



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK – NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

EKSAMEN I: PET 120, Reservoarteknikk

DATO: 1. juni 2017

VARIGHET: 4 timer

TILLATTE HJELPEMIDDEL: Ingen trykte eller håndskrevne hjelpemidler tillatt. Bestemt, enkel kalkulator tillatt.

OPPGAVESETTET BESTÅR AV: 8 sider inkludert 2 vedlegg

MERKNADER: Oppgave 1+2 er vektet likt med oppgave 3

Oppgave 1

B-L ligningen beskriver hastigheten på en bestemt vannmetning gjennom et reservoar. Ligningen er gitt ved formelen:

$$v_{Sw} = \frac{q_t}{\phi A} \left(\frac{df_w}{dS_w} \right)_{S_w}$$

a.

1. Forklar symbolene i ligningen
2. Utled et uttrykk som angir stigningen for tangenten til sjokkfrontens metning.

b.

Gitt et reservoar hvor en kan anvende B-L ligningen for vannflømming av reservoaret. Trykket opprettholdes ved at det injiseres like mye som det produseres. Følgende data er gitt:

Injeksjonsrate av vann:	$Q_w = 200 \text{ Sm}^3/\text{d} = Q_0$
Lengde:	$L = 1000 \text{ m}$
Tverrsnittareal:	$A = 10000 \text{ m}^2$
Porøsitet:	$\phi = 0.26$
Initiell vannmetning:	$S_{wi} = 0.16$
Oljemetning etter vannflømming:	$S_{orw} = 0.21$
Formasjonsfaktorer:	$B_o = 1.50$ og $B_w = 1.0 \text{ m}^3/\text{Sm}^3$.
Viskositeter:	$\mu_w = 0.5 \text{ cP}$ og $\mu_o = 2.4 \text{ cP}$
Kapillartrykk:	$P_c = 0$

Relative permeabiliteter:

S_w	k_{rw}	k_{ro}
0.16	0	0.920
0.25	0.020	0.725
0.35	0.050	0.470
0.45	0.095	0.290
0.55	0.150	0.150
0.65	0.225	0.060
0.75	0.335	0.015
0.79	0.410	0

Fraksjonstrømkurven for vann er plottet og gitt i Vedlegg 2 som også vedlegges besvarelsen.

PS!! Data/tall som leses av grafisk skal noteres i besvarelsen.

1. Bruk Darcys lov, $q = -\frac{k}{\mu} A \frac{dP}{dL}$, og utled formelen for fraksjonsstrømmen av vann for et horisontalt reservoar:

$$f_w = \frac{1}{1 + \frac{k_{ro}\mu_w}{k_{rw}\mu_o}}$$

2. Forklar og skisser hvordan fraksjonsstrømskurven av vann, $f_w = f(S_w)$, kan konstrueres i dette tilfellet.
3. Følgende skal bestemmes:
 - a. Tiden til vanngjennombrudd, t_{BT} (år).
 - b. Produsert olje ved vanngjennombrudd, N_p (Sm^3)
 - c. Utvinnings% av produserbar olje.
 - d. Vannkuttet, WOR (Sm^3/Sm^3), like etter vanngjennombrudd.

c.

Etter vanngjennombrudd vil produksjonen av vann stadig øke. Ved $WOR = 30 \text{ Sm}^3/\text{Sm}^3$ skal produksjonen avsluttes. Bestem følgende:

1. Produksjonstiden, t (år).
2. Produsert olje, N_p (Sm^3).
3. Utvinnings% av produserbar olje og utvinnings% av IOIP.

Oppgave 2

Gitt et lukket våt gass reservoar. Brønnstrømmen gjennomgår en to-steps separasjon, separator og tank. Følgende data er gitt:

$$P_{\text{res}} = 50000 \text{ kPa}$$

$$T_{\text{res}} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$S_{\text{wr}} = 0.10$$

$$P_{\text{sc}} = 101.32 \text{ kPa}$$

$$T_{\text{sc}} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\rho_{\text{sto}} = 750 \text{ kg/m}^3$$

$$Z_i = 1.236$$

$$\Phi = 0.25$$

$$M_{\text{sto}} = 105$$

$$GOR_{\text{sep}} = 6500 \text{ Sm}^3/\text{Sm}^3$$

$$GOR_{\text{tank}} = 500 \text{ Sm}^3/\text{Sm}^3$$

- a.** 1. Beskriv fluidet ut fra et PT-diagram.
2. Skisser $GOR = f(P_{\text{res}})$. Gi en kommentar til skissen.
- b.** Bestem opprinnelig gassmengde, IGIP (Sm^3), og tank olje, IOIP (Sm^3) pr 10000 m^3 brutto reservoarvolum (bulk) for dette våt gass reservoaret.

