

DATO: 4. JUNI 2003

EKSAMEN I: TE 0195 Reservoarteknikk 1

VARIGHET: kl. 09.00–13.00

TILLATTE HJELPEMIDLER: Kalkulator

OPPGAVESETTET BESTÅR AV: 4 sider

MERKNADER: Alle delspørsmål gis lik vekt.

Oppgave 1

a) Gitt Young-Laplace sin ligning

$$p_c = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \dots \dots \dots (1)$$

Hvordan blir denne ligningen dersom skilleflaten mellom fasene er en kuleflate med radius R ?

b) Utled samme ligning direkte ved å foreta en virtuell forskyvning δR og sette utført arbeid (kraft \times vei) lik endring i overflateenergi.

c) Hvordan blir ligning (1) dersom skilleflaten mellom fasene er et plan?

d) Vis at ligning (1) blir $p_c = 2\sigma \cos \theta / r$ for to faser inne i et rør med radius r om skilleflaten er del av en kuleflate med radius R .

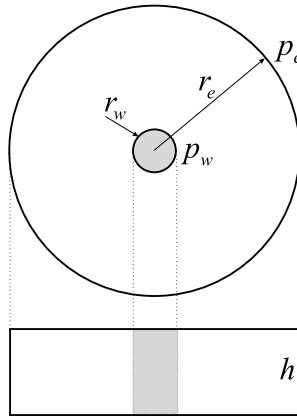
e) Kapillartrykkskurven for primær drenering er målt i laboratoriet med luft-vann og dataene er tilpasset formelen $p_c = -A \ln S_n + p_D$ hvor $S_n = (S_w - S_{iw}) / (1 - S_{iw})$, $S_{iw} = 0.30$, $A = 0.68$ psi, $p_D = 1.0$ psi.

Et reservoar har det frie oljenivå 70 ft over det frie vannivå. Beregn S_g , S_o og S_w 75 ft over det frie vannivå ved å anta at alle kontaktvinklene er like, at vannfasen dekker den indre overflate i porene, at gassen ligger i midten av porekanalene og at oljen ligger mellom vannet og gassen. Se først på et olje-vann system med gassen som del av oljefasen og deretter på et olje-gass system med vannet som del av oljefasen. Samme laboratoriekurve brukes i begge tilfeller.

Andre data er: $\sigma_{\text{luft-vann}} = 72$ dyn/cm; $\sigma_{\text{olje-vann}} = 25$ dyn/cm; $\sigma_{\text{olje-gass}} = 50$ dyn/cm; $\rho_o = 0.85$ g/cm³; $\rho_w = 1.08$ g/cm³; $\rho_g = 0.11$ g/cm³. Tyngdens akselerasjon er 980 cm/s²; 1 psi tilsvarer $6.89 \cdot 10^4$ dyn/cm²; 1 dyn er lik 1 g·cm/s²; 1 ft tilsvarer 30.48 cm.

Oppgave 2

Gitt et sylindrisk reservoar med brønn i sentrum som vist i figur (1).



Figur 1: Skisse av sylindrisk reservoar med brønn i sentrum; p trykk, r radius, h høyde, w brønn (*well*), e ytre (*exterior*).

a) Anta stasjonær, horisontal væskestrøm inn mot brønnen og utled følgende uttrykk for volumraten q fra den generelle form av Darcy's lov,

$$q = \frac{2\pi kh(p_e - p_w)}{\mu \ln(r_e/r_w)}. \quad \dots \dots \dots (2)$$

b) Vis at omregningsfaktoren blir 7.082 dersom følgende enheter skal brukes i ligning (2): k darcy, μ cp, q bbl/d, h ft, p psi. Det oppgis at 1 atm er 14.696 psi, 1 ft er 30.48 cm, 1 bbl er 159 liter.

c) Skinfaktoren S er definert ved

$$\Delta p_{\text{skin}} = S \frac{q\mu}{2\pi kh},$$

hvor Δp_{skin} er det ekstra trykkfallet som ligger over den skadde sone.

