

**EKSAMEN I: BIP 160 - Produksjon av olje og gass****TID FOR EKSAMEN:****15. FEBRUAR 2014****KL. 09:00 - 13:00****TILLATTE HJELPEMIDLER:****Ingen trykte eller håndskrevne hjelpemidler tillatt.  
Bestemt, enkel kalkulator tillatt.****OPPGAVESETTET BESTÅR AV:****3 OPPGAVER på side 2 - 8  
8 VEDLEGG på side i - viii.****INNLEDNING:**

Alle oppgaver skal besvares.

**Vektlegging av oppgavene ved bedømmelse:**

Oppgave 2 er omfattende, spenner over en større del av pensum enn de to andre og teller 55 % ved sensuren. Oppgave 1 teller 30 % mens oppgave 3 teller 15 % ved sensur.

**Likninger, tabeller og grafer:**

Likninger, tabeller og nødvendige grafer er samlet i vedlegg. Vær oppmerksom på at vedlegget kan omfatte flere likninger, tabeller og grafer enn de som nødvendigvis trengs for å løse oppgaven.

**NB:** *RÅD: Les godt gjennom oppgaveteksten før du begynner. Synes du noe virker uklart, så fortell hvordan du oppfatter / fortolker spørsmålsstillingen først i besvarelsen. Studenten anbefales ikke å stoppe opp og bruke mye tid på delspørsmål som ikke kan besvares umiddelbart. Planlegg tidsbruken slik at hver oppgave tildeles nødvendig tid!*  
**Merk at oppgavene har forskjellig vektning.**

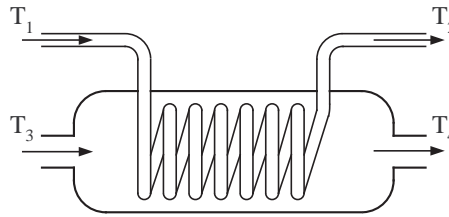
**Dersom du ikke behersker norsk 100 %:** Gjør oppmerksom på dette i begynnelsen av besvarelsen din.

**INNHOOLD:**

<b>OPPGAVE 1:</b> <i>Strømning og pumper,</i>	side 2.
<b>OPPGAVE 2:</b> <i>Brønnstimulering og strømning i brønn</i>	side 3 - 6.
<b>OPPGAVE 3:</b> <i>Produksjonsskjemi og inhibering</i>	side 7 - 8.
<hr/>	
<b>VEDLEGG 1:</b> <i>Diverse ligninger,</i>	side i - iii.
<b>VEDLEGG 2:</b> <i>Pumpekaraktistikk til oppgave 1 c I</i>	side iv.
<b>VEDLEGG 3:</b> <i>Spesielle enheter</i>	side v.
<b>VEDLEGG 4:</b> <i>Universell gasskonstant, R</i>	side vi.
<b>VEDLEGG 5:</b> <i>Omregningstabeller US ↔ SI</i>	side vi.
<b>VEDLEGG 6:</b> <i>Konstanter til choke beregninger</i>	side vi.
<b>VEDLEGG 7:</b> <i>Gradientkurvediagram D=3. 5" rør</i>	side vii.
<b>VEDLEGG 8:</b> <i>Rute-ark til plott av figur i oppgave 2</i>	side viii.

## Oppgave 1: Rørstrøm, separator og pumper

(Oppgave 1 teller med 30 % på total karakteren til eksamen. Tilpass tidsbruken etter dette.)



Figur 1: Shell-and-tube varmeveksler i medstrømsarrangement

a) I et prosessanlegg har man behov for å varme opp en gass-strøm, som kommer inn med  $T_1 = 15\text{ }^\circ\text{C}$ . Til rådighet har man en oljestrøm som holder  $T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}$ , og en enkel shell-and-tube type varmeveksler er montert inn i et medstrøms-arrangement som vist i Figur 1. Anta at ingen varme lekker ut til omgivelsene.

I: Hva er den teoretisk høyeste gasstemperaturen,  $T_{2,\max}$ , man kan oppnå (dvs. varmeveksleren var uendelig lang)?

II: Måling viser at utløpstemperatur for oljen,  $T_4 = 58.3\text{ }^\circ\text{C}$ . Hva er da  $T_2$ ?

Data for gass:

$m$	= 4	kg/s
$\rho$	= 57	kg/m <sup>3</sup>
$c_p$	= 2669	J/kg K

Data for olje:

$m$	= 100	kg/s
$\rho$	= 807	kg/m <sup>3</sup>
$c_p$	= 1975	J/kg K

b) En råolje skal pumpes fra en plattform over til en annen gjennom en totalt 2.5 km lang undersjøisk rørledning. Trykket før pumpen er det samme som ved mottakspunktet, men dette ligger 20 m høyere enn ved pumpen.

Anta samme tetthet for oljen som i a), dvs.  $807\text{ kg/m}^3$ .

Data for rørledning:

$L$	= 2.5 km	(Hele røret, inkl. risere, bend, etc.)
$D$	= 450 mm	(Indre diameter, konstant for hele røret)
$f_D$	= 0.019	(Darcy friksjonsfaktor)

I: Hva blir nødvendig trykkforskjell mellom utløpet av pumpen og mottakspunktet for en volumstrømsrate på  $q = 2000\text{ m}^3/\text{h}$ ?

