

ENP100 Prosess og produksjon

Eksamen 10. desember 2021 – Ordinær

LØSNINGSFORSLAG

Oppgave 1: Generelle spørsmål fra pensum:

- a) **Transient:** Det transiente regimet er karakterisert ved at det radielle trykkprofilen $p(r)$ ut fra brønnen endrer seg signifikant med tiden. Dette regimet gjelder kort tid etter produksjonsstart.
Pseudo-stasjonært: Det pseudo-stasjonære regimet er karakterisert ved at trykkprofilen beholder sin form (produksjonsindeksen J er konstant), men at totaltrykket synker med tiden. Dette regimet gjelder etter at produksjonen har pågått en stund, og forutsetter at reservoaret tømmes sakte men sikkert.
Stasjonært: Det stasjonære regimet er karakterisert ved at "alt" (produksjonsindeks, reservoartrykk, etc.) er konstant over tid, og forutsetter at reservoaret har innsig av f.eks. vann (naturlig eller pga. injeksjon) som erstatter produsert volum.

(Matematisk forklaring er at høyresiden i diffusivitetstiligningen er en tidsderivert for det transiente regimet, en konstant for det pseudo-stasjonære, og null for det stasjonære)

- b) Skin-effekten er resultatet av endret permeabilitet i nærheten av brønnen, ofte nedsatt pga. inntrengning av boreslam under boring / perforering.
- c) Man ønsker sonisk strømming i choken. Et sonisk sjokk (diskontinuitet i strømningsparametrene) bidrar til at fluktuasjoner i brønnstrømmen ikke forplanter seg over choke, og derved til prosessutstyret topside.
- d) **Proportional:** Denne delen av signalet beregnes fra (i.e. er en funksjon av) avvikets øyeblikksverdi.
Integral: Beregnes fra avvikets historikk, dvs. akkumulerte verdier av avvikets verdi over tid (i.e. integralet mhp. tiden), skalert med en tidskonstant.
Derivative: Beregnes ved å ekstrapolere avvikets verdi framover i tid på grunnlag av endring fra forrige tidspunkt (i.e. den deriverte mhp. tiden).
- e) Siden den hydrostatiske trykkdifferansen over en brønn ofte er dominerende, dvs. bestemmende for hva bunnhullstrykket blir, vil mer gass i strømmen føre til lavere gjennomsnittlig tetthet for brønnstrømmen og derved til lavere bunnhullstrykk.

$$f) \frac{10.73}{8.314} \cdot \frac{\text{psi ft}^3}{\text{lb-mole } ^\circ\text{R}} \cdot \frac{\text{mole K}}{\text{Pa m}^3} = 1 [-]$$

$$\Rightarrow \frac{10.73}{8.314} \cdot \frac{\text{Psi}}{\text{Pa}} \times \left(6894.8 \frac{\text{Pa}}{\text{Psi}} \right) \cdot \frac{\text{ft}^3}{\text{m}^3} \times \left(0.028317 \frac{\text{m}^3}{\text{ft}^3} \right) \cdot \frac{\text{mole}}{\text{lb-mole}} \times \left(0.002205 \frac{\text{lb-mole}}{\text{mole}} \right) \cdot \frac{\text{K}}{^\circ\text{R}} \left(1.8 \frac{^\circ\text{R}}{\text{K}} \right) = 1 \quad \text{QED}$$

Oppg. 2

a) Velge det første punktet:

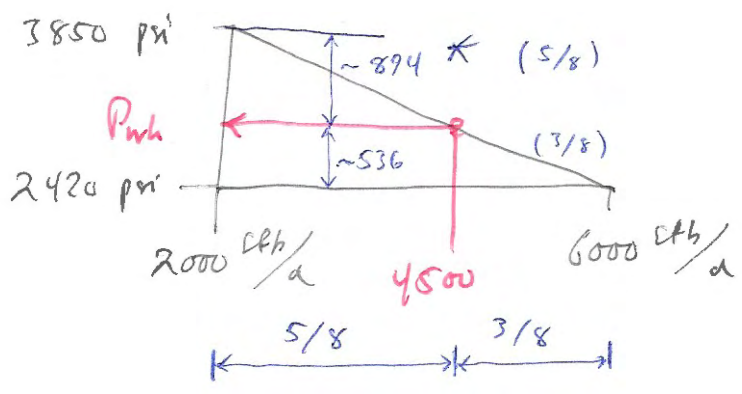
$$J = \frac{5000}{5800 - 4900} = \underline{\underline{5.56}} \frac{\text{stb}}{\text{d. psi}}$$

b) (se diagram s. 5)

c) $q_0 = 4500 \text{ stb/a}$:

* Interpolering:
 Noen fra lag 1 ~ 894 til
 ~ 2420 og får et $p_{wh} \approx 3300$
 - gir som regel feil

Interpolere i data fra tabell 2:



$$\frac{3850 - P_{wh}}{4500 - 2000} = \frac{3850 - 2420}{6000 - 2000}$$

$$\Rightarrow P_{wh} = 3850 - \frac{1430}{4000} \cdot 2500$$

$$= \underline{\underline{2956 \text{ psi}}} \quad (\text{ca. } 3000 \text{ psi})$$

d) TPR gir bunnhulls trykk som funksjon av prod. rate q_0 og brennhode trykk p_{wh} : $P_{TPR} = P_{wh} + \Delta P_w(q_0)$

Ved lineær IPR-kurve kan ukjente punkter beregnes fra konstant J : $P_{TPR} = P_e - \frac{q_0}{J}$

q_0	P_{TPR}	ΔP_w	$P_{TPR} (I_{wh} = 1200)$
500	5710	1650	2850
1000	5620	1500	2700
1500	5530	1500	2700
2000	5440	1590	2790
6000	4720	2300	3500
10000	4000*	3589	4789

* Regnet ut ut $m/J = 5.56$ (Det betyr at kurven kommer litt)

e) Lese an diagrammet de IPR krysse TPR

$q_0, \text{ Natural} \approx 8350 \text{ stb/d}$

f) Ved platanke 4500 stb/d :

NB! To likverdige miste a regne pa, som gir litt forskjellig svar:

1: P_{wf} v/ start av produksjonen: $P_{wf} = 5800 - \frac{4500}{5.56}$
 $= 4991 \text{ psi}$

P_{wh} etter 7 ar; Da er $P_{wh} = 1200$, og P_{wf} gitt av TPR-kurven v/ 4500 stb/d

P_{wf} (1ert ar) $\approx 3220 \text{ psi}$

$\Delta P = 4991 - 3220 = 1771 \text{ psi}$ fordelt over 7 ar:

$f = \frac{1771 \text{ psi}}{7 \text{ ar}} = \underline{\underline{253 \text{ psi/ar}}}$

2: P_{wh} v/ start av produksjonen: Som pa sp. mid c)

$P_{wf} = 2956 \text{ psi}$

P_{wh} etter 7 ar er fortsatt 1200 psi

$\Delta P = 2956 - 1200 = 1756 \text{ psi} \rightarrow f = \frac{1756}{7} = \underline{\underline{251 \frac{\text{psi}}{\text{ar}}}}$

g) Videre produksjon vil foregå "langs" TPR-kurven, til q_0 er på rundt 1000 - 1500 Stb/d.

Roverstyrtrykket er da ca. 3000 psi.

$$\Delta p_e = 5800 - 3000 = 2800 \text{ psi} \rightarrow A_{Tot.} = \frac{2800 \text{ Psi}}{253 \text{ Psi/} \ddot{a}} = 11 \ddot{a}$$

\Rightarrow Totalt 11 \ddot{a} , dvs. Ytterligere 4 \ddot{a}

$$\left[200 \text{ psi/} \ddot{a} \rightarrow A_{Tot} = 14 \ddot{a} \rightarrow \text{ytterligere 7 } \ddot{a} \right]$$

h) N \ddot{a} p_{wh} (i følge TPR - som gir nedvendig p_{wh} m/ f \ddot{a} nke p \ddot{a} str \ddot{a} lmsning gjennom breuen) \ddot{a} ken som f \ddot{a} lge av fallende rate er dette en indikator p \ddot{a} en ustabil (i.e. selvsforsterkende) situasjon.

