

# Agyagos kifejlődésű kőolaj-földgáz-tároló homokkőrétegek mennyiségi karotázs vizsgálatának új módszere

BARLAI ZOLTÁN

Az agyagos kifejlődésű szénhidrogéntároló rétegek mennyiségi karotázs vizsgálata számára kidolgoztuk a Q-módszert. Ennek lényege a komparatív vizsgálat elvének felhasználása az abszolút vizsgálatok helyett. A komparáció számára víztároló bázisrétegeket vonunk be a kvantitatív interpretációba. Bemutatjuk a diszperz-agyagos és a vékony agyagcsíkokat tartalmazó homokkőrétegekre kidolgozott interpretációs függvényeket és az interpretációs munka menetét. Vizsgáljuk az agyagcsíkokat tartalmazó homokkőrétegek ellenállásparámétereinek anizotrópiáját, és megmutatjuk, hogy a produktív rétegek biztonságos felismerése érdekében be kell vezetni a karotázs gyakorlatba a tranzverzális fajlagos elektromos ellenállás felhasználását.

Для количественной каротажной интерпретации глинистых нефтегазоносных коллекторов разработали метод —. Сущность его заключается в использовании принципа сравнительного исследования вместо абсолютных исследований. Для сравнения в количественную интерпретацию введем водоносные опорные пласты. Покажем интерпретационные зависимости, полученные для песчаных пластов, содержащих дисперсную глину или тонкие глинистые пропластки, а также ход интерпретации. Рассмотрим анизотропию сопротивления песчаников, содержащих глинистые пропластки, и покажем, что в целях достоверного выявления продуктивных пластов необходимо ввести в практику каротажа использование удельного сопротивления, измеренного в поперечном по напластованию направлении.

Für die quantitative Bohrlochmessungs-Interpretation von kohlenwasserstofftragenden Schichten einer tonigen Ausbildung haben wir die Q-Methode ausgearbeitet. Das Wesentliche dieser Methode ist die Anwendung der komparativen Untersuchungs-Theorie anstatt den absoluten Untersuchungen. Für die Zwecke des Vergleiches werden wasserführende Grundschichten in die quantitative Interpretation hereingezogen. Wir veranschaulichen hiermit die für die dispers-tonigen und dünne Tonstreifen enthaltenden Sandsteinschichten ausgearbeiteten Interpretations-Funktionen wie auch den Verlauf der Interpretations-Arbeit. Wir untersuchen die Anisotropie der Widerstandsparameter der Tonstreifen enthaltenden Sandsteinschichten und beweisen, dass man, im Interesse der sicheren Identifizierung von produktiven Schichten, die Anwendung des transversalen, spezifischen, elektrischen Widerstandes in die Bohrlochmessungs-Praxis einführen muss.

Az Országos Kőolaj és Gázipari Tröszt Tudományos Kutató és Fejlesztési Főosztályán 1963 óta foglalkozunk az agyagos kifejlődésű kőolaj-földgáz-tároló homokkőrétegek mennyiségi karotázs vizsgálatával és interpretációjával. Ismeretes, hogy az agyag jelenléte a tárolókőzetben jelentős befolyást gyakorol a tárolókőzet geofizikai paramétereire. Ezeket a hatásokat mennyiségi interpretációs módszerekkel igyekeznek figyelembe venni. A mennyiségi interpretáció függvényeiben jelentős hibahalmazódások állhatnak elő (a függvények típusa ezt rendszerint elősegíti), ami arra vezet, hogy az interpretáció végeredményei: a rétegfizikai paraméterek (vizsaturáció, effektív porozitás stb.) jelentős hibákkal lesznek terhelve az esetek egy részében.

Új módszert dolgoztunk ki, amelynél az volt az alapvető célkitűzés, hogy védekezzünk a hibahalmazódás ellen. A hibák és azok halmazódása elleni védekezés természetesen állandó törekvés a geofizikai munkában. Ennek érdekében vannak be új geofizikai paramétereket a munkába, tiszta információk nyerésére törekszenek, fokozzák a műszerek felbontóképességét, mérési pontosságát,

stabilitását, korrekciós függvényeket határoznak meg matematikai úton vagy modellezéssel stb. Mi az új módszer kidolgozásakor a munkahibák halmozódása ellen két lényeges módszertani célkitűzést követtünk:

1. Az agyagos homokkötőanyagok vizsgálatánál meg kell határozni az agyag elhelyezkedési formáját a tárolóban, mert a geofizikai paraméterekre gyakorolt hatás nagysága (mennyiségi oldal) jelentősen függ az elhelyezkedési formától (minőségi oldal). Az interpretációs függvényeket olyan matematikai modelleken kell meghatározni, amelyek elegendően megközelítik az agyag tényleges elhelyezkedési formáit. Ennek érdekében morfológiai osztályozást készítettünk az agyag gyakoribb elhelyezkedési formáiról és ezt követve, az egyszerűbbtől a bonyolultabb felé haladva dolgozzuk ki a matematikai modelleket, az interpretációs függvényeket és a gyakorlati interpretáció program-folyamatát.