II: Hva blir oppnåelig volumstrømsrate når pumpen gir en løftehøyde på  $H_p = 40\text{ m}$ ?

c) Den eksisterende pumpen har karakteristik som vist i Vedlegg (X).

I: Tegn inn systemkarakteristikken i diagrammet du finner i vedlegg 2 og finn (omtrentlig) driftspunkt ( $q$ ,  $H$ ) for uregulert strømning. **Diagrammet skal vedlegges besvarelsen.**

Teoretisk effektforbruk for en pumpe er gitt av

$$P = \rho g \dot{q} H$$

II: Hvor stort blir det teoretiske effektforbruket for eksisterende pumpe når strømmen er regulert inn til  $1150\text{ m}^3/\text{s}$  vha en reguleringsventil?

## Oppgave 2: Brønnstimulering og strømning fra reservoar til brønn

(Oppgave 2 teller med 55 % på total karakteren til eksamen. Tilpass tidsbruken etter dette.)

Et sandsteinsreservoar som ligger på dybde 9 000 ft produserer olje gjennom en vertikal brønn. Følgende reservoar-, brønn- og fluid-data er gitt:

- Reservoartrykk,  $p_e = 6800$  psia, oljens kokepunkt,  $p_b = 3900$  psia
- Høyde av produksjonssonen,  $h = 120$  ft, permeabilitet,  $k = 100$  mD, prørøstet  $\phi = 0.2$
- Brønnens radius,  $r_w = 5$  in, Dreneringsradius reservoar,  $r_e = 1000$  ft
- Viskositet olje,  $\mu_o = 1.5$  cp, volumfaktor olje,  $B_o = 1.7$ ,
- Relativ tetthet olje,  $\gamma_o = 0.81$ , GOR =  $R_s = 1200$  scf/stb
- Relativ tetthet for gassen,  $\gamma_g = 0.69$ , adiabat konstant,  $\kappa = 1.28$ .
- Produksjonsrøret har diameter 3. 5" (3. 5 tommer).

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. I vedlegg 1, sidene i, ii og iii er det oppgitt en del formler og uttrykk du kan ha bruk for til beregninger i oppgaven. Videre finner du i vedlegget et rute-ark til skissering av produksjonsforløp (vedlegg 8) samt diagram og tabeller med informasjon som kan være nyttig.

### Oppgavebeskrivelse:

Det kjøres en brønntest som viser følgende data:

$q_o$	$p_{wf, test}$	$p_{wh, test}$
STB/d	psia	psia
0	6800	
901	6042	4129
1702	5369	3374

Fra test data ser ut til at nærbrønnområdet er blitt skadet under boring og at brønntesten gir en høy skin faktor.

- Hva menes med skin faktor og hvilke forhold påvirker skin (nevnt minimum 3 forhold)?
- Beregn skin faktor ut fra reservoar data og data fra brønntesten over.

Skin faktor var så høy at en bestemmer seg for å rense opp med en syrevask før brønnen settes i produksjon.

- Beskriv kort hva slags syre-system du må benytte for denne brønnen og forklar kortfattet prosedyren for gjennomføring av syrevasken i dette tilfellet. Angi gjerne typiske konsentrasjoner av syre i prosedyren.

- d) Kan du behandle et kalksteinsreservoar på samme måten? Gi en begrunnelse gjennom et kortfattet svar.

En brønntest etter syrevasken viser:

$q_o$	$p_{wf, test}$	$p_{wh, test}$
<u>STB/d</u>	<u>psia</u>	<u>psia</u>
0	6800	
969	6450	4538
2493	5900	3725
4332	5236	2556
5096	4960	2013

Brønnen kan produseres så lenge brønnehodetrykket holdes over  $p_{wh, produksjon} = 2000$  psia.

- e) Hvilken verdi har skin faktor etter behandlingen?
- f) Hva blir økningen i brønnens strømnings effektivitet etter behandlingen (angi som % økning)?

Svar kortfattet på spørsmål g) t.o.m. l):

- g) Hvilken faktor / hvilke faktorer / forhold er bestemmende for minimum brønnehodetrykk?
- h) Hva menes med sonisk strømming?
- i) Hvor i systemet ønsker en sonisk strømming?
- j) Hvorfor ønskes sonisk strømming over denne delen av systemet?
- k) Hva menes med platå rate?
- l) Hvorfor produserer en ved platå rate og ikke maksimal rate for brønnen?

I det følgende får du en del spørsmål om mulige produksjonsforløp fra brønnen og reservoaret. Svar kortfattet og illustrer hele produksjonsforløpet det spørres etter gjennom spørsmålene m) til r) ved bruk av IPR og TPR kurver basert på reservoardata, gradientkurvediagram (om nødvendig) og reelle verdier fra brønntestene i de to tabellene over. **En illustrasjon av produksjonsforløpet fra m) til r) skal / må følge besvarelsen.** Du kan også anta at IPR kurven følger en noenlunde lineær sammenheng inntil du er kommet ca. 300 psi under kokepunkttrykket for oljen ved produksjonsrater,  $q_o$ , mindre enn ca. 1800 stb/d.

