Skisse til løsning
Eksamen i Reservoarteknikk 1
21. september, 1998

Oppgave 1

a)

$$v_s = -\frac{k}{\mu}\frac{d\Phi}{ds}, \tag{1}$$

hvor s er målt langs strømningsretningen. Velges Darcy enheter så har en

$$\begin{aligned}
v_s &: \text{volumhastighet, cm/s} \\
k &: \text{permeabilitet, Darcy} \\
\mu &: \text{viskositet, cp} \\
s &: \text{avstand langs strømningsretning, cm} \\
\Phi &: p - \frac{\rho g z}{1.0133\times 10^6}\text{, potensial, atm} \\
p &: \text{trykk, atm} \\
z &: \text{høydenivå i gravitasjonsfeltet, cm} \\
\rho &: \text{tetthet, g/cm}^3 \\
g &: \text{tyngdens akselerasjon, cm/s}^2 \\
1.0133\times 10^6 &: \text{omregningsfaktor fra dyn/cm}^2 \text{ til atm}
\end{aligned}$$

b) Når gravitasjonsleddet kan neglisjeres er $\Phi = p$ og vi har at

$$v = -\frac{k}{\mu}\frac{dp}{dr}.$$

Bruker videre at massestrømmen er konstant, $q\rho = q_b\rho_b$, og ideell gasslov, $\rho/p = \rho_b/p_b$, hvor b angir basisforhold. Videre er $v = q/2\pi r^2$, hastigheten gjennom overflaten av en halvkule. Innsatt gir dette

$$q = -\frac{k}{\mu}2\pi r^2\frac{dp}{dr}.$$

Denne ligningen multipliseres med ρ og en får

$$q\rho = q_b\rho_b = -\frac{k}{\mu}2\pi r^2\rho_b\frac{p}{p_b}\frac{dp}{dr},$$

$$q_b\int_{r_w}^{r_e}\frac{1}{r^2}dr = -\frac{k}{\mu}\frac{2\pi}{p_b}\int_{p_w}^{p_e}p\,dp,$$

$$q_b\left(\frac{1}{r_w}-\frac{1}{r_e}\right)=-\frac{k}{\mu}\frac{2\pi}{p_b}\frac{1}{2}(p_w^2-p_e^2),$$

$$q_b p_b=\overline{q}\cdot\overline{p}=-\frac{k}{\mu}\frac{2\pi}{2}(p_e-p_w)(p_e+p_w)/\left(\frac{1}{r_w}-\frac{1}{r_e}\right),$$

og med $\overline{p}=(p_e+p_w)/2$ gir dette

$$\overline{q}=-\frac{2\pi k}{\mu}\frac{p_e-p_w}{\left(\frac{1}{r_w}-\frac{1}{r_e}\right)}.$$

c) For n mol av en reell gass har vi den reelle gasslov $pV=nRZT$, og ved standardbetingelser $p_{\text{std}}V_{\text{std}}=nRZ_{\text{std}}T_{\text{std}}$. Med $B_g=V/V_{\text{std}}$ får en da oppgitt uttrykk.

d) Vi har at $\overline{q}=q_{\text{std}}\cdot\overline{B_g}$,

$$=q_{\text{std}}\frac{p_{\text{std}}\overline{Z}T}{\overline{p}Z_{\text{std}}T_{std}},$$

$$=q_{\text{std}}\frac{p_{\text{std}}\overline{Z}T}{\left(\frac{p_e+p_w}{2}\right)Z_{\text{std}}T_{std}}.$$

Dette gir

$$p_w=\left[p_e^2-q_{\text{std}}\frac{p_{\text{std}}\overline{Z}T\left(\frac{1}{r_w}-\frac{1}{r_e}\right)\mu}{T_{\text{std}}\pi k}\right]^{\frac{1}{2}}.$$

Denne ligningen er i Darcy enheter og alle størrelser må omgjøres til disse før innsetting: $q_{\text{std}}=1.5\cdot10^5$ std m^3/døgn $=1.736\cdot10^6$ std cm^3/s; $r_e=10^4$cm; $r_w=10$cm; $k=0.1$D; $\mu=0.0178$cp; $\overline{Z}=0.85$. Innsatt gir dette $p_w=172.33$atm.

