

A térfogati tulajdonságok meghatározása mélyfúrási geofizikai módszerekkel karbonátos tárolókban

MARKÓ LÁSZLÓ

Bonyolult felépítésű tárolóterek komponensekre bontása csak olyan módszerekkel lehetséges, amelyek viszonylag nagy térfogatokot fognak át. A karbonátos tárolókban a tárolótér szemecseközi hézagokból, résekből, üregekből, kavernákból épül fel. Ezek a térkomponensek, noha genetikailag rendkívül eltérők és sokrétűek lehetnek, geometriailag legalább is annyira definiálhatók, hogy a karottázs mérések mennyiségi értelmezéséhez megfelelő modell építhető fel.

A dolgozatban egy ilyen egyszerűsített modelldre épülő karottázs módszert mutatunk be, amely laterológ, neutron, akusztikus terjedési idő, lyukbővség, természetes radioaktivitás, PS, fűróhaladás regisztrálásán alapszik. Eredményül a teljes porozitást, a repedésporozitást, az üregporozitást és a kavernákat kapjuk. A fenti paraméterek számszerű szelvényeszerűen a mélység függvényében ábrázoljuk, amely igen szemléletesen teszi a térkomponensek eloszlását.

Nem elméleti eszmefuttatásról van szó, hanem évek óta alkalmazott módszerről, amelyeket igen jó eredményekkel alkalmaztunk a tárolók vizsgálatának megtervezésénél.

Mínt hogy a módszerekben szereplő számítások egyszerű algebrai műveleteket tartalmaznak, a fel-dolgozás mechanizálható, éppen ezért számítógépre vitele egyszerű.

Подразделить коллекторские пространства на составляющие при наличии коллекторов сложного строения возможно только с использованием методов, охватывающих сравнительно большие объемы. В карбонатных коллекторах коллекторские пространства представлены межзерновыми щелями, трещинами, полостями, кавернами. Хотя эти составляющие пространства генетически значительно отличаются друг от друга и могут быть весьма разнообразными, геометрически их можно определить и построить по ним модель, необходимую для количественной интерпретации данных каротажа.

В настоящем докладе описывается каротажный метод, опирающийся на подобную упрощенную модель и основывающийся на записи данных бокового каротажа, НК, времени пробега акустических волн, кавернометрии, естественной радиоактивности, СП, скорости проходки долота. В результате получают величины общей пористости, пористости трещин, полостей и каверны. Численные величины указанных параметров представляются в виде кривых в функции глубин, что дает наглядную картину распределения компонентов пространства.

Речь идет не о теоретических рассуждениях, а о методе, применяющемся уже несколько лет и эффективно используемом при проектировании изучения коллекторов.

Поскольку связанные с методом вычисления содержат простые алгебраические операции, обработка данных может автоматизироваться, т.е. внедрение машинной обработки может быть осуществлено просто.

Die Komponenten-Auflösung der kompliziert aufgebauten Speicherräume gelingt nur durch Benutzung von solchen Methoden, die verhältnismässig grosse Volumina überbrücken können. In den karbonatischen Speichern setzt sich der Speicherraum aus Zwischenräumen der Körner, aus Schlüzen, Hohlräumen und Kavernen zusammen. Diese Komponenten, obwohl sie genetisch voneinander stark abweichen und verschiedenartig ausgebildet sind, können geometrisch wenigstens so definiert werden, dass auf dieser Basis ein entsprechendes Modell für die Interpretation der Karottagemessungen aufgebaut werden kann.

Im Aufsätze wird eine solche, auf einem vereinfachten Modell aufgebaute Methode dergelegt, die auf die Registrierung von Laterolog-, Neutron-, akustische Laufzeit-, Lochweite-, natürliche Gamma-Aktivitäts-, PS und Bohrschub-Messungen fusst. Als Resultat ergibt sich die volle Porosität, die Spalten-Porosität, Hohlraum-Porosität und die Kavernen-Struktur. Die Werte dieser Parameter werden profilmässig als Funktion der Tiefe dargestellt, wobei sich eine recht übersichtliche Repräsentierung der Komponentenverteilung ergibt.

Es handelt sich hier nicht um eine theoretische Überlegung, sondern um eine seit Jahren angewendete Methode, die bei der Planung der Erkundung von Speichern zu guten Resultaten geführt hat.

Die bei der Anwendung der Methode benötigten Rechnungen sind einfache algebraische Operationen, sodass die Bearbeitung leicht mechanisiert und mit Hilfe einer Rechenmaschine durchgeführt werden kann.

