

NOTAT

Effekter av undervannssprengninger på torsk *Gadus morhua*

Observasjoner fra sprengninger ved Nedre Stedje i Sogndal kommune 2005. Litteraturstudium over tidligere arbeid.

Vidar Trettenes



Bilde 1. Tatt fra Fimreitevegen i retning nord, nordvest. Oppdrettsanlegget på Skjer mot venstre bildekant og sprengningsområde fra naust mot Sogndal i høyre bildekant.

N-NR 6/2006

Avdeling for ingeniør- og naturfag

 HØGSKULEN i
SOGN OG FJORDANE



Effekter av undervannssprengninger på torsk *Gadus morhua*

Observasjoner fra sprengninger ved Nedre Stedje i Sogndal kommune 2005. Litteraturstudium over tidligere arbeid.

Vidar Trettenes



Bilde 1. Tatt fra Fimreitevegen i retning nord, nordvest. Oppdrettsanlegget på Skjer mot venstre bildekant og sprengningsområde fra naust mot Sogndal i høyre bildekant.

TITTEL	NOTATNR.	DATO
Effekter av undervannssprengninger på torsk <i>Gadus morhua</i>. Observasjoner fra sprengninger ved Nedre Stedje i Sogndal kommune 2005. Litteraturstudium over tidligere arbeid.	6/06	5.2.2007
PROSJEKTTITTEL	TILGJENGE	TAL SIDER
	Åpen	20
FORFATTAR	PROSJEKTLEIAR/-ANSVARLEG	
Vidar Trettenes	Tarald Seldal	
OPPDRAKSGJEVAR	EMNEORD	
Statens Vegvesen		
SAMANDRAG		
<p>Det ble ikke påvist unormal dødlighet i oppdrettsanlegget ved Skjersnes i forbindelse med undervannssprengningene ved Nedre Stedje i 2005. Og våre observasjoner og teoretiske beregninger samsvarer godt med tidligere forsøk på området (Larsen <i>et. al.</i>, 1993, Kjellsby og Kvalsvik, 1997). Iflg. våre observasjoner og beregninger viste fisken tegn på frykt/flukt. Og en situasjon med denne type stress kan være med å svekke fiskens immunsystem. Antallet sprengninger har vært få og vi vet for lite om hva et større antall gjentatte sprengninger kan føre til med hensyn på fiskens adferd, appetitt og immunrespons.</p> <p>Når det gjelder dødlighet hos villfisk var skadeomfanget på nivå med det en fant under sprengningene i Lærdal høsten 1993 og våren 1994 (Johnsen <i>et.al.</i> 1994).</p> <p>Tilgangen på litteratur syntes i første omgang å være begrenset jf. litteratursøk på internett. Det viste seg imidlertid etter å ha mottatt noe litteratur at omfanget var betydelig men likevel vanskelig tilgjengelig (pers.med. bibliotekar, Inger Hågård, HSF). Og en del litteratur har ikke vært mulig å skaffe. I referanselisten er det to lister, en liste med litteratur referert til i denne rapporten og en liste med annen litteratur på området som ble mottatt men ikke er benyttet av ulike årsaker. I begge listene er det et betydelig antall andre kilde henvisninger som også kan være til nytte.</p>		
PRIS	ISSN	ANSVARLEG SIGNATUR
kr 35,-	0806-1696	Tarald Seldal dekan

Forord

Dette notatet er et resultat av at Statens Vegvesen skulle foreta undervannssprengninger i sjø ved nedre Stedje i Sogndal Kommune i perioden april/mai 2005-mai 2006. I denne forbindelse uttrykte Høgskulen i Sogn og Fjordane (HSF) sin bekymring med tanke på torsken i oppdrettsanlegget på Skjersnes ca 1000m unna. HSF og Statens Vegvesen ble derfor enig om å gjennomføre et prosjekt knyttet til effektene slike sprengninger kan ha på fisk. Det er i hovedsak gjennomført et litteraturstudium men visuelle observasjoner ved hjelp av undervannskamera er også utført og kommentert. Rapporten baserer seg kun på sprengninger utført i 2005, da sprengninger i 2006 ikke ble varslet.

Statens Vegvesen har finansiert halvparten av undervannskameraet som HSF har benyttet til denne undersøkelsen og som HSF overtar når arbeidet er fullført. Statens vegvesen finansierer også rapporten som her er utarbeidet av HSF ved undertegna.

Prosjektleder ved HSF er dekan Tarald Seldal og for Statens Vegvesen Susanne Svardal.

