

PETHŐ GÁBOR, VASS PÉTER,

GEOFIZIKA ALAPJAI

5



A Műszaki Földtudományi Alapszak tananyagainak kifejlesztése a
TÁMOP 4.1.2-08/1/A-2009-0033 pályázat keretében valósult meg.

V. TERMÉSZETES POTENCIÁL MÓDSZER

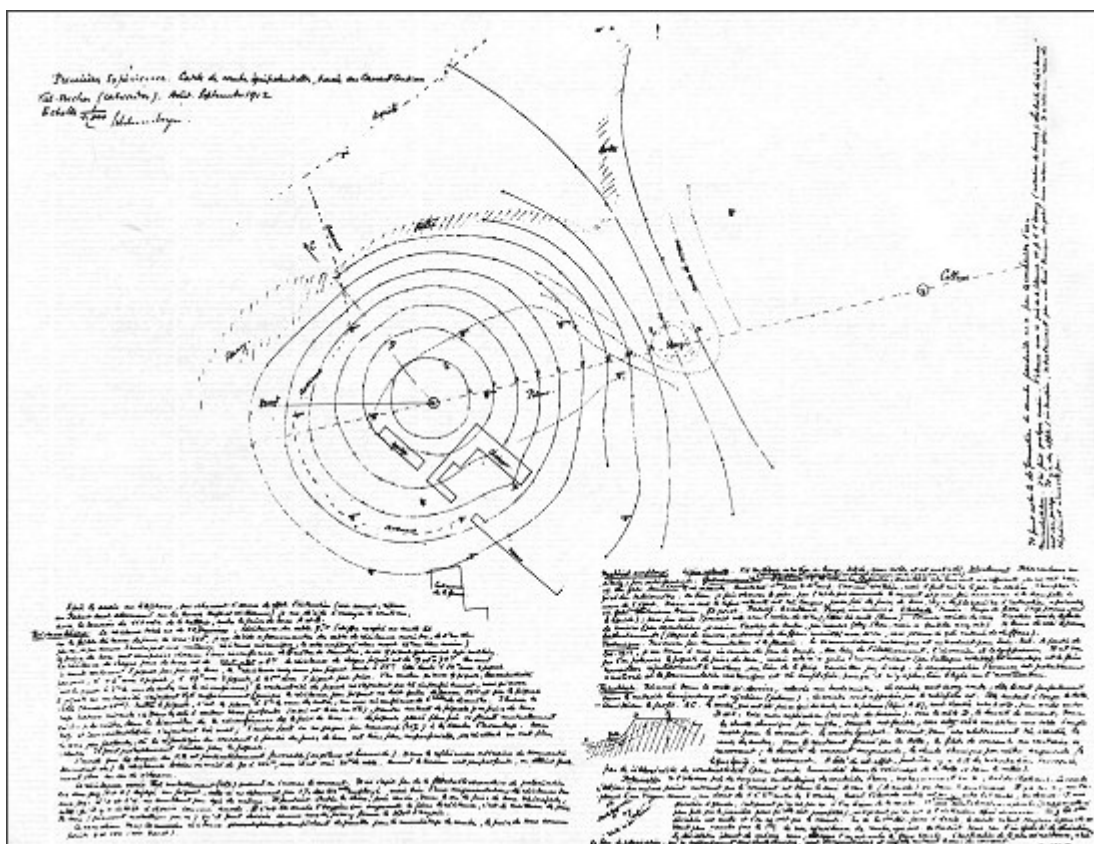
1. A MÓDSZER RÖVID TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉSE



Conrad Schlumberger
(1878-1936)

A természetes potenciál módszerét 1830-ban **Robert Fox** alkalmazta Cornwall-ban ismert rézérc előfordulás kiterjedésének megállapítására. **Barus** (1882) érdeme a nem polarizálódó elektróda bevezetése.

Schlumberger 1913-ban készítette el az első PS [1] térképet, amit 1918-ban publikált. A mért adatok térképe alapján a franciaországi Sain-Bel pirít előfordulását mutatta ki. **Kelly** nevéhez fűződik a módszer egyesült-államokbeli és kanadai bevezetése (1924). **Sato** és **Mooney** (1960) a PS jelenség részletes leírását adta meg.



