

Újabb mélyfúrási geofizikai eljárások a szénhidrogéntermelés érdekében

A MGE Alföldi Csoportja 1970. dec. 18-án tartott előadóülésén
elhangzott előadás (Szerk.)

C S Ó K Á S J Á N O S

Az utóbbi években egyre gyakrabban alkalmaznak mélyfúrási geofizikai módszereket a szénhidrogén-termelés szolgálatában. Megoldották az átfúrt formációk közzetani analízisét fúrómagokon mért paraméterek és geofizikai szelvények korrelációja útján. A leírt korszerű eljárások egy része rövid időn belül nálunk is bevezethető.

За последнее время все чаще применяются промышленно-геофизические методы на службе добычи углеводородов. Уже решена задача петрографического анализа пройденных скважинами горных пород путем сопоставления параметров, определенных на буровых ядрах с данными промышленно-геофизических работ. Часть описываемых в настоящей работе современных методов скоро можно будет внедрить и в условиях Венгрии.

Bohrlochgeophysikalische Untersuchungsverfahren werden in unseren Zeiten immer häufiger im Interesse der Kohlenwasserstoff-Produktion eingesetzt. Es wurde das Problem der petrographischen Analyse der durchbohrten Formationen mit Hilfe der Korrelation der an Bohrkernen gemessenen Parameter und der geophysikalischen Profile gelöst. Die hier beschriebenen modernen Verfahren können binnen kurzer Zeit auch bei uns eingeführt werden.

Egy francia szerző a fúrólyukszelvényezés fejlődését három fázisra osztja [1]. 1925–1945 között zajlott le a *kvalitatív fázis*, 1945–1970(?) között a *kvantitatív fázis* és valószínűleg 1970-ben kezdődött az *analitikus fázis*. Az első periódusban a kőzetparaméterek iszapfiltrátummal befolyásolt látszólagos értékének megméréseire törekedtek és ezen paraméterek (*SP*, fajlagos ellenállás) alapján litológiai tagolást, réteg-korrelációt, a rétegek nagyvonalú jellemzését (milyen kőzet, homok, agyag, karbonátos, porózus vagy nem porózus) végezték el és kvalitatív képet adtak a rétegek porozitásáról (Φ) és víztelítettségéről (S_w).

Számos kutató eredményei alapján megvetették a mennyiségi értelmezés alapját a valódi fajlagos ellenállás meghatározása útján. Elsősorban az érintetlen zóna (R_t) és a kiöblített zóna (R_{xo}) valódi fajlagos ellenállását határozták meg különféle látszólagos fajlagos ellenállás mérő szonda-kombinációk és eltérési görbeseregék vagy korrekciós diagramok segítségével.

A fajlagos ellenállásokból számított porozitás- és folyadéktelítettség-adatok azonban sokszor megtévesztőek voltak, ezért 1955–1960 között áttértek azok közvetlen meghatározására. Ma már az érintetlen zóna (R_t) valódi fajlagos ellenállásának korszerű meghatározását indukciós vagy laterolog szondával végzik, a kiöblített zóna (R_{xo}) fajlagos ellenállása mikrolaterolog-szondával mérhető a víztelítettség kiszámításához.

A rétegek porozitását neutron és/vagy szonikus szelvényezéssel, térfogatsúlyát pedig gamma-gamma méréssel határozzák meg. A felhasznált matematikai képletek egyszerűbbek, a mérési hibák kevésbé halmozódnak, az eredmények lényegesen megbízhatóbbak kifogástalan mérések esetén.

1960-tól 1970–75-ig zajlik le a szelvényezés, a kiértékelés és a feldolgozás számítógépesítése. Ebben az analitikus fázisban már porozitás-, víztelítettség-, agyagtartalom-szelvény megadására törekszenek.

Az egyik irányzat szerint a formációk analízise a rétegvíz-tartalom, a kiseperhető olaj- és maradék-olajtelítettség eloszlásának együttes szemléletes

regisztrálásaként jelenik meg a karottázs-szelvényeken. Másik eljárásnál a rétegek szilícium, gipsz, anhidrit és dolomit térfogat-százalékát ábrázolják a kőzet-tani porozitással együtt a mélység függvényében.

A *Schlumberger Vállalat* ún. „*Saraband*” (lassú spanyol tánc és zenéje) programja a homokkövek analizálására alkalmas és megkülönbözteti az olaj- és gáztárolók zónákat egymástól, sőt mindkettőt a víztárolóktól. Kellő tájékoztatást nyújt az eddigieknél gazdaságosabb fúróluk kiképzési terv elkészítéséhez [2].

A *Birdwell Csoport* már külön felhívással fordul az olajmérnökökhöz, a reservoir-, a lyukbefejező-, a bánya- és a kultúrmérnökhöz azzal, hogy porozitás, mindenfajta szaturáció, kispermethető olajszázalék-adatok szolgáltatására képes [3]. Ásványtani analízist, Poisson-számot, rugalmassági állandókat, térfogatsúlyt, hézagtényt, képes megadni szelvényezési adatok alapján.

Van már olyan vállalat is, amelyik különféle speciális szelvényezési programot ajánl kén-, kálium-, urán- és széntelepek kutatására.

Az említett francia szerző, sajnos, tehetett egy reánk nézve szomorú megállapítást is. A háború után a kelet-európai országok olyan eszközökkel dolgoztak, mint a *Schlumberger Vállalat* 1937-ben, azaz 8–10 éves elmaradással. Ez a technikában nagyon sok, ma már – véleményem szerint – megengedhetetlen.

