

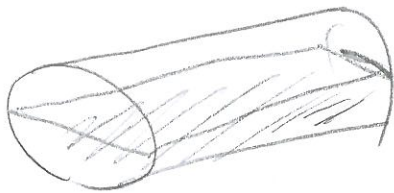
BIP 160 - Produksjon av olje og gass - Kont. 2012

Eksamensdato: 25. Feb. 2013

LøSNINGSFORSLAG, Oppg 1

a) I: Værhu volum, horizontal separator, 1/2 full:

Att. 1: Anta perfekt sylinder:



$$V_L = \frac{1}{2} \cdot \underbrace{\frac{\pi}{4} D^2 \cdot L}_{\text{Tot. volum}}$$

Regne om til metriske enheter: $D = 60'' \cdot 0.0254 \frac{m}{in} = 1.524m$

$$L = 15' \cdot 0.3048 \frac{m}{ft} = 4.572m$$

$$\Rightarrow V_L = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (1.524m)^2 \cdot 4.572m = 4.169 \approx \underline{\underline{4.2 m^3}} \text{ QED}$$

Att. 2: Tabell 10.5 / Vedlegg 8:

Setting volume, 1/2 Full = 26.68 bbl for (D x L) = 60" x 15'
(2. kolonne, nest nederste rad)

$$V_L = 26.68 \text{ bbl} \cdot 0.15899 \frac{m^3}{\text{bbl}} = 4.24 \approx \underline{\underline{4.2 m^3}} \text{ QED}$$

II Værhu kapasitet:

$$q_L = \frac{V_L}{\tau} \Rightarrow q_L = \frac{4.2 m^3}{60s} = 0.07 \frac{m^3}{s} = 0.07 \cdot 3600 = \underline{\underline{252 \frac{m^3}{h}}}$$

(2)

b) I: Trykkdifferansen ($P_1 - P_2$) med Ålsvann

hydrostatisk trykkdifferanse pga. høyde forskjellen, plus forlans trykk differansen (tapet) pga. strømnings.

$$\Rightarrow P_1 - P_2 = \rho g H + \frac{1}{2} \rho f_D u^2 \frac{L_r}{D_r}$$

Tetthet: $\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \gamma = 1000 \cdot \frac{141.5}{131.5 + 30^\circ \text{API}}$

$= 876 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Strømningshastighet i rør:

$$u = \frac{q_L}{A_r} = \frac{q_L}{\frac{\pi}{4} D_r^2} = \frac{4 \cdot 0.07 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\pi \cdot (0.15 \text{ m})^2} = \underline{3.96 \text{ m/s}}$$

$$\Rightarrow P_1 = \underbrace{876 \cdot 9.81 \cdot 20}_{\rho g H} + \underbrace{\frac{1}{2} \cdot 876 \cdot 0.02 \cdot (3.96)^2 \cdot \frac{100}{0.15}}_{\frac{1}{2} \rho f_D u^2 \frac{L_r}{D_r}} + \underbrace{3 \cdot 10^5}_{P_2 [\text{Pa}]}$$

$= 171.871 + 91.581 + 300.000$

$= 563452 \text{ Pa} = \underline{\underline{5.63 \text{ bar}}}$

II: Pumpens løfte høyde Ålsvann trykk differansen over

pumpen, ($P_1 - P_0$) $\Rightarrow \Delta p = 5.63 - 1.5 = 4.13 \text{ bar}$

$\Rightarrow H_p = \frac{\Delta P [\text{Pa}]}{\rho g} = \frac{413000}{876 \cdot 9.81} = \underline{\underline{48.1 \text{ m}}}$

