

OPPGAVE 1 Borestrengsbelastning

En vertikal brønn skal bores nedover til 2700 m under boredekket på en fast plattform (brønnhodet 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). Det skal brukes 8.25" vektør, med en vekt på 250.6 kg/m .

- 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)?

$$\text{Effektiv aksial kraft nøytralpunkt: } K_E = m_v g h_N \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho_s} \right) - K_B - K_D = 0$$

Løst med hensyn på høyde h_N fra bunn til nøytralpunkt:

$$\frac{2}{3} h_v = h_N = \frac{K_B + K_D}{m_v g \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho_s} \right)} = \frac{(170 + 8) \cdot 10^3}{250.6 \cdot 9.81 \left(1 - \frac{1260}{7850} \right)} = 86.249 \Rightarrow h_v = \frac{3}{2} h_N = 129.374 \text{ m}$$

- 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?

Fra tabell: $m_s = 31.83 \text{ kg/m}$ $K_Y = 1756 \text{ kN}$ $M_Y = 55.40 \text{ kNm}$ $P_Y = 758 \text{ bar}$

$$K_A = (m_s (h - h_v) + m_v h_v) g \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho_s} \right) = (31.83(2700 - 140) + 250.6 \cdot 140) 9.81 \left(1 - \frac{1260}{7850} \right) = 959.991 \text{ kN}$$

2. Hva er sikkerhetsfaktor mot flyt? $SF = \frac{K_Y}{K_A} = \frac{1756}{959.991} = 1.829$

- 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?

På toppen av borestrengen er det (tilnærmet) slampumpetrykk på innsiden og null trykk på utsiden: Sprengningstrykk: $\Delta P = P_P - 0 = 320 \text{ bar}$

Effektiv aksial kraft under

boring og pumping er: $K_E = K_A - K_B - K_D = 959.991 - 170 - 7 = 782.991 \text{ kN}$

$$M_R = M_Y \sqrt{\frac{1}{SF^2} - \left(\frac{K_E}{K_Y} \right)^2 - \left(\frac{\Delta P}{P_Y} \right)^2} = 55.40 \sqrt{\frac{1}{1.5^2} - \left(\frac{782.991}{1756} \right)^2 - \left(\frac{320}{758} \right)^2} = 14.383 \text{ kNm}$$

Siden borekrona krever 6 kNm blir det $14.383 - 6 = 8.383 \text{ kNm}$ igjen til friksjon.

- c) 1. Løpeblokka har 6 trinser ($n = 12$), friksjonsfaktor er $\mu_r = 1.041$, 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?

$$F_F = \frac{k_T - 1}{1 - k_T^{-12}} (Mg + K_A) = \frac{1.041 - 1}{1 - 1.041^{-12}} (4800 \cdot 9.81 \cdot 10^{-3} + 959.991) \text{ kN} = 107.930 \text{ kN}$$

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.

$$\dot{E}_M = \frac{F_F n v}{\eta} = \frac{107.930 \cdot 12 \cdot (54/60)}{0.74} \text{ kW} = 1575.195 \text{ kW}$$

Svaret i kW fordi kraften er i kN. Hastighet i m/min må gjøres om til m/s.

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 vektrørseksjon 140 m. Slamdata: tetthet 1260 kg/m³, viskositet 19 cP.

- a) Hva blir friksjonstrykkfallet inne i borestrengen, fra toppen og ned til dysene i borekrona?
Fra tabell: ID kobling = 88.9 mm = 3.5" $N_2 = 184$ $N_3 = 3626$

$$\Delta P_F = (N_2(h - h_v) + N_3 h_v) 10^{-4} \rho_m^{0.8} \mu_m^{0.2} = (184(2700 - 140) + 3626 \cdot 140) 10^{-4} 1.26^{0.8} 19^{0.2} \\ = 212.172 \text{ bar}$$

- 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?

$$A_D = \frac{Q_m}{v_D} = \frac{(2800/60000)}{100} = 4.66667 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

