

DET TEKNISK – NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

EMNE: PET100 BORING
DATO: 08.12.2016
TID: 09:00 – 13:00 (4 TIMER)
Hjelpemiddel: Godkjent kalkulator



Universitetet
i Stavanger

EKSAMEN BESTÅR AV TOTALT 11 SIDER; 5 SIDER MED OPPGAVER, 1 SIDE MED FORMLER, 4 SIDER MED TABELLER OG 1 SIDE MED SVARSKJEMA FOR FLERVALGSOPPGAVENE.

NB! SVARSKJEMA FOR FLERVALGSOPPGAVENE SKAL RIVES AV OG LEVERES SAMMEN MED RESTEN AV EKSAMENSBE SVARELSEN.

MERK: Alle de 4 oppgavene har lik vektning, dvs. hver oppgave teller 25%. Les raskt gjennom alle oppgavene før du begynner, og finn ut hva som må avklares med spørsmål til faglærer. Planlegg tidsbruken slik at hvert hovedområde får nødvendig tid.

OPPGAVE 1 Aksial Belastning

En vertikal brønn skal bores nedover til 3050m under boredekket på en fast plattform. Boreslamtetthet er 1210 kg/m^3 , og viskositet er 14 cP. Det er tilgjengelig 5.5", 24.70 lb/ft, premium grad S borerør, med kobling FH. Det skal brukes 330 m med 8.5" vektør, med ID 3.00". Vi antar en reaksjonskraft fra dysene på 9 kN. Vi regner med et maksimalt dreiemoment på toppen av borestrengen er 52kNm.

- a)
- ✓1. Hva er maksimal aksial belastning på toppen av borestrengen før slamsirkulasjon starter?
 - ✓2. Hva er sikkerhetsfaktor mot flyt?
- ✓ b) En krever en sikkerhetsfaktor mot flyt på minst $SF = 1.8$ før slamsirkulasjon starter. Hva er den største lengden en da kan ha med vektør? Videre regnes det med lengde vektør som gitt først, 330m.
- ✓ c) Borekrona arbeider mest effektivt med en trykk-kraft mot formasjonen mellom 170 000 og 240 000 N. Hva er den korteste vektørslengden vi kan ha? Begrunn svaret.
- ✓ d) Hva er det største slampumpetrykket vi kan ha under boring når sikkerhetsfaktoren ikke må bli mindre enn 1.4 på noe tidspunkt? Vi ser bort fra trykkfall fra slampumpa til toppen av borestrengen.
- ✓ e) Kraften i fastline (hurtigline, F_f) er gitt som 164.5kN, friksjonsfaktor er $k_T = 1.045$, og masse av løpeblokk og løfteutstyr er 2575 kg.
- ✓1. Borestrengen skal løftes ved tripping ut av brønnen fra 3050m dybde. Hva er antallet trinser i løftespillet? (rund av til nærmeste heltall)
 - ✓2. En ønsker å kunne løfte ut en stand (tre lengder borerør, hver på maksimum 10 meter) på mindre enn 45 sekunder. Hvor stor motorytelse (kW) må en da minst ha når det er en overføringseffektivitet på 0.76 fra motor til kabel inn på trommel?

Flervalgsoppgave 1 Aksiell Belastning

- Hvilken formel tilsvarer beskriver oppdriftskraften i en sylindrisk beholder?
 - $O = \rho \cdot g \cdot h$
 - $O = \rho \cdot m_s \cdot g$
 - $O = \rho \cdot V \cdot g$
 - $O = \rho \cdot m_v \cdot g$
- Hvor ønsker vi at nøytralpunktet optimalt skal ligge?
 - $2/3 h_v$ ned fra toppen av borestrengen
 - $2/3 h_v$ opp fra bunnen av brønnen
 - $2/3 h_v$ ned fra toppen av vektørret
 - $1/3 h_v$ opp fra bunnen av brønnen
- Dersom slamtettheten i oppgave 1a)1. økes med 50 kg/m^3 , hva vil skje med den aksielle belastningen?
 - $\Delta K_A = -12.5 \text{ kN}$
 - $\Delta K_A = +12.5 \text{ kN}$
 - $\Delta K_A = -50 \text{ kN}$
 - $\Delta K_A = +50 \text{ kN}$
- Hva er hastigheten i død-line(deadline)?
 - $v_D = C_D \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P_D}{\rho_m}}$
 - $v_D = F_F \cdot \frac{k_T - 1}{1 - k_T^{-n}} \cdot W \cdot \Delta t$
 - $v_D = 2 \cdot v_F$
 - $v_D = 0$

