

# A korszerű szelvényezési módszerek lehetőségei a hazai szénhidrogénkutatásban

MARKÓ LÁSZLÓ

*A tanulmány a korszerű radioaktív és laterolog szelvények felhasználásának egyik lehetséges módszerét mutatja be egy délföldi szénhidrogéntároló kútban.*

*A módszer két laterolog szonda kombinációjából meghatározza a főbb ellenálláspáramétereket, ill. a tároló víztelítettségének változását és a kapott értékek helyességét független módszerrel (neutron-gamma) porozitás értékkel ellenőrzi. A módszer megkönnyíti a laterolog szelvények felhasználását olyan esetekben, amikor az elárasztás mélységét pontosan megállapítani nem tudjuk.*

*Работа показывает один из возможных методов использования диаграммы бокового и радиоактивного каротажа в одной из нефтяных скважин южной части Большой Равнины.*

*Метод из комбинации двух зондов бокового каротажа определяет наиболее важные параметры сопротивления и изменение водонасыщенности коллектора и правильность полученных данных контролирует независимым методом (НГК) величинами пористости. Метод облегчает применение диаграмм бокового каротажа в таких случаях, когда глубина проникновения точно не может быть определена.*

*Der Artikel führt eine Methode der Verwendung von modernen Radioaktiv- und Laterolog-Messungen in einer kohlenwasserstoff-fündigen Bohrung in Südungarn vor. Es werden aus Kombination von zwei Laterologsonden die wichtigeren Widerstandsparameter bzw. der Verlauf der Wasser-sättigung des Speichers festgestellt und die ermittelten Werte mit Hilfe einer unabhängigen Messung (Neutron - Gamma) kontrolliert. Die Methode erleichtert die Anwendung der Laterologmessung in Fällen, wo die Tiefe der überfluteten Zone nicht festgestellt werden kann.*

A korszerű szelvényezési módszereknek a következő kérdésekre kell feleletet adniok:

- melyek az áteresztőképes szénhidrogéntároló rétegek;
- milyen azok víztelítettsége (olajtelítettsége);
- mekkora azok porozitása és áteresztőképessége.

A jelen tanulmányban vázolt módszer a korszerű laterolog és neutron szelvény együttes felhasználásának egyik lehetséges módját mutatja be egy délföldi kútban.

Az irodalmi adatok alapján (*Doll, Tixier*) tiszta és agyagos kőzetek víztelítettségére az alábbi kifejezést kapjuk:

$$S_w^2 = S_{x_0}^2 \frac{R_w}{R_{mf}} \left( \frac{R_{x_0}}{Rt} \right)^{1/2} \quad \dots (1)$$

A kiöblített zóna ellenállása helyett az elárasztott zóna ( $R_i$ ) ellenállását is használhatjuk, de ekkor  $R_{mf}$  helyett  $R_z$ -t kell használnunk.

$$R_z = \frac{Rm_f}{Z \frac{Rm_f}{R_w} + 1 - Z} \quad \dots (2)$$

$z$  – az ún. *keveredési tényező*. Értékét a porozítás közelítő ismeretében általában  $0,05 - 0,1$  között választjuk.

A fenti átalakítás után az (1) egyenlet a következőképpen alakul,

$$S_w^2 = S_{xi}^2 \frac{R_w}{R_z} \left( \frac{R_i}{R_l} \right)^{1/2} \quad \dots (3)$$

Az  $S_{ix}^2 \frac{R_w}{R_z}$  kifejezést egy adott szinttájon belül állandónak vesszük.

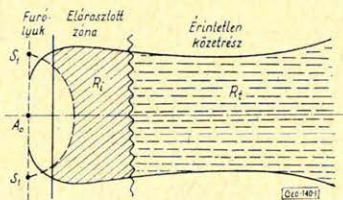
Az  $\frac{R_i}{R_l}$  értékét a laterolog szelvényekből határozzuk meg. Erre a célra

két lényegesen eltérő vizsgálati mélységű laterolog szondát használunk. Az egyik egy  $\frac{A_0 A_1}{A_0 0_1} = 5$  terjeszkedési viszony számú „*mélybehatolású*”, a másik egy  $\frac{A_0 A_1}{A_0 0_1} = 2,5$  terjeszkedési  $v$  viszonyszámú és  $0,2 m$  kiinduló árampászma vastagságú „*optimális*” laterolog szonda, amely jóval kisebb behatolási mélységű.

