



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK – NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

EKSAMEN I: **PET200 Produksjon av Olje og Gass**

DATO: **17.02.2015**

VARIGHET: **4 timer**

TILLATTE HJELPEMIDDEL: **Godkjent kalkulator.**

OPPGAVESETTET BESTÅR AV: **4 oppgaver.**

Opgavene har ulik vektning ved karakterbedømmelsen. Sum vektfaktor for alle oppgavene er 4. Oppgave med vektfaktor 1 teller da inn med $1 / 4 * 100 = 25 \%$ på total karakteren.

OPPGAVE 1: <i>Strømning og pumper,</i>	(Vektfaktor 1)	side 2-3.
OPPGAVE 2: <i>Strømning i brønn</i>	(Vektfaktor 0.5)	side 4.
OPPGAVE 3: <i>Gassløft</i>	(Vektfaktor 1.8)	side 5-7.
OPPGAVE 4: <i>Brønnstimulering</i>	(Vektfaktor 0.7)	side 8.

Sum vektfaktor = 4

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: Vanninnhold i naturgass som funksjon av P og T	side vi.

MERKNADER: **Eksamensoppgavene har forskjellig vektning ved bedømmelse og karakterfastsettelse. Vekting = 1 motsvarer ca. 1 time arbeid av totalt 4 timer på hele eksamen.**

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

RÅD: *Les raskt gjennom alle oppgavene før du begynner, og finn ut hva som må avklares med spørsmål til faglærerne. Planlegg tidsbruken slik at hvert hovedområde får nødvendig tid!*

FAGANSVARLIG: Thor Martin Svartås

TLF.NR. : 51 83 22 85

Faglærere kommer til å besøke eksamenslokalene for spørsmål knyttet til eventuelle uklarheter i oppgavetekst rundt kl. 10 og kl. 12 på eksamensdagen.

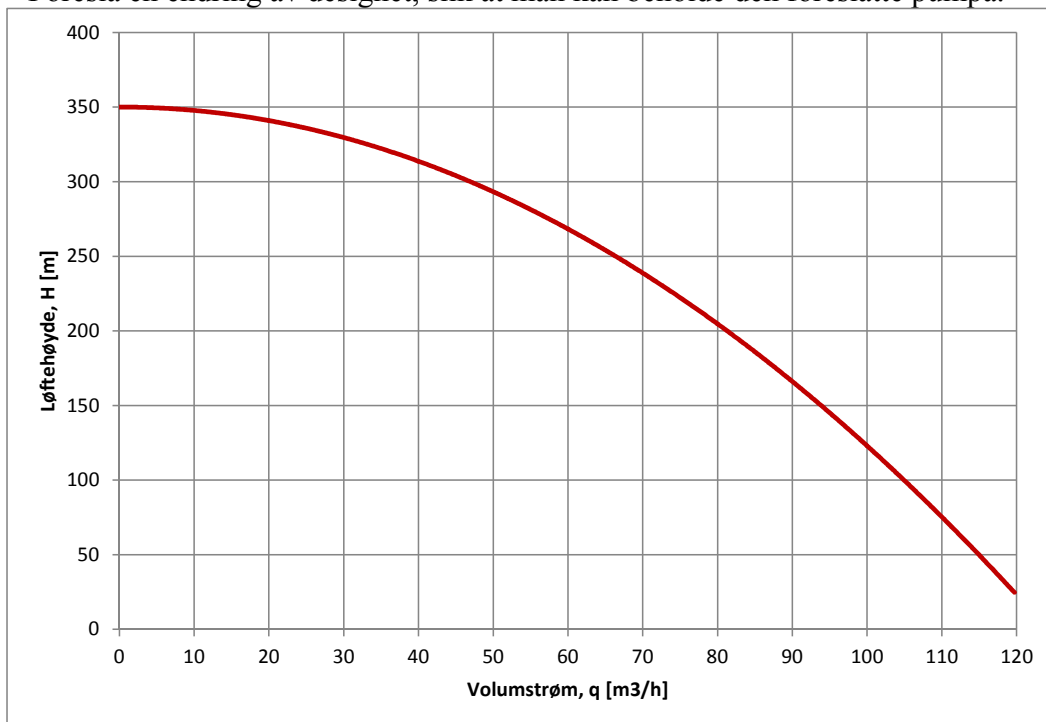
Oppgave 1: Rørstrøm, separator og pumper

Oppgaven har vektning 1 ved bedømmelsen.

