

**Fakultet for teknisk – naturvitenskapelige fag**

**Emne: BIP 140, Reservoarteknikk**

**Dato: 4. Desember 2010.**

**Tid: 09.00-13.00**

**Tillatte hjelpemidler: Enkel kalkulator**

**Oppgavesettet består av: 8 sider inkludert 2 vedlegg**

**Oppgave 1 og 2 blir vektet likt med oppgave 3**

### **Oppgave 1.**

Et nytt oljereservoar skal evalueres for vanninjeksjon. Noen reservoardata er kjent, og en skal bruke B-L ligningen ved at en konstruerer seg et modell reservoar som oppfyller betingelsene for B-L ligningen. Trykket opprettholdes ved at det injiseres like stort volum som det produseres, målt ved reservoar betingelser. Følgende informasjon er gitt:

$$v_{S_w} = \frac{q_t}{\phi A} \left( \frac{df_w}{dS_w} \right)_{S_w}$$

Injeksjonsrate av vann:	$Q_w = 100 \text{ Sm}^3/\text{d}$
Lengde:	$L = 100 \text{ m}$
Tverrsnittareal:	$A = 1000 \text{ m}^2$
Porositet:	$\phi = 0.26$
Helning ("dip"):	$\alpha = 13^\circ$
Viskositeter:	$\mu_w = 0.5 \text{ cP}$ og $\mu_o = 2.4 \text{ cP}$
Formasjonsfaktorer:	$B_o = 1.50$ og $B_w = 1.0 \text{ m}^3/\text{Sm}^3$ .

**Relative permeabiliteter:**

$S_w$	$k_{rw}$	$k_{ro}$
0.16	0	0.920
0.25	0.020	0.725
0.35	0.050	0.470
0.45	0.095	0.290
0.55	0.150	0.150
0.65	0.225	0.060
0.75	0.335	0.015
0.79	0.410	0

*Fraksjonstrømkurven for vann er plottet og gitt i Vedlegg 2 som vedlegges besvarelsen.*

PS!! Alle data/tall som leses av grafisk skal noteres i besvarelsen.

**a.**

Definer og beregn mobilitetsforholdet ved endepunktsmetningene. Kommenter verdien.

**b.**

1. Beregn volum olje produsert ved vanngjennombrudd,  $N_p$  ( $\text{Sm}^3$ )
2. Beregn gjenvinningen som % av produserbar olje.
3. Beregn WOR ( $\text{Sm}^3/\text{Sm}^3$ ) like etter vanngjennombrudd.

**c.**

Ved WOR=18 må en stanse produksjonen.

1. Beregn produksjonstiden,  $t$  (D)
2. Beregn volum olje produsert,  $N_p$  ( $\text{Sm}^3$ )
3. Beregn gjenvinningen som % av IOIP.

**Oppgave 2.**

**a.**

”Flash” ligningene for  $n$  komponenter 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 og sett opp de ligningene som er utgangspunktet for utledningen.
2. Vis hvordan en kan bruke ”Flash” ligningene til å beregne  $P_b$  og  $P_d$  ved gitt T. Gi en kort forklaring hvordan beregningene foretas.

**b.**

Følgende reservoardata er gitt:

$$T_{\text{res}} = 164 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$P_i = 759 \text{ bar, } Z_i = 1.6901$$

$$P_d = 478 \text{ bar, } Z_d = 1.2455$$

$$\phi = 0.27$$

$$S_{\text{wr}} = 0.15$$

Fluidet prosesseres gjennom en 3-stegs separasjon, og ”flash” beregninger ga følgende resultat:

- |   |                          |
|---|--------------------------|
| 1. Separator (400 bar, 100 °C):         | $V_1=0.9047, L_1=0.0953$ |
| 2. Separator (200 bar, 50 °C):          | $V_2=0.3666, L_2=0.6334$ |
| 3. Separator (Lagertank) (1 bar, 15 °C) | $V_3=0.6700, L_3=0.3300$ |

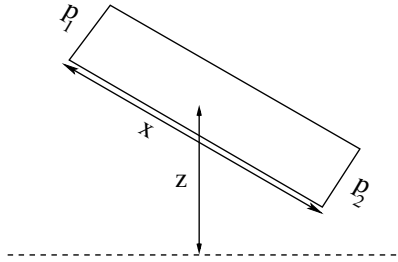
$$M_{\text{STO}} = 228 \text{ og } \rho_{\text{STO}} = 837 \text{ kg/m}^3$$

Anta reservoaret er lukket, og i de påfølgende beregningene skal en ta basis i  $10^6 \text{ m}^3$  brutto reservoar volum.

