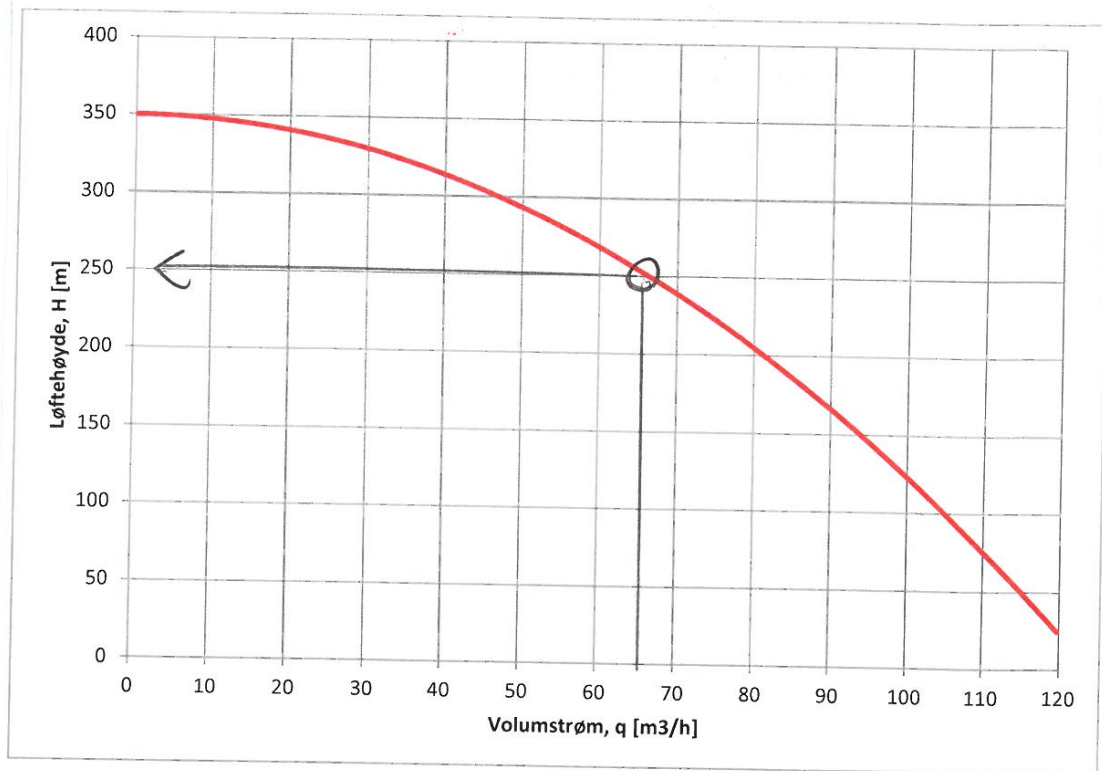


PET 200 - Prod. 042 & Gass  
 Eksamen 17. feb. 2015 (kont)  
 LF - oppg 7

①

a) Volumstrøm i  $m^3/h$ :  $q = 1590 \frac{m^3}{d} \cdot \frac{1}{24 h/d} = \underline{66.25 \frac{m^3}{h}}$



From figure:  $H \approx 250 \text{ m}$

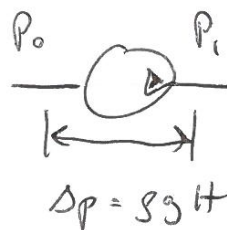
Pressure difference over pump:

$$\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{141.5}{131.5 + 57^\circ \text{API}}$$

$$= 750.7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\Delta p = 750.7 \cdot 9.81 \cdot 250 = 1841001 \text{ Pa} = 18.4 \text{ bar}$$

$$P_i = 1.01325 + 18.4 = \underline{\underline{19.4 \text{ bar}}}$$



b) pressure drop across pipeline (16.1 km),  $P_1 - P_2$   
 $= 19.4 - 7.5 = \underline{11.9 \text{ bar}}$

Fritafoms trykkløstap:  $\Delta P_f = \frac{1}{2} S u^2 f_D \frac{L}{D}$

$u = \frac{q}{A} = \frac{4q}{\pi D^2}$

Volumetrom i  $\frac{m^3}{s}$ :  $q = 66.25 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{1}{3600 \frac{s}{h}} = \underline{0.0184 \frac{m^3}{s}}$

