

A porozitás, a permeabilitás és a maradék víztelítettség viszonyának vizsgálata homokkő tárolóban

FERENCZY LÁSZLÓ

A mélyfúrási geofizikai szelvények interpretációjában lényeges szerepet kapnak a fúrási magokon mért közetfizikai paraméterek vizsgálatai. Egy-egy tárolóra, tárolószakaszra a magadatok analízisével olyan összefüggések nyerhetők, melyek segítségével a geofizikai szelvények alapján a rétegek produktivitására közelítő adatokat kaphatunk.

При интерпретации каротажных кривых результаты определения физических параметров буровых кернов имеют большое значение. Анализ кернов приводит к выявлению для различных коллекторов или частей месторождений соотношений, при помощи которых, по каротажным кривым, можно судить о продуктивности пластов.

Bei der Interpretation der geophysikalischen Bohrlochprofile kommt den Untersuchungen der an Bohrlochkernen gemessenen gesteinsphysikalischen Parameter eine wesentliche Rolle zu. Durch die Analyse der Kerndaten kann man für einen Speicher oder für einen Abschnitt desselben solche Zusammenhänge erhalten, mit deren Hilfe auf Grund der geophysikalischen Profile für die Produktivität der Schichten approximative Angaben gewonnen werden können.

Bevezetés

A porozitás, a permeabilitás és a maradék (redukálhatatlan) víz-szaturáció a kőolajtárolók kiértékelésénél rendszeresen használt paraméterek. Meghatározásuk kétféle módon történhet: magmintákon laboratóriumi és in situ mérésekkel. Az in situ információk zömét a mélyfúrási geofizikai szelvények szolgáltatják. A tanulmány a fenti paraméterek közötti viszony vizsgálatával foglalkozik és regressziós analízissel meghatározott empirikus formulát ad meg a permeabilitás közelítésére.

A vizsgálatához az ortaházi fúrásokból vett 149 magmintán laboratóriumi mérésekkel meghatározott adatokat használtam fel.

A közetfizikai paraméterek között fennálló kapcsolatok

Mint ismeretes, a víztől nedvesedő kőzetek felületét vékony vízhártya burkolja. Minél kisebb szemekből tevődik össze a kőzetváz, annál több víz tapad hozzá. A kőzetszemek érintkezési pontjainál a vízburok gyűrűket képez, mely hasonlóan a felülethez tapadó vízhez, és a kisebb kapillárisokban levő vízhez, mozgásképtelen. Ez a redukálhatatlan víz (S_{wr}). Ha a víztelítettség $S_w = S_{wr}$, a tároló csak szénhidrogént termelhet.

A karottázs-szelvényekből nyert fajlagos ellenállásértékek segítségével S_w meghatározható (tapadó + mozgásképes víz). A teljes víztelítettség azonban nem ad feleletet arra, hogy a rétegből víz vagy szénhidrogén jön-e? Ha $S_w > S_{wr}$ akkor részleges vagy teljes víztermelésre számíthatunk.

S_{wr} értékét szelvényekből általában nem kapjuk meg. Meghatározása az ún. kapilláris nyomásgörbék segítségével történik. Ha a redukálhatatlan víztelítettséget nem ismerjük, a szelvényekből kapott teljes víztelítettség alapján

a tároló várható termelvényére vonatkozó előrejelzés bizonytalan. Jelenleg a mélyfúrási geofizikai eredmények jelentősége abban van, hogy kimutatják a szénhidrogének jelenlétét. Lényeges szerepet kapnak a geofizikai szelvények interpretációjában a magokból nyert adatok. Egy-egy szénhidrogén-tároló magadatainak részletes vizsgálatával szorosan illeszkedő empirikus összefüggések nyerhetők.

Számos összefüggést vezettek le a petrofizikai tulajdonságok kapcsolatára. Az egyik legelterjedtebben használt összefüggést a permeabilitás meghatározására Blake állította fel először, majd később az előbbi szerzőtől függetlenül Kozeny vezette le, mely Kozeny [1] egyenlet néven vált ismertté:

$$K = A_1 \frac{\Phi^3}{S^2}, \quad (1)$$

ahol K : a permeabilitás mD -ban, Φ : a porozitás térfogatszázalékban, S : a fajlagos felület cm^2/cm^3 -ben, A_1 empirikus konstans. Az (1) egyenlet kifejezhető mint:

$$K = A_1 \frac{\Phi^3}{(1 - \Phi^2) S_0^2}, \quad (2)$$

ahol S_0 a fajlagos felület a szilárd anyag térfogatszázalékában,

$$K = A_1 \frac{\Phi}{S_p^2}, \quad (3)$$

ahol S_p a fajlagos felület a pórustér térfogatszázalékában.

