



# LYDUTBREDELSE I HAVET

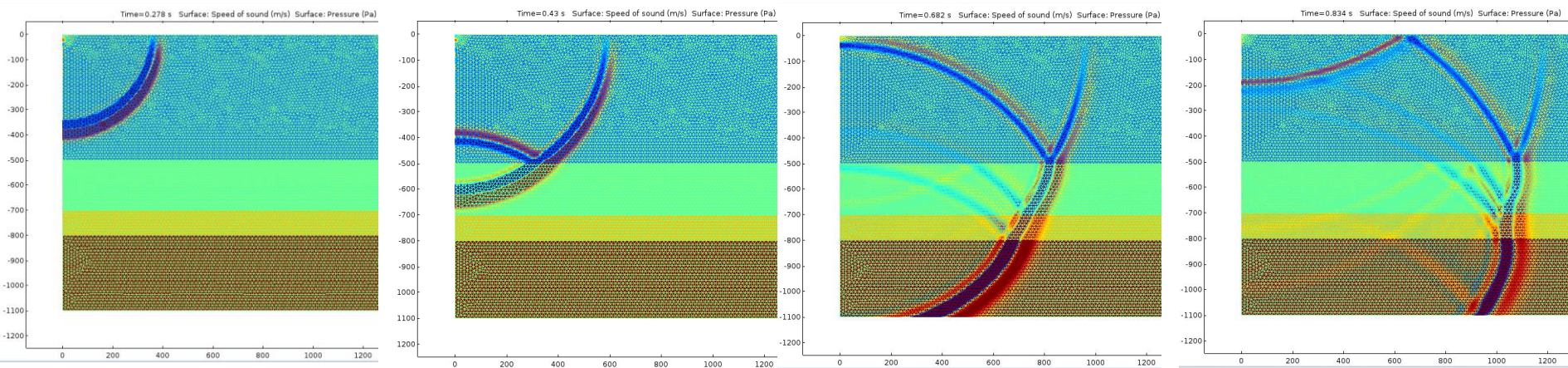
Harald Westerdahl, Statoil.

# LYDUTBREDELSE I HAVET FRA SEISMISKE KILDER

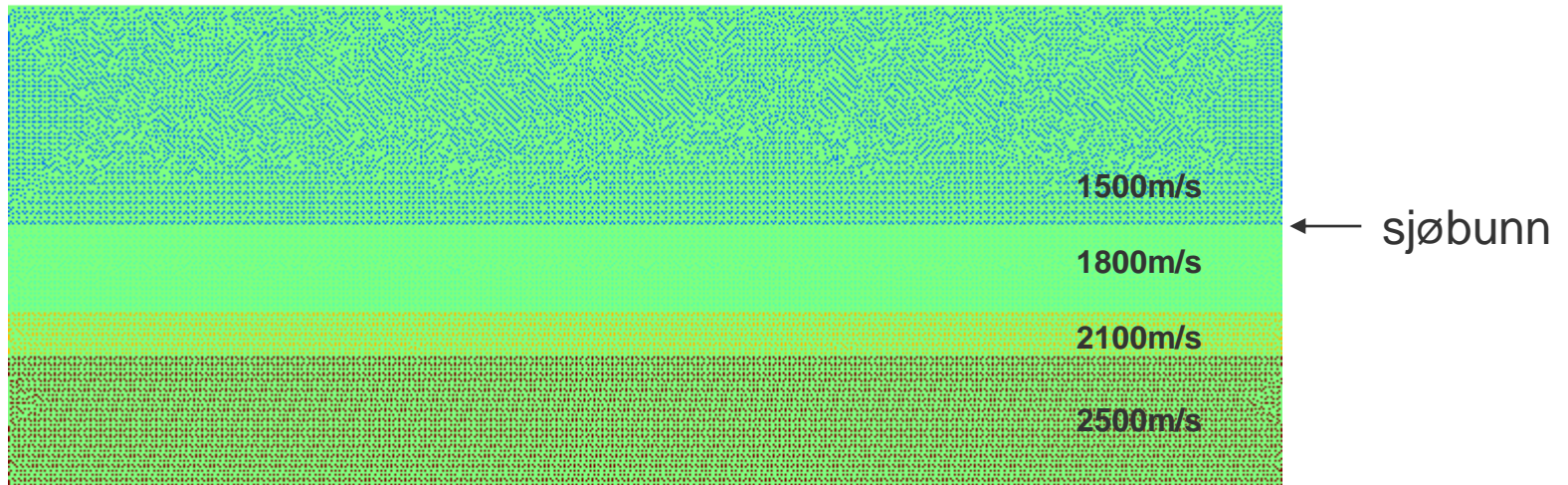
- Kort om modellering og måling
  - Hvordan vi kan modellere lydutbredelse.
  - Hvordan vi kan måle lyden i havet.
- Hvilke parameter bestemmer lydutbredelsen.
  - Kildestyrke
  - Vanddyp, topografi.
  - Utstrålingsmønster
  - Egenskaper i vannkolonne
  - Egenskaper i undergrunnen.
- Eksempler fra modelleringer, prediksjoner og målinger.
- Konklusjon

# Modellering: Beregne hvordan en trykkbølge skapt lokalt av en kilde, utvikler seg i tid og rom.

- Mange metoder tilgjengelig, men de fleste gjør tilnærminger for å spare regnetid.
- Forenklinger i modell: f.eks. plane lag, enkel undergrunn, begrensninger i variasjoner lateralt. Eller antagelser om bølgefeltet: lokalt plane felt, en bevegelsesretning, begrenset båndbredde, forenklet kilde, mm.
- Man velger de metodene som er nøyaktige nok for formålet.
- For problematikk knyttet til fisk, er nødvendig båndbredde trolig mindre enn i forhold til marine pattedyr ( $>1000\text{Hz}$ ), og regneoppgaven tilsvarende «lettere».
- Metodene bør kalibreres mot målinger i det aktuelle område for å oppnå best resultat.

