

FFIU/679/132

Godkjent
Horten 21 oktober 1997


Karl Johnsen
Avd sjef


**BEGRENSNING AV SKADE PÅ MARIN
FAUNA VED UNDERVANNS-
SPRENGNINGER**

KJELLSBY Erling, KVALSVIK Kurt

FFI/RAPPORT-97/04847

FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT
Norwegian Defence Research Establishment
Postboks 25, 2007 Kjeller, Norge

REPORT DOCUMENTATION PAGE

1) PUBL/REPORT NUMBER FFI/RAPPORT-97/04847 1a) PROJECT REFERENCE FFIU/679/132	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED 2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE	3) NUMBER OF PAGES 35												
4) TITLE BEGRENSNING AV SKADE PÅ MARIN FAUNA VED UNDERVANNSSPRENGNINGER (LIMITATION OF INJURY ON MARINE FAUNA BY UNDERWATER BLASTINGS)														
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) KJELLSBY Erling, KVALSVIK Kurt														
6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited. (Offentlig tilgjengelig)														
<table border="0"> <tr> <td data-bbox="209 934 826 981">7) INDEXING TERMS IN ENGLISH:</td> <td data-bbox="826 934 1433 981">IN NORWEGIAN:</td> </tr> <tr> <td>a) <u>Underwater acoustics</u></td> <td>a) <u>Undervannsakustikk</u></td> </tr> <tr> <td>b) <u>Explosions</u></td> <td>b) <u>Sprengninger</u></td> </tr> <tr> <td>c) <u>Marine animals</u></td> <td>c) <u>Marin fauna</u></td> </tr> <tr> <td>d) <u>Injury</u></td> <td>d) <u>Skade</u></td> </tr> <tr> <td>e) <u>Limitations</u></td> <td>e) <u>Begrensninger</u></td> </tr> </table>			7) INDEXING TERMS IN ENGLISH:	IN NORWEGIAN:	a) <u>Underwater acoustics</u>	a) <u>Undervannsakustikk</u>	b) <u>Explosions</u>	b) <u>Sprengninger</u>	c) <u>Marine animals</u>	c) <u>Marin fauna</u>	d) <u>Injury</u>	d) <u>Skade</u>	e) <u>Limitations</u>	e) <u>Begrensninger</u>
7) INDEXING TERMS IN ENGLISH:	IN NORWEGIAN:													
a) <u>Underwater acoustics</u>	a) <u>Undervannsakustikk</u>													
b) <u>Explosions</u>	b) <u>Sprengninger</u>													
c) <u>Marine animals</u>	c) <u>Marin fauna</u>													
d) <u>Injury</u>	d) <u>Skade</u>													
e) <u>Limitations</u>	e) <u>Begrensninger</u>													
THESAURUS REFERENCE:														
8) ABSTRACT The work falls under the programfield "Environmental Measures in the National Defence" and includes two investigations: -development and documentation of a method in order to limit the injure on marin fauna caused by underwater blasting and -development of an empirical model in order to estimate the sound transmission conditions in the Norwegian pelago with a view to predict the acoustic impact on fishfarms from underwater explosions. By scaring fish with electrical detonators in the blasting area just before the charge is fired has given evidence for a certain limitation of injures. It seems to be difficult fo form an analytic expression for sound transmission between islands and rocks in the pelago. Through categorising the pelago in four different types, values for the screening effect from the underwater topography on the shockwaves has been extracted from measurements.														
9) DATE 21 October 1997	AUTHORIZED BY This page only Jarl Johnsen 	POSITION Director of Research												

INNHOOLD

	side	
1	INNLEDNING	4
2	TRYKKBØLGER FRA UV- EKSPLOSJONER	5
2.1	Forplantning av sjokkbølger	5
2.2	Frekvensfordeling i sjokkbølger	6
3	LYDFORPLANTNING I GRUNT VANN	7
3.1	Spredningsloven	8
3.2	Bestemmelse av koeffisienten for en empirisk spredningslov	9
3.3	Amplitudeangivelser	10
4	BIOLOGISKE PARAMETRE	11
4.1	Marin fauna	11
4.2	Havpattedyr	11
4.3	Fiskebestander	11
4.4	Oppdrettsanlegg	13
4.5	Hørsel hos fisk	13
5	SKREMMING AV FISK	15
5.1	Fryktterskel	15
5.2	Aktiv skremming	15
5.3	Uønsket skremming	16
6	MÅLINGER	17
6.1	Måleutstyr og geometri	17
6.2	Kildestyrke for fenghetter	17
6.3	Amplitude/båndbredde plott	18
6.4	Måling av sjokkbølger	18
7	LYDTRANSMISJONSMODELL FOR INNENSKJÆRS FARVANN	21
8	KONKLUSJONER	26
	REFERANSER	27
	APPENDIKS	28
A	FORHÅNDSBEREGNING AV AKUSTISK BELASTNING PÅ FISK	28
B	PROSEDYRE FOR SKREMMING AV FISK	30
C	NEDSKALERTE FORSØKSSPRENGNINGER	32
D	YELVERTONS KURVER FOR SIKKERHETSAVSTANDER	33
E	INTEGRERTE AMPLITUDESPEKTRA	34

Begrensning av skade på marin fauna ved undervannssprengninger

1 INNLEDNING

Prosjektet sorterer under programområde XIV "Miljøtiltak i Forsvaret" og omfatter to undersøkelser:

1. Utvikling og dokumentasjon av metode til å begrense skadevirkningen på marin fauna ved undervannssprengninger.
2. Formulering av en empirisk modell for å estimere lydtrykksforløpet fra undervannssprengninger i innenskjærs farvann med henblikk på å forhåndsberegne den akustiske belastning på fisk i oppdrettsanlegg.

Begrepet marin fauna omfatter alle dyr som lever i eller umiddelbart i tilknytning til sjøen, som f.eks. fisk, yngel, larver, egg, sjøpattedyr, bunndyr, sjøfugl osv. Arbeidet har imidlertid stort sett vært fokusert på fisk av flere grunner. Vanligvis observerer man stort sett kun død eller skadet fisk etter en undervannssprengning (uv-sprengning). Det er sjelden man ser døde eller skadete sjøpattedyr, men dette kan komme av at de er gjennomgående mer sky enn fisk og vil antagelig bli skremt bort fra området på grunn av den menneskelige aktivitet som pågår under forberedelsene til sprengningen.

I prinsippet kan fisk skades av akustiske sjokkbølger fra uv-sprengninger på flere måter:

1. Direkte, når sjokkbølgen fra en uv-sprengning er så kraftig at den forvolder direkte skader på fiskevevet
2. Indirekte, når sjokkbølgen er for svak til å skade vevet direkte, men sterk nok til at fisken oppfatter den som skremmende og skader seg under anstrengelse på å komme unna lyd-kilden.
3. Psykisk, spesielt ved gjentatte sprengninger, hvor oppdrettsfisk stresses i så sterk grad at de svekkes fysisk, påføres immunitetssvikt eller mister apetitten.

Ved presentasjon av arbeidet har resultatene vært konsentrert om i hvilken grad fisk blir skremt av sjokkbølger fra undervannsekspløsjoner. Følgelig vil kun den energien i sjokkbølgene som ligger innenfor fiskens høreområde ha interesse. Sammenligning med f.eks. havpattedyr har fisk generelt begrenset hørsel både mht. følsomhet og båndbredde innenfor det frekvensområde som genereres i sjokkbølger. Arter som sel og tannhval hører derimot svært godt over et meget stort frekvensområde, noe som gjenspeiler den store betydning lyd har for deres sosiale adferd og søking etter byttedyr. For kraftige sjokkbølger som direkte kan skade fisken fysisk henvises til tidligere arbeider (1, 2, 3).

2 TRYKKBØLGER FRA UV-EKSPLOSJONER

2.1 Forplantning av sjokkbølger

Når et høyeksplosivt sprengstoff som TNT detonerer under vann dannes en akustisk sjokkpuls karakterisert ved en tilnærmet spontan og meget kraftig trykkøkning etterfulgt av et noe langsommere trykkfall. Sjokkpulsen etterfølges videre av noen noe svakere trykkpulser, de såkalte boblepulsene som skyldes oscillasjoner i det gassvolumet som dannes under detonasjonsprosessen. Når detonasjonsdypet blir så grunt at gassvolumet blåses ut gjennom overflaten, uteblir boblepulsene.

Når sjokkpulsen, som representerer en trykkøkning som langt overstiger det statiske trykket i vannet, forplanter seg utover i havvolumet vil trykkamplituden avta noe raskere enn det som gjelder for vanlige akustiske bølger med moderate amplituder. Etterhvert som amplituden avtar vil den mer og mer følge normale lineære spredningslover. En regner at forplantning i praksis er normalisert når avstanden r i meter fra detonasjonspunktet ifølge Arons Formel (4) overstiger

$$r_a = 794 W^{1/3} \quad (2.1)$$

hvor W angir ladningsvekten i antall kg TNT ekvivalenter.

For avstander ut til r_a brukes følgende uttrykk (4) for trykkamplituden p i Pa som funksjon av ladningsvekt og avstand r :

$$p = 5.25 \cdot 10^7 (W^{1/3} / r)^{1.13} \quad (2.2)$$

For avstander utover r_a vil trykkamplituden i et fritt vannvolum avta som $1/r$, dvs ved sfærisk spredning. Ved å kombinere uttrykkene (2.1) og (2.2) kan vi danne et uttrykk for beregning av lydtrykknivået for avstander utover r_a :

$$L_r = 267 + 20 \lg(W^{1/3} / r) \quad (2.3)$$

med benevnningen dB ref 1 micropascal.

Disse betraktningene gjelder under ideelle forplantningsforhold uten innflytelse av bunn- eller overflate. I grunt innenskjærs farvann vil dette normal ikke være tilfelle. Allerede i avstander fra detonasjonspunktet tilsvarende noen få ganger bunndypet vil refleksjoneffekter gjøre seg gjeldene. Istedenfor en diskret sjokkpuls, eventuelt etterfulgt av et par svakere boblepulser, vil refleksjoner fra bunn og overflate samt kombinasjoner av disse sette opp en rekke pulser med variabel og etterhvert avtagende amplitude (se figurene 3.1 og 3.2). Hvis det eksisterer en direkte lydbane mellom detonasjonsstedet og betraktningpunktet vil normalt den første og normalt største amplituden i dette pulstoget representere den direkte sjokkpulsankomsten.

På lengre avstander med mange refleksjonsmuligheter, vil det oppstå interferenser mellom ankomstene. Disse kan maskere muligheten for å lokalisere den direkte ankomsten. Imidlertid vil sjokkbølgen ha en maksimumsamplitude som erfaringsmessig samsvarer godt med beregnede verdier.

Siden en refleksjon fra overflaten gir negative amplituder p.g.a en 180° faseforskyvning, vil maksimalamplituden kunne opptre med negativ verdi. I våre målinger er derfor maksimumsamplituden den største amplituden i sjokkbølgen uansett polaritet.

2.2 Frekvensfordelingen i sjokkbølger

Sjokkbølger er bredbåndede og frekvensfordelingen vil bli avhenge av sprengstofftype, ladningsstørrelse og detonasjonsdyp. Store ladninger genererer relativt mer lavfrekvent lyd enn små. Det samme forhold oppstår mellom ladninger med lav kontra høy detonasjonshastighet. I dette arbeidet har man kun foretatt vurderingen ut fra det militære sprengstoffet TNT.

