

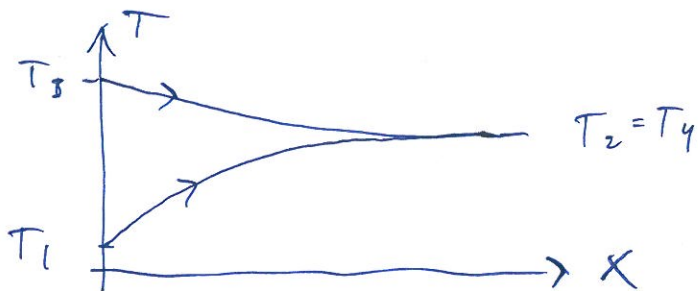
BIP 160 - Produksjon olje & gass

(7)

- Eksamen 15.02.2014 (KONT)

LØSNINGSFORSLAG

Oppg. 1a) I: Med strømvar.: max varme overført, dersom fluidene ut har samme temperatur;  $T_2 = T_4$



$$\dot{Q} = \dot{m}_1 c_{p1} \cdot (T_2 - T_1) = \dot{m}_2 \cdot c_{p2} \cdot (T_3 - T_2)$$

(gass) (olje)

$$T_2 = \frac{\dot{m}_2 c_{p2} T_3 + \dot{m}_1 c_{p1} T_1}{\dot{m}_1 c_{p1} + \dot{m}_2 c_{p2}} = \frac{100 \cdot 1975 \cdot 60 + 4 \cdot 2669 \cdot 15}{4 \cdot 2669 + 100 \cdot 1975}$$

= 57.69°C (Teoretisk)

II  $T_4 = 58.3^\circ\text{C}$

Alt. 1: Samme løsning som i stad:

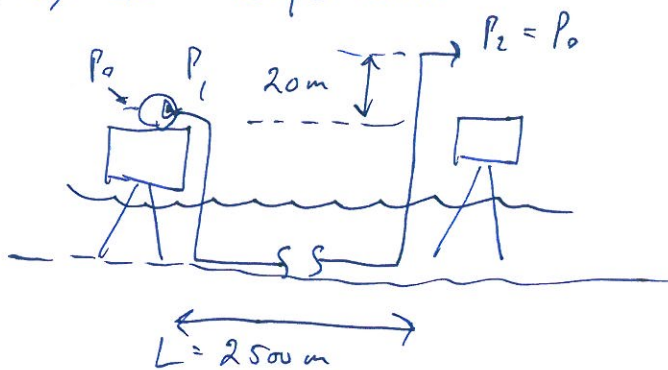
$$T_2 = \frac{100 \cdot 1975 \cdot (60 - 58.3) + 4 \cdot 2669 \cdot 15}{4 \cdot 2669} = \underline{\underline{46.45^\circ\text{C}}}$$

Alt. 2: Regn ut  $\dot{Q}$  først:  $\dot{Q} = 100 \cdot 1975 \cdot (60 - 58.3)$

$$\rightarrow T_2 = \frac{\dot{Q} - \dot{m}_1 c_{p1} \cdot T_1}{\dot{m}_1 c_{p1}} = \underline{\underline{46.45^\circ\text{C}}}$$

= 335750 W

Oppg. 7 b) I Skjematisk:



Nødvendig trykforhøvelse uttrykkes av summen av hydrostatisk trykkløstørrum pga. høydeforskjellen og friksjons trykkløstørrum:

$$\Delta P_H = \rho g \Delta h = 807 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 20 \text{ m} = \underline{158333 \text{ Pa}} \quad (= 1.58 \text{ bar})$$

$$\Delta P_f = \frac{1}{2} \rho u^2 \cdot f_D \frac{L}{D}$$

$$u = \frac{q}{A} \quad ; \quad q = 2000 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = \frac{2000}{3600} = 0.556 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{\pi}{4} \cdot (0.45 \text{ m})^2 = 0.159 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow u = \frac{0.556}{0.159} = \underline{3.50 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$\Delta P_f = \frac{1}{2} \cdot 807 \cdot (3.5)^2 \cdot 0.019 \cdot \frac{2500}{0.45} = \underline{521748 \text{ Pa}} \quad (= 5.21 \text{ bar})$$

$$\Delta P(q=2000) = 158333 + 521748 = \underline{\underline{680081 \text{ Pa}}} = 6.8 \text{ bar}$$

1 b II: Når  $p_0 = p_2 \rightarrow H_p = H_{\text{system}}$

(3)

Siden den hydrostatiske trykledifferansen er konstant, må vi finne den volumstrømmen som bidrar med et forstøvings trykktap tilsvarende  $40 - 20 = 20$  m løfte høyde:

$$\Delta p_f(20\text{ m}) = 870 \cdot 9.81 \cdot 20 = 158333 \text{ Pa (som i I)}$$

$$u = \sqrt{\frac{2 \Delta p_f D}{3 L f_D}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 158333 \cdot 0.45}{807 \cdot 2500 \cdot 0.019}} = \underline{1.928 \text{ m/s}}$$

$$\rightarrow \dot{q} = u \cdot A = 1.928 \cdot 0.159 = 0.307 \text{ m}^3/\text{s} = \underline{\underline{1104 \text{ m}^3/\text{h}}}$$

Oppg. 7c I Totalt trykktall fra b kan regnes om til

$$\text{løfte høyde: } H = \frac{680081}{870 \cdot 9.81} = \underline{79.68 \text{ m}}$$

Har da 3 punkt å sette inn i diagrammet:

