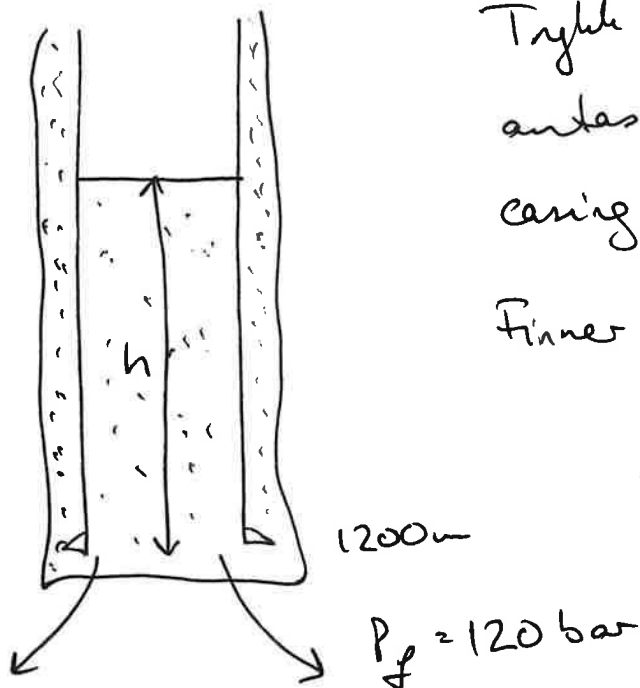


1. a)



Tryk : bunnen av gropen
antas gitt av slankhøyden inni
casing: $P_{sh} = \rho_m g h$.

Finnes h ved å være $P_{sh} = P_f$:

$$\underline{h = \frac{P_f}{\rho_m g} = 941 \text{ m}}$$

Kollapsbelastning på

på

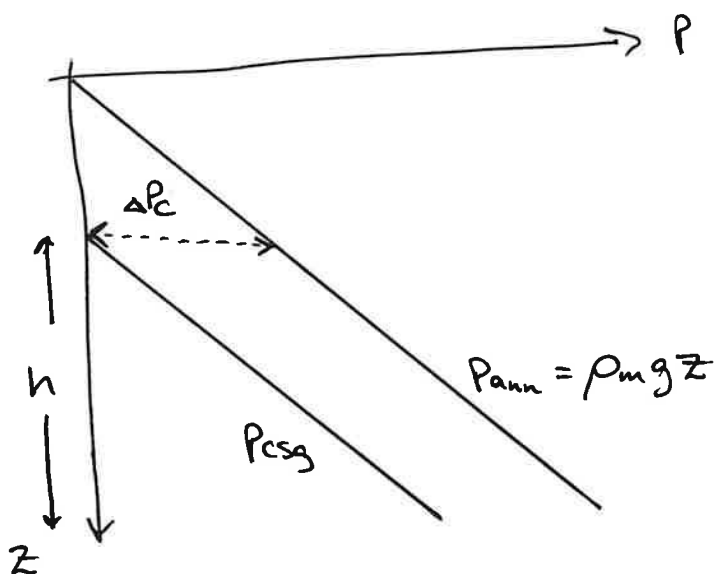
casing

oppstår siden trykk på
utsiden av casing er
større enn innvendig
når casing delvis åpnes.
Kollapsstyrke $\Delta P_c = P_{ann} - P_{cs}$
er like stort over
nederste $h = 941 \text{ m}$.

Størrelsen er :

$$\underline{\Delta P_c = \rho_m g (1200 - 941) \text{ Pa}}$$

$$= \underline{\underline{33 \text{ bar}}}$$



1. b) Annulusvolumen bak casing er:

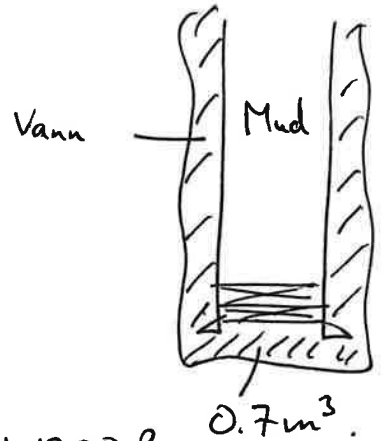
$$V_{\text{ann}} = \frac{\pi}{4} (OD^2 - ID^2) \cdot L$$

$$= \frac{\pi}{4} (26^2 - 20^2) \cdot \left(0,0254 \frac{\text{m}}{\text{in}}\right)^2 \cdot 1200 \text{ m}$$

$$= \underline{167,8 \text{ m}^3}$$

Totalt sementvolumen blir derfor

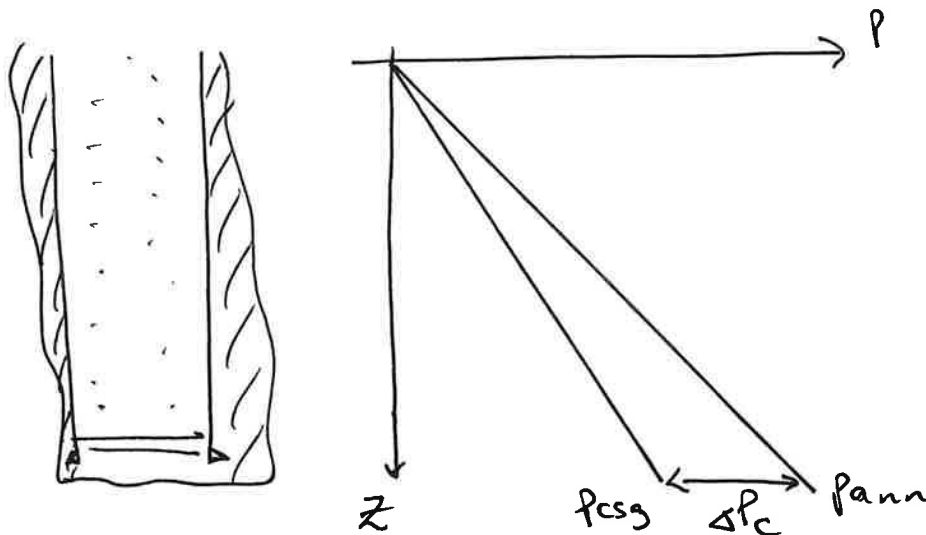
$$V_c = V_{\text{ann}} + 0,7 \text{ m}^3 = \underline{168,5 \text{ m}^3}$$



Tykk mot formerjon: $\underline{P_{bh}} = \rho_c g h = 1550 \cdot 9,81 \cdot 1200 \text{ Pa}$
 $= \underline{182,5 \text{ bar}}$

1. c)

Største kollapsestrykke oppstår når annulus er fylt med tung sement og lettere borerens står inni casing:



$$P_{\text{ann}}(z) = \rho_c g z$$

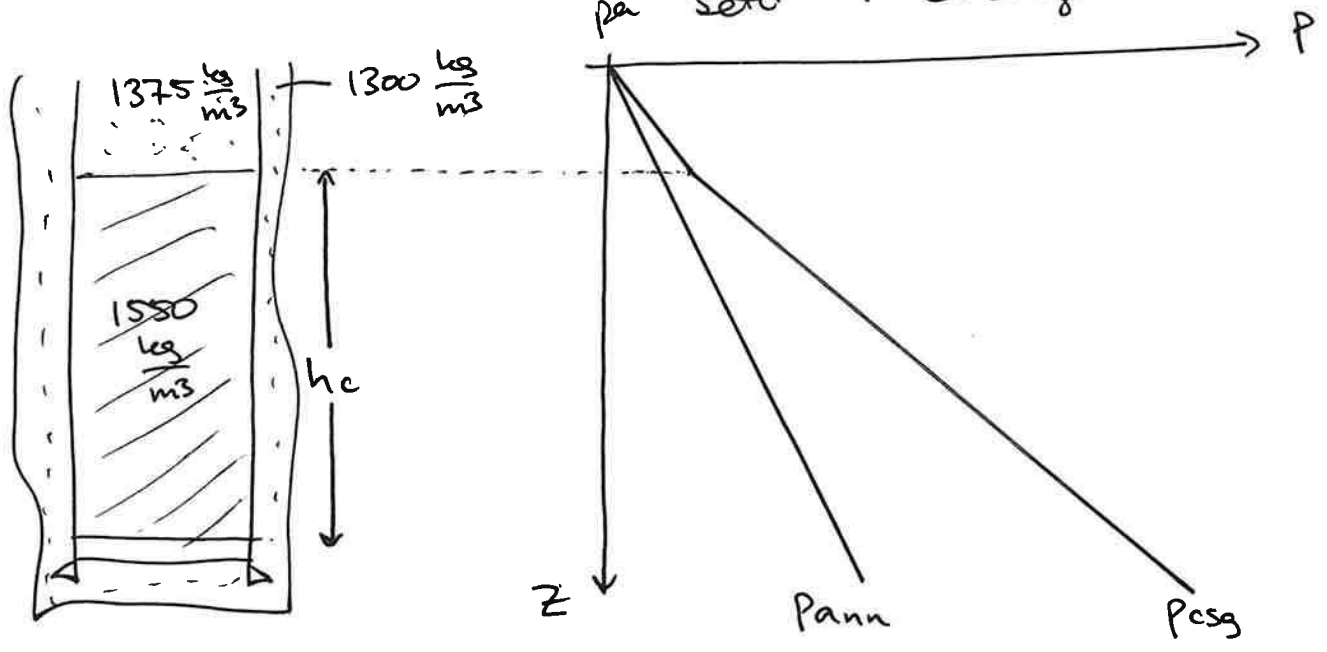
$$P_{\text{csg}}(z) = \rho_{m2} g z$$

$$\underline{\Delta P_c} = P_{\text{ann}} - P_{\text{csg}} = (\rho_c - \rho_{m2}) g h = (1550 - 1375) \cdot 9,81 \cdot 1200 \text{ Pa}$$

$$= \underline{20,6 \text{ bar}}$$

Kollapsestrykket er størst nederst, og er like stort for alternativer A og B.

Støtte søjle sprengetryk itererer konfigurasjonen der casing er fylt med tunge væsker, og lett væske er i annulus: Dvs. når bunnsluken nettopp har landet på sett i casingko.



Siden sementvolumet som pumpes er mindre enn innvendig volum for både alternativ A og B, må vi se på tilfellet der "ny" mud og sement står inni casing. Siden ID er ulik for A og B, må vi strengt tatt beregne individuelle sprengetryk.

Finner først høyden h_c :

$$V_c = \frac{\pi}{4} ID^2 \cdot h_c$$

$$h_c = \frac{4V_c}{\pi ID^2} = \begin{cases} 909,6 \text{ m}, & A \\ 948,2 \text{ m}, & B \end{cases}$$

Sprengetrykket er størst nederst:

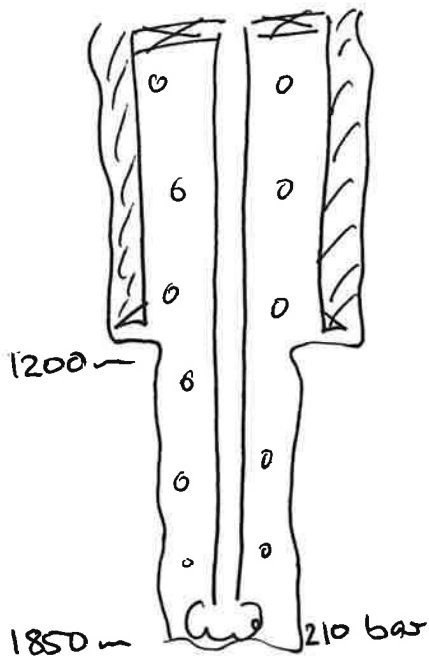
$$\Delta P_b = P_{csg} - P_{ann} = \underbrace{(p_c h_c + p_m z (h - h_c)) \cdot g}_{P_{csg}} - \underbrace{p_m g h}_{P_{ann}}$$

der $L = 1200 \text{ m}$, $p_m = 1300 \text{ kg/m}^3$ og $p_m z = 1375 \text{ kg/m}^3$.

Finner $P_{csg} = \begin{cases} 177,5 \text{ bar}, & A \\ 178,1 \text{ bar}, & B \end{cases}$ og $P_{ann} = 153,0 \text{ bar}$.

