



EKSAMEN I: BIP 160 - Produksjon av olje og gass

TID FOR EKSAMEN:	29. NOVEMBER 2013
	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 - 6 7 VEDLEGG på side i - vii.

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 50 % ved sensuren. Oppgave 1 teller 30 % mens oppgave 3 teller 20 % ved sensur.

Likninger, tabeller og grafer:

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

NB: *RÅD: Les raskt gjennom alle oppgavene før du begynner, og finn ut hva som må avklares med spørsmål til faglærerne. 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.

INNHOLD:

OPPGAVE 1: <i>Strømning og pumper,</i>	side 2 - 3.
OPPGAVE 2: <i>Brønnstimulering og strømning i brønn</i>	side 4 - 5.
OPPGAVE 3: <i>Produksjonskjemi og inhibering</i>	side 6.
VEDLEGG 1: Likninger,	side i - iii.
VEDLEGG 2: Spesielle enheter	side iv.
VEDLEGG 3: Universell gasskonstant, R	side v.
VEDLEGG 4: Omregningstabeller US ↔ SI	side v.
VEDLEGG 5: Konstanter til choke beregninger	side v.
VEDLEGG 6: Gradientkurvedigram D=2.875" rør	side vi.
VEDLEGG 7: Trykk versus flow diagram til figurplot	side vii.

Oppgave 1: Rørstrøm, separator og pumper

(Oppgave 1 teller med 30 % på total karakteren ved bedømmelse og sensur. Tilpass tidsbruken etter dette.)

a) En oljestrøm med massestrømsrate $m = 4 \text{ kg/s}$ holder $75 \text{ }^\circ\text{C}$, og skal kjøles ned til $30 \text{ }^\circ\text{C}$ i en varmeveksler, hvor oljen går i motstrøm med kjølevannet. Det benyttes en kjølekrets med vann ved $15 \text{ }^\circ\text{C}$ som kjølemedium. Høyeste tillatte temperatur på returvannet er $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

I: Hvor mye vann må minimalt sirkulere gjennom varmeveksleren?

II: Hvor stort må varmevekslerarealet være, når totalt varmeovergangstall, $U = 200 \text{ W/m}^2 \text{ K}$?

Data for kjølevann: $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$
 $C_p = 4200 \text{ J/kg K}$

Data for olje: $\rho = 807 \text{ kg/m}^3$
 $C_p = 1975 \text{ J/kg K}$

b) Kjølevannet går i en lukket sløyfe med pumpe-sirkulasjon. Rørdiameter $D = 65 \text{ mm}$ i hele systemet.

I: Hvis man ser på rørsystemet separat (uten pumpe); hva blir verdien av hastighets- og høydeleddet i den mekaniske energiligningen? (begrunn svaret)