Et kondensat (57 °API) skal pumpes med en rate på $1590 \text{ m}^3/\text{d}$ fra en atmosfærisk lagertank ($p_0 = 1.01325 \text{ bar}$), og inn på et mottaksanlegg hvor trykket skal være $p_2 = 7.5 \text{ bar}$. Distansen fra lagringsområdet til mottaket er 16.1 km , og det er planlagt å bruke et 5- tommers rør med indre diameter 128.2 mm (se utdrag av rørstandard nedenfor).

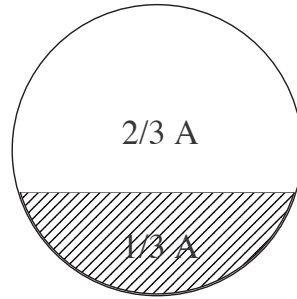
Nominal size [inches]	Outside diameter [inches]	Outside diameter [mm]	Wall thickness [inches]	Wall thickness [mm]	Weight [lb/ft]	Weight [kg/m]
3 1/2	4	101.6	0.226	5.74	9.11	13.57
4	4.5	114.3	0.237	6.02	10.79	16.07
5	5.563	141.3	0.258	6.55	14.62	21.77
6	6.625	168.3	0.28	7.11	18.97	28.26
8	8.625	219.1	0.322	8.18	28.55	42.55

- Gitt pumpekararakteristikken i Figur 1, Hva vil trykket ved utløpet av pumpe (p_1) være ved angitte rate?
- Vis at dette trykket er for lite til å få den ønskede raten gjennom røret. Bruk $f_D = 0.02$.
- Foreslå en endring av designet, slik at man kan beholde den foreslåtte pumpe.



Figur 1 - Karakteristikk for sentrifugalpumpe

En horisontal separator for olje og gass med indre diameter $D_i = 60 \text{ cm}$ opereres slik at $1/3$ av volumet er opptatt av oljen. Trykket er 30 bar , temperaturen $42 \text{ }^\circ\text{C}$, tetthet for olje- og gass er hhv. 730 kg/m^3 og 26 kg/m^3 . z for gassen er 0.87 .



- a) Gitt at gassandelen av to-fasestrømmen er $400000 \text{ Sm}^3/\text{d}$, hva er reell gasshastighet gjennom separatoren?

Standardbetingelser: $T_{\text{st}} = 15 \text{ }^\circ\text{C} / p_{\text{st}} = 1.01325 \text{ bar}$ (SI)
 $T_{\text{st}} = 60 \text{ }^\circ\text{F} / p_{\text{st}} = 14.7 \text{ psi}$ (Field Units)

Vil man finne gasskapasiteten til en 2-faseseparator i millioner standardkubikkfot pr. døgn (MMscfd) kan følgende formel benyttes direkte:

$$q_{\text{st}} = \frac{2.4 \cdot D^2 \cdot K \cdot p}{z(T + 460)} \cdot \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G}}$$

Forutsetningen er at riktige enheter benyttes:

Diameteren, D :	fot (ft)
Trykket, p :	pund pr. kvadrattomme (psi)
Temperaturen, T :	grader Fahrenheit ($^\circ\text{F}$)

- b) Dersom du skulle brukt ligningen over til å dimensjonere separatoren, hva ville nødvendig diameter vært? (Bruk $K = 0.45$)

En gass som er mettet på vann ved $T = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ og $p = 65 \text{ bar}$ skal tørkes i et glycolanlegg som opereres ved $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (og samme trykk).

- c) I: Hvor mye varmeenergi må fjernes pr. kg gass for å kjøle den til $25 \text{ }^\circ\text{C}$? $c_p = 2000 \text{ J/kgK}$
 II: Hvor stor andel av vannet vil felles ut i innløpsseparatoren pga. nedkjølingen?

Oppgave 2: Strømning fra reservoar til brønn

Oppgaven har vektning 0.5 ved bedømmelsen.

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?

!

!

!

Oppgave 3: Gassløft

Oppgaven har vektning 1.8 ved bedømmelsen.