Boblepulser inneholder nesten bare lavfrekvent lyd og øker lavfrekvensandelen i sjokkbølgen, begrenset til 10- 20 % av totalenergien i sjokkbølgen. Siden frekvenskomponentene i boblepulser ligger innenfor fiskens høreområde, vil de få relativt stor betydning for skremmeeffekten. For meget grunne detonasjoner derimot, når eksplosjonsgassene unnslipper via overflaten, vil fryktbelastningen på fisk bli mindre.

Uteblivelse av boblepulsene vil inntreffe når radius i gassvolumet som dannes blir større enn detonasjonsdybden. En grov tilnærming for den maksimale radius a_{gb} i en eksplosjonsgass-boble som funksjon av ladningsvekt W og detonasjonsdyp d er gitt ved (5):

$$a_{gb} = [(50 W) / (d + 10)]^{1/3} \quad (2.4)$$

For ladninger som avsettes nær eller direkte på bunnen vil utblåsning skje på noe dypere vann enn det a_{gb} skulle tilsi. I slike tilfelle antar en at utblåsning skjer på dybden er mindre enn $2 a_{gb}$.

Etterhvert som sjokkbølgene forplanter seg utover i sjøvolumet og påvirkes av refleksjoner, vil frekvensfordelingen endre seg. Bl a vil de høye frekvensene svekkes hurtigere enn de lave, og spesielt vil dette aksentueres når det ikke eksisterer noen direkte lydbane mellom detonasjons- og observasjonsted. Et unntak opptrer når lyden må passere svært grunne områder. Da vil transmisjonskanalen bli for trang til å forplante lavfrekvent langbølget lyd, og sjokkbølgen blir dominert av mer høyfrekvente komponenter .

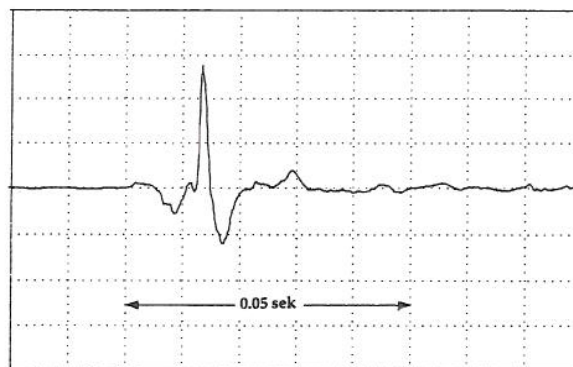
3. LYDFORPLANTNING I GRUNT VANN

Muligheten for å kunne beregne hvordan lyden forplanter seg i innenskjærs grunt vann begrenses ved at man normalt ikke har tilstrekkelig detaljerte kunnskaper om vannvolumets ytterbegrensninger. I praksis har man kanskje bare sjøkartene og en del grove farvannsbeskrivelser å støtte seg til for å bestemme topografi, bunnforhold, strøm osv. Selv om man hadde de nødvendige detaljdataene ville kompleksiteten gjøre beregningene uoversiktlige og tidkrevende og lite egnet for praktiske formål. For å kunne tilnærme seg en beskrivelse av lydtransmisjonen mellom holmer og skjær er det derfor nødvendig å forenkle problemstillingen.

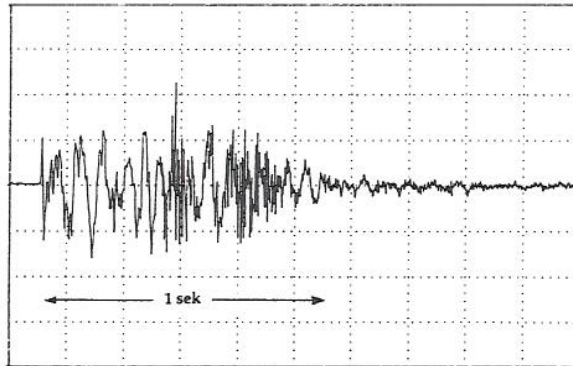
Sjokkbølgen fra en uv-eksplosjon som forplanter seg i et kupert uv-terreng vil ha så mange refleksjonsmuligheter at mesteparten av vannvolumet etterhvert mer eller mindre vil bli eksponert for en rekke replika av sjokkbølgen. Denne effekten er ofte kalt "katedraleffekt" og fører bl a til at lydenergien fordeler seg forholdsvis jevnt i mediet. En slik "diffus" spredningsmekanisme medfører også at lydshastighetsfordelingen i mediet får liten betydning og lyden sprer seg til de fleste deler av mediet. Spesielt er dette tilfelle for lavfrekvent lyd. Forsøk viser forøvrig at maksimalamplituden i sjokkbølger fra gjentatte sprengninger målt i samme punkt endrer seg relativt lite fra sprengning til sprengning.

Bak holmer og skjær vil det oppstå skyggesoner med betydelig lavere lydtrykksnivå. Endel av lydenergien vil kobles direkte gjennom hindringene, men det er stort sett bare den lavfrekvente delen som klarer å penetrere disse. Når utsrekningen av hindringen blir svært stor vil den delen av lydenergien som spres rundt hindringen bli ubetydelig i forhold til den som kobles direkte.

I figur 3.1 er sjokkbølgeamplituden fra en detonert mine med 350 kg TNT registrert i et trangt innenskjærs farvann som funksjon av tid. Siden det eksisterte en direkte lydbane mellom eksplosjons- og registreringssted vil sjokkbølgen være dominert av enkel sjokkpuls. Amplitudenivået ble målt til å ligge 5 dB høyere enn det som ble beregnet ut fra ligningen (2.2). Denne effekten er også registrert ved andre sprengninger i trange farvann med direkte lydbaner, men da har den forhøyede amplitudeverdien bare utgjort et par dB. I åpent utenskjærs farvann er denne amplitudeforhøyelsen ikke observert.



Figur 3.1 Amplitude som funksjon av tid for en direkte sjokkbølge fra en 350 kg TNT ladning i avstanden 1650 m i trangt farvann men med fri sikt.



Figur 3.2 Sjokkbølgen fra en 130 kg TNT-ladning i avstanden 1000 m, skjermet bak en holme

I figur 3.2 er sjokkbølgen fra en 130 kg TNT-ladning registrert i avstanden 1000 m fra eksplosjonen. Sprengningen ble foretatt bak en holme, slik at det ikke kunne opptre hverken direkte- eller rene bunn/overflate-reflekterte lydbølger på registreringstedet. Sjokkbølgen er karakterisert ved en rekke diskrete trykkvariasjoner. Den har en markert maksimalamplitude som i verdi ligger 36 dB lavere enn en tilsvarende beregnet for en uskjermet sjokkbølge. Skjermingstapet viser seg å ha akseptabel repeterbarhet for sammenlignbare skjermingssituasjoner.

3.1 Spredningsloven

I utgangspunktet har en valgt å starte med en utvidet versjon av spredningsloven. I det følgende uttrykket er transmisjonstapet i dB som funksjon av forplantningsavstanden r utvidet med tillegg av to koeffisienter som er bestemt av topografi og båndbredde. Lydtrykknivået i avstanden r kan uttrykkes slik:

$$L_r = L_1 - s \lg r - a r - h - b \quad (3.1)$$

hvor : L_1 = lydtrykknivået i 1 m avstand

s = spredningskoeffisienten, i fritt felt og for lineære lydbølger er $s = 20$, dvs. ren sfærisk spredning, men i et diffust innenskjærs lydfelt vil den avvike noe.

a = absorpsjonskonstanten i dB/m, skyldes lydabsorpsjonen i selve vannvolumet og er frekvensavhengig. Leddet $a r$ får vanligvis liten betydning for de lave frekvensene og de korte avstandene som er aktuelle i våre tilfeller.

h = skjermingstap, koeffisient i dB som uttrykker i hvilken grad hindringer som holmer og skjær skjermer for lydforplantningen.

b = båndbreddefaktor, avhengig av båndbredden på registreringsutstyr og analysevalg.

Det er ikke praktisk mulig å bestemme disse koeffisientene for alle mulige kombinasjoner av tenkelige topografier, lydbaneforhold osv. Derfor må en forenkle det ned til noen få karakteristiske scenarier.

3.2 Bestemmelse av koeffisientene for en empirisk spredningslov for innenskjærs farvann.

Spredningskoeffisienten s :

For så korte avstander mellom lydkilde og beregningspunkt at det eksisterer en direkte lydbane uten innvirkning fra bunn eller overflate vil en under lineære akustiske forhold få sfærisk spredning av lydenergien, dvs. $20 \lg r$. Sjokkpulser fra uv-ekspløsjoner vil imidlertid forplante seg ulineært. Ifølge det semiempiriske uttrykket (2.2) for forplantning av sjokkpulser vil spredningskoeffisienten i utgangspunktet få verdien $s = 22.6$. Etterhvert som amplituden avtar med avstanden vil den gå over i lineær forplantning. Man regner med at forplantningen er tilnærmet lineær når amplituden blir mindre enn ca. 28 kPa (ifølge Arons formel (2.1)), som tilsvarer nivået 209 dB ref 1 μ Pa. For en 1 grams ladning vil overgangen skje i avstanden ca. 80 m, og for en 250 kg ladning i avstanden ca. 5000 m.

Selv på avstander fra lydkilden på noen få ganger bunndypet vil lydbildet i innenskjærs farvann være sammensatt av en rekke bunn- og overflaterrefleksjoner. Spredningskoeffisienten vil dermed være avhengig av bunnens og overflatens refleksjonsegenskaper. I innenskjærs farvann, som er beskyttet mot vær og vind, dannes det lite sjø og refleksjonstapene i overflaten blir små. Tapene i bunnen vil normalt utgjøre den dominerende faktoren i spredningskoeffisienten. For enkelte frekvensområder, omkring såkalte prefererte frekvenser, kan bunntapet bli lavere enn normalt. Slik lyd, som er lavfrekvent og ligger innenfor høreområde til fisk, får lang rekkevidde. Effekten blir imidlertid først signifikant på lange avstander.

En gjennomsnittlig verdi for spredningskoeffisienten i innenskjærs farvann er i dette arbeidet forsøkt bestemt ut fra målinger med fenghetter og mindre TNT-ladninger som lydkilder. Verdien viser seg å ligge så nær opp til sfærisk spredning at man har valgt å bruke $s = 20$ i beregningene for den lineære delen av transmisjonsforløpet.

Absorpsjonskonstanten a :

Absorpsjonskonstanten i sjøvann er frekvensavhengig og avtar mot lavere frekvenser. For frekvenser innen hørselsområde for fisk betyr den ingen ting. For de høyeste frekvensene i sjokkbølgen vil leddet ar først få betydning på lange avstander. Selv da vil verdien av leddet ar være liten i forhold til andre tap. Leddet kan i de fleste tilfelle droppes uten at det får noen signifikant betydning for lydforplantning av sjokkbølger i innenskjærs farvann.

Skjermingstapet **h**:

Skjermingstapet er et mål for skyggeeffekter av skjær, holmer og nes som ligger i veien for lydbølgene. Skjermingstapet er selektivt, og det er de høyeste frekvensene som dempes mest. Når hindringen er frittliggende, vil den delen av lydenergien som kommer fra en uv-eksplosjon både gå direkte gjennom hindringen og spres utenom ved avbøyning eller via reflekser fra omgivelsene. Resultatet er en rekke replika av den opprinnelige sjokkpulsen, en sjokkbølge med varierende amplitude. Den første delen av dette pulstoget som har gått gjennom hindringen inneholder bare lavfrekvente komponenter, mens den siste delen også inneholder noe høyfrekvent energi, se figur 3.2. Skjermingstapet, målt ut fra den maksimale amplituden i pulstoget relativt til den amplitude som ville ha vært på stedet hvis ikke hindringen hadde vært tilstede, er betydelig. For hindringer som sperrer for all transmisjon direkte gjennom sjøen vil skjermingstapet bli dramatisk.