Altså $\Delta P_b = \begin{cases} 24,4 \text{ bar}, & \text{alt. A} \\ 25,1 \text{ bar}, & \text{alt. B.} \end{cases}$

1. d) I en "verst tenkelig" situasjon, får man
 lekk ved 1850 m og brønnen blir helt gressfylt
 før den stenges inne.



Trykket ved toppen kan beregnes
 til: $P_{\text{resg}}(z=0) = 210 \text{ bar} - 154 \cdot 9,81 \cdot 1850 \cdot 10^{-5} \text{ bar}$
 $= \underline{182,1 \text{ bar}} \quad (*)$

Ved casingkroen blir det:
 $P(z=1200 \text{ m}) = 210 \text{ bar} - 154 \cdot 9,81 \cdot 650 \cdot 10^{-5} \text{ bar}$
 $= \underline{200,2 \text{ bar}}$

Siden dette er høyere enn oppgitt
 fraktureringsstrykk, vil foringen
 dersom dette skulle skje.

Altså, sprengbelastning på casing er bestemt av
 fraktureringsstrykket ved 1200 m, og blir da:

$$\underline{\Delta P_b} = 188 \text{ bar} - 154 \cdot 9,81 \cdot 1200 \cdot 10^{-5} \text{ bar} = \underline{169,9 \text{ bar}} \quad (**)$$

Kan akseptere ~~læde~~ enten (*) eller (**) som svar, men
 vurdering av integriteten til casingkroen bør med for
 full uttelling.

1. e) Dimensjonerende belastninger er:
- Kollapslast: 33 bar (tap av skum)
 - Sprengetrykk: 169,9 bar (lekk)

Sikkerhetsfaktorer:

	A	B
Kollaps	1,09	3,36
Spreng	1,24	1,80

Kun alternativ B
 som er ok!

Se neste side for
 strekkbelastning. (4)

1. e) Forts:

Det er ikke spurt eksplisitt om aksial strekkbelastning, men et fullstendig svar bør kommentere sikkerhetsfaktor for strekkbrydd.

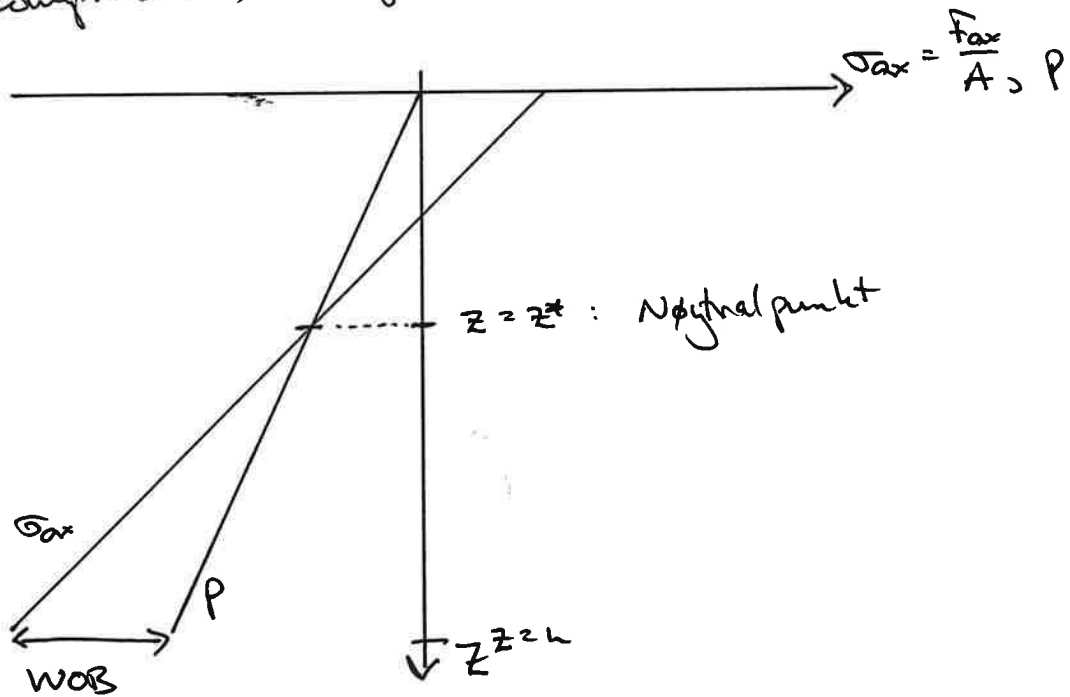
Ved å bruke oppgitt vekt per lengde, og justere for oppdrift, finnes strekkraft på toppen av casing når det henger fritt: Borelam:

$$A: F_{ax}(0) = \left(1 - \frac{1300}{7850}\right) \cdot 1372 \frac{N}{m} \cdot 1200m = 137,4 \cdot 10^4 N$$

$$B: F_{ax}(0) = \left(1 - \frac{1300}{7850}\right) \cdot 1941 \frac{N}{m} \cdot 1200m = 194,3 \cdot 10^4 N$$

Dette gir sikkerhetsfaktorer på ca 7 for begge alternativene. Selv om strekklest blir noe høyere ved sementering, anses det som lite sannsynlig at strekkbrydd er dimensjonerende i dette tilfellet.

2.2) Normalt anbefales det at nøytralpunktet er i nedre $\frac{2}{3}$ av vekttråselvstykket, dvs. ikke høyere enn $\frac{2}{3} \cdot 165 \text{ m} = 110 \text{ m}$ over bunnkanten. Nøytralpunktet er der aksial (kompressiv) spenning er det samme som (kompressiv) trykk fra bunnslammet:



$$\sigma_{ax}(z) = \underbrace{\frac{WOB}{A}}_{-p(z=L)} + \rho_s g(L-z)$$

Aksialt strekk i strengen antas gitt av trykkkraft og WOB/A nedest, samt vekt av stål opp til aktuell dybde

$$\sigma_{ax}(z^*) = -p(z=L) - \frac{WOB}{A} + \rho_s g(L-z^*) = -p(z=z^*) = -\rho_m g z^*$$

$$(\rho_s - \rho_m) g(L-z^*) = \frac{WOB}{A}$$

$$L - z^* = \frac{WOB}{(1 - \frac{\rho_m}{\rho_s}) m_{dc} g}, \quad m_{dc} = 179 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

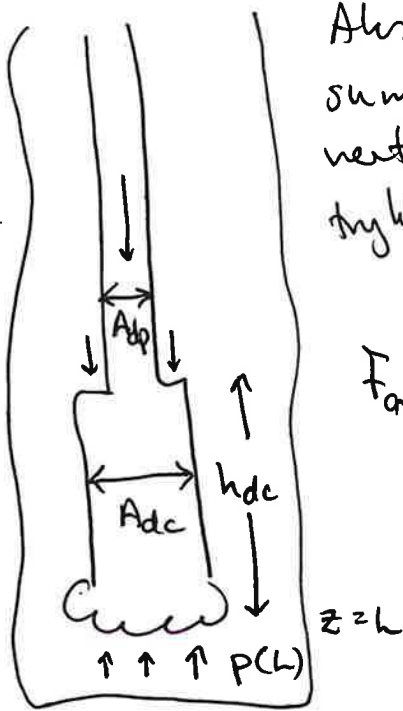
$$L - z^* = \frac{140 \cdot 10^3 \text{ N}}{(1 - \frac{1375}{7850}) \cdot 179 \cdot 9.81 \text{ N/m}} = \underline{\underline{96.7 \text{ m}}}$$

Ja, innenfor anbefalt intervall.

2.5)

Borenrør

vektørør



Absiøkt strekke på toppen er gitt av summen av krefter på strengen i vertikal retning, dvs. summen av trykkkrefter og tyngdekraft:

$$F_{ax}(z=0) = -p(L)A_{dc} + \cancel{g}m_{dc}h_{dc} + p(L-h_{dc})(A_{dc} - A_{dp}) + g m_{dp}(L-h_{dc})$$

$$= -\rho_m g A_{dc}(L - h_{dc} + h_{dc}) + m_{dc} g h_{dc}$$

$$- (\rho_m g A_{dp} + m_{dp} g)(L - h_{dc})$$

$$= (\rho_s - \rho_m) g A_{dc} h_{dc} + (\rho_s - \rho_m) g A_{dp}(L - h_{dc})$$

$$= \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho_s}\right) (m_{dc} h_{dc} + m_{dp}(L - h_{dc})) g$$

$$= \left(1 - \frac{1375}{7850}\right) (179 \cdot 165 + 32,19 \cdot 1035) \cdot 9,81 \text{ N}$$

$$= \underline{\underline{508,6 \text{ kN}}} \quad (= \text{kW}_{\text{air}})$$

Når man legger 140 kW vekt på borebrannen, reduseres absiøkt strekke tilsvarende:

$$F_{ax}(z=0) = (508,6 - 140) \text{ kN} = \underline{\underline{368,6 \text{ kN}}}$$

