

Universitetet i Stavanger
Institutt for petroleumsteknologi



Faglig kontakt under eksamen:
Professor Ingve Simonsen
Telefon: 470 76 416

Eksamen i PET110 Geofysikk og brønnlogging

Mar. 09, 2015

09:00–12:00

Tillatte hjelpemidler: Alternativ
Kalkulator og ordbok

Dette oppgavesettet er på 6 sider.

Dette eksamenssettet består av tre hovedoppgaver, som hver inneholder flere deloppgaver. Hvert delspørsmål vil bli gitt tilnærmet like vekt under bedømmelsen.

Jeg planlegger fra ca. kl. 10 å ta meg en runde i eksamenslokalet for å svare på ev. spørsmål knyttet til oppgavene (men selvsagt ikke deres svar).

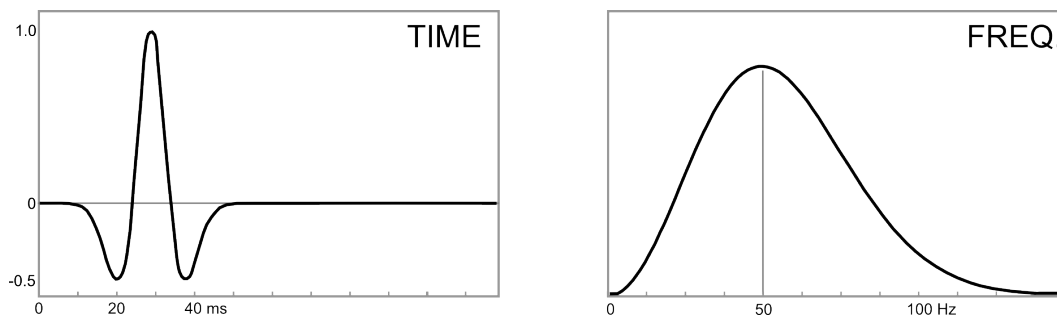
Oppgavene er gitt på norsk, men du står fritt til å svare på norsk eller engelsk.

Merk at noen muligens nyttige formler er gitt på siste side av oppgave settet.

Det opplyses at av de tre oppgavene, vurderer jeg oppgave 2 til å være den mest arbeidskrevende.

Sist men ikke minst, lykke til med examen.