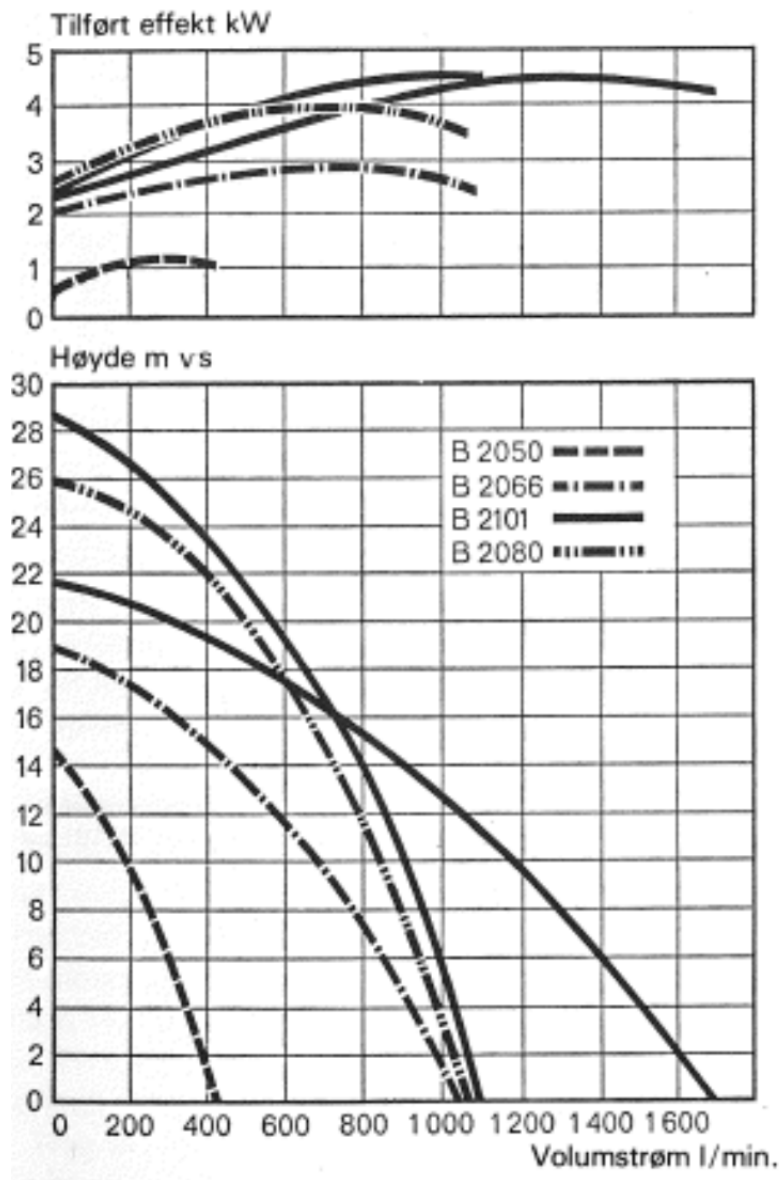
Total, effektiv rørlengde i kretsen, $L = 75 \text{ m}$, Darcy friksjonsfaktoren, $f_D = 0.015$.

II: Hva blir totalt trykkfall over kjølekretsen, når strømningsmotstand over varmevekslerne tilsammen tilsvarer $\Sigma K = 7$? (Bruk strømningsraten du beregnet i punkt a I; dersom du mangler tallsvar, anta $q = 500 \text{ l/min}$).

c) Under prosjekteringen av anlegget får du i oppdrag å velge pumpe. Leverandøren har lagt ved pumpekaraktistikkene vist i Figur 1.

I: Finn en pumpe som klarer jobben med god margin, uten å kreve større effekt enn nødvendig. (Pumpen bør være i stand til å levere 20 % større strømningsrate enn for designtilfellet i b)

II: Hvilket effektforbruk får pumpen for den designede strømningsraten, forutsatt at den reguleres inn vha. en ventil (dvs. at driftspunktet blir liggende på eksisterende pumpekaraktistikk)?



Figur 1: Pumpekarakteristikk med effektkurver fra pumpeleverandør (B2101 leveres i 2 forskjellige utførelser). Samtlige kurver gjelder ved samme turtall, $n = 2900$ rpm.

Oppgave 2: Brønnstimulering og strømning fra reservoar til brønn

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

Et sandsteinsreservoar som ligger på dybde 8 000 ft produserer olje gjennom en vertikal brønn. Følgende reservoar-, brønn- og fluid-data er gitt:

- Reservoartrykk, $p_e = 6000$ psia, oljens kokepunkt, $p_b = 3800$ psia
- Høyde av produksjonssonen, $h = 80$ ft, permeabilitet, $k = 90$ mD, prørøstet $\phi = 0.2$
- Brønnens radius, $r_w = 4.5$ in, Dreneringsradius reservoar, $r_e = 1000$ ft
- Viskositet olje, $\mu_o = 1.5$ cp, volumfaktor olje, $B_o = 1.5$,
- Relativ tetthet olje, $\gamma_o = 0.78$, GOR = $R_s = 1000$ scf/stb
- Relativ tetthet for gassen, $\gamma_g = 0.71$, adiabat konstant, $\kappa = 1.25$.
- Produksjonsrøret har diameter 2.875" (2.875 tommer).

En brønntest har gitt følgende resultat:

q_o STB/d	$p_{wf, test}$ psia	$p_{wh, test}$ psia
0	6000	
400	5556	3820
600	5334	3616
1150	4725	2960
1442	4400	2590
1934	3855	1951

Brønnen kan produseres så lenge brønnehodetrykket holdes over $p_{wh, produksjon} = 1900$ psia.