A nyugati világ 50 kőolajtermelő országában lényegében 4–5 számottevő fúrólukszelvényező vállalat létezik. Ezek között a *Schlumberger* 1965-ben 170 mérnököt és kutatót alkalmazott, költségvetése $37,5 \cdot 10^6$ frank csak kutatásra és fejlesztésre. A karottázs-szolgálatot 1250 mérnökkel, 850 karottázs kocsival végezte. Ez a szám 1968-ra 1600 mérnökre és 1000 műszerkocsira nőtt. 1965-ben mintegy 152 regisztráló egységet, 600 db szondát, 85 műszerkocsit, 62 tengeri szelvényező egységet állított elő 125 millió frankért. Talán jellemzőbb a következő: 1965-ben a nyugati olajvállalatok termelése $1,5 \cdot 10^9$ t volt kb. $127 \cdot 10^9$ Fr. értékben. A karottázs-szelvényezési és értelmezési költségek kb. $1,4 \cdot 10^9$ Fr.-ot tettek ki, azaz a termelési értéknek mindössze 1%-át.

Ebből az arányból az is következik, hogy százalékosan a legjövődélmezőbb beruházás a karottázs-szolgálatnál érhető el. Ásványi telepek fel nem ismerése vagy pontatlan meghatározása pedig nagy nemzeti haszon elmaradását, illetve nagymértékű fölösleges termelési beruházást eredményez.

Az utóbbi évek karottázs-szakirodalma mindinkább a termelő mérnökök szempontja felé tolódik, amíg régebben főleg geológiai jellegű információk szolgáltatását tekintették szinte kizárólagos feladatnak.

A kőolaj-termelő mérnököket elsősorban a tárolók porozitása és folyadék-tartalma érdekli. Ezen adatok ismeretében csökken a rétegvizsgálatokra fordított idő, kevesebb magfúrás és magvizsgálat szükséges, meggyorsul a kút kiképzése a termelésre.

Újabbban számos közlemény jelent meg főleg agyagos homokok réteg-paramétereinek meghatározásáról. Különösen figyelemre méltó az az irányzat, amely szerint nem elméleti kőzetmodellek matematikai leírásával foglalkoznak, hanem fúrómagok laboratóriumban megmért adataiból korrelációs, regressziós eljárással állítanak fel a valóságot jól megközelítő tapasztalati formulákat.

Agyagos kifejlődésű homokkő-formációkban porozitás-meghatározáshoz jelenleg a legmegbízhatóbb módszernek az ún. „*szonikus-sűrűség-háromszög*” módszert tartják [4]. A módszer alapelve szerint az agyag 50% vizet tartalmaz, tehát diszperz agyagos Φ_N neutron-porozitása:

$$\Phi_N = \Phi + 0,5 \cdot p,$$

ha Φ az agyagos kőzet hasznos porozitása és p az agyag térfogataránya. A kőzetsűrűség-porozitás a gamma-gamma szelvényből

$$\Phi_D = \Phi + \frac{d_m - d_{sh}}{d_m - d_f} p.$$

Itt d_m a kőzet mátrix-, d_{sh} az agyag-, d_f a pórusfolyadék sűrűsége. Agyagcsíkokat tartalmazó összletre a szonikus porozitás

$$\Phi_S = \Phi + \frac{\Delta t_{sh} - \Delta t_m}{\Delta t_f - \Delta t_m},$$

ahol Δt_{sh} , Δt_m és Δt_f a terjedési idő $\mu s/m$ -ben mérve, az agyagban, a kőzetmátrixban, ill. a pórusfolyadékban. A terjedési idők különbségének hányadosa agyagcsíkos homokkövekben $0,2 - 0,6$ közötti érték, diszperz agyagos kőzetben $0,1 - 1,0$.

A felsorolt összefüggések alapján Φ_N és Φ_D vagy Φ_N és Φ_S , vagy Φ_S és Φ_D szelvényekből meghatározható Φ és p értéke.

Például Φ_S és Φ_D mérésből a vizsgált szintre felírható:

$$\Phi_S = \Phi + 0,6 p$$

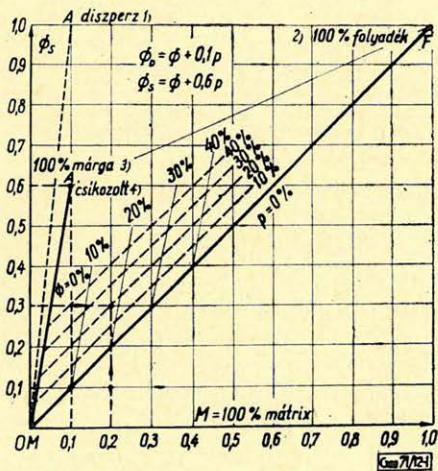
$$\Phi_D = \Phi + 0,1 p$$

Az egyenletrendszer megoldása

$$\Phi = \frac{\begin{vmatrix} \Phi_D 0,1 \\ \Phi_S 0,6 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 0,1 \\ 1 0,6 \end{vmatrix}}, \quad p = \frac{\begin{vmatrix} 1 \Phi_D \\ 1 \Phi_S \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 0,1 \\ 1 0,6 \end{vmatrix}}$$

A pórusokban az agyagfrakció által elfoglalt térrész (1. ábra):

$$q = \frac{p}{\Phi + p}$$



1. ábra. Szonikus-sűrűség háromszög-diagram

Фиг. 1. График зависимости акустических волн и плотности. 1 — рассеянные известняки; 2 — 100%-ное насыщение жидкостью; 3 — мергели; 4 — полосчат

Fig. 1. Ultraschall-Dichte-Dreiecks-Diagram. 1 dispers, 2 100% Flüssigkeit, 3 Mergel, 4 gestreift

Ehhez hasonló matematikai eljárással több szimultán egyenlet megoldása a formáció összetételét adja pl. szilíciumra, gipsz-, anhidrit-, dolomit-tartalomra és porozitásra [5].