Tips: Det kan hende du må benytte både gradientkurvediagram og brønntest data for å finne eller anslå en eller flere av grensebetingelsene det spørres etter i det følgende. Grensebetingelsene skal angis ved ett sett samhørende x- og y-verdier / koordinater i skissen av produksjonsforløpet. Om du ikke greier å beregne verdiene det spørres etter er viktig at du i det minste illustrerer din forståelse av hele prosessen fra punkt m) til r) i diagrammet / figuren som skal vedlegges besvarelsen.

Vis alle grensebetingelsene det spørres om i delspørsmålene m) til r) i diagrammet du finner i vedlegg 8 og nummererer dem fortløpende med stigende nummer fra start mot slutt (eksamensvaktene har flere kopier av vedlegg 8 ved behov for et nytt). Dersom du må benytte gradientkurvedigram til noen beregninger skal dette vedlegges besvarelsen (eksamensvaktene har også flere kopier av gradientkurvedigrammet i vedlegg 7 ved behov for et nytt).

- m) Velg en rimelig platårate for produksjon fra brønnen fra start ved reservoartrykk lik 6800 psia (her stilles du fritt til å velge en rate du kan anta / begrunne som rimelig):
- Merk av startbetingelsen som et punkt nr. 1 på respektive IPR-kurve i diagrammet.
  - Forklar kort hvordan en produserer ved en platårate (hva må justeres under veis og hva bestemmer justeringen som foretas?) og skisser forløpet ved platårateproduksjon i diagrammet fra punkt 1 og frem mot den grensebetingelsen som det spørres etter i neste delspørsmål.
  - Hvilken grensebetingelse bestemmer hvor lenge en kan holde produksjonen i gang ved denne platåraten (dvs. hvilket kriterium bestemmer og hvilken grense betingelse er det snakk om)?
  - Tegn inn kurven som definerer grensebetingelsen og marker grensebetingelsen som neste punkt i diagrammet (punkt 2).
  - Ut fra de oppgitte reservoar og brønntest data: Anslå / beregn en tallverdi (dvs. y-verdi) for grensebetingelsen i punkt 2 ved valgte platårate (x-verdi).
- n) Hva kan du gjøre for å produsere videre når platåraten har nådd grensebetingelsen ved punkt 2? (Beskriv forløpet med få ord.)
- o) Hva er neste grensebetingelse for produksjon etter det kriteriet du har valgt under spørsmål n)? Marker denne grensebetingelsen som neste punkt (3) i diagrammet og tegn inn produksjonsforløpet mellom punkt 2 og 3.
- p) Ut fra oppgitte reservoar, brønntest data samt opplysninger i vedlegg: Kan du anslå / gi et estimat på tallverdiene til begge parameterne (dvs. samhørende x- og y- koordinater) som beskriver grensebetingelsen i punkt 3?
- q) Er det noe du kan gjøre for å produsere videre når du har nådd grensebetingelsen i punkt 3 og i tilfelle svaret er ja:
- Hva kan du gjøre?
  - Har dette noen effekt på TPR forløpet og i tilfelle hvilken?
- r) Dersom du fant at det var mulig å produsere videre fra grensebetingelsene i punkt 3, hvor lenge kan du rent teoretisk produsere videre nå (dvs. hva er neste grensebetingelse og hvilke forhold bestemmer / definerer denne grensen)?
- s) Kan du indikere / antyde hvor langt du kan komme mot det grensepunktet som etterspørres i spørsmål r) dersom du legger bunnen i brønnen på nivå med bunnlinjen i det vedlagte gradientkurvedigrammet? (Tips: Anslå en effekt av gassløft.) Marker den estimerte grensebetingelsen som neste punkt (4) i diagrammet fra vedlegg 8. Vis tydelig fremgangsmåte i gradientkurvedigrammet fra vedlegg 7 og legg dette ved besvarelsen om du benytter deg av det (eksamensvaktene har ekstra kopier av vedlegg 7 om du skulle trenge et nytt).
- t) Hvilken ligning må du benytte dersom du skal beregne IPR-kurver og IPR-forløp ved reservoartrykk lavere enn kokepunktet for oljen (oppgi formel og begrunn valget)?

## Oppgave 3: Produksjonskjemi og inhibering

(Oppgave 3 teller med 15 % på total karakteren til eksamen. Tilpass tidsbruken etter dette.)

- a) Forklar kort hvilke betingelser som må være til stede for at gasshydrater kan dannes og beskriv gasshydraters ulike strukturer.

Ett felt offshore produserer gass og kondensat. Havdypet i området varierer fra 700 til over 1000 meter og det store havdypet gir utfordringer for produksjonen. Produksjonsraten for gass er 20.075 milliarder standard kubikkmeter pr år og produksjonen av kondensat er 1.5 millioner kubikkmeter pr år. Produksjonen av vann er 0.146 millioner kubikkmeter pr år og alle fluidene transporteres i samme rørledning som en brønnstrøm. Du kan anta at tettheten av det produserte vannet er  $1000 \text{ kg/m}^3$ . Trykket i rørledningen er 6000 kPa og dannelsesstemperaturen for hydrat for fluidet er bestemt til  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  ved dette trykket.

I løpet av transporten gjennom rørledningen det forventet at gassen blir kjølt ned til  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ . På dette feltet kan en oppleve at sjøbunnstemperaturen er under frysepunktet ved dyp større enn 700 til 800 m. Operatøren ønsker derfor å inkludere en sikkerhetsfaktor på  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  i forventet underkjøling av gassen.