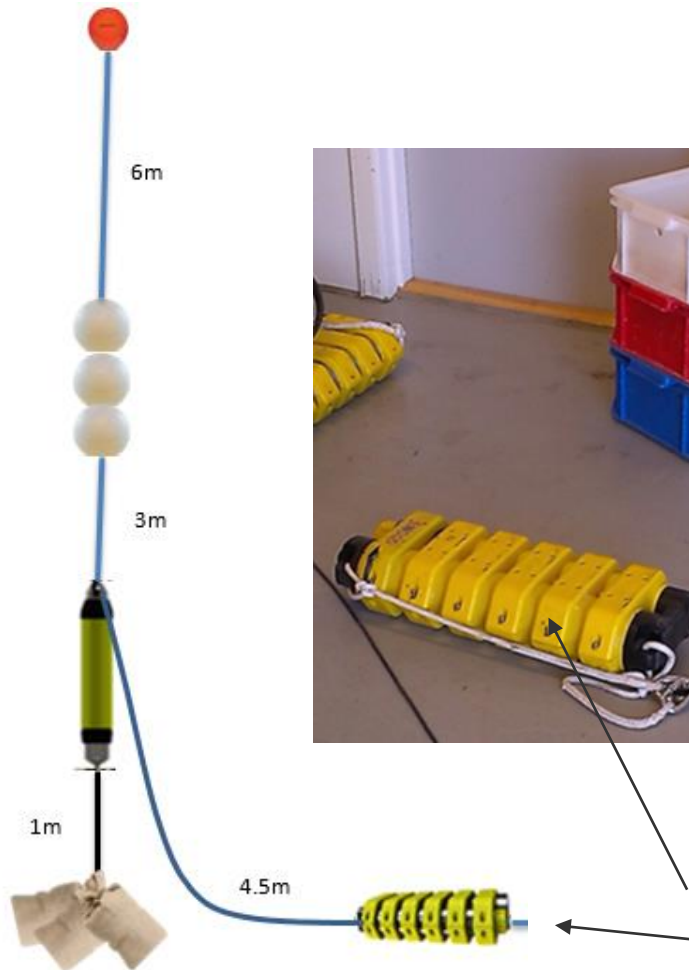


# Lydutbredelse, «finite element» modellering. Animasjon

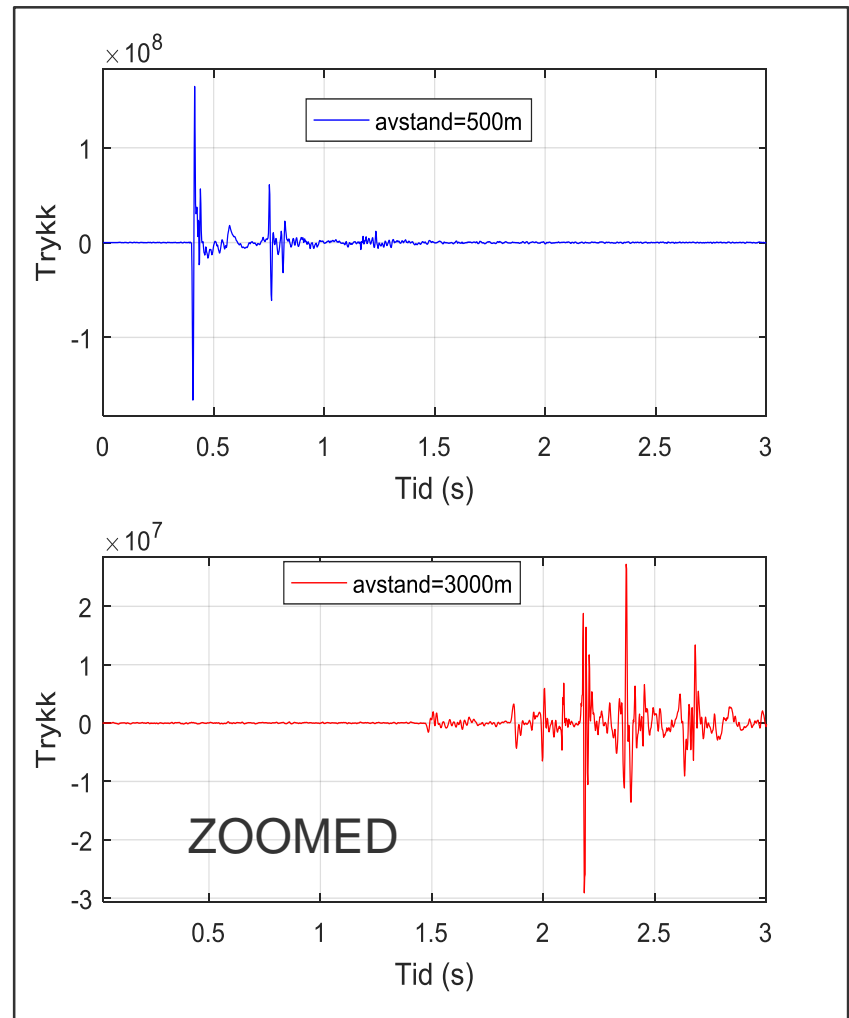
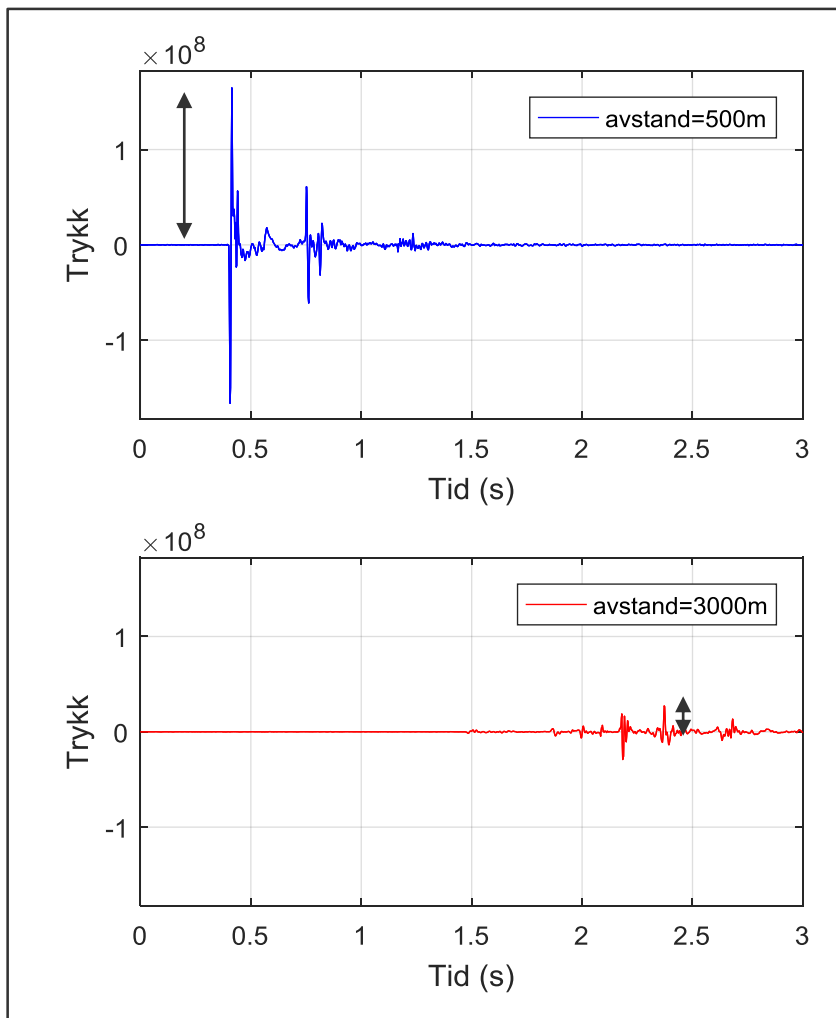




Målinger av trykkfeltet kan gjøres med autonome stasjoner på sjøbunn (med «release») eller høyere i vannkolonnen med tau fra bøyer eller fra fartøy på overflaten.



4C sensorer: Måler partikkelhastighet eller akselerasjon i tre retninger og trykk.

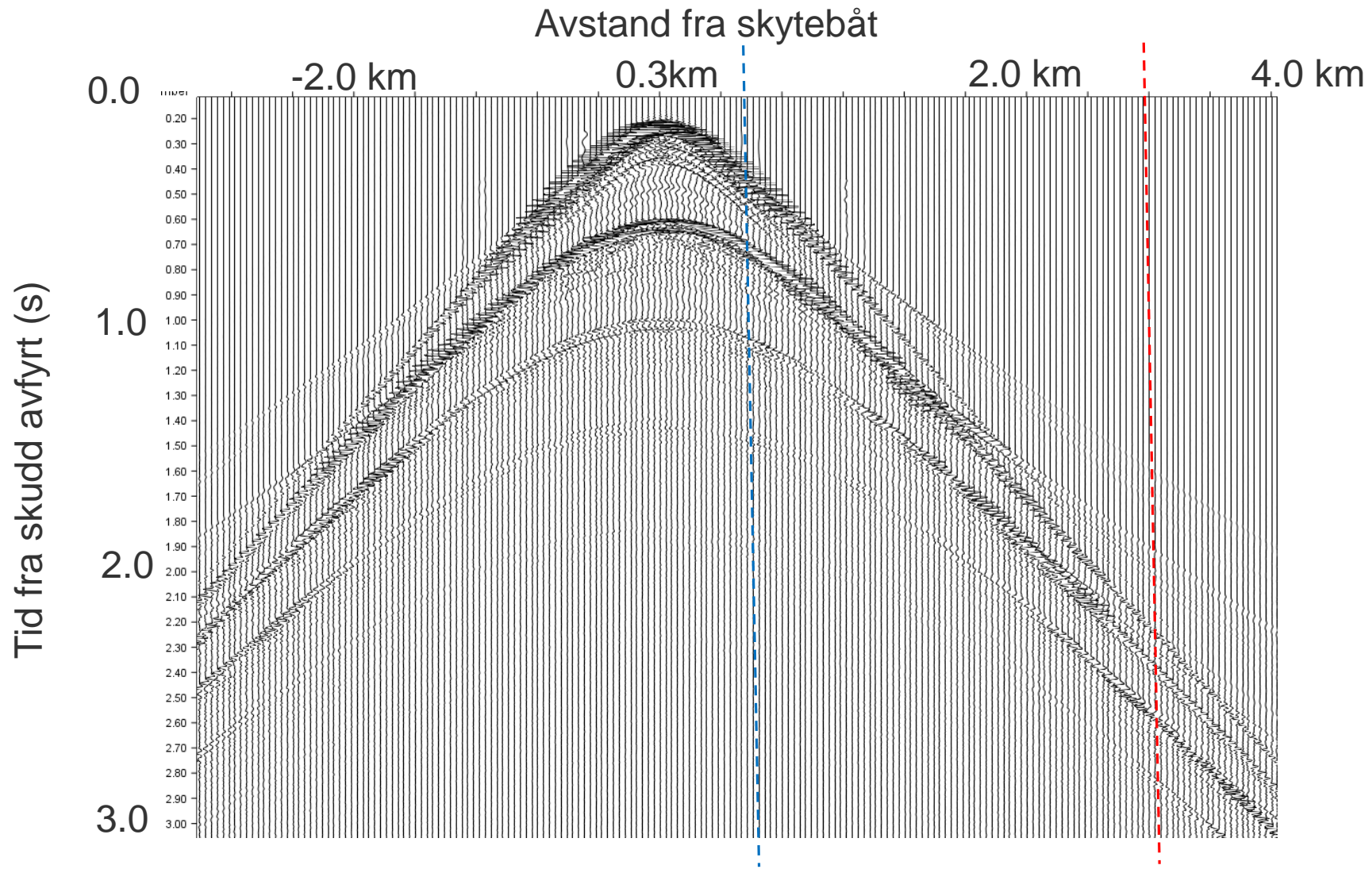


Trykkpulsen endrer styrke og fasong med avstand.

