ResTek1—Løsning Øving 9

Oppgave 1

a) Materialbalanseligningen er

$$F = N(E_o + mE_g),$$

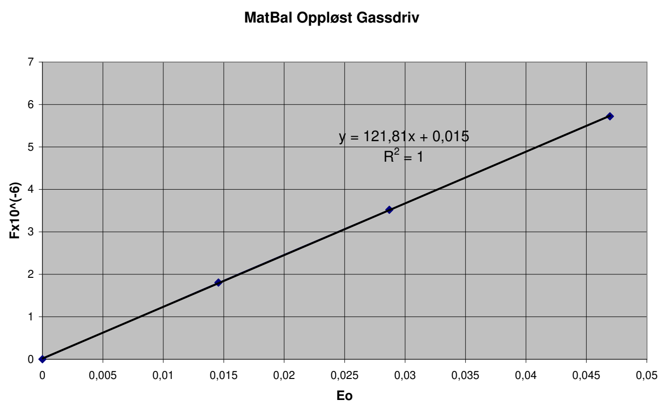
hvor

$$F = N_p(B_o + (R_p - R_s)B_g)$$
$$E_o = (B_o - B_{oi}) + (R_{si} - R_s)B_g$$
$$E_g = B_{oi}(B_g/B_{gi} - 1).$$

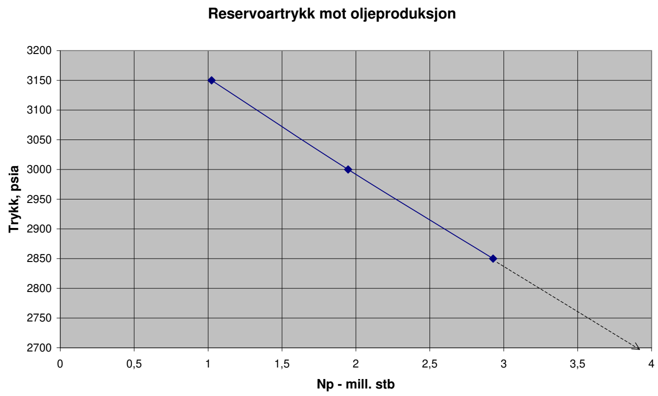
Siden reservoaret under dette spørsmålet antas ikke å ha noen gasskappe, så er $m = 0$ og $F = NE_o$. Verdiene er regnet ut i tabell 1. Fra plott i figur 1 finner en at $N = 121 \cdot 10^6$ stb.

p	$F \cdot 10^6$	E_o
3330	-	0.0
3150	1.805	0.01456
3000	3.520	0.02870
2850	5.723	0.04695
2700	-	0.06773

Tabell 1: Produksjonen F og ekspansjonen E_o ved en rekke reservoartrykk.



Figur 1: Plott av $F \cdot 10^{-6}$ mot E_o.



Figur 2: Ekstrapolering av oljeproduksjonen ned til 2700 psia.

b) Fra plott i figur 2 er estimert produksjon, N_p^e, ved $p = 2700$ psia gitt ved ekstrapolering, $N_p^e = 3.9 \cdot 10^6$ stb. Videre har vi at $S_o = (1 - N_p/N)B_o/B_{oi} \cdot (1 - S_{wc})$, $R = R_s + (k_g/k_o) \cdot (B_o\mu_o)/(B_g\mu_g)$, hvor R er det produserende gass-olje forholdet, $\log(k_g/k_o) = 34.5S_g - 2.54$, som er oppgitt, og fra materialbalanseligningen, $R_p^{\mathrm{MB}} = N/N_p \cdot E_o/E_g - B_o/B_g + R_s$.

For å kunne beregne R_p^{GOR}, det vil si R_p fra GOR-ligningen, må en beregne R, det vil si GOR, ved $p = 2850$ psia. I tabell 2 er vist R beregnet med GOR-ligningen, hvor

Indeks	p	S_o	S_g	k_g/k_o	R
1	2850	0.662	0.038	0.0590	1133
2	2700	0.651	0.049	0.1414	1990

Tabell 2: GOR beregnet for to trykkverdier, fra GOR-ligningen.

verdien $N_p^e = 3.9 \cdot 10^6$ stb er brukt i siste linje. Da blir $\bar{R} = (R_1 + R_2)/2 = 1561.5$, $R_p^{\mathrm{GOR}} = (R_{p1}N_{p1} + \bar{R}(N_{p2} - N_{p1})/N_{p2}$, som gir $R_p^{\mathrm{GOR}} = 1260$ scf/stb ved 2700 psia.

