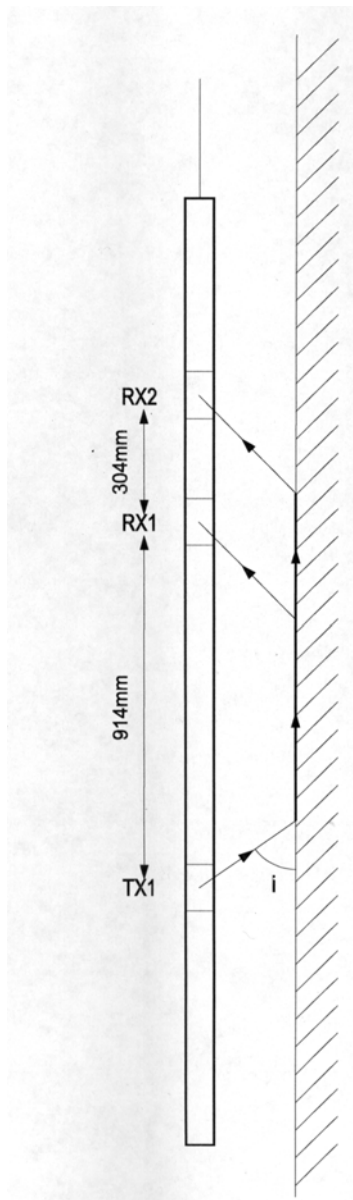


## METODEBESKRIVELSE, Akustisk logging av borehull.

Hensikten med en akustisk logging av borehull er å bestemme formasjonens seismiske hastigheter, både for P-bølge og S-bølge. For bergarter er dette relativt greit, men for løsmasser er det i praksis veldig vanskelig å logge seismiske hastigheter. Enheten for seismisk hastighet angis i meter pr. sekund (m/s), eller i enkelte tilfeller kilometer pr. sekund (km/s). Med informasjon om disse, kan Poisson's forhold beregnes. Har en i tillegg en tetthetslogg av borehullet kan også "Bulk Modulus", "Shear modulus" of "Young's Modulus" beregnes med enhet GigaPascal (Gpa).



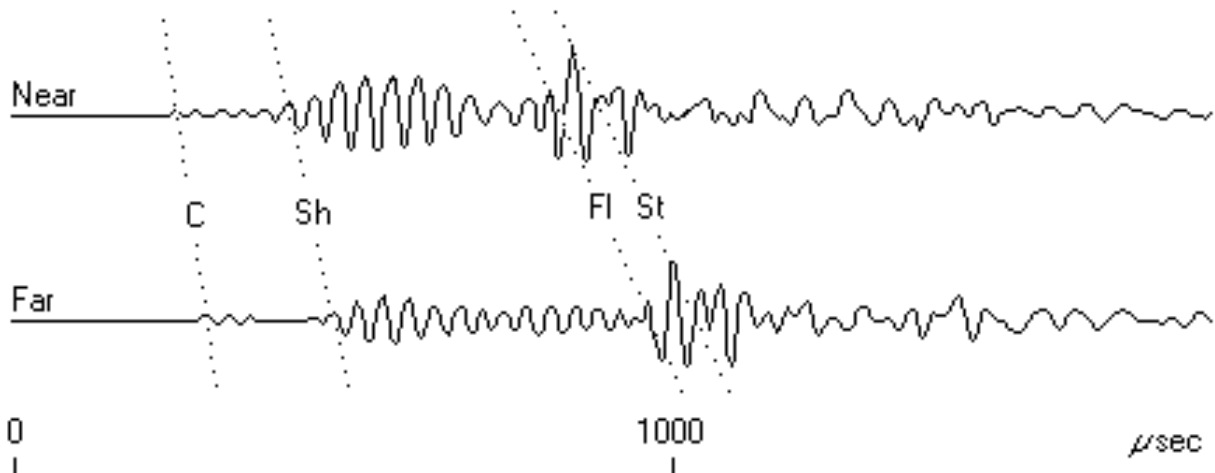
En prinsippskisse av en akustisk sonde, eller sonisk sonde som den også kalles, er vist i figur 1. Høyfrekvent lydimpulser (23 kHz) genereres i senderenheten (TX1) som består av et piezo-elektrisk keramisk element. Bølgene brer seg gjennom borehullsvannet, og ved borehullsveggen brytes disse kritisk og følger fjellet. Energien spres tilbake til to mottagere som er montert 91,4 og 112,8 cm fra senderen. Med dette oppsettet kan lyd hastigheten langs borehullsveggen bestemmes, uavhengig av hvor stor hastigheten er i borehullsvæsken. For å hindre at lyden kommer frem fortere langs sonden, er det lagt inn materiale som demper og forsinker signalene gjennom denne. Avstanden mellom de to mottagerne er valgt ut ved å veie økt oppløsning en kan oppnå ved stor avstand mot redusert signalstyrke når avstanden øker. På grunnlag av dette har en valgt 30,4 cm (1 fot). Under normale forhold foretas en måling pr cm, og med den korte avstanden mellom mottagerne gir dette en meget god oppløsning i seismiske hastigheter langs borehullsveggen.