Mål for lydnivå SPL- logaritmisk mål relatert til maks amplitude.

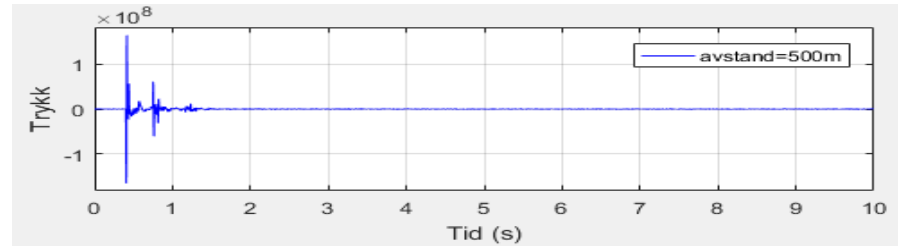
SEL- logaritmisk mål på energi over et tidsintervall, vanligvis 1 sek.

Dataeksempel. Flere registreringer plottet ved siden av hverandre.

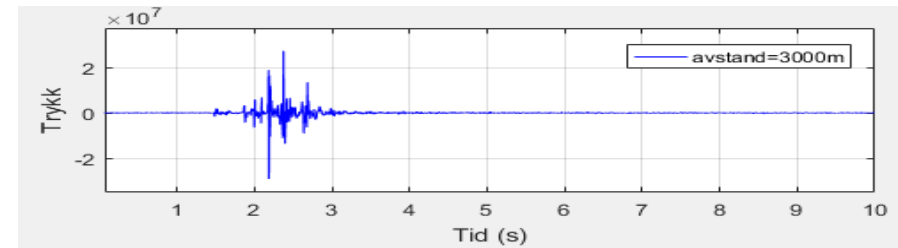


# Lyddopptak på sjøbunnen. 300m dyp. Begrenset båndbredde, 1-220Hz.

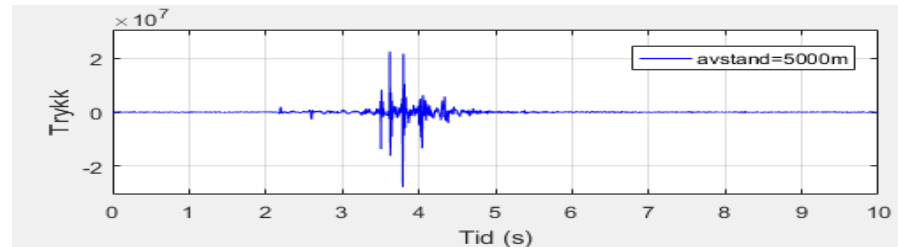
500m avstand



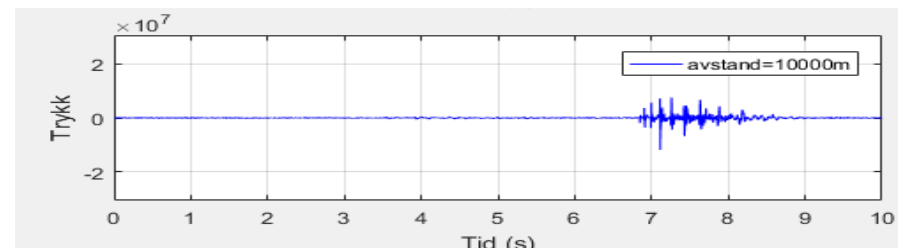
3000m avstand



5000m avstand



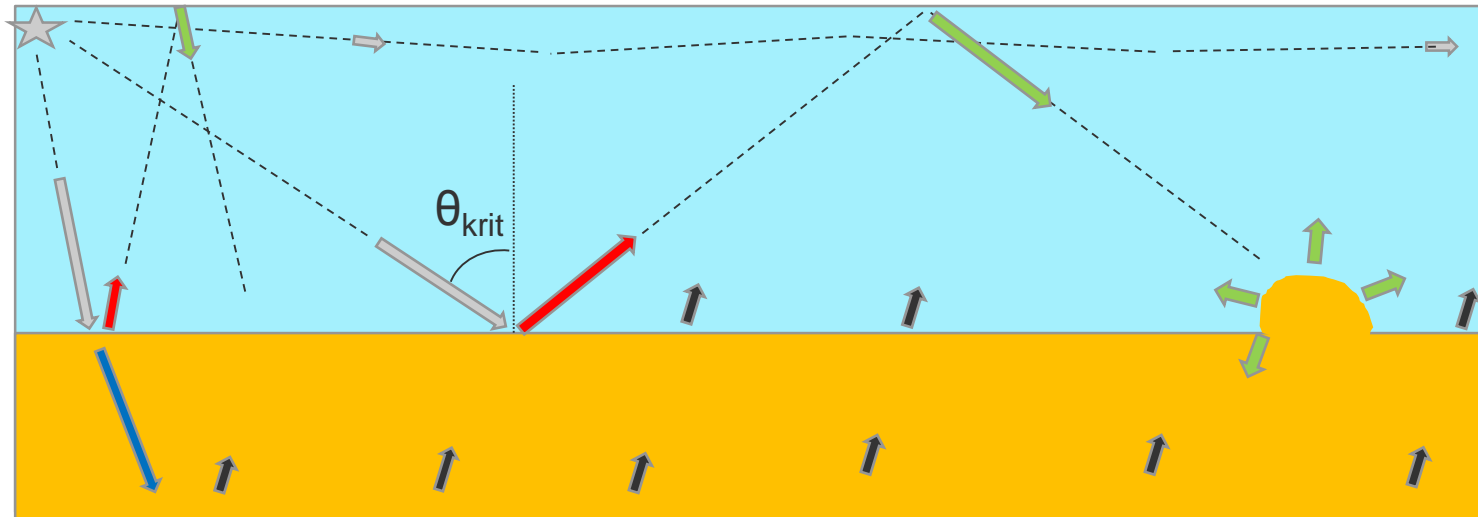
10000m avstand





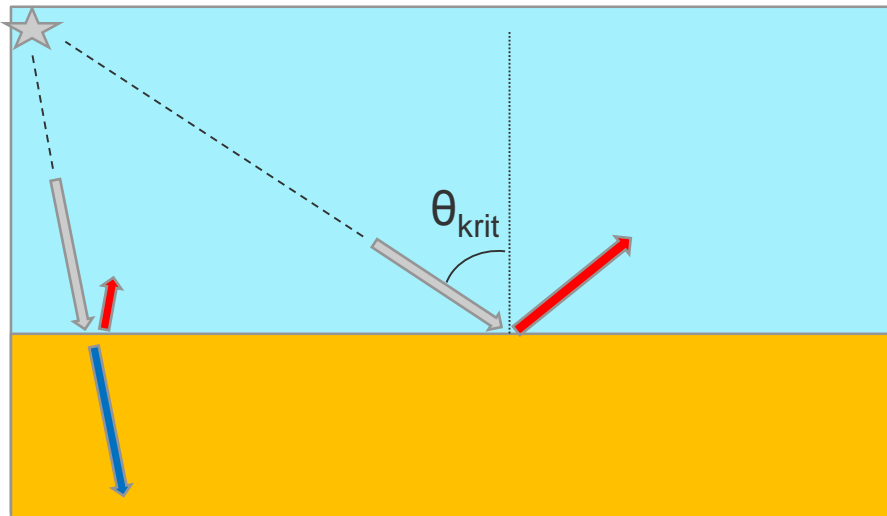
# Faktorer som påvirker lydutbredelse og lydnivå på ulike avstander

- Lydkilden: Styrke, form, frekvensinnhold og utstrålingsmønster.
- Vanddyb og bunntopografi.
- Elastiske egenskaper i undergrunnen (på og dypere under sjøbunnen)
- Akustiske egenskaper i vannkolonnen.