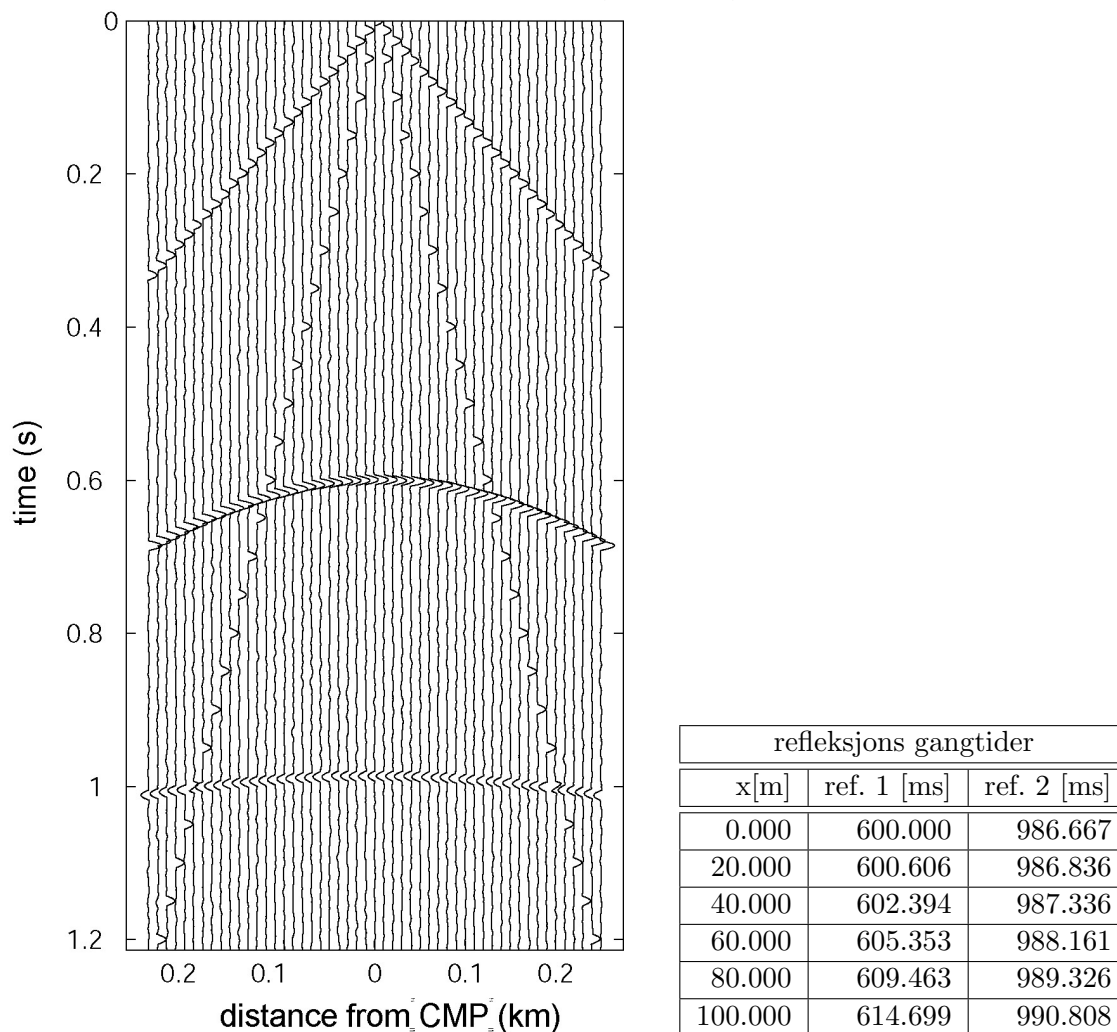
Ingve Simonsen

Oppgave 1.

Figur 1: En Ricker wavelet og dens frekvens innhold (effekt spekter).

En Ricker wavelet er en modell wavelet som er vanlig i geofysikk (Fig. 1 til venstre). Den brukes bl.a. som en tilnærming til det reelle signalet som blir utsendt fra en luftkanon. Teknisk sett fremkommer den ved å ta den andre deriverte av en Gaussisk funksjon. Til høyre i Fig. 1 vises det tilhørende frekvens-spekteret (effekt-spekteret), dvs. absolutt kvadratet av den Fourier transformerte av Ricker waveleten, og man ser at peak-frekvensen i dette tilfellet er 50Hz. Med peak-frekvensen mener vi hvor effekt-spekteret har sitt maksimum.

- a) Om Ricker waveleten vist i Fig. 1 ovenfor blir gitt en kortere varighet, hva vil da skje med peak-frekvensen for waveleten? Vil den bli mindre, større, eller forbli uendret? Det kreves her at du gir grunn for ditt svar, da svar uten korrekt begrunnelse ikke vil gi poeng.
- b) Hva menes med *Nyquist frekvensen* (eller kritisk frekvens) og hva bestemmer denne?
- c) Hva er *aliasing* og hvordan kan man unngå dette fenomenet?
- d) Anta at du planlegger å gjøre et marint seismisk survey hvor Ricker waveleten til venstre i Fig. 1 er en god tilnærming til signalet fra luft kanonen. Hvordan bør man velge samplings intervallet, Δt , slik at man unngår aliasing. Angi en numerisk verdi for dette samplings intervallet.
- e) Et seismisk signal har en dominerende frekvens på 50Hz (som for Ricker waveleten over). Bølgehastigheten i reservoarlaget er på 2500m/s. Hva blir den typiske bølgelengden i reservoaret?
- f) Når Ricker wavelet signalet vårt går gjennom lag i jorda, endres det på flere måter. Diskuter kort hva som påvirker amplitude og frekvensinnhold etter hvert som den seismisk bølgen går gjennom de øverste lagene i jordskorpa før det blir registrert av hydrofoner/geofonener på overflaten av jorda.
- g) Hvordan vil påvirkningen av amplitude og frekvensinnhold fra forrige deloppgave uttrykkes seg i tidsserien som registreres på mottakeren (dvs., i tidsdomenet)?