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.

- Beregn brønnens produksjonsindeks.
- Beregn deretter skin faktor for brønnen.
- Forklar deretter kort hva du forstår med skin og nevnt et par andre årsaker til skin enn den årsaken som er nevnt etter spørsmål e) i det følgende.
- Hva er typisk utstrekning for skinsone rundt brønnen?
- Hva er strømningseffektiviteten for brønnen vi har testet?

Skin faktor synes høy, strømnings effektiviteten lav og det kan se ut til at boreslam og knust formasjon har trengt ut i porene rundt nærbrønnområdet under boring og komplettering. En bestemmer seg for å rense opp med en syrevask.

- f) Beskriv kort hva slags syre system du må benytte for denne brønnen og forklar kortfattet prosedyren for gjennomføring av syrevasken i dette tilfellet.
- g) Etter syrevask testes brønnen på nytt og en finner at skin faktor har sunket til 3. Hva er brønnens strømnings effektivitet etter behandlingen?

En brønntest etter syrevasken viser:

q_o STB/d	$p_{wf, test}$ psia	$p_{wh, test}$ psia
0	6000	
1500	5329	3509
2571	4850	2803
3130	4600	2418

Brønnens leveringsevne og kriteriene for stabil produksjon kan beskrives via IPR og TPR kurver.

- h) Hva er brønnens produksjonsindeks etter syre-behandlingen?
- i) Skisser brønnens IPR kurver før (IPR_0) og etter syre behandling (IPR_1) og tegn inn TPR kurve for brønnehodetrykk, p_{wh} , lik 1900 psia ($TPR_{p_{wh}=1900}$) i samme diagram (benytt diagram i vedlegg 7 til denne figuren).

En bestemmer seg for å produsere ved en platårate på $q_o = 1250$ stb/d.

- j) Skisser produksjonsforløpet ved platåratene i diagrammet fra spørsmål i). Hva er trykket i brønnen ved platåratene og i det brønnehodetrykk er kommet ned på TPR-kurven for minimum brønntrykk ved 1900 psia? (Tips: Du kan anta at IPR-kurven er tilnærmet lineær i området rundt platåratene, selv ved brønntrykk 200 - 300 psi under oljens kokepunkt så lenge reservoartrykket ligger på eller over kokepunktet.)
- k) Hva er trykket nedstrøms choken (dvs. ved utløpet) om du skal oppnå sonisk strømming over choken ved dette brønnehodetrykket? Hvorfor er sonisk strømming ønskelig?
- l) En av produksjons-ratene fra de to brønntestene representerer et minimum på TPR kurven. Hva er produksjonsraten i dette minimumspunktet?
- m) Ved hvilken choke diameter oppnås sonisk strømming om du benytter konstanter fra studier av Ros ved produksjonsraten fra spørsmål l)? Hva menes med betegnelsen D_{64} for choke diameter?
- n) Hvor langt ned i brønntrykk kan du komme om du benytter deg av gassløft med injeksjon i bunn av brønn ved maksimal GOR, og mot et brønnehodetrykk på 1900 psia?
- o) Hva er gassinjeksjonsraten i dette punktet?
- p) Gassen som injiseres tas ut ved separator 1 på prosessenheten og denne separatoren opererer ved et trykk på 950 psia.
 - i. Er dette trykket forenelig med trykket nedstrøms choken fra spørsmål k)? Begrunn svaret.
 - ii. Over kompressoren må trykket økes til 2700 psia (p_{surf}). Hva blir effektbehovet til komprimering av den gassen som passerer gjennom separator 1?

Oppgave 3: Produksjonskemi og inhibering

(Oppgave 3 teller med 20 % på total karakteren til eksamen. Tilpass tidsbruken etter dette.)