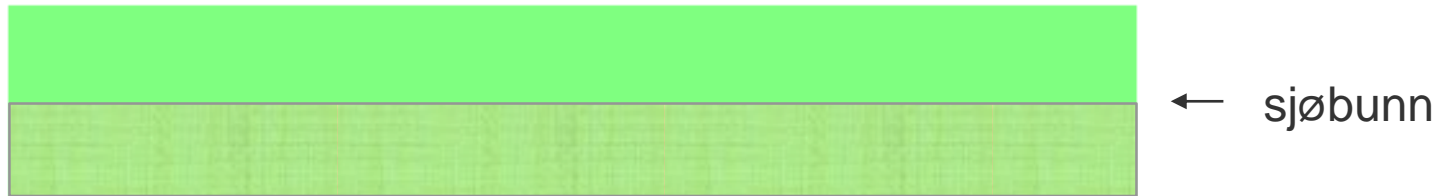
## Refleksjonen på sjøbunn

- Styrken på refleksjonen avhenger av innfallsvinkel.
- Svakere refleksjon for bølger som går vertikalt (mer går ned i havbunn).
- Ved en viss innfallsvinkel (kritisk vinkel) oppstår totalrefleksjon; hvor alt reflekteres tilbake i vannkolonnen.
- Kritisk vinkel er bestemt av de elastiske egenskapene på (og like under) sjøbunnen. Hard sjøbunn gir lavere kritisk vinkel og gir mest refleksjoner tilbake til vannkolonnen.



*Kildens utstrålingsmønster i retningen nær kritisk vinkel kan ha betydelig innflytelse på lydnivået på lange avstander.*

# Animasjon lydutbredelse. «Finite element» modellering. Grunt vann.



# Vann dypet betyr mye for hvor fort lyd dempes!

- Energien fordeles over utbredelsesflaten som øker i areal med avstand.
- For dypt vann på kortere avstander er flaten tilnærmet en kuleflate, og trykket endrer seg tilnærmet  $1/\text{avstand}$ .
- På grunt vann og lengre avstander, kan flaten ligne mer en sylinderflate ved spesielle forhold og trykket endrer seg tilnærmet med kvadratroten ( $1/\text{avstand}$ ).
- Store endringer i vanddyb langs en linje, kan gi store utslag i lydstyrke i forskjellige avstander.

Lydnivå (SPL)=kilde styrke- $20\log(\text{avstand})$

Sfærisk spredning

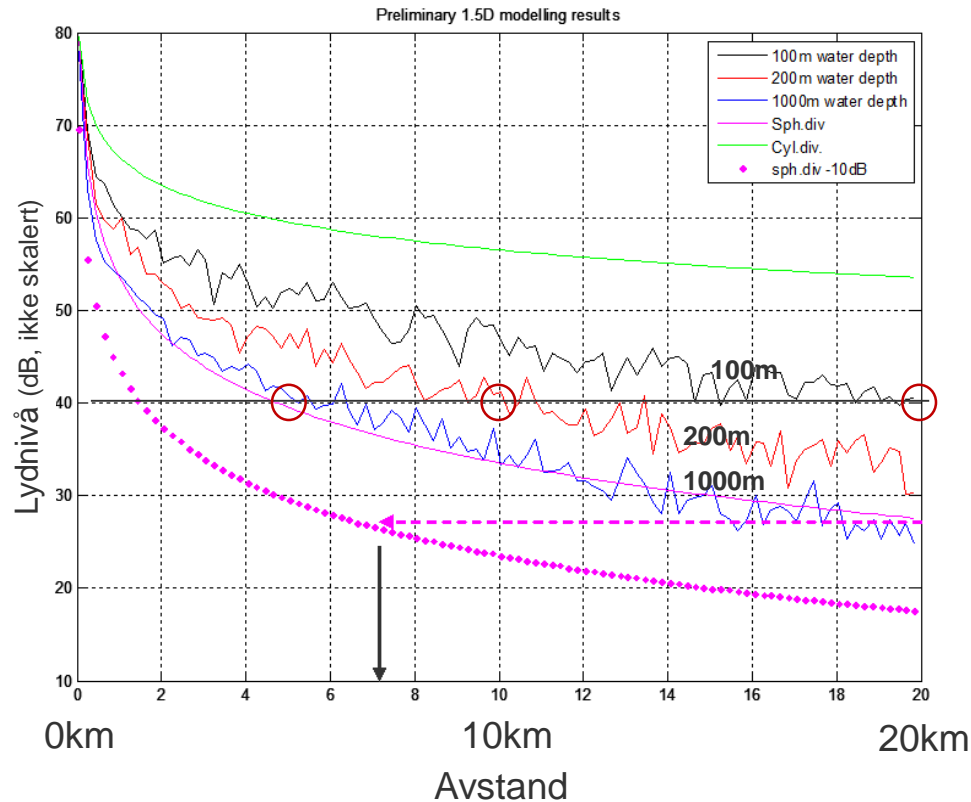
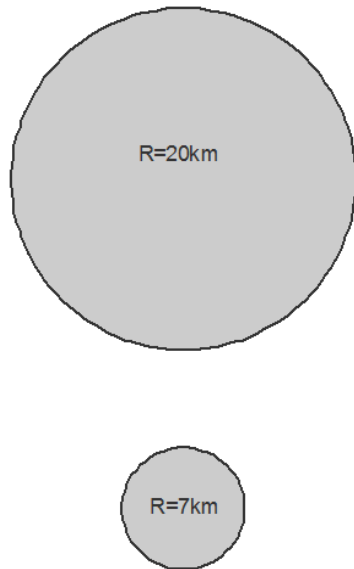
Lydnivå (SPL)=kilde styrke- $10\log(\text{avstand})$

Sylindrisk spredning

... men virkeligheten er oftest mer komplisert.

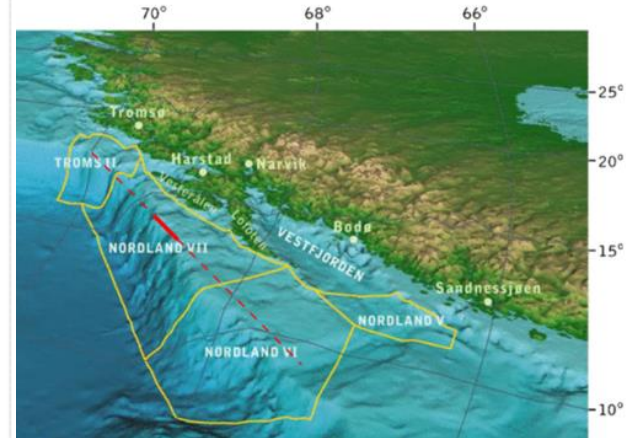
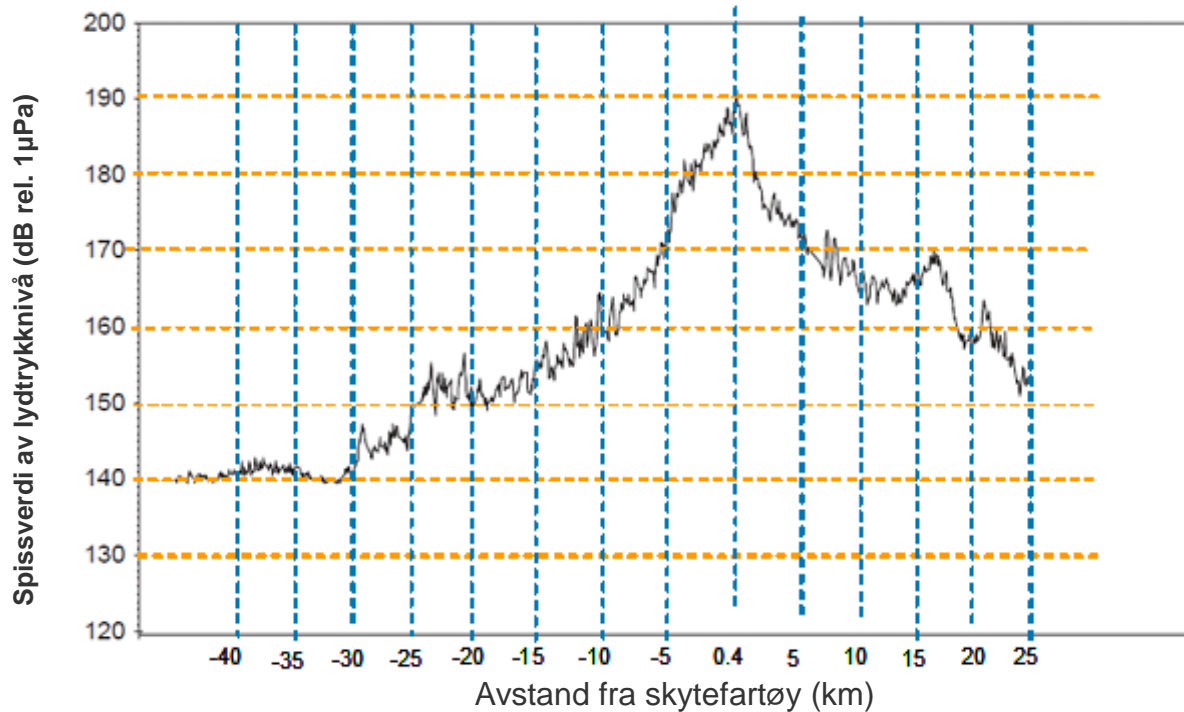


