

Oppgave 1: Rørstrøm, separator og pumper

Gitt en brønnstrøm (2-fase):

Gassrate (std. enheter)	Q	= 30 MMscfd (10^6 std. ft ³ / d)
Gass spec. gravity	γ	= 0.67
Adiabateksponent	k	= 1.29
Olje API-gravity:	G	= 78 °API
Separatortrykk:	p	= 300 psi a
Separatortemperatur:	T	= 100 °F

a) Vis at reell volumstrøm av gass (ved separatorbetingelser), $q = 0.5$ m³/s (med ett siffrers nøyaktighet).

Standardbetingelser:

p_{std}	= 14.7 psi a
T_{std}	= 60 °F

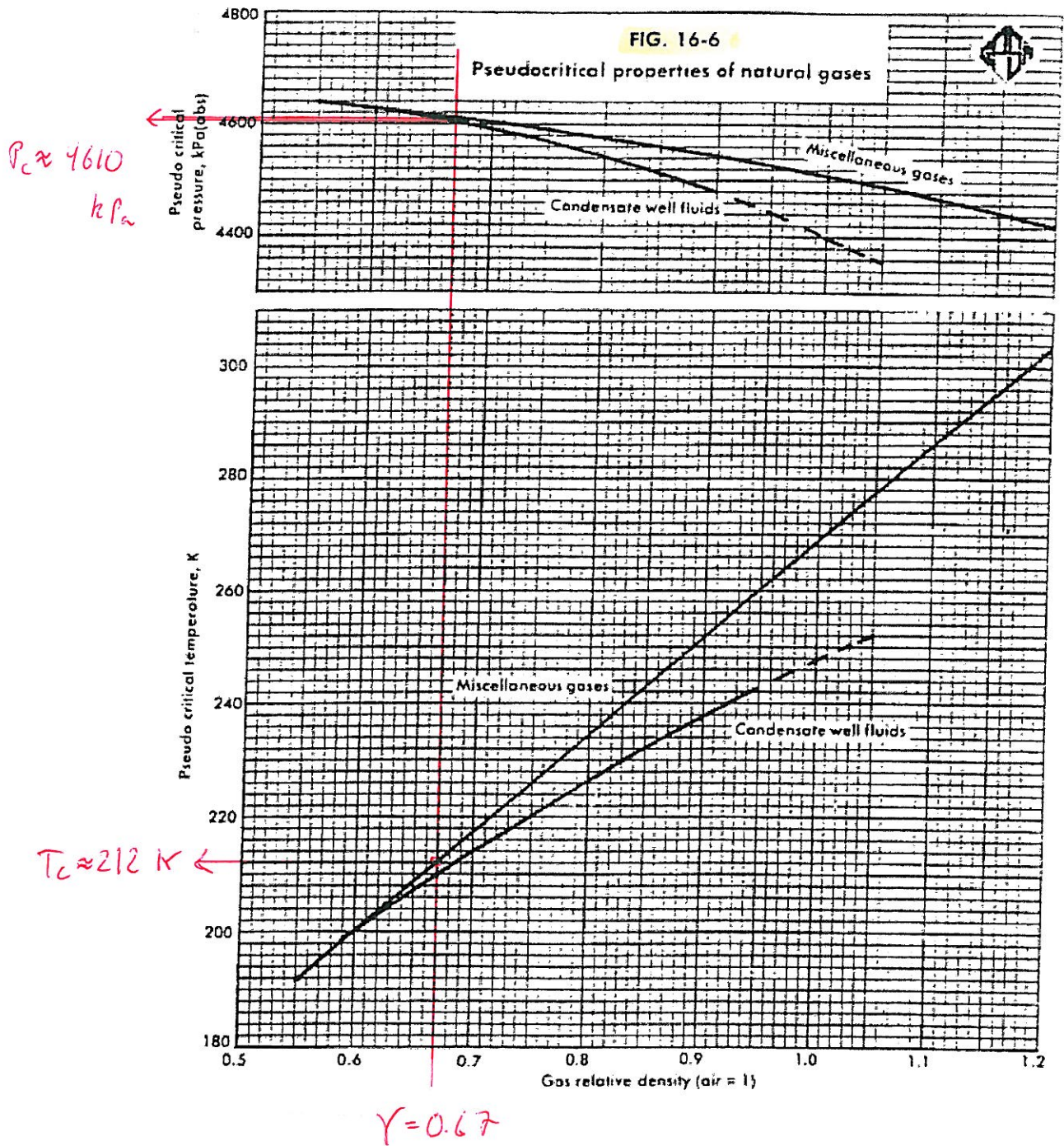
b) Bruk vedlagte tabeller og velg en tilstrekkelig stor separatordiameter basert på at separatoren er horisontal, og 1/2 full ved normal drift.

c) Gassen skal deretter komprimeres opp til 870 psi. Hvor stor teoretisk effekt må kompressoren ha (f.eks. i kW), dersom man kan anta at gassen er ideell og kompresjonen foregår isentropisk, dvs. uten tap?

Nødvendige formler for oppgaven er gitt i vedlegg 1.

Oppg. 1

a) 1: Finn z



Diagrammet i "Fig. 16-3" benytter reduserte størrelser, så enten må p_c og T_c regnes om, eller så må p og T

$$7 \text{ psi} = 6.8948 \text{ kPa} \Rightarrow p = 300 \text{ psi} = \underline{\underline{2068.44 \text{ kPa}}}$$

