

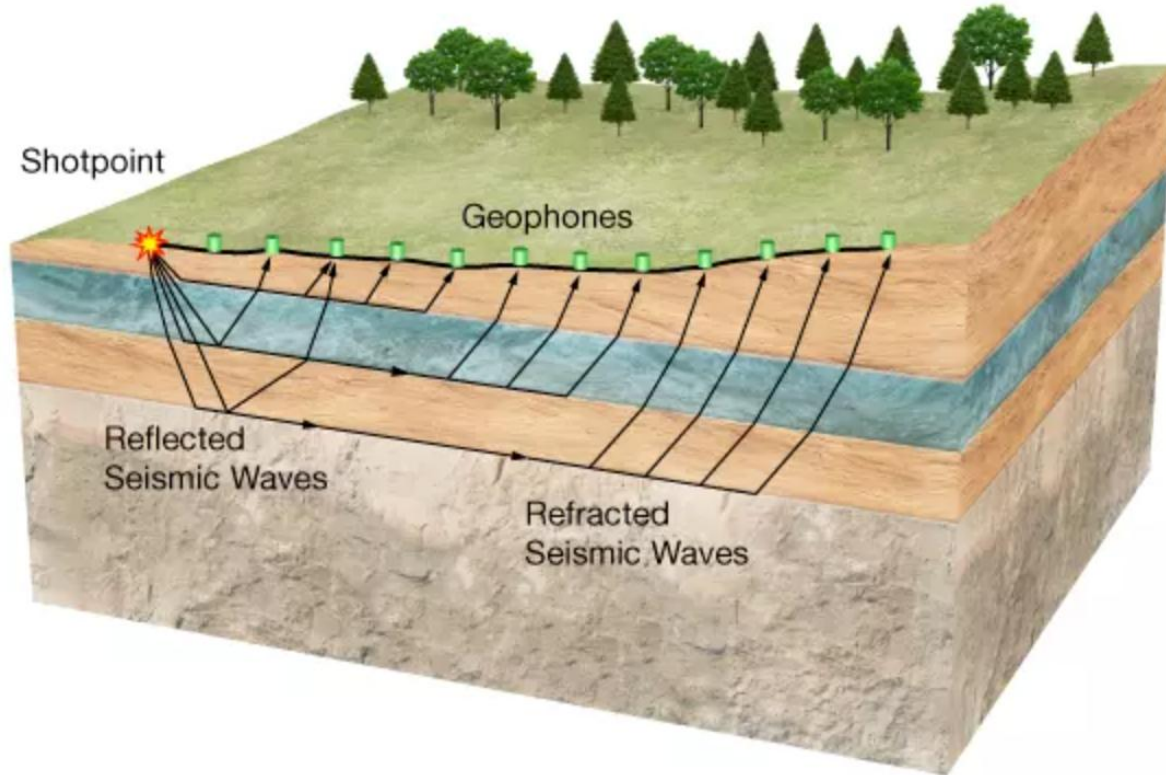


Refraksjonsseismikk

Praktisk tilnærming



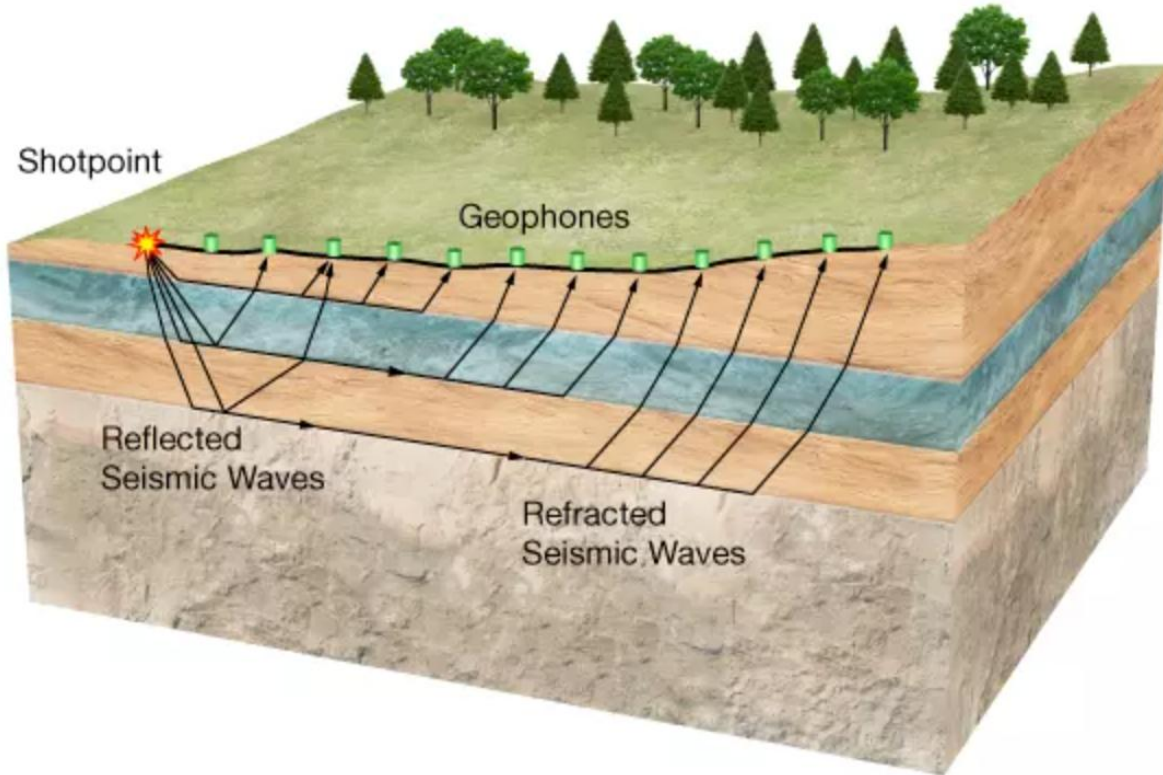




Refraksjonsseismikk er en geofysisk metode som benytter p-bølger for å karakterisere de geologiske forholdene og strukturene under overflaten.

Refraksjonsseismikk brukes innenfor ingeniørgeologi og geoteknisk ingeniørarbeid med mer. Enkelt forklart krever metoden 3 ting: **Seismisk kilde, mottakere (geofoner, hydrofoner) og måling av tid.**

Metoden avhenger av at hastigheten endrer seg (øker) mot dypet og at kontrasten mellom den seismiske hastigheten i lagene er av en viss størrelse. Bølgenes hastighet og retning i bakken er avhengig av massetettheten. Når bølgene møter et skille mellom to forskjellige materialer blir noen bølger reflektert, noen fortsetter videre, mens noen følger grenseflaten bortover med høy hastighet (såkalt refraksjon).



Refraksjonsseismikk er en geofysisk fjernmålingsmetode som benytter p-bølger for å karakterisere de geologiske forholdene og strukturene under overflaten.

Refraksjonsseismikk brukes innenfor ingeniørgeologi og geoteknisk ingeniørarbeid med mer. Enkelt forklart krever metoden 3 ting: Seismisk kilde, mottakere (geofoner, hydrofoner) og måling av tid.

Metoden avhenger av at hastigheten endrer seg (øker) mot dypet og at kontrasten mellom den seismiske hastigheten i lagene er av en viss størrelse. Bølgenes hastighet og retning i bakken er avhengig av massetettheten. Når bølgene møter et skille mellom to forskjellige materialer blir noen bølger reflektert, noen fortsetter videre, mens noen følger grenseflaten bortover med høy hastighet (såkalt refraksjon).

Hvorfor refraksjonseismikk?

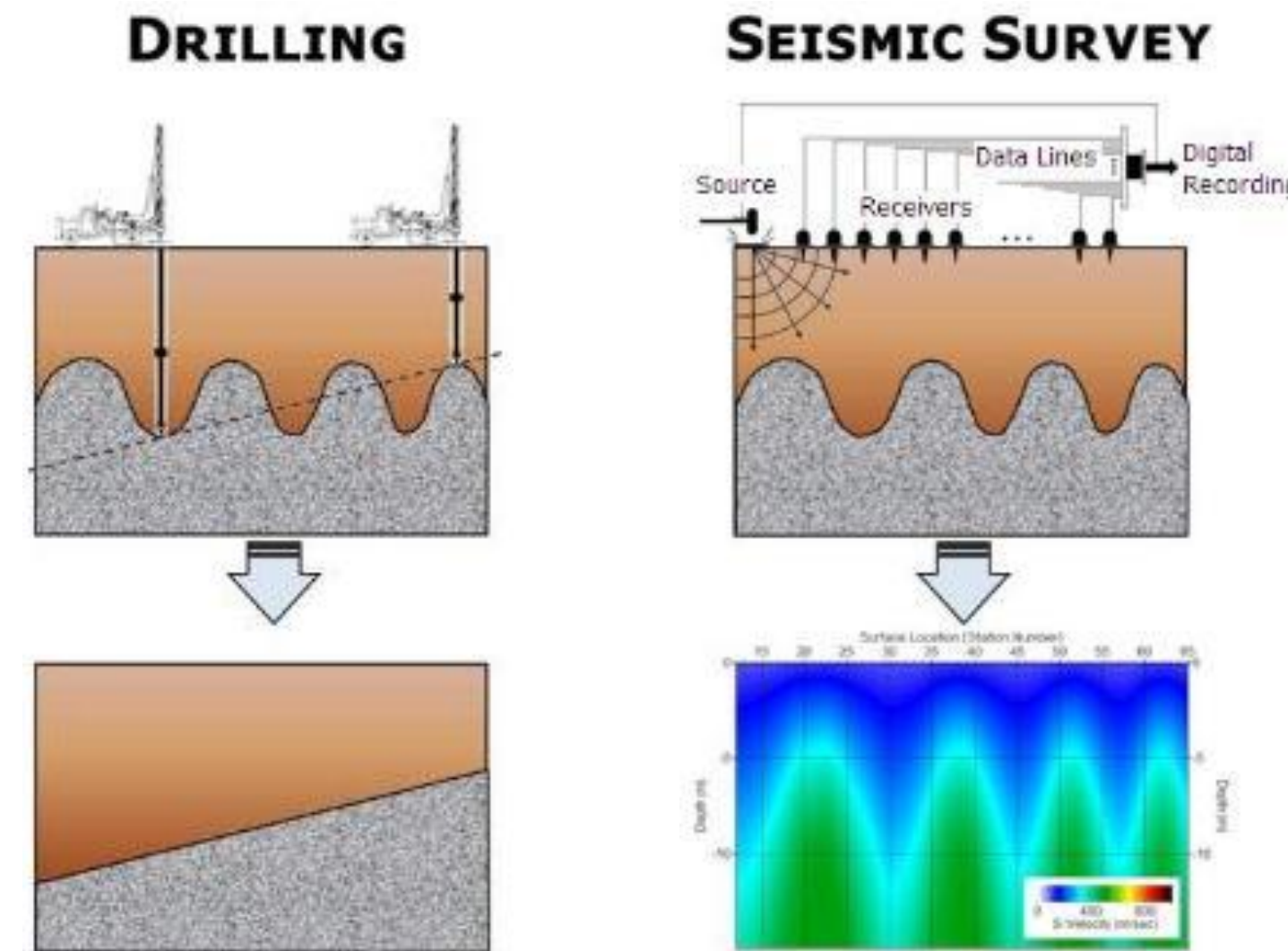
Bor data:

Fordeler:

- Direkte prøvetaking/registerering av berggrunnen.
- Presise dybdemålinger

Ulemper:

- Geometrien til bergoverflaten kan feiltolkes
- Krever et stort antall borhull
- Noen områder er utilgjengelige for borerigg
- Relativt høy pris og tidkrevende
- Usikkerhet mellom blokker og bergoverflate



