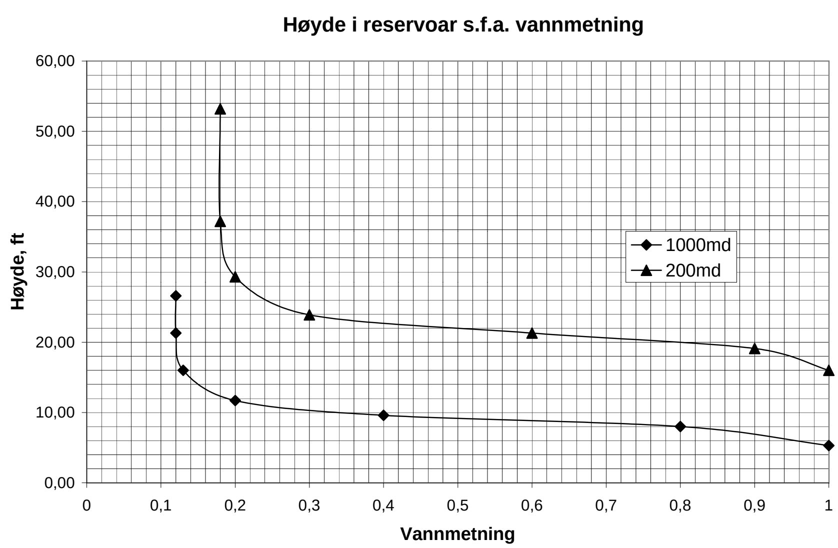
ResTek1—Løsning Øving 5

Oppgave 1

Bruker at $p_{cR} = h(\rho_w - \rho_o) \cdot 62.4/144$, når p er i psi, h ft, ρ g/cm^3, og at $p_{cL} = \sigma_L/\sigma_R \cdot p_{cR}$, som gir at $p_{cL} = 0.188h$. Dette gir følgende tabell,

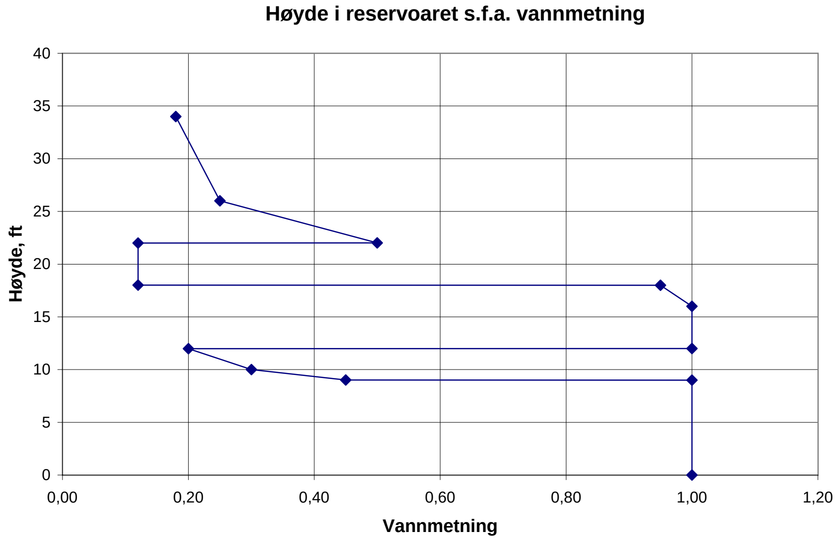
1000 md prøve		200 md prøve	
h[ft]	S_w	h[ft]	S_w
5.3	1.00	16.0	1.00
8.0	0.80	19.1	0.90
9.6	0.40	21.3	0.60
11.7	0.20	23.9	0.30
16.0	0.13	29.3	0.20
21.3	0.12	37.2	0.18
26.6	0.12	53.2	0.18

som er plottet i figur 1. Tar en nå hensyn til den lagdelingen som er gitt i oppgaven



Figur 1: Høyde i reservoaret s.f.a. vannmetning for to bergartstyper, en med permeabilitet 200 md og en med 1000 md.

med vekselvis 200 md og 1000 md bergart, og bruker de respektive metningene fra de to kurvene i figur 1, så får en plottet i figur 2 som viser hvordan metningen varierer med høyden i det lagdelte reservoaret:



Figur 2: Høyden i reservoaret s.f.a. vannmetningen, lagdelt reservoar.

Oppgave 2

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,

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

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

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.

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

Videre er kapillartrykket olje-gass, 1 meter over det frie olje-gass nivå, gitt ved $p_c(1\text{m}) = 1 \times 9.80 \times (850-120) = 7154.00$ Pa. Dermed blir $J(1\text{m}) = 7154.00/4.957 \times 10^3 = 1.44$, og $S_L(1\text{m}) = 0.50$, ved lineær interpolering i tabellen for J og med $S_L = S_o + S_w$. Dermed blir $S_o = 0.05$ og $S_g = 0.50$ 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 3

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 ρ 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

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

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 Δt. 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 irredusibel 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 irredusibel 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 irredusibel vannmetning og går til null kapillartrykk før metningen blir 1.

e) Uttrykket $P_c = \Delta\rho g h$ er utledet i forelesningene. Høyden h går fra den frie vannivå (Free Water Level, FWL). For ukompletterte 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 4

a) Ved å plotte 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 kg/m^3, altså olje, og 1060.6 kg/m^3 for den nederste fase, altså saltvann.

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

Oppgave 5

a) Kapillartrykk er differansen i trykk mellom to faser på hver side av den infinitesimale overflaten som skiller fasene. Det følger av en minimalisering av energien i overflaten som igjen skyldes forskjell i intermolekylære krefter i fasene.

b) I SI-systemet: J: dimensjonløst kapillartrykk; S: metning, dimensjonsløs; p_c[Pa/m^2]: kapillartrykk; σ[J/m^2]: overflatespenning; θ: kontaktvinkel; k[m^2]: permeabilitet; ϕ: porøsitet, dimensjonsløs.

En og samme J-funksjon kan brukes for geologisk lag med ulike egenskaper som angitt ovenfor dersom lagene tilhører samme geologiske facies. Det er derfor ikke nødvendig å måle kapillartrykkskurven for alle lagene.

c) Med primær drenering menes en prosess hvor vannmetningen minker fra 100%. Reservoarene har blitt dannet på denne måten, forestiller en seg.

Terskeltrykket er det overtrykk (kapillartrykk) som må til forat den ikke-fuktende fasen skal trenge inn i den største porekanalen, når det porøse mediet er 100% mettet med den fuktende fasen.

d) Poenget er å regne ut terskeltrykket til kappebergarten og omgjøre dette til en tilsvarende høyde av en oljekolonne i vann. Vi har da

$$\left[p_d\sqrt{\frac{k}{\phi}}\right]_{\text{res}} = \left[p_d\sqrt{\frac{k}{\phi}}\right]_{\text{kappe}},$$

og dermed at terskeltrykket for kappebergarten er

$$0.2\cdot 10^5\sqrt{\frac{100\cdot 0.01}{0.2\cdot 0.20}} = 10^5 \text{ Pa}.$$

Dette tilsvarer en oljekolonne på

$$\frac{0.8\cdot 10^5}{(1050-850)9.80} = 40.8 \text{ m}.$$

Merk at starten på oljekolonnen er 0.2 bar over det frie vannivå i reservoaret siden terskeltrykket i reservoaret er på 0.2 bar.