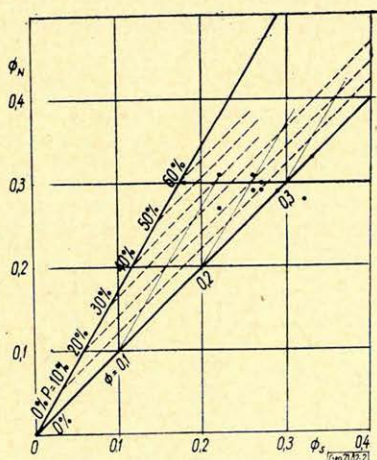
Ha a szonikus időkülönbségek hányadosa = 1, azaz $\Delta t_{sh} \approx \Delta t_p$, akkor

$$q = \frac{\Phi_S - \Phi_D}{\Phi_S}$$

Ha sor kerül a Nyírség tufás rétegeinek kutatására, gondolni kell azok porozitásának nagy változásaira is. A nevadai földalatti nukleáris kísérletek kapcsán vulkáni tufákban végzett vizsgálatok szerint lineáris összefüggés van az akusztikus futási idő és a porozitás között a Wyllie-egyenletnek megfelelően [6]. Nagyobb montmorillonit-tartalom csökkenti a mátrix-sebességet, ezáltal bonyolulttá teszi az agyagos homok olajtárolók akusztikus-porozitás meghatározását. A $\Phi = a \cdot \Delta t - b$ összefüggés első közelítésként jól alkalmazható. Négy kútból vett kb. 60 db mintamérés porozitás-standard hibája $\pm 3,82\%$. Regressziós számítással $r = 0,88$ korrelációs együtthatóval $a = 2,455$ és $b = 40,1$.

Ez a mennyiség a formációk pórustere agyagtartalmának diagnosztikus analízist teszi lehetővé egyrészt a mélység szerint, másrészt egy mező korrelálható tároló rétegeire izovonalas térképek szerkeszthetők. Ezt összevetve ugyanazon réteg térképével, az agyag és márga rétegek izoohm és izoradiációs térképeivel, a tároló horizontális változásai felderíthetők és földtanilag értelmezhetők további kútelepítési és termelési tervek készítése céljából.

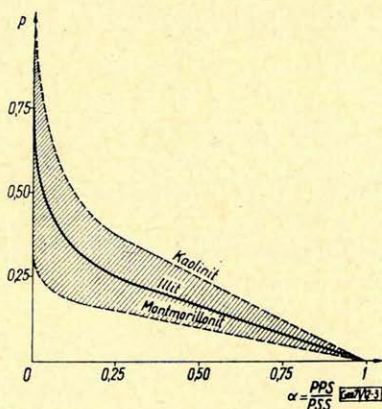
Az agyagtartalom az agyag minőségének ismeretében a sztatikus SP és a pszeudosztatikus SP hányadosából ugyancsak meghatározható, ha az iszapfiltrátum és a rétegvíz disszociált ionkoncentrációja membránpotenciál kialakulását lehetővé tette (2. ábra) (3. ábra).



2. ábra. Szonikus-neutron háromszögdiagram

Фиг. 2. График зависимости акустических волн и нейтронов

Fig. 2. Ultraschall-Neutron-Dreiecks-Diagram



3. ábra. $p = f(\alpha)$ agyagfrakció összefüggés

Фиг. 3. Зависимость глинистых фракций $p = f(\alpha)$

Fig. 3. $p = f(\alpha)$ Tonfraktion-Zusammenhang

Nagyon fontos a termelőmérnök művelési tervének elkészítéséhez a szénhidrogén-tárolók átérésztőképesség-változásának leírása a kútszelvény mentén.

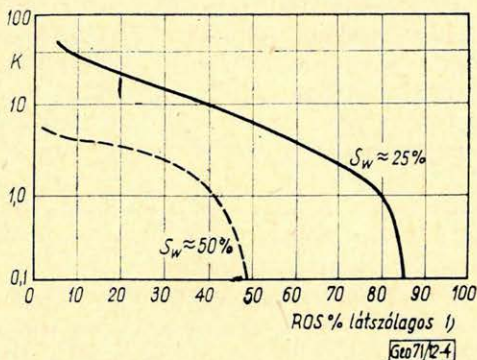
A permeabilitásról tud a mélyfúrású geofizika a legkevesebbet mondani, és azt is pontatlanul.

Felállítottak egy összefüggést, mely szertint egy Φ porozitású homokkő permeabilitása

$$k = 2 \cdot 10^6 \Phi^{2m+1},$$

ahol $m = 1,75$, a cementációs kitevő.

Találtak szabályos kapcsolatot tapasztalati úton a kisépért zóna látszólagos maradék olajteltettsége és permeabilitása között is, az összefüggés paramétere az érintetlen réteg S_w vízteltettsége [7] (4. ábra).



