

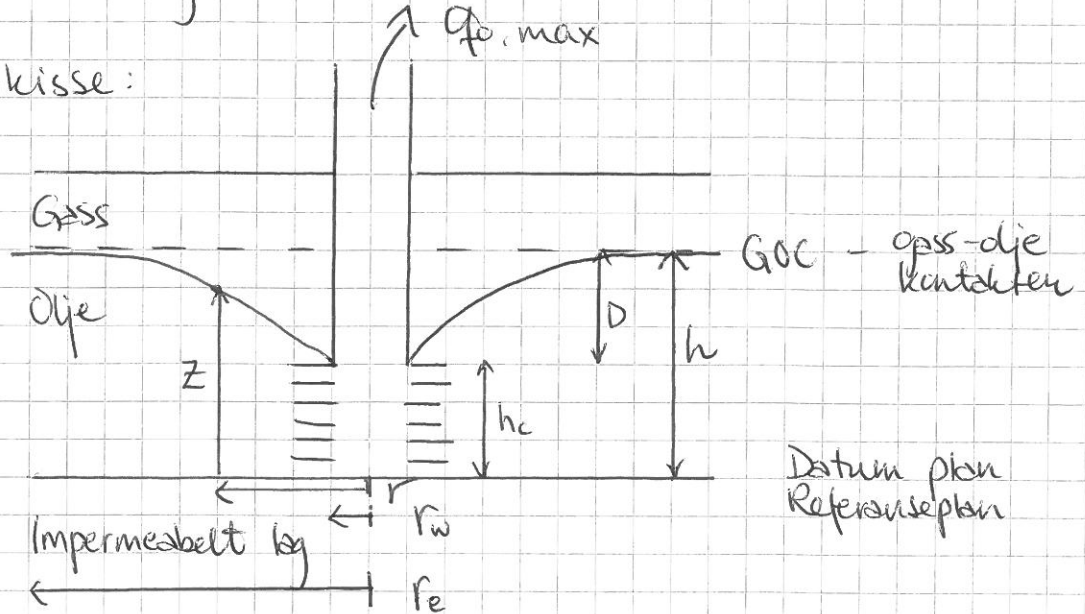
LØSNINGSFORSLAG

PET 120 V 15

OPPGAVE 1

a) Gasskoning. Førløber

b) Skisse:



c) Antakelser for utledning av $q_{o,max}$:

* Ren radiell strøm av olje.

- Men strømningslinjene bøyer nedover nær brønnen. Strømningspotensialet vil variere noe i vertikal retning også. Vi har antatt at $k_v = \infty$, dvs. ingen strømningsmotstand i vertikal retning. Vanligvis er $k_w \ll k_h$ pga lagdelinger i reservoaret, derfor er den faktiske, virkelige strømningsraten noe lavere enn beregnet verdi.

* Ingen kapillære krefter, $P_c = 0$.

- Ingen diffus overgang mellom olje og gass. Dette er litt feil, da en har noe lavere oljemetning nær kollen, og noe høyere gassmetning. Dette gir en redusert verdi for k_o nær kollen og totalraten går ned.

- * Steady state situasjonen, trykk og flomningsrate er konstant.
 Dette forteller ikke hvordan kimen har bygd seg opp og hvor lang tid det tar.
 Må da heller bruke numerisk simulering.

=> Estimert $q_{o,max}$ er en konservativ verdi.
 Virkelig strømningsrate er noe lavere enn den beregnede.

d) Perforeringsintervallet bør plasseres best fra GOC og siden vi har et impermeabelt lag i bunnen, bør det plasseres i bunnen av oljesonen.
 ⚡ Koningpotensialet er lavest der.