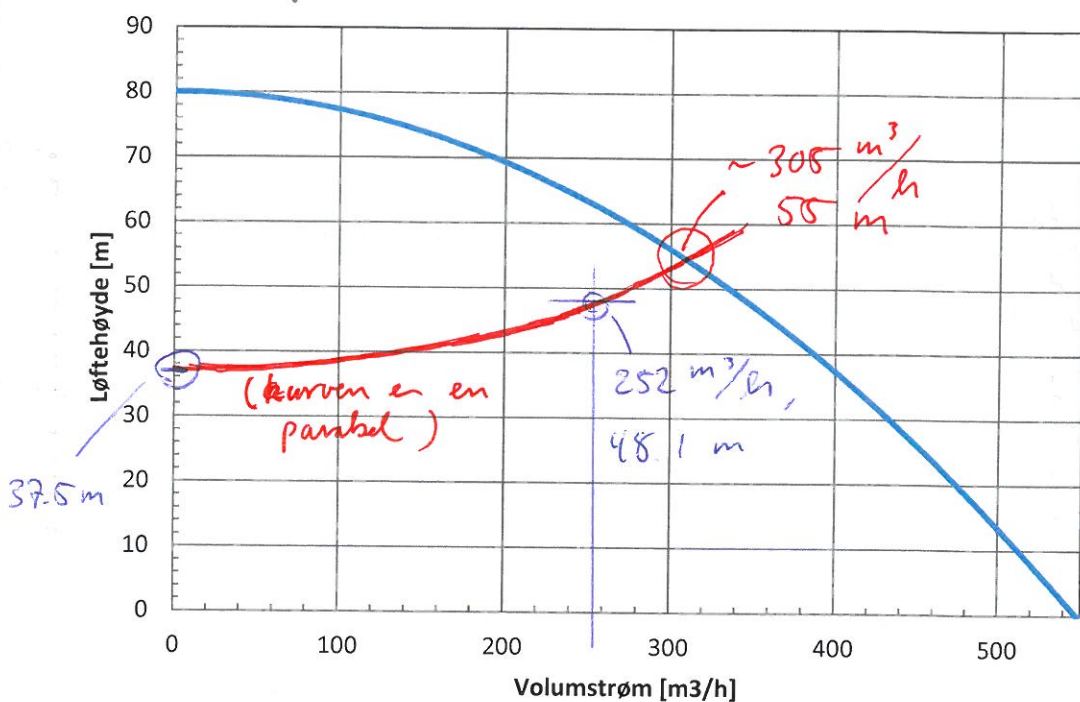
3

c) I: Trykkløst mellom $P_2 = 3 \text{ bar}$ og innløps-trykkløst $P_0 = 1.5 \text{ bar}$ utgjør, sammen med det hydrostatisk bidraget, den delen av pumpeens løfte høyde som er upåvirket av strømmen:

$$P_3 - P_1 = 1.5 \text{ bar} \Rightarrow H_{01} = \frac{150000 \text{ Pa}}{876 \cdot 9.81} = 17.5 \text{ m}$$

$$\Rightarrow H_0 = 20 \text{ m} + 17.5 \text{ m} = \underline{37.5 \text{ m}}$$

Bruk grafen i fig. 2



\Rightarrow ca. Naturlig driftspunkt $H \approx 55 \text{ m}$
 $q_L \approx 305 \text{ m}^3/\text{h}$

(Det er selvsagt også mulig å beregne flere punkter på et system karakteristikkene)

$$H_s(q_L) = H_0 + \frac{f_D}{2g} \cdot \left(\frac{4 q_L}{\pi D_r} \right)^2 \cdot \frac{L_r}{D_r}$$

For å kunne sette inn q_L i $\frac{m^3}{h}$ med vs dele på 3600:

$$H_S(q_L) = 37.5 + \frac{1}{2 \cdot 9.81} \cdot 0.02 \cdot \left(\frac{4 \cdot q_L [\frac{m^3}{h}]}{\pi \cdot 0.15^2 \cdot 3600} \right)^2 \cdot \frac{100}{0.15}$$

$$= 37.5 + 1.679 \cdot 10^{-4} \cdot q_L^2 [\frac{m^3}{h}]$$

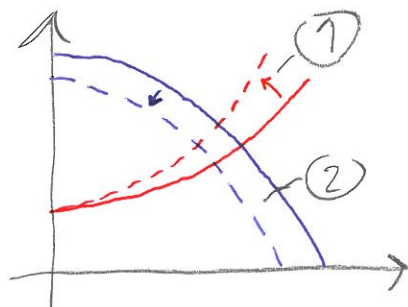
(kontroll:)

$$\rightarrow H_S(305 \frac{m^3}{h}) = 37.5 + 1.679 \cdot 10^{-4} \cdot 305^2 = \underline{\underline{53.12 \text{ m}}}$$

~ 0.6

II:

- ① Reguleringsventil; legger til en ekstra, strømningsavhengig komponent til systemkarakteristikken, d.e. vippe kurven oppover i "høyre" kant
- ② Ventallsregulering; tilførs mindre energi til pumpen, i.e. "senke" pumpekarakteristikken



Oppgave 2:

Strømning fra reservoar til brønn - Løsningsforslag

Oppgavetekst:

Et oljefelt har følgende reservoardata:

- Midlere reservoartrykk p_e : 5000 psia
- Kokepunktstrykk, p_b : 3000 psia
- Formasjonen er homogen og en antar samme permeabilitet gjennom hele reservoaret.

Test fra to brønner A og B viste følgende:

- Brønn A:
 - Test trykk 4000 psia
 - Produsert rate olje 290 fat/døgn
- Brønn B:
 - Test trykk 2000 psia
 - Produsert rate olje 910 fat/døgn
- Brønn A: Enfase olje ved test, Brønn B: tofase gass / olje ved test.
- Brønnene ligger på samme dybde, har lik høyde, samme geometri og drenerer fra områder med lik dreneringsradius ($r_{e,A} = r_{e,B}$, og $r_{w,A} = r_{w,B}$)

Fra brønntest data og aktuelle produksjonsligninger skal du nå finne:

- a) Bestem produksjonsindeks for brønn A.
- b) Bestem produksjonsindeks for brønn B.
- c) Beregn $q_{\max, \text{tot}}$ for hver av de to brønnene

Brønn A og B ligger i samme felt, på samme dyp, har samme høyde og reservoaret er homogent over det området brønnene ligger. Brønnene er der derfor helt identiske og skulle ideelt sett gi samme produksjonsdata ved testing.