4. ábra. ROS és K közötti korreláció

Фиг. 4. Корреляция остаточной насыщенности нефтью и величины К. 1 — кажу

Fig. 4. Korrelation zwischen ROS (residuelle Oilsättigung) und K (Permeabilität). 1 scheinbar

Érdeemes figyelmet szentelni, közel 1000 homok- és mészkő-fúrómagon végzett mérésből statisztikai alapon nyert összefüggésekre [8], melyek szerint a formációtényező és a porozitás között általánosíthatók az alábbi egyenletek.

Tiszta homokkövekre:

$$F = \frac{1,45}{\Phi^{1,54}},$$

agyagos homokkövekre:

$$F = \frac{1,65}{\Phi^{1,33}},$$

meszes homokkövekre:

$$F = \frac{1,45}{\Phi^{1,7}}$$

mészkövekre:

$$F = \frac{0,85}{\Phi^{2,14}} \quad \text{vagy} \quad F = \frac{1}{\Phi^{2,04}}.$$

A permeabilitás és formációtényező között homokkövekre a:

$$K = \frac{7 \cdot 10^8}{F^{4,50}},$$

mészkövekre a:

$$K = \frac{4,0 \cdot 10^8}{F^{3,65}}$$

összefüggést ajánlja 10 millidarcy felett a szerző azzal, hogy még további vizsgálat szükséges az összefüggés megerősítéséhez.

Pillanatnyilag a nukleáris mágneses rezonancia (*NMR*)-módszer látszik a legjobb permeabilitás-, kiséperhető olajszázalék- és porozitás-meghatározó eljárásnak [10]. A karottázs-értelmezési formulák (*Archie, Tixier, Hossin, De Witte, Doll, Simandoux, Barlai*) különféle idealizált kőzetmodelleken alapulnak. Újabban több fizikai és geofizikai dolgozatban A. Scheidegger alapvető monográfiájából indulnak ki, melyben a porózus kőzeteken keresztül történő folyadékáramlás fizikáját írta le [11]. A nukleáris-mágneses-karottázs kísérleti adatai alapján valószínűleg eldől, hogy sokféle kőzetmodell közül melyik közül a legjobb a valóságot.

A 155 magminta alapján felállított tapasztalati összefüggés a homokkő permeabilitására nukleáris mágneses rezonanciamérések alapján a következő [12]:

$$k = 0,136 \frac{\Phi^{4,4}}{(S_w)_{irr}^2},$$

ahol Φ a térfogati porozitás százaléka, $(S_w)_{irr}$ a tapadóvíz a pórustér százalékában kifejezve. Szénhidrogéntárolóra $(S_w)_{irr} \approx S_w$.

A *NMR*-módszerrel meghatározható szabad-folyadék-indexet *FFI*-vel jelölve, levezettek egy tapasztalati összefüggést, mely szerint:

$$(S_w)_{irr} = \left(1 - \frac{FFI}{\Phi}\right) \cdot 100$$

Mivel a kiséperhető folyadékkal kitöltött porozitás

$$\Phi_p = \left(1 - \frac{(S_w)_{irr}}{100}\right),$$

a homokkő permeabilitása, porozitása és a szabadfolyadék indexe között a

$$k = 0,125 \left[\frac{\Phi^{4,4}}{10^4 \left(1 - \frac{FFI}{\Phi}\right)^2} \right]^{0,97}$$

összefüggés állítható fel, ahol 0,125 és 0,97 kísérletekből nyerhető állandók. A fúrómagok vizsgálatából regressziós eljárással az $FFI = 1,0\Phi_p + 0,8$ összefüggést kapták $r = 0,96$ regressziós együtthatóval, 2,1 standard hibával. Telített kőzetminták Φ porozitása, redukálhatatlan víztelítettsége és permeabilitása *FFI*-mérésből kiszámítható [10]. Ilyen vizsgálatokhoz építhető olyan laboratóriumi műszer, mellyel egy fúrómag vizsgálata 5 percig tart, a három adat kiszámítása számítógéppel pár másodperc. A mélyfúrás geofizikai osztályok kőzetlaboratóriumaiban a *NMR*-kőzetmintavizsgálatok bevezethetők, a feltételek megvannak hozzá.

A tároló rétegek permeabilis anizotrópiájának vizsgálata, ami a termelő-mérnököt nagyon érdekelné, karottázs módszerekkel nehéz feladat. Vissza kellene nyúlni a tároló kőzetek agyagtartalom-eloszlásának vizsgálatához. Nagy neutron-hozamú és kis gamma aktivitású n -forrással szelvényezve, pl. Californium-252-vel, melynek hozama kb. 300-szor nagyobb a többi n -forrásénál, ($4,4 \times 10^9$ n/sec), az Al-28 izotóp aktivációs analízis-szelvényre felvehető 1,68 m szondahosszal, mely a természetes gamma szelvényhez hasonló agyagosodási szelvényt ad. A természetes gamma és Al^{28} -szelvény különbsége az aleurit és az agyag, illetve a K^{40} -tól és egyéb radioaktív elemektől eredő természetes-gamma intenzitás szétválasztására is lehetőséget nyújt. Az aktiválás és mérés közötti idő megfelelő megválasztásával más elemek mennyisége is meghatározható ($Na-24$, $Mg-56$).