5.1. ábra: Schlumberger egyik első kísérleti mérésének kézzel készült jegyzőkönyve (1912) [1]

2. ÁSVÁNYOK ELEKTROMOS VEZETŐKÉPESÉGE

A kőzetek elektromos vezetőképességét a repedéseket és/vagy pórusteret kitöltő fluidum mellett a kőzetet felépítő ásványok vezetőképessége határozza meg. A szilárd ásványok elektromos vezetése általában nem számottevő a folyadékéhoz képest. A szilárd ásványok vezetési módja lehet elektronos és ionos, a folyadékoké csak ionos. A szilárd ásványok elektromos vezetőképessége sokkal kisebb az ionos vezetőképesség esetén, mint a félvezető vagy elektronosan vezetőké. A természetben előforduló anyagok fajlagos ellenállása – épp a vezetési módok változatossága miatt – több mint 20 nagyságrendet fog át.

Elektronos vezetők

Az ásványok közül a legjobb elektromosan vezetők **elektronos vezetők**. Nagyon sok szabad – valencia – elektronnal rendelkezik pl. a termés réz, grafit, de ide tartozik a higany és arany is. Az alkalmazott

elektromos tér esetén a szabad elektronok a tér irányának megfelelően mozdulnak el, a fajlagos ellenállás attól függ, hogy mennyi idő telik el az elektronok kristályrácsban lévő atomokkal történő ütközései között. Az elektronos vezetők fajlagos ellenállása 10^{-6} - $10^{-8} \Omega \text{m}$ (ohmm [2]). Növekvő hőmérséklet hatására vezetőképességük csökken, mert a fémionok hőmozgása akadályozza a valencia elektronok mozgását. Ezen ásványokat szokás *fémes vezetést mutató ásványoknak* is nevezni, mert esetükben a tiszta fémekre jellemző vezetési mód figyelhető meg.

Félvezetők

Az elektronosan vezető ásványokhoz képest lényegesen kevesebb szabad elektront tartalmaznak a **félvezetők**. A vezetést tehát itt is az elektronok mozgása eredményezi. Ilyen ásványoknál, ha a közölt energia nagyobb, mint az elektron kötési energiája, akkor az elektron kiszabadul. Ezzel magyarázható, hogy a félvezetők elektromos vezetőképessége a hőmérséklet növekedésével általában nő. Ebbe a csoportba tartoznak a szulfidok, oxidok. A fajlagos ellenállás 10^{-8} - 10^2 ohmm. A fontosabb félvezető ásványok a szulfidok (pl. pirit, kalkopirit, galenit, szfalerit, markazit, pirrotin) és az oxidok (pl. magnetit, ilmenit, piroluzit) csoportjában találhatók.

Szilárd elektrolitok

A legtöbb kőzetalkotó ásvány **szilárd elektrolit**nak tekinthető. Ide tartozik pl. a kvarc, földpát, muszkovit, anhidrit. Jellemző rájuk, hogy kristályrácsuk (**Schottky**- és **Frenkel**-) hibákat tartalmaz, és a kristályrácsukban lévő ionok rezgésük miatt rácshiányba átugorhatnak. Elektromos tér hatására ez az átugrás sztatistikusan a tér irányába történik. Fajlagos ellenállásuk 10^3 - 10^{14} ohmm.

Szigetelők

A **dielektrikumok**nál – szigetelők – sem elektronos, sem ionos vezetés nem jelentkezik. Ezen anyagok atomjai vagy ionjai polarizálódnak az elektromos tér hatására. Egészen nagy frekvencián módosítják csak az effektív vezetőképességet.

