

LØSNINGSSKISSE

med kommentarer

ØVING 4

OPPGAVE 1:

Strømning i brønn

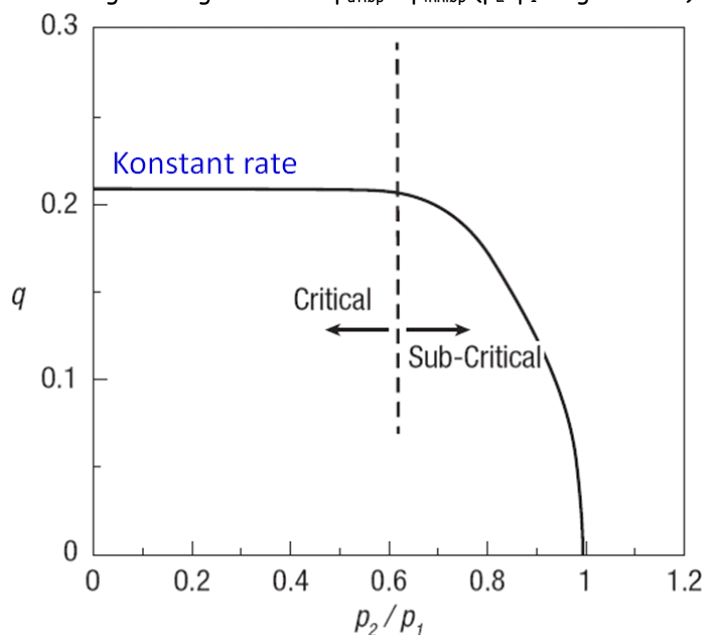
De to foregående oppgavene er skissert i stor detalj. Det bør ikke være nødvendig for den siste oppgaven.

- 1A** Det kan variere hvilken faktor som benyttes for overslag m.h.t. grense for kritisk strømning. La oss bruk 2. $P_{wh}=2 \cdot P_{sep}=2 \cdot 50 \cdot 14.5=1450 \text{ psi}$

Se videre forelesningsnotater eller bok. Det som det tenkes på her er betingelsene for sonisk strømning over choken og nødvendig trykkendring over denne for å gi sonisk strømning (dvs. strømningsrate lik fluidets lydshastighet). Betingelsen for sonisk

strømning er gitt av det kritiske trykkforholdet $\left(\frac{p_{utløp}}{p_{innløp}}\right)_c = \left(\frac{2}{\kappa + 1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}}$ der $\kappa =$

adiabatkonstanten for gassfasen, $p_{innløp}$ = brønnhodetrykket og $p_{utløp}$ = trykket nedstrøms choken og i rørledningen som fører til separator. I oppgaveteksten står det at en skal neglisjere / se bort fra trykkfall i rørledningen fram til separator grunnet friksjonstap (eller løft fra sjøbunn og opp til plattformdekket). Det er da betingelser for sonisk strømning som bestemmer hva brønnhodetrykket må være sett i relasjon til innløpstrykket på separator. Fra forelesninger har vi vist at relasjon mellom strømningsrate og forholdet $p_{utløp} / p_{innløp}$ (p_2/p_1 i figur under) har følgende kurveforløp:



I denne figuren ser vi at kritisk trykkforhold og grensen for sonisk strømning ligger rundt $p_2/p_1 = 0.6$. Forholdet p_2/p_1 ligger normalt i området mellom 0.5 og 0.6. Dersom vi antar $p_2/p_1 = 0.5$ finner vi:

$$p_{utløp} = p_2 = 0.5 \times p_1 \text{ og } p_{wh} = p_1 = 2 \times p_2 \approx 2 \times p_{separator} = 2 \times 50 \text{ bar} = \underline{100 \text{ bar}}$$

1B Se vedlagt diagram.

