

800 5



Universitetet  
i Stavanger

**DET TEKNISK – NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET**

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

**DATO:                 18. november 2019**

**VARIGHET:           4 timer (09:00 – 13:00)**

**HJELPEMIDDEL:     Godkjent kalkulator**

Eksamenssettet består av 4 oppgaver og 4 vedlegg over i alt 9 sider.

**MERKNADER:**

Ved vurdering er alle delspørsmål vektet likt. Planlegg tidsbruken etter dette.

Diagrammet i vedlegg 4 skal leveres inn sammen med besvarelsen. Husk å merke dette med kandidatnummer.

Emneansvarlig:

Navn:           Runar Bøe

Tlf:             51 83 22 42

## Oppgave 1: Generelle spørsmål fra pensum

a) Strømningsforholdene i et reservoar inn mot en vertikal brønn kan utledes teoretisk for ulike situasjoner, og dersom det er enfase væskestrøm i reservoaret kan resultatet bli:

$$q_o = \frac{k h}{141.2 \mu_o B_o} \cdot \frac{(p_e - p_{wf})}{\left(\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75 + s\right)} \quad (1)$$

- i Hvor i produksjonssystemet måler man  $q_o$  ?
- ii Bunnhullstrykket  $p_{wf}$  måles i bunnen av brønnen, men hvordan kan man gå fram for å måle / estimere reservoartrykket,  $p_e$  ?
- b) Forklar kort forskjellen mellom et transient og et stasjonært innstrømningsregime. Hva kalles det regimet som i praksis er stasjonært, men endrer seg over en lengre tidshorisont ?
- c) Formasjonsvolumfaktoren  $B_o$  og GOR (Gas Oil Ratio) er definert som følger:

$$B_o \equiv \frac{V_{o,res}}{V_{o,std}}, \quad GOR \equiv \frac{V_{g,std}}{V_{o,std}}$$

- i Formasjonsvolumfaktoren angir volumforholdet mellom olje ved reservoarbetingelser, og olje ved standardbetingelser. Forklar kort hva som skjer med oljen på vei oppover i brønnen, og hvorfor  $B_o$  alltid er større enn 1.
- ii Forklar kort hvordan  $B_o$  og GOR henger sammen.
- d) Resultatet av formasjonsskade, inntrengning av boreslam, etc. i området nære brønnen blir gjerne omtalt som en "skin-effekt".
- i Hvilken størrelse (i ligning 1) er det som påvirkes av en formasjonsskade?
- ii Hvorfor har en formasjonsskade mer å si for strømningsraten, jo nærmere brønnen man kommer ?
- iii Hva kan man gjøre for å rette opp en formasjonsskade ?
- e) For å regne om mellom en hydrostatisk trykkdifferanse i psi, og høyden på en vannsøyle i ft, benyttes gjerne følgende formel:

$$h = \frac{\Delta p}{0.433}$$

Vis hvordan konstanten på 0.433 framkommer vha. følgende opplysninger:

Generelt:	$\Delta p$	$= \rho_{g_c} h$	
Tyngdens akselerasjon:	$g$	$= 32.17 \text{ ft/s}^2$	
Omregningsfaktor:	$g_c$	$= 32.17 \text{ lbf ft/lbf s}^2$	(denne er 1 i SI-systemet)
Tetthet for vann:	$\rho_w$	$= 62.4 \text{ lbf/ft}^3$	
Enhet for trykk:	psi	$= \text{lbf/in}^2$	(pound force per square inch)
Lengdeenheter:	1 ft	$= 12 \text{ in}$	

f) Hva er hensikten med (hydraulisk) frakturering, og hva går metoden ut på ?