Az agyagtartalom és a porozitás ismeretében szükséges még a víztelítettség meghatározása a szénhidrogén-tárolás kimutatásához. Agyagos homokkövekre a Simandoux-módszer szerint az

$$\frac{1}{R_t} = \frac{p}{R_c} + \frac{S_w^2}{FR_w}$$

összefüggés érvényes, ahol R_c a szaturációtól is függő állandó, illetve $R_c = 0,4 R_{sh}$ -nak vehető, ha R_{sh} az ágyazó agyagréteg fajlagos ellenállása. Számos összehasonlító vizsgálat szerint jól használható az alábbi összefüggés

$$\frac{1}{R_t} = \frac{p \cdot S_w}{R_c} + \frac{S_w^2}{FR_w}$$

ahol R_c a diszperz-agyag fajlagos ellenállása [13]. Az egyenletből S_w kiszámítható. Fajlagos ellenállás és porozitás-adatokból sok más módszer és összefüggés ismeretes S_w meghatározására. Mindezekhez az értelmezési eljárásokhoz azonban szigorú technikai fegyelem alatt, hitelesített szondákkal és felszíni egységekkel végzett pontos kútszelvényezés és gondos kiértékelés szükséges.

Az S_w víztelítettség kiszámításához ismerni kell az F formációtényezőt is. Kiderült, hogy agyagos homokkövek formációtényezője függ a rétegnomás és a réteg pórusaiban uralkodó folyadéknyomás különbségétől. Ha a fúrómagok porozitását (formációtényezőjét) atmoszférikus nyomáson határozzák meg, akkor pl. 9% (térfogat) agyagtartalom esetén, ha a kőzet porozitása atmoszférikus nyomáson 11%, akkor 276 atm. diff. nyomáson a formáció tényezője 1,18-szor, 24% agyagtartalom esetén 1,25-ször nagyobb. A differenciálnomás $P =$ réteg (geosztatikus) nyomás = 0,85. tároló nyomás. A szilárd mátrix a rétegnomás egy részét kiegyensúlyozza [14].

Az előbbi módon meghatározott Φ haszon-porozitás ismeretében indukciós- vagy laterolog-, valamint mikrolaterolog-szelvények birtokában meghatározható a kitermelhető olaj a pórusrét arányában kifejezve, ugyanis az érintetlen rétegre

$$\Phi \cdot S_w = \sqrt{\frac{R_w}{R_t}}$$

$$\text{a kiöblített zónára pedig } \Phi \cdot S_{x0} = \sqrt{\frac{R_{mf}}{R_{x0}}}$$

A valószínű termelőképesség indexe: $\Phi(S_{x_0} - S_w)$. Itt R_{mf} az iszapfiltrátum fajlagos ellenállása, S_{x_0} a kisépért zóna víztelítettsége.

A kisépért zóna szelvényezése sok esetben a szénhidrogén kitermelhetősé-
géről ad felvilágosítást [15]. Az

$$S_{x_0} = \sqrt{\frac{FR_{mf}}{R_{x_0}}}$$

és az

$$S_w = \sqrt{\frac{FR_w}{R_t}}$$

összefüggések alapján képezhető a $\Phi(S_{x_0} - S_w)$ mennyiség, mely a kisépért olaj térfogatarányát jelenti. Ezt felhordva a formációvíz (ΦS_w) térfogatarány-
logaritmusára, az egyes rétegek szénhidrogén-kiséperhetősége azonnal lát-
hatóvá válik. A potenciálisan produktív zónák kis víztelítettségükről és nagy
olaj-kiséperhetőségükről felismerhetők. Ha a tároló réteg mentén a ΦS_w mennyi-
ség többé-kevésbé állandó, vagy a porozitás tükörképe, akkor valószínűleg
tapadóvíz-szaturációs zónáról van szó. Ha a $\Phi \cdot S_w$ -nek a mélységgel növekvő
gradiense van, tehát az I m -re eső növekedése lefelé mindig nagyobb, vagy a
porozitással párhuzamosan változik, akkor ott már nemcsak tapadóvíz-szatu-
rációs a zóna.

Második diagnosztikus adat: ha $S_w/S_{x_0} \approx 1,0$, a zóna vizes, vagy ipari olaj-
termelés nem várható. Tapasztalat szerint olajtermelésre $S_w/S_{x_0} < 0,75$ esetén
alkalmas a tároló. Figyelemre méltó az ún. logaritmikus „kitermelhető olaj-
szelvény” felvétele. Három görbét vesznek fel logaritmikus léptékben: az R_t
valódi fajlagos-ellenállást laterologgal, az R_{x_0} kisépért zóna fajlagos-ellenállását
proximity- vagy mikrolaterologgal és az F formációtényezőt szonikus vagy
sűrűség, vagy neutron-szelvényezéssel (F_S, F_D, F_R). Ezt a három görbét víz-
tároló tiszta homokrétégnél fedésbe hozzák a regisztrátumon.

Mivel az R_t görbe $1/R_w$ -szerint változik, az R_{x_0} -görbe pedig $1/R_{mf}$ szerint,
így az R_t és R_{x_0} görbe elválása a kiséperhető szénhidrogén-arány indikációja.
Az R_t - és F - görbe elválása permeabilis képződménynél szénhidrogén-szaturá-
ciót jelent. Ennek az eljárásnak nagy előnye, hogy R_w és R_{mf} értékének válto-
zása nem játszik nagy szerepet.