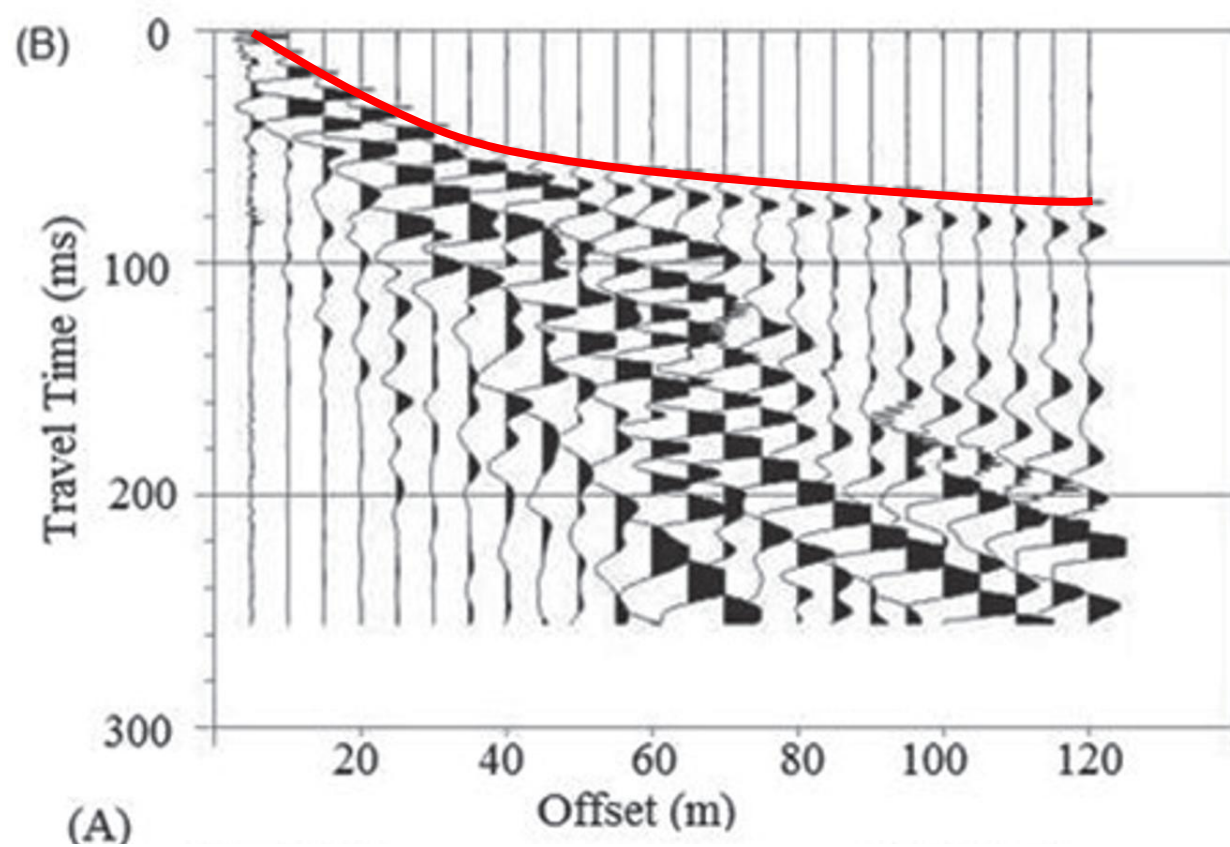
Refraksjonsseismiske data:

Fordeler:

- Dekker et stort område
- Ikk-desktrutiv metode
- Relativt raskt og lavt kostnadsnivå (sammelignet med boring)

Ulemper:

- Indirekte metode – Krever tolkning
- Har matematiske og fysiske begrensninger
- Har alltid en viss usikkerhet



- Refraksjonsseismiske prosjekter kan praktisk talt deles inn i to deler:
- Datainnsamling
- Modellering & Tolkning

- **Datakvalitet er helt essensielt** - «Shit in – Shit out»

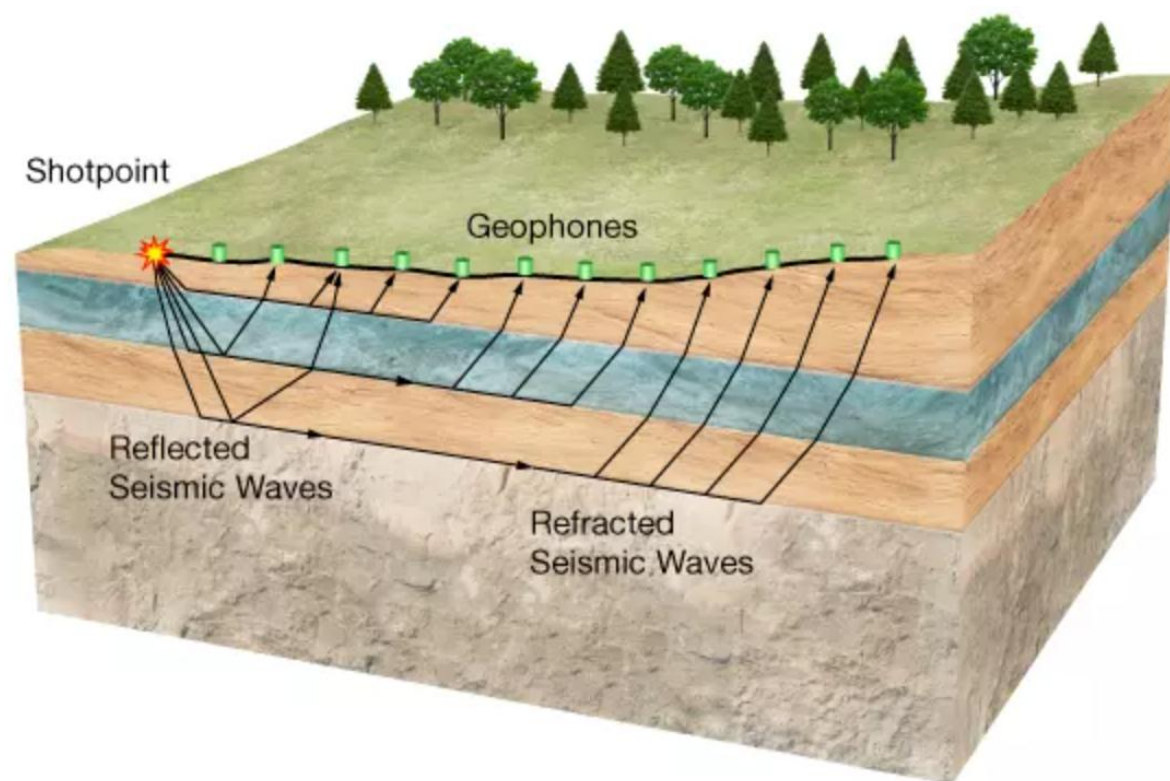
- I feltet – Fokus på best mulig datakvalitet.

- Hva kan vi påvirke i felt:

- Den Seismisk kilden (kvalitet på lydsignal og kilde bruk)
- Mottakere og plassering (med innmåling)

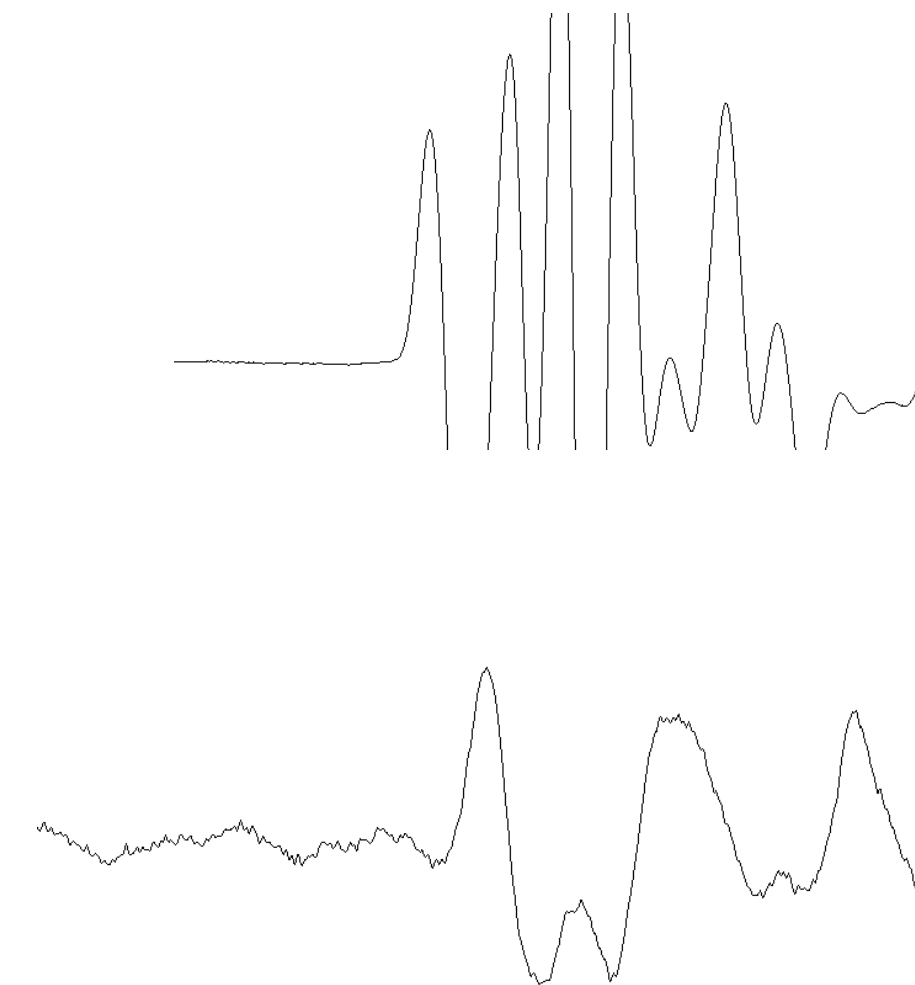
- Hvis kilden er god og mottaket er godt er forutsetningen til stede for:

- At kvaliteten på "første ankomster" er god, dette er den mest kritiske faktoren for en god og pålitelig modell.



Faktorer som påvirker datakvaliteten:

1. Profilens lengde
2. Egenskaper ved seismisk kilde
3. Geofonens plassering
4. Bakgrunnsstøy



1. Pratisk teori: Profil lengde

I en viss kritisk avstand fra skuddpunktet vil refrakterte bølger nå fram før de direkte bølgene som har fulgt terrengoverflaten. Den kritiske avstand er proporsjonal med dypet til sjiktgrensen. Og forøvrig bare avhengig av forholdet mellom de to hastigheter.

I praksis så betyr dette at profilet må være lenger enn: X_{cross1}

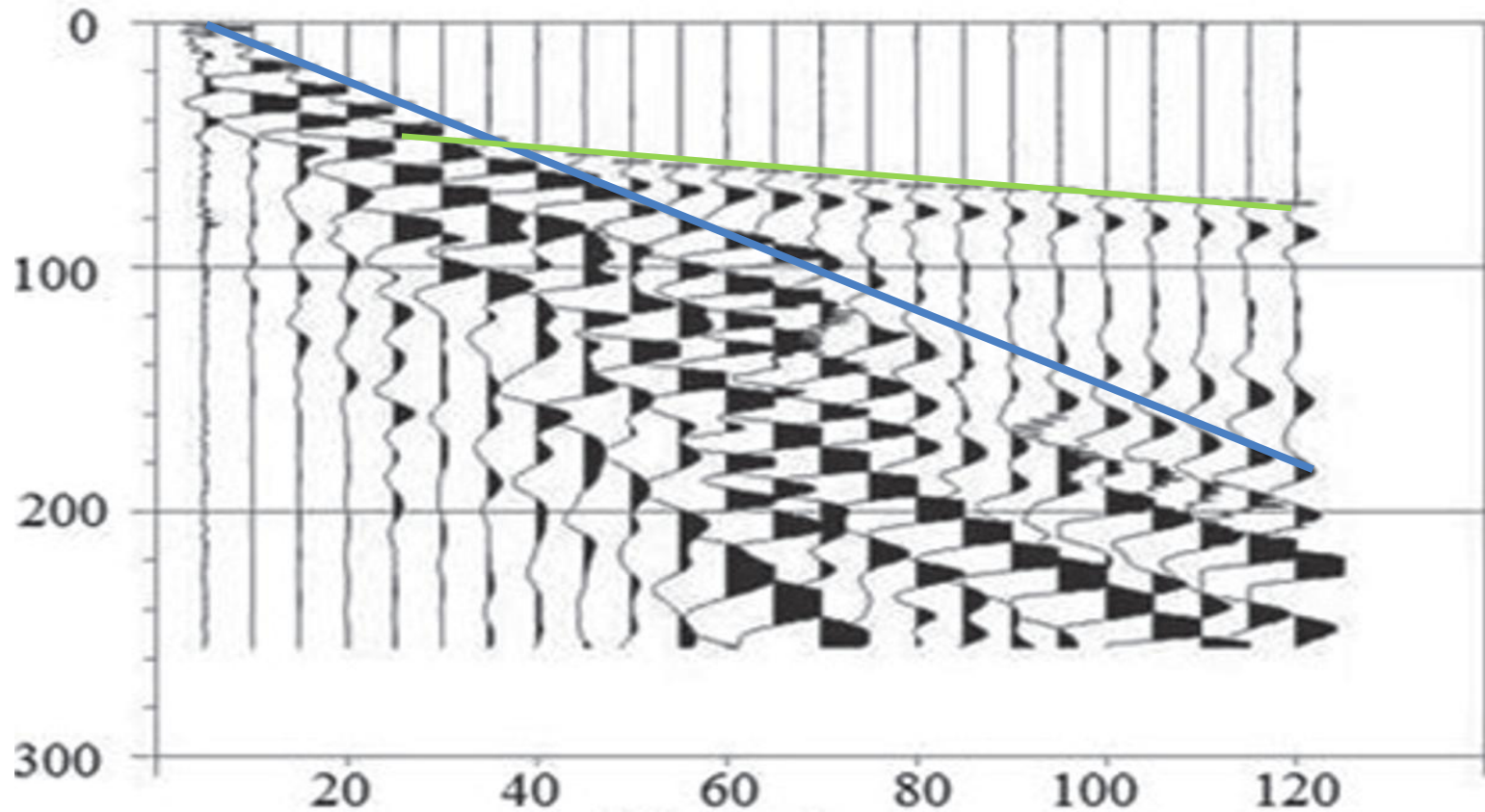
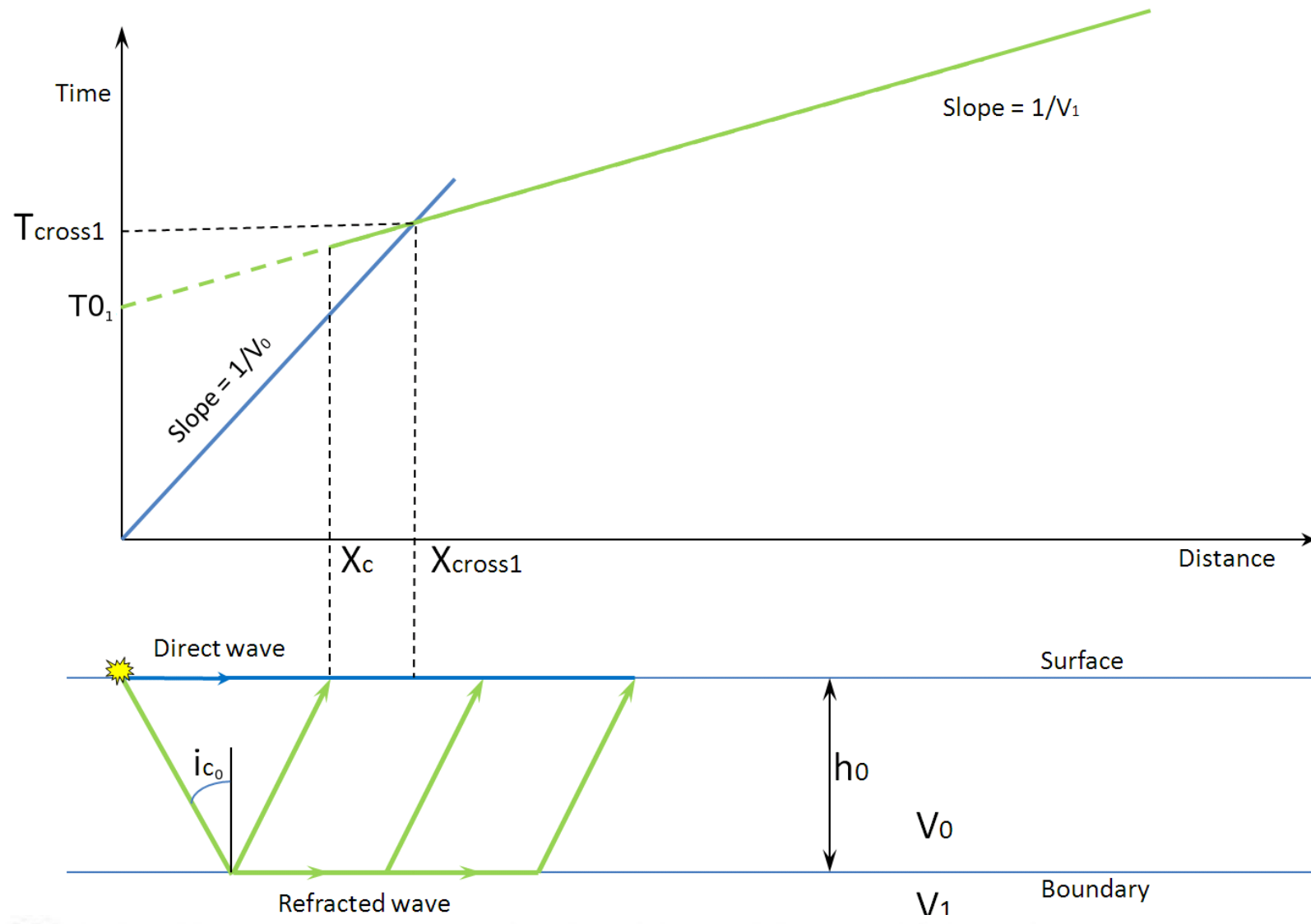
$$X_{cross1} = \frac{2 \cdot h_0}{\sqrt{\frac{V_1 - V_0}{V_1 + V_0}}}$$