- b) Neglisjer først tap til gassfasen og regn ut:
- Mengden av metanol i kubikkmeter per dag og
  - mengden monoetyleneglykol i kubikkmeter per dag som må tilsettes vannfasen for å hindre hydrat dannelse.
- c) Estimer deretter mengden metanol som kreves for å mette gassen som er beskrevet i oppgave b. Deretter skal du regne ut total mengde metanol som må injiseres for å hindre at hydrat dannes.

Følgende data er gitt for metanol og monoetylen glykol (MEG):

$$M_{\text{Metanol}} = 32.042 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{Etylene glykol}} = 62.07 \text{ g/mol}$$

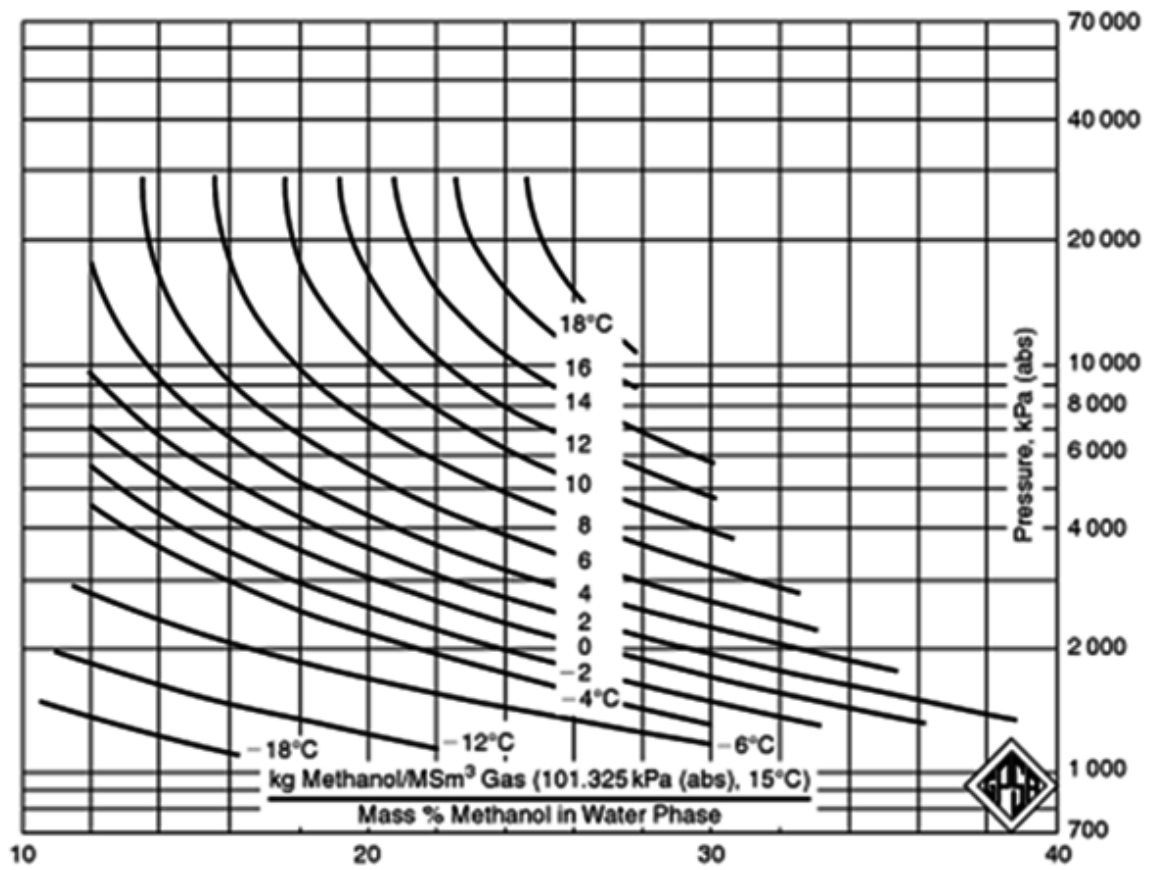
$$\text{Tetthet Metanol} = 790 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Tetthet Monoetylene glykol} = 1113 \text{ kg/m}^3$$

Hammerschmidts ligning:

$$\Delta T = \frac{K_H W}{M(100 - W)}$$

Der inhibitor konstanten  $K_H = 1297$  for både metanol og MEG.



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

## Vedlegg 1: Generelle likninger

På de tre neste sidene er det listet opp en del likninger relatert til innstrømming i brønn og produksjonseffektivitet. De fleste likningene er gitt på en form som benytter US feltenheter. Det forutsettes at betegnelser for størrelsene som inngår i likningene er kjent.