Når sjokkbølgene må forsure grunne områder kan lydkanalen bli for "trang" til å transmittere langbølget lyd. Dette vil medføre at lavfrekvensdelen av sjokkbølgen, dvs den delen som består av lydbølgelengder som er sammenlignbare eller større enn bundypet, bli dempet kraftigere enn høyfrekvensdelen.

Båndbredefaktoren **b**:

Registreres eller analyseres sjokkbølgen med en mindre båndbredde enn den totale, vil en måle en minsket maksimalamplitudeverdi. Eksempelvis vil sjokkbølger, som forplantes i fritt farvann i avstander som er interessante for vurdering av skade på fisk, være mest energirik i frekvensområdet omkring noen kHz. Fisk som har en hørselsbåndbredde begrenset oppad til noen hundre Hz vil erfare en amplitude som er vesentlig lavere enn den opprinnelige. Typisk gir båndbredefaktoren her en reduksjon på omkring 1/10, noe som tilsvarende et tap på 20 dB.

3.3 Amplitudeangivelser

I denne undersøkelsen har en valgt å bruke nivået til den maksimale lydtryksamplituden, uansett polaritet, i sjokkbølgen som mål for lydpåvirkning. Dette er i samsvar med beregningsformelen for sjokkpulser fra uv-eksplosjoner. Skal man sammenligne lydtryknivået fra sjokkpulser med audiogram eller fryktterskel hos fisk må man være oppmerksom på at disse dataene er angitt i RMS-verdier. For korrekt sammenligning burde verdiene i audiogrammene økes med 3 dB. Imidlertid er usikkerheten i de beregnede verdier så store at de 3 dB betyr lite.

4 BIOLOGISKE PARAMETRE

4.1 Marin fauna

Begrepet marin fauna omfatter alle dyr som lever i eller umiddelbart i tilknytning til sjøen, som f.eks. fisk, yngel, larver, egg, sjøpattedyr, bunndyr, sjøfugl osv. Arbeidet har imidlertid stort sett vært fokusert på fisk av flere grunner. Bl a observerer man stor sett kun død eller skadet fisk etter en undervannssprengning. Det er sjelden man ser døde eller skadete sjøpattedyr, men dette kan komme av at de er gjennomgående mer sky enn fisk og vil antagelig bli skremt bort fra området på grunn av den menneskelige aktivitet som pågår under forberedelsene til sprengningen. Det samme gjelder sjøfugl. Krepsdyr er svært stasjonære dyr som finnes i begrensede mengder. De er hardføre mht trykkpåvirkning noe som kan skyldes at de ikke har større gassfylte hulrom i kroppen.

4.2 Havpattedyr

Det er vist at uv- eksplosjoner kan drepe eller medføre skade på marine pattedyr(8)(9). Det er imidlertid gjort svært få direkte undersøkelser når det gjelder sammenhengen mellom eksponering og skadeomfang. Det er imidlertid antatt at de fleste marine pattedyr er mindre utsatt enn fisk. Selv om det ikke direkte er sammenlignbart så ble froskemenn i Sjøforsvaret tidligere utsatt for uv- eksplosjoner med sjokkbølgeamplituder på over 1 MPa. Dette et nivå som ville ha påført torsk alvorlige skader.

Det foreligger få opplysninger om havpattedyrs reaksjon på undervannsekspløsjoner. Hørselen hos disse dyrene dekker flere funksjoner, den har stor båndbredde og er generelt meget god. Foruten rent sosialt kommunikasjonsbehov har mange arter et aktivt høyfrekvent sonarsystem som brukes i jakten på mat. Eksempelvis vil de fleste tannhvaler kunne høre lyd med frekvenser fra noe under 100 Hz til opp mot 150 kHz.

Et unntak representerer spekkhuggeren som har en øvre høregrense ved 31 kHz. Til gjengjeld hører den meget godt i frekvensområdet under. Under forsøk er det påvist at spekkhuggere kan høre lyder med nivåer så lave som 30 dB ref 1 μ Pa. Sel har også svært god høresans med et høreområde fra 200 Hz til 25 kHz for vanlig sosial kommunikasjon. I tillegg har selen et akustisk system for ekkolokalisering med god følsomhet opp til 130 kHz (9). P.g.a. den gode hørselen er sjøpattedyrene vare, og det er grunn til å tro at de normalt vil holde seg unna områder med mye støy. Siden de periodevis lett kan observeres på overflaten vil det være mulig å utsette en sprengning til de har forlatt området. Enkelte arter av sel og tannhval kan imidlertid være svært nysgjerrige og har i enkelte tilfelle hindret sprengninger over flere dager (10).

4.3 Fiskebestandene

I det følgende er det listet opp de økonomisk viktigste fiskebestandene som på et eller flere av livsstadier har tilknytning til våre kystnære strøk og som kan bli utsatt for skade og/eller død av undervannssprengninger. Egentlig burde flere arter blitt omtalt, da det finnes flere arter som har en viktig plass i økosystemet selv om de ikke er å regne blant våre økonomisk viktigste fiskebestander.

Alle de forskjellige artene og/eller bestandene vandrer mellom forskjellige områder til forskjellige tider. Men i spesielle deler av året kan de være samlet på en slik måte at de kan være spesielt utsatt for slik aktivitet. Det vil for eksempel være svært uheldig å drive med

undervannssprengninger i Ofotfjorden om vinteren, da store deler eller kanskje hele bestanden av norsk vårgytende sild har brukt denne som overvintringsområde siden bestandsammenbruddet rundt 1970. Her kan det være flere millioner tonn med sild, og en eller flere sprengninger i et slikt område vil kunne få svært uheldige konsekvenser. Et annet eksempel kan være å drive med sprengninger i de områder av Lofoten hvor torsken gyter i gyteperioden om vinteren/våren.

Norsk arktisk torsk er blant våre aller viktigste kommersielle fiskebestander. I gytesesongen (februar - april) er torsken utbredt langs sørgrensen av sitt utbredelsesområde. Den kjønnsmodne torsken, eller skreien som den blir kalt, fordeler seg da på gyteområder fra Vest-Finnmark i nord til Hordaland i sør. På mange av gyteområdene er det bare spredt gyting i enkelte år, mens det finnes noen hovedgyteområder som har betydelig årlig innsig. Det mest kjente er Vestfjorden, som historisk har gitt grunnlaget for lofotfisket. Omfattende og viktige gyteområder er også bankene på yttersiden av Lofoten og Vesterålen. Nord for Lofoten er det registrert betydelig gyting ved Sørøya (Breivikbotn), men med varierende intensitet fra år til år. Sør for Lofoten er feltene på Møre de viktigste. Periodevis har fisket i dette området utgjort en betydelig andel av det totale utbyttet av skrei.

Kysttorsken lever i norske fjorder og kystområder. Den skiller seg fra norsk arktisk torsk ved å vokse hurtigere, bli kjønnsmoden tidligere og vandre kortere distanser. Kysttorsk er splittet i flere helt eller delvis atskilte populasjoner, gjerne tilknyttet forskjellige fjord-systemer. Gyteområdene finner vi ofte i fjordbunnen. Vi finner imidlertid også gyteområder på kysten, og i noen tilfeller faller disse gyteområdene sammen med skreiens gytefelt. Kysttorsken som gyter på kysten har lengre gytevandring enn den som gyter i fjordene.

Norsk arktisk hyse hører til torskefamilien og er fordelt langs kysten sør til 62° N, og bestandskomponenten ("kysthyse") kan sammenlignes med kysttorsken. Gyteområdene for hyse ligger langs eggakanten fra Tromsøflaket til Træna. En har ikke gransket gyteområdene til hysa på samme måten som gyteområdene til torsken. En er derfor mer usikker på forholdet mellom "kysthyse" og norsk arktisk hyse for fisken som gyter sør for disse feltene. Hysa er mer knyttet til bunnen enn torsken, på grunn av at den lever mer av bunndyr enn torsken. Om sommeren lever den likevel ofte pelagisk.

Seien hører til torskefamilien og gyteområdene er knyttet til kystbankene fra Vesterålen til Stad, med hovedgyting på Storegga og Langgrunnsbankane. Seien går mer utaskjærs enn torsken for å gyte. Den gyter også grunnere og lenger sør enn hysa. Selv om gytingen skjer utaskjærs er årsyngelen konsentrert i 0 til 20 meter dybde langs fjøra i hele utbredelsesområdet om sommeren. Etter som den blir eldre sprer seien seg til dypere vann og lenger ut mot kysten og bankene. Som 1-2 åring har den funnet beiteområdene sine langs kysten. Når seien blir eldre tar den korte sesongvandring mot kysten og inn i fjordene om sommeren, og mot kysten og bankene om vinteren.

Lange hører også til torskefamilien. Den er vanlig i den nordlige delen av Nordsjøen og Skagerrak og i sør og midtnorske fjorder, der den trulig også gyter. Gytingen skjer i april - juni.

Silda er den største og økonomisk viktigste av artene i sildefamilien. Den er en pelagisk stimfisk som for det meste beiter i øvre vannlag. Norsk vårgytende sild og nordsjøsilde er de viktigste bestandene for norsk sildefiske. Norsk vårgytende sild beiter i kystnære farvann i sommerhalvåret, og om høsten vandrer den inn i fjordene på nordvestlandet og i Nord-Norge (Vestfjord, Tysfjord, Ofotfjord) for å overvintre. Silda gyter på de vanlige gytefeltene mellom Møre og Lofoten, men etter hvert som bestanden har økt, er gytefeltet utvidet sørover til Karmøy. Ved norskekysten finnes det flere lokale sildestammer, for eksempel i Lysefjorden, Lusterfjorden, Borgepollen og i Beistadfjorden.

I Norge har vi et viktig brislingfiske i fjordene, spesielt i Vestlandsfjordene. Denne brislingen stammer for en stor del fra Skagerrak. Dessuten finnes det også lokal gyting av varierende omfang. Brislingeegg og larver som er gytt langs den norske kysten av Skagerrak driver med kyststrømmen ut av skagerrak og nordover. De havner i vestlandsfjordene utpå høsten. Brislingen gyter i kystnære farvann og i fjordene. Gytingen starter i februar og varer ofte til godt ut på sommeren. Til og med så sent som i august kan den gyte. Brislingen holder seg gjerne i øvre vannlag og finnes sjelden dypere enn 100 meter. Den er en stimfisk som samler seg i stimer om dagen, men sprer seg mer ut om natten.

4.4 Oppdrettsanlegg for laks

Laks er den dominerende art i oppdrett i dag. En konsesjon for et matfiskanlegg er vanligvis på $12\,000\text{ m}^3$, men det er vanlig å slå sammen flere konsesjoner på samme lokalitet. De mest vanlige merdene i dag er ringer med 70 m omkrets, men noen kan imidlertid være 120 m. Dybden varierer fra 10 m ned til 20 m. Fisketettheten kan variere mye, men det som er tillatt etter konsesjonslovgivningen er 25 kg/m^3 , regnet for de 5 øverste meterne i merden. Maksimalt utnyttet vil et anlegg ha en kapasitet på $12\,000 \times 25 = 300$ tonn. Med en laksepris på 30 kr. pr. kilo vil førstehåndsverdien av fisken komme opp i ca. 9 mill kr. Men verdien av fisk i et anlegg kan være betydelig større da flere konsesjoner kan være slått sammen. Det er dessuten ikke uvanlig at tettheten i anleggene i perioder er betydelig høyere enn det konsesjonsreglene tillater.

