

LØSNINGSFORSLAG

①

OPPGAVE 10

⊗ Et lineært, horisontalt oljereservoar vannflømmes.

Total volumerate $q_t = 2200$ resbl/D

Tverrsnittsareal $A = 18000$ ft²

Lenge på reservoar $L = 2200$ ft

Porositet $\Phi = 0.21$

Permeabilitet $k = 180$ mD

Viskositet til vann $\mu_w = 0.5$ cP

Viskositet til olje $\mu_o = 2.4$ cP

Irreduksibel vannmetning $S_{wr} = 0.15$

Residuell oljemetning etter vannflømming $S_{orw} = 0.20$

Formasjonsvolumfaktor $B_o = 1.2$ resbl/SBL

Formasjonsvolumfaktor $B_w = 1.0$ resbl/SBL

⊗ Relativ permeabilitetsdata til olje og gass som funksjon av vannmetning:

S_w	k_{rw}	k_{ro}	f_w
0.15	0	0.920	0
0.25	0.020	0.725	0.117
0.35	0.050	0.470	0.338
0.45	0.095	0.290	0.611
0.55	0.150	0.150	0.828
0.65	0.225	0.060	0.947
0.75	0.385	0.015	0.991
0.80	0.410	0	1.000

- ⊗ Bruk Buckley-Leverett ligningen, et plan med konstant vannmetning beveger seg med konstant hastighet:

$$V_{sw} = \frac{qt}{\Phi A} \left(\frac{df_w}{dS_w} \right)_{S_w}$$

- ⊗ Først må fraksjonsstrømskurven $f_w - S_w$ tegnes ved hjelp av formelen for fraksjonsstrømmen av vann i et horisontalt lineært reservoar, ($P_c \approx 0$):

$$f_w = \frac{1}{1 + \frac{k_{ro}}{k_{rw}} \cdot \frac{M_w}{M_o}}$$

For en eksakt vannmetning, setter en inn k_{ro} og k_{rw} , M_w og M_o er gitte verdier.

- ⊗ Plotter f_w mot S_w og får fraksjonsstrømskurven.

- ⊗ Kan plote relative permeabiliteter mot S_w for å få relpermkurver.

- a) Skal beregne
- i) t_{BT} - tid til vanngjennombudd
 - ii) \bar{S}_w - gjennomsnittlig vannmetning i reservoaret i bak fronten ved t_{BT} .
 - iii) N_p - produsert oljevolum
 - iv) f_{wt} - fraksjonsstrømmen av vann i fronten ved t_{BT} .

For å finne en tangent til f_{wt} og S_{wt} og \bar{S}_w skal en trekke en tangent til fraksjonsstrømskurven fra S_{wr} . Stigningstallet til tangenten er gitt ved:

$$\left(\frac{df_w}{dS_w} \right)_{S_{wt}} = \frac{f_{wt}}{S_{wt} - S_{wr}}$$

$$\left(\frac{df_w}{dS_w} \right)_{S_{wt}} = \frac{1}{\bar{S}_w - S_{wr}}$$

Finner: $\underline{f_{wt} = 0.80} \Rightarrow \underline{S_{wt} = 0.53}$ i tangenteringspunktet

$$\underline{\bar{S}_w = 0.63}$$

Fra tangentens stigningspunkt med linjen $f_w = 1$ (parallell til x-aksen)

$t_{BT} = \frac{L}{v_{sw}}$ Vannfronten har gått hele lengden L av reservoæret med hastighet v_{sw}

$$\underline{t_{BT}} = \frac{\Phi A L}{q_t \left(\frac{dF_w}{dS_w} \right)_{S_{wt}}} = \frac{0.21 \cdot 18000 \text{ ft}^2 \cdot 2200 \text{ ft}}{2200 \text{ resbb/D} \cdot 5.615 \frac{\text{ft}^3}{\text{bb}} \cdot (0.8 - 0.15)} = \underline{319.8 \text{ D}}$$

Det tar 319.8 dager fra start av vanninjeksjonen til vannet kommer inn i produksjonsbrønnen, og vann i tillegg til olje produseres.