\rightarrow For lav str \ddot{a} lmsningsrate fore til opphopning av olje i breuen, som igjen fore til \ddot{a} ket bunnhullstrykk, og dermed fallende produksjon. [Dette henger litt sammen med sp. mid 7c]

Oppgave 3:

olie:

$$a) S_o = V_o \cdot S_w \quad ; \quad V_o = \frac{141.5}{131.5 + 52^\circ \text{ API}} = 0.771$$

(Vedlegg 2)

$$\rightarrow \underline{S_o = 771 \text{ kg/m}^3} \quad (S_w = 1000 \text{ kg/m}^3)$$

Trykk vs. flow diagram til kurveplott, oppgave 2

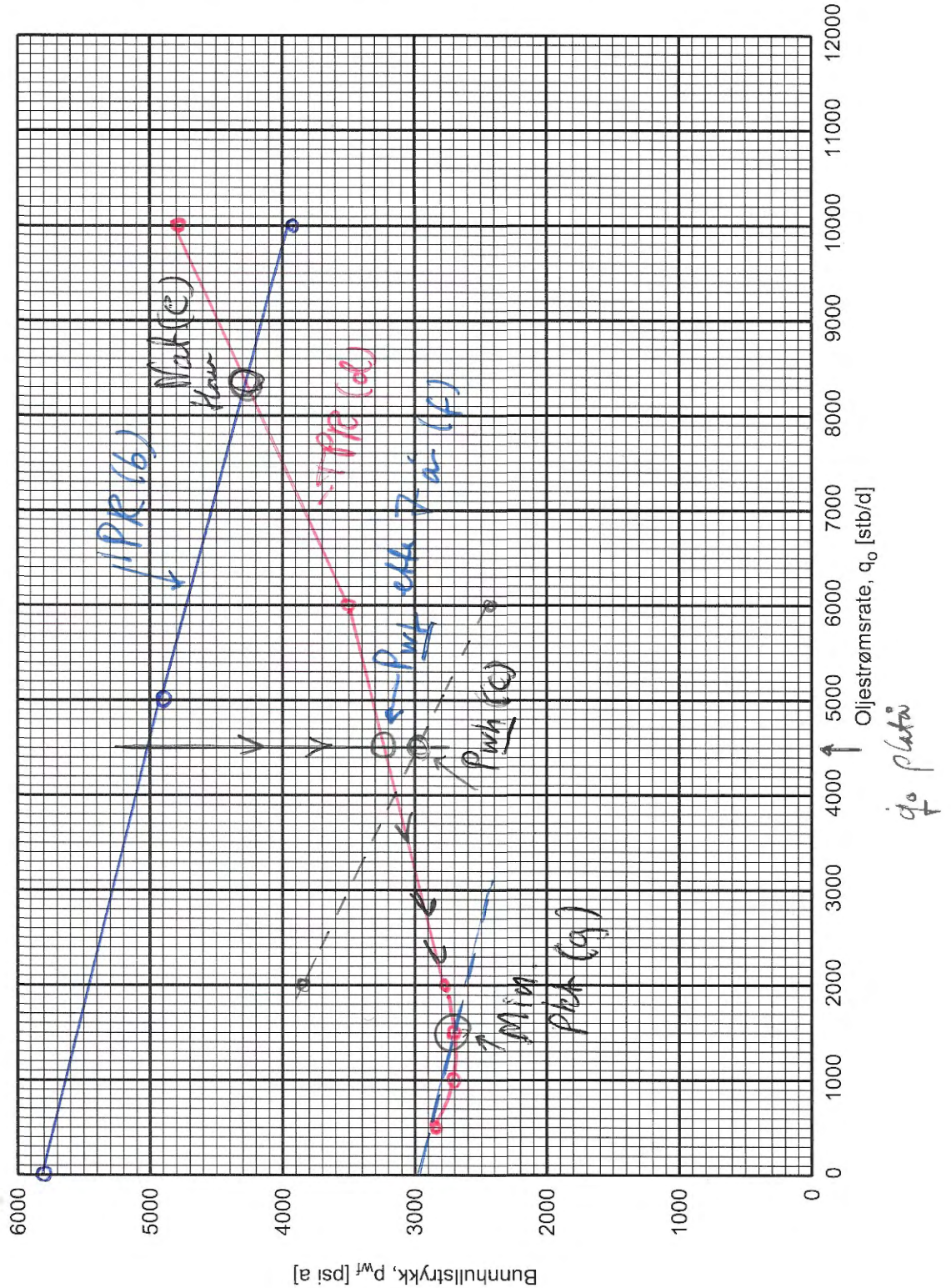
Side nr.: 5

Emnekode.: ENP100

Emnenavn: Prosess og produksjon

Dato: 10. desember 2021

Kandidat nr.: _____



gass:

$$\frac{P}{\rho_g} = zRT \Rightarrow \rho_g = \frac{P M}{z R_0 T} = \frac{P \gamma_g M_{luft}}{z R_0 T}$$

(Vedlegg 7)

$$\rho_g = \frac{18 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 0.7 \cdot 29 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{0.9 \cdot 8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol K}} \cdot (38 + 273.15) \text{ K}} = 15694 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

$$\approx \underline{\underline{15.7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}}$$

b) Gasskapasitet: $q_g = v_{\text{max}} \cdot A_{\text{Tot}} = v_{\text{max}} \cdot \frac{\pi D^2}{4}$

$$v_{\text{max}} = 0.3 \cdot \sqrt{\frac{771 - 15.7}{15.7}} = 2.08 \frac{\text{ft}}{\text{s}} \times 0.3048 \frac{\text{m}}{\text{ft}}$$

NB: [ft/s]

$$= \underline{\underline{0.634 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

Nødvendig (i.e. minimum) indre diameter:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot q_g}{\pi v_{\text{max}}}}$$

Trenge q_g v/ separator betingelser:

Erklær enn å regne ut S_{Std} .

