



Universitetet  
i Stavanger

**EKSAMEN I: BIP210 – Bore- og brønnvæsker**

**TID FOR EKSAMEN:** 26. februar 2016  
KL. 09:00 - 13:00

**TILLATTE HJELPEMIDLER:** Kalkulator

**OPPGAVESETTET BESTÅR AV:** 3 OPPGAVER PÅ 4 SIDER +  
2 VEDLEGG på 3 sider.

---

**Generell informasjon:**

**Alle oppgavene skal besvares.**

**Vektlegging ved bedømmelse:**

- Alle deloppgavene teller like mye ved fastsettelse av karakter.

---

**OPPGAVE 1:**

**GENERELL BOREVÆSKEKUNNSKAP**

Det planlegges en vertikal en letebrønn som skal bores med en oppjekkbar rigg (Jack-Up). Dette medfører at alle foringsrør (casing-rør) går opp til platformen. Vi slipper dermed problemet med endret diameter i riseren fra havbunn og opp til riggen. Høyden mellom RKB og havoverflaten er 23m. Et poretrykksplott er vist i Vedlegg 1.

- a) Forklar hvordan dette poretrykksplottet brukes. Den blå kurven viser fraktureringsgradienten. Hva viser de andre kurvene i poretrykkplottet?

Vis med en likning hvordan du kan se hvorvidt dette poretrykks-plottet er konstruert med dyp i henhold til MSL eller RKB. Forklar hvordan plottet i prinsippet ville endre seg dersom vi hadde det andre referansenivået.

- b) Beskriv hva slags formasjoner vi forventer å bore brønnen gjennom.

Vi er vant til å se en kurve til på poretrykksplottet. Forklar hvilken og hvor denne ville ligge relativt de andre kurvene.

Forklar begrepet ECD. Vis hvordan ECD henger sammen med trykk. Vis hvordan ECD endrer seg i en avviksbrønn.

- c) Brønnen ble boret med ulike seksjoner. Det ble satt en 30" conductor i sanden på toppen. Deretter ble det satt en 20" surface casing, 13 3/8" casing og 9 5/8" casing i seksjonene før reservoaret ble boret.

Foreslå casingdyp for de ulike seksjonene. Forklar hvorfor 30" conductor kunne settes i sanden øverst.

- d) 26"-seksjonen ble boret med sjøvann og bentonittpiller (for å rense brønnen). Forklar hvorfor vi kunne bruke sjøvann her. Når 26" var ferdig boret ble sjøvannet som sto i brønnen i seksjonen displacert til et bentonittslam med tetthet 1.10 før kjøring av foringsrør. Beskriv hvordan dette bentonittslammet ble blandet og beskriv hvilke bestanddeler det består av og i hvilke kvantiteter.
- e) Beskriv hensikten med en primærsementering. Nevn to eksempler på når man kan ha behov for å utføre reparasjonssementering.

## OPPGAVE 2:

### BORING AV TOPPHULL OG 17 1/2"-SEKSJON

På tidspunktet når 20" casing var kjørt inn i brønnen og seksjonen var sementert, BOP plassert på toppen av brønnehodet, 3m ny formasjon var blitt boret, XLOT var gjennomført, skiftet man til inhibitiv vannbasert borevæske som skal brukes til å bore 17 1/2"-seksjonen.

I denne vertikale 17 1/2"-seksjon skal det settes en 13 3/8" casing. 17 1/2"-seksjonen etterfølges av en 12 1/4"-seksjon hvor det skal settes en 9 5/8" casing. På den nederste delen av brønnen skal det bores en 8 1/2"-seksjon. Innerdiameter i hver casing antas å være lik neste seksjons størrelse (diameter).

Utrasingstrykket som er vist i poretrykkplottet antas å være for en brønnvinkel på 40°. Ved vertikal brønn antas utrasingstrykket å være likt poretrykket.

- a) Foreslå borevæsketettheter med begrunnelse for alle seksjonene for brønnen som ble beskrevet i oppgave 1.
- b) Foreslå en inhibitiv vannbasert borevæske for 17 1/2"-seksjonen. Forklar hvilke tilsetningsstoffer som er brukt. Videre, forklar hvorfor borevæsken er inhibitiv: hvilke tilsetningsstoffer som virker inhibitivt og hvordan de virker.

