

# BIP 160 - Produksjon av Olje og Gass

①

- Eksamen 29.11.2013 - LØSNINGSFORSLAG

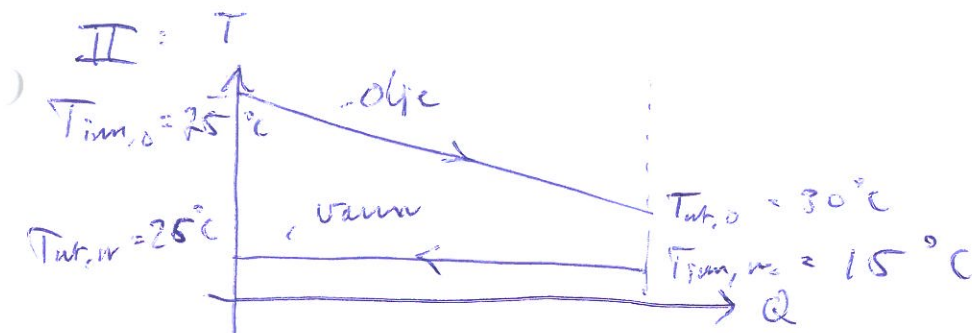
Oppg. I a)

I: Varmemengde for å kjele oljen:

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{ut} - T_{inn}) = 4 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 1975 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot (30 - 75) \text{K} \\ &= \underline{\underline{-355500 \text{ W}}}\end{aligned}$$

- Må være like varmemengde mottatt av kjølevannet  
(max  $T_{ut}$  gir min.  $\dot{m}_w$ )

$$\begin{aligned}\dot{m}_w &= \frac{\dot{Q}}{c_{pw} \cdot (T_{ut,w} - T_{in,w})} = \frac{355500}{4200 \cdot (25 - 15)} \\ &= \underline{\underline{8.46 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}}\end{aligned}$$



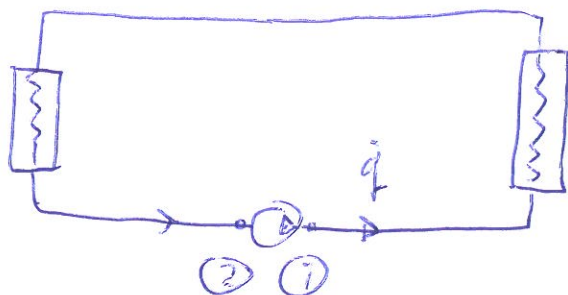
Motstrøms arrangement:  $\Delta T_1 = 75 - 25 = 50 \text{ K}$

$\Delta T_2 = 30 - 15 = 15 \text{ K}$

$$\text{LMTD} = \frac{50 - 15}{\ln\left(\frac{50}{15}\right)} = \underline{\underline{29.07 \text{ K}}}$$

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot \text{LMTD} \Rightarrow A = \frac{355500 \text{ W}}{200 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \cdot 29.07 \text{ K}} = \underline{\underline{61.15 \text{ m}^2}}$$

b) Lukket sløyfe m/ varmevekslere:



I: Samme høyde i (1) og (2)  $\Rightarrow \underline{\underline{\Sigma H = 0}}$

Samme D i (1) og (2),  $\Rightarrow u_1 = u_2 \Rightarrow \underline{\underline{\Sigma u = 0}}$

(ingen høyde forskjell / ingen hastighets forskjell; begge ledene = 0)

II: Strømningsmotstander er "koblet i serie":

$$\Delta p_F = \frac{1}{2} \rho f_D u^2 \frac{L}{D} + \frac{1}{2} \rho u^2 \sum \kappa$$

$$= \frac{1}{2} \rho u^2 \left( f_D \frac{L}{D} + \sum \kappa \right)$$

Volumetrom an vann:  $\dot{q}_w = \frac{\dot{m}_w}{\rho_w} = \frac{8.46 \text{ kg/s}}{1000 \text{ kg/m}^3} = \underline{\underline{8.46 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}}$

Strømningsareal i rør:  $A = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{\pi}{4} (0.065 \text{ m})^2$   
 $= 3.318 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

$\rightarrow u = \frac{8.46 \cdot 10^{-3}}{3.318 \cdot 10^{-3}} = \underline{\underline{2.55 \text{ m/s}}}$

