



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK – NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

EKSAMEN I: PET 120, Reservoartechnik

DATO: 12. juni 2015

VARIGHET: 4 timer

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

OPPGAVESETTET BESTÅR AV: 7 sider inkludert 1 vedlegg

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

Oppgave 1

Et horisontalt sirkulært oljereservoar med gasskappe og et underliggende impermeabelt lag produseres ved maksimal oljerate uten produksjon av gass. Etter en tids produksjon har det blitt etablert en gasskon. Følgende data er gitt:

Høyden på oljereservoaret:	$h = 1100 \text{ ft}$
Perforeringsintervall:	$h_c = 10 \text{ ft}$
Reservoar radius:	$r_e = 7800 \text{ ft}$
Brønneradius:	$r_w = 0.5 \text{ ft}$
Oljepermeabilitet ved S_{wr} :	$k_o = 0.15 \text{ darcy}$
Viskositet av olje:	$\mu_o = 2.5 \text{ cP}$
Tetthet til olje:	$\rho_o = 0.80 \text{ g/cm}^3$
Tetthet til gass:	$\rho_g = 0.10 \text{ g/cm}^3$
Reservoar trykk:	$P_{res} = 6500 \text{ psia}$
Oljeformasjonsvolumfaktor	$B_o = 1.2 \text{ m}^3/\text{Sm}^3$

Maksimal gassfri oljeproduksjonsrate er gitt ved:

$$(q_o)_{\max} = -C \frac{(\rho_o - \rho_g)k_o}{\mu_o \ln \frac{r_e}{r_w}} (h^2 - (h - D)^2) \quad (1)$$

hvor C er en systemkonstant. Gitt C= 1.535 når en bruker følgende enheter: k (darcy); μ (cP); ρ (g/cm³); h, h_c og r (ft); q_o (bbl/D).

- Forklar hva som menes med begrepet gasskoning.
- Skissér reservoarets tilstand vha. dataene gitt. Skissen skal kunne brukes til utledning av $(q_o)_{\max}$ ligningen.
- Hvilke antakelser gjør en for å utlede uttrykket for $(q_o)_{\max}$, og hvilke konsekvenser har dette for verdien til $(q_o)_{\max}$?
- Hvor er optimal plassering av perforeringsintervallet for denne brønnen? Begrunn svaret.
- Hva er maksimal gass-frie oljeproduksjonsrate (SBL/D) for dette reservoaret?

Oppgave 2

For et gasskondensatreservoar er følgende data gitt:

$$\begin{aligned} T_{res} &= 152 \text{ }^\circ\text{C} \\ P_i &= 750.7 \text{ bar} \\ P_d &= 480 \text{ bar} \\ \phi &= 0.20 \\ S_{wr} &= 0.10 \end{aligned}$$

Kumulative produksjonsdata er gitt:

Pres (bar)	Z	Gass volum (Sm ³)	Tank olje (Sm ³)	Volum vann (Sm ³)
750.7	1.5414	0	0	0
701.0	1.4738	0.500x10 ⁹	2.25x10 ⁵	≈0
650.6	1.4054	1.059x10 ⁹	4.76x10 ⁵	≈0
600.7	1.3378	1.669x10 ⁹	7.51x10 ⁵	≈0

Tank olje: $M_{STO} = 167$, $\rho_{STO} = 811 \text{ kg/m}^3$.

Gass: $M_g = 20.96$, $\gamma_g = 0.723$,

Anta at reservoaret er lukket, dvs. at HCPV= konstant

a) Skissér:

1. Reservoarfluidet i et PT-diagram.
2. GOR vs. P_{res} .

b) Utled uttrykket for gasekvivalenter av STO (Sm^3 gass/ Sm^3 STO).

$$G_{\text{STO}} \approx 23.6447 \frac{\rho_{\text{STO}}}{M_{\text{STO}}} \quad (2)$$

c) For tørr gass gjelder følgende ligning:

$$\frac{P}{Z} = \frac{P_i}{Z_i} - \frac{P_{sc} T_{res}}{(HCPV)T_{sc}} G_p \quad (3)$$

1. Forklar symbolene i ligningen.
2. Forklar hvordan en kan bruke uttrykket i (3) til å beregne opprinnelig brønnstrømsvolum som gass ved standard betingelser, G_i , ut fra gitte produksjonsdata for dette reservoaret.
3. Vis at $G_i \approx 2.25 \times 10^{10} \text{ Sm}^3$.

d) Vis at hydrokarbonporevolumet er $HCPV \approx 69 \times 10^6 \text{ m}^3$.

e) Beregn IOIP (Sm^3) og IGIP (Sm^3) basert på de gitte produksjonsdata. (IOIP = "initial oil in place", IGIP = "initial gas in place")

Oppgave 3

a) Darcy lov i 1 dimensjon kan uttrykkes som

$$q_x = -\left(\frac{k \cdot A}{\mu}\right) \left[\frac{dP}{dx} + \alpha \cdot \rho \cdot g \cdot \sin \theta \right] \quad (4)$$

1. Forklar symbolene i ligningen.
2. Definer 1 Darcy (1 D)
3. Beregn omregningsfaktoren α dersom vi ønsker at uttrykket skal være i Darcy enheter.