OPPGAVE 2 Pumping

For boring av brønnen i oppgave 1 ønskes en slamsirkulasjonsrate på minst 2400 liter/min.

Friksjonstrykkfallet fra slampumpa til toppen av borestrengen blir da 0.9 bar.

Friksjonstrykkfallet i annulus er 16 bar.

Brønndata: Vertikal brønn, dybde 3050m, lengde av vektørsseksjon 330m.

Slamdata: tetthet 1210 kg/m^3 , viskositet 14 cP.

- Hva blir friksjonstrykkfallet inne i borestrengen, fra toppen og ned til dysene i borekrona? (Benytt vedlegg 5 og 6)
- Under boring ønsker vi et minimum pumpetrykk på 311 barg.
 - Beregn maksimalt dysetrykk og vis at dette blir omtrent 59% av det totale pumpetrykket. Er dette akseptabelt?
 - Hvor stor blir dysekraften? ($CD = 0.96$).

Ut fra b) vil en altså at slampumpa skal levere minst 311 barg. En har tilgjengelig triplex slampumper med følgende data:

Slaglengde:	10" (tommer)	Volumeffektivitet:	0.97
Elektrisk effekt inn:	1030 kW	Mekanisk pumpeeffektivitet:	0.84
Topp hastighet:	130 slag/min	Transmisjonseffektivitet:	0.79
Foringer:	4.5, 5, 5.5, 6 og 6.5"	Elektrisk motoreffektivitet:	0.93

✓ c) Hvilken foring må en velge for å få høyt nok pumpetrykk?

✓ d)

- ✓ 1. Hva blir nå maksimal volumrate levert fra slampumpa?
- ✓ 2. Hva blir maksimalt pumpetrykk?
- ✓ 3. Klarer en seg med en slampumpe, eller må en bruke flere, og i så fall hvor mange?

✓ Flervalgsoppgave 2 Pumping

- ✓ 1. Hva vil skje dersom vi bruker større foringer i pumpen?
 - a) Pumpetrykket øker, samtidig som volumraten øker
 - b) Pumpetrykket synker, samtidig som volumraten øker
 - c) Pumpetrykket øker, samtidig som volumraten synker
 - d) Pumpetrykket synker, samtidig som volumraten synker
- ✓ 2. Dersom dysestørrelsen minker (mens alt annet forblir likt), hva vil konsekvensen av dette være?
 - a) Friksjonstrykkfallet i annulus vil øke
 - b) Friksjonstrykkfallet i annulus vil synke
 - c) Friksjonstrykkfallet i dysene minker
 - d) Kravet til minimum pumpetrykk vil øke

✓ OPPGAVE 3 Dimensjonering av foringsrør

Etter å ha boret ned til 3050m under brønnhode (på en fast plattform) i en vertikal brønn skal en sette 13 3/8" foringsrør. Reservoartrykket ved 3050m dybde ble målt til 403 barg. En skal fortsette med samme slamtetthet (1210 kg/m^3), og en regner med at ved tap av slam til mulig lavtrykks-sone vil maksimalt 40% av foringsrøret tømmes. Det kreves sikkerhets-faktorer på minst 1.8 mot avrivning, 1.5 mot sprengning, og 1.2 mot kollaps. Gasstetthet kan regnes med å være 280 kg/m^3 . Når slam står lenge kan det degenerere til en tetthet på 1030 kg/m^3 (vektstoff faller ut, men ikke salt).