Ionos vezetés

A folyadékok **ionos vezetése** vizes oldatok szabad ionjait tételezi fel. Az elektromos tér hatására a pozitív és negatív ionok a tér irányának megfelelően mozdulnak el. Ez az **elektrolitos vezetés** – amennyiben nincs jelentősebb mértékű elektronos vezető a kőzetben – meghatározza a kőzet fajlagos ellenállását. Elsősorban az ionkoncentrációtól (kisebb mértékben a hőmérséklettől) függően a tengervíz fajlagos ellenállása 0.2-0.8ohmm, a csapvízé 20-50ohmm, az esővízé 300-1000ohmm.

3. TERMÉSZETES POTENCIÁL KÜLÖNBÖZŐ MÓDOSULTAI

A **természetes potenciál** módszert a *spontaneous potential* rövidítéseként SP vagy a francia – *potentiel spontané* – szóösszetételből adódóan PS módszernek is nevezik. A geofizikai módszerek között az egyik legrégebbi, melyet egyszerű kivitelezhetősége is indokol. Először szulfidos érctestek lehatárolására használták, majd ezen kezdeti és mindmáig nagyon fontos alkalmazása mellett felhasználhatósága bővült. Utóbbi években környezeti, mérnöki, geotermikus feladatok megoldásában is egyre több alkalmazást nyert. Többek között felszín alatti szivárgások és áramlások jellemzésére, folyadékot szállító csővezeték lyukadási helyének meghatározására, talaj csúszások és felszíni süllyedések vizsgálatára is eredményesen alkalmazható. A természetes potenciált létrehozó folyamat vagy folyamatok alapján több összetevőjét különböztetik meg.

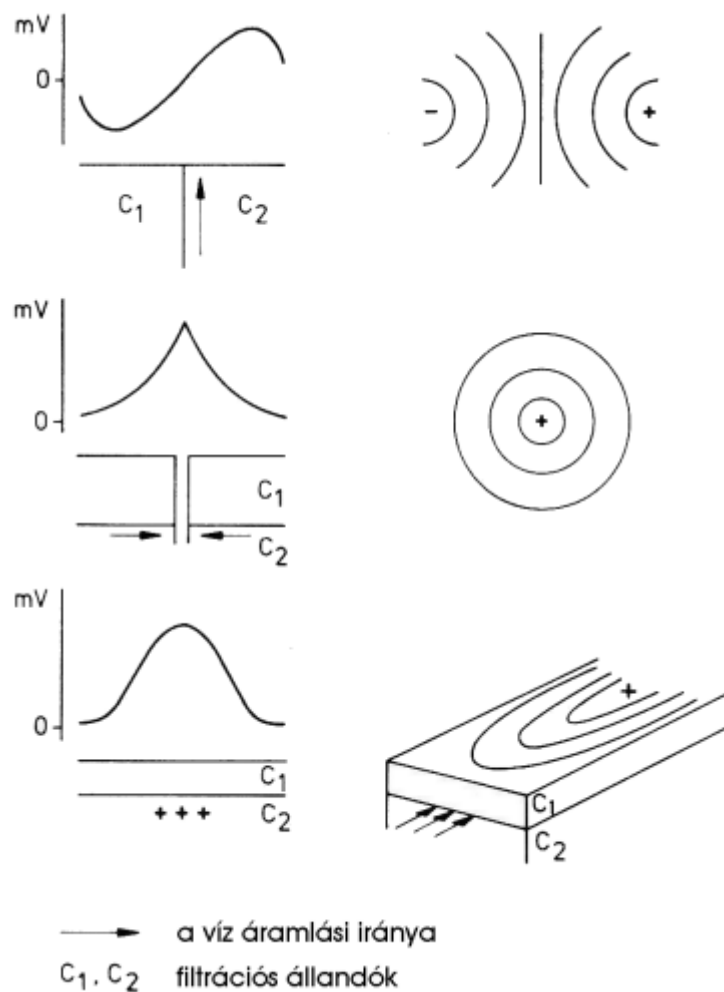
Filtrációs potenciál. A felszín közeli permeábilis kőzetek pórusaiban átszűrődő folyadékok filtrációja miatt jön létre, mely potenciál értéke a filtrációs elektromos konstanstól és a folyadék átlagos szivárgási sebességétől lineárisan függ. Maga a jelenség a porózus kőzetben nyomáskülönbség miatt alakul ki. Egyetlen kapilláris esetén a filtrációs potenciál az alábbi módon adható meg **Parasnis** (1986) alapján:

$$E = \frac{\epsilon \rho \zeta}{4\pi \eta} p$$

Az összefüggés megadja a kapilláris végei közötti elektromos tér nagyságát mely p nyomás gradiens hatására az ϵ dielektrikus állandóval, ρ fajlagos ellenállással, η dinamikus viszkozitással jellemezhető

folyadék filtrációja miatt alakul ki. A ζ paraméter az abszorpciós vagy zéta potenciál, amely a kapilláris fala és az elektrolit kémiai összetételétől függ. Nem hengeres geometria esetén a pórus szerkezetnek bonyolultabb függvénye. A kialakuló elektromos tér iránya megegyezik a nyomás gradiens irányával, és ellentétes az elektrolit mozgásának irányával. A filtráció ebben az esetben egyrészt a folyadékban lévő ionok kapilláris falon történő abszorpciójával (elsősorban a negatív ionok kötődnek a falhoz, ennek következtében a kapilláris belsejében a pozitív ionok relatív gyakorisága megnő), másrészt a nem kötött rétegben lévő pozitív és negatív ionok eltérő sebességű elmozdulásával jellemezhető.

Megjegyezzük, hogy a nyomáskülönbség hatására bekövetkező áramlás a PS módszerrel jól mérhető anomália kialakulásának még nem elégséges feltétele. Pl. akkor kapunk nagyobb anomáliát, ha egymással kontaktusban lévő, eltérő filtrációs állandójú környezetek egyikében az elválasztó határfelületekkel párhuzamos az áramlás (lásd 5.2. ábra). A filtrációs állandó a filtrációs potenciál és a nyomás gradiens hányadosa, így egyetlen kapilláris esetén a pórus folyadéktól és a zéta potenciáltól való függése a fenti egyenletből megadható. A filtrációs potenciál mérésével többek között folyadékkal töltött betonozott falú létesítmények (pl. víztározó) felszín alatti meghibásodásával, vízkivételnek (szivattyúzás) vízszintre gyakorolt hatásával, felszín közeli áramlások vizsgálatával kapcsolatos feladatok oldhatók meg.



5.2. ábra: Filtrációs potenciál kialakulásának néhány lehetősége [ii]

Vertikális határfelület menti szivárgás miatt (felül), vízkivétel miatt (középen), vízszintes határfelület menti szivárgás következtében (alul). Szelvények a bal-, térképek a jobb oldalon

Elektrokémiai potenciál. Az elektrokémiai potenciál a diffúziós és a Nernst potenciál összege. A **diffúziós potenciál** a természetes **kontakt potenciálok** egyike, mely akkor alakul ki, ha a talajban vagy általában a felszín közelében lévő elektrolit koncentrációja a hely függvényében változik. Ilyenkor a rendszer koncentráció-kiegyenlítődesre törekszik, amelynek legfontosabb jellemzője, hogy a nagyobb ionkoncentrációjú hely felől ionok diffundálnak a kisebb ionkoncentrációjú hely felé. A kiegyenlítődes a különböző koncentrációjú tértartományok között az anionok és kationok eltérő ionmozgékonyasága mellett valósul meg. Egyetlen ásványi sóféleséget eltérő ionkoncentrációban (C_1 és C_2) tartalmazó két

folyadékcella közötti potenciálkülönbség az ionkoncentráció arány mellett az ionmozgékonyságok közti különbség függvénye is:

$$E_D = \frac{u - v}{u + v} \frac{RT}{nF} \ln \frac{C_1}{C_2}$$

ahol u és v a pozitív és a negatív ion sebessége, n az ionok vegyértéke, R az univerzális gáz állandó, T az abszolút hőmérséklet, F a Faraday-állandó. Az összefüggés szerint akkor mérhető nagyobb diffúziós potenciál, ha jelentős az ionok sebességkülönbsége. NaCl oldat esetén a kisebb átmérőjű Cl^- anionok nagyobb ionmozgékonyságúak mint a Na^+ kationok, $v/u = 1.49$ (25 °C-on) **Telford** (1993) alapján.