Oppgave 2

a) I løpet av et år blir samlet gassvolum produsert lik $\Delta N_p'R'$. Dette er sum av gass fra gassen i reservoaret og fra oljen i reservoaret. Gassen fra oljen i reservoaret er $\Delta N_p R_s$ og differansen mellom disse, $(\Delta N_p'R'-\Delta N_p R_s)$, er gass produsert fra gassfasen i reservoaret. Kondensatet fra gassen finner en ved å multiplisere denne differansen med r_s. Dermed følger uttrykket.

For å få fram materialbalanseligningen balanseres volumer som følge av ekspansjon fra trykk p_i ned til trykk p, sammen med produserte og injiserte volum, alt omsatt til volum ved trykk p. Produsert volum olje må derfor fordeles på gass- og oljefasen i reservoaret ved trykk p.

b) Se forelesningene. Svaret er

$$F = N(E_o + E_{fw}) + G_i B_{gI}, \tag{2}$$

med

$$F = N_p[B_o + (R_p - R_s)B_g] \quad \text{(rb)},$$
$$E_o = (B_o - B_{oi}) + (R_{si} - R_s)B_g \quad \text{(rb/stb)},$$
$$E_{fw} = B_{oi}\frac{(c_w S_{wc} + c_f)}{1 - S_{wc}}\Delta p \quad \text{(rb/stb)}.$$

c) Følgende tabell kan nå settes opp:

Tabell 1: Materialbalansedata for Ekofisk

År	N_p' (MMstb)	ΔN_p (MMstb)	F (MMrb)	E_o (rb/stb)	E_{fw} (rb/stb)	$G_i B_{gI}$ (MMrb)
13	501.812					
14	531.852	23.373	1963.587	0.2171	0.2491	565.110
15	555.489	17.972	2187.989	0.2452	0.2751	627.179

For å beregne ΔN_p etter er det nødvendig først å finne $\overline{R'} = \Delta G_p/\Delta N_p'$ og årsmidle verdiene av R_s og r_s fra PVT-tabellen. Dersom $(F - G_i B_{gI})$ nå plottes mot $(E_o + E_{fw})$ så skal vi få en rett linje med helningsvinkel $N = 3000$ MMstb.

Oppgave 3

a) De viktigste betingelsene for at den klassiske linjekildeløsningen skal være gyldig er: vertikal brønn perforert over hele høyden; konstant høyde av reservoaret; konstante reservoaregenskaper; liten og konstant kompressibilitet; konstant viskositet, rate, porøsitet etc.; uendelig reservoar; uniformt trykk initielt.

