Skisse til løsning
Eksamen i Reservoarteknikk 1
7. august, 2002

Oppgave 1

a) Se forelesningene; ved lavt trykk og lav permeabilitet.

b) Måler absolutt permeabilitet ved en rekke ulike middeltrykk. Plotter denne permeabiliteten mot inverst middeltrykk og ekstrapolerer til uendelig middeltrykk, dvs. væske.

c) Darcy's lov,

$$u = -\frac{k}{\mu}\frac{\Delta p}{\Delta L},$$

brukes vanligvis med et ikke-konsistent sett av enheter, Darcy enheter, som definerer enheten 1 Darcy for permeabilitet. Enhetene centipoise og atmosfærer må gjøres om til cgs-enheter og k i cgs-enheter finnes deretter av av ligningen ovenfor. Siden 1 cp = 0.01 dyn·s/cm^2 blir k = (1 cm/s· 0.01 dyn $\cdot$ s/cm^2 1 cm)/(1.0133·10^6 dyn/cm^2) = 9.86910^{-9} cm^2. Det vil si at 1 Darcy tilsvarer 9.86910^{-9} cm^2.

Darcy's lov ovenfor gjelder også slik den står med enheter fra det konsistente cgs-systemet, slik som i Poiseuille's lov, med med k i cm^2. Darcy-hastigheten u er lik volumraten q delt på totaltverrsnittet A som er satt sammen av både åpne porekanaler og fast matrise. Hastigheten v i Poiseuille's ligning er volumraten som strømmer i røret delt på hele (det åpne) tverrsnittet av røret, altså midlere hastighet i røret.

Dersom porekanalene kan betraktes som like, rette rør med samme radius r, så vil et volum fluid qt injisert i tiden t ha kommet en lengde $\Delta L = vt$ inn i rørene og da fylle et porevolum $V_p = (A \cdot vt)\phi$. Bruker vi istedenfor Darcy-hastigheten, så får vi at samme porevolum blir $V_p = qt = uAt$. Dermed blir $v = u/\phi$ og ved sammenligning av Darcy's og Poiseuille's lover har vi at k/ϕ kan tilnærmes med $r^2/8$.

Tilnærmet har vi da at $k/\phi = d^2/32 = r^2/8$, med r i cm. En porekanal med radius r vil da tilsvare en permeabilitet k gitt ved

$$k[\text{md}] = \phi\frac{r^2[\text{cm}^2]\cdot 10^3}{8\cdot 9.869\cdot 10^{-9}},$$

eller $k[\text{md}] = 12.5\cdot 10^9\phi r^2[\text{cm}^2]$.

For N_2-gass er midlere fri veglengde $\lambda_g = 0.062810^{-4}$ cm ved 1 atm og 15 °C. Klinkenbergeffekten opptrer når $\lambda_g \sim r$, radius av porekanal. Innsatt gir dette $k = 0.5\phi$ md. Dette er kun en overslagsberegning av størrelsesordenen på den permeabilitet som gir Klinkenbergeffekt.

d) La oss kalle $G = 1/1.0133 \times 10^6$. Potensialforskjellen over prøven er gitt ved $\Delta\Phi = \rho_w Ggh$ hvor h er høyden fra bunn av kjernprøven til vann-luft overflaten i røret. Materialbalanse på volum vann i røret gir $q = -Adh/dt$, hvor A er tverrsnittet av røret. Darcy's lov over kjerneprøven er $q = kA/\mu \cdot \Delta\Phi/\Delta L$, hvor ΔL er høyden av kjerneprøve. Disse to uttrykkene for q settes lik hverandre og det integreres med hensyn på h og t og en får følgende uttrykk for permeabiliteten k:

$$\begin{aligned} kG &= \frac{\mu_w \Delta L}{\rho_w g \Delta t} \ln(h_1/h_2) \\ &= \frac{1 \cdot 2}{1.02 \cdot 981 \cdot 500} \ln(102/84) \\ &= 0.786\mathrm{D}. \end{aligned}$$

Oppgave 2

a) Se forelesningene.

b) Se forelesningene.