2. A karotázs gyakorlatában alkalmazott abszolút vizsgálatok helyett bevezetjük a *komparatív* (relatív) vizsgálat módszerét, mivel utóbbi – bizonyos interpretációs függvény típusok esetén – védelmet nyújt a kiinduló adatok veszélyes halmozódása ellen. A komparatív vizsgálat elvének alkalmazási lehetőségét itt abban látjuk, hogy a vizsgálandó réteget nem önmagában (kizárólag a saját adataira támaszkodva) vetjük alá kvantitatív interpretációnak, hanem – ha lehet és ha érdemes – összehasonlítjuk („komparáljuk”) a vizsgált geológiai szinttájban alkalmasan kiválasztott *bázisréteggel*. Bázisréteg minőségében olyan réteg (vagy rétegszakasz) felel meg, amely rendelkezik az alábbi tulajdonságokkal:

a) a keresett rétegfizikai paraméter (pl. vízsaturáció) értéke *nagy pontossággal ismeretes*;

b) a litológiai és közszerkezeti kifejlődés megegyezik a vizsgálandó réteg kifejlődésével (pl. mindkét réteg agyagos homokkő diszperz agyagtartalommal).

Az 1. célkitűzés megvalósítása elősegíti azt, hogy a geofizikai paraméterekből a keresett rétegfizikai paramétereket olyan interpretációs függvények segítségével határozzuk meg, amelyek jól megadják a mennyiségi összefüggéseket.

A 2. célkitűzés szerinti munka az esetek jelentős részében csökkenti az interpretációs függvényekben létrejövő hibahalmozódást.

Legyünk tisztában azzal, hogy a geofizikai paraméterek meghatározott értékei a karotázs gyakorlatban rendszerint hibásak. A hibák mérés technikai eredetűek, vagy a korrekciók alkalmazásával kapcsolatosan jönnek létre. Legyen a geofizikai paraméter jele  $A$ , ami egyúttal a pontos értéket jelenti. A hibás  $A^*$  érték az alábbi kapcsolatban van a pontos értékkel:

$$A^* = k \cdot A + a = A + (k - 1) \cdot A + a = A(1 + \delta) \quad (1)$$

Fenti kifejezésben azt írjuk le, hogy a karotázs paraméter hibája arányos természetű  $[(k - 1) \cdot A]$  és additív természetű  $(a)$  komponensekből tevődik össze.  $\delta$  a relatív hibát jelenti; fejezzük ezt ki  $(I)$ -ből:

$$\delta = \frac{A^* - A}{A} = (k - 1) + \frac{a}{A} \quad (2)$$

A karotázs mérési és kiértékelési gyakorlatban a *rendszeres hibák* vannak túlsúlyban a véletlen hibákhoz képest, mivel az egyes geofizikai paramétereket egy-egy fúrásban rendszerint csak egyetlen műszerrel, egy alkalommal mérik meg olyan körülmények között, amelyek rendszeres hibákra vezetnek (általában analóg méréseket alkalmaznak; ezek érzékenyek a műszerbeállítás pontosságára, a szelvényezőkábel szigetelésére stb.).

A (2) alatt leírt relatív hibában az arányos komponens rendszerint nagyobb az additív komponensnél az  $A$  geofizikai paraméter nem túlságosan kicsi értékei mellett:

$$|k - 1| > \frac{a}{A} \quad (3)$$

ezért a  $\delta$  relatív hiba az esetek döntő többségében megtartja előjelét egy adott szelvény felvétele közben; így várható, hogy  $\delta$  előjele egy geológiai szinttájon belül a vizsgált réteggel és a bázisréteggel szemben ugyanaz lesz. Ezt a tapasztalati megállapítást használjuk ki a komparatív vizsgálati elv bevezetésénél.

A komparáció elvégzésekor az összehasonlítandó mennyiségek viszonyát ( $V$ ) képezik. Legyen a két mennyiség a keresett rétegfizikai paramétert tükröző geofizikai mennyiség ( $A$ ) értéke a vizsgált réteggel szemben ( $A$ ) és a bázisréteggel szemben ( $A_r$ ). Mivel ezeknek csak hibás értékeit ismerjük:

$$\begin{aligned} A^* &= A(1 + \delta) \\ A_r^* &= A_r(1 + \delta_r) \end{aligned} \quad (4)$$

ezért az összehasonlításba hibás értékek kerülnek be:

$$V^* = \frac{A^*}{A_r^*} = \frac{A}{A_r} \cdot \frac{(1 + \delta)}{(1 + \delta_r)} = \frac{A}{A_r} \cdot (1 + \Theta) \quad (5)$$

Miként ismeretes [1], a  $V$  hányados relatív hibája ( $\Theta$ ) az alábbi összefüggésben van a számláló és a nevező relatív hibáival ( $\delta$ , illetve  $\delta_r$ ):

$$|\Theta| \cong \left| |\delta| - |\delta_r| \right| \quad (6)$$

A fenti összefüggés szerint  $V^*$  relatív hibájának abszolút értéke kisebb lesz, mint a vizsgált réteggel és a bázisréteggel szemben mért értékek relatív hibái közül a nagyobb abszolút értékű hiba abszolút értéke. Ennek feltétele az, hogy a vizsgált rétegnél és a bázisrétegnél képződő hibák ( $\delta$  és  $\delta_r$ ) egyirányúak legyenek, ami a (3) összefüggés érvényesülése alapján az esetek döntő többségében biztosítottnak látszik; a komparáció elvének felhasználása tehát arra vezet, hogy a hibahalmazódás mértéke — statisztikus értelemben — csökken az interpretációs függvényekben.

Az interpretációs módszer kidolgozásakor az alábbi rétegfizikai paraméterek mennyiségi meghatározását tűztük ki célul:

- $S_w$  — az effektív porüstér vízsaturációja (dimenzió nélküli),
- $\Phi_e$  — effektív porozitás (dim. nélk.),
- s, ill. p — térfogati agyagosság a diszperz agyagot, ill. agyagcsíkokat tartalmazó homokkötőárólkban (dim. nélk.).