- a) ✓ 1. Tegn skisse av scenariet, og beregn maksimum sprengningstrykk ved en mulig gasskicksituasjon.
- ✓ 2. I hvilken dybde er det størst belastning på foringsrøret?
- ✓ 3. Finn maksimum kollapstrykk ved mulig frakturering og tap av slam til lavtrykks-sone.
- ✓ 4. I hvilken dybde er det størst belastning?

Ved sementering brukes sementpasta med tetthet 1490 kg/m^3 . Pumpevæske (etter sement) har tetthet 1050 kg/m^3 . Det skal sementeres opp til 450m dybde under brønnhodet. Da det er konstatert noen utrasninger under boring slik at volumet av sement er vanskelig å beregne, antar en "worst case" hvor sementpastaen under nedpumping fyller foringsrøret helt.

- b)
- ✓ 1. Beregn maksimum sprengningstrykk og maksimum kollapstrykk ved sementering. Tegn skisse av begge scenariene.
 - ✓ 2. I hvilke dybder er belastningen størst?
- c)
- ✓ 1. Hva blir nå dimensjonerende sprengnings- og kollaps-trykk?
 - ✓ 2. Finn det billigste foringsrøret som tilfredsstillter trykk-kravene.
 - ✓ 3. Beregn sikkerhetsfaktorene mot sprengning og kollaps.
- d)
- ✓ 1. Beregn aksial belastning på foringsrøret både ved degenerering av boreslam, og under sementering.
 2. Beregn sikkerhetsfaktor mot avrivning, både for degenerering av boreslam og under sementering.
 3. Hva er dimensjonerende her?

(Hint: Indre volum kan beregnes av tabellverdi av indre diameter eller av kapasitet (liter/m).)

Flervalgsoppgave 3 Foringsrør

1. Hvilken av følgende er en grunn for å sette casing:
 - a) For å fiske opp tapt utstyr
 - b) For å kunne perforere formasjonen
 - c) For å kunne sementere brønnen
 - d) For å hindre innrasning i borehullet

✓ OPPGAVE 4 Gasskick

Under boring av brønnen i oppgave 1 ned til 3050 m under boredekket begynner slamnivået i returtanken å stige mer enn forventet og en stanser boringa, slår av slampumpa og stenger BOP, 95 sek. etter at en antar at kick startet. (Slamdata: 2400 l/min, 1210 kg/m³, 14 cP). Volumet i returtanken er nå 15.1 m³ større enn forventet med vanlig retur av boreslam. Trykkmålere viser da et trykk på toppen av borestrengen på 22 bar, og et trykk på toppen av brønnannulus, rett under BOP, på 35 bar.

Lengde av vektørsseksjon:	330 m
Indre tverrsnittsareal av borerør:	0.01105 m ²
Indre tverrsnittsareal av vektør:	0.00456 m ²
Annulus tverrsnittsareal utenfor borerørene:	0.06192 m ²
Annulus tverrsnittsareal utenfor vektørene:	0.04064 m ²

- a)
- ✓ 1. Hva er trykket i bunnen av brønnen i den dybden en nå har boret til (3050 m)?
 - ✓ 2. Drepslam skal gi en overtrykksmargin (sikkerhetsmargin) på 5 bar i bunnen av brønnen. Hvor stor tetthet må drepslam ha?
- b)
- ✓ 1. Hvor høyt over bunnen står innstrømmet reservoarfluid?
 - ✓ 2. Hva er tettheten av innstrømmet reservoarfluid?

- c) En bestemmer seg for å bruke "drillers" metoden for å fjerne innstrømmet reservoarfluid samt å fylle brønnen med tungt nok boreslam (drepeslam) til at boringen kan fortsette. Utsirkulasjonsraten (dreperaten) skal være 650 l/min. Viskositet til drepeslam som en skal bruke er 26 cP.
- ✓ 1. Hvor lang tid tar det å sirkulere ut borestrengen?
 - ✓ 2. Hvor lang tid tar det å sirkulere ut annulus?
- d)
1. Bruk gitte data, også i oppgavene før denne, til å beregne trykket som en må regulere mot under utsirkulering av borestrengen.
 2. Tegn en graf som viser trykket i toppen av borestrengen under utsirkuleringen. Bruk tallverdier.