Hastighet:  $u = \frac{4 \cdot 0.0184}{\pi \cdot (0.1282^2)} = 1.425 \frac{m}{s}$

$\Delta P_f = \frac{1}{2} \cdot 750.7 \cdot (1.425)^2 \cdot 0.02 \cdot \frac{16100}{0.1282} = 1914406 \text{ Pa}$

$= 19.1 \text{ bar} > 11.9 \text{ bar}$  For lite!

c) Gå opp en verdning for, e.g 6"

$D = 168.3 - 2 \cdot 7.11 = 154.08 \text{ mm} \Rightarrow \left\{ \begin{aligned} u &= \frac{4 \cdot 0.0184}{\pi (0.15408^2)} \\ &= 0.987 \frac{m}{s} \end{aligned} \right.$

$\Delta P_f = \frac{1}{2} \cdot 750.7 \cdot (0.987)^2 \cdot 0.02 \cdot \frac{16100}{0.15408} = 764153 \text{ Pa}$

$= 7.64 \text{ bar} < 11.9 \text{ bar}$  OK!

d) Reell gasverhalten,  $u_R = \frac{\dot{Q}_R}{A}$

$$\dot{Q}_R \cdot S = \dot{q}_{st} \cdot S_{st} \quad ; \quad pV = ZRT, \quad S = \frac{1}{\rho}$$

$$= \frac{p}{ZRT}$$

$$\Rightarrow \dot{Q}_R = \dot{q}_{st} \cdot \frac{S_{st}}{S} = \dot{q}_{st} \cdot \frac{p_{st}}{p} \cdot \frac{T}{T_{st}} \cdot \frac{Z}{Z_{st}}$$

$$= 400000 \frac{\text{Sm}^3}{\text{d}} \cdot \frac{1.01325}{30} \cdot \frac{42+273.15}{15+273.15} \cdot \frac{0.87}{1.}$$

$$= 12855 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} = \frac{12855}{86400} = 0.1488 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$A = \frac{\pi}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0.6^2 = 0.1885 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow u_R = \frac{0.1488}{0.1885} = \underline{\underline{0.789 \text{ m/s}}}$$

e)

$$D = \sqrt{\frac{\dot{q}_{st} \cdot Z \cdot (T+460)}{2.4 K p \sqrt{\frac{S_L - S_a}{S_a}}}}$$

Umrechnung:

$$P = 30 \text{ bar} = 3000 \text{ kPa} \cdot 0.145 = \underline{\underline{435 \text{ psi}}}$$

$$T = 42^\circ\text{C} = 1.8 \cdot 42 + 32 = \underline{\underline{107.6^\circ\text{F}}}$$

$$\dot{q}_{st} = 400000 \frac{\text{Sm}^3}{\text{d}} = 400000 \cdot 35.3147 = 14125880 \frac{\text{Sft}^3}{\text{d}}$$

= 14.126 mm sctd

$$\Phi = \sqrt{\frac{14.126 - 0.87 \cdot (107.6 + 460)}{2.4 \cdot 0.45 \cdot 435 \cdot \sqrt{\frac{730 - 26}{26}}} = \underline{\underline{1.689 \text{ ft}}}$$

= 1.689 - 0.3048 = 0.515 m

f) I:  $\Delta T = 70 - 25 = 45 \text{ K}$

$$Q = 7 \text{ kg} \cdot 2000 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot 45 \text{ K} = \underline{\underline{90000 \text{ J}}}$$

II Før kjeeling,  $T = 70^\circ\text{C}$ ;  $w_c \approx 4600 \frac{\text{kg}}{10^6 \text{ Sm}^3}$

Etter kjeeling,  $T = 25^\circ\text{C}$ ;  $w_c \approx 540 \text{ ''}$

Andel felt ut:  $\frac{4600 - 540}{4600} = \underline{\underline{0.883}} \text{ (88.3\%)}$

## Oppgave 2:

### Strømning fra reservoar til brønn - Løsningsforslag

#### Oppgavetekst:

Et oljefelt har følgende reservoardata:

