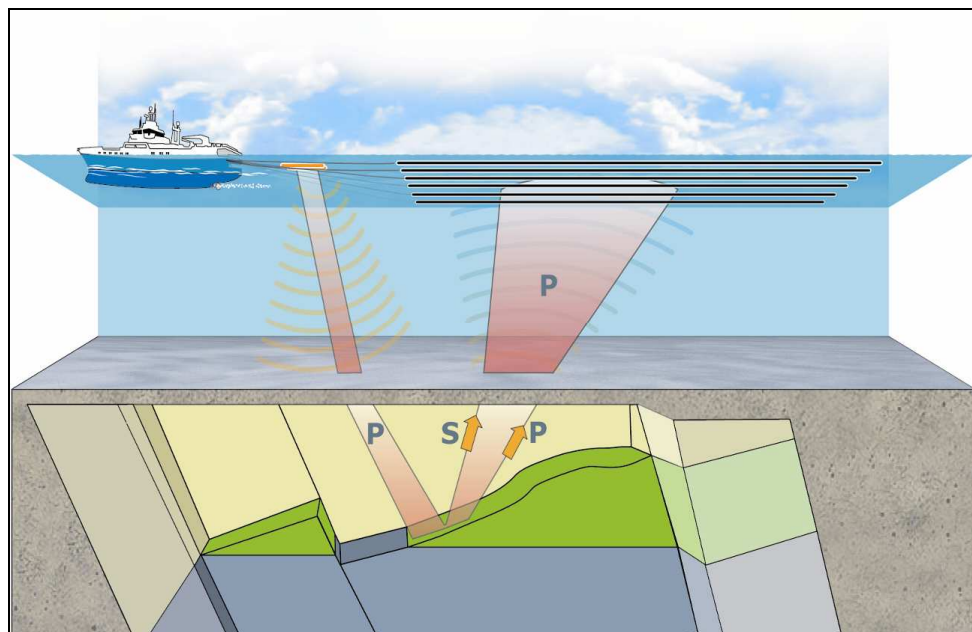


Effekter av seismiske undersøkelser på fisk, fiskefangster og sjøpattedyr

Rapport til Samarbeidsgruppe Fiskerinæring og Oljeindustri
Report no.: 2006-1921
Rev.: 02



06 februar 2007

Effekter av seismiske undersøkelser på fisk, fiskefangster og sjøpattedyr 2006-1921
rev 01,

Samarbeidsgruppe Fiskerinæring og Oljeindustri

DNV ENERGY

Effekter av seismiske undersøkelser på fisk,
fiskefangster og sjøpattedyr

DET NORSKE VERITAS AS
Veritasveien 1
1322 Høvik
Tel: +47 67 57 99 00
Fax: +47 67 57 99 11
Registered in Norway
NO 945 748 931 MVA

for

Samarbeidsgruppe Fiskerinæring og Oljeindustri
Norges Fiskarlag
FHL Havbruk
Eksportutvalget for fisk
Oljeindustriens Landsforening

Client ref: Odd Raustein

Report No.: 2006-1921 Subject Group:

Indexing terms: Seismikk, effekter, fisk, fiskeri, sjøpattedyr

Summary: Marine seismiske undersøkelser er myndighetenes og oljeindustriens viktigste redskap for å kartlegge mulige forekomster av olje og gass under sjøbunnen og for å følge utviklingen i reservoaret. Forskningsresultater viser at påført fiskedødelighet fra seismiske undersøkelser ikke er stor nok til å gi effekter på bestandsnivå. Viktigste konsekvens er skremmeeffekter som lokalt kan gi reduserte fangster for enkelte fiskerier.

Prepared by: *Name og position* *Signature*
John Dalen, Havforskningsinstituttet,
Egil Dragsund og Anders Næss, DNV,
Olav Sand, Universitetet i Oslo

Verified by: *Name og position* *Signature*
Steinar Nesse, Principal consultant
Name og position *Signature*

Approved by: *Name og position* *Signature*
Tor Jensen, Director

Date of issue: 6. februar 2007

Project No: 65218841

** Please use Project No as reference in all correspondence with DNV*

- No distribution without permission from the client or responsible organisational unit (however, free distribution for internal use within DNV after 3 years)
- No distribution without permission from the client or responsible organisational unit
- Strictly confidential
- Unrestricted distribution

All copyrights reserved Det Norske Veritas AS. This publication or parts thereof may not be reproduced or transmitted in any form or by any means, including photocopying or recording, without the prior written consent of Det Norske Veritas AS.



Innhold

1.0	Sammendrag.....	1
2.0	Innledning	2
3.0	Seismiske undersøkelser	3
3.1	Ulike typer av undersøkelser	3
3.2	Lydkilde	4
3.3	Lydbølgen fra luftkanoner.....	5
3.4	Nye seismiske metoder	7
3.5	Siste år seismiske undersøkelser	7
4.0	Effekter på fisk.....	9
4.1	Innledning.....	9
4.2	Lyd fra luftkanoner og atferdsrespons i storskala forsøksoppsett	9
4.3	Påvirkning på fiskeegg, larver og yngel.....	11
4.4	Seismikkfølsomhet og effekter på bestandsnivå	12
4.5	Effekter på oppdrettsfisk.....	13
4.6	Påvirkning på dyreplankton og andre småorganismer	13
5.0	Effekter på fiskefangster.....	15
6.0	Effekter på sjøpattedyr.....	17
6.1	Hørsel og ekkolokalisering hos sjøpattedyr	17
6.2	Skadelige effekter.....	18
6.3	Atferdsmessige effekter	19
6.4	Maskering.....	20
6.5	Oppsummering.....	20
7.0	Referanser.....	21
	Appendix I – Artsnavn	1



1.0 Sammendrag

Marine seismiske undersøkelser er myndighetenes og oljeindustriens viktigste redskap for å kartlegge mulige forekomster av olje og gass under sjøbunnen og for å følge utviklingen i reservoarene. Undersøkelsene foregår ved å sende lydbølger ned i havbunnen. Tiden det tar før disse blir reflektert tilbake fra formasjonene samt energiinnholdet i de reflekterte signalene gir grunnlag for å vurdere egenskapene til forekomstene.

Det har vært utført omfattende studier blant annet av Havforskningsinstituttet for å påvise eventuelle effekter av seismiske undersøkelser på marine organismer. Forskningsresultatene viser at skader på enkeltfisk og økt dødelighet fra luftkanonskyting kan forekomme ved avstander mindre enn 5 m fra luftkanonene. De mest hyppige og alvorligste skadene forekommer ved avstander ut til ca. 1,5 m og fisk på tidlige livsstadier er mest utsatt. Omfanget av den seismikkskapte dødeligheten for kommersielle arter i norske farvann er så lav at den er vurdert til ikke å ha betydningsfull negativ effekt på rekrutteringen til bestandene.

Det er dokumentert at voksen fisk skremmes av lydbølgene fra seismisk aktivitet, og pelagisk fisk synes mest følsom. Skremmeeffekten er påvist i en radius på opp til vel 30 kilometer fra lydkilden. Dersom fisk under vandring til gytefeltene eller under selve gytingen blir eksponert for denne typen støy, kan virkningene påvirke gytesuksessen. Eksponert fisk kan komme til å bruke mer energi på gytevandringen enn uforstyrret fisk, og selve gytingen kan bli mer eller mindre forskyvet i tid og rom. For å unngå slike effekter er det derfor innført tidsbegrensninger for seismisk aktivitet i gyteområder for viktige arter og i områder der det foregår konsentrerte gytevandringer.

Skremmeeffektene kan medføre fangstreduksjoner som vil variere fra art til art og mellom de forskjellige redskapstypene. En norsk undersøkelse viser reduserte trålfangster av f.eks. torsk ut til ca. 33 km fra lydkilden, en annen viser reduserte linefangster ut til ca. 8 km fra lydkilden. Resultater fra en studie i Australia for perioden 1996 til 1999 viser at det er skremmeeffekter ut til avstander på 1 til 2 km fra seismikkfartøyet, men at disse ikke nødvendigvis vil føre til negative effekter for fisket eller for fiskebestanden. Det finnes for lite kunnskap til å kunne fastslå når fisk som er blitt skremt av luftkanonskyting, kommer tilbake til et område den har forlatt eller på annen måte blir like tilgjengelig for fangsting som før seismisk skyting startet opp. Virkningene vurderes som geografisk begrenset, men lokal fangstreduksjon er like fullt dokumentert. For den enkelte fisker er dette av betydning.

Det finnes ingen dokumentert dødelighet av sjøpattedyr som følge av seismiske undersøkelser. Undersøkelser av enkelthendelser hvor stranding av hval og seismiske aktiviteter har skjedd i samme område og tid, har ikke kunnet dokumentere årsakssammenhenger. Det er heller ingen dokumenterte skader på sjøpattedyr i felt som følge av seismikk. Effekter som er funnet er typiske adferdsendringer, hvor for eksempel hval trekker ut av områder med seismisk aktivitet.

Generelt kan man fastslå at seismiske undersøkelser kan ha visse negative konsekvenser for marint liv i nærområdet. Det foreligger imidlertid ikke resultater som tyder på alvorlig og langvarig skade på bestander av fisk og sjøpattedyr.



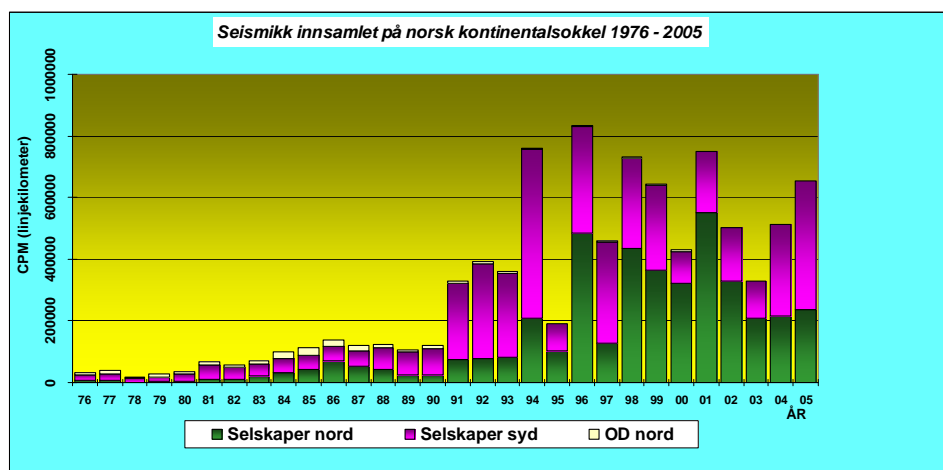
2.0 Innledning

Marine seismiske undersøkelser er myndighetenes og oljeindustriens viktigste redskap for å kartlegge mulige forekomster av olje og gass under sjøbunnen. Lydbølger blir sendt ned i havbunnen og tiden det tar før disse blir reflektert tilbake fra formasjonene samt energiinnholdet i de reflekterte signalene gir grunnlag for å vurdere egenskapene til bergarten. Slike undersøkelser har vært gjennomført siden 1950-tallet, i starten med eksplosiver som lydkilde (Jakosky and Jakosky 1956; Lovlia *et al.* 1966; Lavergne 1970). Eksplosjonene ble oppfattet som svært skadelig for marine organismer og fiskeriaktiviteter fordi detonasjon av eksplosiver og undervannsprengninger med f.eks. dynamitt har vist å kunne forårsake omfattende skader på livet i havet inkludert fiskedød (Coker and Hollis 1950; Hubbs and Rechnitzer 1952; Larsen *et al.* 1993). På 1960-tallet ble luftkanon utviklet som signalkilde (Anon., 1974; 1981; 1989) med vesentlig mindre skadelig effekter enn eksplosiver (Falk and Lawrence 1973; Chelminski 1974). På 1970-tallet ble vannkanon utviklet og tatt i bruk. Som seismisk kilde hadde den sine fordeler, men var vesentlig mer skadelig for liv i havet enn luftkanoner og kildetyper har vært lite brukt (Newman, 1978; Dalen and Knutsen, 1987).

Forskjellige typer seismiske data trengs for de ulike stadiene av virksomheten, fra tidlig letefase til utbygging og produksjon av mulige reserver i et felt. Det kan derfor være nødvendig å gjenta seismisk datainnsamling flere ganger i de samme områdene, men med ulik geografisk dekning og tidsperiode. De enkelte undersøkelsene kan strekke seg over mange uker, avhengig av hvor stort havområde som skal kartlegges.

Fra marine forskere og fiskerinæringen har det vært hevdet at dagens seismiske undersøkelser også kan medføre negative effekter på marine organismer, selv om dette er i langt mindre omfang enn ved tidlige brukte metoder. Effektene som er trukket fram er særlig at fisken blir skremt og trekker seg bort fra opprinnelige oppholds- og fiskeriområder og at matsøkkaktiviteten går ned - begge med reduserte fangster som resultat. Det er også stilt spørsmål ved hvorvidt effekter av lyd fra luftkanoner kan ha negative virkninger på marine pattedyr.

Økt oljeaktivitet på norsk sokkel førte til at disse problemstillingene fikk økt aktualitet i begynnelsen av 90-årene (Figur 2-1).



Figur 2-1. Seismikkaktivitet på norsk sokkel etter 1976. Figur og data fra Oljedirektoratet.

For å belyse disse spørsmålene bevilget oljeselskapene (gjennom Oljeindustriens Landsforening - OLF) og myndighetene (ved daværende Nærings- og energidepartementet, Oljedirektoratet, Forsvarsdepartementet og Samferdselsdepartementet) forskningsmidler via



Norges Fiskeriforskningsråd. I tillegg bidro Fiskeridepartementet via Havforskningsinstituttet med betydelige midler.

