

PET 200 - Produksjon av olje og gass
Eksamen 18. November 2019 - Ordina

LØSNINGSFORSLAG

Oppgave 1: Generelle spørsmål fra pensum

a) i: Oljestrømmen, q_o måles der oljen er stabilisert og derved ved standardbetingelser; f.eks. ved utløpet av en testseparator eller inn i lagertank (standardbetingelser kalles gjerne stock tank conditions)

ii: Man kan stenge brønnen og la bunnhullstrykket stabilisere seg ved $q_o = 0$. Dette kan man så bruke som et estimat for reservoartrykket

b) Et transient regime er karakterisert ved at trykkprofilen ($p = p(r)$) endrer seg såpass raskt at man må inkludere tiden som en variabel ($p = p(r, t)$), mens et stasjonært regime er karakterisert ved at forholdene er konstant over tid. Et regime som endrer seg så sakte at det kan håndteres som et stasjonært kalles pseudostasjonært (i noen lærebøker kalles det semistasjonært)

c) i: Oppover i en brønn synker trykket, og de "lettste" bestanddelene (dvs. de med lavest kokepunktstemperatur) går over til gassfase. Et gitt volum olje ved reservoarbetingelser vil ved overflatebetingelser bestå av et volum olje pluss et volum gass. Oljevolumet ved overflaten vil inneholde mindre masse (i.e. færre molekyler) enn oljevolumet i reservoaret, følgelig vil Bo være større enn 1.

ii: Bo er det opprinnelige oljevolumet, og GOR er det gassvolumet som fordampes, begge to relativt til volumet av oljen som blir igjen (som olje).

d) i: Permeabiliteten, k . (gi $1/2$ poeng for s)

ii: I et porøst medium er trykkgradienten ved enfasestrøm proporsjonal med strømningshastigheten. Volumstrømsraten q er den samme i ulik avstand fra brønnen, men strømningshastigheten q/A øker kraftig når man nærmer seg brønnen fordi A minker omvendt proporsjonalt med avstand fra brønnen.

iii: Man kan f.eks. utføre en syrebehandling.

$$\begin{aligned} e) \quad \Delta p &= S \frac{g}{g_c} h = 62.4 \left[\frac{\text{lb}_m}{\text{ft}^3} \right] \cdot \frac{32.17 \left[\frac{\text{ft}}{\text{s}^2} \right]}{32.17 \left[\frac{\text{lb}_m \text{ ft}}{\text{lb}_f \text{ s}^2} \right]} \cdot h [\text{ft}] \\ &= 62.4 \cdot h \left[\frac{\text{lb}_m \text{ ft} \text{ lb}_f \text{ s}^2 \text{ ft}}{\text{ft}^3 \text{ s}^2 \text{ lb}_m \text{ ft}} \right] = 62.4 \cdot h \left[\frac{\text{lb}_f}{\text{ft}^2} \right] \\ &\quad (1 \text{ ft} = 12 \text{ in}): \end{aligned}$$

$$\Delta p = 62.4 \cdot h \left[\frac{\text{lb}_f}{(12 \text{ in})^2} \right] = \frac{62.4}{144} \cdot h \left[\frac{\text{lb}_f}{\text{in}^2} \right]$$

$$\Rightarrow h = \Delta p \cdot \frac{144}{62.4} = \Delta p \cdot 2.308 = \frac{\Delta p}{0.433} \quad \text{QED}$$

f) Hensikten med frakturering er å spreke opp en lavpermeabel formasjon for å danne kanaler med mindre størmingsmotstand inn mot brønnen. Metoden går ut på å pumpe væske (vann, olje eller spesialdesignet "fracking fluid") med høyt trykk inn i formasjonen via brønnen. Denne væsken tilsettes sand el l. ("proppant") for å holde sprekkene åpne når trykket tas av. I noen tilfeller kan man bruke syre istedet (syrefrakturering).

Oppgave 2

a) Ett testpunkt (samtidig måling av q_o og P_{wf})

b)
$$J = \frac{800}{6000 - 5570} = \underline{\underline{1.86}}$$

c)
$$q_o = 3500 \text{ m}^3/d = P_{wf} = P_e - \frac{q_o}{J}$$

$$= 6000 - \frac{3500}{1.86} = \underline{\underline{4118 \text{ psi}}} > P_b$$

Dette er fremdeles over kokepunktstrykket, dvs. enfare verke strøm \bar{u} reservoaret, og da er q_o proporsjonal med trykk differansen.