- Midlere reservoartrykk  $p_e$ : 5100 psia
- Kokepunktstrykk,  $p_b$ : 3100 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 310 fat/døgn
- Brønn B:
  - Test trykk 1950 psia
  - Produsert rate olje 920 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  $p_{wf} > 3100$  psia
  - For brønn A har vi kun testdata fra enfase oljeområdet hvor IPR kurven er rettlinjet. Fra  $p_{wf} = p_b = 3100$  psia og ned er den ikke lineær.
  - For brønn B er eneste testpunkt i tofaseområdet. Denne brønnen produserer ikke lineært fra  $p_{wf} = 3100$  psia og ned mens den er lineær fra  $p_{wf} = 5100$  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:

$$J_A = \frac{q_o}{p_e - p_{wf}} = \frac{310}{5100 - 4000} = 0.282 \text{ [fat/d/psi]}$$

- 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:

$$J_B = \frac{920}{\left( (5100 - 3100) + \frac{3100}{1.8} \cdot \left( 1 - 0.2 \cdot \left( \frac{1950}{3100} \right) - 0.8 \cdot \left( \frac{1950}{3100} \right)^2 \right) \right)} = 0.311 \text{ [stb/d/psi]}$$

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

$$q_{o,bA} = J_A \cdot (p_e - p_b) = 0.282 \cdot 2000 = 564 \text{ [fat/d] og}$$

$$q_{o,bB} = J_B \cdot (p_e - p_b) = 0.311 \cdot 2000 = 622 \text{ [fat/d] Nå kan vi finne } q_{\max, \text{tot}} \text{ for hver}$$

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

$$q_{oA, \max} = J_A \cdot (p_e - p_b) + \frac{J_A \cdot p_b}{1.8} \cdot \left( 1 - 0.2 \cdot \left( \frac{p_{wf}}{p_b} \right) - 0.8 \cdot \left( \frac{p_{wf}^2}{p_b^2} \right) \right) = 564 + 486$$

$$q_{oA, \max} = 1050 \text{ [stb/d] eller [fat/d]}$$

og for brønn B får vi:

$$q_{oB, \max} = J_B \cdot (p_e - p_b) + \frac{J_B \cdot p_b}{1.8} \cdot \left( 1 - 0.2 \cdot \left( \frac{p_{wf}}{p_b} \right) - 0.8 \cdot \left( \frac{p_{wf}^2}{p_b^2} \right) \right) = 622 + 536 ,$$

$$q_{oB, \max} = 1158 \text{ [stb/d] eller [fat/d]}$$

- 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.

### Løsningsskisse oppgave 3:

- a) Ved  $p_e = 3300$  psia og  $q_o = 600$  stb/d har vi følgende trykk i brønn:

$$p_{wf} = p_e - \frac{q_o}{J} = 3300 - \frac{600}{1,62} = \underline{\underline{2930 \text{ psia}}}$$

- b) Av gradientkurvediagrammet ser vi at et fluid med GLR = 400 scf/stb kan produseres ned mot et brønntrykk på ca. 2810 psia uten løft.

- c) Tiden det tar før en når dette brønntrykket er:

$$t = \frac{2930-2810}{150} = 0.8 \text{ år} = \underline{\underline{9.6 \text{ mnd.}}}$$

#### Scenario 1:

- d) Dersom en skal kunne injisere ved  $H_{inj} = 4500$  fots dybde må en sjekke om det fins en GLR kurve med tilstrekkelig gradient  $(\delta p/\delta z)_a$  til å senke brønntrykket ( $p_{wf}$ ) til 2750 psia ved bunn av brønn når gassen injiseres høyere oppe. Må først finne  $(\delta p/\delta z)_b$  ved bunnen av brønnen. Fra gradientkurvediagrammet ser vi at trykket i brønn er ca. 2810 psia ved  $GLR_1 = 400$  scf/sbl og  $H = 8000$  fot. Fra samme diagram finner vi at trykket i brønn ved  $H_1 = 7400$  fot er ca. 2600 psia. En kan da estimere en trykkgradient ved bunn av brønn til å være ca.:

$$\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_b = \frac{2810-2600}{8000-7400} = \frac{210}{600} = 0.35 \text{ psi/ft.}$$

Vi har da at trykket i brønnen,  $p_{wf}$ , er gitt av:

$$p_{wf} = p_{wh} + \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_a \cdot H_{inj} + \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_b \cdot (H - H_{inj}) \quad \rightarrow$$

$$\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_a = \frac{p_{wf} - p_{wh} - \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_b \cdot (H - H_{inj})}{H_{inj}} = \frac{2750 - 1000 - 0.35 \cdot 3500}{4500} = \frac{525}{4500} = 0.117$$

