Reservoar teknikk

13/01/14

Introduksjon

Reservoar ingeniør:

#1. Hvor stor volum hydrokarboner i reservoaret.
#2. Ved hvilken rate kan fluidet produseres?
#3. Hvor mye av fluidet er produserbart?
-volum av olje og gass på overflaten

Oljeproduksjon:

#1. Primær produksjon - produsert vha egen energi, trykkavlastning vanndriv, gassdriv

#2 Sekundær Produksjon - når primær produksjon ikke er lønnsomt, vanninjeksjon, gassinjeksjon

#3. Tertiær Produksjon
"EOR" - økt oljeutvinning
- Polymerer i vanneng
- suptraktanter
- smart vann

PVT (Trykk, volum, temperatur):

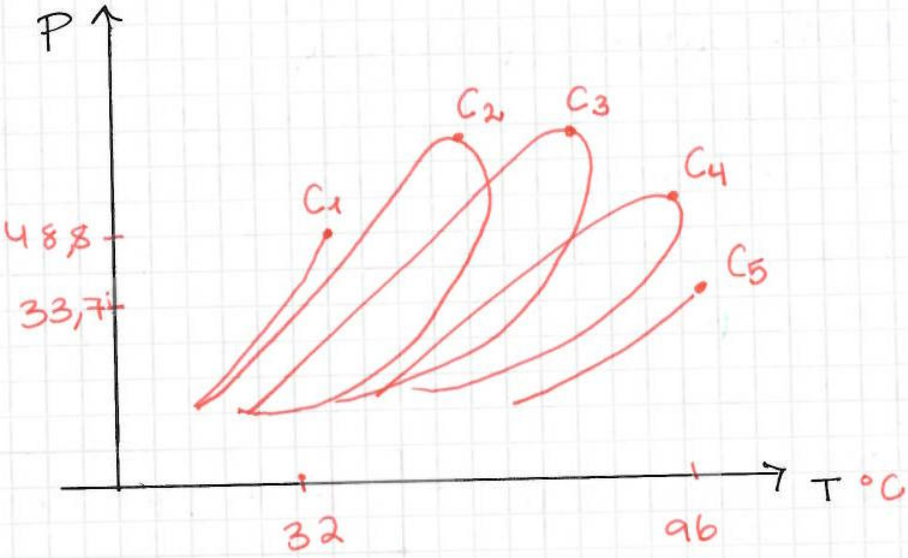
Pvt brukes for å anslå
- produsert volum av olje og gass fra reservoaret.
- reservoarfluidets egenskaper endres med trykk og temperatur.

NB! Hva skjer med reservoarfuildet under produksjon.

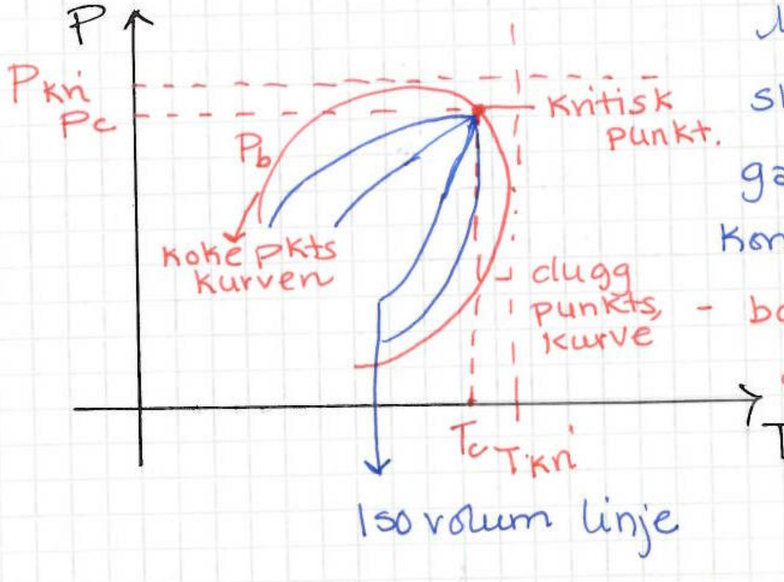
nC_5 - n-pentan $T_c = 96\,°C$, $P_c = 33{,}7$ bara

Kristiske punkt:

C_1	100 % etan	0 % n-C_5
C_2	90 % etan	10 % n-C_5
C_3	50 % etan	50 % wt
C_4	10 wt % etan	90 % wt /
C_5	0 % wt etan	100 % n-C_5



Multi komponent system



Linjen som skiller væske og gass blir en konvolutt, areal.

- både væske og gass eksisterer inni konvolutten

$C = 1$: Vann H_2O
$C = 2$: Etanol og vann i blanding
H_2O og C_2H_5OH

P = Antall faser
$P = 1$: gass, is, krystall, to blandbare væsker
$P = 2$ "slush"

Eksempler på bruk av Gibbs faseregel.
- Hvor mange uavhengige variabler trengs for å beskrive et system med C - komponenter og P - faser. Svaret gitt i F.

- En komponent system : vann, H_2O

$C = 1$ $F = 1 + 2 - P = 3 - P$

Hvis $P = 1 \Rightarrow F = 3 - 1 = \underline{2}$
(Kan variere P og T)
Hvis $P = 2 \Rightarrow F = 3 - 2 = \underline{1}$
(Kan variere P eller T)

Likevekten mellom 2 faser er gitt ved en linje.

Hvis $P = 3 \Rightarrow F = 3 - 3 = \underline{0}$
(Kan ikke variere noen variabler. Likevekt mellom 3 faser kun i trippel punkt)

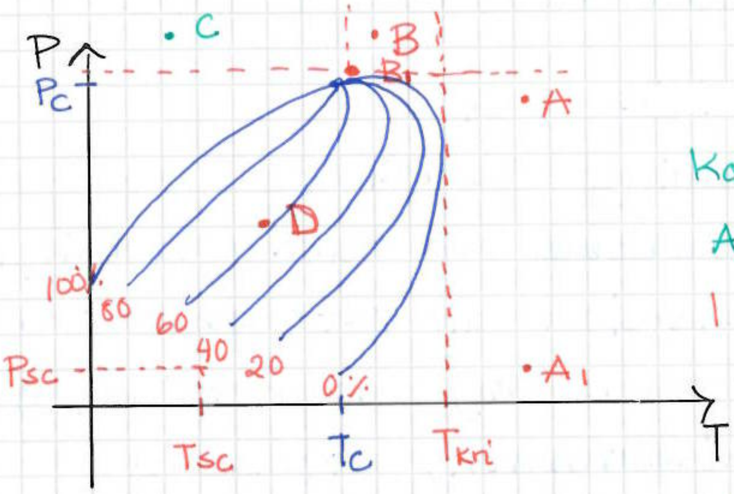
$P = 4$ ikke mulig da F ikke kan være negativ.

Black oil : Tres < Tc, sc innenfor tofase-konvulutt,

200 < GOR < 600 SCF/SBL °API 15-35.

$$°API = \frac{141,5}{\gamma_o} - 131,5$$

γ_o : spesifik tetthet til olje : $\frac{\rho_o}{\rho_w}$



Figur 1,2 i Kompendium

A = Gass Tres > Tkri

I reservoar : T konst.

A → A1 . Komp. konst.

sc inni tofase-kon. ⇒ produksjon olje (våt gass)

B Tc < Tres < Tkri

- En fase gass i reservaret
- Reduseres P entres to fase området.
- I B1 begynner væske kondensering

⇒ Retrograd kondensering

⇒ normalt fordampning, ikke kondensering ved isoterm ekspansjon, redusering av trykk, v/konst. T.

Retrograd Kondensering

fører til et væsketap i reservoaret. Kodenseringen går gjennom et maksimum væskeutfelling ved trykkreduksjon. Kondensert væske er immobil, blir værende GOR - øker, mer gass på overflaten.

Skissering av GOR

Hva er GOR: Gass - olje ratio målt ved overflaten, SC

$\frac{\text{Produsert gass}}{\text{produsert olje}}$ Sm^3/Sm^3 SCF/SBL

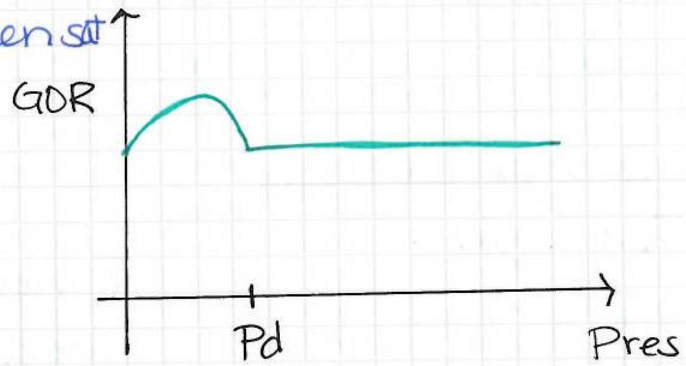
GOR vs. Pres

I Tørr gass: alltid enfase gass ⇒
⇒ ingen GOR

II Våt gass

Reservoarfluidet har Konstant Komposisjon

III Gass Kondensat



Material balanse

- Produksjon av ulike reservoarfluid, tørr gass, våt gass og gass kondensat.

1. Tørr gass = dry gas

spørsmål: Hva er volumet av produsert gass, Gp ved standardbetingelser, SC, gitt et initielt reservoar

Enheter Petrofield : psia ft^3 lb mol 10,732°K (°R)
Ideelgass SI : KPa m^3 Kg mol 8,3145

(Gass partikler uten volum og ikke i kontakt med hverandre. Gjelder bare ved lav. Temperatur).

I et reservoar har vi ikke idelle betingelser.
Modifiserer gassligningen til å gjelde alle reelle gasser.

$$\boxed{PV = ZnRT}$$

Kompresibilitets faktor
"gas deviation factor"

Z inneholder avvik fra ideel gass for høye T og P.

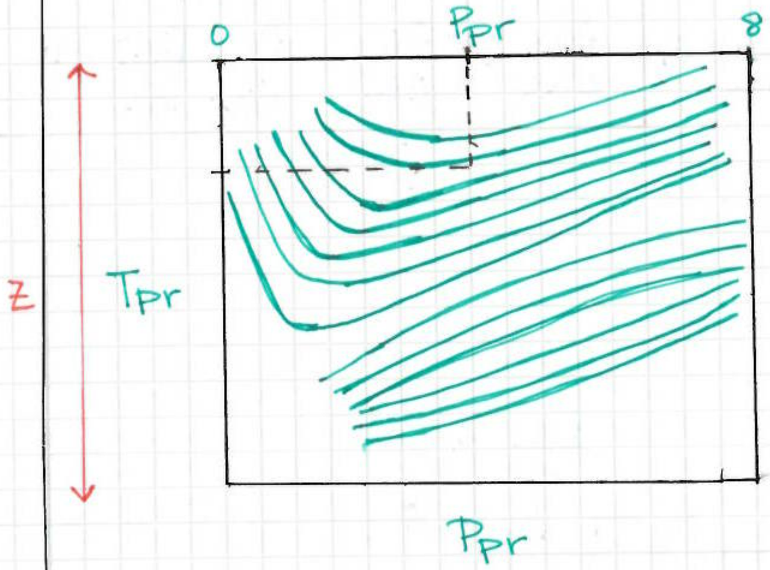
$$Z = \frac{\text{faktisk gassvolum ved P og T (Va)}}{\text{ideelt gassvolum ved P og T (Vid)}}$$

Hvordan bestemme Z ?
Bruker fig. 1.3

$Z = f(T, P, \text{Komposisjon})$
$f(P_{pr}, T_{pr})$ pr : pseudoredusert

Må finne P_{pr} og T_{pr}
- beregner først redusert trykk P_r.
redusert temperatur T_r.

$$\boxed{\begin{aligned} P_r &= \frac{P}{P_c} \quad \text{- kritisk trykk} \\ T_r &= \frac{T}{T_c} \quad \text{- kritisk temperatur} \end{aligned}}$$



$Z = 0{,}8$ og
$Z_{sc} = 1$
ved standard betingelser.

Bruker tilstandsligningen for reelle gasser til å beregne gassproduksjon i trykksteget.

$P_i \rightarrow P$

$P_{ic} \rightarrow P_{res}$

- Antar lukket reservoar (initielt HCPV er konst.)
- Antar konst. T under produksjon

$$PV = ZnRT$$

I trykksteget $P_{ic} \rightarrow P_{res}$ har vi:

mol produsere = mol initielt i reservoaret − mol tilbake i reservoaret (res)

$$\boxed{\left(\frac{PV}{ZRT}\right)_{sc} = \left(\frac{PV}{ZRT}\right)_{ic} - \left(\frac{PV}{ZRT}\right)_{res}}$$

$V_{sc} = G_p$: gass produsert V/sc

$V_{ic} = V_{res}$ · Konstant reservoar volum

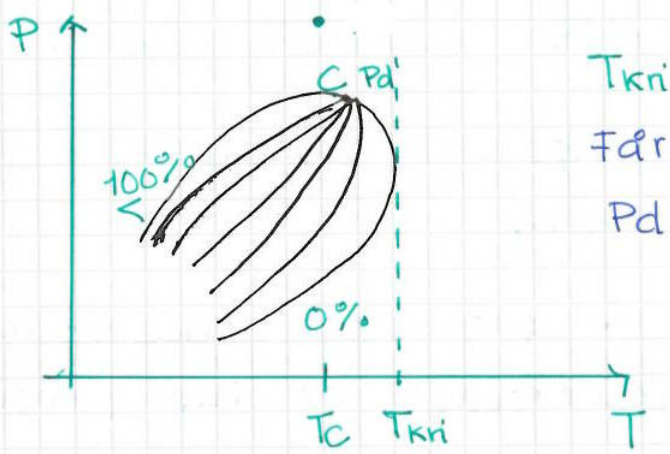
$T_{ic} = T_{res}$

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

Gasskondensat

27.01

Retrograd fluid



$T_{kri} < T_{res} < T_c$

Får utfelt væske

P_d = duggpunktstrykk

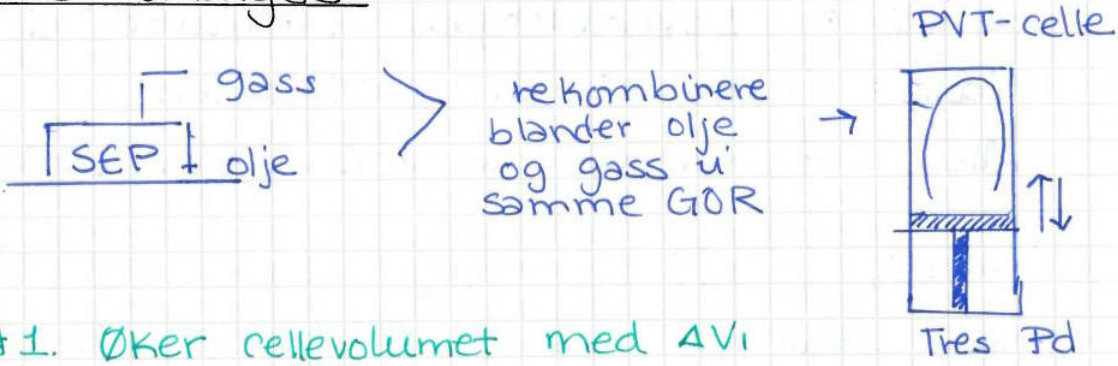
Materialbalansen : Produksjon ?

Avhenger av om trykket er over eller under Pd.

$P_{res} > P_d$: Som får våt gass. Produsert STO og evt. vann må gjøres om til gassekv.

$P_{res} < P_d$: PVT analyse må benyttes : CVD-analyse " Constant Volume Depletion"

CVD - analyse



#1. Øker cellevolumet med ΔV_1

→ gir trykkfall til P_1

#2. Etter ny likevekt er innstilt mellom gass og olje, så produseres et volum ΔV_1 med gass. Trykket holdes ved P_1

V_m = molart volum ved SC
d = dugg punkts bet
res = reser voar bet.

$$(\Delta V_g)_i = n \cdot V_m = \frac{P_i\,(\Delta V_g)_i}{Z_i\, R\, T_{res}} \cdot V_m$$

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

Brukes disse til å bestemme produsert brønnstrøms volum i trykksteg i.

* GOR for hvert trykksteg

$P_{res} > P_d \Rightarrow$ GOR konstant.

$$GOR = \frac{(\Delta V_g)_i}{(\Delta V_o)_i} \begin{matrix} \leftarrow \text{ ved SC} \\ \leftarrow \end{matrix}$$

Produsert separator gass volum V/SC $(\Delta V_g)_i$

Må trekke fra brønnstrøms volumet som blir til væske ved SC.

- Molfraksjonen produsert væske i et gitt trykksteg i $(\Delta n_L)_i$ finnes ved å multiplisere molfraksjonen (z_i) for hver væske komponent (C_4, C_5, C_6, C_{7+}) med væske gjenvinningsfaktorer for brønnstrømmen.

$$(\Delta n_L)_i = a\,(z_{C4})_i + b\,(z_{C5})_i + c\,(z_{C6})_i + d\,(z_{C7+})_i$$

a, b, c, d er gitte gjennvinnings faktorer fra brønnstrømmen.

$(V_L)_{C5} = (\Delta G_p)_i \cdot b(Z_{C5})_i \cdot GPM$

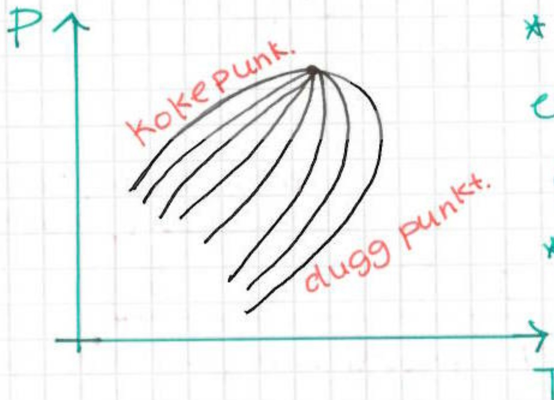
$(V_L)_{C6}$ ....

$(V_L)_{C7}$ .....

$(\Delta V_o)_i$ omregnes fra Gal til bbl
1 bbl = 42,117 Gal

$$(GOR)_i = \frac{(\Delta V_g)_i}{(\Delta V_o)_i}$$

LIKEVEKTS BEREGNINGER



* inni tofase konvolutten er det likevekt mellom gass og væske
* både volum + komposisjon av oljefase og gassfase varierer med pos. til res. fluidet inni to fase.

* Beregne komposisjoner og volumer til olje og gass ved gitt P og T

→ reservoarfluidets oppførsel
→ separator prosess evaluering
→ lav GOR

✓ Total komposisjone til reservoarfluidet spesitiser mengden av hver komp. (C_1, C_2 .... C_{7+}, C_{10+})
↳ mol fraksjon $z_i = \frac{n_i}{\sum n_j}$ $\sum z_i = 1$

ved likevekt damptrykket til en komp. i, i væskefasen være lik partialtrykket til samme komp. i, i gassfasen.

P_i (gass) = P_i (væskefasen)

$$y_i P = x_i P_{vi}$$

$$K_i = \frac{y_i}{x_i} = \frac{P_{vi}}{P}$$

K_i : fysisk likevekts konstant som angir forholdet mellom molfraksjonen av kom. i i gassfase over væskefasen.

For petroleumsfluider :
- komplekse blandinger under høyt trykk og høy temp.

⇒ Før : K_i for ulike komp som funksjon av trykk og temp. og konvergenings-trykk

⇒ I dag : PVT - simulatorer
- inneholder tilstands ligninger og flash beregninger
→ får K_i - verdier for to-fase området

$$x_i = \frac{z_i}{L + K_i \cdot V}$$

$y_i = x_i = \frac{y_i}{K_i}$ setter inn i 2)

$$z_i = \frac{y_i}{K_i} \cdot L + y_i \cdot V = y_i \left(\frac{L}{K_i} + V\right)$$

$$y_i = \frac{z_i}{\frac{L}{K_i} + V}$$

Setter inn i 4) FÅR FLASHLIGNINGENE

$$\boxed{\begin{aligned} &5) \quad \Sigma x_i = \Sigma \frac{z_i}{L + K_i V} = 1 \\ &6) \quad \Sigma y_i = \Sigma \frac{z_i}{\frac{L}{K_i} + V} = 1 \end{aligned}}$$

Løsning av flashligningene

- Beregne molfraksjon av væske og gass i separatoren, L og V.
- Kan bruke korrekte L og V til å bestemme komposisjon / sammensetning til væske og gass.

En av flashligningene løses ved iterasjon prøving og feiling.

Velger en L og V = 1 − L (L + V = 1)

Newton - Raphson, enkel å programmere

Newton - Raphson

Vi skal finne korrekt V og L. Slik at

$\Sigma x_i = 1$ og $\Sigma y_i = 1$

Kan sette L og V inn i flashligningen 5)

$$\Sigma x_i = \sum \frac{z_i}{L + K_i \cdot V} = 1$$

Kan beregne komposisjonen x_i

#6. Σy_i: Kan beregnes.

Flashligningene gjelder også i metningspunktene, P_b, og P_d. Kan brukes til å bestemme P_b el. P_d.

Ved P_b : $z_i \approx x_i \Rightarrow L \approx 1$ og $V \approx 0$

Ren væskefase, boble med gass dannes.

Flashligning nr. 6)

$$\Sigma y_i = \sum \frac{z_i}{\frac{L}{K_i}_{1=} + V_{=0}} = 1.$$

$$\Sigma y_i = \sum \frac{z_i}{\frac{1}{K_i}} = \sum z_i K_i = 1$$

skal finne korrekt P_b som gir $\Sigma y_i = \Sigma z_i \cdot K_i = 1$

Ligningen løses ved iterasjon.

#1. Velger en verdi for P_b, finner korresponderende K_i-verdier for trykk P_b og gitt T

#2. Beregne summen av $\Sigma z_i \cdot K_i$. z_i er gitt
Summen skal bli 1.

#3. Finn evt. ny P_b og nye K_i-verdier, og beregn summen av $z_i \cdot k_i$

#4. Fortsetter til $\Sigma z_i K_i = 1$. Riktig P_b funnet

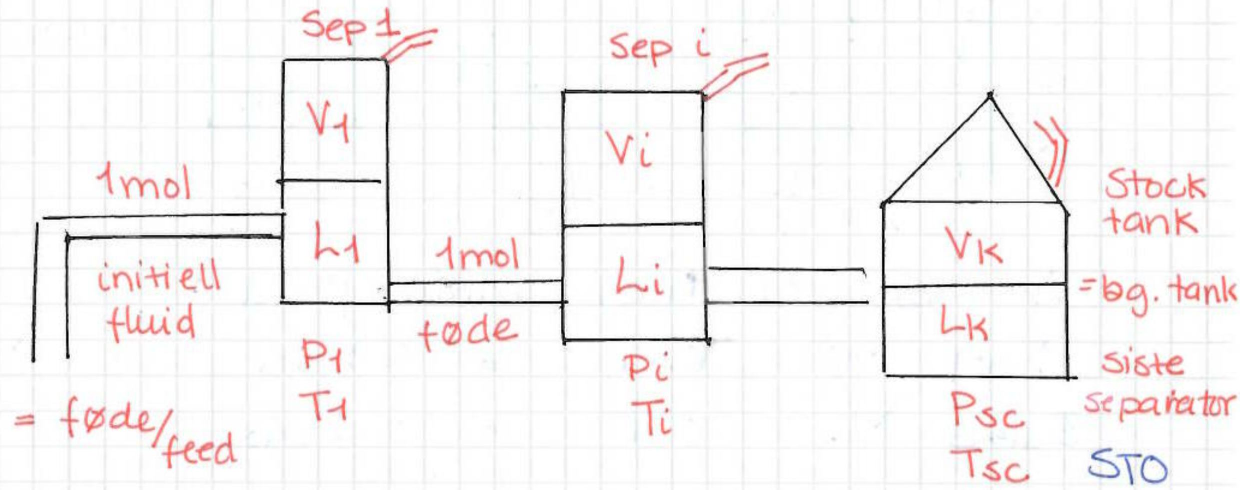
Komposisjonen til gassboblen $\Sigma y_i = \Sigma z_i \cdot K_i$

Tommeltingerregel for gjetning av P_b. Hvis $\Sigma z_i \cdot K_i > 1 \Rightarrow$ har du funnet et P i 2-fase området
$\Rightarrow$ For lav P_b.

1. Gjetter en Pb: Feks. 2500 psia
   Pb ≈ 1900 psia. fra tabell.

Separatorberegninger

Skisse: multisteg separatorsystem



Separator beregninger brukes til
- bestemme separator trykk - slik at væske-mengden blir størst mulig under gitt T bet.
Separatoren opererer under optimale bet.
lavest GOR (mer olje).

2. Bestemme kom. av produsert gass fra hver separator og produsert STO.

3. Beregne GOR for hver separator og uten totale GOR

4. Bestemme formasjonsvolumfaktoren, Bo

5. Beregne IGIP of IOIP fra en gitt reservoar volum enhet.

Totalt antall mol gass :
Legge sammen antall mol gass fra hver separator

$$\boxed{\begin{aligned} n_g &= (n_g)_1 + (n_g)_2 + (n_g)_3 \\ &= V_1 + L_1 \cdot V_2 + L_1 \cdot L_2 \cdot V_3 \end{aligned}}$$

<u>Generaliserer</u> :
"j" antall separatorer : får for antall mol væske / molfraksjon som entrer sep. j. Basert på 1 mol res. fluid, har komposisjon z_i.

$$(n_o)_j = 1 \text{ mol res fluid} \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot L_3 \cdot \ldots\ldots L_j$$
$$= \prod_{i=1}^{j} L_i$$

$\prod$: betyr å multiplisere alle ledd, et symbol.

Hvis separator K er stock tank:

$$\boxed{n_{STO} = \prod_{i=1}^{K} L_i}$$

<u>For gass</u> : Antall mol gass fra separatorene 1-K
1 mol initiell fluid (molfraksjon gass)

$$(n_g)_K = 1 \text{ mol} \cdot V_1 + L_1 \cdot V_2 + L_1 \cdot L_2 \cdot V_3 + L_1 \cdot L_2 \ldots\ldots L_{K-1} \cdot V_K$$

$$n_g = \sum_{i=1}^{K} V_i \cdot \prod_{j=0}^{i-1} L_j$$

Siden summen av mol skal bli 1 mol (intiell res. fluid) så kan n_g vha massebalanse

Eksempel :

Vi har K antall separatorer, K er stock tank
Vi skal finne GOR i separator 4. GOR_4 $i = 4$
1 mol initiell fluid

$$GOR_i = \frac{V_i \prod_{i=1}^{i-1} L_i \quad V_m \cdot \rho_{STO}}{\prod_{i=1}^{K} L_i \cdot M_{STO}}$$

$$GOR_4 = \frac{V_4 \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot L_3 \cdot V_m \cdot \rho_{STO}}{\prod_{i=1}^{K} L_i \cdot M_{STO}}$$

$$= \frac{V_4 \cdot \cancel{L_1} \cdot \cancel{L_2} \cdot \cancel{L_3} \cdot V_m \cdot \rho_{STO}}{\cancel{L_1} \cdot \cancel{L_2} \cdot \cancel{L_3} \cdot L_4 \cdot L_5 \ldots L_K \cdot M_{STO}}$$

$$GOR_4 = \frac{V_4 \cdot V_m \cdot \rho_{STO}}{\prod_{i=4}^{K} L_i \quad M_{STO}}$$

Formasjons volumfaktor til olje, B_o

B_o: forholdet mellom reservoarvolumet til oljen og 'stock tank volumet til oljen v/ standardbet.
Hvis $P > P_b$ og vi har 1 mol reservoarolje (n_o) med molvekt M_o, så får vi :

$$B_o = \frac{V \text{ reservoarolje } (o)}{V_{STO}} = \frac{\frac{n_o \cdot M_o}{\rho_o}}{\frac{n_{STO} \cdot M_{STO}}{\rho_{STO}}} = \frac{M_o \, \rho_{STO}}{\prod_{i=1}^{K} L_i \, M_{STO} \cdot \rho_o}$$

M_{STO} : molvekt STO
M_o : molvekt res. olje , ρ_{STO} : tetthet STO
ρ_o : tetthet —〃— n_{STO} = mol STO

$$GOR_T = \frac{(1-L_1 \cdot L_2 \cdot L_3) \cdot V_m \cdot \rho_{STO}}{L_1 \cdot L_2 \cdot L_3 \; M_{STO}} = \frac{(1-0{,}263) \cdot 23{,}65 \cdot 882}{0{,}263 \cdot 169{,}3}$$

$$\underline{\underline{GOR_T = 345{,}1 \ Sm^3/Sm^3}}$$

(S kubikk ~~tot~~ / barrel) er vanelig, men her er det brukt SI en-heter.

