Skisse til løsning
Eksamen i Reservoarteknikk 1
6. juni, 2001

Oppgave 1

a) Se forelesningene.

b) Det frie vannivå inne i sanden er det samme som vann-luft overflaten ute i bøtten.

c) Fordi dette nivået er nullpunktet på høydeaksen for beregning av metningsfordelingen som funksjon av høyden i et reservoar. I likevekt er nivået det samme over hele reservoarets utstrekning selv om reservoaregenskapene som permeabilitet og porøsitet varierer.

Oppgave 2

a) Se forelesningene.

b) Vi har følgende to uttrykk for raten q,

$$q = \frac{k}{\mu} A \frac{\rho g (h(t) - h_b)}{\Delta l 1.01325 \cdot 10^6},$$

for raten gjennom kjerneprøven med vannhøydeforskjell $(h(t) - h_b)$ mellom innløp og utløp, og

$$q = -\frac{\mathrm{d}h}{\mathrm{d}t} A_r,$$

for tømmingen av sylinderen med vann. Disse to uttrykkene for q settes lik hverandre. Det gir en første ordens ordinær differensialligning for h som funksjon av t. En må bruke at $\int dh/h = \ln h$. Ved bruk av initialbetingelsen at $h = h_0$ når $t = 0$ så får vi oppgitt løsning.

Det må brukes at i SI-enheter så er $(\rho g h)$ i (kg/m^3· m/s^2· m) som er kg/(m s^2) som igjen er det samme som N/m^2 eller Pa. Dersom vi bruker $(\rho g h)$ i g/(cm s^2) så får vi en faktor 10 i forskjell, altså at $(\rho g h)$ i oppgitte enheter er lik 1013250 atmosfærer.

Oppgave 3

a) $R_s = \Delta V_{ogs}/\Delta V_{oos}$; $B_o = \Delta V_{or}/\Delta V_{oos}$; $B_g = \Delta V_{gr}/\Delta V_{ggs}$; $r_s = \Delta V_{gos}/\Delta V_{ggs}$.

Med ΔV_{os} definert som totalt oljevolum på overflaten, $\Delta V_{os} = \Delta V_{oos} + \Delta V_{gos}$ og ΔV_{gs} definert som totalt gassvolum på overflaten, $\Delta V_{gs} = \Delta V_{ggs} + \Delta V_{ogs}$ så er $R = \Delta V_{gs}/\Delta V_{os}$.

b) Se forelesningsnotatene.

La Q betegne volumrate ved overflateforhold og q volumrate ved reservoarforhold. Da er $R = Q_g/Q_o$, $Q_o = q_o/B_o$, $Q_g = Q_{gf} + Q_oR_s$, $Q_{gf} = q_{gf}/B_g$, hvor indeks f betyr fri slik at Q_{gf} er overflaterate av fri gassrate i reservoaret inn mot brønnen. Vi har da at $R = Q_{gf}/Q_o + R_s$, $Q_{gf}/Q_o = (q_{gf}B_o)/(B_gq_o) = (k_g\mu_oB_o)/(k_o\mu_gB_g)$ ved bruk av Darcy's lov inn mot brønnen, og dermed fås oppgitt uttrykk.

En annen måte å se det samme på er å starte med

$$R = \frac{\Delta V_{ggs} + \Delta V_{ogs}}{\Delta V_{oos} + \Delta V_{gos}} = \frac{\Delta V_{ggs}}{\Delta V_{oos}} + R_s = \frac{\Delta V_{gr}/B_g}{\Delta V_{or}/B_o} + R_s,$$

siden $\Delta V_{gos} = 0$, og videre er $\Delta V_{gr}/\Delta V_{or} = q_{gf}/q_o$ og dette forholdet er gitt av Darcy's lov igjen. Dermed fås samme svar som ovenfor. Vi merker oss også at $\alpha = \Delta V_{ggs}/\Delta V_{oos}$, se spørsmål c).

c) Vi bruker her at $q_o\Delta t = \Delta V_{or}$, $q_g\Delta t = \Delta V_{gr}$, $Q_o\Delta t = \Delta V_{os}$, $Q_g\Delta t = \Delta V_{gs}$, hvor q er reservoarrate, Q er overflaterate, Δt det lille tidssteget som Δ-volumene blir produsert over. Vi uttrykker overflatevolumene ΔV_{os} og ΔV_{gs} ved reservoarvolumene ΔV_{or} og ΔV_{gr} samt volumfaktorer og får

$$\begin{aligned}
\Delta V_{os} &= \Delta V_{gos} + \Delta V_{oos} = r_s\Delta V_{ggs} + \Delta V_{or}/B_o = r_s\Delta V_{gr}/B_g + \Delta V_{or}/B_o,\\
\Delta V_{gs} &= \Delta V_{ogs} + \Delta V_{ggs} = R_s\Delta V_{oos} + \Delta V_{gr}/B_g = R_s\Delta V_{or}/B_o + \Delta V_{gr}/B_g.
\end{aligned}$$

Dette er to ligninger med to ukjente som gir

$$\Delta V_{or} = \frac{\Delta V_{os} - r_s\Delta V_{gs}}{1 - r_sR_s}B_o,$$

og

$$\Delta V_{gr} = \frac{\Delta V_{gs} - R_s\Delta V_{os}}{1 - r_sR_s}B_g.$$

Vi deler disse to ligningene på hverandre og får

$$\frac{\Delta V_{gr}B_o}{\Delta V_{or}B_g} = \frac{\Delta V_{gs} - R_s\Delta V_{os}}{\Delta V_{os} - r_s\Delta V_{gs}},$$

og

$$\alpha = \frac{q_gB_o}{q_oB_g} = \frac{\Delta V_{gr}B_o}{\Delta V_{or}B_g} = \frac{R - R_s}{1 - r_sR}, \quad \text{eller} \quad R = \frac{\alpha + R_s}{1 + \alpha r_s}.$$

En annen måte å gjøre dette på er å bruke at

$$R = \frac{\Delta V_{ggs} + \Delta V_{ogs}}{\Delta V_{oos} + \Delta V_{gos}} = \frac{\dfrac{\Delta V_{ogs} + \Delta V_{ggs}}{\Delta V_{oos}}}{\dfrac{\Delta V_{oos} + \Delta V_{gos}}{\Delta V_{oos}}},$$

$$= \frac{\frac{\Delta V_{ogs}}{\Delta V_{oos}} + \frac{\Delta V_{ggs}}{\Delta V_{oos}}}{1 + \frac{\Delta V_{gos}}{\Delta V_{oos}}} = \frac{R_s + \alpha}{1 + \frac{\Delta V_{gos}}{\Delta V_{oos}} \frac{\Delta V_{ggs}}{\Delta V_{ggs}}} = \frac{\alpha + R_s}{1 + \alpha r_s}.$$

d) Over kokepunktstrykket er gassmetningen null og dermed er $k_{rg} = 0$ og $\alpha = 0$ slik at $R = R_s$. Under p_b, ved lavt reservoartrykk, er gassmetningen høy og α høy. Selv om både R_s og r_s minker noe med trykket vil α kunne bli meget stor (både μ_g og B_g er mye mindre enn 1) slik at $R \approx 1/r_s$.

Oppgave 4

For spørsmålene a) og b) vises det til forelesningsnotatene.

c1 og c2) Trykket p_{ws} plottes mot $\log \frac{t_p + \Delta t}{\Delta t}$ og extrapoleres til 3583 psia som er et estimat på initielt trykk. Stigningsforholdet fra plottet blir $m = 167$ psi/dekade. Dette gir en permeabilitet på 55 md.