

EKSAMENSOPPGAVE H-2012

OPPGAVE 1

$$\text{Bulkvolum} = 10^6 \text{ m}^3$$

$$\phi = 0.23$$

$$S_{wi} = 0.15$$

$$P_i = 350 \text{ bar}$$

$$(Z_g)_i = 1.107$$

$$P_d = 201 \text{ bar}$$

$$T_{res} = 115^\circ\text{C}$$

CVD - konstant volumavlastningsanalyse

$$V_{celle} = 950 \text{ cm}^3 \text{ ved } P_d \text{ og } T_{res}$$

Pres (bar)	ΔV (cm ³)	V_L (% av V_d)	Z_g
201	0	0	0.771
170	170	6.2	0.794
136	220	8.2	0.805
102	340	10.1	0.835
68	550	7.9	0.875
34	1000	7.1	0.945

Komposisjon av braennstream i mol%

Pres (bar)	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_{7+}
201	75.2	7.7	4.4	3.1	2.2	2.2	5.2
170	78.3	7.7	4.3	2.8	1.9	1.6	3.4

gass

STO

$$\rho_{sto} = 775 \text{ kg/m}^3$$

$$M_{sto} = 143$$

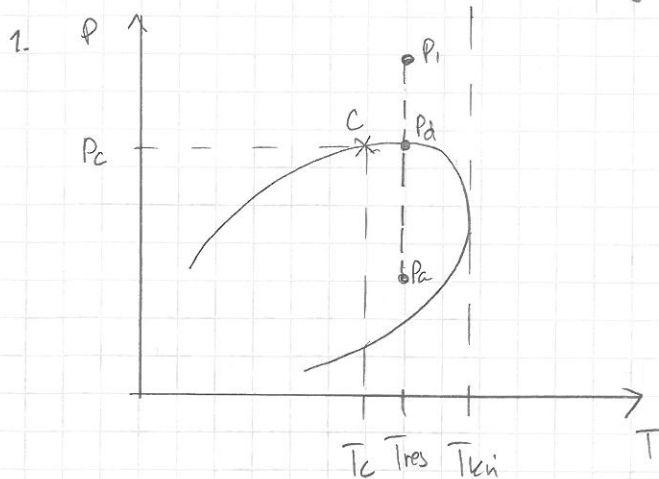
for $P_i - P_d$ (350 - 201)

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

$$M_{sto} = 138$$

for $P_d - 170$ (201 - 170)

a) Reservoarfliuidet i et PT-diagram:



Gasskondensat. Retrograd gass.
 $T_c < T_{res} < T_{ki}$

2. CVD analyse

Brukes for å simulere produksjonsopptørsel til reservoarkondensatfluidet.

Rekombinert olje og gass fra separatoren høs i en PVT celle ved T_{res} og P_d . Cellovolumet, V_{celle} , noteres.

Første trykkavlastning, P_1 , skjer ved å øke cellovolumet, ΔV_1 .

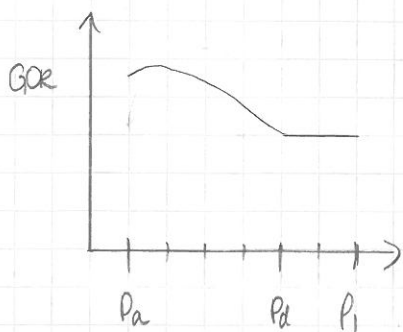
Før ny likevekt mellom gass- og væskefase. Gassvolumet ΔV_1 produseres ved å holde trykket ved P_1 .

- Retrograd væskeutfelling, W
- Komposisjon
- Z-verdi til gassen bestemmes

Avlastningsprosessen gjentas i ca. 10 steg til avslutningstrykket er nådd.