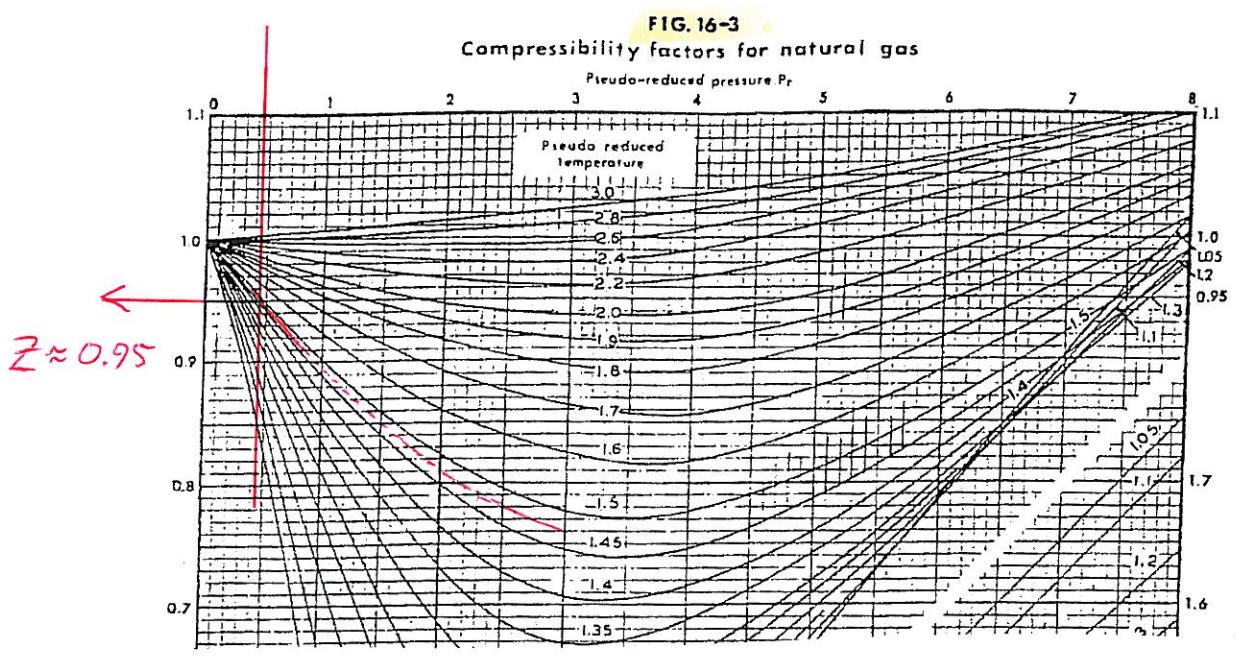
Oppgave 1 fortsatt:

$$100^\circ\text{F} = 0.5556 \cdot (100 - 32) = 37.78^\circ\text{C} + 273.15 = \underline{310.93\text{K}} \quad (2)$$

$$P_r = \frac{P}{P_c} = \frac{2068.44}{4610} = \underline{0.449}$$

$$T_r = \frac{T}{T_c} = \frac{310.93}{212} = \underline{1.467}$$

$P_r = 0.449$



2: Sammenheng mellom separator - og standard betingelser gis av at massestrømmen er "upåvirket" av betingelsene:

$$m = Q S_{std} = q \cdot S$$

Tetthet gis av reell gass - ligning:

$$S_{std} = \frac{P_{std}}{R T_{std}} \quad , \quad S = \frac{P}{Z R T}$$

- Man må vite:
- 1: Alltid absolutte temperaturer i gassligningen ($^\circ\text{R}$ eller K)
 - 2: $Z_{std} \equiv 1$

3: Regne om T til $^{\circ}R$ er enkelt:

$$T = 100^{\circ}F + 459.67 = \underline{559.67^{\circ}R}$$

$$T_{std} = 60^{\circ}F + 459.67 = \underline{519.67^{\circ}R}$$

4: Regne om Q til $\frac{Sm^3}{s}$:

$$1 \text{ ft}^3 = 0.028317 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow Q = 30 \cdot 10^6 \text{ std. ft}^3/d \cdot 0.028317 \frac{\text{m}^3}{\text{ft}^3} = 849510 \frac{\text{Sm}^3}{d}$$

$$1 d (\text{dagn}) = 60 \cdot 60 \cdot 24 = 86400 \text{ s}$$

$$\Rightarrow Q = \frac{849510 \frac{\text{Sm}^3}{d}}{86400 \frac{\text{s}}{d}} = \underline{9.832 \frac{\text{Sm}^3}{s}}$$

(Dette kan evt. også gjøres til clutt)

5: Regne om til q:

$$q = Q \cdot \frac{p_{std}}{p} = Q \cdot \frac{p_{std}}{RT_{std}} \cdot \frac{ZRT}{p}$$

$$= 9.832 \cdot \frac{14.7 \text{ psia}}{300 \text{ psia}} \cdot \frac{559.67^{\circ}R}{519.67^{\circ}R} \cdot 0.95 = \underline{\underline{0.493 \approx 0.5 \frac{\text{m}^3}{s}}}$$

QED

b)

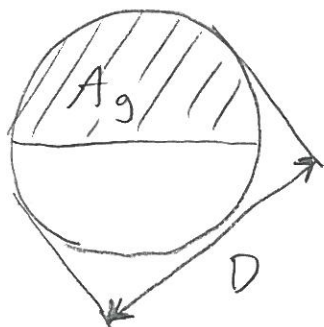
Table 10.1 K Values Used for Selecting Separators

Separator type	K	Remarks
Vertical separators	0.06–0.35	
Horizontal separators	0.40–0.50	
Wire mesh mist eliminators	0.35	
Bubble cap trayed columns	0.16	24-in. spacing

Her kan man velge en gjennomsnitts verdi:

$$k = 0.45$$

1/2 - full, horisontal separator innebærer at
halv tverrsnittsareal er tilgjengelig for gassen:



$$A_g = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi}{4} D^2$$

For gasskapasitet gjelder en formel for
max strømningshastighet:

$$V_{max} = k \cdot \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_g}{\rho_g}} = \frac{q}{A_g}$$

Gass tetthet: $\rho_g = \frac{P}{ZRT}$

Vedlegg 5: Universell gasskonstant, R

Table A.2 Values of the universal gas constant

$$\begin{aligned} R &= 8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} = 8.314 \text{ m}^3 \text{ Pa mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \\ &= 83.14 \text{ cm}^3 \text{ bar mol}^{-1} \text{ K}^{-1} = 8,314 \text{ cm}^3 \text{ kPa mol}^{-1} \text{ K}^{-1} = 82.06 \text{ cm}^3 (\text{atm}) \text{ mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \\ &= 62,356 \text{ cm}^3 (\text{torr}) \text{ mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \\ &= 1.987 (\text{cal}) \text{ mol}^{-1} \text{ K}^{-1} = 1.986 (\text{Bru}) (\text{lb mol})^{-1} (\text{R})^{-1} \\ &= 0.7302 (\text{ft})^3 (\text{atm}) (\text{lb mol})^{-1} (\text{R})^{-1} = 10.73 (\text{ft})^3 (\text{psia}) (\text{lb mol})^{-1} (\text{R})^{-1} \\ &= 1,545 (\text{ft}) (\text{lb}_f) (\text{lb mol})^{-1} (\text{R})^{-1} \end{aligned}$$

Med p i Pa og T i K vil svaret bli i $\frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$

Vi må derfor bruke gasskonstanten på massebasis, som
oppnås v/ å dividere på gassens molvekt:

$$R_m = \frac{R}{M} = \frac{R}{\gamma \cdot M_{\text{Luft}}} \left[\frac{\text{m}^3 \text{Pa}}{\text{mol K}} \frac{\text{mol}}{\text{g}} \right]$$

$$\Rightarrow \rho_g = \frac{2068440 \text{ Pa} \cdot 0.67 \cdot 29 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{0.95 \cdot 8.314 \frac{\text{m}^3 \text{Pa}}{\text{mol K}} \cdot 310.23 \text{ K}} = 16365 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

$$= 16.365 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Værkettthet: $\rho_L = \gamma \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