Mivel a laterolog áramtérben a mérendő  $R_i$  és  $R_l$  ellenállások sorban kapcsolva jelentkeznek (1. ábra), a laterolog látszólagos ellenállása és a mérendő kőzetellenállások között igen egyszerű közelítő összefüggés írható fel:

$$R_L = [1 - \sigma_{D/2}] R_i + \sigma_{D/2} R_l \quad \dots (4)$$

A képletben szereplő  $\sigma_{D/2}$  a sugár irányú potenciál függvény értékét jelöli az elárasztott zóna határán ( $D/2$  helyen).



1. ábra

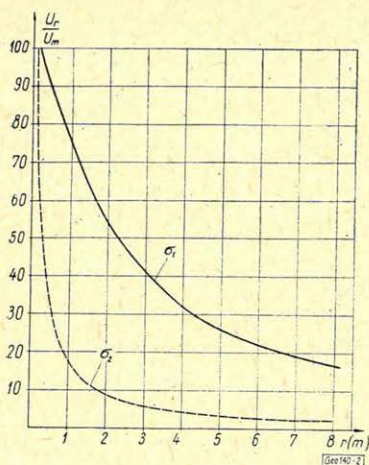
Mint ismeretes a laterolog szonda radiális potenciál függvénye

$$\sigma = \frac{U_r}{U_m} \quad \dots (5)$$

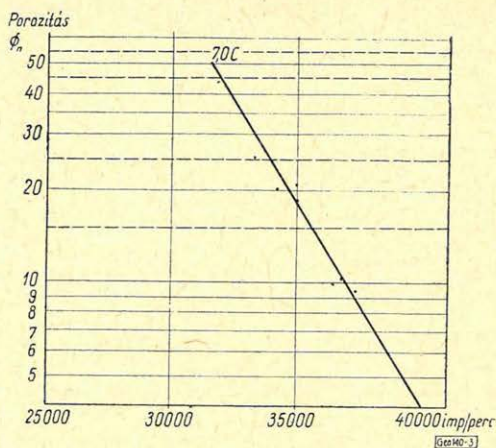
a lyuk sugara irányába ( $r$ ) eső bármely pontra megadja a pontbeli potenciálnak ( $U_r$ ) a teljes mért potenciálhoz ( $U_m$ ) viszonyított értékét.

Inhomogén térben a  $\sigma$  függvényt igen nehéz pontosan leírni. De feltételezve, hogy az áramvonalak a laterolog térben még inhomogenitás esetén sem módosulnak nagymértékben, a (4) közelítő képlet felírásánál  $\sigma$ -nak a homogén térre érvényes alakját használhatjuk.

A 2. ábrán a módszerünkben alkalmazott mélybehatolású laterolog



2. ábra



3. ábra

( $\sigma_1$ ) és a 20 cm-es optimális laterolog ( $\sigma_2$ ) homogén térre levezetett radiális potenciál függvényét látjuk, melyből bármely elárasztási mélység esetén megkaphatjuk az elárasztott zóna határán a  $\sigma_{1(D/2)}$  és  $\sigma_{2(D/2)}$  közelítő értékét.

Ha a (4) egyenletet mindkét szondára felírjuk és kifejezzük belőlük az  $\frac{R_i}{R_t}$  a következőt kapjuk:

$$\frac{R_i}{R_t} = \frac{\sigma_{1(D/2)} - \sigma_{2(D/2)} \frac{R_1}{R_2}}{[1 - \sigma_{2(D/2)}] \frac{R_1}{R_2} - 1 - \sigma_{1(D/2)}} \quad \dots (6)$$

ahol  $R_1$ : a mélybehatolású laterolog lyukhatásra korrigált értéke.

$R_2$ : a 20 cm-es optimális szonda lyukhatásra korrigált értéke.

$\sigma_{1(D/2)}$ : a mélybehatolású szonda potenciál elosztási függvényének értéke az elárasztott zóna határán

