

Fakultet for teknisk – naturvitenskapelige fag

Emne: BIP 140, Reservoarteknikk

Dato: 2. Desember 2009.

Tid: 09.00-13.00

Tillatte hjelpemidler: Enkel kalkulator

Oppgavesettet består av: 6 sider inkludert 1 vedlegg

Oppgave 1 og 2 til sammen blir vektet likt med oppgave 3

---

## Oppgave 1

### a.

Gitt et lukket våt gass reservoar.

1. Karakteriser fluidet ut fra et PT-diagram.
2. Skisser  $GOR = f(P_{res})$ .
3. Utled formelen for gassekvivalenter, GE.

$$(GE)_{STO} = 23.6447 \frac{\rho_{STO}}{M_{STO}} \text{ (Sm}^3 \text{ gass/Sm}^3 \text{ STO)}$$

4. Ved å benytte materialbalanse for produksjonen fra et lukket tørr gass reservoar skal en utlede et uttrykk for:

$$\frac{P}{Z} = f(G_p)$$

$G_p$ : produsert gassvolum ved SC,  $\text{Sm}^3$ .

5. Forklar i detalj hvordan en kan benytte formelen til å bestemme brutto opprinnelig gassmengde ( $\text{Sm}^3$ ) fra produksjonsdata for et våt gass reservoar.

### b.

Bestem opprinnelig gassmengde (IGIP  $\text{Sm}^3$ ) og tank olje (IOIP  $\text{Sm}^3$ ) pr 10000  $\text{m}^3$  brutto reservoar volum for et våt gass reservoar. Brønnstrømmen gjennomgår en to-steps separasjon, separator pluss tank.

Følgende data er gitt:

$P_{res}=50000 \text{ kPa}$

$1013.32 \text{ kPa}$

$Z_i = 1.236$

$$T_{res}=100\text{ }^{\circ}\text{C} \quad T_{sc}=15\text{ }^{\circ}\text{C} \quad \Phi=0.25$$

$$S_{wr}=0.10 \quad \rho_{STO}=750\text{ kg/m}^3 \quad M_{STO}=105$$

$$GOR_{sep}=6500\text{ Sm}^3/\text{Sm}^3 \quad GOR_{tank}=500\text{ Sm}^3/\text{Sm}^3$$

Vil naturlig vanninfluks i reservoaret ha positiv effekt på gassproduksjonen. Diskuter.

**c.**

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

**Oppgave 2**

Et horisontalt sirkulært olje reservoar ligger over en stor vannsone. En vertikal brønn perforeres øverst i oljesonen, og følgende data er gitt:

Høyden på oljereservoaret:	$h=75\text{ ft}$
Perforeringsintervall:	$h_c=10\text{ ft}$
Reservoar radius:	$r_e=5000\text{ ft}$
Brønnradius:	$r_w=0.5\text{ ft}$
Oljepermeabilitet ved $S_{wr}$ :	$k_o=0.10\text{ darcy}$
Viskositet av olje:	$\mu_o=2.5\text{ cP}$
Tetthet av olje:	$\rho_o=0.75\text{ g/cm}^3$
Tetthet av vann:	$\rho_w=0.95\text{ g/cm}^3$
Reservoar trykk:	$P_{res}=4000\text{ psia}$
Olje formasjonsfaktor	$B_o=1.3\text{ m}^3/\text{Sm}^3$

Gitt Darcys lov:

$$q = -\frac{k}{\mu} A \frac{dP}{dL}$$

For et sirkulært reservoar i feltenheter:

$$q = 7.082 \times 10^{-3} \frac{kh(P_e - P_w)}{\mu \ln \frac{r_e}{r_w}}$$

hvor  $k$  (mD);  $\mu$  (cP);  $h$  and  $r$  (ft);  $P$  (psia),  $q$  (bbl/D)

Etter en tids produksjon vil det etablere seg en vann-kon som rekker opp til perforeringen på brønnen.

**a.**

1.

Lag en skisse og utled i detalj formelen for maksimal vannfri produksjon av olje,  $(q_o)_{max}$ .

$$(q_o)_{\max} = -C \frac{(\rho_w - \rho_o)k_o}{\mu_o \ln \frac{r_e}{r_w}} (h^2 - h_c^2)$$

hvor C er en system konstant.

2.