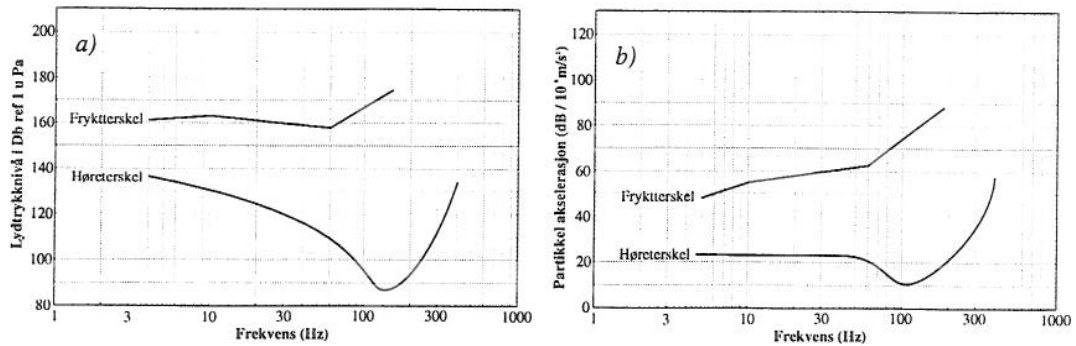
Vekten på laks i oppdrettsanlegg kan variere fra nylig utsatt lakseyngel (smolt) fra ca. 60-100 gram og opp til slaktemoden laks på flere kg. Siden småfisk er mer sårbar for sjokkbølger enn stor fisk, kan det være viktig å ta hensyn til vektfordelingen i anlegget når man skal vurdere skadepotensialet.

4.5 Hørselen hos fisk

Fisk har to sanseorganer for registrering av trykkvariasjoner. Et indre høreorgan samt et sidelinjeorgan, begge er basert på treghetsprinsippet. Følgelig vil systemene i prinsippet både kunne sense på lydtrykk og på lydbølgenes partikkelforskyvningsparametre. Forsøk har vist at det er det indre øret som er det egentlige høreorganet, mens sidelinjene mer er sensorer for lokale lavfrekvente trykkvariasjoner forårsaket av bl.a. vannstrømninger. Hvorvidt fiskens hørsel primært baseres på lydtrykk er avhengig av i hvilken grad svømmeblæren er koblet til høreorganet. Svømmeblæren spiller forøvrig en sentral rolle i fiskens evne både til å høre og til å generere lyd.

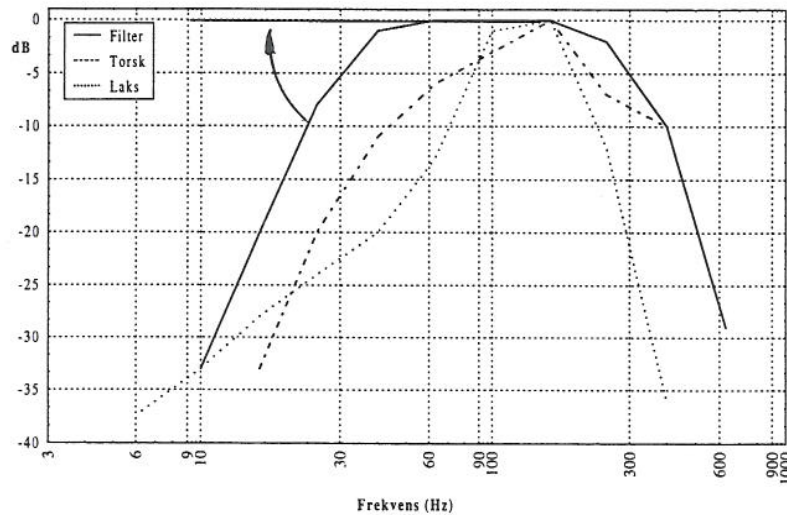
De fleste fiskearter har en veldefinert øvre høregrænse som normalt ligger lavere enn 1 kHz. Den nedre høregrænsen er imidlertid noe mer usikker. Et typisk audiogram for fisk sett i relasjon til lydtrykk i figur 4.1 viser en tilsynelatende hørselsnedtrapping under ca. 30-50 Hz. Ser en derimot audiogrammet i relasjon til partikkelakselerasjon, så oppviser det en nesten konstant akselerasjonsfølsomhet helt ned mot brøkdeler av 1 Hz. Dette indikerer at fiskens hørsel også kan være følsom ved disse lave frekvensene. Partikkelakselerasjon er forøvrig en vektoriell størrelse som kan gi fisken mulighet for retningsbestemmelse.

For å kunne vurdere i hvilken grad lydeksponeringen fra en uv-eksplosjon kan påvirke fiskenes adferd, er det nødvendig å analysere sjokkbølgen i relasjon til fiskenes audiogram. I figur 4.2 er audiogrammene for torsk og laks plottet inn i et invertert diagram. Ved å legge karakteristikken til et 4-ordens båndpassfilter med båndbredde 30-300 Hz inn i diagrammet fremkommer en akseptabel filtertilpassning. Analyseres sjokkbølgene gjennom et slikt elektronisk filter vil en teoretisk kunne ekvivalere hvilket lydnivå fisken sansynligvis erfarer.



Fligur 4.1 Audiogram for laks relatert til a) lydtrykknivå, og b) partikkelaksellerasjonsnivå

For sjokkbølger med så store amplituder at de kan skade fisken fysisk, må man vurdere hele energi-innholdet i sjokkbølgen, dvs. for alle frekvenser. Vurderinger av sjokkbølger m.h.t. om hvorvidt fisk blir skremt eller ikke, har bare relevans innenfor det frekvensområdet som fisken faktisk hører. Blant de fiskearter som er typiske i våre farvann vil torsk og laks i snitt ha en hørsel som vil kunne være representativt i beregningsøyemed.



Figur 4.2 Karakteristikk for et 4-ordens filter tilpasset inverterte audiogram (lydtrykk) for torskog laks

Toleranseområdet, dvs forskjellen i nivået mellom hørerskel og frykterskel er hos laks snevrere mot lavere frekvenser. Det er grunn til å anta at dette også er tilfelle for andre fiskearter. Siden det også hersker tvil om i hvilken grad fisken stimuleres av akselerasjonspåvirkning i det infrasoniske området under 30 Hz vil en i så fall få bedre reaksjonstilpassning hvis man fjerner den nedre grensefrekvensen ved 30 Hz i analysefilteret og bruker et rent lavpassfilter med en nominell øvre grensefrekvens på 300 Hz.

5 SKREMMING AV FISK

5.1 Fryktterskel

Når fisk eksponeres for kraftig lyd, spesielt i form av impulslyd, vil den prøve å unngå lydkilden. Oppdrettsfisk i merder har ingen fluktmulighet, noe som kan resultere i at det oppstår panikk med påfølgende skader som følge av kollisjoner med notveggen. Dersom fisketettheten er høy kan det oppstå klemskader og mangel på oksygen. Gjentatt kraftig lydpåvirkning vil kunne føre til dramatiske konsekvenser for et oppdrettsanlegg. For villfisk vil derimot fluktmuligheten bringe dem vekk fra lydkilden med avtagende lydbelastning. Såfremt lydtrykket ikke er så kraftig at det direkte skader fisken fysisk, vil en slik fluktreaksjon normalt ikke få noen konsekvenser for fisk som svømmer fritt i sjøen. Hos villfisk som overraskes av tauede seismiske luftkanoner har Dalen og Raknes (6) antydning at frykttreaksjonen kan bli så sterk at fisken sprenger seg i anstrengelsen på å unngå .

Fryktterskel er et begrep som det er vanskelig å definere. Flere forfattere har betegnet fryktterskelen som det lydtryknivået i en lydimpuls som fører til et kort opphold i hjerteslagene hos fisken (7). Dette nivået er antatt å ligge mellom 160- 180 dB ref 1µPa for både torsk og laks. Sikre observasjoner i forbindelse med eksponering av oppdrettsanlegg er få. Under en minesprengning på Helligvær ble laks eksponert for et nivå på 163 dB ref 1µPa. Et videoopptak viste at fisken tydelig ikke reagerte på eksponeringen. I et tilfelle utenfor Fauske hvor laks ble eksponert for gjentatte sjokkbølger fra anleggsarbeider med amplituder på 167 dB ref 1µPa resulterte i en midlertidig svikt i apetitten. Etter kort tid normaliserte den seg selv om eksponeringen fortsatte. Veterinære undersøkelser viste imidlertid svekket hjertemuskelatur hos fisk i noen prøver som kan være forårsaket av lydeksponeringen. Dette siste eksempelet viser at de er all grunn til å forsikre seg om at fryktterskelgrensen ikke vil bli overskredet når det skal vurderes flere sprengninger i nærheten av oppdrettsanlegg.

5.2 Aktiv skremming

Med aktiv skremming menes her akustiske metoder til å skremme villfisk vekk fra områder hvor det skal foretas en større uv- sprengning. Skremmeeffekten bør være så kraftig at fisk skremmes ut til en avstand som ligger så langt fra sprengningstedet at det er liten sannsynlighet for at fisk vil bli drept av eksplosjonen, Yelvertons kurver (11), se appendiks D. Etter større undervannsprengninger i kystfarvann observerer man tilsynelatende store mengder død villfisk flytende i området. Hvor mye død fisk som synker til bunns har man mindre oversikt over, men det er antatt at det dreier seg om en betydelig andel. For å kunne bøte på dette har man foreslått å skremme fisk bort fra områder hvor det skal foregå større uv-sprengninger. Selv om man derved begrenser omfanget av drept fisk, vil verdien av den fisken man redder være relativt beskjeden. Følgelig bør skremmetiltakene baseres på enkle og rimelige metoder.

I dette arbeid er det brukt elektriske fenghetter som skremmekilde. De koster noen få kroner pr. stykk og kan settes av med enkle midler. Skremmerekkevidden vil være av samme størrelsesorden som sikkerhetsavstanden fra mine- og torpedoladninger, dvs noen hundre meter.

Det har vært foretatt skremmeforsøk i forkant av 3 torpedosprengninger under prosjekt "Torsk". Av tekniske årsaker har det vært vanskelig å kontrollere effektiviteten av skremmingen. Det største problemet har vært at det har gått for lang tid fra skremmingen var avsluttet til torpedoen ble avfyrt, i snitt 2 timer. Alikevel er hovedintrykket at mengden

med død fisk etter torpedosprengningene har vært markert mindre enn vanlig. I et tilfelle viste observasjoner med fiskerisonar en betydelig nedgang i fisketetthet etter en knapp times skremming med ca 20 fenghetter.

Det er vanskelig å bestemme størrelser som eksponeringstid og avfyringsintervall. En har derfor valt å legge rene praktiske kriterier til grunn for en fornuftig skremmeprosedyre. En kan med letthet klargjøre og avfyre 20 fenghetter på mellom 1/2 - 1 time. Det viktigste er at det går kortest mulig tid fra siste fengheten er avfyrt til sprengningen finner sted.

5.3 Uønsket skremming.

Fisk i merder bør ikke eksponeres for større lydpåvirkninger fra uv-sprengninger enn at lydtryknivået ligger under fisken frykterskel. Siden oppdrettsanlegg vanligvis ligger i skjermet farvann vil det ofte ikke være noen direkte lydbane fra et sprengningssted. Kjennskap til lydtransmisjonsforhold i innenskjærs farvann er nødvendig hvis man skal kunne vurdere om anlegg behøver å flyttes før en eventuell sprengningsaktivitet eller ikke.

