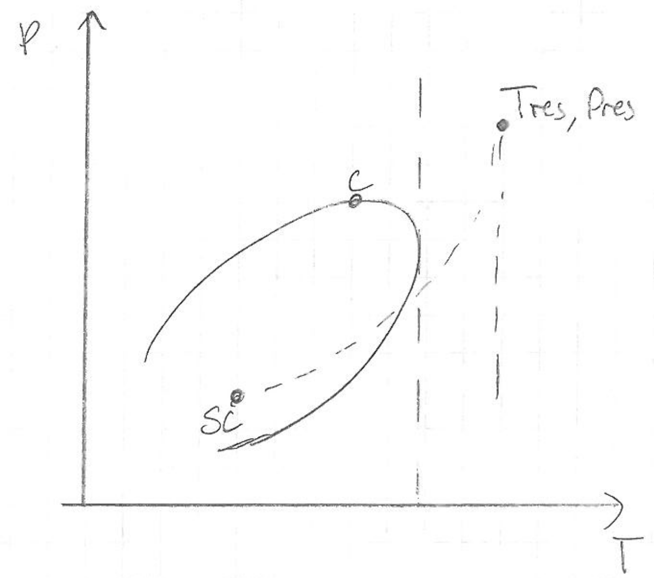
Eksamen H-09

OPPGAVE 1

a) Gitt et lukket våt gass reservoar. HCPV = konst
T = konst. w/prod

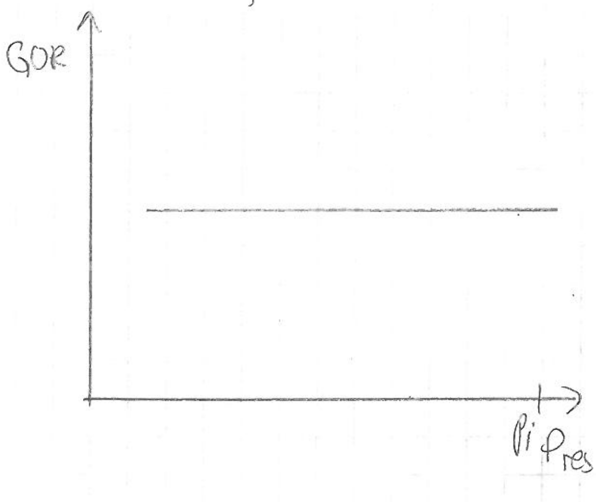
1. Karakteriser fluidet ut fra et P-T-diagram



Våt gass reservoar

Tres > Tkri
Sc innenfor tofaseområdet.
(P,T)

2. GOR = f(Pres)



GOR = konstant

Komposisjon til reservoarfluidet er konstant inn i brønnen.

3. Utled formelen for gassekvivalenter, GE_{STO}

Tar utgangspunkt i ~~1 Sm³~~ 1 Sm³ STO. Hvor mange ~~Sm³~~ Sm³ gassekvivalenter tilsvarer dette?

Må finne antall mol i 1 Sm³ STO og så er antall mol lik for gass og en kan multiplisere med molart volum for å få gassvolumet ved SC.

$$GE_{STO} = V_{sc} = \frac{nRT_{sc}}{\underbrace{Z_{sc}}_{=1} P_{sc}} = n \cdot \frac{8.3145 \cdot (15 + 273{,}15)\ °K}{101.325\ kPa}$$

$V_m = 23{,}645$

$$n_{STO} = \frac{m}{M_i} = \frac{\overbrace{V_{STO}}^{=1 Sm^3} \rho_{STO}}{M_{STO}} \left(= \frac{\gamma_{STO} \cdot \overbrace{\rho_w}^{1\ g/cm^3} \cdot \overbrace{V_{STO}}^{=1 Sm^3}}{M_{STO}} = \frac{\gamma_{STO}}{M_{STO}} \right)$$

$$GE_{STO} = \frac{\rho_{STO}}{M_{STO}} \cdot V_m = \frac{\rho_{STO}}{M_{STO}} \cdot 23.645 \ \frac{Sm^3}{Sm^3}$$