2. Hvor stor dysekraft gir dette?

$$K_D = \dot{m} v_D = Q_m \rho_m v_D = (2800/60000) 1260 \cdot 100 = 5880 \text{ N} = 5.880 \text{ kN}$$

- c) 1. Hvor stort dysetrykkfall får en nå? Av $v_D = C_D \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_m}}$

$$\Delta P_D = \frac{v_D^2 \rho_m}{2 C_D^2} = \frac{100^2 1260}{2 \cdot 0.95^2} = 69.806 \text{ bar}$$

2. Er dette en optimalisering av hydraulisk effekt i dysene?

For optimalisering av hydraulisk dysekraft må dysetrykkfallet være godt over det totale friksjonstrykkfallet, som her er $212.172 + 12 = 224.172$ bar. Det aktuelle dysetrykkfallet er bare i underkant av 70 bar, så dette er langt fra å være en optimalisering.

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 dyse har et tverrsnittsareal på $4.667/3 \text{ cm}^2 = 1.555 \text{ cm}^2$.

$$d_D = \sqrt{\frac{4A_D/3}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1.555}{\pi}} = 1.4073 \text{ cm} = \frac{1.407}{2.54} \text{ inch} = 0.5541" = \frac{17.73}{32} \text{ inch}$$

Dette er altså en dyse nummer 17.73, men siden de bare finnes i hele tall, må en gå ned til dyse nummer 17. Går en opp til nummer 18 vil hastigheten på slamstrålen være litt under 100 m/s, større dyse gir mindre hastighet.

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?

Av $Q_m = 3\eta_V \frac{\pi}{4} D^2 L n$ og $Q_m P = \eta_V \eta_M \eta_T \eta_E \dot{E}_E$ får en, ved å løse med hensyn på D:

$$D = \sqrt{\frac{4\eta_V \eta_M \eta_T \eta_E \dot{E}_E}{3\pi \eta_V L n P}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.98 \cdot 0.85 \cdot 0.82 \cdot 0.93 \cdot 1800 \cdot 10^3}{3\pi \cdot 0.98 \cdot 12 \cdot 0.0254 \cdot (120/60) \cdot 320 \cdot 10^5}} = 0.1593276 \text{ m} = 6.27''$$

Siden trykket blir mindre enn 320 barg hvis en går opp i foringsdiameter, må en velge D = 6".

- e) 1. Hva blir da maksimal volumrate levert fra slampumpa?

$$Q_m = 3\eta_V \frac{\pi}{4} D^2 L n = 3\pi \cdot 0.98 \cdot 6^2 \cdot 12 \cdot 0.0254^3 \cdot 120 = 1.961568 \text{ m}^3/\text{min} = 1961.6 \text{ l/min}$$

2. Hva blir maksimalt pumpetrykk?

$$P = \frac{\eta_V \eta_M \eta_T \eta_E \dot{E}_E}{Q_m} = \frac{0.98 \cdot 0.85 \cdot 0.82 \cdot 0.93 \cdot 1800 \cdot 10^3}{1.9616/60} = 34975359.7 \text{ Pa} = 349.754 \text{ bar}$$

3. Klarer en seg med en slampumpe, eller må en bruke flere, og i så fall hvor mange?

Her må en ha to pumper: $2800/1961.6 = 1.427 > 1$

OPPGAVE 3 Dimensjonering av foringsrør

Etter å ha boret ned til 2700m under brønnhodet (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 lavtryks-soner 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 frakturerings-trykk ved bunnen av foringsrøret er 670.7 bar.

Høyde fra havbunn ned til bunn av foringsrør: $h_B = 2700 - 90 = 2610 \text{ m}$

Overlagringstrykk ved bunn foringsrør:

$$P_O = \rho_B g h_B + \rho_W g h_W = (2600 \cdot 9.81 \cdot 2610 + 1025 \cdot 9.81 \cdot 50) 10^{-5} = 670.73 \text{ barg}$$

Fraktureringstrykk er alltid mindre enn overlagringstrykk, så $P_F \leq P_O = 670.73 \text{ barg}$

- b) 1. Finn maksimum sprengningstrykk ved en mulig gasskicksituasjon.

