

132 / 4  
~~132~~



Universitetet  
i Stavanger

## DET TEKNISK – NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

EKSAMEN I: BIP 140, Reservoarsteknikk

DATO: 4. desember 2014

VARIGHET: 4 timer

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

OPPGAVESETTET BESTÅR AV: 7 sider inkludert 1 vedlegg

MERKNADER: Oppgave 1+2 er vektet likt med oppgave 3

FAGANSVARLIG: Aksel Hiorth

TLF. NR. : 92462776

---

### Oppgave 1

Et horisontalt sirkulært reservoar har en oljesone med en betydelig gasskappe over. Gassen har retrograde egenskaper og oppfører seg som et gasskondensat. Gassen i reservoaret skal produseres ved trykkavlastning og tilhørende data er gitt under. Det antas at reservoaret er lukket, dvs. at HCPV er konstant, og at reservoartemperaturen,  $T_{res}$ , er konstant.

$$T_{res} = 400 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$P_{res} = P_d = 6872 \text{ psia}$$

$$Z_d = 1.219$$

$$\Phi = 0.30$$

$$S_{wi} = 0.15$$

$$V_b = 10^6 \text{ ft}^3$$

Komposisjonen (mol%) til reservoarfluidet ved  $P_d$  er gitt i tabellen:

$P_{res}$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_{7+}$
6872	77.906	7.643	3.208	1.91	1.182	0.891	7.26

Under produksjonen fra gassonen vil  $C_1$  til  $C_4$  bli til gass og  $C_5$  til  $C_{7+}$  bli til STO.  
Omregning av gassvolum til væskevolum skjer ved hjelp av følgende tabell (1 bbl = 42.117 Gal):

$C_5$	36.32	Gal/kSCF
$C_6$	41.03	Gal/kSCF
$C_{7+}$	47.71	Gal/kSCF

- a) I hvilken rekkefølge bør oljen og gassen normalt produseres? Begrunn svaret.
- b) 1. Skissér et generelt PT diagram for en olje.  
2. Skissér et generelt PT diagram for et retrograd gasskondensat.  
3. Skissér et PT-diagram som inneholder begge reservoarfluidene i denne oppgaven, dvs. både retrograd gass og olje. Merk av  $P_{res}$  og  $T_{res}$  og gi en kort kommentar.
- c) I dette tilfellet skal det produseres fra gassonen. For et bruttoreservoarvolum på  $10^6$  ft<sup>3</sup>,
1. Vis at hydrokarbonporevolumet ved standardbetingelser (60 °F, 14.7 psia),  $(HCPV)_{sc}$ , tilsvarer  $591.1 \times 10^6$  (SCF).
  2. Beregn initiell olje til stede, IOIP (SBL).
  3. Beregn initiell gass til stede, IGIP (SCF).
- d) For dette reservoaret:
1. Hva blir gass-olje forholdet, GOR (SCF/SBL)? Gi en kommentar til resultatet.
  2. Skissér GOR vs  $P_{res}$  for dette gasskondensatet gitt i oppgaven. Forklar.
  3. Skissér mol%  $C_1$  og  $C_{7+}$  produsert vs.  $P_{res}$  for dette gasskondensatet gitt i oppgaven. Forklar.
- e) En kan tenke seg annet, umettet gasskondensatreservoar med initielt reservoartrykk  $P_i > P_d$ . Dersom det initielle reservoartrykket er  $P_i = 8500$  psia og kompressibilitetsfaktoren  $Z_i = 1.360$ , hvor mye gass (SCF) og olje (SBL) har blitt produsert i trykkintervallet  $P_i$  til  $P_d$  fra et reservoarbalkvolum på  $10^6$  ft<sup>3</sup>? Bruk data og separasjonsprosess gitt tidligere i oppgaven.

## Oppgave 2

Oljesonen i et horisontalt og sirkulært reservoar skal produseres ved trykkavlastning. Over oljesonen er det en gasskappe, og under er et impermeabelt lag av bergart. En vertikal brønn perforeres nederst i oljesonen. Etter en tids produksjon vil det etablere seg en gass-kon som rekker ned til perforeringen på brønnen. Følgende data er gitt:

Høyden på oljereservoaret:	$h = 900$ ft
Perforeringsintervall:	$h_c = 10$ ft
Reservoar radius:	$r_o = 6000$ ft
Brønnradius:	$r_w = 0.5$ ft
Oljepermeabilitet ved $S_{wr}$ :	$k_o = 0.15$ darcy
Viskositet av olje:	$\mu_o = 3.0$ cP
Tetthet til olje:	$\rho_o = 0.78$ g/cm <sup>3</sup>
Tetthet til gass:	$\rho_g = 0.12$ g/cm <sup>3</sup>
Reservoar trykk:	$P_{res} = 6000$ psia
Oljeformasjonsvolumfaktor	$B_o = 1.2$ m <sup>3</sup> /Sm <sup>3</sup>