Flervalgsoppgave 4 Gasskick

1. For denne plattformen, hvor står BOP plassert?
 - a) På boredekk
 - b) På havbunnen
 - c) På pumpedekk
 - d) På bunnen av brønnen

2. For utsirkulering av et kick vil følgende metode bruke lengst tid:
 - a) Weight-and-weigh method
 - b) Drillers method
 - c) Engineers method
 - d) De bruker like lang tid

3. Hva står uttrykket BOP for?
 - a. Bleed Out Preventer
 - b. Blow Out Power
 - c. Blow Out Preventer
 - d. Black Oil Pressuriser

FORMLER UTLEVERT VED EKSAMEN

Standardverdier: Omregningsfaktor fra tommer til meter: $0.0254 \text{ meter/tomme (inch)}$
 Tyngdens akselerasjon i Nordsjøen: $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
 Standard tetthet for stål: $\rho_s = 7850 \text{ kg/m}^3$
 Standard elastisitetsmodul for stål: $E = 210 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$

Friksjon i heisespill: Antall kabler løpeblokka henger i: n
 Friksjonsfaktor for hver trinse: k_T

Strekk i hurtigkabel ved heising av total vekt W : $F_F = \frac{k_T - 1}{1 - k_T^n} W$

Friksjonstrykkfall i rør og annulus (ringrom): Glatt rør: $\Delta p_F = \frac{\rho_R^{0.8} \mu^{0.2} Q^{1.8}}{90163D^{4.8}} \text{ bar/m}$

Glatt annulus: $\Delta p_F = \frac{\rho_R^{0.8} \mu^{0.2} Q^{1.8}}{70696(D+d)^{1.8}(D-d)^3} \text{ bar/m}$ D er indre diameter

D er indre diameter av ytre rør i annulus, d er ytre diameter av indre rør.

NB! Ligningene må ha input med volumstrøm Q i liter/min, relativ tetthet ρ_R (tetthet i forhold til vann), viskositet μ i cP, og diametre D og d i tommer. En får da friksjonstrykkfallet Δp_F i bar per meter.

Dyseformel: $v = \frac{Q}{A_D} = C_D \sqrt{\frac{2\Delta P_D}{\rho}}$ Standard verdi av dysefaktor: $C_D = 0.95$

Dysekraft: $F_D = \dot{m}v$ hvor \dot{m} er massestrøm: $\dot{m} = \rho Q$

For to forskjellige væsker (væske 1 og væske 2) som strømmer i samme rørsystem, men med forskjellig volumrate, spesielt nyttig ved kickberegninger:

Trykkfall ved strømning, rør og dyse: $\Delta P_{F2} = \frac{\rho_{R2}^{0.8} \mu_2^{0.2} Q_2^{1.8}}{\rho_{R1}^{0.8} \mu_1^{0.2} Q_1^{1.8}} \Delta P_{F1}$ $\Delta P_{D2} = \frac{\rho_{R2} Q_2^2}{\rho_{R1} Q_1^2} \Delta P_{D1}$

Kickberegninger av innstrømmet fluidtetthet:

$h_k = h_v + \frac{\Delta V_i + Q_m \Delta t_m - A_v h_v}{A_s}$ $\rho_i = \rho_m - \frac{P_A - P_B}{gh_k} \left(1 + \frac{Q_m \Delta t_m}{\Delta V_i} \right)$

Hydraulisk effekt: PQ Mekanisk effekt: Kv v er hastighet

Effektiv aksial kraft: $K_E = K_A - A_i P_i + A_o P_o$ K_A er reell aksial kraft

Ståltverrsnitt: $A_s = A_o - A_i = m/\rho_s$ Tverrsnittsrelasjon: $A_i = A_o - m/\rho_s$
 m er masse per meter av streng

Sikkerhetsfaktor SF for rør utsatt for effektivt aksialt strekk K_E , trykkforskjell ΔP mellom innside og utside, vridningsmoment M , samt bøyekraft K_S :