Før vanngjennambrudd produseres bare olje. Så fram til t_{BT} kan oljeproduksjon beregnes vha:

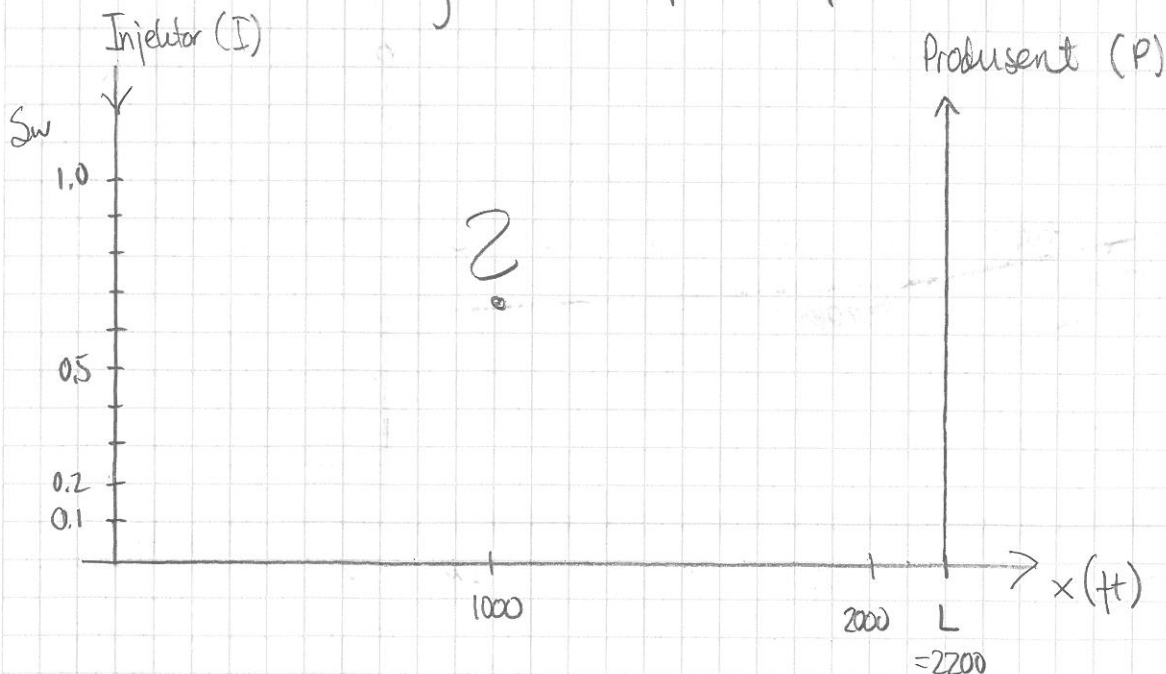
$$\underline{N_p} = \frac{q_t \cdot t_{BT}}{B_o} = \frac{2200 \text{ resbb/D} \cdot 319.8 \text{ D}}{1.2 \text{ resbb/SBL}} = \underline{586242 \text{ SBL}}$$

Oljeproduksjonen kan også beregnes vha:

$$N_p = \frac{\Phi A L \cdot (S_w - S_{wr})}{B_o}$$

Denne formelen må benyttes ved $t > t_{BT}$, dvs. etter vanngjennambrudd.

b) Tegn metningsprofilen ved vanngjennambrudd. Hvor stor er vannmetningen i et punkt/på et sted i reservoæret?



Buckley-Leveretts ligning sier at et plan med vannmetning S_w beveger seg med en hastighet V_{sw} . Denne hastigheten er proporsjonal med $\frac{dS_w}{dx}$

$(\frac{dS_w}{dx})_{S_w}$, som er stigningstallet til tangenten i punktet S_w, f_w .