	Flom	Høyde
1.	0	20
2.	1104	40
3.	2000	79.68

Omtrentlig driftspunkt:

$$\underline{\dot{q} \approx 1500 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$\underline{H \approx 55 \text{ m}}$$

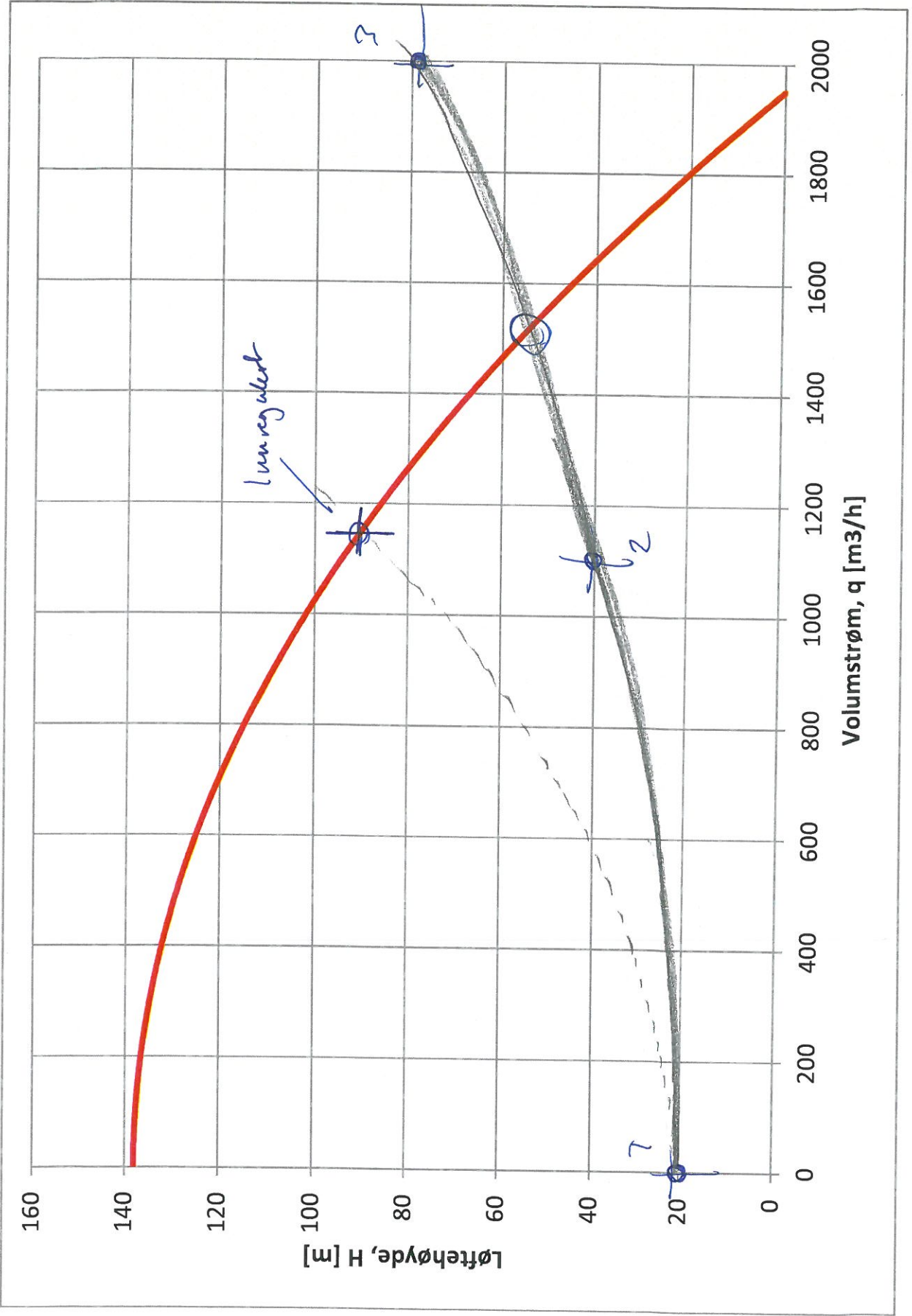
("Ekrakt":  $1496 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $56.8 \text{ m}$ )

II:

$$\text{Ventil regulert til } 1150 \text{ m}^3/\text{h} \Rightarrow H \approx 90 \text{ m}$$

$$P = 870 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{1150 \text{ m}^3}{3600 \text{ s}} \cdot 90 \text{ m} = \underline{245373 \frac{\text{Nm}}{\text{s}}}$$

$$= \underline{\underline{245.4 \text{ kW}}}$$



Vedlegg (X) Pumpekaraktéristikk til oppgave 1 c 1

## Løsningsforslag oppgave 2

- a) Skin er forskjellige effekter som gjør strømningsegenskapene gjennom nærbrønnområdet forskjellig fra strømningsegenskapene i selve reservoaret. Skin uttrykker seg i økt strømningsmotstand og kan skyldes:
- Formasjonsskade (fomation damage). Kan oppstå ved boring av brønn.
  - Skin fra perforering (for eksempel slaggrester som tetter porer i perforeringskanal)
  - Skin fra komplettering
  - Skin fra gruspakke
  - Skin fra tetting av porer ved for eksempel utfellinger i nærbrønnområdet eller rester av boreslam etter boreoperasjon.
  - Skin som skyldes høy hastighet og strømningsforhold som gir økt trykktap.

