

DET TEKNISK – NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

TYPEKSAMEN I Boring

OPPGAVE 1 Borestrengsbelastning

En vertikal brønn skal bores nedover til 2700 m under boredekket på en fast plattform (brønnehodet står rett under boredekket). Boreslamtetthet er 1260 kg/m^3 . Det er tilgjengelig 5" (tommer (inch)), 19.50 lb/ft, premium grad X95 borerør, med kobling NC50 (XH), Fra tabell: $m_s = 31.83 \text{ kg/m}$ $K_Y = 1756 \text{ kN}$, $M_Y = 55.40 \text{ kNm}$, $P_Y = 758 \text{ bar}$, $D_i = 4.276''$. Det skal brukes 8.25" vektør, med en vekt på 250.6 kg/m, inder diameter $D_i = 2.25''$.

- a) En ønsker mulighet for en trykk-kraft fra borekrona ned mot formasjonen på minst 170 kN (WOB). En regner med at dysekraften aldri vil overstige 8 kN.
Hvor lang må vektørseksjonen minst være når gjeldende sikkerhetsforskrifter skal følges (minst 1/3 av vektørseksjonen skal være i strekk)?
- b) Ut fra resultatet i a) velges en vektørseksjon (BHA) på 140 m, noe lengre enn beregnet.
 1. Hva er maksimal aksial belastning av borestrengen før slamsirkulasjon starter?
 2. Hva er sikkerhetsfaktor mot flyt?
- c) Ved boring brukes et slampumpetrykk på maksimalt 320 barg. Borekrona krever et dreiemoment på 6 kNm når WOB = 170 kN. Beregnet dysekraft er 7 kN. En krever en sikkerhetsfaktor mot flyt på minst SF = 1.5 under boring.
Hva er maksimum friksjonsmoment mellom borestrengen og brønnveggen som en nå kan ha?
- d)
 1. Løpeblokka har 6 trinser ($n = 12$), friksjonsfaktor er $k_T = 1.041$, og masse av løpeblokk og løfteutstyr er 4800 kg. Hva blir største strekk i heisekabel (i tårnet) under løfting av borestreng ved tripping ut av brønnen fra 2700m dybde?
 2. Hvor stor effekt yter motor på heisespillet når en måler at borestrengen løftes ut med en hastighet på 54 m/min fra full dybde (2700 m)? Overføringseffektivitet av energi fra motor til heisekabel inn på trommel er 0.74.

OPPGAVE 2 Pumping

For boring av brønnen i oppgave 1 ønskes en slamsirkulasjons-rate på minst 2800 liter/min. Friksjonstrykkfallet fra slampumpa til toppen av borestrengen og friksjonstrykkfallet i annulus er til sammen 12 bar. Brønndata: Vertikal brønn, dybde 2700m, lengde av vektrørsseksjon 140 m. Slamdata: tetthet 1260 kg/m^3 , viskositet 19 cP.

- a) Hva blir friksjonstrykkfallet inne i borestrengen, fra toppen og ned til dysene i borekrona?
- b) En vil ha en slamhastighet på 100 m/s ut av de tre dysene i borekrona, noe som er vurdert å være nok til å spyle ren bunnen av hullet for borekaks under boring. Dysefaktoren er 0.95.
 1. Hvor stort samlet tverrsnittsareal (på hullene) på de tre dysene må en ha?
 2. Hvor stor dysekraft gir dette?
- c)
 1. Hvor stort dysetrykkfall får en nå?
 2. Er dette en optimalisering av hydraulisk effekt i dysene?
 3. Med tre like dyser, hvilket dysenummer må en velge på dysene for å få en slamstråle på minst 100 m/s ut av dysene (dysenummer angir indre dysediameter i antall hele 1/32 tommer)?

En har tilgjengelig triplex slampumper med følgende data:

Slaglengde:	12" (tommer)	Volumeffektivitet:	0.98
Elektrisk effekt inn:	1800 kW	Mekanisk pumpeeffektivitet:	0.85
Topp hastighet:	120 slag/min	Transmisjonseffektivitet:	0.82
Foringer:	5, 5.5, 6, 6.5, 7 og 7.5"	Elektrisk motoreffektivitet:	0.93

Slampumpesystemet må kunne levere minst 2800 liter/min ved minst 320 barg.

- d)
 1. Hvilken foring bør en velge for slampumpa?
- e)
 1. Hva blir da 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?

OPPGAVE 3 Dimensjonering av foringsrør

Etter å ha boret ned til 2700m under brønnehodet (på en fast plattform) i den vertikale brønnen i oppgave 1 og 2 skal en sette 10.750" foringsrør. En skal fortsette med samme slamtetthet (1260 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, 1.3 mot sprengning, og 1.2 mot kollaps.

Gjennomsnittlig gasstetthet i brønnen ved gasskick kan regnes til 380 kg/m^3 ("worst case": metan med maks. temp.). Når slam står lenge kan det degenerere (vektstoff faller ut) til en

tetthet på 1025 kg/m^3 , dette er også tetthet av sjøvann i området. En har ikke fått målt fraktureringstrykk ved bunnen av foringsrøret, og bruker en "worst case" beregning.