Maksimum på toppen, se 2.

$$\Delta P_S = P_i - P_o = (P_F - \rho_G gh) - 0 = 670.73 - 380 \cdot 9.81 \cdot 2700 \cdot 10^{-5} = 570.079 \text{ bar}$$

2. I hvilken dybde er det størst belastning på foringsrøret (kort begrunnelse)?

Hvis vi går nedover fra toppen vil trykket inni foringsrøret øke på grunn av vekten av gassen over. Men trykket på utsiden av røret, hvor vi regner med at det er slam ("worst case"), vil øke mer. Trykkforskjellen mellom innside og utside vil derfor avta. I bunnen er for eksempel sprengningstrykket:

$$\Delta P_{SB} = P_i - P_o = P_F - \rho_m gh - 0 = 670.73 - 1260 \cdot 9.81 \cdot 2700 \cdot 10^{-5} = 336.994 \text{ bar}$$

Det er derfor størst sprengningsbelastning på toppen av foringsrøret.

- c) 1. Finn maksimum kollapstrykk ved mulig frakturering og tap av slam til lavtrykks-sone.

Her renner slam inni foringsrøret ut i brønnen som bores videre nedover så toppen av slam inni synker ned til 0.4h, mens på utsiden står det slam som ble brukt da røret ble satt ned ("worst case", totalt mislykket sementering). Det gir et maksimalt kollapstrykk i dybden $0.4h = 0.4 \cdot 2700 \text{ m} = 1080 \text{ m}$:

$$\Delta P_C = P_o - P_i = \rho_m g 0.4h - 0 = 1260 \cdot 9.81 \cdot 0.4 \cdot 2700 \cdot 10^{-5} = 133.494 \text{ bar}$$

2. I hvilken dybde er det størst belastning (kort begrunnelse)?

Over denne høyden er det mindre trykk på utsiden og fremdeles null på innsiden (luft), lengre nedover er det slam både på innside og utside, og av samme tetthet, så her forandrer ikke trykkforskjellen seg med dybden. Det er derfor størst kollapstrykk fra 1080 m og ned til bunnen av foringsrøret.

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.

Sementslurry inni hele røret og slam på utsiden. Sprengningstrykket blir:

$$\Delta P_S = P_i - P_o = \rho_c gh - \rho_m gh = (1880 - 1260) 9.81 \cdot 2700 \cdot 10^{-5} = 164.219 \text{ bar.}$$

Slam på innsiden (pumpevæske) og sementslurry på utsiden fra bunn og opp til 1900m høyde, deretter slam:

$$\Delta P_C = P_o - P_i = \rho_c gh_c + \rho_m g(h - h_c) - \rho_m gh = (\rho_c - \rho_m) gh_c = (1880 - 1260) 9.81 \cdot 1900 \cdot 10^{-5} \text{ bar} = 115.562 \text{ bar}$$

2. I hvilke dybder er belastningen størst?

Trykkforskjell øker hele veien nedover, størst sprengnings og kollapsbelastning i bunnen.

3. Hva blir nå dimensjonerende sprengnings- og kollaps-trykk?

Belastning ved sementering er mindre enn ved gasskick og tap av boreslam, dimensjonerende belastning blir:

Sprengning, $\Delta P_S = 570.079 \text{ bar}$. Kollaps, $\Delta P_C = 133.494 \text{ bar}$.

4. Finn det letteste foringsrøret som tilfredsstiller trykk-kravene.

For å sammenligne direkte med tabell multipliseres sikkerhetsfaktorene inn:

$$\Delta P_{ST} = SF_S \Delta P_S = 1.3 \cdot 570.079 \text{ bar} = 741.103 \text{ bar.}$$

$$\Delta P_{CT} = SF_C \Delta P_C = 1.2 \cdot 133.494 \text{ bar} = 160.193 \text{ bar.}$$

De foringsrørene som er sterke nok er de to første i tabellen over, av disse er nr. 2 lettest (886 N/m). Det røret som velges er altså 10.750", 886 N/m, grad Q125.