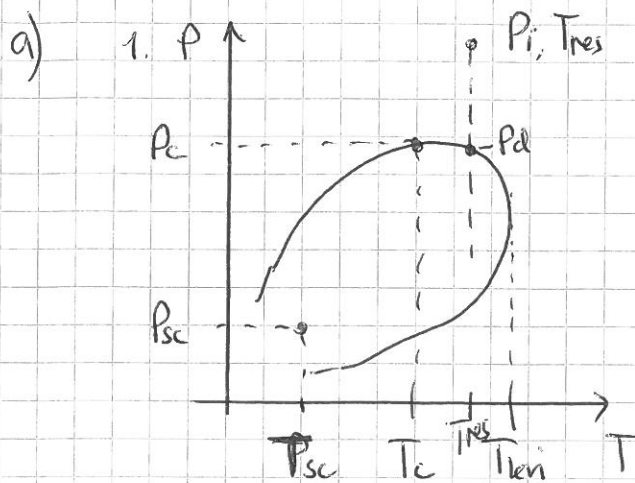
e) Maksimal gass-frie oljeproduksjonsrate (SBL/D)?

$$(Q_o)_{max} = \frac{q_{o,max}}{B_o}$$

$$\begin{aligned} \underline{(Q_o)_{max}} &= -1,535 \cdot \frac{(p_o - p_g) k_o}{M_o \ln \frac{r_e}{r_w} - B_o} (h^2 - (h-D)^2) \\ &= -1,535 \cdot \frac{(0,80 - 0,10) \cdot 0,15}{2,5 \cdot \ln\left(\frac{7800}{0,5}\right) \cdot 1,2} \cdot (1100^2 - 10^2) \\ &= \underline{\underline{-6732,4 \text{ SBL/D}}} \end{aligned}$$

Raten er per definisjonen negativ, fordi oljen strømmer fra høyt til lavt trykk, trykkgradienten er negativ.

OPPGAVE 2



Gascondensat:

$$T_c < T_{res} < T_{ken}$$

P_{sc}, T_{sc} inni tofasevolumett

Hør P_d ved T_{res} .

$P_{res} > P_d$: GOR konstant

$P_{res} < P_d$: Olje starter å tulle ut i reservoaret, blir liggende \Rightarrow GOR øker ved overflaten. Ved videre trykkreduksjon fordampes utfløit olje og strømmer igjen til overflaten. \Rightarrow GOR øker.

GOR er målt ved sc.

b) Utled $G_{E_{STO}} \approx 23,6447 \frac{\rho_{STO}}{M_{STO}} \quad (Sm^3/Sm^3)$

Ta basis i $1 Sm^3$ STO

Finner antall mol i $1 Sm^3$ STO

$$n_{STO} = \frac{m_{STO}}{M_{STO}} = \frac{V_{STO} \cdot \rho_{STO}}{M_{STO}} = \frac{\rho_{STO}}{M_{STO}} \quad (kg/mol)$$

Hvor stort gassvolum ville dette utgjort ved sc?
Bruker gassligningen:

$$PV = ZnRT$$

$$P_{sc} \cdot V_{sc} = Z_{sc} \cdot n_{sto} \cdot R \cdot T_{sc}$$

Vm

$$G_{E_{sto}} = V_{sc} = \frac{n_{sto} \cdot R \cdot T_{sc}}{P_{sc}} = \frac{p_{sto}}{M_{sto}} \cdot \frac{8,3145 \cdot (15 + 273,15)}{101,3250}$$

$$G_{E_{sto}} = 23,6447 \frac{p_{sto}}{M_{sto}} \quad (\text{Sm}^3/\text{Sm}^3)$$

$$c) 1. \frac{P}{Z} = \frac{P_i}{Z_i} - \frac{P_{sc} \cdot T_{res}}{(HCPV) \cdot T_{sc}} G_p$$

- P = tryk, aktuelt i reservoaret
- Z = kompressibilitetsfaktoren til gassen ved P
- P_i = initialt tryk
- Z_i = kompressibilitetsfaktoren til gassen ved P_i
- P_{sc} = tryk ved standardbetingelser
- T_{res} = reservoar temperatur
- $HCPV$ = hydrokarbonvolumet
- T_{sc} = temperatur ved standardbetingelser
- G_p = gas (Brønnerstrøm) produceret ved sc

2. Vi må angive produceret olie, V_{sto} , til gassekvivalenter, $G_{E_{sto}}$.

$$\text{Deretter } V_g + (V_{sto} \cdot G_{E_{sto}}) = G_{p, \text{tot}}$$

for $P_i \rightarrow P_d$ kan vi plote

$\frac{P}{Z}$ mot $G_{p, \text{tot}}$. For en rett linje som skjærer x-aksen i et punkt som tilsvører G_i (Sm^3).