(Må vite at $\rho_w = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)

$$78^\circ \text{API}: \rho_L = 1000 \cdot \frac{141.5}{131.5 + 78} = 675.4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$V_{\text{max}} = 0.45 \cdot \sqrt{\frac{675.4 - 16.365}{16.365}} = 2.856 \text{ ft/s}$$

(Må vite at K ikke er dimensjonsløs, og at K "bestemme" enheten på V_{max})

$$1 \text{ ft} = 0.3048 \text{ m} \Rightarrow V_{\text{max}} = 2.856 \cdot 0.3048 = 0.87 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

NB! I vedlegg 6 er det faktisk en trykfeil!
(det står 0.3084)

$$\text{Nødvendig areal, } A_g: A_{g \text{ min}} = \frac{q}{V_{\text{max}}} = \frac{0.5}{0.87} = 0.575 \text{ m}^2$$

\Rightarrow Nødvendig diameter:

$$D_{\text{min}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 0.575}{\pi}} = 1.21 \text{ m}$$

$$7 \text{ mm} = 0,03937 \text{ in}$$

$$\Rightarrow 1210 \text{ mm} = \underline{47.64 \text{ in}}$$

Table 10.5 Settling Volumes of Standard Horizontal High-Pressure Separators (230–2,000 psi working pressure)

Size (D × L)	V_L (bbl)		
	$\frac{1}{2}$ Full	$\frac{1}{3}$ Full	$\frac{1}{4}$ Full
12 $\frac{3}{4}$ " × 5'	0.38	0.22	0.15
12 $\frac{3}{4}$ " × 7 $\frac{1}{2}$ '	0.55	0.32	0.21
12 $\frac{3}{4}$ " × 10'	0.72	0.42	0.28
16" × 5'	0.61	0.35	0.24
16" × 7 $\frac{1}{2}$ '	0.88	0.50	0.34
16" × 10'	1.14	0.66	0.44
20" × 5'	0.98	0.55	0.38
20" × 7 $\frac{1}{2}$ '	1.39	0.79	0.54
20" × 10'	1.80	1.03	0.70
24" × 5'	1.45	0.83	0.55
24" × 7 $\frac{1}{2}$ '	2.04	1.18	0.78
24" × 10'	2.63	1.52	1.01
24" × 15'	3.81	2.21	1.47
30" × 5'	2.43	1.39	0.91
30" × 7 $\frac{1}{2}$ '	3.40	1.96	1.29
30" × 10'	4.37	2.52	1.67
30" × 15'	6.30	3.65	2.42
36" × 7 $\frac{1}{2}$ '	4.99	2.87	1.90
36" × 10'	6.38	3.68	2.45
36" × 15'	9.17	5.30	3.54
36" × 20'	11.96	6.92	4.63
42" × 7 $\frac{1}{2}$ '	6.93	3.98	2.61
42" × 10'	8.83	5.09	3.35
42" × 15'	12.62	7.30	4.83
42" × 20'	16.41	9.51	6.32
48" × 7 $\frac{1}{2}$ '	9.28	5.32	3.51
48" × 10'	11.77	6.77	4.49
48" × 15'	16.74	9.67	6.43
48" × 20'	21.71	12.57	8.38
54" × 7 $\frac{1}{2}$ '	12.02	6.87	4.49
54" × 10'	15.17	8.71	5.73
54" × 15'	12.49	12.40	8.20
54" × 20'	27.81	16.08	10.68
60" × 7 $\frac{1}{2}$ '	15.05	8.60	5.66
60" × 10'	18.93	10.86	7.17
60" × 15'	26.68	15.38	10.21
60" × 20'	34.44	19.90	13.24

48 in

→ V_{elg}

den som er nærmeste og utregnet verdi

(Lengden og totale volum er relevante først når man er på verkbyrundersøker)

c) Teoretisk, ideell kompressor-effekt:

Arbeid pr. mengde enhet (volum, masse eller mol)

$$w_s = p_1 v_1 \frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

(Enheten for $p_1 v_1$ avgjør hvilken enhet w_s får, da resten av uttrykket er dimensjonsløst.)

Trykk i Pa = $\frac{N}{m^2}$ og volum i $\frac{m^3}{kg}$ gir:

$$\frac{N}{m^2} \cdot \frac{m^3}{kg} = \frac{Nm}{kg} = \frac{J}{kg}$$

$$w_s = 2068440 \cdot \frac{7}{16.365} \cdot \frac{1.29}{(1.29-1)} \cdot \left[\left(\frac{870}{300} \right)^{\frac{1.29-1}{1.29}} - 1 \right]$$

$$= 152044 \frac{J}{kg}$$

Massestrøm i kg/s:

$$m = \dot{q} \cdot \rho = 0.5 \cdot 16.365 = \underline{8.18 \text{ kg/s}}$$

Teoretisk effekt:

$$W = w_s \cdot m = 152044 \frac{J}{kg} \cdot 8.18 \frac{kg}{s} = 1243720 \text{ W}$$

$$\approx \underline{\underline{1244 \text{ kW}}}$$

Oppgave 2: Strømning fra reservoar til brønn

Et oljereservoar som ligger på dybde 10 000 ft har følgende data:

- Reservoartrykk, $p_e = 6000$ psia, oljens kokepunkt, $p_b = 3900$ psia
- Viskositet olje, $\mu_o = 1.2$ cp, volumfaktor olje, $B_o = 1.5$, Relativ tetthet olje, $\gamma_o = 0.75$, GOR = 1200
- Reservoar tykkelse, $h = 60$ ft, permeabilitet, $k = 120$ mD, porositet $\phi = 0.2$
- Brønnens diameter, $r_w = 4.5$ in, Dreneringsradius reservoar, $r_e = 900$ ft
- Det produseres fra vertikal brønn og produksjonsrøret har diameter 2.875" (2.875 tommer). En antar produksjon ved pseudo-steady-state.

- a) Forklar med få ord og gjerne en skisse hva som karakteriserer produksjon ved pseudo-steady-state.

Tabellen under viser data fra produksjonstest og fra beregninger.