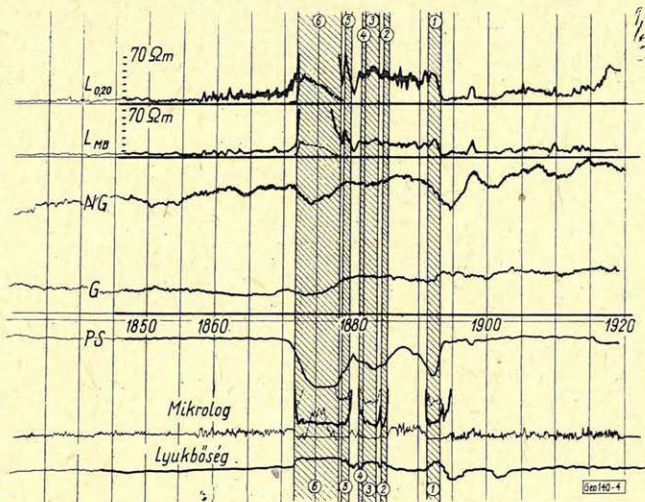
$\sigma_{2(D/2)}$ : a 20 cm-es optimális laterolog szonda potenciál elosztási függvényének értéke az elárasztott zóna határán.

Az  $\frac{R_i}{R_t}$  értékének megoldása annál jobb, minél jobban különbözik a  $\sigma_1$  a  $\sigma_2$ -től. Ezért választottuk a 20 cm-es optimális, illetve a mélybehatolású laterolog szonda kombinációját.

Az elárasztott zóna sugarát ( $D/2$ )-t vagy a konvencionális szelvények alapján határozzuk meg, vagy a porozitás közelítő értékének ismeretében Pirson szerinti empirikus adatok alapján választjuk meg:

$$\begin{array}{ll} \emptyset = 20\% & Di = 2 d \\ \emptyset = 15-20\% & Di = 3 d \\ \emptyset = 10-15\% & Di = 5 d \end{array}$$

Természetesen a feltételezett  $Di$  értékek, az iszap és a tároló sajátságoktól függően, esetleg jelentősen eltérhetnek a ténylegestől, ezért a későbbiekben ismertetett módon azokat ellenőriznünk kell.



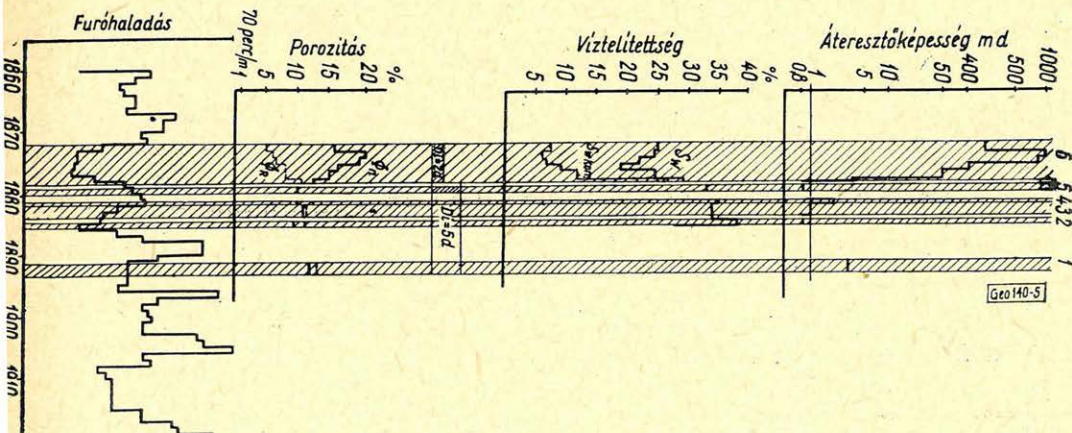
4. ábra

A porozitás értékét a kontakt típusú szelvények alapján (mikrolog, mikro- laterolog), illetve a neutron szelvényekből kaphatjuk meg. A szanki területen erre a célra neutron szelvényt szoktuk általában használni, kivéve azokat az eseteket, amikor a nagynyomású gázos rétegekben a neutron-szelvényt a gáz jelenléte is befolyásolja.

A neutron szelvényt ilyen célból általában úgy használjuk fel, hogy korábban lefúrt kutakban a magporozításokat a neutronkitérések függvényében ábrázoljuk és így a 3. ábrán látható neutron-porozitás diagramot kapjuk.

A vizsgálatunk tárgyát képező lyukszakasz szelvényeit a 4. ábrán látjuk.

A neutron szelvény és a magkorreláción alapuló diagram segítségével kaptuk az 5. ábrán a  $\Phi_n$  neutron-porozitás görbét, amelyen látjuk, hogy az 1–5 réteg-



5. ábra

szakaszok porozitása 10–15% között, a 6 szakaszé pedig 15–21% között van. Ezért az 1–5 szakaszokon  $5d$ , a 6 szakaszon  $2d$  elárasztási mélységet tételeztünk fel az  $\frac{R_i}{R_l}$ -nek a (3) egyenlet alapján való kiszámításánál.