Resultatene som ble presentert i en serie rapporter utgitt på 1990-tallet, bidro til å avklare en rekke forhold og dokumentere rekkevidden av mulige effekter. Resultatene ble også omsatt til tiltak i form av reguleringer av seismikkaktiviteten for å begrense konfliktene som kunne oppstå mellom fiskeri- og oljenæringen. En del problemstillinger som ble reist i etterkant, eksempelvis en viss type påvirkninger på tobis, er studert av Havforskningsinstituttet og finansiert av OLF og Fiskeridepartementet.

Norsk forskningsaktivitet har i liten grad belyst virkninger av seismikk på marine pattedyr. Det eksisterer imidlertid et omfattende materiale fra studier utført i regi av forsknings- og myndighetsinstitusjoner så vel som oljeselskaper i Storbritannia, USA, Canada og Australia, slik at det også på dette området foreligger relevante erfaringer og kunnskaper.

Formålet med den foreliggende rapporten er å lage en sammenstilling av oppdaterte resultater fra vitenskapelige publikasjoner og tekniske fagrapporter som omhandler påvirkning av seismikkskyting på marine organismer. Andre sammenstillinger med samme tema er også benyttet som grunnlag for denne rapporten og som kilde for å komplettere oversikten av gjennomført forskningsprosjekter (bl.a. Kenchington, 2000; Østby, 2003; Anon., 2004; 2006).

Hovedvekten er lagt på effekter på fisk og fiskefangsting, men effekter på marine pattedyr og plankton er også berørt. I den grad det er relevant har vi også innhentet informasjon om effekter av andre typer lydbølger i vann som for eksempel de pågående vurderingene av forsvarets nye fregattsonarer. Rapporten er utarbeidet av DNV i samarbeid med Havforskningsinstituttet.

3.0 Seismiske undersøkelser

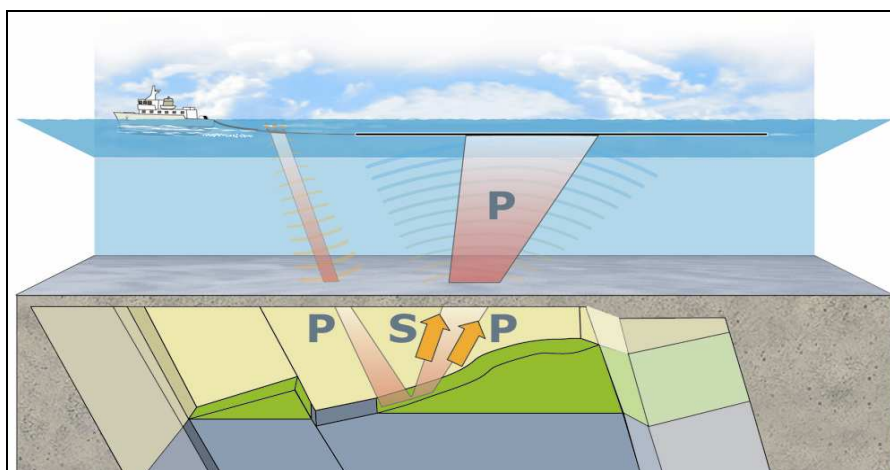
Dagens undersøkelser benytter store spesialbygde skip som sleper luftkanoner og kabler med mottakere etter seg. Luftkanonene avfyre trykkluftbaserte sterke lydpulser (lydbølger) med jevne mellomrom, typisk for hver 25. meter fartøyet forflytter seg. Lydbølgen reflekteres fra alle overganger mellom de forskjellige geologiske lagene i undergrunnen. De reflekterte signalene registreres av flere grupper av hydrofoner montert inn i spesielle kabler som også blir tauet etter skipet. Avstanden mellom hydrofongruppene kan være 25 m eller kortere. Lengden av kablene og avstanden mellom gruppene av hydrofoner varierer avhengig av formålet med undersøkelsen. Mottakerkablene kan ha en lengde på 3 til 8 km. Ved 3-dimensjonale seismiske undersøkelser benyttes som regel åtte kabler ved siden av hverandre med en innbyrdes avstand på 100 m. Seismikkfartøyet går normalt med om lag fem knops fart (ca. 10 km/t), langs parallelle linjer.

3.1 Ulike typer av 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.

De todimensjonale undersøkelsene (2D) benyttes ved store regionale undersøkelser i en tidlig fase før utvinning av ressurser i et område. Fartøyet følger linjer eller et rutenett hvor linjene ligger med relativt lang avstand fra hverandre (1 km eller mer). Det benyttes én lydkilde sammensatt av flere luftkanoner til et luftkanonfelt og én hydrofonkabel. Luftkanonen avfyres normalt hver 25. meter eller hvert 10. sekund ved 5 knops fart.

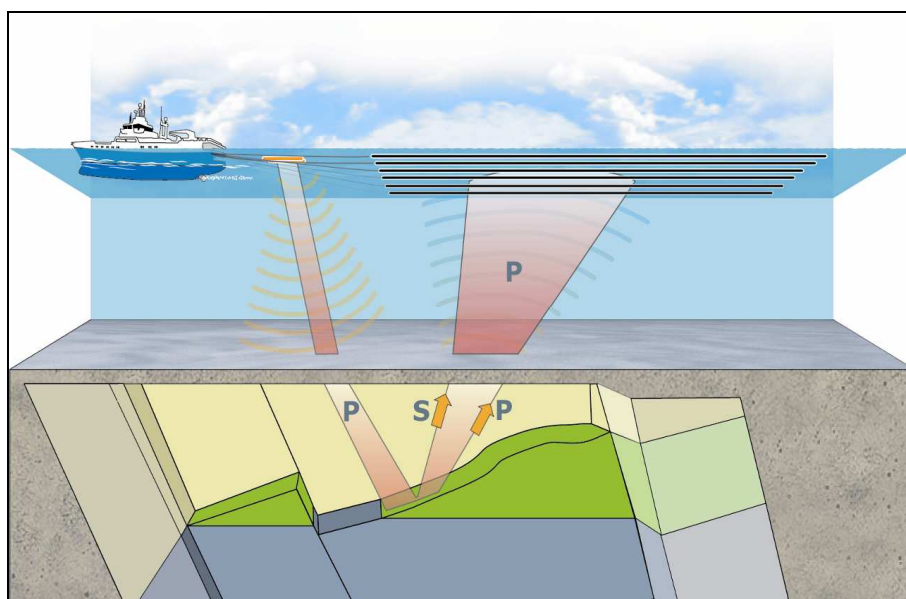




Figur 3-1. Prinsippkisse for 2D-seismikk. Fartøyet sleper en lydkilde og en lyttekabel med hydrofoner. P: trykbølger, S: skjærbølger. (Figur © Statoil)

I dag benytter oljeindustrien tredimensjonale undersøkelser (3D) i økende grad fordi disse gir langt mer informasjon om havbunnen og reservoarene. Ved å benytte flere hydrofonkabler og oftest to lydkiiler som avfyres vekselvis, dekker undersøkelsene et langt tettere rutenett med rutestørrelse nede i 25 x 25m. Doble lydkiiler og flere kabler fører til at skipet trenger å kjøre færre linjer for å dekke det samme arealet. Dette fører videre til at mulige forstyrrelser av liv i havet reduseres sammenlignet med tidligere metoder med færre kabler.

Ved reservoarovervåking benyttes såkalt 4D-seismikk som tilsvarer gjentatte 3D-undersøkelser over tid (Time Lapse Surveys).



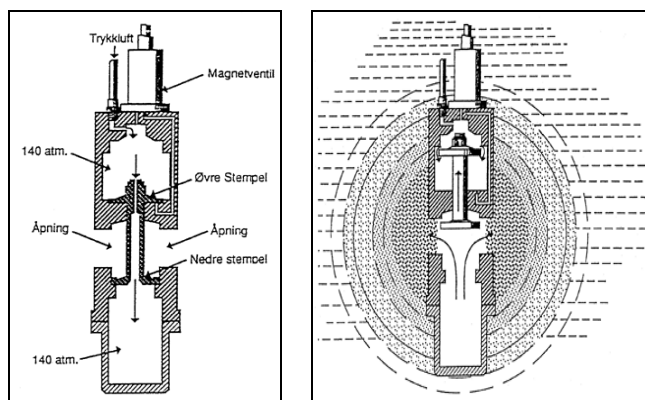
Figur 3-2. Prinsippkisse for 3D-seismikk. Det benyttes flere lyttekabler og minimum en lydkilde. (Figur © Statoil)

3.2 Lydkilde

Luftkanoner benyttes i overveiende grad i dag som lydkilde (se Figur 3-3). Luft med 140 atmosfærers trykk (mest vanlig brukt tilførselstrykk) ledes inn i et kammer i hver luftkanon. Når luften raskt frigjøres til vannet gjennom kanonportalene, dannes det en trykkbølge i vannet.



Volumet av luftkanoner oppgis som oftest i kubikktommer (cu.in.) med tilsvarende enhet i liter. Omregningsfaktorene er 1 cu.in. = 0,02 liter og 1 liter = 61,03 cu.in. Kammervolum pr. luftkanon ligger mellom 0,4 og 10 liter. Ved å sette sammen flere luftkanoner til et utstrakt luftkanonfelt kan dette ha et samlet kammervolum på opptil ca. 165 liter. Ved dette øker man styrken av det resulterende seismiske signalet og man oppnår en fokusering av lydenergien nedover i grunnen.



Figur 3-3. Skisse av en Bolt-PAR luftkanon gjennomskåret før avfiring og etter avfiring. Figur hentet fra <http://www.bolt-technology.com>

3.3 Lydbølgen fra luftkanoner

Lyd har en dualistisk natur og kan beskrives som trykksvingninger (trykkbølger) eller partikkelvingninger i et medium. Når det gjelder oppfattelse av lyd, er det stor forskjell fra art til art både på land og i sjø med hensyn til hva som er den relevante stimulusparameteren, trykk eller partikkelbevegelse, og hvilke lydfrekvenser som kan oppfattes. Det er også stor forskjell på hvilken styrke som kreves ved ulike frekvenser for å oppfatte lyden.

Frekvensen av en lydbølge er antall trykk- eller partikkelvingninger per sekund og måles i hertz (Hz). Menneskeøret er følsomt for lydtrykk og kan normalt oppfatte lyder mellom 30 og 20000 Hz. Seismiske signaler inneholder generelt lydenergi hvor det meste av energien har frekvenser under 200 Hz. Enkle luftkanoner genererer et frekvensspekter på 5-200 Hz, mens tilsvarende spekter for flere kanoner som avfyses samtidig, ligger i området 5-150 Hz (Malme *et al.*, 1986). Lydtrykket på enkeltfrekvenser eller bånd varierer, men maksimalnivået for de fleste ligger innenfor 10-80 Hz.

Trykkforandringene måles som kraft pr. areal (N/m²). Denne enheten blir kalt Pascal (Pa), men det er mer vanlig å benytte det logaritmiske forholdstallet decibel (dB) for å angi styrken av lyden. Dette er ikke en måleenhet, men en beregnet størrelse for målt trykk i forhold til en referanseverdi. For å uttrykke et lydnivå entydig i decibel bør alltid referanseverdien oppgis. Denne referanseverdien er forskjellig i luft og i vann. I vann er lydtryknivået definert som 20 ganger logaritmen av forholdet mellom målt lydtrykk i mikro-Pascal (µPa) og referansetrykket som er 1 µPa. En endring på 6 dB tilsvarer at lydtrykket doubles eller halveres, mens en forandring på 20 dB betyr at trykket endres med en faktor på 10.



Lydens kinetiske komponent, det vil si partikkelbevegelsen, kan uttrykkes som partiklenes svingeutslag (m), svingehastighet (m/s) eller akselerasjon (m/s^2). Mens marine pattedyr er følsomme for lydtrykk, er alle vannlevende virvelløse dyr som kan oppfatte lyd, følsomme for partikkelbevegelse. Det indre øret hos fisk er også følsomt for partikkelbevegelse, og den relevante stimulusparameteren er partikkelakselerasjon. Fisk med svømmeblære, f.eks. sildefisk og torskfisk, kan imidlertid også detektere lydtrykk, siden svømmeblæren virker som en omformer mellom trykk og bevegelse. Fisk uten svømmeblære, f.eks. flyndrefisk og makrell, er ufølsomme for lydtrykk (se Popper *et al.* 2003 for en oversikt over fiskehørsel).

Langt fra lydilden (i det akustiske fjernfeltet) er det et konstant forhold mellom lydets trykkkomponent og kinetiske komponent. Nærmere lydilden enn ca 1/6 av bølgelengden (i det akustiske nærfeltet) øker dette forholdet dramatisk med minkende avstand. For 10 Hz, som er innenfor det frekvensområdet der luftkanoner avgir maksimal effekt, er f.eks. bølgelengden ca 150 m, og nærfeltet strekker seg ut til ca 25 m. Det er sannsynlig at mange av de observerte skadevirkningene på organsimer nær lydilden skyldes partikkelakselerasjon, og ikke lydtrykket. Det er imidlertid vanskeligere å måle partikkelakselerasjon enn lydtrykk, og i praktisk talt alle rapporter om virkninger av seismiske signaler på marine organsimer er lydets intensitet oppgitt som lydtrykk. Det er derfor viktig å være klar over at lyd med samme lydtrykk kan være langt mer skadelig på kort enn på lang avstand.