# Modelleringseksempel (punktkilde i planlagsmodell) som viser vanddypets innvirkning på lydnivået.



Vi ser at samme lydnivå (trykk) opptrer på forskjellige avstander for ulike vanddyp F.eks: 20km,10km, 5km. Videre at en tenkt reduksjon i kildestyren med 10dB, endrer en avstand med samme (lave) lydnivå fra ca. 20km til ca.7 km (på dypt vann ). Forskjellen er enda større på grunt vann.

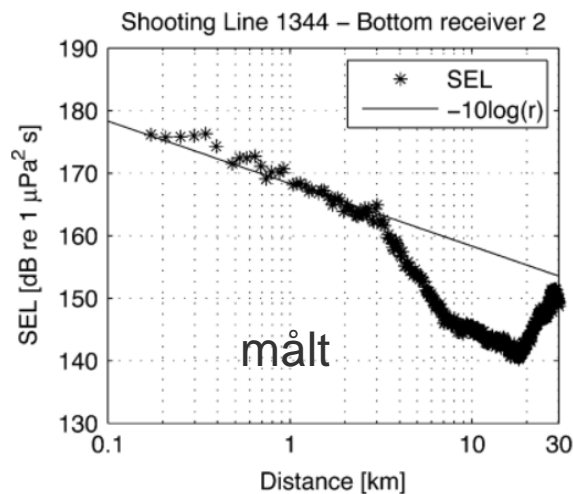
Registreringer av lydnivå i forhold til avstand til kilden.  
Eksempel fra målinger i Vesterålen 2009. Hydrofonrigg 184m dyp.  
Fra Løkkeborg. m.fl. 2010



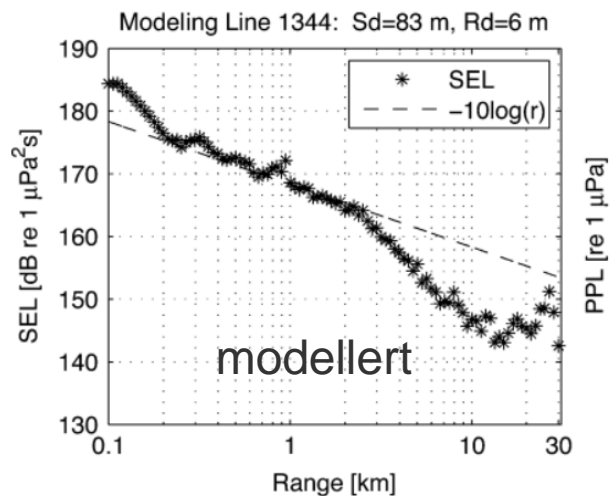
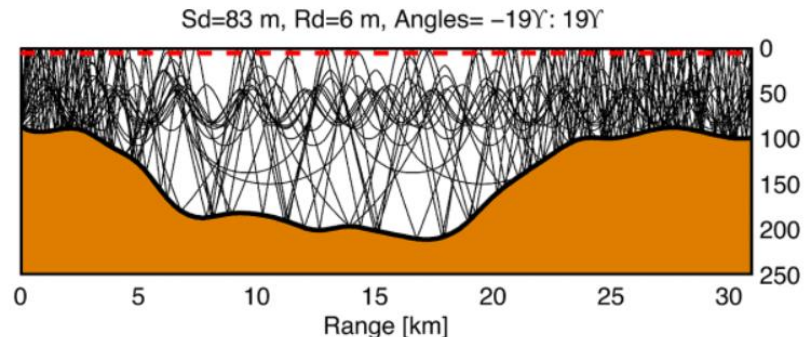
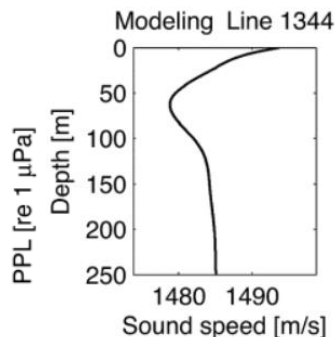
Asymmetrien i figuren skyldes vanndypsvariasjoner langs skytelinje.

NB: Figuren er modifisert i forhold til publikasjonen.

# Resultater av målinger og modelleringer, Vesterålen 2009, hentet fra Hovem m.fl. 2012

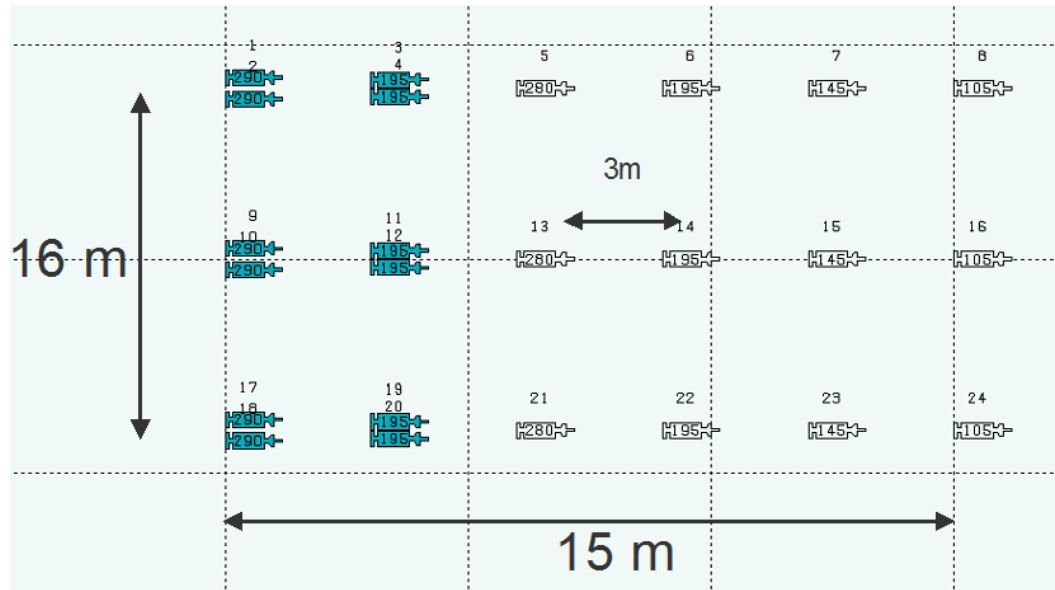


(a)



Publikasjonen dokumenterer den sterke innflytelsen vanddypsvariasjoner har på lydutbredelsen. Videre at modelleringsverktøyene som er utviklet (“plane –ray”) er i stand til å rekonstruere måledataene.

Eksempel på fullskala dypseismisk kilde; består typisk av tre kildestrenger, som hver innehar flere luftkanoner i ulike størrelse og sammensetning.