Az így kapott  $\frac{R_i}{R_l}$ -ket a (2) egyenletbe téve az 5. ábrán a víztelítettség változását kifejező  $S_w$  görbét kapjuk.

Megjegyezzük, hogy a Szank-3 magfúrásai alapján  $S_{xi}^2$ -t 0,85-nek (MO = 7,5%), az  $R_w$ -t vízanalízisekből 0,13-nak és az  $R_z$  kiszámításánál  $z$ -t 0,075-nek vettük. A filtrátum ellenállása az iszapellenállásból 1,7 ohm volt.

A fenti  $S_w$  görbéből azt látjuk, hogy a víztelítettségek 40% alatt vannak, tehát az egész szakaszt szénhidrogéntárolónak tekinthetjük.

Az ilyen viszonymódszereknek, mint ennek is, legnagyobb korlátozott-sága az, hogy az általuk kapott víztelítettség helyessége nagymértékben függ attól, hogy a feltételezett elárasztási átmérő közelíti meg a valóságos helyzetet, mert ez szabja meg az  $\frac{R_i}{R_l}$  viszony helyességét.

Ezért az általuk kapott víztelítettségeket feltétlenül le kell ellenőriznünk. Módszerünkben, amely a laterologok és a neutron szelvények kombinatív felhasználásán alapszik, erre a neutron-porozitások adnak lehetőséget.

Ha a kapott víztelítettségekkel az ismert képletből kiszámíthatjuk az  $F$  formációtényező értékét. Ezt felhasználjuk a  $\Phi$  porozitás kiszámítására, a *Humble-formula* alapján, a különböző rétegekre ellenállás-porozitásokat ( $\Phi_R$ ) kapunk.

Az ellenállásból számított  $\Phi_R$  értékeket ábrázolja a mélység függvényében az 5. ábra  $\Phi_R$  görbéje. A  $\Phi_n$  és a  $\Phi_R$  görbe lehetőséget nyújt a feltételezett elárasztási mélységek és a számított víztelítettségek helyességének ellenőrzésére.

Példánk esetében látjuk, hogy az 1–5 szinteken a neutronból és az ellenállásból kapott porozitások közel megegyeznek egymással. A 6. sz. szakaszon azonban igen markáns eltérés van  $\Phi_n$  és  $\Phi_R$  között. Ebből következik, hogy az 1–5 szakaszon a számított víztelítettségek jól megközelítik a valóságos értékeket, a 6. sz. szakaszon azonban erősen eltérnek a helyes értéktől. Ez egyszerűen azt is jelenti, hogy az 1–5 szakaszra feltételezett elárasztási mélység ( $Di = 5d$ ) helyes volt, míg a 6. sz. szakaszon nem.

Azt látjuk, hogy a számított porozitás a 6. sz. szakaszon túl kicsiny, vagyis a számított formációfaktor túl nagy, a víztelítettség is túl nagy.

Ilyenkor az előző egyenletek kombinációjából kifejezzük  $F$ -et:

$$F = \frac{S_{xi}^2}{R_z} \cdot R_l \left( \frac{R_l}{R_i} \right)^{1/2} \dots (7)$$

Ebből a képletből megállapítható, hogy  $F$  csak akkor lehet túl nagy, ha a számításoknál használt  $R_i$  nagyobb a ténylegesnél.

Ez a jelen esetben, amikor csökkentő elárasztás áll fenn, csak akkor lehet így, ha a tényleges elárasztás kisebb a feltételezettnél. Vagyis az elárasztás ezen a felső tároló szakaszon rendkívül kicsiny, ami a permeabilitás erős megemelkedésére utal.

Ha megállapítottuk azt, hogy a víztelítettség az  $R_i$  rendkívül nagy értéke miatt magasabb a ténylegesnél, világos, hogy  $R_i$ -re kell elfogadható értéket kapni. Ez pedig úgy történik, hogy a neutron-porozitásból a *Humble-formulával*: kapott  $F$  felhasználásával az

$$R_i = \frac{F \cdot R_z}{S_{xi}^2} \quad \dots (8)$$

képletből kiszámítjuk  $R_i$  közelítő, de a valósághoz közelebb álló értékeit, és ezt felhasználva megkapjuk a korrigált helyesebb víztelítettségeket ( $Sw$  korr. görbe). A tapadó víz százalék és a porozitás ismeretében az abszolút permeabilitás is kiszámítható. Jelen esetben a tároló felső szakaszára kapott igen kis víztelítettségek biztosan a tapadóvizet adják. Az 1–6 a szakaszra szintén feltételezzük, hogy a kapott víztelítettségek tapadóvíz értékek, és mozgásképes víz nincs. Ezt a feltételezést két dologra alapozzuk.