d) Se diagram

e)

q_o	P_{wf}	P_{wh}	ΔP	$TPR = \Delta P + 1500 \text{ psi}$
200	5892	2800	3092	4592
800	5570	2727	2843	4343
1955	4949	2100	2849	4349
3500	4118	1200	2918	4418
4500	3580	584	2996	4496

↓
Tab. 1

↓
Beregnet fra

↓
Tab. 1

↓
($P_{wf} - P_{wh}$)

$$P_{wf} = P_e - \frac{q_o}{J}$$

Trykk vs. flow diagram til kurveplott, oppgave 3

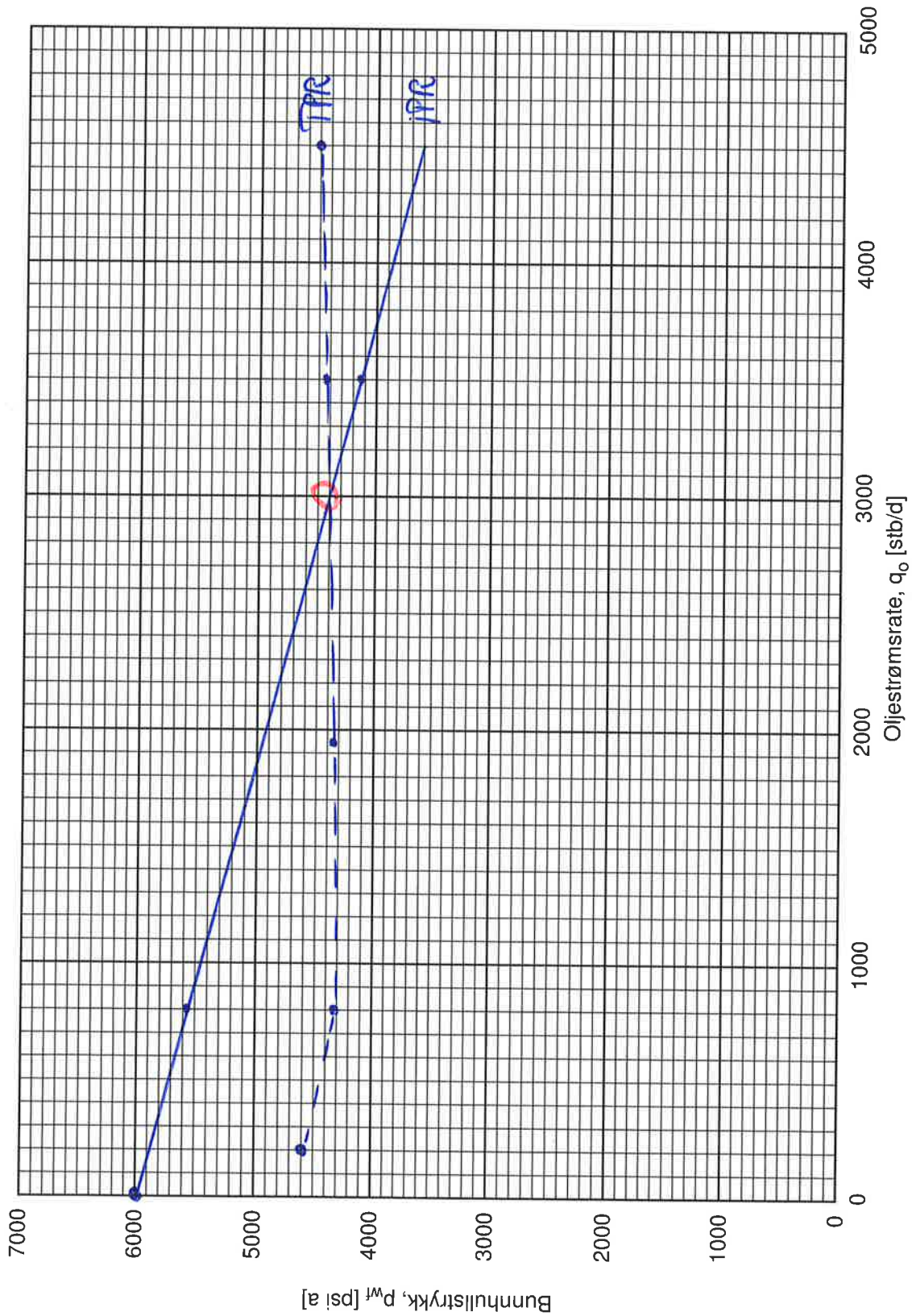
Side nr.: 2a

Emnekode.: PET200

Emnenavn: Produksjon av olje og gass

Dato: 18. november 2019

Kandidat nr.: _____



f) Produktionsraten blir da hvor IPR krysser TPR;

