

Menneskeskapt lyd i havet og levende organismer

Foto: Karan Mastad

JOHN DALEN (john.dalen@imr.no)

Lyd i sjøen oppstår både fra naturlige og fra menneskeskapt kilder. Naturlige lydkilder inkluderer jordskjelv, vinddrevne bølger, regn, bioakustiske lydkilder og termisk omrøring av sjøvann. Tabell 1 presenterer noen naturlig forekommende lydkilder.

Menneskeskapt lyd blir generert av aktiviteter som:

- skipsfart
- olje- og gassleting med f.eks. luftkanoner
- utbygging og produksjon av olje og gass
- sjømilitære operasjoner med militære sonarer, undervannskommunikasjon og eksplosjoner
- fiske med sonarer og ekkolodd
- forskning med luftkanoner, sonarer, ekkolodd, telemetri, undervannskommunikasjon og -navigasjon
- havnebygging, isbryting og fritidsaktiviteter med båt

Tabell 2 viser noen lydkilder for menneskeskapt lyd.

Omgivelseslyd er viktige deler av de marine habitater, og det er blitt stadig tydeligere at menneskeskapt lyd har potensial til å påvirke helse og velvære hos mange marine organismer.

Lyd er en svært effektiv måte å overføre informasjon gjennom sjøen. Mange marine organismer har utviklet spesielle egenskaper for å nyttiggjøre seg dette. Fisk bruker lyd for navigasjon og valg av habitat, parring og kommunikasjon. Sjøpattedyr bruker lyd som primært hjelpemiddel for

undervannskommunikasjon, gjenkjenning og lokalisering av byttedyr. Tannhvaler har utviklet avanserte sonarliggende ekkolokaliseringssystemer for å finne og spore byttedyr. Bardehvalene har utviklet langtrekkende akustiske kommunikasjonssystemer til bruk under parring og sosiale interaksjoner. Marine organismer kan ventes å velge oppholdssteder og tilpasse atferd delvis basert på naturlige og menneskeskapt bakgrunnslyd. Kunnskap om lyd i sjøen og om fordeling av lydenergien i forhold til hvordan marine organismer plasserer og beveger seg er viktig for å avdekke mulige virkninger av menneskeskapt lyd.

Seismiske undersøkelser

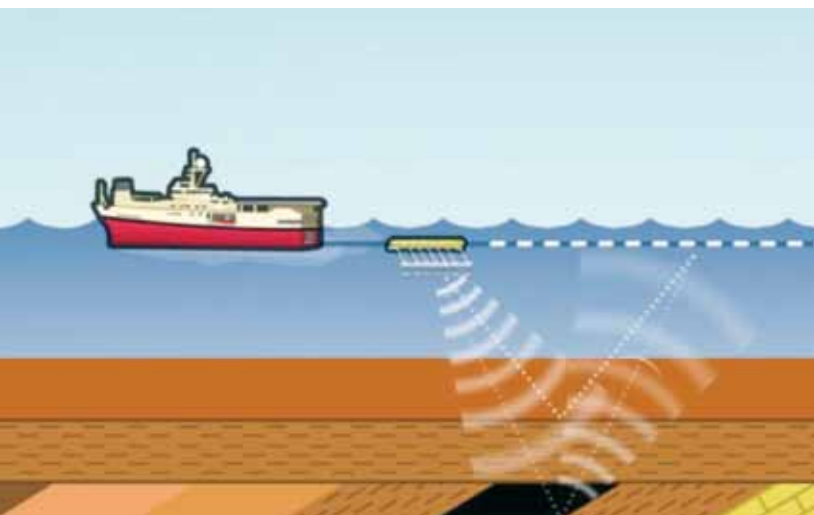
Seismiske undersøkelser er den viktigste metoden for å kartlegge mulige forekomster av olje og gass i sjøbunnen. Lydbølger blir sendt ned i bunnen. Tiden det tar før lydbølgene blir reflektert tilbake fra formasjonene samt energiinnholdet i de reflekterte signalene gir grunnlag for å vurdere bergartenes egenskaper. Slike undersøkelser har vært gjennomført siden 1950-tallet, i starten med eksplosiver som lydkilde. Undervannsekspløsjoner er svært skadelige for marine organismer, og den tids seismikk kunne forårsake omfattende skader på livet i havet inkludert fiskedød. På slutten av 1960-tallet kom luftkanonen med vesentlig mindre skadelige effekter. På 1970-tallet ble vannkanonen utviklet og tatt i bruk. Som seismisk kilde hadde vannkanonen sine fordeler, men den var vesentlig mer skadelig for liv i havet enn luftkanonen, og har siden vært lite brukt.