- d) Dersom du sammenligner verdiene du har fått for de to brønnene og ikke har funnet sammenfallende og helt like verdier ved ellers like testbetingelser, hva kan være årsaken til dette (unøyaktige test data, unøyaktige ligninger, regnefeil eller annet)?

Løsningsforslag Oppgave 2:

Se eksempel E3-D fra forelesningene om IPR kurver i handout 3 fra side 17 (nederste slide) til side 20 for mer detaljer om framgangsmåte.

- Begge brønnene produserer i enfaseområdet for $p_{wf} > 3000$ psia
 - For brønn A har vi kun testdata fra enfase oljeområdet hvor IPR kurven er rettlinjett. Fra $p_{wf} = p_b = 3000$ psia og ned er den ikke lineær.
 - For brønn B er eneste testpunkt i tofaseområdet. Denne brønnen produserer ikke lineært fra $p_{wf} = 3000$ psia og ned mens den er lineær fra $p_{wf} = 5000$ psia og ned til p_b .
 - For begge brønnene prøver vi å finne en produksjonsindeks, J^* , ved p_b slik at vi kan bestemme q_{max} i tofaseområdet fra Vogel likning.

For brønn A:

- a) Produksjonsindeks fra reservoartrykk, p_e , og ned til kokepunktet, p_b , er gitt ved:

$$J_A = \frac{q_o}{p_e - p_{wf}} = \frac{290}{5000 - 4000} = 0.29 \text{ [fat/d/psi]}$$

- b) Siden test data for brønn B er fra tofase området, må vi gå via Vogels ligning for å finne løsningen. Fra Vogels ligning har vi:

$$\frac{q_o}{q_{max}} = 1 - 0.2 \cdot \left(\frac{p_{wf}}{p_b} \right) - 0.8 \cdot \left(\frac{p_{wf}^2}{p_b^2} \right). \text{ Denne gjelder fra } p_b \text{ og ned. Skal vi regne på}$$

total oljeproduksjon har vi:

$$q_{o,tot} = q_{o,b} + q_{max,tillegg} \cdot \left(1 - 0.2 \cdot \left(\frac{p_{wf}}{p_b} \right) - 0.8 \cdot \left(\frac{p_{wf}^2}{p_b^2} \right) \right), \quad q_{max,tillegg} = \frac{J_B \cdot p_b}{1.8} \text{ der}$$

$q_{o,b}$ er produksjon ved kokepunktet. Denne kan bestemmes fra: $q_{o,b} = J_B \cdot (p_e - p_b)$

som innsatt i ligningen over gir:

$$q_{o,tot} = J_B \cdot (p_e - p_b) + \frac{J_B \cdot p_b}{1.8} \cdot \left(1 - 0.2 \cdot \left(\frac{p_{wf}}{p_b} \right) - 0.8 \cdot \left(\frac{p_{wf}^2}{p_b^2} \right) \right). \text{ Vi kan nå løse}$$

denne med hensyn på produksjonsindeks, J_B , og får:

$$J_B = \frac{q_{o,tot}}{\left((p_e - p_b) + \frac{p_b}{1.8} \cdot \left(1 - 0.2 \cdot \left(\frac{p_{wf}}{p_b} \right) - 0.8 \cdot \left(\frac{p_{wf}^2}{p_b^2} \right) \right) \right)} \quad \text{og nå kan } J_B$$

bestemmes fra test data. Vi får da:

$$J_B = \frac{910}{\left((5000 - 3000) + \frac{3000}{1.8} \cdot \left(1 - 0.2 \cdot \left(\frac{2000}{3000} \right) - 0.8 \cdot \left(\frac{2000}{3000} \right)^2 \right) \right)} = 0.3191 \text{ [stb/d/psi]}$$

- c) Finner først $q_{o,bA}$ og $q_{o,bB}$ ved kokepunktet for hver av de to brønnene:

$$q_{o,bA} = J_A \cdot (p_e - p_b) = 0.29 \cdot 2000 = 580 \text{ [fat/d] og}$$

$$q_{o,bB} = J_B \cdot (p_e - p_b) = 0.3191 \cdot 2000 = 638 \text{ [fat/d] Nå kan vi finne } q_{\max, \text{tot}} \text{ for hver}$$

av brønnene via Vogels ligning. For brønn A får vi når $p_{wf} = 0$ psia:

$$q_{oA, \max} = J_A \cdot (p_e - p_b) + \frac{J_A \cdot p_b}{1.8} \cdot \left(1 - 0.2 \cdot \left(\frac{p_{wf}}{p_b} \right) - 0.8 \cdot \left(\frac{p_{wf}^2}{p_b^2} \right) \right) = 580 + 483$$

$$q_{oA, \max} = 1063 \text{ [stb/d] eller [fat/d]}$$

og for brønn B får vi:

$$q_{oB, \max} = J_B \cdot (p_e - p_b) + \frac{J_B \cdot p_b}{1.8} \cdot \left(1 - 0.2 \cdot \left(\frac{p_{wf}}{p_b} \right) - 0.8 \cdot \left(\frac{p_{wf}^2}{p_b^2} \right) \right) = 638 + 531,$$

$$q_{oB, \max} = 1169 \text{ [stb/d] eller [fat/d]}$$

- d) Forskjellen mellom de to brønnene kan tyde på at skin faktor er forskjellig og at brønn A har større skade enn brønn B og derfor gir lavere produksjon ved ellers like trykk data. Vogels ligning er heller ikke helt eksakt og det kan også ligge unøyaktigheter i denne, men det er ikke usannsynlig at brønnene har noe forskjellig skin faktor siden boreoperasjon og perforering ikke er utført ved samme operasjon i de to brønnene.