4. $n_{produsert} = n_{initielt} - n_{tilbake}$

Bruker gasslikningen for hver betingelse

$$\frac{P_{sc} V_{sc}}{Z_{sc} R T_{sc}} = \frac{P_{ic} V_{ic}}{Z_{ic} R T_{ic}} - \frac{P_{res} V_{res}}{Z_{res} R T_{res}}$$

Da vi har et lukket reservoar er $V_{res} = V_{ic}$

konst. T $\quad T_{res} = T_{ic}$

$V_{sc} = G_p. \quad Z_{sc} = 1$

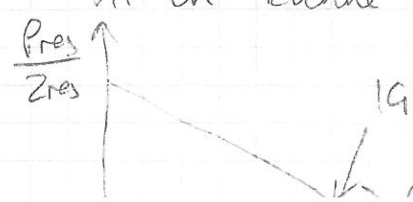
$$\frac{P_{sc} G_p}{T_{sc}} = \frac{P_{ic} V_{ic}}{Z_{ic} T_{ic}} - \frac{P_{res} V_{ic}}{Z_{res} T_{ic}} \quad \Big| : \frac{V_{ic}}{T_{ic}}$$

$$\frac{G_p T_{ic} P_{sc}}{T_{sc} V_{ic}} = \frac{P_{ic}}{Z_{ic}} - \frac{P_{res}}{Z_{res}}$$

$$\frac{P_{res}}{Z_{res}} = \frac{P_{ic}}{Z_{ic}} - \frac{P_{sc} \overbrace{T_{res}}^{=T_{ic}}}{\underbrace{V_{ic} \cdot T_{sc}}_{HCPV}} \cdot G_p$$

---

5. Hvis man plotter $\frac{P_{res}}{Z_{res}}$ mot G_p el. $G_{p,tot}$ fra produksjonsdata vil en kunne få en rett linje. Der $y=0$ har vi IGIP - for tørr gass eller brutto gassvolum (Sm^3)



$$G_{p_{tot}} = G_p + G_{STO}$$
$$= G_{p,sep} + \frac{\rho_{STO}}{M_{STO}} \cdot 23.645 \cdot V_{STO}$$

b) Bestem IGIP (Sm^3) og IOIP (Sm^3) pr 10 000 m^3 brutto reservoarvolum for et våt gass reservoar

To steg separasjon:

$P_{res} = 50000$ kPa $\quad ? = 1013.32$ kPa $\quad Z_i = 1,236$

$T_{res} = 100°C \quad T_{sc} = 15°C \quad \phi = 0.25$

$S_{wr} = 0.10 \quad \rho_{STO} = 750\ kg/m^3 \quad M_{STO} = 105$

$GOR_{sep} = 6500\ Sm^3/Sm^3 \quad GOR_{tank} = 500\ Sm^3/Sm^3$

$$\underline{HCPV} = V_b \cdot \Phi \cdot (1 - S_{wr}) = 10000 \cdot 0.25 \cdot (1 - 0.10)$$

$$= \underline{2250\ m^3}$$

Antall mol gass i HCPV kan beregnes vha reell gasslov:

$$P_i V_i = Z_i n R T_i$$

$$(n_g)_i = \frac{P_i V_i}{Z_i R T_i} = \frac{P_{res} \cdot HCPV}{Z_i \cdot R \cdot T_{res}} = \frac{50\,000 \cdot 2250}{1.236 \cdot 8.3145 \cdot (100 + 273.15)}$$

$$\underline{(n_g)_i = 29336,9\ kg\,mol}$$

Total GOR for hele separasjonsprosessen er:

$$\underline{GOR_{tot}} = GOR_{sep} + GOR_{tank} = 6500 + 500 = \underline{7000\ Sm^3/Sm^3}$$

En må beregne molfraksjon av væske og gass for den totale separasjonsprosessen.