b) I trykkintervallet $34 < P_{res} < 350$ bar

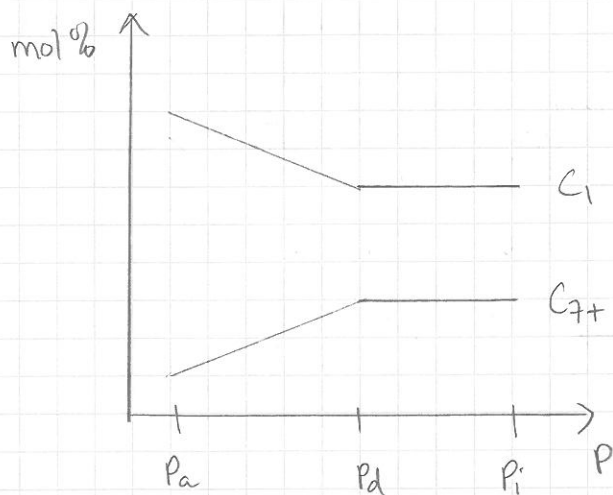
1. $GOR = f(P_{res})$



Før væskeutfelling fra gassen når trykket synker ved gitt temperatur. GOR øker fordi væsken blir igjen

Ved videre trykkreduksjon fordampes også utfelt væske, GOR øker igjen på overflaten.

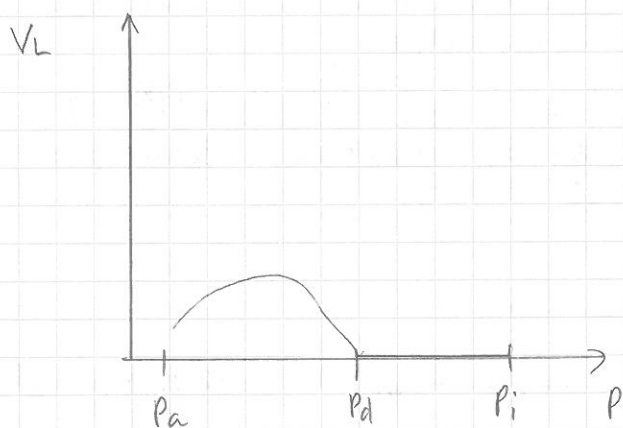
2. mol% C_1 og C_{7+} i brannstrøm



C_1 = metan
 C_{7+} = tunge komponenter

Når $P < P_d$ så felles væske ut i reservoaret og gærtøpt. C_{7+} som er høyere i væsken vil avta i brannstrømmen. Dermed vil mol% C_1 øke.

3. Væskedømm som funksjon av Pres



Væske starter å felle ut ved P_d . Mengden øker til et maksimum for så å avta når (~~isovoluminert~~) trykket synker

c) Vis at $GOR = 1206.6 \frac{\text{Sm}^3}{\text{Sm}^3}$ ved $P_d = 201$ bar
 $GOR = 1733.8 \frac{\text{Sm}^3}{\text{Sm}^3}$ ved $P = 170$ bar
 GOR ved P_i ?

Ved $P_d = 201$ bar

$$\text{mol\% gass} = \left(\begin{matrix} C_1 & C_2 & C_3 & C_4 \\ 75.2 & 7.7 & 4.4 & 3.1 \end{matrix} \right) = 90.4 \%$$

$$\text{mol\% væske} = \left(\begin{matrix} C_5 & C_6 & C_{7+} \\ 2.2 & 2.2 & 5.2 \end{matrix} \right) = 9.6 \%$$

Av 1^{lb} mol reservoarfluid blir 0.904^{lb} mol gass og 0.096^{lb} mol væske

Volum gass $V_{g,sc} = n_{g,sc} \cdot V_m = 0.904 \cdot 23.6147 = 21.37 \text{ Sm}^3$

Volum olje $V_{o,sc} = \frac{m_{sto}}{\rho_{sto}} = \frac{n_{sto} \cdot M_{sto}}{\rho_{sto}} = \frac{0.096 \cdot 143}{775} = 0.0177 \text{ Sm}^3$

$$\underline{GOR_1} = \frac{V_{g,sc}}{V_{STO}} = \frac{21.37}{0.0177} = \underline{1206.4 \text{ Sm}^3/\text{Sm}^3}$$

Ved 170 bar: Basert på 1 kmol fæde:

$$GOR = \frac{(V_g)_{sc}}{V_{STO}} = \frac{n_g \cdot V_m}{\frac{n_{STO} \cdot M_{STO}}{\rho_{STO}}} = \frac{\left(\frac{78.3 + 7.7 + 4.3 + 2.8}{100}\right) \text{ kmol} \cdot 23.6447}{\left(\frac{1.9 + 1.6 + 3.4}{100}\right) \text{ kmol} \cdot 138} = \underline{750 \text{ kg/m}^3}$$

$$\underline{GOR_2} = \frac{22.0134}{0.012646} = \underline{1733.9 \frac{\text{Sm}^3}{\text{Sm}^3}}$$

$GOR_i = GOR_d = GOR_1$ (201 bar) For Pd har ingen væske felt ut, og GOR er konstant.

d) IGIP?