I et enkelt tilfelle for typiske seismiske hastigheter i løsmasser og berg så får du dette tilfelle:

$$X_{cross1} = 2.5 h_0 \quad \text{For løstlagrede masser, ca. 1000 m/s}$$

$$X_{cross1} = 4.0 h_0 \quad \text{For hardere pakkede lag, ca. 2000 m/s}$$

MEN VI TRENGER NOE UTOVER X_{cross1} FOR Å KUNNE BEDØMME BERGOVERFLATEN



VIKTIG!!!!!!

Minimums betingelse:
 Profil lengde = 5 x Dybde til målet/berg

Bergoverflate ca. 20 meter → profil lengde lenger enn 100 meter
 (LES MINIMUM 115 meter)

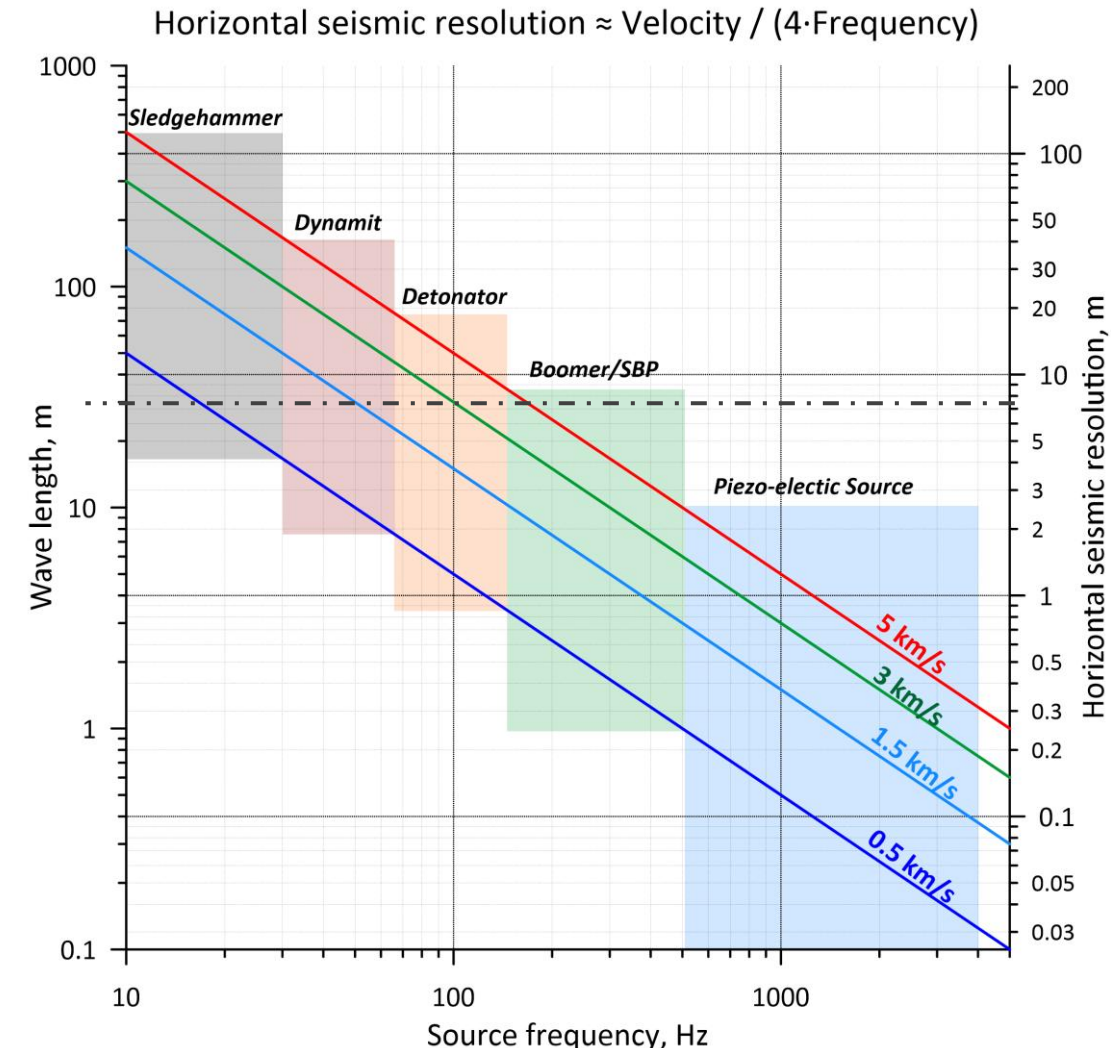
2. Pratiksk teori: Seismisk kilde

Krav til seismisk kilde

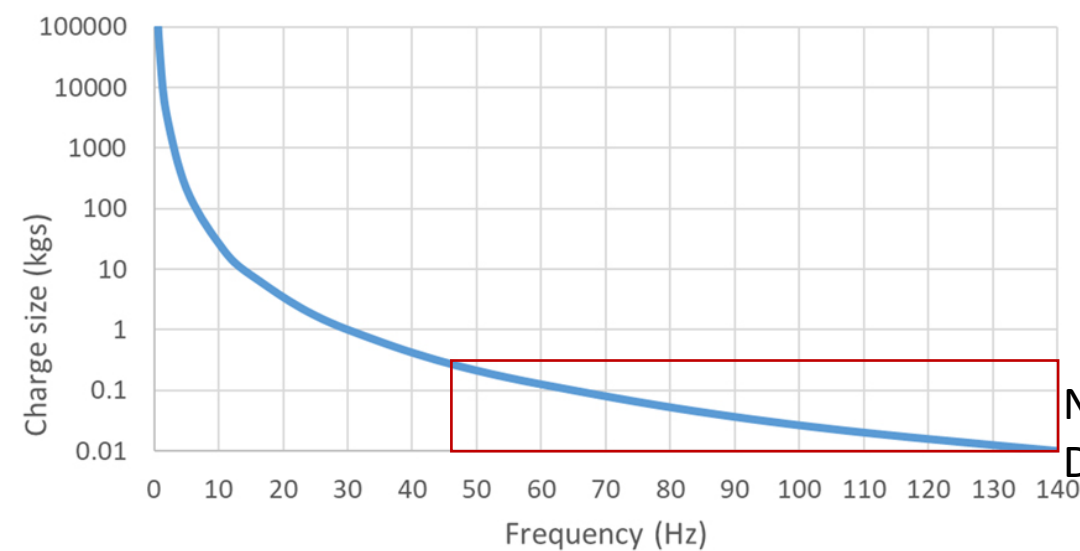
Teoretisk:

- Den dominerende frekvensen så høy som mulig
- Høyere frekvens → "skarpere" første ankomster → bedre modell
- Høyere frekvens → større energitap → kortere utbredelse

Det er alltid en avveining mellom oppløsning og utbredelse!



Charge size (kgs) vs Dominant Frequency of Detonation



Normal frekvensområde
Dynamitt ladning

Praktisk:

- Kraftig nok til å bli registrert langs hele profilet
- Sikkerhetsvurdering
- bærbar
- Enkel å betjene

Vi bruker hovedsaklig 3 forskjellige seismiske kilder:

- 25-100g TNT ladning – Hovedkilde for de fleste undersøkelser, balanserer utbredelse og spektrum(frekvens)
- 5 g TNT elektrisk tenner – brukt på korte profiler under gunstige forhold, bedre spektrum(frekvens)
- Slegge – backup alternativ
Når og hvor eksplosiver ikke kan brukes