Evt. kan vi finne ligningen til den rette linjen

$$y = ax + b$$

for a og b for stigningsstøttet til kurven og skjæringspunkt med y-aksen.

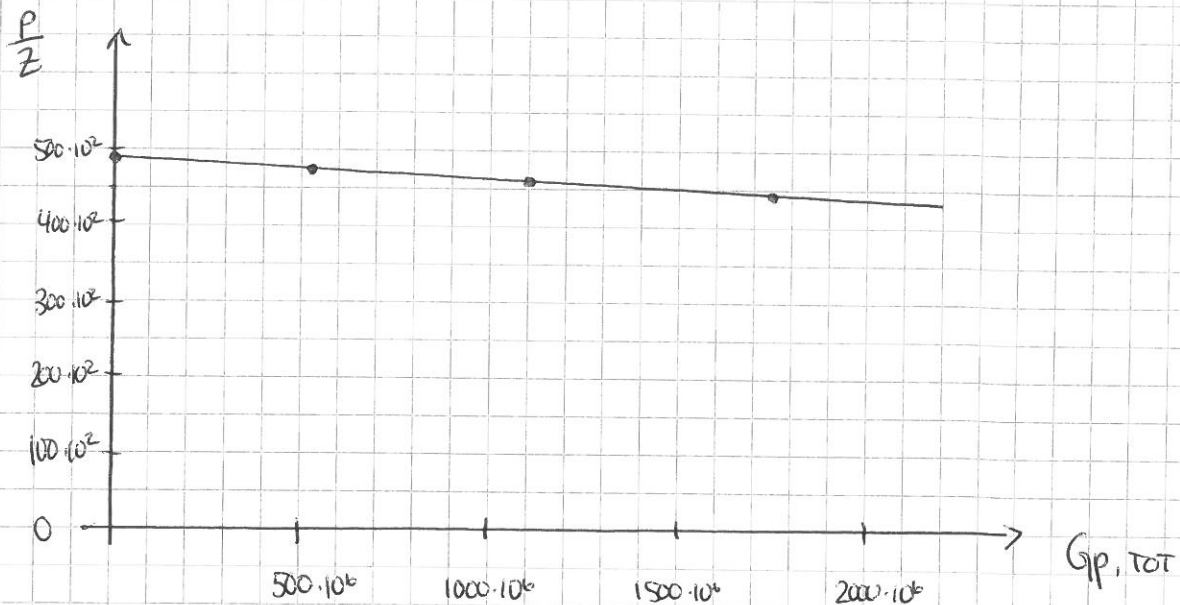
Setter så $y=0$, finner x , som er G_i .

3. Vis at $Q_i \approx 2.25 \cdot 10^{10} \text{ sm}^3$

Setter opp tabell: (Trykk i kPa)

$\frac{P}{Z}$	Volum gass $V_g (Q_p) (\text{sm}^3)$	Volum STO $V_{STO} (\text{sm}^3)$	Gassekv. STO $Q_{ESTO} (\text{sm}^3)$	Produsert brennstrem $Q_{p, \text{TOT}} (\text{sm}^3 \text{ gass})$
$487,0 \cdot 10^2$	0	0	0	0
$475,6 \cdot 10^2$	$0,500 \cdot 10^9$	$2,25 \cdot 10^5$	$0,02584 \cdot 10^9$	$525,84 \cdot 10^6$
$462,9 \cdot 10^2$	$1,059 \cdot 10^9$	$4,76 \cdot 10^5$	$0,05466 \cdot 10^9$	$1113,66 \cdot 10^6$
$449,0 \cdot 10^2$	$1,669 \cdot 10^9$	$7,51 \cdot 10^5$	$0,08623 \cdot 10^9$	$1755,23 \cdot 10^6$