Bulle reservoervolum = 10^6 m^3

IOIP?

$$\underline{HCPV} = 10^6 \cdot \Phi (1 - S_{wi}) = 10^6 \cdot 0.23 \cdot (1 - 0.15) = \underline{195500 \text{ m}^3} \quad (V_i)$$

Antall mol reservoerfluid i reservoeret (HCPV)

$$P_i V_i = z_i n_i R T_{res}$$

$$n_i = \frac{P_i V_i}{z_i R T_{res}} = \frac{350 \text{ bar} \cdot 100 \frac{\text{kPa}}{\text{bar}} \cdot 195500 \text{ m}^3}{1.07 \cdot 8.3145 \cdot (115 + 273.15)} = \underline{1915276 \text{ mol}}$$

$$\underline{IGIP} = n_i \cdot 0.904 \cdot V_m = 1915276 \text{ kg} \cdot \text{mol} \cdot 0.904 \cdot 23.6447 = 40938667 \text{ m}^3 = \underline{4.09 \cdot 10^7 \text{ Sm}^3}$$

$$GOR_i = \frac{IGIP}{IOIP} \Rightarrow \underline{IOIP} = \frac{IGIP}{GOR_i} = \frac{4.09 \cdot 10^7}{1209.2} = \underline{33856 \text{ Sm}^3}$$

$$\underline{IOIP} = \frac{((n_i - n_g) \cdot M_{STO})}{\rho_{STO}} = \frac{0.1838 \cdot 10^6 \cdot 143}{775} = \underline{3.3719 \cdot 10^4 \text{ Sm}^3}$$

e) Beregn produksjon av gass (Sm^3) og STO (Sm^3) fra reservoæret i trykkintervall $P_i - P_d$

$$\begin{aligned} n_{\text{produsert}} &= n_i - n_{\text{tilbake}} \\ &= n_i - \frac{P_i V_i}{Z R T_{\text{res}}} \\ &= 1915276 \text{ kg mol} - \frac{201 \cdot 100 \cdot 195500}{0,771 \cdot 8,3145 \cdot (115 + 273,15)} \\ &= 1915276 - 1579257 = \underline{336019 \text{ kg mol}} \end{aligned}$$

Produksjon av gass:

$$\begin{aligned} V_g &= n_p \cdot 0,904 \cdot V_m = 336019 \cdot 0,904 \cdot 23,6447 \\ &= 7122296 \text{ Sm}^3 = \underline{7,1 \cdot 10^6 \text{ Sm}^3} \end{aligned}$$

Produksjon av STO

$$GOR_d = \frac{V_g}{V_{\text{STO}}} \Rightarrow \underline{V_{\text{STO}}} = \frac{V_g}{GOR_d} = \frac{7,1 \cdot 10^6}{1209,2} = \underline{5890 \text{ Sm}^3}$$

f) CVD-analysen brukes til å beregne produksjonen når $P_{\text{res}} < P_d$.

Antall mol brennstrem, Δn_j , som produseres fra reservoæret i trykksteget j , er gitt ved:

$$\Delta n_j = (\text{HCPV}) \frac{(\Delta V)_j P_i}{V_{\text{celle}} (Z_g)_j R T_{\text{res}}}$$

Separatorgass volum produsert av celle volum

$$\frac{(\Delta V)_j}{(V_{\text{celle}})_{sc}} = \frac{(\Delta G_p)_{sc}}{(\text{HCPV})_{sc}}$$

brennstromvolum produsert av HCPV

$$(\Delta G_p)_{sc} = \frac{(\Delta V)_j \cdot (\text{HCPV})_{sc}}{(V_{\text{celle}})_{sc}}$$

HCPV = porevolum

ΔV_j = volumendring i trykksteg j .

V_{celle} = PVT-celle volum

P_i = Trykk i steg j

$(Z_g)_j$ = kompressibiliteten til gassen ved trykk j .

R = gasskonstanten

T_{res} = reservoar temperatur.