A karbonátos kőzetek tárolóterének mennyiségi meghatározása a formációkiértékelés legnehezebb feladatai közé tartozik. A leülepedés utáni viszonyok hatására kialakuló másodlagos hézagter a csupán elsődleges porozitással rendelkező homok- és homokkő-tárolóktól nagyfokú eltérést hoz létre. A karbonátok hézagterének genetikája igen sokféle tényezővel függ össze, amelyek áttekintése túlmegy a dolgozat lehetőségein. Morfológiailag a teljes hézagteret, vagy ahogy gyakran mondják, a teljes porozitást alkotó tárolóterfogati komponensek a *szemcsék és kristályok közötti, likacs és üreg, repedés, valamint kaverna* kategóriákba sorolhatók. Az utóbbi osztályozás nagy általánosságban elfogadott ugyan, de az egyes kategóriákra egységes méret- és alakdefiniálás nem alakult ki, mivel az egyes kategóriák között éles határ nem nagyon húzható meg. Ugyanis a karbonátok tárolóterének komponensei kevés szabályosságot mutatnak.

Végeredményképpen a „*karbonátok porozitás-jellemzői*”-re általánosan elterjedt egységes osztályozási rendszer és nomenklatúra a szakirodalomban nem található. Megállapítható az is, hogy az utóbbi két évtizedben, amely a tárolókiértékelés terén hatalmas fejlődést hozott, a karbonátok porozitásának, pontosabban hézagterének vizsgálata nem kapott olyan szerepet a kapcsolatos szakirodalomban, mint amelyet e fontos tárolótípus gazdasági és tárolókiértékelési szempontból megérdemelne. Ennek nyilvánvalóan sokféle oka van, de feltétlenül szerepet játszott az is, hogy a karottázs-szelvények, amelyek a homok- és homokkő-tárolókban nagyszerűen megoldották a porozitás-meghatározás problémáját, a bonyolult karbonátos tárolókban eléggé hatástalanok maradtak. Különösen áll ez a repedezettség kimutatásának problémájára.

A szelvényezés terén az utóbbi néhány évben végbement fejlődés azonban e téren is változást hozott. A korszerű mélyfúrású geofizikai módszerek elterjedése azt eredményezte, hogy egyre több bonyolult tároló-kiértékelési feladatra vállalkoznak világszerte a geofizikusok, amelyek a korszerű szelvények összehangoltabb alkalmazását követelik meg a hatékonyabb megoldások érdekében.

Egy ilyen törekvés eredményéről kívánok szólni az alábbiakban a karbonátos tárolók kiértékelésével kapcsolatosan.

A karbonátos tárolóter főbb komponensekre bontását és mennyiségi jellemzését *laterológ-, neutron-, szónikusidő-szelvényeken* alapuló módszerrel végezzük, amelyekhez mint kiegészítő méréseket felhasználjuk a *természetes gammát, a lyukbőség- és PS-szelvényt*.

A tároló, amelyben a módszert rutinszerűen alkalmazzuk, felső kréta mészkő, illetve triász dolomit. A két kőzet nem keverten, hanem külön-külön, (tiszván) egymásra települten vagy márgával elválasztva fordul elő a kutakban. A mátrix- (vagyis szemcsék és kristályok közötti) porozitás általában 5% alatt van és a teljes porozitás csak kivételes esetekben éri el a 7–8%-ot. A másodlagos térkomponensek, ún. a repedések, likacsok, illetve üregek, valamint a kavernák szabálytalan eloszlásúak és általában együtt, néha külön-külön fordulnak elő. A mérettől függően gyakran részben vagy teljesen kitöltöttek. A kitöltő anyag rendszerint kalcit, amely gyakran porózus átteresztőképes kitöltést eredményez, de gyakori az agyagos kitöltés is. A kitöltés a 0,1 mm alatti részekben uralkodó jellegű.

A rendelkezésre álló eszközök közül a *neutron-szelvény* a kőzet teljes porozitását érzékeli és nem érzékeny a hézagter szerkezetére a szonda vizsgálati terén belül.

A laterológ szelvény, amely ilyen nagy fajlagos ellenállású kőzetekben is jó közelítést adja a valódi fajlagos ellenállásnak, különösen érzékeny a repedésekre. Példaként említjük meg, hogy egy tömör mészkő fajlagos ellenállása 3000 ohmm-ről kb. negyedére, azaz 750 ohmm-re esik, ha méterenként 1 db 1 mm tágasságú kőzetrés szeli át.