Basis i 1 Sm^3 STO:

Antall mol i 1 Sm^3 STO: $n_{STO} = \frac{m_{STO}}{M_{STO}} = \frac{\rho_{STO} \cdot V_{STO}}{M_{STO}}$ $\quad V_{STO} = 1\ Sm^3$

$$\underline{n_{STO}} = \frac{\rho_{STO}}{M_{STO}} = \frac{750}{105} = \underline{7.143\ kg\,mol}$$

$$GOR = \frac{V_{g,sc}}{V_{STO}} \Rightarrow V_g = GOR \cdot V_{STO} = 7000\ Sm^3/Sm^3 \cdot 1\ Sm^3$$

$$\underline{V_{gsc}} = n_g \cdot V_m \Rightarrow n_g = \frac{7000}{V_m} = \frac{7000}{23,6447} = \underline{296,0\ kg\,mol}$$

Beregning av molfraksjoner:

$$\underline{L} = \frac{n_{STO}}{n_g + n_{STO}} = \frac{7.143}{296.0 + 7.143} = \underline{0,0236}$$

$$\underline{V} = \frac{296.0}{296.0 + 7.143} = \underline{0.9764}$$

Av $(n_g)_i$ går 97.64% til gass og 2.36% til olje:

$$\underline{IGIP} = n_g \cdot V_m = (n_g)_i \cdot 0.9764 \cdot 23.6447$$
$$= 29336.9 \cdot 0.9764 \cdot 23.6447 = \underline{\underline{677291.8\ Sm^3}}$$

$$\underline{IOIP} = \frac{IGIP}{GOR_{tot}} = \frac{677291.8}{7000} = \underline{\underline{96.76\ Sm^3}}$$

Naturlig vanninnfluks vil føre til at gass fanges i poresystemet når vannet trenger inn. Strøm av gass reduseres, gjenvinningen minker.

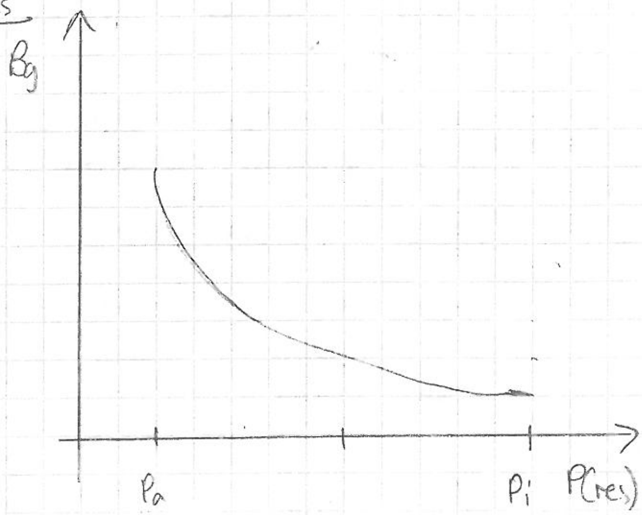
c) 1. Definisjon: gass formasjonsfaktor, B_g

$$B_g = \frac{V_{g,res}}{V_{g,sc}} = \frac{\text{volum gass ved reservoarbetingelser}}{\text{volum gass ved standardbetingelser}} \quad \frac{m^3}{Sm^3}$$

2. Beregn B_g ved $P_{res} = 50000$ kPa

$$\underline{B_g} = \frac{V_{g,res}}{V_{g,sc}} = \frac{HCPV}{IGIP} = \frac{2250}{677291.8} = \underline{\underline{0.00332\ \frac{m^3}{Sm^3}}}$$

3. B_g i feltenheter: $0.028728 \cdot \frac{Z_{res} T_{res}}{P_{res}}$



Mengde væske øker ved lavere P, dvs at produsert gass blir mindre IGIP avtar

$V_{g,sc} = IGIP - G_{STO}$ minker $\Rightarrow$ B_g øker

Oppgave 2

Horisontalt sirkulært oljereservoar ligger over en stor vannsone. En vertikal brønn perforeres øverst i oljesonen.