$n_o = 1$ mol reservoarfluid

$$B_o = \frac{V_o}{V_{STO}} = \frac{\frac{n_o \cdot M_o}{\rho_o}}{\frac{n_{STO} \cdot M_{STO}}{\rho_{STO}}} = \frac{M_o \cdot \rho_{STO}}{n_{STO} \cdot M_{STO} \cdot \rho_o} = \ldots$$

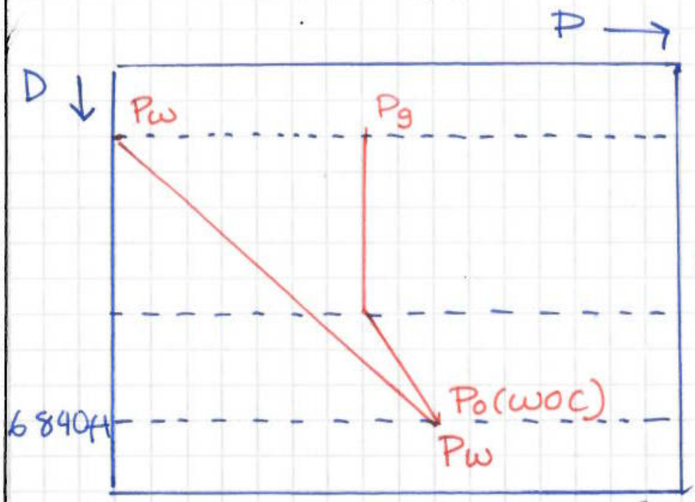
$$B_o = \frac{55{,}9 \cdot 882}{567{,}8 \cdot 169{,}3 \cdot (\prod_{i=1}^{3} L_i)} = \underline{\underline{1{,}95 \ m^3/Sm^3}}$$

$L_1 \cdot L_2 \cdot L_3$

($1 \ Sm^3 = 2 m^3$ i res.)

B_o (sep) < B_o (single flash)

⇒ Lavere B_o gir høyere V_{STO} ⇒ Separasjons pros. er vellykket.



Topp reservoar

negativ trykk gradient når vi gør oppover.

GOC (gass oil contact)

woc (water oil contact)

Dybde* = dybde til hvor du skal bestemme P.

$P_w = (0{,}45 \cdot 6840 + 15)\ psi = 3093\ psi$

$P_o = P_o(woc) + \Delta P_o$

$\Delta P_o = -0{,}35(Dybde_{woc} - Dybde^*)$

$P_o = P_o(woc) - 0{,}35(D_{woc} - D^*)$

$\Rightarrow \quad P_o(woc) = (3093 - 0{,}35(6840 - 6465))\ psi$

$= \underline{\underline{2962\ psi}}$

$\Rightarrow \quad P_g(top) = (2962 - 0{,}08(6465 - 6200))\ psi$

$= \underline{\underline{2941\ psi}}$

$\Rightarrow \quad P_w(top) = (0{,}45 \times D_{top} + 15)\ psi = (0{,}45 \times 6200 + 15)$

$= \underline{\underline{2805\ psi}}$

$P_g(top) - P_w(top) = \underline{136\ psi}$

forklarer hvorfor det er høyere trykk i reservoret

17.03
TINA

Flerfase strøm - ikke blandbare fortregning

Olje produksjon : 1. Primary recovery
- bruker energien i res.
trykk avlastning.
2. Sekundær produksjon
- vannflømming
- primær produksjon
ulønnsom, holde pres > Pb.

Sjøvanns injeksjon i Ekofisk => suksess
17% OOIP → 55%.
IOIP

Sjøvann har gunstig sammensetning for kritt feltet.

Vann injeksjon.
Populært - lett tilgjengelig
- lett å injisere
- spesielt lett gjennom oljebærende formasjon
- god evne til å fortrenge

Se på :
- produksjons rater
- WOR produsert (WOR: water oil relation)
- kumulativ olje produksjons olje.

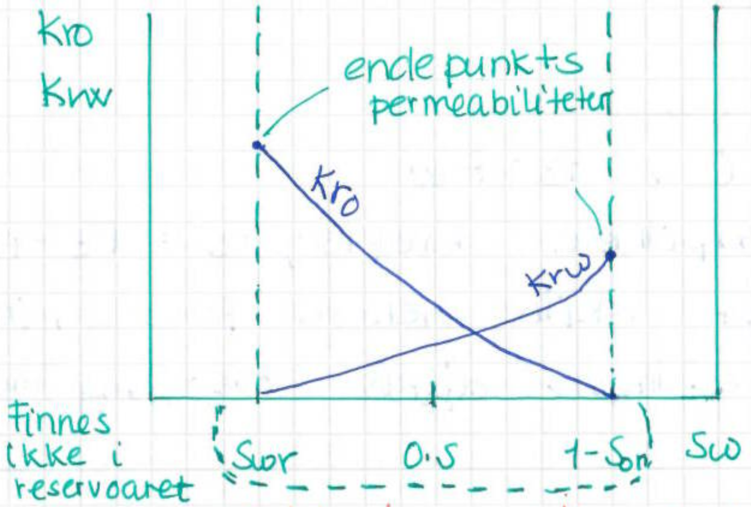
Fraksjonsstrøm

- Horisontalt
- Hellende

} reservoar

strøm av olje og vann er påvirket bl. a. av relative permeabiliteter.

Relative permeabiliteter er avhengig av metningene til olje og vann.



$K_{ro} = \frac{K_o}{K}$

$K_{rw} = \frac{K_w}{K}$

K = abs. permeabilitet til porøst media

$S_o + S_w = 1$

Swr : residual water saturation
Swi : initial water saturation
} samme vann. metning.

Sor : residual oil saturation

$S_w = 1 - S_{or}$

Forholdet mellom endepunkts permeabiliteter indikerer fuktpreferanse.

Reservoar er vannvått hvis $\frac{K_{rw}}{K_{ro}} < 0{,}3$

olje vått —"— ≈ 1.

Skjærings punkt :

vannvått hvis skj. punkt ligge til høyre for $S_w = 0{,}5$

oljevått hvis skj. pkt. ligger til venstre for $S_w = 0{,}5$.

$K_o = k_{ro} \cdot k$

$K_w = k_{rw} \cdot k$

Relativ permeabilitet ofte gitt.

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

gir fraksjonsstrømmen av vann på bestemt sted i reservoaret, gitt krw & kro.

$f_w = f(k_{ro}, k_{rw}, \mu_o, \mu_w)$ (varierer med vannmetning).

eksempel: Ren stempelfortregning

strømnings retning →

vann inn →

$S_w = 1 - S_{or}$

$k_{ro} = 0$

$S_w = S_{wr}$ olje

$k_{rw} = 0$ → ikke mobilt vann

[6 % S_{wi} = ekotisk
Kan være 20-25%]

$f_w = 1$

$f_o = 0$

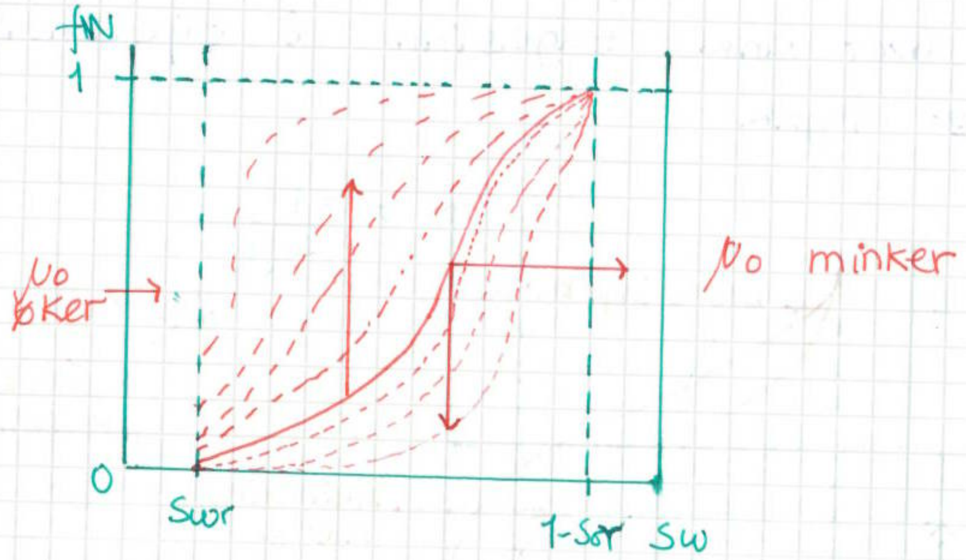
vannfronten

$f_w = 0$

$f_o = 1$

⊛ Fraksjonsstrøms kurven

Fås ved å plotte fw mot sw.



I punkt P vil det være en viss vannmetning, S_w
Ønsker å finne f_w i punkt P.

$$f_w = \frac{q_w}{q_w + q_o} \qquad \left.\begin{matrix} q_w \\ q_o \end{matrix}\right\} \text{ er funksjoner av trykk}$$

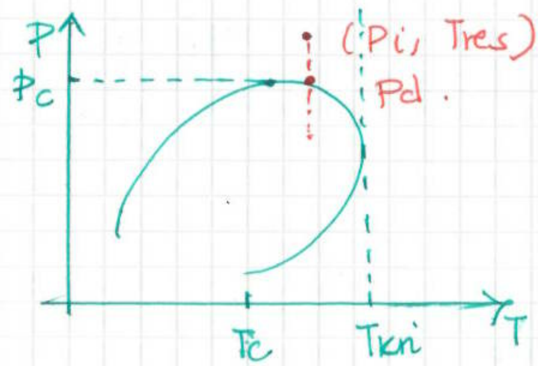
En må bruke trykk potensialer i Darcys lov for strøm av olje og vann i x-retning.

examen H - 2012 opp 1

Bulk volum : 10^6 m^3
ϕ = 0,23
S_{wi} = 0,15
P_i = 350 bar $(Z_g)_i = 1,107$
P_d = 201 bar
T_{res} = 115 °C

CVD - analyse data. - (se eksamen)
V_{celle} = 950 cm^3 ved P_d og T_{res}
Komposisjon av brønnstrøm i %. (se eksamen)

Sep. bek : $C_1 - C_4$: blir gass
ρ_{STO} = 775 kg/m³ M_{STO} = 143 $P_i \to P_d$
= 750 kg/m³ = 138 $P_d \to 170$

(a) 

Gass kondensat.
$T_c < T_{res} < T_{kri}$

c) Vis at GOR ved Pd = 1206,6 Sm^3/Sm^3
GOR ved P = 170
GOR ved Pi = ?

$GOR = \frac{V_g}{V_o}$

Pd = 201 bar : mol% = mol C1-C4
= 75,2 + 7,7 + 4,4 + 3.1

Starter med 1 lb mol
: 0,904 lb gass
: 0,096 lb gass

Gass. mol % = $\underline{90,4\%}$

olje mol% = 2,2 + 2,2 + 5,2
= $\underline{9,6\%}$

Volum gass : $V_{g,sc} = n_g \cdot V_m = 0,904 \cdot 23,664$
$= \underline{21,37 \ Sm^3}$

volum STO olje $= \frac{m_{STO}}{\rho_{STO}} = \frac{n_{STO} \cdot M_{STO}}{\rho_{STO}}$
$= \frac{0,096 \cdot 143}{775} = \underline{0,0177 \ Sm^3}$

$GOR = \frac{V_{g,sc}}{V_{STO}} = \frac{21,37}{0,0177} = \underline{\underline{1206,4 \ Sm^3/sm^3}}$

$GOR_{170 \ bar} = \underline{\underline{1733,9 \ Sm^3/Sm^3}}$

$GOR_i = GOR = 1206,4 \ Sm^3/Sm^3$
GOR konst. over Pd.

(d) Bestem 1. IGIP (Sm^3) og 2. IOIP (Sm^3)

Hydrokarbonporevolum $V_b = 10^6 \ m^3$
$HCPV = V_b \cdot \phi (1 - S_{wi}) = 10^6 \cdot 0,23 \cdot (1 - 0,15)$
$= \underline{195500 \ m^3}$

(II) $q_o = -\frac{k_o}{\mu_o} A \frac{\partial \Psi_o}{\partial x} = -\frac{k_o}{\mu_o} A \left(\frac{\partial P_o}{\partial x} + \rho_o g \sin\alpha \right)$

(III) $P_c = P_o - P_w$. Deriveres mhp x

$$\frac{\partial P_c}{\partial x} = \frac{\partial P_o}{\partial x} - \frac{\partial P_w}{\partial x}$$

(IV) $q_t = q_o + q_w$

(V) $\Delta\rho = \rho_w - \rho_o$

* Må kunne disse 5 til eksamen men ikke utlede dem.

Ligning I og II

$$\frac{q_w \mu_w}{k_w} - \frac{q_o \mu_o}{k_o} = A\left(\frac{\partial P_o}{\partial x} - \frac{\partial P_w}{\partial x} + \rho_o g \sin\alpha - \rho_w g \sin\alpha \right)$$

$$\frac{q_w \mu_w}{k_w} - \frac{(q_t - q_w)\mu_o}{k_o} = A\left(\frac{\partial P_c}{\partial x} - \Delta\rho g \sin\alpha \right)$$

$$q_w \left(\frac{\mu_w}{k_w} + \frac{\mu_o}{k_o} \right) = \frac{q_t \mu_o}{k_o} + A\left(\frac{\partial P_c}{\partial x} - \Delta\rho g \sin\alpha \right)$$

$$f_w = \frac{q_w}{q_t} = \frac{\frac{\mu_o}{k_o} + \frac{A}{q_t}\left(\frac{\partial P_c}{\partial x} - \Delta\rho g \sin\alpha \right)}{\frac{\mu_w}{k_w} + \mu_o / k_o} \div \frac{\mu_o}{k_o}$$

Vi deler på μ_o / k_o i teller og nevner

Setter inn for relativ permeabilitet $k_o = k_{ro} \cdot k$

$k_w = k_{rw} \cdot k$

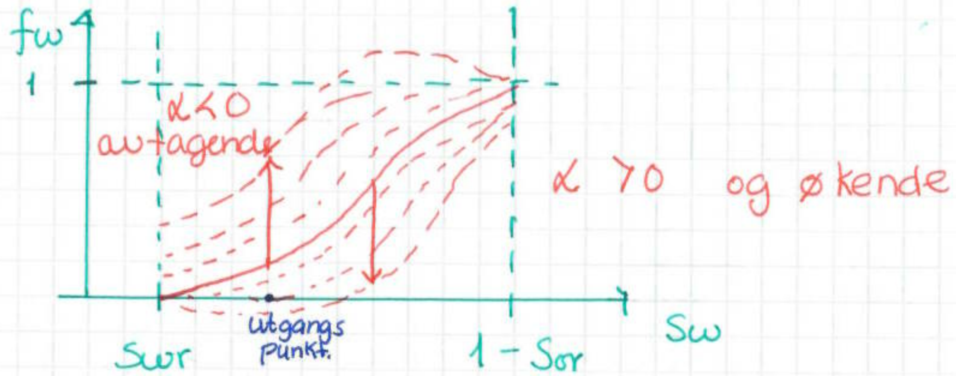
Setter inn Darcy hastighet : $u_t = \frac{q_t}{A}$

$$\boxed{f_w = \frac{1 + \frac{k_{ro} \cdot k}{\mu_o \cdot u_t}\left(\frac{\partial P_c}{\partial x} - \Delta\rho g \sin\alpha \right)}{1 + \frac{\mu_w}{\mu_o} \cdot \frac{k_{ro}}{k_{rw}}}}$$

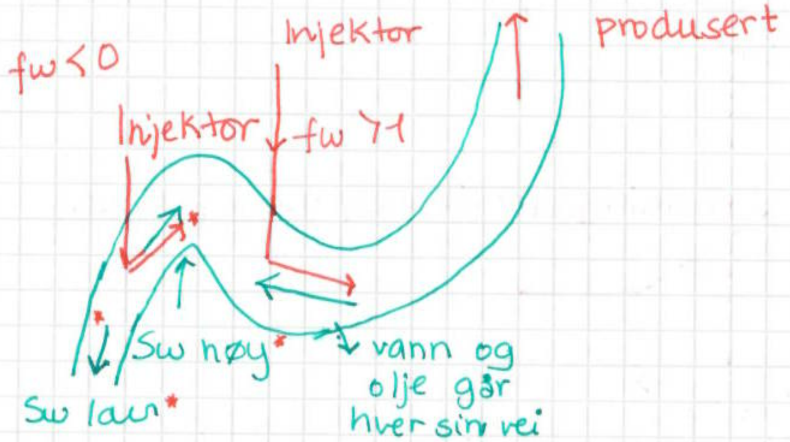
$f_w + f_o = 1$ $\quad$ $f_w = f(u_t, P_c, \alpha \ldots)$

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

Hvordan varierer f_w med α ?



* $\alpha < 0$ og avtagende; battere nedoverbakke
  f_w øker for gitt S_w.
  $f_N > 1 \Rightarrow$ vann og olje strømmer hver sin vei
* $\alpha > 0$ og økende $\Rightarrow$ f_w avtar for en gitt vannmetning
  $f < 0 \Rightarrow$ vann og olje strømmer hver sin vei



Hastigheten til vannfronten.

Lineært reservoar, tversnitt A og Lengde L
Gitt konstant injeksjonsrate

Masse balanse $A \cdot L\,\phi\,(\underbrace{1 - S_{or}}_{final} - \underbrace{S_{wr}}_{initial}) = q_t \cdot t_{BT}$

Antar at $q_t = q_o + q_w$
$q_{inj} = q_{prod}$

t_{BT} = tid ved vann gjennombrudd

Hastigheten til injeksjonsfronten.
⇒ Effektiv hastighet til vannet gjennom porene i reservoaret.

$$\boxed{v_{swf} = \frac{L}{t_{BT}} = \frac{q_t}{\phi A (1 - S_{or} - S_{wr})}}$$

Buckley Leverett (B-L) fortrengningsmekanisme

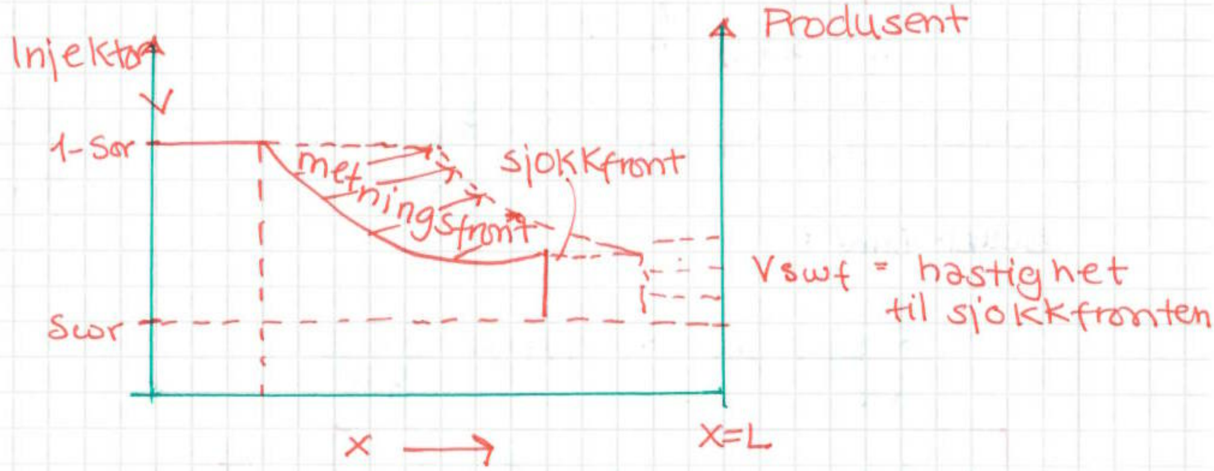
1940 - frontal advance equation
- Estimere vanngjennombrudd ved vannflømming.
- Beskriver vannfrontents hastighet ved ikke blandlov fortrengning i en dimensjon

$$\boxed{v_{swf} = \frac{q_t}{\phi A} \frac{d f_{wf}}{d S_{wf}}} \quad \text{B-L ligning}$$

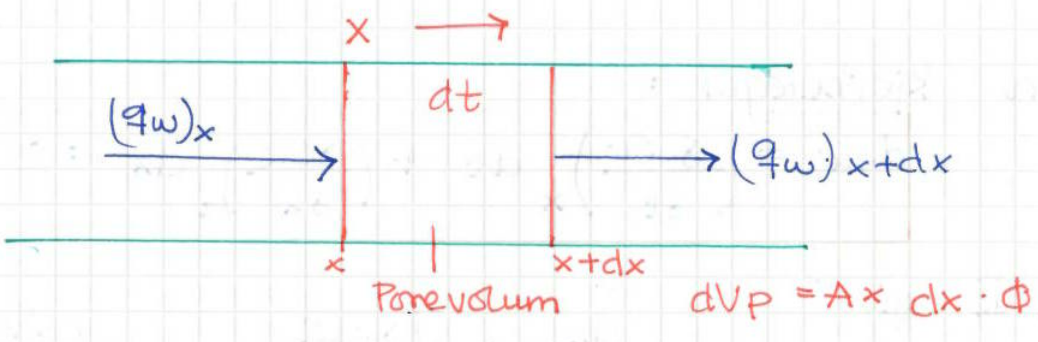
S_{wf} = vannmetning vann fronten
f_{wf} = fraksjonsstrøm av vann i fronten
v_{swf} = effektiv hastighet til vannets sjokkfront

- Antar ingen masse utveksling mellom fasene, ingen transisjons sone.
- Antar samme fysiske egenskaper over en tversnittsflate, Sw, P, ρ etc. Ingen segrering av vann, ingen "viscous fingering". Homogent reservoar
- Antar strøm i bare én dimensjon - x-retning

BL ligning: i en én dimensjonal strøm, vil et tversnitt (plan) med en gitt vannmetning, Sw, vil bevege seg med en hastighet som er ∝ med stigningstallet til en tangent til fraksjonsstrøms kurven ved metningen, Sw



En hver Sw beveger seg med konstant Vswf.



Setter inn i (I):

$$V_{sw} = \frac{1}{\phi A} \frac{\left(\frac{\delta q}{\delta x}\right)_t}{\left(\frac{\delta S_w}{\delta x}\right)_t}$$

En vil ha inn f_w ved gitt t:

$$\boxed{(q_w)_t = f_w \cdot q_t} \quad \text{(III)}$$

$q_t = q_w + q_o$

Deriverer (III) mhp x (produktregel)

$$\left(\frac{\delta q_w}{\delta x}\right)_t = \left(\frac{\delta f_w}{\delta x}\right)_t q_t + f_w \underbrace{\left(\frac{\delta q_t}{\delta x}\right)_t}_{=0}$$

fordi inj. rate $= q_t$ = konstant

Setter inn for $\left(\frac{\delta q_w}{\delta x}\right)_t$

$$V_{sw} = \frac{q_t}{\phi A} \cdot \frac{(\delta f_w / \delta x)_t}{(\delta S_w / \delta x)_t}$$

$f_w = f(S_w)$ har iflg. kjærneregelen for et gitt tidspunkt t:

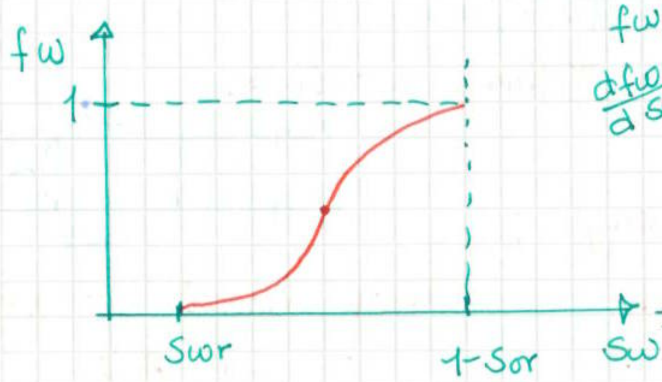
$$V_{sw} = \frac{q_t}{\phi A} \cdot \frac{(\delta f_w / \delta S_w)_t \left(\cancel{\frac{\delta S_w}{\delta x}}\right)_t}{\left(\cancel{\delta S_w / \delta x}\right)_t}$$

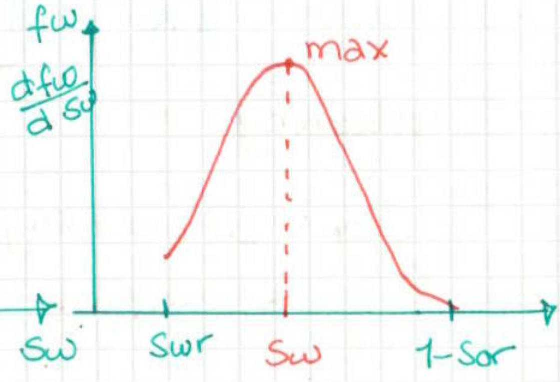
Antar konstant S_w ved x i reservoaret.