- 1) Beskriv kort hvilken miljøklassifisering produksjonskjemikalier som benyttes på norsk sokkel deles inn i, og hva som skiller klassifiseringene.
- 2) Naturgass skal transporteres fra en brønn til prosessanlegget gjennom en nedgravd rørledning. Produksjonsraten er $80 \times 10^3 \text{ m}^3(\text{std})/\text{d}$. Produksjonen inkluderer også $0.2 \text{ m}^3(\text{std})/\text{d}$ med vann som transporteres i samme rørledning. Gassen entrer rørledningen med en temperatur på $55 \text{ }^\circ\text{C}$ og med et trykk på 5000 kPa . Dannelses temperaturen for hydrat er bestemt til $21 \text{ }^\circ\text{C}$ ved 5000 kPa . I løpet av transporten gjennom rørledningen det forventet at gassen blir kjølt ned til $8 \text{ }^\circ\text{C}$. Operatøren ønsker å inkludere en sikkerhetsfaktor på $2 \text{ }^\circ\text{C}$ i forventet underkjøling av gassen. Regn ut mengden inhibitor som må tilsettes vannfasen for å hindre hydrat dannelse i liter per dag for system der du bruker:
 - i) metanol som inhibitor (molekylvekt: 32.042 g/mol , tetthet: 790 kg/m^3).
 - ii) monoetyleneglykol (MEG) som inhibitor (molekylvekt: 62.07 g/mol , tetthet: 1113 kg/m^3).
- 3) Estimer mengden metanol som kreves for å mette gassen som er beskrevet i spørsmål 2. Regn deretter ut pumperaten i liter/time av total mengde metanol som må injiseres for å hindre hydrat dannelse.

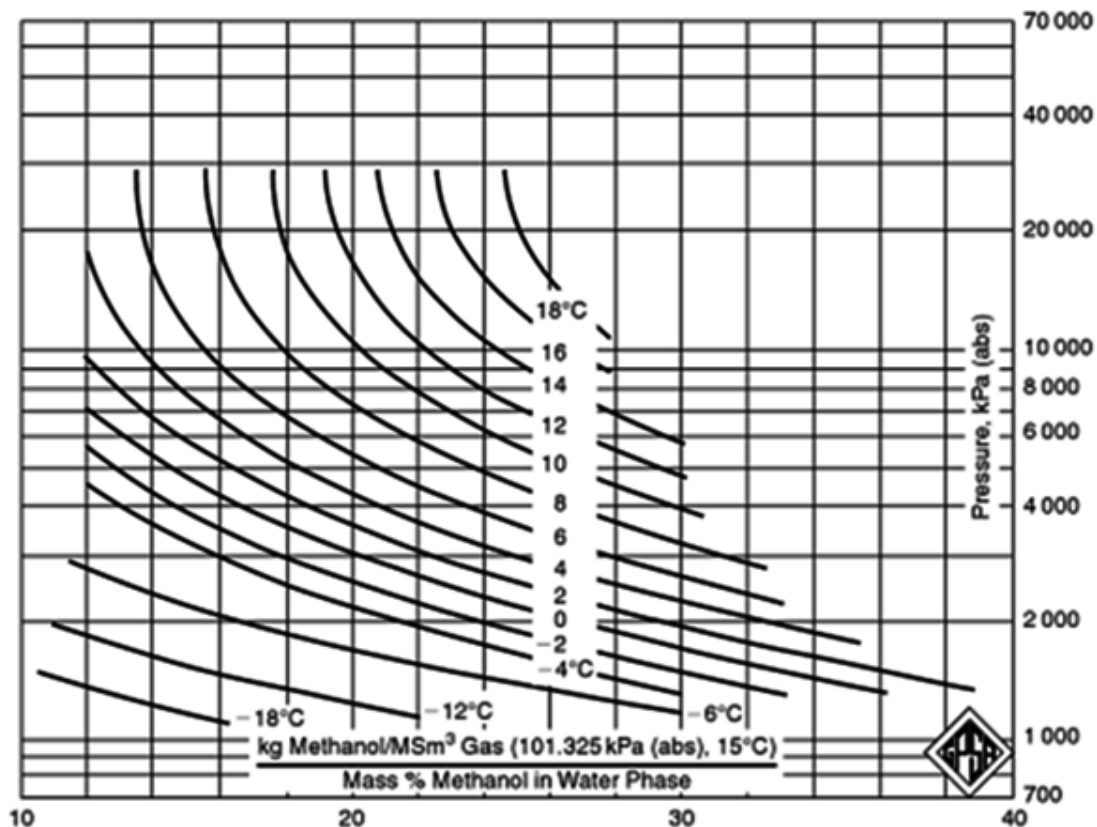


Fig.: Forholdet mellom metanoldamp og metanol i vandig væske som funksjon av trykk og temperatur i SI-enheter.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Vedlegg 2: 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: lb_f/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 (^oAPI), pounds per cubic foot (lb_m/ft³)
- gas density: pounds per cubic foot (lb_m/ft³)
- temperature: degrees Fahrenheit (^oF), absolute temperature (^oF + 459.67) degrees Rankine (^oR).