Oppgave 3: Kunstig løft

Oppgavetekst:

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

- Reservoartrykk, $p_e = 7000$ psia, oljens kokepunkt, $p_b = 3300$ psia
- Viskositet olje, $\mu_o = 1.5$ cp, volumfaktor olje, $B_o = 1.3$, Relativ tetthet olje, $\gamma_o = 0.78$, GOR = 800 scf/stb
- Reservoar tykkelse mot brønn, $h = 80$ ft, permeabilitet, $k = 90$ mD, porositet $\phi = 0.2$
- Brønnens diameter, $r_w = 5.0$ in, Dreneringsradius reservoar, $r_e = 1000$ ft.
- Produksjonsrøret har diameter 3.5" (3.5 tommer). En antar produksjon ved pseudo-steady-state.

En brønntest ved oppstart av produksjon har gitt følgende resultat:

q_o STB/d	$p_{wf, test}$ psia	$p_{wh, test}$ psia
0	7000	
600		4241
832	6600	4240
2454	5820	3200
4098	5030	2030
4555	4810	1660

Uten gassløft kan brønnen produseres så lenge brønnehodetrykket holdes over $p_{wh, produksjon} = 1500$ psia. TPR kurven(e) har et minimum ved 600 stb/d. Brønnen produseres ved konstant rate over en del år (platårare) til en når nedre grense for brønnehodetrykk, deretter senkes produksjonsraten gradvis ned mot 600 stb/d ved konstant brønnehodetrykk. Under denne perioden utføres brønnvedlikehold med jevne intervall og en kan gå ut fra at produksjonsindeksen holder seg konstant fra en starter produksjon til brønnen stenges ned etter at optimal mengde olje er hentet ut. Før en når nedre grensebetingelse for produksjon ved 600 stb/d uten gassløft starter en vurderingen av gassløft for å finne hvor lenge brønnen lar seg produsere.

Svar så kortfattet som mulig på de spørsmål i det følgende som ikke inneholder / krever beregninger. Om enkelte av spørsmålene synes vanskelig, så svar på de spørsmålene du synes er enklest først og ta de du synes er vanskeligst til slutt slik at du får utnyttet tiden til å vise mest mulig av det du kan under eksamen.

- Beregn trykket i brønnen når "naturlig" produksjon uten gassløft vil stanse ("sluttpunktet" ved $q_o = 600$ stb/d og $p_{wh} = 1500$ psia). Du kan forutsette / anta at produksjonsindeksen holder seg konstant under hele produksjons-førløpet.

- b) Beregn trykket i reservoaret ved "sluttpunktet" under spørsmål a) over.

En vil nå se på om det lar seg gjøre å produsere brønnen videre ved hjelp av kunstig gassløft.

- c) Hva menes med gassløft og hva er hovedårsaken til at kunstig gassløftet kan ha god effekt?

En ønsker å se på muligheten for videre produksjon ved 600 stb/d via gassløft helt ned til reservoartrykket når kokepunktet. En trenger da informasjon om brønnens IPR-kurve ved $p_e = p_b$ og du kan gå ut fra at produksjonsindeks har holdt seg uendret fra $p_e = 7000$ psia og ned til $p_e = p_b = 3300$ psia.

- d) Med utgangspunkt i de gitte opplysninger: Hvilken ligning / formel vil du benytte for å beregne brønnens IPR kurve ved $p_e = p_b$?
- e) Bruk denne ligningen fra spørsmål d) til å skissere brønnens IPR kurve i området mellom $q_o = 0$ og $q_{o,max}$ når $p_e = p_b$. Benytt / beregn gjerne 4 punkt på IPR kurven som utgangspunkt for denne skissen.
- f) Bruk IPR kurven fra delspørsmål e) til å bestemme / anslå brønntrykket, p_{wf} , ved strømningsrate $q_o = 600$ stb/d når $p_e = p_b$.

Du kan anta at GOR må økes til minst 1700 scf/stb for at løfteeffekten skal bli tilstrekkelig til å komme ned til dette når brønnhodetrykket, p_{wh} , må holdes på minimum 1500 psia. Trykkdifferansen mellom punkt a) og det anslåtte brønntrykk fra f) viser hvilken effekt gassløftet må ha om du skal nå betingelsene under punkt f) som nedre grense for produksjonstrykk i brønn ved $p_{wh} = 1500$ psia.

- g) Forklar hvordan du kan benytte et gradientkurvediagram til å bestemme trykket i brønnen når brønnhodetrykk, reservoarybden og fluidets GOR forhold er gitt (illustrer gjerne med en skisse).
- h) Bruk det vedlagte gradientkurvediagram til å beregne brønntrykket ved $GLR = 1700$ scf/stb og $p_{wh}=1500$ for den gitte brønnen.
- i) Med utgangspunkt i gradientkurvediagrammet fra spørsmål h): Er injisert mengde gass tilstrekkelig til å løfte oljen opp til overflaten ved betingelsene gitt over, eller må du injisere mer gass for å oppnå tilstrekkelig effekt fra gassløft?