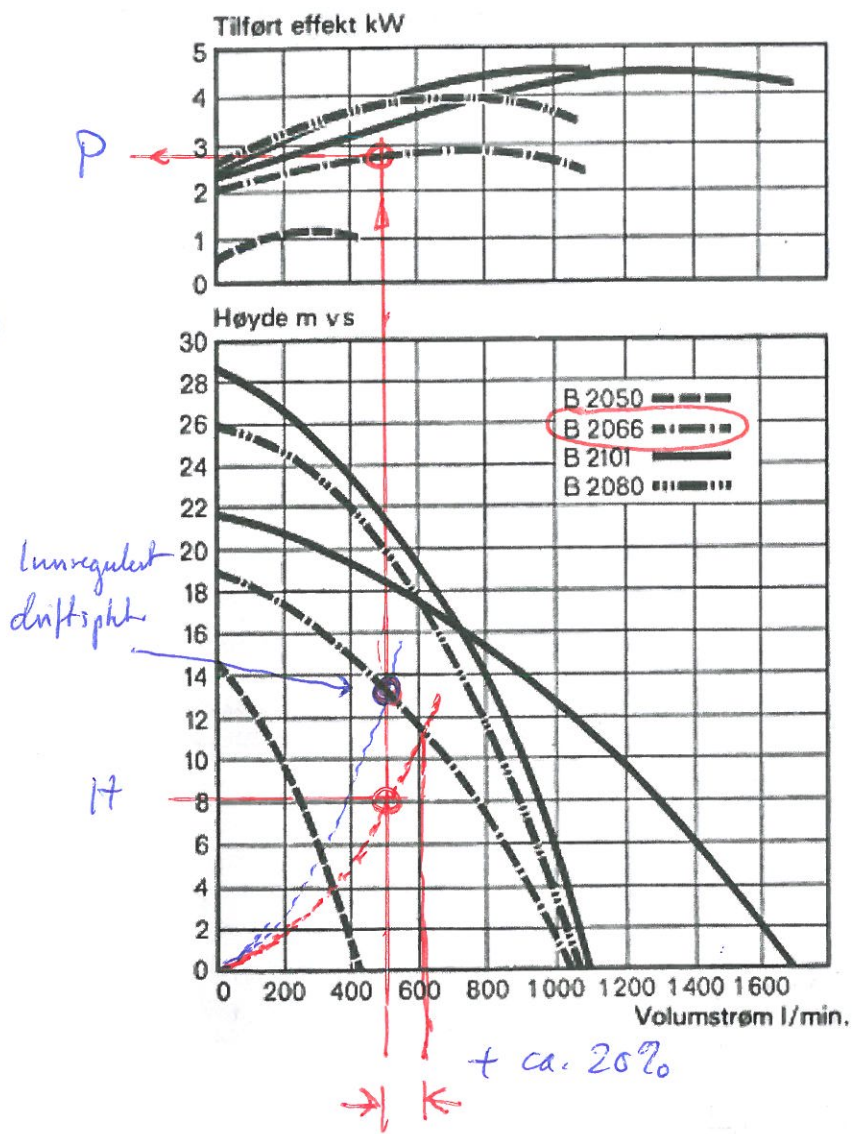
$$\Delta P_f = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(2.55 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \cdot \left(0.015 \cdot \frac{75}{0.065} + 7\right)$$

$$= 79030 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 0.79 \text{ bar}$$

c) I: Regner om volumetrem til l/min og trykfall til ekvivalent høyde:

$$\dot{q} = 8.46 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1000 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} \cdot 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} = 507.6 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

$$H_f = \frac{\Delta P_f}{\rho g} = \frac{79030 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 8.056 \text{ m}$$



En 2-grads kurve fra origo, som går gjennom driftspunktet på  $H \approx 8 \text{ m}$ ,  $\dot{q} \approx 500 \text{ l/min}$  vil skjære pumpekarakteristikken for B2066 ved  $\dot{q} \approx 600 \text{ l/min}$ , som er omkring 20% over en designverdi.

⇒ Pumpe B2066

II At driftspunktet ligger på gjeldende karakteristikk, <sup>(4)</sup>  
imidlertid at effektverdien også gjelder

$$P(\dot{q} = 507.6 \text{ l/min}) \approx \underline{\underline{2.75 \text{ kW}}}$$

## Løsningsforslag Oppgave 2

(Oppgave 2 teller med 50 % på total karakteren til eksamen. Tilpass tidsbruken etter dette.)

- a) Velger en produksjonsverdi med korresponderende brønntrykk fra test data (for eksempel  $q_o = 1401$  sbl/d of  $p_{wf} = 4446$  psia) og finner:

$$J = \frac{q_o}{p_e - p_{wf}} = \frac{1442}{6000 - 4400} = \underline{\underline{0.901}} [\text{stb/d/psi}]$$

- b) Fra reservoarligningen har vi:  $q_o = \frac{hk}{141.2\mu_o B_o} \cdot \frac{(p_e - p_{wf})}{\left(\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75 + s\right)}$  og ser at:

$$J = \frac{hk}{141.2\mu_o B_o} \cdot \frac{1}{\left(\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75 + s\right)} \text{ og vi finner: } s = \frac{1}{J} \cdot \frac{k \cdot h}{141.2 \cdot B_o \mu_o} - \left(\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75\right),$$

setter inn og får:

$$s = \frac{1}{0.901} \cdot \frac{90 \cdot 80}{141.2 \cdot 1.5 \cdot 1.5} - \left(\ln\left(\frac{1000}{0.375}\right) - 0.75\right) = \underline{\underline{18}}$$