Tekintettel a fenti összefüggésre, egy egy komponensű oldatra állandó hőmérsékleten a diffúziós potenciál a koncentrációarány konstansszorososa. Hasonló koncentráció szerinti függést kapunk a potenciál értékre, ha két azonos fém elektród közötti feszültséget vizsgálunk. Azt feltételezve, hogy a két elektród eltérő koncentrációjú oldatba merül, az ekkor mérhető feszültség az ún. **Nernst potenciál**, melynek értéke:

$$E_N = -\frac{RT}{nF} \ln \frac{C_1}{C_2}$$

A két potenciálnak az összege az **elektrokémiai potenciál**:

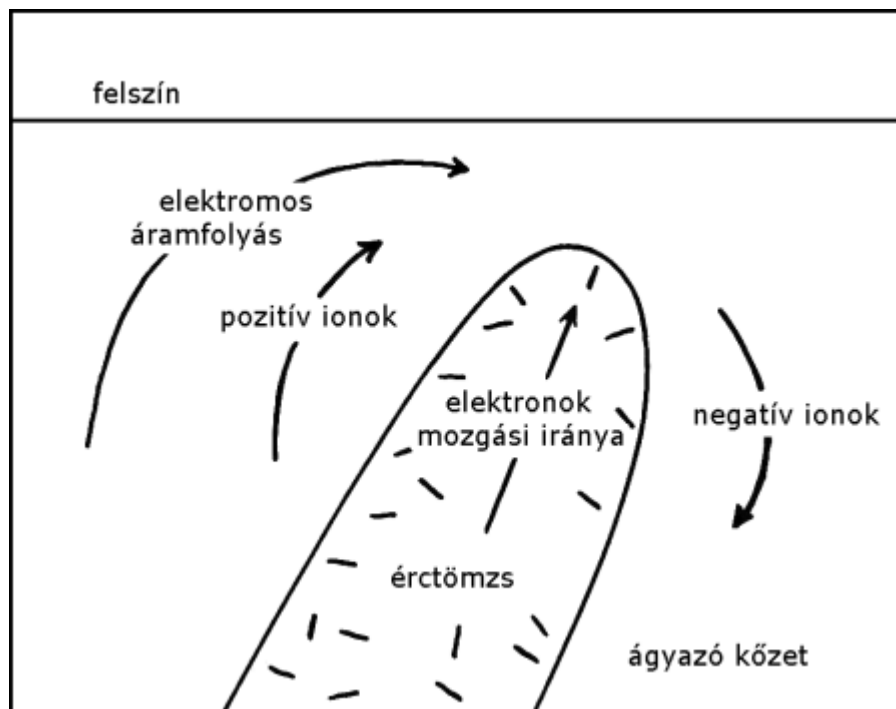
$$E_C = E_D + E_N = \frac{-2v}{u + v} \frac{RT}{nF} \ln \frac{C_1}{C_2}$$

Melyből $T = 25$ °C-os NaCl oldat esetén 5:1 koncentrációarányt feltételezve mV-ban

$$E_C = E_D + E_N = -70.7 \frac{(T + 273)}{273} \log\left(\frac{C_1}{C_2}\right)$$