Szellemes eljárást ajánlanak vastag iszaplepleny esetére az R_{x_0} meghatáro-
zására. Ugyanis ilyen esetben R_{x_0} meghatározása még mikrolaterologgal is
hibás. Közös szondatestre szerelnék egy mikroszonda- és egy proximity-szel-
vényező papucsot. A mikrogradiens- és mikropotenciál-görbe elválásánál a
permeabilis zónák kijelölhetők, az effektív termelőrétegvastagság megállapí-
tása, a homokszámlálás elvégezhető. Kaliber-szelvényt is fel kell venni, mint
minden mikroméréshez, legjobban egyidejűleg. A proximity-szelvény (R_{PL}) az
iszapvastagságra korrigálandó, ha $R_{PL}/R_{mc} > 10 \sim 20$, egyébként $R_{PL} = R_{x_0}$.
Itt R_{mc} az iszaplepleny fajlagos ellenállását jelenti.

Olaj- és gázszintek megkülönböztetését sikeresen oldották meg nagy
GOV-os zónák kizárása céljából proximity-, Φ_D és Φ_N szelvényezéssel. A kisépért
zóna szénhidrogén-szaturációja ismeretében még a tárolt szénhidrogén sűrűsége
is megadható. A módszer azon alapul, hogy kis sűrűségű szénhidrogén, például
gáz, Φ_D -t és Φ_N -et egymással ellentétes értelemben változtatja meg. A szén-
hidrogén-sűrűség csökkenése a látszólagos neutron-porozitást csökkenti, a lát-

szólagos gamma-gamma porozitást növeli. Gázos zónáknál $\Phi_D \gg \Phi_N$. A $(\Phi_D - \Phi_N)$ különbség a $(\Phi \cdot S_{CH})$ szénhidrogén mennyiségtől függ, ahol $S_{CH} = 1 - S_{x_0}$. Az S_{x_0} az előbbieket szerint R_{x_0} -ból határozható meg.

A tárolt szénhidrogén sűrűsége görbeseregekből kiolvasható (5. ábra).

Miocén korú gázos homokok értelmezésénél [16] egyrészt azon az alapon dolgoztak ki eljárást, hogy az iszapos vagy más néven aleuritós és márgás (agyagos) homokkővek viszonylag nagyobb természetes gamma intenzitásúak (úgy mint az Alföldön), másrészt a gáztartalom nincs hatással a szonikus porozitásra, viszont tiszta homokok esetén a gamma-gamma porozitás gázos szinteknél nagyobb a magon mért értéknél, a neutron porozitás pedig kisebb.

A márga (agyag) tartalom meglehetősen megnöveli a szonikus és a neutron-porozitást a magon mért értékkel összehasonlítva. A szonikus-, a sűrűség- és a neutron-porozitásra felírható három egyenlet: $\Phi_S = 0,00713 \Delta t - 0,396$, ha Δt (mátrix) = 55,5 $\mu\text{sec}/30 \text{ cm}$ és Δt (folyadék) = 189 $\mu\text{sec}/30 \text{ cm}$, a kompaktációs tényező: $C_p = 1,05$ tapasztalati alapon miocén homokokra. $\Phi_D = 1,606 - 0,606 \rho_t$, ha ρ (matrix) = 2,65 g/cm^3 ρ (folyadék) = 1,00 g/cm^3 . Végül $\Phi_N = \Phi_N(\text{mért}) - 0,052$, ahol a 0,052-nek megfelelő korrekciós tényező tiszta víztároló homokoknál kísérleti úton határozható meg. A Φ_e effektív-porozitás az előbbiekből a „szonikus-neutron módszer” szerint

$$\Phi_e = \Phi_D - \frac{\Phi_S - \Phi_N}{1,4}$$

Ha egy szintnél $\Phi_D \geq \Phi_N$, akkor tiszta homoknak veendő.

Ha $\Phi_D < \Phi_N$, akkor agyagos, márgás homokokról van szó. Tiszta homokra megfelelőnek bizonyult a „sűrűség-neutron módszer”, mely szerint:

$$\Phi_e = \frac{1,4 \Phi_D + \Phi_N}{2,4}$$

Produktív, ha

$$I = \frac{R_t}{R_0} \geq 3,0.$$

Agyagos homokra jó közelítéssel $\Phi_e = \Phi_D$ adott. Produktív ha $I \geq 2,0$.

Víztároló tiszta és agyagos homokokra $0,5 \leq I < 2,0$.

Az $R_0 = FR_w$ egyenlet alapján, ahol $F = 0,62\Phi^{-2,15}$, Φ bármelyik porozitás szelvényből vehető, R_w az SP-ből számítható, R_t -t laterolog vagy indukciós szelvényből lehet meghatározni.

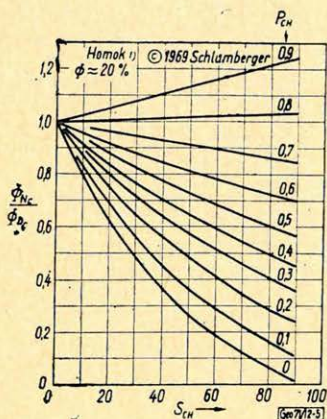
A gázos homokokat az olaj- vagy víztárolóktól a kisépért zóna $S_{g_{x_0}}$ gáz-szaturációja számértéke szerint lehet szétválasztani. A „szonikus-sűrűség-neutron módszer” szerint a maradék gáztelítettség a lyukfal közelében:

$$S_{g_{x_0}} = \frac{\Phi_S - \Phi_N}{0,7 \Phi_e},$$

ahol Φ_e a fentiek szerint számítható.