$(\Delta V)_j$ = volum separatorgass

ΔG_p = brennstromsvolum

$$\text{HCPV} = V_{\text{HCPV}} = \frac{P_d \cdot (V_{\text{HCPV}})_{\text{res}}}{Z_d \cdot R T_{\text{res}}} \cdot V_m$$

$$(\Delta V)_j_{sc} = \frac{P_j (\Delta V_j)_{res}}{Z_j R T_{res}} \cdot V_m$$

$$(V_{celle})_{sc} = \frac{P_d (V_{celle})_{res}}{Z_d R T_{res}} \cdot V_m$$

$$(\Delta G_p)_{sc} = \frac{P_j (\Delta V_j)_{res}}{Z_j R T_{res}} \cdot V_m - \frac{P_d \cdot H_{CPV}}{Z_d R T_{res}} \cdot V_m \quad \Bigg| \div V_m$$

$$\frac{P_d (V_{celle})_{res}}{Z_d R T_{res}} \cdot V_m$$

$$\frac{(\Delta G_p)_{sc}}{V_m} = \Delta n_j = \frac{H_{CPV} \cdot (\Delta V_j) \cdot P_j}{V_{celle} \cdot (Z_g)_j R T_{res}} \quad \text{SSV.}$$

g) Beregn gjenvinning av gass og STO $P_d \rightarrow 170 \text{ bar}$

1. Antall mol brønnstrøm som produseres i trykksteget:

$$\Delta n_j = \frac{H_{CPV} \cdot \Delta V_j \cdot P_j}{V_{celle} \cdot (Z_g)_j R \cdot T_{res}}$$

$$\Delta n_j = \frac{195500 \text{ m}^3 \cdot 170 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \cdot 170 \cdot 100 \text{ kPa}}{950 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \cdot 0,794 \cdot 8,3145 \cdot (115 + 273,15) \text{ }^\circ\text{K}}$$

$$= \frac{564995}{2,4343} = \underline{232094,5 \text{ kg mol}}$$

Ved 170 bar er mol%^{br} brønnstrøm: 93,1 % gass
6,9 % væske

Produsert gass i 201 \rightarrow 170 bar =

$$\begin{aligned}\underline{V_g} &= \Delta n_j \cdot \text{mol\% gass} \cdot V_m \\ &= 232094.5 \cdot 0.931 \cdot 23.6447 = 5109.145 \text{ Sm}^3 \\ &= \underline{\underline{5.1 \cdot 10^6 \text{ Sm}^3}}\end{aligned}$$

$$V_{STO} = \frac{\Delta n_j \cdot \text{mol\% væske} \cdot M_{STO}}{\rho_{STO}} = \frac{232094.5 \cdot 0.069 \cdot 138}{750}$$

$$\underline{\underline{V_{STO} = 2946.7 \text{ Sm}^3}}$$

2. Endepunktsmåtningene fra gass-olje relative permeabilitetsdata

$$S_{or} = 0.17$$

$$S_{gr} = 0.20$$

Fra CVD-analysen ser en at maks væskevolumen i reservoaret vil være 10.1% av V_d

$S_{or} = 0.17$ dvs ved måtninger over S_{or} vil oljen strømme. I dette tilfellet får vi ikke så store væskemåtninger, og oljen vil forbli immobil.

Gjenvinningsberegningene er pålitelige.

OPPGAVE 2

Gitt et reservoar hvor en ønter B-L ligningen gjelder:

$$V_{sw} = \frac{q_t}{\phi A} \left(\frac{d f_w}{d S_w} \right)_{sw}$$

$$(Q_w)_{inj} = (Q_o)_{prod}$$

$$(Q_w)_{inj} = 1500 \text{ Sbbl/D}$$

$$\phi = 0.20$$

$$B_w = 1.0 \text{ resbbl/Sbbl}$$

$$A = 20000 \text{ ft}^2$$

$$B_o = 1.2 \text{ resbbl/Sbbl}$$

$$L = 3000 \text{ ft mellom I og P}$$

$$(Q_w)_{inj} = \frac{q_t}{B_o} \Rightarrow q_t = Q \cdot B_w$$

$$q_t = 1500 \cdot 1.0$$

$$q_t = 1500 \text{ resbbl/D}$$

$$= 1500 \cdot 5.615$$

$$= 8422.5 \text{ ft}^3/\text{D}$$

1. Tiden til vænngjennombudd, t_{BT} :

Distansen til fronten = L

$$\text{Fart} = \frac{\text{Lengde}}{\text{Tid}}$$

Tangentretning: $S_{wt} \approx 0.52$
 $f_{wt} \approx 0.77$

$$t_{BT} = \frac{L}{\text{Fart}} = \frac{3000}{V_{Swf}} = \frac{3000 \text{ ft}}{\frac{8422.5 \text{ ft}^3/\text{D}}{0.2 \cdot 20000 \text{ ft}^2} \cdot \left(\frac{d f_w}{d S_w} \right)_{Swf}} = \frac{3000}{2.106 \left(\frac{0.77 - 0}{0.52 - 0.15} \right)}$$

