

DATO: 3. JUNI 1999

EKSAMEN I: TE 195 Reservoarteknikk 1

VARIGHET: kl 09.00–14.00

TILLATTE HJELPEMIDLER: Kalkulator

OPPGAVESETTET BESTÅR AV: 7 sider

MERKNADER: Ingen

Oppgave 1

a) Hva er kapillartrykk? [Bruk maksimalt 50 ord.]

b) Gitt J -funksjonen

$$J(S) = \frac{p_c(S)}{\sigma \cos \theta} \sqrt{\frac{k}{\phi}}. \quad (1)$$

Forklar kort de størrelser som inngår, deres benevnning i et konsistent sett av enheter og hva J -funksjonen brukes til.

c) En mye brukt korrelasjon for kapillartrykket mellom olje og vann under primær drenering er

$$p_c(S_n) = \frac{p_d}{S_n^a}, \quad (2)$$

hvor $S_n = (S_w - S_{iw}) / (1 - S_{iw})$ er normalisert vannmetning, S_{iw} er irreduibel vannmetning, p_d er terskeltrykket (“displacement pressure”) og a en positiv konstant.

Forklar kort hva som menes med primær drenering og irreduibel vannmetning. Hva er den fysiske forklaringen på terskeltrykket?

d) Et umettet oljereservoar har egenskaper som gitt i tabell 1. Reservoaret ble oppdaget med en brønn ute på flanken av en halvkuleformet struktur. Prøver ble tatt både fra kappebergarten og reservoarbergarten. Porøsitet og permeabilitet ble målt. Det viser seg at kappebergarten og reservoarbergarten har samme fluider (vann og olje) i trykklikevekt. På havoverflaten over reservoaret observeres det jevnlig oljeflekker og en regner med at olje som fortsetter å migrere inn i reservoaret lekker opp gjennom kappebergarten og videre opp til overflaten.

Kapillartrykkskurven for kappebergarten ble ikke målt i første omgang siden det tar så lang tid med en såpass tett formasjon. Men J -funksjonen kan anvendes til å

anslå kapillartrykket for kappebergarten. Det antas samme fuktpreferanse i reservoar- og kappebergart.

Gi et anslag på høyden av oljekolonnen under toppen av strukturen.

Tabell 1: Egenskaper til reservoaret og andre opplysninger

RESERVOARBERGART OG FLUIDER	
porøsitet	$\phi = 0.20$
terskeltrykk	$p_d = 0.2 \text{ bar}$
permeabilitet	$k = 100 \text{ md}$
tetthet av olje	$\rho_o = 850 \text{ kg/m}^3$
tetthet av vann	$\rho_w = 1050 \text{ kg/m}^3$
KAPPEBERGART	
porøsitet	$\phi = 0.01$
permeabilitet	$k = 0.2 \text{ md}$
ANNET	
tyngdens akselerasjon	$g = 9.80 \text{ m s}^{-2}$
1 bar tilsvarer	10^5 Pa
1 Pa tilsvarer	1 N/m^2

Oppgave 2

Gitt Darcy's lov på formen

$$\frac{dp}{dr} = \frac{\mu}{k}u, \quad (3)$$

og tettheten ρ av gass, uttrykt ved den reelle gasslov,

$$\rho = \frac{Mp}{ZRT},$$

hvor M er molvekten. Vi skal anta at viskositeten og Z -faktoren er konstante i reservoaret. Dessuten gjelder at $Z_{\text{std}} = 1.0$ hvor indeks std angir standardbetingelser på overflaten.

a) Vis at for stasjonær strøm av gass inn mot en brønn er trykkfallet fra radius r og inn til brønnradius r_w gitt ved

$$p^2(r) - p_w^2 = \frac{ZTp_{\text{std}}}{T_{\text{std}}} \frac{\mu}{\pi kh} \ln\left(\frac{r}{r_w}\right) Q, \quad (4)$$

hvor Q er raten ved standardbetingelser.

