

Fakultet for teknisk – naturvitenskapelige fag

Emne: PET 120, Reservoarteknikk
Tid: 09.00-13.00

Dato: 12. juni 2014

Tillatte hjelpemidler: Enkel kalkulator

Oppgavesettet består av: 8 sider inkludert 2 vedlegg

Oppgave 1 er vektet likt med oppgave 2

Oppgave 1

Et oljereservoar skal vannflømmes for å opprettholde trykket over P_b , og for å øke oljeproduksjonen. Følgende data er gitt:

Initiell vannmetning	$S_{wi} = 0.10$
Residuell oljemetning etter vannflømming	$S_{orw} = 0.30$
Porøsitet	$\Phi = 0.25$
Tverrsnittsareal	$A = 15000 \text{ m}^2$
Reservoarlengde	$L = 2500 \text{ m}$
Formasjonsvolumfaktor olje	$B_o = 1.2 \text{ m}^3/\text{Sm}^3$
Formasjonsvolumfaktor vann	$B_w = 1.0 \text{ m}^3/\text{Sm}^3$
Injeksjonsrate av vann	$q_w = 2000 \text{ m}^3/\text{d}$
Viskositet til olje	$\mu_o = 2.5 \text{ cP}$
Viskositet til vann	$\mu_w = 0.5 \text{ cP}$

Det antas at Buckley-Leverett ligningen gjelder for reservoaret:

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

Trykket opprettholdes ved at det injiseres like mye som det produseres.

Fraksjonsstrømskurven 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)
1. Tegn et detaljert PT-diagram for et oljereservoar. Inkluder P_i , T_{res} , duggpunktskurve og kokepunktskurve, kritisk trykk (P_c) og temperatur (T_c), P og T ved standardbetingelser, isovolumlinjer, krikondenterm (T_{kri}) og krikondenbar (P_{kri}), kokepunktstrykk (P_b).
 2. Forklar begrepene over.
- b) Dersom vi bare har to faser i reservoaret, olje og vann, og vi fortrenger olje med vann med injeksjonsrate q_w , definér ved hjelp av volumrater (q); fraksjonsstrømmen av vann og fraksjonsstrømmen av olje. Hvordan er sammenhengen mellom fraksjonsstrømmene av vann og olje?
- c) For et horisontalt reservoar, hvor vi antar at $P_c = 0$, er strømningsratene til olje og vann i lengderetningen gitt ved Darcy's lov:

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

Vis at fraksjonsstrømmen av vann for et horisontalt reservoar kan skrives som:

$$f_w = \frac{1}{1 + \frac{k_{ro}\mu_w}{k_{rw}\mu_o}}$$

- d) Dersom relative permeabiliteter til olje og vann ved ulike vannmetninger, S_w , er gitt, $k_{ro} = k_o/k$ og $k_{rw} = k_w/k$:
1. Hvordan vil fraksjonsstrømskurven til vann påvirkes av en endring i viskositeten til oljen? Vis med figur og gi en kort forklaring.
 2. Hvordan vil en høyere viskositet på oljen (viskositeten til vann er uendret) påvirke fortrenningseffektiviteten til vannflømmingen? Forklar.
 3. Hvordan vil en lavere viskositet på oljen (viskositeten til vann er uendret) påvirke fortrenningseffektiviteten til vannflømmingen? Forklar.
- e) For reservoaret i denne oppgaven:
1. Hvor mye olje (Sm^3) har blitt produsert etter 1 år?
 2. Ved vanngjennombrudd, t_{BT} , hva er fraksjonsstrømmen av vann og olje i vannfronten?
 3. Ved t_{BT} , hva er vannmetningen i vannfronten og gjennomsnittlig i reservoaret bak vannfronten?
 4. Hva er vannmetningen og oljemetningen foran vannfronten?
 5. Hvor lang tid tar det til vanngjennombrudd i produsenten, t_{BT} ?
 6. Hvor mye olje (Sm^3) har blitt produsert ved t_{BT} ?
 7. Hvor stor utvinningsprosent er dette av IOIP?
 8. Reservoaret produseres til vann-olje forholdet er $WOR = 20$, hvor lang tid tar dette?
 9. Ved produksjonsstopp, $WOR = 20$, hvor mye olje (Sm^3) har blitt produsert?

10. Hvor stor prosentandel av den produserbare oljen har blitt produsert ved $WOR = 20$?
11. Hvis produksjonen forlenges og avsluttes etter 30 år, hva er da endelig utvinningsprosent av IOIP for dette reservoaret?

Oppgave 2

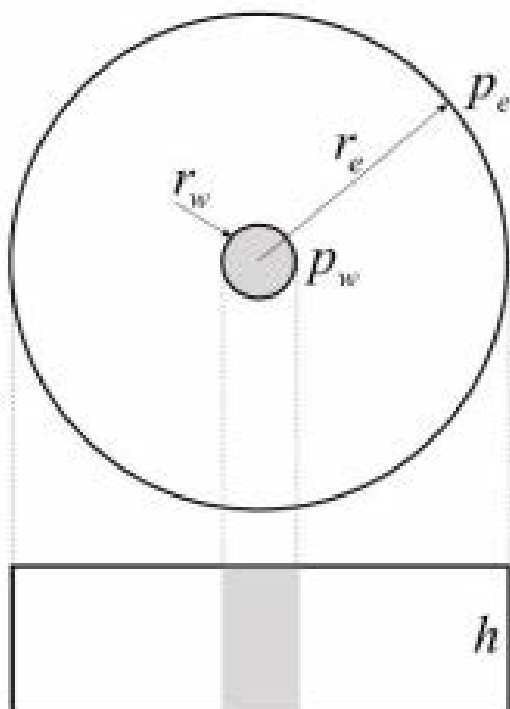
- a) Darcy lov gitt på formen

$$u = -\frac{k}{\mu} \cdot \frac{dp}{dx} \quad (1)$$

Definer 1 Darcy (1 D) og vis at $1 \text{ D} = 0,987 (\mu\text{m})^2$
Hvilken fysisk forklaring (interpretasjon) vil du gi på 1D?

