

# ResTek1— Øving 9

## Oppgave 1

Følgende data er hentet fra et oljereservoar:

$p$ psia	$N_p$ $10^6$ stb	$R_p$ scf/stb	$B_o$ rb/stb	$R_s$ scf/stb	$B_g$ rb/scf
3330	-	-	1.2511	510	0.00087
3150	1.024	1050	1.2353	477	0.00092
3000	1.947	1060	1.2222	450	0.00096
2850	2.928	1160	1.2122	425	0.00101
2700	-	-	1.2022	401	0.00107

Tabell 1: Produksjons- og fluiddata for et oljereservoar

a) Anta først at drivmekanismen er oppløst gassdriv, uten gasskappe, og estimer oljevolum opprinnelig tilstede i reservoaret.

b) Prediker produsert oljevolum ved  $p = 2700$  psia ved å sammenligne  $R_p$  beregnet fra materialbalanseligningen med  $R_p$  beregnet fra GOR-ligningen

$$R = R_s + k_g/k_o \frac{B_o \mu_o}{B_g \mu_g}.$$

Sammenhengen mellom  $k_g/k_o$  og gassmetningen antas uttrykt ved  $\log(k_g/k_o) = 34.5S_g - 2.54$ , og dessuten er  $S_{wc} = 0.30$ ,  $\mu_o = 1.0$  cp,  $\mu_g = 0.1$  cp.

c) Fra en ny brønn ble det oppdaget en liten gasskappe. Beregn nå opprinnelig oljevolum tilstede og den initielle størrelse på gasskappen.

## Oppgave 2

[EksOppg mai 1998]

### Innledning—Om Ekofisk

Ekofisk feltet ble satt i produksjon i mai 1974. Det er et umettet oljereservoar av typen kritt. Drivmekanismen ble først antatt å være vanlig trykkavlastning kombinert med reinjeksjon av overskuddsgass. Et pilotprosjekt for vanninjeksjon startet i 1984 og ledet siden til flere fullskala faser av vanninjeksjon.

I 1984 ble det oppdaget en innsynking av havbunnen i størrelsesorden 10 ft, 3 km over reservoaret. Siden har havbunnen stadig sunket og ført til at trykket i reservoaret er blitt holdt oppe. Det er et godt eksempel på et meget effektivt kompakteringsdriv.

Ekofisk reservoardata er gitt i tabell 2 og utdrag av PVT-data i tabell 3. Oljen karakteriseres som en lett olje. Idet reservoartrykket passerer gjennom kokepunktstrykket utvikles det fri gass i reservoaret. For tyngre oljetyper vil denne gassen ikke felle ut noe væske når den blir tatt til overflaten. For lette oljer derimot, vil reservoargassen ha olje oppløst i seg. Oljen felles ut som væske når gassen tas til overflaten. Den utfelte oljen kalles ofte kondensat. Produsert volum olje,  $N'_p$ , slik det måles på overflaten, består altså av olje fra oljefasen i reservoaret,  $N_p$ , og av kondensat fra gassfasen i reservoaret.

Den vanlige materialbalanseligningen for et oljereservoar uten kondensatutfelling fra gassen er gjengitt nedenfor, med følgende to modifiseringer: (1) gassinjeksjon er inkludert og (2) kompressibilitetsleddet for væske (olje og vann) og bergart er beholdt siden dette er av betydning for Ekofisk:

$$F = N(E_o + E_{fw}) + G_i B_{gI}, \quad \dots \dots \dots (1)$$

med

$$F = N_p[B_o + (R_p - R_s)B_g] \quad (\text{rb}),$$

$$E_o = (B_o - B_{oi}) + (R_{si} - R_s)B_g \quad (\text{rb/stb}),$$

$$E_{fw} = B_{oi} \frac{(c_w S_{wc} + c_f)}{1 - S_{wc}} \Delta p \quad (\text{rb/stb}).$$

Tabell 2: Reservoardata for Ekofisk

STOIIP	3000 MMstb (M: 1000)
$p_i$	7120 psia
$p_b$	6300 psia
$B_{oi}$	1.990 rb/stb
$R_{si}$	1550 scf/stb
$\phi$	0.32
$S_{wc}$	0.25
$c_w$	$3.5 \times 10^{-6}/\text{psi}$
$h$	230 ft, midlere formasjonshøyde

### Spørsmål

- a) Forklar hvorfor  $N'_p$  er lik  $N_p$  i de første produksjonsårene.