Egy olyan kőzetmodell alapján, amely csak mátrix-porozitású blokkokból és a blokkokat elválasztó repedésekből épül fel, a repedés által képviselt hézag-tér nagysága a

$$\Phi_r = \frac{R_m}{R} \cdot \frac{R_b - R}{R_b} \quad (1)$$

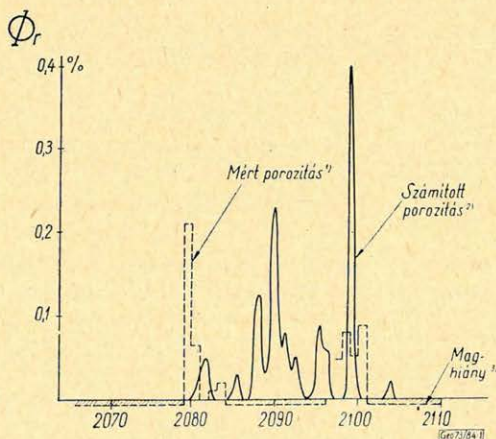
képlet alapján számítható ki, ahol

- R_m = a repedéseket kitöltő folyadék fajlagos ellenállása,
- R_b = a mátrix-porozitású blokkok fajlagos ellenállása és
- R = a laterológ által mért teljes kőzet-ellenállás.

A repedés-kimutatás és -számítás fenti képleten alapuló módszerét Poprádi-i szimpóziumi előadásomban részletesen ismertettem, ezért itt csupán annyit említek meg róla, hogy annak első lépése a laterológ szelvénynek a neutronhoz való logaritmikus hozzátranszformálása olyan szakaszokon, ahol a kőzet teljesen tömött, illetve repedésmentes. A repedésekkel szabdalt helyeken a két görbe elválik egymástól a laterológ görbe csökkenő értékei miatt. Az össze-transzformált görbék közös fajlagos ellenállás-skáláján a laterológ értékek az „ R ”, a neutron értéke az „ R_b ” adatokat adják a tároló minden pontjában.

A módszer valamennyi lépése különösen könnyen és gazdaságosan nyerhető számítógépen. Gyakorlati eredményeink a rétegvizsgálatok tanúsága szerint igen jók. A kijelölt repedezett szakaszok, amelyeken 0,1–0,2%-nál nagyobb repedés-„porozitás” állapítottunk meg, a rétegvizsgálatok 80%-ában adtak beáramlást; igaz, hogy gyakran csak savazás után. Viszont ez a beáramlási százalék nem rosszabb, mint a karottázs módszerekkel homokkövekben elérhető eredmény.

A magvizsgálati eredményekkel való összehasonlítás nehéz volt, mivel a magnyereség a repedezett mészkövekben rendszerint nem teljes, így a mélységi azonosítás csak körülbelüli lehet. Ennek ellenére is bemutatok egy példát (1. ábra).



1. ábra – puc. – Abb.

A folytonos görbe a karottázs módszerrel számított repedés-porozitást, a szaggatott pedig felületi csiszolatokon, kőzetmagokon végzett mérések eredményeit mutatja. A nullavonal alatti sraffozott terület a maghiányos szakaszokat jelzi. Látható, hogy a vizsgált szakaszon jelentős maghiány állapítható meg, amely szinte általános jelenség. Méterenként 10 csiszolatot vesznek és mikroszkóp alatt vizuálisan becsülik a rések vagy üregek által képviselt felület nagyságát és ezt viszonyítják a teljes magfelülethez.

Ahol nincs 10 cm-kénti csiszolat készítésére mód, esetleg egyetlen csiszolaton végzett mérés eredményét vetítik az egész méterre. Nyilvánvaló, hogy ilyen módszerrel, elsősorban a maghiányok miatt, nem kaphatunk olyan jellemző eredményeket a tároló repedezettségre vonatkozóan, mint egy nagyobb térfogatot átfogó és a kút mentén folyamatosan érzékelő karottázs módszerrel. Ennek ellenére, ami a nagyságrendeket illeti, általánosan jó egyezés volt tapasztalható a magvizsgálatok és a karottázs eredményei között. Megállapítható volt, hogy a repedések által képviselt hézagtér nagysága általában néhány tized százalék és területeinken csak ritkán érte el vagy közelítette meg az 1%-ot. A repedés kimutatása mégis rendkívül fontos kérdés, mivel az üregek és likacsok, valamint a kavernák rendszerint a repedéseken keresztül kapcsolódva biztosítják a kút felé történő folyadékáramlás lehetőségét. A karottázs módszerek olcsón és gyorsan megadják ezt az információt, amire a kút lefúrását követő rétegvizsgálatok megtervezésénél nagy szükség van.

