

A LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATOK SZEREPE A KONVENCIONÁLIS ÉS NEM-KONVENCIONÁLIS SZÉNHIDROGÉN ELŐFORDULÁSOK HATÉKONY KITERMELÉSÉBEN

BÓDI TIBOR¹, TÓTH JÁNOS²

Bevezetés

A Miskolci Egyetem Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézetében az elmúlt években számos laboratóriumi vizsgálatot végeztünk el, mind a meglévő olajtelepek kihozatali tényezőinek növelését célzó eljárások fejlesztése, mind az úgynevezett nem-konvencionális szénhidrogén előfordulások kitermelési technológiáját megalapozó kutatások során. Ezek a vizsgálatok rávilágítottak arra, hogy a laboratóriumban elvégezhető speciális közetfizikai vizsgálatok (pórusméret eloszlás, kapilláris nyomás, relatív permeabilitás), illetve a növelt hatékonyságú eljárások laboratóriumi modellezését szolgáló kiszorítási vizsgálatok nélkülözhetetlenek a föld alatti porózus/permeabilis szerkezetben lejátszódó folyamatok megértésében

Előadásunkban az elmúlt években elvégzett laboratóriumi vizsgálatokra alapozva minta példákon keresztül néhány speciális laboratóriumi vizsgálat (pórusméret eloszlás, kiszorítási vizsgálatok, nedvesítési tulajdonságok) eredményeinek felhasználására mutatunk be módszereket, eljárásokat. E módszerek alkalmazása nagyban hozzájárul mind a nem-konvencionális szénhidrogén előfordulások értékeléséhez, mind a már ismert szénhidrogén előfordulások a kihozatali tényezőjének növeléséhez

1. Relatív permeabilitás- és relatív permeabilitás-arány függvények lineáris változó áramlásra (kiszorítási-, fáziscsere folyamatra)

A lineáris L hosszú A keresztmetszetű és V_p pórustérfogatú hengeres közetmag kiszorítandó fluidum (akár olaj, akár víz) telítettsége kezdetben S_{ki} , a kiszorító fluidumé pedig S_{ai} , és $S_{ki}+S_{ai}=1$. A k -jelű fluidum kiszorítása d -jelű fluidummal történhet $\Delta p=áll.$, vagy $q_i=áll.$ esetekben, amikor is q_i , vagy Δp változik a **kiszorítási folyamat** során (t időben). A kiszorítási folyamat leírása alább részletezett egyenletekkel történik, amely egyenletek több célra is felhasználhatók:

¹ Bódi Tibor
igazgató, Miskolci Egyetem Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet, 3515 Miskolc-Egyetemváros,
Pf.: 2., bodit@afki.hu

² Tóth János
tudományos tanácsadó, Miskolci Egyetem Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet, 3515 Miskolc-
Egyetemváros, Pf.: 2., toth@afki.hu

- a kiszorítási folyamat analitikus leírása,
- a fluidumcserét meghatározó relatív permeabilitás- és permeabilitás-arány függvények meghatározása,
- olajnak vízzel, vagy olajjal nem elegyedő fluidummal (például vízzeloldható vegyszerek) történő kiszorítás hatásosságának vizsgálata,
- vízkiszorításos olajtelep művelésnél az olajtermelő kutak síkradiális áramlási rendszerére felírt összefüggésekkel a kút-gyűjtőterület rezervoármechanikai vizsgálata.

Mind $\Delta p = \text{áll.}$, mind $q_i = \text{áll.}$ esetekben az áttörés pillanatától vett nagyobb időknél, $t \geq t_a$ a jellemző **lineáris kiszorítási egyenlet**, amely a beszajtott és kitermelt fluidumok kumulatív térfogataik között analitikus kapcsolatot határoz meg:

$$V_i(t)/V_k = a + b(V_i(t)/V_p) \quad (1)$$

ahol $a = f_{kf} - I \cdot f_{df}$, és $b = I / (S_{dmax} - S_{di})$,

f_{kf} , f_{df} - áttörés pillanatában a kiszorított és kiszorító fluidum hányada,

S_{dmax} - végtelen ideig tartó kiszorításnál elért maximális kiszorító fluidum telítettség,

S_{di} - a kiszorítás kezdetén a közetmag kiszorító fluidum telítettsége.