TPR kurven bestemmes via brønntestdata når $p_{wh} = 100 \text{ bara} = 1450 \text{ psia}$. En finner da:

$$100 \text{ bara} = 1450 \text{ psia}$$

q_o [STB/D]	p_{wf} [psia]	p_{wh} [psia]	$\Delta p = p_{wf} - p_{wh}$ [psi]	$TPR_{p_{wh}=100 \text{ bar}}$
0	5000			
440	4700	2700	2000	3450
740	4400	2600	1800	3250
990	4100	2380	1720	3170
1400	3500	1620	1880	3330
1700	2900	550	2350	3800

IPR-kurven finner vi ved å plote brønntrykket, p_{wf} , som funksjon av strømningsraten q_o (blå kurve i fig), WPR-kurven finner vi ved å plote brønnehodetrykket, p_{wh} , som funksjon av strømningsraten q_o (brunnrød kurve i fig) og TPR verdiene i tabellen over kan plottes som funksjon av strømningsraten q_o . Det sistnevnte gir TPR-kurven ved $p_{wh} = p_{wh, \min}$ (lys grønn kurve i fig). (I vedlagte figur er det lagt inn flere målepunkt enn det som er oppgitt i brønntest data.)

I figuren er det også skissert to IPR-kurver som gjelder ved reservoartrykk lavere enn kokepunkttrykket, p_b , for olje. Disse er skissert ved lilla, heltrukket kurve og brun, stiplet kurve. Disse må være beregnet via ligningen:

$$q_{o2} = \frac{h \cdot k \cdot (p_{e2}^2 - p_{wf}^2)}{141.2 \cdot B_o \cdot \mu_o \cdot \left(\ln \frac{r_e}{r_w} - \frac{3}{4} + s \right) \cdot 2p_b}$$

Der p_{e2} er reservoartrykket ($p_{e2} < p_b$). I oppgaven er ikke nødvendige data gitt for anvendelse av denne ligningen.

Maks strømningsrate ved $p_{wh, \min}$ finnes i skjæringspunktet mellom IPR-kurve og TPR-kurve. I diagrammet kan denne avleses til $q_{o, \max} = 1460 \text{ stb/d}$.

Max. strømningsrate med $p_{wh} = p_{wh, \min} : q_{o, \max} = 1460 \text{ STB/D}$

1C *Prosessvei: vertikalt forløp fra punkt (1) i figur til $p_{wh, \min}$ ved punkt (2) i figuren er nådd. Dette er skissert med rød prikket vertikal linje og pil ned i prosessretningen. En tenkt IPR-kurve er trukket gjennom dette punktet (lys lilla kurve i fig). Ved dette punktet krysser ny IPR kurve TPR kurven ved et minimum på TPR. Vi trenger ikke finne denne IPR-kurven for å løse oppgavespørsmålet, men kan betrakte trykkfallet i brønnen fra punkt (1) til punkt (2). Siden vi har produsert ved platarate har en senket trykk ved brønnehodet og i brønn i omtrentlig samme takt som trykket faller i reservoaret. En kan derfor anslå fall i reservoartrykk i perioden ved å estimere fall i brønntrykk. Om reservoartrykket hadde ligget over kokepunktet ville denne betraktningmåten vært helt korrekt, men når vi er under kokepunktet kan trykket i brønn falle noe raskere enn trykket i reservoaret.*

Fra grafen finner vi at brønntrykket ved punkt (1) er ca. 4100 psia og ved punkt (2) ca. 3200 psia. Trykket i brønn og reservoar har da falt med $\Delta p_e = 4100 - 3200 = 900 \text{ psi}$ i løpet av perioden. Siden det er opplyst at brønntrykket

faller med 200 psi/år kan vi nå beregne tid fra start i punkt (1) til slutt produksjon i punkt (2) som $t_{prod} = 900/200 = \underline{4.5 \text{ år}}$.

Dersom vi ser på den lille IPR-kurven så skjærer den TPR kurven rundt punkt (2). Går vi langs den lille IPR-kurven mot venstre og avtagende rate, finner vi skjæring med trykkaksen ved 4300 psia. Trykket i reservoaret har derfor falt med $(5000 - 4300) = 700 \text{ psi}$ – ikke 900 som anslått over og $t_{prod} = 700/200 = 3.5 \text{ år}$. Anslaget over bommer derfor med ett år om den lille IPR-kurven er riktig. Betragtning ut fra fall i brønntrykk er derfor ikke korrekt så lenge det ikke er en lineær sammenheng mellom produksjonsrate og trykk i brønn som her.