I beskrivelsen ovenfor, forklar med begrunnelse hvilken saltkonsentrasjon du ønsker brukt.

- c) Hvor mye vektmateriale skal settes til 1m<sup>3</sup> borevæske for å oppnå riktig slamtetthet? Anta at borevæsken før tilsetning av vektmateriale har en tetthet på 1.1s.g. Hva blir det nye volumet? Barytt har tetthet 4.20 s.g.
- d) Forklar differensiell fastkjøring. Diskuter faren for differensiell fastkjøring i 17 1/2"-seksjonen. Er differensiell fastkjøring størst problem i leirskiferformasjon eller i en sandformasjon? Forklar hvorfor.

	20°C	50°C
10s gel	5	3.5
10min gel	5.5	4
600	77	56
300	55	40
200	45	33
100	32	24
60	24	19
30	17	14
6	9	7
3	7	6

Her er gelen gitt i Pa, mens viskosimeteravlesningene er gitt i lbf/100ft<sup>2</sup>. For å lage en overgang fra lbf/100ft<sup>2</sup> til Pa, multipliser med 0.511. Skjærraten ved 300 rpm-avlesningen er 511 1/s. Borestrengen antas å ha en diameter på 5". Borekaks antas å ha en tetthet på 2.30 s.g. Det antas for letthets skyld at det produseres sfærisk borekaks. Pumperaten er 5500 liter/minutt.

- e) Hvorfor er viskositeten til borevæsken mindre ved 50° enn ved 20°? Beregn friksjonens bidrag til ECD i 17 ½"-seksjonen. Begrunn for hvilken temperatur du skal bruke viskositetskurven.

### OPPGAVE 3:

### BORING AV 12 1/4"-seksjonen

Formasjonen under 13 3/8" casing antas å være mer reaktiv. Dermed ble det valgt å bruke en oljebasert borevæske.

- a) Hvorfor er oljebasert borevæske fortrukket når formasjonen antas å være mer reaktiv?

Beskriv sammensetningen til *en* egnet oljebasert borevæske, og hvorfor de ulike tilsetningsstoffene brukes. Med tanke på at vi skal ha minst mulig transport av materialer til riggen, er det praktisk å vite hvorvidt noen av tilsetningsstoffene til vannbasert borevæske kan brukes i oljebasert. Derfor, hvilke av komponentene fra vannbasert borevæske kan brukes i en oljebasert borevæske?

- b) Borekaks må skilles fra borevæska før borevæska resirkuleres i boreprosessen. Beskriv denne prosessen ved bruk av to-dekk shakere.

Forklar hvorvidt det er noen forskjell i effektivitet med å skille oljebasert borevæske fra kaks i forhold til å skille vannbasert borevæske fra kakset.

Beskriv hvordan vi velger finhet på sikteduker.

Borevæskerapporten ifra brønnen under boring av 12 1/4"-seksjonen viser følgende viskositetsdata målt ved to ulike temperaturer:

	20°C	50°C
10s gel	7	4
10min gel	8.5	5
600	134	66
300	80	41
200	60	31
100	39	21
60	30	16
30	22	13
6	13	8
3	11	7

Her er gelen gitt i Pa, mens viskosimeteravlesningene er gitt i lbf/100ft<sup>2</sup>. For å lage en overgang fra lbf/100ft<sup>2</sup> til Pa, multipliser med 0.511. Skjærraten ved 300 rpm-avlesningen er 511 1/s. Borestrengen antas å ha en diameter på 5". Borekaks antas å ha en tetthet på 2.30 s.g. Det antas for letthets skyld at det produseres sfærisk borekaks. Pumperaten er 4500 liter/minutt.