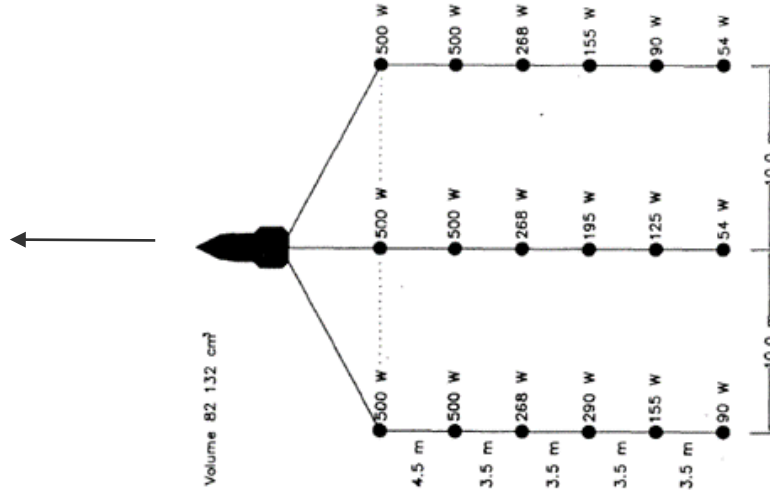
Kildens sammensetning, avfiringsskjema og geometri bestemmer styrke, karakter og utstrålingsmønster!

I dag finnes mange varianter, også der man bruker et redusert antall luftkanoner.





«1992-kilde »



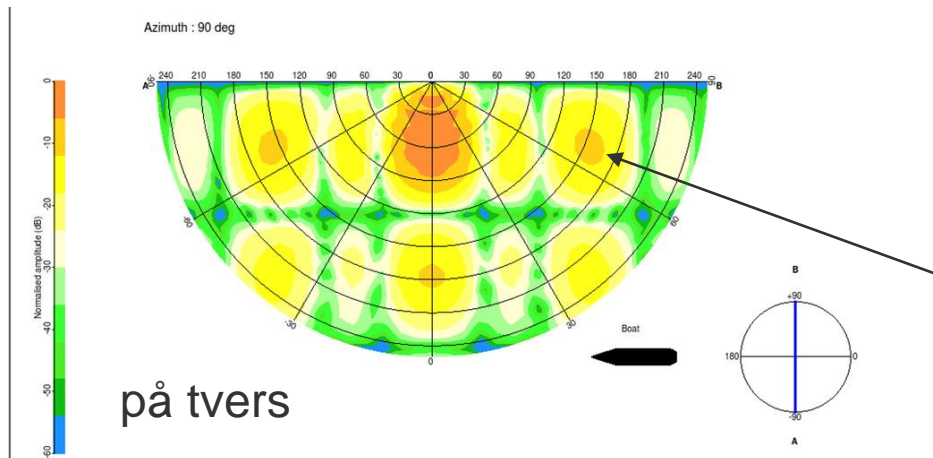
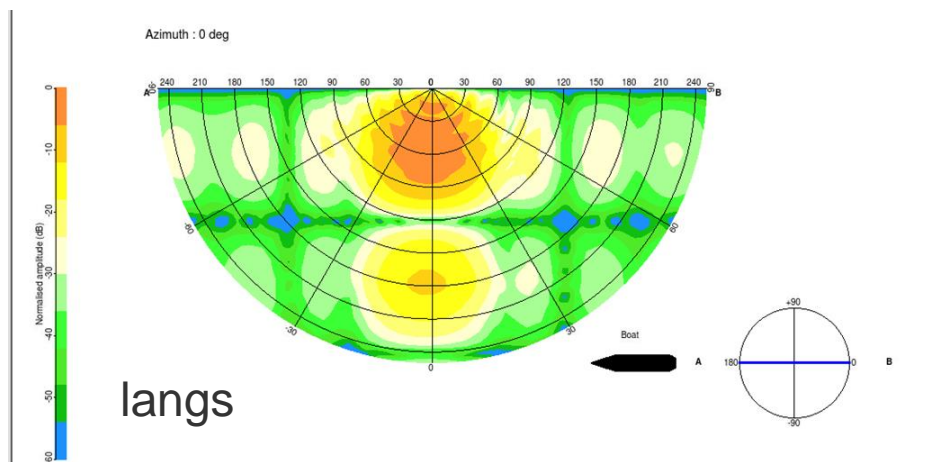
“Langs linjen”



“På tvers av linjen”



Kildens utstrålingsmønster er forskjellig «langs» og «på tvers» av linjereiningen.



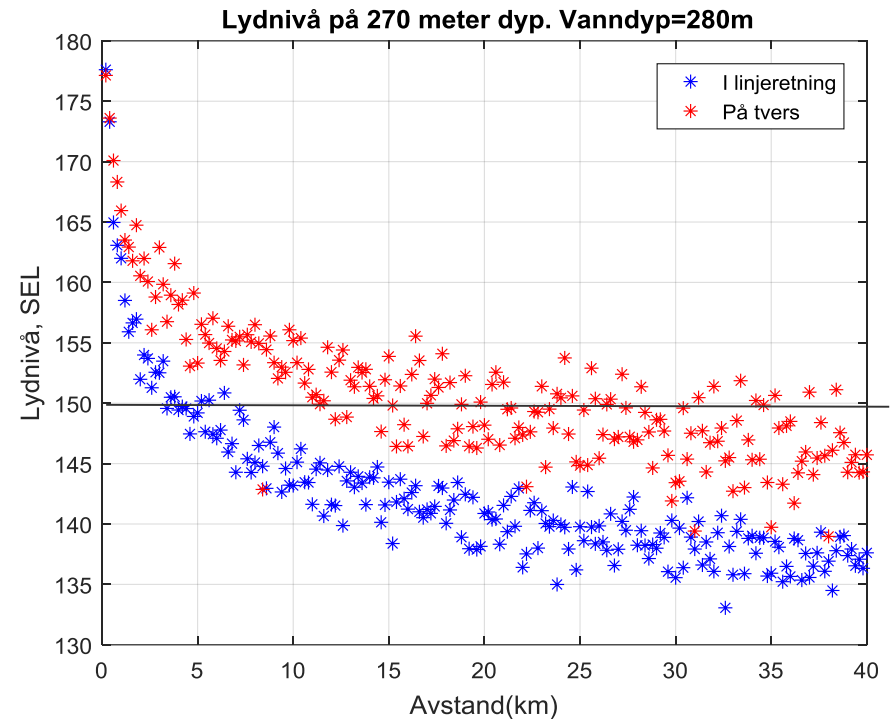
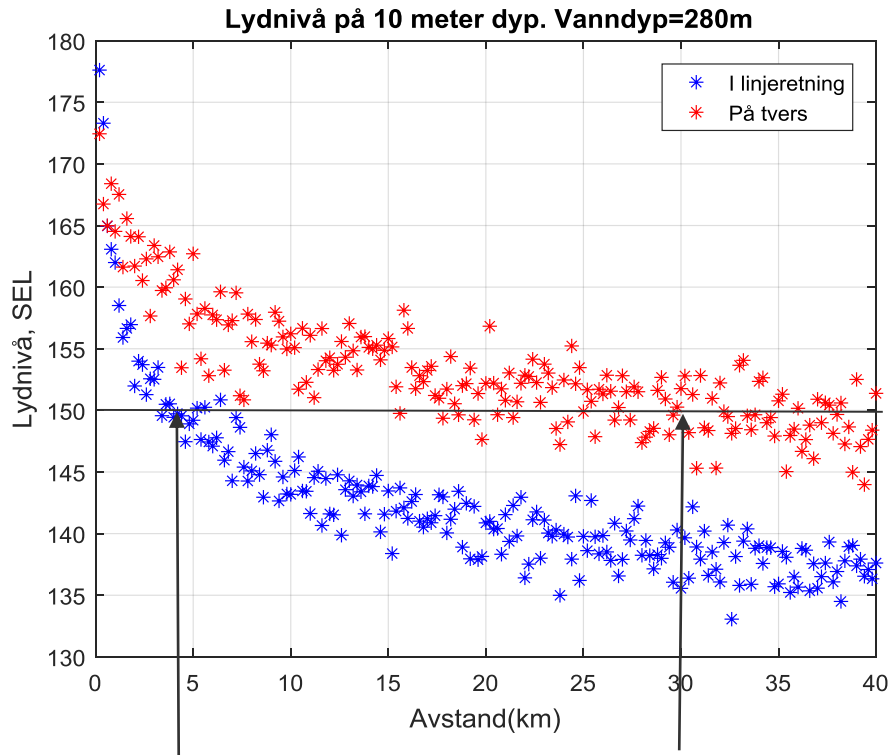
Figurene viser størrelsen av lydtrykket (indikert med fargeskala) som sendes ut i de forskjellige vinkelsegmentene i vertikalplanet. Frekvensen varierer i den radielle retning.