A hazai karotázs jelenlegi szintjén az elektrokarotázs módszerek használhatóak fel kvantitatív értékelő munkához, ezért az új módszerekhez elektrokarotázs paramétereket vettünk igénybe; mivel a meghatározandó mennyiségek (7) száma három, ezért a feladat egyértelmű megoldásához az alábbi három elektrokarotázs paramétert használtuk fel:

- $\rho_t$  — a réteg tényleges ellenállása (ohmm),  
 $\rho_{A,0}$  — a réteg kiöblített zónájának ellenállása (ohmm), (8)  
 $\alpha$  — a tárolókőzetben levő agyag által okozott PS-csökkenési tényező (dimenzió nélküli).

A komparáció elvét egyelőre csak a vízszaturáció ( $S_w$ ), mint a szénhidrogénkutatók számára legfontosabb rétegfizikai paraméter meghatározásához használtuk fel; ehhez bevezettünk egy  $Q$  paramétert az alábbi definíció szerint:

$$Q = \frac{\rho_t}{\left(\frac{\rho_t}{\rho_{A,0}}\right)_r} = \frac{\rho_t}{(\rho_t)_r} \cdot \frac{(\rho_{A,0})_r}{\rho_{A,0}} \quad (9)$$

Fenti kifejezésben az index nélküli mennyiségek a vizsgálandó rétegre, az  $r$ -indexszel ellátott mennyiségek a bázisrétegre vonatkoznak. *Bázisréteggént biztosan víztároló réteget veszünk* a vizsgálandó réteget tartalmazó geológiai szinttájából. (Itt geológiai szinttájón az azonos korú, és azonos sókoncentrációjú rétegvizet tartalmazó rétegek összességét értjük.) A bázisréteg litológiai és közetszerkezeti kifejlődése meg kell hogy egyezzek a vizsgálandó réteg kifejlődésével.

A (9) alatt bevezetett  $Q$ -paraméter alapján a módszert röviden  $Q$ -módszernek nevezzük.

A módszer interpretációs függvényeit és gyakorlati alkalmazásának program-folyamatát eddig az agyagos homokkövek alábbi kifejlődési eseteire dolgoztuk ki:

- a) diszperz agyagot tartalmazó homokkövek,
- b) agyagsíkokat tartalmazó homokkövek (egyszerű „szendvics”-homokkövek),
- c) agyagsíkok és diszperz agyagot tartalmazó homokkőcsíkok váltakozását mutató homokkövek (általános szendvics-homokkövek).

Itt bemutatjuk az a) és b) kifejlődési esetek interpretációs függvényeit és az értékelés munkafolyamatát.

#### a) Diszperz agyagot tartalmazó homokkövek

Itt felhasználtuk G. E. Archie empirikus formuláit [2] [3], amelyek tiszta homokkövekre érvényesek, továbbá Leendert de Witte javaslatát [4] a pórusokban levő rétegvíz és diszperz agyag keverékellenállásának a leírására, továbbá M. R. J. Wyllie [5] [6] háromkomponensű kőzetmodelljét az  $\alpha$  PS-

csökkenési tényező leírásához. Ezek továbbfejlesztésével az alábbi függvényeket kaptuk a (8) alatti elektrokarotázs paraméterekre:

$$Q_t = \frac{k \cdot Q_w \cdot Q_{sh}}{[s \cdot Q_w + \Phi_e \cdot Q_{sh}] \cdot (s + \Phi_e)^{[1+n-m]}} \cdot \frac{1}{(s + \Phi_e \cdot S_{\Delta,0})^n} \quad (10)$$

$$Q_{\Delta,0} = \frac{k \cdot Q_{mf} \cdot Q_{sh}}{s \cdot Q_{mf} + \Phi_e \cdot Q_{sh}} \cdot (s + \Phi_e)^{[1+n-m]} \cdot \frac{1}{(s + \Phi_e \cdot S_{\Delta,0})^n} \quad (11)$$

$$\alpha = \frac{1}{\left(1 + \frac{s}{\Phi_e} \cdot \frac{1}{S_{\Delta,0}}\right)^2} \quad (12)$$

A fenti kifejezésekben szereplő mennyiségek:

- $Q_w$  — a rétegvíz ellenállása (ohmm),  
 $Q_{mf}$  — a kiöblített zónában levő víz (rendszerint iszapfiltrátum, kevés rétegvízszennyezéssel) ellenállása (ohmm),  
 $Q_{sh}$  — a diszperz agyag ellenállása (ohmm); pontosabb laboratóriumi adatok hiányában egyenlőnek veszik az impermeábilis agyagpadok ellenállásának felével,  
 $S_{\Delta,0}$  — a kiöblített zóna vízsaturációja (dim. nélk.),  
 $k, m, n$  — függvénykonstansok (dim. nélk.).