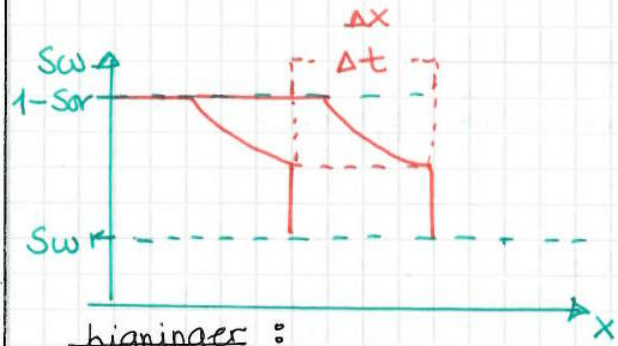
$$\boxed{V_{sw} = \frac{q_t}{\phi A} \cdot \left(\frac{d f_w}{d S_w}\right)_{S_w}}$$

B-L ligning ved gitt t IV

④ Definision av sjokkfronten







Ligninger :

(Kan bli gitt i eksamen)

1. $q_{wf} = f_{wf} \cdot q_t$

2. Mengde vann i volum elementet ved Δt

$$q_{wf} \cdot \Delta t = A \, \Delta x \, \phi \, (S_{wf} - S_{wr})$$

setter 1 inn i 2.

$$f_{wf} \cdot q_t \cdot \Delta t = (S_{wf} - S_{wr}) \cdot \phi \cdot A \cdot \Delta x$$

$$V_{swf} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{f_{wf} \cdot q_t}{(S_{wf} - S_{wr}) \cdot \phi \cdot A}$$

fra massebalanse

Fra B-L : $V_{swf} = \frac{q_t}{\phi A} \left(\frac{d f_w}{d S_w} \right)_{swf}$

setter V_{swf} lik hverandre :

$$\frac{\cancel{q_t}}{\cancel{\phi A}} \left(\frac{d f_w}{d S_w} \right)_{swf} = \frac{f_{wf} \cdot \cancel{q_t}}{(S_{wf} - S_{wr}) \cdot \cancel{\phi A}}$$

$$\boxed{\left(\frac{d f_w}{d S_w} \right)_{swf} = \frac{f_{wf}}{S_{wf} - S_{wr}}}$$

B-L fronten må oppfylle dette

Tangenten må gå gjennom S_{wr}.

oppgave 10

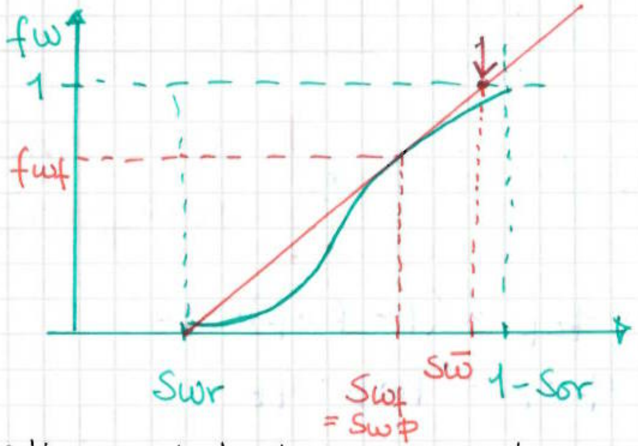
$$N_p = \frac{\phi A L \, (\bar{S}_w - S_{wr})}{B_o}$$ (oljevolum produsert)

produsert olje : $\frac{\phi A \cdot L \, (1 - S_{wr} - S_{or})}{B_o \cdot 5.615}$

IOIP ikke ta med S_{wr} og S_{or}

Settes lik 2. og forkorter

$$\boxed{\left(\frac{d f_w}{d S_w}\right)_{S_{wf}} = \frac{1}{\bar{S_w} - S_{wr}}}$$



Stigningstall

$= \dfrac{1-0}{\bar{S_w} - S_{wr}}$

Grafisk løsning

Olje produksjons beregninger

(a) Før vann gjennombrudd , $t < t_{BT}$

$(q_o)_p = q_t = q_{inj}$ volumraten av olje i produsenten.

$(q_w)_p = 0$ volumrate vann i produsenten

Antar at q_t er konstant

Produksjon av olje : $\boxed{N_p = \dfrac{(q_o)_p \cdot t}{B_o}}$ produsert olje

før vann gjennombrudd ($t < t_{BT}$).

Hvis q_t ikke er konstant.

$$N_p = \int_0^t \frac{(q_o)_p \cdot dt}{B_o}$$

b) Ved vann gjennombrudd $t = t_{BT}$

$t_{BT} = L / V_{S_{wf}}$

$t > t_{BT}$. finnes produsert olje $q_{op} < q_t$

Hva er $\bar{S_w}$ i reservoaret etter tiden t?

$$\bar{S_w} = S_{wf} + \frac{1}{L}\int_{S_{wp}}^{1-S_{or}} L_{sw} \cdot dS_w$$

L_{sw}: lengden de forskjellige S_w har gått i tiden t.

ved tiden t er q_t = konstant , $L_{sw} = v_{sw} \cdot t$

$\overset{\downarrow}{\text{B-L}}$

Fra B-L: $\bar{S_w} = S_{wp} + \frac{1}{L}\int_{S_{wp}}^{1-S_{or}} \left(\left(\frac{q_t}{\phi A}\right)\frac{(df_w)}{(dS_w)}\right) t \, dS_w$

$$\bar{S_w} = \frac{q_t \cdot t}{\phi A L} \cdot \int_{S_{wp}}^{1-S_{or}} \frac{df_w}{d\cancel{S_w}} \cdot d\cancel{S_w}$$

$S_w = S_{wp}$

$S_w = 1 - S_{or}$

$f_w = f_{wp}$

$f_w = 1$

$$\bar{S_w} = S_{wp} + \frac{q_t \cdot t}{\phi A L}\int_{f_{wp}}^{1} d f_w$$

Integrerer: $\boxed{\bar{S_w} = S_{wp} + \frac{q_t \cdot t}{\phi A L}(1 - f_{wp})}$

Hvordan løse dette grafisk?

S_{wp} har gått Lengden L i tiden t.

$$v_{swp} \cdot t = L = \frac{q_t \cdot t}{\phi A}\left(\frac{df_w}{dS_w}\right)_{swp}$$

$$\frac{q_t \cdot t}{\phi A} = \frac{L}{\left(\frac{df_w}{dS_w}\right)_{swp}} \Rightarrow t = \frac{L\phi A}{q_t} \cdot \frac{1}{\left(\frac{df_w}{dS_w}\right)_{swp}}$$

Setter inn i uttrykket for $\bar{S_w}$

$$\bar{S_w} = S_{wp} + \frac{(1 - f_{wp})}{\left(\frac{d f_w}{dS_w}\right)_{swp}}$$

$$WOR = \frac{\frac{q_w}{B_w}}{\frac{q_o}{B_o}} = \frac{q_w B_o}{q_o \cdot B_w} = \frac{\cancel{q_t} \cdot f_w \cdot B_o}{\cancel{q_t}(1-f_w) B_w} \; *$$

$* \; q_w = q_t \cdot f_w$ og $q_o = q_t(1-f_w)$

$$WOR = \frac{f_w \cdot B_o}{(1-f_w) B_w} \Rightarrow f_w = \frac{WOR \; B_w}{WOR \cdot B_w + B_o}$$

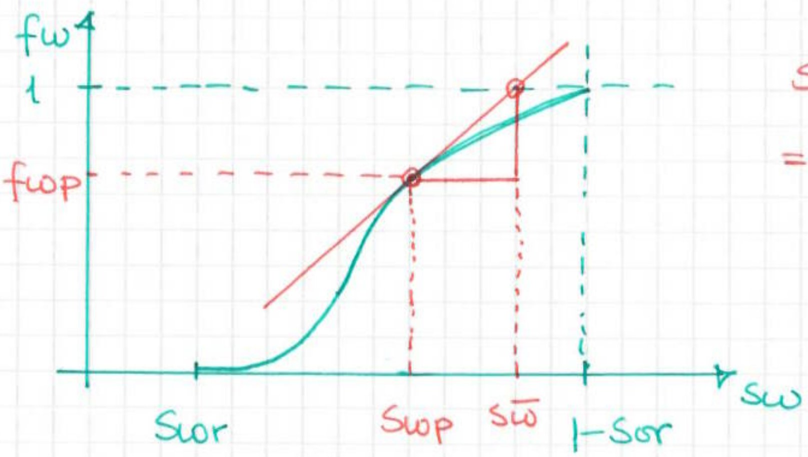
Exempel

$q_t = q_{inj}$ $\qquad f_w = f(S_w)$

$q_{inj} = q_{prod}$

Lineært reservoar, A = konstant, (f_{wp} gitt)

Produksjon til gitt WOR. Beregn N_p - produksjon olje og produksjonstid.



Stigningstall $= \frac{1 - f_{wp}}{S_{\bar{w}} - S_{wp}}$

Produsert olje : $N_p = \frac{\phi A L (S_{\bar{w}} - S_{wr})}{B_o}$

S_{wr} gitt, $S_{\bar{w}}$ finner fra stigningstallet til grafen.

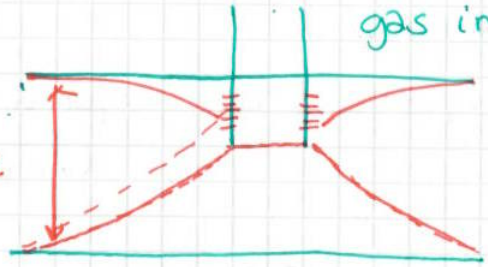
Finner produksjonstid:

$L = t \cdot v_{swp} \Rightarrow t = \frac{L}{v_{swp}}$

7/04
(TINA)

KONING

- trykkpotensial
- Gass koning
- Vann koning
- Simultan gass/vann koning
- koning i horisontale brønn.



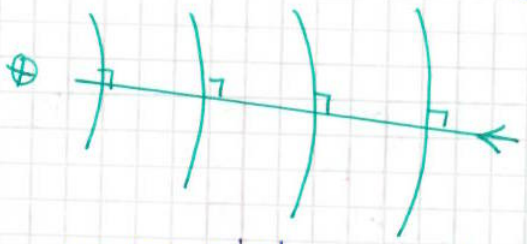
Produksjon av vann : kostbart :
- olje produksjon avtar
- krever energi til å løfte vann ut av brønner
  $\rho_w > \rho_o$
- separere vann og olje
- vannrensing før utslipp

Produksjon av gass :
- lavere verdi enn olje
- olje produksjon avtar
- reduserer drivkraft for oljeproduksjon.

* Reduserer produksjonsraten
* Reperforere brønnen

→ tendensen til koning øker hvis:
- flømingsraten / produksjonsraten øker
- avstanden mellom perforeringene og OWC/GOC avtar.

Generelt i et homogent reservoar (samme mineral egenskaper, lik permeabilitet i alle retninger)



Trykk potensialene inngår Darcys lov for fluidstrøm i x-retning : $q_x = -\frac{KA}{\mu}\frac{d\Psi}{dx}$

eller for radielt strøm : $q = \frac{-KA}{\mu}\frac{d\Psi}{dr}$

Gass Koning

Problemet : Gitt et horizontalt, sirkulært reservoar med gass kappe over oljesonen. Hva er max flømmerate, $q_{o\,max}$, en kan produsere ved uten at en får gass prod. ved "steady state" ?

Steady state – simultant konstant trykk og konstant flømmingsrate. i reservoar brønn,
- Har dette ved trykk støtte, fra gassekappe driv eller vanndriv.
- Gass eller vann injeksjon.

Trykk potensialet ved GOC ved høyde z over ref. planet

$\Psi_o = P_o + g\rho_o z$

$\Psi_g = P_g + g\rho_g z$

Neglisjerer kapillærtrykket):

$P_c = P_g - P_o \approx 0 \Rightarrow P_o \approx P_g$

skrapt skille mellom fasene): ingen transisjonssone.

$\Psi_o = P_g + g\cdot\rho_o z = \Psi_g - g\rho_g z + g\rho_o z$

$= \Psi_g + gz(\rho_o - \rho_g)$

ser på strøm i z-retning:

Ψ_g er konstant ; ingen gass strøm i z ret.

$\frac{\delta \Psi_g}{\delta z} = 0$ Gassen er i ro.

$\frac{\partial \Psi_o}{\partial z} = g(\rho_o - \rho_g)$ * oljen må ha strømning komponent i z retning

Antar at Darcy's lov gjelder for oljestrømm inn mot brønnen.

Kjerneregel

$q_o = -\frac{K_o}{\mu_o} A \frac{\delta \Psi_o}{\delta r} = -\frac{K_o}{\mu_o} 2\pi r \cdot z \cdot \frac{\delta \Psi_o}{\delta z} \cdot \frac{\delta z}{\delta r}$

$q_o = -\frac{K_o}{\mu_o} \cdot 2\pi \cdot g(\rho_o - \rho_g) r z \cdot \frac{\delta z}{\delta r}$

$q_o \frac{dr}{r} = -2\pi \frac{K_o}{\mu_o} g(\rho_o - \rho_g) z \;\delta z$

differensial ligningen i Darcy enheter!

$\log \frac{a}{t} = -\log \frac{t}{a} = -\left[\log t + \log \frac{1}{a}\right] \quad \frac{1}{a} = \frac{K}{\Phi \mu c\, r_w^2}$

$\ln(\ ) = \frac{1}{0{,}4343}\left[-\log \frac{\gamma}{4} + \log(3600 \times \underset{\substack{\uparrow \\ \text{timer}}}{t}) + \log \frac{K \cdot 10^{-6}}{\Phi \mu c r_w^2}\right]$

$K : (\mu m)^2 = 10^{-12} m^2$

$\mu : mPa \cdot s = 10^{-3} Pa \cdot s$

$c : (KPa)^{-1} = \frac{1}{10^3\, Pa}$

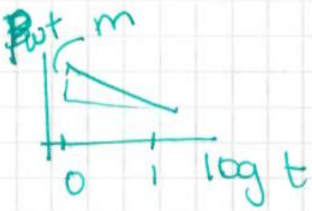
$r_w : m^2$

$= -\frac{1}{0{,}4343}\left[\underbrace{0{,}3514 + 3{,}556 - 6}_{-2{,}092} + \log t + \log \frac{K}{\Phi \mu c r_w^2}\right]$

$\left[\ln\left(\frac{\gamma \cdot \Phi \mu \cdot c \cdot r_w^2}{4K \cdot t}\right) - 2S\right]$

$= -\frac{1}{0{,}4343}\left[\log t + \log \frac{K}{\Phi \mu c \cdot r_w^2} - 2{,}092 + 2 \cdot 0{,}4343 \cdot S\right]$

$P_{wf} = P_i - 2{,}1206 \frac{(QB) \cdot \mu}{Kh}\left[\log t + \log \frac{K}{\Phi \mu c r_w^2} - 2{,}092 + 0{,}8686\, S\right]$



$m = 2{,}1206 \frac{QB \cdot \mu}{Kh}$

$\Rightarrow K = \frac{2{,}1206 \cdot 238 \cdot 1{,}2 \cdot 10}{4 \cdot 10 \cdot 6{,}1} = 0{,}242 (\mu m)^2$

$K = \frac{0{,}242 (\mu m)^2 \cdot 1D}{0{,}987 (\mu m)^2} = 0{,}245\, D$

14/02 permobilitet

→ betyr penetrering

→ Bestemmer produksjonsrate

Darcy's lov

$$\boxed{K = \frac{k \cdot \rho}{\mu}}$$

K: permobilitet

ρ: tetthet

μ: viskositet

permobilitet er uavhengig av væske type.

Fluid potensial

→ betyr muligheter

→ energi pr. masse enhet

Arbeid = $W = mgz$

Potensial: $\phi = gz$

Må også ta hensyn til trykk.

Definsjon: arbeid for å flytte et fulid

$W_p = m \cdot \frac{p}{\rho}$ (trykk arbeidet)

symbol (Φ) for fluid potensial

væske vil alltid strømme fra høyt til lavt

Strømmning.

Darcy's lov med fulid potensial

$$q = A \frac{K\rho}{\mu} \frac{d\Phi}{dL}$$

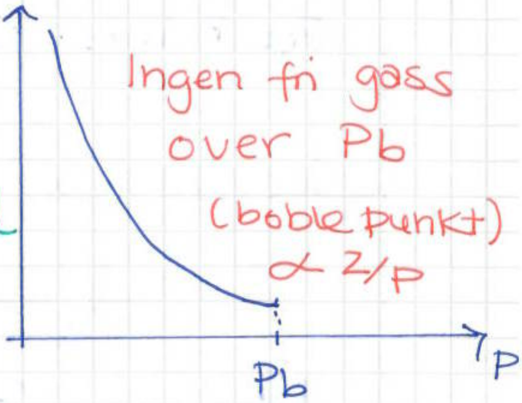
fluidpotensialet er uavhengig av orientering av sandpakken.

$$B_g = \frac{V_g^R}{V_g^S} \quad \frac{Rm^3}{Sm^3} \; \frac{rb}{scf}$$

$$B_g = \frac{(Z \cdot T)^R}{P^R} \cdot \left(\frac{P}{T}\right)^S \cdot \frac{1}{5{,}615} \quad \text{oil field}$$

$$C_g = \frac{1}{P} - \frac{1}{Z}\left(\frac{dZ}{\partial P}\right)_T$$

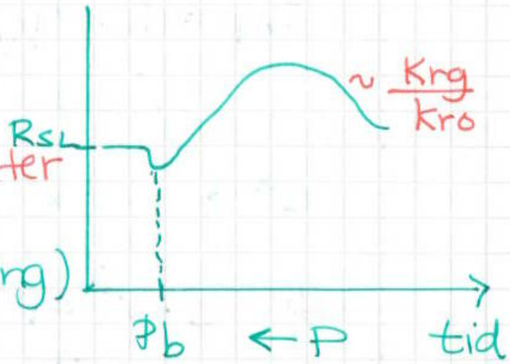
$$C_g \sim 100 \times C_o$$



$$R = GOR = \frac{Q_g^S}{Q_o^S} \cdot \frac{Sm^3}{Sm^3} \; \frac{scf}{stb}$$

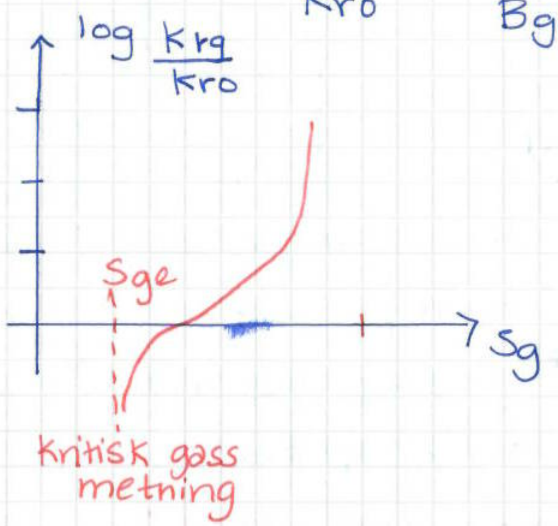
$\frac{Q_g}{Q_o}$: gassrater over olje rater

$S_g = S_{gc}$ (kritisk gass metning)

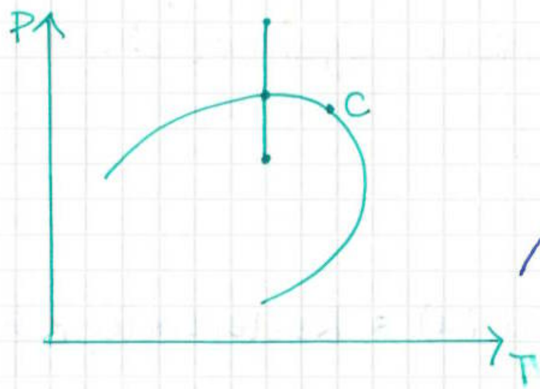


$S_g = S_{gc}$

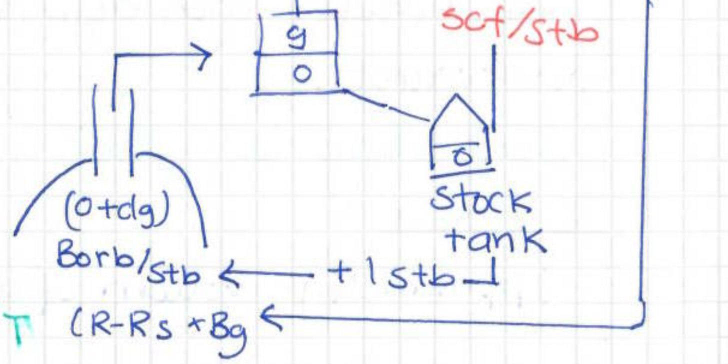
$$R = R_s + \frac{K_{rg}}{K_{ro}} \cdot \frac{B_o \cdot \mu_o}{B_g \cdot \mu_g}$$



K_{rg}/K_{ro} : relativ permabilitet til olje og gass.
Viser hvor lett oljen strømmer.



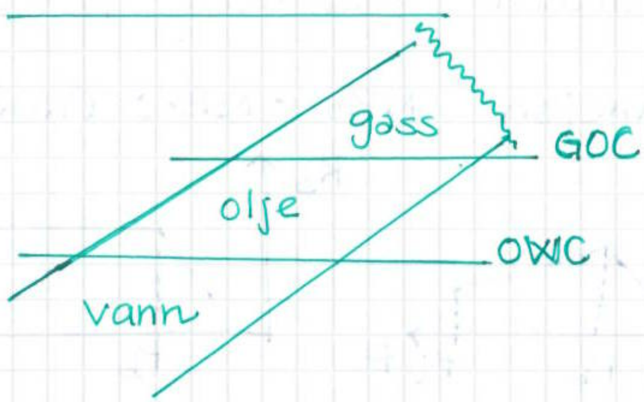
$R = R_s + (R - R_s)$

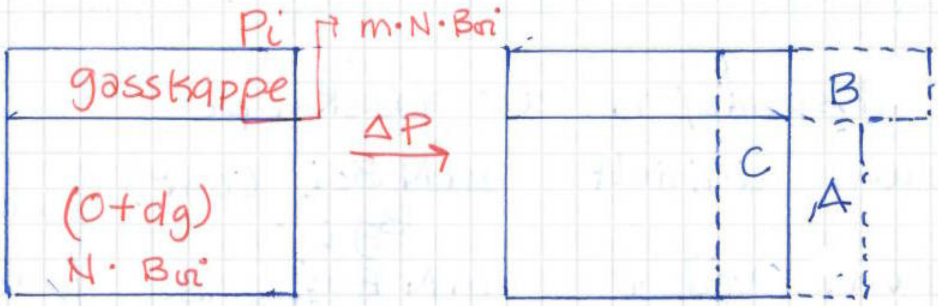


Anvendelsen

* Estimere utvinningsgrad
* Bebufte anslag OOIP, OGIP
(original oil in place, oil gas in place)
* Identifisere drio mekanismen.

MB for oljereservoar (m/gasskappe)





Ligning: S_{wc} = opprinnelig vann metning

Produksjon (Rm^3) = Ekspansjon av (O+dg)(Rm^3) (A) + Ekspansjon av gasskappe (Rm^3) (B) + Reduksjon av HCPV (hydrocarbon pore volume) pga. eksp. av vann (S_{wc}) og kompaksjon av bergart (C)

N : SOOIP(Sm^3) standard original oil in place (Sm^3)

$N = V_b \cdot \varphi (1 - S_{wc}) / B_{oi}$

$V_p = \frac{V_o}{S_o}$: $V_o = \underline{S_o} \times V_p$

$S_o + S_g = 1 - S_{wc}$

$\underbrace{S_o + S_g}_{} + S_{wc} = 1$

$S_o + S_g = 1 - S_{wc}$

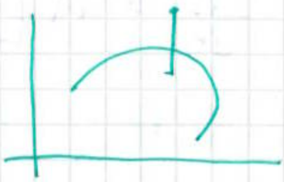
$V_w = V_p \times S_{wc}$

C

$(1+m) N B_{oi} \left[\frac{C_w S_{wc} + C_f}{1 - S_{wc}} \right] \Delta p \; (Rm^3)$

D Produksjon i Rm^3

$N_p B_o + N_p (\underbrace{R_p - R_s}_{\text{fri gass}}) B_g$ $\quad R_p = \frac{G_p}{N_p}$



$N_p [B_o + (R_p - R_s) \cdot B_g]$

$N_p \cdot R_p = G_p$ totalt gass

$N_p \cdot R_s =$ frigjort gass (løsningsgass)

Kombinasjon $D = A + B + C$

$N_p [B_o + (R_p - R_s) B_g] = N B_{oi} \left[\frac{(B_o - B_{oi}) + (R_{si} - R_s) B_g}{B_{oi}} \right.$

$+ W_p \cdot B_w$

$\left. + m \left[\frac{B_g}{B_{gi}} - 1 \right] \right] + (1+m) \left[\frac{C_w \cdot S_w + C_f}{1 - S_{wc}} \right] \cdot B_{oi} \cdot \Delta p + W_e B_w$

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

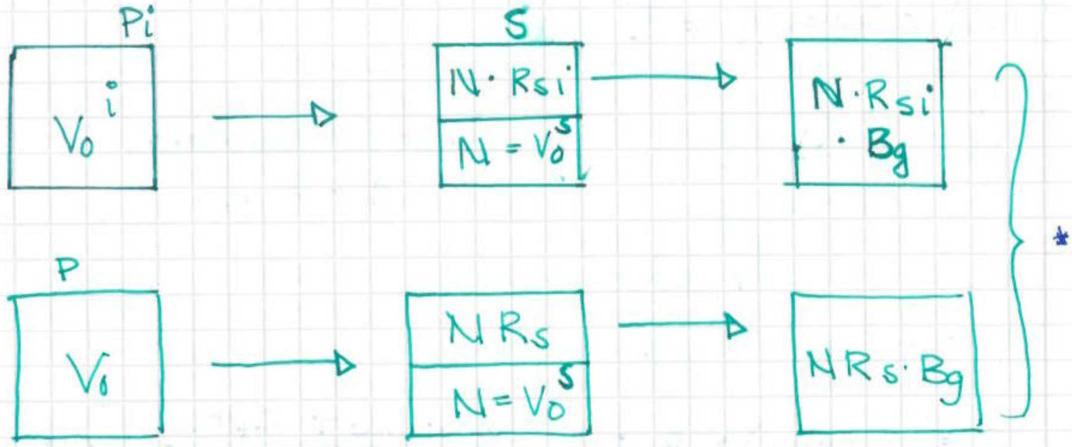
$E_o = (B_o - B_{oi}) + (R_{si} - R_s) B_g$ ekspansjon av olje og oppløst gass (Rm^3/Sm^3)

$E_g = B_{oi} \left(\frac{B_g}{B_{gi}} - 1 \right)$ ekspansjon av gasskappe (Rm^3/Sm^3)

28/02

A ekspansjon av væske ekspansjon av frigjort gass.

$$\left.\begin{matrix} NB_{oi} \\ NB_o \end{matrix}\right\} \quad N(B_o - B_{oi}) \quad \& \quad N(R_{si} - R_s) \cdot B_g$$



Differansen gir oss gassen som er frigjort:

$$N R_{si} B_g - N R_s B_g = N(R_{si} - R_s) B_g$$

ekspansjon av frigjort gass.