- b) En omforming av ligningen

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

gir  $S = \frac{hk}{141.2\mu_o B_o} \cdot \frac{(p_e - p_{wf})}{q_o} + 0.75 - \ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)$ . En finner da:

$$s = \frac{120 \cdot 100}{141.2 \cdot 1.5 \cdot 1.7} \cdot \frac{(6800 - 5369)}{1702} + 0.75 - \ln\left(\frac{1000}{5/12}\right) = 28.02 + 0.75 - 7.78 = \mathbf{21}$$

Formelen kan kun benyttes med input via US og Oilfield enheter. Konstanten 141.2 i telleren er gitt med US / Oilfield enhet. Skal en foreta input med høyde (h) og diameter  $r_w$  og  $r_e$  i meter må konstanten omregnes til SI systemet først. Input av verdier i SI i formelen gir grov og «fatal» feil i svar og studenter som har gjort dette krediteres med maks 30 % (stryk) omvalg av formel er riktig.

- c) Siden det er sandsteinsreservoar må en benytte fluss syre (HF) i kombinasjon med saltsyre (HCl). Produkter fra reaksjon mellom HF og for eksempel kalkrester i porene eller salter i formasjonsvann kan felles ut og tette porene. Prosedyren for vask med fluss syre som følger:
- Forvask med en 15 % HCl løsning for å løse opp og vaske ut rester av kalk eller vaske ut rester av formasjonsvann i nærbrønnområdet.
  - "Hovedvask" med en blanding av 3 % HF og 12 % HCL (mest vanlig, men andre konsentrasjoner kan forekomme).
  - Ettervask med 15 % HCl løsning for å skylle ut reaksjonsprodukter fra HF behandlingen og hindre eventuell videre reaksjon mellom HF og utfelte salter til uløselige produkter som felles ut og tetter porene.
- d) Kalksteinsreservoar kan ikke behandles med fluss syre da en får dannet uløselig kalsiumfluorider som felles ut og tetter porer. For kalksteinsreservoar må en benytte en saltsyreløsning eller andre syrer (for eksempel maursyre = formic acid, eddiksyre = acetic acid) som ikke reagerer med kalkbergarten til noe som felles ut.

e) Skin faktor etter behandling er:

$$s = \frac{120 \cdot 100}{141.2 \cdot 1.5 \cdot 1.7} \cdot \frac{6800 - 5900}{2493} + 0.75 - \ln\left(\frac{1000}{5/12}\right) = 12.03 + 0.75 - 7.78 = 5$$

f) Strømningseffektivitet før behandling er:

$$E_f = \frac{q_{reell}}{q_{ideell}} = \frac{\left(\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75\right)}{\left(\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75 + s\right)} = \frac{7.78 - 0.75}{7.78 - 0.75 + 21} = 0.2508$$

Strømningseffektivitet etter behandling er:

$$E_f = \frac{q_{reell}}{q_{ideell}} = \frac{\left(\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75\right)}{\left(\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75 + s\right)} = \frac{7.78 - 0.75}{7.78 - 0.75 + 5} = 0.5843$$

$$\% \text{ økning i strømningseffektivitet er da: } \frac{0.5843 - 0.2508}{0.2508} \cdot 100 = 132.9$$

altså mer enn en dobling av strømningseffektiviteten.

g) Minimum brønnehodetrykk er avhengig av nødvendig trykk inn på første separator på prosessenhet (plattform),  $P_{sep,1}$ . Trykket må også ta hensyn til trykkfall over rørledning mellom brønnehode og prosessenhet,  $\Delta P_{rørledning}$ . Dersom en produserer tofase olje og gass må en i tillegg ha et trykkfall over choken og som er stort nok til at fluidet oppnår sonisk strømning over choken. Trykkfallet over choken kan beregnes fra:  $\Delta P_{choke} = P_{inn} - P_{ut}$  der  $P_{inn} =$

$$p_{wh} \text{ og } P_{ut} \text{ er beregnet etter: } \left(\frac{p_{ut}}{p_{inn}}\right)_c = \left(\frac{2}{\kappa + 1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}} \text{ der sub-skrift c står for kritisk verdi}$$

ved soniske forhold.  $\left(\frac{p_{ut}}{p_{inn}}\right)_c$  er typisk av størrelsesorden 0.55 – 0.5.

h) Med sonisk strømning menes at strømningshastigheten er lik med lydshastigheten i mediet / fluidet (olje + gass).

i) Sonisk strømning ønskes over choken for tofase olje – gass strømmer.

j) Ved sonisk strømning over choken dempes alle trykkpulser på oppstrøms-siden fra reservoar til brønn slik at en får en jevn strømning fri for "skadelige" trykkpulser inn på første separator. Første separator kan ta inn brønnstrømmer fra flere brønner og flere felt og da er det en fordel at alle lett kan trykkbalanseres mot hverandre og det felles trykk som kreves inn på separator.

k) Platårater er en konstant rate som en kan produsere ved over en lengere tidsperiode (flere år) og inntil reservoartrykket har falt til et nivå der dette ikke går lenger.

l) Platåratene er valgt for å gi jevn produksjon over tid samt at en ved balansert og begrenset rate under den maksimale raten, har muligheter for å hindre / utsette vanngjennombrudd og produksjon av formasjonsvann framfor olje.

m) Platåraten er avhengig av størrelsen på felt, feltets leveringsevne og dimensjoner på brønn og utstyr og kan variere fra noen få hundre fat per dag for de minste feltene til noen tusen for de største. I kurset, øvingsoppgaver og tidligere eksamensoppgaver er platårate lagt mellom 1000 og 2000 fat per dag (stb/d). Valget er fritt for studenten og i fasiten velges 1500 som platårate. Den absolutte tallverdien på platåraten er ikke det viktigste i oppgavebesvarelsen men forståelsen av de følgende punktene.