Det er ulike måter å angi lydtrykket fra lydsignalene på. Pulsede signaler angis ofte med maksimalt lydtrykk (spissverdi eller spiss-til-spissverdi) og varighet på pulsen, mens kontinuerlig lyd enten beskrives som en middelvei (angitt som rms-verdi: "root-mean-square", gjennomsnittlig amplitude over en tidsperiode) eller som spektralnivå der styrken er angitt pr. frekvensbåndbredde, for eksempel pr. Hz. Det er viktig å ha klart for seg hvordan lydnivåene angis når miljømessige forhold av lyd vurderes.

Styrken av det seismiske signalet i en viss posisjon vil i stor grad være avhengig av avstanden fra kilden. Lydtryknivå med spissverdi på over 230 dB rel. 1 μ Pa opptrer bare i umiddelbar nærhet av luftkanonene, i avstander på noen få meter. Til sammenligning sender moderne containerskip ut lyd med styrke opp til 190 – 200 dB rel. 1 μ Pa referert til 1 m ved full fart (Peterson, 2004). Et lydtrykk på 230 dB rel. 1 μ Pa er 100 ganger større enn et lydtrykk på 190 dB rel. 1 μ Pa.

Generelt kan man anta at lydtryknivået av signalet i en gitt posisjon er omvendt proporsjonal med avstanden fra lydilden ved konstant lydshastighet over utbredelsesområdet. På større avstander kan signalene være noe mer redusert enn dette, helt avhengig av dybdeforholdene, de lokale lydforplantningsforholdene i sjøen og de geologiske forholdene i havbunnen. Lyd fra seismiske undersøkelser blir normalt sendt ut fra en kilde nær overflaten, noe som medfører vesentlig større horisontal demping enn hvis lydilden var dypere i vannet. I ulike rapporter om virkning av seismiske signaler er lydets intensitet oppgitt enten som lydtrykk (dB rel. 1 μ Pa) eller mindre presist som lydkanonenes totale volum. I begge tilfelle er det viktig at avstanden til kilden er kjent.

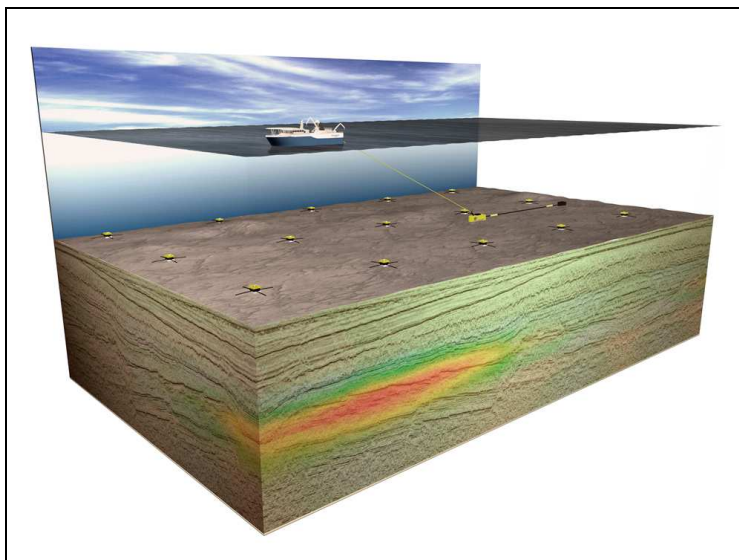
Lyd kan enten opptre som kontinuerlige signaler, eksempelvis fra skipspropellere, eller som pulser. Signaler som brukes i seismiske undersøkelser i dag, er korte pulser som repeteres hvert 8. - 10. sekund under operasjonene, og kan i forhold til sin karakter og påvirkning av livet i havet klassifiseres som pulset lyd.

Lydstress hos levende organismer oppstår generelt som følge av enten plutselige kraftige lyder som kan gi umiddelbare reaksjoner hos individet eller som følge av langvarig eksponering for relativt høye lydnivåer. Spisstrykk er antatt å være mest relevant parameter for å angi sannsynligheten for at det skal oppstå en akutt skade fra pulset lyd, mens middelveinivået (rms-nivået) regnes som en bedre parameter for å vurdere effekter av kontinuerlig lyd.



3.4 Nye seismiske metoder

Elektromagnetiske undersøkelser er en forholdsvis ny metode som benyttes ved innsamling av geofysiske data for vurdering av olje- og gassforekomster. Undersøkelsene foregår etter at en rekke mottakere er plassert langs en linje på havbunnen med en avstand på ca. 1 km. Deretter taues en lavfrekvent elektromagnetisk kilde over mottakerne. Mottakerne registrerer signaler som har forplantet seg flere kilometer ned i undergrunnen.



Figur 3-4. Prinsippskisse for elektromagnetiske undersøkelser. Fartøyet sleper en lavfrekvent elektromagnetisk kilde på dypt vann. Reflekterte signaler fanges opp av en rekke mottagere plassert på havbunnen.

Alle geologiske medier har elektrisk ledningsevne. Forskjellen i elektrisk ledningsevne mellom skifer, sandstein og kalkstein, som er de vanligste bergartene i sedimentbassenger, er relativt liten. Når sandsteinen eller kalksteinen er fylt med olje, avtar den elektriske ledningsevnen radikalt. Frekvensene som benyttes er mindre enn 1 Hz for å oppnå tilstrekkelig inntrengningsdybde i berggrunnen.

Den viktigste begrensningen i dag ligger i at metoden krever et havdyp på minst 500 – 1000 m. Reservoaret må heller ikke ligge for dypt, helst ikke dypere enn 2000 m under havbunnen. Metoden har derfor noen begrensninger. En operativ fordel ved metoden er at det er mulig å samle inn data innenfor et bredt værvindu.

Det foreligger foreløpig ikke undersøkelser av biologiske effekter av denne typen undersøkelser. Det er imidlertid verdt å merke seg at brusfisk (haier og rokker) er ekstremt følsomme for elektriske felt, og spesielt pigghå kan være en økonomisk viktig art i aktuelle områder. Mulig virkning av svake elektriske og magnetiske felt på marine organismer er tidligere blitt vurdert i en rapport som ble finansiert av Statkraft i forbindelse med planlagte, undersjøiske kraftkabler mellom Norge og kontinentet (Poleo *et al.*, 2005).

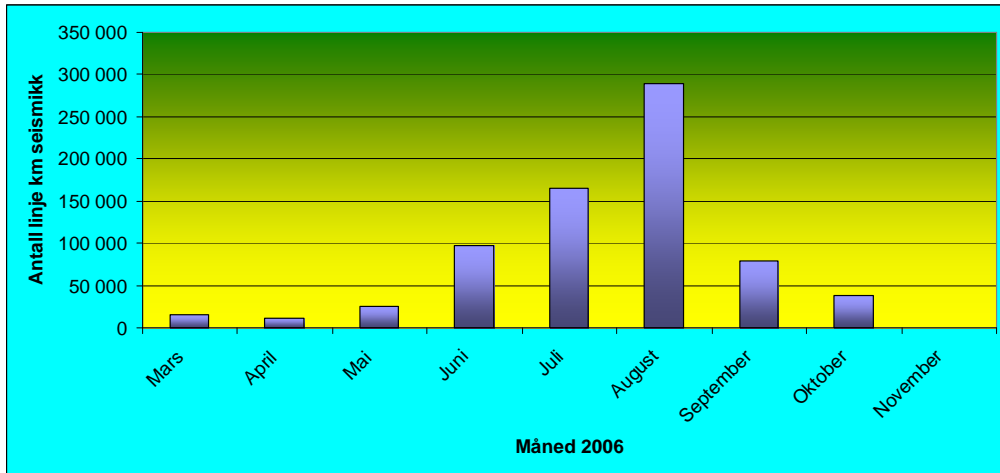
3.5 Siste år seismiske undersøkelser

I følge Oljedirektoratet ble det totalt skutt 719 844 km seismikk på norsk sokkel i 2006 fordelt på 45.646 km 2D-seismikk og 674.198 km på 3D-seismikk. Til sammenligning ble det innsamlet ca. 836.000 km i 1996 (se Figur 2-1).



Det totale arealet som ble undersøkt tilsvarer 16.850 kvadratkilometer. I likhet med tidligere år er de fleste av undersøkelsene gjennomført i Nordsjøen og Norskehavet med betydelig mindre aktivitet i Barentshavet.

Aktiviteten er størst i de tre sommermånedene juni, juli og august (Figur 3-5).



Figur 3-5. Fordelingen av seismikkaktiviteten på måneder i 2006. Data fra Oljedirektoratet.



4.0 Effekter på fisk

4.1 Innledning

Seismiske undersøkelser kan påvirke enkeltfisk, fiskebestander og fiskerier enten direkte gjennom skadelige fysiologiske effekter eller atferdspåvirkninger. Vi klassifiserer ofte effektene i "skadelige effekter" og "atferdspåvirkende effekter". Skadelige effekter kan omfatte alt fra "øyeblikkelig dødelighet", til "nesten dødelige effekter", eller uttrykt som ulike slag av påførte indre skader som kan forårsake resultater fra "direkte dødelig" via "indirekte dødelig" til forbigående redusert levealder med full restitusjon til slutt.

De fysiologiske effektene vil hovedsakelig påvirke yngre livsstadier av fisk som egg, larver og yngel (Kostyuchenko 1973; Dalen and Knutsen, 1987; Holliday *et al.*, 1987; Booman *et al.*, 1992; Kosheleva, 1992; Popper *et al.*, 2005). Dette er stadier i fiskenes utvikling der de har begrensede evner til å slippe unna sitt opprinnelige oppholdsområde under påvirkning av ulike slag. Effektene er ofte klassifisert som umiddelbar dødelighet (korttidseffekter), dødelighet over tid (langtidseffekter) og ikke-dødelige skader. Selv om noen skader i seg selv ikke fører til direkte dødelige tilstander av organismene, kan slike effekter indirekte føre til samme fatale tilstander via redusert evne for fødeopptak, eller endret svømmekapasitet slik at de vil bli mer sårbare overfor rovfisk. Basert på reelle energi- og atferdsdata fra fisk har dette blitt demonstrert av Holmstrøm (1993) for typiske seismiske 3D-undersøkelser. I fiskeressursbiologiske sammenhenger kan dette bli oppsummert som økte dødeligheter av egg, larver og yngel som derved kan bidra til en viss nedsatt nettoproduksjon i fiskebestander.

For senere livsstadier og for voksen fisk, ser vi på atferdspåvirkende effekter som de viktigste. Dette kan medføre at en skremmer fisk bort fra fiskebanker og -områder. Slik kan det indirekte bli av stor betydning for fiskeriene ved redusert tilgjengelighet av fisk for fangsting og dermed lavere fangster. Noen funn av McCauley *et al.* (2003) indikerte også skadelige effekter hos voksen fisk. Her ble det påvist alvorlige skader på hørselsensorceller. Fisken ble holdt i bur og det seismiske fartøyet passerte burene langs kurslinjer som gikk fra 400-800 m avstand i starten og inntil 5-15 m fra burene. I det forsøksfiskeriet var så nær luftkanonene, kan en diskutere hvor representative effektene fra denne type skader er for voksen, frittsvømmende fisk. Disse funnene er for øvrig av samme type som Booman *et al.* (1996) fant for fiskelarver av noen arter.

En annen problemstilling er eventuelle forstyrrelser som gytefisk kan utsettes for på gyteområder og under konsentrert gytevandring fram mot gyteområdene. Dette kan endre hvilke områder som benyttes for gyting og eventuelt gytetidspunkt, slik at gyteforhold blir mindre gunstige. Dette kan således i verste fall redusere den totale årlige reproduksjonen. Det må videre understrekes at hvilken som helst effekt må forstås i lys av å være spesiell for hver art og at sårbarhet og påvirkning for ytre stimuli er avhengig av livsstadium.

4.2 Lyd fra luftkanoner og atferdsresponsen i storskala forsøksoppsett

Når fisk mottar en sterk lydstimulus, settes det i gang en alarmreaksjon eller en fluktreaksjon (Blaxter *et al.*, 1981; Blaxter and Hoss, 1981; Popper and Carlson, 1998, Karlsen *et al.*, 2004). Reaksjonen er ofte karakterisert ved en typisk såkalt "C-start"-respons idet fiskens kropp former en C og kroppen peker bort fra lydkilden. C-startresponsen kan derfor sette i gang en unnvikelsesreaksjon bort fra en skadelig eller skremmende stimuluskilde. Felteksperiment har demonstrert at lydenergi utsendt fra luftkanoner setter i gang denne type respons hos torskfisk (Wardle *et al.*, 2001), uerarter (Pearson *et al.*, 1987; 1992), europeisk sjøabbor (Santulli *et al.*, 1999) og tobis (Hassel *et al.*, 2004).



Knudsen et al. (1992) utførte en systematisk undersøkelse av hvilke lydfrekvenser som er mest skremmende for laksesmolt. Det viste seg at infralyd med frekvens under 20 Hz utløste frykt- og unnvikelsesreaksjoner langt mer effektivt enn høyere frekvenser. Disse forsøkene ble fulgt opp av feltforsøk på atlantisk laks (Knudsen *et al.*, 1994), flere arter stillehavslaks (Knudsen *et al.*, 1997), sølvål (Sand *et al.*, 2000) og flere arter karpefisk (Sonny *et al.*, 2006). I alle disse undersøkelsene førte intens infralyd til fluktreaksjoner. Fisk har generelt en meget god infralydhørse (Sand and Karlsen, 1986, 2000), og infralyd har et stort potensial i akustiske fiskesperrer (Sand *et al.*, 2001; Sonny *et al.*, 2006). I denne sammenhengen er det interessant at en betydelig del av den avgitte lydenergien fra luftkanoner er i infralydområdet.

