HØGSKOLEN I STAVANGER

AVDELING FOR TEKNISK - NATURVITENSKAPELIGE FAG

DATO: 4. JUNI 2002

EKSAMEN I: TE 0195 Reservoarteknikk 1

VARIGHET: kl. 09.00–14.00

TILLATTE HJELPEMIDLER: Kalkulator

OPPGAVESETTET BESTÅR AV: 5 sider

MERKNADER: Alle delspørsmål gis lik vekt.

Oppgave 1

a) Den generelle Young-Laplace sin ligning er

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

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

b) Forklar hvordan kontaktvinkelen θ kan brukes til å karakterisere fuktpreferansen til en porøs bergart.

c) Gitt et stort kar med olje og vann i likevekt. Et sylindrisk kapillarrør med indre radius r står vertikalt mellom olje- og vannfasen. Tegn hvordan vann-olje skilleflaten inne i røret vil innstille seg i forhold til vann-olje skilleflaten i karet for (i) et vannfuktende rør, og (ii) et oljefuktende rør.

d) Hvordan blir Young-Laplace sin ligning (1) for skilleflaten mellom de to fasene i tilfellet (i) under spørsmål c)?

e) Bruk prinsippet om virtuelt arbeid til å vise at i likevekt så vil skilleflaten i røret være en høyden h over skilleflaten i karet, gitt ved

$$h = \frac{2\sigma_{wo} \cos\theta}{\Delta\rho g r}, \qquad (2)$$

dersom en bruker at $\Delta\rho = \rho_w - \rho_o$, at $\sigma_{os} - \sigma_{ws} = \sigma_{ow} \cos\theta$ (Young-Dupre sin ligning), hvor indeks o betegner olje, w vann, s "solid" eller fast stoff og g tyngdens akselerasjon.

f) Beregn trykket i vannet og i oljen i røret ved høyden h og vis derav at kapillartrykket ved h blir det samme som under spørsmål d).

g) I et annet kar med saltvann åpent til luft ligger det en lang (4-5 meter) finmasket strømpe fylt med sand, helt neddykket i vann. Den ene enden av strømpen heises nå opp i luften men slik at den andre enden fortsatt stikker ned i vannet. Vann renner ut av sandstrømpen inntil likevekt inntrer. Hvor er da det frie vannivået inne i den hengende strømpen?

Oppgave 2

Gitt et reservoar med oljesone, gasskappe og neglisjerbar vanninnfluks. Materialbalanse-ligningen for dette tilfellet er

$$N_p(B_o + (R_p - R_s)B_g) = NB_{oi}\left(\frac{(B_o - B_{oi}) + (R_{si} - R_s)B_g}{B_{oi}} + m(\frac{B_g}{B_{gi}} - 1)\right).$$

Produksjonen skjer fra oljesonen. Gasskappen ekspanderer ned i oljesonen og danner en invadert sone slik at reservoaret kan deles inn i en rest-oljesone, en invadert sone og en gasskappe. Vannmetningen er S_{wc} og oljemetningen i invadert sone er S_{org}.

a) Vis at porevolumet av invadert sone er gitt ved

$$\frac{G(B_g - B_{gi})}{1 - S_{wc} - S_{org}},\ \text{rb},$$

hvor $G = mNB_{oi}/B_{gi}$ er volum gass initielt i gasskappen.

b) Vis at oljemetningen S_o i rest-oljesonen er gitt ved

$$S_o = \frac{(N - N_p)B_o - S_{org}\dfrac{G(B_g - B_{gi})}{(1 - S_{wc} - S_{org})}}{\dfrac{NB_{oi}}{(1 - S_{wc})} - \dfrac{G(B_g - B_{gi})}{(1 - S_{wc} - S_{org})}}.$$

c) Data for reservoaret er gitt i tabell (1). All produksjon skjer fra oljesonen. Beregn

$N = 400 \cdot 10^6$ stb	$N_p = 200 \cdot 10^6$ stb	$G_p = 260 \cdot 10^9$ scf
$m = 0.25$	$S_{wc} = 0.25$	$S_{org} = 0.25$

Ved initielt trykk p_i	Ved trykk p
$B_{oi} = 1.5$ rb/stb	$B_o = 1.2$ rb/stb
$B_{gi} = 0.001$ rb/scf	$B_g = 0.003$ rb/scf
$R_{si} = 1000$ scf/stb	$R_s = 600$ scf/stb

Tabell 1: Reservoar- og fluiddata

antall rb (reservoir barrels) frigjort gass som er gjenværende i rest-oljesonen ved trykk p samt oljemetningen i rest-oljesonen.

Oppgave 3

Deler av vedlegg 1 og 2 kan være til hjelp ved besvarelsen av denne oppgaven.

a) Hvilke to grensebetingelser og hvilken initialbetingelse brukes til å utlede linjekildeløsningen i trykktestanalyse?

b) Forklar kort hvordan superposisjonsprinsippet kan brukes til å konstruere trykkløsningen for trykkoppbygging i en brønn etter at den er stengt av. Det er tilstrekkelig med en eventuell skisse og utgangsgangsligning.

c) Forklar kort med ord hva speilbrønner brukes til.

d) En vertikal brønn er plassert i et uendelig reservoar i en avstand d fra en impermeabel, vertikal barriere. Ved tid $t = 0$ er reservoaret i likevekt med trykk p_i og brønnen starter å produsere med konstant rate. Vis at trykkløsningen er gitt ved

$$p_D(t_D) = \frac{1}{2}\,\mathrm{ei}\left(\frac{1}{4t_D}\right) + \frac{1}{2}\,\mathrm{ei}\left(\frac{d^2}{t_D r_w^2}\right). \qquad (3)$$