$q_0 = 3000 \text{ stb/d}$ (se diagram)

g) Siden IPR-kurven er linear, vil bunnhulls trykkehast ved $q_0 = 3000$ også ha størrelse $m / 250 \text{ Psi/år}$, og siden Δp over bredden antas som en funksjon kun av q_0 vil også P_{wh} øyeblik $m / 250 \text{ Psi/år}$

$\Rightarrow P_{wh}(t=0) - P_{wh}(t=T) = 1500 - 1000 = 500 \text{ psi}$

$T = \frac{500 \text{ Psi}}{250 \text{ Psi/år}} = \underline{\underline{2 \text{ år}}}$

h) Gasslett eller nedskullspumpe

("senke P_{wf} " = 1/2 prøy, helst sva)

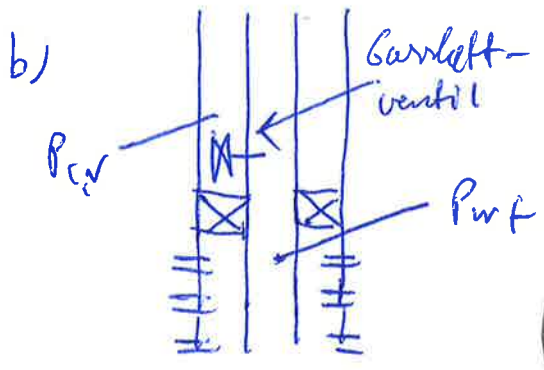
Oppgave 3

a) Fra trykktverns $v / GOR = 75$: $P_{wf} \approx 3900 \text{ psi}$
($v / D = 9700 \text{ ft}$)

Sammenlign diagrammet fra opp 2: Startingspunktet $v /$
 $q_0 = 3000 \text{ stb/d}$ er ved $P_{wf} = 4400 \text{ psi}$; $4400 - 500 = \underline{\underline{3900}}$

For $GOR = 1000$: $P_{wf} = 2900 \text{ psi}$

$\Delta P_{wf} = 3900 - 2900 = \underline{\underline{1000 \text{ psi}}}$



$$P_{cv} = P_{wf} + \Delta P_v$$

$$= 2900 + 100 = \underline{3000 \text{ psia}}$$

($3900 + 100 = 4000 \text{ psia}$ v/ $GOR = 75$
 i.e. ignoring little amount of output gradient)

$$c) P_{comp} = P_{cs} = \frac{P_{cv}}{\left(1 + \frac{D_v}{40000}\right)} = \frac{3000}{\left(1 + \frac{9700}{40000}\right)}$$

$$= \underline{2414 \text{ psia}} \quad (3219)$$

$$d) P_{i\sigma_c} = Z \frac{R_o}{M_w} T = Z \frac{R_o}{g_g M_a} T$$

Regime om til SI-enheten (K og Pa)

$$\left(\begin{aligned} P_1 &= 75 \text{ psi} \cdot 0.0689 \frac{\text{bar}}{\text{psi}} = 5.17 \text{ bar} = \underline{517000 \text{ Pa}} \\ P_2 &= 2414 \cdot 0.0689 = 166.3 \text{ bar} = \underline{16630000 \text{ Pa}} \end{aligned} \right)$$

$$T_1 = 100^\circ \text{F} = 0.5556 \cdot (100 - 32) = 37.78^\circ \text{C} + 273.15$$

$$= \underline{310.93 \text{ K}}$$

$$P_{i\sigma_c} = 0.98 \cdot \frac{8.314 \frac{\text{m}^3 \text{Pa}}{\text{mol K}}}{0.62 \cdot 29 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \cdot 310.93 \text{ K} = 140.90 \frac{\text{m}^3 \text{Pa}}{\text{g}}$$

$$= 140.9 \frac{\text{J}}{\text{g}} = 140.9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad \left(\text{Pa} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right) \quad \left(\text{J} = \text{Nm} \right)$$

$$w_s = P_{i\sigma_c} \frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] = 140.9 \cdot \frac{1.29}{0.29} \left[\left(\frac{2414}{75} \right)^{\frac{0.29}{1.29}} - 1 \right]$$

$$= \underline{741.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} \quad (832.5)$$

e) $GOR = 1000 \frac{scf}{stb}$, hvorav 75 scf er den frie fase: (5)

$$\dot{q}_g = 3000 \frac{stb}{d} - (1000 - 75) \frac{scf}{stb} = 2775000 \frac{scf}{d}$$

$$= 2.775 \text{ MMscf/d} - 2635 \frac{\text{lb-mol}}{\text{MMscf}} = 7312.125 \text{ lbmol/d}$$

$$\Rightarrow \dot{m}_g = 7312 \frac{\text{lbmol}}{d} \cdot 0.62 \cdot 29 \frac{\text{lbm}}{\text{lbmol}} = 131472 \frac{\text{lbm}}{d}$$