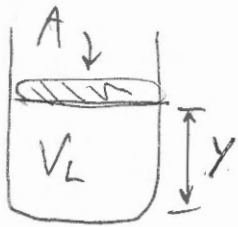
$$\dot{Q}_g \cdot S_{\text{Std}} = q_g \cdot S_g \Rightarrow q_g = \dot{Q}_g \cdot \frac{P_{\text{Std}}}{P} \cdot \frac{T}{T_{\text{Std}}} \cdot \frac{z}{7}$$

$$= 8 \frac{\text{Sm}^3}{\text{s}} \cdot \frac{1.01325}{18} \cdot \frac{311.15}{288.15} \cdot 0.9 = \underline{\underline{0.438 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}}$$

$$\rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.438}{\pi \cdot 0.634}} = \underline{\underline{0.94 \text{ m}}}$$

↓
(Denne viser seg å være ca. 100 x større enn q_0 . Dette er helt tilfeldig)

c) Areal fra b): $A = \frac{\pi}{4} \cdot 0.94^2 = \underline{0.694 \text{ m}^2}$



Værk-kapacitet: $q_L = \frac{V_L}{t_{ret}}$ (Vedlegg 7)

$\rightarrow V_L = 0.0045 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 60 \text{ s} = \underline{0.27 \text{ m}^3}$

↓

$V_L = A \cdot y \rightarrow y = \frac{0.27 \text{ m}^3}{0.694 \text{ m}^2} = \underline{0.389 \text{ m}} \quad (\sim 39 \text{ cm})$

d) Ventil på gassutløp kan regulere tryk i separatoren

Ventil på væskutløp kan regulere nivået i separatoren

(Begge vil også på virke strømningssystemet ut av separatoren)

e) En økning i oljenivå vil også føre til en økning i trykket. For å holde nivå og trykk konstant må begge ventiler åpne mer

f) En større verdi på K for horisontale separatore betyr at det kan tillates høyere gasshastighet, noe som betyr at separatoren kan designes med mindre diameter, (I praksis er det også andre faktorer)

Oppgave 4:

- a) En stor verdi av D gjør at Reynoldstallet (Re_D) blir stort. (D vil også påvirke verdien av hastigheten u , men denne er ofte gitt mhp. andre forhold)

En stor verdi av D gjør også at relativ ruhet (ε/D) blir liten.