I denne oppgaven er det en del som roter med enheter og enhetssystem. Formelen er gitt for "oil field" enheter og US-systemet. Selv om en finner riktig svar med rot av enheter er beste kreditering satt til 80 % under sensurering om feilen ikke er "fatal". Med fatal feil menes omforming av høyden  $h$  fra 80 fot til 24.384 m i telleren. For de som kun gjør  $r_e$  og  $r_w$  om fra fot og tommer til meter blir feilen mindre "fatal" og ikke merkbar og riktig svar er kreditert med 80 % med 20 % trekk for ikke å forstå anvendelse av riktige enheter. Feil der  $r_w$  settes inn i tommer ("in") istedenfor fot (ft) gir større feil i svar og trekkes med minimum 40 % til maks 60 % totalt.

Fatal feil betraktes svaret på linje med stryk, men kreditering med 20 % om riktig formel er anvendt selv om ikke studenten har forstått at formelen kun gjelder ved bruk av oil-field enheter.

- c) Årsaker til skin kan skyldes: 1) effekter fra gruspakke, 2) dårlig perforering, 3) utfelling og tetting av porer, 4) uheldig utføring av komplettering og vedlikeholds operasjoner, 5) forholds om skyldes høy strømningshastighet og 6) som nevnt i det følgende med skader fra boreoperasjon.
- d) Utstrekning av skin sonen er 1 – 5 fot (2 – 5 fot OK) fra brønnveggen.

- e) For strømningseffektiviteten beregnes fra:  $E_F = \frac{(\ln \frac{r_e}{r_w} - 0.75)}{(\ln \frac{r_e}{r_w} - 0.75 + s)}$  (eller  $E_F = \frac{7}{7 + s}$ ) og vi finner strømningseffektiviteten:

$$E_F = \frac{(\ln^{1000/0.375} - 0.75)}{(\ln^{1000/0.375} - 0.75 + 18)} = \underline{\underline{0.284}} \Rightarrow 28.4\%$$

Her er det en del feil svar grunnet at de tar med seg en feilkalkulasjon fra spørsmål b) med resultat at skin faktor blir alt for lav. Når det før spørsmål f) står at skin faktor er for høy og at det må vaskes med syre samt at skin faktor etter syrevask er 3, kreves det at studenten ser eller reagerer og kommenterer på feilkalkulasjonen. Uten kommentar belønnes svar "på feil grunnlag" med maks 40 % når riktig formel og framgangsmåte er benyttet.

- f) Her må en vaske med flussyre (sandsteinsreservoar) og prosedyren er som følger:
- Først en forvask med saltsyre (HCl, vanlig konsentrasjon 15 %) for å fjerne eventuelle rester av kalk (Ca) i formasjonen samt vaske vekk formasjonsvann i nærbrønnområdet i tilfelle dette inneholder kalsium, magnesium eller andre ioner som kan danne utfellingsprodukter med stoffene flussyra har løst opp.  
Studentene må nevne både fjerning av Ca i formasjon / bergart + eventuelt formasjonsvann som kan inneholde salter (Ca, Mg, etc.) som kan danne utfellingsprodukter med det som fluss syra løser opp. Uteglemt fortrenning av formasjonsvann er trykket med 10 % til totalscore 90 % om resten er perfekt siden de beste besvarelser inneholder alt. Har også trukket 10 % om ikke konsentrasjonsområdet for syre er nevnt for å tilgodese de beste med +.
  - Deretter vaskes med en blanding HF (3 % er vanlig konsentrasjon HF i blandingen) og HCl (12 % er vanlig konsentrasjon HHCl i blandingen) i det området som skal behandles.
  - Til slutt kjøres en ettervask med HCl (15 % vanlig) for å skylle ut produktene som flussyra har løst opp og før de kan reagere videre til uløselige forbindelser som feller ut og tetter porer.

- g) Brønnens strømningseffektivitet etter behandling er:

$$E_F = \frac{(\ln^{1000/0.375} - 0.75)}{(\ln^{1000/0.375} - 0.75 + 3)} = \underline{\underline{0.704}} \Rightarrow 70.4\%$$

- h) Fra brønntest før syrevask finner vi:

$q_o$ STB/d	$p_{wf,test}$ psia	$p_{wh,test}$ psia	$\Delta P = p_{wf,t} - p_{wh,t}$ psi	$TPR_{p_{wh}=1900}$ psia
0	6000			
400	5556	3820	1736	3636
600	5334	3616	1718	3618
1150	4725	2960	1765	3665
1442	4400	2590	1810	3710
1934	3855	1951	1904	3804

Strømningsraten ved kokepunktet før vask er:  $q_{o,pb} = 0.901 \times (6000 - 3800) = 1982$  stb/d.