Dersom vi går inn på kurven for  $GLR_{max} = 3000$  scf/sbl finner vi at trykket i brønn ved 4500 fot er rundt 1620 til 1640 psia.  $GLR_{max}$  kurven har da en trykkgradient på:

$$\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_{a'} = \frac{1630-1000}{4500} = \frac{630}{4500} = 0.14. \text{ Siden } \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_a < \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_{a'}$$

må vi anta det ikke er mulig å starte injeksjonen ved 4500 fots dybde om vi skal senke brønntrykket ned til 2750 psia.

- e) Dersom en skal produsere ned mot et brønntrykk på 2750 psia, viser vedlagte gradientkurvediagram at GOR (GLR) må økes fra 400 ( $GLR_1$ ) til 1000 scf/stb ( $GLR_2$ ).



- f) Nødvendig mengde gass for løft til  $GLR_2 = 1000$  scf/stb er:  $q_g = q_0 \times (GLR_2 - GLR_1)$   
 $= 600 \times 600 = \underline{\underline{3.6 \cdot 10^5 \text{ scf/d.}}}$

### Scenario 2:

- g) Ved et injeksjonstrykk i annulus på  $p_{inj,ann} = 2300$  psia vil trykket inne i produksjonsrøret ved injeksjonspunktet være:

$$p_{inj} = p_{inj,ann} - \Delta p_{ventil} = 2300 - 100 = 2200 \text{ psia.}$$

Vi har også at  $p_{inj}$  er gitt av:

$$p_{inj} = p_{wf} - \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_b \cdot (8000 - H_{inj})$$

Vi fant i spørsmål d) over at  $(\delta p / \delta z)_b = 0.35$  og kan nå finne  $H_{inj}$  som:

$$H_{inj} = \frac{p_{inj} + \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_b \cdot 8000 - p_{wf}}{\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_b} = \frac{2200 + 0.35 \cdot 8000 - 2810}{0.35} = \underline{\underline{6257 \text{ ft}}}$$

- h) Av gradientkurvediagrammet ser vi at ved  $H_{inj} = \text{ca. } 6257$  fot og et trykk i produksjonsrøret på 2200 psia (=  $p_{inj}$ ) at vi havner på kurven for  $GLR = 600$  scf/sbl (=  $GLR_3$ ). Mengde gass som må injiseres blir da:

$$q_g = q_0 \times (GLR_3 - GLR_1) = 600 \times 200 = \underline{\underline{1.2 \cdot 10^5 \text{ scf/d.}}}$$

- i) Vi kan finne injeksjonstrykket,  $p_{surf}$ , ved overflaten fra

$$p_{inj,ann} = p_{surf} \cdot \left(1 + \frac{H_{inj}}{40000}\right) \Rightarrow p_{surf} = \frac{p_{inj,ann}}{\left(1 + \frac{H_{inj}}{40000}\right)} \quad \text{og finne}$$

$$p_{surf} = \frac{2300}{\left(1 + \frac{6257}{40000}\right)} = \underline{\underline{1988 \text{ psia}}}$$

- j) Ved  $p_e = 2900$  psia blir brønntrykket  $p_{wf} = p_e - \frac{q_o}{J} = 2900 - \frac{600}{1.62} = 2530$  psia.

Vi kjenner ikke injeksjonsdybden  $H_{inj2}$  eller injeksjonstrykket  $p_{inj2}$  ved denne dybden, men har to ligninger og to ukjente gjennom uttrykkene:

$$p_{inj} = p_{surf} \cdot \left(1 + \frac{H_{inj}}{40000}\right) - \Delta p_{ventil} \quad \text{og} \quad p_{inj} = p_{wf} - \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_b (H - H_{inj})$$

der  $H$  (8000 fot),  $\Delta p_{ventil}$  (100 psi),  $p_{surf}$  (1988 psia) og  $p_{wf}$  (2530 psia) er kjente. Kan da først finne  $H_{inj}$  og deretter  $p_{inj}$ . Vi har da:

$$p_{wf} - \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_b (H - H_{inj}) = p_{surf} \cdot \left(1 + \frac{H_{inj}}{40000}\right) - \Delta p_{ventil} .$$