Følgende data er gitt:

Høyden på oljereservoaret :	$h = 75$ ft
Perforeringsintervall :	$h_c = 10$ ft
Reservoarradius	$r_e = 5000$ ft
Brønnradius	$r_w = 0.5$ ft
Oljepermeabilitet ved S_{wr}	$k_o = 0.10$ darcy
Viskositet av olje	$\mu_o = 2.5$ cP
Tetthet av olje	$\rho_o = 0.75$ g/cm^3
Tetthet av vann	$\rho_w = 0.95$ g/cm^3
Reservoartrykk	$P_{res} = 4000$ psia
Olje formasjonsfaktor	$B_o = 1.3$ m^3/Sm^3

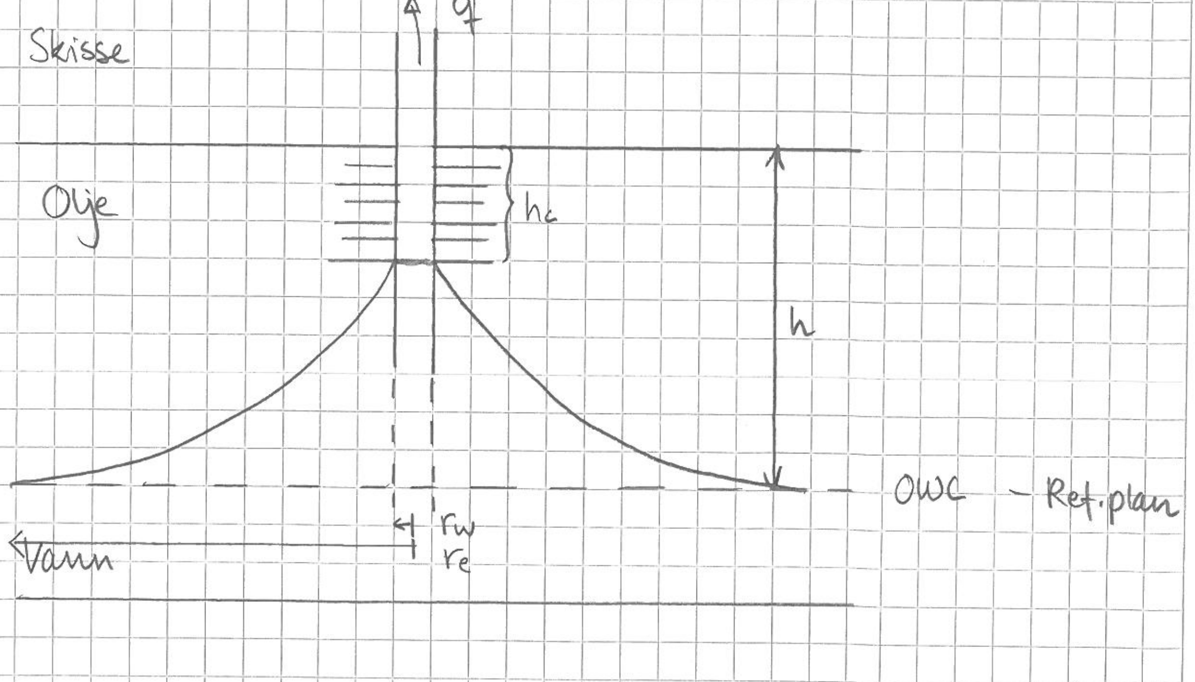
Gitt Darcys lov $\quad q = -\frac{k}{\mu} A \frac{dP}{dL}$

For et sirkulært reservoar i felteenheter: $\quad q = 7.082 \cdot 10^{-3} \dfrac{kh(P_e - P_w)}{\mu \ln \frac{r_e}{r_w}}$

k (mD), μ (cP), h and r (ft), P (psia), q (bbl/D)

Etter en tids produksjon vil det etablere seg en vannkone som rekker opp til perforeringen på brønnen.

a) 1. Skisse



Utled formelen for maksimal vannfri produksjon av olje q_{omax}

$$q_{omax} = -C \frac{(\rho_w - \rho_o)k_o}{\mu_o \ln \frac{r_e}{r_w}} (h^2 - h_c^2)$$

Vi ser på trykkpotensialene ved olje-vannkontakten ved radius r, en høyde z over referanseplanet.