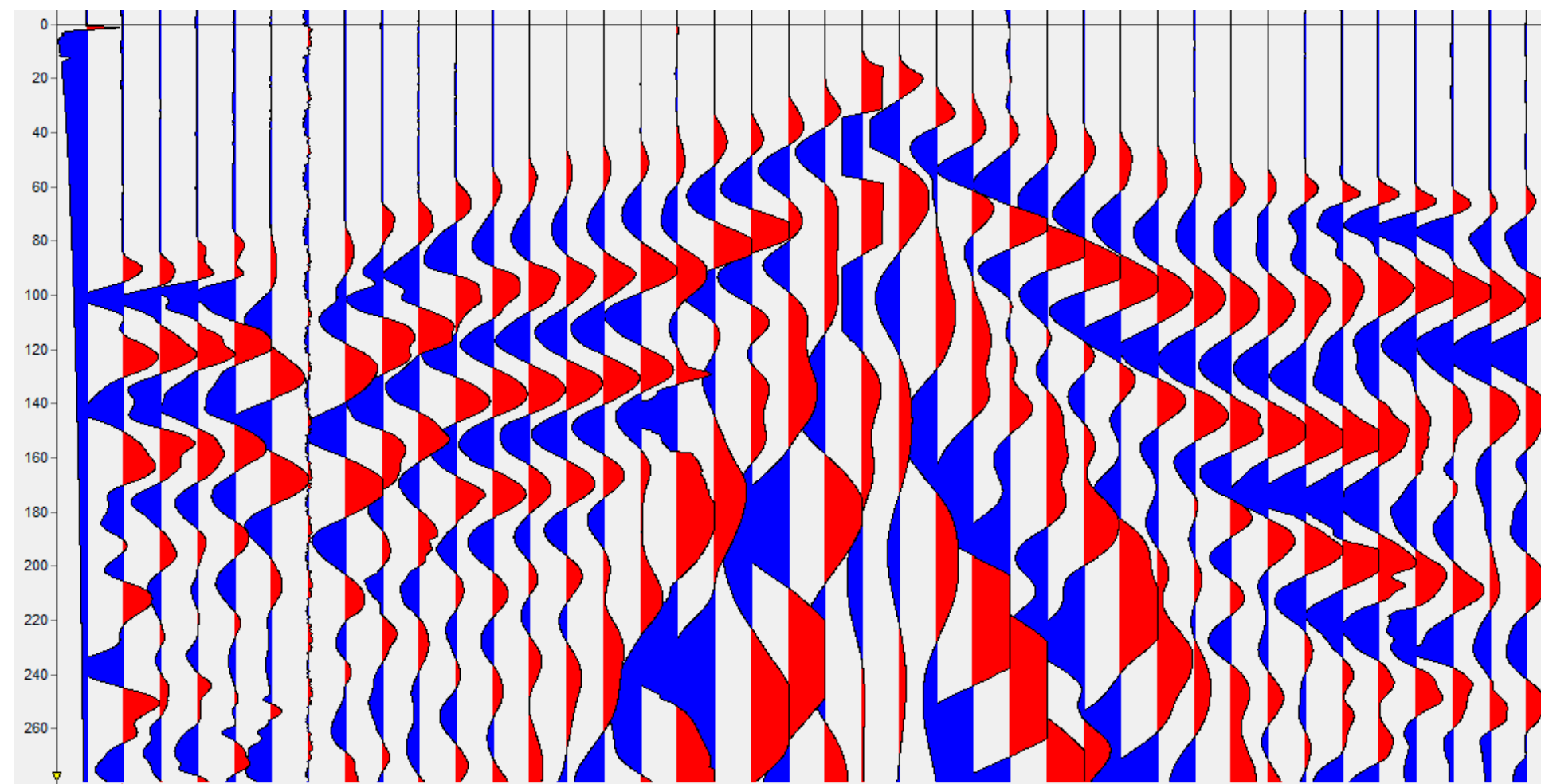


3. Praktisk teori: Geofon plassering

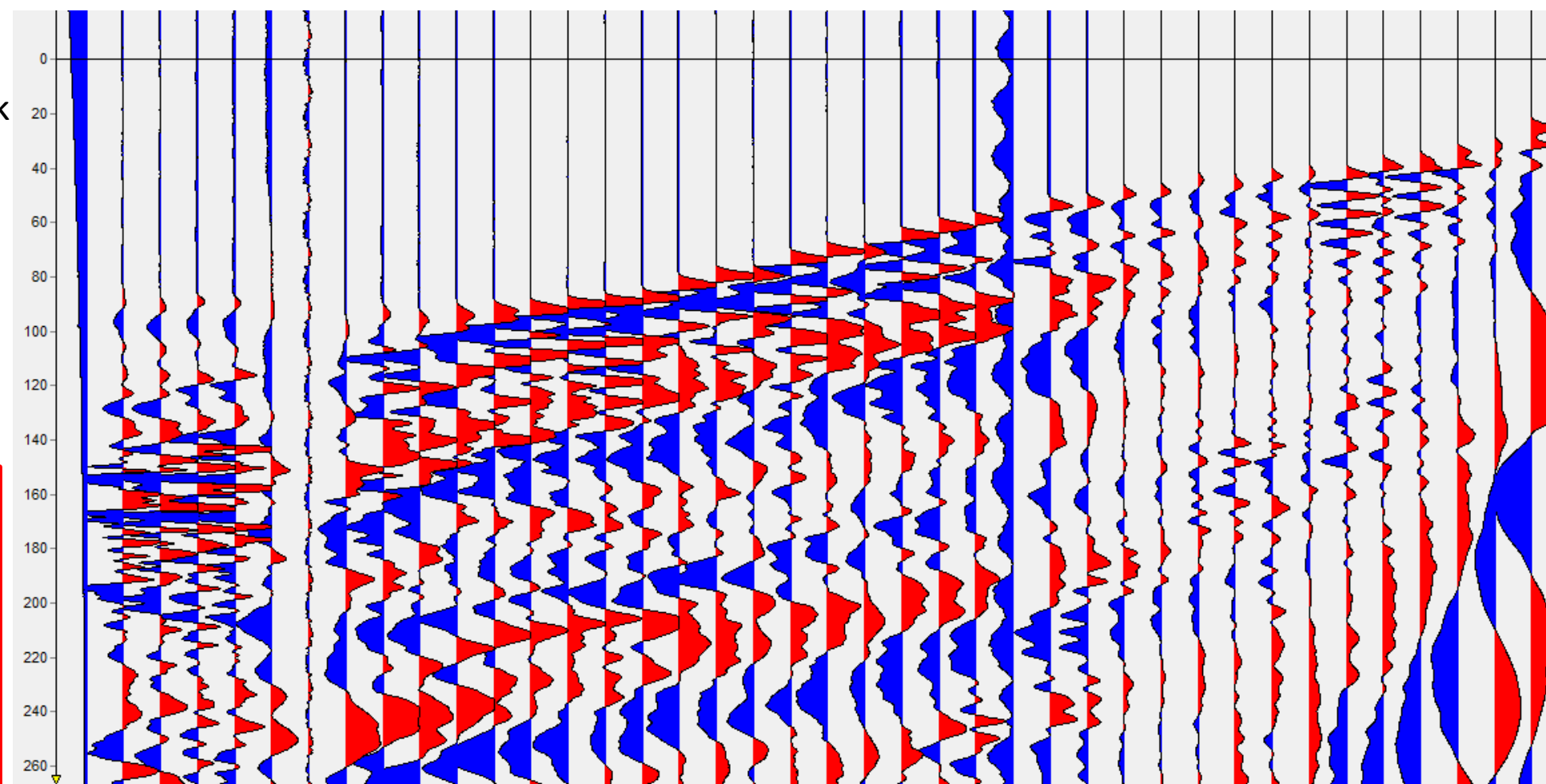
Kobling I bakken og massenes effekt:



Myke (løse) sedimenter har en tendens til å naturlig filtrere ut høye frekvenser. Dataene er mindre "skarpe", noe som kan føre til større feil i modelleringen



Hard (kompakt) sedimenter sprer seismisk energi bedre. Dataene er "skarper"



Fra et kart er det vanskelig å bedømme forholdene lokalt.

Vi ønsker å ha litt frihet i feltet til å flytte profiler, for best mulig utgangspunkt for god datakvalitet.

Men noen ganger er de stedlige/geologiske forholdene slik at det er lite vi kan gjøre.

All slags akustisk bakgrunnsstøy forringer datakvaliteten.

De vanligste årsakene til høye støynivåer er:

Naturlige:

- Vind
- Regn
- Bølger
- Rennende vann



Vi har ingen kontroll over været – Vi kan bare vente på bedre vær!

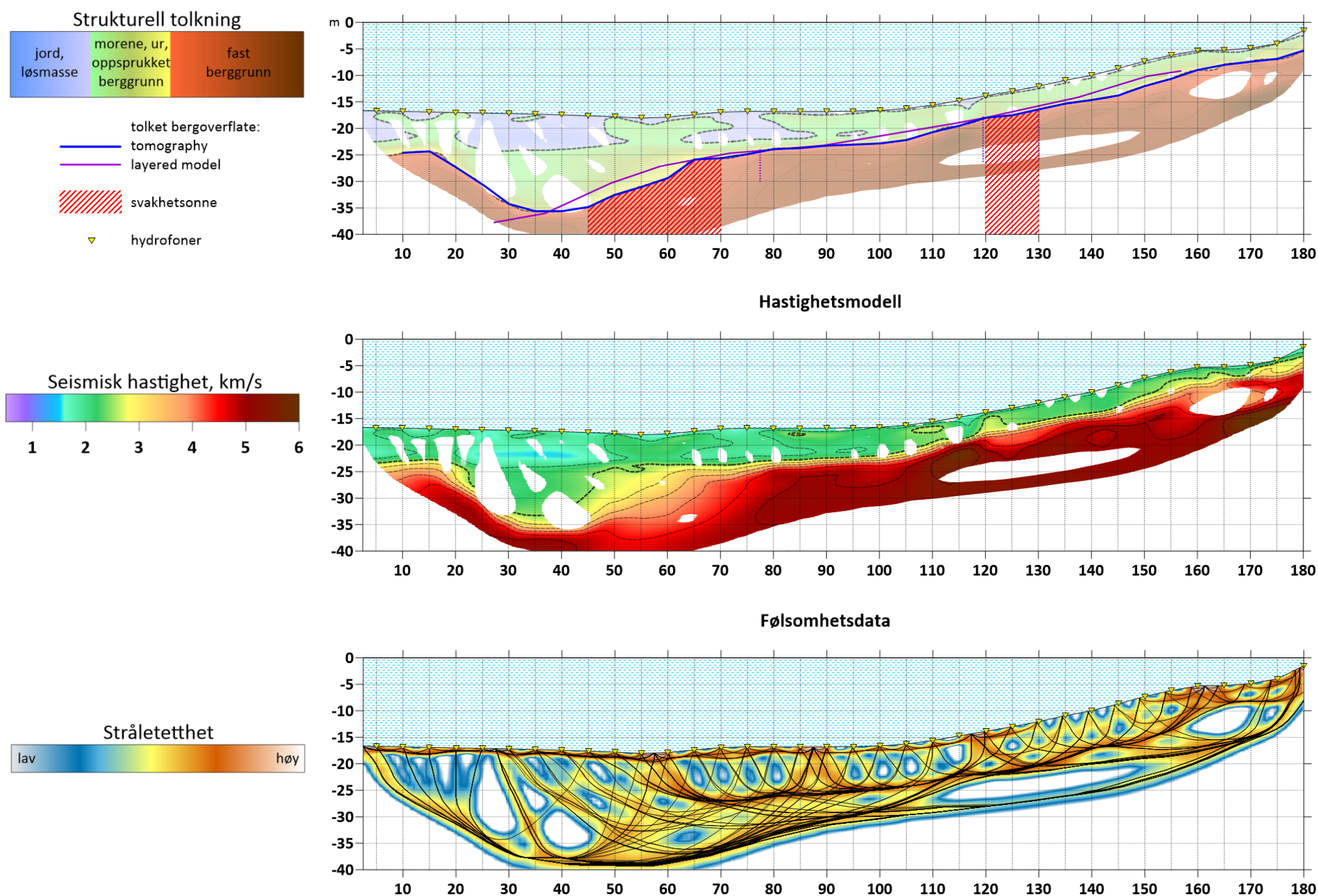
Antropogene:

- Tungt maskneri
- Tog
- Vei trafikk



Antropogent støy – kan håndteres med riktig planlegging og koordinering

“Stand by” benyttes – av 2 grunner: sikkerhetsmessige og/eller datakvalitetsmessige hensyn



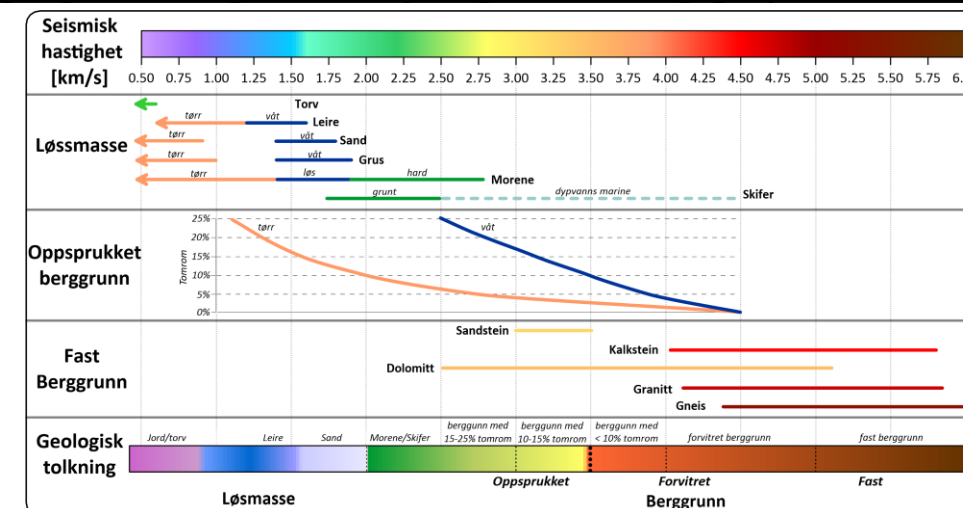
Modellering: Lagdelt modell vs tomografisk

Begge metodene har antakelser, begrensninger og anvendelsesområder. Vi mener at det ikke finnes en "beste" metode, til tross for diskusjoner. Vi bruker begge metodene samtidig for å produsere en felles tolkning. Generelt ser vi veldig god konsistens i modelleringresultatene fra begge metodene. Ytter kantene av modellene har vanligvis større usikkerhet.

Ideelt sett så bør interesse området for dere være i midten av profilen.

Tolkning

Modellering og tolkning er forskjellige uavhengige prosesser!!



Strukturer, lagdeling og dybde beregning tolkes basert på modellresultater + tillegg data.