A gyakorlati interpretáció munkalépései az alábbiak:

1.  $\Phi_e$  és  $(\Phi_e)_r$  meghatározása a következő formulákból:

$$\Phi_e = \frac{\frac{1}{k^m}}{\left(\frac{Q_{\Delta,0}}{Q_{mf}}\right)^{\frac{1}{m}} \cdot (S_{\Delta,0})^{\frac{n}{m}}} \cdot C_1 \quad (13)$$

ahol  $C_1$  az agyagosság hatását figyelembe vevő korrekciós tényező az alábbi képlet szerint:

$$C_1 = \frac{\left[1 + S_{\Delta,0} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{\alpha}} - 1\right)\right]^{[1+n-m]} \cdot \frac{1}{m}}{\left[1 + \frac{Q_{mf}}{Q_{sh}} \cdot S_{\Delta,0} \left(\frac{1}{\sqrt{\alpha}} - 1\right)\right] \left(\frac{1}{\sqrt{\alpha}}\right)^n} \quad (14)$$

2.  $s$  és  $(s)_r$  meghatározása:

$$s = \left(\frac{1}{\sqrt{\alpha}} - 1\right) \cdot S_{\Delta,0} \cdot \Phi_e \quad (15)$$

3.  $S_w$  meghatározása:

$$S_w = S_{\Delta,0} \cdot \left(\frac{P}{Q}\right)^{\frac{1}{n}} - \frac{s}{\Phi_e} \cdot \left[1 - \left(\frac{P}{Q}\right)^{\frac{1}{n}}\right] \quad (16)$$

ahol  $P$  az agyagosság hatását figyelembe vevő korrekciós tényező:

$$P = \frac{s \cdot \varrho_{mf} + \Phi_e \cdot \varrho_{sh}}{(s)_r \cdot \varrho_{mf} + (\Phi_e)_r \cdot \varrho_{sh}} \cdot \frac{(s)_r \cdot \varrho_w + (\Phi_e)_r \cdot \varrho_{sh}}{s \cdot \varrho_w + \Phi_e \cdot \varrho_{sh}} \quad (17)$$

b) *Agyagcsíkokat tartalmazó homokkövek*

Itt az interpretációs függvényeket a rétegzettséggel párhuzamosan mérhető, longitudinális ellenállás paraméterekkel írtuk fel a sok szerző által használt harmonikus középérték-képzés segítségével.

Ezenkívül felhasználtuk H. G. Doll kőzetmodelljét [7], [8] az  $\alpha$  PS-csökkenési tényező leírásához.

A  $Q$ -módszer szerinti interpretáció elvégzésekor a munkafolyamat az alábbi lesz:

1.  $p$  és  $(p)_r$  meghatározása:

$$P = \frac{\left(\frac{\varrho_{\Delta,0}}{\varrho_t}\right)^{\left[\frac{1}{\alpha}-1\right]} - 1}{\left(\frac{\varrho_{\Delta,0}}{\varrho_t}\right)^{\frac{1}{\alpha}} - 1} \cdot \frac{\varrho_{sh}}{\varrho_t} \quad (18)$$

Ha  $\frac{\varrho_{\Delta,0}}{\varrho} = 1$  lenne, akkor (18) helyett az alábbi képlettel számolunk:

$$p = (1 - \alpha) \cdot \frac{\varrho_{sh}}{\varrho_t} \quad (19)$$

2. A homokkőcsíkok elektromos formációfaktorának meghatározása [ $F$  és  $(F)_r$ ]:

$$F = \frac{\varrho_{\Delta,0}}{\varrho_{mf}} \cdot S_{\Delta,0}^n \cdot \frac{(1-p) \cdot \varrho_{sh}}{\varrho_{sh} - p \cdot \varrho_{\Delta,0}} \quad (20)$$

3.  $S_w$  meghatározása:

$$S_w = \left(\frac{A}{Q} \cdot \frac{B}{D} - \frac{C}{D}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (21)$$

ahol:

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{p \cdot F \cdot \varrho_{mf} + (1-p) \cdot \varrho_{sh} \cdot S_{\Delta,0}^n}{(p)_r \cdot (F)_r \cdot \varrho_{mf} + (1-p)_r \cdot \varrho_{sh}} \\ B &= (p)_r \cdot (F)_r \cdot \varrho_w + (1-p)_r \cdot \varrho_{sh} \\ C &= p \cdot F \cdot \varrho_w \\ D &= (1-p) \cdot \varrho_{sh} \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

#### 4. Az effektív porozitás meghatározása:

a) A tiszta homokkőcsíkok porozitása:

$$\Phi_e = \left( \frac{k}{F} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (23)$$

b) Az egész kőzettérfogatra vonatkoztatott effektív porozitás:

$$\Phi_{e,b} = \Phi_e \cdot (1 - p) \quad (24)$$

A (18)–(22) formulákban  $\rho_{sh}$  a homokkőtárolóba betelepült agyagcsíkok ellenállását jelenti (ohmm); ezt egyenlőnek szokták venni a tárolókőzetet beágyazó agyagok ellenállásával.

A (10)–(24) interpretációs függvényekben szereplő  $k, m, n$ , függvénykonstansoknak a vizsgált geológiai szintre jellemző átlagértékét kőzetmintákon végzett laboratóriumi mérésekkel határozzuk meg a matematikai statisztika módszereivel. Ezek a függvénykonstansok teszik lehetővé, hogy jól vegyük figyelembe a gyakorlati munkában közvetlenül nem mérhető fizikai-kémiai tulajdonságok befolyását; ilyen tulajdonságok: szemcseméreteloszlás, cementáció minősége és mértéke, agyagok minősége, ionféleségek a rétegvízben és az iszapban, a kőolaj vagy földgáz fizikai-kémiai tulajdonságai, a kőzet nedvesítési tulajdonságai (abszorpciós tulajdonságok, felületi feszültségek) stb.