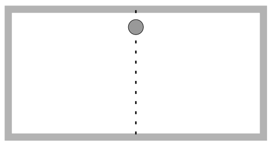
e) Vis at denne ligningen gir to rette linjer i et halvlogaritmisk plott, for store og små verdier av t, med en dobling av stigningsforholdet m.

f) Utled følgende uttrykk for avstanden til barrieren, i praktiske enheter,

$$d^2 = 1.48 \cdot 10^{-4} \frac{k t_x}{\phi \mu c}, \qquad (4)$$

hvor t_x angir tidspunktet for skjæring mellom de to rette linjene.

g)



Figur 1: Brønnplassering

En brønn er plassert med koordinater (1, 7/8) i et begrenset, 2:1 rektangulært reservoar, se figur (1). Brønnen testes med en trykkfallstest. Anta at kun nærmeste reservoargrense reflekteres i trykkdataene og at andre nødvendige data er kjente. Forklar kort hvordan en kan beregne (i) permeabilitet k og (ii) dreneringsareal A.

h) Forklar hvordan en kan sjekke antagelsen om at kun nærmeste reservoargrense reflekteres i trykkdataene.

i) Skisser mønsteret av speilbrønner som er nødvendige for å finne korrekt trykkløsning for lange produksjonstider.

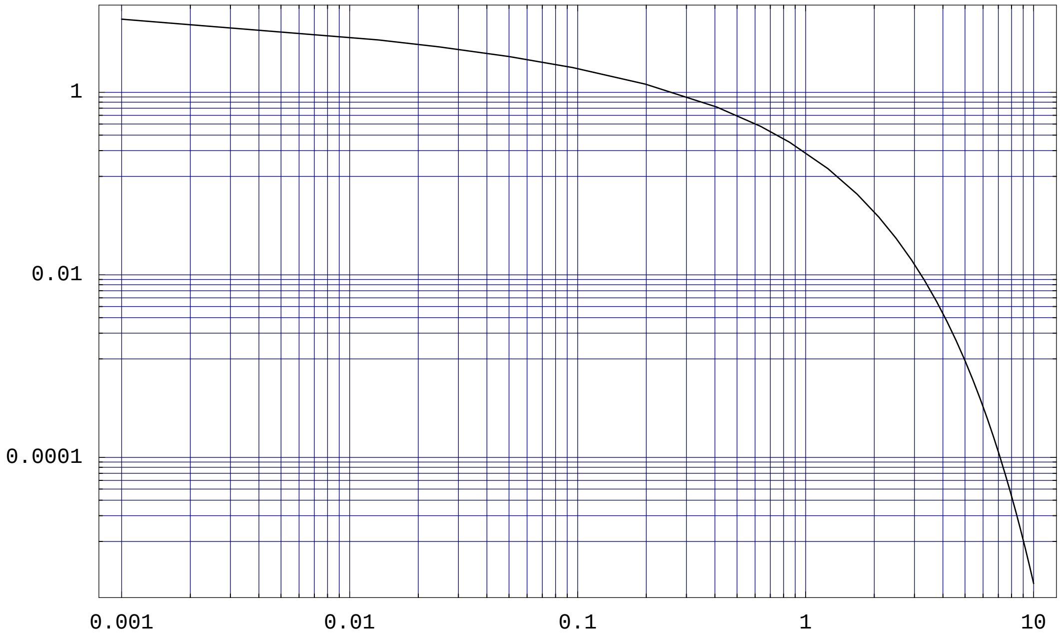
Vedlegg 1—Formler

$$
\begin{aligned}
p_D &= \frac{2\pi kh}{q\mu}(p_i - p_{wf}) \\
t_D &= \frac{kt}{\phi\mu c r_w^2} \\
t_{DA} &= \frac{kt}{\phi\mu c A} \\
p_D(r_D, t_D) &= \frac{1}{2}\,\mathrm{ei}(x), \quad x = \frac{r_D^2}{4t_D}, \quad r_D = \frac{r}{r_w} \\
\mathrm{ei}(x) &\approx -\ln(\gamma x),\ \text{for } x \le 0.01, \quad \text{med } \gamma = 1.781 \\
p_D(t_D) &= \frac{1}{2}\,\mathrm{ei}(\frac{1}{4t_D}) \\
&\approx \frac{1}{2}(\ln(t_D) + 0.809)
\end{aligned}
$$

Praktiske enheter:
k[md]; t[timer]; μ[cp]; (r, h)[ft]; q[rb/d]; Q[stb/d]; p[psi]; A[ft^2].

$$
\begin{aligned}
p_D &= 7.08 \cdot 10^{-3} \frac{hk}{q\mu}(p_i - p_{wf}) \\
t_D &= 0.000264 \frac{kt}{\phi \mu c r_w^2} \\
t_{DA} &= 0.000264 \frac{kt}{\phi \mu c A} \\
S &= 1.151 \left(\frac{p_i - p_{1\mathrm{HR}}}{m} - \log(\frac{k}{\phi \mu c r_w^2}) + 3.23 \right) \\
m &= \frac{162.6 Q \mu B}{kh} \\
1 \text{ bbl} &= 5.61 \text{ ft}^3 \\
1 \text{ ft} &= 12 \text{ in}
\end{aligned}
$$

Vedlegg 2—ei-funksjonen



Figur 2: Funksjonen ei(x) i log-log plott for x-verdier mellom 0.001 og 10