Løsningsforslag Oppgave 3:

Spørsmål a) kan løses på to måter: i) benytte gradientkurvediagram og de gitte opplysningene eller ii) finne punktet på $TPR_{p_{wh}=1500}$ kurven ved $q_o = 600$ stb/d. For å finne det siste må vi benytte info om p_{wf} og p_{wh} fra brønntest ved $q_o = 600$ stb/d, men her mangler vi verdien for p_{wf} ved $q_o = 600$ stb/d. Denne kan imidlertid beregnes fra opplyste brønntest data dersom vi først finner produksjonsindeks, J . I løsningsforslaget benyttes framgangsmåte ii). Den som benytter gradientkurvediagram vil finne at p_{wf} ligger i underkant av 4000 psia ved $q_o = 600$ stb/d.

- a) For å beregne trykket i brønnen ved $q_o = 600$ stb/d og $p_{wh} = 1500$ psia der naturlig produksjon vil stoppe opp uten gassløft, trenger vi info om trykkdifferensen $\Delta p = p_{wf} - p_{wh}$ ved $q_o = 600$ stb/d. Men fra brønntest data ser vi at info om p_{wf} mangler ved denne strømningsraten. Vi må derfor finne p_{wf} ved $q_o = 600$ stb/d. Til dette trenger vi produksjonsindeks, J , som kan beregnes fra vilkårlig brønntest data. Benytter korrelasjonsligningen $q_o = J(p_e - p_{wf})$ og finner:

$$J = \frac{q_o}{p_e - p_{wf}} = \frac{2454}{7000 - 5820} = 2.08 \text{ [stb/d/psi]}.$$

Videre har vi:

$$p_{wf} = p_e - \frac{q_o}{J} = 7000 - \frac{600}{2.08} = 6711 \text{ psia}$$

Vi kan nå bestemme $\Delta p_{q_o=600} = 6711 - 4241 = 2470$ psia. Med $p_{wh} = 1500$ psia finner vi da brønntrykket der produksjon uten gassløft vil stanse:

$$p_{wf,600} = \Delta p_{q_o=600} + p_{wh} = 2470 + 1500 = \underline{\underline{3970 \text{ psia}}}$$

- b) Vi har trykket i brønn, $p_{wf,600}$, og produksjonsindeks, J . Vi kan da beregne reservoartrykket fra

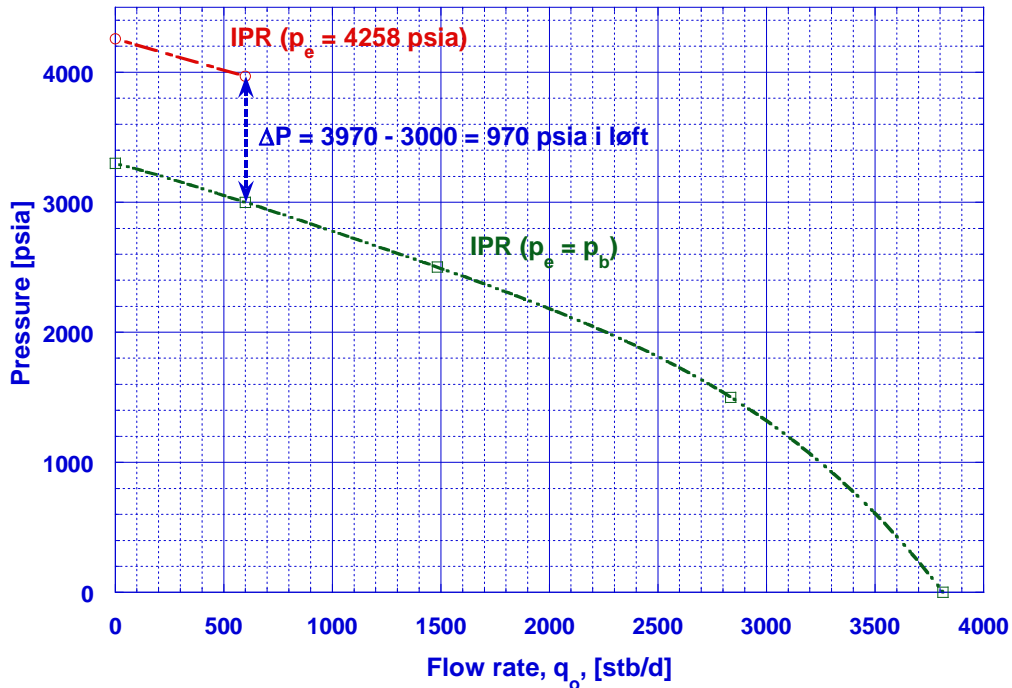
$$q_o = J(p_e - p_{wf}) \text{ og finner: } p_e = p_{wf} + \frac{q_o}{J} = 3970 + \frac{600}{2.08} = \underline{\underline{4258 \text{ psia}}}$$