Plotter $\frac{P}{Z}$ mot $Q_{p, \text{TOT}}$. (Her litt uregyltig)



Må finne ligningen til linjen: $y = ax + b$

$$b = 487,0 \cdot 10^2$$

$$a = \frac{475,6 \cdot 10^2 - 462,9 \cdot 10^2}{525,84 \cdot 10^6 - 1113,66 \cdot 10^6} = -2,161 \cdot 10^{-6}$$

$$y = -2,161 \cdot 10^{-6} x + 487,0 \cdot 10^2$$

Setter $y = 0$

$$0 = -2,161 \cdot 10^{-6} x + 487,0 \cdot 10^2$$

$$x = \frac{-487,0 \cdot 10^2}{-2,161 \cdot 10^{-6}} = 2,254 \cdot 10^{10}$$

Skjæringspunktet på x-aksen når $y = 0$ tilsvarende G_i .

$$\underline{\underline{G_i \approx 2,25 \cdot 10^{10} \text{ Sm}^3 \quad \text{ssv.}}}$$

d) Vis at HCPV $\approx 69 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

Her $G_i = 2,25 \cdot 10^{10} \text{ Sm}^3$

Antall mol gass: $\frac{G_i}{V_m} = \frac{2,25 \cdot 10^{10} \text{ Sm}^3}{23,6447 \text{ Sm}^3/\text{kgmol}} = \underline{\underline{951579410 \text{ kgmol}}}$

Opprinnelig
som gass
brennstoffsvolum

Dette utgjør antall mol gass i HCPV. Vi bruker den reelle gassloven

$$PV = z n R T$$

$$P_i \cdot \text{HCPV} = z_i n R \cdot T_{\text{res}}$$

$$\text{HCPV} = \frac{z_i n R \cdot T_{\text{res}}}{P_i}$$

$$\text{HCPV} = \frac{1,5414 \cdot 951579410 \text{ kgmol} \cdot 8,3145 \frac{\text{kPa} \cdot \text{m}^3}{\text{kgmol} \cdot \text{K}} \cdot (152 + 273,15) \text{ K}}{750,7 \text{ bar} \cdot 100 \frac{\text{kPa}}{\text{bar}}}$$

$$\underline{\underline{\text{HCPV} = 69,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3}}$$

e) IGIP og IOIP

Produksjonsdata er gitt for $P_{res} > P_d$, dvs. $GOR = \text{konstant}$

$$GOR = \frac{V_g}{V_{sto}} = \frac{0,500 \cdot 10^9 \text{ Sm}^3}{2,25 \cdot 10^5 \text{ Sm}^3} = \underline{2222 \text{ Sm}^3/\text{Sm}^3}$$

Har to ligninger med to ukjente.

$$i) GOR_{innett} = \frac{IGIP}{IOIP}$$

$$ii) G_i = IGIP + IOIP \cdot G_{\bar{e}_{sto}} = IGIP + IOIP \cdot 23,6447 \cdot \frac{\rho_{sto}}{M_{sto}}$$

Setter i) inn i ii)

$$G_i = IOIP \cdot GOR + IOIP \cdot 23,6447 \cdot \frac{\rho_{sto}}{M_{sto}}$$

$$G_i = IOIP \left(GOR + 23,6447 \cdot \frac{\rho_{sto}}{M_{sto}} \right)$$

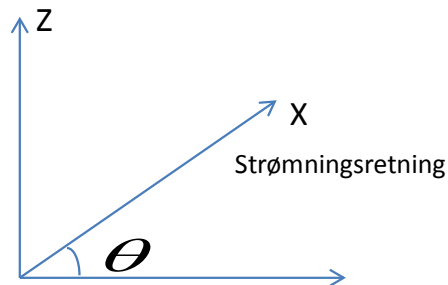
$$IOIP = \frac{G_i}{GOR + 23,6447 \cdot \frac{\rho_{sto}}{M_{sto}}}$$

$$\underline{IOIP} = \frac{2,25 \cdot 10^{10}}{2222 + 23,6447 \cdot \frac{811}{167}} = \underline{9,628 \cdot 10^6 \text{ Sm}^3}$$

$$\underline{IGIP} = GOR \cdot IOIP = 2222 \cdot 9,628 \cdot 10^6 = \underline{2,139 \cdot 10^{10} \text{ Sm}^3}$$