Finner da  $H_{inj}$  som

$$H_{inj} = \frac{40000 \cdot (p_{surf} + \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_b \cdot H - p_{wf} - \Delta p_{ventil})}{(40000 \cdot \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_b - p_{surf})} = \frac{40000 \cdot (1998 + 2800 - 2530 - 100)}{0.35 \cdot 40000 - 1998}$$

$$H_{inj} = \frac{40000 \cdot 2168}{14000 - 1998} = \frac{87620000}{12002} = 7225 \text{ fot. Vi finner da } p_{inj} \text{ som:}$$

$$p_{inj} = p_{wf} - \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_b (H - H_{inj}) = 2530 - 0.35 \cdot (8000 - 7225) = 2259 \text{ psia. Av gradientkurvedigrammet ser vi at } H_{inj} = 7225 \text{ ft med } p_{inj} = 2259 \text{ psia ligger litt til venstre for kurven GLR} = 1000 \text{ scf/sbl antatt i området GLR} = 1100 - 1200 \text{ scf/sbl - antatt ca. 1150 scf/sbl. Ved GLR}_4 = 1150 \text{ scf/sbl blir gass injeksjonsraten:}$$

$$q_{g4} = q_o \times (GLR_4 - GLR_1) = 1150 \times 600 = \underline{\underline{6.9 \cdot 10^5 \text{ scf/d.}}}$$

k) Av gradientkurvedigrammet ser vi at  $GLR_{maks} = 3000 \text{ scf/sbl}$  ser vi at brønntrykket ligger ved ca. 2350 psia. Her kommer vi ikke lengere ned i brønntrykk ved gassinjeksjon, sannsynligvis fordi reduksjonen i hydrostatisk trykk fra gassløft spises opp av økt friksjonstap fra hastighetsleddet.

l) Mengde gass som må injiseres har nå økt til:

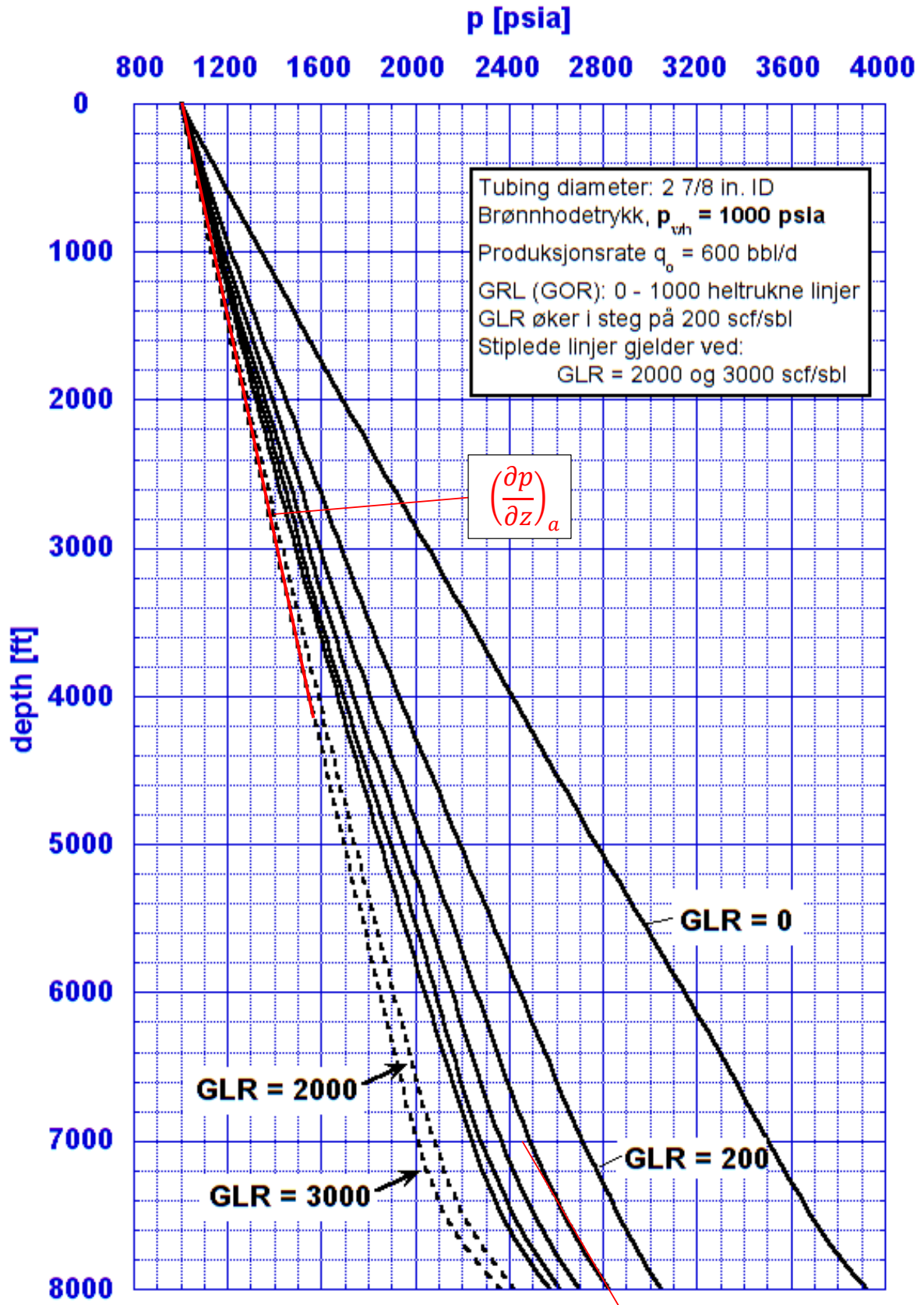
$$q_{g,maks} = q_o \times (GLR_{maks} - GLR_1) = 3000 \times 600 = \underline{\underline{1.8 \cdot 10^6 \text{ scf/d.}}}$$