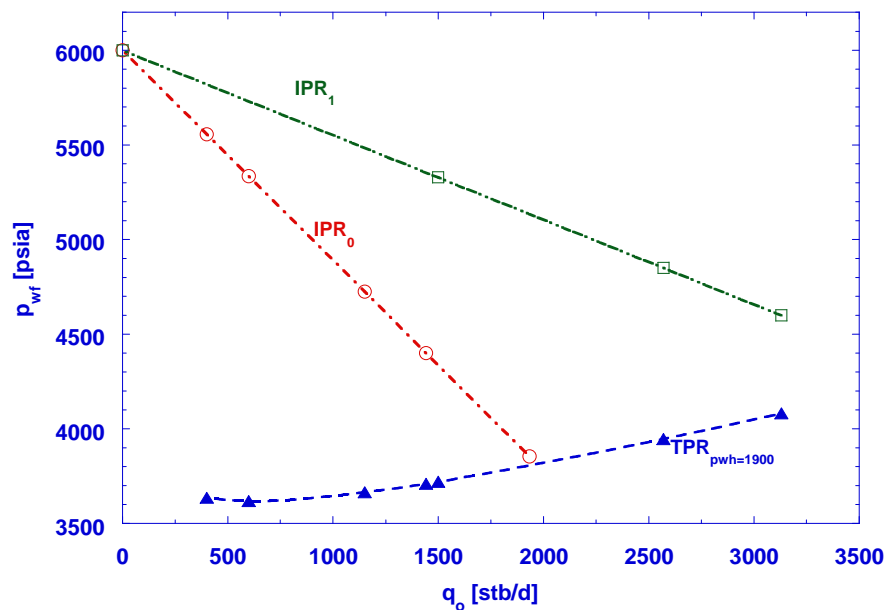
Fra brønntest etter syrevask finner vi:

$q_o$ STB/d	$p_{wf,test}$ psia	$p_{wh,test}$ psia	$\Delta P = p_{wf,t} - p_{wh,t}$ psi	$TPR_{pwh=1900}$ psia
0	6000			
1500	5329	3509	1820	3720
2571	4850	2803	2047	3947
3130	4600	2418	2182	4082

$$\text{Produksjonsindeks etter syrevask: } J = \frac{q_o}{p_e - p_{wf}} = \frac{2571}{6000 - 4850} = \underline{\underline{2.236}} \text{ [stb/d/psi]}$$

(Strømningsraten ved kokepunktet etter vask er:  $q_{o,pb} = 2.236 \times (6000 - 3800) = 4918$  stb/d.)

i)



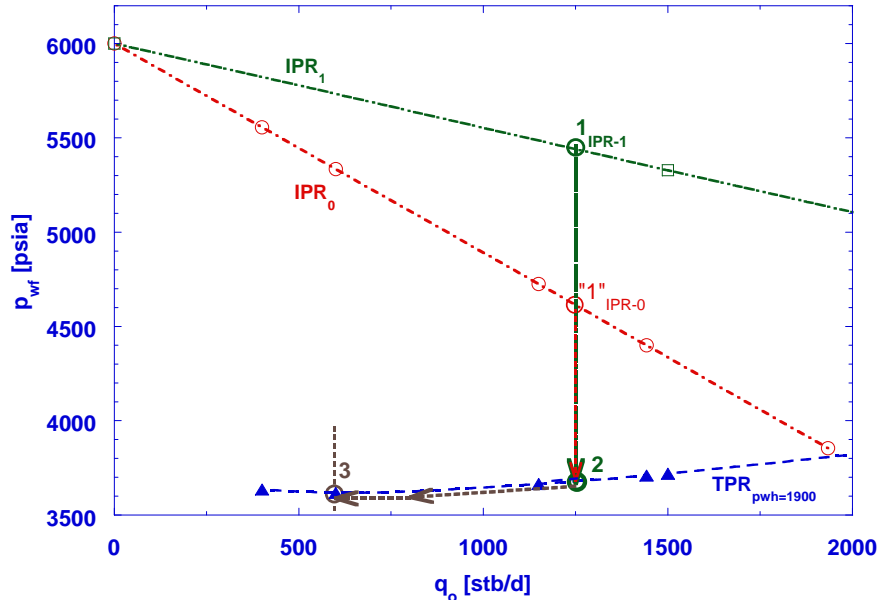
**Figur g):** Figuren viser opprinnelig IPR-kurve før syrevask ( $IPR_0$ , rød kurve), IPR-kurve etter syre-behandling av brønn ( $IPR_1$ , grønn kurve) og TPR-kurve for  $p_{wh} = 1900$  psia.

Trykkfallet over produksjonsrøret og TPR- kurven er upåvirket av syrevaskingen. Oppgaven var utformet for å sjekke studentenes forståelse av dette. De som presenterer to TPR-kurver i plottet (figur g) får trekk for dette og krediteres med maks 70 % om  $IPR_0$  og  $IPR_1$  er riktig.