2. c) Absjælt strekke ved tapping av strengen er nå:

$$\underline{F_{ax}(z=0)} = \left(1 - \frac{1375}{7850}\right) \cdot (179 \cdot 165 + 32,19 \cdot 2135) \cdot 9,81 \text{ N} = \underline{795,1 \text{ kN}}$$

Total vekt som henger i drill line:

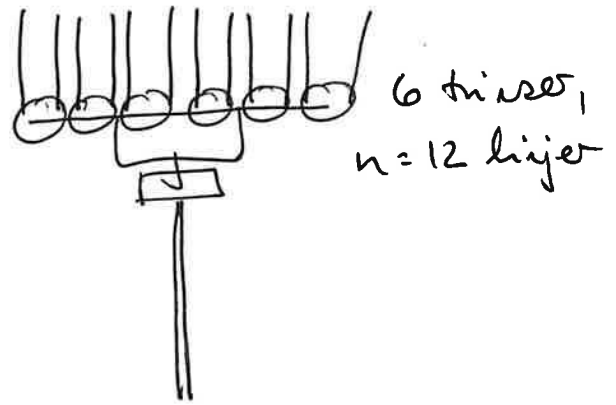
$$\underline{W} = F_{ax}(z=0) + 3300 \cdot 9,81 \text{ N} = \underline{827,5 \text{ kN}}$$

Strekhet er størst i fast-line ved heising:

$$\underline{F_{fl}} = \frac{k_T - 1}{1 - k_T^{-n}} W$$

$$= \frac{1,046 - 1}{1 - 1,046^{-12}} \cdot 827,5 \text{ kN}$$

$$= \underline{91,3 \text{ kN}}$$



Sikkerhetsfaktor blir da: $\underline{\underline{SF}} = \frac{F_T}{F_{fl}} = \underline{\underline{6.8}}$

$$2 d) \quad \eta \dot{E}_E = F_{fl} \cdot v_{fl}$$

$$0,73 \cdot 710 \cdot 10^3 \text{ W} = 91,3 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot v_{fl}$$

$$\underline{v_{fl}} = \frac{0,73 \cdot 710}{91,3} \frac{\text{m}}{\text{s}} = \underline{5,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

Fast-line spoles inn en lengde $\Delta h_{fl} = v_{fl} \Delta t$
i løpet av en tid Δt . Da blir ~~summen av~~
de $n = 12$ linjene forkortet til sammen med
en lengde Δh_{fl} . Hver linje blir altså kortere
med en lengde $\Delta h_{fl} / n \equiv \Delta h$.

Hastigheten til løpeblokken er: $v_{tb} = \frac{\Delta L}{\Delta t} = \frac{v_{fl}}{n} = \frac{5,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{12}$,

eller $\underline{v_{tb} = 0,47 \text{ m/s}}$.

Tiden det tar å heise en stand blir:

$$\underline{\underline{\Delta t_{stand} = \frac{30 \text{ m}}{0,47 \text{ m/s}} = \underline{\underline{63,4 \text{ s}}}}}$$

3a) På grunn av ulik innvendig diameter i boreør og veitør, må vi regne trykkløst separat for disse intervallene, og summere for å finne totalt trykkløst.