Sogndal 05. 02. 2007

Vidar Trettenes

Innhold

1. Innledning	5
2. Materiale og metode	5
3. Resultat	8
4. Diskusjon	9
5. Sammendrag	11
Litteratur	12
Appendiks	14

1. Innledning

Det er kjent at sprengninger under vann kan føre til omfattende ødeleggelser på dyrelivet. Og dynamitt har også vært benyttet som fiskemetode bl.a i Middelhavet. Ved eventuelle sprengninger der ladningene er plassert i vannmassene, vil stigetiden ved sprengningen være i størrelsesorden mikrosekund (milliondels sekund) og det er lite som skjermer for sjokkbølgen. Dette kan altså føre til skader på fisk i nærheten av sprengningsstedet i form av vevskader og indre og ytre blødninger uten at fisken nødvendigvis dør umiddelbart. Skadeomfang er avhengig av størrelsen på ladningene, avstanden fra sprengningsstedet og om sprengningen skjedde i vannmassene eller i grunnen eller på annen måte var dekket til.

”Konsekvensutredning for Havsul I, Sandøy kommune”, (Johnsen G H, 2005)

Denne rapporten er et resultat av at Statens vegvesen skulle utføre undervannsprengninger i nærhet til Høgskulen i Sogn og Fjordane (HSF) sitt oppdrettsanlegg ved Skjersnes i Sogndal. Den skulle opprinnelig ha et større omfang. Men pga sterkt redusert antall sprengninger har det ikke vært mulig å vurdere alle de forhold som først var planlagt undersøkt, bl.a adferdsendringer over tid, appetittendringer og dødlighet, fysiologi. Etter et møte mellom oppdragsgiver (Statens Vegvesen) og HSF våren 2006, ble det bestemt å endre omfanget og rapporten gir i all hovedsak en oversikt over tidligere arbeider på området. Samt resultater fra de sprengningene som ble utført i fylling ved Nedre Stedje. Det er gjort avgrensinger i søk mhp årstall, litteratur eldre enn 1960 taes i utgangspunktet ikke med til vurdering. Men er med i resultat under antall treff på ulike søkeord og kombinasjoner.

2. Materiale og metode

Det er i hovedsak utført litteratursøk via internett i bibliotekdatabaser som ”bibsys” samt søkemotorer som Google mfl. Dette gav relativt få treff (spesielt mhp ordet undervannsprengninger), men de arbeidene som ble mottatt fra biblioteket hadde naturlig nok nye kilde-referanser til området. Typiske søkeord var undervannsprengning(er), underwater explosion, underwater detonation, seismikk og kombinasjoner av disse sammen med fisk og evt aktuell art som i dette tilfelle er torsk (*Gadus morhua*).

For å observere torsken i merdene ble det benyttet undervannskamera (Levert av Bennex As i Bergen) Under de første sprengningene ble det tatt opp video på DV bånd vha et Sony network hidecam. Senere ble det kun foretatt visuellspeksjon av fisken under og etter sprengning uten at det ble tatt opp på bånd. Kameraet kunne heves og senkes samt roteres 360 grader både vertikalt og horisontalt. Merden som torsken gikk i var 5x5x10m(dyp) reelt volum 250m³. Etter de første sprengningene den 4/5-2005 ble det i tillegg dykket til ca 20m dyp ved sprengstedet. Samt at det ble plukket opp død fisk (brisling med mer.) fra overflaten vha båt (V.Aasen). For å kunne vurdere hydrografi ble det benyttet en STD måler (mini std/ctd modell SD 204) levert av SAIV As. Denne måleren registrerer bla. salinitet, temperatur, oksygen, densitet. Målingene er vist som diagrammer, grunnlagsdata er ikke med som tabell i denne rapporten men kan skaffes.

Avstand fra merd til sprengstedet er målt vha GPS (Garmin 76s) og medfølgende kartprogram for pc (Atlantic Bluechart versjon 6), zoom høyde i kart: 500m. Nøyaktigheten under målingene var 4,8m.

Nedenfor er det diagrammer for hydrografi den 1 og 3 juni 2005. Det ble ikke målt hydrografi de øvrige sprengningsdatoer pga kort varsel eller fordi måleren ikke var tilgjengelig.

Dybde måleren er trolig ikke fintfølende nok til å kunne registrere en trykkendring og uansett er måleintervallet i denne sammenheng for stort (2 sekunder mellom hver måling).