B Ekspansjon av gasskappe

- volum initielt $\frac{mNB_{oi}}{B_{gi}} \cdot \; Sm^3$
- volum gass ved P $\frac{mNB_{oi}}{B_{gi}} \cdot B_g$

Ekspansjon:

$$\frac{mNB_{oi}}{B_{gi}} \cdot B_g - mNB_{oi} = \overbrace{mNB_{oi}\left[\frac{B_g}{B_{gi}} - 1\right]}^{Rm^3}$$

C Reduksjon av HCPV

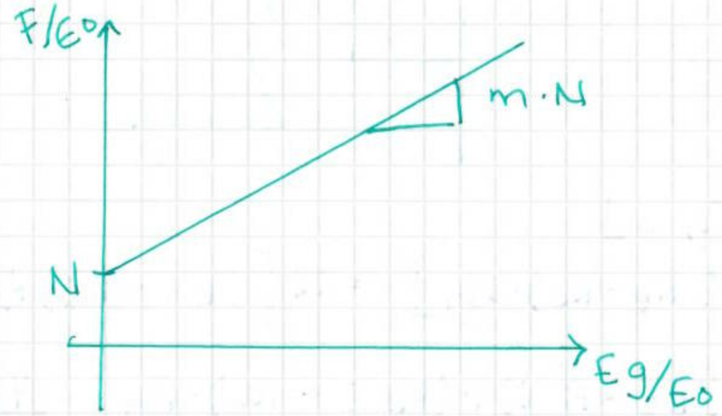
$$C = -\frac{1}{V}\frac{\Delta V}{\Delta P}$$

$$\left.\begin{matrix} \text{- ekspansjon av vann} & c_w V_w^i \Delta P \\ \text{- reduksjon av porevolum} & c_f V_p^i \Delta P \end{matrix}\right\} \text{red. av HCPV}$$

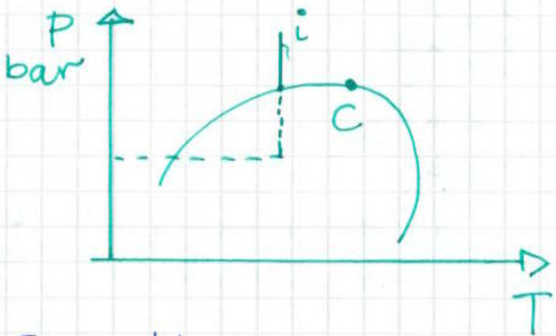
Total reduksjon: $(c_w V_w^i + c_f V_p) \Delta P$

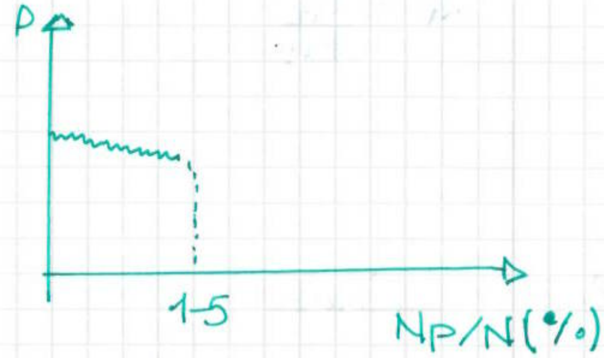
$F = N[E_o + m \cdot E_g]$

$F/E_o = N + mN \, E_g/E_o$



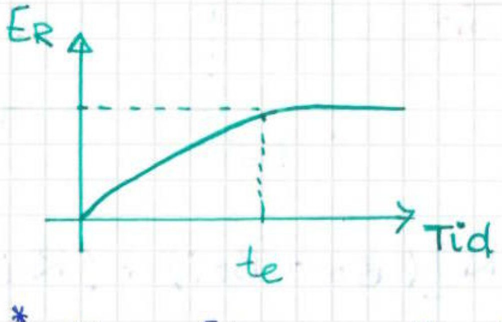
<u>excercise</u> : expansion over P_b. (bubble point)





$E_R = N_p/N$

EUR = Expected ultimate recovery



$F = N[E_o + E_{f,w}] = N_p$

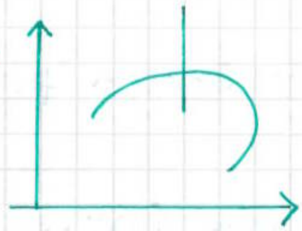
* $\Rightarrow \frac{N_p}{N} = [B_{ob} - B_{oi}] - B_{oi}\frac{c_f + c_w}{1 - S_{wc}}$

* $\frac{N_p}{N} = [B_{ob} - B_{oi}] - B_{oi}\frac{c_f + c_w \cdot S_{wc}}{1 - S_{wc}}$ $\Delta p = 2{,}53\%$

~1,1%   1,43%

metninger

A



$m = 0$

(a) $P > P_b$

$$S_o = 1 - S_{wc} \quad , \quad S_g = 0$$

$$S_o = V_o / V_p = \frac{V_p - V_w}{V_p}$$

$$V_p = V_{pi}\,(1 - c_f |\Delta P|)$$

$$V_w = V_{wi}\,(1 - c_w |\Delta P|)$$

$$S_o = 1 - \frac{S_{wc}(1 + c_w |\Delta P|)}{(1 - c_f |\Delta P|)}$$

Gullfaks :

$c_w = 4{,}33 \times 10^{-5}$ /bar

$c_f = 1{,}24 \times 10^{-4}$ /bar

$\Delta P = 69$ bar

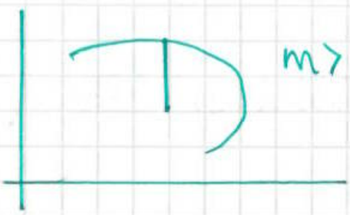
$$S_o = 1 - \frac{S_{wc} \times 1{,}003}{0{,}9914} = \underline{\underline{1 - S_{wc}}}$$

b) $P < P_b$

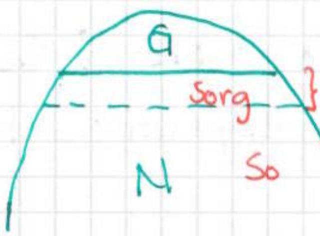
$$S_o = \frac{V_o}{V_p} = \frac{(N - N_p) B_o}{\dfrac{N B_{oi}}{1 - S_{wc}}} \rightarrow \frac{V_{oi}^{R}}{S_{oi}^{R}}$$

$$S_g = 1 - S_{wc} - S_o$$

B



$m > 0$



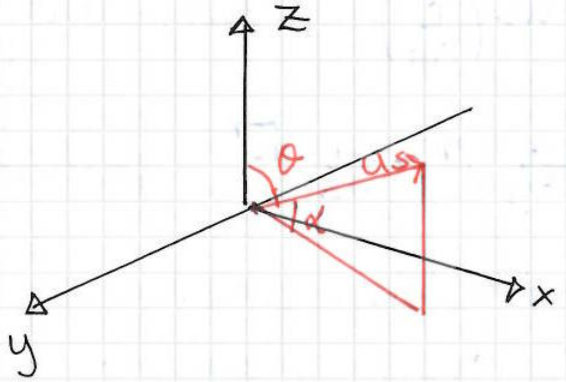
Konstant masserate

$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow (\rho, V)$ konstant

Da fås $\bar{q}_x = \frac{K \cdot A}{\mu} \frac{\Delta P}{L}$ $\bar{q}_x = \frac{1}{2}(P_1 + P_2)$

(s. 71 lærebok)

Darcy i 3-D



dz θ $\cos\theta = \frac{dz}{ds}$

$\Rightarrow \sin\alpha$

$$u_s = -\frac{K}{\mu}\left[\frac{dP}{ds} + \frac{\rho \cdot g}{1{,}0133 \times 10^6} \frac{dz}{ds}\right]$$

Strømnings potensial

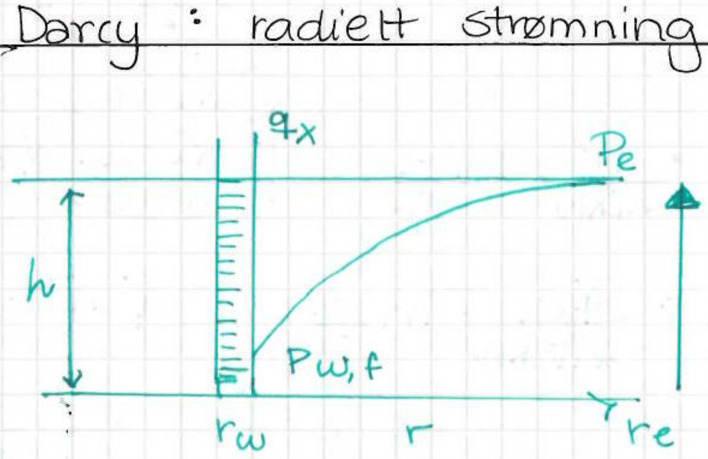
$$\Phi = P + \frac{\rho g z}{1{,}0133 \times 10^6}$$

∇ : del operatoren

$$\vec{u} = -\frac{k}{\mu} \Delta \Phi$$

$$= \frac{\partial}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial}{\partial z}\hat{k}$$

Darcy : radiell strømning :



$P_{w,f}$: brønn hulls trykket

r_e : radius ytre grense

r_w : radius brønn

Del 2- Magne

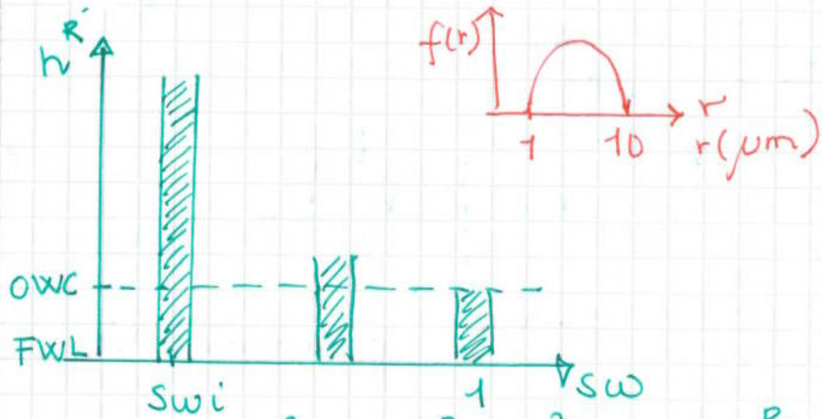
Seema Aryal

31/03
Magne

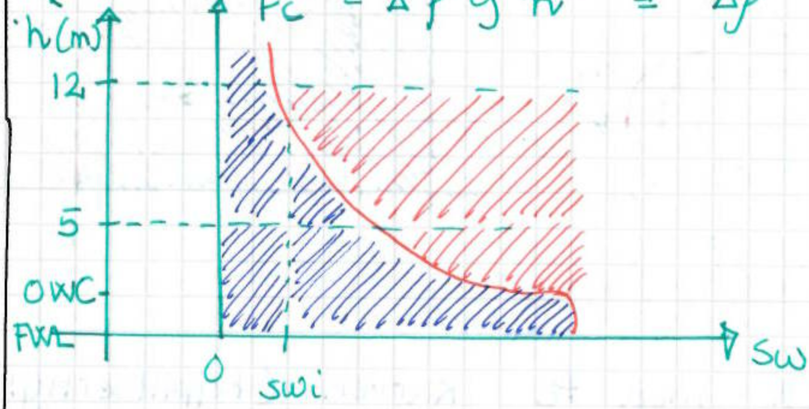
Homogent reservoar

ϕ , K konstant

$\theta \nearrow$ K, ϕ $\searrow$ w



$$P_c^R = \Delta\rho^R g \cdot h^R = \Delta\rho^R = \rho_w^R - \rho_o^R$$



$$P_c = \sigma\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

$$P_c \underset{def}{=} P_o - P_w$$

$$P_c = \frac{2\,\sigma\cos\theta}{r}$$

$$P_c = \Delta\rho g h$$

$$P_c \propto \sigma\cos\theta$$

$$\left.\frac{P_c^L}{P_c^R} = \frac{(\sigma\cos\theta)^L}{(\sigma\cos\theta)^R}\right\} P_c^R$$

$$P_c^R = P_c^L\,\frac{(\sigma\cos\theta)^R}{(\sigma\cos\theta)^L}$$

Vann modellering Sw(h) viktig:

- OOIP
- dynamiske beregninger f. eks. res sim.

$v^P = v^D \Rightarrow K = \frac{1}{8} \phi r^2$

Same set of lithofacies.

$$P_{C1} = \frac{2\sigma\cos\theta}{\bar{r}_1} j(S_w)$$

$$P_{C2} = \frac{2\sigma\cos\theta}{\bar{r}_2} j(S_w)$$

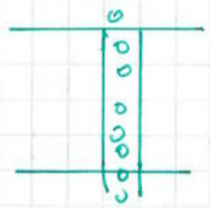
$$J(S_w)^* = \frac{P_{C1}\bar{r}_1}{2\sigma\cos\theta} = \frac{P_{C2}\bar{r}_2}{2\sigma\cos\theta} ; \quad J(S_w) = \frac{P_c}{\sigma\cos\theta}\sqrt{\frac{K}{\phi}}$$

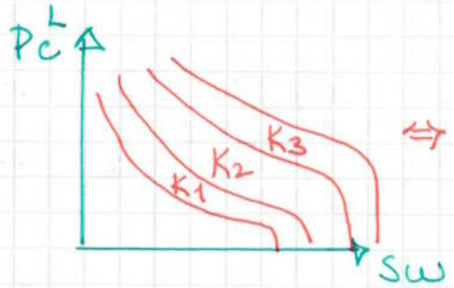
leveretts J-funksjon.

$$\frac{N/m^2}{N/m} = m$$

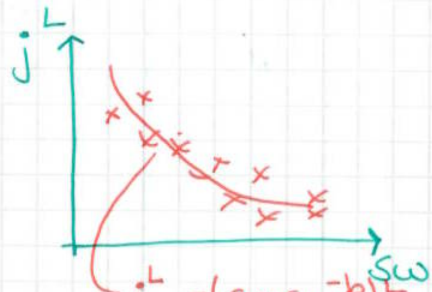
J funksjonen er dimensjonsløs.

(Konstanten: 2, $\sqrt{8}$ osv. tatt i J-funksjonen.





$\Leftrightarrow$



$$j^L = (a \times S_w^{-b})^L$$

J-funksjonen har begrenset gyldighet pga antagelsen av samme type avsetning.

$$j^L = (a \cdot S_w^{-b})^R = \left(\frac{P_c}{\sigma\cos\theta}\right)^R \times \sqrt{\frac{K}{\phi}}^R = \left(\frac{\Delta\rho g h}{\sigma\cos\theta}\right)^R \sqrt{\frac{K}{\phi}}^R$$

$$(a\, S_w^{-b})^R = \left(\frac{\Delta\rho g h}{\sigma\cos\theta}\right)^R \left(\sqrt{\frac{K}{\phi}}\right)^R$$

$$S_w = f\,(K/\phi, h)^R$$ vannmodellering

Relative permeabiliteter

En fase $q = \frac{K_e A}{\mu} \cdot \frac{dP}{dx}$

K_e: effektiv permeabilitet → absolutt permeabilitet i 1-fase

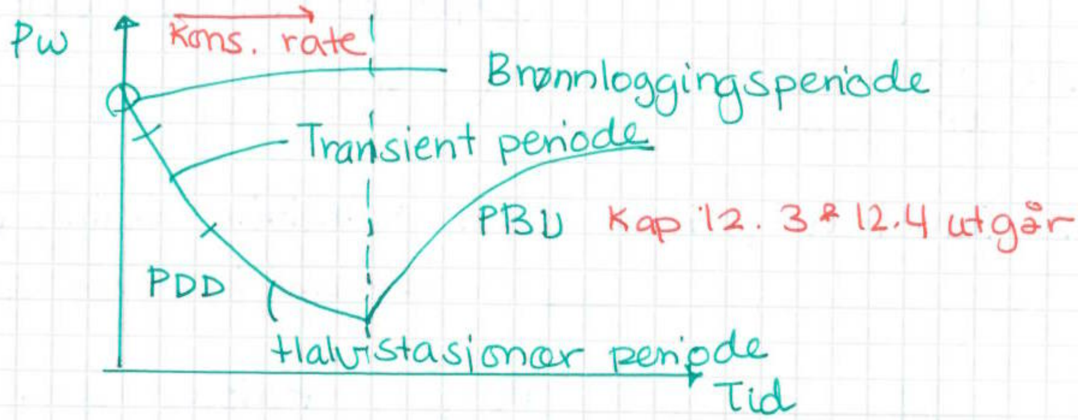
Swi : irredusibel vannmetning

Swc : corrnate (opprinnelig) vannmetning

Sor : residuel olje metning (Sorg : gass)

Soc : kritisk olje metning

Trykktesting



PDD : Pressure Draw Down

trykkfalls test

PBU : Pressure Build up

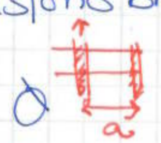
Trykk oppbyggningstest

Antagelser

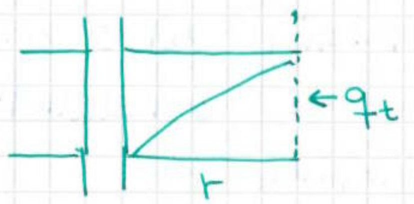
1. Oljereservoar
2. En fase ($P > P_b$)
3. Sylindrisk reservoar med brønn i sentrum 
4. Homogent reservoar k, ϕ konstant
5. Konstant rate
6. Neglisjerbar gravitasjons-ledd

7. Perforert gjennom hele reservoart

Andre scenarier

- Gassreservoar
- ulike reservoar geometrier 
- multirate
- delvis perforering
- flere brønner
- observasjons brønn
- Barrierer 
- Horisontale brønner

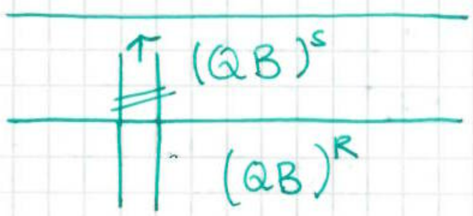
4. Stasjonær strøm (steady-state)



$P = P_e$ for $r = r_e$

$\frac{\partial P}{\partial t} = 0$ for alle r og t

<u>Brønnloggings periode</u>



Fluid ekspanderer når trykk avtar
Det tar derfor noe tid ($\sim$ 1 Time)

$(QB)^S = (QB)^R$

V_w : brønnens lagrerings kapasitet

C_f : fluid kompressibiletet

$C_f = -\frac{1}{V_w}\frac{\partial V_w}{\partial P}$ $\quad C_f = \frac{1}{V_w}\frac{\Delta V_w}{\Delta P}$

$(QB)^S = \frac{\Delta V_w}{\Delta t} \Rightarrow \Delta P = \frac{1}{V_w} \cdot \frac{(QB)^S \times t}{C_f} = \frac{(QB)^S \times t}{C_{ws}}$

B : volum faktoren

ΔP : $P_i - P_w(t)$ trykkfall i brønnen

t : tid fra strat

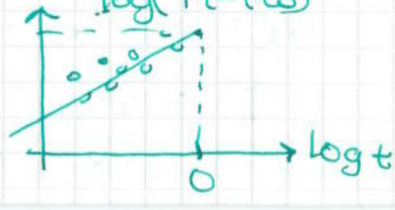
C_{ws} : brønn lagrings-konstanten.

$P_i - P_w(t) = \frac{(QB)^S}{24\,C_{ws}} \times t$

$[QB]$: Rm^3/day

$[t]$: timen

$\log(P_i - P_w) = \log t + \log \frac{(QB)^S}{24\,C_{ws}}$



$$\sum_{i=1}^{3} \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\rho \frac{\partial P}{\partial x_i}\right) = \frac{\phi\mu}{K} \frac{\partial \rho}{\partial t}$$ eliminerer ρ siden $\rho(P)$

Relasjon ρ vs. P

Vi har at $C = \frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dP}$ $\rho = \frac{m}{V}$

$$C = -\frac{\rho}{m} \frac{\partial (m/\rho)}{\partial P} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial P}$$

$$\rho = \rho_1 \cdot e^{c(P-P_1)}$$ 1: initiell tilstand

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} \ldots\ldots$$

$$\rho = \rho_1 (1 + c(P-P_1))$$ $c(P-P_1) \ll 1$ ok væsker!

$$\frac{\partial \rho}{\partial x_i} = \rho_1 C \frac{\partial P}{\partial x_i}, \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} = \rho_1 C \frac{\partial P}{\partial t}$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i}\left(\rho \cdot \frac{\partial P}{\partial x_i}\right) = \frac{1}{\rho_1 C} \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\rho \frac{\partial \rho}{\partial x_i}\right) = \frac{1}{\rho_1 C \cdot 2} \frac{\partial^2}{\partial x_i^2}(\rho^2)$$

$$\frac{\partial(\rho^2)}{\partial x_i} = 2 \cdot \rho\left(\frac{\partial \rho}{\partial x_i}\right)$$

4/4/14 Magne

Massebevaring → Kontinuitetsligning → Linealisering → Diffusiontetsligning → løsning

$$\nabla\left(\rho \frac{K}{\mu} \nabla \Phi\right) = \frac{\partial}{\partial t}(\phi \cdot \rho)$$

$$\sum_{i=1}^{3} \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\rho \frac{\partial P}{\partial x}\right) = \frac{\phi\mu}{K} \frac{\partial \rho}{\partial t}$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i}\left(\rho \frac{\partial P}{\partial x_i}\right) = \frac{1}{\rho_1 C \cdot 2} \frac{\partial^2}{\partial x_i^2}(\rho^2) = \frac{1}{\rho C \cdot 2} \cdot 2 \rho_1^2 c \frac{\partial^2 P}{\partial x_i^2}$$

$$= \frac{\partial^2 P}{\partial x_i^2} \rho_1 \ *$$

$$\left(\rho^2 = \rho_1^2 e^{2c(P-P_1)} = \rho_1^2 (1 + 2c(P-P_1)) \ldots 2 \cdot c \rho_1^2 P\right)$$

Boltzmann transformasjon

Formål i overføre den partielle diff. ligning til en ordinær diff. ligning.

Innførere en ny variabel

$$y = \frac{\phi \mu c r^2}{4kt}$$

$$\frac{\partial}{\partial r} \Rightarrow \frac{\partial y}{\partial r}\frac{\partial}{\partial y} \qquad \left(\text{chain rule: } \frac{dz}{dr} = \frac{dz}{dy}\cdot\frac{dy}{dr}\right)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \Rightarrow \frac{\partial y}{\partial t}\frac{\partial}{\partial y}$$

$$\frac{\partial}{\partial r} = \frac{\phi \mu c r}{2kt}\cdot\frac{\partial}{\partial y}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} = -\frac{\phi \mu c r^2}{4kt^2}\frac{\partial}{\partial y}$$

Insatt får vi

$$\frac{1}{r}\frac{\phi \mu c r}{2kt}\frac{\partial}{\partial y}\left(r\frac{\phi \mu c r}{2kt}\frac{\partial P}{\partial y}\right) = \frac{\phi \mu c}{k}\left(-\frac{\phi \mu c r^2}{4kt^2}\frac{\partial P}{\partial y}\right)$$

$$\frac{\partial}{\partial y}\left(y\frac{\partial P}{\partial y}\right) = -y\frac{\partial P}{\partial y}$$

$$\boxed{y\frac{d^2P}{\partial y^2} + \frac{dP}{dy}(1+y) = 0}$$

Grensebetingelsen

#1. $\lim_{r\to\infty} P(r,t) = P_i \Rightarrow \lim_{y\to\infty} P(y) = P_i$

#2. $\lim_{r\to 0}\left(r\frac{\partial P}{\partial r}\right) = \frac{q\cdot\mu}{2\pi kh} = \lim_{y\to 0}\left(2y\frac{dP}{dy}\right) = \frac{q\cdot\mu}{2\pi\cdot kh}$

notat: $\frac{\partial}{\partial r} = \frac{\phi \mu c r}{2kt}\frac{\partial}{\partial y} \Rightarrow r\frac{\partial P}{\partial r} = \underbrace{\frac{\phi \mu c r^2}{2kt}}_{=2y}\frac{\partial P}{\partial y}$

For $y \ll 0{,}01$ kan en bruke tilnærmelsen

$$e_i(y) \simeq -\ln(\gamma \cdot y) \qquad \gamma = e^{0{,}572} = 1{,}781$$

↳ eulers konstant.

Vaneligvis måles brønntrykket i brønnen, $r = r_w$

$$r = r_w = y_w = \frac{\phi \mu c r_w^2}{4kt} \ll 0{,}01$$

etter noen sekunder

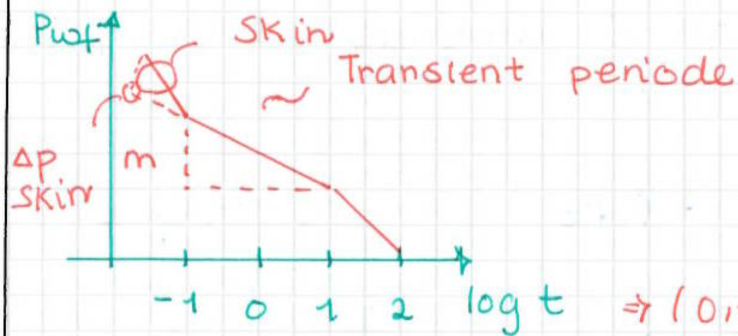
med ln tilnærmelse:

$$P(r_w, t) = P_{wf} = P_i - \frac{q \mu_o^R}{4\pi k h} \ln\left(\frac{4kt}{\gamma \phi \mu_o^R c_o r_w^2}\right)$$

[Darcy]↑

wf = well flowing

P_{wf} = strømmende bunnhullstrykk



⇒ (0,1 1 time 10 timer)

$$P_{wf} = P_i - \frac{162{,}6\, Q_o B_o \mu_o^R}{kh}\left[\log\left(\frac{kt}{\phi \mu c r_w^2}\right) - 3{,}23 + 0{,}87S\right] \cdot \Delta P_{skin} = S \frac{q\mu}{2\pi kh}$$

S : skin dvs. ekstra trykk pga skadet brønn

En ser at $m = \frac{162{,}6\, Q \mu \cdot B}{k \cdot h}$ (psi/dekade)

Dersom en velger $t = 1$ time og løser for S fås:

$$S = 1{,}15\left[\frac{P_i - P_{1time}}{m} - \log\frac{k}{\phi \mu c r_w^2} + 3{,}23\right]$$

$$WOR = \frac{\frac{q_w}{B_w}}{\frac{q_o}{B_o}} = \frac{q_w B_o}{q_o \cdot B_w} = \frac{\cancel{q_t} \cdot f_w \cdot B_o}{\cancel{q_t}(1-f_w) B_w} \; *$$

$$* \; q_w = q_t \cdot f_w \quad \text{og} \quad q_o = q_t (1-f_w)$$

$$WOR = \frac{f_w \cdot B_o}{(1-f_w) B_w} \Rightarrow f_w = \frac{WOR \; B_w}{WOR \cdot B_w + B_o}$$

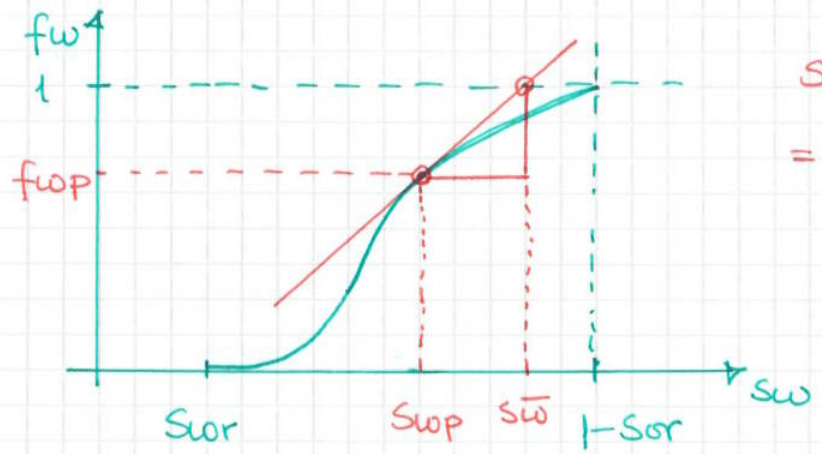
Exempel

$q_t = q_{inj}$ $\qquad f_w = f(S_w)$

$q_{inj} = q_{prod}$

Lineært reservoar, A = konstant, (f_{wp} gitt)

Produksjon til gitt WOR. Beregn N_p - produksjon olje og produksjonstid.