En brønn ligger på 8000 fot dyp ($H = 8000$) og oljas kokepunkt er $p_b = 2400$ psia. Det produseres ikke vann sammen med olja. Gass – olje (gass – væske) forholdet GOR_1 (GLR_1) = 400 scf/stb. Gassens tetthet $\gamma_g = 0.65$ og oljas tetthet $\gamma_o = 35$ API med viskositet $\mu_o = 3$ cp.

Gassens adiabatkonstant, $\kappa = 1.25$. Produksjonsrøret har diameter 2.875" (2.875 tommer) og er av vekt Klasse 8.6 lb/ft. Temperatur i brønn er 180 °F og temperatur ved brønnehodet er 80 °F. Maksimum GLR (GLR_{maks}) ved gassløft er beregnet å ligge ved 3000 scf/sbl.

Brønnen er produsert noen år og reservoartrykket har sunket til $p_e = 3300$ psia. En holder nå konstant produksjonsrate på $q_o = 600$ stb/d og denne raten ønsker en å holde resten av brønnens levetid. Ved brønntrykk $p_{wf} > p_b$ følger produksjonsforløpet en rettlinjert relasjon med produksjonsindeks $J = 1.62$.

Minimum brønnehodetrykk for produksjon fra brønnen er $p_{wh} = 1000$ psia. Gradientkurvedigram for brønnehodetrykket på $p_{wh} = 1000$ psia er vedlagt på siste side i oppgaven. Ligninger til beregninger finnes i vedlegg 1.

Produksjonsrøret er forsynt med injeksjonsventiler ved forskjellige dybder (H_{inj}) fra overflaten og ved gassinjeksjon kan du regne med et trykkfall over injeksjonsventilen på $\Delta p_{ventil} = 100$ psia.

Dersom du anvender det vedlagte **gradientkurvedigrammet** i dine beregninger, **skal dette vedlegges besvarelsen** og du skal vise / forklare hvordan diagrammet er benyttet til å fremskaffe den informasjon / de verdier du har behov for å finne.

- Hva er trykket i brønnen ved $p_e = 3300$ psia og en produksjonsrate på $q_o = 600$ stb/d?
- Hvor langt ned kan en komme i brønntrykk ved $q_o = 600$ stb/d uten gassinjeksjon?
- Dersom trykket i brønnen faller jevnt med 150 psi per år, hvor lang tid kan en nå produsere ved $q_o = 600$ stb/d før en må starte med gassløft?

En vil nå se på to forskjellige scenario for produksjon videre ved gassløft og ved hvilke dybdeposisjoner (H_{inj}) gassinjeksjonen kan / bør starte.

Scenario 1:

- Er det mulig å starte et løft ved gassinjeksjon på 4500 fots dybde ($H_{inj} = 4500$) ved brønntrykket fra spørsmål b) og $q_o = 600$ stb/d?
- Benytt vedlagte gradientkurvedigram til sist i oppgaven til å beregne / anslå nødvendig GLR_2 (GOR_2) for å produsere ved $q_o = 600$ stb/d helt ned til et

brønntrykk $p_{wf} = 2750$ psia når en injiserer ved bunnen av brønnen.

- f) Hvor mye gass må injiseres en injiserer for å nå dette brønntrykket?

Scenario 2:

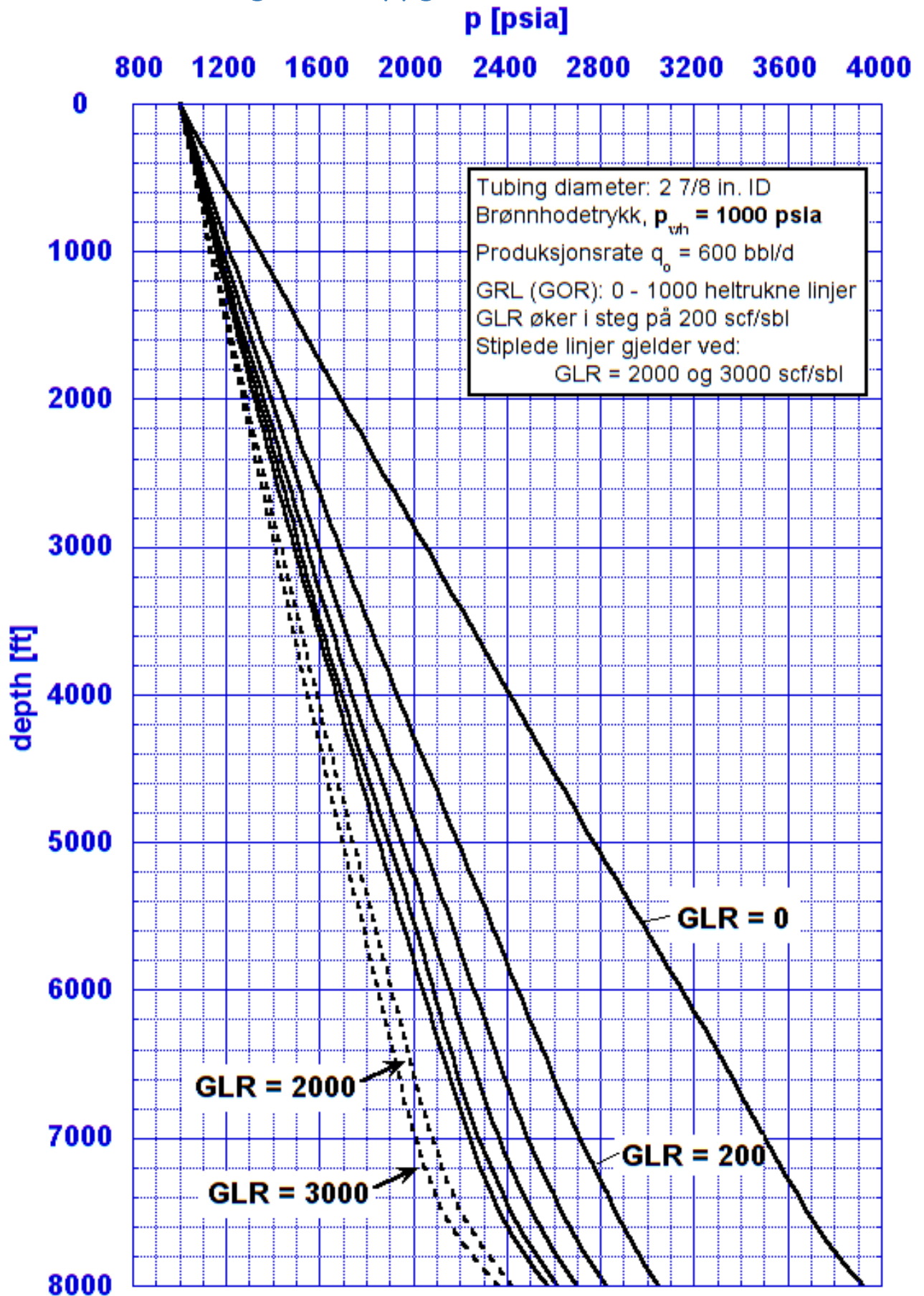
Du skal nå se på noen betraktninger rundt injeksjonsraten for gass, injeksjonspunktet og strømningsraten for olje. Du har produsert ned til minimum brønntrykk uten løft som i spørsmål b) og en vil vurdere om en kan starte løftprosessen fra et nivå (dybde H'_{inj}) over bunnen i brønnen.

- g) Dersom injeksjonstrykket i anulus ($p_{inj,ann}$) ved dybde H'_{inj} under overflaten er 2300 psia; hva må dybden H'_{inj} være om en skal oppnå en løfteffekt?
- h) Hvor mye gass må injiseres ved injeksjonspunktet H'_{inj} for å oppnå løfteffekt?
- i) Hva blir injeksjonstrykket, p_{surf} , ved overflaten?

Generelt om gassinjeksjon og løft:

- j) Hvor mye gass må injiseres for å opprettholde en produksjon på $q_o = 600$ stb/d etter at trykket i reservoaret har sunket til 2900 psia om vi antar at injeksjonstrykket ved overflata forblir uendret?
- k) Hvor langt kan vi komme ned i brønntrykk ved å injisere ved bunn av brønn?
- l) Hvor mye gass må injiseres nå.
- m) Dersom du antar at p_{surf} er den samme som over hvor stor kompressor (antall hestekrefter) må du ha til gassinjeksjonen ved maksimal løfteffekt om du neglisjerer trykkfall i rørledning mellom brønnhodet og første separatortrinn i prosessanlegget?

Gradientkurvediagram til oppgave 3



Oppgave 4: Brønnstimulering!

Oppgaven har vektning 0.7 ved bedømmelsen.