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

$$q_o = J \cdot (p_e - p_{wf})$$

$$\frac{q_{o,tillegg}}{q_{max,tillegg}} = 1 - 0.2 \left(\frac{p_{wf}}{p_b}\right) - 0.8 \left(\frac{p_{wf}}{p_b}\right)^2, \quad q_{max,tillegg} = \frac{Jp_b}{1.8}$$

$$q_o - q_{ob} = \frac{hk}{141.2\mu_o B_o} \cdot \frac{(p_e^2 - p_{wf}^2)}{\left(\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75 + s\right) \cdot 2p_b}, \quad p_e > p_b, p_{wf} < p_b$$

$$q_o = \frac{hk}{141.2\mu_o B_o} \cdot \frac{(p_e^2 - p_{wf}^2)}{\left(\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75 + s\right) \cdot 2p_b}, \quad p_e < p_b$$

$$q_o = \frac{0.703 \cdot hk}{T \cdot \mu_o \cdot Z} \cdot \frac{(p_b^2 - p_{wf}^2)}{\left(\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75 + s\right)}$$

$$q_o = C \cdot (p_b^2 - p_{wf}^2)^n$$

$$q_g = C \cdot (p_e^2 - p_{wf}^2)^n, \quad n = \frac{\log \frac{q_{g1}}{q_{g2}}}{\log \frac{p_e^2 - p_{wf1}^2}{p_e^2 - p_{wf2}^2}}$$

$$p_{wh} = \frac{CR^m q}{S^n} \quad \text{eller} \quad p_{wh} = \frac{C \cdot (GLR)^m \cdot q}{D_{64}^n}$$

$$\left(\frac{p_{ut}}{p_{inn}}\right)_c = \left(\frac{2}{\kappa + 1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}}$$



$$\Delta P = p_{wf} - p_{wh} = \rho \cdot g \cdot \Delta z + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \Delta u^2 + \frac{2 \cdot f_f \cdot \rho \cdot u^2 \cdot L}{D}$$

eller: 
$$\Delta P = \frac{g}{g_c} \cdot \rho \cdot \Delta z + \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho}{g_c} \cdot \Delta u^2 + \frac{2 \cdot f_f \cdot \rho \cdot u^2 \cdot L}{g_c \cdot D}$$

$$\Delta P_F \propto K \cdot \frac{q^2}{D^5}$$

$$N_{Re,o} = \frac{1.48 \cdot \rho \cdot q_o}{\mu \cdot D}$$

$$N_{Re,g} = \frac{20.09 \cdot \gamma_g \cdot q_g}{\mu \cdot D}$$

$$p_{inj,ann} = p_{surf} \cdot e^{0.01875 \cdot \gamma_g \cdot \frac{H_{inj}}{ZI}}$$

$$p_{inj,ann} = p_{surf} \cdot \left( 1 + \frac{H_{inj}}{40\,000} \right)$$

$$HHP = 2.23 \cdot 10^{-4} \cdot q_g \cdot \left[ \left( \frac{p_{surf}}{p_{in}} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right] [\text{hp}]$$

$$s = s_c + s_A + s_G + s_d + s_p + s_{dp} + s_a + s_b$$

$$s = \left( \frac{k}{k_s} - 1 \right) \cdot \ln \frac{r_s}{r_w}$$

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

$$E_f \approx \frac{7}{7+s}$$

$$\beta = \frac{v_{\text{mineral}} \cdot MW_{\text{mineral}}}{v_{\text{acid}} \cdot MW_{\text{acid}}}$$

$$\chi = \beta \cdot \frac{\rho_{\text{acid solution}}}{\rho_{\text{mineral}}}$$

$$\frac{p}{\rho} = zRT$$

$$m = Q \cdot \rho_{std} = q \cdot \rho$$

$$p_r = \frac{p}{p_c} \quad T_r = \frac{T}{T_c}$$

$$\gamma = \frac{M}{M_{luft}} \quad (M_{luft} = 29 \text{ g/mol})$$

$$R = \frac{R_0}{M} \quad [\text{J/g K}]$$

$$v_{max} = K \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_g}{\rho_g}} \quad [\text{ft/s}]$$

$$q_L = \frac{V_L}{\tau} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

$$w_s = p_1 v_1 \frac{k}{k-1} \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