$\frac{1}{SF} = \sqrt{\frac{\Delta P^2}{P_Y^2} + \frac{(|K_E| + K_S)^2}{K_Y^2} + \frac{M^2}{M_Y^2}}$ hvor $|K_E|$ er absoluttverdi av effektiv aksial kraft

$K_S = EA_s \frac{D_o}{L} \frac{\pi\theta}{180^\circ}$ Vinkel θ er bøyevinkel av rør med diameter D_o over en lengde L

Avviksbrønn: Vekt fra vertikal brønnprojeksjon og friksjon fra horisontal projeksjon

Vedlegg 1
MECHANICAL PROPERTIES OF DRILL PIPES

Nominal diameter (in)	Nominal weight (lb/ft)	Class	Grade	Tensile yield strength (1) (10 ³ daN)	Torsional strength (2) (daN.m)	Burst pressure (3) (MPa)	Collapse pressure (3) (MPa)
5 1/2	24.70	I	E	221.3	7 670	68.5	72.1
			X95	280.3	9 720	86.5	89.1
			G105	309.8	10 740	95.8	96.5
			S135	398.3	13 810	122.9	117.5
		Premium	E	174.1	6 010	62.4	52.9
			X95	220.8	7 610	79.1	62.0
			G105	243.8	8 410	87.4	66.3
			S135	313.4	10 810	112.4	77.2
		II	E	151.0	5 200	54.6	41.7
			X95	191.3	6 590	69.2	48.0
			G105	211.4	7 290	76.5	50.5
			S135	271.9	9 370	98.3	58.0

Vedlegg 2
GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF DRILL PIPES

Nominal diameter (in)	Nominal weight (lb/ft)	Wall thickness (mm)	ID		Cross-section (mm ²)	Polar moment of inertia (mm ⁴)	Polar modulus (mm ³)	Upset and grade	Type of tool joint	Tool joint OD (mm)	Tool joint ID (mm)	Approximate weight including tool joint		
			(in)	(mm)								(kg/m)	(lb/ft)	
4 4 1/2 (114.30 mm)	14.00 20.00	8.78 10.92	3.340 3.640	85.81 92.46	3.141 3.547	9.581.665 16.765.8	167.658	IEU IEU IEU IEU IEU	G G G G S	NC50 (IF) NC46 (XH) FH H90 NC50 (IF) NC46 (XH)	101.0 158.0 152.4 152.4 169.3 158.8	80.0 63.5 63.5 76.2 76.2 57.2	32.88 33.84 33.25 37.59 34.31 34.28	22.09 22.81 22.35 21.90 23.06 22.98
5 (127 mm)	19.50 25.60	9.19 12.70	4.276 4.000	108.62 101.60	3.401 4.560	11.873.714 15.078.604	186.958 237.450	IEU IEU IEU IEU IEU IEU IEU IEU IEU IEU IEU	E E X X G G S S E E X X G S	NC50 (XH) 5 1/2 FH NC50 (XH) 5 1/2 FH NC50 (XH) 5 1/2 FH NC50 (XH) 5 1/2 FH NC50 (XH) 5 1/2 FH NC50 (XH) 5 1/2 FH NC50 (XH) 5 1/2 FH NC50 (XH) 5 1/2 FH	161.0 177.8 181.9 177.8 165.1 177.8 168.3 184.2 161.0 177.8 165.1 177.8 188.3 184.2 184.2	95.3 95.3 88.0 95.3 82.6 95.1 60.0 88.9 85.3 95.3 76.2 88.9 88.3 88.9 82.6	31.06 33.19 31.03 33.58 32.55 33.58 33.57 34.85 40.00 42.12 41.40 42.48 42.08 43.32 43.73	20.07 22.30 21.39 22.55 21.87 22.56 22.56 23.42 26.08 26.30 27.02 26.54 28.28 29.11 29.38
5 1/2 (139.70 mm)	21.90 24.70	9.17 10.54	4.770 4.670	121.36 118.62	3.760 4.277	16.096.385 17.955.483	230.442 257.058	IEU IEU IEU IEU IEU IEU IEU IEU IEU	E X G S E X G S	FH FH FH FH FH FH FH FH	177.0 177.0 184.2 180.5 177.0 184.2 184.2 184.2 190.6	101.6 95.3 80.0 70.2 101.6 88.0 88.0 76.2	36.40 36.33 37.59 38.24 35.18 41.26 41.20 42.94	23.70 24.41 26.28 26.27 26.31 27.76 27.75 28.86
6 5/8 (168.28 mm)	25.20	8.38	5.955	151.52	4.210	26.981.772	320.677	IEU	E	FH	203.2	127.0	40.63	27.30