Chapman and Hawkins (1969) observerte at dybdefordelingen av hvitling endret seg under skyting med en luftkanon idet den unngikk høye lydnivåer ved straks å gå dypere. Lignende atferdsendringer under skyting med én luftkanon (0,6 liter) ble observert for sild av Dalen (1973) i Imsterfjorden og Verrafjorden i Sør-Trøndelag.

Atferdsendringer har blitt observert under spesielle studier i fiskeområder (Pearson *et al.*, 1992) hos uerarter som ble utsatt for luftkanonskyting. Fisk av disse artene som ble holdt i notbur, viste endring i svømmemønstre og dybdefordeling i løpet av 10 minutters lydeksposering fra en enkel luftkanon med kammervolum 1,6 liter. Disse observasjonene viste at forholdsvis små atferdsendringer som endringer i dybdefordeling og endring mot mer aktiv atferd som å gå i sirkel, ble observert selv ved lave lydnivåer, og at alarmresponser som øket aktivitet og endring i stimatferd og plassering i vannsøylen, ble mer og mer tydelige etter som lydnivået økte. En har også observert raske C-startlignende responser hos europeisk sjøabbor og tobis i forhold til luftkanonskyting på avstander opp til henholdsvis 2,5 og 5,0 km (Santulli *et al.*, 1999; Hassel *et al.*, 2004). Fisken ble da holdt i bur mens det seismiske fartøyet tauet den seismiske lydilden i ulike avstander fra burene. Selv om disse tre eksperimentene ble utført med fisk under storskala feltforhold, kan en ikke avdekke større fluktreaksjoner med innesperret fisk.

Wardle *et al.*, (2001) gjorde observasjoner av torsk, lyr, sei og hvitling på en innaskjærs grunne i et gruntvannsområde, mens skyting pågikk med en luftkanonklynge bestående av tre kanoner med totalt kammervolum 2,5 liter. Atferdsmønstrene hos fisken endret seg i en viss grad, men en observerte ikke systematiske vandringer bort fra luftkanonen eller bort fra grunnen. Vi tolker dette dit hen at hver lydeksposering med sine overflate- og bunnekkbidrag enten var for kompliserte eller variable for å gi retningsinformasjon til fisken slik at den eventuelt kunne svømme direkte bort fra luftkanonen. Denne studien ble som nevnt utført i et grunt innaskjærsområde og er et eksempel på forhold der en kan få mange overflate- og bunnrefleksjoner av lyden sammen med den direkte lydimpulsen. Dette vil resultere i et komplekst lydfelt som har redusert retningsinformasjon.

Dalen og Raknes (1985) observerte i 1984 på Gullfaksfeltet i Nordsjøen at fiskefordelinger på 100-300 m dyp endret seg langs kurslinjene av et seismisk fartøy som tauet et luftkanonfelt på 40 kanoner med total kammervolum 78 liter under en 3-dimensjonal seismisk undersøkelse. Midlere målt ekkomengde (akustisk mål for fiskemengde) som representerte forekommende fiskemengde, av bunnfisk – hovedsakelig torsk og sei, ble redusert med 36 % etter skytingen sammenlignet med måleverdiene før skyting. Årsaken til dette var at fisken vandret ut av seismikkområdet eventuelt at den gikk så tett ned til bunnen at den ikke kunne observeres med ekkolodd. For kolmule var den tilsvarende reduksjonen i fiskemengde 54 % mens for små pelagiske arter var reduksjonen på 13 %. Slotte *et al.*, (2004) observerte også at fisk (sild og kolmule) i et område der det skytes 3D-seismikk, foretar forflytning til større dyp.

Engås *et al.* (1993, 1996) gjennomførte i 1992 en storskala undersøkelse på Nordkappbanken i Barentshavet for å kartlegge omfang og varighet av effekter fra seismiske aktiviteter på



fiskemengder i området og på fangstrater av kommersielle arter. Den seismiske skytingen foregikk i fem dager innenfor et område på 3 x 10 nautiske mil der en brukte et luftkanonfelt på 18 kanoner med totalt kammervolum 82 liter. I tillegg til tråling foretok en fangsting med line før, under og etter skytingen og fiskemengden ble mengdemålt ved akustisk kartlegging i de samme periodene. Fangstratene under skytingen ble funnet til å avta over et område på 18 nautiske mil ut fra seismikkområdet. De akustiske målingene som viste endringer i fiskemengde, ble funnet til å avta i samme forhold som fangstreduksjonene.

Havforskningsinstituttet gjennomførte i 2002 et feltforsøk i Nordsjøen for å finne ut om seismiske undersøkelser under visse forhold forårsaket spesiell atferd hos tobis (Hassel *et al.*, 2003; 2004). Tobis er en art som dels graver seg ned i bunnsedimentene om natta og står i vannsøyla om dagen. Forsøkene omfattet grabbprøver for å finne nedgravd tobis for å bestemme utbredelse innen forsøksområdet og for å framskaffe fisk til forsøkene. Hovedformålet med prosjektet var å gjennomføre forsøk hvor tobisen ble lukket inne i store bur som stod på bunnen, for å observere om og i hvilken grad tobisen gravet seg ned eller om den viste andre atferdspåvirkninger ved seismisk skyting. Det ble ikke påvist at tobis gravet seg ned ved seismisk påvirkning, men en observerte markerte atferdsreaksjoner, C-startreaksjoner, som er starten på fluktreaksjoner. Atferdsundersøkelsene ble støttet av akustisk overvåking av tobisforekomstene i og rundt forsøksområdet og en overvåket fiskeriaktivitetene i området. Observert akustisk mengde tobis varierte sterkt over forsøksperioden, men dette kunne ikke knyttes til seismisk aktivitet eller ikke idet observasjonsdesign og metodikk ikke var tilpasset for å belyse om tobisen forble innenfor seismikkområdet eller vandret ut av det, eller om den ble annerledes tilgjengelig for fangsting i løpet av seismikkperioden. Analyse av data for landet mengde tobis fra norske trålere viste et midlertidig fall i landet mengde fisk for en kort periode etter forsøkene.

4.3 Påvirkning på fiskeegg, larver og yngel

Fram til 1990 var noe forskning blitt utført for å belyse omfang og type skader på fisk som ble eksponert for luftkanon- og vannkanonskyting i tidligere Sovjetunionen (Kostyuchenko, 1973; Kosheleva, 1992), i Norge (Dalen and Knutsen, 1987), og i USA (Weinhold and Weaver, 1972; Holliday *et al.*, 1987). For å supplere tidligere resultater og belyse hvilke indre skader fiskeegg, larver og yngel kunne få, ble det i regi av Havforskningsinstituttet gjennomført et større prosjekt i 1991-92 omkring påvirkning fra luftkanonskyting på tidlige livsstadier hos fem fiskearter (Booman *et al.*, 1996). De brukte luftkanonoppsettene tilsvarte deler av vanlig brukte luftkanonfelt i 3D-undersøkelser hvor effektiv stimuluskilde hadde et totalt kammervolum lik 9,6 liter. Lignende studier har senere blitt fulgt opp av McCauley *et al.* (2003) og Popper *et al.* (2005).

For å øke forståelse og presisjon av resultatene fra de mange undersøkelsene, ble resultatene så langt mulig gruppert og presentert i forhold til utviklingsstadium av den aktuelle arten hvor stadium også uttrykker alder. Utviklingsstadium og effektiv alder (døgngrader) for fisken baserer seg på eksempler for torsk (gyter i frie vannmasser) og sild (gyter ved bunnen) under normaltemperaturforhold på gytefelt og i typiske driftområder i norske farvann, dvs. fra temperert og subarktisk sone. Resultater fra andre farvann og soner kan avvike fra dette når det gjelder effektiv alder. Følgende utviklingsstadium ble brukt:

- egg,
- *plommesecklarver* - aldersmessig; torsk fra 0 til ca. 35 døgngrader og sild fra 0 til ca. 50 døgngrader,
- *larver* - tilsvarende; torsk fra ca. 35 til ca. 335 døgngrader og sild fra ca. 50 til ca. 650 døgngrader,



- *postlarver* - tilsvarende; torsk fra ca. 335 til ca. 575 døgngader og sild fra ca. 650 til ca. 890 døgngader,
- *yngel* - omlag tilsvarende som brukt for 0-gruppestadium ved Havforskningsinstituttet, dvs. fisken er ca. ½ år gammel.

Resultatene av de norske undersøkelsene i 1991-92 bekreftet og utvidet tidligere kunnskaper fra undersøkelser av dødelighet fra luftkanonskyting.

- Økte dødelighetsrater for fiskeegg ble påvist ut til ca. 5 m avstand fra luftkanonene.
- For plommesekkklarver, spesielt for piggvar (gjennomgående representant for flyndrefisker) var dødelighetstallene høye, 40 - 50 %, på 2-3 m avstand. Lavere dødelighetstall er blitt vist for plommesekkklarver av ansjos ved samme avstander (Holliday *et al.*, 1987) fra en enkel luftkanon på 5 liter. Matishov (1992) påviste betydelige øyeskader (retinalagdeling) hos plommesekkklarver av torsk ved 1 m avstand fra en luftkanonklynge på ca. 8 liter.
- På senere stadier, slik som for larver, postlarver og yngel, fant en for rødspette de høyeste dødelighetstallene, 10 - 20 %, ved 2 m avstand. Tydelig øket dødelighet ble også påvist for torsk på ca. 5 m avstand på larvestadiet.
- Økte dødelighetstall på postlarvestadiet ble påvist ved 1-2 m avstand for flere arter.
- Økt dødelighet ble påvist for torsk på yngelstadiet ved 1-2 m avstand.
- En observert videre endringer i flyteevne hos organismene, endringer i evne til å unngå predatorer, og effekter som påvirket den generelle kondisjonen hos larvene og dermed evne til å overleve.

Når en så etter eventuelle patologiske påvirkninger på fisk, dvs. skader på cellenivå, fant Booman *et al.* (1996) for plommesekkklarver av piggvar som var eksponert for lydenergi fra luftkanoner, at dette påvirket og skadet hjerneceller når larvene var ca. 1,6 m fra en luftkanonklynge.

Sidelinjesystemet hos fisk kan være sårbart overfor skader som er forårsaket av lydenergipåvirkning, spesielt hos larver, der de såkalte frie neuromaster i mange henseende representerer sidelinjesystemet inntil dette er fullt utviklet. Neuromastene er betraktet som et viktig organ i fluktreaksjoner hos mange fiskelarver, og derved i deres evne til å unngå predatorer (Blaxter and Hoss, 1981; Eaton and Hackett, 1984;). Booman *et al.* (1996) påviste skader på de frie neuromastene hos plommesekkklarver av piggvar ved fullstendig kutting av alle cilier (flimmerhår). Lignende funn ble avdekket for postlarver av torsk.

Lignende påvirkning på hørselsorganene hos voksen fisk ble vist av McCauley *et al.* (2003) da "pink snapper" i bur ble utsatt for flere luftkanonskudd. Tegn på skader på sensorhårcellene i det indre øret ble observert så tidlig som 18 timer etter luftkanonskytingen. Betydelige skader av samme type ble observert hos fisk som ble undersøkt 58 dager etter eksponeringen og der var ingen tegn på at de skadete sensorcellene reparerte seg selv. Det ble ikke påvist i denne studien hvilken betydning disse skadene hadde for fiskens hørsel.

Oppsummert kan vi si at forskning har vist at skader og økt dødelighet fra luftkanonskyting kan forekomme ved avstander mindre enn 5 m fra luftkanonene. De mest hyppige og alvorligste skader forekommer ved avstander ut til ca. 1,5 m og fisk på tidlige livsstadier er mest utsatt.

4.4 Seismikkdødelighet og effekter på bestandsnivå

En kan så stille seg spørsmål hvilken betydning seismikkdødeligheten kan ha for rekruttering til bestander? Et viktig studium om enn begrenset i omfang, er blitt gjennomført for å belyse



hvilke konsekvenser den seismikkskapte dødeligheten kan forårsake på bestandsnivå (Sætre og Ona, 1996). Arbeidet var basert på de observerte dødelighetstallene for larver og yngel ved gitte avstander i Holliday *et al.* (1987) og Booman *et al.* (1996). Det ble lagt til grunn typiske versjoner av luftkanonfelt og kurslinjetettheter som er brukt i 3D-undersøkelser, sammen med observerte dybdefordelinger av larver og yngel (Bjørke *et al.*, 1991; Holmstrøm, 1993). Som en "verste-tilfelle" situasjon ble det beregnet at antall larver som ble drept i løpet av en typisk seismisk undersøkelse, var 0,45 % av den totale larvebestanden. Når en anvendte mer realistiske "forventningsverdier" til hver parameter i beregningsmodellen, ble den beregnede verdien for drepte larver i løpet av et tokt lik 0,03 % av larvebestanden. Dersom den samme larvebestanden ble utsatt for flere seismiske tokt, ville effekten summere seg opp for hvert tokt.

Dersom vi ser seismikkdødeligheten i forhold til den naturlige dødeligheten på disse livsstadiene, får vi følgende sammenhenger: For arter som torsk, sild og lodde, er den naturlige dødeligheten vurdert til å være 5-15 % pr. døgn av totalbestanden for egg og larver. Den daglige naturlige dødeligheten er redusert til 1-3 % inntil en når 0-gruppestadiet dvs. når fisken er blitt ca. ½ år (Sætre og Ona, 1996). Følgelig er den seismikkskapte dødeligheten for disse artene og andre kommersielle arter i norske farvann så lav at den ikke er vurdert til å ha noen betydningsfull (signifikant) negativ effekt på rekrutteringen til bestandene (Dalen *et al.*, 1996).