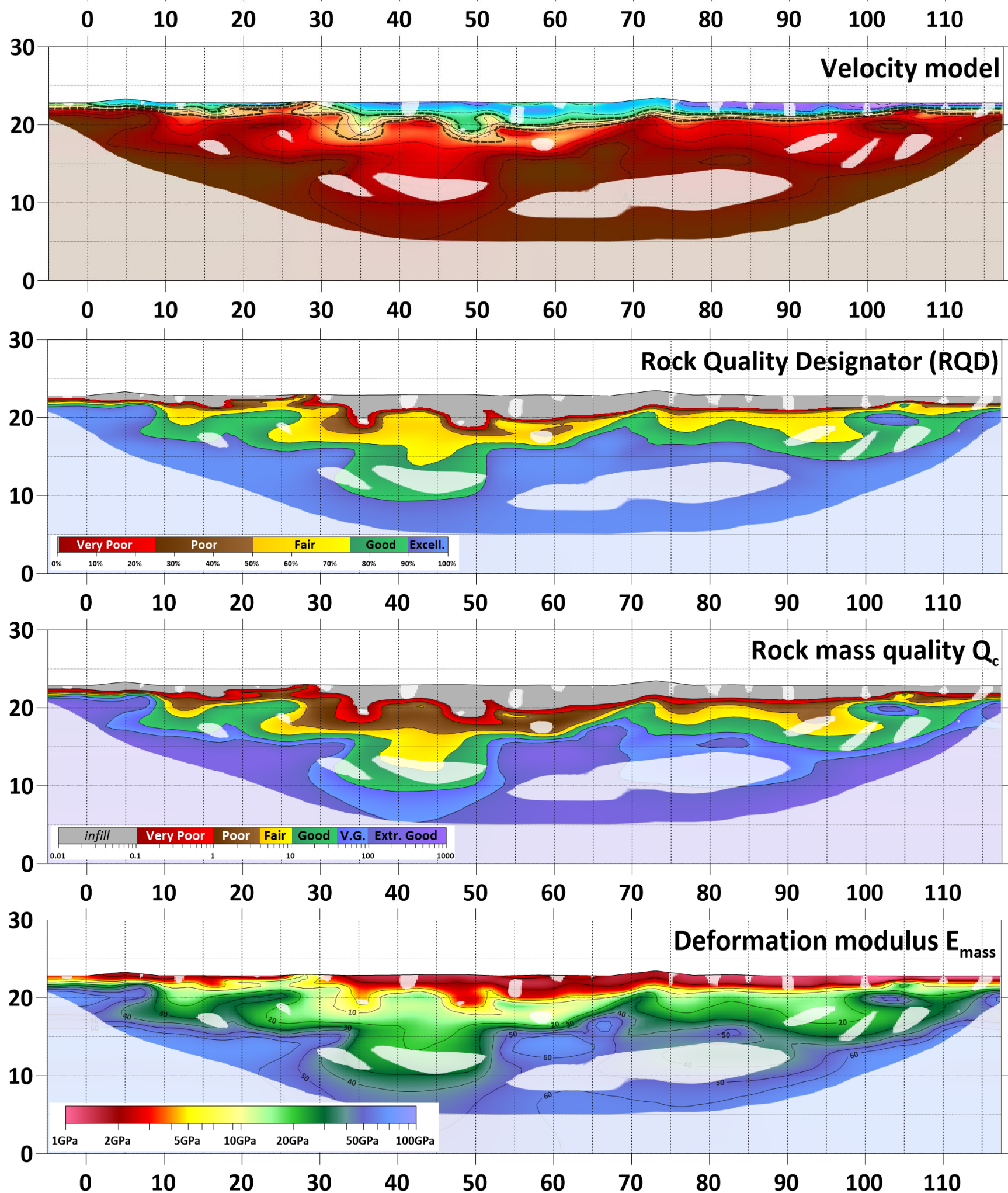
Desto mer tilleggdata → Desto mer robust og presis tolkning

VIKTIG

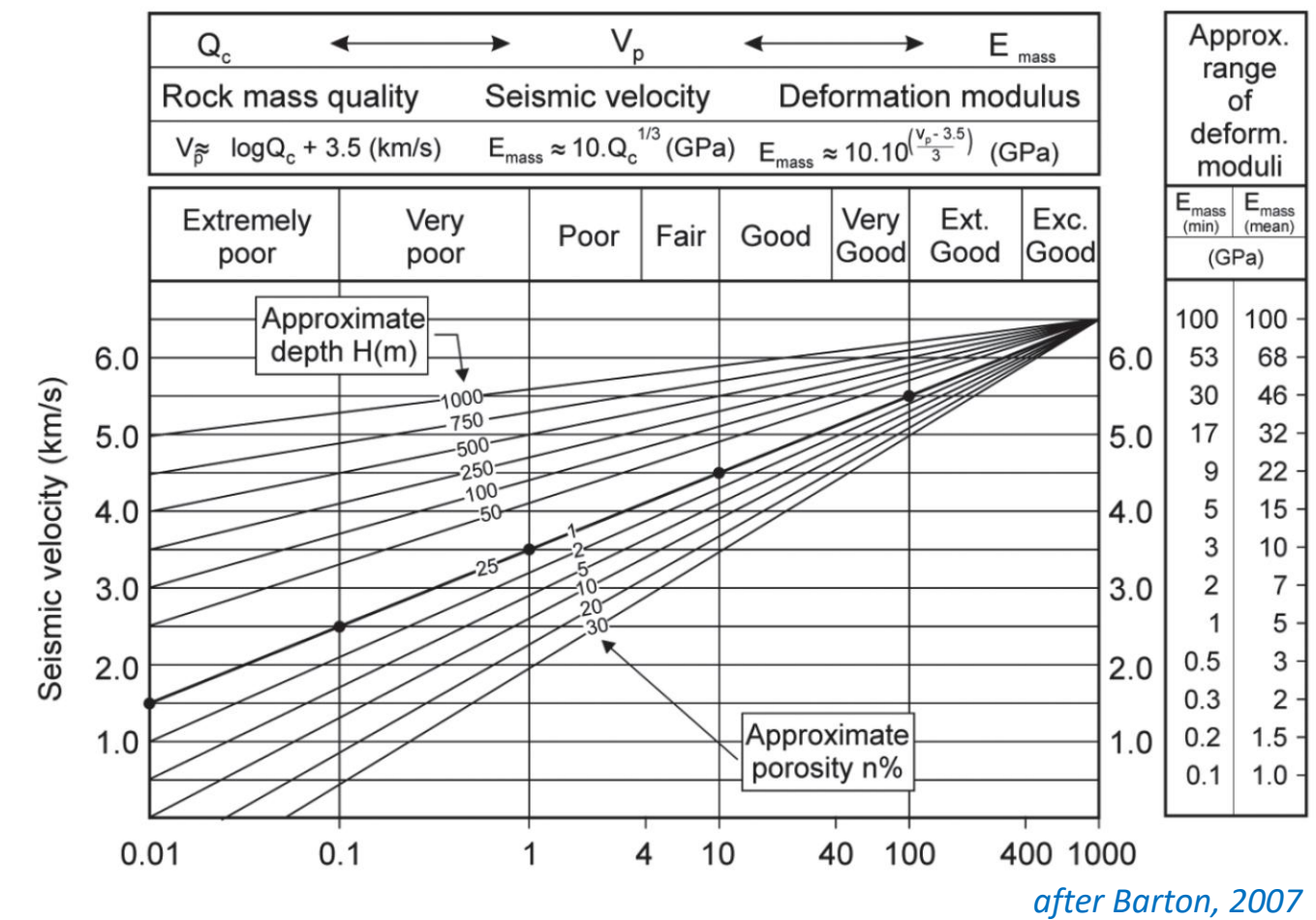
Jo tidligere og jo mer informasjon dere gir oss, desto bedre kan vi planlegge undersøkelsen og levere de en robust tolkning.

Eksempler på tilleggdata:

- feltobservasjoner,
- geologiske data
- høyoppløselig topografi/batymetri
- boredata
- andre geofysiske datasett
- områdets historie (tidligere sump, steinbrudd, deponi, etc.)
- kjente artefakter i området (kabler, rør, vrak, etc.)



Large petrophysics dataset collected for Norwegian bedrock allows creation of empirical relations between seismic velocity and physical rock properties.

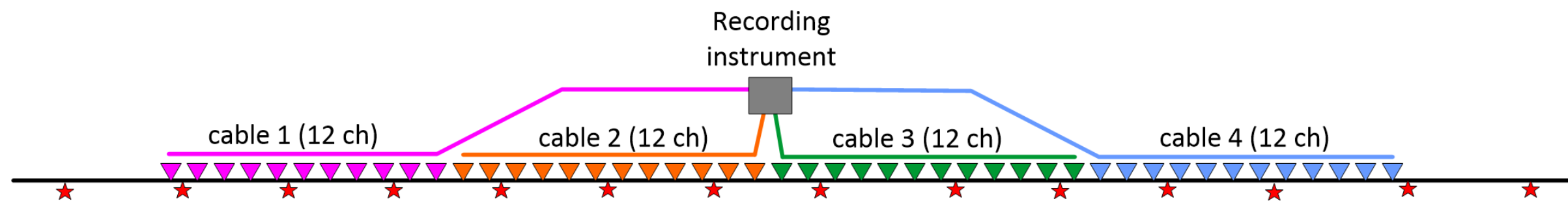


Interpretation can be extended to estimate common geotechnical parameters:

- Rock Quality Designator (RQD)
- Rock Mass Quality (RMQ)
- Deformation Modulus
- Permeability

These interpretations are limited in accuracy to velocity model and correctness of empirical relations.

For refraksjonsseismiske profiler på land, er det ønskelig med faste lengder



Hver kabel:
Lengde - 55 meter
Antall geofoner – 12
Geofon avstand – 5 meter

Seismograf støtter opptil 48 kanaler
Vi kan lage profiler med et hvilket som helst antall geofoner fra 12 til 48

Maksimal lengde pr.utlegg – 235 meter

Ved lengre profiler enn 235 meter – benytter vi “roll over” prinsippet.

Geofon og kilde posisjon:

Nominell geofonavstand 5 meter
Kilde plassering ca. hver 20 til 25 meter

Men I praksis er det bedre å ha god kobling mot bakken for geofon og god kilde plassering, enn å holde seg slavisk til definerte avstander!!! – Så lenge posisjonen er kjent og innmålt!!

For modellering er de relative posisjonene til geofoner/kilder ikke veldig viktige, så lenge posisjonene er kjent. I feltet måler vi posisjonen til hver geofon/kilde med RTK GPS med en nøyaktighet på ± 1 cm (teoretisk)