Vedlegg 3

WEIGHT OF DRILL COLLARS (kg/m)

Size outside diameter		Inside diameter (in and mm)														
(in)	(mm)	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	2.8125	2.875	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00
2.875	73.0	25.40	31.75	38.10	44.45	50.80	57.15	63.50	69.85	71.44	73.03	76.20	82.55	88.90	95.25	101.60
3.000	76.2	31.8	38.1	44.4	50.7	57.0	63.3	69.6	75.9							
3.125	79.4	34.9	41.2	47.5	53.8	60.1	66.4	72.7	79.0							
3.250	82.6	38.0	44.3	50.6	56.9	63.2	69.5	75.8	82.1							
3.500	88.9	44.7	51.0	57.3	63.6	69.9	76.2	82.5	88.8							
3.750	95.3	52.0	58.3	64.6	70.9	77.2	83.5	89.8	96.1							
4.000	101.6	59.7	66.0	72.3	78.6	84.9	91.2	97.5	103.8							
4.125	104.8	63.0	69.3	75.6	81.9	88.2	94.5	100.8	107.1							
4.250	108.0	67.3	73.6	79.9	86.2	92.5	98.8	105.1	111.4							
4.500	114.3	76.2	82.5	88.8	95.1	101.4	107.7	114.0	120.3							
4.750	120.7	82.5	88.8	95.1	101.4	107.7	114.0	120.3	126.6							
5.000	127.0	91.4	97.7	104.0	110.3	116.6	122.9	129.2	135.5							
5.250	133.4	97.7	104.0	110.3	116.6	122.9	129.2	135.5	141.8							
5.500	139.7	104.0	110.3	116.6	122.9	129.2	135.5	141.8	148.1							
5.750	146.1	110.3	116.6	122.9	129.2	135.5	141.8	148.1	154.4							
6.000	152.4	116.6	122.9	129.2	135.5	141.8	148.1	154.4	160.7							
6.250	158.8	122.9	129.2	135.5	141.8	148.1	154.4	160.7	167.0							
6.375	161.9	125.0	131.3	137.6	143.9	150.2	156.5	162.8	169.1							
6.500	165.1	127.1	133.4	139.7	146.0	152.3	158.6	164.9	171.2							
6.625	168.3	129.2	135.5	141.8	148.1	154.4	160.7	167.0	173.3							
6.750	171.5	131.3	137.6	143.9	150.2	156.5	162.8	169.1	175.4							
7.000	177.8	137.6	143.9	150.2	156.5	162.8	169.1	175.4	181.7							
7.250	184.2	143.9	150.2	156.5	162.8	169.1	175.4	181.7	188.0							
7.500	190.5	150.2	156.5	162.8	169.1	175.4	181.7	188.0	194.3							
7.750	196.9	156.5	162.8	169.1	175.4	181.7	188.0	194.3	200.6							
8.000	203.2	162.8	169.1	175.4	181.7	188.0	194.3	200.6	206.9							
8.250	209.6	169.1	175.4	181.7	188.0	194.3	200.6	206.9	213.2							
8.500	215.9	175.4	181.7	188.0	194.3	200.6	206.9	213.2	219.5							
8.750	222.3	181.7	188.0	194.3	200.6	206.9	213.2	219.5	225.8							
9.000	228.6	188.0	194.3	200.6	206.9	213.2	219.5	225.8	232.1							
9.250	235.0	194.3	200.6	206.9	213.2	219.5	225.8	232.1	238.4							
9.500	241.3	200.6	206.9	213.2	219.5	225.8	232.1	238.4	244.7							
9.750	247.7	206.9	213.2	219.5	225.8	232.1	238.4	244.7	251.0							
10.000	254.0	213.2	219.5	225.8	232.1	238.4	244.7	251.0	257.3							