- c) Borevæskeviskositeten antas best å beskrives med Herschel-Bulkley-modellen. Dette er en modell som lar seg beskrive som:

$$\tau = \tau_y + K \dot{\gamma}^n$$

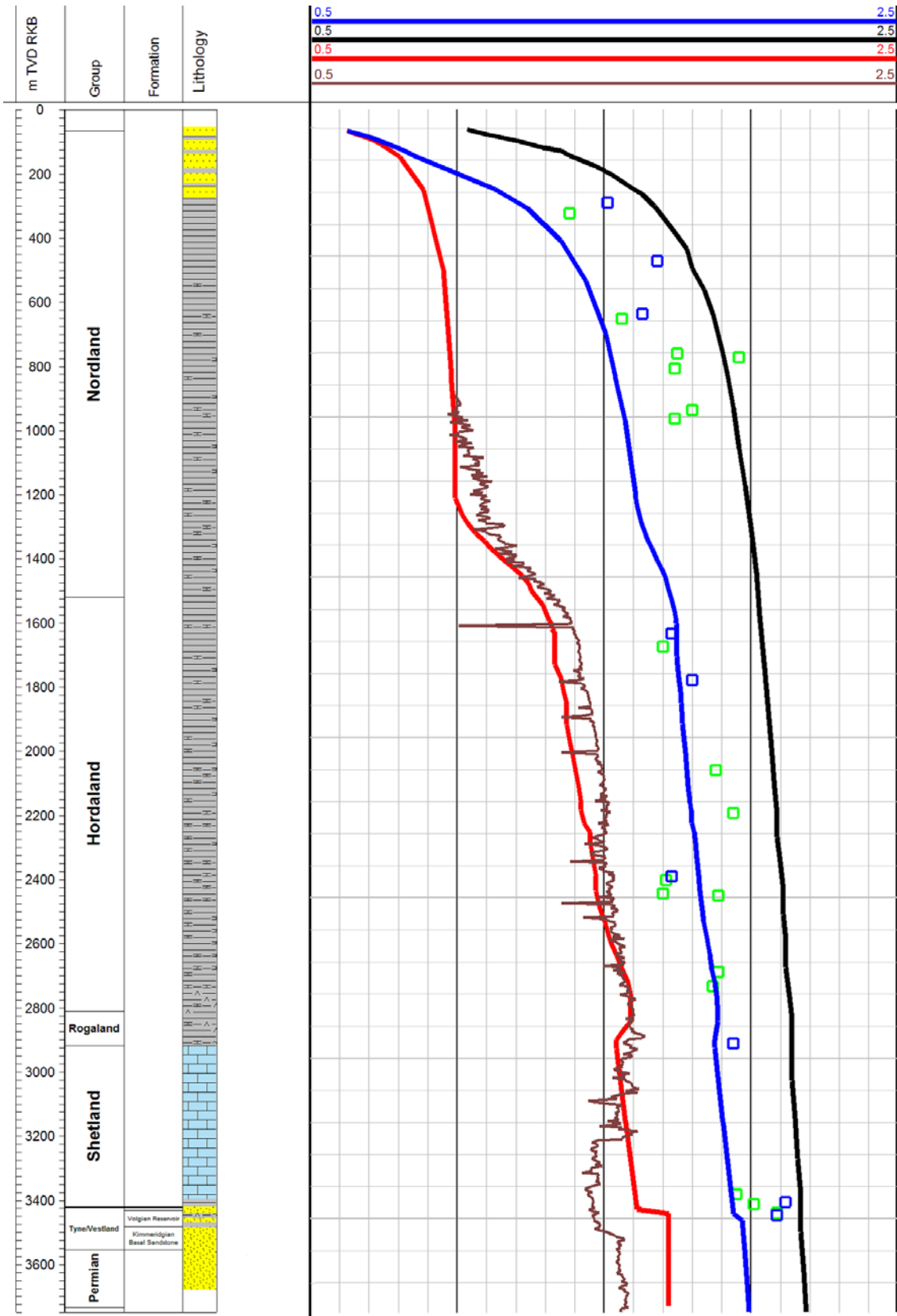
Yieldspenningen lar seg beskrive ved ekstrapolering av de målte verdiene ved de to laveste skjærratene. Beregn yieldspenningen og Herschel-Bulkley-viskositeten, K, og eksponenten, n, for standard måletemperatur på 50°C.

Vis hvordan denne modellen inkluderer både Bingham-modellen og power-law-modellen.

Etter å ha boret ca. 100m nedover i denne seksjonen antas borevæsketemperaturen å ha blitt 50°C ved borekronen, mens den forventes å være 20°C på riggen. For å kunne analysere kaks fra de ulike dyp er det viktig å vite hvorvidt kaks har synket tilbake i brønnen under pumpestans.