b) Brønnen er skadet med permeabilitet k_s fra r_w og ut til r_s , mens videre fra r_s og ut til ytre grensen r_e , hvor trykket holdes konstant på p_e , er permeabiliteten lik k . Vis at trykkfallet fra ytre grense og inn til brønnen kan skrives på formen

$$p_e^2 - p_w^2 = \frac{ZT p_{\text{std}} \mu}{T_{\text{std}} \pi k h} \left[\ln \left(\frac{r_e}{r_w} \right) + S \right] Q, \quad (5)$$

med skinfaktoren S uttrykt som

$$S = \frac{k - k_s}{k_s} \ln \left(\frac{r_s}{r_w} \right).$$

c) Ligningen (5) er i Darcy enheter. Omgjør den til det settet av enheter som er vist tabell (2). Andre data er: $p_{\text{std}} = 1 \text{ atm}$; $T_{\text{std}} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$; $1 \text{ atm} = 1.01325 \text{ bar}$; $^\circ\text{K} = ^\circ\text{C} + 273$; $1 \text{ ft} = 30.48 \text{ cm}$.

Tabell 2: Nytt sett av enheter

p	:	bar		Q	:	m^3/d		T	:	$^\circ\text{K}$
μ	:	cp		k	:	md		h, r	:	m

Oppgave 3

a) Forklar [bruk maksimalt 50 ord] hvilke to størrelser som settes lik hverandre for å få til en materialbalanseligning for et reservoar.

b) Gitt et umettet oljereservoar med lett olje. Når reservoartrykket synker under kokepunktstrykket p_b , utvikles det fri gass. Gassen inneholder oppløst kondensat (olje) som felles ut når gassen tas til overflaten. La ΔV_{gr} være det reservoarvolum fri

Tabell 3: Overflatevolum fra reservoarvolum ΔV_{gr} og ΔV_{or} .

VOLUM OLJE OG GASS	
I reservoaret	Ved overflaten
ΔV_{gr}	$\longrightarrow \Delta V_{ggs} + \Delta V_{gos}$
ΔV_{or}	$\longrightarrow \Delta V_{ogs} + \Delta V_{oos}$

gass som følger med dersom et (lite) reservoarvolum ΔV_{or} med olje produseres ved reservoartrykk p . Indeks r betegner reservoarforhold og indeks s betegner overflateforhold (surface). Bruk tabell (3) til å definere volumfaktorene B_o , B_g , R_s , r_s og det produserende gass-olje forholdet R . [Du kan velge å bruke samme volumenheter på gass og olje.]

c) Reservoaret produseres fra initielt trykk $p_i > p_b$ og ned til $p < p_b$. Totalt produsert volum olje ved overflatebetingelser (olje + kondensat) er målt til N_p [stb] og totalt produsert volum gass er målt til G_p [scf]. Bruk volumfaktorer til å omgjøre disse volumene til volum olje, V_{or} , og volum fri gass, V_{gr} , ved reservoarforhold ved trykk p og vis at

$$V_{or} + V_{gr} = \frac{(N_p - r_s G_p) B_o + (G_p - R_s N_p) B_g}{1 - r_s R_s}. \quad (6)$$

d) Hva blir materialbalanseligningen for dette oljereservoaret for trykk under p_b dersom en kan neglisjere ekspansjon av vann og bergart?

e) Følgende data er gitt:

Ved initielt trykk $p_i = 7120$ psia: B_{oi} [rb/stb] = 1.990; R_{si} [scf/stb]=1550.

Ved trykk $p = 4000$ psia: B_o [rb/stb] = 1.455; R_s [scf/stb] = 610; B_g [rb/scf] = 0.00083; r_s [stb/MMscf] = 28; N_p [MMstb] = 555.489; G_p [MMscf] = 2076158. [Bokstav M betyr 1000].

Beregn opprinnelig volum olje tilstede i reservoaret.

Oppgave 4

Se Vedlegg 1 for formler og enheter og Vedlegg 2 for plott av ei-funksjonen.

a) 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 trykløsningen er gitt ved

$$p_D(t_D) = \frac{1}{2} \operatorname{ei} \left(\frac{1}{4t_D} \right) + \frac{1}{2} \operatorname{ei} \left(\frac{d^2}{t_D r_w^2} \right). \quad (7)$$

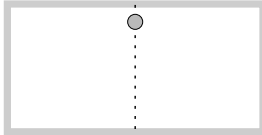
b) Vis at denne ligningen gir to rette linjer i et halvlogaritmisk plott, for store og små verdier av t , med en dobling av stigningsforholdet m .