$\Delta p = \text{áll.}$ esetű kiszorításnál a kiszorító fluidum kumulatív térfogatának időbeli változását az alábbi összefüggés írja le:

$$V_i(t) = a_2 t^{b_2} \quad (2)$$

A kiszorító és kiszorított fluidumok mozgékonyságának összegét az alábbiak kifejezéssel határozhatjuk meg:

$$Y(S_{d2}) = \left[La_2 b_2^2 \left(\frac{V_p}{a_2} \right)^{\left(1 - \frac{1}{b_2}\right)} \right] / (\Delta p k A (2b_2 - 1)) \cdot \left(\frac{V_i(t)}{V_p} \right)^{\left(1 - \frac{1}{b_2}\right)} \dots \quad (3)$$

$q_i = \text{áll.}$ kiszorítás esetében pedig a depresszió időbeli változása, $t \geq t_a$ időkre:

$$\Delta p(t) = a_1 \left(V_i(t) / V_p \right)^{b_1} \quad (4)$$

A kiszorító és kiszorított fluidumok mozgékonysága összegének összefüggése ebben az esetben az alábbiak szerint írható fel:

$$Y(S_{d2}) = \frac{q_i L}{k A (1 - b_1)} \cdot 1 / \left[a_1 \left(\frac{V_i(t)}{V_p} \right)^{b_1} \right] \quad (5)$$

A relatív permeabilitás függvények meghatározása $\Delta p = \text{áll.}$ esetben ismert μ_d kiszorított és μ_k kiszorító fluidum viszkozitásánál az alábbiak szerint történik:

- az f_k és f_d a fluidum-hányad értékeit az (1) egyenletből kiindulva a következőképpen határozzuk meg:

$$f_k = q_k/q_i = a/[a + b(V_i(t)/V_p)]^2 \quad \text{és} \quad f_d = 1 - f_k, \quad (6)$$

- az $Y(S_{d2})$ függvény értékeit $\Delta p = \text{áll.}$ esetben (1)-(2)-(3), $q_i = \text{áll.}$ esetben pedig (1, 4, 5) egyenletekből,
- a kiszorító fluidum telítettsége az un. kilépő szelvényben (1) egyenletet felhasználva mindkét esetben az alábbi összefüggésből határozható meg:

$$S_{d2} = S_{di} + b(\overline{S_d} - S_{di})^2 = S_{di} + b \cdot \left[\frac{V_i(t)/V_p}{a + b(V_i(t)/V_p)} \right]^2 \quad (7)$$

- így a relatív permeabilitás arány az $Y(S_{d2})$ és a (7) egyenlet összevonásával kapjuk:

$$k_{rd}/k_{rk} = \mu_d/\mu_k \cdot \left[\frac{a}{(1 - \sqrt{b(S_{d2} - S_{di})})^2} - 1 \right]. \quad (8)$$

- míg az adott esetre vonatkozó (1)-(8) egyenletek összevonásával felírható a kiszorított fluidum relatív permeabilitása:

$\Delta p = \text{áll.}$ esetben

$$k_{rk} = \frac{\mu_k L a_2 b_2^2 \left(\frac{V_p}{a_2} \right)^{\left(1 - \frac{1}{b_2}\right)}}{a \Delta p k A (2b_2 - 1)} \left[1 - \sqrt{b(S_{d2} - S_{di})} \right]^{\left(1 + \frac{1}{b_2}\right)} \cdot \left[\frac{a}{b^2} \sqrt{b(S_{d2} - S_{di})} \right]^{\left(1 - \frac{1}{b_2}\right)}, \quad (9)$$

$q_i = \text{áll.}$ esetben pedig

$$k_{rk} = \frac{\mu_k q_i L}{a^{(1+b_1)} k A a_1 (1-b_1)} \left\{ \left[\left[1 - \sqrt{b(S_{d2} - S_{di})} \right]^{(2+b_1)} \right] / \left[\sqrt{\frac{(S_{d2} - S_{di})}{b}} \right]^{b_1} \right\} \quad (10)$$

és mindkét esetben

$$k_{rd} = (k_{rd}/k_{rk}) \cdot k_{rk}. \quad (11)$$

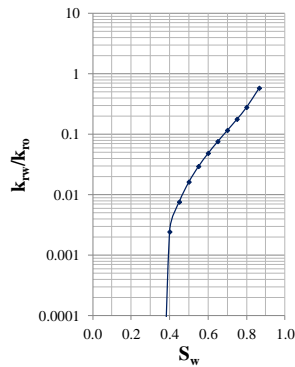
Végeredményben tehát kiszorítási kísérlettel meghatározzuk az un. kiszorítási egyenlet **a** és **b** paraméterét ((1) egyenlet kiegészítve az (2), vagy (4) un. áramlási egyenletek paramétereivel és ismerve az közetmag alap paramétereit az (8), (9), vagy (10) egyenletekkel analitikusan számítható a relatív permeabilitás a két fluidumra, ill. azok aránya (11). Terjedelmi okokból az alábbiakban előzőekben ismertetett módszer két alkalmazását mutatjuk be.