4.5 Effekter på oppdrettsfisk

Thomsen (2002) rapporterte en undersøkelse av effekter av seismiske undersøkelser på laksefisk i oppdrettsanlegg. Det var hovedsakelig regnbueørret i merdene (totalt 140 tonn med en gjennomsnittsvekt på 3,5 kg), men i tilknytning til eksperimentet ble det også satt ut en merd med laksesmolt (200 stk, vekt 50 g). Det ble benyttet 2 stk 0,4 liters og 2 stk 0,7 liters luftkanoner som ble avfyrt samtidig. Tilførselstrykket var 110 bar. Lydtryknivået var ca. 229 dB rel. 1 μ Pa referert til 1 m fra luftkanonene. Lydbølgene ble målt to steder ved hjelp av hydrofoner til 142 dB rel. 1 μ Pa på 4000 m avstand (ved oppdrettsanlegget) og til 186 dB rel. 1 μ Pa på 150 m avstand fra luftkanonene. Fisken i anlegget ble overvåket med videokameraer og syntes å være rolig under hele eksperimentet. Enkeltfisk hadde brå bevegelser uten at disse sikkert kunne skilles fra normal atferd. Fiskens forinntak var normalt under hele eksperimentet.

Turnpenny and Nedwell (1994) siterer eksperimenter med coho-laks i merder som ble utsatt for lydbølger fra luftkanoner opp til 214-216 dB rel. 1 μ Pa uten dødelige effekter, mens ved 226-234 dB rel. 1 μ Pa ble det funnet å gi skader i svømmeblæren. Ved 192-198 dB rel. 1 μ Pa ble laksen paralyseret, men den ble restituert etter ca. 30 minutter.

4.6 Påvirkning på dyreplankton og andre småorganismer

I løpet av 2006 har det i fiskeripressen også vært en del diskusjoner omkring mulige påvirkninger på planktonorganismer fra den utstrakte seismiske aktiviteten i Nordsjøen. Innen dette området er det foreløpig utført lite forskning. Fra litteraturen kjenner vi bare til et eksperiment med luftkanoner på dyreplankton (hoppekreps, copepoder) og blåskjell (Kosheleva, 1992). Anvendte bunndyrarter var gammarider, (tangloppe), snegler (butt strandsnegl og vanlig strandsnegl) og en skjellart (blåskjell). For dyreplankton benyttet en høyere og lavere orden av krepsdyr, hovedsakelig hoppekreps (copepoder). Bare forsøkene med tanglopper og skjell var vellykkede. For disse ble ingen betydningsfulle (signifikante) skadelige effekter observert ved avstand 0,5 m og større fra en enkel luftkanon med kammervolum 3 liter.

I USA utførte Pearson *et al.* (1994) eksperimenter med luftkanoner på tidlige larvestadier av Dungeness-krabbe. Fra et luftkanonfelt på sju kanoner med totalt kammervolum på 13,8 liter



observerte de en reduksjon i overlevelse på mindre enn 10 % for larvene på ett visst stadium dvs. ved stadium for andre skallskifte. Ellers var der ingen effekter. Christian *et al.* (2003) utførte lignende eksperimenter med snøkrabbe. Deres eggutviklingsstudie viste tydelige utviklingsforskjeller mellom kontrollgruppene og testgruppene for egg som ble eksponerte ved 2 m avstand fra en enkel, liten luftkanon på 0,7 liter. Både test- og kontrollgruppene ble undersøkt over en 12 ukers inkuberingsperiode i laboratorium. Ut over dette ble det ikke funnet noen indikasjoner på øyeblikkelig eller forsinket dødelighet eller andre effekter.



5.0 Effekter på fiskefangster

Fiskere har gjennom lang tid uttrykt bekymring for at visse typer geofysiske undersøkelser som ble utført i fiskeriområder, medførte lavere fangster. Vitenskapelige studier har blitt utført for å undersøke og kvantifisere slike effekter fra luftkanonskyting (Dalen og Raknes, 1985; Malme *et al.*, 1986a; Pearson *et al.*, 1987; Skalski *et al.*, 1992; Løkkeborg and Soldal, 1993; Engås *et al.*, 1996; i Jakupsstovu *et al.*, 2001). Alle disse studiene demonstrerte fangstreduksjoner i løpet av luftkanonskyting sammenlignet med fangster før skytingen begynte.

Malme *et al.* (1986a); Pearson *et al.* (1987) og Skalski *et al.* (1992) undersøkte hvordan lydenergien fra en enkel luftkanon påvirket fangstene i et fiskeri med snik etter uerarter langs Californiakysten. Et seismisk fartøy gikk over fiskeforekomstene som stod langs fjelltinder på bunnen på 82-183 m dyp. Lydutsendingene forårsaket en midlere fangstnedgang i totale fangstrater på 52 %. De reduserte fangstene ble forklart med atferdsendringer som ble påvist med ekkolodd og som viste at fisken gikk dypere, men at fisken fremdeles oppholdt seg langs de bratte bunnformasjonene. Denne spesielle observasjonen er i samsvar med hva som ble funnet av Wardle *et al.* (2001) og Boeger *et al.* (2005) som indikerte at fisk som er knyttet til bunnstrukturer synes å være mer stasjonær enn mer frittsvømmende fisk. En konkluderte også med at det var mindre sannsynlig at slik bunntilknyttet fisk spredte seg i vannmassene ved eksponering med luftkanon enn fisk som var lokalisert på mindre særpregete bankområder.

Løkkeborg (1991) og Løkkeborg and Soldal (1993) analyserte fangstdata fra loggbøker fra linefartøy og trålere som hadde fisket i områder der det ble gjennomført seismiske undersøkelser. Fangstratene fra linefartøyene viste seg å øke med økende avstand fra seismikkområdet. Fangstene på liner som var satt innenfor seismikkområdet var 55-80 % lavere enn de som var satt 1-8 nautiske mil fra dette området. På to fiskeområder der reketrålere fisket under seismiske undersøkelser, ble bifangsten av torsk redusert med henholdsvis 79 % og 83 % da skytingen startet. De observerte reduksjoner av fangstratene ble forklart med at fisken beveget seg bort fra seismikkområdene. I løpet av to korte luftkanonskytesekvenser på 3 og 9 timer, fant en at bifangsten av torsk ble tredoblet hos noen seitrålere i området. Denne fangstøkningen ble antatt å være en effekt av de forholdsvis korte skyteøktene som kunne forårsake forbigående økning av fisketettheten tett ved bunnen. Lignende effekter ble observert av Dalen og Raknes (1985) for noen bunnfiskarter i Nordsjøen.

Engås *et al.* (1996) raffinerte og utvidet den tilnærmingen som Dalen og Raknes (1985) hadde, til et storskala eksperimentelt oppsett for å undersøke romlige utstrekninger og varighet av effektene fra seismiske aktiviteter på lokale fiskemengder og på fangstrater av kommersielle arter. Sammenhengende seismisk skyting ble gjennomført over en fem dagers periode innenfor seismikkområdet på 3 x 10 nautiske mil der en brukte et luftkanonfelt på 18 kanoner og opererte i henhold til vanlige prosedyrer ved 3D-undersøkelser. Trålfangstene av torsk og hyse og linefangstene av hyse avtok med ca. 50 % i et område på 40 x 40 nautiske mil sentrert rundt seismikkområdet i løpet av skyteperioden sammenlignet med en sju dagers fiskeperiode før skytingen startet. Fangstreduksjonen var tydeligst innenfor seismikkområdet der trålfangstene av begge arter og linefangstene av hyse avtok med ca. 70 % og linefangstene av torsk avtok med ca. 45 %. Foruten linefangstene av torsk, avtok fangstratene over et område på 18 nautiske mil ut fra seismikkområdet. Der var heller ingen tegn på økning i fangstratene i løpet av en fem dagers periode etter at skytingen var over. Mengde torsk og hyse innen forsøksområdet ble mengdemålt ved akustisk kartlegging og ble funnet til å avta i samme forhold som fangstreduksjonene. Som konklusjon demonstrerte denne omfattende undersøkelsen at seismiske undersøkelser forårsaket store reduksjoner i lokal fiskemengde. Videre at fangstrater av torsk og hyse ble sterkt redusert innenfor et område på minst 18 nautiske mil ut fra skyteområdet og at disse effektene varte i minst fem dager etter at skytingen opphørte.



På Færøyene ble det i 2000-01 gjennomført en omfattende studie der en skulle belyse hvilke effekter seismiske undersøkelser kunne ha på fiskeriene (i Jakupstovu *et al.*, 2001). Undersøkelsene omfattet trålere, partrålere, linefartøy, garnfartøy og juksabåter. Analysene baserte seg på spørreskjema og intervju med 186 fiskere. Det dekket lengre fiskeperioder i tilknytning til seismiske aktiviteter nær eller fjernt fra fiskefartøyene. I tillegg ble det utført en spesiell studie der en baserte seg på loggbøker fra 23 fiskefartøyer sammen med informasjon om seismiske aktiviteter i 1997. Noen spesielle forhold må bemerkes idet det bare ble skutt 2D-seismikk i 1997 (langt mellom kurslinjene). Videre at loggbokinformatjonen fra seismikkfartøyene enten var mangelfull eller manglet. Dette gjorde det vanskelig å få kartlagt de seismiske aktivitetene i tid og posisjon dvs. hvor de seismiske aktivitetene hadde foregått over året. Oppsummert framkom lignende resultater som dem som var funnet i Norge (Løkkeborg og Soldal, 1993) for fangstendringer i forhold til seismiske aktiviteter fra spørreskjema- og intervjuundersøkelsen, men med større variasjon i resultatene. Analysen av loggbøkene fra fiskefartøyene i forhold til 2D-undersøkelsene viste ingen betydningsfull (signifikant) sammenheng mellom fiskefangster og seismikk.

I noen sammenhenger skal en være varsom med å overføre observasjoner og funn fra en art til en annen, men fysiologer argumenterer med at fisk innenfor samme "klasser" (samme hørselsfysiologi/hørselsklasser/samme trofiske nivå) ofte foretar lignende responser på lignende type lydstimuli. De siterte studiene av torsk, hyse og uerarter (alle hørselsgeneralister) skulle i denne sammenheng være representative for et bredt spekter av andre fiskearter.

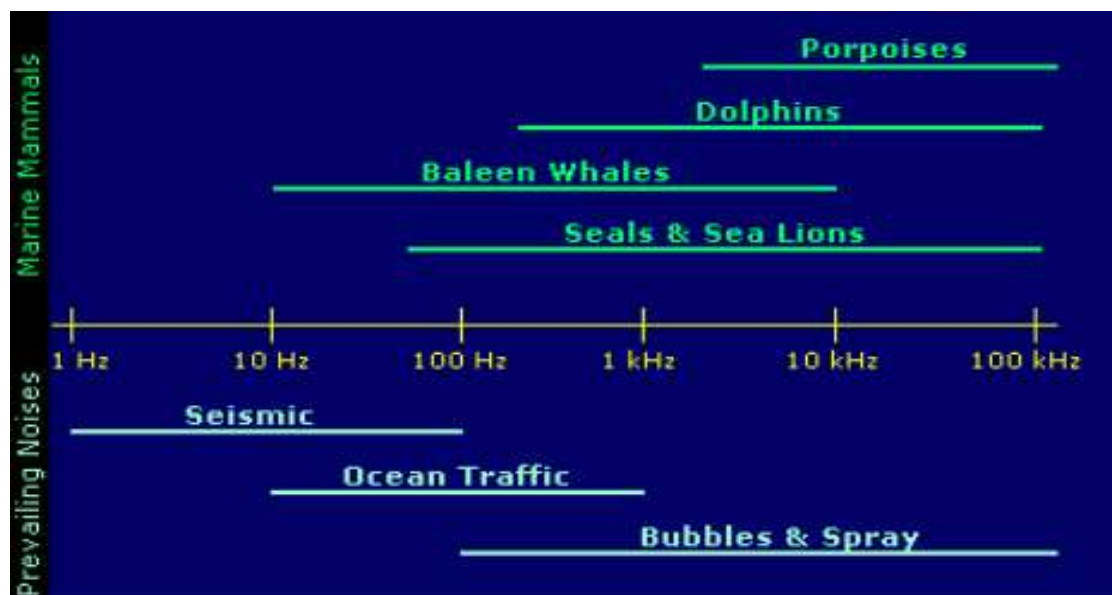


6.0 Effekter på sjøpattedyr

6.1 Hørsel og ekkolokalisering hos sjøpattedyr

Mulige effekter av menneskeskapt lyd på sjøpattedyr kan kategoriseres som direkte skadelige fysiologiske effekter på enkeltindivider, atferdspåvirkninger eller maskering. Effekter er imidlertid delvis avhengig av hvilket frekvensområde de selv kan høre i (Richardson *et al.* 1995). Tannhvaler hører relativt dårlig ved de lave frekvensene som benyttes i seismiske undersøkelser (se Tabell 6-1). Blant annet synes spermhvaler, delfiner og niser ut til å være mest sensitive for lyder over 10 kHz og er i stand til å oppfatte frekvenser så høye som 200 kHz. Ved kommunikasjon mellom individer eller grupper brukes moderate høyfrekvente lyder, mens de høyeste frekvensene brukes ved ekkolokalisering (Harwood and Wilson 2001).

