

# ResTek1—Løsning Øving 8

a) **Umettet oljereservoar.** Materialbalanseligningen for umettet oljereservoar er gitt ved (se forelesningene),

$$N_p B_o = N B_{oi} \left( \frac{B_o - B_{oi}}{B_{oi}} + \frac{c_w S_{wc} + c_f}{1 - S_{wc}} \Delta p \right), \dots \dots \dots (1)$$

og dersom vi definerer  $c_o = (B_o - B_{oi})/B_{oi} \Delta p$  for olje over kokepunktstrykket, og bruker at  $S_o = 1 - S_{wc}$  og definisjonen på effektive kompressibilitet,  $c_e = (c_o S_o + c_w S_w + c_f)/(1 - S_{wc})$ , så får vi av ligning 1 at

$$N_p B_o = N B_{oi} c_e \Delta p, \text{ og } \left. \frac{N_p}{N} \right|_{p_b} = \frac{B_{oi}}{B_{ob}} c_e \Delta p. \dots \dots \dots (2)$$

Innsatt verdier får vi  $c_e = [(11.3 \cdot 0.8 + 3.0 \cdot 0.2 + 8.6) \cdot 10^{-6}/0.8] \text{ psi}^{-1} = 22.8 \cdot 10^{-6} \text{ psi}^{-1}$ . Og dermed bli utvinningsgraden når trykket har sunket fra initiell verdi og ned til kokepunktstrykket,

$$\left. \frac{N_p}{N} \right|_{p_b} = \frac{1.2417}{1.2511} \cdot 22.8 \cdot 10^{-6} \cdot (4000 - 3330) = 0.0152,$$

eller 1.52%. Trykkfallet på 670 psi representerer 17% av opprinnelig trykk, og utvinningsgraden er altså svært lav fram til kokepunktstrykket. Dette skyldes (selvfølgelig) at den effektive kompressibiliteten er liten før gassfasen utvikles fra oljefasen under kokepunktstrykket.

b) **Oppløst gassdriv.** Under kokepunktstrykket, når en betydelig gassmetning har utviklet seg, kan ekspansjon av vann og bergart neglisjeres. Det kan en sjekke ved direkte ved innsetting i materialbalanseligningen

$$N_p (B_o + (R_p - R_s) B_g) = N B_{oi} \left[ \frac{(B_o - B_{oi}) + (R_{si} - R_s) B_g}{B_{oi}} + \frac{c_w S_{wc} + c_f}{1 - S_{wc}} \Delta p \right], \dots \dots \dots (3)$$

eller, med følgende begrunnelse som Dake gir i sin bok:

Below the bubble point pressure gas will be liberated from the saturated oil and a free gas saturation will develop in the reservoir. To a first order of approximation the gas compressibility is  $c_g \approx 1/p$ , [...]. Therefore, using [the data in problem a)], the minimum value of the free gas phase compressibility will occur at the bubble point pressure and will be equal to  $1/p_b = 1/3330 = 300 \times 10^{-6}/\text{psi}$ . This is two orders of magnitude greater than the water compressibility and 35 times greater than the pore compressibility and, as a result, the latter two are usually neglected in the material balance equation.

Vi står altså igjen med ligningen

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

som gir følgende utvinningsgrad (Recovery Factor) ved 900 psia:

$$(RF)_{900} = \frac{N_p}{N} \Big|_{900} = \frac{(B_o - B_{oi}) + (R_{si} - R_s)B_g}{B_o + (R_p - R_s)B_g} \Big|_{900} \dots \dots \dots (5)$$

Innsatt får vi at

$$\frac{N_p}{N} \Big|_{900} = \frac{(1.0940 - 1.2417) + (510 - 122)0.00339}{1.0949 + (R_p - 122)0.00339} = \frac{344}{R_p + 201} \dots \dots (6)$$

Av dette kan en se at utvinningsgraden for olje øker dersom  $R_p$  er liten, det vil si at gassproduksjonen har vært liten og at mye gass er blitt værende igjen i reservoaret. Årsaken til dette er at reservoarets totale kompressibilitet da vil være høy. Skjematisk kan materialbalanseligningen framstilles ved  $\Delta V = cV\Delta p$ , hvor  $\Delta V$  er produksjonen når trykket faller med  $\Delta p$ . En ser at når total kompressibilitet  $c$  øker ved at gass beholdes i reservoaret, så vil produksjonen øke for samme trykkfall.

Oljemetningen er gitt ved  $S_o = V_o/V_p$ , hvor  $V_o$  er volum olje og  $V_p$  er porevolumet. Vi regner at ekspansjonen av vann og bergart kan neglisjeres og da er porevolumet uendret fra initiell verdi som er gitt ved oljevolum initielt,  $V_{oi}$ , delt på oljemetningen initielt,  $S_{oi} = 1 - S_{wc}$ ,  $V_p = NB_{oi}/(1 - S_{wc})$ . Dermed har vi ved 900 psia at

$$S_o = \frac{(N - N_p)B_o}{NB_{oi}} = \frac{(1 - \frac{N_p}{N})B_o}{\frac{B_{oi}}{1 - S_{wc}}} = \frac{(1 - 0.286)1.0940}{\frac{1.2417}{0.8}} = 0.50,$$

siden  $N_p/N = 344/(1000 + 201) = 0.286$ . Dermed blir  $S_g = 1 - 0.20 - 0.50 = 0.30$ . Vi ser også, som rimelig kan være, at  $S_g$  vil bli høyere om  $R_p$  hadde vært lavere.

**c) Vanninjeksjon.** Ved trykk 2700 psia strømmer det både olje og fri gass inn mot brønnene siden reservoartrykket er under kokepunktstrykket. La oljeraten på overflaten være  $Q_o$  og den total gassrate være  $Q_g$ . Det produserende gass-olje forholdet  $R$  (som også kalles GOR) er definert ved  $R = Q_g/Q_o$ . Gassraten  $Q_g$  er sammensatt av (1) det som i reservoaret er fri gass rate,  $Q_{gf}$ , og (2) det som i reservoaret er rate av oppløst gass, gass som i reservoaret strømmer som del av oljefasen og som er gitt ved  $Q_o R_s$ . Det vil si at  $Q_g = RQ_o = Q_{gf} + Q_o R_s$ . Dette gir at  $Q_{gf} = (R - R_s)Q_o$ . En oljerate på  $Q_o$  stb/d på overflaten krever da altså en reservoarrate på  $Q_o B_o$  rb/d olje og  $Q_{gf} B_g = (R - R_s)Q_o B_g$  rb/d fri gass.

Eller, dersom vi tar utgangspunkt i 1 stb olje på overflaten, så må det fjernes  $B_o + (R - R_s)B_g$  rb fra reservoaret. Og, som ovenfor, så vil gassvolumet  $R_s B_g$  være del av oljefasen og  $(R - R_s)B_g$  vil være fri gass. Siden volumfaktoren til vann kan antas å være lik 1 rb/stb, så vil en overflateproduksjon på 10.000 stb/d kreve at det injiseres 40.000 stb/d med vann for at trykket skal holdes konstant på 2700 psia.