Tabell 3: Utdrag av PVT-data for Ekofisk

År	Trykk (psia)	$B_o$ (rb/stb)	$R_s$ (scf/stb)	$B_g$ (rb/scf)	$B_{gI}$ (rb/scf)	$r_s$ (stb/MMscf)
0	7120( $p_i$ )	1.990	1550			
6	6300( $p_b$ )	2.030	1550		0.00065	100
7	6175	2.000	1450	0.00061	0.00066	98
14	4150	1.470	640	0.00081	0.00088	30
15	4000	1.455	610	0.00083	0.00090	28

$B_{gI}$ : Volumfaktor for injeksjonsgass  
 $r_s$ : olje (kondensat) fra gass frigjort i reservoaret; (M: 1000)

Tabell 4: Utdrag av produksjons- og injeksjonsdata for Ekofisk

År	$q'_o$ (stb/d)	$N'_p$ (MMstb)	$G_p$ (MMscf)	$R'_p$ (scf/stb)	$Q_{inj}$ (MMscf/d)	$G_i$ (MMscf)
14	82301	531.852	1869561	3515	109	642170
15	64759	555.489	2076158	3738	150	696865

$q'_o$ : Oljerate, inkludert kondensat  
 $N'_p$ : Volum olje produsert, inkludert kondensat (M: 1000)  
 $R'_p$ :  $G_p/N'_p$

**b)** Forklar at den totale oljerate  $q'_o$  (olje fra oljefase og kondensat fra gassfase) kan justeres for kondensatbidraget med ligningen,

$$q_o = q'_o - (q'_o R' - q_o R_s) r_s, \quad \dots \dots \dots (2)$$

hvor

- $q_o$  : oljerate kun fra oljefasen i reservoaret (stb/d)
- $q'_o$  : samlet oljerate fra både olje- og gassfasen i reservoaret (stb/d)
- $R'$  : total, målt GOR; gassrate delt på  $q'_o$  (scf/stb)
- $R_s$  : oppløst gass-olje forhold, (scf/stb), (gass i oljefasen)
- $r_s$  : oppløst olje-gass forhold, (stb/scf), (kondensat i gassfasen)

**c)** Total oljeproduksjon etter 15 år,  $N'_p = 555.489$  MMstb, tabell 4, justert for kondensatet fra gassen som forklart under spm. c), blir til  $N_p = 489.895$  MMstb. Med denne verdien kan uttrykket for  $F$  i ligning 1 beregnes som for et reservoar uten kondensatutfelling fra gassen.

Bruk dette til å beregne  $c_f$  etter 15 års produksjon. Størrelsen  $c_f$  kalles av historiske grunner for formasjonskompressibiliteten. Et mer dekkende navn er porevolumskompressibilitet.

**d)** Anta at Ekofisk-feltet blir klemt sammen uniaksialt slik at kun høyden  $h$  av reservoaret reduseres under produksjon. Anta også at bergarten fra toppen av reservoaret og opp til havbunnen ikke endrer form slik at sammenklemmingen  $\Delta h$  av reservoaret blir lik innsynkingen av havbunnen.

Anta videre at sammenpressingen av selve bergarten (det faste stoffet) er neglisjerbar, og vis at formasjonskompressibiliteten  $c_f$ , som altså er identisk med porevolumskompressibiliteten, er gitt ved

$$c_f = \frac{1}{\phi} \frac{\Delta h}{h} \frac{1}{\Delta p}, \quad \dots \dots \dots (3)$$

og estimer innsynkingen av havbunnen etter 15 års produksjon.