Tabell 6-1. Tilnærmet frekvensområdet for kommunikasjon hos sjøpattedyr ("marine mammals") - øvre figurdel, og forekommende bakgrunnsstøy i havet ("prevailing noises") - nedre figurdel. Porpoises: niser, Dolphins: delfiner, Baleen Whales: bardehvaler, Seals & Sea Lions: sel og sjøløver, Seismic: seismikk, Ocean Traffic: sjøtrafikk, Bubbles & Spray: bobler og sjøsprøyt. Fra www.dosit.org/animals/effects/e1a-b.htm



Bardehvalartene blåhval og finnhval er kjent for å kunne kommunisere over store havområder ved hjelp av lavfrekvente lyder (Evans, 1987, Würsig and Evans, 2001). Det er imidlertid lite tilgjengelig litteratur om hørselen til denne gruppen, men lydene de produserer er typisk lavfrekvente og ligger i frekvensområde under 1 kHz og noen er faktisk så lave som 20 Hz. Man antar derfor at de er sensitive for lav til medium frekvente lyder.

Sel produserer også lyder under vann, men disse begrenser seg til kneppe- og bjeffelyder i frekvensområdet fra noe under 1 til 4 kHz. Steinkobbe, som finnes langs hele den norske kysten, kan oppfatte lyder med frekvenser så høye som 180 kHz, men følsomheten er lav over 60 kHz (Harwood and Wilson, 2001).



6.2 Skadelige effekter

Skadelige effekter av lydenergi på hørsel kan deles i temporære og permanente hørselsskader. Omfanget avhenger av intensiteten av lyden, frekvensen og varigheten av den spesifikke lyden. Studier på enkelte delfinarter i fangenskap har vist at disse kan få temporære hørselsskader hvis de utsettes for lyd på et nivå mellom 193 – 196 dB rel. 1 μ Pa i ett sekunds intervaller i frekvensområdet rundt 20 kHz (Ridgway *et al.*, 1997). En lignende studie viser til den samme effekten på hvithval (Finneran *et al.*, 2002). En antagelse man har gjort, går ut på at disse artene er mest sårbare for temporære hørselsskader i det samme frekvensområde de selv utnytter (Hildebrand, 2004). For bardehvaler vil denne antagelsen bety at de er mest sårbare for lavfrekvent lyd og for mindre tannhvalarter middels til høy frekvens lyd. Erbe (2002) fant at spekkhuggere kunne få permanente hørselsskader hvis de ble utsatt for støy over et kritisk nivå over lengre tid, basert på en akustisk modellering.

Skadelige effekter av seismikk og sonar på sjøpattedyr er lite studert, men det har vært diskutert om fenomenet massestrandinger blant hval kan sees i sammenheng med bruk av militære sonarer. Ved tre tilfeller har dette sammenfalt i tid med militære øvelser.

I 1996 massestrandet nebbhvaler langs den greske kysten i Middelhavet. Denne hendelsen skjedde i samme tidsrom som en større NATO-øvelse fant sted i det samme området. Det ble utført undersøkelser på åtte av de døde individene i etterkant, men det ble ikke funnet noe som var unormalt (Frantzis, A.; afraztis@atlas.uoa.gr).

Etter en stranding av nebbhvaler på Bahamas i 2000, ble det funnet kraftige indre blødninger i hulrom i hodeskallen (Balcomb and Claridge 2001). De foreslo at disse blødningene kunne være forårsaket av resonans i bløtdeler og i hodeskallen på grunn av sterk lyd innen visse frekvenser som samsvarte med resonansfrekvensene for de nevnte organene, men det er også foreslått at dette like gjerne kunne være en effekt av sykdom.

En massestranding av hval på Kanariøyene i 2002, skjedde i samme periode som en større marineøvelse med bruk av lavfrekvente sonarer fant sted. Patologiske undersøkelser av de døde hvalene i etterkant, indikerte at disse muligens kunne ha dødd på grunn av dykkersyke (Jepson *et al.*, 2003). To teorier ble fremsatt i etterkant:

- 1) Dyrene ble skremt av sonarene under dykking, og gikk for raskt til overflaten.
- 2) Sonarens lydbølger forårsaket utvidelse av mikroskopiske gassbobler i blodet og skadet organene.

Teoriene som fremsettes av Jepson *et al.* (2003), er lite dokumentert. En studie av Falke *et al.* (1985) på weddelsel viser derimot at en hurtig oppstigning ikke øker faren for dykkersyke. Studien viste at siden lungene presses sammen ved ca. 30 meters dyp vil nitrogeninnholdet i blodet være begrenset, faktisk mindre etter en rask oppstigning enn etter en langsom oppstigning. Den andre teorien (2) er ikke dokumentert.

Når det gjelder sel, er det gjort et kontrollert studie i regi av Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI) (Sevaldsen og Kvadsheim, 2006). Fire steinkobber ble plassert i en oppdrettsmerd og utstyrt med sensorer som overvåket dykkeaktivitet, svømmeaktivitet og hjerterytme. En lydkilde ble plassert på 5 m dyp i nærheten av merden. Dyrene ble parvis utsatt for lyd i frekvensområdet fra 1,3 til 7,0 kHz i gjentatte sekvenser. Selene reagerte på lydsignalene ved økt svømmeaktivitet, ved å holde seg lengst unna lydkilden og ved å hoppe opp på en flåte som lå i merden. I ettertid ble det utført nevrologiske undersøkelser av dyrene, og man kunne ikke finne noen skader eller andre unormale funn på dyrene etter eksperimentet.



6.3 Atferdsmessige effekter

Atferdsstudier av sjøpattedyr er i utgangspunktet vanskelige å utføre og det kan være store usikkerheter knyttet til resultater fra disse studiene. Sjøpattedyr, og da hvaler spesielt, tilbringer så mye som 60 % av livet sitt under vann, noe som begrenser observasjonsmuligheten betraktelig.

Frekvensene bardehvaler utnytter overlapper i større grad enn for tannhvaler med frekvensene brukt ved seismisk skyting. Eksempelvis bruker finnhvaler kallesignaler som ligger i frekvensområde mellom 20 og 40 Hz (Evans and Nice, 1996) og seismisk leteaktivitet utnytter hele frekvensspekteret opp til 220 Hz. Man betrakter derfor disse artene å være mer sårbare for seismiske forstyrrelser (Evans and Nice, 1996) og det er derfor utført flere atferdsstudier av denne gruppen.

I perioden 1998 – 2000 ble det utført en studie i britisk farvann hvor atferdsmønsteret til forskjellige bardehvaler og tannhvaler ble observert i forbindelse med seismiske undersøkelser (Stone 2003). Artene bestod av springere, grindehval, spekkhuggere, spermhval, finnhval og vågehval. Observasjonsraten for alle hvalartene sett under ett gikk ned under seismisk skyting, men det var også årlige fluktusjoner gjennom denne 3-årsperioden. Det ble også observert at hvalene hadde en tendens til å oppholde seg lenger fra de seismiske fartøyene under skyting, enn når det ikke ble skutt med luftkanonene. Den vanligste reaksjonen under skyting med luftkanonene som ble observert, var flukt eller en endret svømmeretning bort fra de seismiske letefartøyene. I tillegg ble det også for de mindre tannhvalenes del observert at svømmehastigheten økte og at svømmeretningen endret seg. For de store bardehvalene, finnhval og seihval, så man også en endring i dykkemønsteret, hvor dyrene oppholdt seg mer på overflaten enn neddykket ved skyting. I tillegg gikk også beiteaktivitetene ned for alle artene kombinert. Noen indikasjoner viste at spekkhuggere viste en større toleranse for seismisk skyting når dette foregikk på dypere vann.

En interessant observasjon som ble gjort var at de forskjellige artene så ut til å adoptere forskjellige strategier for å unngå lydildene. De minste tannhvalartene så ut til å vise den sterkeste fluktresponsen, mens bardehvalene samt spekkhuggere viste en svakere tendens til flukt. På spermhval kunne en ikke se noen atferdsmessige endringer under skyting med luftkanon. Andre studier viser til den samme responsen for spermhval (Madsen *et al.*, 2002) og det er usikkert om dette er en arts- eller individrelatert respons. Mate *et al.*, 1994 observerte at spermhvaler svømte bort da det ble startet opp seismiske undersøkelser i avstander på inntil 50 km.

Funnene til Stone (2003) bekrefter tidligere undersøkelser utført på arter som gråhval, grønlandshval og knølhval (Malme *et al.*, 1988; Richardson *et al.*, 1995; 1986; Ljungblad *et al.*, 1988). Generelt sett kan man si at ble det observert fluktrespons i forbindelse med skyting med luftkanon, og at responsen var avtagende dess større avstanden var mellom hvalene og lydilden. Weller *et al.* (2002) studerte en gråhvalbestand utenfor Sakhalinhalvøya i Stillehavet i en periode før, under og etter at seismisk aktivitet ble utført. Resultatet av undersøkelsen viste at gråhvalene trakk ut av beiteområdet hvor aktiviteten fant sted, og trakk tilbake til beiteområdene etter at aktivitetene var avsluttet.

Andre studier tyder imidlertid på at reaksjonsmønsteret er avhengig av om dyrene er på vandring eller om de er i hvilefase ved overflaten. McCauley *et al.* (2000) observerte at grupper med knølhval, som bestod av voksne dyr og kalver i hvilefase, var mer sensitive og foretok fluktrespons. Dyr som var på vandring viste ikke den samme atferdsresponsen. Noen hanner viste seg å bli tiltrukket av seismisk lyd da disse kunne likne på lyder produsert av andre individer som hoppet ut av vannet eller slo finnene på havoverflaten.



Effekter av seismisk leteaktivitet på sel er i mindre grad undersøkt. Ved en studie i Beauforthavet utenfor Alaska ble det ikke observert noen atferdsmessige endringer eller fluktreaksjoner. Det viste seg at populasjonen av dyr holdt seg stort sett i ro innenfor det samme området, med bare mindre fluktresponser (Harris *et al.*, 2001). Enkelte observasjoner har vist at dyrenes naturlige drifter og aktivitetsnivå kan overstyre den direkte effekten av disse forstyrrelsene. Ved reproduksjon og næringssøk er det observert at sel kan tolerere sterke lydimpulser før de viser fluktrespons (Richardson *et al.*, 1995).

6.4 Maskering

Når den menneskeskapt lyden er innen de samme frekvensområder som frekvensene sjøpattedyr benytter, kan dette redusere mulighetene for bl.a. kommunikasjon mellom individer og ekkolokalisering. En slik påvirkning kalles gjerne for maskering. Et dyr som befinner seg nær en lydkilde, vil bare kunne oppfatte dyr som befinner seg i nærområdet.

Når sjøpattedyr er i stand til å endre styrken av sine utsendte signaler, reduseres problemet med maskering. Studier på enkelte arter i fangenskap har vist at dette er tilfelle for ekkolokaliseringsslyder. Dyrene kunne variere nivået på ekkolokaliseringsslydene i forhold til bakgrunnsstøyen slik at de sendte sterkere signaler når bakgrunnslyden var sterk (Richardson *et al.*, 1995). Andre studier har vist at spekkhuggere også kan øke varigheten på kallesignalene når det er en signifikant økning i bakgrunnslydnivået (Foote *et al.*, 2004).

Retningsbestemt hørsel kan sannsynligvis også påvirke maskeringseffekten slik at den blir mer markert når dyret prøver å oppfatte en lyd som kommer fra samme retning som den forstyrrende lydkilden, mens maskeringseffekten er mindre dersom signalene kommer fra en annen retning.

Menneskeskapt lyd forekommer ofte ved lavere frekvenser enn ekkolokaliseringssignaler hos tannhval. Bardehvaler kan være mer sårbare da disse bruker kommunikasjonssignaler i et lavere frekvensområde enn tannhvaler.

6.5 Oppsummering

Det finnes begrenset kunnskap om effektene på sjøpattedyr fra seismiske undersøkelser. Dette henger blant annet sammen med at det på sjøpattedyr, og spesielt de større hvalartene, er vanskelig å utføre kontrollerte eksperimenter angående effekter av seismisk skyting.

Det er få indikasjoner på at sjøpattedyr får skader på indre organer som følge av menneskeskapt lyd. Datagrunnlaget er basert på undersøkelser ved tre massestrandinger som skjedde i samme tidsrom som det foregikk marineøvelser med sonar. For seismiske undersøkelser foreligger det ingen slike observasjoner.

Atferdsstudier tyder på at sjøpattedyr reagerer på seismisk støy ved å forlate området hvor slik aktivitet foregår. Videre har man sett at både pustefrekvens og tid brukt ved overflaten påvirkes. For beiteatferd har man sett endringer ved økt aktivitet på/ved overflaten.