$$\Psi_o = P_o + \rho_o g z$$

$$\Psi_w = P_w + \rho_w g z$$

Vi neglisjerer kapillærkreftene og setter $P_c = 0$, $P_c = P_o - P_w \Rightarrow P_o \approx P_w$

$$\Psi_o = \Psi_w - \rho_w g z + \rho_o g z = \Psi_w + g(\rho_o - \rho_w) z$$

$$\frac{\delta \Psi_o}{\delta z} = \frac{\delta \Psi_w}{\delta z} + g(\rho_o - \rho_w) \frac{\delta z}{\delta z}$$

$\hookrightarrow = 0$ fordi det ikke er strøm i z-retning vannsonen, den er i ro. Ψ_w er konstant.

$$\frac{\delta \Psi_o}{\delta z} = g(\rho_o - \rho_w)$$ Strøm av olje i z-retning

Antar radiell strøm inn mot brønnen og anvender Darcys lov

$$q_o = -\frac{k_o}{\mu_o} A \frac{\delta \Psi_o}{\delta r} = -\frac{k_o}{\mu_o} 2\pi r (h-z) \frac{\delta \Psi_o}{\delta r}$$

$(h-z)$ - høyden med oljestrøm

$$q_o = -\frac{k_o}{\mu_o} \cdot 2\pi r (h-z) \frac{\delta \Psi_o}{\delta z} \cdot \frac{\delta z}{\delta r}$$

$$q_o = -\frac{k_o}{\mu_o} \cdot 2\pi r (h-z) \cdot g(\rho_o - \rho_w) \cdot \frac{\delta z}{\delta r}$$

$$q_o \cdot \frac{dr}{r} = -\frac{k_o}{\mu_o} \cdot 2\pi g (\rho_o - \rho_w)(h-z) dz$$

$$q_{omax} \int_{r_w}^{r_e} \frac{dr}{r} = -\frac{k_o}{\mu_o} \cdot 2\pi g (\rho_o - \rho_w) \int_{h-h_c}^{0} (h-z) dz$$

$$\frac{1}{2}(h-z)^2 \cdot -1 = -\frac{1}{2}\left[(h-z)^2\right]_{h-h_c}^{0}$$

$$q_{omax} \cdot \ln \frac{r_e}{r_w} = -\frac{k_o}{\mu_o} \cdot 2\pi g (\rho_o - \rho_w) \cdot -\frac{1}{2} \left[(h-z)^2\right]_{h-h_c}^{0}$$

$$= -\frac{k_o}{\mu_o} \cdot 2\pi g (\rho_o - \rho_w) \cdot -\frac{1}{2} \left(h^2 - (h-(h-h_c))^2\right)$$

$$q_{omax} = -C \frac{k_o(\rho_w - \rho_o)}{\mu_o \cdot \ln\frac{r_e}{r_w}} \cdot (h^2 - h_c^2)$$ S.S.V.

2. Antakelser for å utlede uttrykket

1. Ren radiell strøm av olje. Har antatt $k_v = \infty$. I virkeligheten er $k_v < k_h$, dvs en har strømningsmotstand i vertikalretning. Strømningslinjene bøyer av oppover nær konen. Får redusert strømningsrate.
2. $P_c = 0$. Ingen diffus overgang mellom fasene, ingen transisjons-sone. I virkeligheten vil oljemetningen nær konen avta pga en viss gassmetning, Permeabiliteten til olje vil avta og strømningsraten reduseres.
3. Konen er etablert og en flømmer ved steady-state; konstant trykk og rate. Løsningen tar ikke hensyn til oppbygningen av konen og hvor lang tid dette tar.

Dette betyr at de beregnede q_{omax} er høyere enn de faktiske ratene i reservoaret, Vi vil være på den "sefe" siden.

b) 1. Q_{omax} ? (Sbbl/d) Gitt $C = 1.535$ (darcy, cP, g/cm^3, ft, bbl/d)

$$\underline{Q_{omax}} = 1.535 \frac{k_o}{B_o \cdot \mu_o} \frac{(\rho_w - \rho_o)}{\ln\frac{r_e}{r_w}} (h^2 - h_c^2)$$

$$= 1.535 \cdot \frac{0.10 \cdot (0.95 - 0.75)}{1.3 \cdot 2.5 \cdot \ln\frac{500}{0.5}} \cdot (75^2 - 10^2)$$