5. Beregn sikkerhetsfaktorene mot sprengning og kollaps.

$$\text{Sprengning: } SF_S = \frac{P_{YS}}{\Delta P_S} = \frac{764}{570.079} = 1.340 \quad \text{Kollaps: } SF_C = \frac{P_{YC}}{\Delta P_C} = \frac{418}{133.494} = 3.131$$

- e) 1. Finn største aksiale belastning og sikkerhetsfaktor mot avrivning etter sementering (etter at sementen er plassert på utsiden av foringsrøret og størknet).

Det går nå lang tid, og slam på utsiden degenererer til en tetthet på bare 1025 kg/m³ ("worst case", sementering mislykket; bare slam på utsiden). Dette gir aksial belastning:

$$K_A = m_F g h \left(1 - \frac{\rho_{mD}}{\rho_s} \right) = 886 \cdot 2700 \left(1 - \frac{1025}{7850} \right) 10^{-3} = 2079.8 \text{ kN}$$

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.?

Det sementeres (vanligvis) rett etter at foringsrøret er satt ned, dermed har ikke slam på utsiden rukket å degenerere. Men nå får en i tillegg en aksial belastning på grunn av ekstra vekt i røret på grunn av at det er fylt med sement som er tyngre enn boreslam. Ved beregning av aksial belastning antas at røret er fylt med samme væske som på utsiden, det er derfor tetthetsforskjellen mellom sement og slam som nå gir den ekstra vektbelastningen:

$$K_A = m_F g h \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho_s} \right) + (\rho_c - \rho_m) g A_A h = \quad \text{Merk: } m_F g = 886 \text{ N/m}$$

$$\left(886 \cdot 2700 \left(1 - \frac{1260}{7850} \right) + (1880 - 1260) 9.81 \cdot 51.18 \cdot 10^{-3} 2700 \right) \cdot 10^{-3} = 2848.7 \text{ kN}$$

Uttrykket i parentes gir aksial kraft på toppen i N, derfor multipliseres den med 10⁻³ for å få kN. Aksial belastning under sementering er størst og derfor dimensjonerende.

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/m³, 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?

$$P_R = P_B + \rho_m g h = 29 + 1260 \cdot 9.81 \cdot 2900 \cdot 10^{-5} = 387.457 \text{ bar}$$

En ønsker en overtrykkmargin (sikkerhetsmargin) på 7 bar i bunnen av brønnen under utsirkulering og under videre boring.

2. Hvor stor tetthet må drepeslam ha?

$$\rho_D gh = P_R + \Delta P_S \Rightarrow \rho_D = \frac{P_R + \Delta P_S}{gh} = \frac{(387.457 + 7) \cdot 10^5}{9.81 \cdot 2900} = 1386.54 \text{ kg/m}^3$$

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. Idet 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?

$$\text{Brønnen: } \Delta t_S = \frac{V_S}{Q_D} = \frac{25.9}{900/1000} = 28.778 \text{ min} = 28 \text{ min } 46.7 \text{ sek}$$

$$\text{Annulus: } \Delta t_A = \frac{V_S}{Q_D} = \frac{134}{900/1000} = 148.889 \text{ min} = 148 \text{ min } 53.3 \text{ sek}$$

$$\text{Hele brønnen: } \Delta t = \Delta t_S + \Delta t_A = 28.778 + 148.889 = 177.667 \text{ min} = 177 \text{ min } 40 \text{ sek}$$

- 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).

