

DET TEKNISK – NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

PET110

Geofysikk og brønnlogging

Konteeksamen

01.09.2017

9.00 – 12.00

Tjodhallen – Kjølvs Egelands hus

OPPGAVEN BESTÅR AV 6 SIDER (justert for denne).

TILLATTE HJELPEMIDDEL:

Godkjent kalkulator og ordbok.

Les hele eksamen før du starter, og prøv å svare på spørsmålene du finner er de enkleste først. Skriv på engelsk eller norsk. Nyttige formler finns på den siste arket av eksamen.

Lykke til!

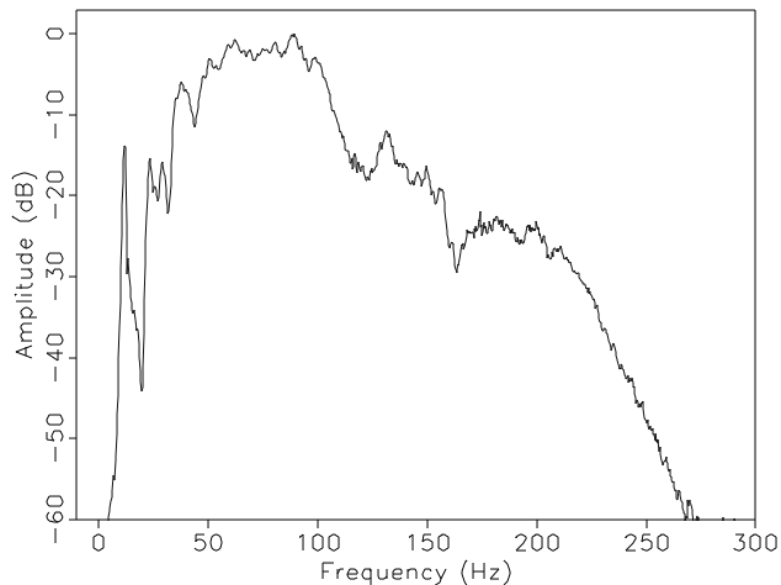
FAGANSVARLIG: Wiktor Weibull  
TLF.NR. : 40608703

---

## Oppgave 1

### 30% Sampling, aliasing og seismiske bølger

- a) **7.5%** Figur 1 viser frekvens innholdet til en seismisk trase. Når vi sampler en seismisk signal er det viktig å unngå aliasing fenomenet. Bruk Figur 1 til å bestemme den største samplingsinterval som kan brukes til å sample dataen uten å introdusere aliasing. For dette problemet, anta at amplituden of -60 dB kan betegnes som lik null.



Figur 1: Frekvens spekter til en seismisk trase.

- b) **10%** Nevn 2 årsaker til at bølgelengden til seismiske bølger generelt sett øker med dybde. Anta at fase hastigheten til en P-bølge som forplanter seg i reservoaret er 2500 m/s, og at den seismiske signaturen til P-bølgen har en frekvens innhold som vist i Figur 1. Bruk denne informasjonen til å beregne en estimat av den dominerende bølgelengden til P-bølgen i reservoaret.
- c) **7.5%** P- og S-bølgehastigheten kan skrives som funksjon av to elastiske moduli samt tettheten. Skriv ned ligningene og finn en ny formel som beskriver forholdet mellom de to hastighetene, og forklar hvorfor P-hastigheten alltid er større enn

S-hastigheten. Hvorfor er vi ofte interessert i å bestemme  $V_p/V_s$ -forholdet? Hvor mye endres  $V_p/V_s$ -forholdet dersom tettheten øker med 25 %?

- d) **5%** Tettheten til en porøs bergart er gitt som  $\rho = \rho_f \phi + \rho_s(1 - \phi)$ . Forklar først hva symbolene i denne ligninga står for. Anta så at for en reservoarbergart er  $\phi = 0.3$  og at tettheten for olje og reservoarmatriksen er 700 og 2600 kg/m<sup>3</sup>. Bruk dette til å beregne tettheten for reservoarbergarten når den er fylt med olje og vann.