I dag benyttes store spesialbygde skip som sleper luftkanoner og mottakerkabler etter seg. Luftkanonene sender ut trykkluftbaserte, sterke lydimpulser med jevne mellomrom, typisk for hver 25. meter. Lydbølgene reflekteres fra alle overganger mellom de forskjellige geologiske lagene i undergrunnen. De reflekterte signalene registreres av mange hydrofoner som er montert i spesielle kabler som blir tauet etter skipet (figur 1).

Ulike typer seismiske undersøkelser

Selv om prinsippene i hovedsak er de samme, eksisterer det flere metoder som benyttes ved seismiske undersøkelser i ulike faser av leting og utvinning av petroleum. Todimensjonale undersøkelser (2D) benyttes ved store

Figur 1. Prinsippskisse for seismiske undersøkelser. Det taues minimum én lydkilde og én til flere lyttekabler avhengig av om det er 2D- eller 3D-seismikk som utføres. (© PGS).



Tabell 1. Naturlig forekommende lydilder. Styrken av de ulike lyder er angitt som kildenivå. Dvs. lydtrykket er målt i en viss avstand fra kilden, tilbakeregnet til 1 m fra et antatt kildesenter og så omregnet til intensitet. Kildenivået er angitt i desibel (dB) i forhold til et referansetrykk på 1 µPa referert til 1 m. For typiske pulsllyder oppgir en primært spissverdi (s) eller spiss-til-spissverdi (s-til-s) til forskjell fra en effektivverdi (eff.; rms).

IDENTIFISERTE LYDKILDER	KILDENIVÅ [dB rel. 1 µPa re. 1 m]	KILDENIVÅ [dB rel. 1 µPa re. 1 m] (eff. verdi)	FREKVENSBÅND AV DOMINANT ENERGIOMRÅDE	NORMAL VARIGHET	DIREKTIVITET
Undervanns jordskjelv	272 s	269 ¹	0,1-20 Hz	noen titalls sekunder til flere minutter	rundstrålende
Vulkanutbrudd	255 s	252 ¹	breibåndet	sekunder til timer	rundstrålende
Lynnedslag	260 s	248 ²	breibåndet	mikrosekunder til sekunder	rundstrålende
Spermhvalklikk	236 eff.	236	5-40 kHz	titalls mikrosekunder	fokusert
Delfin	225 s-til-s	207 ³	breibånda i kHz-området	ca. 70 µs	fokusert
Spekkhogger	224 s-til-s	206 ³	12-80 kHz	80-120 µs	fokusert
Hvalgrynt	190 eff.	190	10-25 Hz	titalls sekunder	rundstrålende
Snappereker	189 s-til-s	171 ³	breibåndet opp til 200 kHz	millisekunder	rundstrålende

¹Beregnet verdi basert på standard tilnærmet differanse mellom spissverdi og effektivverdi (rms) på 3 dB for kontinuertlige sinussignaler av "lang" varighet.

²Beregnet verdi ved bruk av empirisk utledet verdi på -12 dB mellom spissverdi og effektivverdi for korte pulsllyder (Greeneridge Sciences).