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 ²	m/s ²		
Primary	Frequency	1/T	1/s	hertz	Hz
	Force	ML/T ²	kg × m/s ²	newton	N
	Pressure	M/T ² L	kg/(s ² × m) = N/m ²	pascal	Pa
	Energy	ML ² /T ²	kg × m ² /s ² = N × m	joule	J
	Power	ML ² /T ³	kg × m ² /s ³ = J/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		lbm
	Force	F	pound-force		lbf
	Velocity	L/T	ft/s		
Primary	Acceleration	L/T ²	ft/s ²		
	Frequency	1/T	1/s	hertz	Hz
	Pressure	F/L ²	lb _f /ft ²		
	Energy	LF	ft × lb _f		
	Power	LF/T	ft × lb _f /s		

Table C.3 SPE Preferable Metric Units

Quantity	Symbol	SI	Preferred	Conversion
Flow rate	<i>q</i>	m ³ /s	dm ³ /s	1 dm ³ /s = 10 ³ m ³ /s
Permeability	<i>k</i>	m ²	μm ²	1 μm ² = 10 ⁻¹² m ²
Pressure	<i>p</i>	Pa	kPa	1 kPa = 1000 Pa
Time	<i>t</i>	s	h	1 h = 3600 s
Compressibility	<i>c</i>	1/Pa	1/kPa	1/kPa = 0.001 1/Pa

Vedlegg 3: 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 4: Omregningstabeller US ↔ SI