(Kommentar fra tidligere faglærer som har laget oppgaven og grafen:

Vi kjenner ikke den nye P_e , men en kan anslå ved å bruke P_{wf} for de to endepunktene i prosessveien (se fig neste side): $\Delta p_e = 4100 - 3200 = 900$. Tid: $900/200 = 4.5 \text{ år}$. Anslått Δp_e er ca. verdier ut fra grafen.

Vi har da antatt at de to kurvene er parallelle, noe som ikke er helt riktig. Alternativt kan en finne uttrykket for den initielle IPR-kurven, for så å bruke denne i beregningen av reduksjon i reservoartrykk.)

De to ekstra IPR-kurvene er unødvendige og kan kanskje virke forvirrende på enkelte, ut fra måten kurset undervises nå.

- 1D** Når vi skal produsere ved konstant brønnehodetrykk, til $P_{wh,min}$ må vi bevege oss langs den skisserte TPR kurven i retning lavere produksjonsrater. Prosessvei: forløp langs TPR($P_{wh,min}$) til $q_{o,min}$ er nådd. Dette er skissert med rød stiplet kurve langs TPR kurven med pil i prosessretning mot lavere rater. TPR kurven heller nå oppover. Dvs. raten er for lav til å frakte væske og gass med samme rate opp til brønnehodet og væske blir ”hengende” etter slik at hydrostatisk trykk av væskesøyle øker. **Vi ser her bort fra at TPR i dette området heller ”gal” vei og finner $P_{wf}(q_{o,min}, P_{wh,min}) = 3320 \text{ psi}$.**

Ved å bruke de opplysningene som er gitt i oppgaven og gradientkurve-diagrammet finner en $p_{wf}(q_{o,min}, P_{wh,min}) = 3320 \text{ psi}$. som er ”utrolig”t godt overensstemmende med kurvene i figur neste side. Løsning fra gradientkurvediagrammet er vist på side 5.

Når 1/3 av den produserte gassen (500 scf/stb, GOR = 1500 scf/stb) nyttes til gassløft blir $GOR_{tot} = 4/3 * GOR_{oppinnelig} = 2000 \text{ scf/stb}$ (injisert gass kommer ut sammen med olja og produsert gass i ved brønnehodet, GOR for fluid i produksjonsrør økes ved gassløft).

Fra gradientkurvene finnes da $P_{wf}(q_{o,min}, P_{wh,min}) = 2900 \text{ psi}$

Gassinjeksjonsraten $q_{g,inj} = q_o * GOR_{inj} = 600 * 500 = 3 \cdot 10^5 \text{ scf/D}$.

Utgiftene til installasjon og vedlikehold av mekanisk utstyr og drift av f.eks. kompressor.

Av gradientkurvediagrammet ser vi at maksimalt løft kan oppnås ved $GLR_{inj} = 3600 \text{ scf/stb}$. Imidlertid havner vi utenfor diagrammet ved denne raten og gitt brønnehodetrykk. En injeksjonsrate rundt 2600 scf/d er imidlertid mulig, dvs en økning i injisert mengde gass til $q_{o,inj,2600} = (2600 - 1500) * 600 = 5.5 \times 10^5 \text{ scf/d}$ og vi kan komme ned til et brønntrykk på 2250 psia, dvs. 650 psi lengre ned i trykk enn ved $GLR = 2000$. Det er noe å hente her.

Om det var mulig å senke brønnehodetrykket til ca. 1200 psia vil GLR = 3600 være oppnåelig med mulighet for å produsere ned mot et brønntrykk helt ned i området 1800 til 1850 psia om en ikke tar hensyn til at GOR'en i reservoarolja vil synke med synkende reservoartrykk og eventuelle effekter av dette.

