Skisse til løsning
Eksamen i Reservoarteknikk 1
27. mai, 1998

Oppgave 1

a) Størrelsen p_c er kapillartrykket, forskjellen i trykk mellom to faser over en krummet overflate mellom de to fasene; σ er overflatespenningen; R_1 og R_2 er hovedkrumningsradiene til overflaten. Dersom en ikke-fuktende fase presses inn i det porøse mediet så vil overflaten mellom de to fasene stadig krumme mer nå den presses inn i mindre porer. Da minker krumningsradiene, kapillartrykket øker, og metningen av fortrengende fase øker.

b) Se øvingsoppgave eller en standard bok i reservoarteknikk, f.eks. Dake's første bok, p. 347.

c) Fuktpreferansen uttrykker hvilket av to fluid som fukter bergarten og kvantifiseres med kontaktvinkelen. Dersom en dråpe av det tyngste fluid ligger på en bergartsflate regnes kontaktvinkelen som vinkelen som tangenten til fluid-fluid overflaten danner med bergartsflaten i et vertikalt snitt, regnet gjennom denne tyngste fasen. Er det tyngste fluidet ikke-fuktende, så vil kontaktvinkelen være større enn $\pi/2$.

d) Darcy hastigheten u er lik volumraten q delt på totaltverrsnittet A. Hastigheten v i Poiseuille's ligning er volumraten som strømmer i røret delt på tverrsnittet av røret, altså midlere hastighet i røret.

Dersom porekanalene består av et antall n rette rør med samme radius r, så vil et volum fluid qt injisert i tiden t fylle et like stort porevolum, V_p. Fluidet vil da ha kommet en lengde $L = vt$ inn i rørene. Dermed er (fra Darcy) $V_p = qt = uAt$ og (fra Poiseille) $V_p = AL\phi = A(vt)\phi$. Dermed blir $v = u/\phi$ og dermed følger at k/ϕ kan tilnærmes med $r^2/8$.

e) Følger direkte av å kombinere svarene på spørsmål b) og d). Uttrykket er imidlertid "utledet" ved hjelp av en meget enkel modell av porenettverket og må verifiseres eksperimentelt, som det også har vært gjort.

Siden J er dimensjonsløs kan en bruke et hvilket som helst konsistent sett av enheter, f.eks. SI-enheter

f) Det frie vannivå er det dyp hvor kapillartrykket (mellom vann og olje) er lik null. Selv om permeabiliteten og porøsiteten skulle variere over reservoarets utstrekning, er denne dybden konstant, forutsatt at det ikke er bevegelse i vannsonen.

g) Se forelesningene eller en standard lærebok i reservoarteknikk.

h) For olje-vann får vi,

$$
\begin{aligned}
p_c &= J\sigma\cos\theta\sqrt{\phi/k} \\
&= J\times 30\times 10^{-3}\times 0.819\sqrt{0.2/1.974\times 10^{-13}}\mathrm{Pa} \\
&= 2.473\times 10^4 J(S_w)\mathrm{Pa}.
\end{aligned}
$$

Videre er $p_c(21\mathrm{m}) = 21\times 9.80\times(1050-850) = 41160.00$ Pa. Dermed blir $J(21\mathrm{m}) = 41160.00/2.473\times 10^4 = 1.66$, og $S_w(21\mathrm{m}) = 0.45$.

Gjennomfører nå samme type beregning for gass-olje og betrakter vannet som en del av oljen i denne tofase-betraktningen. Det er en rimelig antagelse siden begge kontaktvinklene er mindre enn 90°; derfor er vann fuktende fase i forhold til olje og olje er fuktende fase i forhold til gass. Vi kan altså betrakte oljen som helt omgitt av vann og gassen som helt omgitt av olje.

$$
\begin{aligned}
p_c &= J\sigma\cos\theta\sqrt{\phi/k} \\
&= J\times 5\times 10^{-3}\times 0.985\sqrt{0.2/1.974\times 10^{-13}}\mathrm{Pa} \\
&= 4.957\times 10^3 J(S_w)\mathrm{Pa}.
\end{aligned}
$$

Videre er kapillartrykket olje-gass, 1 meter over det frie olje-gass nivå, gitt ved $p_c(1\mathrm{m}) = 1\times 9.80\times(850-120) = 7154.00$ Pa. Dermed blir $J(1\mathrm{m}) = 7154.00/4.957\times 10^3 = 1.44$, og $S_L(1\mathrm{m}) = 0.55$, ved lineær interpolering i tabellen for J og med $S_L = S_o + S_w$. Dermed blir $S_o = 0.10$ og $S_g = 0.45$ ved en høyde på 21 meter over det frie vann-olje nivå.

i) Den samme J-funksjonen kan ikke uten videre brukes. Når vannet stiger, skifter prosessen fra det å ha vært en primær drenering til å bli imbibering. På grunn av hysterese er ikke de to tilhørende J-funksjonene nødvendigvis like.