Havbruksnæringen er i sterk vekst og tettheten av oppdrettsanlegg er økende. Det er i dag nesten ikke mulig å foreta en uv-sprengning uten å komme i konflikt med oppdrettsanleggene. Selv om anleggene ligger langt fra detonasjonsstedet frykter oppdretterne at sprengningen kan få uheldige konsekvenser for fisken. For å unngå konflikter p.g.a. ulik oppfatning om i hvilken grad en sprengningen kan ha påført et anlegg skade, er det viktig at man har dokumentert kunnskap om de mekanismer som bestemmer den akustiske belastningen på fisk.

6 MÅLINGER

6.1 Måleutstyr og målegeometri

Registreringene ble foretatt med 2- 4 piezoelektriske 1" kulehydrofoner med følsomhet - 197 dB ref 1 μ Pa. For å imøtekomme store dynamikkforskjeller kunne spenningen ut fra hydrofon-elementene attenueres i step på 20, 40 og 60 dB. Signalene ble registrert på DAT-recordere med båndbredde 2 Hz til 25 kHz.

Samtlige målinger ble foretatt på 5 m dyp med forskjellig forsterkning i hydrofonsystemene. Samtlige forsøkssprengninger ble utført på 5 m dyp. For andre sprengninger er dybden angitt i teksten.

Posisjonering og avstandsmålinger ble foretatt med GPS posisjoningsutstyr. Standardavviket på spredningen i avstandsbestemmelsene ble beregnet til ± 25 m etter gjentatte målinger. For distanser under 250 m ble avstanden målt ved peilinger, under 50 m med målebånd. Avstandsunøyaktighetens bidrag til usikkerheten i lydnivåmålingene utgjør ca. ± 1 dB.

CTD-målinger ble foretatt i forbindelse med målingene. Kontroll av lydbaneforhold og transmisjonstaps-beregninger ble utført på LYBIN-90 (12).

6.2 Måling av kildestyrken fra fenghetter

I dette arbeidet er det brukt elektriske fenghetter både som referanselydkilder og som skremme-lydkilder. Elektriske fenghetter er billige og de er enkle å avfyre samtidig som de har tilstrekkelig lydenergi i fiskens høreområde.

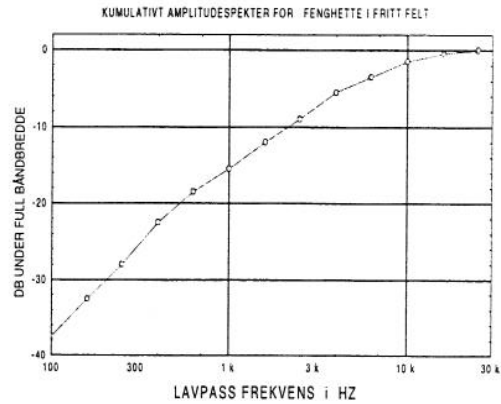
Elektrisk fenghette nr. 8 inneholder i underkant av 1 g høyeksplosivt sprengstoff. Kildestyrken ved detonasjon i vann er målt ved en rekke anledninger og verdien er bestemt til 247 dB ref 1 μ Pa/1 m. Dette er noe under verdien en får ved det semi-empiriske uttrykket (2.2). Ifølge Arons formel (2.1) vil lydtrykksforløpet være ulineært ut til ca 50 m fra detonasjonsstedet.

I fritt innenskjærs farvann og for avstander utover 50 m kan man definere en linearisert kildestyrke som beregningsmessig vil gi korrekte verdier. Denne verdien er målt og beregnet til :

$$\underline{243 \text{ dB ref } 1\mu\text{Pa} / 1 \text{ m}}$$

6.3 Amplitude/båndbredde- plott

P.g.a. den korte varigheten til en sjokkpuls er det teknisk vanskelig å måle spektralfordelingen. Som hovedpresentasjonform har man valgt å analysere pulsen som funksjon av suksessivt økende båndbredde. Ved å anvende et lavpass (LP)-filter og øke filtersettingen fra lavere mot høyere frekvenser får man et integrert amplitudespekter. Spekteret viser hvordan maksimalamplituden øker med økende båndbredde, dvs et kumulativt amplitudespekter.



Figur 6.1 Integrert amplitudespekter for fenghetter

Figur 6.1 representerer gjennomsnittet av amplitudespektrene fra en rekke målinger med fenghetter. En LP filtersetting på 300 Hz svarer omtrent til høreområdet for torsk og laks, og amplitudeverdien vil teoretisk tilsvare det fisken erfarer. Denne verdien (inkludert boblepulser) ligger ifølge diagrammet 25 dB under den totale trykkamplituden. Eksempelvis vil en fisk i avstanden 1000 m fra en detonerende fenghet i fritt felt erfare et amplitudenivå på:

$$L_{1000} = 243 - 20 \lg 1000 - 25 = \underline{158 \text{ dB ref } 1 \mu\text{Pa}} \quad (7.1)$$

Ifølge figur 4.1. a) ligger den verdien i underkant av frykterskelen, og fisk som torsk og laks vil normalt neppe reagere på sjokkbølgen.

6.4 Måling av sjokkbølger fra forskjellige ladningsstørrelser

Det er foretatt målinger fra en rekke forskjellige ladningsstørrelser. Beregningene bygger på målinger foretatt ved ca 150 sprengninger med ladninger fra 1 g og opp til 350 kg. Under hver sprengning ble sjokkbølgene registrert vha 2 til 4 hydrofoner. Materialet er gruppert i 32 sprengningssituasjoner, hvor måleverdien er basert på gjennomsnittet fra 1- 30 sprengninger. Måleresultatene, som er presentert i tabell 6.1, danner grunnlaget for de vurderinger en har kommet frem til i denne rapporten.

Sted/type sprengning	Sprengst vekt	Måle avst.	Bunn dyp	Skjerm- ing	Målte nivåer		Maks energi	Spred. koef s
					25 kHz	300 Hz		
	kg TNT	km	m		dB ref 1 µPa		kHz	
Hellesøy/mine	350	1.65	30	ingen	226	191	1.2	21.1
Bliksvær/gra- nater	24	1.0	30	grunne	206	174	5.0	
	7 *)	1.1	30	holme	156	-	3.0	
Bliksvær/TNT	0.08	1.1	30	holme	146	-	3.0	
Lødingen/Nes	0.7	1.6	30	ingen	203	164	3.5	19.6
BK- granater	"	2.6	80	"	201	164	2.0	19.1
detonert i	"	5.4	110	"	195	165	4.0	19.2
overflaten	"	2.4	3	grunne	176	154		
	"	4.2	40	", kant	175	146		
	"	2.7	10	svalpeskj	182	143		
Helligv./mine	227	1.8	0	total	166	166	0.019	
Torskefjorden	10	1.0	50	ingen	218	211	0.5/5	uliniær
v/Hammerfest	10	.4	50	"	223	215	0.3/5	"
Rene TNT-lad.	1	.36	50	"	216	198	1.25	"
Ramfjorden,	0.001	0.5	80	ingen	188	161	3.2	20.3
Troms/	"	0.75	"	"	182	157	5.0	21.2
Fenghetter	"	1.0	"	"	177	158	5.0	22.0
	"	1.5	"	"	173	160		22.0
	"	2.0	"	"	172	162	0.60	21.5
	"	0.75	100	kant, øy	156	142		
	"	"	"	bak øy	150	143		
	"	"	1-4	grunne	168	147		
	"	"	1-4	gru+k.øy	149	142		
Indre havn,	0.001	korte	15	ingen	243	217	6.0	uliniær
Horten/	"	0.75	"	"	185	166		20.0
Fenghetter	"	0.75	"	bakskjær	167	154		
	"	0.75	"	kant nes	147	146		
	"	0.75	9-4	total	131	130		
Skudeneshavn dypv. bomber	130	1.0	40	holme	185	175	0.4	
Jærens Rev/ miner/overfl.	250	1.9	220	ingen	212	199	0.5	uliniær
Lyngenfjord/ Torpedo	245	9.0	300	ingen	208	196	1.0	-
Brønnøysund/ torpedo (dem)	200-250	11.4	0-120	nesten total	142	142	0.022	

*) antagelig dårlig avsetning

Tabell 6.1 Oversikt over sprengningene

Som forventet er det stor spredning i måleresultatene, noe som bl a skyldes variasjonene i undervannstopografien. Beregninger med lydtransmisjonsmodellen LYBIN viser også at selv små variasjoner i f eks bunntopografien gir store utslag i lydtransmisjonsberegningene. I tillegg er noe av sprengstoffet gammelt og det er ofte vanskelig å beregne hvor mye som blir omsatt

I 16 av sprengningssituasjonene var det ingen topografiske undervannshindringer mellom sprengningssted til registreringssted. I to av situasjonene ble enten sprengningen eller registreringen foretatt i overflaten og er utelatt i beregningene. De øvrige registreringene er inndelt i 6 representative grupper, se tabel 7.1, som danner grunnlaget for å komme frem til et uttrykk for lydtransmisjonen i innenskjærs farvann.

Av de øvrige 16 situasjonene ble 4 foretatt bak holmer, 4 over grunne områder, 5 over kanten på øyer og nes og i 3 situasjoner var sprengningen tilnærmet totalt skjermet for lydtransmisjon gjennom vannet.

Boblepulsene gjør seg tydelig markert for den delen av spekteret som faller innenfor fiskens høreområde. For sjokkbølger i fritt farvann er forskjellen i erfart maksimalamplitude fra fenghettedetonasjoner med og uten boblepulser i snitt ca 18 dB (se forøvrig ladningsvektens innvirkning på boblepulsene i kapittel 7) . Bak hindringer er forskjellen sunket til 8- 9 dB. Når det ikke eksisterer noen direkte kobling gjennom vann vil fisk ikke merke noen forskjell om sprengningen danner boblepulser eller ikke fordi bare lydbølgene med frekvenser langt under boblepulsfrekvensene vil trenge gjennom hindringen. Ifølge tabellen varierer spredningskoeffisienten s mellom 19.1 og 22 dB med et snitt på 20.6 dB.

7. LYDTRANSMISJONSMODELL FOR INNENSKJÆRS FARVANN

Det har vært en forutsetning at den modellen som en ønsker å komme frem til skal kunne brukes som en forhåndsvurdering av lydforplantningen på grunnlag av de opplysninger en finner i sjøkart og farvannsbeskrivelser for det aktuelle området. Med så sparsomme opplysninger vil naturligvis usikkerheten i resultatene bli store. Siden terskelverdiene for eksponering av fisk både mht direkte fysiske skader og for stresspåvirkning er noe diffuse, vil den presisjon som man får ved en enkel generell modell være tilstrekkelig. I vanskelige vurderingstilfeller må en regne med en usikkerhet av størrelsesorden ± 10 dB

Lydtransmisjonsberegninger ved "fri sikt", dvs ingen hindringer mellom sprengningssted og registreringssted er gitt ved uttrykkene (2.2) og (2.3). Anvendes disse uttrykkene på de 6 sprengningsgruppene hvor det var "fri sikt" mellom sprengningssted og registreringssted viser det seg at avviket mellom målte og teoretiske verdier blir vektavhengig. Store ladninger får for lave teoretiske verdier og små ladninger for høye verdier.

Ved å addere $2 \lg W$ til begge uttrykkene blir forskjellen tilnærmet utlignet. Uttrykkene får da følgende form:

$$L_u = 274 + 9.5 \lg W - 22.6 \lg r \quad \text{i den ulineære delen av transmisjonen} \quad (7.1)$$

$$L_l = 268 + 8.5 \lg W - 20 \lg r \quad \text{i den lineære delen av transmisjonen} \quad (7.2)$$

Tabell 7.1 viser resultatene fra beregninger med disse uttrykkene for de tilfelle hvor det ikke var topografiske hindringer i veien for lydbanen.

