

8

13<sup>2</sup>/4



University of  
Stavanger

Fakultet for teknisk – naturvitenskapelige fag

Emne: PET 120, Reservoarteknikk

Dato: 30. august 2014

Tid: 09.00-13.00

Tillatte hjelpemidler: Ingen trykte eller håndskrevne hjelpemidler tillatt. Bestemt, enkel kalkulator tillatt.

Oppgavesettet består av: 6 sider inkludert 1 vedlegg

Oppgave 1 er vektet likt med oppgave 2

## Oppgave 1

Et gasskondensatreservoar med følgende data er gitt:

$$T_{res} = 120 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$P_i = 600 \text{ bar}$$

$$P_d = 497.45 \text{ bar}$$

$$Z_i = 1.426$$

$$Z_d = 1.259$$

$$S_{wi} = 0.25$$

$$\Phi = 0.20$$

$$B_g = 0.004 \text{ m}^3/\text{Sm}^3$$

$$\text{Brutto reservoarvolum (V}_b\text{)} = 5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

Reservoaret skal produseres ved trykkavlastning, og en antar at reservoaret er lukket under trykkavlastningen (HCPV = konstant). Reservoartemperaturen antas også å holde seg konstant under produksjonen.

- a) For et gasskondensatreservoar:
1. Skissér et PT-diagram.
  2. Skissér GOR vs  $P_{res}$ .
  3. Skissér mol%  $C_1$  og  $C_{10+}$  i brønnstrømmen mot  $P_{res}$ .
  4. Skissér Produsert væskevolum mot  $P_{res}$ .
  5. Hva menes med retrograd kondensering? Forklar.

- b) Når et reservoarfluid produseres går det gjennom et separatorsystem i en flash-prosess til atmosfærebetingelser. Flashligningene er gitt ved:

$$\sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n \frac{z_i}{L + K_i V} = 1$$

$$\sum_{i=1}^n y_i = \sum_{i=1}^n \frac{z_i}{\frac{L}{K_i} + V} = 1$$

1. Forklar symbolene  $x_i$ ,  $y_i$ ,  $z_i$ ,  $L$ ,  $V$ ,  $K_i$
  2. Hvilke fire ligninger trengs for å utlede disse «flashligningene»?
  3. Forklar i detalj og ved bruk av formler (ikke utregninger) hvordan en kan anvende Newton-Raphsons metode for å bestemme  $V$  og  $L$  i en separator.
- c) Fluidet skal produseres gjennom et trestegs separatorsystem. «Flash»-beregninger har gitt følgende data:

Separator 1 (300 bar, 80 °C)	$V_1 = 0.7674$	$L_1 = 0.2326$
Separator 2 (150 bar, 40 °C)	$V_2 = 0.3652$	$L_2 = 0.6348$
Separator 3 (tank) (1 bar, 15 °C)	$V_3 = 0.6161$	$L_3 = 0.3839$

For stocktank oljen (STO):  $M_{STO} = 193.24$  og  $\rho_{STO} = 816 \text{ kg/m}^3$ .

1. Beregn GOR ( $\text{Sm}^3/\text{Sm}^3$ ) for separator 2.
  2. Vis at total GOR er  $1661.6 \text{ Sm}^3/\text{Sm}^3$ .
- d) For reservoaret og reservoardataene som er gitt i denne oppgaven:
1. I gitt brutto reservoarvolum,  $V_b$ , vis at volum av hydrokarboner (HCPV) ( $\text{m}^3$ ) er  $750\,000 \text{ m}^3$ .
  2. Beregn «initial oil in place» IOIP ( $\text{Sm}^3$ ) og «initial gas in place» IGIP ( $\text{Sm}^3$ ).
  3. Beregn produksjonen av gass (i %IGIP) og olje (i %IOIP) ved trykkavlastning fra  $P_i$  til  $P_d$ . Kommenter resultatet.

## Oppgave 2

a) Darcy lov i 1 dimensjon kan uttrykkes som

$$u_x = -\left(\frac{k}{\mu}\right) \left[ \frac{dP}{dx} + \alpha \cdot \rho \cdot g \cdot \sin \theta \right] \quad (1)$$

1. Forklar symbolene i ligningen.
2. Forklar hvorfor vi har et minustegn foran parentesene.
3. Beregn omregningsfaktoren  $\alpha$  dersom vi ønsker at uttrykket skal være i Darcy enheter.

$$\text{(Hint: } 1 \text{ atm} = 101330 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}\text{)}$$

b) Anta at vi har et olje-vann system.

