

# Suvremeni software K & N korelacije za stvaranje krivulja kapilarnog tlaka pri različitim uvjetima močivosti

M. K. Zahoor, M. N. Derahman, M. H. Yunan

STRUČNI ČLANAK

Uzorci jezgre dobiveni bušenjem obično nisu pravi pokazatelj stanja ležišta zbog prodora filtrata isplake. Prodor može izazvati promjene močivosti, što utječe na kapilarni tlak. Kako bi se dobili podaci o kapilarnome tlaku koji je stvaran pokazatelj ležišta, razvijen je set korelacija uz čiju se primjenu mogu generirati krivulje pri bilo kojoj močivosti ako su poznati laboratorijski podaci za svaki uvjet močivosti. Da bi se olakšala uporaba razvijenoga seta korelacija razvijen je i software koji se koristi posljednjim dostignućima programiranja u Visual Basicu.

*Ključne riječi:* kapilarni tlak, močivost, promjene močivosti, programiranje, software

## 1. Uvod

Eksperimentalni podaci za kapilarni tlak mogu se dobiti korištenjem Brooks and Corey<sup>1</sup> korelacije, koja se može prikazati kao:<sup>6, 1</sup>

$$P_c(S_{em}) = p_d S_{em}^{\frac{1}{\lambda}} \quad (1)$$

gdje je tlak praga ( $p_d$ ), tlak pri kojem jedna tekućina počinje istiskivati drugu, a efektivno zasićenje mobilnom fazom ( $S_{em}$ ) za proces drenaže može se prikazati kao:

$$S_{em} = \frac{S_{mphase1} - S_{mphase1}}{1 - S_{mphase2} - S_{mphase1}} \quad (2)$$

proces upijanja može se prikazati kao:

$$S_{em} = \frac{S_{mphase1} - S_{smphase1}}{1 - S_{mphase2}} \quad (3)$$

Odabir faze 1 i 2 ovisi o tome za koju je fazu potrebno generirati krivulju kapilarnoga tlaka (u ovoj je studiji kao faza 1 uzeta nafta).

## 2. Korelacija za procjenu kapilarnoga tlaka

Korelacija Khurram i Navi (K&N) modificirana je kako bi se prevladalo ograničenje prema kojem bi trebalo znati podatke za kapilarni tlak pri potpuno ili jako hidrofilnim uvjetima ( $\theta = 0^\circ$ ). Za predviđanje kapilarnog tlaka pri bilo kojim uvjetima močivosti koristi se korelacija K & N u modificiranu obliku i može se prikazati kao:<sup>6</sup>

$$P_{c,est} = p_{d,b,c} (S_{em})^{-\frac{1}{\lambda}} \pm k_1 (\Delta\theta) \cdot p_{d,b,c} \cdot (S_{em})^{-\frac{1}{\lambda}} \quad (4)$$

Pritom je  $p_{d,b,c}$  tlak istiskivanja za osnovni model koji se određuje eksperimentalno za bilo koju poznatu močivost. To se najbolje može postići primjenom Amott-Harveyeva testa ili USBM metode.<sup>1,3,7</sup> Konstanta je  $k_1$ , koja obično iznosi  $1,24 \times 10^{-4}$ , a  $\Delta\theta$  predstavlja

apsolutnu razliku uvjeta močivosti kuta kontakta za osnovni model i uvjeta pri kojima treba dobiti podatke kapilarnog tlaka. Kut kontakta za osnovni model u razvijenoj korelaciji dobiva se pomoću eksperimentiranja (testovi istiskivanja<sup>1,3</sup>), a zatim korištenjem sljedeće transformacije:

$$\theta = \cos^{-1}(W.I.) \quad (5)$$

Općenito, dogovoreni predznak za procjenu korelacije kapilarnog tlaka (jedn. 4) bit će pozitivan ako je istisnuta močiva faza u porastu. Odabir učinkovite zasićenosti mobilne faze, kao što je prikazano u jednadžbama (2) i (3), treba uvrstiti u jednadžbu (4) radi procjene kapilarnoga tlaka, ovisi o fazi<sup>6</sup> protjecanja koja se pojavljuje (ovisi o zasićenju istisnute faze) za vrijeme procesa istiskivanja.