Testdata viser:		Beregninger viser:	
p_{wf}	q_o	p_{wf}	q_o
6000	0	3500	5389
5500	1087	3000	6295
4800	2608	2000	7688
4200	3912	1000	8524
3950	4456	500	8733

- b) Bestem produksjonsindeks ved reservoartrykk over kokepunktet og bruk denne for å beregne oljeproduksjonsraten, q_{ob} , ved $p_{wf} = p_b$.
- c) Når produksjonsindeksen er bestemt kan en finne skin faktor for brønnen. Sett opp det / de uttrykkene (likningene) du må benytte for å finne skin faktor via test data og forklar kort framgangsmetoden.
- d) Hvilket uttrykk / likning tror du er benyttet for å beregne dataene som er vist i høyre tabell over (tabell: Beregninger viser)?
- e) Bruk testdata og beregnede data fra tabellene over til å skissere en IPR kurve for brønnen.

En produserer med konstant rate 1000 stb/d og registrerer at trykket faller jevnt og konstant med 350 psi per år. Minimum brønnehodetrykk er 1200 psia og en holder produksjonen ved 1000 stb/d ned til dette brønnehodetrykket. Trykket i brønnen er da $p_{wf} = 3250$ psia. Anta at IPR kurven holder seg tilnærmet lineær helt ned til reservoartrykk rundt 3000 psia for produksjonsrater fra 1000 stb/d og lavere. Når brønnehodetrykk 1200 psia nås fortsettes produksjonen ved å senke produksjonsraten gradvis. Ved 600 stb/d har trykket i brønnen nådd et nivå hvor videre produksjon krever kunstig løft. Ved å benytte det vedlagte gradientkurvediagrammet kan en finne at $p_{wf} = 3100$ psia når $q_o = 600$ stb/d og $p_{wh} = 1200$ psia. Anta at trykkfallsraten i reservoaret over tid ikke endres vesentlig når produksjonsraten nå gradvis reduseres fra 1000 stb/d til 600 stb/d.

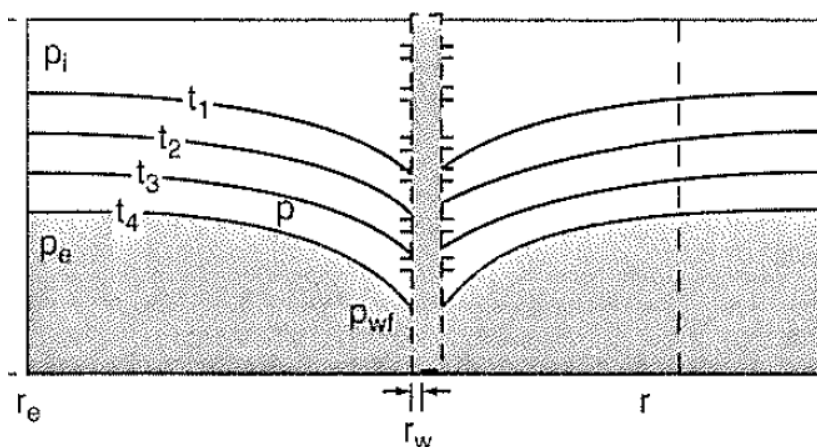
- f) Skisser produksjonsforløpet i samme figur som under spørsmål e) over.
- g) Hvor lang tid tar det fra produksjonsstart til du må starte med kunstig løft for å øke utvinningsgraden fra reservoaret?

Oppgave 2 fortsatt:

Løsningsskisse oppgave 2:

Fra opplysningene om reservoaret og brønnen er det stort sett bare kokepunktstrykket, $p_b = 3900$ psia, som er av praktisk betydning for besvarelsen av oppgaven. Resterende informasjon er benyttet av faglærer sammen med aktuelle likninger for å produsere data som er oppgitt i tabellene. Informasjonen anses imidlertid som informativ og viktig for forståelsen av den totale problemstillingen som spørsmålene tar utgangspunkt i.

- a) Pseudo-steady-state betyr at en kan anta konstant trykk innenfor gitt tidsintervall (t_1 , t_2 , osv.), og at trykket **endrer seg med en konstant rate** over tid. Trykket i reservoar og brønn endrer seg med samme rate slik at trykkprofil / trykkdifferens er konstant. Figuren under illustrerer trykkutvikning over tid (bør også være kjent fra reservoarteknikk):



- b) Her benytter en den oppgitte likningen (Vedlegg 1) $q_o = J \cdot (p_e - p_{wf})$ og et vilkårlig sett samhoørende verdier av produksjonsrate (q_o) og trykk i brønnen (p_{wf}) ved gitt reservoartrykk p_e . Løsningen er:

$$J = \frac{q_o}{(p_e - p_{wf})} = \frac{3912}{(6000 - 4200)} = \frac{3912}{1800} = \underline{\underline{2.173 \text{ stb}/(d \cdot \text{psi})}}$$

Med $p_e = 3900$ psia finner en produksjonsrate, q_{ob} , ved kokepunktstrykket fra

$$q_{ob} = J \cdot (p_e - p_b) = 2.173 \cdot (6000 - 3900) = 2.173 \cdot 2100 = \underline{\underline{4563 \text{ stb}/d}}$$

- c) Her benyttes likningene: $q_o = J \cdot (p_e - p_{wf}) \rightarrow J = \frac{q_o}{(p_e - p_{wf})}$ og

$$q_o = \frac{hk}{141.2\mu_o B_o} \cdot \frac{(p_e - p_{wf})}{\left(\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75 + s\right)}. \text{ Av disse ser en at } J = \frac{hk}{141.2\mu_o B_o} \cdot \frac{1}{\left(\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75 + s\right)}$$

Når J er kjent kan en bestemme s fra denne siden alle andre verdier er kjente (denne har vært gitt i øving).

- d) Her er det uttrykket:

$$1) q_o - q_{ob} = \frac{hk}{141.2\mu_o B_o} \cdot \frac{(p_b^2 - p_{wf}^2)}{\left(\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75 + s\right) \cdot 2p_b} \text{ (oppgitt i vedlegg 1) som er benyttet med}$$

verdien for q_{ob} innsatt (tilsvarende er gitt i øving). I denne likningen inngår imidlertid skin som ikke er oppgitt i oppgaveteksten.

