## Øving 6 H2013: Strømning fra reservoar til brønn

Deler av spørsmålene fra a) til i) er hentet fra eksamen H2012.

Et reservoar som ligger på dybde 10 000 ft produseres gjennom en vertikal brønn. Følgende reservoar-, brønn- og fluid-data er gitt:

* Reservoartrykk, pe = 7000 psia, oljens kokepunkt, pb = 3300 psia
* Viskositet olje, o = 1.5 cp, volumfaktor olje, Bo = 1.47, Relativ tetthet olje, o = 0.78, GOR = Rs = 800 scf/stb
* Reservoar tykkelse mot brønn, h = 80 ft, permeabilitet, k = 90 mD, prorositet  = 0.2, skinfaktor s= 3.8
* Brønnens radius, rw = 4.5 in, Dreneringsradius reservoar, re = 1000 ft
* Produksjonsrøret har diameter 2.875” (2.875 tommer). En antar produksjon ved pseudo-steady-state.

En brønntest har gitt følgende resultat (Ø2013):



**\***: Estimert via bruk av gradientkurvediagram.

Brønnen kan produseres så lenge brønnhodetrykket holdes over pwh,produksjon = 1500 psia.

1. Hva er brønnens produksjonsindeks og hva blir produksjonsraten, qo,pb, dersom brønntrykket senkes ned til oljas kokepunkt, pb ved oppstart av produksjon?
2. Hva blir trykket i brønnen ved en produksjonsrate på 600 stb/d (det manglende punktet i tabellen over)?
3. Hvordan kan du ut fra test dataene i tabellen over finne sammenhengen som beskriver produksjonsrørets TPR kurve ved et vilkårlig brønnhodetrykk pwh,produksjon?
4. Beregn punktene på en TPR-kurve som gjelder for et brønnhodetrykk, pwh = 1500 psia for de produksjons ratene som er oppgitt i tabellen over.
5. Lag en figur som skisserer IPR-kurven ved start og TPR-kurven ved pwh = 1500 psia.
6. Hvordan regulerer en systemet for å holde konstant produksjonsrate (platårate) over tid? (Hva må en endre på?)

En bestemmer seg for å produsere ved en platårate på 1500 stb/d. De to første årene produseres uten trykkstøtte og en registrerer at trykket i reservoaret faller jevnt med 300 psi/år i snitt over denne perioden. Etter to år får en startet opp trykkstøttesystem via vanninjeksjon slik at trykkfallet i reservoaret reduseres til 200 psi/år. Så lenge reservoar og brønn produserer enfase olje kan du regne at produksjonsindeksen holder seg konstant selv om reservoartrykket faller.

Når brønnhodetrykket når nedre grense etter produksjon ved gitte platårate, produserer en videre ved konstant brønnhodetrykk ved å senke produksjonsraten gradvis etter hvert som reservoartrykket faller. TPR kurvene har et minimum ved qo = 600 stb/d og en produserer til denne grensen er nådd.

1. Skisser hele produksjonsforløpet fra start og helt ned til nedre grense på qo = 600 stb/d ved pwh = 1500 psia i figuren du skisserte under spørsmål e) over.
2. Hvor lang tid tar det fra start av produksjon fra denne brønnen til en når nedre grense ved produksjonsrate qo =600 stb/d dersom du antar at reservoartrykket fremdeles synker med konstant rate på 200 psi/år under hele forløpet når produksjonsraten senkes gradvis fra 1500 til 600 stb/d?

Når du avslutter produksjonen ved punkt h) over er reservoartrykket fremdeles langt over kokepunktet. En ønsker å undersøke hvor lenge det lar seg gjøre å produsere brønnen ved bruk av gassløft og hva reservoartrykket og brønntrykket vil ligge på når dette ikke går lenger.

