

Üledékes kőzetek elektromos fajlagos ellenállásának változása a frekvencia és a nyomás függvényében*

EGERER FRIGYES**

A tanulmány a kőzetek fajlagos ellenállásának változását vizsgálja a nyomás és a mérésnél alkalmazott áram frekvenciájának függvényében. Mérések alapján kimutatja, hogy ezek a változások igen nagyok. Az eredményekből következik, hogy a formációfaktor csak azonos frekvencia és nyomás mellett lehet a rétegre jellemző állandó szám. Dőlt rétegeknél ez a feltétel nem teljesül.

Рассматривается вопрос о зависимости изменения удельного сопротивления горных пород от давления и от применяемой при наблюдениях частоты. По проведенным измерениям показано, что эти изменения весьма значительны. Из результатов следует, что форм-фактор оказывается постоянной величиной, характерной для пласта только при одних и тех же величинах частоты и давления. Для наклонных пластов это условие не выполняется.

Variation of specific resistivity as a function of pressure and of the frequency of current used with the measurements is dealt with. Basing on measurements it has been shown that these variations are significant. It follows from the measurements that the formation factor can represent a constant characteristic for the layer only in case the frequency and pressure are constant. This condition is not fulfilled for slanting beds.

Bevezetés

A kőzetek elektromos tulajdonságainak vizsgálata Archie formuláinak közlése óta igen széles körűvé vált [1; 2; 3; 4; 5; 7. stb.]. A kutatások elsősorban magmatikus és csak kisebb mértékben üledékes kőzetekre irányultak. Az üledékes kőzetek vizsgálata is elsősorban mészkővekre, dolomitokra vonatkozott, homokra, homokkővekre és agyagokra kevésbé.

Ez utóbbiak esetén is elsősorban az elektrolitos vezetés milyensége, illetve az agyagosság és a kőzetliszttartalom határa képezte elsődlegesen vizsgálatok tárgyát [8].

Közismert az is, hogy a mélyfúrású geofizika adatainak interpretációjában még ma is döntő szerepük van az elektromos szelvényezési adatoknak, továbbá a fajlagos ellenállások hányadosaként klasszikusan megfogalmazott formációfaktornak (F)

$$F = \frac{R_0}{R_w}, \quad (1)$$

ahol R_w a porosokban levő elektrolit (formációvíz) fajlagos ellenállása, R_0 pedig a teljes elektrolit-telítettségű kőzet fajlagos ellenállása. Archie megfogalmazásában a formációvíz ellenállása a sókoncentráció nagyságától és a hőmérséklettől függ. Mivel R_0 is függvénye R_w -nek, ezért R_0 is függ az előbbi két tényezőtől.

Klasszikusnak tekintett ismeretanyag mindannyiunk előtt a porózus kőzetek fajlagos ellenállásának frekvencia-függése. Ismert az is, hogy a kőzetek

* Elhangzott a 7. Vándorgyűlésen, Szolnokon, 1974.

** Egerer Frigyes, NME Ásvány-Kőzettani Tanszék, Miskolc.

fajlagos ellenállása függ a termodinamikai paramétereiktől, a nyomástól és a hőmérséklettől. Ez természetesen a porózus kőzetek kőzetmátrixaira is vonatkozik. A mélyfűrészi geofizikai gyakorlatban korrekciót mindezek ellenére csak a formációvíz fajlagos ellenállásának hőmérsékletfüggésére alkalmaztak. Valójában azonban a formációfaktor a fajlagos ellenállás-adatakon keresztül a sókoncentrációnak, az oldott só milyenségének, az alkalmazott áram frekvenciájának, a kőzet ásványos összetételének, a hőmérsékletnek és a nyomásnak a függvénye. A következőkben ezek közül két tényező, a nyomás és az áram frekvenciájának a fajlagos ellenállásra gyakorolt hatását vizsgáljuk az agyagos és homokos kőzetek esetén.

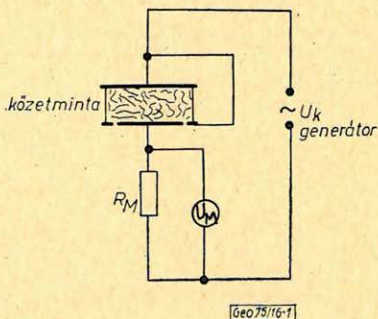
Alkalmazott mérési módszer

Az 1. ábrán láthatjuk a fajlagos ellenállás mérésének elvi vázlatát. U_k generátor-kapocsfeszültségnél és az R_M ellenállásnál az U_M feszültség mérése

1. ábra. A kőzetminták frekvenciafüggő fajlagos ellenállás-mérésének elvi vázlata

Рис. 1. Схема измерения удельного сопротивления образцов горных пород в зависимости от частоты

Fig. 1. Block-diagram of a frequency-dependent specific resistivity-measurement method for rock samples



mellett, a kőzetminta vezető felületének (A) és vastagságának (l) ismeretében a fajlagos ellenállás (ρ) a következő egyszerű formula alapján számítható:

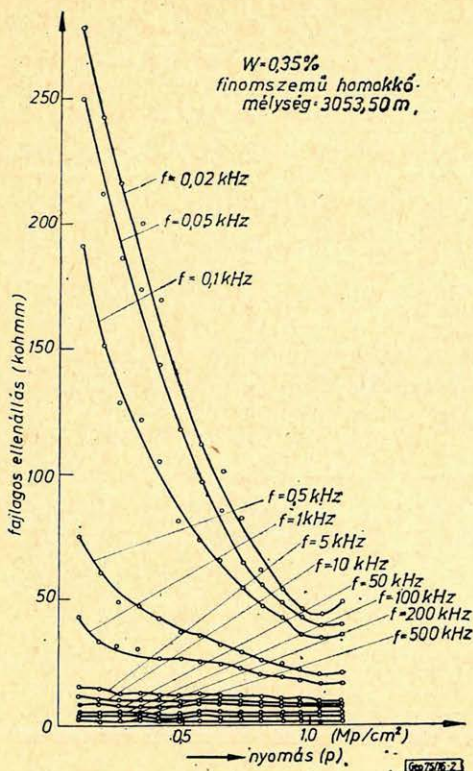
$$\rho = \frac{(U_k - U_M) R_M \cdot A}{U_M \cdot l} \quad (2)$$

Mivel U_M a terhelés és a frekvencia függvényében változott, így $U_M = U(p; f)$, ahol f = a frekvencia és p = a nyomás. Azaz a bemutatott módon a $\rho = \rho(p; f)$ függvény egy adott mintára meghatározható. A nyomásokat egyirányú terheléssel állítottuk elő, miközben mikrométerrel folyamatosan mértük a minta vastagságának változását, ez utóbbi maximálisan 4% volt. A vezető felületben bekövetkezett változás az 1–6000 kp/cm^2 nyomásintervallumban 1–2% nagyságú volt. Így a ρ abszolút értékének hibája kisebb mint 5%. Külön ügyelni kellett a fellépő kapacitások nagyságára, ezért csak speciális koaxiális kábeleket lehetett használni.

A méréseket 10–5 · 10⁵ frekvenciatartományban és 1–1600 kp/cm^2 tartományban végeztük.

Mérési eredmények

A mérések néhány eredményét a 2–5. ábrán láthatjuk. A nyomás függvényében és különböző frekvenciaértékek mellett, nagy mélységből (az alföldi rétegösszletből) származó mintákon mért eredményeket ábrázoltunk alacsony víztartalom (w)-értékek esetén. A 2. és 3. ábrán igen alacsony víztartalmú kőzet mérési eredményei láthatók. Ez gyakorlatilag a kőzetmátrix fajlagos ellenállásának változását jelenti. Amint látható, a változások így kohm nagyságrendűek. A víztartalom csekély növelése a fajlagos ellenállásértékek rohamos csökkenésére vezet. (Pl. 4. ábra). Ez a változás már száz ohm-es nagyságrendben következik be. Az 5. ábrán a frekvencia függvényében két nyomásértéknél fiatal miocén agyag viselkedését mutatjuk be. Az ábrákon bemutatott



2. ábra. Alsópannon korú, 3053,5 m mélységből vett finomszemű homokkő fajlagos ellenállásának változása a nyomás függvényében, különböző frekvenciáknál, $w = 0,35\%$ víztartalom mellett

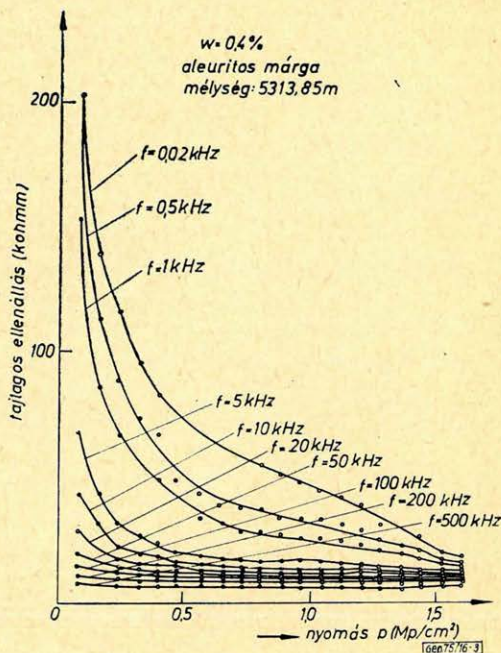
Рис. 2. Зависимость удельного сопротивления образца тонкозернистого песчаника нижнепаннонского возраста, взятого из глубины 3053,5 м от давления при различных частотах и водонасыщенности $w = 0,35\%$.