Stigningstall $= \dfrac{1 - f_{wp}}{\bar{S_w} - S_{wp}}$

Produsert olje: $N_p = \dfrac{\phi A L (\bar{S_w} - S_{wr})}{B_o}$

S_{wr} gitt, $\bar{S_w}$ finner fra stigningstallet til grafen.

Finner produksjonstid:

$L = t \cdot v_{swp} \Rightarrow t = \dfrac{L}{v_{swp}}$

B-L hastigheten til S_{wp}

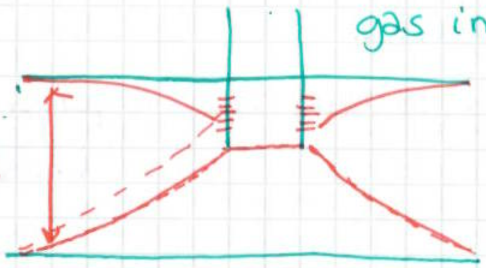
$$v_{swp} = \frac{q_t \cdot t}{\phi A}\left(\frac{d f_w}{d s_w}\right)_{swp}$$

$$t = \frac{\phi A L}{q_t}\left(\frac{\bar{s_w} - S_{wp}}{1 - f_{wp}}\right)$$

7/04
(TINA)

KONING

- trykkpotensial
- Gass koning
- Vann koning
- Simultan gass/vann koning
- koning i horisontale brønn.



Produksjon av vann : kostbart :
- oljeproduksjon avtar
- krever energi til å løfte vann ut av brønner
  $\rho_w > \rho_o$
- separere vann og olje
- vannrensing før utslipp

Produksjon av gass :
- lavere verdi enn olje
- olje produksjon avtar
- reduserer drivkraft for oljeproduksjon.

* Reduserer produksjonsraten
* Reperforere brønnen

→ tendensen til koning øker hvis:
- flømningsraten / produksjonsraten øker
- avstanden mellom perforeringene og OWC/GOC avtar

- vertikal permeabilitet øker.
- tetthetsforskjeller mellom olje-vann og gass-olje avtar.

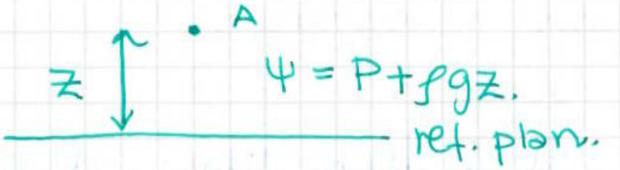
Trykk potensialer

Fluider strømmer fra høyt til lavt trykkpotensial.
Like trykkpotensial mellom to punkt, ingen strøm mellom punktene.

Def. Ψ Definert iforhold til referanse plan/ datum plan

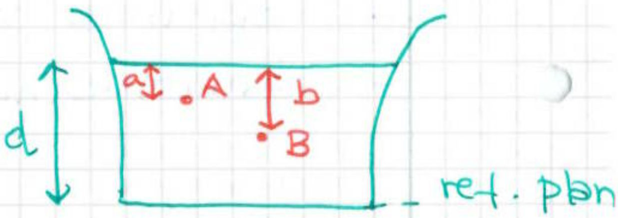
$$\Psi = P + \rho g z$$

$P =$ trykk
$\rho =$ tetthet
$g = 9{,}81\ m/s^2$
$z =$ høyde over ref. planet



Eksempel

Et kar fylt med vann
væsken er i ro. Hvor er
trykk potensialet størst?



trykkene i A og B:

A : $P_a = \rho g a$

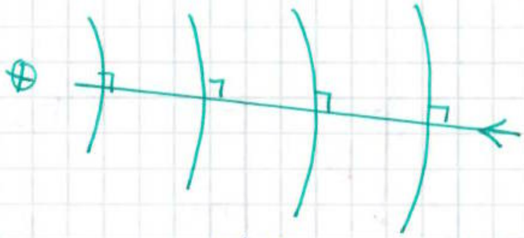
B : $P_b = \rho g b$

$$\Psi_a = P_a + \rho g (d-a) = \cancel{\rho g a} + \rho g d - \cancel{\rho g a} = \rho g d$$

$$\Psi_b = P_b + \rho g (d-b) = \cancel{\rho g b} + \rho g d - \cancel{\rho g b} = \rho g d$$

Trykk potensial i a er lik b. Ingen strøm, fordi væsken er i ro.

Generelt i et homogent reservoar (samme mineral egenskaper, lik permeabilitet i alle retning)



Trykk potensialene inngår Darcys lov for fluidstrøm i x-retning : $q_x = -\frac{KA}{\mu} \frac{d\Psi}{dx}$

eller for radielt strøm : $q = \frac{-KA}{\mu} \frac{d\Psi}{dr}$

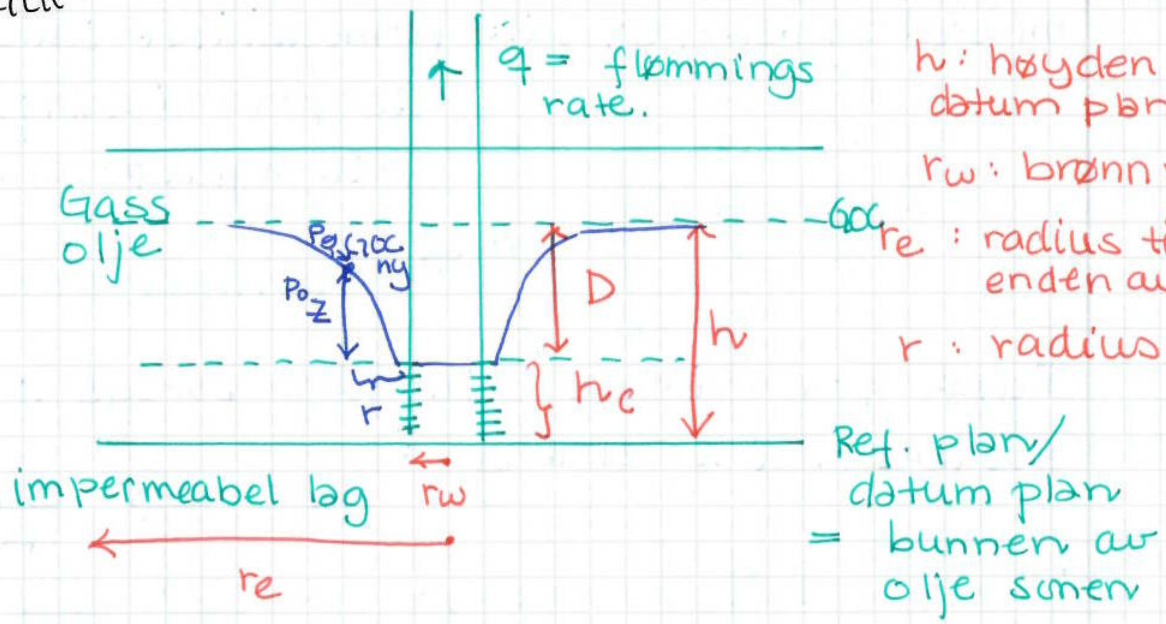
Gass Koning

Problemet : Gitt et horizontalt, sirkulært reservoar med gass kappe over oljesonen. Hva er max flømmerate, $q_{o\,max}$, en kan produsere ved uten at en får gassprod. ved "steady state" ?

Steady state - simultant konstant trykk og konstant flømmingsrate. i reservoaret brønn,

- Har dette ved trykk støtte, fra gassekappe driv eller vanndriv.
- Gass eller vann injeksjon.

Gitt:



h: høyden mellom datum plan og GOC

r_w: brønn radius

r_e: radius til enden av reser.

r: radius

D: høyden mellom topp av per. intervall og opprinnelig GOC.

h_c: perforerings intervallet. $= h - D$

$q_{o,max}$ uten produksjon av gass.

Antar gass er etablert konen beveger seg ikke

gitt, r_e, r_w, h, D, ρ_o, ρ_g, μ_o, K

Helt åpen brønn i perf. intervallet

=> ingen skin effekt, Skin faktoren $S = 0$.

Skin: Sone rundt brønnen med redusert eller økt permeabilitet, red. pga. formasjons ødellegelser eller inntregning av mudfitrat. Økt perm. brønn stimulering

Variabler: r og z

Finne $q_{o,max}$. Bruker Darcys lov

finner trykk potensialer.

Trykk potensialet ved GOC ved høyde z over ref. planet

$$\Psi_o = P_o + g\rho_o z$$
$$\Psi_g = P_g + g\rho_g z$$

Neglisjerer kapillærtrykket):

$P_c = P_g - P_o \approx 0 \Rightarrow P_o \approx P_g$

skarpt skille mellom fasene): ingen transisjonssone.

$$\Psi_o = P_g + g \cdot \rho_o z = \Psi_g - g\rho_g z + g\rho_o z$$
$$= \Psi_g + gz(\rho_o - \rho_g)$$

ser på strøm i z-retning:

Ψ_g er konstant ; ingen gass strøm i z ret.

$\frac{\delta \Psi_g}{\delta z} = 0$ Gassen er i ro.

* $\frac{\partial \Psi_o}{\partial z} = g(\rho_o - \rho_g)$ oljen må ha strømning komponent i z retning

Antar at Darcy's lov gjelder for oljestrømm inn mot brønnen.

Kjerneregel

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

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

$$q_o \frac{dr}{r} = -2\pi \frac{k_o}{\mu_o} g(\rho_o - \rho_g) z \ \delta z$$

differensial ligningen i Darcy enheter!

$$10^{-2}\frac{m}{s} = \frac{K}{10^{-3}\,Pa\cdot s}\cdot\frac{101328\,Pa}{m} \Rightarrow K = 0,987\times10^{-12}\,m^2$$

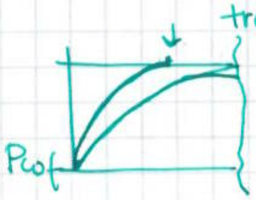
$$\underline{\underline{K = 0,987\,\mu m^2}} = 0,987\times10^{-12}\,m^2$$

Trykkfallstesting

$$P_{wf} = P_i + \frac{0,8}{4\pi K h}\left[\ln\left(\frac{\gamma\,\phi\,\mu\,C\,r_w^2}{4Kt}\right) - 2S\right]$$

[Darcy enheter]

transient periode.



$\log x = 0,4343 \ln x$,

$\gamma = e^{0,5772}$ ← éulers konstant

$= 1,781$

$$P_{wf}: \frac{KPa\cdot 1\,psi\cdot 1\,atm}{6,895\,KPa\cdot 14,696\,psi} = 0,987\times10^{-2}$$

P_i : ——— " ———

$$\frac{(QB)}{4\pi Kh}: \frac{Rm^3\cdot10^6\,Rcm^3\,(1d)\cdot 1m\,\cancel{100\,cm}\,0,987\,\mu m^2}{d\cdot4\pi\cdot1\cdot Rm^3\,(24\cdot3600)\cdot m\cdot100\,cm\,(\mu m)^2\cdot 1D}\quad QB: Sm^3/d\cdot\frac{Rm^3}{Sm^3}$$

$$= 9,09\times10^{-3}$$

$$\frac{Pa\cdot s\,\frac{1}{Pa}\cdot m^2}{m^2\cdot s}$$

$$\ln\left(\frac{\gamma}{4}\cdot\frac{a}{t}\right) = \frac{1}{0,4343}\left[\log\frac{\gamma}{4} + \log\frac{a}{t}\right] \quad a = \frac{\phi\,\mu\cdot c\,r_w^2}{K}$$

$\log \frac{a}{t} = -\log \frac{t}{a} = -\left[\log t + \log \frac{1}{a}\right]$ $\quad \frac{1}{a} = \frac{K}{\Phi \mu c\, r_w^2}$

$\ln(\ ) = \frac{1}{0{,}4343}\left[-\log \frac{\gamma}{4} + \log(3600 \times t) + \log \frac{K \cdot 10^{-6}}{\Phi \mu c r_w^2}\right]$

timer

$K : (\mu m)^2 = 10^{-12}\, m^2$

$\mu : mPa \cdot s = 10^{-3}\, Pa \cdot s$

$c : (kPa)^{-1} = \frac{1}{10^3\, Pa}$

$r_w : m^2$

$= -\frac{1}{0{,}4343}\left[\underbrace{0{,}3514 + 3{,}556 - 6}_{-2{,}092} + \log t + \log \frac{K}{\Phi \mu c r_w^2}\right]$

$\left[\ln\left(\frac{\gamma \cdot \Phi \mu \cdot c \cdot r_w^2}{4K \cdot t}\right) - 2S\right]$

$= -\frac{1}{0{,}4343}\left[\log t + \log \frac{K}{\Phi \mu c \cdot r_w^2} - 2{,}092 + 2 \cdot 0{,}4343 \cdot S\right]$

$P_{wf} = P_i - 2{,}1206 \frac{(QB) \cdot \mu}{Kh}\left[\log t + \log \frac{K}{\Phi \mu c r_w^2} - 2{,}092 + 0{,}8686\, S\right]$

$m = 2{,}1206 \cdot \frac{QB \cdot \mu}{Kh}$

$\Rightarrow k = \frac{2{,}1206 \cdot 238 \cdot 1{,}2 \cdot 10}{4 \cdot 10 \cdot 6{,}1} = 0{,}243 (\mu m)^2$

$k = \frac{0{,}242 (\mu m)^2 \cdot 1D}{0{,}987 (\mu m)^2} = 0{,}245\, D$

Magne del. 1

fra side 38. på hoved notat

83.

14/02 permobilitet

→ betyr penetrering
→ Bestemmer produksjonsrate

Darcy's lov

$$\boxed{K = \frac{k \cdot \rho}{\mu}}$$

K: permobilitet
ρ: tetthet
μ: viskositet

permobilitet er uavhengig av væske type.

Fluid potensial

→ betyr muligheter
→ energi pr. masse enhet

Arbeid = $W = mgz$

Potensial : $\phi = gz$

Må også ta hensyn til trykk.

Definsion : arbeid for å flytte et fulid

$W_p = m \cdot \frac{P}{\rho}$ (trykk arbeidet)

symbol (Φ) for fluid potensial

vaske vil alltid strømme fra høyt til lavt strømming.

Darcy's lov med fulid potensial

$$q = A \frac{K \rho}{\mu} \frac{d\Phi}{dL}$$

fluidpotensialet er uavhengig av orientering av sandpakken.

Darcy's enhet

enhet til K: $q = 1\ cm^3/s$

$\Delta P = 1\ atm$

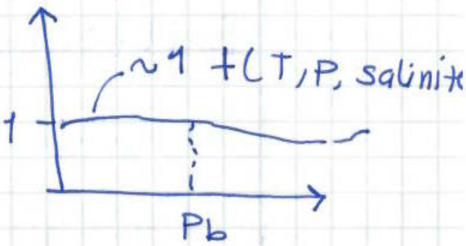
$\mu = 1\ mPas$

omregning til SI $K = 0.987 \times 10^{-12}\ m^2$

24/02 **Volumfaktoren oppsummering**

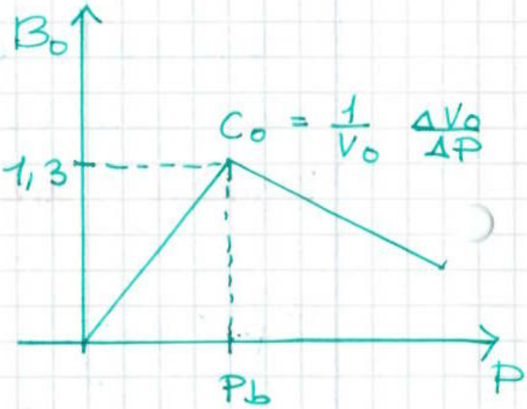
Volumfaktoren: B_w, B_o, B_g, R_s, GOR

$$B_w = \frac{V_w^R}{V_w^S} = \frac{Rm^3}{Sm^3} = \frac{rb}{stb}$$



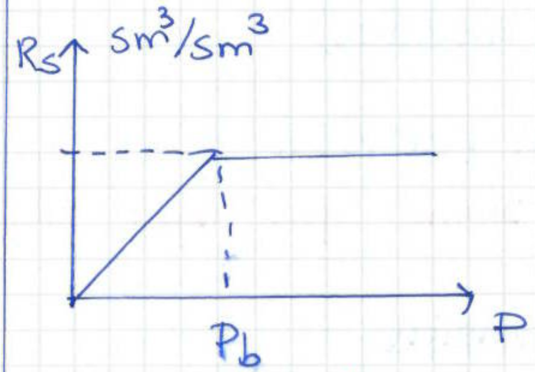
$$B_o = \frac{(V_o + V_{dg})^R}{V_o^S} = \frac{Rm^3}{Sm^3} \cdot \frac{rb}{stb}$$

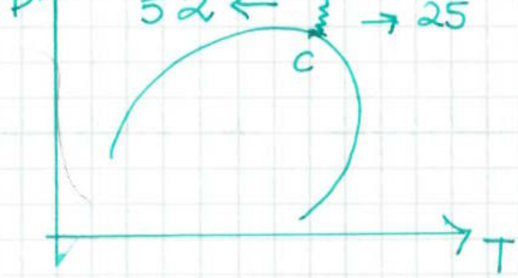
$$R_s = \frac{V_{dg}^S}{V_o^S} \cdot \frac{Sm^3}{Sm^3} \cdot \frac{scf}{stb}$$



scf : standard kubikk fot

stb : standard barallel



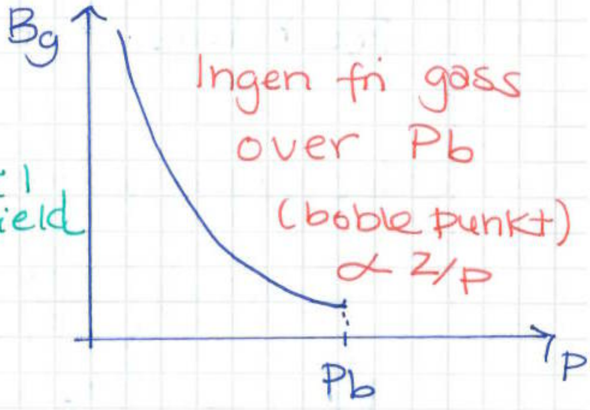


Black oil

$R_s < 250\ Sm^3/Sm^3$

max % C_{10} > 18%

$$B_g = \frac{V_g^R}{V_g^S} \quad \frac{Rm^3}{Sm^3} \quad \frac{rb}{scf}$$



$$B_g = \frac{(Z\cdot T)^R}{P^R}\cdot\left(\frac{P}{T}\right)^S\cdot\frac{1}{5{,}615} \quad \text{oil field}$$

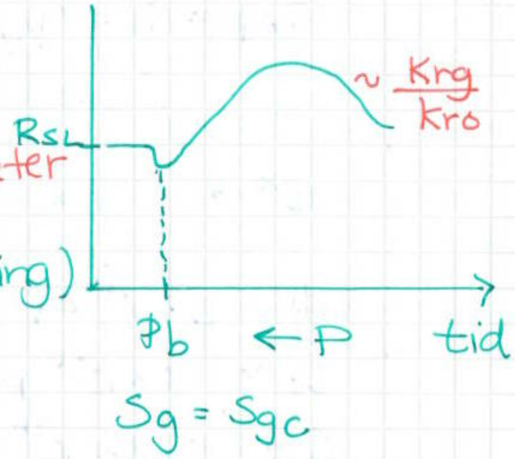
$$C_g = \frac{1}{P} - \frac{1}{Z}\left(\frac{dZ}{dP}\right)_T$$

$C_g \sim 100 \times C_o$

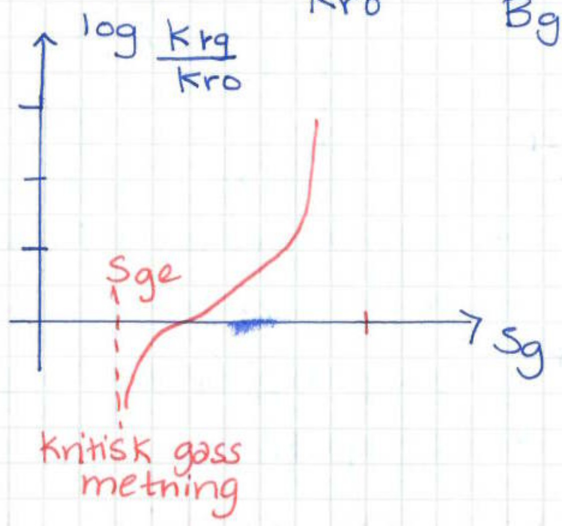
$$R = GOR = \frac{Q_g^S}{Q_o^S} \cdot \frac{Sm^3}{sm^3} \quad \frac{scf}{stb}$$

$\frac{Q_g}{Q_o}$: gassrater over olje rater

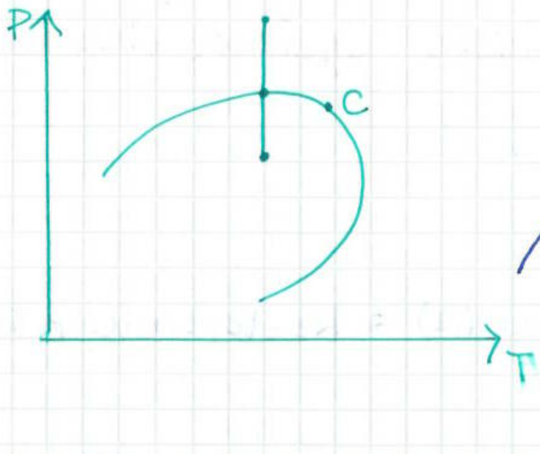
$S_g = S_{gc}$ (kritisk gass metning)

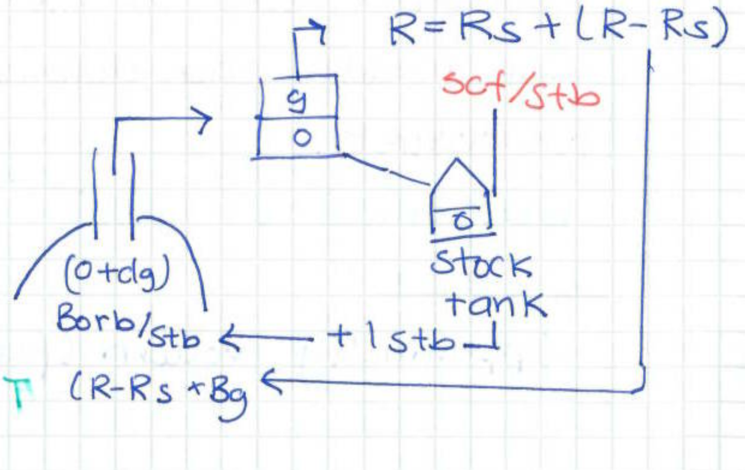


$$R = R_s + \frac{k_{rg}}{k_{ro}} \cdot \frac{B_o \cdot \mu_o}{B_g \cdot \mu_g}$$



k_{rg}/k_{ro} : relativ permabilite til olje og gass.
Viser hvor lett oljen strømmer.





$R_s + 1\,stb = B_o\,rb$ (som består av (o + dg) i reservoaret).

Kompressibilitet

$$C = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T$$

$$\int_{P_1}^{P_2} c \cdot dP = \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \ln \frac{V_1}{V_2}$$

$$C\Delta p = \ln V_1/V_2 \qquad (c = \text{konstant})$$

$$V = V^i e^{c\Delta p}$$

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} \ldots \qquad c\Delta p << 1$$

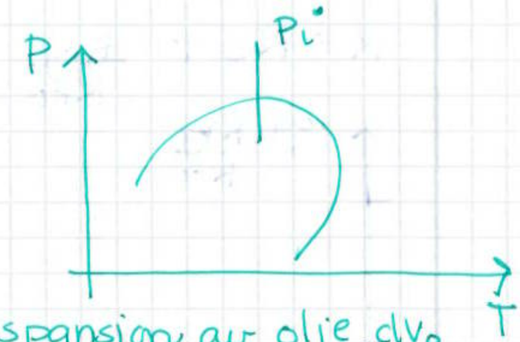
$$dV = c \cdot V^i \Delta p \qquad o, w, V_p \text{ (pore volum)}$$

$C_o \sim 8 \times 10^{-6}\ psc^{-1}$

$C_w \sim 3 \times 10^{-6}\ psc^{-1}$

$C_f \sim 8 \times 10^{-6}\ psc^{-1}$

$C_g \sim 500 \times 10^{-6}\ psc^{-1}$



Materialbalanse

$$dV_{tot} = dV_o + dV_w + dV_g + dV_p$$

- ekspansjon av olje dV_o
- ekspansjon av vann dV_w
- ekspansjon av gass dV_g
- Kompaksjon V_p dV_p

Generelt betrakter reservoaret som en tank uten variasjon med høyde eller bredde. Ingen dynamiske effekter (ingen strøm i reservoaret).

Bokholderi av fluid

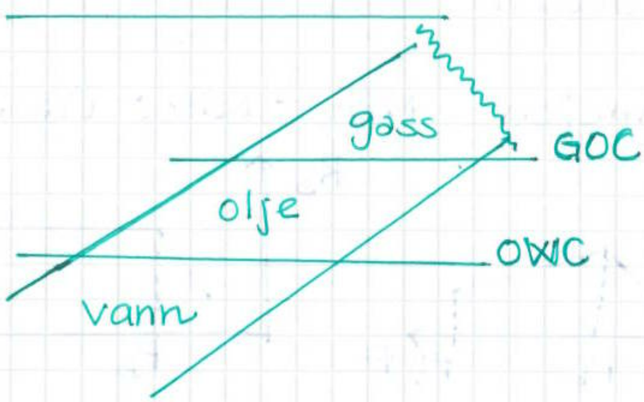
Ligning:

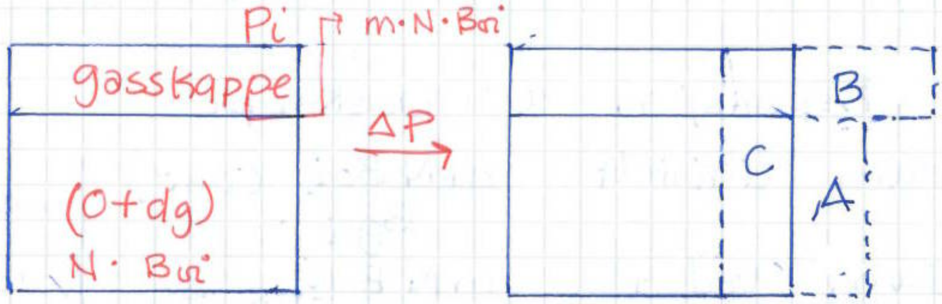
Opprinnelig volum (fluid) = Resterende + Produsert

Anvendelsen

* Estimere utvinningsgrad
* Bebufte anslag OOIP, OGIP (original oil in place, oil gas in place)
* Identifisere driomekanismen.