Merk: Kilden sender ut mer energi langs lavere vinkler, i retning «på tvers» enn «langs».

Resultater produsert med programvare levert av PGS, "Nucleus +"

# Resultater fra modellering med “Nucleus +, environment module, RAM model”

Modell: «1992-kilde», flat sjøbunn, 280m vandndyp og relativt harde sedimenter\* under bunnen.



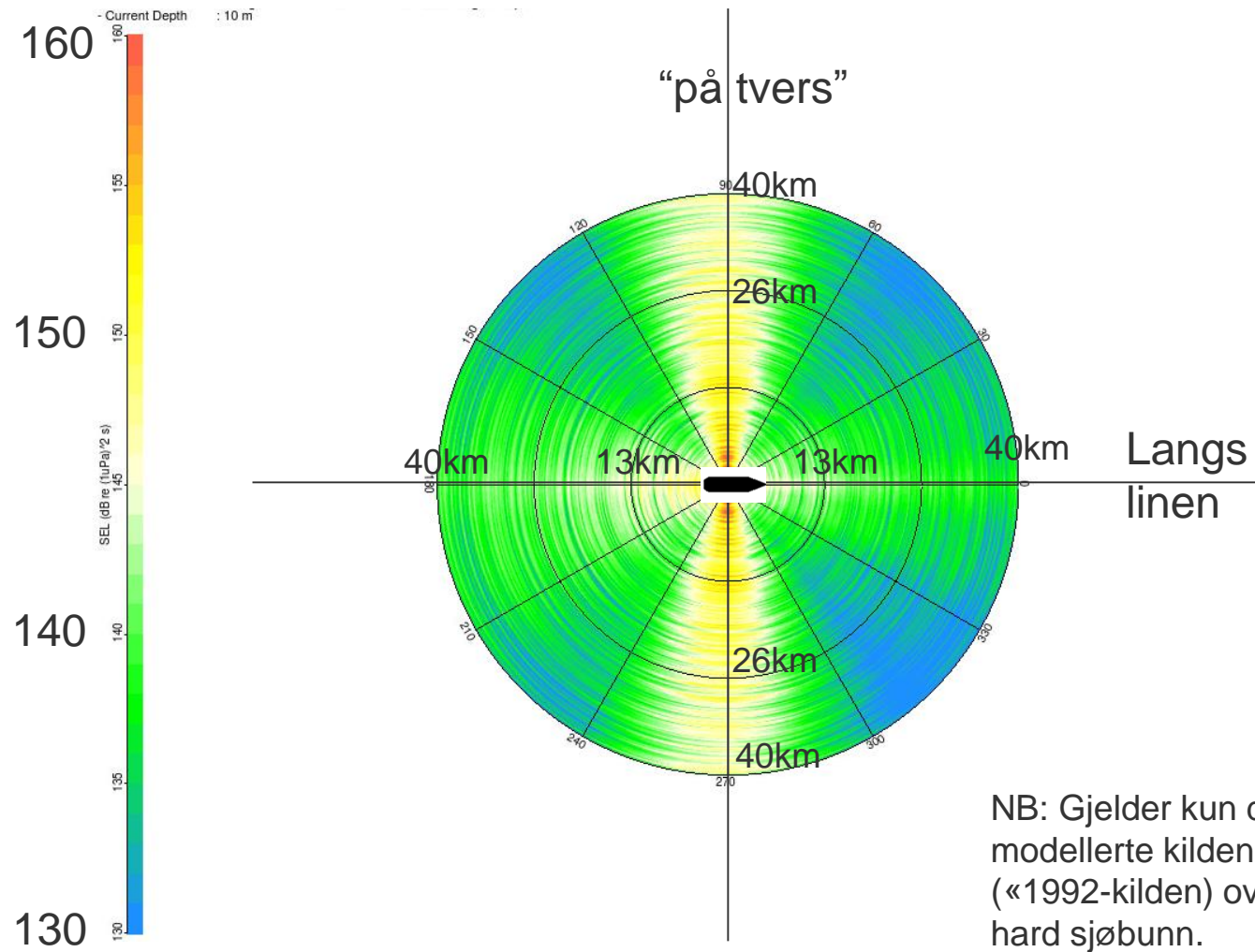
Den store responsforskjellen skyldes kombinasjonen hard sjøbunn og direktiviteten i kilden.

I plottet til venstre (på 10 m dyp): Grensen for lydnivå=150db (SEL) krysses i **30km** avstand i retningen “på tvers”, men den krysses i **4 km** avstand i linjeretningen.

\*) Fire lag, hvor det første har  $V_p=2000$  m/s,  $V_s=500$ m/s,  $\rho=1.8$

# Resultater fra modellering med "Nucleus +, environment module, RAM model"

## Polarplot: Lydnivå (SEL) på 10m dyp i avstand 0.3-40km for ulike retninger.



NB: Gjelder kun den modellerte kilden («1992-kilden) over hard sjøbunn.



Sikkerhetsavstander til sjøpattedyr (hval, sel og hvalross) basert på lydnivå.

Ulike terskelnivåer (  $SPL_{rms}$  ) definert for ulike arter og forhold:  
190 dB (Sel), 180 dB (Hval), 160 dB

Før undersøkelsen ble sikkerhetsavstander tilsvarende disse lydnivåene estimert på grunnlag av modell. Deretter ble avstandene justert i henhold til målinger gjennomført i løpet av de første 5 dagene etter undersøkelsen startet.

- Full Kilde=3000 cubic inch
- Liten kilde= 60 cubic inch under oppstart
- Grunt vann, ca. 30-50m, relativt flatt.
- Undersøkelsen pågikk i 40 dager.

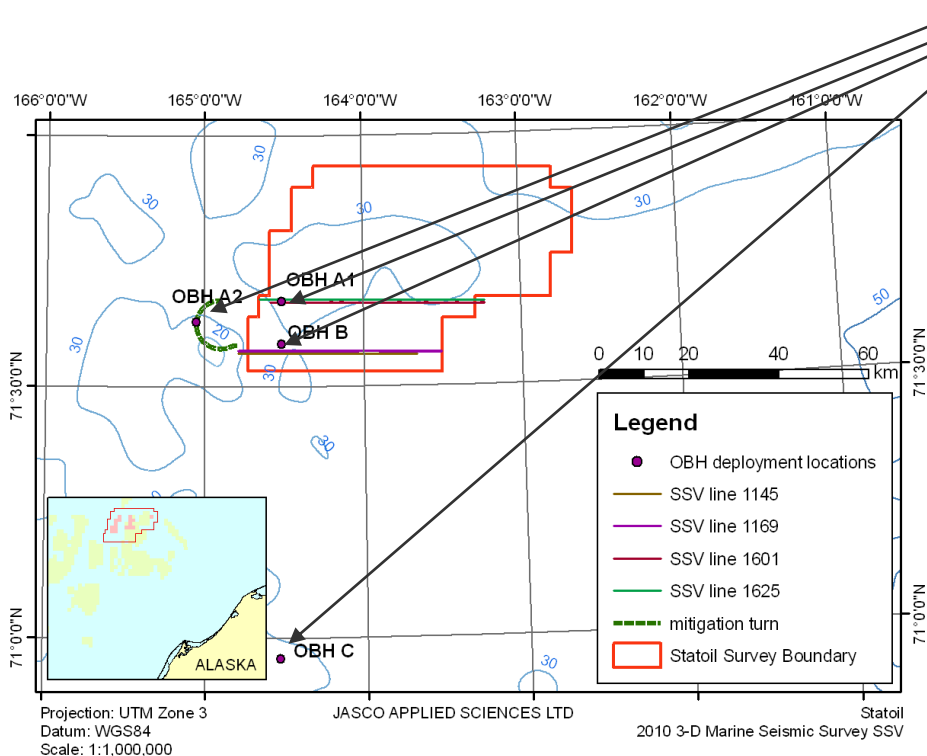


# Eksempel fra seismiske undersøkelser Alaska (Chukchi Sea) 2010

4 målepunkter på sjøbunn

Avstander til kilde langs line: 50m- 50km.