A harmadik alapvető geofizikai paraméter a *szónikus idő*, amelyből a kőzet mátrix-porozitására következtetünk. Erre a célra a jól ismert Wyllie-féle időmérés egyenletet használjuk:

$$\Delta t = \Phi_m \Delta t_f + (1 - \Phi_m) \Delta t_g, \quad (2)$$

amelyben a mátrix-porozitást a Φ_m jelöli. A kőzetmátrix, vagy kőzetváz idejét a szakirodalomból ismert ellenállás- Δt ábrázolás alapján nyerjük. ($\Delta t_m =$ mátrix-idő.)

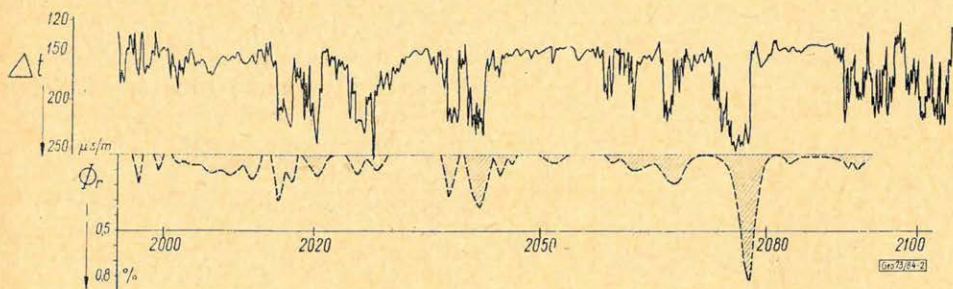
A fenti képlet feltételezi, hogy az alkalmazott hullámfrekvencián a hullámhossz nagyobb a kőzetszemek, illetve kőzetpórusok méreténél. Ugyanis csak ilyen viszonyok mellett tekinthető az anyag egyenletes eloszlásúnak. A kőzetben levő gömb-, vagy ellipszoid alakú hézagok, ha legnagyobb méretük a hullámhossznál kisebb, nem befolyásolják, illetve nem akadályozzák meg azt, hogy a Δt -ből a mátrix-porozitásra következtethessünk.

Ezen megfontolás alapján hézagtér-osztályozásunkban azokat a gömb-, vagy ellipszoid alakú hézagokat nevezzük likacsoknak vagy üregeknek, amelyek legnagyobb mérete a hullámhosszat, azaz kb. 250 $m\mu$ -t nem haladja meg. Ez a méret teljesen megegyezik a szakirodalomban gyakran szereplő és az üregek felső határát megadó értékkel, amelyet nyilván nem geofizikai megfontolásokból választottak ekkorának. (L. Choquette, P. E. és Pray, C. L.: *Geologic Nomenclature and Classification of Porosity in Sedimentary Carbonates*, AAPG Bulletin, 1970. febr. 207–250. o.) A hullámhossz kétszeresénél nagyobb hézagokat nevezzük kavernának, amelyekben a mért Δt -érték megközelíti a folyadék sebességet, ha azok nincsenek valamilyen anyaggal kitöltve. Erre elég sok gyakorlati tapasztalatunk van. Érdeemes megjegyezni, hogy a szakirodalomban is kb. 500 $m\mu$ -ben adják meg a kavernaméret alsó határát azon az alapon, hogy kb. ekkora fűréséseket már észlelni lehet fűrés közben.

Különösen a repedéseket sűrűn tagolt karbonátos szakaszokon a szónikusidő-szelvény a „ciklus-kimaradásnak” (vagy cycle skippingnek) nevezett

jelenség miatt abnormálisan nagy értékeket mutat a szónikus energia erő teljes gyengülése miatt.

Ilyen, elsősorban nyitott repedéseket tartalmazó szakaszon a szónikus szelvény nem a mátrix-porozitást adja, és nehézségek mutatkoznak a másodlagos hézagter nagyságának meghatározásában is. A 2. ábrán erre mutatunk be példát.



2. ábra - puc. - Abb.

A sraffozott szakaszok a repedezett zónákat mutatják a laterológ-neutron kombináció szerint, a felette levő görbe pedig a szónikusidő-szelvényt ábrázolja. Szembetűnő a fenti jelenség.

Az ilyen szakaszokról joggal tételezzük fel, hogy nyitott repedéseket tartalmaznak és ilyenkor mátrix-porozitásul a nem repedezett szakaszon számított értékek átlagát vesszük.