7.0 Referanser

- Anon. 1974. BOLT PAR Air Gun. Manual. Bolt Associates, Inc., Norwalk Conn. USA.
- Anon. 1981. High-Pressure Airgun. Manual. Western Geophysical, Houston, Texas, USA.
- Anon. 1989. Sleeve gun. Manual. Haliburton Geophysical Services, Inc. Houston, Texas, USA.
- Anon. 2004. Review of Scientific Information on Impacts of Seismic Sound on Fish, Invertebrates, Marine Turtles and Marine Mammals. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Habitat Status Report 2004/002. 14 s.
- Anon. 2006. Preliminary Comprehensive Overview of the Impacts of Anthropogenic Underwater Sound in the Marine Environment. Presented by Germany. Meeting of the Working Group on the Environmental Impact of Human Activities (EIHA). Galway, Ireland: 7 – 9 November 2006. 73 s.
- Balcom, K. C. and Claridge, D.E. 2001. A mass stranding of cetaceans caused by naval sonar in the Bahamas. *Bahamas J. Sci.*, 2: 2-12.
- Bjørge, A. og Øien, N. 1999. Statusrapport for Havforskningsinstituttets overvåkning av kystsel. Rapport nr. SPS-9904, Havforskningsinstituttet.
- Bjørke, H., Dalen, J., Bakkeplass, K., Hansen K. og Rey, L. 1991. Tilgjengelighet av seismiske aktiviteter i forhold til sårbare fiskeressurser. Havforskningsinstituttet, *HELP*-rapport nr. 38, 1991.
- Blaxter, J.H.S., Gray, J.A.B., and Denton, E.J. 1981. Sound and startle response in herring shoals. *J. Mar. Biol. Assoc. UK* 61: 851-869.
- Blaxter, J.H.S. and Hoss, D.E. 1981. Startle response in herring: The effect of sound stimulus frequency, size of fish og selective interference with the acoustic-Lateralis system. *J. Mar. Biol. Assoc. UK* 61: 871-879.
- Boeger, W.A., Pie, M.R., Ostrensky, A., and Cardoso, M.F. 2005. The effect of exposure to seismic prospecting on coral reef fishes. *Brazilian Journal of Oceanography*, 54(4): 235-239.
- Booman, C., Leivestad, H., and Dalen, J. 1992. Effects of Air-gun Discharges on the Early Life Stages of Marine Fish. *Scandinavian OIL-GAS Magazine*, Vol. 20 – No 1/2 1992.
- Booman, C., Dalen, J., Leivestad, H., Levsen, A., van der Meeren, T. og Toklum, K. 1996. Effekter av luftkanonskyting på egg, larver og yngel. Undersøkelser ved Havforskningsinstituttet og Zoologisk Laboratorium, UiB. (Engelsk sammendrag og figurtekster). Havforskningsinstituttet, Bergen. *Fisken og Havet*, nr. 3 (1996). 83 s.
- Caldwell, J. 2002. Does airgun-noise harm marine mammals? *The Leading edge* 21(1): 75-78.
- Chapman, C.J. and Hawkins, A.D. 1969. The importance of sound in fish behaviour in relation to capture by trawls. *FAO Fish. Rep.* 62(3): 717-729.
- Chelminski, P. 1974. The effect of dynamite and PAR AIR GUNS on marine Life. Leaflet from Bolt Associates, Inc., Connecticut, USA. 2 s.
- Christian, J.R., Mathieu, A., Thomson, D.H., White, D., and Buchanan, R.A. 2003. Effects of Seismic Energy on Snow Crab (*Chionoecetes opilio*). Report from LGL Ltd. og Oceans Ltd. for the National Energy Board, File No.: CAL-1-00364, 11 April 2003. 91 s.



- Coker, C.M. and Hollis, E.H. 1950. Fish mortality caused by a series of heavy explosions in Chesapeake Bay. *Journal of Wildlife Management* 14 (4): 435-444.
- Dalen, J. 1973. Stimulering av sildestimer. Forsøk i Hopavågen og Imsterfjorden/Verrafjorden 1973. Rapport for NTNF. NTH, nr. 73-143-T, Trondheim. 36 s.
- Dalen, J. og Raknes, A. 1985. Skremmeeffektar på fisk frå 3-dimensjonale seismiske undersøkingar. Havforskningsinstituttet, rapport nr. FO 8504, Bergen. 22 s.
- Dalen, J., and Knutsen, G. M. 1987. Scaring effects in fish and harmful effects on eggs, larvae and fry by offshore seismic explorations. In Merklinger, H.M. (ed.) *Progress in Underwater Acoustics*. Plenum Publishing Corporation: 93-102.
- Dalen, J., Ona, E., Vold Soldal, A. og Sætre, R. 1996. Seismiske undersøkelser til havs: En vurdering av konsekvenser for fisk og fiskerier. *Fisken og Havet*, nr. 9 – 1996. 26 s.
- Eaton, R.C. and Hackett, J.T. 1984. The role of the Mauthner cell in fast starts involving escape in teleost fishes. In: Eaton, R.C. (ed.), *Neural mechanisms of startle behaviour*. Plenum Press, New York and London. 377 s.
- Erbe, C. 2002. Underwater noise of whale-watching boats og potential effects on killer whales (*Orcinus orca*), based on acoustic impact model. *Mar. Mam. Sci.*, 18: 394-418.
- Escobedo, R.R. 2006. Surface behaviours of Southern Resident killer whales: are they responding to vessel noise? Beam Reach Marine Science and Sustainability School. 625-290-8702. http://beamreach.org/061/papers/rena_final.pdf
- Engås, A., Løkkeborg, S., Ona, E., og Soldal, A.V. 1993. Effekter av seismisk skyting på fangst og fangsttilgjengelighet av torsk og hyse. *Fisken og Havet*, nr. 3 – 1993. 111 s.
- Engås, A., Løkkeborg, S., Ona, E., and Soldal, A.V. 1996. Effects of seismic shooting on local abundance og catch rates of cod (*Gadus morhua*) og haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53(10): 2238-2249.
- Evans, P. G. H. 1987. *The Natural History of Whales and Dolphins*. New York.
- Evans, P.G.H. and Nice, H. 1996. *Review of the effects of underwater sounds generated by seismic survey on cetaceans*. Sea Watch Foundation, Oxford.
- Falk, M.R. and Lawrence, M.J. 1973. Seismic Exploration: Its nature and Effects on Fish. *Canadian Fisheries and Marine Service Technical Report CEN/T-73-9*: 51 s.
- Falke, K.J., Hill, R.D., Qvist, J., Schneider, R.C., Guppy, M., Liggins, G.C., Hochachka, P.W., Elliott, R.E., and Zapol, W.M. 1985. Seal Lung Collapse During Free Diving: evidence from Arterial Nitrogen Tension. *Science* 229: 556-558.
- Finneran, J. J., Schlundt, C. E., Dear, R., Carder, D. A. and Ridgway, S. H. 2002. Temporary shift in masked hearing thresholds in odontocetes after exposure to single underwater impulses from a seismic watergun. *J. Acoust. Soc. Am.* 111(6): 2929-2940.
- Foote, A., Osborne, R., and Hoelzel, A. 2004. Whale-call response to masking boat noise. *Nature*, 428: 910.
- Frantzis, A. afrantzis@atlas.uoa.gr
- Føyn, L., von Quillfeldt, C.H. og Olsen, E. 2002. Miljø- og ressursbeskrivelse av Lofoten-Barentshavet. *Fisken og Havet*, nr. 6 – 2002.
- Harris, R.E., Miller, G.W. and Richardson, W.J. 2001. Seal responses to air gun sounds during summer seismic surveys in Alaskan Beaufort Sea. *Mar. Mam. Sci.* 17: 795-812.



- Harwood, J. and Wilson, B. 2001. The implications of developments on the Atlantic frontier for marine mammals. *Continental Shelf Research*. 21: 1073-1093.
- Hassel, A., Knutsen, T., Dalen, J., Løkkeborg, S., Skaar, K., Østensen, Ø., Haugland, E.K., Fonn, M., Høines, Å. and Misund, O.A. 2003. Reaction of sandeel to seismic shooting: A field experiment and fishery statistics study. *Fisken og Havet*, nr. 4 - 2003. 63 s.
- Hassel, A., Knutsen, T., Dalen, J., Skaar, K., Løkkeborg, S., Misund, O.A., Østensen, Ø., Fonn, M., and Haugland, E.K. 2004. Influence of seismic shooting on the lesser sandeel (*Ammodytes marinus*). *ICES J. Mar. Sci.* 61: 1165-1173.
- Holliday, D.V., Pieper, R.E., Clarke, M.E. and Greenlaw, C.F. 1987. Effects of airgun energy releases on the northern anchovy. API Publ. No 4453, American Petr. Inst. Health og Environmental Sciences Dept., Washington DC. 108 s.
- Holmstrøm, S. 1993. Effekter av luftkanonseismikk på larver og yngel - modellering og simulering. SINTEF Rapport STF48 A93007, Trondheim. 70 s.
- Huse, G., Klungsøyr, J., Svendsen, E., Alvsvåg, J., og Toresen, R. 2006. Miljø og naturressursbeskrivelse for Nordsjøen. Havforskningsinstituttet i Bergen.
- Henriksen, G. 1995. Distribution, habitat use and status of protection of harbour seals (*Phoca vitulina*) and grey seals (*Halichoerus grypus*) in Finnmark, North Norway. *Fauna Norv. Ser. A* 16: 11-18.
- Henriksen, G., Gjertz, I., and Kondakov, A. 1997. A review of the distribution and abundance of harbor seals (*Phoca vitulina*) on Svalbard, Norway, and in the Barents Sea. *Mar. Mam. Sci.* Vol. 13 Issue 1, Page 157.
- Henriksen, G. and Moen, K. 1997. Interactions between seals and salmon fisheries in Tana River and Tanafjord, Finnmark, Northern Norway. Possible consequences for the harbour seal (*Phoca vitulina*). *Fauna Norv. Ser. A* 18: 21-31.
- Hildebrand, J. 2004. Impacts of Anthropogenic Sound on Cetaceans. Paper SC/58/E13 presented to the IWC Scientific Committee, July 2004. 30 s.
- <http://www.bolt-technology.com>
- Hubbs, C.L. and Rehnitzer, A.B. 1952. Report on experiments designed to determine effects of underwater explosions on fish life. *California Fish and Game* 38: 333-365.
- Isaksen, K. and Wiig, Ø. 1995. Conservation value assessment and distribution of selected marine mammals in the Northern Barents Sea. *Norsk Polarinstitutt Meddelelser*, nr. 136. AKUP. Oslo 1995.
- i Jakupsstovu, S.H., Olsen, D., and Zachariassen, K. 2001. Effects of Seismic Activities on the Fisheries at the Faroe Islands. Fiskerirannsóknastovan Report, Tórshavn, Faroe Islands. 92 s.
- Jakosky, J.J. and Jakosky, J.Jr. 1956. Characteristics of explosives for marine seismic exploration. *Geophysics* 21: 969-991.
- Jepson, P.D., Arbelo, M., Deaville R., Patterson, I.A.P., Castro, P., Baker, J.R., Degollada, E., Ross, H.M., Herraiez, P., Pocknell, A.M., Rodriguez, F., Howie, F.E., Espinosa A., Reid, R.J., Jaber, J.R., Martin, V., Cunningham, A.A., and Fernandez, A. 2003. Was sonar responsible for a spate of whale death after an Atlantic military exercise? *Nature*. 425: 575-576.



- Karlsen, H.E., Piddington, R.W., Enger, P.S. and Sand, O. 2004. Infrasound initiates directional fast-start escape responses in juvenile roach *Rutilus rutilus*. *J. Exp. Biol.* 207:4185-4193.
- Kenchington, T.J. 2000. Impacts of Seismic Surveys on Fish Behaviour and Fisheries Catch Rates on Georges Bank. Report prepared for Norigs 2000 for submission to the Georges Bank Review Panel, Halifax, Nova Scotia - 28 January 1999.
- Knudsen, F.R., Enger P.S. and Sand, O. 1992. Awareness reactions and avoidance responses to sound in juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *J. Fish. Biol.* 40:523-534.
- Knudsen, F.R., Enger, P.S. and Sand, O. 1994. Avoidance responses to low frequency sound in downstream migrating Atlantic salmon smolt, *Salmo salar* L. *J. Fish Biol.* 45:227-233.
- Knudsen, F.R., Schreck, C.B., Knapp, S.M., Enger, P.S. & Sand, O. 1997. Infrasound produces flight and avoidance responses in Pacific juvenile salmonids. *J. Fish. Biol.* 51:824-829.
- Kosheleva, V. 1992. The impact of air guns used in marine seismic explorations on organisms living in the Barents Sea. Contr. Petro Piscis II '92 Conference F-5, Bergen, 6-8 April, 1992. 6 s.
- Kostyuchenko, L.P. 1973. Effects of elastic waves generated in marine seismic prospecting of fish eggs in the Black Sea. *Hydrobiol. Jour.* 9 (5): 45-48.
- Larsen, T., Kjellsby, E. og Olsen, S. 1993. Effekter av undervannssprengning på fisk. Senter for marine ressurser, Rapport Nr. 11, Havforskningsinstituttet, Bergen.
- Lavergne, M. 1970. Emission by underwater explosion. *Geophysics* 35 (3): 419-435.
- Ljungblad, D.K., Würsig, B., Swartz, S.L., and Keene, J.M. 1988. Observations on the behavioral responses of bowhead whales (*Balaena mysticetus*) to active geophysical vessels in the Alaskan Beaufort Sea. *Arctic.* 41: 183-194.
- Lovlia, S.A., Kaplan, B.L., Maidrov, V.V., and Koupalov-Yaropolk, I.K. 1966. Explosives for Experimental Geophysics. *Nedra*, Moscow, Russia.
- Løkkeborg, S. 1991. Effects of a geophysical survey on catching success in longline fishing. ICES, C.M. 1991/B:40. 9 s.
- Løkkeborg, S. and Soldal A.V. 1993. The influence of seismic exploration with air guns on cod (*Gadus morhua*) behaviour og catch rates. *ICES Mar. Sci. Symp.*, 196: 62-67.
- Madsen, P.T., Mohl, B., Neilsen, B.K. and Wahlberg, M. 2002. Male sperm whale behavior during exposure to distant seismic survey pulses. *Aquatic Mammals* 28(3): 231-240.
- Malme, C.I., Smith, P.W. and Miles, P.R. 1986. Study of the Effects of Offshore Geophysical Acoustic Survey Operations On Important Commercial Fisheries in California. Technical Report No. 1, Report No. 6125. Contract No. MMS 14-12-0001-30273. Prepared by BBN Laboratories Inc., Cambridge, Mass., for Battelle, Ventura Office, CA, USA. 92 s.
- Malme, C.I., Würsig, B., Bird, J.E., and Tyack, P. 1988. Observation of feeding gray whale responses to controlled industrial noise exposure. In W.M. Sackinger (ed.): *Port and Ocean Engineering Under Arctic Conditions*. Vol. II: 55-73. Fairbanks, Ak: University of Alaska.