## Oppgave 2

### 40% Seismiske metoder

- a) **7.5%** Tegn en figur med to horisontale lag. Anta at vi har en seismisk kilde og mottakere på overflata av det øverste laget, og skisser den reflekterte bølga som er assosiert med grenseflata mellom de to lagene. Vis at gangtida for den reflekterte bølga kan skrives som

$$T(x) = \frac{2}{v} \sqrt{h^2 + x^2/4} \quad (1)$$

der  $x$  er avstand mellom kilde og mottaker  $h$  er tykkelsen til det øverste laget, og  $v$  er fase hastigheten til seismiskebølger i laget. Anta så at  $x$  er liten i forhold til  $h$ , og beregn et tilnærmet uttrykk for  $T$  der du tar med 2 ledd i rekkeutviklinga. Bruk dette til å forklare hva vi mener med NMO-korreksjonen, og skriv ned et tilnærmet uttrykk for NMO-korreksjonen.

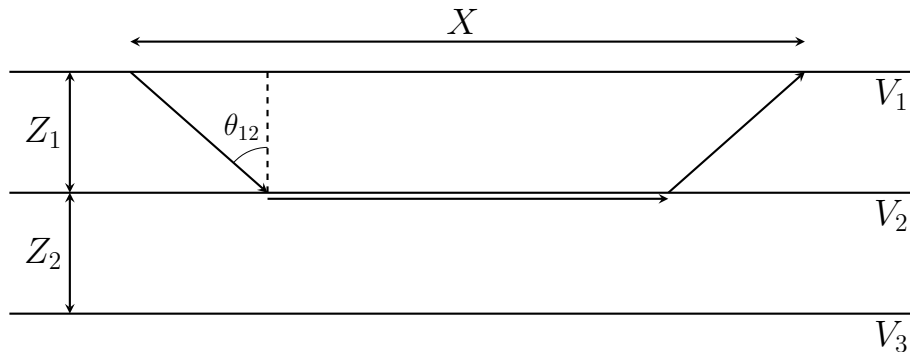
- b) **7.5%** Forklar hva vi mener med seismisk hastighetsanalyse, og nevnt minst to prosesser i seismisk prosessering der hastigheter er viktige.
- c) **15.0%** Gangtids likningen til den kritisk refrakterte bølge som går i laget med hastighet  $V_2$  i Figur 2 kan skrives som

$$T_2(x) = \frac{X}{V_2} + \frac{2Z_1 \cos \theta_{12}}{V_1}. \quad (2)$$

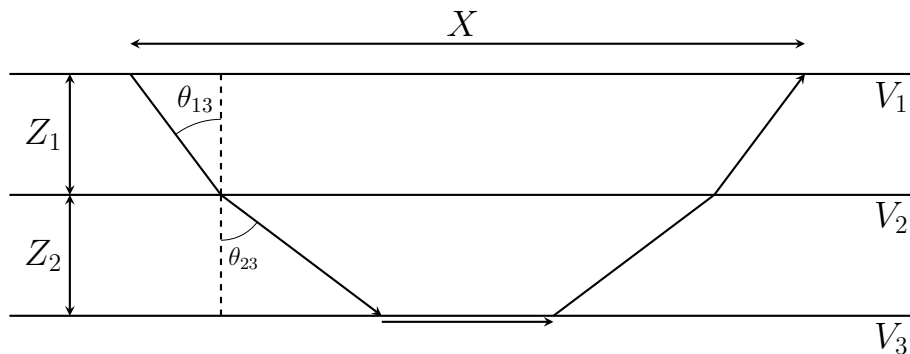
Gangtids likningen til den kritisk refrakterte bølge som går i laget med hastighet  $V_3$  i Figur 3 kan skrives som

$$T_3(x) = \frac{X}{V_3} + \frac{2Z_1 \cos \theta_{13}}{V_1} + \frac{2Z_2 \cos \theta_{23}}{V_2}. \quad (3)$$

Figur 4 viser en seismogram innsamlet over en lagdelt jord. Bruk likningene 2 og 3 sammen med verdiene i Tabellen i Figur 4 for å regne hastighetene  $V_1$ ,  $V_2$  og  $V_3$ , og tykkelsene  $Z_1$ , og  $Z_2$  til lagene.



