

**Oppgave 1**

a) Vi foretar beregningen i Darcy-enheter: (cm, g, s, atm, D). Datumplanet legges ved vannoverflaten i karet. Potensialet ved  $h_v$  er lik datumpotensialet dersom vi ser bort fra vekten av luft. Vi antar at vannsøylen i røret over sanden er i gravitasjonslikevekt, altså at det ikke er noe viskøst trykkfall inne i røret over sanden. Da er trykket på toppen av sanden lik  $\rho_w g G (h_v - h_s)$  hvor  $\rho$  er tetthet av vann og  $G = 1/1.01325 \cdot 10^6$ . Potensialet på topp av sanden er lik trykket der pluss gravitasjonsleddet fra datumplanet og opp. Potensialforskjellen  $\Delta\Phi$  over sanden blir

$$\Delta\Phi = \rho_w g G h_v.$$

Potensialgradienten over sanden er  $\Delta\Phi/h_s$  og Darcy's lov gir

$$q = -\frac{kA}{\mu} \frac{\Delta\Phi}{h_s} = -\frac{kA}{\mu} \rho_w g G \frac{h_v}{h_s} \dots \dots \dots (1)$$

b) Materialbalanse på vannet i røret gir  $q = A dh_v/dt$ . Dette settes lik  $q$  fra ligning 1 og vi får,

$$\frac{dh_v}{dt} = -\frac{k}{\mu} \rho_w g G \frac{h_v}{h_s},$$

separasjon av variable og integrert blir dette

$$\frac{k}{\mu h_s} \rho_w g G \Delta t = \ln \frac{h_{v1}}{h_{v2}},$$

når vannivået faller fra  $h_{v1}$  til  $h_{v2}$  i løpet av  $\Delta t$ . Innsatt verdier gir dette

$$k = \frac{1.01325 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 5}{1 \cdot 980 \cdot 400} \ln \frac{100}{80} = 2.88 \text{ D.}$$

c) I ligning 1 må vi nå sette  $h_s = h_v$ . Dette gir en hastighet  $q/A = 0.002789$  cm/s og en tid på 20 cm på 7170 sekund. Vi har her antatt at irreduisibel vannmetning  $S_{iw}$  er lik null og neglisjert kapillartrykket. Tiden vil være proporsjonal med  $(1 - S_{iw})$  ved stempelfortrenging. Kapillartrykket vil gi en metningsprofil.

d) Skissen vil være lik en skisse av en standard kapillartrykkskurve for primær drenering hvor to karakteristiske trekk er terskeltrykket og irreduisibel vannmetning. Når røret sakte senkes vil vi få en imbibering av vann og metningene går over til å følge en imbiberingskurve for kapillartrykk. Den starter ved irreduisibel vannmetning og går til null kapillartrykk før metningen blir 1.

e) Uttrykket  $P_c = \Delta\rho gh$  er utledet i forelesningene. Høyden  $h$  går fra den frie vannivå (Free Water Level, FWL). For ukomplettete brønner kan FWL bestemmes fra trykkmålinger med Repeat Formation Tester. For produksjonsbrønner, etter at vannivået har steget, kan det være vanskelig å bestemme FWL direkte. Kan nok bruke en form for kurvetilpassing til logdata og sette FWL lik kurvens vendepunkt. Kurven vil ligne på en tredjegradskurve.

**Oppgave 2**

a) Ved å plote dataene i tabellen finnes tre rette linjestykker. De tre øverste punktene ligger f.eks. på en rett linje og dersom en bruker det høyeste og det laveste av disse fås

$$\rho_1 = \frac{\Delta p}{g\Delta z} = \frac{1}{9.80} \frac{20.182 - 20.074}{2525 - 2475} \times 10^6 = 220.3 \text{ kg/m}^3.$$

Dette er gass. Tilsvarende finnes tetthetene for midtfasen til å være  $779.1 \text{ kg/m}^3$ , altså olje, og  $1060.6 \text{ kg/m}^3$  for den nederste fase, altså saltvann.

Vi finner først skjæringene mellom de to øverste linjestykkene til å være  $z_{\text{GOC}} = 2531.2 \text{ m}$ , og skjæringen mellom de to nederste blir  $z_{\text{WOC}} = 2612.3 \text{ m}$ . I skjæringspunktene er de to trykkene like, kapillartrykkene er lik null og punktene definerer fritt vannivå og fritt oljenivå.

b) En må finne oljetettheten ved reservoarforhold,  $\rho_{or}$ . Ser på en masse  $m$  av olje ved reservoarforhold,  $m = \rho_{or}v_{or}$ ,  $v$  betegner volum. Når denne masse tas opp til overflaten kommer gass ut av løsning og vi får at samme masse kan uttrykkes som  $m = \rho_{os}v_{os} + R_{so}v_{os}\rho_{gs}$  og dermed

$$\rho_{or} = \frac{\rho_{os}}{B_o} + \frac{R_{so}}{B_o}\rho_{gs},$$

hvor  $B_o = v_{or}/v_{os}$ .