282 APPENDICES

Appendix A: Unit Conversion Factors

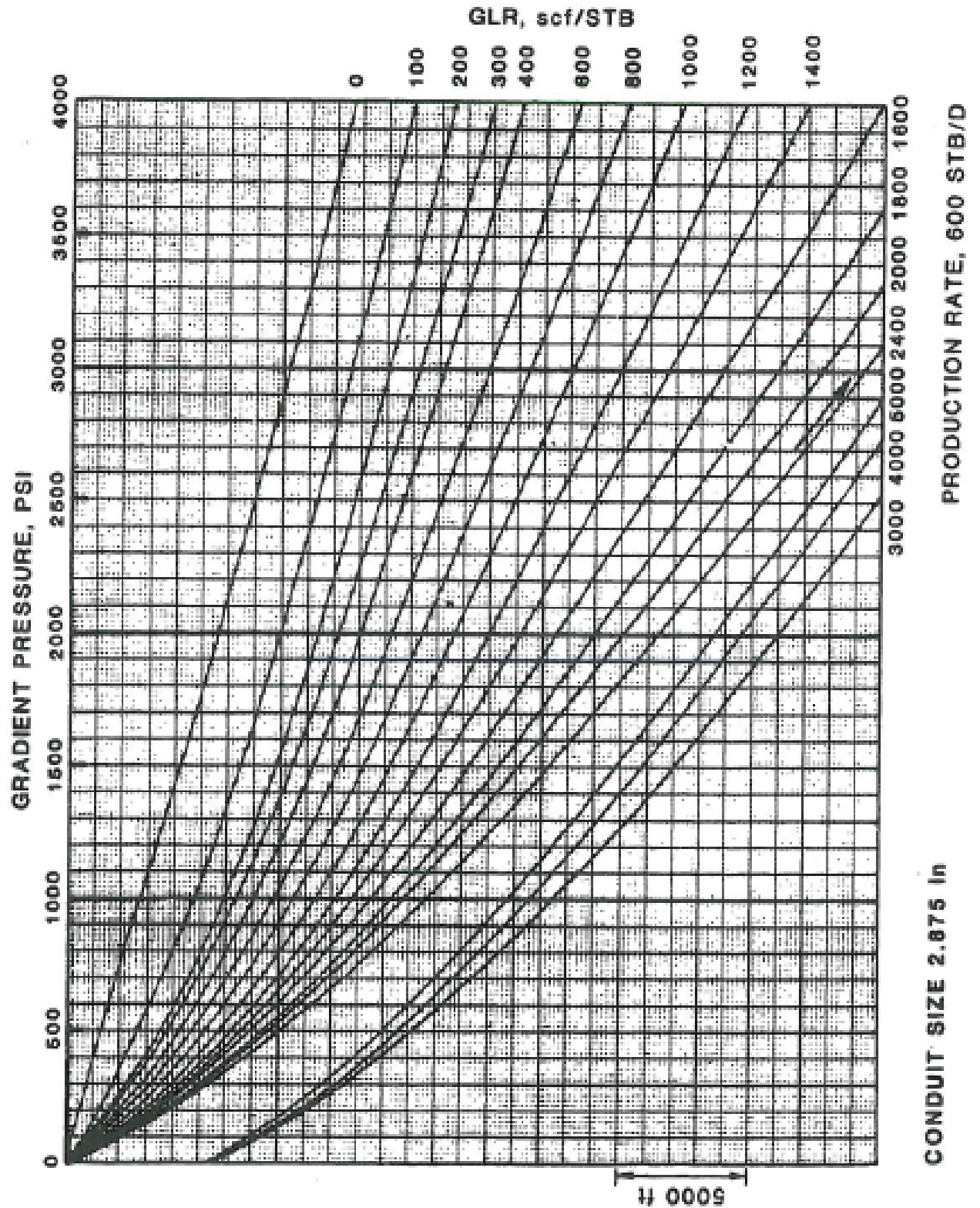
Quantity	U.S. Field unit	To SI unit	To U.S. Field unit	SI unit
Length (<i>L</i>)	feet (ft)	0.3048 0.3048	3.2808	meter (m)
	mile (mi)	1.609	0.6214	kilometer (km)
	inch (in.)	25.4	0.03937	millimeter (mm)
Mass (<i>M</i>)	ounce (oz)	28.3495	0.03527	gram (g)
	pound (lb)	0.4536	2.205	kilogram (kg)
	lbm	0.0311	32.17	slug
	gallon (gal)	0.003785	264.172	meter ³ (m ³)
Volume (<i>V</i>)	cu. ft. (ft ³)	0.028317	35.3147	meter ³ (m ³)
	barrel (bbl)	0.15899	6.2898	meter ³ (m ³)
	Mcf (1,000 ft ³ , 60 °F, 14.7 psia)	28.317	0.0353	Nm ³ (15 °C, 101.325 kPa)
	sq. ft (ft ²)	9.29×10^{-2}	10.764	meter ² (m ²)
Area (<i>A</i>)	acre	4.0469×10^3	2.471×10^{-4}	meter ² (m ²)
	sq. mile	2.59	0.386	(km) ²
	Pressure (<i>P</i>)	lb/in. ² (psi)	6.8948	0.145
psi		0.0680	14.696	atm
psi/ft		22.62	0.0442	kPa/m
inch Hg		3.3864×10^3	0.2953×10^{-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	3.966×10^{-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 ²	479	0.0021	dyne-s/cm ² (poise)
Thermal conductivity (<i>k</i>)	Btu-ft/hr-ft ² -F	1.7307	0.578	W/(m·K)
Specific heat (<i>C_p</i>)	Btu/(lbm·°F)	1	1	cal/(g·°C)
	Btu/(lbm·°F)	4.184×10^3	2.39×10^{-4}	J/(kg·K)
Density (<i>P</i>)	lbm/ft ³	16.02	0.0624	kg/m ³
Permeability (<i>k</i>)	md	0.9862	1.0133	mD (= 10 ⁻¹⁵ m ²)
	md (= 10 ⁻³ darcy)	9.8692×10^{-16}	1.0133×10^{15}	m ²

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

Vedlegg 5: 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 6: Gradientkurvediagram 2.875" produksjonsrør



Vedlegg 7: Trykk vs. flow diagram til figurplot oppgave 2