## Oppgave 2: Strømning i reservoar og brønn

Produksjonsindeksen ( $J$ ) for et reservoar er definert som forholdstallet mellom oljestrømsrate og trykkdifferansen mellom reservoaret og bunnen av brønnen;

$$J = \frac{q_o}{p_e - p_{wf}} \quad (2)$$

a) Dersom reservoartrykket  $p_e$  er kjent, hvor mange testpunkt trengs for å tallfeste produksjonsindeksen?

b) Beregn produksjonsindeksen for et reservoar basert på følgende informasjon:

Reservoartrykk:  $p_e = 6000$  psi  
 Kokepunktstrykk, olje:  $p_b = 3000$  psi  
 Brønntest:  $p_{wf} = 5570$  psi,  $q_o = 800$  stb/d

c) Hvorfor kan man anta at  $J$  vil være den samme dersom brønnen blir testet på nytt, ved f.eks. 3500 stb/d? Begrunn svaret utifra ligning 2.

d) Anta en lineær IPR kurve, og plott denne i vedlagte diagram mellom  $q_o = 0$  og  $q_o = 4500$  stb/d.

$q_o$ [stb/d]	$p_{wh}$ [psi a]
200	2800
800	2727
1955	2100
3500	1200
4500	584

Tabell 1: Brønnehodetrykk som funksjon av oljestrømsrate

e) Tabell 1 viser beregnede verdier av brønnehodetrykket som funksjon av oljestrømsrate for en vertikal brønn som produserer fra det aktuelle reservoaret. Anta at trykkdifferansen over brønnen,  $\Delta p = p_{wf} - p_{wh}$  er en funksjon av  $q_o$ , men uavhengig av absoluttverdiene for  $p_{wf}$  og  $p_{wh}$ . Skisser TPR-kurven for et konstant brønnehodetrykk på 1500 psi i det samme diagrammet som for IPR-kurven i d).

f) Hva blir produksjonsraten ved dette brønnehodetrykket?

g) Man velger  $q_o = 3000$  stb/d som platårate. Man regner med at reservoartrykket synker med 250 psi/år, og så lenge nødvendig trykkdifferanse kan opprettholdes ved å senke brønnehodetrykket tilsvarende, kan platåraten også opprettholdes. Hvor lenge kan man produsere ved platåraten, når minimum brønnehodetrykk er 1000 psi?

h) Man kan fortsatt produsere videre med gradvis lavere rate, men hva kan man gjøre av tiltak, dersom man ønsker å opprettholde platåraten?

## Oppgave 3: Gassløft og kompresjon

Så lenge reservoaret (NB: samme reservoar / brønn som i oppgave 2) produserer med naturlig driv er GOR for brønnstrømmen anslått til 75 scf/stb. Figur 1 viser Trykktraverser (tilsvarende et gradientkurvediagram, men er regnet ut spesielt for dette caset) for en brønn med dybde 9700 ft, hvor oljestrømsraten  $q_o = 3000$  stb/d, brønnhodetrykket  $p_{wh} = 1000$  psi, og for GOR på hhv. 75 og 1000 scf/stb.

a) Ved å injisere løftegass, slik at GOR øker fra 75 til 1000 scf/stb, hvor mye vil det senke bunnhullstrykket? (Det forutsettes at gassen kan injiseres rett over produksjonspakningen, dvs. helt nede i brønnen)

b) Hva må gasstrykket i casingen (annulus) ved gassløftventilen,  $p_{c,v}$  være, når nødvendig differansetrykk  $\Delta p_v$  over ventilen antas å være 100 psi ?

c) Basert på vekten av gasssøylen kan man utlede følgende forenklede ligning for sammenhengen mellom casingtrykk ved gassløftventilen  $p_{c,v}$  [psia], dybden ved ventilen  $D_v$  [ft] og casingtrykket ved overflaten  $p_{c,s}$  [psia]:

$$p_{c,v} = p_{c,s} \left( 1 + \frac{D_v}{40\,000} \right) \quad (3)$$

Hva blir nødvendig trykk ut av gassløftkompressoren ?