Az egyik az, hogy az egyik közeli kútban (Szk–8.) a vizsgált tároló aljával kb. azonos szerkezeti helyzetből még vízmentes olajat kaptunk.

A másik az, hogy a homokkövek 40% víztelítettség alatt általában tiszta szénhidrogént termelnek, vagyis a 40%-nál kisebb víztelítettségeket tapadóvíztelítettség értékeknek vehetjük.

Ilyen feltételezések mellett az áteresztőképesség közelítő értékét az alábbi empirikus formulából számítottuk ki.

$$K \frac{1}{2} = 250 \frac{\Phi^3}{Sw_i} \quad \dots (9)$$

ahol  $Sw_i$  a tapadóvíztelítettség. Így kaptuk a legfelső görbét, amely az áteresztőképesség változását mutatja. A víztelítettség, porozitás és áteresztőképesség ismeretében jó becslést végezhetünk a várható termelvényre. Felmerülhet az a kérdés, hogy ha ismerjük a porozitást és vízellenállást, akkor miért nem használjuk az *Archie-formulát* közvetlenül a víztelítettség kiszámítására? Ennek több oka van. Először is, a laterolog szelvények általában csak akkor adják  $R_i$ -t, ha az elárasztás mélységét ismerjük. Ennél a módszernél az elárasztás mélységét elégséges csak feltételeznünk, hisz a független porozitás adat ennek helyességét úgyszintén ellenőrzi. Ha a független adatból nyert porozitás értéket közvetlenül felhasználnánk az Archie-formulában, nem maradna lehetőség a feltételezett elárasztás és a kapott  $R_i$ , valamint a számított víztelítettség helyességének porozitás alapon való ellenőrzésére.

Nagyon jól felhasználhatók ebben a komplexumban a konvencionális szelvények is. Ugyanis a rövid és hosszú normál szelvény a nem túl vékony rétegekben különböző feltételezett elárasztási mélységek mellett  $\frac{R_i}{R_t}$  értékeket ad, és ugyanilyen feltételezett elárasztások mellett a laterolog szelvényből ugyancsak megkaphatjuk  $\frac{R_i}{R_t}$  változásainak menetét. A két görbe metszése támpontot nyújt a rétegre jellemző  $\frac{R_i}{R_t}$  és az elárasztási mélység nagyságára.

Végül ezen módszer alkalmazásával az értelmező a terület sajátosságainak legjobban megfelelő laterolog kombinációkat alkalmazhatja, és nincs kötve a rendelkezésre álló interpretációs görbeseregekhez. Természetesen a homogén térre vonatkozó függvényeket a választott szondákra ismernie kell. Ennek levezetése azonban a

$$\sigma = \frac{K}{4\pi} \left( \frac{1}{r} + \frac{2n}{(r^2 + b^2)^{1/2}} \right) \quad \dots (10)$$

képlet alapján igen egyszerű.

Ahol  $K$  = a laterolog szonda állandója

$r$  = a radiális távolság

$n$  = a terelőáram és a mérőáram viszonya, amely  $\frac{A_0 A_1}{A_0 O_1}$  viszony

függvénye.

$b = A_0 A_1$

Végül szeretném kifejezésre juttatni, hogy a szelvényértelmezés és a magvizsgálati adatok együttes felhasználása további előrehaladást jelenthet a formáció kiértékelésében.

A magokon végzett mérések, a porozitáson és áteresztőképességen kívül, a redukálhatatlan víztelítettséget ( $Swi$ -t) is megadják.  $Swi$  ismeretében kiszámítható az a kritikus ellenállásérték

$$R_k = \frac{F \cdot R_u}{Swi^2} \quad \dots (11)$$

amelynél magasabb ellenállások mellett a tárolóból vízmentes termelés kapható. Ezen adat ismeretének jelentőségét, úgy gondolom, nem kell hangsúlyozni.

Sajnos, ennek a viszonylag egyszerű elgondolásnak jelenleg az a legfontosabb akadálya, hogy a magvizsgálati eredmények az értelmezés időpontjában általában nem állnak rendelkezésre.