

Fakultet for teknisk – naturvitenskapelige fag

Emne: BIP 140, Reservoarteknikk

Dato: 23. November 2013

Tid: 09.00-13.00

Tillatte hjelpemidler: Enkel kalkulator

Oppgavesettet består av: 7 sider inkludert 1 vedlegg

Oppgave 1 er vektet likt med Oppgave 2

---

## Oppgave 1

### a

Gi en karakteristik av reservoarfluidene Tørr gass, Våt gass og Gasskondensat ved hjelp av:

1. PT-diagrammer og GOR-verdier
2. Skisser av GOR vs.  $P_{res}$  for hvert fluid.

### b

1. Forklar symbolene og sett opp hvilke ligninger som trengs for å utlede flashligningene for  $n$  komponenter gitt under:

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

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

2. Vis hvordan en kan bruke flashligningene til å beregne  $P_b$  og  $P_d$  ved gitt  $T$ . Gi en kort forklaring hvordan beregningene foretas.

### c

Følgende data er gitt for et gasskondensatreservoar:

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

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

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

$$\phi = 0.27$$

$$S_{wr} = 0.15$$

Fluidet prosesseres gjennom en 3-steps separasjon hvor:

- |   |                          |
|---|--------------------------|
| 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) | $V_3=0.6700, L_3=0.3300$ |

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

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

1. Utled et uttrykk for den totale  $(GOR)_t = f(L_1, L_2, L_3, M_{STO}, \rho_{STO}) \text{ (Sm}^3/\text{Sm}^3)$ , og vis at  $(GOR)_t = 4271 \text{ Sm}^3/\text{Sm}^3$ .
2. Vis at formasjonsvolumfaktoren ved  $P_i$  er:  $B_{oi} = 14.91 \text{ m}^3/\text{Sm}^3$ .

**d**

Med basis i  $10^6 \text{ m}^3$  brutto reservoarvolum skal en beregne gjenvinningen av separatorgass ( $\text{Sm}^3$ ) og STO ( $\text{Sm}^3$ ) i trykkintervallet  $P_1$  til  $P_d$ .

**e**

Når  $P_{res} < P_d$  er en CVD-analyse utgangspunktet for gjenvinningsberegninger. Data er angitt i følgende tabell:

**Constant Volume Depletion at 164 °C**

Pressure Bar	Liq. Vol. % of $V_d$	%Prod Mole	Z Factor	Viscosity cP
478	0.00	0.00	1.245	0.068
396	8.62		1.101	0.051
338	13.69	16.17	1.017	0.041
283	18.69	25.39	0.958	0.033
221	21.64	38.19	0.923	0.026
159	21.35	53.00	0.915	0.021
104	19.70	67.29	0.925	0.018
49	17.27	82.12	0.949	0.016

( $V_d =$  Cellevolum ved  $P_d$ )

$V_{celle} = 1500 \text{ cm}^3$

$\Delta V_1 = 136 \text{ cm}^3$  (volum gass produsert fra PVT-cellen i trykkintervallet 478 til 396 bar.)

1. Gi en kortfattet beskrivelse av en CVD-analyse.
2. Utled i detalj følgende uttrykk:

$$(\Delta n_j)_{felt} = \frac{(HCPV)P_j(\Delta V_j)}{RT_{res}V_{celle}Z_j}$$

$(\Delta n_j)_{felt}$  = antall mol brønnstrøm produsert i trykksteget j.

HCPV = porevolum av hydrocarboner.

$P_j$  = trykket i trykksteget j.

$\Delta V_j$  = volum gass produsert fra PVT-celle i trykksteg j.

$Z_j$  = kompressibiliteten av gassen i trykksteget j.

3. Med basis i  $10^6 \text{ m}^3$  reservoarvolum skal en:
  - a. Beregne antall kgmol til stede ved  $P_d$ ,  $n_d$ .
  - b. Med basis i verdien for  $n_d$ , skal en beregne mol% produsert brønnstrøm i trykkintervallet 478 til 396 bar.
  
4. Gjør en vurdering av gjenvinningsberegninger fra dette reservoaret basert på CVD-analysen. Gass-olje relative permeabiliteter ga endepunktsmetninger  $S_{or} = 0.18$  og  $S_{gr} = 0.20$ . Diskuter.

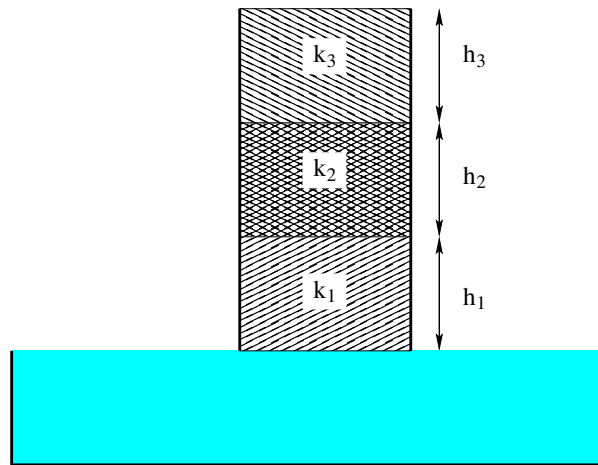
## Oppgave 2:

- a) Darcy lov for en-dimensjonal strøm av inkompressibel væske i et porøst medium med konstant tverrsnitt kan skrives:

$$u = \frac{q}{A} = \frac{k}{\mu} \rho \frac{\Delta\Phi}{L}, \quad \Phi = p/\rho + G g Z.$$

Definer *alle* symbolene i likningen over og angi hvilke enheter som brukes.