- b) Gitt et sylinderformet oljereservoar med brønn i sentrum som vist i Figur 1.

Figur 1: Skisse av sylinderformet reservoar med brønn i sentrum: p trykk, r radius, h høyde, w brønn (well), e ytre (exterior)



Forklar hva som menes med *stasjonær væskestrøm*. Anta at vi har slik tilstand og utled følgende fra Darcy lov (1)

$$p_{wf} = p(r) - \frac{(Q_o B_o) \cdot \mu_o^R}{2\pi hk} \ln\left(\frac{r}{r_w}\right) \quad (2)$$

- c) En trykkfallstest utføres i den oljeproduerende brønnen. Brønnen produserer med konstant rate $Q_o = 238 \text{ Sm}^3/\text{dag}$. Reservoarets høyde er 6,1 m og porøsiteten er $\varphi = 0,18$. Kompressibiliteten er $c = 2,18 \times 10^{-6} (\text{kPa})^{-1}$ og oljens viskositet er $\mu_o^R = 1,0 \text{ mPa} \cdot \text{s}$. Oljens formasjonsvolumfaktor er $B_o = 1,2 \text{ Rm}^3 / \text{Sm}^3$ og brønnradius er $r_w = 10,1 \text{ cm}$.

Forklar kort hvilke informasjonen om reservoaret en kan oppnå i en slik test. En kan vise at i den transiente trykkfallsperioden gjelder (i SI-enheter):

$$p_{wf} = p_i - 2,1206 \frac{(Q_o B_o) \cdot \mu_o^R}{hk} \left[\log(t) + \log \frac{k}{\varphi \cdot \mu_o^R \cdot c \cdot r_w^2} - 2,092 + 0,8686 \cdot S \right] \quad (3)$$

Forklar hva som menes med *transient periode*. Forklar også hvilke antagelser som er gjort under utledningen. Trykkfallet i denne perioden ble målt til 410 kPa/dekade. Beregn permeabiliteten, k .

- d) Skinfaktoren S er definert ved (i Darcy enheter)

$$\Delta P_{skin} = S \cdot \frac{(Q_o \cdot B_o) \cdot \mu_o^R}{2\pi hk} \quad (4)$$

Med utgangspunkt i (3) vis at S kan uttrykkes som (i SI enheter)

$$S = 1,1513 \left[\frac{p_i - p_{wf}(1 \text{ time})}{m} - \log \frac{k}{\varphi \cdot \mu_o^R \cdot c \cdot r_w^2} + 2,092 \right] \quad (5)$$

der m er lik trykkfallet pr dekade og $p_i = 24130 \text{ kPa}$ og $p_{wf}(1 \text{ time}) = 20110 \text{ kPa}$. Beregn S og ΔP_{skin} .

- e) Vis ved materialbalanse betraktninger (se generell ligning i vedlegg) at for et umettet oljereservoar ($p > p_b$) så har vi at

$$N_p \cdot B_o = N \cdot B_{oi} \cdot c_e \cdot \Delta p \quad (6)$$

der c_e er reservoarets effektive kompressibilitet definert som

$$c_e = \frac{c_o \cdot S_o + c_w \cdot S_{wc} + c_f}{1 - S_{wc}} \quad (7)$$

Definer N_p , N og B_o og skisser hvordan B_o varierer med trykk.

- f) Trykkutviklingen i den halvstasjonære perioden (semi-steady state) ble målt til 36,03 kPa/time. Forklar hva som menes med *halvstasjonær periode* og vis med utgangspunkt i ligningene (6) og (7) ovenfor at for denne perioden gjelder

$$\frac{dp}{dt} = -\frac{Q_o \cdot B_o}{V_p \cdot c} \quad (8)$$

der c er reservoarets kompressibilitet ($2,18 \times 10^{-6} \text{ kPa}^{-1}$) gitt ved

$$c = c_o \cdot S_o + c_w \cdot S_{wc} + c_f \quad (9)$$

Beregn i) V_p ii) dreneringsareal iii) radius til ytre grense r_e .

- g) Anta at vi har et oljereservoar som er trykkavlastet til et trykk lavere enn boblepunktstrykket ($p < p_b$). Vis at oljemetningen (S_o) da kan uttrykkes som

$$S_o = \frac{(N - N_p) \cdot B_o \cdot (1 - S_{wc})}{N \cdot B_{oi}} \quad (10)$$

Hva blir da gassmetningen, S_g ?

Konverteringstabell:

$$1D = 0,987 (\mu\text{m})^2$$

$$1 \text{ cp} = 1 \text{ mPa}\cdot\text{s}$$

$$1 \text{ psia} = 6,895 \text{ kPa}$$

$$1 \text{ atm} = 14,696 \text{ psia}$$

Symboler og enheter som benyttes i trykktest analyser

Parameter	Symbol	SI-enheter
Strømningsrate	Q	Sm ³ /d
Strømningsrate	q	Rm ³ /d
Volumfaktor	B	Rm ³ /Sm ³
Tykkelse, lengde, radius	h, l, r	m
Permeabilitet	k	(μm) ²
Viskositet	μ	mPa.s
Trykk	p	kPa
Kompressibilitet	c	(kPa) ⁻¹
Tid	t	timer

Materialbalanse ligningen

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

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

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

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

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

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

Vedlegg 1

Important formula/correlations in PVT-Analysis.

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