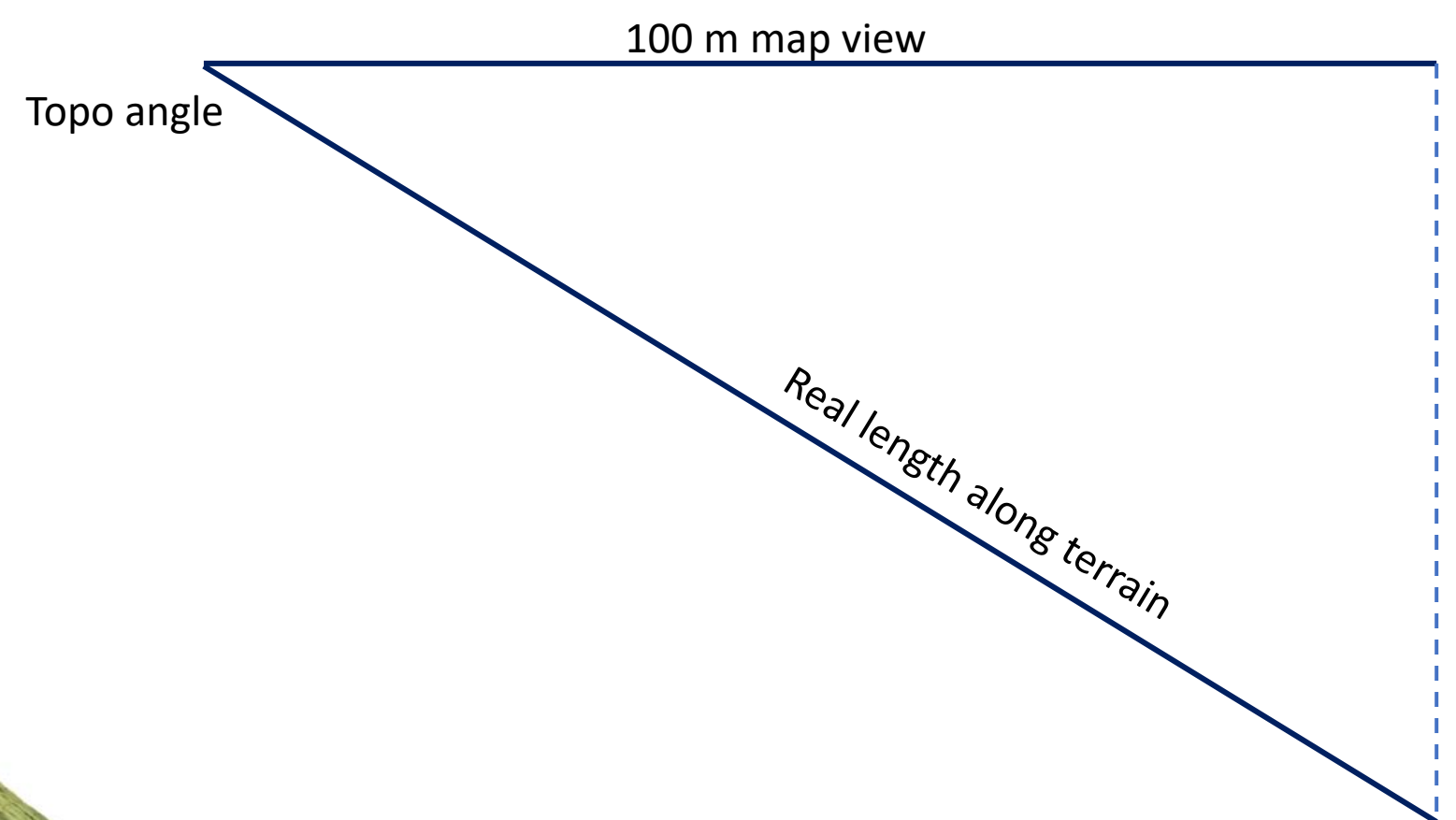
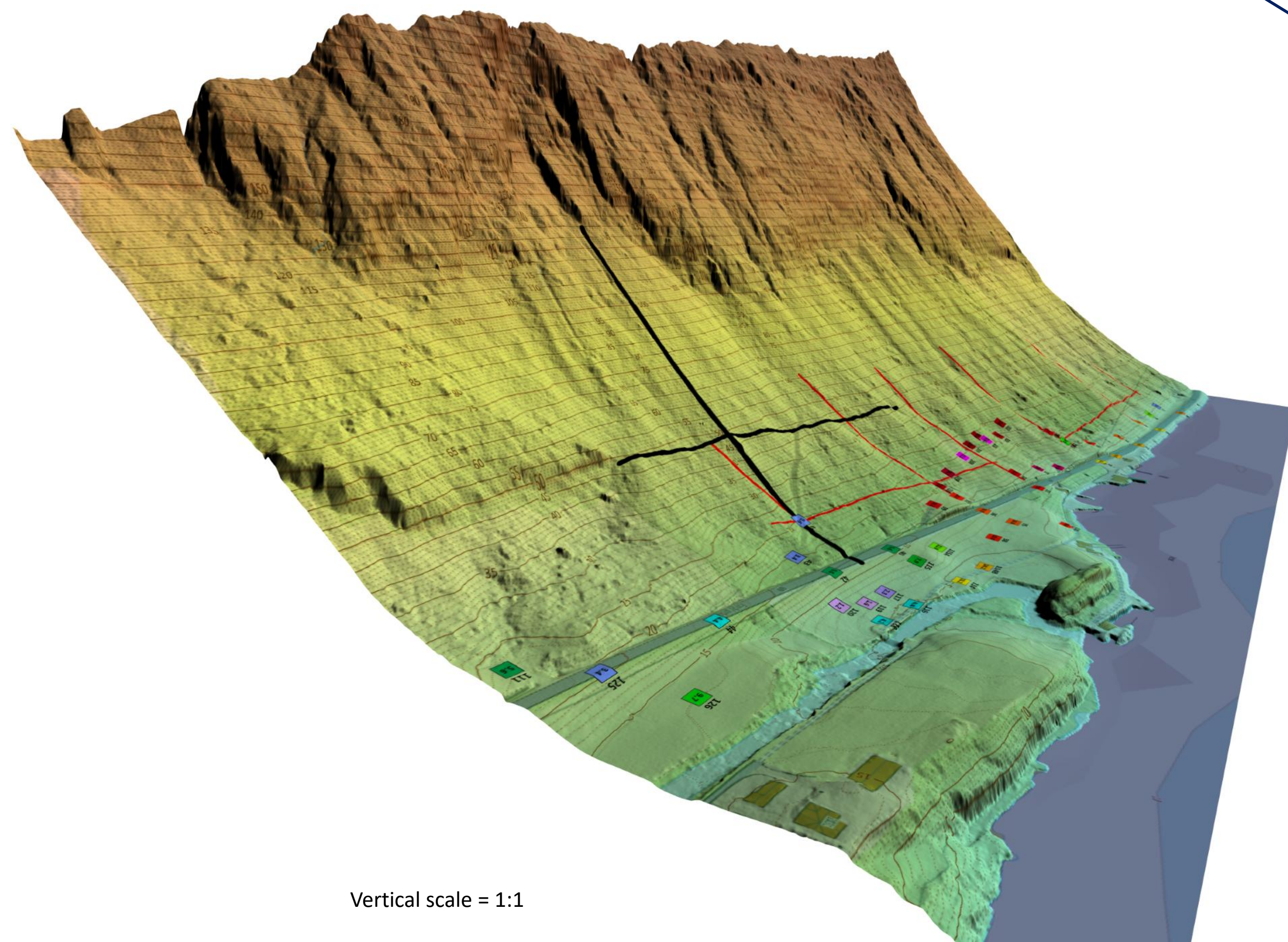


Et feltlag på 2 personer kan samle inn fra 115 meter til ca. 600 meter pr.dag.

Ekstremt avhengig av terrenget!!!



Profil lengder: Plan Vs 3D

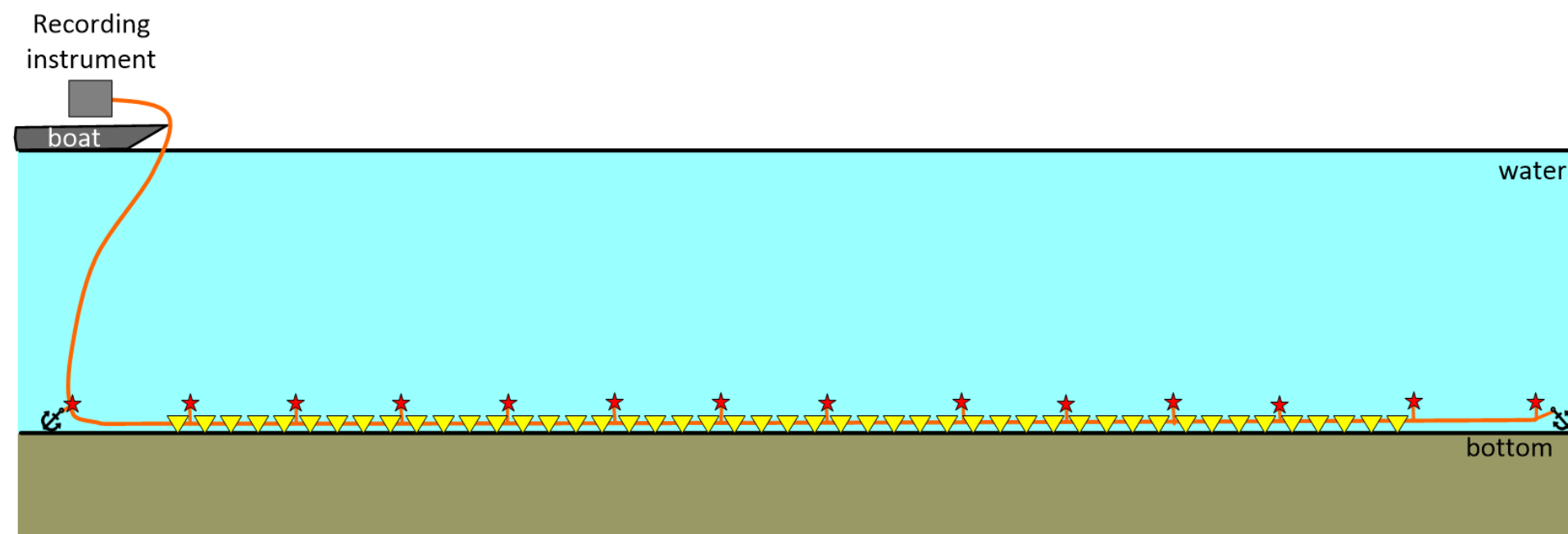


Terrenget	Lengde langs terreng i meter
10°	102
20°	106
30°	115
40°	131
50°	155

Vertical scale = 1:1



For refraksjonsseismikk I sjø har vi sjøbunnskabler med faste lengder



Cable	Channels	Hydrophone spacing	Weight	Max. water depth	Minimum boat requirements
115m	24	5m	~150 kg	~50m	Rubber boat: lakes & rivers
235m	48	5m	~500 kg	~150m	Rubber boat: lakes & rivers Small working-boat: fjords & sea
470m	48	10m	~1500 kg	~300m	Big working-boat: deep fjords & sea

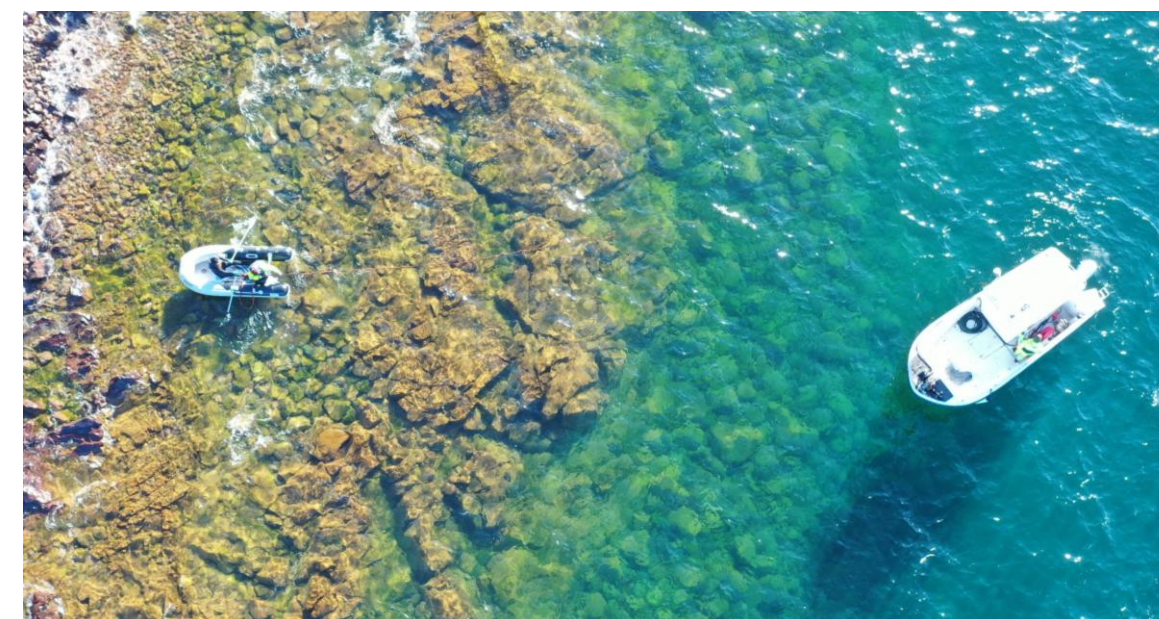
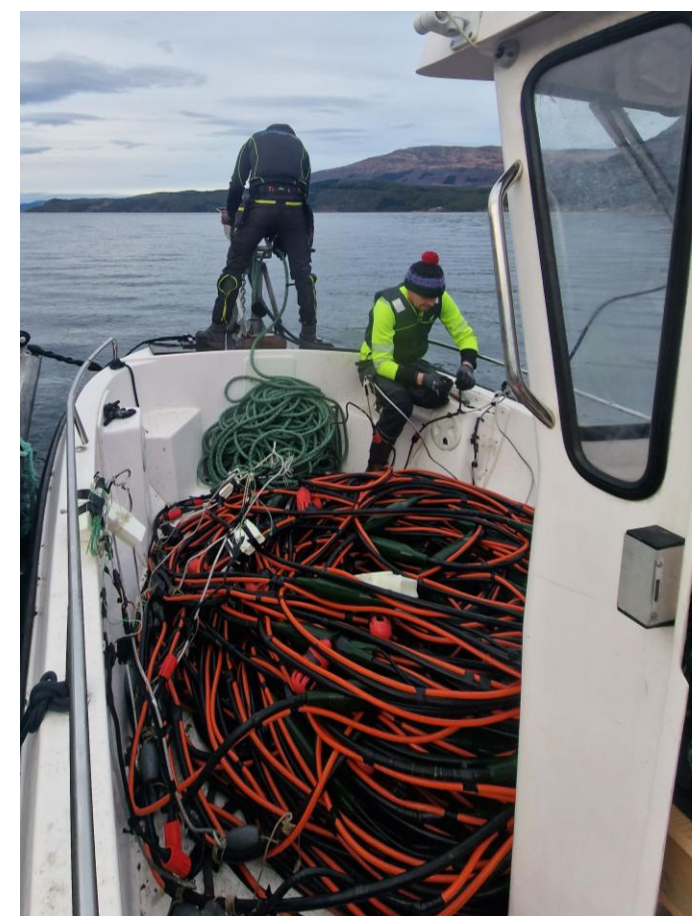
Sjøbunnskablene består av 2 kabler, 1 seismisk kabel med hydrofoner og 1 skytekabel med predefinerte avstander på skuddposisjonene. Prelades før senking til sjøbunn.