Megfigyelhető bizonyos esetekben, hogy a permeabilitás a porozitásnak és/vagy a maradék víztelítettségnek a függvénye. Ez kifejezhető mint:

$$K = B_2 \exp(-B_1 \Phi), \quad (4)$$

és mint:

$$K = B_4 \exp(-B_3 S_{wr}), \quad (5)$$

ahol B_1, B_2, B_3, B_4 empirikus konstansok.

A kapillárisnyomás-görbéket veszik figyelembe némelyik porózus közeg alapvető jellegének leírására. Leverett [2] felállított egy összefüggést a kapilláris nyomás, a porozitás, a permeabilitás, a határfelületi feszültség, az illeszkedési szög és a „Leverett funkció” között. Tixier [2] is empirikus formulát használt, melyben kifejezte, hogy a permeabilitás négyzetgyöke fordítottan arányos a kapilláris nyomással. A permeabilitást az ellenállás gradienseiből becsülte. Purcell (2) egyenletében a permeabilitást a porozitás, a kapilláris nyomás és a litológiai faktor segítségével determinálta.

A fenti munkákra hivatkozva megállapítható, hogy a kapilláris nyomás, ill. a fajlagos felület függ a porozitástól és a permeabilitástól. Wyllie és Rose [3] feltételezték, hogy a maradék víztelítettség lineáris kapcsolatban van a S_p -vel és a következőt kapták:

$$S_{wr} = C_1 \frac{\Phi}{K^{0.5}} + C_2, \quad (6)$$

ahol C_1 és C_2 konstansok. A Schlumberger társaság kutatói olajos homokköveken végzett vizsgálatok eredményeként a (6) egyenlet következő módosítását javasolták:

$$K = 6,25 \cdot 10^{-4} \frac{\Phi^6}{S_{wr}^2} \quad (7)$$

Rendszerint ezt az egyenletet használják a homokkő-tárolók permeabilitásának becslésére.

Az utóbbi időben Timur [3] hasonló összefüggést vezetett le, mely szerint:

$$K = 0,136 \frac{\Phi^{4,4}}{S_{wr}^2} \quad (8)$$

Ezek az összefüggések elméletileg megalapozottak és kölcsönösen kiindulópontul szolgálnak a különböző empirikus formulákhoz, melyek a porózus struktúra megközelítését foglalják magukban.

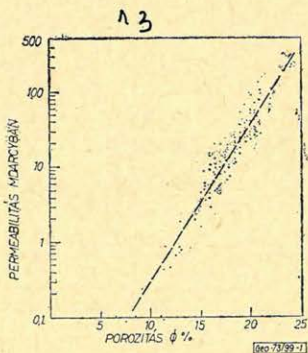
Felírhatunk egy általánosított egyenletet:

$$K = A \frac{\Phi^B}{S_{wr}^C} \quad (9)$$

ahol A , B , C konstansok statisztikusan meghatározhatók.

A magadatok vizsgálata

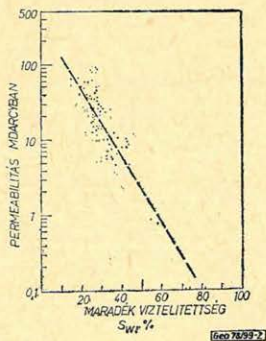
A vizsgálathoz 9 kútból vett 149 magminta adata állt rendelkezésemre. A magokat az ortaházi szénhidrogén-tároló homokkő szakaszaiból nyerték, melyek mélysége 1530–1875 m között volt. A magok általában gyengén osztályozott, meszes kötőanyagú, csillámos, helyenként agyagos, néhol gyengén konsolidált homokkövek voltak. A mintákon a következő méréseket végezték el: porozitás, vízszintes és függőleges irányú permeabilitás, higanyos kapilláris nyomásgörbe, karbonáttartalom, szemcseeloszlás, olaj- és víztartalom. A számításhoz közvetlenül csak a porozitás- és a vízszintes permeabilitás-adatokat használtam fel. A maradék víztelítettséget általában a petróleum-víz rendszerben felvett kapillárisnyomás-görbékből és a relatív permeabilitásokból szokták számítani. Ilyen adatok nem álltak rendelkezésemre. Így White és Marchant [4] módszerét alkalmaztam az S_{wr} -számításhoz. Ők feltételezték,