b) Vi betegner argumentet til ei-funksjonen med x og får at

$$x = \frac{1}{4t_D} = \frac{1}{0.000264\dfrac{kt}{\phi\mu c d^2}}$$

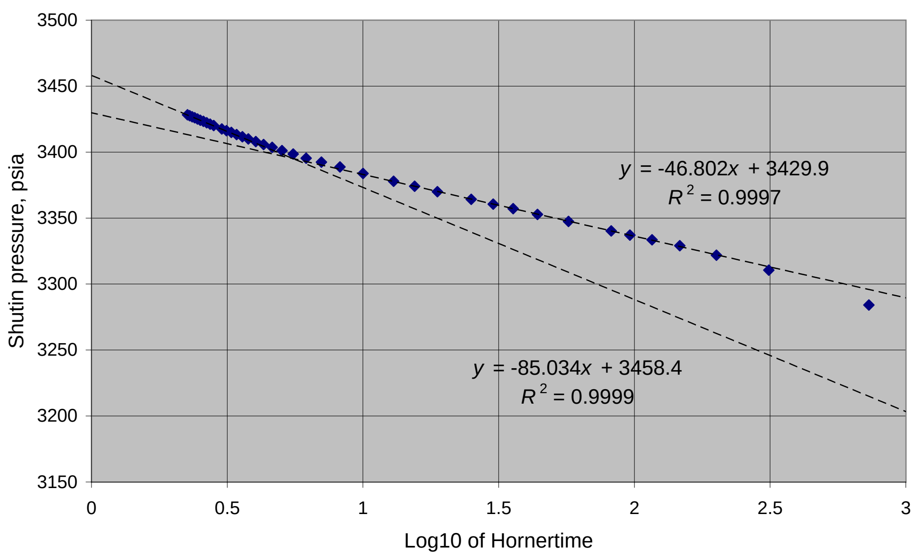
og setter inn $k = 500$md, $t = 24$timer, $\phi = 0.25$, $\mu = 1.0$cp, $c = 17 \times 10^{-6}\text{psi}^{-1}$, $d = 500$ft og finner at $x = 1/2.98 = 0.3354$, altså større enn 0.01.

c) Den oppgitte ligning følger direkte av å bruke superposisjon av rater sammen med speilbrønn. Kan ikke bruke logaritmetilnærmelsen på speilbrønnleddene men har brukt den på leddene fra den virkelige brønnen.

d) Når Δt er liten og $<< t_p$, så er første ei-funksjon en konstant og andre ei-funksjon er neglisjerbar. Når Δt blir stor, så kan begge ei-funksjonene tilnærmes med logaritmen og det tidsavhengige leddet, det som inneholder Δt, øker til det dobbelte.

e) Produksjonstiden t_p finnes av $t_p = N_p/q \times 24 = 5320/3500 \times 24$ = 36.5 timer.
Horner-plottet er vist i figur 1. Det framgår to rette linjer med stigningsforhold på 45 psi/dekade og 90 psi/dekade. Det gir

$$k = 162.6\frac{q\mu_o B_o}{m_1 h} = \frac{162.6 \times 3500 \times 1.0 \times 1.30}{45 \times 25} = 658\text{mD}.$$



Figur 1: Hornerplott av trykkdataene

f) Det er flere måter å anslå dette på: (1) vi kan bruke logaritmetilnærmelsen på ei-funksjonene rundt skjæringspunktet mellom de to rette linjene; (2) vi kan bruke hele løsningen med de to ei-funksjonene og tilpasse trykkløsningen rundt skjæringspunktet ved å bruke oppgitt plott av eksponentialintegralet, eller vi kan gjøre det på følgende måte:

Vi ser av plottet at den første rette linjen ekstrapolerer til omlag 3430 psi og den andre rette linjen vil ekstrapolere til 3460 psi, initielt trykk, siden reservoaret kan betraktes som uendelig. Differanse, 30 psi, må skyldes den første ei-funksjonen i den fullstendige trykkløsningen oppgitt i oppgaven, når $\Delta t << t_p$. Altså kan vi sette

$$\frac{1}{141.2}\frac{kh}{Q\mu B}\Delta p = \frac{1}{2}\mathrm{ei}\left(\frac{\phi\mu c d^2}{0.000264k(t_p+\Delta t)}\right).$$

Brukes nå logaritmetilnærmelsen på ei-funksjonen, så får vi

$$d = \sqrt{\frac{0.000264kt_p}{\gamma\phi\mu c \mathrm{e}^{0.0142kh\Delta p/(q\mu B)}}},$$

$$d = \sqrt{\frac{0.000264\times 658\times 36.5}{1.781\times 0.25\times 1.0\times 17\times 10^{-6}\mathrm{e}^{0.0142\times 16440\times 30/(33500\times 1.0\times 1.3)}}} = 424\,\mathrm{ft}.$$