Siden skin faktor s ikke er oppgitt i oppgaveteksten, kan følgende uttrykk være et mer

Oppgave 2 fortsatt:

logisk svar for studentene (oppgitt i vedlegg 1):

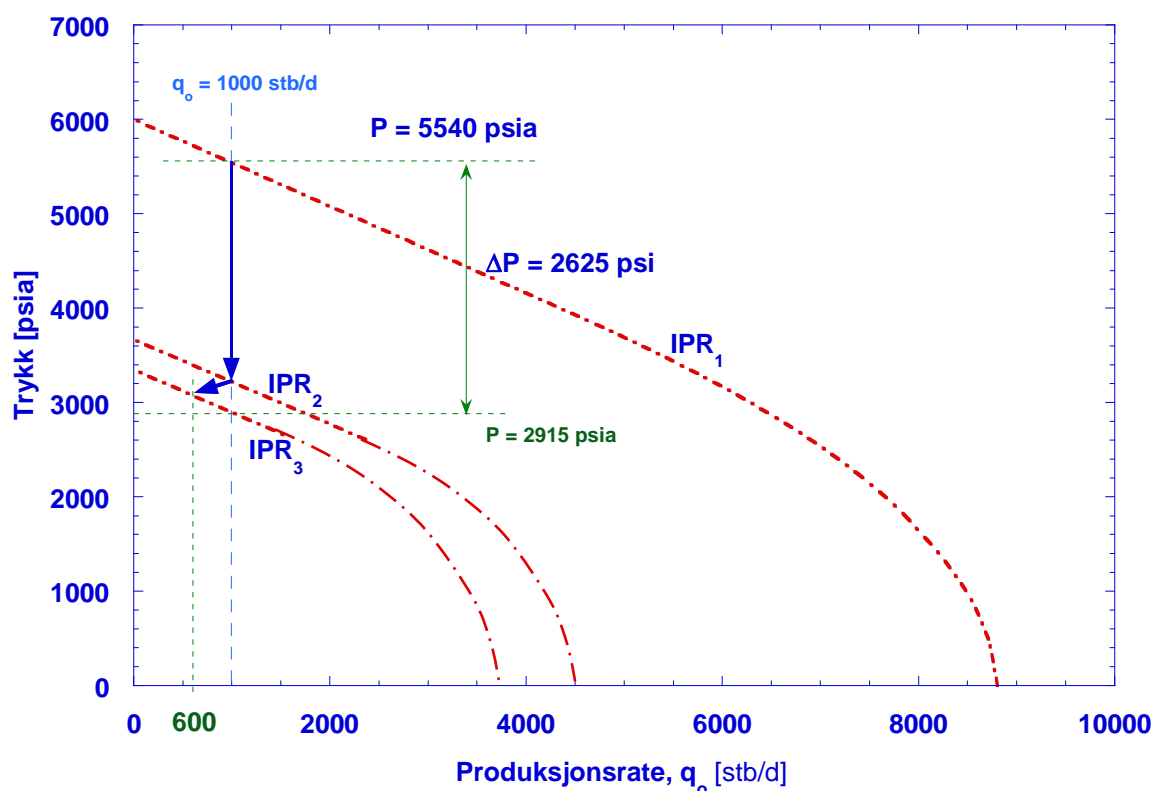
$$2) \frac{q_o}{q_{max}} = 1 - 0.2 \left(p_{wf} / p_b \right) - 0.8 \left(p_{wf} / p_b \right)^2, \quad q_{max} = \frac{J p_b}{1.8}$$

I prinsippet kan også uttrykket:

3) $q_o = C \cdot (p_b^2 - p_{wf}^2)^n$ (oppgitt i vedlegg 1) benyttes for reservoar i tofase området eller for enfase gass om C og n var kjent.

Hver av de to sistnevnte likningene kan / vil gi litt forskjell i IPR kurvene fra q_{ob} ved p_b og ned i trykk under kokepunktet og mot høyere strømningsrate sammenliknet med likning 1). **Alle likningene betraktes imidlertid som fullverdig** for en besvarelse. Siden skin faktor ikke er oppgitt kan valget av likning 2) eller 3) falle mest naturlig å foreslå fra studentens ståsted. **Siden C og n ikke er gitt** og alle opplysninger som kreves i likning 2 er gitt eller kan beregnes fra det som er gitt **gir likning 2) som svar et lite + framfor likning 3) som svar.**

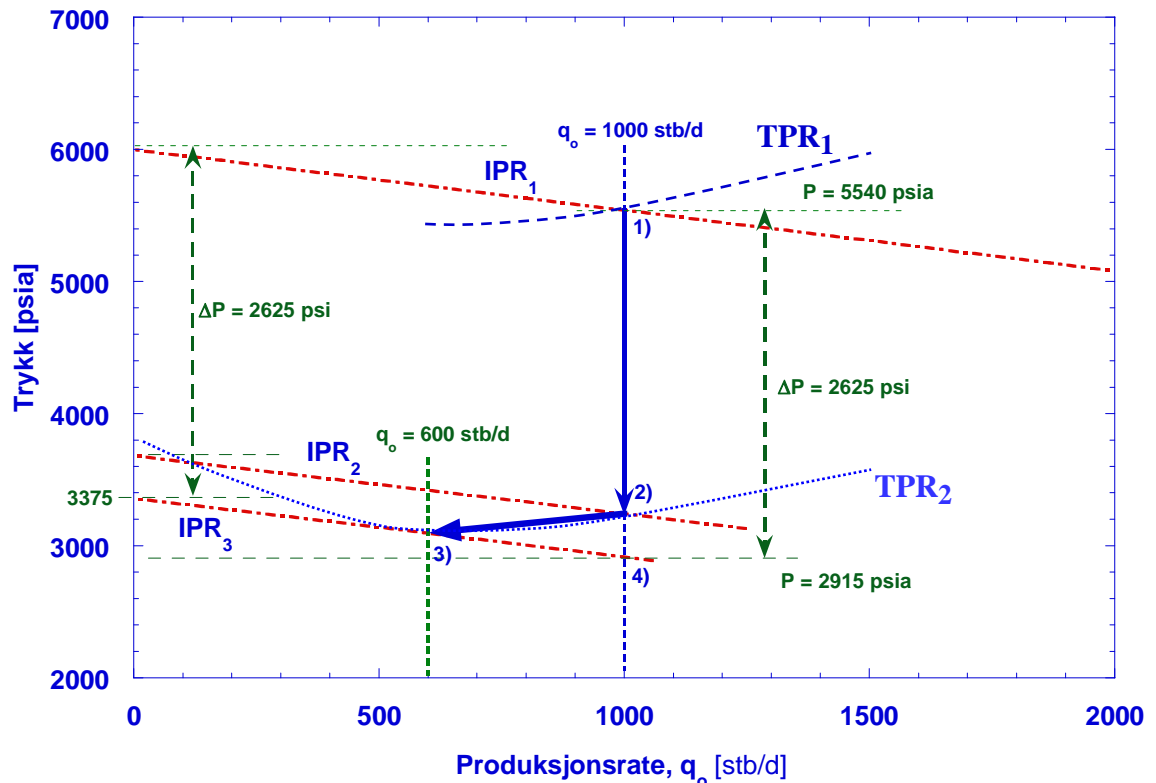
e) Ved bruk av ruteark og data fra tabell kan en nå tegne følgende IPR kurve:



Det er oppgitt at IPR er lineær i oppgitt rateområde (opp til $q_o = \text{ca } 1000$). En må anta et avtagende forløp ved høyere rater som illustrert i figuren over, men i det området som etterspørres er det antatt et lineært forløp. Dette forenkler beregninger av total tid i spørsmål g) noe, men demonstrer prinsippet. Det er trykkfallet i reservoaret som bestemmer tidsforløpet.