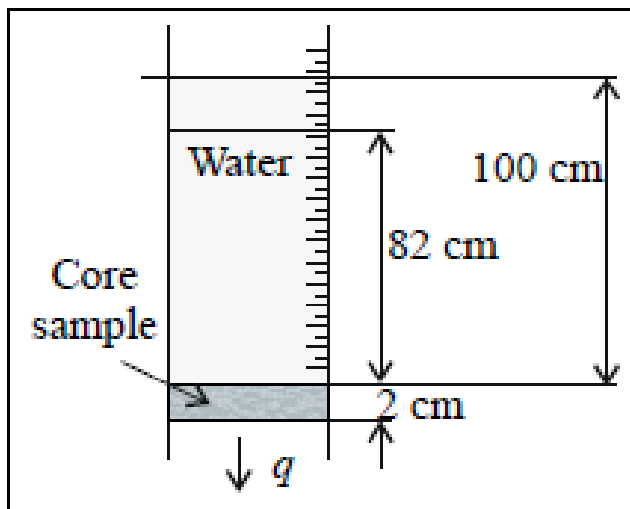
Merk at $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}\right)$

b) Absolutt permeabilitet til en kjerneprøve måles ved vannflømming. Kjerneprøven er montert i et gjennomsiktig sylindrisk rør som vist i figur under. Luft-vann grenseflatens posisjon måles som funksjon av tid. Røret er plassert i en vertikal posisjon.

1. Beregn den absolutte permeabilitet til prøven når luft-vann grenseflate bruker 400 sekunder på å bevege seg 18 cm.

Tilleggsdata:

Tetthet til vann:	1 g/cm ³
Viskositet til vann:	1 cp
Gravitasjonskonstanten:	980 cm/s ²
Tykkelse av kjerneprøve:	2 cm



c) Anta at vi har en reservoarstruktur av sandstein og at denne var sterkt vannfuktende på det tidspunkt at olje migrerte inn i strukturen. Vi fikk så en fortreningsprosess der olje fortrenget vann. Anta at reservoaret er homogent og at vi har tilgjengelig en representativ kjerneprøve. På prøven som er mettet med vann måler vi en kapillærtrykkskurve ved å fortrenge vann med luft. Tegn en typisk kapillærtrykkskurve og svar på følgende spørsmål:

1. Hvordan defineres *kapillærtrykk*?
2. Hva menes med *terskeltrykk*?
3. Hvordan defineres en *dreneringsprosess*?
4. Hva menes med *residuell (irreduisibel) vannmetning*
5. Hvordan defineres *olje-vann kontakt (OWC)* og *fritt vannivå (FWL)*?

Vi kan bruke kapillærtrykkskurven som er målt på laboratoriet til å regne ut hvordan vannmetningen varierer med høyde over FWL i reservoaret. Kapillærtrykksdataene som ble målt i laboratoriet er gitt i tabell nedenfor.

6. Vis at kapillærtrykket i en høyde h over FWL kan uttrykkes som $P_c = \Delta\rho \cdot g \cdot h$.

Forklar symbolene i ligningen

7. Beregn vannmetningen som funksjon av høyde over FWL ved å fylle inn i tabellen nedenfor. Forklar fremgangsmåten. Leverets J-funksjon er gitt ved

$$J(S_w) = \frac{P_c}{\sigma \cdot \cos \theta} \left[\frac{k}{\phi} \right]^{1/2} \quad (5)$$

Tilleggsdata (R= reservoarbetingelser):

$$(\sigma \cdot \cos \theta)^{\text{luft-vann}} = 0,050 \text{ N/m}$$

$$(\sigma \cdot \cos \theta)^{\text{olje-vann}} = 0,023 \text{ N/m}$$

$$\rho_{\text{olje}}^R = 810 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{vann}}^R = 1010 \text{ kg/m}^3$$

$$1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ Pa}$$

P_c (kPa)	S_w	Høyde (m)
20,7	1,00	
24,8	0,90	
27,6	0,60	
31,0	0,30	
37,9	0,20	
48,3	0,18	
68,9	0,18	

d) PVT data for reservoarfluid:

Volumfaktorer	Enheter	20670 kPa	19292 kPa
B_o	Rm^3/Sm^3	1,58	1,48
R_s	Sm^3/Sm^3	185	151
B_g	Rm^3/Sm^3	0,0045	0,0052
B_w	Rm^3/Sm^3	1	1