1. Til eksamen vil alle tenkelige ligninger bli oppgitt samlet i et vedlegg, men i dette spørsmålet må du finne disse selv fra forelesningsnotat / handouts. Hvilket uttrykk / ligning skal du bruke når:
   1. du skal beregne IPR-kurvens forløp ved brønntrykk lavere enn oljas kokepunkt, men ved trykk i reservoar over kokepunktet (pe,t > pb)?
   2. du skal beregne IPR-kurvens forløp ved reservoartrykk og brønntrykk lavere enn oljas kokepunkt (pe,t < pb)?
2. Bruk gradientkurvediagram på siste side i oppgavesettet til å finne brønntrykket ved maksimal GLR (GOR), GLRlimit, for å løfte fluidet ut av brønn ved qo = 600 stb/d og pwh = 1500 psia.
3. Hvor stort blir behovet for gass til injeksjon ved GLRlimit per dag?
4. Hvor stort blir bidraget fra løftet angitt som reduksjon i hydrostatisk trykk ved GLRlimit (=GLRmaks)?
5. Bruk riktig ligning fra spørsmål j) til å skissere nye IPR og TPRpwh=1500 kurver ved GLRmaks og reservoartrykk pe = 3100 og pe = 2400 psia. Ta hensyn til at oljas volum ekspansjonsfaktor og viskositet endres med reservoartrykket som skissert i vedlagte grafer på nest siste side i oppgavesettet.
6. Anta at trykket i reservoaret faller med konstant rate 200 psia per år også når reservoartrykket synker under kokepunktet. Hvor lenge forlenges levetiden for brønnen ved bruk av gassløft til GLR når grenseverdi GLRmaks:
   1. Om vi produserer ned til et reservoartrykk på 3100 psia?
   2. Om vi senker brønnhodetrykket til 750 psia og produserer ned til reservoartrykk på 2400 psia?
7. Feltet produseres fra 4 like brønner med identiske produksjonsindekser og skin faktor og produksjonsrate 600 stb/d og samtlige brønner krever samme gassmengde til gassløft. Prosessenheten har tre separatorer og en kompressor etter hvert trinn. Gassen til løft tas ut fra første separator og kjøres inn på en kompressor med kapasitet på 500 Hk. Innløpstrykket (pin) fra første separator og inn på denne kompressoren er 900 psia. Gass fra de andre to separatorene løftes også opp til dette trykket over de to andre kompressorene slik at all gass i systemet passerer denne siste kompressoren ved første separator før gassen fordeles til løft og eksport. Når gassinjeksjonen er på sin maksimale rate og injeksjonen skjer ved injeksjonsventil ved bunn av brønn rett over produksjonspakningen trengs et injeksjonstrykk, psurf, på 2600 psia ut av kompressoren. Har denne kompressoren nok kapasitet til å forsyne samtlige brønner med gass til løftet eller må det investeres i ny kompressor? Gassens adiabatkonstant, , er 1.25.

De siste to spørsmålene er utformet for å illustrere lønnsomhet og begrensninger i lønnsomhet når en vurderer forlengelse av levetid og produksjonstid på felt.

1. Hva representerer merverdien som hentes ut av feltets 4 brønner med gassløft til GLRmaks ved pwh = 1500 psia og når en antar gjennomsnittlig oljepris på US$ 100 per fat (US$ = amerikanske dollar, NOK = norske kroner) og en dollarkurs på 1 US$ = NOK 5.90 over produksjonstiden?
2. En vurderer forlengelse av levetiden ytterligere ved ombygning på plattform slik at kan halvere trykket på innløpsseparator og produsere ved et brønnhodetrykk på 750 psia istedenfor 1500 psia. Produksjonsraten kan fortsatt holdes på maksimalt 600 stb/d, men senkning av brønnhodetrykk krever en ombygning på prosessenheten til en kostnad av 350 millioner NOK. Vil en slik investering være lønnsom når en regner en avskrivningstid på 3 år for investeringen og at oljeprisen kan falle ned mot US$ 60 per fat under produksjonsperioden? Anta at reservoartrykket fremdeles synker med 200 psi per år.



**Figuren viser volum ekspansjonsfaktor som funksjon av reservoartrykket.**



**Figuren viser oljas viskositet som funksjon av reservoartrykket.**