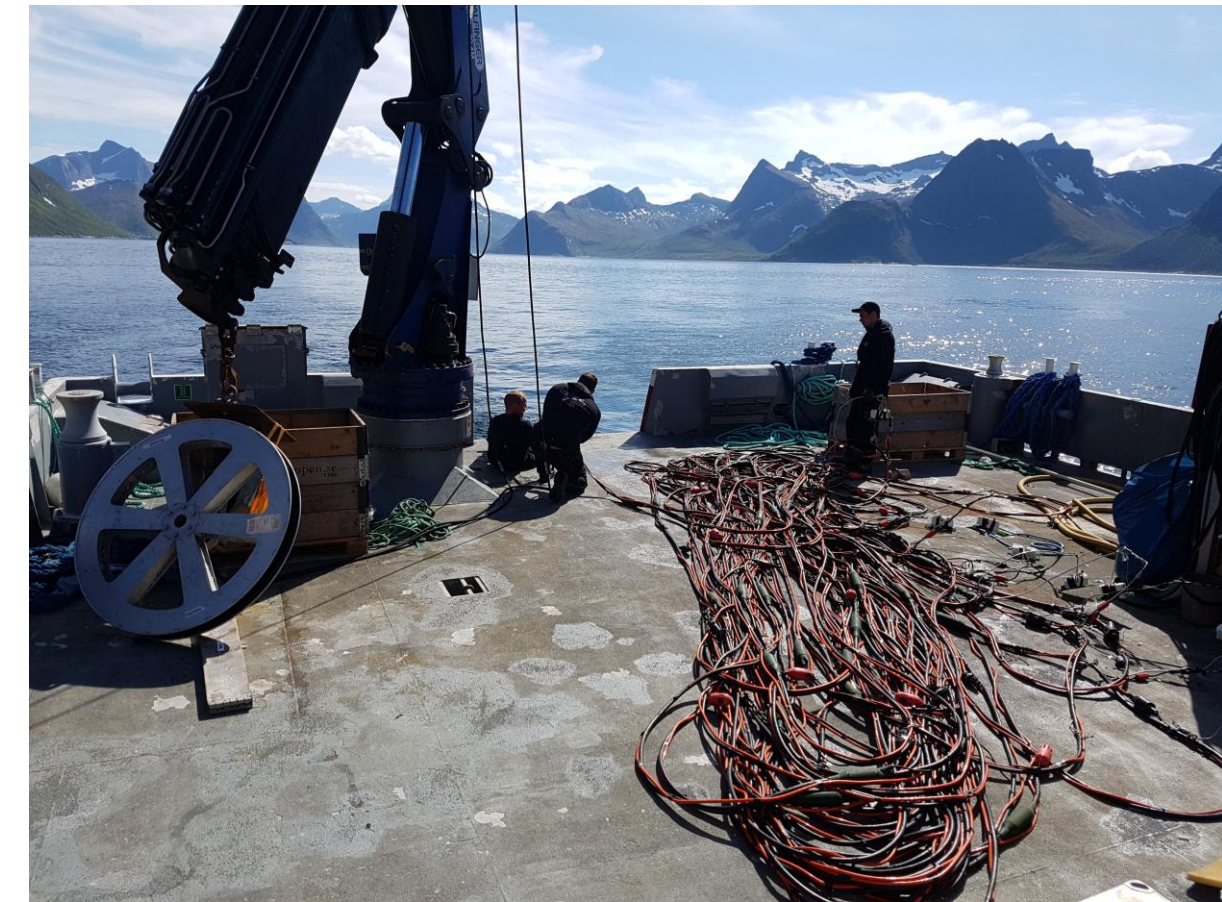
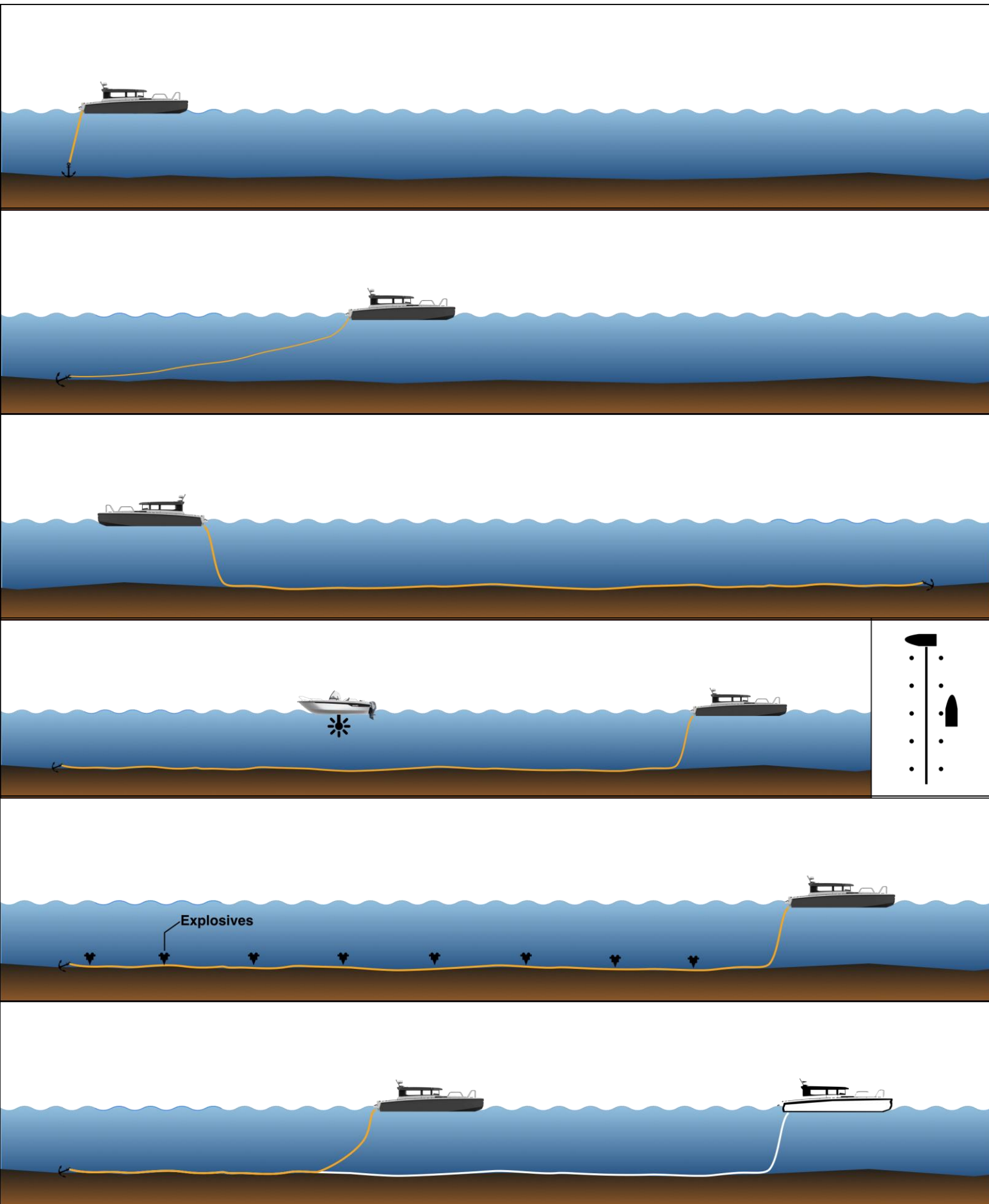
Refraksjonsseismikk I sjø Krever 6 til 10 ekstra posisjonerings "skudd" I overflaten for triangulering av kabelens posisjon!

Feltmannskap på minimum 3 til 5 personer avhengig av lokalitet, sjødybde og størrelse på kabel - Sikkerhet på sjøen er ekstremt viktig og risiko for STAND-BY er mye større på sjø enn land.

Land og sjøprofiler kan I teorien kombineres, foreksempel:

55 m land + 170 m marine or 170 m land + 55 m marine or 115m land + 115m marine
MEN DET ER ET STORT MEN HER!!!!





Mulige svakhetssoner identifiseres basert på hastighetsendring (reduksjon) i bergoverflaten.

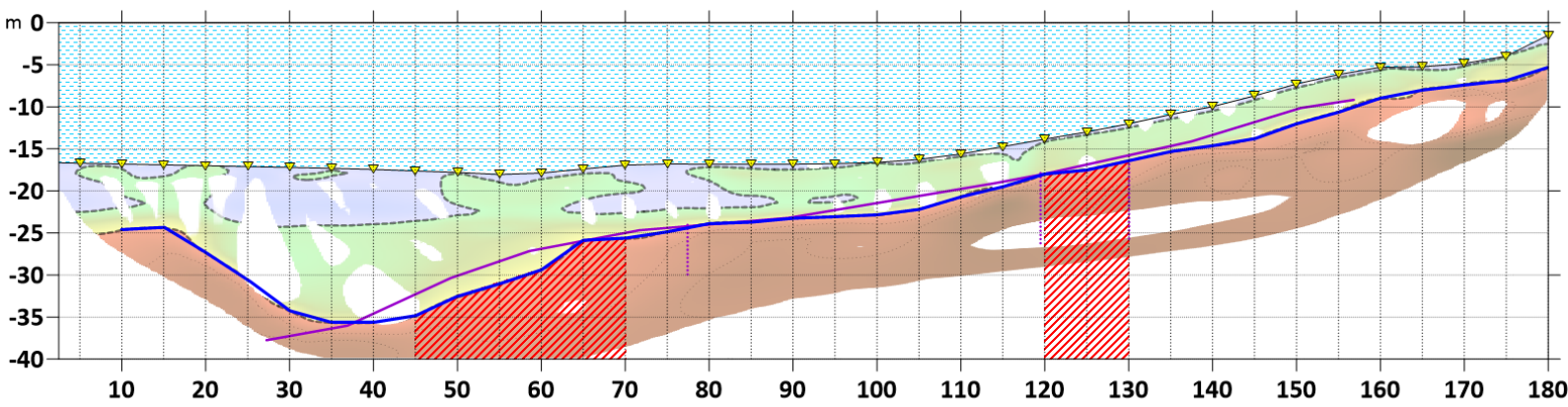
I de fleste tilfeller kan vi bare foreslå mulige kandidater for svakhetssoner.

For bedre bedømmelse av svakhetssoner ser på vi lokal geologi (hoved orientering).

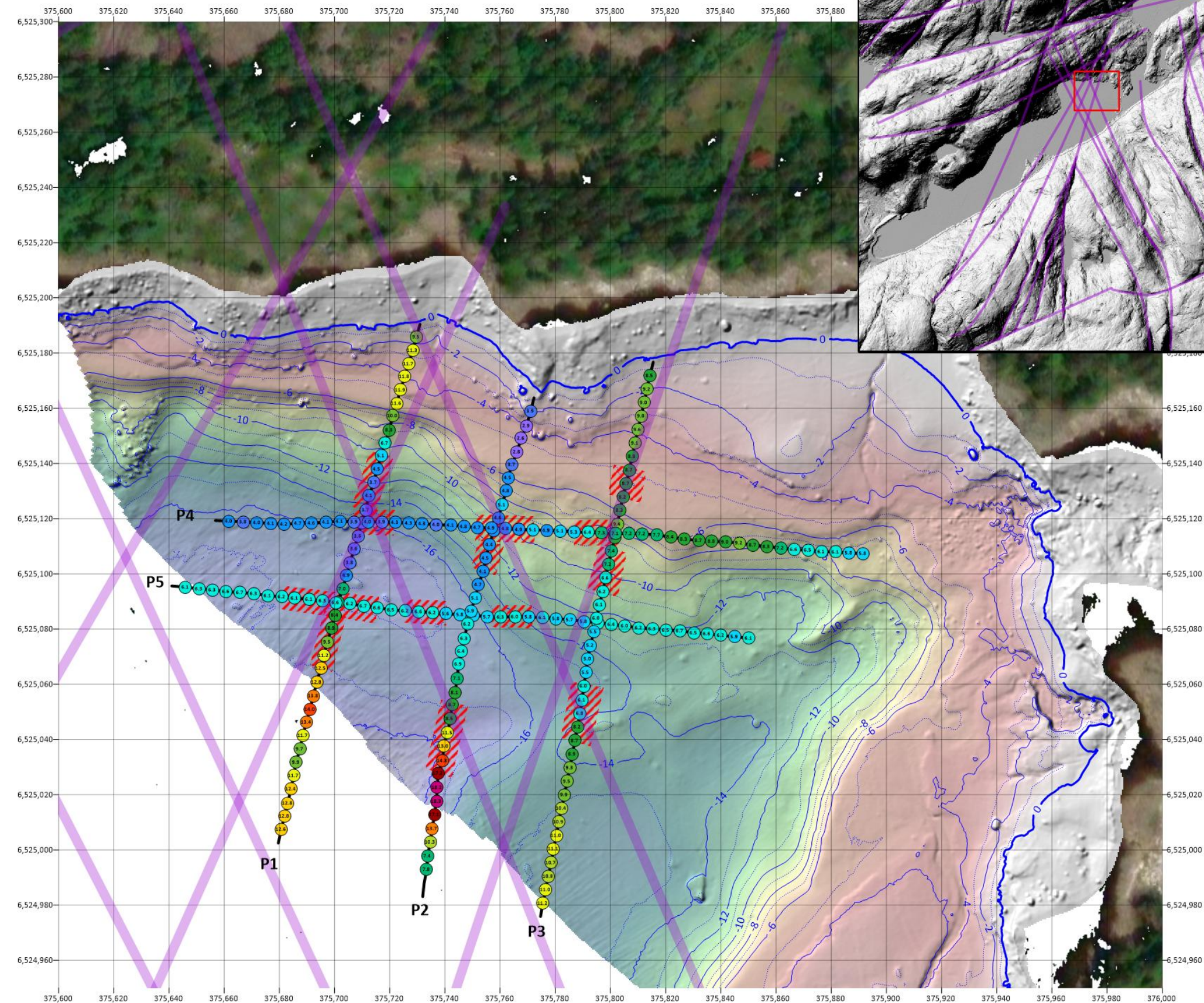
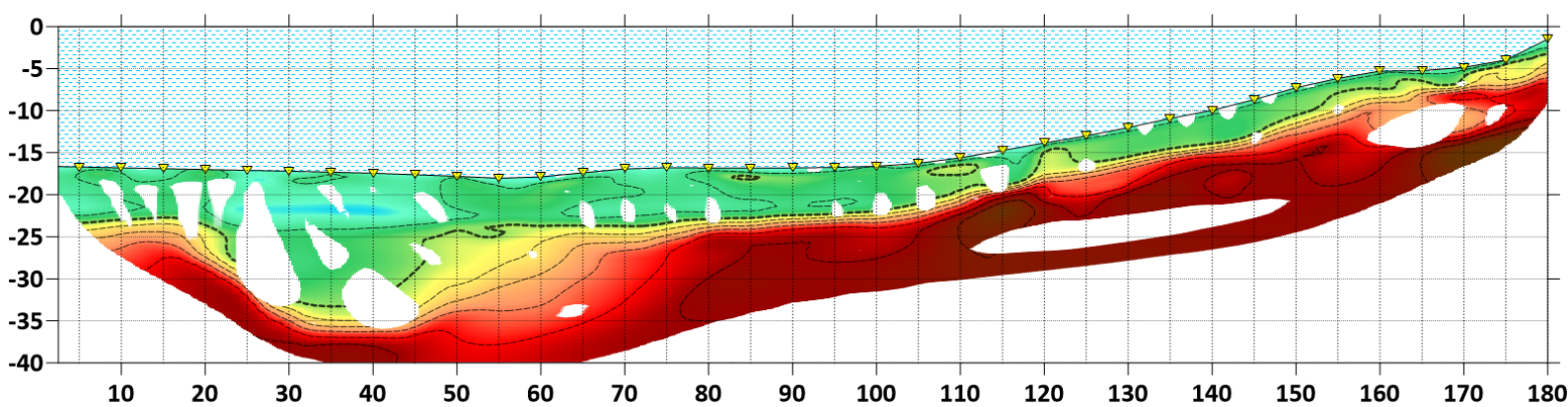
Vi ser også etter potensielle svakhetssoner i høyoppløselig topografi (LIDAR data)