Oppgave 2 fortsatt:

Et utdrag av denne i aktuelt område er vist i neste figur med TPR kurver ved $p_{wh} = 1200$ psia (har to punkt på denne oppgitt) og ved start (antatt "typisk" forløp, se neste side):



- f) Produksjonsforløpet er skissert med blå piler i figuren over og starter der $q_o = 1000$ stb/d krysser opprinnelig IPR kurve. Trykk i brønn ved start kan beregnes fra IPR likning når produksjonsindeks er kjent og når brønntrykk ved "endepunktet" er gitt kan produksjonstid bestemmes. TPR_1 skisserer TPR kurve ved initsielt brønnehodetrykk, mens TPR_2 skisserer TPR kurve ved minimum brønnehodetrykk, $p_{wh} = 1200$ psi. I oppgaven er det oppgitt to punkter på sistnevnte kurve, ett punkt ved $q_o = 1000$ stb/d og ett punkt ved $q_o = 600$ stb/d. Illustrert kurve må derfor trekkes gjennom disse to punktene for å gi full score på besvarelsen.
- g) Tiden det tar fra punkt 1) ved start til punkt 3) ved slutt produksjon uten kunstig løft er bestemt fra det totale trykkfall i reservoaret over produksjonsperioden, dvs. trykkforskjellen mellom IPR_1 og IPR_3 i figuren. Fra produksjonslikningen finner en $q_{o,3} = J \cdot (p_{e,3} - p_{wf,3})$ der $p_{e,3} = 3375$ ved slutt punktet 3) som gir et totalt trykkfall over tid lik $\Delta P = p_{e,0} - p_{e,3} = 6000 - 3375 = 2625$ psi. Produksjonstid fra start og ned til slutt punktet ved 3) er da gitt av: $t_{prod} = \frac{2625}{350} \approx \underline{\underline{7.5 \text{ år}}}$.

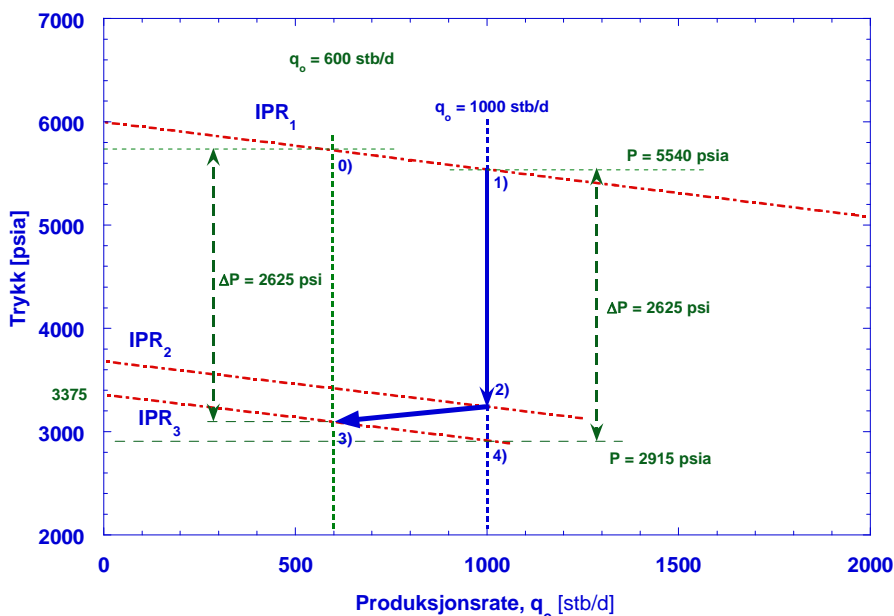
Kommentarer til løsningsforslag oppgave 2 g)

Løsningsforslaget er som følger med ref til figur:

- g) Tiden det tar fra punkt 1) ved start til punkt 3) ved slutt produksjon uten kunstig løft er bestemt fra det totale trykkfall i reservoaret over produksjonsperioden, dvs. trykkforskjellen mellom IPR_1 og IPR_3 i figuren. Fra produksjonslikningen finner en $q_{o,3} = J \cdot (p_{e,3} - p_{wf,3})$ der $p_{e,3} = 3375$ ved sluttunktet 3) som gir et totalt trykkfall over tid lik $\Delta P = p_{e,0} - p_{e,3} = 6000 - 3375 = 2625$ psi. Produksjonstid fra start og ned til sluttunktet ved 3) er da gitt av: $t_{prod} = \frac{2625}{350} \approx 7.5$ år.

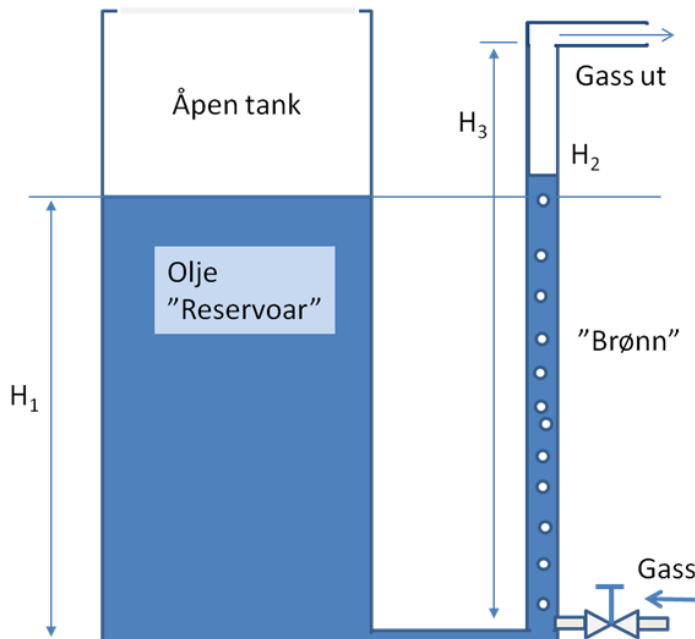
Noen av dere kan kanskje ha reagert på at jeg bruker likningen $q_o = J \cdot (p_e - p_{wf})$ i et trykkområde under kokepunktet for olje, siden denne likningen i all hovedsak skal benyttes ved produksjon fra enfase olje. Denne likningen gir en lineær korrelasjon mellom produksjonsrate, q_o , og trykkdifferens reservoar – brønn ($p_e - p_{wf}$) med produksjonsindeks, J , som konstant. I oppgaven er det oppgitt at trykket faller med en konstant rate over tid (350 psi per år) og at alle IPR relasjonene er lineære under hele produksjonsperioden for strømningsrater i det området vi ser på (opp til 1000 stb/d). IPR kurven ved et gitt tidspunkt senere i produksjonsforløpet vil være parallellforskjøvet nedover mot lavere trykk sammenliknet med IPR kurve ved start (IPR_1 i figur i løsningsforslag) Under disse antagelser / betingelser kan likningen $q_o = J \cdot (p_{e,\Delta t} - p_{wf})$ benyttes for å finne trykket i reservoaret, $p_{e,\Delta t}$, etter en gitt tidsperiode, Δt , fra start.