Reservoardata:

N	Sm^3	$1,59 \times 10^6$
m		0,25
p_i	kPa	20670
N_p	Sm^3	$0,159 \times 10^6$
G_p	Sm^3	$31,15 \times 10^6$
W_p	Sm^3	7950

1. Beregn hvor mye av den totale produksjon (olje/gass/vann) som kan tilskrives følgende drivmekanismer (du kan se bort fra "ekspansjon av formasjonsvann + kompaksjon av porevolum")

- a) ekspansjon av olje + oppløst gass
- b) ekspansjon av gasskappe
- c) vanninntrengning (innfluks av aquifer)

2. Hvor stor blir da vanninntrengningen målt i Sm^3 ?

3. Hvor høy er utvinningsgraden ved 19292 kPa ?

4. De aller fleste oljefelt som er i produksjon på norsk sokkel produseres ved vannflømming mens alle gass/gasskondensat felt produseres ved trykkavlastning. Forklar kort årsaken til dette. Imidlertid, enkelte oljefelt produseres ved trykkavlastning. Hvilken type felt er dette? (forklar kort).

Materialbalanse ligningen

$$F = N [E_o + m \cdot E_g + E_{f,w}] + W_e B_w$$

$$F = N_p \cdot [B_o + (R_p - R_s) \cdot B_g] + W_p B_w$$

$$\text{Merk } R_p = G_p / N_p$$

$$E_o = (B_o - B_{oi}) + (R_{si} - R_s) \cdot B_g$$

$$E_g = B_{oi} \cdot \left[\frac{B_g}{B_{gi}} - 1 \right]$$

$$E_{f,w} = (1 + m) \cdot B_{oi} \cdot \frac{c_f + c_w \cdot S_{wc}}{1 - S_{wc}} \cdot \Delta P$$

Vedlegg 1

Important formula/correlations in PVT-Analysis.

Temperature: $^{\circ}\text{K} = 273.15 + ^{\circ}\text{C}$
 $^{\circ}\text{F} = 1.8 \times ^{\circ}\text{C} + 32$
 $^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 459.69$

Pressure: $1\text{atm} = 1013.250\text{ mBar} = 1.013250\text{ bar} = 101.3250\text{ kPa} = 0.1013250\text{ MPa}$
 $\text{MPa} = 14.69595\text{ psia}$
 $\text{psia} = 14.69595 + \text{psig}$
 $1\text{ atm} = 760.002\text{ mmHg at } 0^{\circ}\text{C}$

Density: $1\text{ g/cm}^3 = 62.43\text{ lb/ft}^3 = 350.54\text{ lb/bbl}$
 $1\text{ lb/ft}^3 = 16.0185\text{ kg/m}^3$
 $\rho_w = 0.999015\text{ g/cm}^3 \quad (60^{\circ}\text{F}, 1\text{ atm})$
 $\rho_w = 0.9991\text{ g/cm}^3 \quad (15^{\circ}\text{C}, 1\text{ atm})$

Specific density: For liquids: Determined relative to water at sc.
For gases: Determined relative to air at sc.

$$\gamma_o = \frac{\rho_o}{\rho_w} = \frac{141.5}{131.5 + ^{\circ}\text{API}}$$

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141.5}{\gamma_o} - 131.5$$

Cragoe's formula (empirical formula giving molecular weight of hydrocarbons):

$$M_o = \frac{6084}{^{\circ}\text{API} - 5.9}$$

$$\gamma_g = \frac{M_g}{M_{air}} = \frac{M_g}{28.96}$$

Volume: $1\text{ bbl} = 5.615\text{ ft}^3 = 0.15898\text{ m}^3$
 $1\text{ ft}^3 = 0.0283\text{ m}^3$
 $1\text{ US Gallon} = 3.785\text{ litre}$
 $1\text{ Imp. Gallon} = 4.546\text{ litre}$
Molar volume of gas at standard conditions:
 $V_m = 379.51\text{ SCF/lb mole } (60^{\circ}\text{F and } 14.69595\text{ psia})$
 $V_m = 23644.7\text{ cm}^3/\text{g mole} = 23.6447\text{ m}^3/\text{kg mole } (15^{\circ}\text{C and } 101.3250\text{ kPa})$

Air: $Z_{air} = 0.9959 \quad (60^{\circ}\text{F}, 14.69595\text{ psia})$
 $M_{air} = 28.96$

Gas constant: $R = 10.732 \quad (\text{psia, ft}^3, ^{\circ}\text{R}, \text{lb mole})$
 $R = 0.082054 \quad (\text{atm, litre, } ^{\circ}\text{K}, \text{g mole})$
 $R = 8.3145 \quad (\text{kPa, m}^3, ^{\circ}\text{K}, \text{kg mole})$