



DATO: 15. SEPTEMBER 2000

EKSAMEN I: TE 195 Reservoarteknikk 1

VARIGHET: kl. 09.00–14.00

TILLATTE HJELPEMIDLER: Kalkulator

OPPGAVESETTET BESTÅR AV: 5 sider

MERKNADER: Ingen

Oppgave 1

En gassbrønn er plassert i senter av et sylindrisk reservoar og strømmen inn mot brønnen er horisontal og stasjonær. Gitt Darcy's lov med turbulensledd på formen

$$\frac{dp}{dr} = \frac{\mu}{k}u + \frac{\beta\rho u^2}{C}, \dots \dots \dots (1)$$

hvor tettheten ρ [g/cm³] er gitt ved reell gasslov,

$$\rho = \frac{Mp}{ZRT}, \dots \dots \dots (2)$$

hvor M er molvekten, R universell gasskonstant, T temperatur. Videre er

- β : cm⁻¹, turbulensfaktor,
- u : cm/s, volumhastighet,
- C : 1.0133 · 10⁶ (dyn/cm²)/atm; (dyn: g·cm·s⁻²).

a) Sett først $\beta = 0$ i ligning (1), innfør uttrykket for tetthet fra ligning (2) før integrasjon og vis at trykkfallet fra radius r og inn til brønnen er gitt ved

$$p^2(r) - p_w^2 = \frac{ZT p_{st}}{T_{st}} \frac{\mu}{\pi kh} \ln\left(\frac{r}{r_w}\right) Q, \dots \dots \dots (3)$$

hvor indeks [st] angir standardbetingelser, Q er volumrate ved standardbetingelser, Z og μ antas konstante i reservoaret og $Z_{st} = 1.0$.

b) Brønnen er skadet med redusert permeabilitet k_s ut til en radius r_s . Bruk ligning (3) til å vise at trykkfallet fra ytre grense r_e da er gitt ved

$$p_e^2 - p_w^2 = \frac{ZT p_{st} \mu}{T_{st} \pi k h} \left[\ln \left(\frac{r_e}{r_w} \right) + S \right] Q, \quad \dots \dots \dots (4)$$

med skinfaktoren S uttrykt som

$$S = \frac{k - k_s}{k_s} \ln \left(\frac{r_s}{r_w} \right).$$

c) Vis at ligning (4) får følgende tilleggsledd på høyre side dersom en inkluderer turbulensleddet fra ligning (1) og tar hensyn til at β er en funksjon av permeabiliteten,

$$+ \frac{ZT p_{st} \rho_{st}}{CT_{st}} \frac{Q^2}{2\pi^2 h^2} \left[\beta_s \left(\frac{1}{r_w} - \frac{1}{r_s} \right) + \beta \left(\frac{1}{r_s} - \frac{1}{r_e} \right) \right], \quad \dots \dots \dots (5)$$

hvor $\beta_s = \beta(k_s)$ er turbulensfaktoren for skadet sone og $\beta = \beta(k)$ for uskadet sone.

d) Ligning (4) med tilleggsleddet (5) er i Darcy enheter. Innfør spesifikk tetthet $\gamma = \rho_{st}/\rho_{stl}$, hvor ρ_{stl} er tetthet av luft ved standard forhold, og omgjør til følgende sett av enheter:

- p : bar Q : m³/d T : °K
- μ : cp k : md h, r : m
- ρ : g/cm³ β : ft⁻¹ :

Videre er oppgitt at

- ρ_{stl} : 1.223 · 10⁻³ g/cm³
- p_{st} : 1 atm
- T_{st} : 15 °C
- 1 atm : 1.01325 bar
- °K : °C + 273
- 1 ft : 30.48 cm

Svaret blir

$$p_e^2 - p_w^2 = 0.131 \frac{\mu Z T}{k h} \left[\ln \left(\frac{r_e}{r_w} \right) + S + D Q \right] Q, \quad \dots \dots \dots (6)$$

hvor

$$D = 7.31 \cdot 10^{-18} \frac{\gamma k}{\mu h} \left[\beta_s \left(\frac{1}{r_w} - \frac{1}{r_s} \right) + \beta \left(\frac{1}{r_s} - \frac{1}{r_e} \right) \right].$$

e) Anta nå at i ligning (6) er alle konstante reservoarparametre bestemte, bortsett fra S , k_s og r_s . Hvordan kan disse bestemmes fra produksjonstester?