Ha pl. a vizsgált homokra felvehető átlagban $\Phi_e = 25\%$, akkor, ha $S_{g_{x_0}} \geq 15\%$, úgy gázos a réteg, ha $S_{g_{x_0}} < 15\%$, akkor olaj- vagy víztároló.

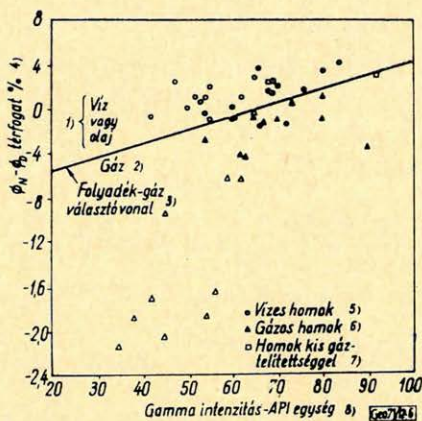
A „sűrűség-neutron-módszer”-rel a gáztároló homokok az olaj- vagy víztárolóktól azon az alapon különíthetők el, hogy a $(\Phi_N - \Phi_D)$ különbség a gáz-szaturációt és az agyagtartalmat együtt tükrözi. A rétegek természetes gamma-intenzitására felhordva a vizsgált szintnek megfelelő $(\Phi_N - \Phi_D)$ különbségértékeket, a kapott pontok között megtalálható az a legjobb elválasztó egyenes, amely felett folyadék- (olaj, víz) tárolók a zónák, alatta gáztárolók. A vonal közelébe eső szinteknél határozatlan az eset.



5. ábra. Neutron per sűrűség porozitás és szénhidrogén-telítettség összefüggés

Fig. 5. Зависимость отношения нейтронов к плотности, пористости от насыщенности углеводородами. 1 — пески

Fig. 5. Neutron/Dichte-Porozität und Kohlenwasserstoff-Sättigung. 1 Sand



6. ábra. Természetes gamma-intenzitás és neutron-sűrűség porozitás összefüggése

Fig. 6. Зависимость интенсивности естественного гамма-излучения от плотности нейтронов и пористости. 1 — вода или нефть; 2 — газ; 3 — контакт жидкости с газом; 4 — объем %; 5 — водоносные пески; 6 — газоносные пески; 7 — пески с незначительным насыщением газом; 8 — интенсивность гамма-излучения — единицы API

Fig. 6. Zusammenhang zwischen natürlicher Gamma-Intensität und Neutron-Dichte-Porozität. 1 Wasser oder Öl, 2 Gas, 3 Scheidelinie Flüssigkeit-Gas, 4 Raum-inhalt %, 5 wässriger Sand, 6 gashaltiger Sand, 7 Sand mit geringer Gassättigung, 8 Gamma-Intensität in API-Einheiten

Megbízhatóbb módszer a gáztároló homokok kimutatására a három porozitás-szelvény valamelyikének és a fajlagos-ellenállás indexének (I) összevetése. Bármilyen eredmény is adódik azonban a porozitás szelvényből, ha $0,5 < I < 2,0$, a homok csak víztároló lehet (6. ábra).

Víz-szaturáció meghatározására a Tixier-féle

$$S_w = \frac{[F_z R_w / R_t] + q^2(4 - q)^2}{1 - q}$$

bonyolult összefüggés helyett miocén korú üledékek esetén a közismert Archie-féle szaturációs formulából lehet kiindulni [16], mely szerint

$$S_w = \left(\frac{FR_w}{R_t} \right)^{1/n}$$

ahol $F = 1,43 \cdot \Phi_e^{-1,60}$ maganalízis alapján, vagy
 Φ_e = az előbbi sűrűség-neutron módszerrel kapható,
 R_t = laterologból,
 $n = 1,67$, maganalízisből R_0 és R_w a közismert eljárásokkal meghatározható.

Az agyagfrakció meghatározása a természetes gamma-görbe alapján jobbnak bizonyult, mint a Tixier-féle eljárással. A

$$q = \frac{\Phi_S - \Phi_e}{\Phi_S}$$

agyagtartalom különösen gázos homokok esetén nem volt korrelálható a természetes gamma-intenzitással. Nem adott jobb korrelációt a $q = \frac{\Phi_N - \Phi_D}{\Phi_N}$

és a $q = \frac{\Phi_S - \Phi_D}{\Phi_S}$ érték sem. Jobb korrelációt adott a természetes gamma-intenzitással tiszta homokokra, vagyis ha $(\Phi_D \geq \Phi_N)$, a

$$\Phi_e = \frac{1,4 \Phi_D + \Phi_N}{2,4}$$

effektív porozitás; agyagos homokokra pedig, ha $(\Phi_D < \Phi_N)$, a $\Phi_e = \Phi_D$ effektív porozitás érték. Ezekből tehát az agyag-frakció értéke:

$$q = \frac{\Phi_S - \Phi_e}{\Phi_S},$$

ha nem gáztároló a homokkő.

Jelentek meg újabb közlemények [17] fűrés alatt gázdetektorral végzett folyamatos izzapgáz-analízisről, valamint gázkromatográfiás eljárásról is. Alkalmazhatnák nálunk is.