<i>Ingen hindringer</i>			Målte verdier			Beregnete verdier	
Sprengning	vekt	avst	2-25000	2-300Hz	Diff (b)	2-25000	avvik fra
	kg	km	dB ref 1 μ Pa		dB	dB μ Pa	målte verdier
1. Mine, ulin	350	1.65	226	191	- 35	225	- 1 dB
2. Torpedo, lin	245	9.0	208	196	- 12	208	0
3. TNT, ulin	10	1.0	218	211	- 7	216	- 2
4. TNT, ulin	1	0.36	216	198	- 18	216	0
5. Fengh. lin	0.001	0.5	188	161	- 27	188	0
6. Fengh. lin	0.001	0.75	185	166	- 19	184	- 1
Middelverdi					- 20		

Tabell 7.1 Målinger fra sprengninger med "fri sikt", gruppe I

Når det ikke er "fri sikt", og topografiske hindringer skjermer for lyden, må en i uttrykkene for transmisjonsberegningene trekke fra skjermingstapet h . En har kommet frem til 4 lydforplantningsgeometrier fra målingene med sammenlignbare hindringer som oppviser en brukbar repeterbarhet. Grupperingene er karakterisert ved hvilken type hindringer det er mellom sprengningssted og målepunktet.

Gruppe I: Ingen hindringer, «fri sikt»

- " II: Grunne og trange områder hvor tverrsnittet av vannvolumet er av samme størrelsesorden som lydbølgelengden eller mindre
- " III: Holmer og nes med begrenset utstrekning skjermer for lyden
- " IV: Hindringens utstrekning er så stor at kun den delen av lydenergien som går gjennom hindringen er signifikant.

Ut fra resultatene i tabell 6.1 er det beregnet hvilke skjermingstap en kan forvente innefor disse gruppene. Siden skjermingstapet er frekvensavhengig, har en beregnet dette for to båndbredder:

- 1) for registreringsutstyrets totale båndbredde, ca 2 - 25 000 Hz
- 2) for båndbredden svarende til fiskens høreområde, ca 2 - 300 Hz.

<i>Grunne områder, svalpeskjær ol</i>				Målte verdier			Beregn.verdier		
Sprengning	Vekt	Avst.	Bunn	25 kHz	300 Hz	diff (b)	25 kHz	h	h + b
	kg	km	m	dB ref 1 μ Pa		dB	dB μ Pa	dB	dB
Granater (u)	24	1.0	3 - 30	206	174	32	219	13	45
BK-granater	0.7	2.4	3-100	176	154	22	198	22	44
"	"	2.7	10	182	143	39	197	15	54
"	"	4.2	3-100	175	146	29	198	23	52
Fenghetter	0.001	0.75	1- 4	168	147	21	184	16	37
"	"	"	3 - 8	147	137	10	184	37	47
"	"	"	3- 100	156	142	14	184	29	43
"	"	"	1-15	167	154	13	184	17	30
(u) = uliniær beregning						Middelverdier	22	22	44

Tabell 7.2 Skjermingseffekter over grunne områder, skvalpeskjær o.l., gruppe II

<i>Holmer og nes i lydbanen</i>				Målte verdier			Beregn.verdier		
Sprengning	Vekt	Avst.	Bunn	25 kHz	300 Hz	diff (b)	25 kHz	h	h + b
	kg	km	m	dB ref 1 μ Pa		dB	dB μ Pa	dB	dB
DV-bomber	130	1.0	40	185	175	10	226	41	51
TNT	0.08	1.1	30	146	140	6	197	51	57
Fenghetter	0.001	0.75	100	150	143	7	184	34	41
"	"	"	4	149	142	7	184	35	42
						Middelverdier	8	40	48

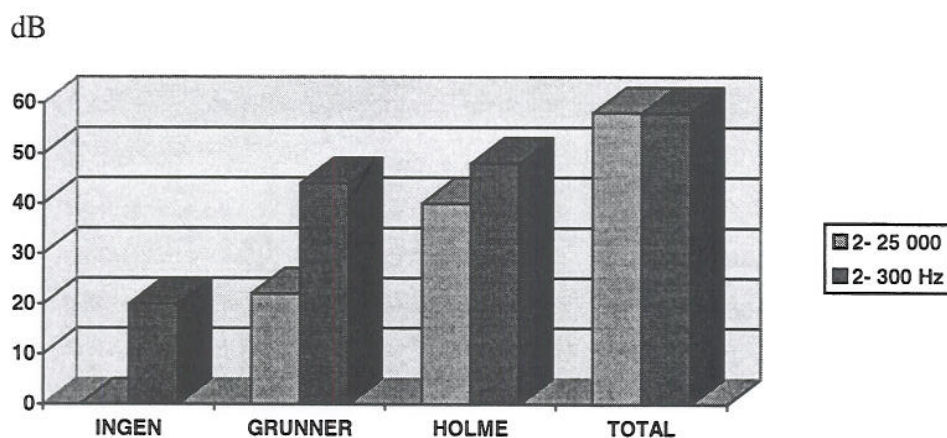
Tabell 7.3 Skjermingseffekter av holmer og nes, gruppe III

<i>Total skjerming</i>				Målte verdier			Beregn.verdier		
Sprengning	Vekt	Avst.	Bunn	25 kHz	300 Hz	diff (b)	25 kHz	h	h + b
	kg	km	m	dB ref 1 μ Pa		dB	dB μ Pa	dB	dB
Mine	227	1.8	0	166	166	0	223	57	57
Torpedo	200	11.4	0	142	142	0	205	63	63
Fenghetter	0.001	0.75	0	131	130	-1	185	54	55
Middelverdier						0		58	58

Tabell 7.4 Total skjerming gjennom vann, gruppe IV

Ved total skjerming blir båndbreddekorreksjonen ubetydelig siden lyd med frekvenser over 300 Hz i liten grad slipper gjennom hindringene

I figur 7.1 er skjermingstapskoeffisienten h i de fire gruppene av hindringer fremstilt både for den totale båndbredden i sjokkbølgen og for det båndet som faller innenfor fiskens høreområde. For fiskens høreområde er båndbreddetapet inkludert.



Figur 7.1 Skjermingstapet h ved forskjellig skjermingssituasjoner i snitt

Både skjermingstap og tap pga båndbredde vil være avhengig av om detonasjonen setter opp boblepulser eller ikke. I tabell 7.5 er denne sammenhengen presentert. Pga begrenset tallmateriale er verdiene svært usikre. I figur 7.2 er tabellverdiene fremstilt grafisk.

skjermingstap(h)
ved full båndbredde

skjerm- og båndbr.tap(h+b)
i fiskens høreområde

TOPOGRAFISK SKJERMTYPE	skjermingstap(h) ved full båndbredde		skjerm- og båndbr.tap(h+b) i fiskens høreområde	
	med	uten	med	uten boblep.
I Ingen skjerming, fritt felt: dB	0	0	18*)	35
II Grunne områder, skvalpeskjær:	21	20	39	49 "
III Holmer, nes:	34	42	41	50 "
IV Total skjerming:	59	57	59	57 "

Tabell 7.5 Skjerm- og båndbreddetap av ved beregninger av lydtryknivå i innenskjærs farvann fra detonasjoner med og uten dannelse av boblepulser.

*) Uttrykket (7.5) gir bedre verdier.

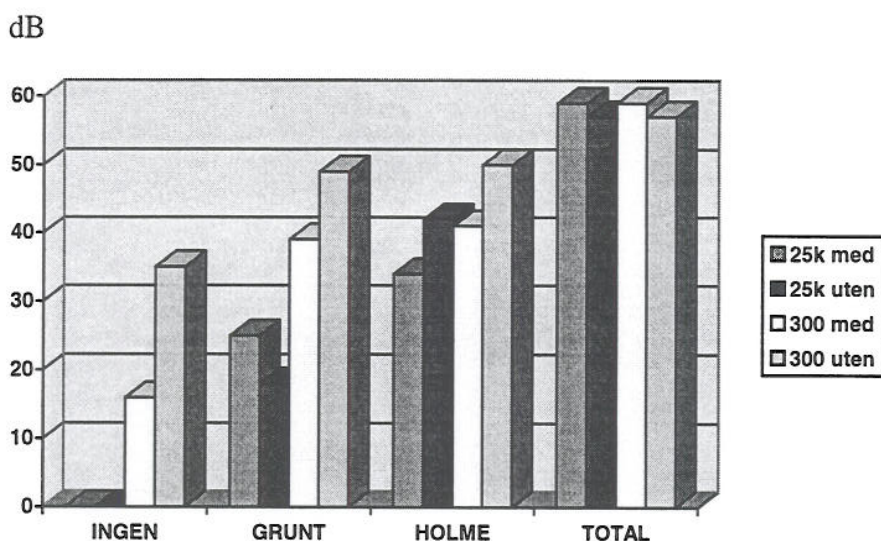


Fig 7.2 Skjerm- og båndbreddetap i dB for båndbreddene 2- 25 kHz og 2- 300 Hz med og uten dannelse av boblepulser for de fire skjermingstypene.

Maksimalamplitudenivået i sjokkbølgen i avstanden r vil ifølge uttrykkene (3.1), (7.1) og (7.2) kunne skrives

i det ulineære forplantningsområdet som:

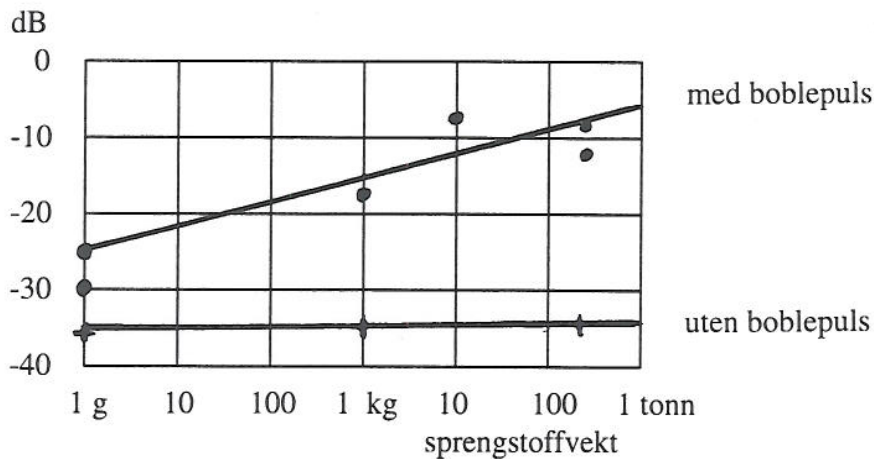
$$L_m = 274 + 9.5 \lg W - 22.6 \lg r - (h + b) \quad (7.3)$$

og i det lineære forplantningsområdet:

$$L_m = 268 + 8.5 \lg W - 20 \lg r - (h + b) \quad (7.4)$$

Disse semiempiriske uttrykkene vil gi amplitudeverdier med store usikkerheter fordi valg av enkelte parameterverdier må baseres på skjønn.

Ifølge teorien har lydkilder med stor fysisk utstrekning større evne til å utstråle lavfrekvent lyd enn små. Følgelig burde store ladninger generere relativt mer lydenergi i fiskens høreområde enn små ladninger. Imidlertid viser målingene at dette synes nesten bare å være tilfelle hvis sprengningen genererer boblepulser. I figur 7.3 er båndbreddekorleksjoner for sprengninger med og uten boblepulser fremstilt som funksjon av ladningsvekt. For sprengninger uten boblepulser er båndbreddekorleksjonene tilnærmet uavhengige av sprengstoffmengden, med verdier omkring 35 dB.