Et oljeførende sandsteinsreservoar som ligger på dybde 10 000 ft har følgende data:

- Reservoartrykk, $p_e = 6500$ psia, oljens kokepunkt, $p_b = 3900$ psia
- Viskositet olje, $\mu_o = 1.2$ cp, volumfaktor olje, $B_o = 1.5$, Relativ tetthet olje, $\gamma_o = 0.75$, GOR = 1200
- Brønnens høyde i reservoaret, $h = 100$ ft, permeabilitet, $k = 120$ mD, porositet $\phi = 0.2$.
- Brønnens radius, $r_w = 4.5$ in, Dreneringsradius reservoar, $r_e = 900$ ft, $\ln(r_e/r_w) = 7.78$.

Etter etablering av en produksjonsbrønn viser brønntester ved trykk over oljens kokepunkt at skin faktor for brønnen ligger på 18.

- a) Svar kortfattet på følgende: Hvilke ligninger / sammenhenger må en benytte for å bestemme / beregne skin faktor ut fra brønntest- og reservoar data?
- b) Benytt ligningene til å sette uttrykket (ligningen) for skinfaktor beregnet fra brønntest- og reservoar data.
- c) Gi et overslag over / beregn brønnens strømmingseffektivitet.

Grundigere testing og undersøkelser på brønnens produktivitet viser at den høye skin faktoren høyst sannsynlig er forårsaket av slam rester og noe knust mineral fra boreprosess og perforering. En anslår at skin sonen strekker seg 1 m ut fra brønnveggen og at det er nødvendig med syre behandling av nærbrønnområdet for å øke produktiviteten til brønnen.

- d) Svar kortfattet på følgende I: Kan du beskrive hva slags type syre / syreblandinger en benytter samt framgangsmåten for syre-behandling i dette tilfelle?
- e) Ut fra oppgitte data over: Hvor mange m^3 syreløsning må pumpes inn i brønn og skin sone for hvert steg i behandlingen?

Etter syre-behandling kjøres en ny brønntest og en finner at skin faktor nå har sunket til 2,5.

- f) Hva er brønnens strømnings-effektiviteten etter behandlingen?
- g) Svar kortfattet på følgende: Hadde det vært mulig å forbedre strømmingseffektiviteten ytterligere og i tilfelle ja: Hva er generell grenseverdien for maks. strømmingseffektivitet etter syre-behandling av en sandsteinsformasjon?

!
!
!
!
!

!

Vedlegg 1: Generelle likninger

På de tre neste sidene er det listet opp en del likninger relatert til innstrømning 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.

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

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

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

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

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

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

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

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

$$p_{inj,ann} = p_{inj} + \Delta p_{ventil}$$

$$p_{inj} = p_{inj,ann} - \Delta p_{ventil}$$

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

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

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

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

$$p_{wh} = \frac{cR^m q}{s^n} \text{ eller } p_{wh} = \frac{c \cdot (GLR)^{m \cdot q}}{D_{64}^n}$$

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

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

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

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

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

$$q_f = \frac{k_f}{\mu} \cdot A_f \frac{\partial P}{\partial r} = w \cdot h \cdot \frac{k_f}{\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial r}$$

$$q_R = 2 \frac{k_R}{\mu} \cdot A_R \frac{\partial P}{\partial r} = 2r_R \cdot h \cdot \frac{k_R}{\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial r}$$

$$F_{CD} = \frac{q_f}{q_R} = \frac{k_f}{k_R} \frac{w}{r}$$

$$F_{CD,e} = \frac{q_{f,e}}{q_R} = \frac{\pi}{4} \frac{k_{f,e}}{k_R} \frac{w}{r}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$1 \text{ bbl/D} = 1.84 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} = 0.159 \text{ m}^3/\text{D}$$

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 (°API), pounds per cubic foot (lb_m/ft³)
- gas density: pounds per cubic foot (lb_m/ft³)
- temperature: degrees Fahrenheit (°F), absolute temperature (°F + 459.67) degrees Rankine (°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 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		lb _m
	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
Volume (<i>V</i>)	gallon (gal)	0.003785	264.172	meter ³ (m ³)
	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)
Area (<i>A</i>)	sq. ft (ft ²)	9.29×10^{-2}	10.764	meter ² (m ²)
	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	kPa (1000 Pa)
	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 + °C, R = 459.67 + °F (≈ 460 + °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: Vanninnhold i naturgass som funksjon av trykk og temperatur