Løsning oppgave 3

a)



1. Darcy enheter i parentes:

q_x : volumrate (cm^3/s)

k : permeabilitet (D)

A : areal (cm^2)

μ : viskositet (cP)

dp/dx : trykkgradient (atm/cm)

α : omregningsfaktor

ρ : tetthet (g/cm^3)

g : gravitasjonskonstant (cm/s^2)

Θ : helningsvinkel

2. $k = 1 \text{ D}$ når $A = 1 \text{ cm}^2$, $\mu = 1 \text{ cP}$, $dp/dx = 1 \text{ atm}/\text{cm}$, $q_x = 1 \text{ cm}^3/\text{s}$ og $\Theta = 0^\circ$

3.

$$(\rho \cdot g): \frac{\text{g} \cdot \text{cm}}{\text{cm}^3 \cdot \text{s}} = \frac{\text{g} \cdot 1\text{kg} \cdot 10^4 \text{cm}^2}{1000\text{g} \cdot \text{cm}^2 \cdot 1\text{m}^2} = 10 \cdot \frac{\text{Pa}}{\text{m}} = 10 \cdot \frac{\text{Pa} \cdot 1\text{atm} \cdot 1\text{m}}{\text{m} \cdot 101325\text{Pa} \cdot 100\text{cm}} = \frac{1}{1,01325 \cdot 10^6} \frac{\text{atm}}{\text{cm}}$$

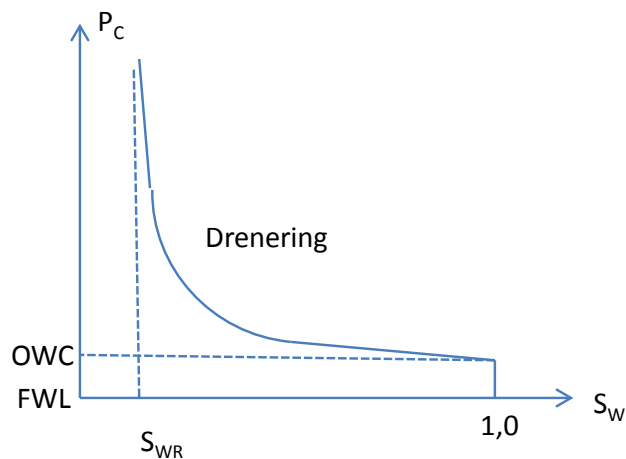
$$\text{Herav: } \alpha = \frac{1}{1,01325 \cdot 10^6} = 9,8692 \cdot 10^{-7}$$

$$\text{b) } Q = \frac{k \cdot A}{\mu} \cdot \left[\frac{\rho \cdot g(h - \Delta L)}{\Delta L} + \rho \cdot g \right] = -\frac{dh}{dt} \cdot A$$

$$\ln(h_0/h) = k \cdot \frac{\rho \cdot g \cdot \alpha}{\mu \cdot \Delta L} \cdot t$$

$$k = \frac{\ln(h_0/h) \cdot \mu \cdot \Delta L}{\rho \cdot g \cdot \alpha \cdot t} = \frac{\ln(100/82) \cdot 1 \cdot 2}{1 \cdot 980 \cdot 9,8692 \cdot 10^{-7} \cdot 400} = 1,0 \text{ D}$$

c)



1. Kapillærtrykk er definert som trykkforskjellen mellom to ublandbare fluider som for eksempel olje/vann og luft/vann
2. I en vannfuktende sandstein der olje skal fortrenge vann er terskeltrykket det minste trykket oljen må ha for å trenge inn i sandsteinen
3. Drenering har vi når en ikke-fuktende fase fortrenger den fuktende fase
4. Residuell vannmetning representerer vann som ikke er mobilt dvs. vann som er fanget i poresystemet pga. kapillærkrefter
5. FWL: $P_c = 0$ dvs. $P_o = P_w$
OWC: Høyden over FWL der $S_w = 1$

$$6. P_w = P - \rho_w \cdot g \cdot h$$

$$P_o = P - \rho_o \cdot g \cdot h$$

P : trykk ved FWL

$$P_c = P_o - P_w = \Delta\rho \cdot g \cdot h \quad \text{der} \quad \Delta\rho = \rho_w - \rho_o$$