Hvilke antakelser gjør en for å utlede uttrykket, og hvilke konsekvenser har dette for  $(q_o)_{\max}$ ?

**b.**

1.

Beregn den maksimale vannfrie produksjonsraten av olje,  $(Q_o)_{\max}$  (Sbbl/d).

Gitt  $C = 1.535$  når en bruker følgende enheter:  $k$  (darcy);  $\mu$  (cP);  $\rho$  ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );  $h$ ,  $h_c$  and  $r$  (ft);  $q_o$  (bbl/D).

2.

På grunn av begrenset perforering har brønnen en "skinn-faktor" på 0.5. Beregn trykket i brønnen ved maksimal produksjonsrate av olje.

### Oppgave 3:

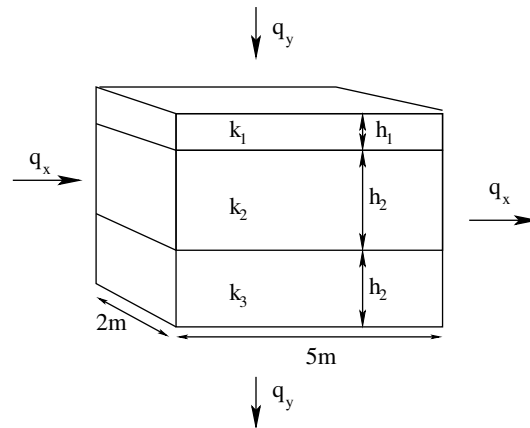
- a) Beregn porøsitet av en kjerneplugg fra følgende data: Tørrvekt av kjerneplugg 259.2 gram, vekt av vannmettet kjerneplugg 297 gram, tettheten av vann  $1\text{g/cm}^3$ . Vekt av vannmettet kjerneplugg nedsenket i vann 161.4 gram.
- b) Skriv ned Darcy's lov for en-dimensjonal strøm av en fase i et homogent, porøst medium med konstant tverrsnitt (husk gravitasjonsleddet). Definer størrelsene som inngår. Hva er enhetene til størrelsene som inngår i Darcy's lov?
- c) Ta utgangspunkt i Darcy's lov på formen:

$$q = \alpha \frac{k A \Delta p}{\mu L}.$$

Hva er verdien av  $\alpha$  i Darcy enheter? Finn  $\alpha$  i oil field units. (Hint:  $1\text{ atm} = 14.696\text{ psi}$ ,  $1\text{ bbl} = 159 \cdot 10^3\text{ cm}^3$  og  $1\text{ ft} = 30.48\text{ cm}$ .)

Ta utgangspunkt i systemet illustrert i Figur 1. Det strømmer vann enten i x-retning eller i y-retning (Anta  $\mu_w = 1\text{cP}$ ).  $k_1 = 0.2\text{ D}$ ,  $k_2 = 0.15\text{ D}$ ,  $k_3 = 0.4\text{ D}$ ,  $h_1 = 60\text{ cm}$ ,  $h_2 = 180\text{ cm}$ ,  $h_3 = 120\text{ cm}$ ,  $p_{\text{in}} = 35\text{ atm}$ ,  $p_{\text{out}} = 25\text{ atm}$ .

- d) La først  $q_y = 0$  og vis at midlere permeabilitet (for strøm langs lag) er  $0.242\text{ D}$ . Finn også den totale strømningsraten,  $q_x$  når  $q_y = 0$ , gjennom mediet. Finn  $q_y$  når  $q_x = 0$ .



Figur 1: Lagdelt reservoar

- e) Forklar hvordan vi kan finne ut om en overflate er vannfuktet, nøytralfuktet, eller oljefuktet. Skisser en kapillartrykkskurve for drenering i et vannfuktet porøst medium. Skisser en kapillartrykkskurve for imbibering av olje i et porøst medium med blandet fuktpreferanse.

En kapillartrykkskurve ble målt på laben for et vann-luft system. Systemet er antatt å være vannfuktet. Den eksperimentelle kurven ble tilpasset følgende funksjon:

$$p_c = -A \ln \frac{S_w - S_{wr}}{1 - S_{wr}} + p_D, \quad (1)$$

der  $A = 4.69\text{ kPa}$ ,  $p_D = 7\text{ kPa}$ ,  $S_{wr} = 0.30$ . Andre data er  $\sigma_{\text{luft-vann}} = 70 \cdot 10^{-3}\text{ N/m}$ ,  $\sigma_{\text{olje-vann}} = 35 \cdot 10^{-3}\text{ N/m}$ ,  $\rho_w = 1080\text{ kg/m}^3$ ,  $\rho_o = 850\text{ kg/m}^3$ .