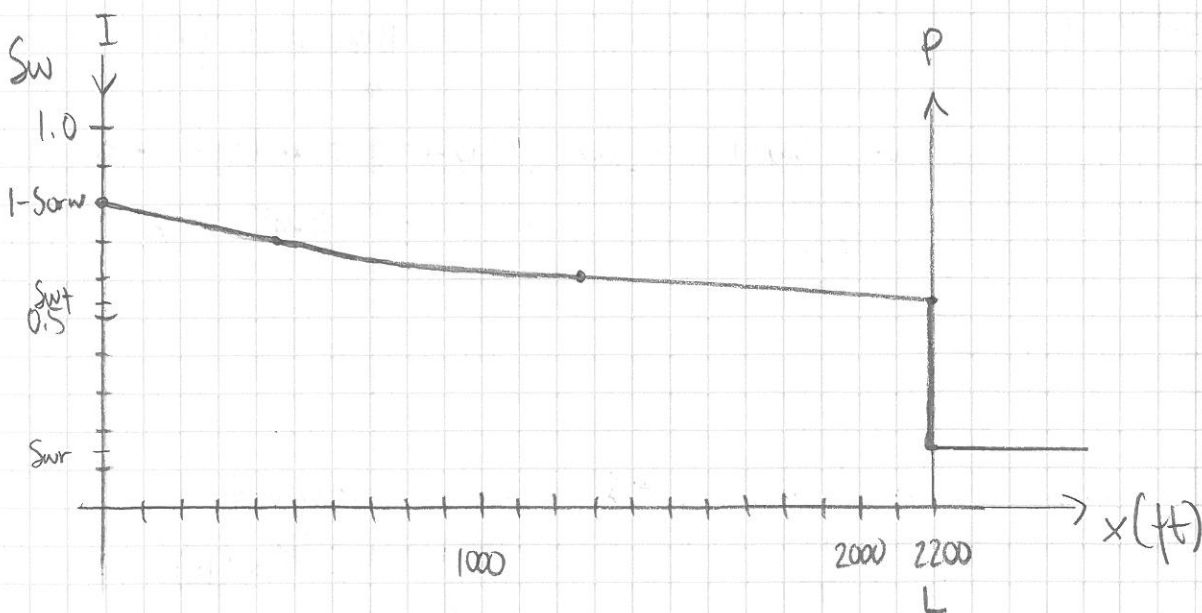
Vi må finne hvor langt de ulike vannmetningene har gått etter tid t_{BT} :

$$L = V_{sw} \cdot t_{BT} = \frac{Q_t}{\Phi A} \cdot (\frac{dS_w}{dx})_{S_w} \cdot t_{BT}$$

Setter opp følgende tabell:

S_w	$(\frac{dS_w}{dx})_{S_w}$	L_{S_w}	
0.15		> 2200	Residuell vannmetning har vi der vi ikke har flammet vann, dvs $L > L$ (ved t_{BT}).
0.53		2200	Vannmetning i fronten ved t_{BT}
0.6	$\frac{0.4}{0.33} = 1.21$	1265	Tegner en tangent i $S_w = 0.6$ og finner stigningstallet
0.7	$\frac{0.2}{0.46} = 0.435$	455	
0.80		0	1-Sorw har vi etter vannflomming, alt vann unntatt restvannmetningen etter vannflomming, Sorw

Lager metningsprofilen:



Vi kjenner vannmetningen i ethvert punkt x i reservoaret.

- c) Produksjonen skal avsluttes ved $WOR = 20$ (målt ved standardbetingelser) WOR er vann-øye forhold. Hva er fraksjonsstrømmen av vann i produsenten, f_{wp} ? Hvor mye øye har blitt produsert? Hvor stor prosentandel er dette av produsert øye?

$$WOR = \frac{Q_w}{Q_o} = \frac{\frac{Q_w}{B_w}}{\frac{Q_o}{B_o}} = \frac{q_t \cdot f_{wp} \cdot B_o}{q_t \cdot (1 - f_{wp}) \cdot B_w} = \frac{f_{wp} \cdot B_o}{(1 - f_{wp}) \cdot B_w}$$

$$\underline{f_{wp}} = \frac{WOR \cdot B_w}{WOR \cdot B_w + B_o} = \frac{20 \cdot 1.0 \text{ resbbl/SBL}}{20 \cdot 1.0 \text{ resbbl/SBL} + 1.2 \text{ resbbl/SBL}} = \underline{0.943}$$

94.3% av strømmen i produsenten er nå vann.

Vi finner vannmetningen i produsenten fra fraksjonsstrømskurven. Finner f_{wp} og tilhørende S_{wp} . $f_{wp} = 0.943$.

$$\underline{S_{wp} = 0.645}$$

Vi finner gjennomsnittlig vannmetning i reservoaret \bar{S}_w ved å tegne tangenten til punktet (S_{wp}, f_{wp}) .