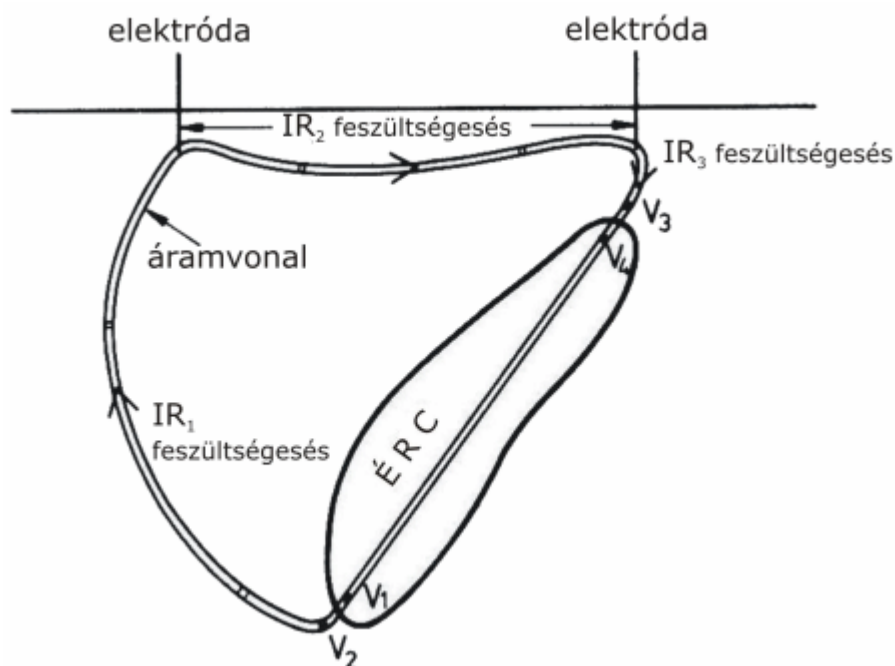
alapján az elektrokémiai potenciálra 50 mV adódik. Megjegyezzük, hogy a diffúziós potenciál mellett más körülmények között kialakuló kontakt potenciál is megfigyelhető. Többek között ugyanazon szilárd fázisú anyag allotróp (eltérő kristályszerkezetű) módosulatainak érintkezésekor, vagy ugyanazon tartomány eltérő fázisú megjelenéseinek találkozása mentén. Előbbire példa a mészkő és a márvány kontaktusa, utóbbira a vízzel telített és az átfagyott talaj közös határfelülete. Az eddig ismertetett esetek egyikében sem szokott kialakulni olyan nagyságú természetes potenciál, mint a szulfidos érc-testek feletti ásványosodási potenciál.

Ásványosodási potenciál. Korábban ezt a potenciált oxidációs-redukciós potenciálnak nevezték, ugyanis kialakulását a felszín közelében lévő szulfidos érc-testek oxigénben gazdag felszíni vizek oxidáló hatására vezették vissza. Ez a magyarázat feltételezi a talajvízszint feletti érc-test rész elhelyezkedését, ugyanakkor a valóságban ha a teljes érc-test talajvízszint alatt van, akkor is kialakul. Másrészt az oxidáció következtében az érc-test felső része pozitív töltésű kell, hogy legyen, ami a megfigyelésekkel ellentétes. Az ásványosodási potenciál kialakulása akkor figyelhető meg, ha elektronos vezető érintkezésben van ionos vezetővel (lásd **5.3.ábra**). Így létre jöhet félvezető, grafit, pirít, pirrotin, kalkopirit, magnetit test felett is. Az elektronos és ionos vezetőképeségű határfelületen elektrokémiai reakciók mennek végbe. Ahogy az elektrolitba merül a fémnél is, úgy itt is a fém (Me) és fémszulfid (MeS) a következő reakciók révén iont és elektronokat hoz létre: $\text{Me} \rightarrow \text{Me}^+ + e^-$, továbbá $\text{MeS} \rightarrow \text{Me}^{2+} + \text{S} + 2e^-$.



5.3. ábra: Elektronok és ionok mozgásiránya ércetömsz környezetében [iii]