- j) Produksjonsforløpet er skissert i figuren under med grønn pil i området mellom punkt 1 på  $IPR_1$ -kurven og punkt 2 på  $TPR_{pwh=1900}$  kurven. Trykket i brønnen,  $p_{wf,qo=1250}$ , ved platårate 1250 stb/d i det en kommer ned til  $TPR_{pwh=1900}$  kan en estimere ved å interpolere mellom

TPR<sub>pwh=1900</sub> verdiene for q<sub>o</sub> = 1150 og 1500 i tabellene over når en antar lineær TPR-kurve i området. Mellom q<sub>o</sub> = 1150 og 1500 stb/d er det et sprang på 350 stb/d og som kan deles i 7 seksjoner á 50 stb/d. En finner da at:

$$p_{wf,q_o=1250} = (TPR_{pwh=1900,q_o=1250}) = (3720 - 3665)/7 \cdot 2 + 3665 = 3681 \text{ psia.}$$



- k) For å oppnå sonisk strømming over choken må forholdet mellom trykk nedstrøms ( $p_{ut}$ ) og trykk oppstrøms ( $p_{inn}$ ) være mindre eller lik det kritiske trykkforholdet som gitt av:

$$\left(\frac{p_{ut}}{p_{inn}}\right)_c = \left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} \quad \text{Vi kjenner } p_{ut} \text{ og } \kappa \text{ og kan finne trykket nedstrøms, } p_{ut} \text{ av:}$$

$$p_{ut} = p_{inn} \cdot \left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} = 1900 \cdot \left(\frac{2}{2.25}\right)^5 = \underline{\underline{1054 \text{ psia.}}}$$

Trykket nedstrøms må derfor være 1054 psia eller mindre om fluidhastighet over choken skal nå sonisk hastighet.

Ved sonisk strømming dempes trykkpulser i systemet og fluidstrømmen nedstrøms choken og inn på separator blir jevn og uten trykkpulser som ellers kan forstyrre fluidstrømmer inn og ut av separatorsystemet.

- l) Det laveste punktet på TPR<sub>pwh=1900</sub> kurven ligger ved q<sub>o</sub> = 600 stb/d.

m)

- i. Trykket nedstrøms choken er 1054 psia mens innløpstrykket til separator 1 er 950 psia. Det er da en trykkdifferens på 104 psi mellom choke og separator som kan være tilstrekkelig til å frakte fluidet gjennom rørledning og fram til prosessenheten om ikke overføringsdistansen er for lang eller at løft fra chokens nivå (for eksempel på sjøbunn) og opp til separatordekk på plattform blir større enn tilgjengelig trykkdifferens når friksjonstap har tatt sitt.



Trykktapet mellom choken og separator må være mindre enn eller maksimalt lik 104 psi.

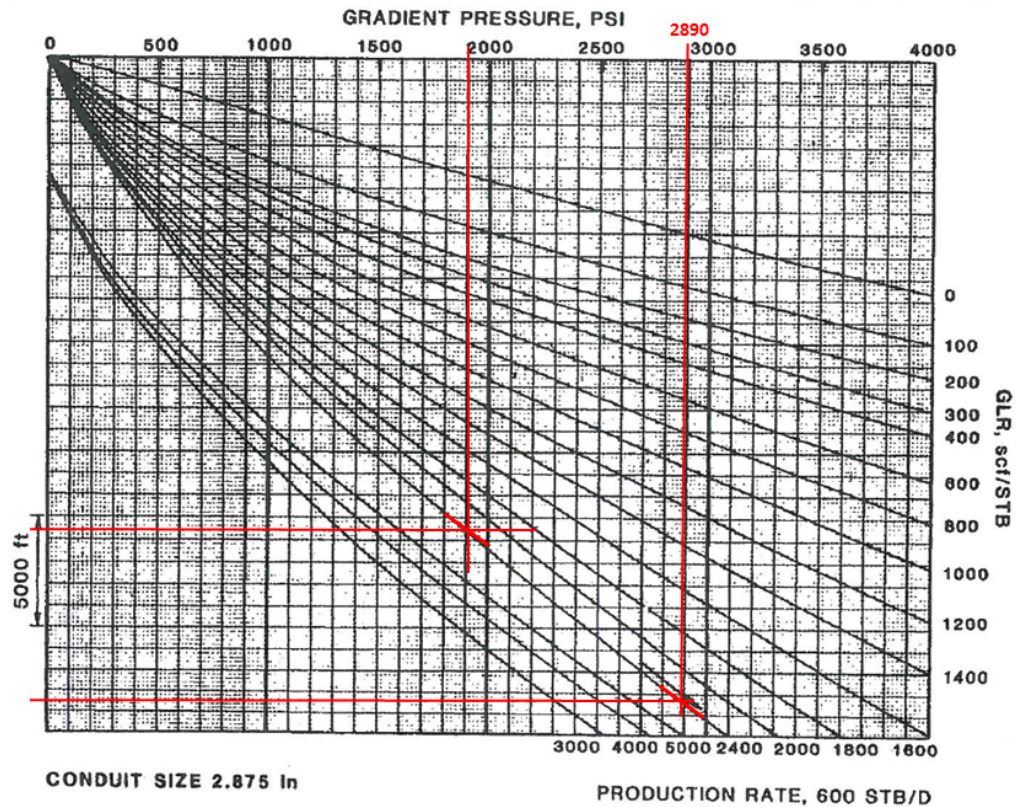
ii. Choke ligningen:  $p_{wh} = \frac{C \cdot (GLR)^{m \cdot q}}{D_{64}^n}$ . Denne må løses med hensyn på choke diameteren,  $D_{64}$ , og vi får:  $D_{64}^n = \frac{C \cdot (GLR)^{m \cdot q}}{p_{wh}}$  og