- c) Med gassløft menes løfteeffekten en kan oppnå ved å injisere gass i fluid-kolonnen (produksjonsrøret) slik at fluidets tetthet og hydrostatisk trykk avtar. Gassen injiseres på forskjellige nivå mellom topp og bunn i produksjonsrøret. Tettheten på hydrokarbon fluidet i kolonnen avtar og oljen kan derved løftes opp fra brønn til topp ved et lavere brønntrykk og en mindre trykkforskjell mellom fluid i reservoaret og brønnehodet og produksjonen kan fortsette mot et lavere trykk i brønn og reservoar enn det som ellers er mulig.

d) En må bruke ligningene: $\frac{q_o}{q_{max}} = 1 - 0.2 \left(\frac{p_{wf}}{p_b} \right) - 0.8 \left(\frac{p_{wf}}{p_b} \right)^2$, $q_{max} = \frac{J p_b}{1.8}$

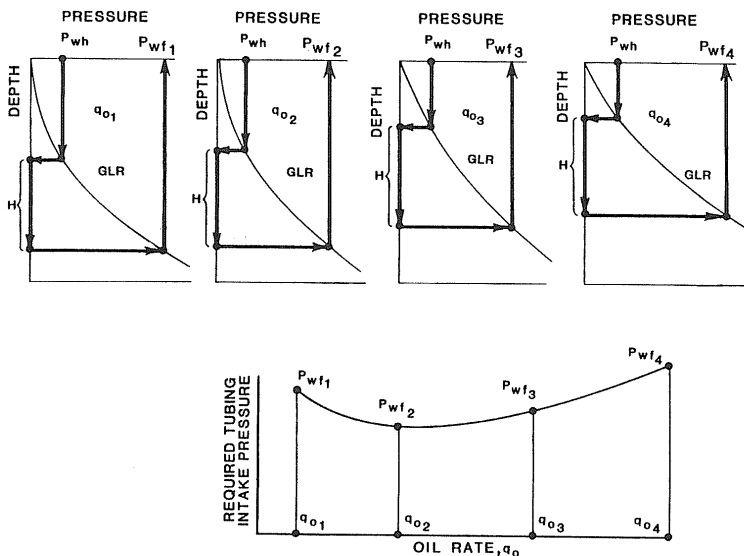
- e) Fra ligningen for q_{max} under spørsmål d) over finner vi: $q_{max} = (2.08 \times 3300) / 1.8 = 3813$ stb/d og strømningsligningen kan omskrives til: $q_o = q_{max} \left(1 - 0.2 \left(\frac{p_{wf}}{p_b} \right) - 0.8 \left(\frac{p_{wf}}{p_b} \right)^2 \right)$ og vi kan beregne 2 eller 3 punkter på IPR kurven for å skissere denne. Kjører beregning ved $p_{wf} = 3000$ psia, 2500 psia og 1500 psia. To punkter ved $p_{wf} = 3300$ psia og 0 psia har vi fra før ($q_o = 0$ og

3813 stb/d. Vi finner da $q_{o,3000} = 599$, $q_{o,2500} = 1485$ og $q_{o,2500} = 2836$. Plotter disse verdiene inn i vedlagte graf og får:



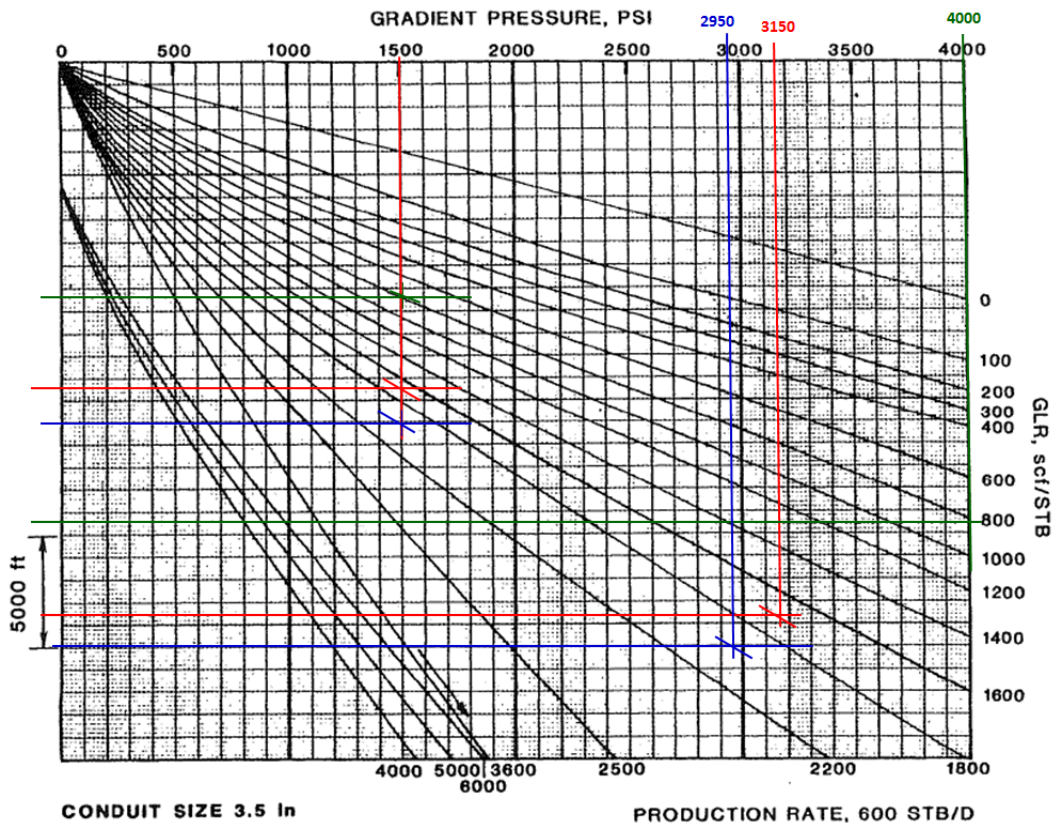
f) Av figuren ser vi at brønntrykket $p_{wf} \approx 3000$ psia ved $q_o = 600$ stb/d ved $p_e = p_b = 3300$ psia.