1.1 Relatív permeabilitás- és permeabilitás-arány függvények meghatározása. Az 1 ábrán egy $L=5.67$ cm, $A=11.95$ cm², $V_p=12.79$ cm³ közetmintán kiszorítási vizsgálatot végeztünk. A $k=0.0226$ D vízpermeabilitású mag kezdeti víztelítettsége $S_{w0}=1$ volt, amelyből $\mu_q = \mu_o = 2.215$ mPa.s viszkozitású olajjal szorítjuk ki a vizet ($\mu_k = \mu_w = 1.04$ mPa.s) $\Delta p = 3.5$ bar állandó depresszióval.

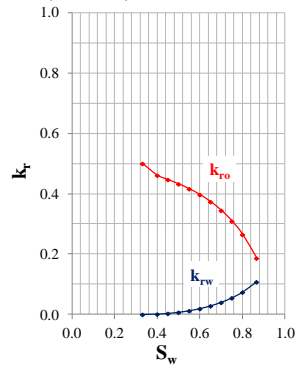
A kiszorítási egyenlet paraméterei: **a**=0.552069, **b**=1.493923, míg a kiszorító fluidum kumulatív térfogatának időbeli változását leíró egyenlet paraméterei **a**₂=0,0263300, **b**₂=1.036056-nak adódtak.

Mivel $S_{di}=S_{oi}=0$, ezért $(S_{df}-S_{di})=(S_{of}-S_{oi})=((1-a)^2/b=0.1343$ és $(S_{dmax}-S_{di})=(S_{omax}-S_{oi})=1/b=0.6694$, tehát e két telítettség érték közötti tartományban határozható meg a relatív permeabilitás arány- és a relatív permeabilitás-függvény.

A relatív permeabilitás arány a $k_{rd}/k_{rk}=k_{ro}/k_{rw}=2.215/1.04 \cdot (0.552069/(1-(1.493923 \cdot (S_o-S_{oi}))^{0.5})^2-1)$ egyenlettel (1. ábra), míg vízre, illetve olajra vonatkozó relatív permeabilitás a $k_{rk}=k_{rw}=0.3744875 \cdot (1-(1.493923 \cdot (S_o-S_{oi}))^{0.5})^{1.9652} \cdot (0.247364 \cdot (1.493923 \cdot (S_o-S_{oi}))^{0.5})^{0.0348}$, illetve a $k_{rd}=k_{ro}=(k_{ro}/k_{rw})k_{rw}$ összefüggésekkel számítható (2. ábra).

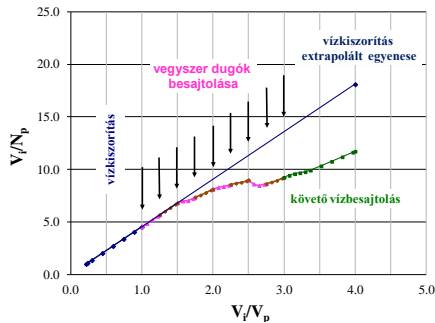


1. ábra

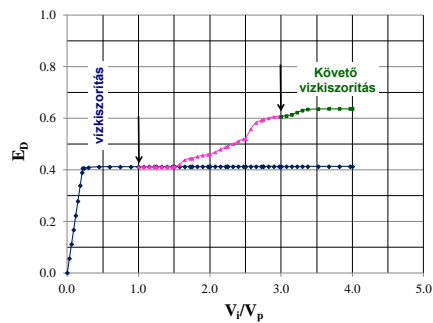


2. ábra

1.2 Olaj kiszorítása vízzel és olajjal nem elegendő fluidummal (például vízdoldható vegyszerek), a kiszorítás hatásosságának vizsgálata. A 3. ábrán mutatjuk be az 1 V_p -nyi vízkiszorítást követő több dugóban besajtolt tenzides-polimeres olajkiszorítást (2 V_p), majd 1 V_p -nyi követő vízbesajtolás **kiszorítási függvényét**, ennek alapján pedig a vízkiszorításhoz viszonyított un. többlet kihozatal függvényét (4. ábra) is felrajzolhatjuk (a végső érték $\Delta E_D=0.2243$ a vizsgált magon).



3. ábra



4. ábra

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.