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

$$d^2 = 1.48 \cdot 10^{-4} \frac{kt_x}{\phi \mu c}, \quad (8)$$

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

d)



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, data gitt i tabell (4) og i tabell (5). Anta at kun nærmeste reservoargrense reflekteres i trykkdataene og beregn (i) effektiv permeabilitet k_o , (ii) skinfaktor S , (iii) avstand d til nærmeste reservoargrense, (iv) dreneringsareal A .

Tabell 4: Produksjonsdata, reservoar- og fluiddata

$Q_o = 65$ stb/d	$\phi = 0.13$
$h = 27$ ft	$B_o = 1.33$ rb/stb
$r_w = 4$ in	$c_t = 16.1 \cdot 10^{-6}$ 1/psi
$\mu_o = 0.23$ cp	$p_i = 3383$ psia

Tabell 5: Trykkdata, oppgave 4

t timer	p_{wf} psia	t timer	p_{wf} psi
21.7	2275	195.1	2098
35.0	2238	255.1	2066
53.5	2207	327.2	2030
75.4	2180	414.5	1996
113.0	2150	518.1	1964
155.4	2123		

e) Forklar med en skisse av speilbrønnplasseringer hvordan en kan beregne trykløsningen i spørsmål d) også for lange produksjonstider.

f) Verifiser antagelsen i spørsmål d) om at kun nærmeste reservoargrense har innflytelse ved å beregne trykkfallet fra nest nærmeste speilbrønn.

Vedlegg 1—Formler og enheter til oppgave 4

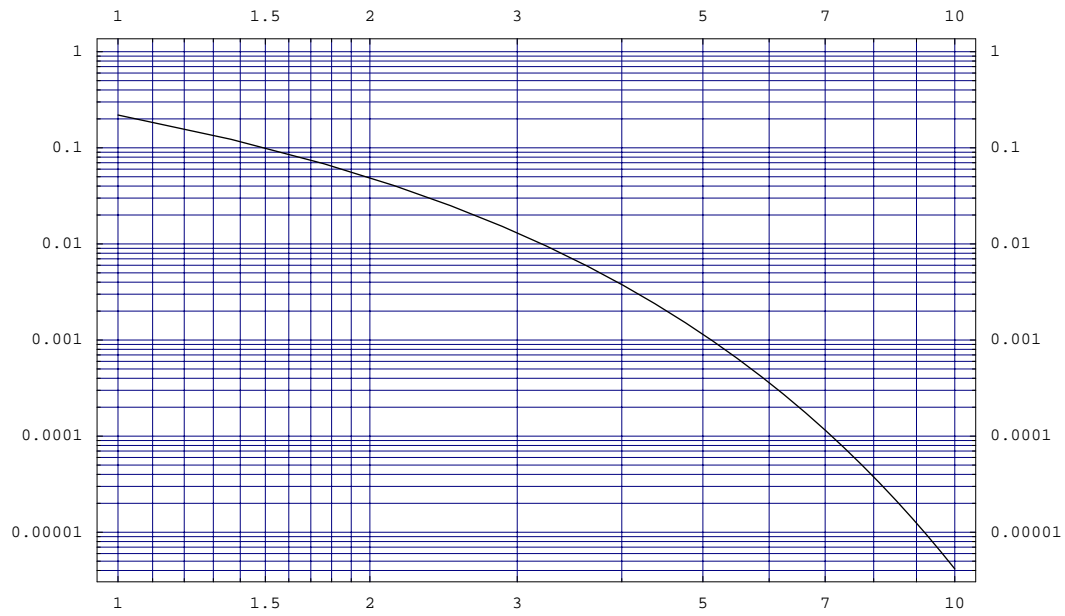
$$\begin{aligned}
 p_D &= \frac{2\pi kh}{q\mu}(p_i - p_{wf}) \\
 t_D &= \frac{kt}{\phi\mu cr_w^2} \\
 t_{DA} &= \frac{kt}{\phi\mu cA} \\
 p_D(r_D, t_D) &= \frac{1}{2} \text{ei}(x), \quad x = \frac{r_D^2}{4t_D}, \quad r_D = \frac{r}{r_w} \\
 \text{ei}(x) &\approx -\ln(\gamma x), \quad x \leq 0.01, \quad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

Praktiske enheter:

k [md]; t [timer]; μ [cp]; (r, h) [ft]; q [rb/d]; Q [stb/d]; p [psi]; A [ft²].

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

Vedlegg 2—ei-funksjonen



Figur 2: Funksjonen $ei(x)$ i log-log plott for x -verdier mellom 1 og 10