A  $Q$ -módszert kipróbáltuk az Üllés – Felsőpannon kutatási területen 5 fúrás kb. 50 rétegében, pozitív eredménnyel. A Mihályi – 13. sz. fúrás 4 rétegében a  $Q$ -módszer eredményeit összehasonlítottuk több, az irodalomból ismert módszer segítségével számolt eredményekkel, ugyancsak pozitív eredménnyel.

1965-ben a  $Q$ -módszert bevezetjük a kőolajipar gyakorlati munkájába. A gyakorlati bevezetést azzal igyekszünk megkönnyíteni, hogy a (13)–(24) interpretációs függvényekről nomogramokat készítettünk a Magyar Tudományos Akadémia Matematikai Kutatóintézetével. A nomogramok 1965 közepére elkészülnek.

A  $Q$ -módszer jól felhasználható az interpretáció automatizálásánál; ahhoz geofizikai előkészítő programként tekinthető tiszta homokkővekre, diszperz agyagot tartalmazó homokkővekre és szendvics-homokkővekre (a formulák természetesen érvényesek tiszta homokkővekre is  $s = 0$ , ill.  $p = 0$  behelyettesítés mellett!)

A továbbiakban a  $Q$ -módszer formulái segítségével megvizsgáljuk, hogy a tárolókőzetbe betelepült agyag mekkora hatást gyakorol az elektrokárotázs paraméterekre. Az itt közölt anyag csak kiragadott részleteket tartalmaz a lefolytatott vizsgálatból. Az agyag hatása az ellenállásnövekedési tényező lecsökkenésében mutatkozik meg legélesebben. Mint ismeretes, ellenállásnövekedési tényezőn ( $G$ ) értik a szénhidrogéntartalmú kőzet ellenállását ( $\rho$ ) a vízzel telített kőzet ellenállásához ( $\rho_0$ ) viszonyítva.

Az 1. ábrán bemutatjuk a diszperz agyagot tartalmazó homokkő  $G$  tényezőjét a vízszaturáció és a térfogati agyagosság függvényében. Látható, hogy  $G$  értéke  $s$  növekedésekor rohamosan csökken.

A 2. ábra a szendvics-homokkő longitudinális irányban mért  $G^L$  tényezőjét ábrázolja. A szendvics-homokkőveknél az agyag hatása alapvetően függ az  $\frac{F \cdot \rho_w}{\rho_{sh}}$  paraméter nagyságától; e paraméter azt mutatja meg, hogy a homokkő-

$\rho_{sh}$



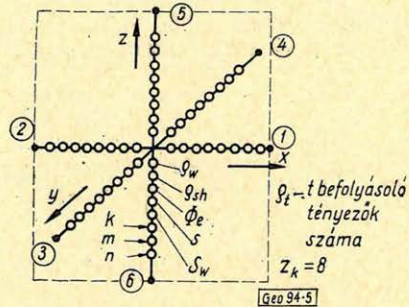


mint a diszperz agyagos homokköveknél. A 4. ábrán a diszperz agyagos homokkő elemi egységét (celláját) mutatjuk be; az elemi cella egyetlen szemcseközi pórusból és az azt körülvevő kvarcsejtekből áll. Az 5. ábrán az elemi cella elektromos sejt-analógiáját mutatjuk be térbeli Descartes-koordinátarendszerben. Az elemi cella elektromos vezetését  $x$ -,  $y$ - és  $z$ -irányú ellenállásláncok valószínűsítik meg; ezek a cella közepén csomópontot képeznek. Mindegyik ellenállásában 8 ellenállást helyezünk el, annak megfelelően, hogy a (10) függvény szerint 8 mennyiség együttesen határozza meg a közet  $\rho_t$  tényleges ellenállását; ezek:  $\rho_w$ ,  $\rho_{sh}$ ,  $\Phi_e$ ,  $s$ ,  $S_w$ ,  $k$ ,  $m$ ,  $n$ . A 6. ábrán a közet nagyobb volumene van szemléltetve térbeli elektromos analóg modell segítségével, amely úgy jön létre, hogy az 5. ábrán vázolt elektromos sejt-analógot  $x$ ,  $y$ ,  $z$  irányokban egymás mellé helyezzük és az ellenállásláncok végpontjait (az 5. ábrán 1, 2, 3, 4, 5, 6 pontok) összekapcsoljuk a szomszédos sejtek megfelelő pontjaival.

A 7. ábrán a szendvicshomokkő térbeli elektromos analóg modellje van feltüntetve vázlatosan. Itt a tiszta homokkőcsíkok helyére olyan hálózatok kerülnek, mint a diszperz agyagos homokkő esetében (lásd. a 6. ábrát), azzal a különbséggel, hogy most csak 6 mennyiség határozza meg a homokkőcsíkok ellenállását (ugyanis  $s = 0$  és így  $\rho_{sh}$  is elveszti értelmét). Az agyagcsíkok helyére 1-komponensű hálózat kerül ( $\rho_{sh}$ ); a térfogati agyagosság  $p$  paraméterének nagysága szabja meg az agyaghálózatok és a homokkőhálózatok  $z$ -irányú vastagságát.