$$= \underline{5.67 \text{ Sbbl/d}}$$

2. Skin factor : $S = 0.5$

$$q = 7.082 \cdot 10^{-3} \frac{kh(P_e - P_w)}{\mu \ln\frac{r_e}{r_w} + s}$$

$$P_e - P_w = \frac{q \cdot \mu \cdot \ln\frac{r_e}{r_w} + s}{7.082 \cdot 10^{-3} \cdot k \cdot h}$$

$$P_w = P_e - \frac{q \mu \ln\frac{r_e}{r_w} + s}{7.082 \cdot 10^{-3} k h}$$

$$P_w = P_e - \frac{Q_{omax} \cdot B_o \, \mu \, \ln \frac{r_e}{r_w} + s}{7{,}082 \cdot 10^3 \; kh} = \frac{5{,}67 \cdot 1.3 \cdot 2.5 \cdot \ln \frac{5000}{0.5} + 0{,}5}{7{,}082 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}10 \cdot 10^3 \cdot 75}$$

$$\underline{\underline{P_w}} = 4000 - 3{,}205 = \underline{\underline{3996{,}8 \text{ psia}}}$$

Løsnings forslag Høst 2009 Oppgave 3:

a) $m_T = 297$ gram, $m_T^W = 161.4$ gram, $m_D = 259.2$ gram, $\rho_w = 1$ gram/cm^3. Den første likningen under følger av Arkimedes prinsipp.

$$\begin{aligned} & m_T - \rho_W V_b = m_T^W \Rightarrow V_b = 135.6 \text{ cm}^3 , \\ & \rho_W V_p = m_T - m_D \Rightarrow V_p = 37.8 \text{ cm}^3 , \\ & \phi = \frac{V_p}{V_b} = 0.278 . \end{aligned} \tag{1}$$

b)

$$q = -\frac{K A}{\mu}\left[\frac{dp}{dx} + \frac{1}{G}\rho g \frac{dz}{dx}\right] , \tag{2}$$

der A er tversnittet av mediet, K er permebiliteten av mediet, dp er trykkfallet over mediet, q volumraten, μ viskositeten av veska som strømmer og dx er lengden av mediet. $g = 980$ cm^2/s, ρ er tettheten av væska, z er vertikal avstand fra datum planet. Definisjonsenhetene er cm (lengde), s (tid), cP (viskositet), Darcy (permeabilitet), atm (trykk), gram/cm^3 (tetthet), og $G = 1.0133 \cdot 10^6$.

c) $\alpha = 1$ i Darcy enheter. I OFU får vi

$$\begin{aligned} & q\frac{159 \cdot 10^3}{24 \cdot 60 \cdot 60} = \frac{(30.48)^2 A\, 10^{-3} K}{\mu} \frac{(14.696)^{-1} \Delta p}{30.48\, L} \text{ , dermed :} \\ & \alpha \equiv 0.001127 . \end{aligned} \tag{3}$$

d) La først $q_y = 0$:

$$\begin{aligned} & (h_1 + h_2 + h_3)\overline{k}_x = h_1 k_1 + h_2 k_2 + h_3 k_3 , \\ & \overline{k}_x = 0.242 \text{ D} . \end{aligned} \tag{4}$$

Da blir :

$$q = -\frac{\overline{k}_x A}{\mu}\frac{\Delta p}{L_x} = \frac{0.242 \cdot 200 \cdot (60 + 180 + 120) \cdot 10}{1 \cdot 500} \text{ cm}^3/\text{s} = 348.48 \text{ cm}^3/\text{s}. \tag{5}$$

