Méréseink során egy trachidoleritet vizsgáltunk meg oly módon, hogy a mintát az első mérés után (*a* görbe) állni hagytuk az oldatban, és kb. két hét eltelte után vizsgáltuk meg újra (*b* görbe). A 7. ábra mutatja, hogy a közet az ázás következtében elvesztette nagy aktivitását. Más aktív nemszén mintán is tapasztaltunk hasonló jelenséget, s ebből azt a következtetést vontuk le, hogy egyes, a gerjeszthetőséget növelő elegyrészek az oldattal való huzamosabb érintkezés után kioldódnak, a közet elmálik, s a mállott rész, így pl. a mállott trachidolerit sem gerjeszthető.

A 8. ábra egy oroslányi szénmintán két egymásra merőleges irányban végzett gerjesztés eredményét mutatja be.

Számos szénmintán megfigyeltük azt a jelenséget, hogy a rétegződésre merőlegesen a gerjesztett potenciál lényegesen nagyobb volt, mint a rétegződéssel párhuzamosan. Ugyanezt a jelenséget figyelhetjük meg az igen

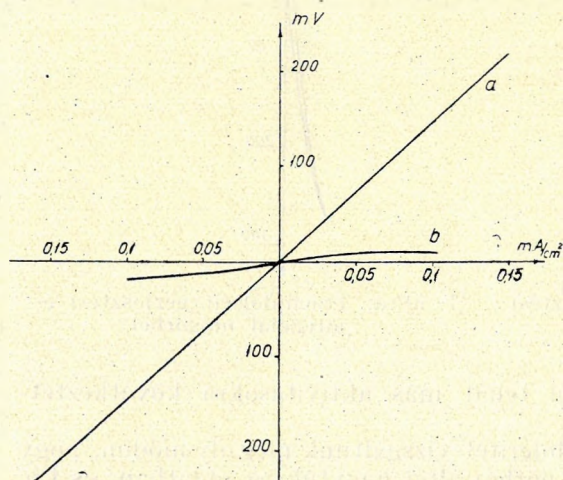


8. ábra. Szénmintán felvett gerjesztési görbék.
a a rétegződésre merőleges; b rétegződéssel párhuzamos gerjesztés

aktív gyöngyösorosi galeniten is (9. ábra). A vizsgált kőzetek többnyire amorfok, néha kristályos szerkezetűek. Üledékes kőzetekben a fúrás

általában merőleges a rétegződésre. Mivel az árambevezető elektródák a fúrás tengelyében helyezkednek el, ezért az áramvonalak nagy többsége is a rétegződésre merőlegesen járja át a kőzetet. Ezért igen nagy figyelmet kell fordítanunk, különösen a laboratóriumi méréseknél a gerjesztő áram irányának helyes megválasztására.

A mintavizsgálatok eredménye szerint a szenek különbözőképpen gerjeszthetők. Egyes nemszén, főleg eruptív kőzetek mintái pedig a szenek aktivitását is felülmúlta. Az egyes kőzetek gerjeszthetőségének vizsgálatát kb. 120 mintán végeztük el, és a főbb



9. ábra. Galenit gerjesztési görbék.
a rétegződésre merőleges; b rétegződéssel párhuzamos gerjesztés

gerjeszthető típusokat spektroszkópiai analízisnek vetettük alá. Az analízist dr. Földvári Aladárné, a Magyar Állami Földtani Intézet tudományos kutatója végezte. Az eredmények alapján levonható következtéseket az alábbiakban összegezzük.

A kőszenek különböző gerjeszthetőségének két fő oka lehet:

1. *Az első a szénülés mértéke.* Tapasztalatok alapján a szénülés növekedésével nő az egyes szénfajták aktivitása is, s így a szenek közül az antracit és a grafit mutatta a legnagyobb gerjeszthetőséget. Dahnov rámutatott arra, hogy fordított arány van a hamutartalom és a gerjeszthetőség között. Hazai kőszeneink hamutartalma csak kismértékben tér el egymástól. A hamutartalom általában 15–25% között ingadozik, a tatabányai szenek kivételével, amelyeknek hamutartalma 10% alatt van. Ezeknek gerjeszthetősége a várakozásnak megfelelően általában nagyobb, mint a többi északdunántúli szintén eocén szeneké. Az összehasonlítást azonban nem lehet minden vonatkozásban helyesnek tekinteni addig, míg más, szintén jelentős tényezők hatását figyelembe nem vesszük. Így pl. igen jelentős lehet a hamu ásványi összetétele is. Vadász a magyar kőszén hamufajtákat ásványi összetételük alapján az alábbi táblázat szerint két csoportba osztja:

	Kaolin	Kvarc	Limonit	Magnezit	Gipsz	Kalcit	Pirit
Kovasavas hamu	67–98%	8–46%	5–20%	1–7%	0–20%	5–25%	0–26%
Meszes hamu	0–50%	0–15%	0%	0–17%	0–53%	5–28%	0–20%

Terület szerint taglalva, meszes hamuval rendelkeznek az északdunántúli eocén és az ajkai krétakorú szenek, míg kovasavasak a mecseki liász, a dorogi miocén és oligocén szenek. Vizsgálataink alapján a kovasavas hamujú mecseki szenek általában jobban gerjeszthetők, mint a meszes hamujú eocén szenek. Az ajkai szén pedig, amelynek hamujában a szilícium csak nyomolemként fordul elő, egyáltalán nem, vagy csak lényegesen kisebb gerjeszthetőséget mutat.

A szénülés mértékéből adódó különbségek alapján az egyes szenek sorrendjét a következőképpen állapították meg:

Mecseki alsó liász	GK, SK	átlagban kb.	6000 kcal/kg.
Tatabányai eocén	FB	átlagban kb.	5000 kcal/kg.
Dorogi eocén	KB	átlagban kb.	4600 kcal/kg.
Ajkai kréta	FB	átlagban kb.	4500 kcal/kg.

(A szénülési fok osztályozása Szádeczky-Kardoss szerint: ... kemény barnaszén (KB), fényes barnaszén (FB), lángkőszén (LK), gázkőszén (GK) ... stb.)

A szénülési fok és a gerjeszthetőség közt levő összefüggésről már említett megállapítást vizsgálataink eredményei is alátámasztották, tehát a szénülés sorrendje a gerjeszthetőségi sorrendet is meghatározza.

2. *A szenek gerjeszthetőségére döntő befolyást gyakorolhat, ha a járulékos elegyrészek között aktív kiséző ásványok nagy százalékban fordulnak elő.* Ebből a szempontból elsősorban a szulfidos ércék és az oxidos formában

jelenlevő egyéb fémek jöhetnek számításba. A szervesetlen ásványi elegyrészeknek az egyes mintákban való eloszlásáról szemléletes képet nyújt a spektroszkópiai vizsgálat eredményét bemutató táblázat.

A táblázat a jól, közepesen és gyengén gerjeszthető minták elemzési adatait foglalja össze. Az egyes oszlopokban a jelzett százalékos érték azt jelenti, hogy a vizsgált minták hány százalékánál mutatott a feltüntetett elem erős, gyenge stb. színképvonalat. A vizsgálat eredménye mennyiségi adatok közlésére nem alkalmas, mivel az egyes elemek spektrumvonalai csak egy elemen belül nyújtanak vonalintenzitáson alapuló mennyiségi összehasonlításra támpontot, két elem egymáshoz viszonyított mennyiségének becslésére azonban nem alkalmasak. Adataink tehát csupán statisztikai jellegűek, és az összehasonlítás oly módon történt, hogy az egyes aktivitási csoportok mindegyikénél csak az azonos vonalintenzitást mutató elemeket vettük figyelembe.

A kísérő elemek közül az aktivitásban jelentős szerepet játszó fémek többnyire szulfidos és oxidos formában lehetnek jelen. Így pl.

1. Szenekben szulfidos formában Fe, Ni.
2. Oxidos formában K, Na, Fe, Cr, Ni.
3. Nemszén mintáknál szulfidos alakban Zn, Pb, Ag, Cu, Fe.

Ezek az elemek részben az ionátrendeződés, részben pedig a vegyértékváltás következtében a gerjesztett potenciál kialakításánál jelentős szerepet játszanak. A kísérő ásványok aktivitásának nagyságát a 9. ábra szemlélteti, ahol a jelenlevő fémek mind szulfidos ásványokban fordulnak elő. A kísérő ásványok közül főleg a szulfidos formában jelenlevők jelentősek a gerjesztett potenciál kialakításánál.