- a) 1. Lag en detaljert skisse av reservoarsystemet som brukes for å utlede formelen for maksimal gassfri produksjon av olje,  $(q_o)_{max}$ . NB! Formelen skal ikke utledes.

$$(q_o)_{max} = -C \frac{(\rho_o - \rho_g)k_o}{\mu_o \ln \frac{r_o}{r_w}} (h^2 - (h - D)^2)$$

hvor C er en systemkonstant.

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

- b) 1. Beregn den maksimale gassfrie produksjonsraten av olje,  $(Q_o)_{max}$  (SBL/D).

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

2. Dersom  $(Q_o) > (Q_o)_{max}$  over en lengre tidsperiode, hvordan påvirker det oljeproduksjonen? Forklar.

3. Hvis en har gasskoning under oljeproduksjonen, hva bør/må en gjøre for å løse problemet? Forklar.

### Oppgave 3:

NB: Et valgfritt delspørsmål under kan droppes!

- a) Anta en gjennomsnittlig formasjonstetthet på  $2200 \text{ kg/m}^3$ , at formasjonsvannet har en tetthet på  $1050 \text{ kg/m}^3$  og er i hydrostatisk likevekt. Hva er overlagingstrykket (overburden) ved  $3600 \text{ m}$  dyp? Finn også poretrykket til vannet og kornkontakttrykket (effektivspenningen) ved denne dybden.

Gitt Darcy's lov på formen:

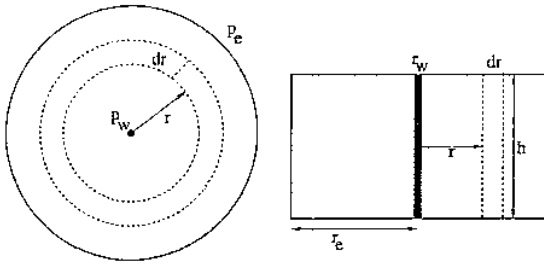
$$q = \frac{2\pi k r h}{\mu} \frac{dp}{dr} \quad (1)$$

og tettheten av  $\rho$  av gass, uttrykt ved den reelle gasslov:

$$\rho = \frac{M p}{Z R T} \quad (2)$$

der  $M$  er molekylvekt til gassen. Vi antar at  $Z$ -faktoren er konstant i reservoaret. Dessuten gjelder at  $Z_{\text{std}}=1.0$  hvor indeks std angir standardbetingelser på overflaten.

- b) Definer størrelsene samt enhetene som inngår i Darcy's lov, slik den er definert i likning (1).



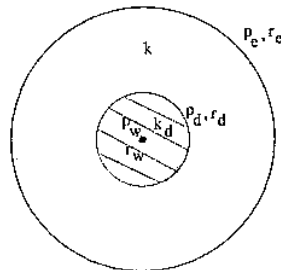
Figur 1: Sylinderisk reservoar, med en brønn i senter: (venstre) sett ovenfra, (høyre) fra siden. Brønnen har radius  $r_w$  og reservoaret har en utstrekning  $r_e$  og en høyde  $h$ . Trykket i brønnen er  $p_w$  og trykket ved yttergrensen er  $p_e$ .

- c) Argumenter for at man kan anta at  $p q = \text{konstant}$  og bruk dette til å vise at for stasjonær strøm av gass inn mot en brønn (se Figur 1) er trykkfallet i brønnen gitt ved:

$$p_w^2 = p_e^2 - \frac{Z T p_{\text{std}}}{T_{\text{std}}} \frac{\mu}{\pi k h} \ln \left( \frac{r_e}{r_w} \right) Q, \quad (3)$$

der  $Q$  er volumraten ved standard betingelser.

Anta at et (skadd) område nær brønnen har en annen (lavere) permeabilitet  $k_d$ , med utstrekning  $r_d$  (se figur under).