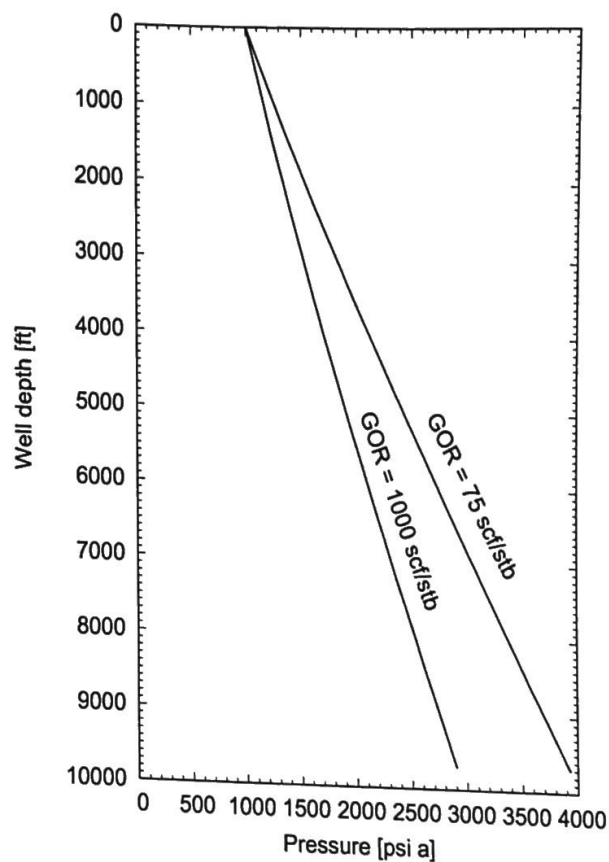
d) Egenskaper for injeksjonsgassen:

Specific gravity:	$\gamma_g$	= 0.62
Adiabatekspont:	$k$	= 1.29
Kompressibilitetsfaktor:	$z$	= 0.98

Gassen er tilgjengelig ved 75 psia, og 100 °F (ved innløpet av kompressoren).

Hva blir nødvendig kompressorarbeid pr masseenheter gass ? (Husk at  $p v = z R T$ )

e) Vis at nødvendig massestrøm av gass gjennom kompressoren, dersom man skal holde oljeproduksjonsraten på 3000 stb/d = 0.69 kg/s (avrunding tatt i betraktning). Omregningsfaktorer mellom std. volumer og mol finnes i vedlegg 2.

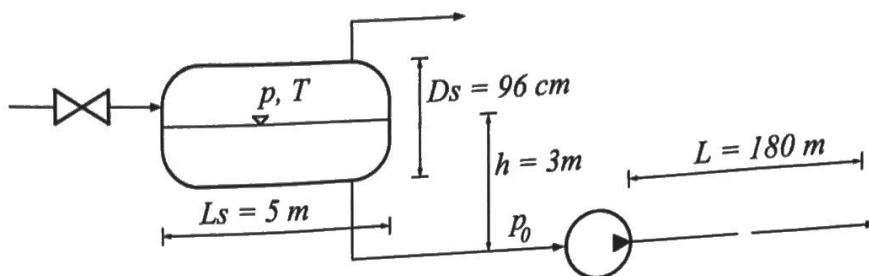


Figur 1: Trykktraverser

f) Hva blir totalt kompressorarbeid i kW ?

#### Oppgave 4: Separasjon og pumping:

Figur 2 viser en horisontal olje/gass-separator, hvorfra oljen transporteres videre vha en sentrifugal-pumpe.



Figur 2: Olje/gass-separator, hvor oljestrømmen er koblet til et rør via en sentrifugalpumpe

a) Separatoren har indre diameter  $D_s = 96$  cm, og som designfaktor kan benyttes  $K = 0.45$  ft/s.