- i. Se diagram.
- ii. Platåraten kan holdes ved å justere brønnehodetrykket ned i samme takt som trykket i reservoaret faller over tid. Stabil produksjon foregår i skjæringspunktet mellom den gjeldende IPR kurven og den gjeldende TPR kurven ved gitt brønnehodetrykk. Når brønnehodetrykket senkes parallellforskyves gjeldende TPR kurve gradvis nedover mot lavere trykk.
- iii. Under stabil produksjon ligger den første grensebetingelsen en møter i skjæringspunktet mellom TPR kurven ved minimum brønnehodetrykk (her  $p_{wh,min} = 2000$  psia) og en IPR kurve som krysser denne ved platåraten (her 1500 stb/d) og et gitt brønntrykk med tilhørende reservoartrykk. Det er brønntrykket ved dette skjæringspunktet som utgjør grensen for hvor langt en kan produsere ved platåraten. Og dette trykket ligger på TPR-kurven og i skjæringspunktet med den IPR kurve som gjelder her (IPR<sub>2</sub> i figur). Ved produksjon med trykk i reservoaret over kokepunktet er IPR kurven rettlinjert med stigning lik produksjonsindeks J (denne etterspørres ikke). IPR<sub>2</sub> finnes ved parallellforskyvning av IPR<sub>1</sub> til skjæring med TPR<sub>pwh=2000</sub> kurven.
- iv. Se diagram / figur. Her må vi inn i brønntest og reservoardata og finne verdier på TPR kurve ved brønnehodetrykk,  $p_{wh} = 2000$  psia. Siden TPR verdiene ikke vil være påvirket av syrevask av brønn (har kun effekt på formasjon rundt brønn), kan en benytte begge sett med test data til å finne verdier på en TPR kurve (TPR: trykkfall over produksjonsrør som funksjon av strømningsrate + brønnehodetrykk = verdier på TPR kurven ved dette brønnehodetrykket som funksjon av strømningsraten,  $q_o$ ). Har da fra brønntest data før syrevask:

$q_o$ STB/d	$P_{wf,test}$ psia	$P_{wh,test}$ psia	$\Delta P = P_{wf,t} - P_{wh,t}$ psi	TPR <sub>pwh=2000</sub> psia
0	6800			
901	6042	4129	1913	3913
1702	5369	3374	1995	3995

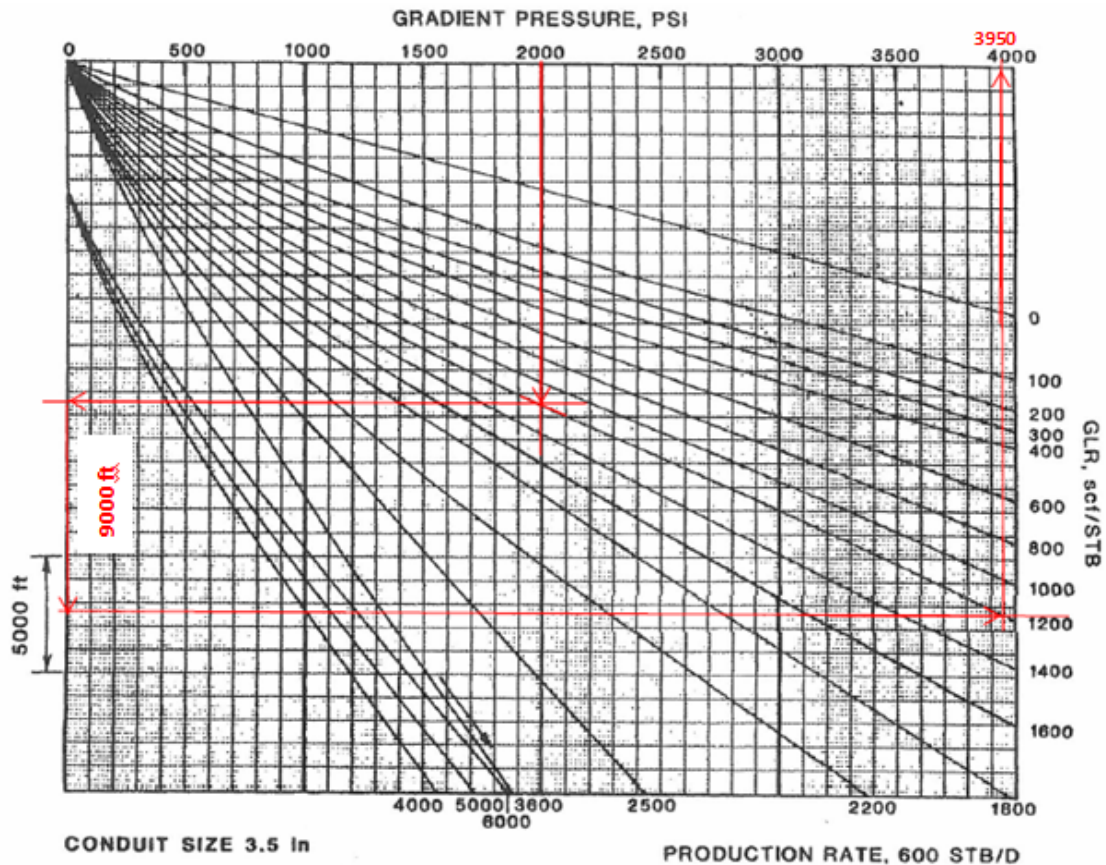
og fra data etter syrevask:

$q_o$ STB/d	$P_{wf,test}$ psia	$P_{wh,test}$ psia	$\Delta P = P_{wf,t} - P_{wh,t}$ psi	TPR <sub>pwh=2000</sub> psia
0	6800			
600**	6583			3950**
969	6450	4538	1912	3912
2493	5900	3725	2175	4175
4332	5236	2556	2680	4680
5096	4960	2013	2947	4947

\*\* : Verdi funnet fra gradientkurvedigram

I tillegg har vi punkter på  $IPR_1$  kurven fra brønntest data etter syrevask. Plotter så  $TPR_{p_{wh}=2000}$  kurven inn i diagrammet som er vedlagt i vedlegg 8 og trekker en parallell til  $IPR_1$  som skjærer  $TPR_{p_{wh}=2000}$  kurven ved platåraten  $q_{o,platå} = 1500$  stb/d. Dette skjæringspunktet bestemmer grensebetingelsen ved punkt 2.

Vi kan finne brønntrykket ved punkt 2 i figuren ut fra ekstrapolasjon om vi benytter data fra siste brønntest ved  $q_o = 969$  stb/d og første brønntest ved  $q_o = 1702$  stb/d. Dette er beskrevet under figuren på neste side.

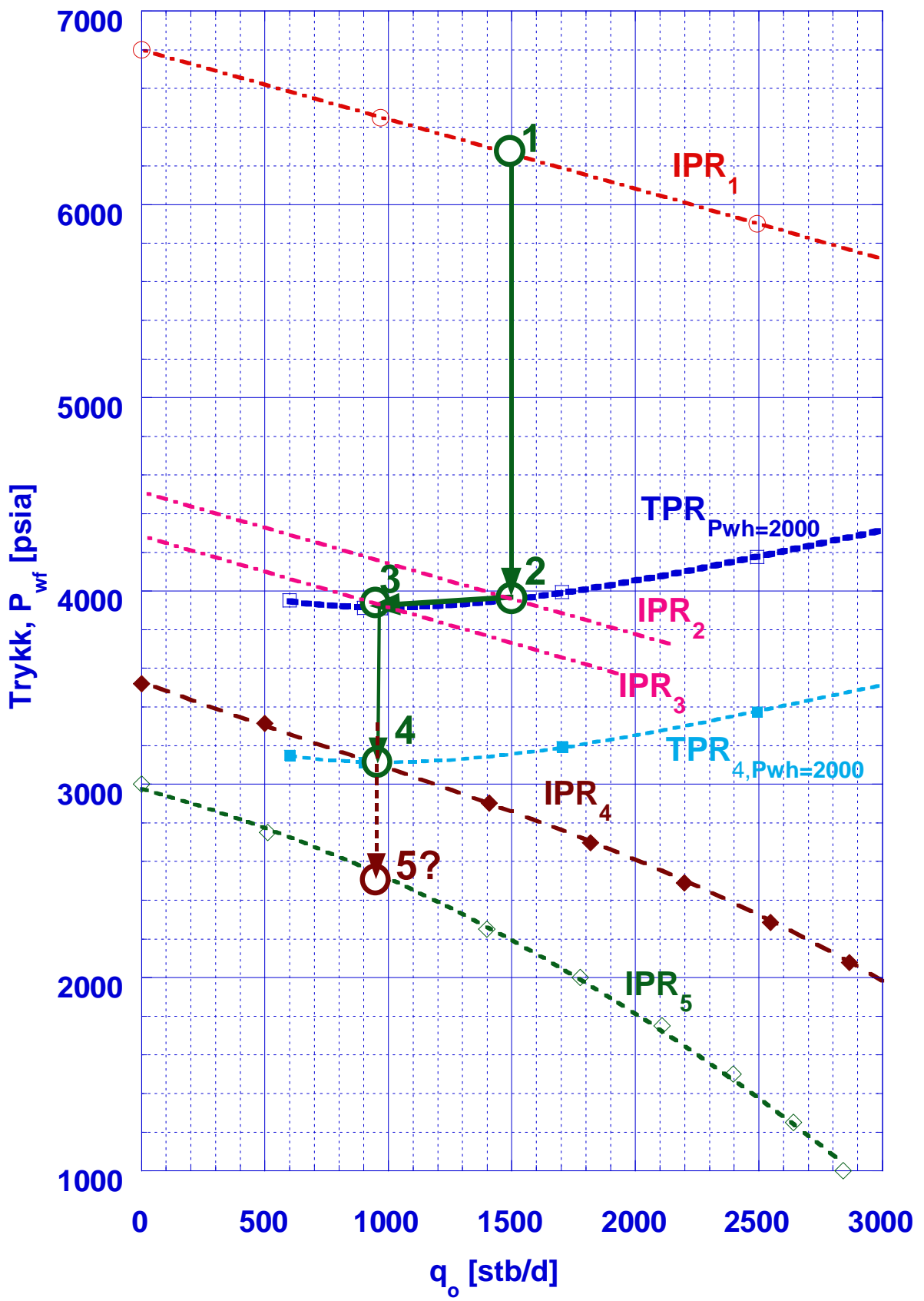


Note i tabell for brønntest data\*\*: Gradientkurvedigram benyttet til å finne trykk i brønn når brønnehodetrykk, GOR og brønnens dybde er kjente.

