



Eksamen

Det teknisk-naturvitenskapelige fakultet

Emnekode: ENP110

Emnenavn: Brønnteknologi

År og semester: 2024 Vår

Eksamensdato: 21. mai 2024

Klokkeslett: 09:00 - 13:00

Tillate hjelpemidler: Godkjent kalkulator

Navn på faglig ansvarlig: Hans Joakim Skadsem

Telefonnummer til faglig ansvarlig: 957 52 843

Eksamensoppgaver

Eksamen består av 4 oppgaver med totalt 16 delspørsmål (a, b, c, ...). Hvert delspørsmål vil i utgangspunktet vektes likt:

- Oppgave 1: 5 delspørsmål – 31.25% vektning (5/16)
- Oppgave 2: 4 delspørsmål – 25% vektning (4/16)
- Oppgave 3: 3 delspørsmål – 18.75% vektning (3/16)
- Oppgave 4: 4 delspørsmål – 25% vektning (4/16)

Karakterskala

A - Fremragende: Fremragende prestasjon som klart utmerker seg. Kandidaten viser svært god vurderingsevne og stor grad av selvstendighet.

B - Meget god: Meget god prestasjon. Kandidaten viser meget god vurderingsevne og selvstendighet.

C - God: Jevnt god prestasjon som er tilfredsstillende på de fleste områder. Kandidaten viser god vurderingsevne og selvstendighet på de viktigste områdene.

D - Nokså god: En akseptabel prestasjon med noen vesentlige mangler. Kandidaten viser en viss grad av vurderingsevne og selvstendighet.

E - Tilstrekkelig: Prestasjonen tilfredsstillende minimumskravene, men heller ikke mer. Kandidaten viser liten vurderingsevne og selvstendighet.

F - Ikke bestått: Prestasjon som ikke tilfredsstillende de faglige minimumskravene. Kandidaten viser både manglende vurderingsevne og selvstendighet.

Oppgave 1: Dimensjonering av foringsrør (31.25% vektning ved karaktersetting)

Man har boret en vertikal seksjon av en ny brønn ned til en dybde 1200 m under boredekk ved å bruke et boreslam med massetetthet 1300 kg/m^3 . Hulldiameter for denne seksjonen er 26 tommer. Seksjonen skal nå ferdigstilles ved å kjøre 20 tommers foringsrør (*casing*), og så sementere ringrommet mellom foringsrør og formasjon.

I denne oppgaven skal vi vurdere to ulike typer foringsrør, og bestemme om disse kan brukes for den aktuelle seksjonen. Man har valget mellom følgende to typer foringsrør:

Egenskaper	Alternativ A	Alternativ B
Ytre diameter	20 tommer (508 mm)	20 tommer (508 mm)
Innvendig diameter	485.7 mm	475.7 mm
Vekt per lengde	1372 N/m	1941 N/m
Maksimalt kollapstrykk	36 bar	111 bar
Maksimalt sprengetrykk	211 bar	306 bar
Aksiell strekkstyrke	$958 \cdot 10^4 \text{ N}$	$1375 \cdot 10^4 \text{ N}$

Det kreves en sikkerhetsfaktor på 1.8 mot strekkbrudd, 1.3 mot sprenging og 1.2 mot kollaps.

Fraktureringstrykket til formasjonen er målt til 188 bar ved 1200 m dybde, mens poretrykket (formasjonstrykket) er anslått å være 120 bar ved denne dybden.

- a) Hva blir det maksimale kollapstrykket på foringsrøret dersom man frakturerer formasjonen ved 1200 m, og taper boreslam til formasjonen? Anta at foringsrøret ikke er sementert, og at det tømmes innvendig for boreslam inntil brønntrykket balanserer formasjonstrykket ved tapssonen. I hvilken dybde er kollapstrykket størst?