$$\underline{t_{BT} = 684.6 \text{ D}}$$

2. Midlere vænnetning i reservoaret ved t_{BT} = $\bar{S}_w = 0.63$

grafisk

$$\left(\frac{d f_w}{d S_w} \right)_{Swf} = \frac{1}{\bar{S}_w - S_{wr}}$$

$$\bar{S}_w - S_{wr} = \frac{1}{\left(\frac{d f_w}{d S_w} \right)_{Swf}}$$

$$\underline{\underline{\bar{S}_w}} = \frac{1}{\frac{0.77}{0.37}} + 0.15 = \underline{\underline{0.63}}$$

Produsert STO ved t_{BT}

Produsert volum olje:

$$V_{po} = \text{Porevolum} \cdot \phi A L \cdot (S_{w0} - S_{wr}) = 0.23 \cdot 20000 \cdot 3000 \cdot (0.63 - 0.15)$$

$$V_{po} = 5760000 \text{ ft}^3 \cdot 0.0283 \text{ m}^3 = 163008 \text{ m}^3$$

$$\underline{V_{STO}} = \frac{163008}{B_0} = \frac{163008}{1.2} = \underline{135840 \text{ Sm}^3} / 0.15898 \text{ m}^3/\text{bbl} = \underline{854,447 \cdot 10^3 \text{ Sbl}}$$

$$N_p = \frac{q_t \cdot t_{BT}}{B_0} = \frac{1500 \cdot 689.6 \text{ D}}{1.2} = \underline{855.75 \cdot 10^3 \text{ SBL}}$$

4. Gjenvinningsprosent av IOIP:

Metningsforandring $S_{w0} - S_{wr}$ produsert olje

Produsert olje $\phi A L (S_{w0} - S_{wr})$

IOIP: $\phi A L (1 - S_{wr})$

$$\% \text{ gjenvinning} = \frac{\phi A L (S_{w0} - S_{wr})}{\phi A L (1 - S_{wr})} \cdot 100\%$$