Boreør: $D_{dp} = 0.09246 \text{ m}$

$$A_{dp} = \frac{\pi}{4} D_{dp}^2 = 0.00671 \text{ m}^2$$

$$V_{dp} = \frac{Q}{A_{dp}} = 5.46 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Re_{dp} = \frac{\rho_m V_{dp} D_{dp}}{\mu_m} = 10,681 \quad : \text{ Turbulent flow}$$

$$f_{dp} = \frac{0.0791}{Re_{dp}^{0.25}} = 0.00778$$

$$\frac{dp}{dh} \Big|_{dp} = \frac{2 \rho_m V_{dp}^2}{D_{dp}} f_{dp} = \frac{6901,6 \text{ Pa/m}}{}$$

Trykkløst langs 2135 m boreør blir da:

$$\Delta P_{dp} = 6901,6 \cdot 2135 \text{ Pa} = \underline{147,3 \text{ bar}}$$

Tilsvarende utregning for veitør gir:

$$V_{dc} = 9.57 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \quad Re_{dc} = 14140, \quad f_{dc} = 0.00725,$$

$$\frac{dp}{dh} \Big|_{dc} = 26165,8 \text{ Pa/m}, \quad \text{og}$$

$$\Delta P_{dc} = 43,2 \text{ bar}.$$

Totalt trykkløst langs strengen: $(147,3 + 43,2) \text{ bar} = \underline{190,5 \text{ bar}}$

3. 5) Med oppgitte antakelser, blir pumpeeffektivitet:

$$P_{\text{pump}} = \underbrace{\Delta P_{\text{ds}}}_{\text{borestreng-trykktap}} + \underbrace{\Delta P_{\text{bit}}}_{\text{dysetrykktap}} = \Delta P_{\text{ds}} + 0,4 P_{\text{pump}}$$

$$\underline{P_{\text{pump}}} = \frac{\Delta P_{\text{ds}}}{0,6} = \frac{190,5 \text{ bar}}{0,6} = \underline{\underline{317,5 \text{ bar}}}$$

Altså, $\Delta P_{\text{bit}} = 127 \text{ bar}$.

Fra dyseformel er totalt dyseareal:

$$A_t = \frac{Q}{C_D \sqrt{2 \Delta P_{\text{bit}} / \rho}} = 2,81 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Dyseudiameteren blir da: $A_t = 3 \frac{\pi}{4} D_n^2$

$$\underline{\underline{D_n}} = \sqrt{\frac{4A_t}{3\pi}} = \underline{\underline{0,0109 \text{ m}}} \approx 0,43 \text{ in.}$$

3. c) Fra massebalanse vet vi:

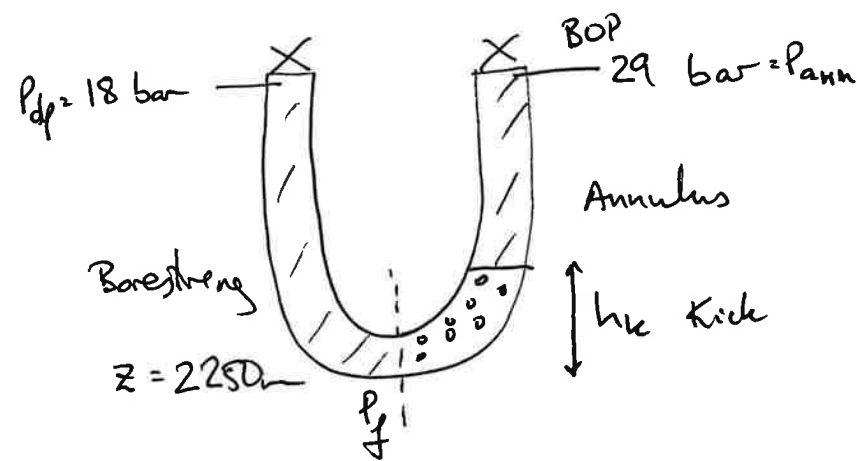
$$\rho_{\text{out}} V_{\text{out}} = \rho_m V_m + \rho_{\text{cut}} V_{\text{cut}} + \rho_w V_w$$

$$\underline{\underline{\rho_{\text{out}}}} = \rho_m f_m + \rho_{\text{cut}} f_{\text{cut}} + \rho_w f_w$$

$$= (1375 \cdot 0,945 + 2150 \cdot 0,04 + 1035 \cdot 0,015) \text{ kg/m}^3$$

$$= \underline{\underline{1400,9 \text{ kg/m}^3}}$$

4. a) Trykket i bunnen av brønnen antas å være det samme som formasjonstrykket (poretrykket):



