

DAT0 : 11. Mai 2007

AVDELING FOR : TEKNOLOGI OG NATURVITENSKAP

EKSAMEN I : BIP 140 RESERVOARTEKNIKK

VARIGHET: 4 timer

TILLATTE HJELPEMIDDEL: Enkel kalkulator

OPPGAVESETTET BESTÅR AV: 7 sider

MERKNADER: 2 vedlegg

Oppgave 1

Gitt Darcy's lov på formen

$$\frac{dp}{dr} = \frac{\mu}{k} u, \quad \dots \dots \dots (1)$$

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 $Z_{std} = 1.0$ hvor indeks std angir standardbetingelser på overflaten.

- a) Definer størrelsene med tilhørende enheter i ligning (1).
- b) Vis at for stasjonær strøm av gass inn mot en brønn er trykkfallet fra radius r og inn til brønnradius r_w gitt ved

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

hvor Q er raten ved standardbetingelser.

c) 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

$$p_e^2 - p_w^2 = \frac{ZT p_{std}}{T_{std}} \frac{\mu}{\pi k h} \left[\ln \left(\frac{r_e}{r_w} \right) + S \right] Q, \quad \dots \dots \dots (3)$$

med skinfaktoren S uttrykt som

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

d) Ligningen (3) er i Darcy enheter. Omgjør den til det settet av enheter som er vist Tabell (1). Andre data er: $p_{std} = 1 \text{ atm}$; $T_{std} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$; $1 \text{ atm} = 1.01325 \text{ bar}$; $^\circ\text{K} = ^\circ\text{C} + 273$; $1 \text{ ft} = 30.48 \text{ cm}$.

Tabell 1: Nytt sett av enheter

p : bar		Q : m ³ /d		T : °K
μ : cp		k : md		h, r : m

Oppgave 2

Gitt et oljereservoar uten vanninnfluks, ingen vannproduksjon og med en gasskappe. Materialbalanseligningen er

$$N = \frac{N_p [B_t + B_g (R_p - R_{si})] - W_i B_w}{(B_t - B_{oi}) + \frac{m B_{oi}}{B_{gi}} (B_g - B_{gi})}, \quad \dots \dots \dots (4)$$

med $B_t = B_o + (R_{si} - R_s) B_g$, og hvor W_i er volum vann injisert i stb.

a) Hvilke to størrelser settes lik hverandre i utledningen av en materialbalanseligning?

b) Ligning (4) kan reformuleres til en lineær ligning ved å innføre definisjonene

$$F = N_p [B_t + B_g(R_p - R_{si})] - W_i B_w,$$

$$E_o = B_t - B_{oi},$$

$$E_g = B_{oi}/B_{gi}(B_g - B_{gi}) = B_{oi} \left(\frac{B_g}{B_{gi}} - 1 \right).$$

Og dermed blir materialbalanseligningen

$$F = N(E_o + mE_g),$$

og delt med E_o får vi til slutt

$$\frac{F}{E_o} = N + Nm \frac{E_g}{E_o}.$$

Om nå F/E_o plottes mot E_g/E_o så fås en rett linje. Den gir N fra akseavskjæringen og Nm og m fra helningsvinkelen.

Bruk Tabell 2, som viser resultater fra en PVT-analyse sammen med målte produksjonsdata, til å beregne opprinnelig oljevolum og størrelse på gasskappen. Kokepunktstrykket er 1850 psia, vannmetningen 0.24, porøsiteten 0.17 og volumfaktoren for vann settes til 1.0 rb/stb.

Tabell 2: Produksjons- og PVT-data

p [psia]→	1850	1600	1300	1000
R_s [scf/stb]	690	621	535	494
B_o [rb/stb]	1.363	1.333	1.300	1.258
B_g [rb/scf]	0.00124	0.00150	0.00190	0.00250
B_t [rb/stb]	1.363	1.437	1.594	1.748
ρ_o [psi/ft]	0.3014	0.3049	0.3090	0.3132
N_p [stb]	-	$3.1 \cdot 10^8$	$5.5 \cdot 10^8$	$5.9 \cdot 10^8$
R_p [scf/stb]	-	1100	1350	1800
W_i [stb]	-	$1.594 \cdot 10^8$	$2.614 \cdot 10^8$	$3.12 \cdot 10^8$

Oppgave 3.

a.

Gitt et lukket våt gass reservoar.

1. Beskriv fluidet ut fra et PT-diagram.
2. Skisser $GOR = f(P_{res})$.
3. Når en foretar materialbalanse må en omgjøre V_{STO} til gassekvivalenter, GE_{STO} . Utled en formel for $GE_{STO} = f(M_{STO}, \rho_{STO})$ (Sm^3 gass/ Sm^3 STO), ρ_{STO} (kg/m^3).

4. Forklar i detalj hvordan en kan bestemme brutto opprinnelig gassmengde (Sm^3) i reservoaret ut fra produksjons data (materialbalanse), $(V_g)_{\text{sep}}$ og V_{sto} , og parametrene Z_g , P_i , T_{res} og P_{res} . Utled formelen.

b.

Bestem opprinnelig gassmengde (IGIP Sm^3) og tank olje (IOIP Sm^3) pr 1000 m^3 brutto reservoar volum for et våt gass reservoar. Brønnstrømmen gjennomgår en to-steps separasjon, separator og tank.