g) Fra forelesningene har vi følgende figur:



Denne figuren illustrerer hvordan gradientkurver kan benyttes til å konstruere TPR kurver. Ved gitt brønnehodetrykk, p_{wh} , og gitt dybde, H , bestemmes trykk i brønn (p_{wf1} , p_{wf2} , p_{wf3} og p_{wf4}) ved forskjellige strømningsrater (q_{o1} , q_{o2} , q_{o3} og q_{o4}) gjennom tubing som vist i figuren (bruker separate diagram for hver strømningsrate). TPR kurven i det gitte strømningsrateområdet kan bestemmes ved å plote strømningsrate mot funnet verdi for trykk i brønn, p_{wf} . I vedlegg 11 har vi gradientkurvediagram for vårt produksjonsrør ved strømningsrate $q_o = 600$ stb/d og dette kan altså benyttes i neste steg.

- h) Vedlagte graf viser nødvendig brønntrykk både før og etter gassløft ved økning av GLR fra 800 til 1700 scf/stb.



I grafen over har vi lagt oss på et fast brønnehodetrykk, $p_{wh} = 1500$ psia. Finner først hvor brønnehodetrykket skjærer GLR = 800 (scf/stb) kurven (her er GLR = GOR, ingen vannproduksjon oppgitt / antatt) ved å gå vertikalt ned fra trykk lik 1500 psia til vertikal linje (rød strek) skjærer GLR = 800 kurven. Går derfra horisontalt inn til y-aksen (rød linje) i pilens retning og finner nullpunktet for dybden av brønnen. Går deretter 10000 ft ned langs y-aksen for å finne referansepunktet for brønnens bunn og derfra horisontalt mot høyre til en finner ny skjæring med GLR = 800 kurven (**grønn linje**). Går derfra vertikalt opp og avleser skjæring med trykkaksen i $p_{wf} = \text{ca. } 4000$ psia. Dersom vi øker GLR til 1700 scf/stb kan vi følge de røde linjene på samme måte som beskrevet over. Vi finner nå at nødvendig brønntrykk har gått ned til $p_{wf} = \text{ca. } 3150$ psia og det er et lite stykke igjen til vi har oppnådd tilstrekkelig løfteeffekt. Dersom vi øker GLR til ca 2000 scf/stb ser vi at nødvendig brønntrykk, p_{wf} , for å løfte fluidet opp synker til 2950 psia.

- i) Av diagrammet ser vi at ved en økning av GOR (GLR) til 1700 er litt for lite til at kan vi produsere ned til et brønntrykk på $p_{wf} = 3000$ psia ved $q_o = 600$ stb/d som ønsket. Vi må derfor injisere litt mer mer gass og øke GLR til ca. 1950 – 2000 scf/stb for å oppnå ønsket løfteeffekt.

Det eksakte svaret er avhengig av et godt plott av IPR kurven under spørsmål e) og til eksamen må en ta hensyn til og tillate at studentens avlesning av p_{wf} fra IPR kurven kan være noe unøyaktig. Forståelse av prinsippet bak vurderingen er viktigst.

Oppgave 4: Brønnstimulering

Et oljeførende sandsteinsreservoar 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
- Brønnens høyde i reservoaret, $h = 80$ ft, permeabilitet, $k = 150$ mD, porositet $\phi = 0.2$.
- Brønnens radius, $r_w = 5.5$ in, Dreneringsradius reservoar, $r_e = 900$ ft, $\ln(r_e/r_w) = 7.6$.

Etter etablering av en produksjonsbrønn viser brønntester ved trykk over oljens kokepunkt at skin faktor for brønnen ligger på 16.

- a) Svar kortfattet på følgende: Hvilke ligninger / sammenhenger må en benytte for å bestemme / beregne skin faktor ut fra brønntest og reservoar data?
- b) Gi et overslag over / beregn brønnens strømmingseffektivitet.