Gå først inn på minimum brønnehodetrykk på øvre x-akse (= 2000 psia). Gå deretter vertikalt ned til skjæring med GOR = 1200 scf/stb kurven. Gå så fra dette skjæringspunktet horisontalt mot venstre til skjæring med dybde aksen (y-aksen). Gå derfra ned en avstand som tilsvarer 9000 ft (9 ruter ned, 1 rute = 1000 ft). Gå derfra horisontalt mot høyre til ny skjæring med GOR = 1200 scf/stb kurven og gå så vertikalt opp fra dette skjæringspunktet til øvre x-akse for avlesing av brønntrykk. En ser at brønntrykket ved  $q_o = 600$  stb/d er 3950 psia.

- v. Av diagrammet neste side ser vi at vi kan produsere fram til punkt 2 ved platåraten. Her krysser kurvene for  $IPR_2$  og  $TPR_{p_{wh}=2000}$  hverandre og skjæringspunktet ligger rett under  $p_{wf} = 4000$  psia. Vi har to punkter på  $TPR_{p_{wh}=2000}$  kurven på hver side av platåraten,  $q_o = 1500$  stb/ fra brønntest, ett punkt ved  $q_o = 969$  og  $p_{wf} = 3912$  psia og ett punkt ved  $q_o = 1702$  og  $p_{wf} = 3995$  psia. Her kan en anta tilnærmet rettlinjert TPR forløp og ekstrapolere mellom punktene til  $q_o = 1500$  stb/d. Finner da  $p_{wf} = \mathbf{3972}$  psia ved  $q_o = 1500$  stb/d (avlesning fra graf i plottprogram gir  $p_{wf} = 3966$  psia).