Fig. 2. Variation of specific resistivity of fine grain sandstone taken from a depth of 3053,5 m and being of lower Pannonian age as a function of the pressure in case of different frequencies for a water content of $w = 0,35\%$

$\rho = \rho(p; f)$ függvényeket figyelemmel kísérve látható, hogy a változások a frekvencia és a nyomás változásával igen nagyok. Ezek a változások az (1) formula alkalmazhatóságát mindaddig nem korlátozzák, amíg az értelmezést olyan szűk $p \pm \Delta p$ nyomás és $f \pm \Delta f$ frekvencia-intervallumban végezzük, hogy az

$$R_0(p; f) \sim R_0(p \pm \Delta p; f \pm \Delta f) \quad (3)$$

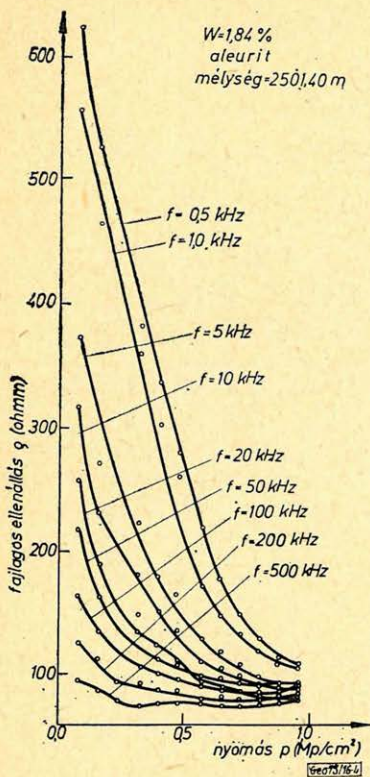
egyenlőség a mérések egyébkénti hibahatárán belül fennáll. Azaz földtanilag ez azt jelenti, hogy azonos frekvenciával és azonos mélységben mérünk.



3. ábra. Torton korú, 5313,8 m mélységből származó aleuritos márga fajlagos ellenállásának változása különböző frekvenciáknál, $w = 0,4\%$ víztartalom mellett

Рис. 3. Изменение удельного сопротивления алевролитового мергеля тортонского возраста, взятого из глубины 5313,8 м при различных частотах и водонасыщенности $w = 0,4\%$

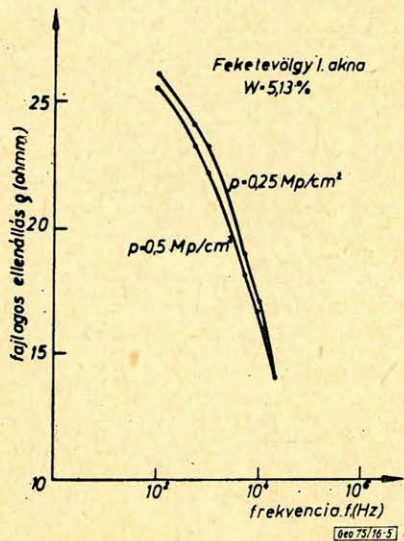
Fig. 3. Variation of specific resistivity of aleuritic marl taken from a depth of 5313, m and being of Tortonian age, for a water content of $w = 0,4\%$



4. ábra. Alsópannon korú, 2501,4 m mélységből származó aleurit fajlagos ellenállásának változása a nyomás függvényében, különböző frekvenciáknál, $w = 1,84\%$ víztartalom mellett

Рис. 4. Зависимость удельного сопротивления алевролита нижнепаннонского возраста, полученного на глубине 2501,4 м от давления при различных частотах и при водонасыщенности $w = 1,84\%$

Fig. 4. Variation of specific resistivity of an aleurit taken from a depth of 2501,4 m and being of lower Pannonian age as a function of pressure in case of different frequencies, for a water content $w = 1,84\%$



5. ábra. Miocén korú, a borsodi barnakőszén-telepes összletből vett agyagminta fajlagos ellenállásának változása a frekvencia függvényében, 0,25 és 0,5 Mp/cm^2 nyomás mellett, $w = 5,13\%$ víztartalommal

Рис. 5. Изменение удельного сопротивления образца глины миоценового возраста, взятого из пачки бурогольных пластов в зависимости от частоты, при давлениях 0,25 и 0,5 Mp/cm^2 и водонасыщенности $w = 5,13\%$

Fig. 5. Variation of specific resistivity of a clay sample taken from a browncoal bed of Borsod and being of Miocene age as a function of the frequency for pressures: 0,25 and 0,5 Mp/cm^2 and for a water content of $w = 5,13\%$

A formációfaktor változását egy korrelálható rétegen belül mindig litológiai változásnak tulajdonítjuk. Az előbbiekből nyilvánvaló, hogy ennek oka a rétegdőlésből eredő nyomásváltozás is lehet. Az ábrákból ugyanis nyilvánvaló, hogy az R_o/R_w hányados a nyomásváltozás miatt többszörösére változhat. (Szemléltetés miatt jegyezzük meg, hogy ez 5° rétegdőlésnél, 2 g/cm^3 sűrűségnél $0,1 \text{ Mp/cm}^2$ nyomáskülönbségnél kerekítve 5 km horizontális távolságot és 500 m magasságkülönbséget jelent.) Így pl. a Humble formulával definiált porozitás (Φ)