Tilsvarende for y-retning:

$$\begin{aligned} & \frac{h_1 + h_2 + h_3}{\overline{k}_y} = \frac{h_1}{k_1} + \frac{h_2}{k_2} + \frac{h_3}{k_3} , \\ & \overline{k}_y = 0.200 \text{ D} . \end{aligned} \tag{6}$$

$$q = -\frac{\overline{k}_y A}{\mu}\frac{\Delta p}{L_x} = \frac{0.200 \cdot 500 \cdot 200 \cdot 10}{1 \cdot (60 + 180 + 120)} \text{ cm}^3/\text{s} = 555.55 \text{ cm}^3/\text{s}. \tag{7}$$

e) Ved å plassere en dråpe vann på overflata. Denne kontaktvinkelen måles gjennom den tetteste fasen. Hvis vanndråpen sprer seg ut over overflata og danner en kontaktvinkel mindre enn 90 grader er overflata vannfuktende. Er vinkelen større en 90 grader sier vi at overflata er oljefuktet og skulle vinkelen være 90 grader sier vi at overflata har nøytral fuktpreferanse. Når det gjelder kap trykk, se figur 1. I figur 2 er en kapillartrykkskurve for *ett rør* illustrert, den er inkludert for å gi en bedre forståelse av figur 1 som er for et reelt porøst medium.

f) Ved bruk av J-funksjonen vet vi at $p_c^{\text{olje-vann}} = \sigma_{\text{olje-vann}}/\sigma_{\text{luft-vann}}\, p_c^{\text{luft-vann}} = 1/2\, p_c^{\text{luft-vann}}$. Da følger $A' = 2.35$ kPa og $p'_D = 3.5$ kPa. Ved å opphøye begge sider av likingen i potens av e, finner vi at:

$$\begin{aligned} & \frac{S_w - S_{wr}}{1 - S_{wr}} = \exp\{-\frac{p_c - p'_D}{A'}\} , \\ & S_w = (1 - S_{wr}) \exp\{-\frac{p_c - p'_D}{A'}\} + S_{wr} . \end{aligned} \tag{8}$$

Over fritt vann nivå vet vi at $p_c = \Delta\rho\, g\, h$, dermed:

$$S_w \;=\; (1 - S_{wr})\,\exp\{-\frac{\Delta\rho\, g\, h \,-\, p'_D}{A'}\} \,+\, S_{wr}\,. \tag{9}$$

Ved å sette $h = 2$m og bruker verdier opgitt i oppgaven finner vi:

$$\begin{aligned} S_w &= (1 - 0.30)\,\exp\{-\frac{(1080 - 850)\cdot 9.8\cdot 2 \,-\, 3500}{2350}\} \,+\, 0.30 \\ S_w &= 0.755\,. \end{aligned} \tag{10}$$

g) Terskeltrykket er $p'_D = 3.5$ kPa. Denne høyden er $h = p'_D/(\Delta\rho\, g) = 1.55$ m. Ved denne høyden er trykket i oljen stort nok til at den fortrenger vannet og det er naturlig å kalle denne høyde for olje vann kontakten.

h) Se boka.

i) Virtuell ekspansjon av reservoar fluider + endringer i vann og pore volum settes lik produserte volumer. Oprinnelig mengde gass i reservoaret:

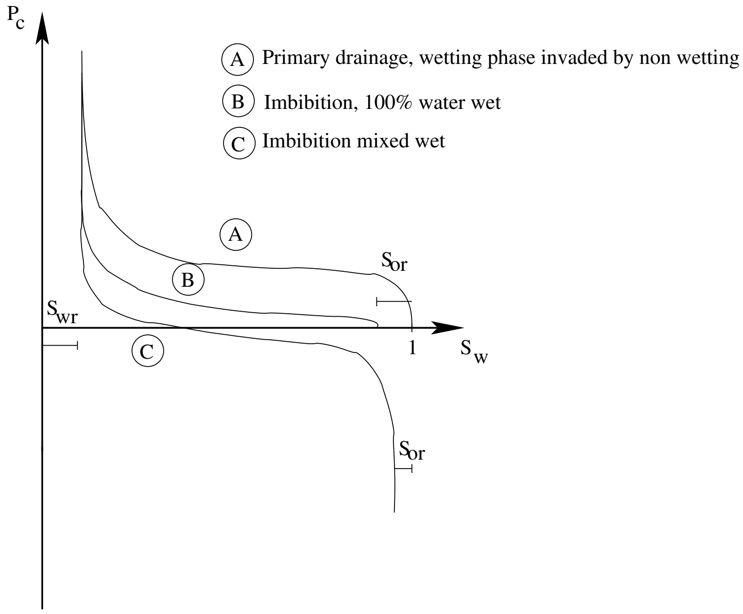
$$G \;=\; \underbrace{\underbrace{\underbrace{N\,B_{o\,i}}_{\text{volum av olje Rm}^3}\cdot m}_{\text{volum av gass i Rm}^3}\,\frac{1}{B_{g\,i}}}_{\text{volum av gass i Sm}^3} \tag{11}$$

