



DATO: 7. AUGUST 2002

EKSAMEN I: TE 0195 Reservoarteknikk 1

VARIGHET: kl. 09.00–14.00

TILLATTE HJELPEMIDLER: Kalkulator

OPPGAVESETTET BESTÅR AV: 4 sider

MERKNADER: Alle delspørsmål gis lik vekt.

Oppgave 1

- a) Forklar kort hva som er den fysikalske årsak til Klinkenbergeffekten og angi under hvilke forhold den opptrer.
- b) Hvordan kan man med en måleserie på samme kjerneprøve korrigere for Klinkenbergeffekten?
- c) Kombiner Poiseuille's og Darcy's lover for å estimere hvor lav permeabiliteten til en sandsteinsprøve må være for at målinger av absolutt permeabilitet med nitrogengass under laboratorieforhold skal utvise Klinkenbergeffekt. Det er oppgis at Poiseuille's lov for rette rør er

$$v = -\frac{d^2}{32} \frac{\Delta p}{\mu \Delta L},$$

med

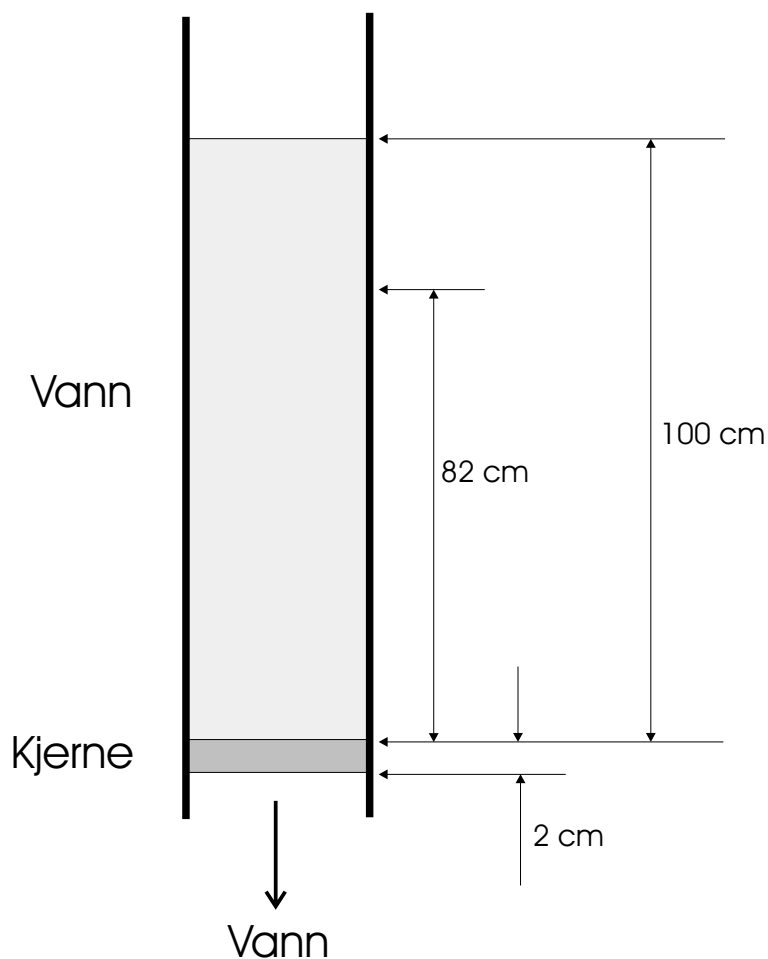
 v : fluidhastighet, cm/s d : diameter av rør, cm Δp : trykkfall, dyn/cm² ΔL : lengde, cm μ : viskositet, poise [= dyn · s/cm²]

—*—

1 atm : 1.0133 · 10⁶ dyn/cm²1 dyn : 1 g cm s⁻²1 cp : 0.01 dyn s cm⁻².

Her er v lik midlere hastighet i røret. En poise er det samme som 1 dyn · s/cm², og Poiseuille's lov er i et konsistent sett av enheter, i cgs-systemet. For N₂-gass er midlere fri veglengde $\lambda_g = 0.062810^{-4}$ cm ved 1 atm og 15 °C.

d) En velbrukt metode til å måle absolutt permeabilitet med væske er å registrere hvor lang tid det tar for luft-vann overflaten å flytte seg mellom to merker på et rør plassert over prøven når vannet strømmer gjennom prøven. Dette er skissert i Fig. 1. Kjerneprøven er plassert i et rett rør som står vertikalt i tyngdefeltet. Røret har konstant



Figur 1: Prinsippskisse for måling av permeabilitet.

tverrsnitt og er åpent til atmosfæren i begge ender. Kapillartrykket er neglisjerbart. Vann-luft overflaten bruker 500 sekunder på å bevege seg fra 100 cm til 82 cm over kjerneprøven. Beregn absolutt permeabilitet til kjerneprøven.