1. ábra: $\log K$ és Φ összefüggése

Рис. 1. Зависимость $\log K$ от Φ

Abb. 1. Zusammenhang von $\log K$ und Φ



2. ábra: $\log K$ és S_{wr} összefüggése

Рис. 2. Зависимость $\log K$ от S_{wr}

Abb. 2. Zusammenhang von $\log K$ und S_{wr}

hogy a higany-elárasztás megfelelően tükrözi a kiszorított fázis viselkedését. Vizsgálatukban bebizonyították, hogy a 20 atm kapilláris nyomásnál vett higany-telítettség nagyon jól közelíti S_{wr} -t.

Először az 1. és 2. ábrán féllogaritmikusan ábrázoltam a $\log K$ és a Φ , ill. a $\log K$ és a S_{wr} értékeket. Az ábrázolást a (4) és (5) egyenletek felhasználásával végeztem, mégpedig úgy, hogy lineáris formára redukáltam azokat mindkét oldal logaritmizálásával:

$$\log K = a_1 u + a_2 \quad (10)$$

ahol az u paraméter a Φ vagy S_{wr} .

Korreláció-számítással meghatároztam a $\log K$ és az u paraméterek közötti korrelációs együtthatót (r), majd a legkisebb négyzetek módszerével a regressziós egyenes a_1 és a_2 együtthatóit, valamint a $\log K$ közelítés hibáját (s_y). A kiszámított értékeket az 1. táblázat tartalmazza. Az 1. ábrából látható, hogy meglepően jó, lineáris kapcsolat van $\log K$ és Φ között. Tehát valamilyen megbízható, jól kalibrált geofizikai szondával (neutron-gamma, szónikus) mért porozitás-értékekből a permeabilitás jól becsülhető. A maradék víztelítettség azonban nagy hibával számítható, amit a 2. ábrán feltüntetett pontok nagy szórása is mutat.

1. táblázat - таблица - Tabelle

Egyenlet	Paraméter u	Regr. együttható		Korrelációs együttható	Beclsés hibája
		$-a_1$	a_2		
4	Φ	0,20	-2,58	0,93	0,2644
5	S_{wr}	-0,04	2,27	-0,79	0,4267

A második fejezetben említett összefüggések mindegyike a permeabilitást a Φ és S_{wr} valamilyen hatványával írja le. Tehát célszerű lenne megvizsgálni a Φ és S_{wr} kombinációiból becsülhető permeabilitásokat. Egy általánosított egyenletet lehet bevezetni:

$$K = b_2(v)^{b_1} \quad (11)$$

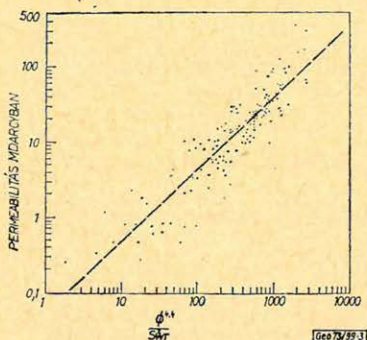
ahol b_1 , b_2 empirikus konstans és v a Φ és S_{wr} különböző kombinációja, mint az (1), (3), (7), (8) egyenletekben. A (11) egyenlet lineáris formában a következő alakra hozható:

$$\log K = b_1 \log v + \log b_2 \quad (12)$$

Ismét a legkisebb négyzetek módszerét alkalmaztam az adatok elemzéséhez. Kiszámítottam a v paraméter értékek mindegyikére a b_1 és b_2 regressziós együtthatókat, az r korrelációs együtthatót, valamint a beclsés hibáját (s_y). Az így meghatározott adatokat a 2. táblázatban foglaltam össze.