MB for oljereservoar (m/gasskappe)





Ligning: S_{wc} = opprinnelig vannmetning

Produksjon (Rm^3) = Ekspansjon av (o+dg)(Rm^3) (A) + Ekspansjon av gasskappe (Rm^3) (B) + Reduksjon av HCPV (hydrocarbon pore volume) pga. eksp. av vann (S_{wc}) og kompaksjon av bergart (C)

N : SOOIP(Sm^3) standard original oil in place (Sm^3)

$N = V_b \cdot \varphi (1 - S_{wc}) / B_{oi}$

$m \overset{def}{=} \frac{V_g^i}{V_o^i}$

HC volum i oljesonen : $N \cdot B_{oi}$

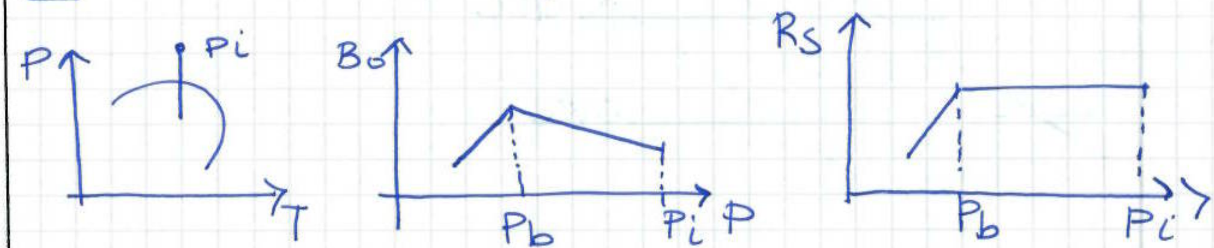
– " — gassonen : $m \cdot N \cdot B_{oi}$

N_p : kummulativt produsert oljevolum (Sm^3)

G_p : — " — gassvolum (sm^3, scf)

$R_p \overset{def}{=} \frac{G_P}{N_P}$ Kumulativ gass-olje forhold

A : Væske ekspansjon $NB_o - NB_{oi}$ (Rm^3)



Ekspansjon av frigjortgass : $N(R_{si} - R_s)B_g$

B Ekspansjon av gasskappe

- volum initielt $\frac{mNB_{oi}}{B_{gi}}$ (sm^3)
- volum ved P $\frac{mNB_{oi}}{B_{gi}} \times B_g$

} ekspansjon*

$* \ \frac{mNB_{oi}}{B_{gi}} B_g - mNB_{oi} = mNB_{oi}\left[\frac{B_g}{B_{gi}} - 1\right]$ (Rm

Reduksjon av HCPV :

$C = -\frac{1}{V}\frac{\Delta V}{\Delta P}$

- ekspansjon av vann : $C_w \cdot V_w^i \Delta P$
- reduksjon av porevolum $C_f V_p^i \Delta P$

} red. av HCPV

Total reduksjon : $(C_w V_w + C_f V_p)\Delta P$

$V_p = (NB_{oi} + mNB_{oi}) / (1 - S_{we})$

$(V_o + V_g)$ $\quad S_o + S_g = (1 - S_{we})$

$V_p = \frac{V_o}{S_o}$: $V_o = \underline{S_o} \times V_p$

$S_o + S_g = 1 - S_{wc}$

$\underbrace{S_o + S_g}$ $+ S_{wc} = 1$

$S_o + S_g = 1 - S_{wc}$

$V_w = V_p \times S_{wc}$

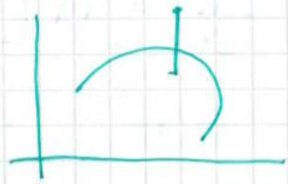
C

$(1+m) N B_{oi} \left[\frac{C_w S_{wc} + C_f}{1 - S_{wc}} \right] \Delta p \ (Rm^3)$

D Produksjon i Rm^3

$N_p B_o + N_p (\underbrace{R_p - R_s}_{\text{frigass}}) B_g$ $R_p = \frac{G_p}{N_p}$

$N_p [B_o + (R_p - R_s) \cdot B_g]$



$N_p \cdot R_p = G_p$ totalt gass

$N_p \cdot R_s$ = frigjort gass (løsningsgass)

Kombinasjon $D = A + B + C$

$N_p [B_o + (R_p - R_s) B_g] + W_p \cdot B_w = N B_{oi} \left[\frac{(B_o - B_{oi}) + (R_{si} - R_s}{B_g} + m \left[\frac{B_g}{B_{gi}} - 1 \right] \right] + (1+m) \left[\frac{C_w \cdot S_w + C_f}{1 - S_{wc}} \right] \cdot \frac{B_{oi}}{\Delta p} + W_e B_w$

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

$E_o = (B_o - B_{oi}) + (R_{si} - R_s) B_g$ ekspansjon av olje og oppløst gass (Rm^3/sm^3)

$E_g = B_{oi} \left(\frac{B_g}{B_{gi}} - 1 \right)$ ekspansjon av gasskappe (Rm^3/sm^3)

$$E_{f,w} = (1+m) B_{oi} \left[\frac{C_w S_{wc} + C_f}{1 - S_{wc}} \right] \Delta p$$

ekspansjon av connate vann og komp. av V_p (Rm^3/sm^3)

MB

$$F = N \left[E_o + m \cdot E_g + E_{f,w} \right] + \underbrace{W_e B_w}_{(W_e + W_i) \cdot B_w + G_i B_g}$$

For å gjøre lig. komplett.

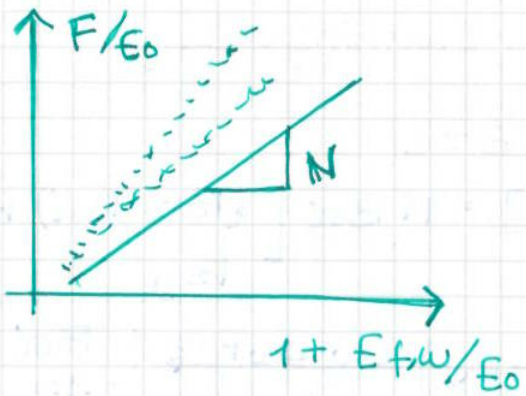
W_i = kummulativ injisert vann
G_i = —— " —— gass

Eksempel

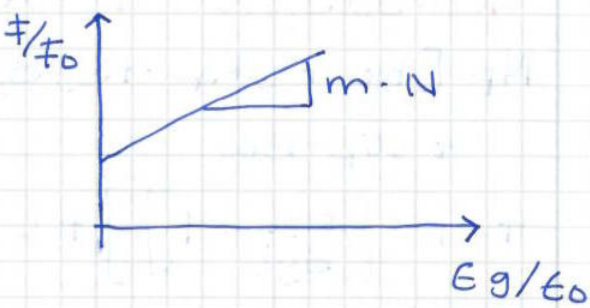
oljerervoar $W_e = W_p = 0$

$$\frac{F}{E_o} = N \left[1 + \frac{E_{f,w}}{E_o} + m \frac{E_g}{E_o} \right]$$

$m=0$ $\quad \frac{F}{E_o} = N \left(1 + \frac{E_{f,w}}{E_o} \right) \quad y = N \cdot x$



$$F/E_o = N + mN \, E_g/E_o$$

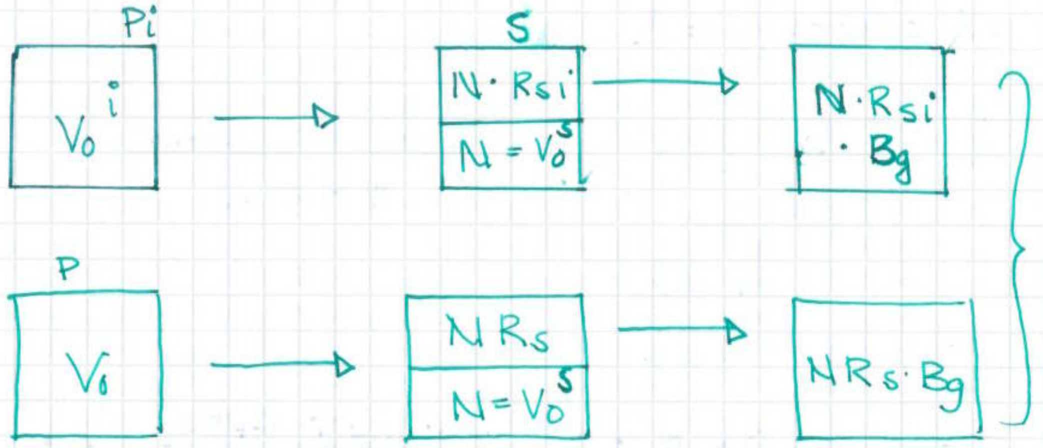


28/02

A

ekspansjon av væske — ekspansjon av frigjort gass.

$$\left.\begin{array}{l} NB_{oi} \\ NB_o \end{array}\right\} \quad N(B_o - B_{oi}) \quad \& \quad N(R_{si} - R_s) \cdot B_g$$



Differansen gir oss gassen som er frigjort:

$$N R_{si} B_g - N R_s B_g = N(R_{si} - R_s) B_g$$

ekspansjon av frigjort gass.

B Ekspansjon av gasskappe

- volum initielt $\frac{m N B_{oi}}{B_{gi}} \cdot Sm^3$
- volum gass ved P $\frac{m N B_{oi}}{B_{gi}} \cdot B_g$

Ekspansjon:

$$\frac{m N B_{oi}}{B_{gi}} \cdot B_g - m N B_{oi} = \overbrace{m N B_{oi} \left[\frac{B_g}{B_{gi}} - 1 \right]}^{Rm^3}$$

C Reduksjon av HCPV

$$C = -\frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta P}$$

$$\left.\begin{array}{l} \text{- ekspansjon av vann} \quad C_w V_w^i \Delta P \\ \text{- reduksjon av porevolum} \quad C_f V_p^i \Delta P \end{array}\right\} \text{red. av HCPV}$$

Total reduksjon: $(C_w V_w^i + C_f V_p) \Delta P$

Metninger

$S_o = \frac{V_o}{V_p}$ $\quad S_g = \frac{V_g}{V_p}$ $\quad S_w = \frac{V_w}{V_p}$ $\quad S_{wc} = 0{,}20$

$S_o + S_w + S_g = 1$

$$V_p = \frac{V_o + V_g}{1 - S_{wc}} = \frac{N B_{oi} + m N B_{oi}}{1 - S_{wc}}$$

↳ målt

$V_w = V_p \times S_{wc}$

$$C = (1+m) N B_{oi} \left[\frac{c_w \cdot S_w + c_f}{1 - S_{wc}} \right] \Delta P \;\; Rm^3$$

$D = A + B + C$ (produksjonen) $F = N[E_o + mE_g + E_{f,w}]$

F: produks ledd; E_g: eks. av gass; E_o: eks. av olje + gass; $E_{f,w}$: eks. av vann + kom. av Vp

D

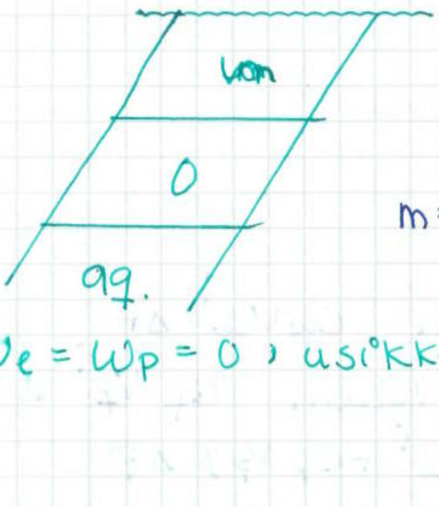
$$N_p \cdot B_o + G_p \cdot B_g - N_p \cdot R_s \cdot B_g = N_p[B_o + (R_p - R_s) B_g]$$

$N_p \cdot R_p = G_p$

$G_p \cdot B_g$: volum av gass ved P

En del av gassen går inni oljen som løst gass $\Rightarrow N_p \cdot R_s \cdot B_g$

eksempel

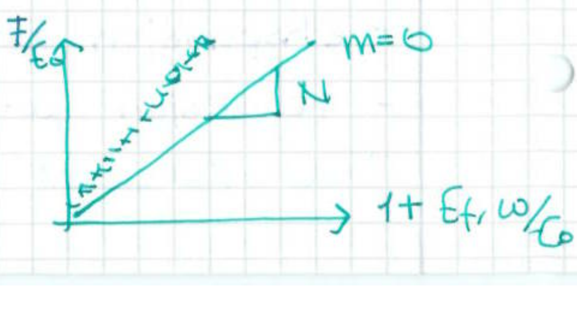


99.

$W_e = W_p = 0$, usikker Vm

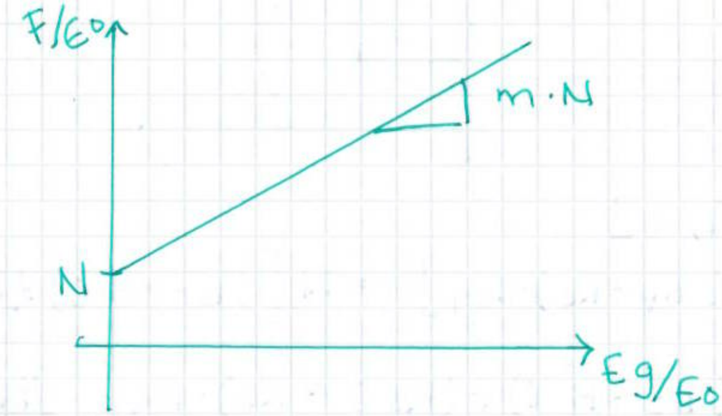
$$\frac{F}{E_o} = N\left[1 + \frac{E_{fw}}{E_o} + m\frac{E_r}{E_o}\right]$$

$$m = 0 \Rightarrow \frac{F}{E_o} = N\left[1 + \frac{E_{f,w}}{E_o}\right]$$

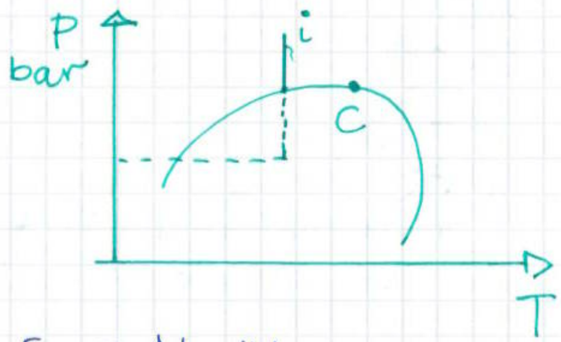


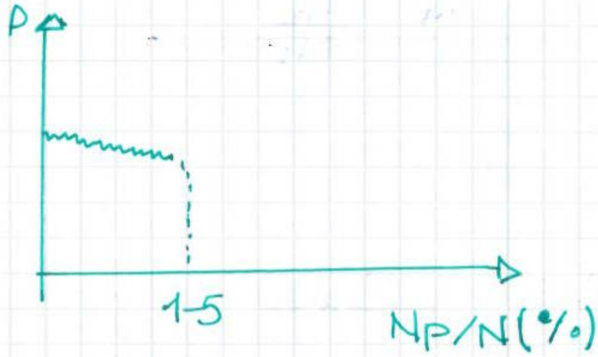
$F = N\,[E_o + m \cdot E_g]$

$F/E_o = N + mN\,E_g/E_o$



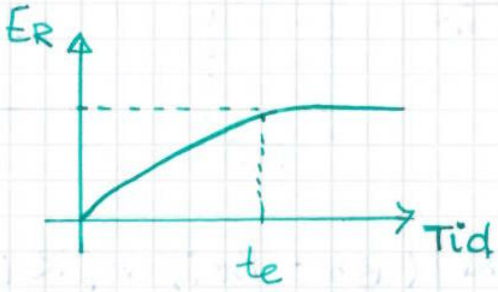
excercise: expansion over P_b. (bubble point)





$E_R = N_p/N$

EUR = Expected ultimate recovery



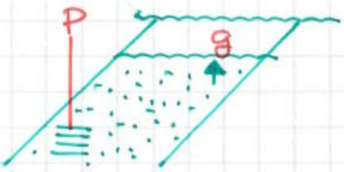
$F = N\,[E_o + E_{f,w}] = N_p$

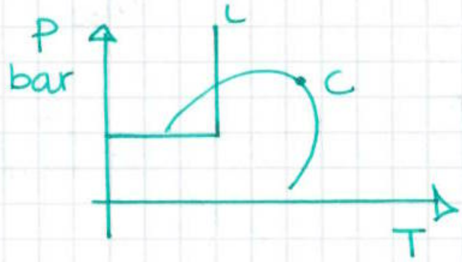
* $\Rightarrow \frac{N_p}{N} = [B_{ob} - B_{oi}] - B_{oi}\frac{c_f + c_w}{1 - S_{wc}}$

* $\frac{N_p}{N} = [B_{ob} - B_{oi}] - B_{oi}\frac{c_f + c_w \cdot S_{wc}}{1 - S_{wc}}$ $\Delta p = 2{,}53\%$

~1,1% 1,43%

Excercise - solution gass drive

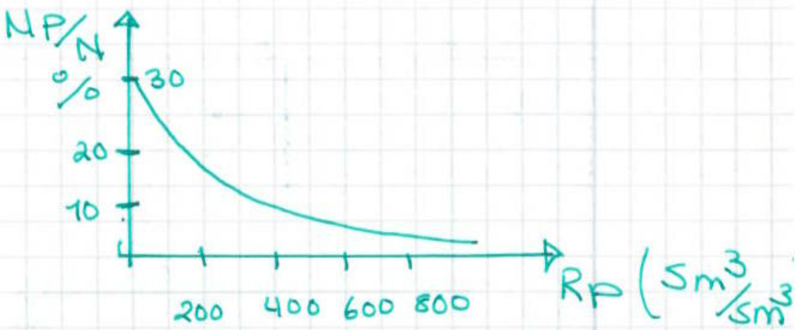




$$F = N\,[E_o + E_{f,w}]$$
$$= N_p\,[B_o + (R_p - R_s)\cdot B_g] = N\,[(B_o - B_{oi}) + (R_{si} - R_s)\cdot B_g]$$

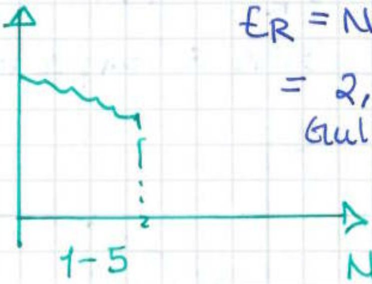
$$\left|\frac{N_p}{N}\right|_{101\,bar} = \frac{(B_o - B_{oi}) + (R_{si} - R_s)\cdot B_g}{B_o + (R_p - R_s)\cdot B_g} = \frac{44{,}64}{R_p + 65{,}7}$$

$$R_p = \frac{G_p}{N_p}$$



03.03 $P > P_b$

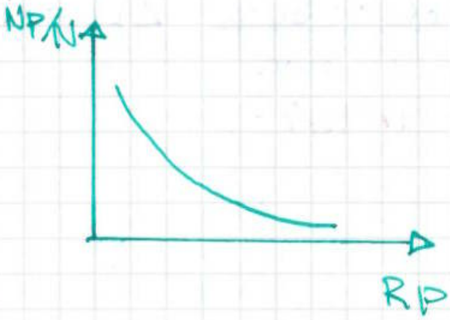
$$N\,[E_o + E_{fN}] = N_p \cdot B_{ob}$$
$$Sm^3 \quad \frac{Rm^3}{Sm^3} \quad \frac{Rm^3}{Sm^3} \quad Sm^3 \quad \frac{Rm^3}{Sm^3}$$



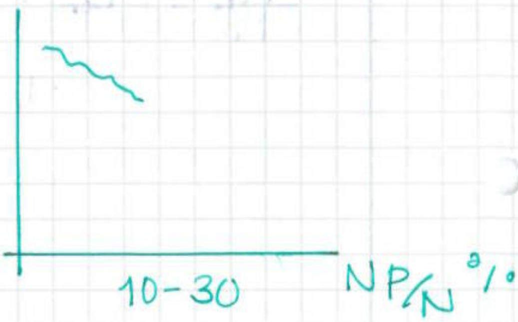
$E_R = N_p/N$
$= 2{,}06\,\%$
Gullfaks

$P < P_b$

$$N_p\,(B_o + (R_p - R_s)\,B_g = N\,[(B_o - B_{oi}) + (R_{si} - R_s)\cdot B_g]$$

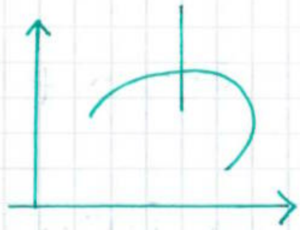


$$R_p = \frac{G_p}{N_p}$$



metninger

A



$m = 0$

(a) $P > P_b$

$$S_o = 1 - S_{wc} \quad , \quad S_g = 0$$

$$S_o = V_o / V_p = \frac{V_p - V_w}{V_p}$$

$$V_p = V_{pi}\,(1 - c_f\,|\Delta P|)$$

$$V_w = V_{wi}\,(1 - c_w\,|\Delta P|)$$

$$S_o = 1 - \frac{S_{wc}\,(1 + c_w\,|\Delta P|)}{(1 - c_f\,|\Delta P|)}$$

Gullfaks :

$c_w = 4{,}33 \times 10^{-5}$ /bar

$c_f = 1{,}24 \times 10^{-4}$ /bar

$\Delta P = 69$ bar

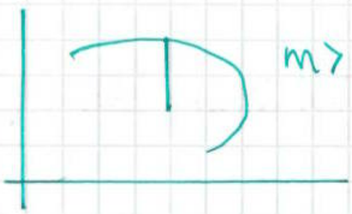
$$S_o = 1 - \frac{S_{wc} \times 1{,}003}{0{,}9914} = \underline{\underline{1 - S_{wc}}}$$

b) $P < P_b$

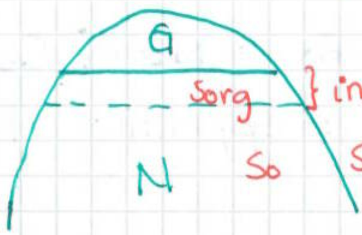
$$S_o = \frac{V_o}{V_p} = \frac{(N - N_p)\,B_o}{\dfrac{N\,B_{oi}}{1 - S_{wc}}} \rightarrow \frac{V_{oi}^{\,R}}{S_{oi}^{\,R}}$$

$$S_g = 1 - S_{wc} - S_o$$

B



$m > 0$



} invadent sone,

Sorg : Residuel oljemetning etter gass flømming

S_o: olje metning i oljesone

$$S_o = \frac{\text{Rest volum olje (totalt)} - S_{org} \times \text{porevolum inv. sone}}{\text{Pore volum (totalt)} - \text{Porevolum inv. sone}}$$

Porevolum invadert sone: $\frac{V_g - V_{gi}}{S_g}$

V_{gi}: volum av gassen initielt

V_g: ekspansjon av gassen

S_g: metning av porevolum

$V_g = \underline{(m \cdot N \cdot B_{oi} / B_{gi}) \cdot B_g}$

$V_{gi} = (m \cdot N \cdot B_{oi} / B_{gi}) B_{gi}$

Porevolum totalt:

$\frac{V_{oi}}{S_{oi}} = \frac{N \cdot B_{oi}}{1 - S_{wc}} = V_p$

S_{oi}: metning i oljen initielt

S_{wc}: vannmetning

V_p: porevolum

Restvolum olje: $(N - N_p) B_o$

Definisjon på metningene og volumparameterne må huskes til eksamen!