³Beregnet verdi ved bruk av empirisk utledet verdi på -18 dB mellom spiss-til-spissverdi og effektivverdi for korte pulsllyder (Greeneridge Sciences).

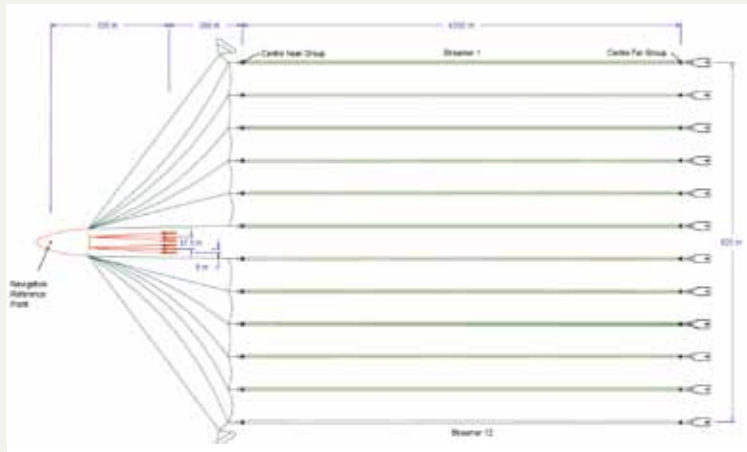
⁴Denne verdien (235 dB) for et 129,6 l luftkanonfelt er maksimum generert lydtrykk i vannet. Den første verdien (247 dB) er tilbakeregnet verdi der en antar at kanonfeltet er en punktkilde.

⁵Atlas Hydrosweep DS topografiekolodd.

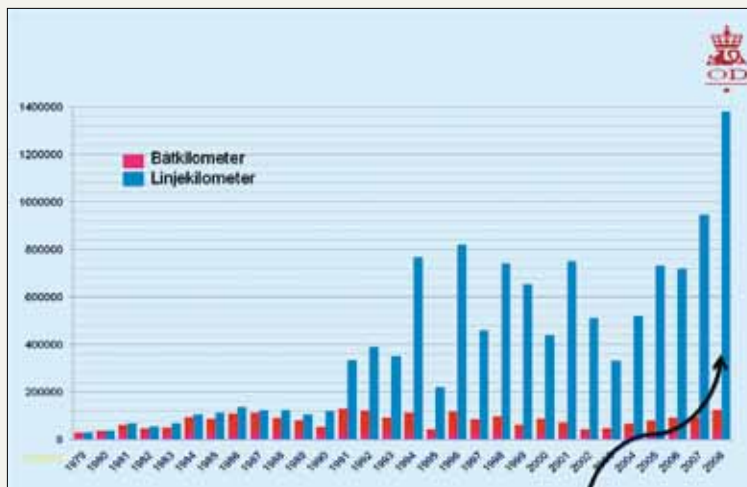
⁶ATOC: Acoustic Thermometry of Ocean Climate.

Tabell 2. Lydilder for menneskeskapt lyd. TNT: Sprengstofftype.

IDENTIFISERTE LYDKILDER	KILDENIVÅ [dB rel. 1 µPa re. 1 m]	KILDENIVÅ [dB rel. 1 µPa re. 1 m] (eff. verdi)	FREKVENSBÅND AV DOMINANT ENERGIOMRÅDE	NORMAL VARIGHET	DIREKTIVITET
4,5 kg TNT	279 s	267 ²	breibåndet	millisekunder	rundstrålende
Luftkanonfelt 129,6 l (7900 k.t.)	259 s	247 ² / 235 ⁵	5-500 Hz	< 30 ms	vertikalt fokusert
Multistråle ekkolodd	237 eff.	237	15,5 kHz	< 50 ms	vertikalt fokusert
Sonar AN/SQS-53C	235 eff.	237	2,6 & 3,3 kHz senterfrekvens	variabel 0,5-2 s	horisontalt fokusert
Ekkolodd (vanlige)	235 s	223 ²	1,5-36 kHz	noen millisekunder	vertikalt fokusert
Sonar SURTASS	235 s	232 ²	100-500 Hz	6-100 ms	horisontalt fokusert
Enkel luftkanon	221 s	209 ²	10-600	< 60 ms	rundstrålende
ATOC-kilde	195 s	192 ¹	55-95 Hz	20 min	rundstrålende
Supertanker	190 s @ 6,8 kHz	187 ¹	breibåndet	uker	rundstrålende i vertikalen
Pæledriving	165 s	183 ^{2,4}	30-40 & 100 Hz	dager	rundstrålende