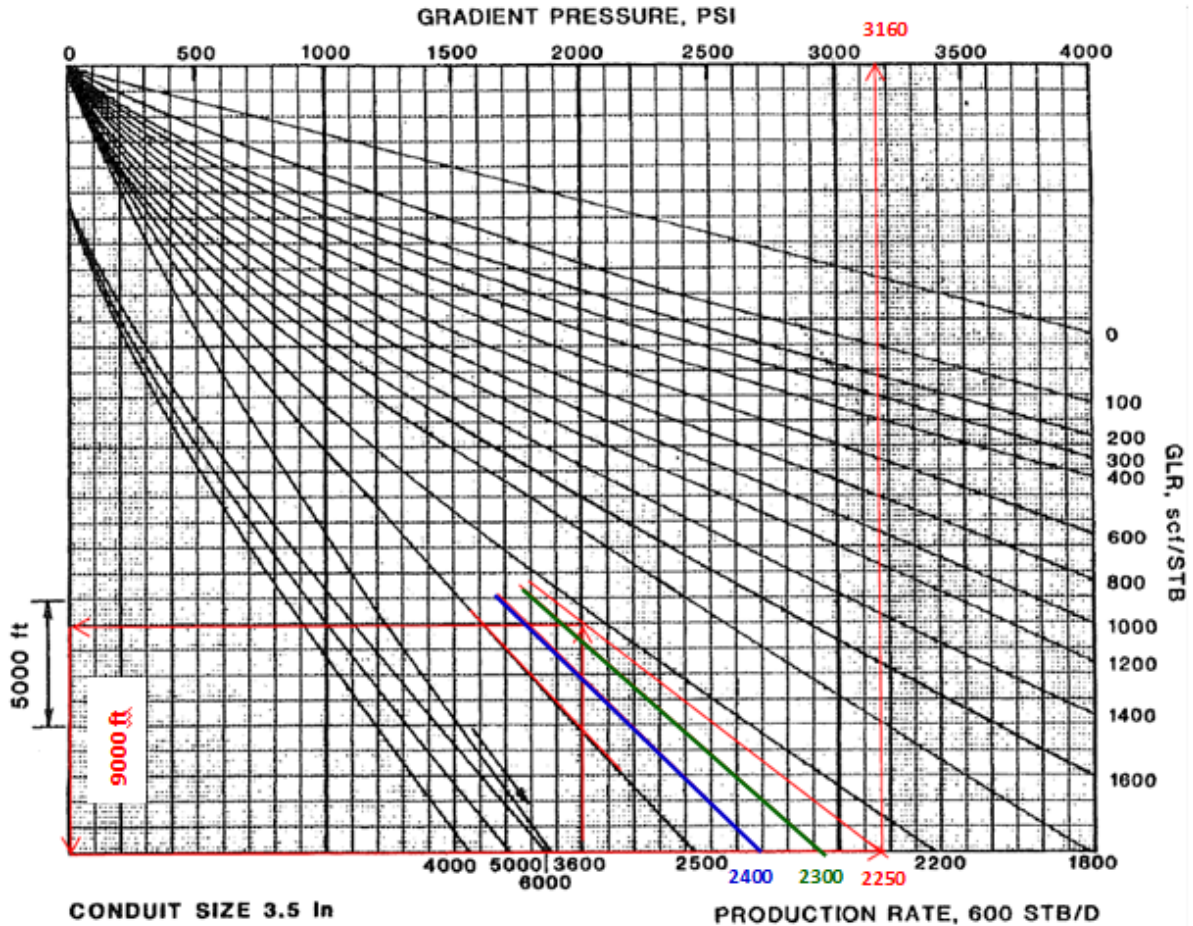




- n) I diagrammet ser vi at vi ligger svært nære kokepunktet. Vi kan produsere videre langs  $TPR_{p_{wh}=2000}$  kurven ned til minimumspunktet på TPR kurven.
- Her er det noen som foreslår gassløft for å komme videre. Dette går i prinsippet, men er ikke så vanlig (?). Dersom dere velger gassløft for å komme videre fra punkt 2 er effekten at TPR kurven senkes og en kan da kanskje produsere videre ved platåraten. Siden hastigheten ved platåraten er høy sammenlignet ved hastighet rundt TPR kurvens minimumspunkt, vil maksimalmengde gass som kan benyttes til løftet ved høy hastighet være mindre enn maksimal mengde gass som kan benyttes til løftet ved lavere hastighet på oljen. Totalhastigheten vil bestemme når effekt av økt friksjon og redusert hydrostatisk trykk vil balansere. Derfor kan det være en fordel å produsere mot et minimum på TPR kurven før gassløft settes inn. Dersom studenten velger gassløft fra punkt 2 og ned mot et punkt 3 på en TPR kurve som er forskjøvet mot lavere brønntrykk grunnet senket hydrostatisk trykk i fluidet, blir prosessen vanskeligere og mer krevende og forklare og derved kan det bli vanskeligere å oppnå 100 % score i dette delspørsmålet for de som lurer på karakteren de har fått.
- o) Neste grensebetingelse er minimumspunktet på TPR kurven. Dersom vi beveger oss videre vil nødvendig trykk for produksjon bli større enn tilgjengelig trykk for å opprettholde raten.
- p) Fra gradientkurvediagrammet i vedlegg 7 finner vi at brønntrykket ved  $q_o = 600$  og  $p_{wh} = 2000$  er  $p_{wf} = 3960$  psia. Fra brønntest ser vi at punktene ved  $q_o = 901$  og  $q_o = 969$  stb/d ligger ved 3913 og 3912 psia respektivt og antar at  $TPR_{p_{wh}=2000}$  kurven har minimum rundt  $q_o = 969$  stb/d. Vi antar derfor at vi kan produsere videre ned til dette punktet (punkt 3 i diagrammet) uten spesielle stimuleringstiltak. Fra  $TPR_{p_{wh}=2000}$  beregningene over finner vi at grensebetingelsen i produksjonsforløpet og ved «bunnen» av TPR kurven ligger ved  $q_o = 969$  stb/d og  $p_{wf} = 3912$  psia.
- q) Dersom en skal produsere videre må en
- anvende gassløft.
  - Gassløft vil senke tettheten på fluidet og redusere det hydrostatiske trykket,  $\Delta P_{PE}$ , fra fluidkolonnen slik at TPR kurven forskyves nedover mot lavere brønntrykk selv om brønnehodetrykket holdes konstant lik 2000 psia.
- r) Ved gassløft kan vi produsere videre et stykke inntil reduksjon av hydrostatisk trykk fra gassløft ( $\Delta P_{PE}$ ) balanserer økningen i friksjonstrykk ( $\Delta P_F$ ) grunnet økt total strømningsrate av fluid (gass + olje) gjennom systemet. Ved oljerate  $q_o = 600$  stb/d antyder gradientkurvediagrammet at en kan øke GOR gjennom gassløft til maksimalt 3600 scf/stb, men diagrammet går ikke langt nok ned langs dybdeaksen til å legge inn trykk ved både brønn og brønnehode.
- Dersom vi benytter gradientkurvediagrammet og legger bunn av brønnen ved bunnlinjen i diagrammet, finner vi at det er mulig å injisere litt mer enn 2250 scf/stb om vi skal basere oss på tilgjengelig informasjon fra diagrammet (se figur neste side). Ved denne gassinjeksjonsraten og ved minimumbrønnehodetrykk på 2000 psia, kan vi produsere ned til et brønntrykk på 3150 psia ved  $q_o = 600$  stb/d. Dette brønntrykket er 800 psi lavere enn trykk uten løft og ved GOR = 1200 scf/stb. Vi kan derfor med sikkerhet si at vi kan produsere ned mot en grenseverdi for brønntrykk noe lavere enn 3100 psia ( $p_{wf} = 3912 - 800 = 3112$  psia)

ved produksjonsrate  $q_o = 969$  stb/d som representerte minimum på TPR kurven.

- s) Punkt 4 i produksjonsforløpet er indikert ved skjæringspunktet mellom  $IPR_4$  kurven og  $TPR_{4,p_{wh}=2000}$  kurven i figuren.  $IPR_5$  kurven antyder kun at vi har litt mer å gå på enn det vi greier å beregne fra eksisterende hjelpemidler ved gassinjeksjonen og at vi kan produsere ned mot et brønntrykk lavere enn det punkt 4 antyder.



Gradientkurvedigrammet antyder en oppnålig GOR = ca. 2250 scf/stb om en opererer innenfor diagrammets grenser. Diagrammet indikerer imidlertid at en maksimal GOR = 3600 er mulig for gassløft ved en produksjonsrate på  $q_o = 600$  stb/d. Siden vårt minimum ligger ved en produksjonsrate på  $q_o = ca. 969$  stb/d vil sannsynligvis maksimal mulig GOR ligge noe lavere enn 3600 scf/stb. Maks GOR avtar med økende oljerate gjennom produksjonsrøret.

- t) Vi kan kun benytte ligningen:

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

for beregningernår reservoartrykket er lavere enn kokepunkttrykket,  $p_b$ .