<u>Oppgave</u>

Vis at MB for umettet reservoar

$$N_p B_o = N B_{oi} \left[\frac{B_o - B_{oi}}{B_{oi}} + \frac{C_w \cdot S_{wc} + \rho_f}{1 - S_{wc}} \Delta p \right]$$

kom

$N_p B_o = N B_{oi} C_e \Delta P$

C_e: effektiv kompressibilitet $\underline{\underline{\text{def}}}$ $\frac{(C_o S_o + C_w S_w + \rho_f)}{1 - S_{wc}}$

Def : $C_o = -\frac{1}{V_o}\left(\frac{\partial V_o}{\partial P}\right)_T$: $V_o^R = V_o^S \cdot B_o$

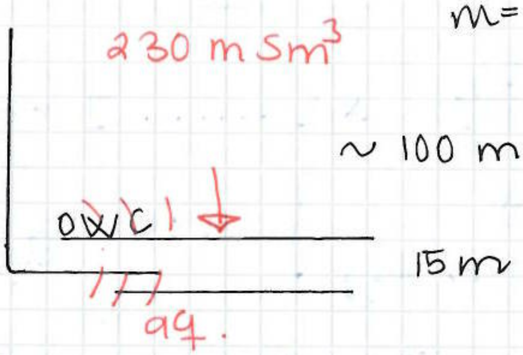
$$\frac{\partial V_o^R}{\partial P} = V_o^s \frac{\partial B_o}{\partial P} \Rightarrow C_o = \frac{-V_o^2}{V_{oR}} \frac{\partial B_o}{\partial P} = -\frac{1}{B_o}\frac{\partial B_o}{\partial P}$$

$$= \frac{B_o - B_{oi}}{B_{oi}} \quad (C_o = \text{konstant})$$

Vi setter dette inn og får:

$$N_p B_o = N B_{oi} \underbrace{\left[\frac{C_o S_o}{1-S_{wc}} + \frac{C_w S_{wc} + C_f}{1-S_{wc}}\right]}_{C_e} \Delta P \qquad C_o = \text{kons.}$$

Oppgave



m = 5. 250 mSm³ ?

elefanten : > 100 mSm³

mellom store : 20 – 10 "

småfelt : < 20 "

25 mSm³ 25 × R_s

= 2500 Sm³ gass

Sm³ olje ekvivalent

= Sm³ olje + $\frac{1}{1000}$ Sm³ gass = 27,5 M Sm³ o.e

$F = N[E_o + mE_g + E_{f,w}]$ $m \gg 1$

$F = N \cdot m \cdot E_g$

$N_p B_o = N m B_{oi}\left[\frac{B_g}{B_{gi}} - 1\right]$ $C_g \approx -\frac{1}{B_{gi}}\frac{\Delta B_g}{\Delta P}$

$N_p \cdot B_o = C_g \cdot m \cdot N \cdot B_{oi}\, \Delta P$ C_g : konstant

$\frac{N_p}{N} = \frac{B_{oi}}{B_o} C_g\, m\, \Delta P \approx$ $C_g = \frac{1}{P} - \frac{1}{Z}\left(\frac{\partial Z}{\partial P}\right)_T$

$4\,38 \times 10^{-6} \cdot 5 \cdot 200 \approx \underline{0,4}$

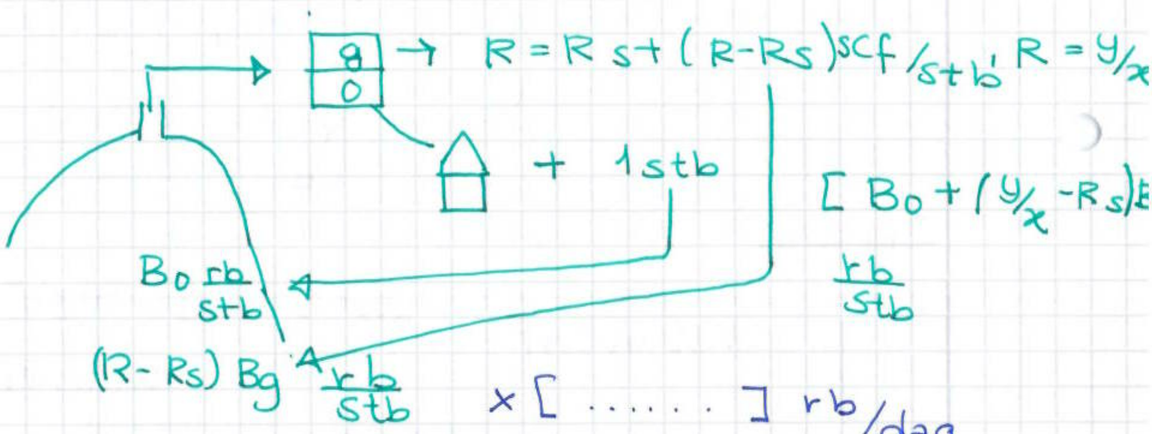
40 % utvinnings grad.

oppgave

x standard barrel olje / dag , y scf / day

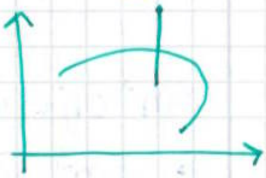
$$x\left[\left(\frac{y}{x}\cdot R_s\right)\cdot B_g + B_o\right]\frac{rb}{dag} \quad *$$

rb: reservoar barrell



$*$ x = 2500 stb/dag
y = $2{,}125 \times 10^6$ scf/dag } 4842 $\frac{rb}{dag}$

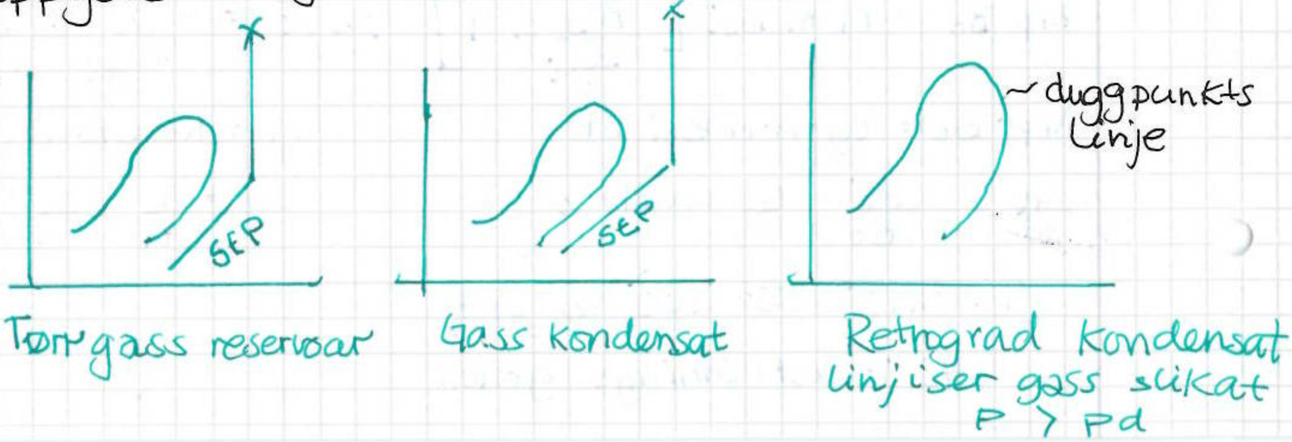
4842 $\frac{rb}{dag}$ vann 2500 $\frac{stb}{dag}$



Over Pb

2967 $\frac{rb}{dag}$

Øving n 8
Oppgave 2 } studere



Rule of thumb :

1. Ikke produser gasskappen før oljen
2. Start vann injeksjon før $P < P_b$.

Gassmat bal :

G: gass tilstedeværende OGIP Sm^3

Gp: gass produsert Sm^3

Gass : gjenværende : $\frac{V_p \times S_g}{B_g}$

$$\frac{G_p}{G} = 1 - \frac{B_{gi}}{B_g} \qquad PV = z\,m\,R\,T$$

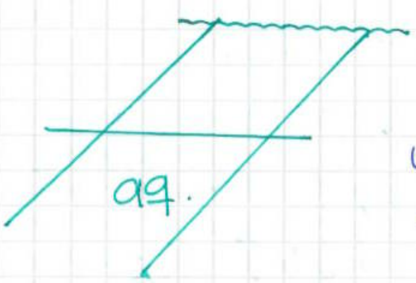
$$B_g = \frac{Z^R \cdot m \cdot R \cdot T^R \; P^S}{P^R \; Z^S \; m\,R\,T^S}, \quad \frac{B_{gi}}{B_g} = \frac{Z_i / P_i}{Z / P}$$

$$\frac{G_p}{G} = 1 - \frac{Z_i/P_i}{Z/P} \approx 1 - \frac{P}{P_i} = \underline{\underline{0{,}7}}$$

Troll : $P_i = 2400$ psi

$P = 700$ psi nedstegningstrykket

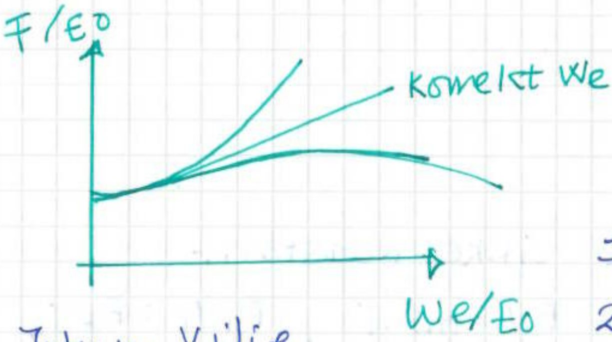
Naturlig vanndriv



$m = 0$

$F = N E_o + W_e B_w$

We : kummulativ vann i flux (sm^3)



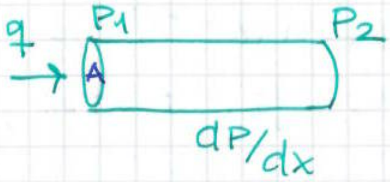
$dV_{aq} = (c_w + c_f)\, V_{aq}^i\, \Delta P$

To problemer :

1. Geometrisk form på aquifen
2. Tidsavhengighet på influx.

Jotun Vilje
24 msm^3

Permeabilitet (K):



Darcy lov lin. horizontal strøm

$$q_x = \frac{-K\cdot A}{\mu}\cdot\frac{dP}{dx} \quad (dP\cdot mg)$$

For inkompressibilitet fluid
og konstant q_x

$$q_x = \left[K\cdot A/\mu\right]\left[\frac{\Delta P}{L}\right]$$

Darcy enheten:

q_x : Darcy rate cm^3/s

K : permeabilitet (D)

μ : viskositet (cp)

ΔP : trykkfall (atm)

L : lengde (cm)

Darcy konst: $u_x = \frac{q_x}{A}$

Sann konst. $v_x = \frac{u_x}{\phi}$

1D: Perm. (K) når $\mu = 1\,cp$

$L = 1\,cm$ $\Delta P = 1\,atm$ $u_x = 1\,cm/s$

Dim analyse: $1D = 0{,}9869\times10^{-12}\,m^2$

$1\,D = 1\,(\mu m)^2$ $\mu = 10^{-6}$

$1\mu m$ = 1 poredim.

Gass

Kompressibel, q_x ikke konstant

Antar: Ideel gass $PV = mRT$, $P_1V_1 = P_2V_2$

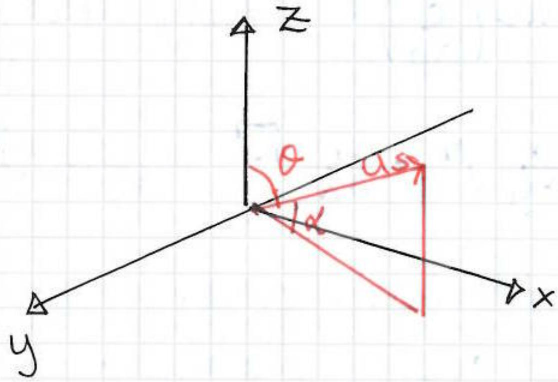
Konstant masserate

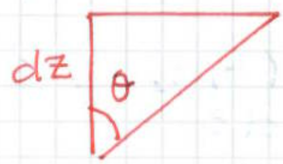
$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow (\rho, V)$ konstant

Da fås $\bar{q}_x = \frac{K \cdot A}{\mu} \frac{\Delta P}{L}$ $\quad \bar{q}_x = \frac{1}{2}(P_1 + P_2)$

(s. 71 lærebok)

Darcy i 3-D





$\cos\theta = \frac{dz}{ds}$

$\Rightarrow \sin\alpha$

$$u_s = -\frac{k}{\mu}\left[\frac{dP}{ds} + \frac{\rho \cdot g}{1{,}0133 \times 10^6} \frac{dz}{ds}\right]$$

Strømnings potensial

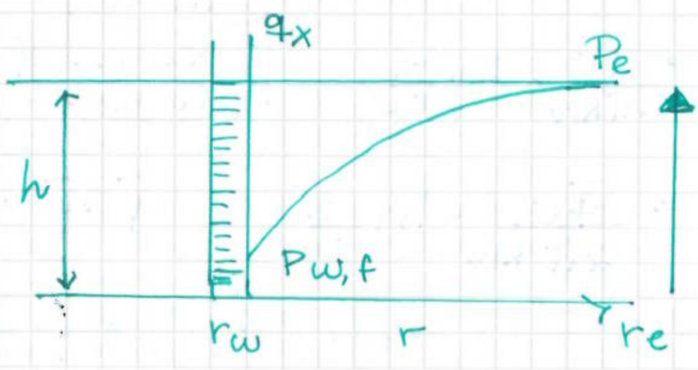
$$\Phi = P + \frac{\rho g z}{1{,}0133 \times 10^6}$$

∇ : del operatoren

$$\vec{u} = -\frac{k}{\mu} \Delta \Phi$$

$$= \frac{\partial}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial}{\partial z}\hat{k}$$

Darcy : radielt strømning :



$P_{w,f}$: brønn hulls trykket

r_e : radius ytre grense

r_w : radius brønn

$[\rho g h]: \frac{kg \cdot m \cdot m}{m^3 \cdot s^2} = \frac{kg}{m \cdot s^2}$

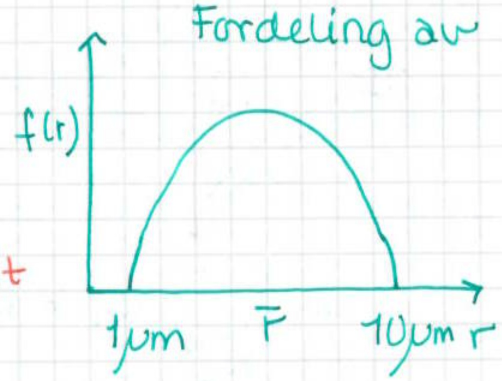
$P_c = \rho_o - \rho_w = \Delta\rho g h \quad , \Delta\rho = \rho_w - \rho_o$

Kapillær trykks kurven

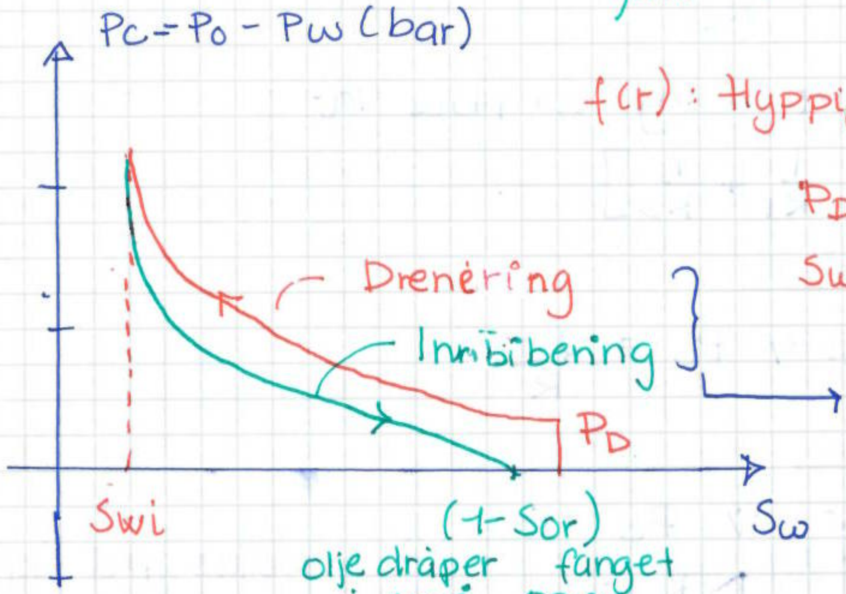
1. olje $\rightarrow$ Vann $S_w = 1$

Sterkt vannfukt

Fordeling av porestørrelse



f(r): Hyppighet / frekvens



P_D: Terskeltrykk

Swi: irredusibel vann metning

Hysterse (ikke reversibel)

Innbibening

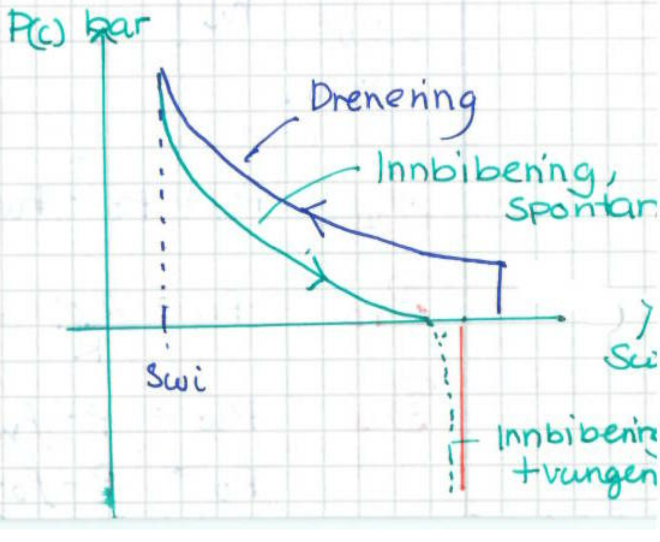
Fuktende fase øker

Drenering

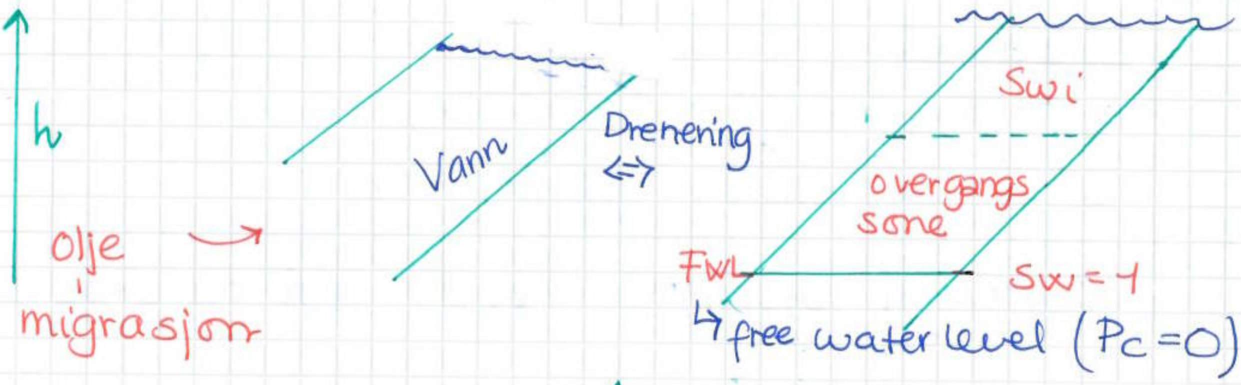
Fuktende fase avtar

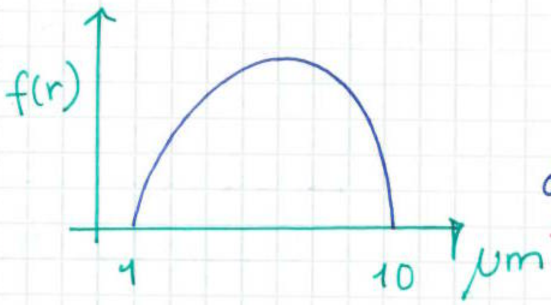
Sor: Residuell oljemetning

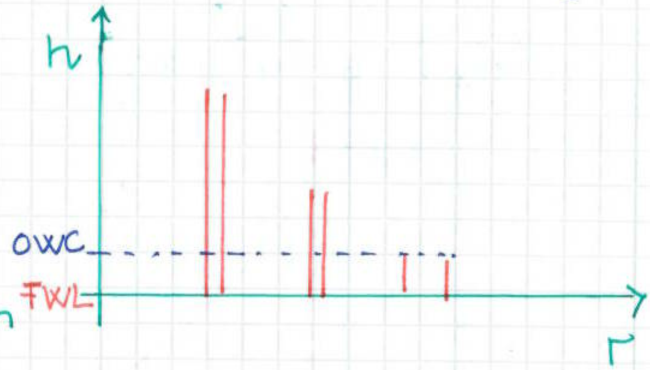
2. Mixed wet

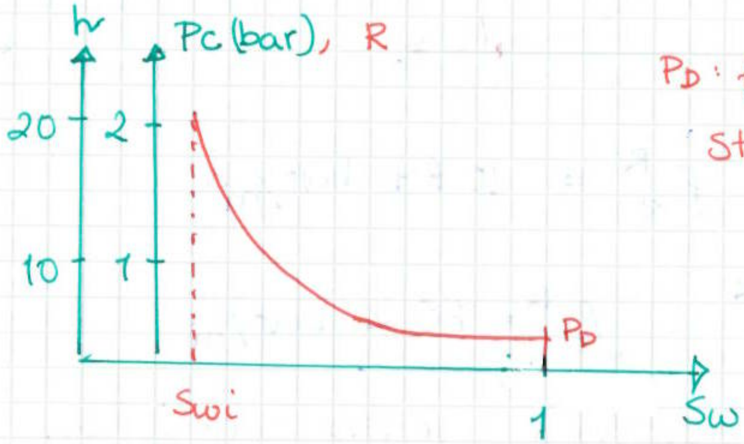


Homogent reservoar









P_D: for å trenge inn i de største porene

$P_c^{Lab} / P_c^{Reservoar}$

$$P_c \propto \sigma \cdot \cos\theta$$

$$\frac{P_c^{L}}{(\sigma \cos\theta)^{L}} = \frac{P_c^{R}}{(\sigma \cos\theta)^{R}}$$ for et gitt pore system

L: luft/vann $(\sigma \cos\theta)^{L} \sim 72$ dyn/cm

R: olje/vann $(\sigma \cos\theta)^{R} \sim 26$ dyn/cm

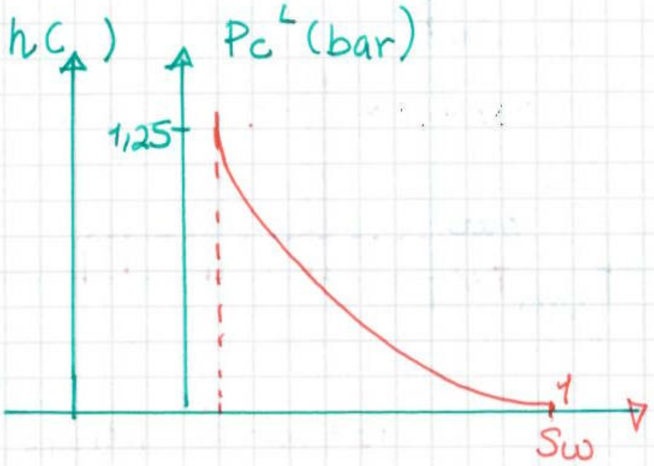
$$Pc^R = Pc^L \frac{(\sigma \cos\theta)^R}{(\sigma \cos\theta)^L}$$

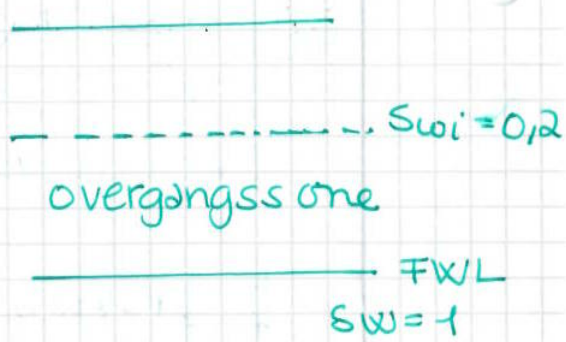
Eksempel

σ^L (luft-vann) : 0,070 N/m

σ^R (olje-vann) : 0,022 N/m

Ønsker å bestemme høyde på overgangssone





$$h^R = \frac{Pc^R}{(\Delta\rho g)^R} \qquad \rho_w^R = 1074 \text{ bar}/m^3$$

$$Pc^R = Pc^L \frac{\sigma^R}{\sigma^L} \qquad \rho_o^R = 752 \text{ bar}/m^3$$

Samme fukt preferanse i lab som i Res.

$$h^R = \frac{\sigma^R}{\sigma^L} = \frac{Pc^L}{\Delta\rho g} = \underline{\underline{12,5 m}}$$

Sw(h) : vann modellering

- OOIP initielle metninger

Del 2- Magne

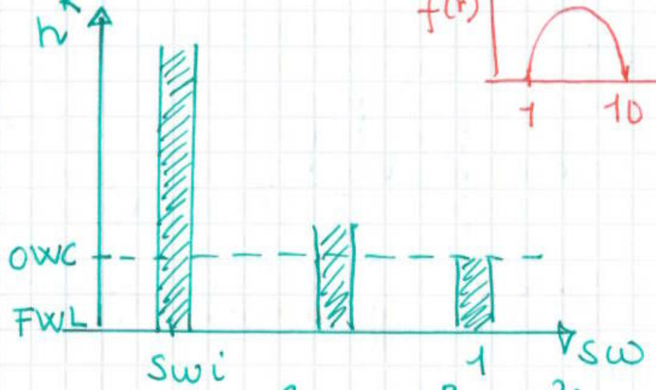
Seema Arya

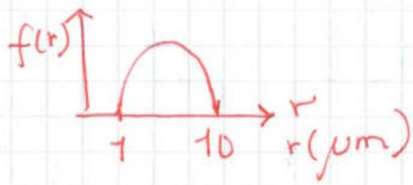
31/03 Magne

Homogent reservoar

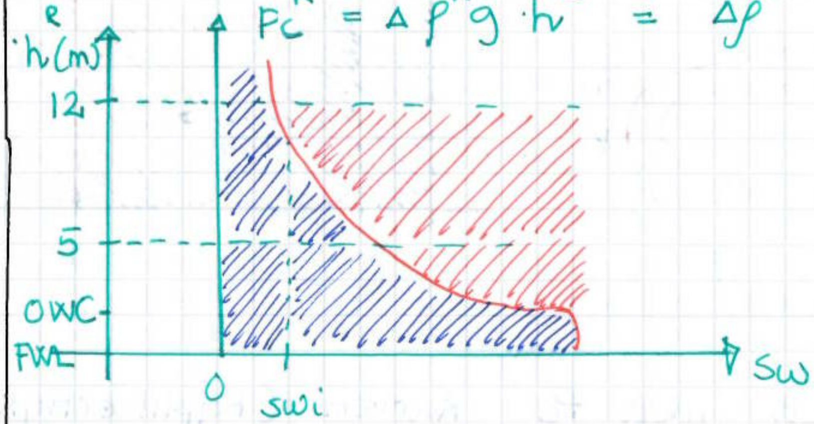
φ, K konstant

$\sigma \nearrow$ K, $\varphi \searrow$ w





$Pc^R = \Delta\rho^R g \cdot h^R = \Delta\rho^R = \rho_w^R - \rho_o^R$



$$Pc = \sigma\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

$$Pc \underset{\text{def}}{=} P_o - P_w$$

$$Pc = \frac{2\sigma\cos\theta}{r}$$

$$Pc = \Delta\rho g h$$

$Pc \; \phi \; \sigma\cos\theta$

$$\left.\frac{Pc^L}{Pc^R} = \frac{(\sigma\cos\theta)^L}{(\sigma\cos\theta)^R}\right\} Pc^R$$

$$Pc^R = Pc^L \frac{(\sigma\cos\theta)^R}{(\sigma\cos\theta)^L}$$

Vann modellering Sw(h) viktig:
- OOIP
- dynamiske beregninger f. eks. res sim.

Hetrogent reservoar:

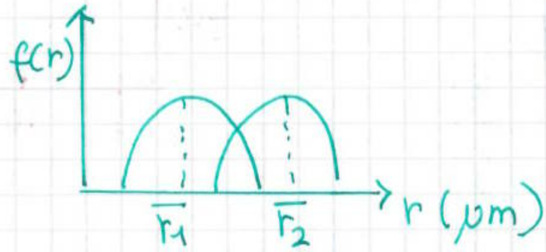
ϕ, K varierer

Kutt < 15%

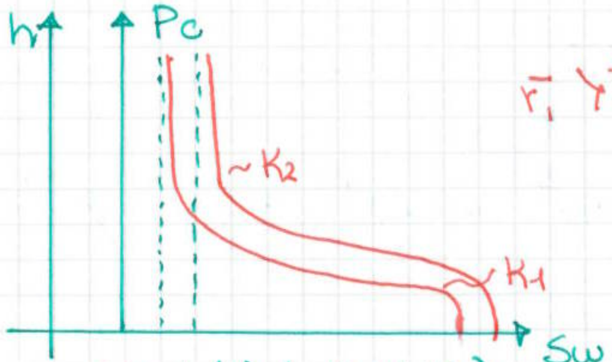
ϕ ~ 15 − 30 %

K ~ 10 mD − 10 D

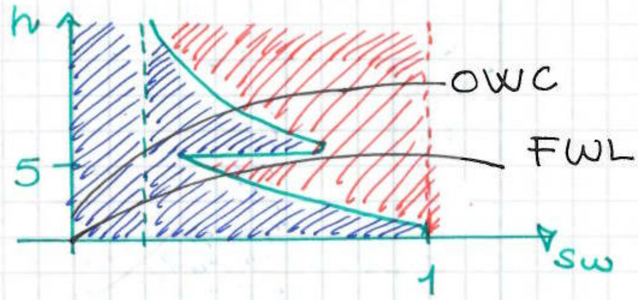
Kutt < 10mD



$\bar{r}_1 > \bar{r}_2$ gjennomsnittlig poreradius

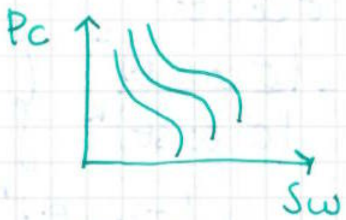


$S_{wi}(1) < S_{wi}(2)$



Vann modellering h(Sw)

1. Flere sett med Pc kurven (kapillærtrykk)



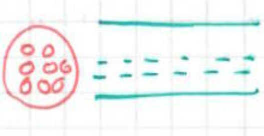
K ~ 100 − 200 mD

K ~ 200 − 300 mD

2. Samle funksjon $J(S_w)$

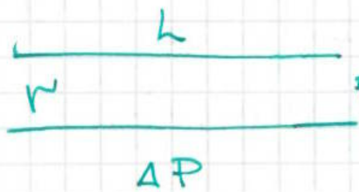
$$P_c = \frac{2\sigma\cos\theta}{\bar{r}} J(S_w)$$

K versus r



Darcy's ligning

$$v^D = \frac{u}{\phi} = \frac{K \cdot \Delta P}{\mu \phi L}$$



Poisseulles ligning

$$v^P = \frac{r^2 \Delta P}{8\mu \cdot L}$$

$v^P = v^D \Rightarrow K = \frac{1}{8} \phi r^2$

Same set of lithofacies.