↓
 γ_g

$$\times 0.4536 \frac{\text{kg}}{\text{lbm}} \cdot \frac{1}{86400 \frac{s}{d}} = \underline{\underline{0.690 \frac{\text{kg}}{s}}} \quad \text{QED}$$

$$f) W_{\text{compress}} = \dot{m} \cdot w_s = 0.690 \frac{\text{kg}}{s} \cdot 741.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = \underline{\underline{511.4 \text{ kW}}}$$

(574.4)

Oppgave 4

$$a) \rho_g = \frac{P}{ZRT} = \frac{P \gamma_g M_a}{Z R_o T} = \frac{10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 0.69 \cdot 29 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{0.95 \cdot 8.314 \frac{\text{Nm}}{\text{mol K}} \cdot (42 + 273.15) \text{K}}$$

$$= 8038.9 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} = \underline{\underline{8.04 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}}$$

Gasskapasitet: $\dot{q}_g = v_{\text{max}} \cdot \frac{\pi}{4} D_s^2$

$$v_{\text{max}} = 0.45 \frac{\text{ft}}{s} \cdot \sqrt{\frac{870 - 8.04}{8.04}} = 4.66 \frac{\text{ft}}{s} \cdot 0.3048 \frac{\text{m}}{\text{ft}} = \underline{\underline{1.42 \frac{\text{m}}{s}}}$$

$$\dot{q}_g = 1.42 \frac{\text{m}}{s} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (0.96 \text{ m})^2 = \underline{\underline{1.028 \frac{\text{m}^3}{s}}}$$

$$b) V_s = \frac{\pi}{4} D_s^2 \cdot L_s = \frac{\pi}{4} (0.96 \text{ m})^2 \cdot 5 \text{ m} = 3.62 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow V_L = \frac{1}{2} V_s = 1.81 \text{ m}^3$$

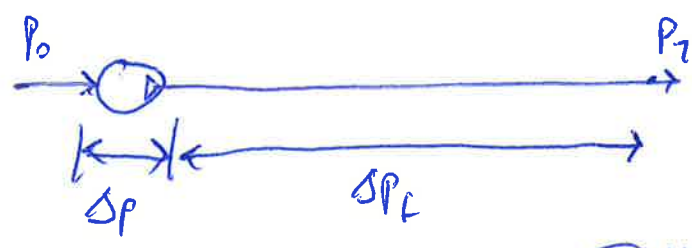
$$q_L = \frac{V_L}{t} = \frac{1.81 \text{ m}^3}{1.5 \text{ min} \cdot 60 \frac{\text{s}}{\text{min}}} = \underline{\underline{0.02 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}}$$

$$c) P_o = P_s + \rho g h = 10^6 + 870 \cdot 9.81 \cdot 3 = 10^6 + 25604 = \underline{\underline{1025604 \text{ Pa} = 10.26 \text{ bar}}}$$

d) \bar{q} oppsett i l/min : $\bar{q} = 0.02 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1000 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} \cdot 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} = 1200 \text{ l/min}$ \Rightarrow Fra diagram i Fig 3: $H \approx 6.2 \text{ m}$

$$\Delta p = \rho g h = 870 \cdot 9.81 \cdot 6.2 = \underline{\underline{52915 \text{ Pa} = 0.53 \text{ bar}}}$$

e) $\Delta p_f = \frac{1}{2} \rho u^2 f_D \frac{L}{D} = \frac{1}{2} \cdot 870 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(\frac{4 \cdot 0.02 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\pi \cdot (0.075 \text{ m})^2} \right)^2 \cdot 0.019 \cdot \frac{180 \text{ m}}{0.075 \text{ m}} = 406527 \text{ Pa} = \underline{\underline{4.065 \text{ bar}}}$



Trykkløst v/ L = 180 m :

$$P_0 + \Delta p - \Delta p_f = P_1$$

\uparrow Trykkløst v/ L = 180 m
 \uparrow Trykkløst v/ L = 180 m
 \uparrow Trykkløst v/ L = 180 m

$$\rightarrow P_1 = 10.26 + 0.53 - 4.065 = \underline{\underline{6.725 \text{ bar}}}$$