# Løsningsforslag oppgave 3

a)

Gasshydrater dannes når:

-Nok vann er tilstede

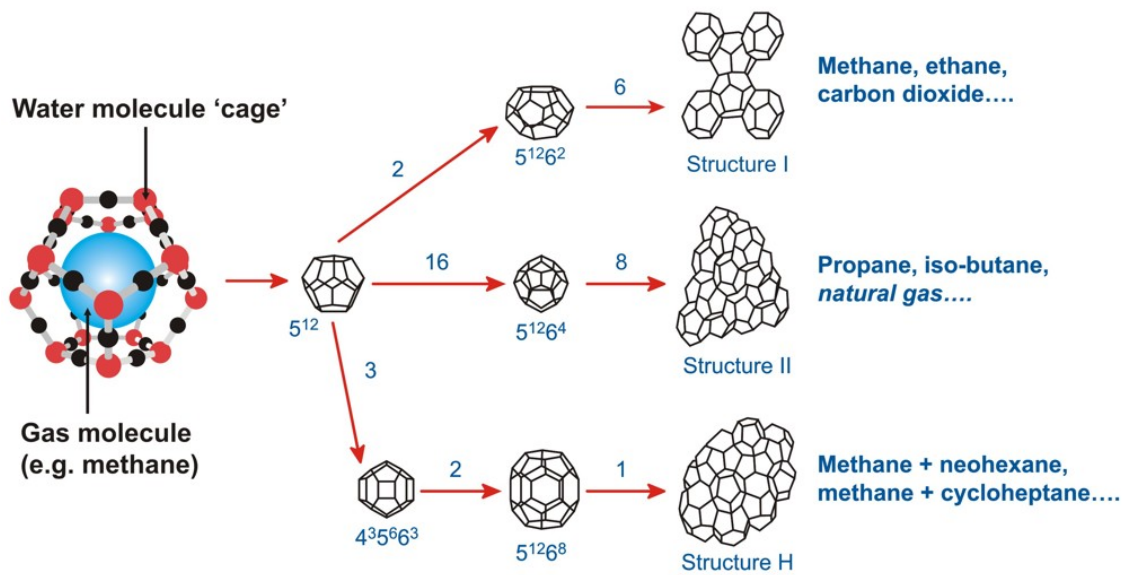
-En hydrat danner er tilstede (Eks: Metan, etan, propan, butan, isobutan, hydrogensulfid, karbondioksid ...)

-Lav temperatur

-Høyt trykk

-Tid, til å dannes og agglomerere

## Strukturer:



b) Bestem først  $\Delta T = 10^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C} = 10^{\circ}\text{C}$

Legg til 1 grad for ekstra sikkerhet :  $\Delta T = 10^{\circ}\text{C} + 1^{\circ}\text{C} = 11^{\circ}\text{C}$

i) Finner mengden metanol nødvendig :

$$W = \frac{100 M \Delta T}{K_H + M \Delta T} = \frac{100 \cdot 32,042 \text{g/mol} \cdot 11^{\circ}\text{C}}{1297 \text{g/mol} \cdot ^{\circ}\text{C} + 32,042 \text{g/mol} \cdot 11^{\circ}\text{C}} = 21,37 \text{wt}\%$$

$$\text{Vann} : \frac{146000 \text{m}^3/\text{år}}{365 \text{d}/\text{år}} = 400 \text{m}^3 \text{ pr dag} = 400\,000 \text{ kg pr dag}$$

$$21,37 \text{wt}\% \text{ tilsvarer} : 0,2137 = \frac{X}{400000 \text{kg/d ag} + X} \rightarrow X = 108711,7 \text{kg / dag}$$

Tettheten til metanol er  $790 \text{kg/m}^3$

$$\text{Mengde metanol} : \frac{108711,7 \text{kg / dag}}{790 \text{kg/m}^3} = \underline{\underline{137,61 \text{m}^3/\text{dag}}}$$

ii) Bestemmer så mengden MEG nødvendig :

$$W = \frac{100 M \Delta T}{K_H + M \Delta T} = \frac{100 \cdot 62,07 \text{g/mol} \cdot 11^{\circ}\text{C}}{1297 \text{g/mol} \cdot ^{\circ}\text{C} + 62,07 \text{g/mol} \cdot 11^{\circ}\text{C}} = 34,49 \text{wt}\%$$

$$34,49 \text{wt}\% \text{ tilsvarer} : 0,3449 = \frac{X}{400000 \text{kg/d ag} + X} \rightarrow X = 210593,58 \text{kg / dag}$$

Tettheten til MEG er  $1113 \text{kg/m}^3$

$$\text{Mengde MEG} : \frac{210593,58 \text{kg / dag}}{1113 \text{kg/m}^3} = \underline{\underline{189,21 \text{m}^3/\text{dag}}}$$

c) Hvor mye metanol trengs for å mette gassfasen?

Fra grafen under finner en : Metanol i gassfase =  $13 \frac{\text{kg}}{10^6 \text{Sm}^3 * \text{wt}\%}$

$$\text{Gass : } \frac{20,075 \cdot 10^9 \text{ Sm}^3/\text{år}}{365\text{d}/\text{år}} = 55 \cdot 10^6 \frac{\text{Sm}^3}{\text{dag}}$$

$$\text{Mengde - mette - gassfase} = 13 \frac{\text{kg}}{10^6 \text{Sm}^3 * \text{wt}\%} * 55 \cdot 10^6 \frac{\text{Sm}^3}{\text{dag}} * 21,37 \text{ wt}\%$$

$$= 15279,55 \text{kg/dag} \text{ som er } \frac{15279,55 \text{ kg/dag}}{790 \text{kg/m}^3} = 19,34 \text{ m}^3/\text{dag}$$

$$\text{Total mengde metanol : } 137,61 \text{m}^3/\text{dag} + 19,34 \text{m}^3/\text{dag} = \underline{\underline{156,95 \text{m}^3/\text{dag}}}$$