Følgende data er gitt:

$P_{\text{res}}=50000 \text{ kPa}$	$P_{\text{sc}}=101.32 \text{ kPa}$	$Z_i = 1.236$
$T_{\text{res}}=100 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{\text{sc}}=15 \text{ }^\circ\text{C}$	$\Phi=0.25$
$S_{\text{wc}}=0.10$	$\rho_{\text{sto}} = 750 \text{ kg/m}^3$	$M_{\text{sto}}=105$

$\text{GOR}_{\text{sep}}=6500 \text{ Sm}^3/\text{Sm}^3$ $\text{GOR}_{\text{tank}}=500 \text{ Sm}^3/\text{Sm}^3$

c.

1. Definer: Gass formasjons faktor, B_g .
2. Beregn B_g ved $P_{\text{res}}=50000 \text{ kPa}$ når fluidet gjennomgår en prosess som angitt i **b.**
3. Skisser $B_g=f(P_{\text{res}})$.

Oppgave 4.

a.

Ved bruk av B-L teorien anvender en fraksjonstrømmkurven av vann, $f_w=f(S_w)$.

1. Utled et uttrykk for f_w for et horisontalt lineært reservoar uten kapillar krefter.
2. Diskuter formen på kurven når μ_o varierer.

b.

B-L likningen kan anvendes til å studere sjokkfronten.

$$v_{S_{wf}} = \frac{q_t}{\Phi A} \left(\frac{df_w}{dS_w} \right)_{S_{wf}}$$

1. Hvilke forutsetninger gjøres ved utledningen av B-L likningen ?
2. Vis at $\left(\frac{df_w}{dS_w} \right)_{S_{wf}}$ er gitt ved:

$$\left(\frac{df_w}{dS_w} \right)_{S_{wf}} = \frac{f_{wf}}{S_{wf} - S_{wr}}$$

c.

Gitt et reservoar hvor en antar B-L likningen gjelder. Fraksjonstrømkurven av vann er gitt i Vedlegg 2.

Følgende reservoar data er gitt:

$$\begin{aligned} q_t &= 1500 \text{ resbbl/D} & A &= 20000 \text{ ft}^2 \\ \Phi &= 0.20 & B_o &= 1.2 \text{ resbbl/Sbbl} \\ B_w &= 1.0 \text{ resbbl/Sbbl} \end{aligned}$$

Lengden mellom injeksjonsbrønn og produksjonsbrønn er 3000 ft.

Beregn følgende:

1. Tiden til vanngjennombrudd, t_{BT} .
2. Midlere vannmetning i reservoaret ved t_{BT} .
3. Volum av produsert tankolje ved t_{BT} , N_p (Sbbl)
4. WOR like etter t_{BT} .

PS! Vedlegg 2 må vedlegges besvarelsen.

Vedlegg 1.

Important formula/correlations in PVT-Analysis.

Temperature: $^{\circ}\text{K} = 273.15 + ^{\circ}\text{C}$
 $^{\circ}\text{F} = 1.8 \times ^{\circ}\text{C} + 32$
 $^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 459.69$

Pressure: $1\text{atm} = 1013.250\text{ mBar} = 1.013250\text{ bar} = 101.3250\text{ kPa} = 0.1013250\text{ MPa} = 14.69595\text{ psia}$
 $\text{psia} = 14.69595 + \text{psig}$
 $1\text{ atm} = 760.002\text{ mmHg at } 0^{\circ}\text{C}$

Density: $1\text{ g/cm}^3 = 62.43\text{ lb/ft}^3 = 350.54\text{ lb/bbl}$
 $1\text{ lb/ft}^3 = 16.0185\text{ kg/m}^3$
 $\rho_w = 0.999015\text{ g/cm}^3 \quad (60^{\circ}\text{F}, 1\text{ atm})$
 $\rho_w = 0.9991\text{ g/cm}^3 \quad (15^{\circ}\text{C}, 1\text{ atm})$

Specific density: For liquids: Determined relative to water at sc.
For gases: Determined relative to air at sc.

$$\gamma_o = \frac{\rho_o}{\rho_w} = \frac{141.5}{131.5 + ^{\circ}\text{API}}$$

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141.5}{\gamma_o} - 131.5$$

Cragoe's formula (empirical formula giving molecular weight of hydrocarbons):

$$M_o = \frac{6084}{^{\circ}\text{API} - 5.9}$$

$$\gamma_g = \frac{M_g}{M_{air}} = \frac{M_g}{28.96}$$

Volume: $1\text{ bbl} = 5.615\text{ ft}^3 = 0.15898\text{ m}^3$
 $1\text{ ft}^3 = 0.0283\text{ m}^3$
 $1\text{ US Gallon} = 3.785\text{ litre}$
 $1\text{ Imp. Gallon} = 4.546\text{ litre}$
Molar volume of gas at standard conditions:
 $V_m = 379.51\text{ SCF/lb mole } (60^{\circ}\text{F and } 14.69595\text{ psia})$
 $V_m = 23644.7\text{ cm}^3/\text{g mole} = 23.6447\text{ m}^3/\text{kg mole } (15^{\circ}\text{C and } 101.3250\text{ kPa})$

Air: $Z_{air} = 0.9959 \quad (60^{\circ}\text{F}, 14.69595\text{ psia})$
 $M_{air} = 28.96$

Gas constant: $R = 10.732 \quad (\text{psia, ft}^3, ^{\circ}\text{R}, \text{lb mole})$
 $R = 0.082054 \quad (\text{atm, litre, } ^{\circ}\text{K}, \text{g mole})$
 $R = 8.3145 \quad (\text{kPa, m}^3, ^{\circ}\text{K}, \text{kg mole})$

Vedlegg 2.