$$Re_D = \frac{\rho u D}{\mu}$$

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

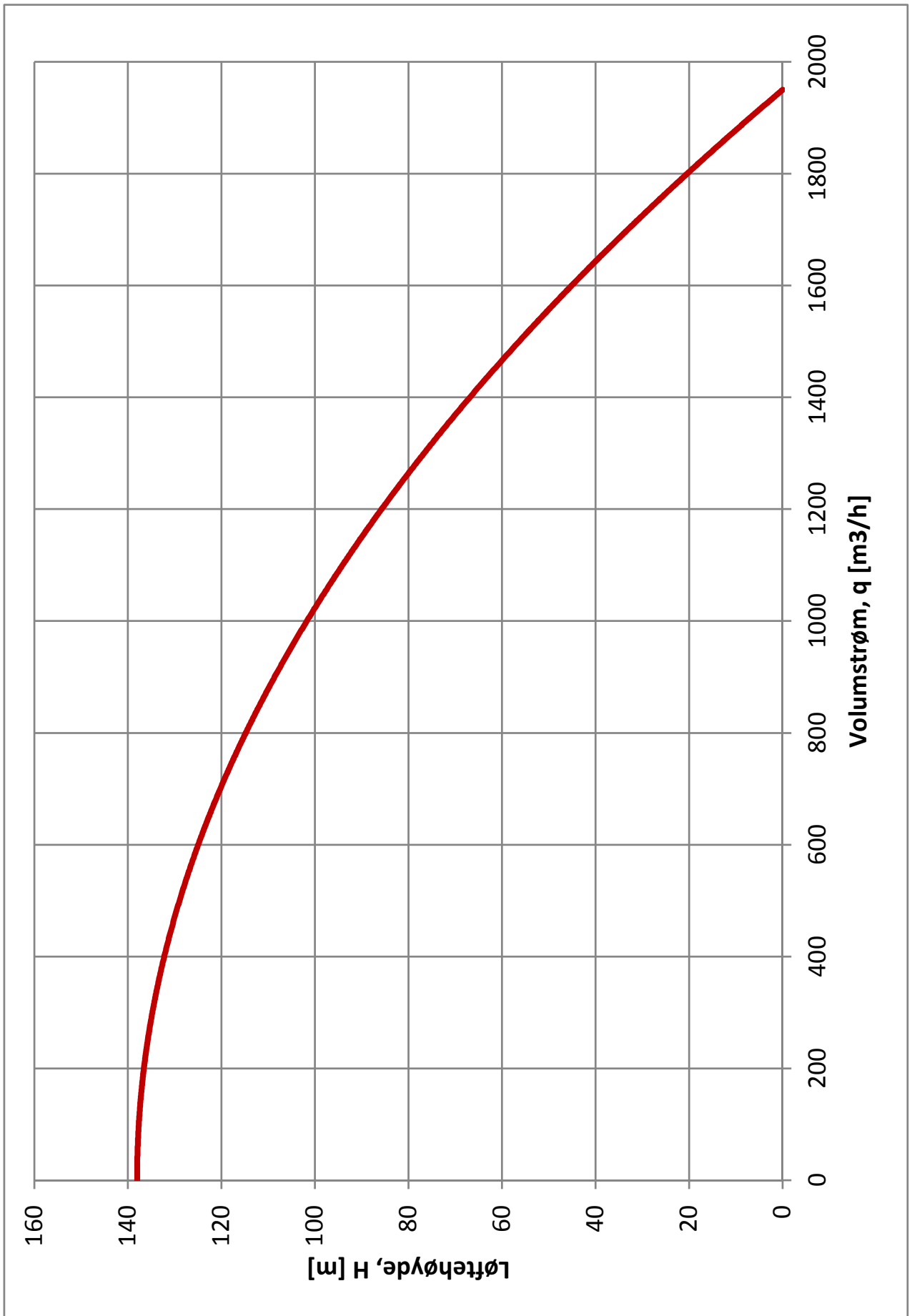
$$\Delta p_f = \frac{1}{2} \rho u^2 \cdot \Sigma K$$

$$\dot{Q} = \dot{m} C_p (T_o - T_i)$$

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot LMTD$$

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

## Vedlegg 2: Pumpekaraktistikk til oppgave 1 c) del I.



## Vedlegg 3: Spesielle enheter

### Special Units

#### API GRAVITY (OF OIL)

$$\gamma(\text{water} = 1) = \frac{141.5}{131.5 + ^\circ\text{API}}$$

#### API BARREL

$$1 \text{ API bbl} = 42 \text{ U.S. gallons} = 35 \text{ U. K. (Imperial) gallons}$$

$$= 5.61 \text{ ft}^3 = 0.159 \text{ m}^3 = 159 \text{ liters}$$

#### LIQUID FLOWRATE

$$1 \text{ bbl/D} = 1.84 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s} = 0.159 \text{ m}^3/\text{D}$$

#### GAS-OIL RATIO

$$1 \text{ scf/STB} = 0.178 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

The field units most frequently used are

- length: feet (ft)
- pressure:  $\text{lb}_f/\text{in.}^2$  (psi)
- volume: barrels (bbl) for liquid standard cubic feet (scf) for gas
- volumetric rate: stock tank barrels per day (STB/D) for oil, standard cubic feet per day (scf/D) for gas
- viscosity: centipoise (cp)
- permeability: millidarcy (md)
- time: hours or days, according to the application
- oil density: API gravity ( $^\circ\text{API}$ ), pounds per cubic foot ( $\text{lb}_m/\text{ft}^3$ )
- gas density: pounds per cubic foot ( $\text{lb}_m/\text{ft}^3$ )
- temperature: degrees Fahrenheit ( $^\circ\text{F}$ ), absolute temperature ( $^\circ\text{F} + 459.67$ ) degrees Rankine ( $^\circ\text{R}$ ).

Table C.1 Mechanical Quantities in SI Units

	Quantity	Dimension	Unit	Alias	Symbol
Secondary	Length	L	meter		m
	Time	T	second		s
	Mass	M	kilogram		kg
	Velocity	L/T	m/s		
	Acceleration	L/T <sup>2</sup>	m/s <sup>2</sup>		
Primary	Frequency	1/T	1/s	hertz	Hz
	Force	ML/T <sup>2</sup>	$\text{kg} \times \text{m}/\text{s}^2$	newton	N
	Pressure	M/T <sup>2</sup> L	$\text{kg}/(\text{s}^2 \times \text{m}) = \text{N}/\text{m}^2$	pascal	Pa
	Energy	ML <sup>2</sup> /T <sup>2</sup>	$\text{kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2 = \text{N} \times \text{m}$	joule	J
	Power	ML <sup>2</sup> /T <sup>3</sup>	$\text{kg} \times \text{m}^2/\text{s}^3 = \text{J}/\text{s}$	watt	W