1. Karakteriser fluidet ved hjelp av et PT-diagram.
2. Vis at den totale GOR er:  $(\text{GOR})_t=4275 \text{ Sm}^3/\text{Sm}^3$
3. Definer  $B_g$  factoren, og vis at opprinnelig  $B_{gi}= 0.00349 \text{ m}^3/\text{Sm}^3$
4. Beregn IGIP ( $\text{Sm}^3$ ) og IOIP ( $\text{Sm}^3$ ).
5. Skisser GOR som funksjon av  $P_{\text{res}}$  når:  $50 < P_{\text{res}} < 759 \text{ bar}$
6. Forklar kort fenomenet ”Retrograd kondensering”.

## Oppgave 2:

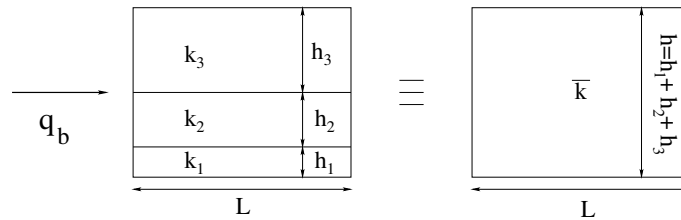
NB: ET AV DELSPØRSMÅLENE UNDER KAN VELGES BORT (VALGFRITT HVILKET)



- a) 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 definisjonsenhetene for Darcy's lov?
- b) Vis at for strøm av en ideell gass i et endimensjonalt, *horisontalt* medium, tar Darcy's lov følgende form (Se bort i fra gravitasjonsleddet.):

$$q_b = 3.1641 \frac{k A}{\mu_g} \frac{1}{p_b} \frac{(p_1^2 - p_2^2)}{L}.$$

Dersom følgende enheter skal brukes i likningen over:  $k$  (Darcy),  $\mu$  cp,  $q$  ft<sup>3</sup>/day,  $L$  ft,  $A$  ft<sup>2</sup>,  $p$  psi. (Hint: ideell gass lov gir at  $p q = \text{konstant}$  ved konstant temperatur. 1 atm = 14.696 psi, 1ft = 30.48 cm)



Figur 1: Sedimentære lag i parallell

- c) Vis følgende:
- i) at for et lagdelt reservoar (se Figur 1) og strøm *langs* lag så er effektiv permeabilitet gitt ved  $\bar{k} = \frac{1}{h} (k_1 h_1 + k_2 h_2 + k_3 h_3)$ .
- ii) Beregn den totale strømningsrate av gass i ft<sup>3</sup>/d ved trykk  $p_b$  gjennom det viste system i Figur 1 fra følgende data,

Bredde	200 ft,	Lengde	400 ft,	$p_{atm}$	15.0 psia,
$h_1$	2 ft,	$k_1$	200 md,	$p_{in}$	500 psig,
$h_2$	6 ft,	$k_2$	150 md,	$p_{out}$	400 psig,
$h_3$	4 ft,	$k_3$	400 md,	$p_b$	14.65 psia,

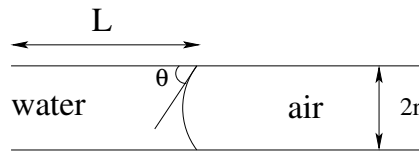
$$\mu_g = 0.0185 \text{ cp og } p_{psia} = p_{psig} + p_{atm}$$

- d) Skisser drenerings kapillartrykkskurven for et olje-vann system, indiker på grafen hvor  $S_{wr}$  og terskeltrykket er. Forklar hvordan man fra denne kurven kan estimere høyden til olje-vann kontakten. Hva måles denne høyden fra?
- e) Vi skal nå se på et rør, med radius  $r$ , som ligger *horisontalt* (gravitasjonen kan neglisjeres). Vann strømmer inn fra den ene siden og fortrenger luft inne i røret. Ta utgangspunkt i Young Laplace lov:

$$p_c = p_o - p_w = \sigma_{ow} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right).$$