Ved å beregne forskjell i gangtid for den først ankomne P-bølge og dividere denne med avstanden mellom mottagerne, blir den inverse størrelsen av P-bølg hastigheten ("Slowness") beregnet automatisk. Denne kan plottes direkte på papir under måleprosessen. Sonden digitaliserer også hele bølgetoget som ankommer de to mottagerne, og ut fra disse bildene ("Full waveform", se figur 2), kan i tillegg til p-bølg hastighet også bestemme ankomsttid for S-bølgen og såkalte "Stonley"-bølger. Målingene forutsetter at avstanden fra borehullsvegg til de to mottagerne er den samme, og sonden må derfor sentraliseres i borehullet.

Figur 1: Skisse av målesonde.

## Analyse av data.

Som nevnt kan p-bølgens inverse hastighet ("Slowness", sekund pr. meter, s/m) bestemmes automatisk. Både P-bølgens ( $V_P$ ) og S-bølgens ( $V_S$ ) hastighet kan bestemmes ved å digitalisere henholdsvis førsteankomst og den senere ankomne S-bølge. Når disse er bestemt, kan Poisson's forhold beregnes som vist nedenfor.



Figur 2: Registrert amplitude som funksjon av tid for nærmottager (Near) og fjern mottager (Far). C angir P-bølge ("Compressional"), Sh S-bølge ("Shear"), og St angir Stonley-bølger. Fl representerer en bølge som forplantes gjennom vannet i borehullet.

$$\text{Poisson's Ratio (dimensjonsløs): } \nu = (V_P^2 - 2 V_S^2) / (2 [V_P^2 - V_S^2])$$

der  $\rho$  = tetthet ( $\text{Mg/m}^3$ ),  $V_P$  = P-bølgehastighet (km/s) og  $V_S$  = S-bølgehastighet (km/s).