P_c = trykkdifferansen mellom ikke - fuktende og fuktende fase (konvensjon)

$$7. J^L = J^R \quad \text{gir at} \quad \frac{P_c^L}{(\sigma \cdot \cos \theta)^{\text{luft-vann}}} = \frac{P_c^R}{(\sigma \cdot \cos \theta)^{\text{olje-vann}}} = \frac{\Delta\rho \cdot g \cdot h}{(\sigma \cdot \cos \theta)^{\text{olje-vann}}}$$

$$h = \frac{P_c^L \cdot (\sigma \cdot \cos \theta)^{\text{olje-vann}}}{\Delta\rho \cdot g \cdot (\sigma \cdot \cos \theta)^{\text{luft-vann}}} = 2,3469 \cdot 10^{-4} \cdot P_c^L \quad (\text{m})$$

$$\text{Eks.: } h = 2,3469 \cdot 10^{-4} \cdot 20,7 \cdot 10^3 = 4,85 \text{ m ved } S_w = 1,0 \text{ dvs. OWC}$$

P_c (kPa)	S_w	Høyde (m)
20,7	1,00	4,85
24,8	0,90	5,83

27,6	0,60	6,47
31,0	0,30	7,28
37,9	0,20	8,90
48,3	0,18	11,33
68,9	0,18	16,18

d)

1. Andel av den totale produksjon som kan tilskrives de enkelte drivmekanismer

$$\frac{N \cdot E_o}{F} + \frac{N \cdot m \cdot E_g}{F} + \frac{W_e \cdot B_w}{F} = 1$$

$$F = N_p [B_o + (R_p - R_s) \cdot B_g] + W_p \cdot B_w = 280403 \text{ Rm}^3 \quad \text{Total produksjon}$$

$$N \cdot E_o = N [(B_o - B_{oi}) + (R_{si} - R_s) \cdot B_g] = 122112 \text{ Rm}^3 \quad \text{"Olje+oppløst gass driv"}$$

$$\frac{N \cdot E_o}{F} = 0,435 \quad \text{Drivindeks for "Olje+oppløst gass"}$$

$$N \cdot m \cdot E_g = N \cdot m \cdot \left[B_{oi} \cdot \left(\frac{B_g}{B_{gi}} - 1 \right) \right] = 97696 \text{ Rm}^3 \quad \text{"Gasskappedriv"}$$

$$\frac{N \cdot m \cdot E_g}{F} = 0,348 \quad \text{Drivindeks for "Gasskappedriv"}$$

$$\frac{W_e \cdot B_w}{F} = 1 - (0,435 + 0,348) = 0,217 \quad \text{Drivindeks for "Vanninntregning"}$$

$$2. W_e \cdot B_w = 0,217 \cdot 280403 \text{ Rm}^3 = 60847 \text{ Rm}^3$$

$$W_e = 60847 \text{ Sm}^3 \text{ da } B_w = 1 \text{ Rm}^3/\text{Sm}^3$$

$$3. N_p/N = 0,159 \cdot 10^6 / 1,59 \cdot 10^6 = 0,10$$

4. Trykkavlastning gir meget høy utvinningsgrad (~ 70%) for gass/gasskondensater pga. gassens ekspansive virkning. For de fleste oljefelt vil "olje+løst gass" være hoveddrivmekanismen og utvinningsgraden blir betydelig lavere (10 – 20%). Produksjon ved vannflømming gir vesentlig høyere utvinningsgrad (~50%) pga. gunstig mobilitetsforhold mellom vann og olje ($M^0 \sim 1$). Unntak er oljefelt med gasskappe og tilfeller der vanninntregningen er stor.