$$\frac{0.63 - 0.15}{1 - 0.15} \cdot 100\% = \underline{\underline{56.5\%}}$$

5. WOR like etter vanngjennombrudd

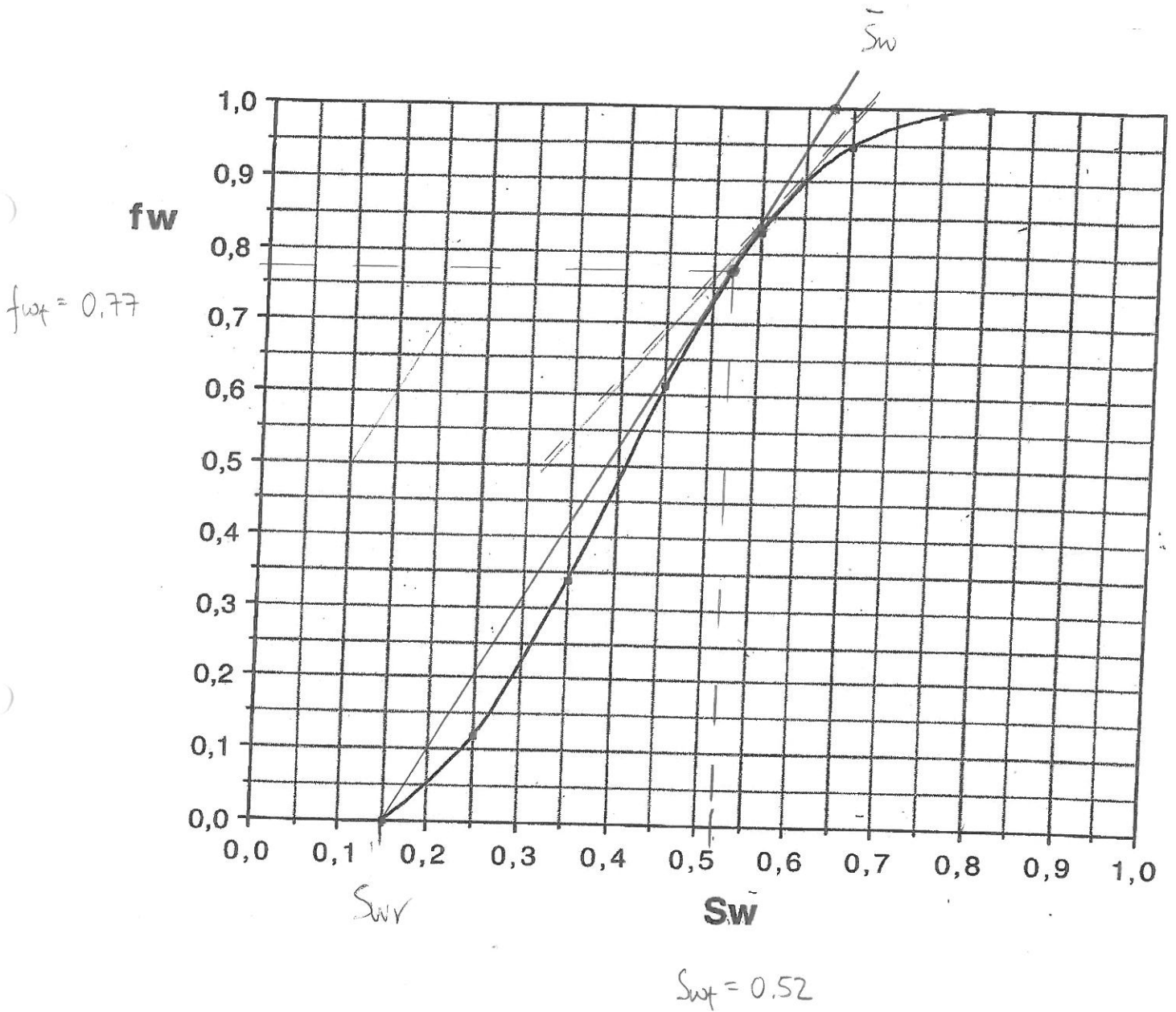
$$WOR = \frac{\frac{f_{wt}}{B_w}}{1 - \frac{f_{wt}}{B_0}} = \frac{\frac{0.77}{1.0}}{1 - 0.77} = \frac{0.77}{0.23} = \underline{\underline{4.02 \frac{\text{Sbbl}}{\text{Sbbl}}}}$$

$$WOR = \frac{Q_w}{Q_o}$$

$$WOR = \frac{\frac{q_w}{B_w}}{\frac{q_o}{B_0}} = \frac{\frac{q_t \cdot (f_{wt})}{B_w}}{\frac{q_t \cdot (1 - f_{wt})}{B_0}} = \frac{\frac{f_{wt}}{B_w}}{\frac{1 - f_{wt}}{B_0}}$$

Vedlegg nr. 2

Kandidat nr.



M mol/kg

Oppgave 3:

a)

$$q = -\frac{k A}{\mu} \left[\frac{dp}{dx} + \frac{1}{G} \rho g \frac{dz}{dx} \right], \quad (1)$$

der A er tversnittet av mediet, k er permeabiliteten av mediet, dp er trykkfallet over mediet, q volumraten, μ viskositeten av væska som strømmer og dx er lengden av mediet. $g = 980 \text{ cm}^2/\text{s}$, ρ er tettheten av væska, z er vertikal avstand fra datum planet. Definisjonsenheterne er cm (lengde), s (tid), cP (viskositet), Darcy (permeabilitet), atm (trykk), gram/cm³ (tetthet), og $G = 1.0133 \cdot 10^6$.

b) I Darcy enheter er $\alpha = 1$, OFU:

$$\begin{aligned} \frac{q}{86400} &= \frac{(30.48)^2 A 10^{-3} k (14.696)^{-1} \Delta p}{\mu} \\ q &= 0.00112702 \frac{A k \Delta p}{\mu L}, \end{aligned} \quad (2)$$

dermed er $\alpha = 0.00112702$.

c) 1.