Figur 2. Seismikkfartøy med to utlagte seismiske kilder (to luftkanonfelt) nært fartøyet og 12 slepte hydrofonkabler utstyrt for en 3D-undersøkelse (© StatoilHydro).



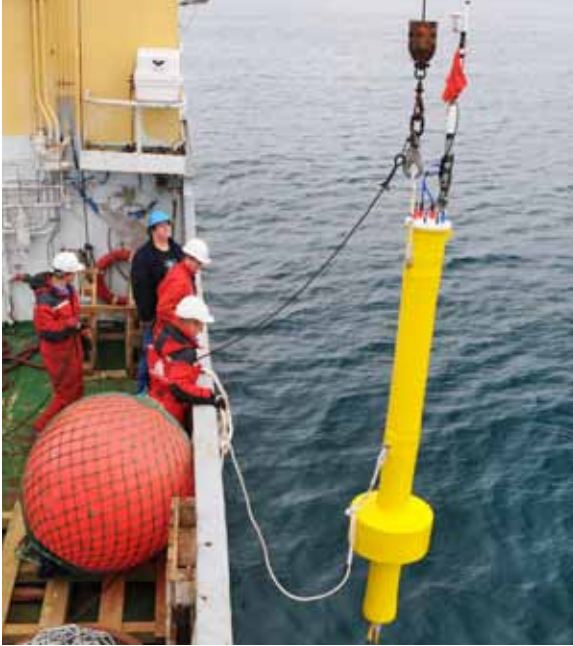
Figur 3. Totalt antall båtkilometer og linjekilometer innsamlet seismikk fra 1979 til 2008. (© Oljedirektoratet).



Figur 4. Fjerning av oljebrenntårn til havs med sprengstoff (© MMS, US Dept. Int.)

regionale undersøkelser i tidlig letefase. Fartøyet følger linjer eller et rutenett hvor linjene ligger med relativt stor avstand fra hverandre (1 km eller mer). Det benyttes én lyd-kilde sammensatt av mange luftkanoner til ett luftkanonfelt og én hydrofonkabel. Luftkanonene avfyres normalt hvert 10. sekund, som tilsvarer hver 25. meter ved 5 knops fart.

Dersom et mindre område fra 2D-undersøkelsen er interessant for videre leting, gjennomfører man en tredimensjonal undersøkelse (3D) som gir langt mer detaljert informasjon om havbunnen og reservoarene. Her benyttes flere hydrofonkabler, oftest med to luftkanonfelt som avfyres vekselvis som skissert i figur 2. Undersøkelsen dekker et langt tettere rutenett med rutenettstørrelse ned i 25 x 25 meter. Luftkanonfeltene er omtrent like store eller noe mindre enn ved 2D-undersøkelser. Mottakerkablene kan være fra 3 til 10 km lange. Ved 3-D seismiske undersøkelser benyttes som oftest åtte kabler ved siden av hverandre med en innbyrdes avstand på 100 meter. Maksimalt antall kabler er kommet opp i 16 med innbyrdes avstand ned i 50 meter. Seismikkfartøyet går normalt med om lag 5 knops fart (ca. 2,5 m/s) langs parallelle linjer. Ved å bruke flere kabler kan seismikkfartøyet kjøre færre kurslinjer og dekke samme areal. Dette gjør at mulige påvirkninger av liv i havet reduseres sammenlignet med tidligere 3D-metoder med færre kabler (figur 3).