En kan også beregne trykket i brønn, $p_{wf,0}$, ved start ved produksjonsrate, $q_o = 600$ stb/d fra likningen $q_{o,600} = 600 = J \cdot (p_{e,0} - p_{wf,0})$ med $p_{e,0} = 6000$ psia innsatt. Med $J = 2.173$ finner en da $p_{wf,0} = 5724$ psia. Nå har en oppgitt at trykket i brønn ved punkt 3) (se fig) til slutt er $p_{wf,\Delta t} = 3100$ psia. Det totale trykkfallet mellom kurvene IPR_1 (ved start og punkt 0 i figur under) og IPR_3 (ved slutt og punkt 3 i figur) er da $\Delta p = 5724 - 3100$ psi = 2624 psi som ved metoden presentert i løsningsforslaget (Δp er 1 psi høyere i utlevert løsningsforslag \rightarrow neglisjerbart).



Oppgave 3: Strømning i brønn og kunstig løft

- Skisser (graf med tydelige akser) en typisk "TPR" kurve for et gitt brønnehodetrykk i en olje-gass brønn, og gi en kort forklaring på oppførselen? Hvordan endres kurven med økende brønnehodetrykk?
- Hva menes med "superficial hastigheter" for olje og gass strømning, og hvordan kan gassfraksjon ε_G i et rør beregnes fra disse? Hva menes med slipforholdet S ?
- Forklar *ganske kort* prinsippet for gass-løft, i hvilke situasjoner det benyttes, samt hvordan en gass-løft operasjon gjennomføres. Vis med en graf hvordan olje produksjonen ("strømningsrate") endres som funksjon av injisert gassrate. Forklar kort oppførselen.
- Følgende modell som vist på figuren under er en enkel "analog" til gass-løft. Hva skjer med væsknivået i "brønnen" når det injiseres gass i bunnen? Anta at gassen bare bobler forsiktig og jevnt gjennom oljen, og ut igjen.



Væskeshøyden i tanken er $H_1=10\text{m}$. Tanken er mye større enn røret. Oljetettheten er 850 kg/m^3 og gasstettheten i brønnen kan regnes i gjennomsnitt som 1.8 kg/m^3 . Gjennomsnittlig volumetrisk gassfraksjon er 15%.

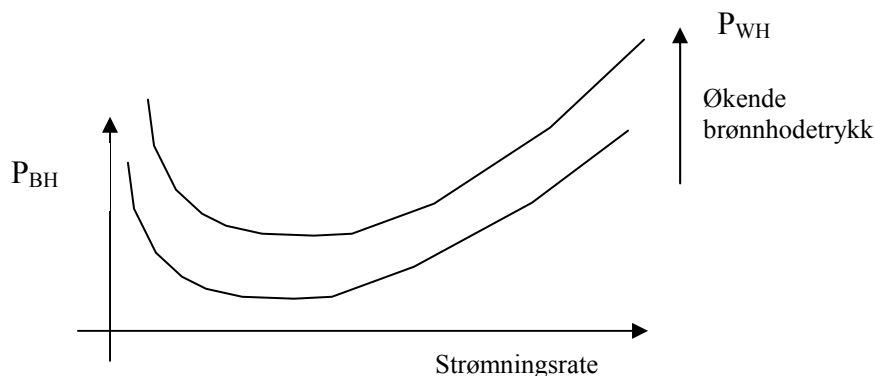
- i) Hva blir væskeshøyden H_2 i brønnen ved likevekt?
- ii) Hvor stor gassfraksjon er nødvendig for å få brønnen til å produsere olje ut i toppen, gitt at høyden $H_3=13\text{m}$? Samme gasstetthet som over.

Oppgave 3 fortsatt:

LØSNINGSFORSLAG Eksamen, BIP160 – 29. November 2011

Oppgave 3

- a) TPR kurven viser hvordan bunnhullstrykket (P_{BH}) varierer med strømningsraten for et gitt brønnhodetrykk (P_{WH}), se under



For høye rater stiger PBH fordi friksjonen øker. For en gass-olje brønn kan økningen være større enn hydrostatisk trykk avtar. Mot svært lave rater i en gass-olje brønn vil slipp mellom gass- og olje føre til at gassfraksjonen avtar og hydrostatisk trykkgradient øker.

- b) Superficial hastigheter er volumstrømningsratene dividert med rørtverrsnittet. De angir en første ("superficial" – overfladisk) informasjon om virkelig strømningshastighet i røret. Gassfraksjonen kan beregnes med uttrykket:

$$\varepsilon_G = \frac{q_G}{S \cdot q_L + q_G} = \frac{U_{GS}}{S \cdot U_{LS} + U_{GS}}$$

Hvis slippforholdet $S=1$, dvs vi har no-slip, så forenkles dette til

$$\varepsilon_G = \frac{U_{GS}}{U_{LS} + U_{GS}} = \lambda_G$$

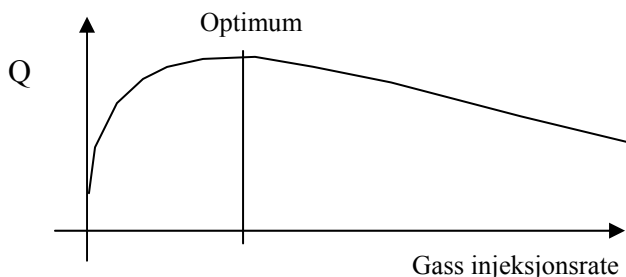
der λ_G er "noslip gassfraksjon". Slippforholdet angir forholdet mellom de sanne strømningshastighetene ("fasehastighetene") til gass og væske

$$S = \frac{u_G}{u_L}$$

- c) Gassløft er i all enkelhet en metode der bunnhullstrykket i en brønn reduseres ved å senke tettheten av olje (evt olje + vann) i brønnen ved å injisere gass. Da vil trykkforskjellen mellom reservoar og brønn øke ("drawdown"), og produksjonen øker. Gassløft benyttes i situasjoner der reservoaret har for lite drivtrykk til å produsere skikkelig. Det kan skje for reservoar som har mistet en del av trykket gjennom tidligere produksjon, der det er for lav permeabilitet, eller oljen er tung (høy tetthet og evt viskositet). Det kan også være at det er stort vannkutt i oljen.