Vi skal nå se nærmere på systemet vist i Figur 1. Et kar fylt til randen med vann og et vertikalt rør med tverrsnitt  $A$  stikker såvidt ned i vannet. Røret er fylt med sand med *ulik* størrelse på kornene, slik at det blir tre soner med ulik permeabilitet. Nederst er det en tynn rist som holder sanden på plass. Karet og røret er åpne til atmosfæren. Vann helles med konstant rate  $q$  oppi røret. Vannet renner gjennom sanden og over kanten på karet. Vann fylles på slik at det øverste vann-nivået flukter med sanden i røret. Tettheten til vannet er  $1 \text{ gram/cm}^3$  og viskositeten er  $1 \text{ cP}$ .



Figur 1: Kar fylt med vann, rør med tre sandtyper med høyde  $h_1$ ,  $h_2$  og  $h_3$  henholdsvis.

- b) Vis først at effektiv permeabilitet,  $\bar{k}$ , for systemet oppfyller følgende likning:

$$\frac{h}{\bar{k}} = \frac{h_1}{k_1} + \frac{h_2}{k_2} + \frac{h_3}{k_3},$$

Beregn effektiv permeabilitet, hvis  $h_1 = h_2 = h_3 = 10 \text{ cm}$  og  $k_1=1\text{D}$ ,  $k_2=0.1\text{D}$ ,  $k_3=1\text{D}$ .

- c) Indikerer på en skisse hvor datum planet er valgt og vis (*inkludert omrekningsfaktoren*) at Darcy lov fra oppgave a) kan for dette systemet skrives som:

$$u = \frac{1}{1.101325 \cdot 10^6} \frac{\bar{k} \rho g}{\mu}.$$

(Hint:  $1 \text{ atm} = 1.01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ )

- d) Anta nå at vi stopper å fylle vann på systemet. Finn hastigheten til væska og beregn hvor lang tid tar det før systemet er tomt for vann. Hvilke antagelser må du bruke?

Tabell 1: Kapillartrykk målt ved kvikksølv injeksjon

Lab-data		Beregnet	
Hg-Sat	$p_{cHg}/\text{psia}$	Sw	$p_{cqw}/\text{bar}$
0.01	1.9956	0.99	0.02676
0.05	2.1675	0.95	0.02906
0.15	2.3501	0.85	0.03151
0.28	2.5279	0.72	0.03390
0.41	2.6832	0.59	0.03597
0.53	2.9104	0.47	0.03902
0.62	3.1479	0.38	0.04220
0.7	3.4525	0.3	0.04629
0.77	3.7785	0.23	0.05066
0.81	4.0873	0.19	0.05480
0.84	4.4231	0.16	0.05930
0.87	4.7859	0.13	0.06417
0.89	5.1811	0.11	0.06946
0.9	5.6133	0.1	0.07526

Kapillartrykkskurven til et porøst medium som bestod av tettpakket sand med permeabilitet 1D ble målt ved bruk av kvikksølv(Hg) og luft. Kvikksølv er ikke-fuktende fase i forhold til luft, data er gitt i Tabell 1. Grenseflatespenning mellom luft og vann er 70 mN/m, luft og kvikksølv er 485 mN/m. Kontaktvinkel mellom luft og kvikksølv er 130° og mellom luft og vann er 30°.

- e) Ta utgangspunkt i Leverett's J-funksjon,  $J = \frac{\sqrt{k} p_c}{\sigma \cos \theta}$  og vis følgende sammenheng mellom kapillartrykkskurven for kvikksølv/luft og luft/vann i dette tilfellet:

$$\left( \frac{P_c}{\sigma \cos \theta} \right)^{Hg} = \left( \frac{P_c}{\sigma \cos \theta} \right)^{gw}.$$

Bruk lab data i kolumnene til venstre i Tabell 1. Vis at for følgende to verdier: Hg-Sat = 0.01 og Hg-Sat = 0.90 at du kan beregne de to tilsvarende verdiene i kolumnene til høyre som beskriver en drenerings kapillartrykkskurve der luft fortrenger vann i et vannfuktet system. (Hint: ignorer evt. negativt fortegn, 1psi = 0.068947 bar)

- f) Anta at denne kapillartrykkskurven er representativ for sandpakkene som ble brukt i oppgave b). Anta at alle sandpakkene har samme porøsitet, skisser vannmetningen i røret i oppgave b) etter at vi har sluttet å fylle på vann og ingenting vann renner ut av røret.

Vi skal nå se nærmere på et oljereservoar. 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.  $\Delta V_{o,g}^S = 0$ .

- g) 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:

$$F = N(E_o + m E_g + E_c) + W_e B_w. \quad (1)$$

- h) Forklar hvilke to ledd som settes lik hverandre ved utledning av likning (1). Finn et uttrykk for ekspansjon av gass i reservoaret (leddet  $N m E_g$  i likning (1)).

Tabell 2: 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

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 innstrømning av vann i reservoaret og produksjon av vann. Andre PVT og produksjonsdata er gitt i Tabell 2. Likningen for materialbalanse reduserer seg nå til:

$$N_p [B_o + (R_p - R_s)B_g] = N [(B_o - B_{oi}) + (R_{si} - R_s)B_g] . \quad (2)$$

- i) Bruk likning (2) og data i Tabell 2 til å gi et estimat på hvor stor fraksjon av oljen som er utvunnet ( $N_p/N$ ), når gjennomsnittlig reservoartrykk er falt til 900 psia og  $R_p = 500$  scf/stb.

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