Oppgave 3:

- a) Skriv ned Darcy's lov for en-dimensjonal strøm av en fase i et homogent, porøst medium med konstant tverrsnitt (husk gravitasjonsleddet). Definer størrelsene som inngår i Darcy's lov. Hva er enhetene til størrelsene som inngår i Darcy's lov?
- b) Vis hvordan vi kan bruke Darcy lov i praktiske enheter (Oil Field Units) ved å innføre en omregningsfaktor, hva er verdien til denne faktoren? Hva er verdien av 1D (1 Darcy) i SI enheter? (Hint: 1 atm = 14.696 psi, 1 bbl = 159·10³ cm³ and 1 ft = 30.48 cm.)
- c) Vis at for et lagdelt reservoar (se figur under) og (ideell) gass strøm langs lag så:

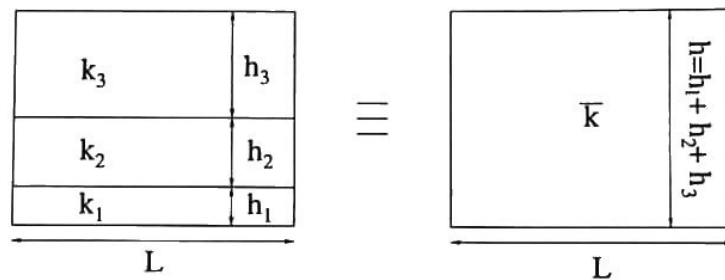
- kan man utlede følgende form på Darcy lov fra Darcy lov på differensialform:

$$q_b = \frac{\bar{k} A}{\mu_g} \frac{1}{2 p_b L} (p_1^2 - p_2^2),$$

- der effektiv permeabilitet gitt ved:

$$\bar{k} = \frac{1}{h} (k_1 h_1 + k_2 h_2 + k_3 h_3).$$

(Hint: bruk ideell gasslov og at massen er bevart, dvs. $(q \cdot \rho) = \text{konstant}$)



Figur 1: Lagdelt reservoar

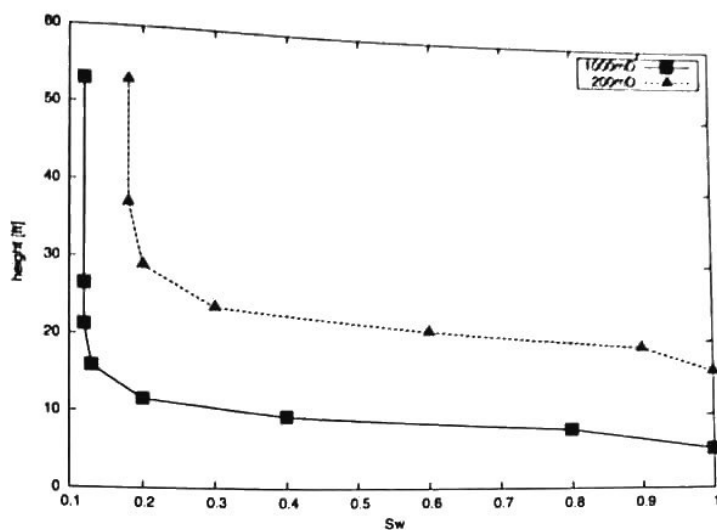
- d) For systemet vist i Figur 1:
- Anta at det er en inkompressible væske som strømmer. Hva er forholdet mellom væskeratene i de ulike lagene? Vil dette forholdet endre seg dersom det var gass og ikke væske som strømmet?
 - Hvilke to effekter må vi være spesielt opmerksomme på når det gjelder bruk av Darcy lov for å tolke gasstrøm gjennom et porøst medium?