- f) Bruk likning (1) og Leveretts J-funksjon ( $J(S_w) = p_c(S_w) \sqrt{k/\phi/\sigma}$ ) til å vise at kapillartrykkskurven for et vannfuktet olje-vann system blir:

$$p_c = -A' \ln \frac{S_w - S_{wr}}{1 - S_{wr}} + p'_D, \quad (2)$$

der  $A' = 2.35\text{ kPa}$  og  $p'_D = 3.5\text{ kPa}$ . Finn et uttrykk for metningen som funksjon av høyden over det frie vann nivået. Hva er metningen 2 m over dette nivået?

Tabell 1: Field PVT data

Pressure (psia)	$B_o$ rb/stb	$R_s$ scf/stb	$B_g$ rb/scf
4000	1.2417	510	
3500	1.2480	510	
3330	1.2511	510	
3000	1.2222	450	0.00087
2700	1.2022	401	0.00096
2400	1.1822	352	0.00119
2100	1.1633	304	0.00137
1800	1.1450	257	0.00161
1500	1.1287	214	0.00196
1200	1.1115	167	0.00249
900	1.0940	122	0.00339
600	1.0763	78	0.00519
300	1.0583	35	0.01066

- g) Hva er terskeltrykket til prøven for et olje-vann system? Beregn den tilsvarende høyden over det frie vann nivået denne høyden svarer til. Hvilken fysisk tolkning har denne høyden?

Vi skal nå se nærmere på et oljereservoar. Vi definer følgende volumer:

$$\begin{array}{lcl}
 \text{Reservoir} & & \text{Surface} \\
 \Delta V_g^R & \longrightarrow & \Delta V_{g,g}^S + \Delta V_{o,g}^S \\
 \Delta V_o^R & \longrightarrow & \Delta V_{o,o}^S + \Delta V_{g,o}^S .
 \end{array}$$

På venstre side er det reservoarvolum av gass ( $\Delta V_g^R$ ) og olje ( $\Delta V_o^R$ ). Når en volumenhet av olje blir tatt til overflatebetingelser blir det produsert et volum olje ( $\Delta V_{o,o}^S$ ) og et volum gass som var oppløst i oljen ( $\Delta V_{g,o}^S$ ). Tilsvarende for gassfasen. Vi ser vekk i fra oppløst olje i gass, dvs.  $\Delta V_{o,g}^S = 0$ .

- h) Definer volumfaktorene  $B_o$ ,  $B_g$ , oppløst gass-olje forhold  $R_s$  og kumulativt produsert gass olje forholdet  $R_p$ . Lag en skisse av  $B_o$ ,  $B_g$ , og  $R_s$  som funksjon av midlere reservoartrykk, indiker boblepunktstrykket på grafen.

Likningen for materialbalanse er gitt som:

$$F = N(E_o + m E_g + E_c) + W_e B_w . \quad (3)$$

- i) Forklar hvilke to ledd som settes lik hverandre ved utledning av likning (3). Finn et uttrykk for ekspansjon av gass i reservoaret (leddet  $N m E_g$  i likning (3)).

Vi skal se på et reservoar der hoveddrivmekanismen er ekspansjon av olje og oppløst gass i olje. Opprinnelig gjennomsnittlig reservoartrykk var 4000 psia. Vi neglisjerer innstrømming av vann i reservoaret og produksjon av vann. Andre PVT og produksjonsdata er gitt i Tabell 1. Likningen for materialbalanse reduserer seg nå til:

$$N_p [B_o + (R_p - R_s)B_g] = N [(B_o - B_{oi}) + (R_{si} - R_s)B_g] . \quad (4)$$

- j) Bruk likning (4) og data i Tabell 1 til å gi et estimat på hvor stor fraksjon av oljen som er utvunnet ( $N_p/N$ ), når gjennomsnittlig reservoartrykk er falt til 900 psi og  $R_p = 500 \text{ Sm}^3/\text{Sm}^3$ .

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

**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):

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

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

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

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