$$k = \frac{q \mu L}{\alpha A \Delta p} = \frac{0.19 \times 2.5 \times 0.328}{0.00112702 \times \pi (0.131)^2 / 4 \times (65 - 14.7)} = 203.91 \text{ mD} \quad (3)$$

2. Darcy hastighet er gitt ved:

$$u = q/A = 0.19 \text{ bbl/day} = 0.19 \times 159 \cdot 10^3 \text{ cm}^3 / 86400 \text{ s} = 0.35 \text{ cm}^3/\text{s}. \quad (4)$$

3. Pore hastigheten er:

$$v = u/\phi = 0.164 \text{ cm/s}. \quad (5)$$

d) 1. Darcy's lov gir oss strømningsraten i alle rørene, mens Poiseuille's lov gir oss strømningsraten i ett rør:

$$q = \sum_i^N q_i = \sum_i^N \frac{\pi R^4 \Delta p}{8 \mu L} = N \frac{\pi R^4 \Delta p}{8 \mu L}. \quad (6)$$

For å bli kvitt N , bruker vi definisjon på porøsitet:

$$\phi = \frac{N \pi R^2 L}{A L} \leftrightarrow N = \frac{\phi A}{\pi R^2}. \quad (7)$$

Dermed

$$\begin{aligned} q &= \frac{R^2 A \phi \Delta p}{8 \mu L} \equiv \frac{k A \Delta p}{\mu L} \\ k &= \frac{\phi R^2}{8}. \end{aligned} \quad (8)$$

2. Fra likningen over er Darcy hastighet:

$$u = \frac{q}{A} = \frac{R^2 \phi \Delta p}{8 \mu L}. \quad (9)$$

Fra likning (6) finner vi at væskehastigheten er:

$$v = \frac{q}{N \pi r^2} = \frac{R^2 \Delta p}{8 \mu L}. \quad (10)$$

Dermed blir $u = v \phi$.

Tabell 1: Størrelser til bruk i oppgave g)

Trykk (psia)	F/E_o 10^8 stb	E_g/E_o 10^6 rb	F rb/stb	E_o rb/stb	E_g
3150	3.99	4.94	5.18	0.0146	0.00719
3000	3.72	4.51	10.7	0.0287	0.129
2400	3.40	3.93	41.1	0.121	0.475

3. Ved bruk av (8), finner vi at

$$r = \sqrt{\frac{8k}{\phi}} = \sqrt{\frac{8 \times 104 \cdot 10^{-3}(\mu\text{m})^2}{0.17}} \simeq 3.1\mu\text{m}^2. \quad (11)$$

e) Ved det frie vann nivået er $p_o = p_w = p'$ og dermed $p_c = 0$. Over det frie vann nivået er $p_{o,w} = p' - \rho_{o,w}gh$, og det finnes en sammenheng mellom kapillartrykk og høyden over det frie vann nivået. I et oljereservoar (som antas å være 100% vannfuktet før oljen strømmet inn fra kildebergarten), vil olje vann kontakten ligge over det frie vann nivået. Hvor høyt, er bestemt av terskeltrykket, $p_{c,t}$ til bergarten, terskeltrykket finnes av drenerings kapillartrykkskurven, i det punktet der S_w avviker fra 1. Høyden finnes da ved hjelp av : $h_{\text{OWC}} = p_{c,t}/(\rho_w - \rho_o)g$.

f) Se læreboka.

g) Ved å plotte de to første kollonnene i tabell 1 mot hverandre, kan man tilpasse en rett linje $y \equiv ax + b$, der $y \equiv F/E_o$, $a \equiv Nm$, $b \equiv N$, og $x \equiv E_g/E_o$. Vi finner da at $a = 5.8 \cdot 10^7$ stb og $b = N = 1.10 \cdot 10^8$ stb, dermed blir $m = 0.527$.

h) Per definisjon er

$$c = -\frac{1}{V_p} \frac{dp}{dt}, \quad (12)$$

bruker at produksjonen er lik med undergrunnsuttaket: $\Delta V_p = q \cdot \delta t = QB\delta t$. Innsatt i likning gir dette:

$$V_p = \frac{QB}{c \frac{dp}{dt}} = \frac{1.25 \times 800}{17.7 \cdot 10^{-6} \times 6.72} = 8.4 \cdot 10^6 \text{stb}. \quad (13)$$