Vis at dersom brønnen i figur (1) er skadet med permeabilitet k_d fra r_w og ut til radius r_d , så er skinfaktoren S gitt ved

$$S = \frac{k - k_d}{k_d} \ln \frac{r_d}{r_w}. \quad \dots \dots \dots (3)$$

d) Beregn trykket p_e og skinfaktor S dersom brønn og reservoar har følgende data: $q = 100$ bbl/d, $r_w = 0.5$ ft, $r_d = 10$ ft, $r_e = 330$ ft, $k_d = 50$ md, $k = 200$ md, $p_w = 2000$ psia, $\mu = 5$ cp, $h = 20$ ft.

e) Vi antar nå at reservoaret er lukket ved ytre grense r_e og at strømmen inn mot brønnen er i halvstasjonær periode (“pseudo steady state”). Den tidsavhengige diffusivitetstiligningen for radiell strøm er

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial p}{\partial r} \right) = \frac{\phi \mu c}{k} \frac{\partial p}{\partial t} \dots \dots \dots (4)$$

Vis at ligning (2) med skinfaktor inkludert nå blir

$$p_e(t) - p_w(t) = \frac{q \mu}{2 \pi k h} \left(\ln \frac{r_e}{r_w} - \frac{1}{2} + S \right) \dots \dots \dots (5)$$

Oppgave 3

Linjekildeløsningen i praktiske enheter er

$$p_{wf} = p_i - \frac{162.6 Q \mu B}{k h} \left[\log \left(\frac{k t}{\phi \mu c r_w^2} \right) - 3.23 + 0.87 S \right] \dots \dots \dots (6)$$

Praktiske enheter	
p : psi	h : ft
Q : stb/d	t : timer
q : rb/d	c : psi ⁻¹
B : rb/stb	r : ft
k : md	μ : cp

En brønn produseres med rate Q_1 i tid t_1 og deretter med rate Q_2 i tid Δt , altså en to-rate test. Det oppgis at ligning (6) kan brukes til å utlede følgende trykløsning,

$$p_{wf} = p_i - \frac{162.6 Q_2 \mu B}{k h} \left[\log \left(\frac{k}{\phi \mu c r_w^2} \right) - 3.23 + 0.87 S \right] - \frac{162.6 Q_1 \mu B}{k h} \left[\log \left(\frac{t_1 + \Delta t}{\Delta t} \right) + \frac{Q_2}{Q_1} \log(\Delta t) \right] \dots \dots \dots (7)$$

a) Bruk ligningene (6) og (7) til å vise at uttrykket for skinfaktoren blir

$$S = 1.151 \left[\frac{Q_1}{Q_1 - Q_2} \left(\frac{p_{1HR} - p_{wf1}}{m} \right) - \log \frac{k}{\phi \mu c r_w^2} + 3.23 \right], \dots \dots \dots (8)$$

hvor p_{1HR} er trykket ved $\Delta t = 1$ time, p_{wf1} er trykket i brønnen ved rateskift, og $m k h = 162.6 Q_1 \mu B$.

Tabell 1: Data for to-rate test

Δt , timer	0.0	2.79	4.01	5.78	8.32	12.0	17.3	24.9	35.8	51.5	74.2
p_{wf} , psia	3490	3868	3882	3891	3897	3901	3906	3911	3914	3918	3920
$Q_1 = 250$ stb/d, $Q_2 = 125$ stb/d, $c = 17 \cdot 10^{-6}$ psi ⁻¹											
$\mu = 0.8$ cp, $h = 69$ ft, $r_w = 0.198$ ft, $\phi = 0.039$											
$B = 1.136$ rb/stb, $p_i = 4400$ psia, $t_1 = 184.7$ timer.											

- b) Beregn permeabiliteten fra testen i Tabell 1.
- c) Beregn skinfaktoren fra testen i Tabell 1.
- d) Estimer initielt trykk og avgjør om reservoaret kan betraktes som uendelig-virkende i testperioden slik det er forutsatt i de ligningene som er brukt.