\bar{S}_w finnes der hvor tangenten skjærer $f_w = 1.0$ linjen.

$$\underline{\bar{S}_w = 0.715}$$

Produksjon av øye:

$$N_p = \frac{\Phi A L (\bar{S}_w - S_{wr})}{B_o} = \frac{0.21 \cdot 18000 \text{ ft}^2 \cdot 2200 \text{ ft} (0.715 - 0.15)}{1.2 \text{ resbbl/SBL} \cdot 5.615 \text{ ft}^3/\text{bbl}}$$

$$\underline{N_p = 697320 \text{ SBL}}$$

$$\begin{aligned} \text{Produserbar øye: } \Phi A L (1 - S_{wr} - S_{or}) &= 0.21 \cdot 18000 \text{ ft}^2 \cdot 2200 \text{ ft} \cdot (1 - 0.15 - 0.20) \\ &= \frac{5405400 \text{ ft}^3}{5.615 \text{ ft}^3/\text{bbl}} = \frac{962671 \text{ bbl}}{B_o} = \underline{802226 \text{ SBL}} \end{aligned}$$

Vi har produsert $\frac{697320 \text{ SBL}}{802226 \text{ SBL}} \cdot 100\% = \underline{\underline{86.9\%}}$ av produsert olje

d) Hva er trykkfallet, ΔP , mellom injektor og produsent ved produksjonsstart?

Strømmen av olje og vann inn i brønnen styres av Darcys lov.

Darcys lov for et lineært reservoar i petroleumsenheter:

$$q_o = 7.081 \cdot 10^{-3} \frac{k_o A}{2\pi M_o} \frac{\Delta P}{L}$$

$$\Delta P = \frac{2\pi q_o M_o L}{7.081 \cdot 10^{-3} \cdot k_o A} = 887.33 \cdot \frac{M_o}{k - k_{ro}} \frac{L}{A} q_o$$

$$\underline{\underline{\Delta P}} = 887.33 \cdot \frac{2.4 \text{ cP}}{180 \text{ mD} \cdot 0.920} \cdot \frac{2200 \text{ ft}}{18000 \text{ ft}^2} \cdot 2200 \text{ resbbl/D} = \underline{\underline{3458 \text{ psia}}}$$

Ved produksjonsstart er $S_w = S_{wr} = 0.15$ og $k_{ro} = 0.920$. Vi kan også finne ΔP ved å bruke de tilsvarende data for vann. Resultatet blir noenlunde likt.

For å kunne produsere reservoaret med konstant rate, $q_t = 2200 \text{ resbbl/D}$, hva er ΔP ved produksjonsstopp ved $WOR = 20$?

(Øvre grense for ΔP)

Hva er ΔP ved produksjonsstopp etter $WOR = 20$, ved $f_w = 1$, $S_w = 1 - S_{orw}$, $S_w = 0.80$?

(Nedre grense for ΔP)

Ved produksjonsstopp har vi: $0.645 < S_w < 0.80$

i) Øvre grense: vi kommer til $WOR = 20$; $S_{wp} = 0.645$ $f_{wp} = 0.943$

ii) Nedre grense: vi kommer til bare vannstrøm, $f_w = 1$, $S_w = 1 - S_{orw}$

Hva er ΔP ?

$$i) \underline{\underline{\Delta P}} = \frac{2\pi q_w M_w L}{7.081 \cdot 10^{-3} k_w A} = 887.33 \cdot \frac{0.5}{180 \cdot 0.225} \cdot \frac{2200}{18000} \cdot (2200 \cdot 0.943) = \underline{\underline{2778 \text{ psia}}}$$