A készletbecslési és tárolómérnöki munkákhoz a teljes porozitáson kívül elsőrendű feladatunk az effektív tárolóteret képviselő másodlagos hézagter megadása. Ugyanis olyan tárolókban, ahol a mátrix-porozitás csupán néhány százalékot tesz ki, az effektív tárolóteret a teljes porozitásnak a mátrix-porozitás feletti része képviseli, tehát ennek megadására kell törekednünk. De e mellett szerepe van a repedezettség mennyiségi jellemzésének is, mivel a produktivitas gyakran ehhez kapcsolódik. Tehát ez a másik paraméter, amit meg kell adnunk.

A számításainknál alkalmazott egyszerűsített modellben a teljes porozitást (Φ_t) a mátrix-porozitás (Φ_b) és a repedések, üregek és likacsok által képviselt másodlagos porozitás (Φ_m) összegeként fogjuk fel:

$$\Phi_t = \Phi_b + \Phi_m. \quad (3)$$

A másodlagos porozitás tehát

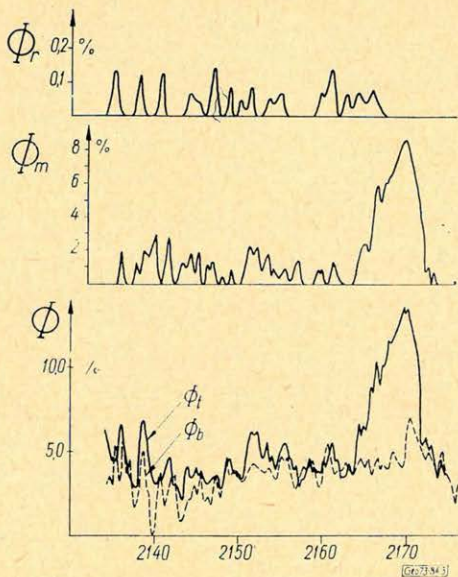
$$\Phi_m = \Phi_v + \Phi_r.$$

Mint említettük, a repedésporozitás rendszerint néhány tized százalék csupán, ezért a munkák során a másodlagos porozitást nem bontjuk szét üreg-és repedés-porozításra, de az utóbbit azért külön is ábrázoljuk.

Az effektív tárolóteret jelentő „másodlagos porozitás nagyságát” a (4.) egyenlet alapján számítjuk ki és ábrázoljuk pontonként a mélység függvényében:

$$\Phi_m = \Phi_t - \Phi_b \quad (4)$$

Egy ilyen munka eredményét látjuk a 3. ábrán.



3. ábra - puc. - Abb.

A legelső sávban azonos porozitás-skálán van ábrázolva a neutronból kapott teljes porozitás (Φ_r) folytonos vonallal és a szónikusból kapott mátrixporozitás (Φ_b) szaggatott vonallal a mélység függvényében. A két görbe különbsége adja az effektív tárolóteret jelentő másodlagos porozitást (Φ_m), amelyet a középső sávban ábrázoltunk az alsó sávval azonos porozitásskála-érzékenységgel. A legfelső sávban a laterológ-neutron módszerrel számított repedésporozitás (Φ_r) látható. Az ilyen görbék alapján a készletbecsléshez szükséges átlagos értékek könnyen meghatározhatók, amelyek a jelen kút esetében a következők:

$$\Phi_1 (\text{átlag}) = 5,1\%$$

$$\Phi_m (\text{átlag}) = 2,3\%$$

$$\Phi_r (\text{átlag}) = 0,05\%$$

Látható, hogy a repedezettség és a másodlagos porozitás között kapcsolat van, ami nem meglepő, hisz az üregek és csatornák a repedések menténi oldás útján jönnek rendszerint létre.

Sok hasonló példát tudnánk bemutatni, illusztrálva azt, hogy a korszerű karottázs-szelvények a tárolókiértékelés számára nehéz karbonátos tárolókban is fontos szerepet tölthetnek be, ha ésszerű megfontolásokon alapuló értelmezési módszerekben használjuk őket a tároló vizsgálatára.

A bemutatott módszerben foglalt számítások egyszerűek ugyan, de pontonkénti alkalmazásuk fáradságos és hibáktól nem mentes. Ezért az ilyen feladatok számítógépi feldolgozásra ösztönöznek.

E cikk egyik célja éppen annak hangsúlyozása lenne, hogy a korszerű módszerek lehetőségeit csak akkor tudjuk a legteljesebben kihasználni, ha számítógépet alkalmazunk. A digitális-szelvény-regisztrálás és a számítógépek alkalmazása a szelvényértelmezésben tehát nem divatos irányzat csupán, hanem reális igény.