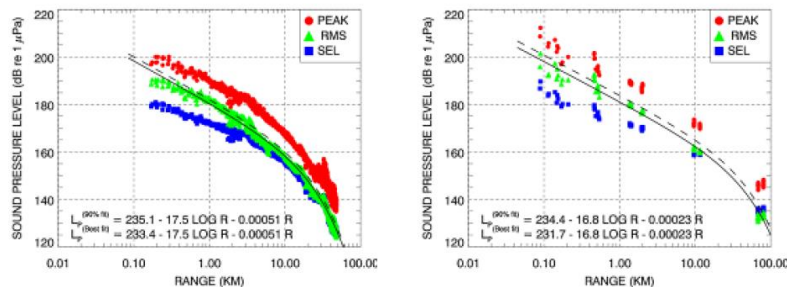
Opptil 80km på tvers, men færre punkter.



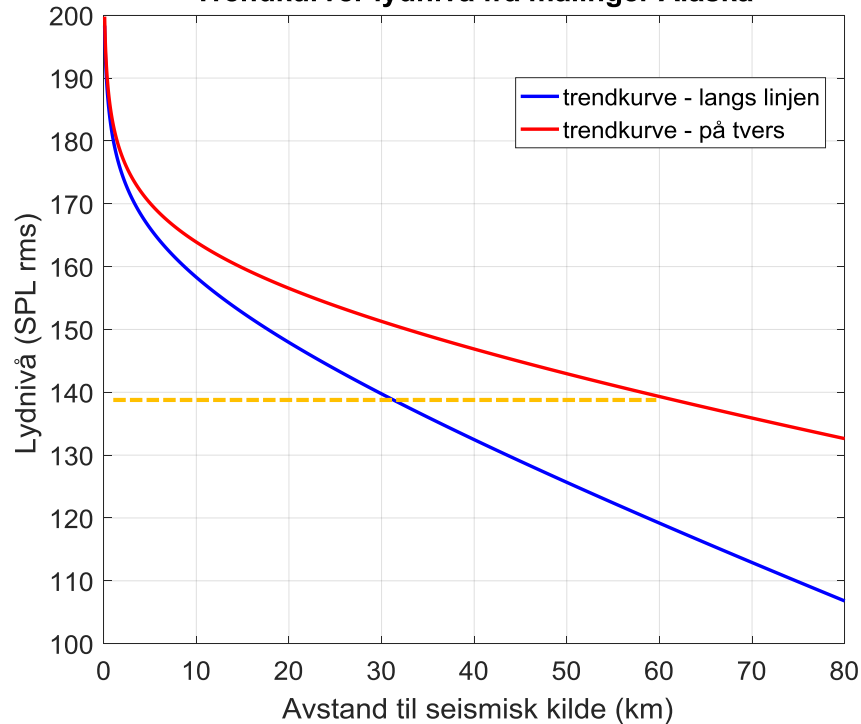
Photograph of a JASCO Ocean Bottom Hydrophone (OBH) recorder with ballast anchor.

Lydnivå(dB)	Sikkerhetsavstand(m)		
	SPL rms	Før måling	Etter måling
190		700	430
180		2 500	1 600
160		13 000	16 000

# Eksempel fra seismiske undersøkelser Alaska (Chukchi Sea) 2010



Trendkurver lydnivå fra målinger Alaska

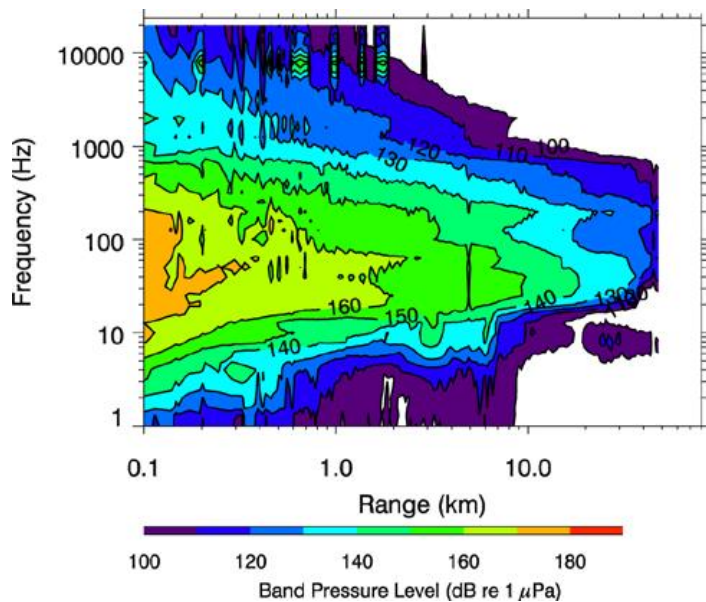


På lange avstander er det registrert store forskjeller i lydnivå i forskjellig retninger. Dette skyldes trolig utstålingsmønsteret til kilden og/eller lokale ulikheter i elastiske egenskaper i undergrunnen.

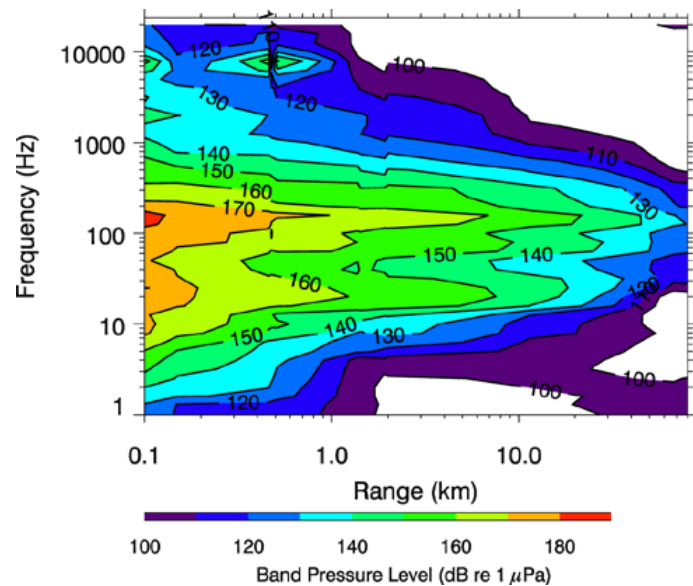
Vi ser her at under ca. 140dB vil en tenkt sikkerhetsavstand være mer enn dobbel så stor i retningen «på tvers» av linjen sammenlignet med «langs» linjen.

# Eksempel fra seismiske undersøkelser Alaska (Chukchi Sea) 2010

## Langs linjen



## På tvers



Plott av spektrum (1/3 octave band) mot avstand.

# Konklusjon

- Vi har godt utstyr, høy kompetanse og tilstrekkelig erfaring til å gjennomføre lydmålinger i havet; lokalt på sjøbunn og i vannkolonnen.
- Vi har gode beregningsverktøy for å modeller lydutbredelse og når beregningsverktøyene kalibreres mot lokale målinger i gitte punkter er det mulig å beregne lydbildet relativt nøyaktig over et større område.
- Vi kan og bør lære mer: Gjennomføre flere studier og samle inn nye akustiske data der fisken befinner seg, spesielt i forbindelse med ny forskning slik at biologiske observasjoner kan knyttes opp mot målbare lydparametre.
- Målinger og modelleringer antyder at «vernegrenser» som ikke knyttes opp mot konkrete lydparametre, men kun avstand -slik som grensen på 18 nautiske mil, trolig er lite treffsikker og kan virke hemmende på teknologiutvikling.

## Referanser:

Hovem, J.M, Tronstad T, Karlsen H.E, Løkkeborg S. 2012. Modeling Propagation of Seismic Airgun Sounds and the Effects on Fish Behavior , IEEE Journal of Oceanic Engineering vol 37.

Løkkeborg S, Ona E, Vold A, Pena H, Salthaug A, Totland B, Øvredal J T, Dalen J og Handegard N O. 2010. Effekter av seismiske undersøkelser på fiskefordeling og fangstrater for garn og line i Vesterålen sommeren 2009: Fisken og havet no 2

Bleesa M, Hartina K, Irelanda D, Hannayb D. 2010.  
MARINE MAMMAL MONITORING AND MITIGATION DURING OPEN WATER  
SEISMIC EXPLORATION BY STATOIL E&P INC. IN THE CHUKCHI SEA,  
AUGUST–OCTOBER 2010: 90-DAY REPORT  
internet link: [www.nmfs.noaa.gov/pr/pdfs/permits/2010\\_statoil\\_90day\\_report.pdf](http://www.nmfs.noaa.gov/pr/pdfs/permits/2010_statoil_90day_report.pdf)