Vi bruker relative permeabilitetsdata for $S_w = 0.65$

$k_{rw} \approx 0.225$, $k_{ro} \approx 0.06$. Vi kan regne ΔP vha vann- eller oljedata. $q_w = q_t \cdot f_w$

$$11) \quad S_w = 1 - S_{orw} = 0,80 \quad q_w = q_t \cdot f_w$$

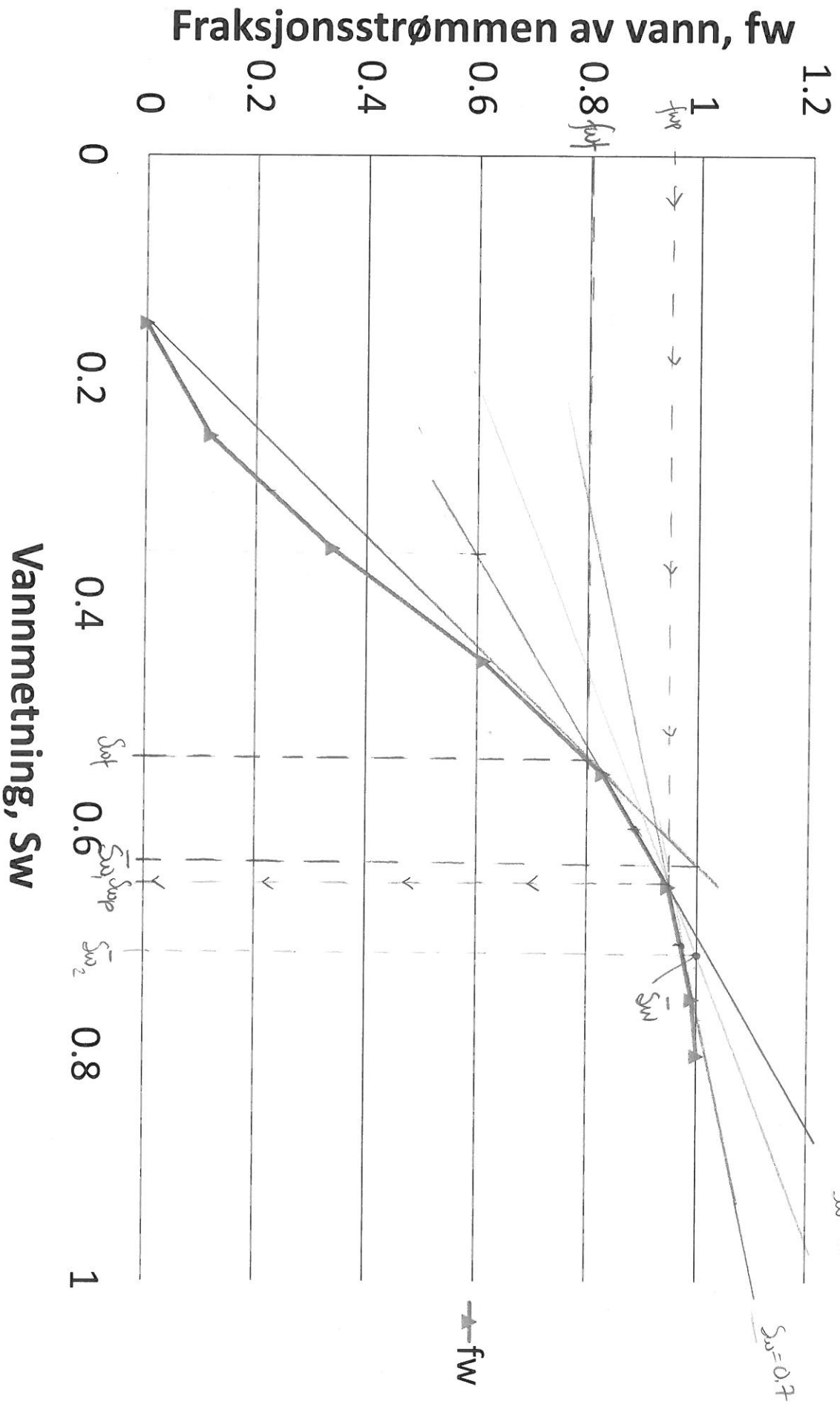
$$f_w = 1$$

$$\Delta P = 887,33 \cdot \frac{\mu_w}{k_{kw}} \cdot \frac{L}{A} \cdot q_w = 887,33 \cdot \frac{0,5}{180 \cdot 0,41} \cdot \frac{2200}{18000} \cdot 2200$$

$$\underline{\underline{\Delta P = 1616 \text{ psia}}}$$

$$\Delta P_{\text{totalestrom}} (2778 \text{ psia}) > \Delta P_{\text{Pentastrom}} (1616 \text{ psia})$$

Fraksjonsstrømskurven



Relativ permeabilitetskurver