Ved sementering brukes en sementpasta med tetthet 1550 kg/m^3 . Ringrommet (*annulus*) utenfor foringsrøret skal sementeres helt til toppen av brønnen. Etter sementpastaen pumpes boreslammet man vil bruke for å bore neste seksjon, og dette skal ha massetetthet 1375 kg/m^3 . Man har kommet til at det ikke er behov for å bruke skillevesker (*spacer*) mellom sementpasta og opprinnelig boreslam i brønnen.

- b) Hvor mye sementpasta må man blande og pumpe for å sementere annulus til toppen av brønnen? Anta at 700 liter sementpasta er nødvendig for å fylle området like nedenfor casingskoen. Hva blir trykket mot formasjonen ved 1200 m dybde etter at sementpastaen er pumpet på plass?
- c) Hva blir det største sprengetrykket og det største kollapstrykket på foringsrøret ved sementering? Ved hvilke dybder er disse trykkene størst? Bruk det faktiske sementvolumet fra b) i beregningene.

NB: Har du ikke svart 1 b), kan du anta 150 m^3 sementpasta for dette delspørsmålet.

Det er heftet usikkerhet ved prognosene for neste brønnseksjon, men man har identifisert en potensiell høytrykkssone ved 1850 m vertikal dybde, der formasjonstrykket kan være så høyt som 210 bar.

- d) Hva blir det maksimale sprengetrykket på foringsrøret dersom man får et kick ved denne høytrykkssonen? Anta konstant gasstetthet på 154 kg/m^3 . I hvilken dybde er sprengetrykket størst?
- e) Hvilke av de to alternative foringsrørene (alternativ A og/eller B) er aktuelle å bruke for denne hullseksjonen? Begrunn svaret ditt.

Oppgave 2: Overflateutstyr og borestreng (25% vektning ved karaktersetting)

Foringsrøret fra forrige oppgave ble vellykket sementert, og man skal nå bore neste vertikale hullseksjon til vertikal dybde 2300 m. Denne seksjonen skal ha hull diameter på 12.25 tommer, og skal altså bores med et slam som har massetetthet 1375 kg/m^3 og viskositet på 65 cP.

Borestrengen vil bestå av 165 m med 7.25 tommer vektrør nederst, og 4.5 tommer borerør over. Vektrørene har masse per lengde tilsvarende 179.0 kg/m , mens borerørene er vesentlig lettere, og har masse per lengde gitt som 32.19 kg/m .

- For effektiv boring ønsker vi en vekt mellom borekronen og formasjon tilsvarende 140 kN, eller ca. 14.3 tonn. Hvor er nøytralpunktet i borestrengen med denne vekten på borekronen? Er dette innenfor normalt anbefalt intervall av borestrengen?
- Hva blir aksielt strekk på toppen av borestrengen like før man begynner å bore denne seksjonen? Anta at borekronen er like over bunnen av brønnen, ved 1200 m dybde. Hvordan endres så strekket på toppen av strengen når man legger 140 kN vekt på borekronen og starter boring ved 1200 m dybde?

Borestrengen er koblet til heisespillet på plattformen. Dette har en løpeblokk med 6 trinser, og samlet masse av løpeblokk og løfteutstyr er 3300 kg. Friksjonsfaktoren i trinsene er 1.046. Heisekabelen (*drill line*) som går gjennom heisespillet tåler et maksimalt strekk på 617 kN.

- Hva er sikkerhetsfaktoren for strekkbrudd i heisekabelen under løfting av borestreng ut av brønnen fra 2300 m dybde?

Motoren i heisespillet gir 710 kW, og det er en overføringseffektivitet på 0.73 fra motor og til heisekabelen inn på trommelen.

- Hvor lang tid tar det å løfte ut 30 m av borestrengen? Dette tilsvarer en *stand*, som altså består av tre borerør, hver med 10 m lengde.