- d) Hvilken kaksstørrelse er den største som borevæsken klarer å holde i ro ved pumpestans på dette tidspunktet?
- e) Beskriv en ekstended leak-off-test (XLOT)

# VEDLEGG 1



## VEDLEGG 2

### Beregning av tilsynelatende viskositet i brønnstrømning

Sammenhengen mellom skjærspenning og skjærrate er for potenslov væske og Herschel-Bulkly:

$$\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n \quad ; \quad \tau = \tau_y + K\dot{\gamma}^n$$

Her kan  $n$  finnes ifra:

$$n = \frac{\ln \frac{\theta_1}{\theta_2}}{\ln \frac{RPM_1}{RPM_2}} \quad ; \quad n = \frac{\log \frac{\tau_1 - \tau_y}{\tau_2 - \tau_y}}{\log \frac{\dot{\gamma}_1}{\dot{\gamma}_2}} \quad ; \quad \tau_y = 0,511 \theta_0 \quad [\text{Pa}]$$

$$\theta_0 = [2\theta_3 - \theta_6]$$

$K$  finnes ifra:

$$K = \frac{\tau_1}{\dot{\gamma}_1^n} \quad ; \quad K = \frac{\tau_1 - \tau_y}{\dot{\gamma}_1^n}$$

Her må input være i SI-enheter. Dersom målinger skjer i henhold til API-standard 13 eller 10, finnes SI verdiene ved  $\tau = 0.511 \cdot \theta$ , hvor  $\theta$  er viskosimeteravlesningen. Videre finnes skjærraten ved at  $\dot{\gamma} = RPM \cdot 511/300$ .

Nå kan tilsynelatende viskositet beregnes ut ifra ytre og indre diameter i annulus, samt gjennomsnittshastigheten for væska:

$$\mu_a = K \left( \frac{D_y - D_i}{12\bar{U}} \frac{3n}{2n+1} \right)^{1-n}$$

Her er viskositetsverdien gitt i Pa.s. Uttrykket i parentes er lik veggskjærraten i annulus for laminær strømning.

### Trykkfall i annulus

Definerer Reynoldstallet:

$$\text{Re} = \frac{\rho_f \bar{U} (D_y - D_i)}{\mu_a}$$

Omslag til turbulens skjer ved:  $\text{Re} > 3470 - 1370n$ .

Trykkfall for laminær strømning er gitt ved:

$$\Delta P = \frac{48\mu_a \bar{U}}{(D_y - D_i)^2} \frac{2n+1}{3n} \Delta L$$

For turbulent strømning beregnes trykkfallet:

$$\Delta P = \frac{2c\rho^{1-b}\mu_a^b\bar{U}^{2-b}}{[0.8165(D_y - D_i)]^{1+b}} \left( \frac{2n+1}{3n} \right)^b \Delta L$$

hvor

$$c = \frac{\log_{10} n + 2.5}{50} \text{ og } b = \frac{1.4 - \log_{10} n}{7}$$

### **Partikkeltransport i vertikale annuli**

Alle størrelser må være gitt i SI-enheter.

Definerer Reynoldstallet:

$$\text{Re} = \frac{\rho_f v_p D_p}{\mu_a}$$

For  $\text{Re} < 2$  så er partikkelens fallhastighet gitt ved:

$$v_p = \frac{1}{18} \frac{D_p^2}{\mu_a} (\rho_p - \rho_f) g$$

I området  $2 < \text{Re} < 300$  er partikkelens fallhastighet gitt ved:

$$v_p = 0.758 \cdot D_p \frac{(\rho_p - \rho_f)^{\frac{2}{3}}}{(\rho_f \mu_a)^{\frac{1}{3}}}$$

I området  $300 < \text{Re}$  er partikkelens fallhastighet gitt ved:

$$v_p = 3.17 \sqrt{D_p \frac{\rho_p - \rho_f}{\rho_f}}$$

### **Tilsetning av faststoff**

Basislikninger for beregning av tilsetning av faststoff:

Volum:

$$V_{\text{total}} = V_{\text{væske}} + V_{\text{faststoff}}$$

Masse:

$$M_{\text{total}} = M_{\text{væske}} + M_{\text{faststoff}}$$

Sammenheng mellom masse og volum:

$$M = \rho \cdot V$$

hvor  $\rho$  er tetthet.

### **Volum og areal av kule**

$$V = \frac{\pi}{6} D^3 \quad A = \pi D^2$$