c) Antar neglisjerbart kapillartrykk slik at $\Delta p_o = \Delta p_w = \Delta p$, og med Darcy enheter har vi

$$\begin{aligned} k_{rw} &= \frac{q_w \mu_w \Delta L}{A \Delta p_w k}, \quad A = \pi(3.2/2)^2, \quad \Delta L = 9,\ \mu_w = 1.1 \\ &= \frac{q_w 1.19}{8.04 \frac{\Delta p}{14.65} 0.01673600} \\ &= 0.300 \frac{q_w}{\Delta p}, \quad q_w:\ \mathrm{cm^3/s}, \quad \Delta p:\ \mathrm{psi}. \end{aligned}$$

På samme måte blir $k_{ro} = 0.546 q_o/\Delta p$ og $S_w = V_w/14.476$. Av dette kan lages følgende tabell som kan plottes.

Tabell 1: Tolkede relative permeabilitetsverdier

S_w	k_{ro}	k_{rw}
0.15	1.00	0.00
0.20	0.45	0.017
0.25	0.30	0.025
0.32	0.20	0.049
0.41	0.12	0.075
0.55	0.05	0.156
0.68	0.00	0.249

Oppgave 3

a) Se forelesningene.

b) Se forelesningene.

c)

PVT-data. Volumfaktorer som funksjoner av trykk. Disse måles i en PVT-lab basert på prøver fra reservoaret.

Produserte volum. Produserte volum olje, gass og vann som funksjoner av tiden. Måles kontinuerlig (helst) på overflaten med ratemålere.

Midlere reservoartrykk. Midlere reservoartrykk som funksjon av tiden. Finnes ved å trykkteste enkeltbrønner. Får middeltrykket i dreneringsvolumet til hver brønn og danner et totalt volumetrisk middeltrykk for reservoaret.

d) Materialbalanseligningen kan skrives på formen $F/E_o = N + NmE_g/E_o$. Ved å plotte F/E_o mot E_g/E_o finner en først N av akseavskjæringen og så m fra stigningsforholdet Nm.

Oppgave 4

a)

$$
\begin{aligned}
(p_{wf} - p_i)\frac{4\pi kh}{\mu} \propto \quad & -q_1 \ln(t+\Delta t),\ \text{produksjon} \\
& + (q_1 - q_2)\ln(\Delta t),\ \text{injeksjon} \\
& = -q_1 \ln\frac{t+\Delta t}{\Delta t} - q_2 \ln(\Delta t),
\end{aligned}
$$

eller

$$
p_{wf} \propto \quad \frac{q_1\mu}{4\pi kh}\left(\ln\frac{t+\Delta t}{\Delta t} + \frac{q_2}{q_1}\ln\Delta t\right).
$$

Omgjort, med $q = QB$,

$$
\begin{aligned}
p_{wf}\frac{1}{14.65} \propto \quad & \frac{Q_1\mu B\ 159000 \ln 10}{4\pi 24\ 60\ 60\ k\ 0.001\ 30.48}\left(\log\frac{t+\Delta t}{\Delta t} + \frac{Q_2}{Q_1}\log\Delta t\right) \\
p_{wf} \propto \quad & \frac{162.6 Q_1\mu B}{kh}\left[\log\frac{t+\Delta t}{\Delta t} + \frac{Q_2}{Q_1}\log\Delta t\right].
\end{aligned}
$$

b) Nå kan vi lage Tabell 2. Ved å plotte p_{wf} i kolonne 2 mot verdiene i kolonne 3

Tabell 2: Plottedata for to-rate test

Δt	p_{wf}	$\left[\log\frac{t+\Delta t}{\Delta t} + \frac{Q_2}{Q_1}\log\Delta t\right]$
0.25	1885	3.905
0.50	1888	3.769
1.0	1899	3.632
2.0	1916	3.496
3.0	1929	3.416
4.0	1937	3.360
5.0	1944	3.316
6.0	1950	3.280
7.0	1954	3.250
8.0	1958	3.224

i et lin-lin plott, så fås en rett linje med stigningsforhold $m = 150$/enhet som så gir $k = (162.6\ 7500\ 1\ 1.5)/(150\ 15) = 813$ md.