Grundigere testing og undersøkelser på brønnens produktivitet viser at den høye skin faktoren høyst sannsynlig er forårsaket av slam rester og noe knust mineral fra boreprosess og perforering. En anslår at skin sonen strekker seg 1 m ut fra brønnveggen og at det er nødvendig med syre behandling av nærbrønnområdet for å øke produktiviteten til brønnen.

- c) Svar kortfattet på følgende I: Kan du beskrive hva slags type syre / syreblandinger en benytter samt framgangsmåten for syre-behandling i dette tilfelle?
- d) Ut fra oppgitte data over: Hvor mange m^3 syreløsning må pumpes inn i brønn og skin sone for hvert steg i behandlingen?

Etter syre-behandling kjøres en ny brønntest og en finner at skin faktor nå har sunket til 3.

- e) Hva er brønnens strømnings-effektiviteten etter behandlingen?
- f) Svar kortfattet på følgende: Hadde det vært mulig å forbedre strømmingseffektiviteten ytterligere og i tilfelle ja: Hva er generell grenseverdien for maks. strømmingseffektivitet etter syre-behandling av en sandsteinsformasjon?

Løsningsforslag Oppgave 4: Brønnstimulering

- a) Brønntest i en-fase ole området vil gi oss brønnens produksjonsindeks, J , fra korrelasjonsligningen: $q_o = J \cdot (p_e - p_{wf})$. Ved å kombinere denne med reservoarligningen:

$$q_o = \frac{hk}{141.2\mu_o B_o} \cdot \frac{(p_e - p_{wf})}{\left(\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75 + s\right)}$$

kan vi finne et uttrykk for skin faktor, s , når vi av disse

uttrykkene ser at: $J = \frac{1}{141.2\mu_o B_o} \cdot \frac{hk}{\left(\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75 + s\right)}$. Ved omforming av denne finner vi:

$$\left(\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75 + s\right) = \frac{1}{141.2\mu_o B_o} \cdot \frac{hk}{J} \text{ og videre at } s = \frac{1}{141.2\mu_o B_o} \cdot \frac{hk}{J} + 0.75 - \ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)$$

- b) Vi har oppgitt at $\ln(r_e/r_w) = 7.6$. Fra generelle ligninger i vedlegg 1 har vi:

$$E_f = \frac{q_{reell}}{q_{ideell}} = \frac{\left(\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75\right)}{\left(\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75 + s\right)} = \frac{6.85}{6.85 + s} \left(\approx \frac{7}{7 + s}\right)$$

Med $s = 16$ finner vi da brønnens

strømningseffektivitet til å være:

$$E_f = \frac{6.85}{6.85 + 16} = \frac{6.85}{22.85} = 0.2998 \approx 0.3 \text{ eller } E_f \approx 30\%$$

- c) Siden dette er et sandsteinsreservoar må en kjøre behandling med flussyre HF. Siden flussyra kan reagere med f.eks. små mengder kalk i reservoaret, samt at reaksjonsprodukter kan reagere videre til tungt løselige fluorforbindelser, må en både **for-vaske** og **etter-vaske** med saltsyre, vanligvis en 15 % HCl løsning. Flussyra i **hoved behandlingen** består som regel av en blanding av 3 % HF og 12 % HCl (se f.eks. vedlegg 10), men eksakt komposisjon er avhengig av mineralogi og reservoarets permeabilitet (se samme vedlegg). M.a.o. behandling i tre steg: 1) for-vask med saltsyre, 2) hoved behandling med flussyre og 3) etter-vask med saltsyre.

- d) Brønnens høyde, $h = 80 \text{ ft} = 80 \times 0.3048 \text{ m} = 24.384 \text{ m}$ og brønnens radius, $r_w = 5.5'' = 5/12 \times 0.3048 \text{ m} = 0.1397 \text{ m}$. Skin sonens radius fra sentrum av brønnen, $r_s = 1 + 0.1397 = 1.1397 \text{ m}$. Når reservoaret har porositet $\phi = 0.2$ blir volumet som skal fylles med syreløsning:

$$V = \left(\pi \cdot 0.1397^2 + \left(\pi \cdot 1.1397^2 - \pi \cdot 0.1397^2\right) \cdot 0.2\right) \cdot 24.384 = 21.1 \text{ m}^3$$

En må pumpe inn tilsammen 21.1 m^3 syreløsning i hvert steg under syre behandlingen av brønnen (1.5 m^3 i brønn + 19.6 m^3 i skin sonen).

- e) Brønnens strømningseffektivitet etter behandling er:

$$E_f = \frac{6.85}{6.85 + 3} = \frac{6.85}{9.85} = 0.695 \text{ eller } E_f \approx 69.5\%$$

- f) I et sandsteinsreservoar kan en som regel oppnå $s = 0$ som øvre grense dersom ikke porene inneholder en del kalkstein eller leirmineraler som lar seg fjerne via syre behandlingen (kalkrester ved før-vask og leirmineraler med flussyreløsningen) samt at en behandler litt lengre ut i reservoaret enn bare hoved-sonen for skin effekt (dvs. noen få fot / meter ekstra ut i reservoaret). For et kalksteinsreservoar vil en ofte oppnå negativ skin og en relativ strømningseffektivitet langt over 100 % etter en saltsyre behandling.