- e) Beregn den totale strømningsrate av gass i ft³/d ved trykk p_b gjennom det viste system i Figur 1 over fra følgende data:

Bredde 200ft, Lengde 400ft, p_{atm} 15.0psia
 h_1 5ft, k_1 200md, p_{in} 500psig,
 h_2 10ft, k_2 1000md, p_{out} 400psig,
 h_3 15ft, k_3 200md, p_b 14.65psia,

$$\mu_g = 0.0185 \text{cp og } p_{psia} = p_{psig} + p_{atm}.$$

- f) Vi skal nå se på et reservoar, liknende til det som er vist i Figur 1. Vi antar at det er i vertikal likevekt.
- Forklar forskjellen mellom olje-vann kontakt og fritt vannivå. Hva er sammenhengen mellom kapillartrykk og høyden over fritt vannivå?
 - Grafene i Figur 2 er avledet fra kapillartrykkskurvene til en stein med 1000mD permeabilitet og 200mD permeabilitet. Bruk disse til å skissere vannfordelingen i lagene som er vist i figuren under oppgave c) (Figur 1). Anta at det nederste laget starter ved det frie vann nivået.



Figur 2: Metningsfordeling som funksjon av høyde

g) For et porøst medium, skisser følgende (olje-vann) imbiberingskurver:

1. for et vanvått system
2. for et system med blandet fuktpreferanse

indiker på grafene hvor redusibel vannmetning (S_{wr}) og redusibel oljemetning S_{or} er.

Vi skal nå se nærmere på et olje reservoir med en gasskappe. Vi definer følgende volumer:

Reservoir	→	Surface
ΔV_g^R	→	$\Delta V_{g,g}^S + \Delta V_{o,g}^S$
ΔV_o^R	→	$\Delta V_{o,o}^S + \Delta V_{g,o}^S$

På venstre side er det reservoarvolum av gass (ΔV_g^R) og olje (ΔV_o^R). Når en volumenhet av olje blir tatt til overflatebetingelser blir det produsert et volum olje ($\Delta V_{o,o}^S$) og et volum gass som var oppløst i oljen ($\Delta V_{g,o}^S$). Tilsvarende for gassfasen. Vi ser vekk i fra oppløst olje i gass, dvs. $\Delta V_{o,g}^S = 0$.

h) Definer volumfaktoren for olje B_o . Skisser B_o som funksjon av trykk, indiker på grafen hvor boblepunktstrykket for olje er. Forklar *kort* med ord hvorfor grafen har den formen som den har.

Likningene for materialbalanse er gitt som:

$$F = N(E_o + m E_g + E_c) + W_e B_w \quad (1)$$

Symbolene i likningen over er definert:

$$\begin{aligned} F &= N_p [B_o + (R_p - R_s) B_g] + W_p B_w \\ E_o &= (B_o - B_{oi}) + (R_{si} - R_s) B_g \\ E_g &= B_{oi} \left(\frac{B_g}{B_{gi}} - 1 \right) \\ E_c &= B_{oi} (1 + m) \left(\frac{c_w S_w + c_p}{1 - S_w} \right) \Delta p. \end{aligned} \quad (2)$$

Tabell 1: PVT data

p/psia	B_o	R_s	B_g	N_p /MMSTB
7150	1.743	1450	-	0
6600	1.760	1450	-	8.072
5800	1.796	1450	-	22.549
4950	1.830	1450	-	36.369
4500	1.850	1450	-	43.473

- i) Opprinnelig reservoar trykk var 7150 psia, boblepunktstrykk på 4500 psia. Opprinnelig estimat basert på volumetriske betraktninger viste at reservoaret inneholdt 650 MMSTB olje. Finn et uttrykk for opprinnelig volum av olje (N) ved bruk av materialbalanse. Bestem N for 4500 psi, ved hjelp av dataene i tabell 1 og at $S_w = 0.43$, $c_p = 3.3 \cdot 10^{-6}/\text{psi}$, $c_w = 8.6 \cdot 10^{-6}/\text{psi}$.
- j) Bruk et estimat på opprinnelig volum av olje og anta at feltet har en utstrekning på ca 20 km², hva blir gjennomsnittlig formasjonshøyde?