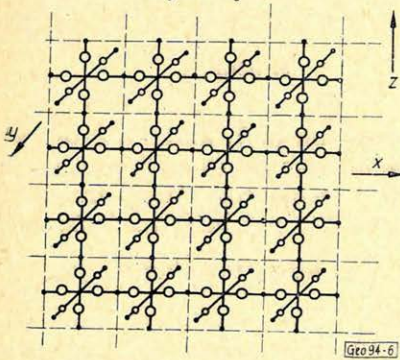
Ezek után hasonlítsuk össze a szendvicshomokkövet a diszperz agyagos homokkővel a 6. és a 7. ábrák alapján a szénhidrogének jelenlétének kimutathatósága szempontjából. Ha

Elemi cella térbeli elektromos sejt-analógiája



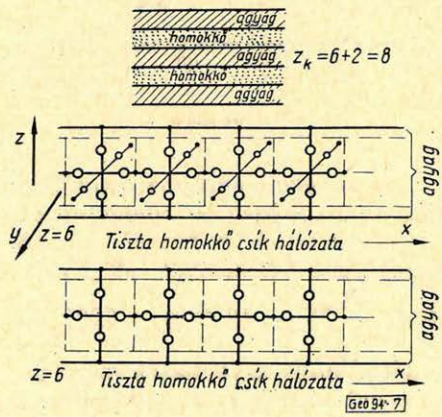
5. ábra

A közet térbeli elektromos analóg modellje



6. ábra

Tiszta szendvicshomokkő térbeli elektromos analóg modellje



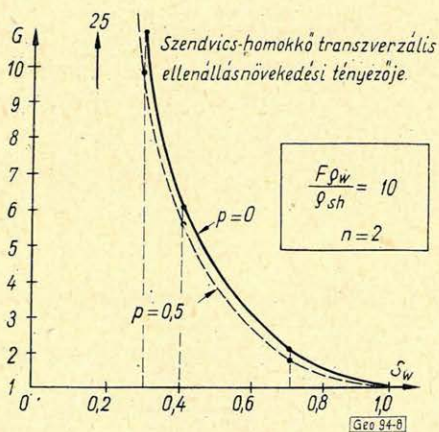
7. ábra

a pórustérben megjelenik a kőolaj, vagy földgáz ( $S_w < 1$ ), akkor a *diszperz agyagos homokkőnél minden elemi cella ellenállása megnő minden térbeli irányban. Ezt a megnövekedést az ellenállásmérés a kőzet egész volumenében, annak minden részecskéjében megállapítja, függetlenül a méréshez felhasznált elektromos tér irányától.*

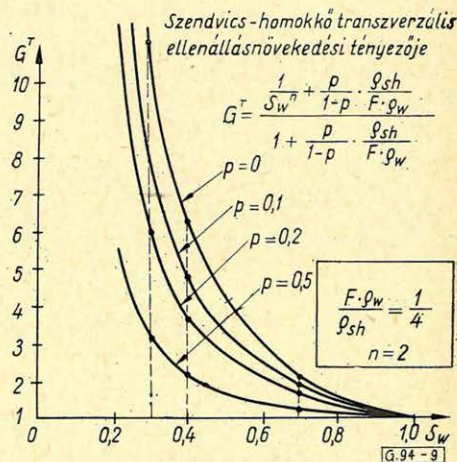
Ezzel szemben szendvicshomokköveknél (lásd a 7. ábrát) a szénhidrogének megjelenésekor csak a homokkőcsíkokat utánzó elektromos hálózatrészekben növekedik meg az elemi sejtek ellenállása, az agyagesíkokat képviselő hálózatrészek nem változnak. Az egész kőzetre kiterjedő fajlagos ellenállásmérés iránytól függővé válik (anizotróp közeg), és a longitudinális irányban (a 7. ábrán az  $X$  vagy az  $Y$ -tengely mentén) mért fajlagos ellenállást az agyagcsíkok jelenléte uralhatja abban az esetben, ha  $\rho_{sh}$  sokkal kisebb  $F \cdot \rho_w$ -nél és ugyanakkor a térfogati agyagosság  $p$  paramétere elég nagy. Egy ilyen esetre példaként leolvashatjuk

a 2. ábráról, hogy ha  $\frac{F \cdot \rho_w}{\rho_{sh}} = 10$ ,  $p = 10\%$  és a homokkőcsíkokban produktív szénhidrogénkészlet van ( $S_w = 0,2$ ), a longitudinális ellenállásnövekedés

$G^L$  tényezőjének értéke csak kb. 2, ami a mérésekben és a kiértékelési munkában mindig meglévő munkahibák és azok halmozódása miatt sokszor még arra sem elegendő, hogy detektáljuk, felismerjük a produktív réteg jelenlétét. Figyelemre méltó, hogy ez a helyzet már aránylag kis agyagosság (a bemutatott példában  $p = 10\%$ ) mellett is létrejöhethet!



8. ábra



9. ábra

A rétegzettségre merőleges, *transzverzális irányban* (a 7. ábrán a  $Z$ -tengely irányában) képzett  $G^T$  ellenállásnövekedés meghatározása biztosítaná a példaként vizsgált és az ehhez hasonló esetekben a produktív szénhidrogéntároló szendvicshomokkövek felismerését, sőt a vízszaturáció kvantitatív meghatározását is. A 8.

ábrán  $\frac{F \cdot \rho_w}{\rho_{sh}} = 10$  és  $p = 50\%$  mellett, tehát nagy agyagtartalom és jelentős

longitudinális agyaghatás esetében bemutatjuk a transzverzális  $G^T$  változását a vízszaturáció ( $S_w$ ) függvényében. Az ábrából világosan látszik, hogy az agyag hatása a  $G^T$  tényezőre ebben az esetben teljesen jelentéktelen. A 9. ábra arra

az esetre mutat példát, amikor az  $\frac{F \cdot \rho_w}{\rho_{sh}}$  paraméter 1-nél kisebb (itt pl.  $\frac{F \cdot \rho_w}{\rho_{sh}} = \frac{1}{4}$ ). Ez  $G^T$ -re nézve már kedvezőtlenebb, mint a 8. ábra esete, de  $p = 50\%$  és  $S_w = 0,2$  mellett  $G^T$  értéke még mindig közel 6, tehát elég nagy ahhoz, hogy a produktív réteget biztosan felismerhessük és elvégezzük a kvantitatív értékelést.