Oppgave 2

Gitt et oljereservoar uten vanninnfluks, ingen vannproduksjon og med en gasskappe. Materialbalanseligningen er

$$N = \frac{N_p [B_t + B_g (R_p - R_{si})] - W_i B_w}{(B_t - B_{oi}) + \frac{mB_{oi}}{B_{gi}} (B_g - B_{gi})}, \quad \dots \dots \dots (7)$$

med $B_t = B_o + (R_{si} - R_s)B_g$, og hvor W_i er volum vann injisert i stb.

a) Bruk Tabell 1, som viser resultater fra en PVT-analyse sammen med målte produksjonsdata, til å beregne opprinnelig oljevolum og størrelse på gasskappen. Koepunktstrykket er 1850 psia, vannmetningen 0.24, porøsiteten 0.17 og volumfaktoren for vann settes til 1.0 rb/stb.

p [psia]→	1850	1600	1300	1000
R_s [scf/stb]	690	621	535	494
B_o [rb/stb]	1.363	1.333	1.300	1.258
B_g [rb/scf]	0.00124	0.00150	0.00190	0.00250
B_t [rb/stb]	1.363	1.437	1.594	1.748
ρ_o [psi/ft]	0.3014	0.3049	0.3090	0.3132
N_p [stb]	-	$3.1 \cdot 10^8$	$5.5 \cdot 10^8$	$5.9 \cdot 10^8$
R_p [scf/stb]	-	1100	1350	1800
W_i [stb]	-	$1.594 \cdot 10^8$	$2.614 \cdot 10^8$	$3.12 \cdot 10^8$

Tabell 1: Produksjons- og PVT-data

b) Fra geologisk informasjon kan reservoarformen tilnærmes med en rett kjegle. Beregn høyden av kjeglen dersom det initielle trykket i bunn av oljesonen er målt til 1919 psia. [Formelen for kjeglevolum er $1/3 \pi hr^2$].

Oppgave 3

For tolking av en trykkfallstest fra en brønn i senter av et sylindrisk reservoar er følgende trykkløsninger gyldige i transient (“infinite-acting”) og halvstasjonær (“pseudo

steady-state” eller “semi steady-state”) periode,

$$p_D(t_D) = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{4t_D}{\gamma} \right),$$

$$p_D(t_{DA}) = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{4A}{\gamma C_A r_w^2} \right) + 2\pi t_{DA},$$

hvor $\gamma = 1.781$ og $C_A = 31.6$. Med enhetene

$$\begin{array}{lll} p : \text{psi} & k : \text{md} & h, r : \text{ft} \\ Q : \text{stb/d} & \mu : \text{cp} & B : \text{rb/stb} \\ t : \text{timer} & c : 1/\text{psi} & : \end{array}$$

er

$$p_D = 7.08 \cdot 10^{-3} \frac{kh}{Q\mu B} (p_i - p_{wf}) - S,$$

$$t_D = 0.000264 \frac{kt}{\phi \mu c r_w^2},$$

$$t_{DA} = t_D \frac{r_w^2}{A},$$

a) Vis at dersom p_{wf} plottes mot $\log t$ så vil helningen på den rette linjen i plottet bli

$$m = \frac{162.6Q\mu B}{kh}.$$

b) Vis at uttrykket for skinfaktoren blir

$$S = 1.151 \left[\frac{p_i - p_{1hr}}{m} - \log \left(\frac{k}{\phi \mu c r_w^2} \right) + 3.23 \right],$$

hvor p_{1hr} er trykket tatt fra den rette linjen etter 1 times produksjon.

c) Vis at overgangen fra transient til halvstasjonær periode skjer ved $t_{DA} \approx 0.1$.

d) Bestem permeabilitet og skinfaktor fra følgende data:

Tid(timer)	0	1.5	3.0	6.0	9.0	12	18	24	48	72
Trykk(psia)	5050	4943	4937	4932	4929	4927	4923	4921	4916	4912

Kompressibilitet: $10 \cdot 10^{-6}$ 1/psi

Porøsitet: 0.12

Brønnradius: 0.25 ft

Viskositet: 0.7 cp

Formasjonshøyde: 60 ft

Volumfaktor: 1.7535 rb/stb

Rate: 500 stb/d.

- e) Estimer en minimumsverdi for ytre radius r_e .