Samtolkning av lagdelt tolkning og tomografisk tolkning er viktig i bedømmelsen av mulige svakhetssoner.

oppgitt plassering av svakhetssone er "beste gjetting" -



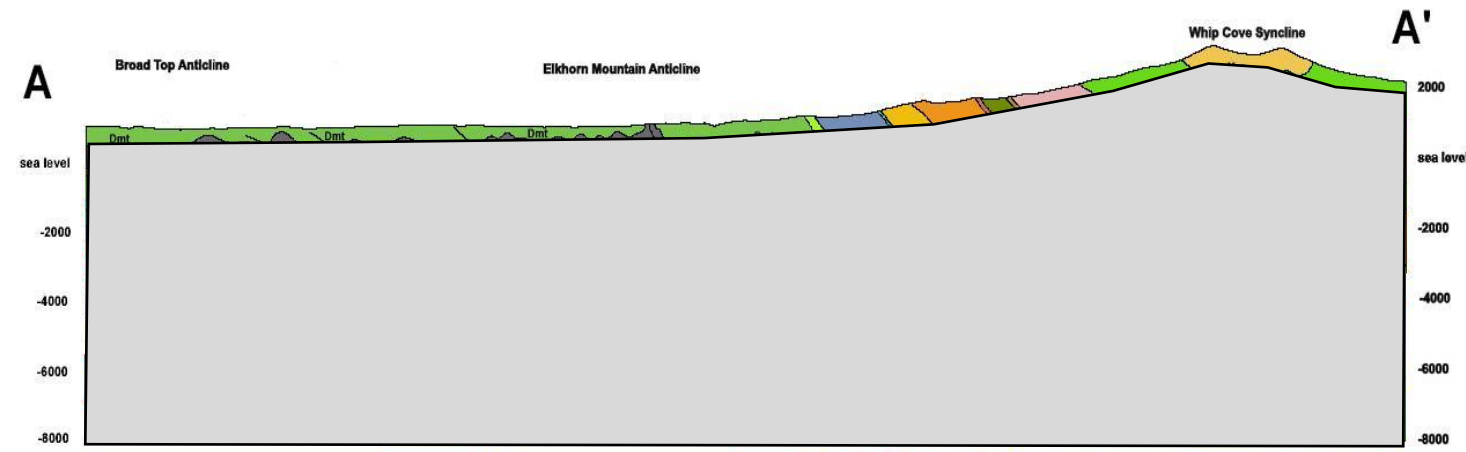
Hastighetsmodell



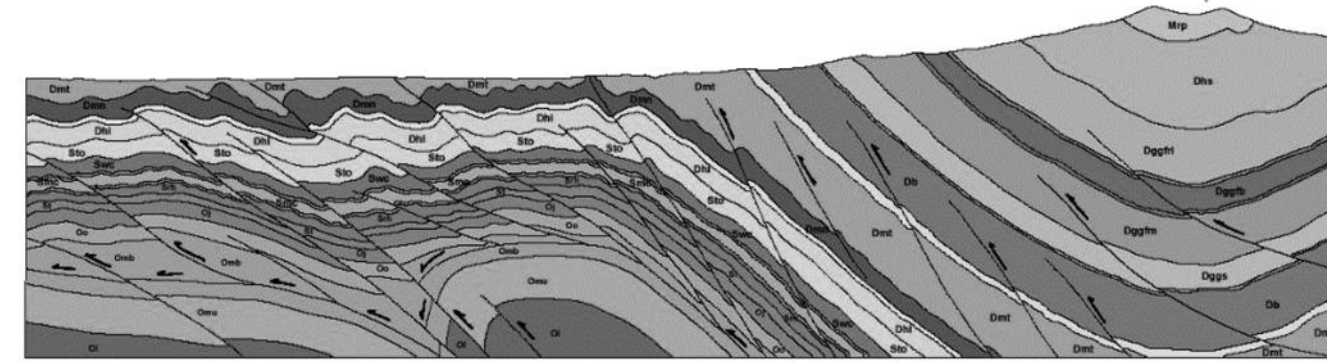
- Nedadgående bruk av metode
- Markedets utvikling siste 10 år – fra god til dårlig
- Lite rom for utvikling og investeringer
 - Fagmiljøer uten økonomiske motiver er delvis borte
 - Fagmiljøer avhengig av markedet er sårbare
 - «ingen» kjøper inn utstyr for å fremme utvikling og skape et behov i markedet.
- Sjøseismikk krever store investeringer i forhold til størrelsen på markedet.
- Økonomisk svake markedsaktører – hemmer utvikling
- Kan «hvem som helst» samle inn og prosessere refraksjonsseismikk?
- ER FAGET UTDØENDE?

Trinn for trinn prosess

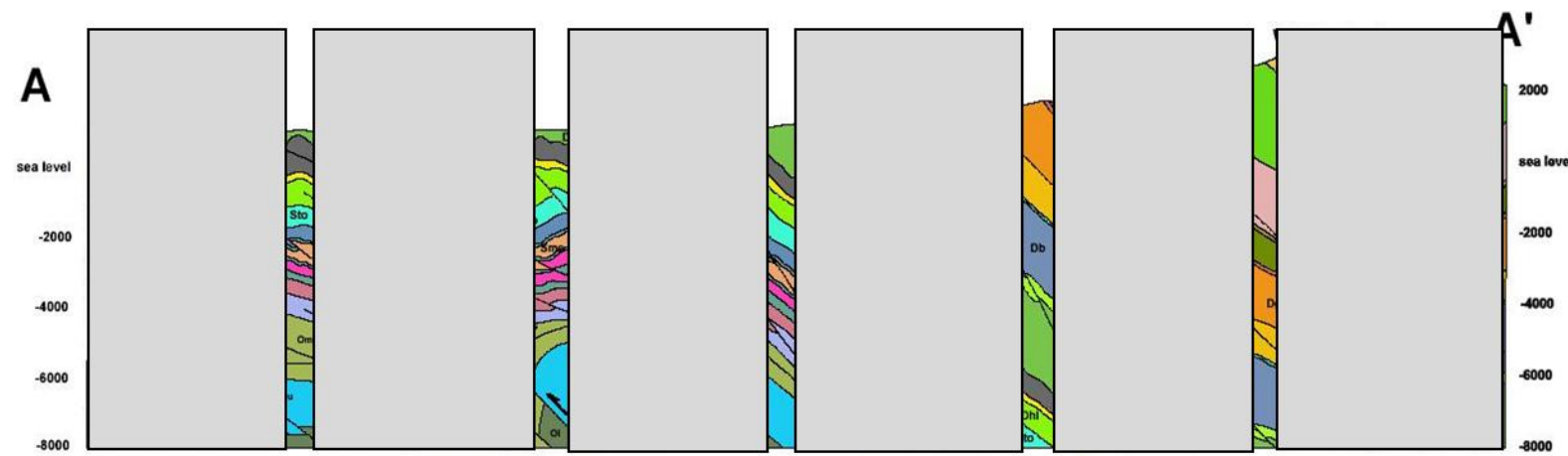
1. Geologisk befaring/Lidar data



2. Seismikk

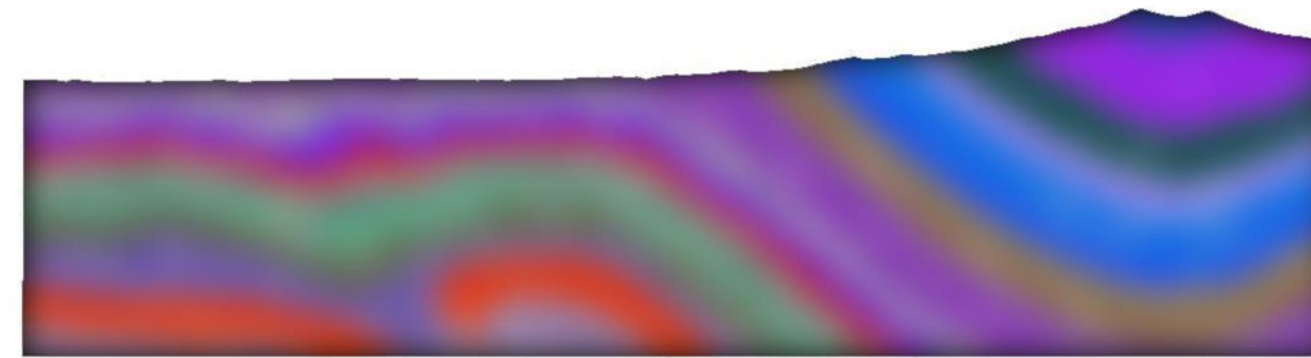


3. Bordata

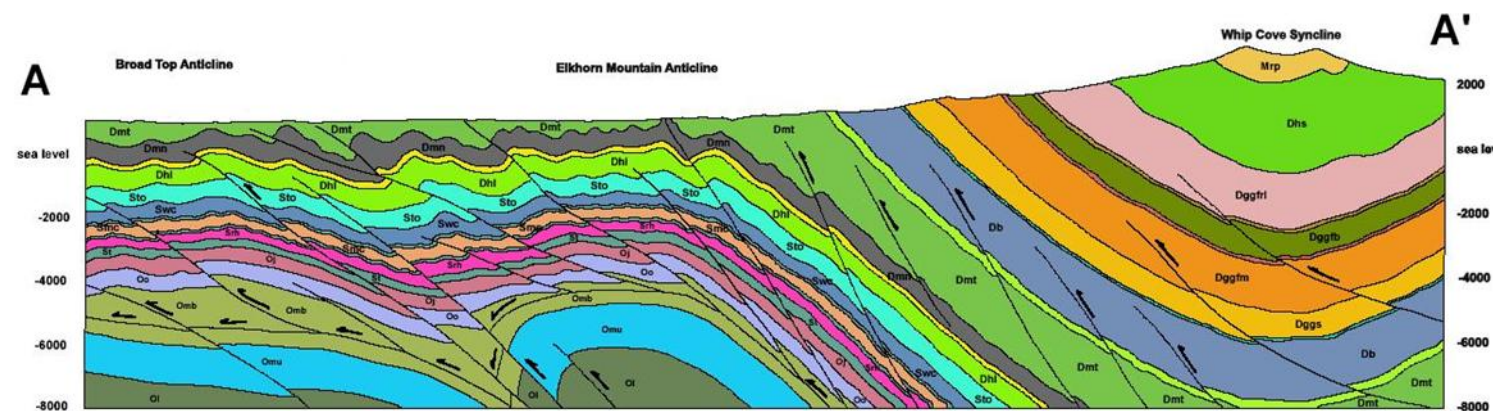


Eventuelt

3. Supplerende geofysisk, foreksempel ERT



Målet er at vi/dere skal komme så nærme som mulig virkeligheten



VIKTIGE HOVEDMOMENTER

Vennligst involver oss så tidlig som mulig i planlegging av prosjekter, der det er mulig
(LES OFFENTLIG ANSKAFFELSE)

Ydmykt sagt så vet vi best hva vi kan levere

Når dere planlegger grunnundersøkelser:

- Innteresse område bør ideelt sett ligge i midten av profilet
- Profil lengde > 5 x dybden til fjell.
- Helst ikke enkeltstående profiler - Kryssende profiler.

All tilleggsinformasjon du gir – hjelper oss med å forbedre datakvaliteten og tolkningen..

Refraksjonsseismikk har sine begrensninger og usikkerhet.

Supplerende data i form av andre geofysiske data eller annen vital informasjon vil gi bedre resultater for dere.



TAKK FOR OSS



GEOMAP
NORGE