$$D_{64} = \sqrt[n]{\frac{C \cdot (GLR)^{m \cdot q}}{p_{wh}}} = \sqrt[2]{\frac{17.4 \cdot \sqrt{1000} \cdot 600}{1900}} \approx \frac{13}{64} \text{ in} = 0.206 \text{ in.}$$

Nødvendig choke diameter er  $13/64'' = 0.206''$ .

Det ser ut til at noen misforstår i oppgaveteksten og beregner nødvendig chokediameter for å oppnå sonisk hastighet ved platårate. Velger å se litt mildt på denne misforståelsen om metoden er riktig. Trekk maks 10 % til 90 % riktig.

- n) I gradientkurvedigrammet finner vi at maksimal GOR / GLR er 2400 scf/sbl. Går så inn i diagrammet ved  $p_{wh} = 1900$  psia og trekker en loddrett linje ned til skjæring med  $GLR = 2400$  kurven. Går så horisontalt ut til venstre og finner "nullnivå" for brønnen. Går deretter 8000 fot ned langs dybde-aksen og trekker en horisontal linje derfra og ut til høyre mot skjæring med  $GLR = 2400$  kurven. Går derfra vertikalt opp til skjæring med trykkaksen og leser av brønntrykket til å ligge i området mellom 2880 og 2900 psia. Antar derfor at vi kan produsere ned til et brønntrykk på ca. 2890 psia.



- o) Gassinjeksjonsraten,  $q_g$ , er:  $q_g = (2400 - 1000) \times 600 = 8.4 \times 10^5$  scf/d.

Noen beregner totalrate gass gjennom kompressor istedenfor den fraksjonen som går til gassinjeksjon for å øke GLR fra 1000 til 2400 scf/sbl. Når metode for beregning av gassrate per dag er riktig er beregningen  $q_g = 2400 \times 600 = 1.44 \times 10^6$  scf/d kreditert med 50 %.

- p) Har oppgitt  $p_{in} = 950$  psia og  $p_{ut} = p_{surf} = 2700$  psia over kompressoren. I tillegg til injeksjonsgassen må kompressoren også behandle eksportgassen slik at total gass strøm over kompressoren blir:  $q_{g,tot} = 2400 \times 600 = 1.44 \times 10^6$  scf/d. Nødvendig kompressoreffekt blir da:

$$HHP = 2.23 \cdot 10^{-4} \cdot 1.44 \cdot 10^6 \cdot \left[ \left( \frac{2700}{950} \right)^{\frac{1.25-1}{1.25}} - 1 \right] = \underline{\underline{74.6}} \text{ [hp]}$$

Vi ser at innløpstrykket til separator ligger 104 psi lavere enn utløpstrykket fra choken. Dette er tilstrekkelig til å frakte fluidet fram til prosessenhet dersom friksjonstap fra strømning og trykktap ved løft fra havbunn og opp på plattformdekket ikke overstiger dette.

## Løsningsskisse Oppgave 3: Produksjonskjemikalier og inhibering

(Oppgave 3 er gitt vekt faktor 0.8 av totalt vekt 4 for hele eksamens-settet og teller 20 % på totalkarakteren til eksamen. Du bør tilpasse tidsbruken etter dette.)

- 1) **Svarte kjemikalier:** de mest miljøfarlige + prioriterte miljøgifter, tillatelse gis i spesielle tilfeller Tillatelsen blir gitt for en spesifikk mengde av en navngitt kjemikalie.

prioritetslisten for substitusjon  
ikke endres uten en ny søknad

Svarte kjemikalier inngår i  
Mengde eller type kjemikalie kan da

**Røde kjemikalier:** Miljøfarlige, krav i tillatelsen at de prioriteres spesielt for substitusjon. Blant de røde kjemikalierne finner man ikke toksiske, men sent nedbrytbare stoffer hvor man ikke kjenner til langtidseffektene ved oppkonsentrering i organismer. Man kjenner heller ikke til konsekvensene det kan medføre når konsentrasjonene av materialene blir svært høye, og gir påviselig effekt. Røde kjemikalier blir ofte brukt under boring, produksjon og rørledningsaktiviteter

Det må for røde kjemikalier søkes om tillatelse til utslipp av en total mengde kjemikalier innenfor et valgt bruksområde. Operatøren har selv ansvar for at utslippet av røde kjemikalier ikke overskrider den tillatte utslippsmengden. Man kan fritt bytte et rødt kjemikalie med et annet rødt kjemikalie, så lenge totale utslippsmengden er innenfor de gitte begrensningene.