Table C.2 Mechanical Quantities in English Engineering Units

	Quantity	Dimension	Unit	Alias	Symbol
Secondary	Length	L	foot		ft
	Time	T	second		s
	Mass	M	pound-mass		$\text{lb}_m$
	Force	F	pound-force		$\text{lb}_f$
	Velocity	L/T	ft/s		
Primary	Acceleration	L/T <sup>2</sup>	ft/s <sup>2</sup>		
	Frequency	1/T	1/s	hertz	Hz
	Pressure	F/L <sup>2</sup>	$\text{lb}_f/\text{ft}^2$		
	Energy	LF	$\text{ft} \times \text{lb}_f$		
	Power	LF/T	$\text{ft} \times \text{lb}_f/\text{s}$		

Table C.3 SPE Preferable Metric Units

Quantity	Symbol	SI	Preferred	Conversion
Flow rate	$q$	$\text{m}^3/\text{s}$	$\text{dm}^3/\text{s}$	$1 \text{ dm}^3/\text{s} = 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$
Permeability	$k$	$\text{m}^2$	$\mu\text{m}^2$	$1 \mu\text{m}^2 = 10^{-12} \text{ m}^2$
Pressure	$p$	Pa	kPa	$1 \text{ kPa} = 1000 \text{ Pa}$
Time	$t$	s	h	$1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$
Compressibility	$c$	1/Pa	1/kPa	$1/\text{kPa} = 0.001 \text{ 1/Pa}$

## Vedlegg 4: Universell gasskonstant, R

**Table A.2 Values of the universal gas constant**

$$\begin{aligned}
 R &= 8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} = 8.314 \text{ m}^3 \text{ Pa mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \\
 &= 83.14 \text{ cm}^3 \text{ bar mol}^{-1} \text{ K}^{-1} = 8,314 \text{ cm}^3 \text{ kPa mol}^{-1} \text{ K}^{-1} = 82.06 \text{ cm}^3(\text{atm})\text{mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \\
 &= 62,356 \text{ cm}^3(\text{torr})\text{mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \\
 &= 1.987(\text{cal})\text{mol}^{-1} \text{ K}^{-1} = 1.986(\text{Btu})(\text{lb mol})^{-1}(\text{R})^{-1} \\
 &= 0.7302(\text{ft})^3(\text{atm})(\text{lb mol})^{-1}(\text{R})^{-1} = 10.73(\text{ft})^3(\text{psia})(\text{lb mol})^{-1}(\text{R})^{-1} \\
 &= 1,545(\text{ft})(\text{lb}_f)(\text{lb mol})^{-1}(\text{R})^{-1}
 \end{aligned}$$