A mondottak alapján azt javasoljuk, hogy a szénhidrogéntároló agyagos szendvicshomokkövek karotázs vizsgálata számára be kell vezetni a tranzverzális irányú ellenállásszelvényezést azokban a geológiai szintekben, ahol az  $\frac{F \cdot \rho_w}{\rho_{sh}}$  paraméter értéke 0,2-nél nagyobb a produktív rétegekben. Ugyanakkor azonban ki kell hangsúlyozni, hogy a tranzverzális irányú ellenállásszelvényezés feladata nincs megoldva [9]; a potenciál – és gradiens – szondák a szondahossznál nagyobb vastagságú szendvicshomokkövekben a longitudinális fajlagos ellenállást mérik (és csak a vékonyabb rétegekben van elméleti esély e szondák segítségével a tranzverzális ellenállás meghatározására), a laterológ és az indukciós ellenállásszelvényező módszerek pedig alapvetően a longitudinális fajlagos ellenállást mérik. Ennek következtében nagy figyelmet kell fordítani olyan, új elveken alapuló ellenállásszelvényező mérőrendszerek kifejlesztésére, amelyek segítségével a fúrólukokban megmérhetjük az anizotróp rétegek tranzverzális (z-irányú) fajlagos elektromos ellenállását, függetlenül az ilyen rétegek vastagságától.

#### IRODALOM

- [1] Ja. Sz. Bjezikovics: Közelítő számítások. Tankönyvkiadó, 1952.
- [2] Archie, G. E.: „The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics”, AIME, Techn. Publ. 1942, 1422. old.
- [3] Archie, G. E.: „Electrical resistivity – An aid in core analysis interpretation”, Bull. Am. Assoc. Petroleum Geol. 31. kötet, 2. szám, 1947, 350. oldal.
- [4] Leendert de Witte: „Relations between resistivities and fluid contents of porous rocks”, Oil and Gas Journal, 1950. augusztus 25, 120. old.
- [5] J. G. Mc Kelvey, P. F. Southwick, K. S. Spiegler and M. R. J. Wyllie: „The application of a three-element model to the S. P. and resistivity phenomena evinced by dirty sands”, Geophysics, 1955 okt. No. 4, 913. old.
- [6] M. R. J. Wyllie: „Log interpretation in sandstone reservoirs”, Geophysics, 1960 augusztus, No. 4, 748. old.
- [7] H. G. Doll: „The S. P. log in shaly sands”, Journal of Petroleum Technology, 1950, Petroleum Transactions, 205. old.
- [8] A. Poupon, M. E. Loy, M. P. Tixier: „A contribution to electrical log interpretation in shaly sands”, Journal of Petroleum Technology, 1954 jún. 27. old.
- [9] K. S. Kunz, J. H. Moran: „Some effects of formation anisotropy on resistivity measurements in boreholes”, Geophysics, 1958 okt. No. 4, 770. old.