Bruker trykket på borestreng til å beregne trykk i bunne:

$$\begin{aligned} \underline{p_i} &= p_{dp} + \rho_m g h \\ &= 18 \text{ bar} + 1375 \cdot 9,81 \cdot 2250 \cdot 10^{-5} \text{ bar} \\ &= \underline{\underline{321,5 \text{ bar}}} \end{aligned}$$

Kikkvolumet er: $\underline{V_k} = V_i + Q_m \Delta t = 10,7 \text{ m}^3 + \frac{2200}{60.000} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 105 \text{ s}$

$$= \underline{\underline{14,55 \text{ m}^3}}$$

Volumet utenfor vektprøvelinjen er $V_{dc} = A_{dc} \cdot h_{dc}$

$$= 0,0494 \cdot 165 \text{ m}^3 = \underline{\underline{8,15 \text{ m}^3}}$$

Altså, toppen av kikk står utenfor boreborene. Total høyde:

$$\underline{\underline{h_k}} = h_{dc} + \frac{V_k - V_{dc}}{A_{dp}} = 165 \text{ m} + \frac{14,55 - 8,15}{0,0652} \text{ m} = \underline{\underline{263,1 \text{ m}}}$$

4. b) $\underline{p_i} = p_m - \frac{p_{ann} - p_{dp}}{g h_k} \left(1 + \frac{Q_m \Delta t}{V_i} \right)$

$$= \left[1375 - \frac{29 - 18}{9,81 \cdot 263,1} \cdot 10^{-5} \cdot \left(1 + \frac{2200}{60.000} \frac{105}{10,7} \right) \right] \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \underline{\underline{795,6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}}$$

Sannsynligvis olje.

4. b) Funks: Tetthet til dreperlam skal gi et trykk ved 2250m som altså er $P_f + 8 \text{ bar}$:

$$\rho_{\text{mgh}} = P_f + 8 \text{ bar} = \rho_{\text{mgh}} + P_{dp} + 8 \text{ bar}$$

$$\underline{\underline{\rho_{\text{m}}}} = \rho_{\text{m}} + \frac{P_{dp} + 8 \text{ bar}}{g L}$$

$$= \left[1375 + \frac{(18 + 8) \cdot 10^5}{9,81 \cdot 2250} \right] \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \underline{\underline{1492,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}}$$

4. c) Vi bruker oppgitte verdier $\frac{Q}{g}$ finner følgende volum
innvendig borestreng: $14,6 \text{ m}^3$ og i annulus: $144,1 \text{ m}^3$.
Utsirkulasjon av borestreng tar da $\frac{14,6 \text{ m}^3}{800/60000 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = \underline{\underline{1096,7 \text{ s}}}$,

eller 18 min 16.7 s.

For hele operasjonen skal annulus fortrennes 2 ganger og borestrengen 1 gang:

$$\text{Total tid} = \frac{2 \cdot 144,1 \text{ m}^3 + 14,6 \text{ m}^3}{800/60000 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = \underline{\underline{22710,6 \text{ s}}}, \text{ eller}$$

6 timer 18 min 30.6 s.

4. d) Trykøkningen fra 18 til 49 bar skyldes frikjustryk-
 tap i streng og gjennom dyser med original vind
 ved 800 l/min. Ventil på utløpet skal justeres
 slik at vi får 8 bar sikkerhetsmargin, dvs. slik
 at trykket på toppen av strengen blir 57 bar.

Dette holdes konstant til man har funnet
 annulus én gang, og fått lukt ut av brynnen,
 3 timer og 7 s. Så sirkuleres drepeslem inn,
 og man skal regulere pumpestrykk mot

$P_{c2} = \Delta P_{ds, km} + \Delta P_{b, km}$, dvs. frikjustryk i streng og
 tap over dyser for drepeslem.

$$\Delta P_{ds, km} = \left(\frac{1492,8}{1375}\right)^{0,75} \cdot \left(\frac{74}{65}\right)^{0,25} \cdot \left(\frac{800}{2200}\right)^{1,75} \cdot 147 \text{ bar}$$

$$= 27,5 \text{ bar}$$

$$\Delta P_{b, km} = \frac{1492,8}{1375} \cdot \left(\frac{800}{2200}\right)^2 \cdot 43 \text{ bar} = 6,2 \text{ bar.}$$

→ $P_{c2} = 33,7 \text{ bar.}$