Andre data: Tetthet av vann 1.02 g/cm^3 , viskositet til vann 1.0 cp , tyngdens akselerasjon $g = 981 \text{ cm/s}^2$, høyde av kjerneprøve 2 cm . Se ellers under spm. c) for enhetene atm og dyn.

Oppgave 2

- a) Definer absolutt, effektiv og relativ permeabilitet.
- b) For et tofase olje-vann system, skisser hvordan k_{ro} og k_{rw} endres når S_w gradvis minker fra 1.0. Skisser også de to kurvene dersom S_w deretter gradvis øker igjen. Angi på kurvene kritisk oljemetning, irreduisibel (residuell) vannmetning, residuell oljemetning.
- c) Dataene i Tabell 1 er rapportert fra et laboratorieeksperiment til å bestemme relative permeabiliteter ved hjelp av en rekke stasjonære tilstander med simultan vann- og oljestrøm. Plott relative permeabiliteter for olje og vann fra denne måleserien.

Tabell 1: Data fra måling av relative permeabiliteter.

| q_o (cm ³ /time) | q_w (cm ³ /time) | Δp (psi) | V_w (cm ³) |
|----------------------------------|----------------------------------|---------------------|-----------------------------|
| 90 | 0 | 49.25 | 2.17 |
| 75 | 5 | 91.29 | 2.87 |
| 60 | 9 | 109.52 | 3.63 |
| 45 | 20 | 123.30 | 4.65 |
| 30 | 34 | 137.05 | 5.93 |
| 15 | 85 | 164.30 | 7.95 |
| 0 | 122 | 147.00 | 9.86 |

q_o, q_w : Olje- og vannrate gjennom prøven

Δp : Trykkfall over prøven

V_w : Vannvolum i prøven, bestemt ved veiing

Andre data:

Absolutt permeabilitet 16.7 md

Lengde av kjerneprøve 9 cm

Diameter av kjerneprøve 3.2 cm

Oljeviskositet 2.0 cp

Vannviskositet 1.1 cp

Porøsitet 0.20

1 atm tilsvarer 14.65 psi

Oppgave 3

Gitt et oljereservoar med gasskappe.

- a) Definer størrelsene B_o , B_g , B_w , R , R_s , R_p og skisser hvorledes de endres med midlere reservoartrykk fra start av produksjonen.
- b) Utled materialbalanseligningen for dette tilfellet.
- c) Beskriv kort hvilke 3 hovedtyper data som er nødvendige for å kunne bruke ligningen og forklar kort hvordan de kan bli framskaffet.
- d) Vis hvordan materialbalanseligningen kan brukes til å bestemme opprinnelig oljevolum og størrelsen på gasskappen dersom begge disse er usikre fra volumetriske overslag.

Oppgave 4

Linjekildeløsningen kan skrives på formen

$$p_{wf} = p_i + \frac{q\mu}{4\pi kh} \left[\ln \left(\frac{\gamma\phi cr_w^2}{4kt} \right) - 2S \right], \quad \dots \dots \dots (1)$$

hvor $\gamma = 1.78$. Ligningen er i Darcy enheter.

- a) En brønn produserer med overflaterate Q_1 i tid t og med rate Q_2 i tid Δt , altså en to-rate test. Bruk ligning 1 til å vise at brønntrykket, i praktiske enheter, er proporsjonalt med (symbol \propto) følgende tidsavhengige uttrykk,

$$p_{wf} \propto \frac{162.6Q_1\mu B}{kh} \left[\log \left(\frac{t + \Delta t}{\Delta t} \right) + \frac{Q_2}{Q_1} \log(\Delta t) \right]. \quad \dots \dots \dots (2)$$

I praktiske enheter er: p psi, Q stb/d, B rb/stb, k md, h ft, t timer, μ cp. Videre er oppgitt at 1 ft = 30.48 cm, 1 atm = 14.65 psi, 1 bbl = 159 liter.

- b) Beregn permeabiliteten fra to-rate testen i Tabell 2.

| Tabell 2: Data fra to-rate test | | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Δt , timer | 0.25 | 0.50 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | 8.0 |
| p_{wf} , psi | 1885 | 1888 | 1899 | 1916 | 1929 | 1937 | 1944 | 1950 | 1954 | 1958 |
| $Q_1 = 7500$ stb/d, $Q_2 = 4100$ stb/d | | | | | | | | | | |
| $\mu = 1$ cp, $h = 15$ ft | | | | | | | | | | |
| $B = 1.5$ rb/stb, $t = 4288$ timer. | | | | | | | | | | |