**Oppgave 3.** Vi ser fra tabellen at irreduibel vannmetning  $S_{iw} = 0.235$  nås ved  $J(S_w) = 4.23$ . Vi har også at  $k = 200 \times 9.869 \times 10^{-16} \text{ m}^2$ ,  $\sigma_{wo} = 30 \times 10^{-3} \text{ N/m}$ ,  $\cos 35^\circ = 0.819$ , slik at  $P_c(S_w) = 2.473 \times 10^4 J(S_w) \text{ Pa}$ . Kapillartrykket på toppen av overgangssonen mellom olje og vann er da  $P_c(S_{iw}) = 2.473 \times 10^4 \times 4.23 = 1.046 \times 10^5 \text{ Pa}$ . Dermed har vi for tykkelsen av overgangssonen,

$$\Delta D_{wo} = \frac{P_c(S_{iw})}{g(\rho_w - \rho_o)} = 53.3 \text{ (m)}.$$

Vi repeterer så beregningen og betrakter (fiktivt) vannet som del av oljefasen. Dette er rimelig dersom reservoaret er vannfuktende slik at det er kun olje som er i kontakt med gass. For gass-olje overflater kan vannet betraktes som omkapslet av olje. Vi gjør samme beregninger med væskemetning  $S_L = S_o + S_{iw}$  istedet for  $S_w$  og olje-gass egenskaper for overflatespenning og kontaktvinkel. J-funksjonsverdien ved irreduibel væskemetning er den samme som før, nemlig 4.23, siden J-funksjonen er generelt gyldig. Vi finner dermed at  $\Delta D_{go} = 2.9 \text{ m}$ .

#### Oppgave 4

a)

Ekspansjon av olje:	$N(B_o - B_{oi}), \text{ rb}$
Ekspansjon av bergart:	$V_p c_f \Delta \bar{P}, \text{ rb}$
Ekspansjon av vann:	$V_w c_w \Delta \bar{P}, \text{ rb}$
Produksjon:	$N_p B_o, \text{ rb}$

med  $V_p = NB_{oi}/(1 - S_w)$  og  $V_w = V_p S_w$ . Settes produksjonen lik summen av ekspansjonsvolumene får en oppgitt formel.

b) Fra materialbalanse får en  $c_t Ah \phi(P_i - \bar{P}) = qt$  og fra oppgitt definisjon av dimensjonsløs tid får en  $t = \phi \mu c_t A t_{DA} / k$  og dermed  $P_i = \bar{P} + q \mu t_{DA} / kh$ . Innsatt for  $\bar{P}$  i uttrykket

$$\bar{P} - P_{wf} = \frac{q\mu}{4\pi kh} \ln\left(\frac{4A}{\gamma C_A r_w^2}\right),$$

får en

$$P_i - P_{wf} = \frac{q\mu}{4\pi kh} \ln\left(\frac{4A}{\gamma C_A r_w^2}\right) + \frac{q\mu t_{DA}}{kh}$$

og ved bruk av definisjonen på  $P_D$  omformes dette til

$$P_D = \frac{1}{2} \ln\left(\frac{4A}{\gamma C_A r_w^2}\right) + 2\pi t_{DA}.$$

Setter  $P_D$  fra transient og halvstasjonær periode lik hverandre:

$$P_D = \frac{1}{2} \ln\left(\frac{4A}{\gamma C_A r_w^2}\right) + 2\pi t_{DA} = \frac{1}{2} \ln \frac{4t_D}{\gamma},$$

$$C_A t_D \frac{r_w^2}{A} = \exp(4\pi t_D r_w^2 / A),$$

eller  $C_A t_{DA} = \exp(4\pi t_{DA})$ . Ved prøving og feiling, eller ved en numerisk metode som f.eks. Newton-Raphson, finner en at denne ligningen er tilfredstilt for  $t_{DA} = 0.1$ . Testen må vare et stykke etter dette tidspunkt forat en skal kunne finne porevolumet. Det samme kan en finne fra materialbalanselingen, men da trengs lengre trinnvis produksjonshistorie og midlere reservoartrykk på hvert trinn.