I spesielt sårbare områder, som nordområdene, er disse kjemikalierne forbudt å slippe ut.

**Gule kjemikalier:** akseptable økotoksikologiske egenskaper, tillatelse gis normalt uten spesifiserte vilkår

**Grønne kjemikalier:** liten eller ingen effekt på det marine miljøet, tillatelse gis uten spesifiserte vilkår

Tabellen er ikke nødvendig for besvarelsen

	Kategori/ Fargekode
Hormonforstyrrende stoffer	1 – Svart
Liste over prioriterte kjemikalier som omfattes av resultatmål	2 – Svart
Bionedbrytbarhet < 20% og log Pow >=	3 – Svart
Bionedbrytbarhet < 20% og giftighet EC50 eller LC50 <= 10 mg/	4 – Svart
To av tre kategorier: Bionedbrytbarhet < 60%, log Pow >= 3, EC50 eller LC50 <= 10 mg/l	6 - Rød
Uorganisk og EC50 eller LC50 <= 1 mg/	7 - Rød
Bionedbrytbarhet < 20%	8 - Rød
Andre Kjemikalier	100 - Gul
Vann	200 - Grønn
Kjemikalier på PLONOR listen	2001 - Grønn

Ligning spm skal benyttes fra vedlegg 1 i oppgaveteksten:

$$\Delta T = \frac{K_H W}{M(100 - W)}, \quad K_H = 1297 \left[ \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot ^\circ\text{C} \right]$$

$\Delta T$  = Temperaturendring i grader C (depression)

$K_H$  = Inhibitor konstant (1297 (g/mol)\*degC)

$M$  = molekylvekt

$W$  = vektprosent inhibitor

- 2) Beregn først  $\Delta T$ :  $\Delta T = (21 - 8) ^\circ\text{C} = 13 ^\circ\text{C}$ . Legg deretter til 2  $^\circ\text{C}$  for sikkerhetsmargin:  $\Delta T_{\text{sikker}} = (13 + 2) ^\circ\text{C} = 15 ^\circ\text{C}$ .

- i) Kan da beregne nødvendig mengde metanol fra Hammerschmidt's formel:

$$W = \frac{100M\Delta T}{K_H + M\Delta T} = \frac{100 \cdot 32,042\text{g/mol} \cdot 15^\circ\text{C}}{1297\text{g/mol} \cdot ^\circ\text{C} + 32,042\text{g/mol} \cdot 15^\circ\text{C}} = 27,04 \text{ wt\%}$$

Mengde produsert vann er 0.2 m<sup>3</sup>/dag = 200 liter/dag. 27.04 vekt % metanol tilsvarer en fraksjon,  $f_{\text{metanol}}$ , på 0.2704 av totalen (totalfraksjon = 1). Fraksjon metanol i vannfasen er gitt av:

$$f_{\text{metanol}} = \frac{\text{Vekt metanol/dag}}{\text{Vekt vann/dag} + \text{Vekt metanol/dag}} = \frac{X_{\text{metanol}}}{200\text{kg/dag} + X_{\text{metanol}}} = 0.2704$$

$$\Rightarrow X_{\text{metanol}} = 74,12\text{kg} / \text{dag}$$

Med en tetthet for metanol på 790 kg/m<sup>3</sup> = 0.79 kg/liter finner en at mengden

$$\text{metanol er: } V_{\text{metanol}} = \frac{74.12\text{kg/dag}}{0.79\text{kg/liter}} = \underline{\underline{93.82\text{ liter/dag}}}$$

- ii) Beregner nødvendig mengde mono etylen glykol, MEG, fra Hammerschmidt's formel:

$$W = \frac{100M\Delta T}{K_H + M\Delta T} = \frac{100 \cdot 62,07\text{g/mol} \cdot 15^\circ\text{C}}{1297\text{g/mol} \cdot ^\circ\text{C} + 62,07\text{g/mol} \cdot 15^\circ\text{C}} = 41,79 \text{ vekt \%}$$