Ekspansjon av gass i reservoarenheter ved et trykkfall blir da:

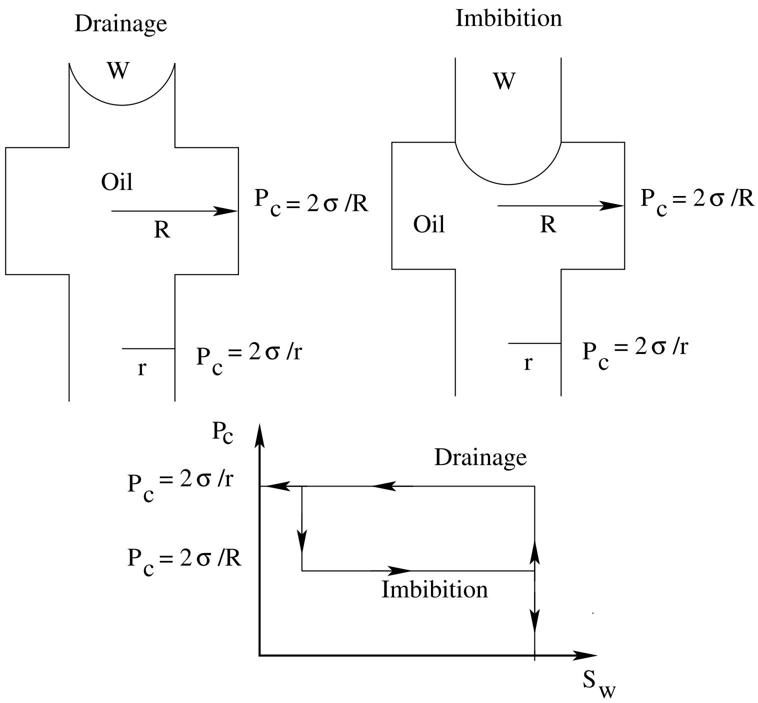
$$G\,B_g \,-\, G\,B_{g\,i} \;=\; m\,N\,B_{o\,i}\left(\frac{B_g}{B_{g\,i}} - 1\right)\,. \tag{12}$$

j)

$$\begin{aligned} \tfrac{N_p}{N} &= \frac{(B_o - B_{o\,i}) \,+\, (R_{s\,i} - R_s)\,B_g}{B_o \,+\, (R_p - R_s)\,B_g}\,, \\ &= \frac{1.0940 \,-\, 1.2417 \,+\, (510 \,-\, 122)\cdot 0.00339}{1.0940 \,+\, (500 \,-\, 122)\cdot 0.00339} \;=\; 0.4915\,. \end{aligned} \tag{13}$$



Figur 1: Kapillartrykkskurve for et porøst medium. A er primær drenering, B og C er to imbiberingskurver. I tilfelle B har det ikke skjedd en fuktendring, mens i tilfelle C har det skjedd en fuktendring fordi deler av kurven er negativ. Legg merke til at det er en hysterese mellom kurve A og B, selv om det ikke har skjedd noen fysisk endring av prøven. S_{wr} er fanget metning av vann fase (fuktende fase) og S_{or} er fanget metning av olje (ikke-fuktende fase)



Figur 2: Hysterese i en enkel pore. Poren består av to sylindere med radius r og R (R > r). Når trykket i den invaderende ikke fuktende fasen overstiger terskeltrykket $2\sigma/r$, fylles poren helt med vann fordi terskeltrykket for den store delen av poren er mindre enn terskeltrykket for den tynne delen av poren . Når primær drenering er fullført, senkes trykket i oljefasen og vann kommer inn fra toppen. Menisken blir stående ved inngangen til den store delen av poren til trykket i oljefasen er $p_o = p_w + 2\,\sigma/R$.