1. Definer *kapillartrykk* og *grenseflatespenning*.
2. Vis at det generelle uttrykket for kapillartrykk (Laplace)

$$p_c = \sigma \cdot \left[ \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right] \quad (2)$$

kan skrives som

$$p_c = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{r} \quad (3)$$

for et sylindrisk rør.

3. Forklar symbolene som inngår i ligningene (2) og (3).
4. Vis at kapillartrykket også kan uttrykkes som

$$p_c = \Delta \rho \cdot g \cdot h \quad (4)$$

c) Leverett  $J$  – funksjon er gitt ved

$$J(S_w) = \frac{P_c}{\sigma \cos \theta} \cdot \sqrt{\frac{k}{\phi}} \quad (5)$$

1. Hvilken dimensjon har  $J$ -funksjonen?
2. Hvilke begrensninger har den?

Funksjonen kan benyttes til å modellere vannmetning som funksjon av høyde over FWL (fritt vannivå) i et reservoar der permeabiliteten varierer. I det følgende skal vi se på et slikt eksempel. Anta at vi har tatt en rekke kjerneprøver fra en formasjon i et oljereservoar og at vi på laboratoriet har målt permeabilitet, porøsitet og kapillartrykkskurve på hver enkelt prøve. For hver enkelt prøve har vi også beregnet en  $J$  – funksjon og til slutt har vi tilpasset en samlet  $J$  – funksjon for formasjonen som best kan beskrives på formen

$$J(S_w) = a \cdot S_w^{-b} \quad (6)$$

der  $a$  og  $b$  er konstanter som tilpasses kurven.

Anta at

$$J(S_w)^{lab} = J(S_w)^{res} \quad (7)$$

3. Vis at vi da får følgende uttrykk som beskriver hvordan vannmetningen varierer som funksjon av høyde over FWL.

$$S_w = \left[ \frac{\Delta \rho^{res} \cdot g \cdot h^{res}}{a \cdot (\sigma \cdot \cos \theta)_{res}} \sqrt{\frac{k}{\phi}} \right]^{\frac{1}{b}} \quad (8)$$

For vår spesielle formasjon gjelder at

$$S_w = (0,06049 \cdot h^{res} \sqrt{\frac{k}{\phi}})^{-0,4085} \quad (9)$$

der  $[h^{res}] = \text{m}$  og  $[k] = \text{mD}$ .

4. Hva blir da  $S_w$  i et punkt 5 m over FWL når  $k=100 \text{ mD}$  og  $\phi = 0,2$  ?

5. Forklar hvorfor vannmetningen som funksjon av høyde i den kapillære overgangssonen representerer viktig informasjon.

d) Anta at vi har et oljereservoar med PVT data som gitt i Tabell 1.

Tabell 1: PVT data for oljereservoar

$P$ (bar)	$B_{ol}$ (Rm <sup>3</sup> /Sm <sup>3</sup> )	$R_s$ (Sm <sup>3</sup> /Sm <sup>3</sup> )	$B_g$ (Rm <sup>3</sup> /Sm <sup>3</sup> )
308 ( $P_i$ )	1,247	94,4	
239 ( $P_b$ )	1,258	94,4	
161,5	1,195	63,7	
101	1,122	28,9	0,0157

$$c_w = 4,33 \cdot 10^{-5} \text{ bar}^{-1}$$

$$c_f = 1,24 \cdot 10^{-4} \text{ bar}^{-1}$$

$$S_{wc} = 0,2$$

1. På basis av materialbalanseligningen (gitt i vedlegg), beregn utvinningsgraden ( $N_p / N$ ) når reservoaret trykkavlastes ned til boblepunktet ( $P_b$ ).