## Vedlegg 5: Omregningstabeller US ↔ SI

282 APPENDICES

### Appendix A: Unit Conversion Factors

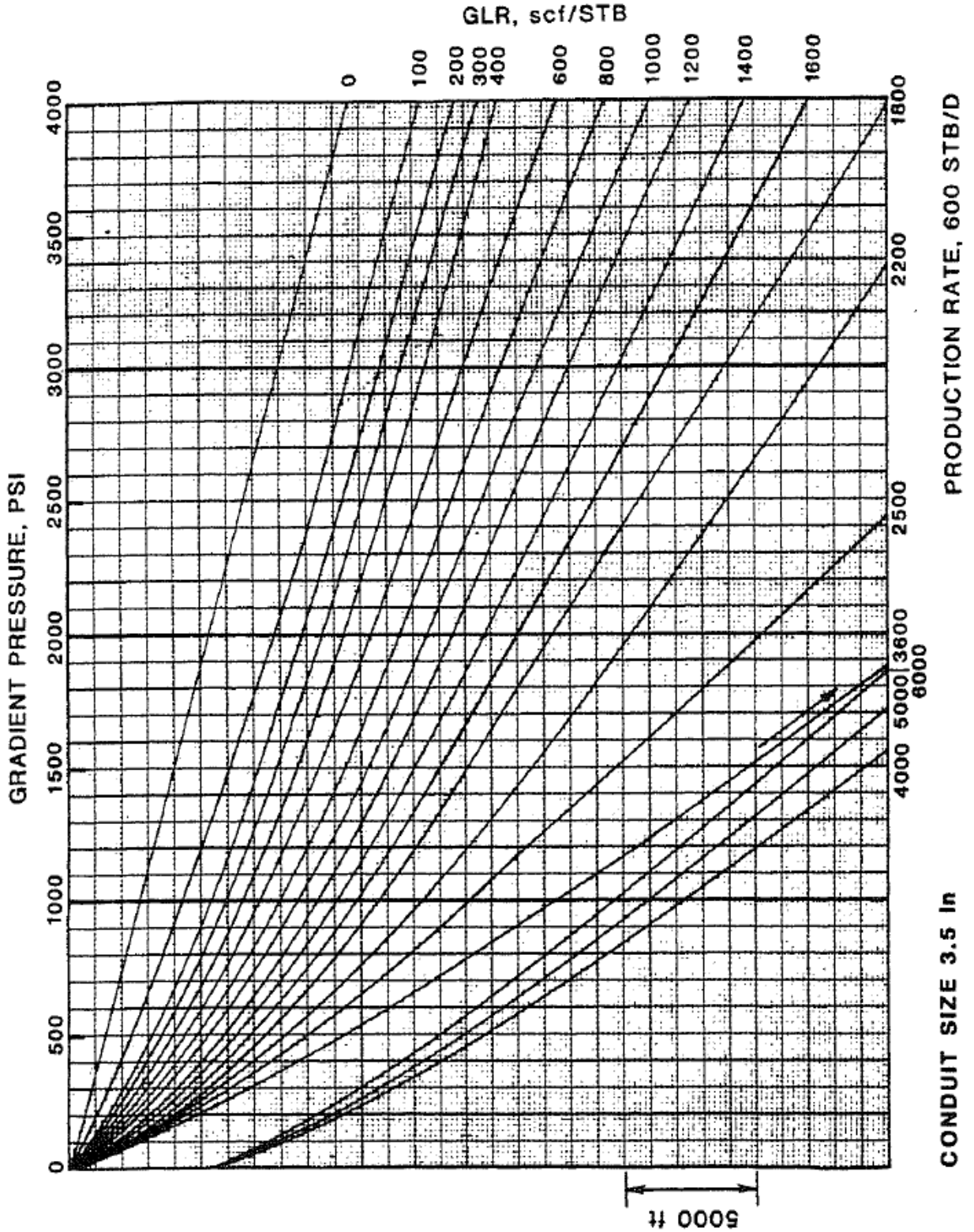
Quantity	U.S. Field unit	To SI unit	To U.S. Field unit	SI unit
Length ( <i>L</i> )	feet (ft)	<del>0.3048</del> 0.3048	3.2808	meter (m)
	mile (mi)	1.609	0.6214	kilometer (km)
	inch (in.)	25.4	0.03937	millimeter (mm)
Mass ( <i>M</i> )	ounce (oz)	28.3495	0.03527	gram (g)
	pound (lb)	0.4536	2.205	kilogram (kg)
	lbm	0.0311	32.17	slug
	gallon (gal)	0.003785	264.172	meter <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> )
Volume ( <i>V</i> )	cu. ft. (ft <sup>3</sup> )	0.028317	35.3147	meter <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> )
	barrel (bbl)	0.15899	6.2898	meter <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> )
	Mcf (1,000 ft <sup>3</sup> , 60 °F, 14.7 psia)	28.317	0.0353	Nm <sup>3</sup> (15 °C, 101.325 kPa)
	sq. ft (ft <sup>2</sup> )	$9.29 \times 10^{-2}$	10.764	meter <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )
Area ( <i>A</i> )	acre	$4.0469 \times 10^3$	$2.471 \times 10^{-4}$	meter <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )
	sq. mile	2.59	0.386	(km) <sup>2</sup>
	Pressure ( <i>P</i> )	lb/in. <sup>2</sup> (psi)	6.8948	0.145
psi		0.0680	14.696	atm
psi/ft		22.62	0.0442	kPa/m
inch Hg		$3.3864 \times 10^3$	$0.2953 \times 10^{-3}$	Pa
Temperature ( <i>t</i> )	F	$0.5556(F-32)$	$1.8C+32$	C
	Rankine (°R)	0.5556	1.8	Kelvin (K)
Energy/work ( <i>w</i> )	Btu	252.16	$3.966 \times 10^{-3}$	cal
	Btu	1.0551	0.9478	kilojoule (kJ)
	ft-lbf	1.3558	0.73766	joule (J)
	hp-hr	0.7457	1.341	kW-hr
Viscosity ( <i>μ</i> )	cp	0.001	1,000	Pa·s
	lb/ft-sec	1.4882	0.672	kg/(m·sec) or (Pa·s)
	lbf-s/ft <sup>2</sup>	479	0.0021	dyne-s/cm <sup>2</sup> (poise)
Thermal conductivity ( <i>k</i> )	Btu-ft/hr-ft <sup>2</sup> -F	1.7307	0.578	W/(m·K)
Specific heat ( <i>C<sub>p</sub></i> )	Btu/(lbm·°F)	1	1	cal/(g·°C)
	Btu/(lbm·°F)	$4.184 \times 10^3$	$2.39 \times 10^{-4}$	J/(kg·K)
Density ( <i>P</i> )	lbm/ft <sup>3</sup>	16.02	0.0624	kg/m <sup>3</sup>
Permeability ( <i>k</i> )	md	0.9862	1.0133	mD (= 10 <sup>-15</sup> m <sup>2</sup> )
	md (= 10 <sup>-3</sup> darcy)	$9.8692 \times 10^{-16}$	$1.0133 \times 10^{15}$	m <sup>2</sup>

Temperatur:  $K = 273.15 + ^\circ C$ ,  $R = 459.67 + ^\circ F$  ( $\approx 460 + ^\circ F$ )

## Vedlegg 6: Konstanter til choke beregninger

Correlation	<i>C</i>	<i>m</i>	<i>n</i>
Gilbert	10	0.546	1.89
Ros	17.4	0.5	2
Baxendell	9.56	0.546	1.93

### Vedlegg 7: Gradientkurvediagram 3.5" produksjonsrør



Vedlegg 8: Trykk vs. flow diagram til figurplot oppgave 2