A $v = \frac{\Phi^6}{S_{wr}^2}$ paraméter tekinthető a legjobb közelítésnek, mivel a legmaga-

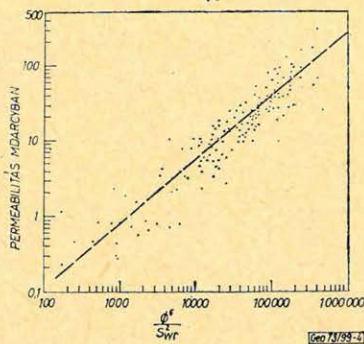
sabb korrelációs együtthatót és a legkisebb hibát mutatja, bár a $v = \frac{\Phi^{4,4}}{S_{wr}^2}$ paraméter is hasonló közelítést ad. A 3. és 4. ábrán a permeabilitást mindkét említett paraméter függvényében ábrázoltam. A regressziós egyenest a szagatott vonal jelzi.



3. ábra: $\log K$ és $\frac{\Phi^{4,4}}{S_{wr}^2}$ összefüggése

Рис. 3. Зависимость $\log K$ от $\frac{\Phi^{4,4}}{S_{wr}^2}$

Abb. 3. Zusammenhang von $\log K$ und $\frac{\Phi^{4,4}}{S_{wr}^2}$



4. ábra: $\log K$ és $\frac{\Phi^6}{S_{wr}^2}$ összefüggése

Рис. 4. Зависимость $\log K$ от $\frac{\Phi^6}{S_{wr}^2}$

Abb. 4. Zusammenhang von $\log K$ und $\frac{\Phi^6}{S_{wr}^2}$

Mindkét esetben feltűnik, hogy a permeabilitás alacsony értékeinél a pontok nagyon szórnak, ami azt jelenti, hogy a permeabilitás becslése ezen intervallumban nagyon pontatlan.

2. táblázat – мабула – Tabelle

Egyenlet	Paraméter v	Regr. együttható		Korrelációs együttható	Becslés
		b ₁	b ₂		
3	$\frac{\Phi}{S_{wr}^2}$	1,52	3,7124	0,85	0,3668
1	$\frac{\Phi^3}{S_{wr}^2}$	1,13	0,2409	0,91	0,2864
8	$\frac{\Phi^{4,4}}{S_{wr}^2}$	0,94	-1,2574	0,925	0,2698
7	$\frac{\Phi^6}{S_{wr}^2}$	0,79	-2,4332	0,93	0,2598

A 2. táblázatban látható értékek alapján a közelítő permeabilitás értékét a következő képlettel számolhatjuk:

$$K = 3,6 \times 10^{-3} \left(\frac{\Phi^6}{S_{wr}^2} \right)^{0,8} \quad (13)$$

Azonban kissé fenntartással kell fogadnunk a fenti összefüggést, mivel a porozitás a hatodik hatványon szerepel. Így a porozitás-meghatározás kis hibája már nagyon eltorzíthatja a végeredményt. Ezért a

$$K = 5,5 \times 10^{-2} \left(\frac{\Phi^{4,4}}{S_{wr}^2} \right)^{0,9} \quad (14)$$

összefüggés pontatlanabb porozitás-meghatározás esetében feltétlenül jobb permeabilitás-becslést ad.

- [1] *Carman, P. C.*: Flow of Gases Through Porous Media (New York, 1956.)
 [2] *Amyx, J. W.* — *Bass, D. M.* — *Whiting, R. L.*: Petroleum Reservoir Engineering (New York, 1960.)
 [3] *Timur, A.*: An Investigation of Permeability, Porosity and Residual Water Saturation Relationships for Sandstone Reservoirs (The Log Analyst, vol. 9, no. 4. 1968.)
 [4] *White, E. J.* — *Marchant, L. C.*: Reservoir Rock Characteristics of the Madison Limestone in the Villiston Basin (The Log Analyst, vol 11. no. 5. 1970.)
-

MAGYAR GEOFIZIKA XIV. ÉVF. 5–6. SZÁM

Lapszemle

Magyar Tudomány, LXXX. — XVIII. 7–8. sz. 1973. július – augusztus

Barta Gy.: Az űrkitatás időszerű problémái, 477–483. old.

Beszámoló az űrkitatás mai állásáról a következő alfejezetekkel:

Az űrkitatás nemzetközi szervezete

A kutatások főiránya

Az űrkitatás szerepe a Föld megismerésében

Magyarország részvétele az űrkitatásban.

A cikket – külön melléklet-lapon – 6 ábra egészíti ki.

T. G.