Figur 7.3 Diagram til båndbreddekorleksjon i fritt felt

For sprengninger med boblepulser avtar korleksjonstallene med ladningsvekt i samsvar med teorien. Ved å legge en tilpasset rett linje mellom målepunktene vil den analytisk kunne uttrykkes ved:

$$b = 3 \lg W - 15 \quad (7.5)$$

Dette uttrykket gir en bedre verdi for båndbreddekorleksjonen i tabell (7.5) enn de 18 dB merket med *) som er en middelverdi.

8. KONKLUSJONER

Det synes mulig med enkle midler å skremme fisk bort fra områder hvor det skal foregå en større undervannsprengning. Det er påvist at etter at skremmetiltak har vært foretatt før en sprengning, har omfanget av død fisk vært mindre enn vanlig. Et forslag til praktisk gjennomføring er presentert i Appendiks B.

Det er foretatt målinger av sjokkbølgeforplantninger i innenskjærs farvann i forbindelse med ca 150 undervannsprengninger. Selv om de akustiske parameterene viser stor spredning synes det mulig å formulere en empirisk modell til bruk ved en forhåndsvurdering av den akustiske belastningen på fisk i oppdrettsanlegg fra en forestående uv- sprengning. En har kommet frem til 4 lydforplantningsgeometrier som har beslektede transmisjonstapsegenskaper og som ifølge målinger har gitt brukbar repeterbarhet.

Under prosjektiden har tilgangen på større uv- eksplosjoner vært begrenset, noe som har ført til større usikkerhet i bestemmelse av transmisjonsparameterene enn ønskelig. En ytterligere usikkerhet ligger i den skjønsmessige vurderingen mht hvilken lydforplantningsgeometri man skal velge.

Havbruksnæringen er i sterk vekst og tettheten av oppdrettsanlegg er økende. Det er i dag nesten ikke mulig å foreta en uv-sprengning uten å komme i konflikt med oppdrettsanleggene. Selv om anleggene ligger langt fra detonasjonsstedet frykter oppdretterne at sprengningen kan få uheldige konsekvenser for fisken. Selv om fisk ikke skades direkte fysisk, kan oppdretteren påføres økonomiske tap hvis fisken reagere med appetittsvikt, nedsatt immunitet eller andre sekundærvirkninger. Kriteriet bør derfor være at et oppdrettsanlegg bør ikke eksponeres for sjokkbølger med amplituder som overstiger fiskens frykterskel.

REFERANSER

- (1) Kjellsby E (1993): Akustisk eksponering av fisk ved undervannssprengninger, FFI/ Rapport- 93/2004 , Forsvarets Forskningsinstitutt.
- (2) Larsen T. et al (1992): Effekter av undervannsprengninger på fisk, FDH- rapport 1992:2, Finnmark Distrikshøgskole.
- (3) Larsen, Kjellsby, Olsen (1993): Effekter av undervannsprengninger på fisk, Rapport fra senter for marine resurser nr.11/93, Havforskningsinstituttet, Bergen.
- (4) Arons A B (1954) : Underwater Explosion Shock Wave Parameters, *J. Acoust. Soc.Am.* 26:343.
- (5) Ramsauer C (1923): *Ann. d. Phys.*(4), 72, 265
- (6) Dalen og Raknes (1985): Skremmeeffektar på fisk fra 3- dimensjonale seismiske undersøkingar, Rap.nr.: FO- 8505, Havforskningsinstituttet, Bergen.
- (7) Enger et al (1992): Utdrag av ICES foedrag i Bergen juli 1992.
- (8) Wright, D G (1982): A discussion paper on the effects of explosives on fish marine mammals in waters of the Northwest Territories, Canadian Tech. Rep. of Fish and Aquatic Sciences 1052; 16 pp.
- (9) Grønlands Miljøundersøgelser, Oktober 1989 . ISBN 87- 89339-06-1
- (10) Haugesunds Avis (1996): Tirsdag 30. april
- (11) Yelverton et al (1975): The relationship between fish size and their response to underwater blast, Defence Nuclear Agency, Dep. Defense, Washington D.C. Topical Rep. DNA 3677 T, 42 p
- (12) Mjølvsnes S (1990): Lybin- 90, Version 2.1, SFK/T- UVS, Haakonsværn

Referanser til fiskeribiologiske vurderinger.

- Anon, 1995. *Ressursoversikt 1995*. Havforskningsinstituttet, Bergen. 83 pp.
- Torsvik, N., Mortensen, S., Nedreaas, K.H., 1995. *Fiskeribiologi*. Landbruksforl. 275 pp.
- Pethon P., 1989. *Aschehougs store Fiskebok*. 447 pp.
- Myklebust, B., 1979. *Norske fisker i sjøen*. 261 pp.

APPENDIKS A

FORHÅNDSBEREGNING AV AKUSTISK BELASTNING PÅ FISK I
OPPDRETTSANLEGG VED UNDERVANNSPRENGNINGER.

- a) Den akustiske belastningen på fisk i oppdrettsanlegg må ikke overstige amplitudenivåer som ligger over fiskens fryktterskel. For torsk og laks ligger denne terskelverdien i området 160- 180 dB ref 1 μ Pa for en båndbredde som tilsvarer fiskens høreområde.
- b) Beregningene blir beheftet med store usikkerheter siden mange av vurderingene baseres på skjønn. Standardavviket på verdiene som er oppgitt for skjermingstapene er beregnet til ca ± 10 dB.
- c) Hvis beregningene viser at lydtryknivået ligger i nærheten av fryktterskelområdet bør en nedskalert prøvesprengning foretas.

Følgende data inngår i beregningene:

- * Ladningsstørrelsen W
- * Avstanden mellom sprengningsted og oppdrettsanlegg r .
- * Sprengningsdybde d , og om ladningen blir avsatt på bunnen eller ikke.
- * Skjermings-og båndbreddetap i følge tabellen.

Tabell for skjermings- og båndbreddetap (h og b):

TOPOGRAFISK SKJERMTYPE	skjermingstap ved full båndbredde		skjerm- og båndbreddetap i fiskens høreområde		
	med	uten	med	uten boblep.	
I Ingen skjerming, fritt felt:	0	0	3 lg (w)-15	35 dB	
II Grunne områder, skvalpeskjær:	25	18	39	49	"
III Holmer, nes:	34	42	41	50	"
IV Total skjerming:	59	57	59	57	"

Beregning av maksimalnivået i sjokkbølgen:

1. Kubikkroten av ladningsstørrelsen: $W^{1/3}$
2. Grensen for ulineær bølgeforplantning : $r_u = 800 W^{1/3}$
3. Lydtryknivået i fritt felt for:

$$\text{for } r < r_u \quad L_r = 274 + 9.5 \lg w - 22.6 \lg r \quad (\text{i ulineært forplantningsområde})$$

$$\text{for } r > r_u \quad L_r = 267 + 8.5 \lg w - 20 \lg r \quad (\text{i lineært forplantningsområde})$$

4. Radius i gassboblen: $a_{gb} = (50 w / (d + 10))^{1/3}$

Ingen boblepulser hvis gassboblen bryter overflaten. Hvis ladningen avsettes på bunnen vil gassboblen antagelig bryte overflaten for $d < 2 a_{gb}$

5. Skjermings- og båndbreddetap bestemmes ut fra tabellen.

Det maksimale lydtrykknivået er gitt ved: $L_m = L_r - (h + b)$

Hvis den beregnede maksimalnivået får verdier opp mot 160 dB ref 1μPa anbefales det å foreta en nedskalert prøvesprengning med en fenghette for å fastslå med sikkerhet hvorvidt den største amplituden i sjokkbølgen ligger under frykterskelen.

Regneeksempel:

130 kg TNT blir avsatt på bunnen på 5 m dyp tett inn til en holme. Lydtrykkmåling blir foretatt i avstanden 1000 m på den andre siden av holmen. Beregn maksamplituden i høreområdet for fisk.

- * Ladningsstørrelse: $W = 130$ kg
- * Måleavstand: $r = 1000$ m
- * Sprengningsdybde $d = 5$ m
- * En holme skjerner for sjokkbølgen, skjermingstype III

Beregning:

1. Kubikkroten av sprengstoffmengden $W^{1/3} = 5$
2. Grense for ulineær forplantning: $r_u = 800 W^{1/3} = 4000$ m, dvs $r < r_u$ (ulineær beregn.)
3. Lydtrykknivået i fritt felt: $L_r = 274 + 9.5 \lg 120 - 22.6 \lg 1000 = 226$ dB ref 1μPa
4. Gassboblediameter: $2 a_{gb} = 2 (50 w / (d + 10))^{1/3} = 15$ m, dvs ingen boblepuls
5. Maks lydtrykknivå: $L_m = L_r - (h+b) = 226 - 50 = \underline{176 \text{ dB ref } 1\mu\text{Pa}}$

Lydtrykknivået ble i dette tilfelle målt til 175 dB ref 1μPa.

Verdien ligger i grenseområdet for frykterskelen for fisk og hadde det eksistert et oppdrettsanlegg ved målepunktet kan det hende at fisken ville ha reagert på sjokkbølgen.

APPENDIKS B

PROSEDYRE VED SKREMMING AV FISK FØR EN STØRRE UV- SPRENGNING

Forebyggende tiltak

Før en velger å skremme fisk bør en vurdere en del tiltak som kan være med på å redusere skadevirkningene ved større undervannsekspløsjoner. De baserer seg både på rent akustiske og på lokale topografiske forhold.

Man bør i første rekke unngå å foreta sprengningen når sjøen ligger speilblank. Sjokkbølger som reflekteres fra en speilblank overflate setter opp en negativ trykkbølge med et undertrykk som er så kraftig at svømmeblæren hos fisk ekspanderer og kan sprekke. Denne undertrykkbølgen forplanter seg bare noen få meter ned i sjøen, men kan ha rekkevidder på noen hundre meter. Litt sjø reduserer muligheten for dannelse av slike refleksjonsbølger .

Fisk som står nær bunn eller fjellsider vil i tillegg til den direkte sjokkbølgen også være utsatt for refleksjonsbølger fra disse. Man bør derfor unngå sprengning i nærheten av bratte fjellskrenter samt over hard bunn. Bløt bunn har dårlige refleksjonsegenskaper og vil redusere slik dobbelteksposering .

Topografiske hindringer i sjøen vil redusere en sjokkbølge kraftig. En sprengning foretatt i en liten bukt vil redusere dødsrisikoområdet vesentlig i forhold til en tilsvarende utført ved et nes eller ute i åpen sjø.

Det er viktig å holde seg orientert om fiskebestanden i området på sprengningstidspunktet, slik at man unngår å sprengne i perioder med stor fisketetthet. Opplysninger om gyteperioder, fiske innsigt ol kan innhentes hos de lokale fiskerimyndighetene.,

Skremming

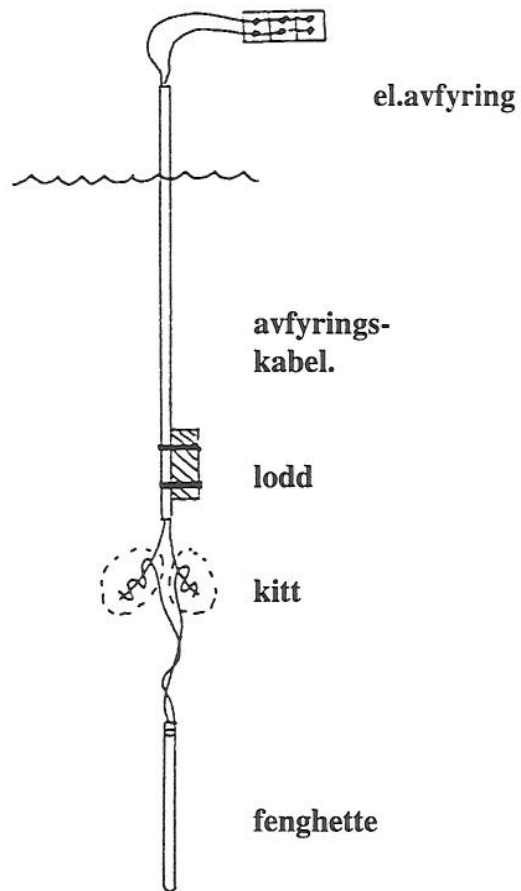
Det er viktig at skremmingen foregår så nær sprengningsstedet som mulig. Hvor lenge en skal holde på vil være avhengig av hvor lang tid det tar for fisken å svømme ut av fryktområde. Større fisk vil antagelig være ute etter kort tid, mens en del mindre fisk og yngel kanskje aldri finner veien ut av området. Eksposeringstid og avfyringsintervall må derfor vurderes ut fra praktiske og skjønnsmessige kriterier. Rent praktisk vil det være lett å klargjøre og avfyre 20 elektriske fenghetter på under en time. En vet lite om hvor fort fisken vender tilbake i et fjordområde etter at eksposeringen er avsluttet og det er derfor viktig at det går kortest mulig tid fra skremmingen er avsluttet til sprengningen foretas.