m) Nødvendig kompressorstørrelse blir:

$$HHP = 2.23 \cdot 10^{-4} \cdot q_g \cdot \left[ \left( \frac{p_{surf}}{p_{in}} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right] = 2.23 \cdot 10^{-4} \cdot 1.8 \cdot 10^6 \cdot \left[ \left( \frac{1998}{1000} \right)^{\frac{1.25-1}{1.25}} \right]$$

$$HHP = 4.014 \cdot 10^2 \cdot \left[ (1.998)^{0.2} \right] \approx \underline{\underline{461 [\text{hp}]}}$$

# Gradientkurvediagram til oppgave 3



$$\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_b = \frac{2810 - 2600}{8000 - 7400} = \frac{210}{600} = 0.35 \text{ psi/ft}$$

## 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

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

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

- c) Vi har oppgitt at  $\ln(r_e/r_w) = 7.78$ . Fra generelle ligninger i vedlegg 1 har vi:

$$E_f = \frac{q_{reell}}{q_{ideell}} = \frac{\left(\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75\right)}{\left(\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75 + s\right)} = \frac{7.03}{7.03 + s} \left(\approx \frac{7}{7 + s}\right)$$
 Med  $s = 18$  finner vi da brønnens

strømningseffektivitet til å være:

$$E_f = \frac{7.03}{7.03 + 18} = \frac{7.03}{25.03} = 0.2809 \approx 0.28 \text{ eller } E_f \approx 28\%$$

- d) 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. **Studentene er nødt til å nevne forvask, hovedvask og ettervask for full score.**

- e) **En lignende beregning er gjennomgått under forelesninger og er gitt som handouts.**

Brønnens høyde,  $h = 100 \text{ ft} = 100 \times 0.3048 \text{ m} = 30.48 \text{ m}$  og brønnens radius,

$r_w = 4.5'' = 4.5/12 \times 0.3048 \text{ m} = 0.1397 \text{ m}$ . 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:

$$V = \left(\pi \cdot 0.1143^2 + \left(\pi \cdot 1.1143^2 - \pi \cdot 0.1143^2\right) \cdot 0.2\right) \cdot 30.48 = 24.78 \text{ m}^3.$$

En må pumpe inn tilsammen  $24.78 \text{ m}^3$  syreløsning i hvert steg under syre behandlingen av brønnen ( $1.25 \text{ m}^3$  i brønn +  $23.53 \text{ m}^3$  i skin sonen).

- f) Brønnens strømningseffektivitet etter behandling er:

$$E_f = \frac{7.03}{7.03 + 2.5} = \frac{7.03}{9.53} = 0.7377 \text{ eller } E_f \approx 73.8\%$$

- g) 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 strømnings effektivitet langt over 100 % etter en saltsyre behandling.