Figur 2: Et seismogram samlet inn over en lagdelt jord. Her betyr “ref. 1”, refleksjon nr. 1, etc. Her betegner x avstanden fra CMP. Merk at gangtidene er angitt i millisekunder (og vi har brukt “.” som desimalskille).

Oppgave 2.

Figure 2 viser et CMP (common mid-point) gather som var samlet inn over land over en langdelt jord (layered Earth). Et utvalg av gangtidene er angitt numerisk i tabellen til høyre. Husk at når skuddet er i $+x$ er mottakeren (geofon/hydrofon) ved $-x$, slik at offset rent faktisk er $2x$.

Det oppgis at transmisjonskoeffisienten (forholdet mellom feltamplituder) for transmisjon fra medium i til medium j er gitt ved

$$T_{ij} = \frac{2Z_i}{Z_i + Z_j}, \quad (1)$$

med den akustiske impedansen for medium i gitt ved $Z_i = \rho_i V_i$ hvor ρ_i og V_i er henholdsvis tetthet og hastighet for lag i .

- a) Med dine egne ord, beskriv hvordan et refleksjonsseismisk 2D survey blir gjennomført, og diskuter hva som rent faktisk blir målt. Lag en skisse til bruk i din forklaring.

Vi vil nå fokusere på dataene vist i Fig. 2. Basert på disse dataene, skal vi nedenfor forsøke å beregne en del fysiske størrelser knyttet til den langdelte jord modellen.

For å forenkle beregningen, vil vi her anta at *alle* lag har samme tetthet.

- b) Lag en skisse av Fig. 2 over til venstre, hvor du markerer de ulike observerte seismiske signalene og indikerer hvilken bølgetype det er snakk om (direkte bølge, reflektert bølge, etc.)
- c) Beregn hastigheten (V_1) og tykkelsen (z_1) for det øverste laget.
- d) Beregn rms-hastigheten¹ ned til den andre reflektoren ($V_{\text{rms},2}$).
- e) Beregn hastigheten (V_2) og tykkelsen (z_2) av det andre laget.
- f) Refleksjonskoeffisienten for den første refleksjonen ble målt til 0.33. Vis at dette er konsistent med verdiene du fant for V_1 og V_2 i deloppgavene 2c og 2e. Husk at vi antar at $\rho_1 \approx \rho_2$.
- g) Amplituden av den andre refleksjonen var -0.17 . Beregn refleksjonskoeffisienten for den andre overflaten. Estimer hastigheten V_3 .

Vi forlater nå situasjonen beskrevet i Fig. 2.

- h) I en *umigrert* (poststacket) seismisk seksjon har man identifisert en plan hellende (dipping) reflektor og funnet at den tilsynelatende helningsvinkelen² var på $\alpha = 33^\circ$. Hva var den faktiske helningsvinkelen for reflektoren? Anta at hastigheten over reflektoren er konstant.

¹rms står for "root-mean-square".

²Helningsvinkelen defineres som vinkelen mellom reflektoren og horisontal planet.

Oppgave 3.