Hydrofon bøyer som blir satt ut i forbindelse med Oljedirektoratets seismikkundersøkelse i området Nordland VII utenfor Vesterålen sommeren 2009.

Selv om antall linjekilometer har økt sterkt de senere årene, dvs. at en har samlet inn langt større datamengder, har ikke påvirkningen på livet i havet økt tilsvarende. Figur 3 viser at størst antall båtkilometer i perioden 1979–2008 ble registrert i 1991.

En borestedsundersøkelse (BSU) kan omfatte både en lettseismisk undersøkelse, geoteknisk prøvetaking og topografisk kartlegging av bunnen. Den seismiske delen av en BSU utføres for å få bedre kvalitet på dataene fra de øvre bunnlagene og kan typisk omfatte et 5 x 5 km stort område rundt en planlagt borelokalitet. Kanonene taues på 2–3 meters dyp, og en bruker gjerne 15–20 timer effektiv skytetid på undersøkelsen. Undersøkelsen krever bølgehøyder mindre enn 1,7 meter. Luftkanonkilden består oftest av én til fire små luftkanoner med samlet kammervolum fra 0,7 til 3,4 liter. Det taues bare én lyttekabel med lengde mellom 600 og 1200 meter. Sett i forhold til påvirkning på fiskeatferd fra de ulike seismiske undersøkelsene, har lydenergien fra en borestedsundersøkelse betydelig mindre rekkevidde enn fra en 2D- eller 3D-undersøkelse.

Havforskningsinstituttet har de siste 25 årene vært en aktiv pådriver og aktør innen forskning på skadevirkninger på fiskeegg, larver og yngel og for å avdekke mulige skremmevirkninger på fisk fra seismiske undersøkelser. De første feltprosjektene ble gjennomført allerede i 1984–1985 i Nordsjøen og ved Forskningsstasjonen Austevoll med nye feltarbeidsrunder i 1991–1992, 2002 og 2009 på både fisk og plankton.

Siden midten av 1980-årene har Havforskningsinstituttet hatt en rådgiverrolle overfor myndigheter og industri med å vurdere påvirkninger fra seismiske aktiviteter på fisk basert på ressursbiologiske forhold. Dette betyr at vi vurderer de seismiske aktivitetene i forhold til gytefelt, gyteperioder og konsentrerte gytevandningsveier mot gytefelt. All seismisk aktivitet på gytefelt i gyteperioder blir frarådet. Grunnlaget er basert på vitenskapelige data fra hele verden. Der kunnskapene er avgrenset, trår fore-var-prinsippet inn. Saksmengden har økt betraktelig de siste årene.



Bruk av eksplosiver

Kjemiske eksplosiver brukes i mange typer undervannsoperasjoner som havnebygging, utviding av seilingsleder, fundamentering av strukturer, fjerning av strukturer som vist i figur 4, miner, undervannsbomber, torpedoer, granater og små ladninger som brukes for å skremme bort fisk og marine pattedyr (selbomber). En eksplosjon skaper en sterk trykkpuls med rask stigetid og med energien spredt over et bredt frekvensbånd, inkludert betydelig lavfrekvent energi.

Effekter på fisk fra undervannseksplisjoner har vært veldokumentert siden 1950-årene. Ved små avstander mellom fisk og sprengningssted (relativt utsagn avhengig av sprengstoffmengde) er eksplosjonene dødelige for de fleste fiskearter uansett størrelse, form eller indre anatomi. Ved større avstander har fisk med gassfylt svømmeblære større dødelighet enn fisk uten svømmeblære.

Havforskningsinstituttet har siden midten av 1970-årene hatt en rådgiverrolle og utarbeidet til dels omfattende risikovurderinger av skader på fisk ved undervannsprengninger og sprengninger på land nær strandlinjer. Det gjelder spesielt i forhold til oppdrettsanlegg, men også for villfisk.