Oppgave 2

a) Over kokepunktet er det ingen fri gass i reservoaret og all produsert olje kommer fra oljefasen.

b) $q_o'R'$ er lik total produksjonsrate til gassen, både fri og oppløst gass. q_oR_s er produksjonsrate til kun oppløst gass. Differansen $q_o'R' - q_oR_s$ er produksjonsraten av det som er fri gass i reservoaret. Denne gassen innholder oppløst olje, slik at $(q_o'R' - q_oR_s)r_s$ er raten av olje—olje som følger med produksjonen av fri gass fra reservoaret, og som felles ut som kondensat.

c) Ved bruk av oppgitte data fås, etter 15 års produksjon: G_iB_{gi}(MMrb): 627.179; F(MMstb): 2187.989; E_o(rb/stb): 0.2452; NE_o(MMrb): 735.60.

Merknad: R_p er ikke direkte oppgitt som G_p/N_p, så dersom en ikke husker denne definisjonen så kan en: (1) utlede uttrykket for F i ligning (6) i oppgaven, eller (2) ta sjansen på at når $R_p' = G_p/N_p'$ i tabell 5, og at justert N_p oppgis, så er det rimelig at $R_p = G_p/N_p$.

Med

$$E_{fw} = \frac{F - NE_o - GB_{gI}}{N},$$

blir E_{fw}(rb/stb): 0.2751, og med

$$c_f = \frac{E_{fw}(1 - S_{wc})}{B_{oi}\Delta p} - c_w S_w,$$

som gir c_f(1/psi$\times 10^{-6}$): 32.36.

d) Kompressibilitet er generelt definert ved

$$c_\alpha = \frac{1}{V_\alpha}\left(\frac{\partial V_\alpha}{\partial p}\right)_T,$$

hvor α er lik b for kompressibilitet av bulkvolumet og lik p (eller f) for kompressibilitet av porevolumet.

Ved sammenpressing av Ekofisk reservoaret vil endringen i bulkvolum være lik endringen i porevolum, $\Delta V_b = \Delta V_p$, (se Dake sin bok nr. 2, side 124, eller Amyx, Bass og Whiting, side 62). Da har vi

$$c_b V_b \Delta p = c_f V_p \Delta p,$$

eller $c_f = c_b/\phi$ med $c_b = (\Delta h/h)(1/\Delta p)$ når det bare er reservoarhøyden h som endres.

Da har vi

$$\frac{1}{\phi}\frac{\Delta h}{h}\frac{1}{p} = 32.36 \times 10^{-6},$$

som gir $\Delta h = 7.4$ft, som er av samme størrelsesorden som den innsynking av havbunnen som er observert.

Oppgave 3

a) Se forelesningene eller en standard bok i reservoarteknikk, f.eks. Dake sin første bok.

b) Se forelesningene eller en standard bok i reservoarteknikk, f.eks. Dake sin første bok.

c) Produksjonstiden før avstenging estimeres ved $t_p = N_p/q \times 24 = 810/1870 \times 24 = 10.4$ timer.

Dataene plottes i et Hornerplott og en finner at $m = 250.5$ psi/log cycle, og at $p_{1HR} = 6982$ psia. Verdien kan tas direkte fra tabellen, men en må sjekke at punktet ligger på den rette Horner-linjen - og det gjør det.

Vi har da at

$$k = 162.6\frac{Q\mu B}{mh} = 162.6\frac{1870 \times 0.226 \times 1.740}{250.5 \times 25} = 19 \text{ mD.}$$

I uttrykket for skinfaktoren brukes total kompressibilitet,

$$c = c_o S_o + c_w S_w + c_f = 19.25 \times 10^{-6}/\text{psi},$$

og vi får

$$\begin{aligned} S &= 1.151\left[\frac{6982 - 5500}{250.5} - \log\frac{19}{0.22 \times 0.226 \times 19.25 \times 10^{-6} \times 0.354^2} + 3.23\right] \\ &= 1.13. \end{aligned}$$