- e) Reservoaret trykkavlastes til  $p = 101$  bar. Se bort fra ekspansjon av vann og kompaksjon av porevolum.
1. Utled et uttrykk som gir utvinningsgraden  $N_p/N$  som en funksjon av  $R_p^{101 \text{ bar}} [= G_p / N_p]$  og diskuter resultatet.
  2. Beregn utvinningsgraden dersom  $R_p = 200 \text{ Sm}^3 / \text{Sm}^3$ .
  3. Forklar hvorfor vi kan se bort fra ekspansjon av vann og kompaksjon av porevolum.
  4. Forklar hvorfor svært få av de 50 produserende oljefeltene på norsk sokkel produseres med trykkavlastning som drivmekanisme.
- f) Anta at vi har et oljereservoar med en betydelig gasskappe ( $m > 1$ ).
1. I hvilken rekkefølge bør olje og gass utvinnes? Forklar.

### Materialbalanseligningen

Vi antar ingen vanninjeksjon, innstrømning av vann, gassinjeksjon eller produksjon av vann

$$F = N [E_o + m \cdot E_g + E_{f,w}]$$

$$F = N_p \cdot [B_o + (R_p - R_s) \cdot B_g]$$

$$E_o = (B_o - B_{oi}) + (R_{si} - R_s) \cdot B_g$$

$$E_g = B_{oi} \cdot \left[ \frac{B_g}{B_{gi}} - 1 \right]$$

$$E_{f,w} = (1 + m) \cdot B_{oi} \cdot \frac{c_f + c_w \cdot S_{wc}}{1 - S_{wc}} \cdot \Delta P$$

## Vedlegg 1

### Important formula/correlations in PVT-Analysis.

<b>Temperature:</b>	$^{\circ}\text{K} = 273.15 + ^{\circ}\text{C}$ $^{\circ}\text{F} = 1.8 \times ^{\circ}\text{C} + 32$ $^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 459.69$
<b>Pressure:</b>	$1 \text{ atm} = 1013.250 \text{ mBar} = 1.013250 \text{ bar} = 101.3250 \text{ kPa} = 0.1013250$ $\text{MPa} = 14.69595 \text{ psia}$ $\text{psia} = 14.69595 + \text{psig}$ $1 \text{ atm} = 760.002 \text{ mmHg at } 0^{\circ}\text{C}$
<b>Density:</b>	$1 \text{ g/cm}^3 = 62.43 \text{ lb/ft}^3 = 350.54 \text{ lb/bbl}$ $1 \text{ lb/ft}^3 = 16.0185 \text{ kg/m}^3$ $\rho_w = 0.999015 \text{ g/cm}^3 \quad (60^{\circ}\text{F}, 1 \text{ atm})$ $\rho_w = 0.9991 \text{ g/cm}^3 \quad (15^{\circ}\text{C}, 1 \text{ atm})$
<b>Specific density:</b>	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): $M_o = \frac{6084}{^{\circ}\text{API} - 5.9}$ $\gamma_g = \frac{M_g}{M_{\text{air}}} = \frac{M_g}{28.96}$
<b>Volume:</b>	$1 \text{ bbl} = 5.615 \text{ ft}^3 = 0.15898 \text{ m}^3$ $1 \text{ ft}^3 = 0.0283 \text{ m}^3$ $1 \text{ US Gallon} = 3.785 \text{ litre}$ $1 \text{ Imp. Gallon} = 4.546 \text{ litre}$ Molar volume of gas at standard conditions: $V_m = 379.51 \text{ SCF/lb mole } (60^{\circ}\text{F and } 14.69595 \text{ psia})$ $V_m = 23644.7 \text{ cm}^3/\text{g mole} = 23.6447 \text{ m}^3/\text{kg mole } (15^{\circ}\text{C and } 101.3250 \text{ kPa})$
<b>Air:</b>	$Z_{\text{air}} = 0.9959 \quad (60^{\circ}\text{F}, 14.69595 \text{ psia})$ $M_{\text{air}} = 28.96$
<b>Gas constant:</b>	$R = 10.732 \quad (\text{psia}, \text{ft}^3, ^{\circ}\text{R}, \text{lb mole})$ $R = 0.082054 \quad (\text{atm}, \text{litre}, ^{\circ}\text{K}, \text{g mole})$ $R = 8.3145 \quad (\text{kPa}, \text{m}^3, ^{\circ}\text{K}, \text{kg mole})$