Oppgave 3: Hydraulikk (18.75% vektning ved karaktersetting)

For boring av 12.25 tommer vertikal hullseksjon fra oppgaven over, dvs. fra 1200 m og ned til 2300 m under boredekk, er det ønskelig med en slamsirkulasjonsrate (*flow rate*) på minst 2200 liter/minutt. Som angitt i forrige oppgave, skal det altså bores med et slam som har massetetthet 1375 kg/m^3 og viskositet på 65 cP. Borestrengen er som angitt i oppgave 2, og det oppgis videre at vektrørene har innvendig diameter på 69.84 mm, mens borerørene har innvendig diameter 92.46 mm.

- Beregn friksjonstrykkfallet i borestrengen, fra toppen og ned til borekronen, når vi har nådd bunnen av hullseksjonen, dvs. 2300 m vertikal dybde. Anta sirkulasjonsrate på 2200 liter/minutt.

Borekronen har 3 dyser med identisk diameter. Basert på hydraulisk optimaliseringsanalyse, har vi bestemt at vi ønsker at dysetrykkfallet skal være 40% av totalt pumpetrykk når vi sirkulerer ved 2200 liter/minutt ved 2300 m dybde.

- Hvilken dysediameter bør vi velge? Du kan se bort fra trykkfall i ringrommet (*annulus*) utenfor borestrengen, da dette forventes å være mye mindre enn trykkfall langs streng og gjennom dyser i borekronen. Anta dysekoefisient på 0.96.

NB: Har du ikke svart på 2 a) kan du anta totalt 200 bar trykkfall langs borestrengen.

En av de viktigste funksjonene til boreslammet er å transportere borekaks (*cuttings*) ut av brønnen mens man borer. Det vil si at returvæsken som kommer ut av brønnen mens man borer, er en blanding av boreslam, borekaks og eventuelt andre væsker som har blandet seg med slammet.

Ved boring av denne seksjonen, måler man at returvæsken har en gjennomsnittlig volumfraksjon borekaks tilsvarende 4%. Man samler opp borekaket og måler gjennomsnittlig massetetthet til 2150 kg/m^3 , tilsvarende typisk tetthet til steinformasjonen som bores i. Analyse av returvæsken viser at man dessuten har fått formasjonsvann med tetthet 1035 kg/m^3 inn i boreslammet. Man måler en volumfraksjon formasjonsvann tilsvarende 1.5% i returvæsken fra brønnen.

- c) Hva blir massetettheten til væsken som kommer ut av brønnen, dvs. blandingen av boreslam, borekaks og formasjonsvann?

Oppgave 4: Brønnkontroll (25% vektning ved karaktersetting)

Brønnseksjonen fra forrige oppgave er nå boret ned til 2250 m vertikal dybde under boredekk. Borestrengen består altså av en 165 m vektrørseksjon nederst, og følgende tverrsnittsareal er oppgitt:

- Indre tverrsnittsareal av borerør:	0.00671 m^2
- Indre tverrsnittsareal av vektrør:	0.00383 m^2
- Annulus tverrsnittsareal utenfor borerør:	0.06520 m^2
- Annulus tverrsnittsareal utenfor vektrør:	0.04940 m^2

Man sirkulerer boreslammet ved en strømningsrate på 2200 liter/minutt. Slammet har altså massetetthet 1375 kg/m^3 og viskositet på 65 cP. Du kan i denne oppgaven se bort fra borekaks og formasjonsvann i slammet, og anta rent boreslam. Ved denne strømningsraten er trykkfallet inni borestrengen beregnet til 147 bar, og trykkfallet gjennom dysene er anslått til 43 bar med rent slam.

Mannskapet på plattformen oppdager at nivået i returtank for boreslam plutselig begynner å stige, og man stanser slampumper og stenger blow-out preventer (BOP) etter ca. 105 sekunder. Man måler da en volumøkning på 10.7 m^3 i returtanken. Etter stabilisering av trykk, måles det 18 bar på toppen av borestrengen, og 29 bar i annulus, like under BOP.