További új karottázs módszer a termelés szolgálatában az ismételt hőmérsékletszelvényezés a besajtolási zóna pontos meghatározása céljából [18], továbbá a túlnyomásos agyag- és márgarétegek kutatása, melyeknél anomálianagy geotermikus gradiens mérhető. A túlnyomásos zóna ugyanis nem eléggé tömörödött, ezért nagyobb tömegű formációvizet tárol. A formációvíz háromszor jobb hőszigetelő a kőzetmatrixnál, tehát a túlnyomásos zóna nagy hőmennyiség-tároló és a hővezető képessége is kisebb a normális nyomású rétegek-nél. A mező izogradiens térképén kijelölhetők a túlnyomásos zónák [19]. Lehet, hogy nem a hivatkozott közleményben említett rossz kompaktció, hanem a rossz hővezetés folytán beállt magasabb hőfok a túlnyomás oka, és éppen a pórusokban uralkodó túlnyomás akadályozta meg a teljes kompaktciót.

Figyelemre méltó az a megfigyelés is, amely szerint rendellenesen nagy nyomású összletben a márgák látszólagos formációtényezője is rendellenes, mivel ilyen helyeken a formációvíz fajlagos ellenállása ugyancsak anomális.

Pirittartalmú rétegek vezérréteggént kimutathatók differenciál-*SP*-szelvényezéssel, ha oxidáló agyagos iszappal kezelik a réteget. Kidolgozták szigetelő iszappan az *SP*-szelvényezés technikáját speciális sonda segítségével [22].

A tároló termeltetése alatt tömörödést, vagy a besajtolás miatt történő zóna-kitágulást a szomszédos bélésescső-karmantyúk közötti távolság regisztrálásával vagy két belétt radioaktív nyomjelző helyzetének mérésével lehet ellenőrizni. Ez utóbbi független a bélésescső-deformációtól [20]. Újabban sokat várnak a neutron-élettartam-szelvényezéstől fázisok és fázishatárok bélésescső mögötti kimutatása érdekében. Lehetőség van termelő vagy megfigyelő kutakban a víz előnyomulásának és a szénhidrogén kimerülésének ellenőrzésére egy kút vagy egy olajmező egész termeltetési ideje alatt [21].

Rheométer-szelvényezéssel főleg a beáramlási és besajtolási műveletek ellenőrizhetők. Torziósszálás, elektrodinamikus áramlásmérőkkel hazai kísérletek már történtek vízfúrásokban.

Összefoglalva: Minden feltétel adott ahhoz, hogy viszonylag rövid idő alatt ki lehessen fejleszteni a laterolog-szelvényezést és a fajlagos-ellenállásmérő mikroszondákat, valamint a természetes-gamma, a sűrűség- és neutron-szelvényező szondákat úgy, hogy azok hitelesíthetők, és a velük felvett szelvények az ismertetett analitikus módszerekkel értelmezhetők legyenek.

Mindez azonban csak számítógépes feldolgozással és kőzetlaboratóriumi összehasonlító és ellenőrző fúrómagmérésekkel együtt végezhető [23].

IRODALOM

- [1] *Desbrandes, R.*: Théorie et interprétation des diagraphies. 1968. Technip. Paris. p. 520.
- [2] *The Log Analyst. Vol. XI. No. 2. 1970.*: Journal of Petr. Techn. July, 1970. p. 867.
- [3] *The Log Analyst. Vol. XI. No. 3. 1970.*: p. 35.
- [4] *Desbrandes, R.*: Théorie et interprétation des diagraphies. 1968. Technip. Paris. p. 306.
- [5] *Roper, W. A. et al.*: Journal of Petr. Techn. July, 1969. p. 827.
- [6] *Carroll, R. D.*: Journal of Petr. Techn. 1968. December p. 1371.
- [7] *Desbrandes, R.*: Théorie et interprétation des diagraphies. 1968. Technip. Paris p. 286.
- [8] *Carothers, J. E.*: The Log Analyst. Vol IX. No. 5. p. 13.
- [9] *Desbrandes, R.*: Théorie et interprétation des diagraphies. 1968. Technip. Paris. p. 298 – 299.
- [10] *Timur, A.*: Journal of Petr. Techn. June. 1969. p. 775.
- [11] *Scheidegger, A. E.*: The Physics of Flow through Porous Media. Toronto. 1960.
- [12] *Timur, A.*: The Log Analyst. Vol. IX. No. 4. p. 8.
- [13] *Bardon, C. et al.*: The Log Analyst. Vol. X. No. 1. p. 23.
- [14] *Khelil, Ch.*: The Log. Analyst. Vol. X. No. 5. p. 3.
- [15] *Rayner, L. L. et al.*: The Log. Analyst. Vol. XI. No. 3. p. 17.
- [16] *Glanville, C. R.*: The Log. Analyst. Vol. XI. No. 4. p. 3.
- [17] *Piater, B. O.*: Journal of Petr. Techn. June, 1969. p. 665.
- [18] *Cocanower, R. D. et al.*: Journal of Petr. Techn. August. 1969. p. 933.
- [19] *Lewis, C. R. et al.*: Journal of Petr. Techn. January, 1970. p. 11.
- [20] *The Log. Analyst. Vol. XI. No. 2. 1970.*: p. 50.
- [21] *Fons, L.*: Journ. of Petr. Techn. April, 1970. p. 424.
- [22] *Osoba, J. S. et al.*: The Log. Analyst. Vol. XI. No. 3. p. 3.
- [23] *Pickett, G. R.*: The Log. Analyst. Vol. X. No. 3. p. 22.