- a) Bulkmodulen (K) for vann er 2.2GPa, og tettheten er 1000kg/m^3 . Hva er skjærmodulen, μ , for vann? Beregn P- og S-bølgehastigheten til vann.
- b) Når en seismisk bølge reflekteres på grenseflata mellom to lag med forskjellig tetthet og hastighet er refleksjonskoeffisienten gitt som

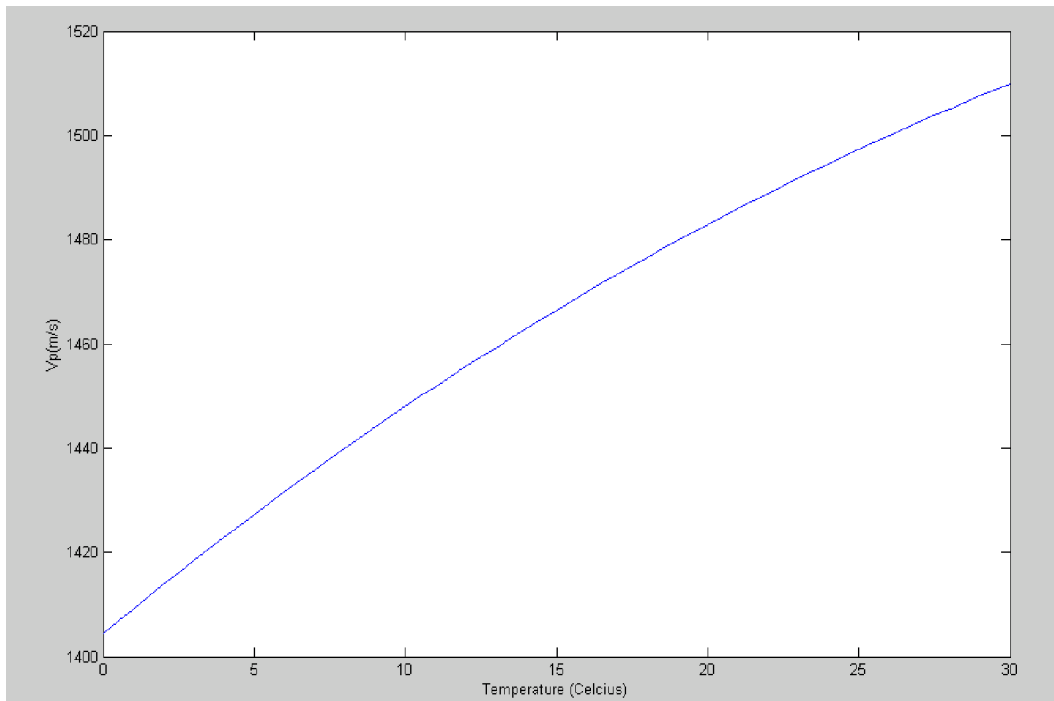
$$R = \frac{\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1}{\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1}, \quad (2)$$

Forklar hva symbolene står for, og under hvilke antakelser denne ligninga er gyldig. Bestem refleksjonskoeffisienten dersom ei bølge blir reflektert fra ei grenseflate mellom vann og luft. Anta at tettheten til luft og vann er henholdsvis 1.3kg/m^3 og 1000kg/m^3 , samt at lydhastigheten i luft er 330m/s . Hva blir refleksjonskoeffisienten dersom bølga reflekteres fra ei grenseflate mellom luft og vann?

- c) Anta at tettheten til vann varierer med temperature som

$$\rho(T) = \rho_0 (1 - aT), \quad (3)$$

der $\rho_0 = 1000\text{kg/m}^3$, $a = 8 \cdot 10^{-3}\text{C}^{-1}$ (per grad Celcius) og T er temperatur målt i grader Celcius (C). Anta videre at bulkmodulen for vann *ikke* varierer med temperaturen, og finn et uttrykk for P-bølgehastigheten til vann som funksjon av temperatur. Bruk at $aT \ll 1$ for å finne et så enkelt uttrykk som mulig.



Figur 3: P-bølge hastigheten, V_p , i vann som funksjon av temperature T (i grader Celcius).