## 3. Suvremeni software za određivanje kapilarnoga tlaka

Za generiranje krivulja koje se koriste razvijenim setom K & N korelacija u vremenski učinkovitoj metodi razvijen je software uz primjenu Visual Basica. Razvijeni suvremeni software može generirati  $P_c$  podatke, a daje i mogućnost izvoza dobivenih rezultata u obliku koji se može pokrenuti korištenjem bilo koje dobro poznate aplikacije, te ga se može unijeti "kakav jest" u bilo koji simulator ležišta za potrebe studija simulacija ležišta.

Potpuna promjena zasićenja podijeljena je u 20 intervala radi što veće točnosti pri programiranju. Tako maksimalna promjena zasićenja u svakome koraku može biti do 0,0526 ako je potpuna promjena zasićenja 1 u poraznoj mediju, što znači da je prisutna samo jedna faza prije istiskivanja. Također, u poroznom mediju nema rezidualnoga zasićenja na kraju procesa istiskivanja. Sastavljen je program koji omogućuje generiranje podataka kapilarnoga tlaka pri bilo kojim uvjetima močivosti u sekvencijskim koracima, što je

objašnjeno pomoću dijagrama toka na slici (1) te shemom softwera ( $P_c$  Estimator) prikazanoj na slici (2).

Slika 1 i 2 pokazuju da se korištenjem sljedećih eksperimentalnih podataka može generirati bilo koji broj krivulja:

- osnovni model močivosti;
- karakteristična konstanta;
- tlak istiskivanja osnovnog modela;
- minimalno i maksimalno zasićenje istisnute faze;
- početno ili rezidualno zasićenje druge faze ako je prisutna prije pokretanja procesa;
- početak različitih faza zasićenja.

Generirana krivulja kapilarnoga tlaka dobivena korištenjem softwera prikazana je na slici 3.

#### 4. Diskusija i zaključak

Programiranje je dobar način dobivanja kako jednokratnih rješenja tako i složenih rješenja, uza sve to pruža mogućnost ažuriranja koda kada su učinjene nove izmjene u korelacijama ili u algoritmima. Primjenom te metodologije mogu se dobiti podaci za kapilarni tlak pri bilo kojoj močivosti, uz korištenje eksperimentalnih podataka kao osnovnog modela. Na taj se način prevladavaju nedostaci uzrokovani zagađenjem jezgre. Generirani podaci mogu se koristiti kao ulazni podaci u bilo koji simulator ležišta radi poboljšanog simulacijskog usuglašavanja historijata proizvodnje, i to na temelju toga jesu li dostupni bolji podaci o močivosti i kapilarnom tlaku u ležištu.

#### Nazivlje

$P_c$	kapilarni tlak
$P_{c,est}$	procijenjeni kapilarni tlak
$p_d$	tlak istiskivanja
$p_{d,b.c}$	osnovni slučaj tlaka istiskivanja
$S_{em}$	efektivno zasićenje pokretljivom fazom
$S_{mphase1}$	zasićenje pokretljivom fazom 1
$S_{mpphase1}$	preostalo zasićenje fluidom 1
$S_{mpphase2}$	preostalo zasićenje fluidom 2
$W.I.$	indeks močivosti
$\theta$	kut kontakta
$\lambda$	konstanta svojstva (karakteristike)



Authors:

**Muhammad Khurram Zahoor**  
**Mohd. Nawī Derahman**  
**Mat Hussin Yunan**

UDK: 550.8 : 553.98 : 622.276.43 : 004.4

550.8 geološka istraživanja  
 553.98 ležišta nafte i plina  
 622.276.43 pridobivanje nafte i plina, vlaženje, kapilarni tlak  
 004.4 računalno programiranje, program