Ennél összetettebb kémiai átalakulások révén OH^- és SO_4^{2-} negatív ionok keletkeznek. Általában az elektrolit pH-ja is változik a mélység függvényében. Ha az ionkoncentráció az ércetést környezetében fenn és lenn eltérő értékű, akkor az ércetést körülvevő ionos oldatban az ionok áramlása indul meg, mintegy körbe folyva az ércetést. **Sato** és **Mooney** (1960) szerint a fémtest oldatban lévő alsó része anódként, míg a felső része katódhoz hasonlóan viselkedik. Maga az elektronos vezetőképes anyag az, amely biztosítja az elektronok ércetsten belüli felfelé áramlását, és ez a magyarázata, hogy az ércetst felett az ásványosodási potenciál mindig negatív. Az elektromosan töltött részecskék áramlása az elektrokémiai egyensúly kialakulásáig tart. A kialakult egyensúlyi állapot áramfolyást már nem tételez fel. Elméletükkel indokolható az elektronok ércetsten belüli felső részbeni akkumulációja miatt kialakuló negatív ásványosodási PS érték, viszont nem tud magyarázatot adni a valóságban mérhető nagy – akár 1V feszültséget is meghaladó – természetes potenciál értékekre. **Kilty** (1984) nem az elektrokémiai egyensúly kialakulását tételezte fel, hanem a jelenség zárt áramkörű leírását felhasználva következtetett az ásványosodási potenciál értékére.



5.4. ábra: PS mérés során a két mérő elektróda közötti potenciálkülönbség kialakulása [iv]

Kirchhoff huroktörvényét felírva, a két felszíni figyelőelektroda közt mérhető feszültségkülönbség (IR_2) és az ásványosodási potenciált jellemző feszültség-különbség (V_4-V_1) kapcsolata megadható. Az **5.4. ábra** jelöléseit felhasználva írható, hogy:

$$(V_1 - V_2) + IR_1 + IR_2 + IR_3 + (V_3 - V_4) + (V_4 - V_1) = 0$$

Kilty megközelítésében fontos szempont, hogy a két felszíni elektróda között mérhető feszültségességét kapcsolatba hozza azzal a kis mértékű áramfolyással, ami az elektrolitos vezetőben is jelentkezik, mely az érctest határfelülete mentén az elektrokémiai folyamatok eltérő volta miatt jön létre (**Parasnis**, 1986 és **Takács**, 1987).

A természetes potenciál mérése -az elektródák használata mellett (lásd **5.4.,5.5.ábra**)- nagy bemeneti ellenállású feszültségmérőt igényel. Korábban nem polarizálódó elektródákat (fém saját sójának telített, gyakorlatban inkább túltelített oldatába merül, a rendszer egy porózus falú kisebb kerámia edénybe kerül, és időt igényel, míg a környezeti egyensúly kialakul) használtak a mérésekhez. A kutatásokat elsősorban gradiens, ritkábban potenciál elrendezéssel végzik, és a felszínen az ekvipotenciális helyeket keresik meg. A területi mérés eredménye az azonos feszültség értékkel jellemezhető helyeket összekötő ekvipotenciális vonalak, így izovonalas térképen adható meg a természetes potenciál területi eloszlása.

Megjegyezzük, hogy az öblítő iszapot használó fúrásban a fúróiszap és rétegek kölcsönhatása miatt kialakul a természetes potenciál, amit szintén PS módszernek nevezünk. Ezzel a *Fúrási geofizika* c. fejezetben fogunk foglalkozni ►►.



5.4. ábra: Felszíni PS mérése

4. HIVATKOZÁSOK, IRODALOMJEGYZÉK

Kilty 1984: *On the Origin and Interpretation of Self-Potential Anomalies*, Geophysical Prospecting, Vol. 32, pp.51-62

Parasnis 1986: *Principles of Applied Geophysics*, Fourth Edition

Sato, Mooney 1960: *The electrochemical mechanism of sulfide self-potentials*, Geophysics, Vol.25, pp.226-249

Takács 1987: *Geofizika, Geoelektromos kutatómódszerek*, 1. rész

Telford, Geldart, Sheriff 1993: *Applied Geophysics*, Second Edition

5. ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK

5. LECKE: TERMÉSZETES POTENCIÁL MÓDSZER - FELADATOK



Többször megoldható feladat, **elvégzése kötelező**.
A feladat végső eredményének a mindenkori **legutolsó megoldás** számít.

Oldja meg az alábbi feladatokat!



Válassza ki a helyes megoldást!

1. Milyen eredményt ért el Robert Fox 1830-ban a természetes potenciál módszerével?

A természetes potenciál módszerét sikerrel alkalmazta Cornwall-ban ismert rézérc előfordulás kiterjedésének megállapítására.