Forslag til praktisk gjennomføring:

UTSTYR:

- 20 stk elektriske fenghetter nr 8
- 20 m avfyringskabel (vanlig lampettledning er brukbar)
- 1 stk avfyringsapparat (eller batteri som kan gi min 9V/2A)
- 100 g kitt av typen Bostikk (normalt ikke nødvendig)
- 1 stk lodd (metallstykke på ca 1/2 kg)

Sprengningen av fenghetter bør foregå på samme sted og dyp som for hovedsprengningen



1- 2 mann i en rask lettbåt vil lett kunne gjennomføre skremmetiltaket

APPENDIKS C

BRUK AV FENGHETTER VED NEDSKALERTE FORSØKSSPRENGNINGER

I de tilfelle hvor topografien blir uoversiktlig kan det være vanskelig å beregne skjermingstapet mellom sprengningssted og oppdrettsanlegg. Ut fra en skalert prøvesprengning får man et bedre grunnlag for å vurdere belastningen på anlegget.

Ved å avfyre fenghetter så nær sprengningspunktet som mulig og samtidig måle lydtrykket ved oppdrettsanlegget, kan man med større sikkerhet beregne hvilket lydtrykknivå en ladning på W kg vil sette opp i anlegget.

For fengheten:

Beregnet lydtrykknivå: $L_f = 243 - 20 \lg r - (h + b)$
 Målt maksimalt nivå: L_m

For sprengladningen:

Beregnet lydtrykknivå: $L_s = 267 + 8.5 \lg W - 20 \lg r - (h + b)$ (kun lineær
 beregning aktuell)

Søkt lydtrykknivå: L_x

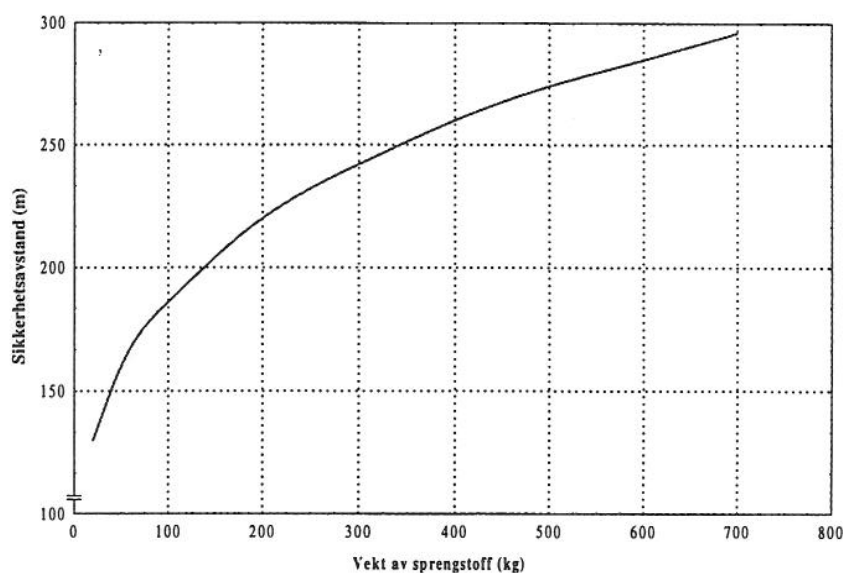
Ved å kombinere disse uttrykkene kommer en frem til:

$$L_x = L_m + 24 + 8.5 \lg W \quad (C.1)$$

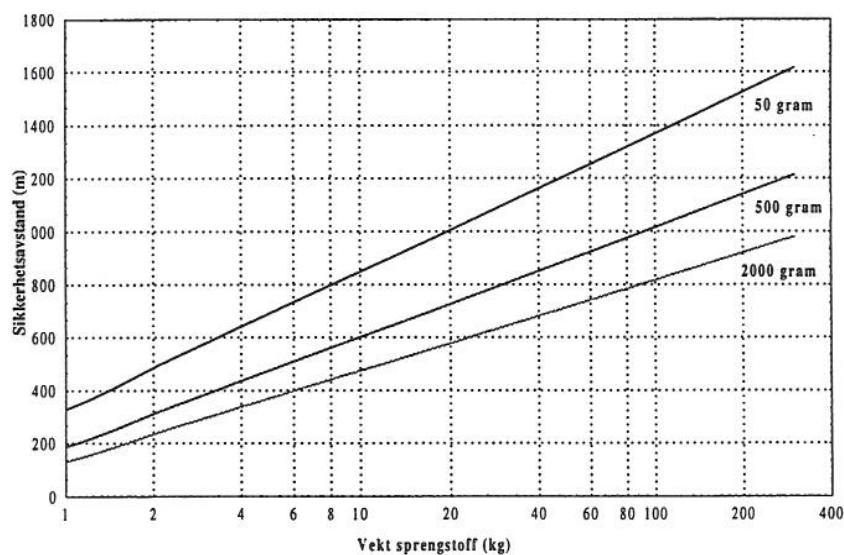
APPENDIKS D

YELVERTONS MODELL FOR SIKKERHETSAVSTANDER.

Ved vurdering av døds- og skadepotensiale hos fisk vil diagrammene i figur D.1 og D.2 kunne gi indikasjoner på omfanget. Kurvene kan ikke uten videre anvendes på fisk i oppdrettsanlegg idet skade kan oppstå for lavere sprengningsbelastninger hvis det oppstår panikk i merdene.



Figur D.1 Avstand fra sprengningspunktet hvor en med høy sansynlighet ikke forventer dødlighet hos fisk med vekt 2 kg som funksjon av sprengstoffvekt.

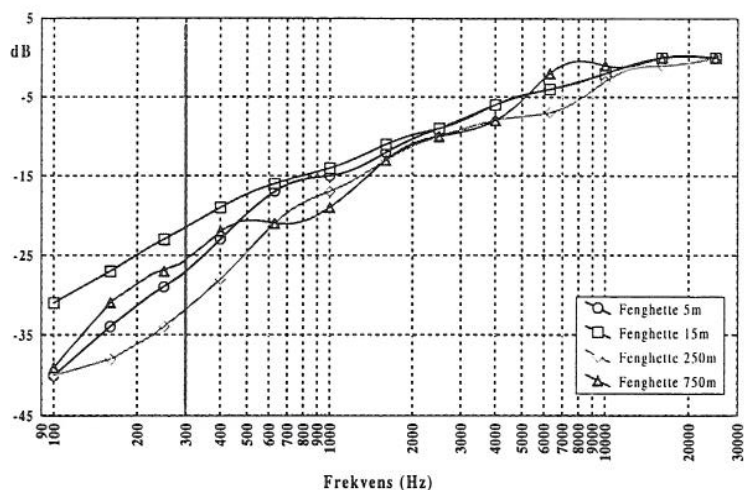


Figur D.2 Avstand fra sprengningspunktet hvor en med høy sansynlighet ikke forventer direkte fysisk skade på fisk med vekter på 50, 500 og 2000 gram som funksjon av sprengstoffvekt.

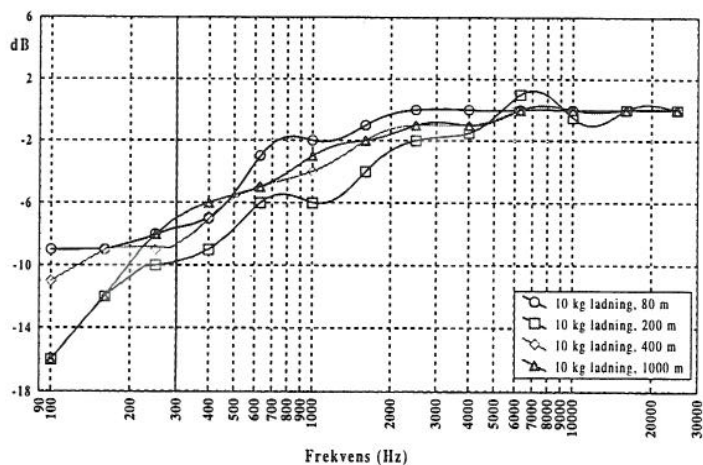
APPENDIKS E

INTEGRERTE AMPLITUDESPEKTRA

Eksempler på variasjon i integrerte amplitudespektra i dB under full båndbredde. Sprengnings- og registreringsdyp 5 m i fritt felt. Spekterene fremkommer ved å registrere maksimalamplituden i sjokkbølgen for økende lavpassfiltersetting.




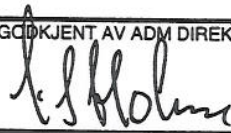
Figur E.1 Fenghetter, bunndyp 15- 20 m



Figur E.2 10 kg TNT ladninger, bunndyp 50 m

FORDELINGSLISTE

FFIU Dato: 21 oktober 1997

RAPPORT TYPE (KRYSS AV)		RAPPORT NR	REFERANSE	RAPPORTENS DATO
<input checked="" type="checkbox"/>	RAPP	<input type="checkbox"/>	NOTAT	<input type="checkbox"/>
	RR	97/04847	FFIU/679/132	21 oktober 1997
RAPPORTENS BESKYTTELSESGRAD		ANTALL EKS UTSTEDT	ANTALL SIDER	
UGRADERT		34	35	
RAPPORTENS TITTEL		FORFATTER(E)		
BEGRENSNING AV SKADE PÅ MARIN FAUNA VED UNDERVANNSS- SPRENGNINGER		KJELLSBY Erling, KVALSVIK Kurt		
FORDELING GODKJENT AV FORSKNINGSSJEF:		FORDELING GODKJENT AV ADM DIREKTØR:		
				

EKSTERN FORDELING

INTERN FORDELING

ANTALL	EKS NR	TIL	ANTALL	EKS NR	TIL
2		FO/F, Bygg- eiendom og miljøavd	14		FFI-BIBL
2		FKN/KOMSJØNORD v/Kk SSO Bernt H Utne	1		Adm dir/Stabssjef
2		FKS/KOMSJØSØR	1		FFIE
2		Kurt Kvalsvik, Havforskningsinstituttet, Fangstavdelingen	1		FFISYS
1		John Dalen Havforskningsinstituttet	1		FFITOX
			1		FFIVM
			1		Forsker Erling Kjellsby, FFIU
			5		FFIU

FFI-K1 Retningslinjer for fordeling og forsendelse er gitt i Oraklet, Bind I, Bestemmelser om publikasjoner for Forsvarets forskningsinstitutt, pkt 2 og 5. Benytt ny side om nødvendig.