- Mate, B.R., Stafford, K.M., and Ljungblad, D.K. 1994. A change in sperm whale (*Physeter macrocephalus*) distribution correlated to seismic surveys in the Gulf of Mexico. *J. Acoust. Soc. Am.* 96: 3268-3269.
- McCauley, R. D., Fewtrell, J., Duncan, A.J., Jenner, C., Jenner, M-N., Penrose, J.D., Prince, R.I.T., Adhitya, A., Murdoch, J., and McCabe, K.. 2000. Marine seismic surveys – a study of environmental implications. *APPEA JOURNAL* 2000: 692-708.
- McCauley, R.D., Fewtrell, J., and Popper, A.N. 2003. High intensity anthropogenic sound damages fish ears. *J. Acoust. Soc. Am.* 113, 638-642.
- Matishov, G.G. 1992. The reaction of bottom-fish larvae to airgun pulses in the context of the vulnerable Barents Sea ecosystem. Contr. Petro Piscis II '92 F-5, Bergen, Norway, 6-8 April, 1992. 2 s.
- Newman, P. 1978. Water gun fills marine seismic gap. *The Oil and Gas Journal*, Aug. 1978, 138-150.
- Pearson, W.H., Skalski, J.R., and Malme, C.I. 1987. Effects of Sounds from a Geophysical Survey Device on Fishing Success. OCS Study MMS-86-0032. Prepared by BBN Laboratories Inc., Cambridge, Mass., og Battelle, Marine Research Laboratory, Washington, contract No. 14-12-0001-30273, to the Department of the Interior, Mineral Management Service, Pacific Outer Continental Shelf Region, Los Angeles, California. 293 s.
- Pearson, W.H., Skalski, J.R. and Malme, C.I. 1992. Effects of sounds from a geophysical survey device on behavior of captive rockfish (*Sebastes* spp). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49(7): 1343-1356.
- Pearson, W.H., Skalski, J.R., Sulkin, S.D., and Malme, C.I. 1994. Effects of Seismic Releases on the Survival og Development of Zoel Larvae of Dungeness Crab (*Cancer magister*). *Mar. Envir. Res.* 38: 93-113.
- Peterson, D.L. 2004. Background briefing paper for a Workshop on Seismic Survey Operations: Impacts on Fish, Fisheries, Fishers and Aquaculture. British Columbia Seafood Alliance, February 2004.
- Poléo, A.B.S., Johannessen, H.F., and Harboe, M. 2001. High voltage direct current (HVDC) sea cables and sea electrodes: effects on marine life. 1st. revision of the literature study. University of Oslo, Report, 50 pp.
- Popper, A.N. and Carlson, T.J. 1998. Application of sound og other stimuli to control fish behavior. *Transactions of the American Fisheries Society* 127(5): 673-707.
- Popper, A.N., Fay, R.R., Platt, C. and Sand, O. 2003. Sound detection mechanisms and capabilities of teleost fishes. In: *Sensory Processing in the Aquatic Environment*. Eds. Collin, S.P. & Marshall, J.N. pp. 3-38. New York and Heidelberg: Springer Verlag.
- Popper, A.N., Smith, M.E., Cott, P.A., Hanna, B.W., MacGillivray, A.O., Austin, M.E., and Mann, D.A. 2005. Effects of exposure to seismic airgun use on hearing of three fish species. *J. Acoust. Soc. Am.* 117 (6): 3958-3971.
- von Quillfeldt, C., Eliassen, J-E., Føyn, L., Gulliksen, B., Lydersen, C. og Marstrander, L. 2002. Marine verdier i havområdene rundt Svalbard. Oversikt over marine områder i territorialfarvannet og fiskevernsonen med behov for vern eller andre forvaltningstiltak. Norsk Polarinstitutt rapportserie nr. 118-2002. Norsk Polarinstitutt 2002.



- Richardson, W.J., Würsig, B. and Greene, C.R. 1986. Reactions of bowhead whales (*Balaena mysticetus*) to seismic exploration in the Canadian Beaufort Sea. *J. Acoust. Soc. Am.* 79: 1117-1128.
- Richardson, W.J., Greene, C.R.J., Malme, C.I., and Thomson, D.H. 1995. *Marine Mammals and Noise*. San Diego: Academic Press.
- Ridgway, S., Carder, D. A., Smith, R. R., Kamolnic, T., Schlundt, C. E., and Elsberry, W. 1997. Behavioral responses and temporary shift in masked hearing threshold of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*), to 1-second tones at 141 to 201 dB re: 1 μ Pa. NRAD, RDT and RE Div., Naval Command, Control and Ocean Surveillance Center, San Diego, CA, Tech. rep. 1751.
- Sand, O. and Karlsen, H. E. 1986. Detection of infrasound by the Atlantic cod. *J. exp. Biol.* 125: 197-204.
- Sand, O. and Karlsen, H. E. 2000. Detection of infrasound and linear acceleration in fish. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* **355**, 1295-1298.
- Sand, O., Enger, P.S., Karlsen, H.E., Knudsen, F.R. and Kvernstuen, T. 2000. Avoidance responses to infrasound in downstream migrating European silver eels, *Anguilla anguilla*. *Environ. Biol. Fish.* 57: 327-336.
- Sand, O., Enger, P.S., Karlsen, H.E. and Knudsen, F.R. 2001. Detection of infrasound in fish and behavioral responses to intense infrasound in juvenile salmonids and European silver eels: a minireview. *Am. Fish. Soc. Symp.* 26: 183-193.
- Santulli, A., Modica, A., Messina, C., Deffa, L., Curatolo, A., Rivas, G. Fabi, G. and D'Amello, V. 1999. Biochemical responses of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) to the stress induced by offshore experimental seismic prospecting. *Mar. Poll. Bull.* 36(12): 1105-1114.
- Sevaldsen, E. and Kvadshem, P.H. 2006. Risk mitigation on controlled sonar exposures experiments. In Proc. ECUA, The 8th European Conference on Underwater Acoustics, 12-15 June 2006, Carvoeiro, Portugal. 6 s.
- Skalski, J.R., Pearson, W.H., and Malme, C.I. 1992. Effects of sound from a geophysical survey device on catch-per-unit-effort in a hook-and-line fishery for rockfish (*Sebastes* spp.). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49(7): 1357-1365.
- Slotte, A., Hansen, K., Dalen, J., and Ona, E. 2004. Acoustic mapping of pelagic fish distribution and abundance in relation to a seismic shooting area off the Norwegian west coast. *Fisheries Research* 67 (2004): 143–150.
- Skaar, K.L. 2004. Effects of seismic shooting on the lesser sandeel (*Ammodytes marinus* Raitt) - a field study with grab sampling and *in situ* video observations. Cand. Scient. thesis. Department of Biology, University of Bergen, December 2004.
- Sonny, D., Knudsen, F.R., Enger, P.S., Kvernstuen, T. and Sand, O. 2006. Reactions of cyprinids to infrasound in a lake and at the cooling water inlet of a nuclear power plant. *J. Fish Biol.* 69:735-748
- Stone, C.J. 2003. The effects of seismic activity on marine mammals in UK waters, 1998 – 2000. JNCC Report No. 323.
- Sætre, R. og Ona, E. 1996. Seismiske undersøkelser og skader på fiskeegg og -larver; en vurdering av mulige effekter på bestandsnivå. Havforskningsinstituttet, *Fisken og Havet*, nr. 8 - 1996. 25 s.



- Thomsen, B. 2002. An experiment on how seismic shooting affects caged fish. A final project report submitted in part fulfilment for the Degree of Master of Science in Hydrocarbon Enterprise at the University of Aberdeen. 16th August 2002.
- Turnpenny, A. W. H. and Nedwell, J. R., 1994. The effects on marine fish, diving mammals and birds of underwater sound generated by seismic surveys. Consultancy Report FCR 089/94, Fawley Aquatic Research Laboratories Ltd., 40pp.
- Wardle, C.S., Carter, T.J., Urquhart, G.G., Johnstone, A.D.F., Ziolkowski, A.M., Hampson, G. og Mackie, D. 2001. Effects of seismic air guns on marine fish. *Cont. Shelf Res.* 0: 1-23.
- Weinhold, R.J., and Weaver, R.R. 1972. Seismic air guns effect on immature coho salmon. Contr. 42nd Meeting of the Society of Exploration Geophysicists, Anaheim, California, USA. 15 s.
- Weller, D. W., Ivashchenko, Y.V., Tsidulko, G.A., Burdin, A.M., and Brownell, R.L. Jr. 2002. Influence of seismic surveys on the western gray whales off Sakhalin Island, Russia in 2001. Paper SC/54/BRG14 of the International Whaling Commission.
- Würsig, B. and Evans, P.G.H. 2001. Cetaceans and humans: Influences of noise. In: Evans, P.G.H. and Raga, J.A. (eds.), *Marine Mammals: Biology and Conservation*, Kluwer Academic/Plenum Publishers: New York: 565-587.
- www.dosit.org/animals/effects/e1a-b.htm
- Østby, C., Nordstrøm, L. og Moe, K.A. 2003. Utredning av konsekvenser av helårig petroleumsvirksomhet Lofoten-Barentshavet. Konsekvenser av seismisk aktivitet. Alpha Miljørådgivning rapport nr: 1138-01-01 til Olje- og Energidepartementet.
- Øynes, P. 1964. Sel på norskekysten fra Finnmark til Møre. *Fiskets Gang* 50 (48): 694-707.



Appendix I – Artsnavn

Norske artsnavn	Latinske artsnavn
Fisk	
Ansjos	<i>Engraulis mordax</i>
Europeisk sjøabbor	<i>Dicentrarchus labrax</i>
Hvitting	<i>Merlangius merlangus</i>
Hyse	<i>Melanogrammus aeglefinus</i>
Kolmule	<i>Micromesistius poutassou</i>
Lyr	<i>Pollachius pollachius</i>
Piggvar	<i>Psetta maxima</i>
Pink snapper	<i>Pagrus auratus</i>
Rødspette	<i>Pleuronectes platessa</i>
Sei	<i>Pollachius virens</i>
Sild	<i>Clupea harengus</i>
Tobis	<i>Ammodytes marinus</i>
Torsk	<i>Gadus morhua</i>
Uerater	<i>Sebastes spp.</i>
Laks	<i>Salmo salar</i>
Regnbueørret	<i>Salmo gairdneri</i>
Krepsdyr	
Dungeness krabbe	<i>Cancer magister</i>
Snøkrabbe	<i>Chionoecetes opilio</i>
Tangloppe	<i>Gammarus locusta</i>
Bløtdyr	
Blåskjell	<i>Mytilus edulis</i>
Butt strandsnegl	<i>Littorina obtusata</i>
Vanlig strandsnegl	<i>Littorina littorea</i>
Sjøpattedyr Bardehvaler	
Blåhval	<i>Balaenoptera musculus</i>
Finnhval	<i>Balaenoptera physalus</i>
Gråhval	<i>Eschrichtius robustus</i>
Grønlandshval	<i>Balaena mysticetus</i>
Knølhval	<i>Megaptera novaeanglia</i>



Seihval	<i>Balaenoptera borealis</i>
Vågehval	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>
Sjøpattedyr Tannhvaler	
Grindehval	<i>Globicephala melas</i>
Hvithval	<i>Delphinapterus leucas</i>
Kvitnos	<i>Lagenorhynchus acutus</i>
Kvitkjeving	<i>Lagenorhynchus albirostris</i>
Nebbhval	<i>Hyperoodon ssp</i>
Spekkhogger	<i>Orcinus orca</i>
Spermhval	<i>Physeter macrocephalus</i>
Nise	<i>Phocoena phocoena</i>
Sjøpattedyr Sel	
Grønlandssel	<i>Phoca groenlandica</i>
Hvalross	<i>Odobenus rosmarus</i>
Klappmyss	<i>Cystophora cristata</i>
Ringsel	<i>Phoca hispida</i>
Steinkobbe	<i>Phoca vitulina</i>
Storkobbe	<i>Erignathus barbatus</i>
Weddelsel	<i>Leptonychotes weddelli</i>



DNV Energy

DNV Energy is a leading professional service provider in safeguarding and improving business performance, assisting energy companies along the entire value chain from concept selection through exploration, production, transportation, refining and distribution. Our broad expertise covers Asset Risk & Operations Management, Enterprise Risk Management; IT Risk Management; Offshore Classification; Safety, Health and Environmental Risk Management; Technology Qualification; and Verification.

REGIONAL HEAD OFFICES:

DNV ENERGY
Americas og West Africa
Rua Sete de Setembro
111/12 Floor
20050006 Rio de Janeiro
Brazil
Phone: +55 21 2517 7232

DNV ENERGY
Asia og Middle East
24th Floor, Menara Weld
76, Jalan Raja Chulan
50200 Kuala Lumpur
Malaysia
Phone: +603 2050 2888

DNV ENERGY
Europe og North Africa
Palace House
3 Cathedral Street
London SE1 9DE
United Kingdom
Phone: +44 20 7357 6080

DNV ENERGY
Nordic og Eurasia
Veritasveien 1
N-1322 Hovik
Norway
Phone: +47 67 57 99 00

DNV ENERGY
Offshore Class og Inspection
Veritasveien 1
N-1322 Hovik
Norway
Phone: +47 67 57 99 00

DNV ENERGY
Cleaner Energy & Utilities
Veritasveien 1
N-1322 Hovik
Norway
Phone: +47 67 57 99 00