- a) Gjennomsnittlig tetthet av bergartene nedover i jorda er 2600 kg/m^3 . Brønnhodet er 90 m over havbunnen, sjøen er 50 m dyp. Vis at absolutt største mulige fraktureringstrykk ved bunnen av foringsrøret er 670.7 bar.
- b)
 1. Finn maksimum sprengningstrykk ved en mulig gasskicksituasjon.
 2. I hvilken dybde er det størst belastning på foringsrøret (kort begrunnelse)?
- c)
 1. Finn maksimum kollapstrykk ved mulig frakturering og tap av slam til lavtryks-sone.
 2. I hvilken dybde er det størst belastning (kort begrunnelse)?

Ved sementering brukes sementpasta med tetthet 1880 kg/m^3 . Pumpevæske (etter sement) er slam med tetthet 1260 kg/m^3 . Det skal sementeres (i annulus) opp til 1900m over bunnen av foringsrøret. 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, før den pumpes ut i annulus.

Data for aktuelle foringsrør, ståltype Q125, 10.750" O.D., de tre tyngste typene (areal inni er indre tverrsnittsareal, målt i liter per m = 0.001 m^2):

Vekt (N/m)	Spreng. trykk (bar)	Kollapstrykk (bar)	Aksial belast. (kN)	Areal inni (lit/m)
959	835	546	10550	50.17
886	764	418	9710	51.18
810	694	334	8770	52.63

- d)
 1. Beregn maksimum sprengnings og kollapstrykk ved sementering.
 2. I hvilke dybder er belastningen størst?
 3. Hva blir nå dimensjonerende sprengnings- og kollaps-trykk?
 4. Finn det letteste foringsrøret som tilfredsstill trykk-kravene.
 5. Beregn sikkerhetsfaktorene mot sprengning og kollaps.
- e)
 1. Finn største aksiale belastning og sikkerhetsfaktor mot avrivning etter sementering (etter at sementen er plassert på utsiden av foringsrøret og størknet).
 2. Beregn største aksiale belastning og sikkerhetsfaktor mot avrivning under sementering (i løpet av den tiden sementen pumpes ned og plasseres). Hva er dimensjonerende her, 1. eller 2.?

OPPGAVE 4 Gasskick i vertikal brønn

I brønnen i oppgave 1, 2 og 3 (nå boret videre ned til 2900m under boredekket) begynner nivået i returtank for boreslam å stige. Pumperate av slam er nå 2600 l/min , slamtetthet er 1260 kg/m^3 , og viskositet er 19 cP . Det er tydelig at en kick er på gang og slampumpe stanses og BOP stenges. Etter stabilisering av trykk er det 29 barg på toppen, inne i borestrengen, og 41.5 barg i annulus, rett under BOP.

Indre volum av hele borestrengen (borerør og vektrør):	25.9 m^3
Volum av hele annulus (mellom borestreng og foringsrør/brønn):	134 m^3

- a) **1.** Hva er trykket i bunnen av brønnen nå, etter at BOP er stengt?
En ønsker en overtrykksmargin (sikkerhetsmargin) på 7 bar i bunnen av brønnen under utsirkulering og under videre boring.
2. Hvor stor tetthet må drepeslam ha?

Drepeslammet som blandes opp har en viskositet på 16 cP. Rett før kick ble oppdaget var, (ved 2600 l/min), dysetrykket 81 bar. En velger ”**wait and weigh**” metode for utsirkulering av innstrømmet reservoarfluid. Ved utsirkulering er slamraten på 900 liter/min. I det utsirkulering starter øker trykket på toppen av borestrengen fra 29 barg til 60.4 barg.

- b) **1.** Hvor lang tid tar det å sirkulere ut borestrengen? **2.** Hele brønnen?
- c) **1.** Beskriv kvalitativt hvordan trykket på toppen av borestrengen reguleres under utsirkulering av innstrømmet reservoarfluid. (Tallverdier kreves ikke her, men du kan bruke resultatene i d) i forklaringen).
2. Beskriv kvalitativt hvordan trykket på toppen av annulus forandrer seg under utsirkulering av reservoarfluid (vil det for eksempel øke eller avta).
- d) **1.** Hva er trykket på toppen av borestrengen etter at drepeslam har fylt hele borestrengen unntatt dysene?
2. Hvor stort er trykket på toppen av borestrengen under utsirkulering av annulus, etter at drepeslam også har fylt dysene?

FORMLER UTLEVERT VED EKSAMEN

Standardverdier: Omregningsfaktor fra tommer til meter: **0.0254 meter/tomme**
 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:

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

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

Bøyekraft K_S beregnes av: Formel for SF kan gi noe mindre verdi enn den reelle

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

Avviksbrønn: Vekt fra vertikal brønnprojeksjon og friksjon fra horisontal projeksjon