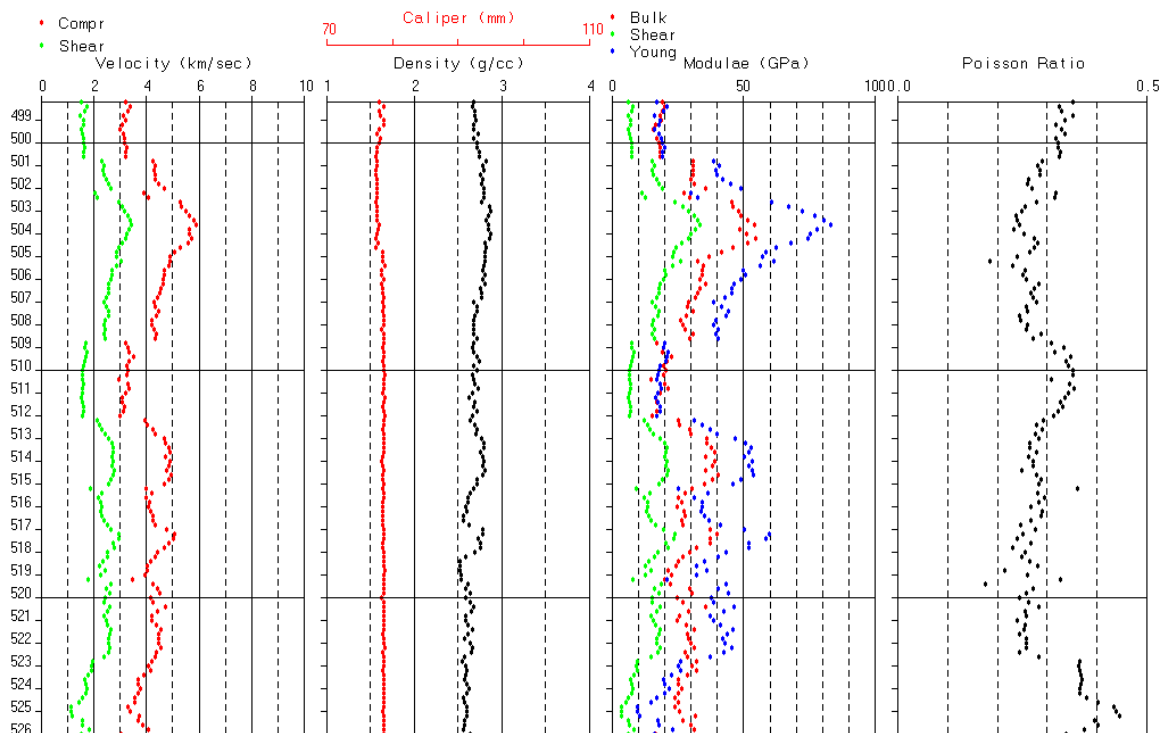
Figur 3 viser eksempel på målt P- og S-bølgehastighet, tetthetslogg og avledede størrelser.

Dersom en har tilgang på tetthetslogg fra det samme borehullet kan også de dynamiske moduler beregnes.

$$\text{Bulk modul (Gpa): } K = \rho (V_P^2 - [4/3] V_S^2)$$

$$\text{Skjær modul (Gpa): } G = \rho V_S^2$$

$$\text{Young's Modul (Gpa): } E = \rho V_S^2 (3 V_P^2 - 4 V_S^2) / (V_P^2 - V_S^2)$$



Figur 3: Målt P- og S-bølge hastighet, tetthetslogg, "caliperlogg" og beregnet "Bulk-", "Shear-" og "Young's-modul" samt Poisson's forhold.

Seismiske hastigheter i forskjellig geologisk materiale varierer, og nedenfor er vist noen eksempler.

Jordarter	P-bølge hastighet (m/s)	Bergarter, ikke oppsprukket	P-bølge hastighet (m/s)
Torv	150 – 500	Sandstein	3000 – 3500
Leire (tørr)	600 – 1200	Kalkstein	4000 – 6000
Sand (tørr)	400 – 900	Dolomitt	2500 – 6500
Grus (tørr)	400 – 1000	Kvartsitt	5500 – 6000
Morene (tørr)	400 – 1600	Granitt	4800 – 5500
Leire (vannmettet)	1200 – 1600	Gneis	4700 – 5800
Sand (vannmettet)	1400 – 1800	Diabas	5700 – 6500
Grus (vannmettet)	1400 – 1900	Gabbro	6200 – 6700
Morene (løs)	1500 – 1900	Ultramafisk	6500 – 7500
Morene (hard)	1900 – 2800		

Tabell 1: P-bølge hastighet i noen geologiske materialer. Data er hentet fra norske erfaringer (NGU og Geomap). S-bølge hastigheten er ofte lik ca 60 % av P-bølge hastigheten (varierer). Oppsprekning av bergarten og leiromvandling vil kunne redusere hastighetene betydelig.