En regulerer trykket på toppen av borestrengen ved å åpne/lukke utløpsventil på toppen av annulus, rett under BOP. Etter trykkhopp til 60.4 barg holdes utløpsventil stengt til det har steget til 67.4 barg for å få sikkerhetsmarginen på 7 bar nede i brønnen. Trykkhoppet fra 29 til 60.4 barg skyldes strømningsfriksjon i borestrengen og dysetrykkfall, og påvirker ikke trykket nederst i brønnen. Etter som drepeslam fyller strengen øker statisk trykk av slam i strengen, dermed må trykket på toppen reguleres ned for å holde konstant trykk i bunnen. En regulerer lineært ned mot beregnet trykk med bare drepeslam i strengen (men tidligere slam i dysene) slik at en når dette trykket når beregnet tid på å fylle strengen har gått (28.778 min). Når drepeslam når dysene øker dysetrykkfallet litt, en ser en rask trykkstigning på toppen som ikke reguleres bort. Nå holdes trykket konstant til hele brønnen er sirkulert ut.

2. Beskriv kvalitativt hvordan trykket på toppen av annulus forandrer seg under utsirkulering av reservoarfluid (vil det for eksempel øke eller avta).

Når reservoarfluid (olje/gass) pumpes oppover i annulus mot lavere trykk utvider gassen seg og olje gasser av. Dette gir mindre gjennomsnittlig tetthet av fluid i annulus og siden trykket i bunnen holdes konstant øker trykket på toppen. Dette fortsetter til reservoarfluid når toppen og strømmer ut gjennom reguleringsventil, da synker trykket til all reservoarfluid er ute, også alt tidligere slam. Brønnen er nå fylt med drepeslam, og når slampumpa stanses skal trykket både på toppen av borestrengen og annulus synke til null og BOP kan åpnes.

- d) 1. Hva er trykket på toppen av borestrengen etter at drepeslam har fylt hele borestrengen unntatt dysene?

Opgitt dysetrykk ved 2600 l/min, tidligere slam (81 bar), ved 900 l/min, fremdeles

$$\text{tidligere slam: } \Delta P_{Dm} = \frac{Q_D^2}{Q_m^2} \Delta P_D = \frac{900^2}{2600^2} 81 = 9.7056 \text{ bar}$$

Friksjonstrykkfallet i borestrengen med tidligere slam, som det ennå er der når pumping med drepeslam starter:

$$\Delta P_{Fm} = (60.4 - 29) - \Delta P_{Dm} = 31.4 - 9.7056 = 21.6944 \text{ bar}$$

Når drepeslam erstatter tidligere slam i borestrengen forandres dette til:

$$\Delta P_{FD} = \frac{\rho_D^{0.8} \mu_D^{0.2}}{\rho_m^{0.8} \mu_m^{0.2}} \Delta P_{Fm} = \frac{1386.54^{0.8} 16^{0.2}}{1260^{0.8} 19^{0.2}} 21.6944 = 22.6293 \text{ bar}$$

Når drepeslam fyller strengen (men ikke dysene) skal det være null trykk på toppen når pumping stoppes, med 7 bar over reservoartrykk i bunnen. Trykket på toppen med pumping (dreperate) er da bare friksjonstrykkfall (22.6293 bar) pluss dysetrykkfall (9.7056 bar), til sammen 32.3349 bar. Dette er trykket en må regulere mot over tiden 28.778 min.

2. Hvor stort er trykket på toppen av borestrengen under utsirkulering av annulus, etter at drepeslam også har fylt dysene?

Når drepeslam fyller dysene øker dysetrykkfallet til:

$$\Delta P_{DD} = \frac{\rho_D}{\rho_m} \Delta P_{Dm} = \frac{1386.54}{1260} 9.7056 = 10.6803 \text{ bar}$$

Dermed hopper trykket på toppen av borestrengen fra 32.3349 bar til:

$$P_{BA} = \Delta P_{FD} + \Delta P_{DD} = 22.6293 + 10.6803 = 33.3096 \text{ bar}$$

Trykket på toppen av borestrengen holdes konstant lik dette trykket mens annulus sirkuleres ut, til hele brønnen er fylt med drepeslam og slampumpe stanses. BOP kan nå åpnes og boring fortsette.

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: $\Delta p_F = \frac{\rho_R^{0.8} \mu^{0.2} Q^{1.8}}{90163 D^{4.8}} \text{ bar/m}$

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

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

Avviksbrønn: Vekt fra vertikal brønnprojeksjon og friksjon fra horisontal projeksjon