Figur 2: Oppgave 2c



Figur 3: Oppgave 2c

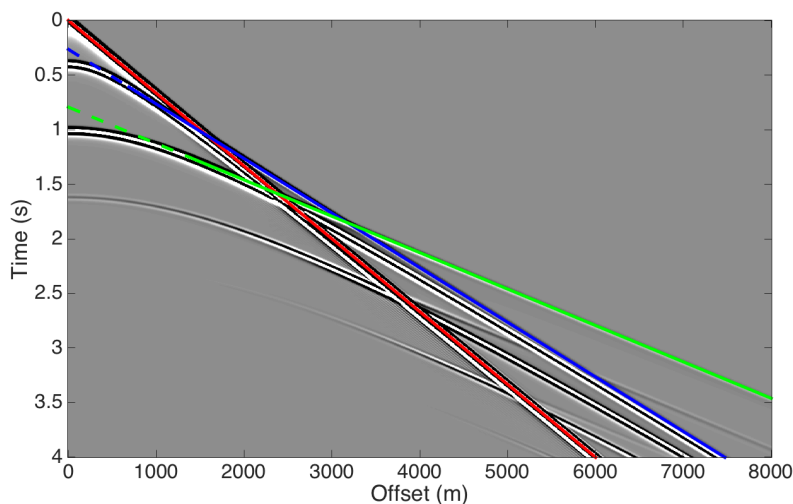
- d) **10%** Anta at bulkmodulus for en reservoarbergart endrer seg fra 8 GPa til 9 GPa, og at tettheten endrer seg fra  $2030 \text{ kg/m}^3$  til  $2120 \text{ kg/m}^3$  dersom en bytter ut væsketypen i reservoaret fra olje til vann. Beregn P- og S-bølge hastighetene for olje og vannfylt reservoar, når skjærmodulus er 4 GPa. Beregn også endring i refleksjonskoeffisienten på toppen av reservoaret, når olje blir byttet ut med vann. Anta at tettheten til bergarten over reservoaret er  $2000 \text{ kg/m}^3$  og at hastigheten over reservoaret er  $2000 \text{ m/s}$ .

### ***Oppgave 3***

#### ***30% Gravimetri og Resistivitetsmålinger***

- a) **7.5%** Sentripetalakselerasjonen for en punktmasse på jordas overflate er gitt som

$$a_s = R\dot{\theta}^2 \cos \phi \quad (4)$$



x[m]	dir. (rød) [s]	ref.1 (blå) [s]	ref.2 (grønn) [s]
2000	1.3333	1.2646	1.4603
3000	2.0000	1.7646	1.7936
4000	2.6667	2.2646	2.1270
5000	3.3333	2.7646	2.4603
6000	4.0000	3.2646	2.7936