Vedlegg 4

GEOMETRIC CHARACTERISTICS AND MECHANICAL PROPERTIES OF CASINGS

Pipe body	1		2		3		4		5		6		7				
	Nominal size (OD)	13.375 in	339.7 mm	68.00 lb/ft	99.2 daN/m	0.480 in	12.2 mm	12.415 in	315.3 mm	19.44 in ²	12543 mm ²	6.29 gal/ft	78.10 l/m	7.30 gal/ft	90.65 l/m		
Tensile strength (10 ³ daN)	2	Nominal weight	13.375 in	339.7 mm	72.00 lb/ft	105.1 daN/m	0.514 in	13.1 mm	12.347 in	313.6 mm	20.77 in ²	13403 mm ²	6.22 gal/ft	77.24 l/m	7.30 gal/ft	90.65 l/m	
	3	Wall thickness															
	4	Inside diameter															
	5	Steel cross-section															
	6	Capacity															
	7	Displacement (2)															
	8	Grade (3)															
	9	Collapse resistance (MPa)															
	10	Internal yield pressure (MPa)															
	11	Pipe body yield strength (10 ³ daN)															
	12	Bulltress Slot/Normal Grade	K55	C75	L80	N80	C90	C95	P110	Q125	K55	C75	L80	N80	C90	C95	P110
13	Bulltress Slot/High Grade (4)	13.4	15.3	15.8	15.6	16.0	16.1	16.1	16.1	15.4	17.9	18.4	18.4	19.2	19.5	19.9	19.9
14	Bulltress SC/Normal Grade	23.8	32.5	34.6	34.6	39.0	41.1	47.6	54	25.5	34.8	37.1	37.1	41.7	44.1	51.0	58.0
15	Bulltress SC/High Grade	476	649	692	692	778	822	951	1081	508	693	739	739	832	878	1016	1155
16	API STC																
17	API LTC																

$$\frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{313.6 \text{ mm}}{1000} \right)^2 = 0,07723 + 0,013403$$

TABLE OF COEFFICIENTS N_3 (continued)
Calculation of pressure losses in drill collars $p_{int} = N_3 B$ (kPa/100 m)