Trykk:	$p$	$= 10$ bar
Temperatur:	$T$	$= 42$ °C
Gas gravity:	$\gamma_g$	$= 0.69$
Kompressibilitetsfaktor:	$z$	$= 0.95$
Oljetetthet:	$\rho_o$	$= 870$ kg/m <sup>3</sup>

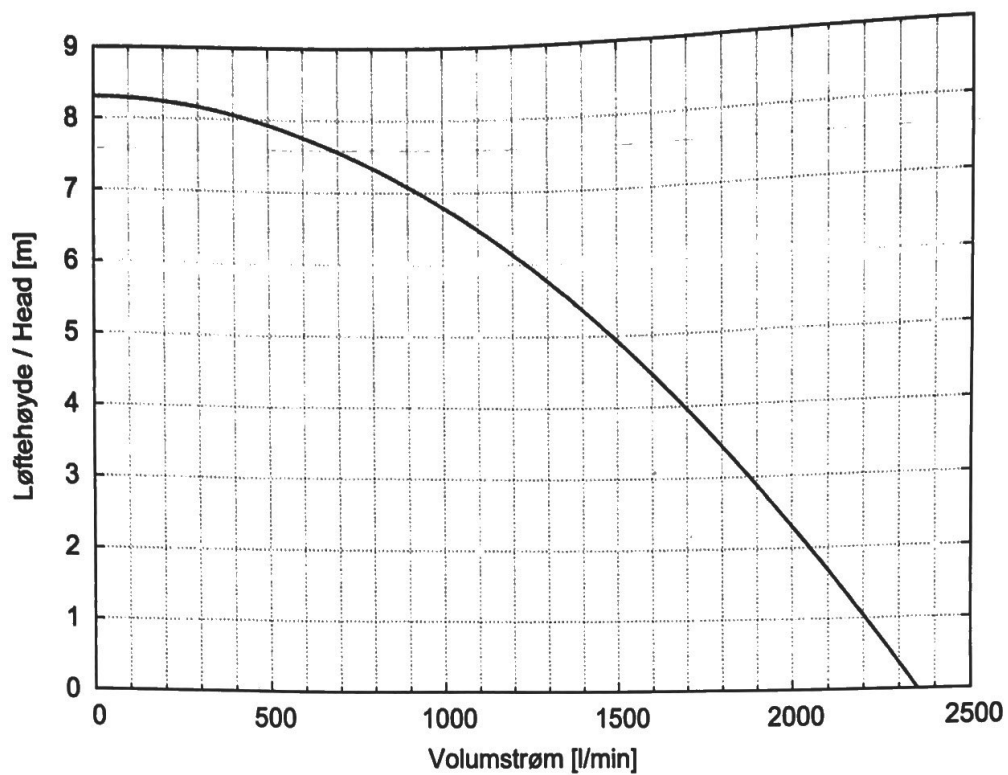
Beregn gassetthet ved separatorbetingelser, og finn gasskapasiteten.

b) Under normal drift vil oljen ta opp halve volumet av separatoren. Vis at væskekapasiteten er  $0.02$  m<sup>3</sup>/s for en oppholdstid på  $t_{ret} = 1.5$  min (innenfor en rimelig nøyaktighet). Separatoren har effektiv lengde  $L_s = 5$  m.

c) Oljen transporteres videre gjennom en sentrifugalpumpe med en rate tilsvarende væskekapasiteten fra b) ( $q_o = 0.02$  m<sup>3</sup>/s). Innløpet er plassert 3 m under væskeniivået i separatoren. Hva blir absolutt-trykket ved innløpet til pumpen,  $p_0$ , dersom man ser bort fra friksjonstrykfall i sugerøret?

d) Pumpekarakteristikken er gjengitt i Figur 3, med løftehøyde som funksjon av volumstrøm. Hva blir trykkdifferansen over pumpen for den aktuelle strømningsraten?

e) Røret som går videre fra pumpen har en diameter på 7.5 cm, og fortsetter i samme høyde over en distanse på 180 m. Anta en Darcy friksjonsfaktor på 0.019. Finn trykkdifferansen over røret, og absolutt-trykket på enden (ved  $L = 180$  m).