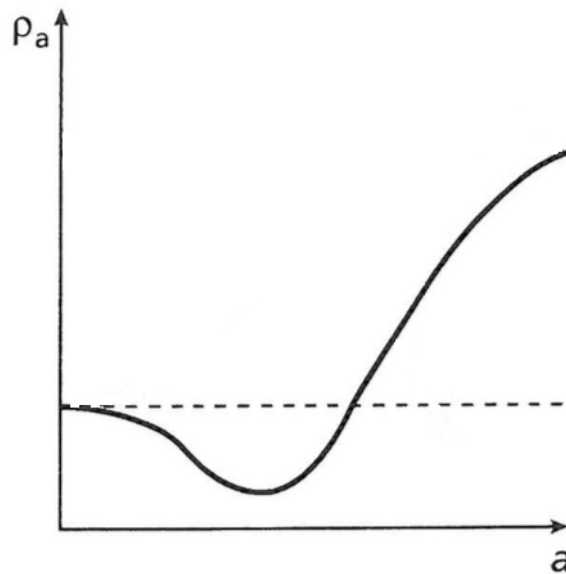
Figur 4: En seismogram samlet inn over en lagdelt jord. Her betyr "dir.", direkte bølge, ref. 1, refraksjon nr. 1 og "ref. 2", refraksjon nr. 2. Her betegner x avstanden mellom kilden og mottaker.

Lag en enkel figur som viser hva symbolene i ligning 4 står for, og vis at vinkelhastigheten på grunn av jordrotasjonen er  $0.0000727 \text{ rad/s}$ . Vis også at forskjellen i sentrifugalakselerasjonen på polene og ved ekvator er  $0.034 \text{ m/s}^2$  dersom en antar at jorda er ei kule med radius  $6370 \text{ km}$ .

- b) **12.5%** Anta at et reservoar på  $2 \text{ km}$  dyp kan betraktes som en punktmasse (vi antar at reservoaret er lite). Videre antar vi at reservoaret kompakterer på grunn av produksjonen. Tettheten til en porøs bergart kan skrives som  $\rho = \rho_f \phi + \rho_s(1 - \phi)$ . Anta at porøsiteten i reservoaret endres fra  $30\%$  til  $25\%$  på grunn av kompaksjonen, og at fluidtettheten er  $1000 \text{ kg/m}^3$  og tettheten til selve bergarten er  $2700 \text{ kg/m}^3$ , og at reservoaret er en sylinder med radius og tykkelse lik  $50 \text{ m}$ . Beregn endring i vertikalkomponenten av tyngdefeltet på grunn av denne kompaksjonen for  $x = 0$  og  $x = 2 \text{ km}$  ( $x = 0$  tilsvarer rett over reservoaret). I denne oppgaven antar vi at det er kun reservoaret som endrer seg, ikke bergarten over og under reservoaret.
- c) **5%** Hvilken resistivitetsmålingsmetode er mest egnet om vi er interesert i å bestemme

om det finnes grunnvann i en område med forholdsvis flat terreng ? (Velg en av de alternativene under)

- 1) Vertical electrical sounding (VES)
- 2) Constant separation traversing (CST)
- 3) Vertical seismic profiling (VSP)



Figur 5: Oppgave 3d: Eksempel på VES resistivitetsmålinger med en Wenner konfigurasjon. Plotten viser tilsynelatende resistiviteten ( $\rho_a$ ) som funksjon av elektrode avstand ( $a$ ).

- d) **5%** Forbered en enkel lagdelt model som kan brukes til å forklare de tilsynelatende resistivitetsmålinger som er vist på Figur 5. Det er ikke nødvendig å gi numeriske verdier, bare plasser resistivitetene i de ulike lagene i din model i en rank fra lavest til høyest.

**Formler som kan være nyttige:**

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

$$f_{Nyq} = \frac{1}{2\Delta t}$$

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

$$V_P = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}}$$

$$\sin \theta_k = \frac{V_1}{V_2}$$

$$\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1$$

$$V_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

$$R_{ij} = \frac{\rho_j v_j - \rho_i v_i}{\rho_j v_j + \rho_i v_i}$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$T_{ij} = 1 - R_{ij}$$

$$A^{[dB]} = 20 \log_{10} \left( \frac{A_1}{A_0} \right)$$

Gravitasjonskonstanten:

$$G = 6.7 \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$$

Tyngdeanomali til et punktmasse:

$$\vec{g} = \frac{Gm}{|\vec{r}|^3} \vec{r}$$