På den annen side er

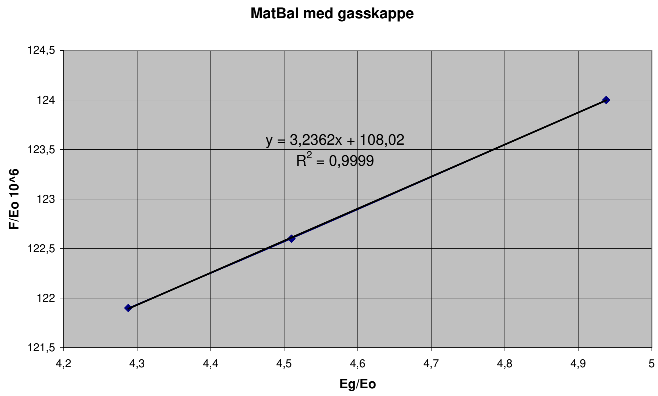
$$
\begin{aligned}
R_p^{\mathrm{MB}} &= \frac{N}{N_p}\frac{E_o}{E_g} - \frac{B_o}{B_g} + R_s \\
&= \frac{121}{3.9}\frac{0.06773}{0.00107} - \frac{1.2022}{0.00107} + 401 \;=\; 1241.
\end{aligned}
$$

Det betyr at med estimert produksjon $N_p^e = 3.9 \cdot 10^6$ stb ved $p = 2700$ psia, så blir $R_p^{\mathrm{MB}} = 1241$ scf/stb, og $R_p^{\mathrm{GOR}} = 1260$ scf/stb, et avvik på kune 1.52%, som gjør det unødvendig å iterere. Svaret blir altså at $N_p = 3.9 \cdot 10^6$ stb ved $p = 2700$ psia.

c) Vi har materialbalanseligningen $F/E_o = N + mNE_g/E_o$ som tilsier at et plott av F/E_o mot E_g/E_o vil gi en rett linje med akseavskjæring lik N og stigningsforhold mN. Verdier for tre trykknivå er vist i tabell 3. Fra plottet i figur 3 finner en at

p psia	$F \times 10^6$	E_o	E_g	$F/E_o \times 10^6$	E_g/E_o
3150	1.805	0.01456	0.07190	124.0	4.938
3000	3.520	0.02870	0.12942	122.6	4.510
2850	5.723	0.04695	0.20133	121.9	4.288

Tabell 3: Tallverdier for ledd i materialbalanseligningen for oljereservoar med gasskappe.



Figur 3: Materialbalanse med gasskappe

$N = 108 \times 10^6$ stb og $m = 3.24/108 = 0.03$. Merk at en liten gasskappe på 3% av oljesonen reduserer anslaget på N fra 121×10^6 til 108×10^6 på grunn av gassens høye kompressibilitet.

Oppgave 2

a) Over kokepunktet er det ingen fri gass i reservoaret og all produsert olje kommer fra oljefasen.

b) $q_o' R'$ er lik total produksjonsrate til gassen, både fri og oppløst gass. $q_o R_s$ er produksjonsrate til kun oppløst gass. Differansen $q_o' R' - q_o R_s$ er produksjonsraten av det som er fri gass i reservoaret. Denne gassen innholder oppløst olje, slik at $(q_o' R' -$

$q_o R_s) r_s$ er raten av olje—olje som følger med produksjonen av fri gass fra reservoaret, og som felles ut som kondensat.

c) Ved bruk av oppgitte data fås, etter 15 års produksjon: $G_i B_{gi}$(MMrb): 627.179; F(MMstb): 2187.989; E_o(rb/stb): 0.2452; NE_o(MMrb): 735.60.

Merknad: R_p er ikke direkte oppgitt som G_p/N_p, så dersom en ikke husker denne definisjonen så kan en: (1) utlede uttrykket for F i ligning (6) i oppgaven, eller (2) ta sjansen på at når $R_p' = G_p/N_p'$ i tabell 5, og at justert N_p oppgis, så er det rimelig at $R_p = G_p/N_p$.

Med

$$E_{fw} = \frac{F - NE_o - GB_{gI}}{N},$$

blir E_{fw}(rb/stb): 0.2751, og med

$$c_f = \frac{E_{fw}(1 - S_{wc})}{B_{oi}\Delta p} - c_w S_w,$$

som gir c_f(1/psi$\times 10^{-6}$): 32.36.

d) Kompressibilitet er generelt definert ved

$$c_\alpha = \frac{1}{V_\alpha}\left(\frac{\partial V_\alpha}{\partial p}\right)_T,$$

hvor α er lik b for kompressibilitet av bulkvolumet og lik p (eller f) for kompressibilitet av porevolumet.

Ved sammenpressing av Ekofisk reservoaret vil endringen i bulkvolum være lik endringen i porevolum, $\Delta V_b = \Delta V_p$, (se Dake sin bok nr. 2, side 124, eller Amyx, Bass og Whiting, side 62). Da har vi

$$c_b V_b \Delta p = c_f V_p \Delta p,$$

eller $c_f = c_b/\phi$ med $c_b = (\Delta h/h)(1/\Delta p)$ når det bare er reservoarhøyden h som endres.

Da har vi

$$\frac{1}{\phi}\frac{\Delta h}{h}\frac{1}{p} = 32.36 \times 10^{-6},$$

som gir $\Delta h = 7.4$ft, som er av samme størrelsesorden som den innsynking av havbunnen som er observert.