- Alekszejev, A. Sz. - Vol'vovszkij, I. Sz.:* A szeizmikus mélyszondázásnál regisztrált néhány hullám fizikai természeté. II. = *Izv. Akad. Nauk*, 1964. 2. sz. 184-195. 1.
- Oblogina, T. I.:* A diffraktált hullámok alakja és spektruma. = *Izv. Akad. Nauk*, 1964. 1. sz., 20-28. 1.
- Mihajlova, N. G. - Parijszkij, B. Sz.:* Elméleti szeizmogramok számítása legegyszerűbb szerkezetek esetére, normális dőlésviszonyokra. = *Izv. Akad. Nauk*, 1964. 1. sz. 29-39. 1.
- Kirillov, F. A.:* A robbantás szeizmikus hatásfokát csökkentő tényezők, késleltetett robbantás esetében. = *Izv. Akad. Nauk*, 1964. 1. sz. 90-97. 1.
- Csekunov, A. V. - Pusztovajlova, G. M.:* A kritikus szög előtti reflexiók felhasználása az Ukrán pajzs déli lejtőjén végzett szeizmikus mélyszondázásoknál. = *Izv. Akad. Nauk*, 1964. 2. sz., 196-105. 1.
- Hudzinszkij, L. L.:* SPSZSZ típusú szélessávú szeizmikus műszer. = *Izv. Akad. Nauk*, 1964. 2. sz., 239-246. 1.
- A földkéreg tanulmányozásának kérdései az MGGSZ XIII. közgyűlésén. *Izv. Akad. Nauk*, 1964. 2. sz. 261-263. 1.
- Secskov, B. N.:* A felszíni szeizmikus hullámok diszperziója és a földkéreg szerkezete Euráziában. - *Izv. Akad. Nauk*, 1964. 3. sz. 313-321. 1.
- Ten Czi-vend:* A szeizmikus hullámok dinamikai sajátosságai valódi közegekben, vető esetében. = *Izv. Akad. Nauk*, 1964. 3. sz. 339-348. 1.
- Gal'perin, Je. I.:* Sebességmodel részletes tanulmányozása a rétegsor felső részére vonatkozóan, gyenge sebességdifferenciáció mellett. = *Izv. Akad. Nauk*, 1964. 4. sz. 456-474. 1.
- Berzon, I. Sz.:* A szeizmikus kutatómódszerek fizikai alapjainak fejlődése. = *Izv. Akad. Nauk*, 1964. 5. sz. 625-635. 1.
- Ivanova, T. G. - Vasziljev, Ju. I.:* A műszer optimális jellemzőinek kiválasztása a kristályos alaphegységről származó fejhullámok regisztrálása esetében. = *Izv. Akad. Nauk*, 1964. 5. sz. 636-653. 1.
- Radzsabov, M. M.:* Refraktált hullámok azonosításának kinematikai kritériumai a harántirányú útidőgörbék fedésének területén. = *Izv. Akad. Nauk*, 1964. 5. sz. 718-727. 1.
- Gol'man, F. M. - Fan Jun-fej:* Szabályos Hullámcsoport optimális vételének statisztikai elmélete. = *Izv. Akad. Nauk*, 1964. 7. sz. 978-989. 1.
- Gol'man, F. M. - Fan Jun-fej:* A jelek optimális vétele és a zavarok statisztikai tulajdonságainak elemzése. = *Izv. Akad. Nauk*, 1964. 8. sz. 1142-1148. 1.
- Vasziljev, Ju. A. - Rajher, L. D.:* Lineáris elhelyezésű robbantópontokban keltett összegezett hullám kialakulásának feltételei. = *Izv. Akad. Nauk*, 1964. 8. sz. 1195-1203. 1.
- Bulkin, N. K.:* A földkéreg rétegsora Közép-Turkméniában. = *Izv. Akad. Nauk*, 1964. 9. sz. 1389-1392. 1.
- Tyimofejev, A. N.:* A földkéreg szerkezete gravitációs és szeizmikus adatok alapján. = *Izv. Akad. Nauk*, 1964. 10. sz. 1441-1448. 1.
- Tyimofejev, A. N.:* A földkéreg szerkezete gravitációs és szeizmikus adatok alapján. = *Izv. Akad. Nauk*, 1964. 11. sz. 1585-1594. 1.
- Szarodubrovskaja, Sz. P.:* Fizikai előfeltételek a longitudinális reflektált hullámok dinamikai jellemzőinek változó vastagságú rétegek nyomkövetésére való felhasználásához. = *Izv. Akad. Nauk*, 1964. 12. sz. 1737-1752. 1.
- Molotova, L. V.:* A szeizmikus rezgések frekvenciaspektrumai és a robbantási körülmények közötti összefüggés. (I. A kísérleti vizsgálatok eredményei. II. A kísérleti eredmények összehasonlítása az elmélettel.) = *Izv. Akad. Nauk*, 1964. 12. sz. 1753-1773. 1.

## Rövidítések

- Geophys. Prospect. - - Geophysical Prospecting; The Hague, Netherlands.  
 Izv. Akad. Nauk. - - Izvesztija Akademii Nauk SZSZSZR, szerija Geofiziceszkaja; Moszkva, SZSZSZR.  
 Geophysics - - Geophysics; Tulsa, Oklahoma.

## **Nyomdai kézirat elkészítésének előírásai**

A Magyar Geofizika szerkesztősége csak az alábbi módon elkészített kéziratot fogadja el:

A kézirat A/4-es papíron (normál irodapapír) két példányban küldendő be. Ezek közül az egyik példány első gépelés legyen. (Indigóval készült másolatot a nyomda nem fogad el.) A papírlapon csak az egyik oldalra lehet gépelni 2-es sortávval. Egy-egy sorban 50 betűhely lehet. A bal margót az írógép 20-as beosztására kell állítani. Egy oldalon 25 sor gépelés lehet. A gépelt szövegben minden szükséges ékezetet fel kell tüntetni, amelyik nincs az írógépen, azt tollal utólag kell felrakni.

A táblázatokat külön lapra kell gépelni, helyüket a folyamatos szöveg baloldali margóján is fel kell tüntetni.

A rajzokat tussal kell megrajzolni pausz vagy fehér papíron. A különböző jelölések csak csíkozással, pontozással oldhatók meg, színezett rajzok nem közölhetők. Csak kemény, kontrasztos fényképfelvételek fényes papírra készült másolatai alkalmasak a közlésre. Térképeken, szelvényrajzon a léptéket rajzos léptékben adjuk meg. Az ábrák aláírását, lábjegyzeteket külön lapra kell gépelni, sorrendjüknek megfelelően.

Minden rajzon fényképen fel kell tüntetni az ábrák számát, valamint nyíllal meg kell jelölni a felső szélét.

A kéziratban a görög, gót betűket, matematikai ábrákat és képleteket rajzolt betűkkel (nem folyóírással) kell feltüntetni.

A cikkhez a lapban orosz, valamint német kivonatot közlünk. Kérjük a szerzőt, hogy ennek szövege röviden ismertesse a tanulmányt, úgyhogy az az összefoglalás alapján érthető legyen.

Amennyiben az idegen nyelvű összefoglalást a szerzőnek nem áll módjában a fenti két idegen nyelvben megadni, úgy kérjük annak fordításra alkalmas magyar nyelvű kivonatát 3 példányban.

**A fordítás költségét, valamint a nem szabvány formában érkező kézirat gépelési költségét a szerzői díjakból térítjük meg.**

SZERKESZTŐSÉG