A franciaországi Sain-Bel pirit előfordulását mutatta ki.

Szivárgó vizet mutatott ki elsőként ezzel a módszerrel.

2. Kinek az érdeme az első PS térkép?

Sunberg(1952)

Schlumberger (1913)

Dahnov (1940)

3. Hol alkalmazták először a PS módszert?

Európában

USA-ban

Kanadában

4. Az ásványok közül az elektronos vezetőknek vagy a szilárd elektrolitoknak nagyobb az elektromos vezetőképessége?

szilárd elektrolitoknak

elektronos vezetőknek

5. Az elektromos vezetőképesség és a fajlagos ellenállás között milyen kapcsolat van?

négyzetes

lineáris

reciprok

6. Hány nagyságrendet fog át a természetben előforduló anyagok fajlagos ellenállása?

5

13

7. Mi lehet a filtrációs potenciál kialakulásának a legfontosabb oka?

Porózus kőzetben nyomáskülönbség miatt kialakuló szivárgás.

Permeábilis kőzetben koncentrációkülönbség miatt kialakuló szivárgás.

Porózus kőzetben hőmérsékletkülönbség miatt kialakuló szivárgás.

8. Vertikális határfelület menti szivárgás, vízkivétel, vízszintes határfelület menti szivárgás következtében milyen természetes potenciál alakul ki?

Nernst

Diffúziós

filtrációs

9. Melyik állítás hamis az alábbiak közül?

Mind a diffúziós mind a Nernst potenciál az egymással kontaktusban lévő oldatok koncentrációarányától függ.

Az elektrokémiai potenciál a diffúziós és a Nernst potenciál összege.

Nem csak a diffúziós hanem a Nernst potenciál is függ az ionmozgékonyaságtól.

10. Milyen természetes potenciál alakul ki a mészkő és a márvány kontaktusa, vagy a vízzel telített és az átfagyott talaj közös határfelülete mentén?

Kontakt potenciál

Diffúziós potenciál

11. Melyik állítás igaz az alábbiak közül?

Az ásványosodási potenciál kialakulása akkor figyelhető meg, ha elektronos vezető érintkezésben van ionos vezetővel.

Az ásványosodási potenciál kialakulása akkor figyelhető meg, ha elektronos vezető nincs érintkezésben ionos vezetővel.

Az ásványosodási potenciál kialakulása akkor figyelhető meg, ha agyagszemcse érintkezésben van ionos vezetővel.

12. Az alábbi ásványok közül mely felett nem alakulhat ki ásványosodási potenciál?

kalkopirit

magnetit

pirit

pirrhotin

kvarc

13. Mi az általános megfigyelés az ásványosodási potenciállal kapcsolatban?

Az érctest felett az ásványosodási potenciál mindig pozitív.

Az érctest felett az ásványosodási potenciál gyakran pozitív.

Az érctest felett az ásványosodási potenciál mindig negatív.

Rendezze fajlagos ellenállás szerint csökkenő sorrendbe a tengervíz, a csapvíz, az esővíz fluidumokat (nem savas esőre kell gondolni)!

14.

- 1 tengervíz
- 2 csapvíz
- 3 esővíz



KIFEJTENDŐ KÉRDÉSEK

- Ismertesse az ásványok és a fluidumok elektromos vezetési típusait!
- Jellemezze a filtrációs potenciált!
- Ismertesse a diffúziós és a Nernst potenciál kialakulásának okát!
- Ismertesse Sato és Mooney magyarázatát az ásványosodási potenciál kialakulására!
- Ismertesse Kilty magyarázatát az ásványosodási potenciál kialakulására!
- Milyen felhasználásait ismeri a PS mérésnek?

[1] Természetes potenciál: *Potentiel spontané (fr)*

[2] ohmméter

BIBLIOGRÁFIA:

[i] Forrás: <http://Annales.org/archives/x/schlum.html>

[ii] Parasnis (1986) nyomán

[iii] Parasnis (1986) nyomán

[iv] Parasnis (1986) nyomán