Oppgave 3 fortsatt:

Gassløftoperasjoner gjennomføres som regel med injeksjon av naturgass, ofte gass fra produksjonen. Gassen injiseres oftest fra annulus gjennom ventiler i produksjonsrøret, ved å starte fra toppen og gradvis trykkavlaste ned til det ønskede operasjonsområdet. Figuren under viser hvordan produksjonen Q endres som funksjon av gassraten.



Ved lave gassrater øker produksjonen først fordi miks tettheten avtar. Dette fortsetter til maksimumspunktet på kurven. Dette svarer som regel til optimal gassinjeksjon, med mindre det er tekniske eller økonomiske årsaker som påvirker hvor mye gass som kan injiseres. Forbi dette punktet avtar Q fordi friksjonstrykkfallet begynner å dominere.

- d) Væsknivået i brønnen vil løftes pga redusert "mix"tetthet i brønnen.

Matlab program (Matlab er ikke dekket av pensum, kun for å visualisere her)

```
rho1= 850
rho2= 1.8
g=9.8
epsg=0.15
H1=10
romix= rho1*(1-epsg)+ rho2*epsg

H2 = rho1*H1/romix

% rhomix= rho1 - rho1*epsg + rho2*epsg = rho1 - (rho1-rho2)*epsg
% epsg = (rho1- rhomix)/(rho1-rho2)
% Ved produksjon må rhomix være mindre enn:

H3=13
rho3 = rho1*H1/H3

%Og til ii) - gassfraksjonen være minst:
epsg3 = (rho1- rho3)/(rho1-rho2)
```

Dette lille programmet beregner for spørsmål i) at $H_2 = 11.76$ m, og for spørsmål ii) at gassfraksjonen $epsg_3$ må være minst 0.23.

Oppgave 4: Brønnstimulering

Syrebehandling er en teknikk som nyttes for å bedre produksjon og redusere effekter av formasjonsskader som har oppstått i nærbrønnområde eller et stykke ut fra brønnen og inn i reservoaret. Redegjør kort for følgende:

- (i) I hvilke situasjoner er det vanlig å bruke syre?
- (ii) Hvilke syrer er de to mest brukte, og i hvilken sammenheng brukes hver av dem?
- (iii) I hvilken retning (øker / avtar) påvirker en vellykket syrebehandling skin faktor?
- (iv) Reservoaret i oppgave 2 er et rent sandsteinsreservoar og skin faktor for brønnen var beregnet til $s = 6$. Verdien av $\ln(r_e/r_w)$ er beregnet til 7.8.
 - a. Beregn brønnens strømnings effektivitet (i %).
 - b. Dersom denne brønnen syrestimuleres, hva vil maksimal strømnings effektivitet (%) kunne bli etter behandling? Er du usikker på eksakt grenseverdi så gjør en antakelse og grunngi resonnerementet bak svaret ditt.
 - c. Strømningsraten fra brønnen i oppgave 2 ved start av kunstig løft var 600 stb/d. Hvilken strømningsrate kunne maksimalt bli oppnådd i start av løftfasen om en kunne syrestimulere rett i forkant av denne operasjonen?
 - d. Brønnoperasjoner er kostbare offshore og i praksis må økt inntjening fra tiltak som gir økt produksjon veies opp mot kostnad for gjennomføring. Om du ser bort fra kostnader ved syrestimulering, vil du anbefale at dette utføres før kunstig løft?

Oppgave 4 fortsatt:

Løsningsskisse oppgave 4:

Det skal svares kortfattet. Momenter finnes i handouts fra kapittel 16. For eksempel:

- (i) Syrebehandling utføres for å fjerne forurensninger i reservoarbergarten rundt brønnen. Slike forurensninger tetter porene, gir opphav til økt skin. Dermed reduseres permeabiliteten. Forurensningene skyldes ofte inntrengning av boreslam under boring, og det er avsetning av leire som bidrar mest til å tette porene. Det er bare fluss-syre (HF, svak syre) som er **reaktiv** nok til effektivt å løse opp leirmineraler (F⁻ ioner er reaktive).

På kalksteinsbergarter brukes saltsyre (HCl, sterk syre) som ikke angriper leire, men reagerer kraftig med kalkstein og dolomitt slik at porekanalveggene etses ut og større porer dannes.

For kalkstein **kan syrebehandling** øke permeabiliteten til en betydelig høyere verdi enn det den hadde før bergarten ble syrebehandlet. Skinfaktor kan da bli negativ av verdi og produktiviteten betydelig høyere enn for ikke behandlet "naturlig" reservoarbergart. For sandstein kan skin faktor maksimalt bli redusert til 0 om ikke det finnes kalkmineraler i porene. Dvs. sandsteinsreservoar vil som regel maksimalt oppnå sin "naturlige" permeabilitet etter behandling

- (ii) Saltsyre (HCl, normalt maks 12 % løsning) og flussyre (HF, normalt maks 3% løsning).
- (iii) Skinfaktor avtar mot null ved behandling av sandsteinsreservoar. Ved behandling av kalksteinsreservoar kan skin faktor reduseres til verdier lavere enn 0 (negativ) da syra kan etse ut porene og gi porekanaler med større diameter.

(iv) I sandsteinsreservoar:

$$a. E_f = \frac{q_{reell}}{q_{ideell}} = \frac{(\ln(\frac{r_e}{r_w}) - 0.75)}{(\ln(\frac{r_e}{r_w}) - 0.75 + s)} = \frac{7.8 - 0.75}{7.8 - 0.75 + 6} = 0.54$$

$$b. \text{ Ved } s = 0: E_f = \frac{(\ln(\frac{r_e}{r_w}) - 0.75)}{(\ln(\frac{r_e}{r_w}) - 0.75)} = 1$$

- c. Ved maks effekt etter stimulering blir $s = 0$. Før stimulering er $q_{reell} = 600$ stb/d. Uttrykket over innsatt denne verdien gir da:

$$E_f = \frac{q_{reell}}{q_{ideell}} \rightarrow q_{ideell} = \frac{q_{reell}}{E_f} = \frac{600}{0.54} = 1111 \text{ stb/d}$$

- d. Syrestimulering gir en økt strømningsrate og kan øke produksjonen under fasen med kunstig løft. En faktor som kan tale mot å øke produksjonsraten er økt fare for vanngjennomtrengning. Dersom det ikke er fare for vanngjennombrudd og kostnadene tillater det kan en anbefale syrestimulering før løft. Svaret må stå i sammenheng med svar og konklusjoner fra punktene b) og c) over for å gi full score.