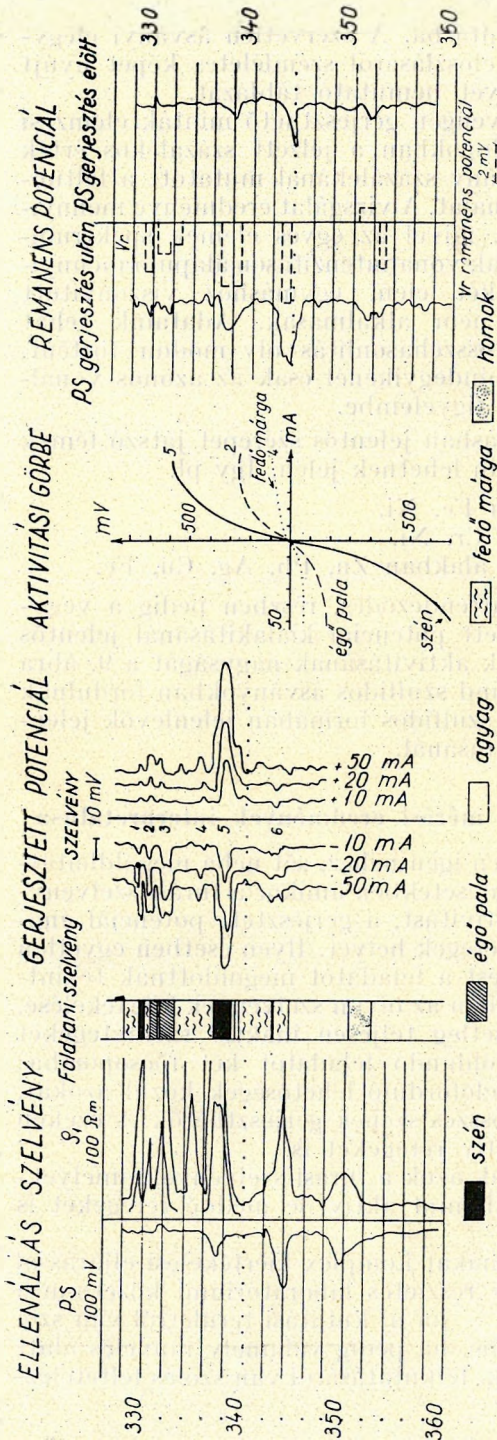
A kiértékelés általános menete és a mérési eredmények interpretálása

A mérések kiértékelése sok esetben igen nehéz, sőt néha megoldhatatlan feladatot jelent számunkra. Olyan esetekben amikor a fúrási szelvényben csak a szénrétegek mutatnak aktivitást, a gerjesztett potenciál anomáliák egyértelműen kijelölik a szénrétegek helyét. Ilyen esetben egyetlen áramerősséggel végezve a szelvényezést a feladatot megoldottnak tekintjük. Távolról sem ilyen egyszerű azonban az olyan szelvények kiértékelése, amelyek több aktív nemszén, és esetleg teljesen inaktív szénrétegeket tartalmaznak. Válasszuk szét a megoldandó feladatot két főcsoportba:

1. Az elsőbe foglaljuk össze az előforduló lehetőségek közül azokat, amelyeknél a fúrási szelvényben az összes szén gerjeszthető és ezeken kívül találunk meddő de szintén aktív rétegeket is.

2. A második csoportba tartoznak azok a fúrási szelvények amelyekben aktív és inaktív szénrétegek, valamint aktív de meddő rétegeket is találunk.

Az első esetnél felmerülő problémákat komplex kiértékelési eljárással oldjuk meg. A feladat megoldásához részletes laboratóriumi közetminta vizsgálatok szükségesek. A mintákat, — ha új kutatási területről van szó, — az első fúrás magjaiból gyűjtjük be, ha pedig valamely művelés alatt álló bánya perspektivikus területének felkutatásáról van szó és feltételez-



10. ábra. Lyukszelvényezési és laboratóriumi mérések összehasonlítása

hető, hogy a kutatási területen hasonló geológiai felépítéssel számolhatunk, a mintabegyűjtést a bányában is elvégezzük. Az előzetes mintavizsgálatok alapján részletes képet kapunk a rétegsor aktivitási viszonyairól, az aktív rétegek sorrendjéről stb. A fúrás szelvényezését két irányban történő növekvő áramerősséggel hajtjuk végre, és a gerjesztett potenciál szelvényezés adataiból aktivitási görbéket szerkesztünk (10. ábra).