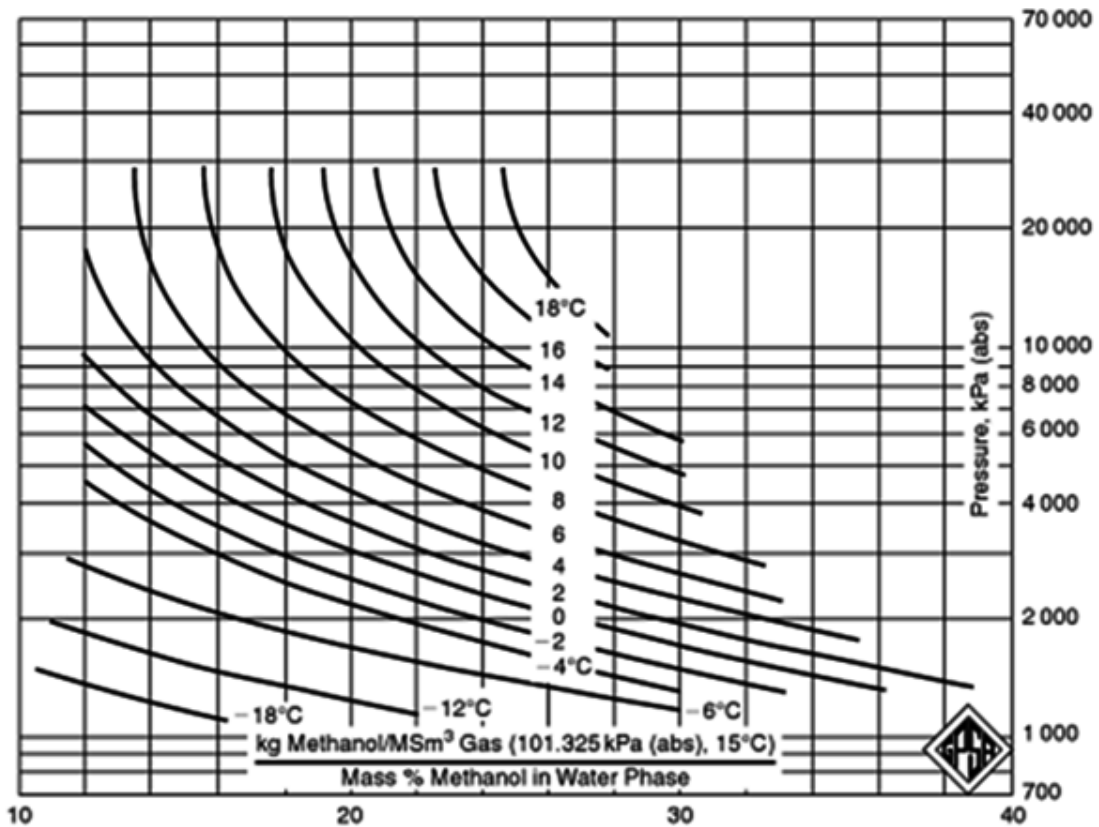
Mengde produsert vann er 0.2 m<sup>3</sup>/dag = 200 liter/dag. 41.79 vekt % MEG tilsvarer en fraksjon,  $f_{\text{MEG}}$ , på 0.4179 av totalen). Fraksjon MEG i vannfasen er gitt av:

$$f_{\text{MEG}} = \frac{\text{Vekt MEG/dag}}{\text{Vekt vann/dag} + \text{Vekt MEG/dag}} = \frac{X_{\text{MEG}}}{200\text{kg/dag} + X_{\text{MEG}}} = 0.4179$$

$$\Rightarrow X_{\text{MEG}} = 143.58\text{kg} / \text{dag}$$

Med en tetthet for MEG på 1113 kg/m<sup>3</sup> = 1.113 kg/liter finner en at mengden

$$\text{metanol er: } V_{\text{metanol}} = \frac{143.58\text{kg/dag}}{1.113\text{kg/liter}} = \underline{\underline{129.0\text{ liter/dag}}}$$



**Fig.:** Forholdet mellom metanoldamp og metanol i vandig væske som funksjon av trykk og temperatur i SI-enheter.

- 3) For å finne mengden metanol i gassfasen må vi benytte den vedlagte grafen og avleser på kurven for  $T = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$  ved  $P = 5000\text{ kPa}$  at mengden metanol i dampfase ved likevekt er:

$$24 \left[ \frac{\text{kg}}{10^6 \text{ Sm}^3 \cdot \text{wt}\%} \right]$$

Med en produksjonsrate på  $q_g = 80 \times 10^3 \text{ Sm}^3/\text{dag}$  er mengden,  $m$ , av metanol i dampfasen gitt av:

$$m_{\text{metanol}} = 24 \frac{\text{kg}}{10^6 \text{ Sm}^3 \cdot \text{wt}\%} * 80 \cdot 10^3 \frac{\text{Sm}^3}{\text{dag}} * 27.04_{\text{wt}\%} = 51.92 \text{ kg/dag}$$

$$\Rightarrow V_{\text{metanol}} = \frac{51.92 \text{ kg/dag}}{0.79 \text{ kg/liter}} = 65.72 \text{ liter/dag}$$

Total mengde metanol som må injiseres er da:

$$V_{\text{metanol}} = 93.82 + 65.72 \text{ liter/dag} = \underline{\underline{159.54 \text{ liter/dag}}}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{6.65 \text{ liter/time}}}$$