Figur 3 viser hvordan P-bølgehastigheten i vann varierer med temperatur i området 0–30 grader.

- d) Sammenlign uttrykket du fant for P-bølgehastigheten i vann ved å bruke ligning (3) med Fig. 3. Er det rimelig å anta at tetthetseffekten er den dominerende effekten når det gjelder å forstå hvordan P-bølgehastigheten i vann varierer med temperatur?
- e) Anta så at vi måler refleksjonskoeffisienten i havbunnen for to forskjellige havtemperaturer, la oss si, 10C og 20C. Vi antar nå at tettheten i vannet ikke endrer seg med temperatur (dvs. at den er lik ρ_0), men at P-bølgehastigheten i vannet istedet endrer seg som vist i Fig. 3. Hvor mye vil refleksjonskoeffisienten for loddrett innfall (null-offset refleksjonskoeffisient) i havbunnen endre seg på grunn av dette? P-bølgehastigheten for laget under havbunnen er 1800m/s og tettheten i samme lag er 1800kg/m³.
- f) Beregn kritisk vinkel for de to vanntemperaturene (bruk samme verdier som de du brukte i deloppgave 3e). Hvilken parameter må du i tillegg til de parametrene som allerede er oppgitt, kjenne for å beregne refleksjonskoeffisienten som funksjon av vinkel for havbunnen?
- g) Hva menes med AVO-analyse? Nevn minst 4 årsaker til at den seismiske amplituden fra en gitt grenseflate i jorda varierer med avstand mellom kilde og mottaker.

Some geophysical formulae:

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

$$t^2 = t_0^2 + \frac{x^2}{V^2}$$

$$V_p = \left[\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho} \right]^{1/2}$$

$$\frac{1}{V} \approx \frac{\phi}{V_f} + \frac{1-\phi}{V_m}$$

$$V_a = \frac{V}{\sin i}$$

$$DR = 20 \log_{10} \left[\frac{A_{\max}}{A_{\min}} \right]$$

$$w_F = (2\lambda z)^{1/2}$$

$$V = \lambda f$$

$$\rho = 310V_p^{0.25}$$

$$t = t_0 + \frac{x^2}{2V^2t_0}$$

$$V_s = \left[\frac{\mu}{\rho} \right]^{1/2}$$

$$V_{rms, n} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n V_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \right]^{1/2}$$

$$\alpha_n = \left[\frac{V_{RMS, n}^2 t_n - V_{RMS, n-1}^2 t_{n-1}}{t_n - t_{n-1}} \right]^{1/2}$$

$$t_n = 2(\tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_n)$$

$$R_2 = \frac{\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1}{\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1}$$

$$fold = \frac{N}{2n}$$

Some mathematical formulae

$$\sqrt{1+x} \approx 1 + \frac{1}{2}x - \frac{1}{8}x^2 + \frac{1}{16}x^3 - \frac{5}{128}x^4 + \dots \quad \text{når } x \ll 1$$

$$\frac{1}{1+x} \approx 1 - x + x^2 - x^3 + \dots \quad \text{når } x \ll 1$$

$$(1+x)^n \approx 1 + nx - \frac{n(1-n)}{2!}x^2 + \frac{n(1-n)(2-n)}{3!}x^3 - \dots \quad \text{når } x \ll 1$$

$$\sin(a+b) = \sin a \cos b + \cos a \sin b$$

$$\sin a \approx a - \frac{1}{6}a^3 + \frac{1}{120}a^5 - \dots$$

$$\cos a \approx 1 - \frac{1}{2}a^2 + \frac{1}{24}a^4 - \frac{1}{720}a^6 + \dots$$

$$e^a \approx 1 + a + \frac{1}{2!}a^2 + \frac{1}{3!}a^3 + \dots$$

$$\int \frac{1}{ax+b} dx = \frac{1}{a} \ln C(ax+b)$$