Figur 3: Karakteristikk for sentrifugalpumpe

Vedlegg 1: Formelsamling:

$$\frac{p}{\rho} = z R T \quad (z = 1 \text{ for ideell gass})$$

$$m = Q \cdot \rho_{std} = q \cdot \rho \quad (\text{massestrøm for gass})$$

$$\gamma_g = \frac{M}{M_{luft}} \quad (M_{luft} = 29 \text{ g/mol} = 29 \text{ lbm/lb-mole})$$

$$\Delta p_f = \frac{1}{2} \rho u^2 f_D \frac{L}{D} \quad (f_D = \text{Darcy friction factor})$$

$$R = \frac{R_0}{M} \quad (R_0 = \text{universal gas constant})$$

$$v_{max} = K \cdot \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_g}{\rho_g}} \quad (\text{Souders \& Brown})$$

$$q_L = \frac{V_L}{t_{ret}} \quad (\text{Væsketapasitet for separator})$$

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

Vedlegg 2: Spesielle enheter og størrelser

---

API GRAVITY (OF OIL)

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

API BARREL

1 API bbl = 42 U.S gallons = 35 U.K. (imperial) gallons  
 = 5.61 ft<sup>3</sup> = 0.159 m<sup>3</sup> = 159 liters

STANDARD VOLUMETRIC VS. MOLAR UNITS

SI:	23.64 Sm <sup>3</sup> /kmole;	42300 kmole/10 <sup>6</sup> Sm <sup>3</sup>
U.S. Field:	379.5 scf/lb-mole;	2635 lb-mole/MMscf

VALUES OF THE UNIVERSAL GAS CONSTANT

R = 8.314 J/mol K = 8.314 m<sup>3</sup> Pa/mol K  
 = 1.545 ft lbf /lb mol °R

ABSOLUTE TEMPERATURE

K = °C + 273.15  
 °R = °F + 459.67

STANDARD CONDITIONS

T<sub>std</sub> (SI) = 15 °C = 288.15 K  
 T<sub>std</sub> (Field) = 60 °F = 519.67 °R  
 p<sub>std</sub> = 101325 Pa = 14.696 Psi

---

## Vedlegg 3: Omregningstabell

The conversion factors all have dimension  $\frac{\text{"to"-unit}}{\text{"from"-unit}}$ . Multiply the quantity in "from"-units with the factor, and the "from"-units will cancel. Examples:

$$6 \text{ ft} = 6 \text{ ft} \times 0.3048 \text{ m/ft} = 1.8288 \text{ m}$$

$$5 \text{ bar} = 5 \text{ bar} \times 14.504 \text{ Psi/bar} = 72.52 \text{ Psi}$$

Quantity	U.S. Field Unit	To SI Unit	To U.S. Field Unit	SI Unit
Length ( <i>L</i> )	feet (ft)	0.3048	3.2808	meter (m)
	mile (mi)	1.609	0.6241	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 <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> )
	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> )
	Mscf (1000 ft <sup>3</sup> , 60°F, 14.7 psia)	28.317	0.0353	Sm <sup>3</sup> (15 °C, 101.325 kPa)
Area ( <i>A</i> )	sq. ft. (ft <sup>2</sup> )	$9.29 \times 10^{-2}$	10.764	meter <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )
	Acre	$4.0469 \times 10^3$	$2.471 \times 10^{-4}$	meter <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	kPa (1000 Pa)
	Psi	0.0689	14.504	bar <sup>a</sup>
	Psi	0.0680	14.696	atm <sup>b</sup>
	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	$0.5556(°F - 32)$	$1.8 °C + 32$	°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	1000	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>ρ</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 (= $10^{-15}$ m <sup>2</sup> )
	md (= $10^{-3}$ darcy)	$9.8692 \times 10^{-16}$	$1.0133 \times 10^{15}$	m <sup>2</sup>

<sup>a</sup>1 bar = 10<sup>5</sup> Pa = 100 kPa<sup>b</sup>1 (std) atm = 1.01325 bar