- d) Vis følgende: i) at i dette tilfellet kan strømningsraten i brønnen skrives på samme form som i likning (3), men med  $k \rightarrow \bar{k}$ , der :

$$\frac{\ln(r_e/r_w)}{\bar{k}} = \frac{\ln(r_d/r_w)}{k_d} + \frac{\ln(r_e/r_d)}{k}. \quad (4)$$

- ii) En annen form på likning (3)(med en skadet sone nær brønnen) er:

$$p_w^2 = p_e^2 - \frac{Z T p_{std}}{T_{std}} \frac{\mu}{\pi k h} \left[ \ln \frac{r_e}{r_w} + S \right] Q. \quad (5)$$

Finn et uttrykk for  $S$  i likningen over. Hva kalles  $S$ ?

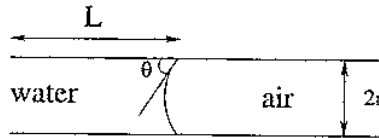
- e) Brønnen produserer gass, og har en redusert permeabilitet  $k_d$  nærmest brønnen. Beregn trykket  $p_w$  i brønnen som er nødvendig for å produsere  $200 \cdot 10^3 \text{ft}^3/\text{day}$  av gass fra brønnen. Basert på følgende data:  $r_w=0.5\text{ft}$ ,  $k_d=1\text{mD}$ ,  $p_e=2000\text{psia}$ ,  $r_e=2460\text{ft}$ ,  $r_d=10\text{ft}$ ,  $k=5\text{mD}$ ,  $h=35\text{ft}$ ,  $p_{std}=15.0\text{psia}$ ,  $T_{std}=15^\circ\text{C}$  (288K),  $T=55^\circ\text{C}$  (328K),  $\mu_g = 0.035\text{cp}$ ,  $Z=0.95$  (1psi = 0.06805atm og 1ft = 30.48cm).

Vi skal nå se på et rør, med radius  $r$ , som ligger *horisontalt* (dvs gravitasjonen kan neglisjeres). Vann strømmer inn fra den ene siden og fortrenger luft inne i røret. Ta utgangspunkt i Young Laplace lov:

$$p_c = \sigma \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right).$$

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

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



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

- g) 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:

$$u_w = \frac{dL}{dt} = \frac{\sigma \cos\theta}{4\mu_w} \frac{r}{L}. \quad (6)$$

- h) Likning (6) er kjent som Washburns likning<sup>1</sup>. Integrer likning (6) og finn et uttrykk for  $\cos\theta$ . Hva blir kontaktvinkelen, hvis vannet bruker 8 sekunder på å forflytte seg 0.5m ( $\sigma=70 \text{mN/m}$ ,  $\mu_w = 10^{-3} \text{Pa s}$ , og  $r = 1 \text{mm}$ ).

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.  $\Delta V_{o,g}^S = 0$ .

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

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

- i) 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:

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

der:

$$\begin{aligned} F &= N_p[B_o + (R_p - R_s)B_g] + W_p B_w, \\ E_o &= (B_o - B_{oi}) + (R_{si} - R_s)B_g, \\ E_g &= B_{oi} \left( \frac{B_g}{B_{gi}} - 1 \right) \\ E_c &= B_{oi} (1 + m) \left( \frac{c_w S_w + c_p}{1 - S_w} \right) \Delta p. \end{aligned} \quad (7)$$

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, effekt av kompressibilitet og produksjon av vann. Andre PVT og produksjonsdata er gitt i Tabell 1.

- j) Bruk likning (7) 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 600 psia og  $R_p = 500$  scf/stb.

## 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>	$1 \text{ atm} = 1013.250 \text{ mBar} = 1.013250 \text{ bar} = 101.3250 \text{ kPa} = 0.1013250 \text{ MPa}$ $\text{MPa} = 14.69595 \text{ psia}$ $\text{psia} = 14.69595 + \text{psig}$ $1 \text{ atm} = 760.002 \text{ mmHg at } 0^{\circ}\text{C}$
<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. $\gamma_o = \frac{\rho_o}{\rho_w} = \frac{141.5}{131.5 + ^{\circ}\text{API}}$ $^{\circ}\text{API} = \frac{141.5}{\gamma_o} - 131.5$ <p>Cragoe's formula (empirical formula giving molecular weight of hydrocarbons):</p> $M_o = \frac{6084}{^{\circ}\text{API} - 5.9}$ $\gamma_g = \frac{M_g}{M_{\text{air}}} = \frac{M_g}{28.96}$
<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>	$R = 10.732 \quad (\text{psia}, \text{ft}^3, ^{\circ}\text{R}, \text{lb mole})$ $R = 0.082054 \quad (\text{atm}, \text{litre}, ^{\circ}\text{K}, \text{g mole})$ $R = 8.3145 \quad (\text{kPa}, \text{m}^3, ^{\circ}\text{K}, \text{kg mole})$