A lyukszelvényezés adataiból a gerjesztési hiszterézis-görbéről csak igen keveset tudunk még. Első nehézség az, hogy nem tudjuk kiszámítani a gerjesztő áramsűrűséget mA/cm²-ben, mert ez függvénye a szondaméreteknek, lyukátmérőnek, iszapellenállásnak, rétegvastagságnak, a réteg és a beagyazású szolgáló kőzetek ellenállásának. A gyakorlatban tökéletesen elegendő, ha a lyuk-szondaátmérő viszonyt egyes területeken végig azonosnak választjuk és a mintavizsgálatoknál figyelembe vesszük a használt fúróiszap ellenállását. A gerjesztett potenciál szelvényből szerkesztett mV-mA aktivitási görbéket a mintavizsgálatok eredményeivel összehasonlítva analóg következtetéseket vonhatunk le az egyes indikációkat okozó rétegek tartalmára vonatkozóan. Itt láthatjuk, hogy milyen jelentősége van az előzetes kőzetminta-vizsgálatoknak.

Fúrólyukvizsgálatok eredményéből csak az aktivitási görbéket tudjuk megszerkeszteni, s ily módon a hiszterézis-

görbe öt jellemzője közül csupán ez az egyetlen adat nyújt összehasonlítási alapot. Választhatjuk itt pl. azt a megoldást, hogy aktív rétegek helyén és az ezek mélységében álló szondával elvégezzük a részletes hiszterézisgörbe felvételét. Ez a módszer, ha a hiszterézisgörbék eléggé jellemzőek, továbbá kisszámú aktív réteggel és kismélységű szelvénnel van dolgunk, minden további nélkül alkalmazható. Nagymélységű és sok aktív réteggel rendelkező szelvény esetén ez a módszer igen hosszadalmas és sok munkát igényel, kisvastagságú rétegeknél pedig nem ad kielégítő eredményeket.

Sok esetben jelentős lehet a remanens potenciálok nagyságában mutatkozó különbség is, főleg olyan rétegszelvények vizsgálatánál, amelyeknél a remanens potenciálok jellemző értékeket szolgáltatnak. A kőzetmintavizsgálatok ugyanis azt mutatták, hogy azonos aktivitással rendelkező kőzetek éppen a remanens potenciál nagyságában mutattak különbséget. Előnye még, hogy a remanens potenciál fúrólukban történő vizsgálata gyorsan, folyamatos PS-méréssel végezhető el oly módon, hogy a különböző előjelű áramerősséggel történt gerjesztés után mért PS görbékből levonhatjuk a gerjesztés előtt mért PS-t.

A 10. ábrán bemutatott szelvény bizonyítéka annak, hogy a remanens potenciálok vizsgálata milyen jelentős segítséget nyújthat a szelvények értelmezésénél.

Nem feleslegesek az aktív szén és nemszén, továbbá inaktív szénrétegekből álló fúrások szelvényezési adatai sem. Kedvező esetekben ugyanis találunk olyan jellemző réteget vagy rétegsort, amelyet a használt szelvényezési eljárások segítségével minden kétséget kizáróan ki tudunk mutatni. Ily módon az egyes fúrások közt a rétegeket azonosítani tudjuk és ennek alapján megszerkeszthető a geológiai szelvény.

Nem lehet megoldottnak tekinteni a szénkutató fúrások szelvényezését addig, míg minden körülmények között alkalmazható és egyértelműen interpretálható eredményekre nem jutunk. Vannak területeink, ahol a kutató fúrások szelvényezésénél az eddig alkalmazott módszerek tökéletesen elegendők a feladatok megoldására. Vannak fúrások, ahol az alkalmazott módszerek méréstechnikai tökéletesítésétől várhatunk jelentős eredményeket. Az aktív rétegek határainak kitűzésénél az inverz vagy differenciál elektrolit szondák nyújthatnak segítséget. Teljesen új terület áll kutatóink előtt az inaktív szénrétegek szelvényezéssel történő kimutatásánál, amikor is új fizikai vagy kémiai paraméterekkel oldhatjuk meg feladatainkat.

FELHASZNÁLT IRODALOM :

1. DAHNOV: Ipari geofizika cikkgyűjtemény
2. KÁNTÁS: Geoanalitika
3. LÁNYI: Elektrokémia I.
4. VADÁSZ: Kőszénföldtani tanulmányok
5. SZÁDECZKY-KARDOSS: Szénkőzettan