$P_{C1} = \frac{2\sigma\cos\theta}{\bar{r}_1} j(S_w)$

$P_{C2} = \frac{2\sigma\cos\theta}{\bar{r}_2} j(S_w)$

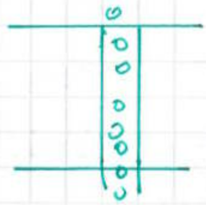
$J(S_w)^* = \frac{P_{C1}\,\bar{r}_1}{2\sigma\cos\theta} = \frac{P_{C2}\,\bar{r}_2}{2\sigma\cos\theta}$; $J(S_w) = \frac{P_C}{\sigma\cos\theta}\sqrt{\frac{K}{\phi}}$

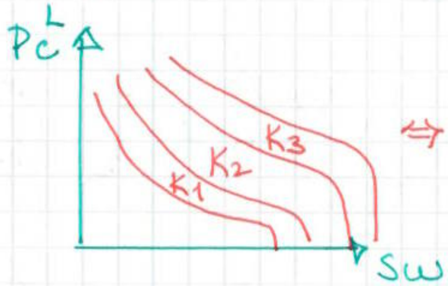
leveretts J-funksjon.

$\frac{N/m^2}{N/m} = m$

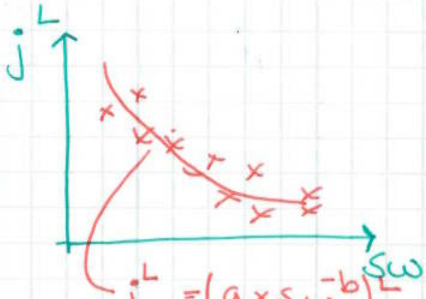
J funksjonen er dimensjonsløs.

(Konstanten : 2, $\sqrt{8}$ osv. tatt i J-funksjonen.





⇔



$j^L = (a \times S_w^{-b})^L$

J-funksjonen har begrenset gyldighet pga antagelsen av samme type avsetning.

$$j^L = (a \cdot S_w^{-b})^R = \left(\frac{P_c}{\sigma\cos\theta}\right)^R \times \sqrt{\frac{K}{\phi}}^R = \left(\frac{\Delta\rho g h}{\sigma\cos\theta}\right)^R \sqrt{\frac{K}{\phi}}^R$$

$$(a S_w^{-b})^R = \left(\frac{\Delta\rho g h}{\sigma\cos\theta}\right)^R \left(\sqrt{\frac{K}{\phi}}\right)^R$$

$$S_w = f\,(K/\phi, h)^R$$ vannmodellering

Relative permeabiliteter

En fase $q = \frac{K_e A}{\mu} \cdot \frac{dP}{dx}$

K_e: effektiv permeabilitet → absolutt permeabilitet i 1-fase

Flere faser (o, w, g)

$$q = \frac{K_e^j A}{\mu_j} \frac{dP}{dx} \qquad j = o, w, g$$

$$K_e^j = K_{rj} \cdot K$$

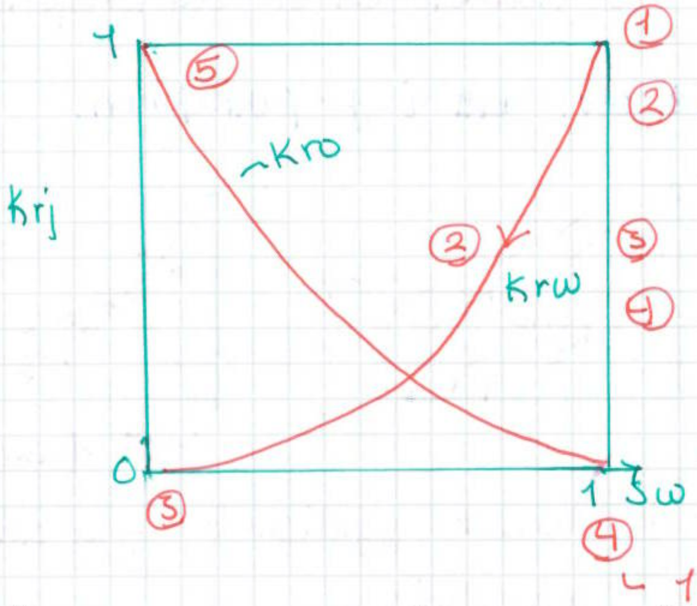
K = absolutt permeabilitet

K_{rj} = Relativ —"—

[0,1] varierer med metning

Olje-vann drenering (fuktende fase avtar)

olje → $\boxed{S_w = 1}$



① $K_{rw} = 1$

② K_{rw} avtar rask når S_w avtar

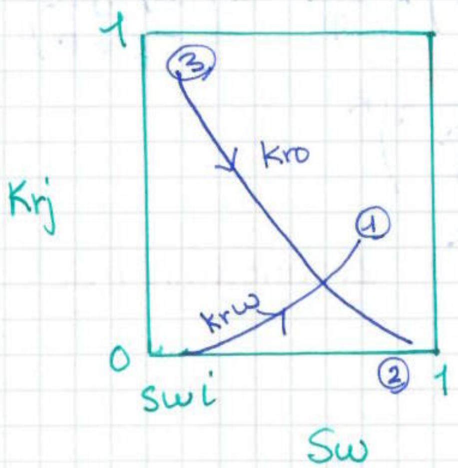
③ $K_{rw} = 0$ ved S_{wi}

④ $K_{ro} = 0$ intill $S_o = S_{oc}$ (Kritisk olje metning)

⑤ $K_{ro}^{o} \sim 0{,}7 - 0{,}9$ ved S_{wi}

olje-vann innbibening (fuktende fase øker)

o: endepunkt



① K_{rw} ved S_{or}, K_{rw}^{o}

② S_{or} (residuel oljemetning)

③ K_{ro} ved S_{wi}. K_{ro}^{o}.

Rule of thumb

		Vannfukt	Oljefukt
	S_{wi}	0,2 - 0,25	< 0,15
Vann flømming	K_{rw}^{o}	< 0,3	> 0,5

Kryssmetning : > 0,5

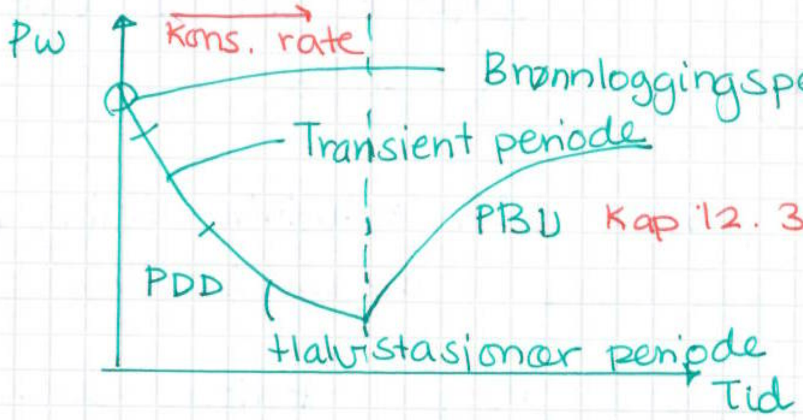
S_{wi} : irredusibel vannmetning

S_{wc} : corrnate (opprinnelig) vannmetning

S_{or} : residuel olje metning (S_{org} : gass)

S_{oc} : kritisk olje metning

Trykktesting



Kap 12.3 & 12.4 utgår

PDD: Pressure Draw Down
trykkfalls test

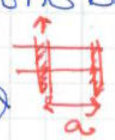
PBU: Pressure Build up
Trykk oppbyggningstest

Antagelser

1. Oljereservoar
2. En fase ($P > P_b$)
3. Sylindrisk reservoar med brønn i sentrum
4. Homogent reservoar k, ϕ konstant
5. Konstant rate
6. Neglisjerbar gravitasjons-ledd

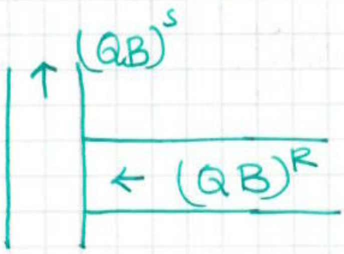
7. Perferert gjennom hele reservoart

Andre scenarier

- Gassreservoar
- ulike reservoar geometrier 
- multirate
- delvis perforering
- flere brønner
- observasjonsbrønn
- Barrierer ϕ 
- Horisontale brønner 

Kort forklart

1. Brønn loggings periode

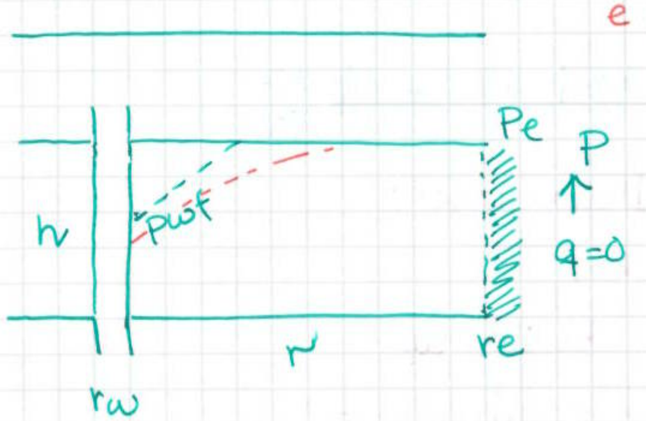


B: volumfaktor for fluid

Initielt produseres fluid som er lagret i brønnen ved at fluidet ekspanderer. Det tar derfor noe tid for $(QB)^R = (QB)^s$ ($\sim$ time)

2. Transient periode (IA = Infinite Acting period)

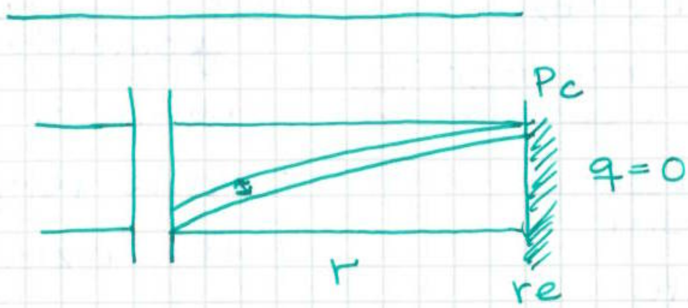
e : exterior (yttergrense)



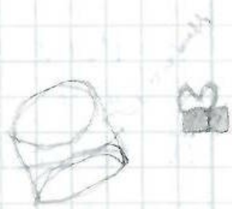
Periode som varer inntil trykkbølgen når reservoarets yttergrense.

$\frac{\partial P}{\partial t} = f(r, t)$

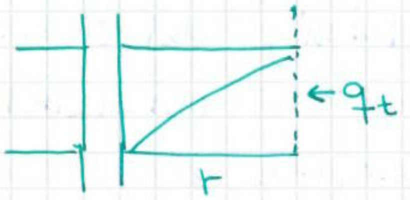
3. Halv stasjonær periode (SST) Semi steady state.



$\frac{\partial P}{\partial t}$ = konstant for alle r og t.



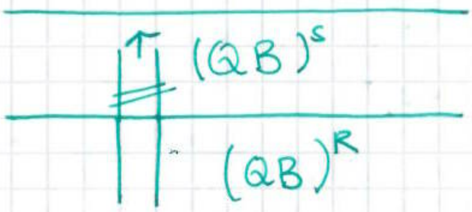
4. Stasjonær strøm (steady-state).



$P = P_e$ for $r = r_e$

$\frac{\partial P}{\partial t} = 0$ for alle r og t

Brønnloggings periode



Fluid ekspanderer når trykk avtar
Det tar derfor noe tid ($\sim$ 1 Time)

$(QB)^s = (QB)^R$

V_w : brønnens lagrerings kapasitet

C_f : fluid kompressibilitet

$$C_f = -\frac{1}{V_w}\frac{\partial V_w}{\partial P} \qquad C_f = \frac{1}{V_w}\frac{\Delta V_w}{\Delta P}$$

$$(QB)^s = \frac{\Delta V_w}{\Delta t} \Rightarrow \Delta P = \frac{1}{V_w} \cdot \frac{(QB)^s \times t}{C_f} = \frac{(QB)^s \times t}{C_{ws}}$$

B : volum faktoren

ΔP : $P_i - P_w(t)$ trykkfall i brønnen

t : tid fra strat

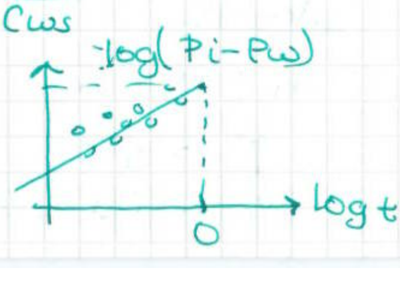
C_{ws} : brønn lagrings-konstanten.

$$P_i - P_w(t) = \frac{(QB)^s}{24\,C_{ws}} \times t$$

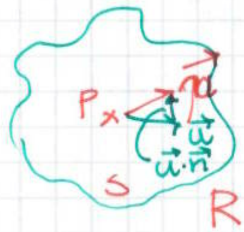
$[QB]$: Rm^3/day

$[t]$: timen

$$\log(P_i - P_w) = \log t + \log\frac{(QB)^s}{24\,C_{ws}}$$



Kontinuitetsligning.



R tilfeldig delvolum av et reservoar omsluttet av en overflate S

$\vec{n}$: normalvektoren : P

massebevaring :

$$-(g/s)_R = (g/s)_s$$

$$\int_R -\frac{\partial}{\partial t}(\rho \cdot \Phi)\, dV = \int_S (\rho \vec{u})\vec{n}\, ds$$

$$\frac{1}{s} \cdot \frac{g}{cm^3} \quad cm^3 = g/s \qquad \frac{g}{cm^3}\frac{cm}{s} \quad cm^2 = g/s$$

Gauss teorem

$$\int_S (\rho \vec{u})\vec{n}\, ds = \int_R \nabla(\rho \cdot \vec{n}) . dV \qquad \left(\nabla = \frac{\partial}{\partial x} i + \frac{\partial}{\partial y} j + \frac{\partial}{\partial z} i\right.$$

Siden likheten er gyldig for et tilfeldig delvolum R, har vi for ethvert punkt i reservoaret — del operatoren)

$$\nabla(\rho \vec{u}) = -\frac{\partial}{\partial t}(\rho \cdot \Phi)$$

$$\vec{u} = -\frac{k}{\mu}\nabla \underline{\Phi} \qquad \underline{\Phi} = P + \frac{\rho g z}{1{,}0133 \times 10^6}$$

Analytiske løsningen.
Nummeriske — II —

Kontinuitetsligning

$$\nabla\left(\rho \frac{k}{\mu} \underline{\Phi}\right) = \frac{\partial}{\partial t}(\phi\rho)$$

Antar

$K_1 = K_2 = K_3 = K$ og μ og ϕ konstant

$\underline{\Phi} = P$
(potensial funksjon) Da får: $\nabla(\rho \Delta P) = \frac{\Phi\mu}{K}\frac{\partial \rho}{\partial t}$

$$\sum_{i=1}^{3} \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\rho \frac{\partial P}{\partial x_i}\right) = \frac{\phi \mu}{K} \frac{\partial \rho}{\partial t}$$ eliminerer ρ siden $\rho(P)$

Relasjon ρ vs. P

Vi har at $C = \frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dP}$ $\rho = \frac{m}{V}$

$$C = -\frac{\rho}{m} \frac{\partial (m/\rho)}{\partial P} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial P}$$

$\rho = \rho_1 \cdot e^{C(P-P_1)}$ 1: initiell tilstand

$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} \ldots$

$\rho = \rho_1 (1 + C(P-P_1))$ $C(P-P_1) \ll 1$ ok væsker!

$\frac{\partial \rho}{\partial x_i} = \rho_1 C \frac{\partial P}{\partial x_i}$, $\frac{\partial \rho}{\partial t} = \rho_1 C \frac{\partial P}{\partial t}$

$$\frac{\partial}{\partial x_i}\left(\rho \cdot \frac{\partial P}{\partial x_i}\right) = \frac{1}{\rho_1 C} \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\rho \frac{\partial \rho}{\partial x_i}\right) = \frac{1}{\rho_1 C \cdot 2} \frac{\partial^2}{\partial x_i^2}(\rho^2)$$

$$\frac{\partial (\rho^2)}{\partial x_i} = 2 \cdot \rho \left(\frac{\partial \rho}{\partial x_i}\right)$$

4/4/14 Magne

Massebevaring → Kontinuitetsligning → Linealisering → Diffusiontetsligning → løsning

$$\nabla\left(\rho \frac{K}{\mu} \nabla \Phi\right) = \frac{\partial}{\partial t}(\phi \cdot \rho)$$

$$\sum_{i=1}^{3} \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\rho \frac{\partial P}{\partial x}\right) = \frac{\phi \mu}{K} \frac{\partial \rho}{\partial t}$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i}\left(\rho \frac{\partial P}{\partial x_i}\right) = \frac{1}{\rho_1 C \cdot 2} \frac{\partial^2}{\partial x_i^2}(\rho^2) = \frac{1}{\rho C \cdot 2} \cdot 2 \rho_1^2 C \frac{\partial^2 P}{\partial x_i^2}$$

$$= \frac{\partial^2 P}{\partial x_i^2} \rho_1 \; *$$

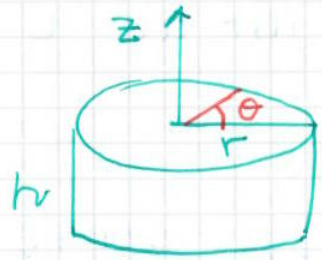
$$\left(\rho^2 = \rho_1^2 e^{2C(P-P_1)} = \rho_1^2 (1 + 2C(P-P_1)) \ldots 2 \cdot C \rho_1^2 P\right)$$

$$* \quad \frac{\phi\mu}{K}\frac{\partial P}{\partial t} = \frac{\phi\mu}{K}\frac{\partial(\rho_1(1+e(P-P_1)))}{\partial t} = \frac{\phi\mu e}{K}\cdot\rho_1\frac{\partial P}{\partial t}$$

Insatt

$$\sum_{i=1}^{3}\frac{\partial^2 P}{\partial x_i^2} = \frac{\phi\mu e}{K}\frac{\partial P}{\partial t}$$

$$\boxed{\nabla^2 P = \frac{\phi\mu\cdot e}{K}\frac{\partial P}{\partial t}}$$



I sylinderkoordinaten

$$\nabla^2 P = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial P}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 P}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2}$$

Her er: $\frac{\partial P}{\partial \theta}$ og $\frac{\partial P}{\partial z} = 0$

$$\boxed{\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial P}{\partial r}\right) = \frac{\phi\mu\cdot e}{K}\frac{\partial P}{\partial t}}$$ Diffusivitets ligning

Grense betingelsen

$P(r,0) = P_i$ trykket overalt lik P_i ved $t=0$

$\lim_{r\to\infty} P(r,t) = P_i$ dvs. uendelig reservoar (IA = infinite acting)

$$r\frac{\partial P}{\partial r} = \frac{q\cdot\mu}{2\pi Kh}$$

$$\lim_{r\to 0}\left(r\frac{\partial P}{\partial r}\right) = \frac{q\mu}{2\pi Kh}$$ linje kilde antagelse (line source solution)

sammenlignet med et uendelig reservoar er brønnradius neglisjerbar, og kan betraktes som en linje.

Boltzmann transformasjon

Formål å overføre den partielle diff. ligning til en ordinær diff. ligning.

Innførere en ny variabel

$$y = \frac{\phi \mu c r^2}{4kt}$$

$$\frac{\partial}{\partial r} \Rightarrow \frac{\partial y}{\partial r}\frac{\partial}{\partial y} \quad \left(\text{chain rule: } \frac{dz}{dr} = \frac{dz}{dy} \cdot \frac{dy}{dr} \right)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \Rightarrow \frac{\partial y}{\partial t}\frac{\partial}{\partial y}$$

$$\frac{\partial}{\partial r} = \frac{\phi \mu c r}{2kt} \cdot \frac{\partial}{\partial y}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} = -\frac{\phi \mu c r^2}{4kt^2}\frac{\partial}{\partial y}$$

Insatt får vi

$$\frac{1}{r}\frac{\phi \mu c r}{2kt}\frac{\partial}{\partial y}\left(r \frac{\phi \mu c r}{2kt}\frac{\partial P}{\partial y}\right) = \frac{\phi \mu c}{k}\left(-\frac{\phi \mu c r^2}{4kt^2}\frac{\partial P}{\partial y}\right)$$

$$\frac{\partial}{\partial y}\left(y \frac{\partial P}{\partial y}\right) = -y\frac{\partial P}{\partial y}$$

$$\boxed{y \frac{d^2P}{\partial y^2} + \frac{dP}{dy}(1+y) = 0}$$

Grense betingelsen

#1. $\lim_{r \to \infty} P(r,t) = P_i \Rightarrow \lim_{y \to \infty} P(y) = P_i$

#2. $\lim_{r \to 0}\left(r \frac{\partial P}{\partial r}\right) = \frac{q \cdot \mu}{2\pi k h} = \lim_{y \to 0}\left(2y \frac{dP}{dy}\right) = \frac{q \cdot \mu}{2\pi \cdot kh}$

notat: $\frac{\partial}{\partial r} = \frac{\phi \mu c r}{2kt}\frac{\partial}{\partial y} \Rightarrow r\frac{\partial P}{\partial r} = \underbrace{\frac{\phi \mu c r^2}{2kt}}_{=2y}\frac{\partial P}{\partial y}$

Innfører en ny variabel $z = dP/dy$

$$y \frac{dz}{dP} + z(1+y) = 0$$

$$\frac{dz}{z} + \frac{1+y}{y} dy = 0$$

Integrert :

$$\ln z + \ln y + y + c' = 0 \quad \Big\} \; e^{\ln z} = e^{-\ln y - y - c'}$$

$$z = C' \frac{e^{-y}}{y} \quad \Rightarrow (c' = e^{-c'})$$

$$\boxed{\frac{dP}{dy} = C \frac{e^{-y}}{y}}$$

Fra grensevilkår 2.

$$\lim_{y \to 0} \left(2y \frac{dP}{dy} \right) = C = \frac{q \cdot \mu}{4\pi \cdot K \cdot h}$$

Herav :

$$\frac{dP}{dy} = \frac{q \cdot \mu}{4\pi \cdot Kh} \frac{e^{-y}}{y}$$

* grensevilkår 1.

$$\int_{P}^{P_i} dP = \frac{q \mu}{4\pi K h} \int_{y}^{\infty^*} \frac{e^{-y}}{y} dy$$

Definisjon :

$$ei(y) = \int_{y}^{\infty} \frac{e^{-y}}{y} dy$$ eksponensial integral

<u>Løsning</u> :

$$P(r,t) = P_i - \frac{q \cdot \mu}{4\pi K h} ei(y)$$

$$\boxed{P(r,t) = P_i - \frac{q \mu}{4\pi K h} ei\left(\frac{\phi \mu c r^2}{4Kt} \right)}$$

For $y \ll 0{,}01$ kan en bruke tilnærmelsen

$$e_i(y) \simeq -\ln(\gamma \cdot y) \qquad \gamma = e^{0,572} = 1{,}781$$

↳ eulers konstant.

Vanligvis måles brønntrykket i brønnen, $r = r_w$

$$r = r_w = y_w = \frac{\phi \mu c r_w^2}{4kt} \ll 0{,}01$$

etter noen sekunder

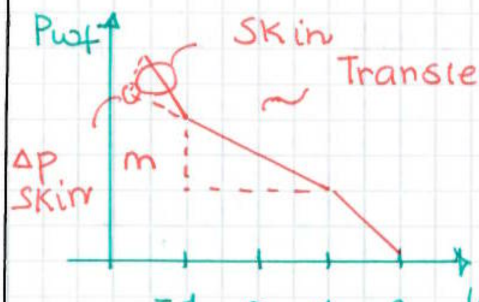
med ln tilnærmelse:

$$P(r_w, t) = P_{wf} = P_i - \frac{q \mu_o^R}{4 \pi k h} \ln\left(\frac{4kt}{\gamma \phi \mu_o^R c_o r_w^2}\right)$$

[Darcy]

wf = well flowing

P_{wf} = strømmende bunnhullstrykk



⇒ (0,1 1 time 10 timer)

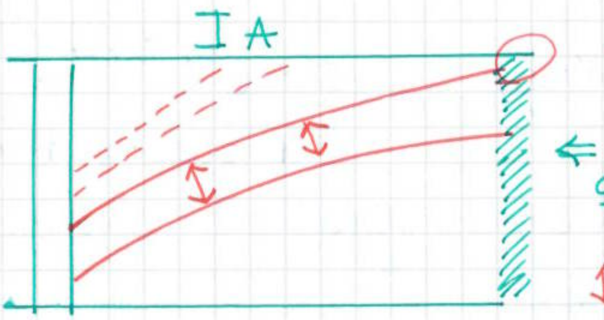
$$P_{wf} = P_i - \frac{162{,}6\, Q_o B_o \mu_o^R}{kh}\left[\log\left(\frac{kt}{\phi \mu c r_w^2}\right) - 3{,}23 + 0{,}87 S\right] \cdot \quad \Delta P_{skin} = S \frac{q\mu}{2\pi k h}$$

S: skin dvs. ekstra trykk pga skadet brønn

En ser at $m = \frac{162{,}6\, Q \mu \cdot B}{k \cdot h}$ (psi/dekade)

Dersom en velger $t = 1$ time og løser for S fås:

$$S = 1{,}15\left[\frac{P_i - P_{1time}}{m} - \log\frac{k}{\phi \mu c r_w^2} + 3{,}23\right]$$



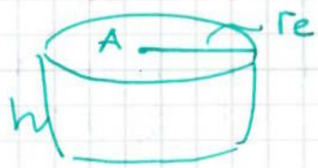
Konstanten kan bestemmes vha def på

$$C = -\frac{1}{V}\frac{dV}{dP} \Rightarrow CV\,dP = -dV$$

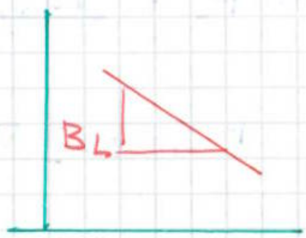
$$CV\frac{dP}{dt} = -\frac{dV}{dt}$$

C = systemets totale kompressibilitet. Siden dP/dt konstant kan vi anvende dette på hele reservoaret

$$C\pi r_e^2 h\phi\frac{dP}{dt} = -\phi B_o$$



$$\frac{dP}{dt} = -\frac{Q\,B_o}{\underbrace{\pi r_e^2 h\phi}_{V_P}\,C}$$



$$\boxed{B_L = \frac{Q\,B_o}{V_P \times C}}$$