Et punkt på Moodydiagrammet vil derfor "bevege seg" nedover og mot høyre når D øker, derved vil friksjonsfaktoren f_D tendere mot lavere verdier for stor D .

- b) Gasskvararbeid fra Weymouth-lign.:

$$P_1 = 189 \text{ bar g} \approx 190 \text{ bar a} = 19000 \text{ kPa}$$

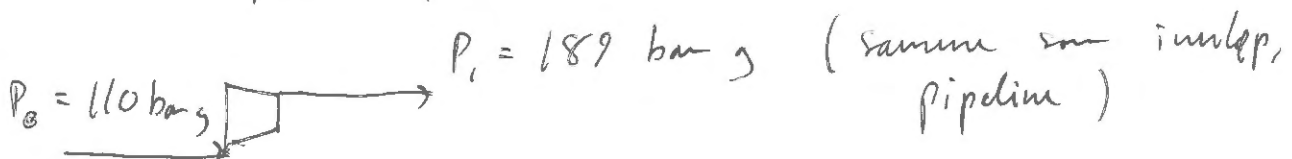
$$P_2 = 89 \text{ bar g} \approx 90 \text{ bar a} = 9000 \text{ kPa}$$

$$T = 6 + 273.15 \approx 279 \text{ K}$$

$$L = 658000 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow \dot{Q} &= 1.185 \cdot 10^7 \cdot \left(\frac{288.15}{101.325} \right) \cdot \sqrt{\frac{(19000^2 - 9000^2) \cdot 1.01^{5.333}}{0.64 \cdot 658000 \cdot 279 \cdot 0.67}} \\ &= 65.264.931 \frac{\text{Sm}^3}{\text{d}} \approx \underline{\underline{65 \cdot 10^6 \frac{\text{Sm}^3}{\text{d}}}} \quad \text{QED} \\ &\quad \text{(rundet av til 2 siffer)} \end{aligned}$$

- c) Eksportkompressor:



Teoretisk kompressorarbeid:

$$W_s = P_0 \cdot v_0 \cdot \frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad \text{(Vedlegg 7; for å få enheten i } \frac{\text{J}}{\text{kg}} \text{ må } v_0 \text{ være på mass basis)}$$

Trenger ikke å regne ut v_0 :

$$P_0 v_0 = z R T_0 = z \frac{R_0}{\gamma_g M_{\text{luft}}} \cdot T_0$$

$$= 0.79 \cdot \frac{8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol K}}}{0.64 \cdot 29 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \cdot \underbrace{(35 + 273.15) \text{ K}}_{308.15}$$

$$= 109 \frac{\text{J}}{\text{g}}$$

$$\Rightarrow w_s = 109 \frac{\text{J}}{\text{g}} \cdot \frac{1.3}{0.3} \left[\left(\frac{190}{111} \right)^{\frac{0.3}{1.3}} - 1 \right] = \underline{\underline{62.38 \frac{\text{J}}{\text{g}}}}$$

\downarrow (k-1) \downarrow (Absolutt-trykk)

(= 62.38 $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$)

d) $W = 62.38 \times 1.2 = \underline{\underline{74.86 \frac{\text{J}}{\text{g}}}}$ (Dette blir en virkningsgrad på ca. 83%)
 (+20%)

Totalt effektbehov = gitt av hvor mange g (eller kg) som passerer kompressoren pr. sekund:

$$\dot{m} = 65 \cdot 10^6 \frac{\text{Sm}^3}{\text{d}} \cdot \frac{42300 \text{ kmol}}{10^6 \text{ Sm}^3} \cdot \underbrace{0.64 \cdot 29 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}_{\gamma_g \cdot M_{\text{luft}}} \cdot \frac{1 \text{ d}}{86400 \text{ s}}$$

Vedlegg 2

$$= 590.6 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\Rightarrow W = 590.6 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 74.86 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = \underline{\underline{44.212 \text{ kW}}} = (44.2 \text{ MW})$$