Inside diameter of drill collars	(in)	1 1/2	1 3/4	2	2 1/4	2 1/2	2 3/4	2 13/16	3	3 1/4	3 1/2
	(mm)	38.10	44.45	50.80	57.15	63.50	69.85	71.44	76.20	82.55	88.90
100	83	30	16	9	5	3	3	2	2	1	
150	131	82	33	19	11	7	6	5	5	2	
200	220	105	55	31	19	12	11	8	8	3	
250	328	157	82	47	28	18	16	12	12	5	
300	458	217	115	65	39	25	22	16	16	8	
350	601	287	151	88	52	33	29	22	22	11	
400	765	385	192	109	66	42	37	27	27	15	
450	945	515	238	135	81	52	46	34	34	19	
500	1143	645	287	163	98	62	56	41	41	23	
550	1356	847	341	194	117	74	68	49	49	28	
600	1586	1097	399	227	137	86	78	57	57	33	
650	1832	1374	461	262	158	100	90	66	66	39	
700	2094	1677	526	299	180	114	102	75	75	45	
750	2371	1997	596	339	204	129	116	85	85	51	
800	2663	2343	669	380	229	145	130	98	98	58	
850	2970	2715	746	424	256	162	145	107	107	65	
900	3291	3113	827	470	283	179	161	118	118	73	
950	3628	3537	912	518	312	198	178	130	130	80	
1000	3979	3987	1000	568	343	217	195	143	143	89	
1050	4344	4464	1092	620	374	237	213	156	156	97	
1100	4723	4969	1187	675	407	257	231	170	170	106	
1150	5117	5499	1286	731	441	279	250	184	184	115	
1200	5524	6054	1389	789	476	301	270	198	198	125	
1250	5945	6633	1494	849	512	324	291	213	213	135	
1300	6380	7236	1604	911	549	348	312	228	228	145	
1350	6829	7863	1716	975	588	372	334	245	245	156	
1400	7291	8514	1833	1041	628	397	357	262	262	167	
1450	7766	9189	1952	1109	669	423	380	279	279	178	
1500	8255	9897	2075	1179	711	450	404	296	296	189	
1550	8757	10638	2201	1251	754	477	428	314	314	199	
1600	9271	11413	2330	1324	799	505	454	333	333	209	
1650	9790	12222	2463	1399	844	534	480	352	352	219	
1700		13065	2599	1477	891	564	506	371	371	229	
1750		13942	2738	1556	938	594	533	391	391	239	
1800		14853	2881	1637	987	625	561	411	411	249	
1850		15798	3026	1720	1037	656	589	432	432	259	
1900		16777	3175	1804	1088	689	618	453	453	269	
1950		17790	3327	1890	1140	722	648	475	475	279	
2000		18837	3482	1979	1193	755	678	497	497	289	
2050		19918	3641	2068	1247	789	709	520	520	299	
2100		21033	3802	2160	1303	824	740	543	543	309	
2150		22182	3967	2254	1359	860	772	566	566	319	
2200		23365	4134	2349	1417	896	805	590	590	329	
2250		24582	4305	2446	1475	933	838	615	615	339	
2300		25833	4479	2545	1535	971	872	640	640	349	
2350		27118	4655	2645	1595	1009	906	665	665	359	
2400		28437	4835	2747	1657	1048	941	691	691	369	
2450		29790	5018	2851	1719	1088	977	717	717	379	
2500		31177	5204	2957	1783	1128	1013	743	743	389	
2550		32598	5393	3064	1848	1169	1050	770	770	399	
2600		34053	5584	3173	1913	1211	1087	798	798	409	
2650		35542	5779	3284	1980	1253	1125	825	825	419	
2700		37065	5977	3396	2048	1296	1164	854	854	429	
2750		38622	6178	3510	2117	1340	1203	882	882	439	
2800		40213	6381	3626	2186	1384	1242	911	911	449	
2850		41838	6588	3743	2257	1429	1282	941	941	459	
2900		43497	6797	3862	2329	1474	1323	971	971	469	
2950		45190	7010	3983	2402	1520	1365	1001	1001	479	
3000		46917	7225	4105	2476	1567	1407	1032	1032	489	
3050		48678	7443	4229	2550	1614	1449	1063	1063	499	
3100		50473	7664	4355	2626	1662	1492	1095	1095	509	
3150		52292	7888	4482	2703	1711	1536	1127	1127	519	
3200		54135	8115	4611	2781	1760	1580	1159	1159	529	
3250		56002	8345	4741	2859	1810	1624	1192	1192	539	
3300		57893	8577	4873	2939	1860	1670	1225	1225	549	
3350		59808	8813	5007	3020	1911	1715	1259	1259	559	
3400		61747	9051	5142	3101	1963	1762	1293	1293	569	
3450		63710	9292	5279	3184	2015	1809	1327	1327	579	
3500		65697	9536	5418	3267	2068	1856	1362	1362	589	
3550		67708	9782	5558	3352	2121	1904	1397	1397	599	
3600		69743		5700	3437	2175	1953	1433	1433	609	
3650		71802		5843	3524	2230	2002	1468	1468	619	
3700		73885		5988	3611	2285	2052	1505	1505	629	
3750		75992		6134	3699	2341	2102	1542	1542	639	
3800		78123		6282	3789	2398	2152	1579	1579	649	
3850		80278		6432	3878	2455	2204	1617	1617	659	
3900		82457		6583	3970	2512	2256	1655	1655	669	
3950		84660		6736	4062	2571	2308	1693	1693	679	
4000		86887		6890	4155	2630	2361	1732	1732	689	

l/min × 0.264 = gal/min