Vis at for et kapillærrør med radius  $r$ , kontaktvinkel  $\theta$  kan man utlede følgende uttrykk for trykkforskjellen mellom vann og luft (se figur 2):

$$\Delta p = p_{\text{luft}} - p_w = \frac{2\sigma \cos\theta}{r}.$$



Figur 2: Horisontalt kapillar rør, med indre radius  $r$ . Vann kommer inn fra venstre og fortrenger luft, avstanden frem til vannfronten er  $L$ .

- f) Ta utgangspunkt i Poiseuille lov for laminær strøm i et rør  $q = \frac{\pi r^4}{8\mu_w} \Delta p/L$ , bruk resultatet i oppgave e) og vis at vannhastigheten  $u_w$  i røret kan skrives som:

$$u_w = \frac{dL}{dt} = \frac{\sigma \cos\theta}{4\mu_w} \frac{r}{L}. \quad (1)$$

(Hint: volumraten i røret kan skrives som  $q = \frac{dV}{dt} = \frac{d\pi r^2 L}{dt} = \pi r^2 \frac{dL}{dt}$ ).

- g) Likning (1) er kjent som Washburns likning<sup>1</sup>. Integrer likning (1) og finn et uttrykk for  $\cos\theta$ . Hva blir kontaktvinkelen, hvis vannet bruker 8 sekunder på å forflytte seg 0.5m ( $\sigma=70$  mN/m,  $\mu_w = 10^{-3}$  Pa s, og  $r = 1$  mm).

Vi skal nå se nærmere på et olje reservoar med en gasskappe. Vi definer følgende volumer:

Reservoir	→	Surface
$\Delta V_g^R$	→	$\Delta V_{g,g}^S + \Delta V_{o,g}^S$
$\Delta V_o^R$	→	$\Delta V_{o,o}^S + \Delta V_{g,o}^S$

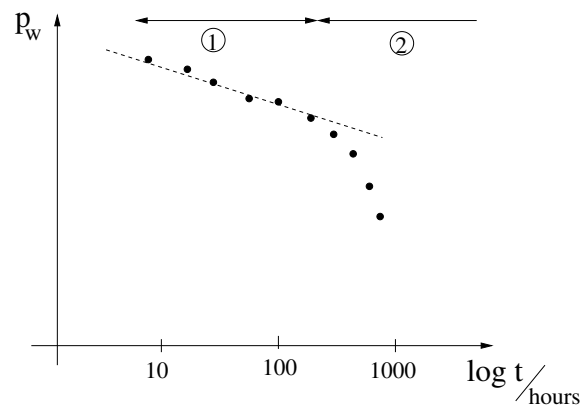
På venstre side er det reservoarvolum av gass ( $\Delta V_g^R$ ) og olje ( $\Delta V_o^R$ ). Når en volumenhet av olje blir tatt til overflatebetingelser blir det produsert et volum olje ( $\Delta V_{o,o}^S$ ) og et volum gass som var oppløst i oljen ( $\Delta V_{g,o}^S$ ). Tilsvarende for gassfasen. 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  $R_s$ .
- i) Skisser  $B_o$ ,  $B_g$  og  $R_s$  som funksjon av trykk i tre forskjellige grafer. Indiker på grafen hvor boblepunktstrykket for olje er.

Vi skal nå se litt nærmere på data fra en trykktest i brønn.

- j) Hva kjennetegner de to regimene (1 og 2) under en trykktest som er indikert på grafen i figur 3? Nevn eksempler på reservoarparametere som kan bestemmes i disse to regimene?

<sup>1</sup>Erstatter man  $r$  med  $\sqrt{8k/\phi}$  får man en likning som også kan brukes for porøse medier.



Figur 3: Data fra en pressure draw down test i brønn. Trykkviklingen i brønnen er plottet som en funksjon av log tid.

## 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.**

**Fraksjonstrøm av vann** —◆ fw