- a) Hva blir trykket i bunnen av brønnen nå, etter at BOP er stengt? Hvor langt over bunnen av brønnen står kick'et, dvs. blandingen av boreslam og innstrømmet formasjonsfluid?
- b) Beregn tettheten av innstrømmet reservoarfluid. Er det mest sannsynlig gass, olje, vann eller en blanding som har strømmet inn i brønnen? Drepeslammet (*kill mud*) skal gi en sikkerhetsmargin mot formasjonstrykket på 8 bar ved aktuell dybde, 2250 m. Hvor stor tetthet må drepeslammet ha for å oppnå dette?

NB: Har du ikke svart på 4 a), kan du anta at høyden til toppen av kick'et er 330 m og at aktuelt formasjonstrykk er 345 bar.

En velger *driller's method* for utsirkulering av innstrømmet reservoarfluid. Ved utsirkulering brukes en sirkulasjonsrate på 800 liter/minutt. Trykket på toppen av borestrengen øker av seg selv fra 18 bar til 49 bar idet utsirkulering starter.

- c) Hvor lang tid tar det å sirkulere ut borestrengen, og hvor lang tid tar det å gjennomføre hele utsirkuleringsoperasjonen?
- d) Hvordan skal trykket på toppen av borestrengen reguleres under utsirkulering? Anta at drepeslammet som blandes opp har en viskositet på 74 cP.

NB: Dersom du ikke har beregnet massetetthet til drepeslam i 4 b), kan du anta 1420 kg/m^3 .

FORMLER UMLEVERT VED EKSAMEN

Standardverdier: Omregningsfaktor fra tommer til meter: $1'' = 0.0254 \text{ m}$
Tyngdens akselerasjon i Nordsjøen: $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
Standard tetthet for stål i borerør, vektør og foringsrør: 7850 kg/m^3
Enheter for viskositet: $1 \text{ cP} = 0.001 \text{ Pa}\cdot\text{s}$
Enheter for masse: $1 \text{ lbm} = 0.454 \text{ kg}$
Enheter for volum: $1 \text{ bbl} = 159 \text{ liter}$, $1 \text{ gal} = 3.79 \text{ liter}$

Heisespill: Strekk i hurtiglinje (*fast line*) ved heising av vekt W : $F_{fl} = \frac{k_T - 1}{1 - (k_T)^{-n}} W$

- k_T : Friksjonsfaktor for hver trinse
- n : Antall linjer som løpeblokken henger i

Mekanisk effekt: $F_{fl} \cdot v_{fl}$

- v_{fl} : Hastighet til hurtiglinje

Boreslam: Massebalanse: $\rho_m V_m = \rho_1 V_1 + \rho_2 V_2$

Volumbevarelse: $V_m = V_1 + V_2$

Volumfraksjon: $f_1 = V_1/V_m$

Hydraulikk: Friksjonstrykkgradient: $dp/dL = 2\rho v^2 f/D_H$

- ρ : Massetetthet til væsken
- v : Væskens midlere hastighet
- D_H : Hydraulisk diameter
- f : Fanning friksjonsfaktor = $\begin{cases} \frac{16}{Re}, & Re < 2100 \\ \frac{0.0791}{Re^{0.25}}, & Re \geq 2100 \end{cases}$

Laminær strømning i rør: $dp/dL = 8\mu Q/(\pi R^4)$

Dyseformel: $v_n = \frac{Q}{A_t} = C_D \sqrt{2\Delta P_b/\rho}$

- C_D : Dysekoeffisient

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

- Trykkfall rørstrømning: $\Delta P_{f2} = \left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)^{0.75} \cdot \left(\frac{\mu_2}{\mu_1}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^{1.75} \cdot \Delta P_{f1}$
- Dysetrykkfall: $\Delta P_{b2} = \left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right) \cdot \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^2 \cdot \Delta P_{b1}$

Kickberegninger: Tettheten av innstrømmet fluid: $\rho_i = \rho_m - \frac{P_{ann} - P_{dp}}{gh_k} \left(1 + \frac{Q_m \Delta t}{V_i}\right)$