Hydrografi 1 juni

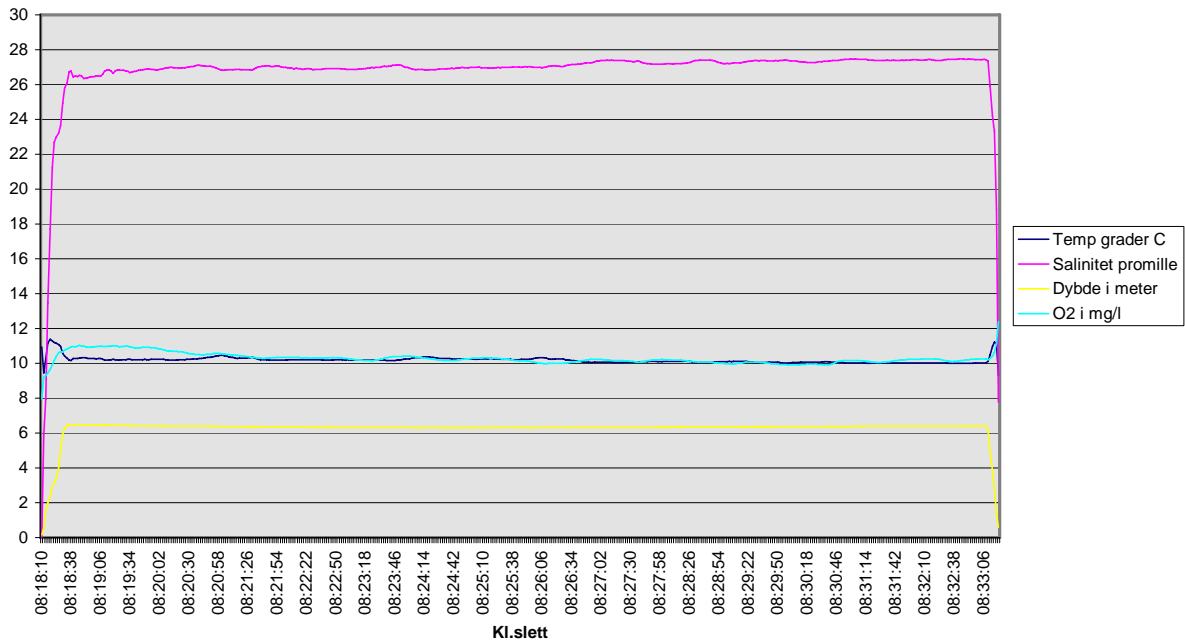


Diagram 1: Oversikt over temperatur, salinitet, dybde og oksygen under sprengningsforløpet 1 juni.

Hydrografi 3 juni 2005

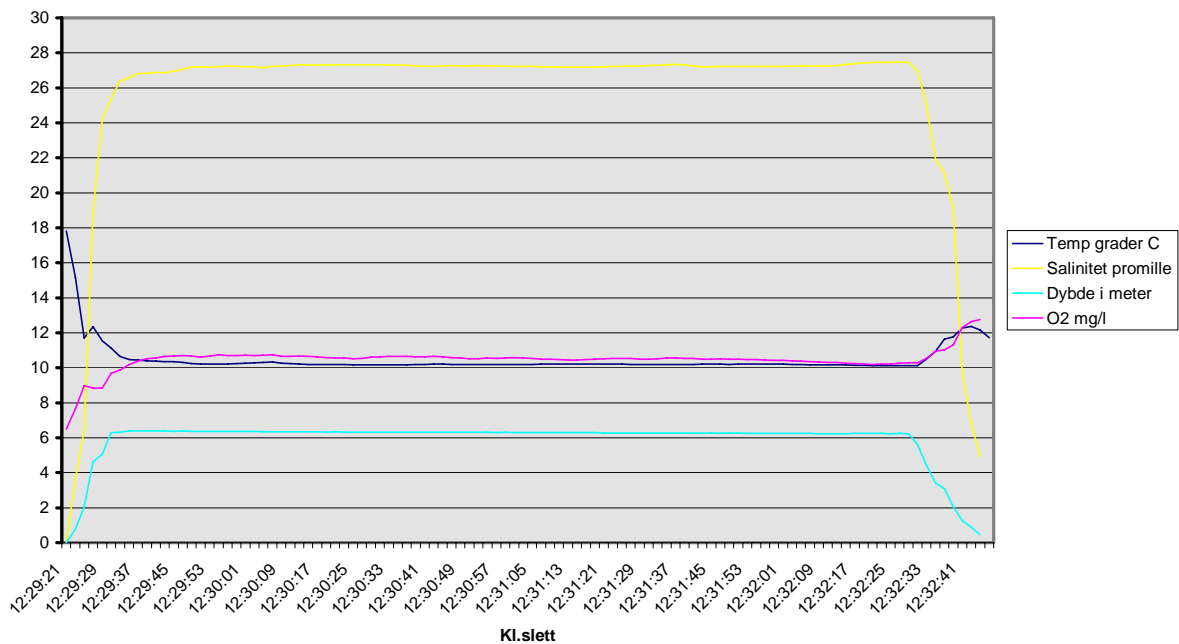


Diagram 2: Oversikt over temperatur, salinitet, dybde og oksygen under sprengningsforløpet 3 juni.

Tabell 1. Oversikt over sprengninger.

Dato for sprengning	Antall ladninger	Ladning i kg	Vanndyp i meter
04.05.2005	3	12,5, 13, 14	Ca 8
01.06.2005	1	28	2-10
03.06.2005	1	17	3-14
20.12.2005	15	5	5-8
21.12.2005	10	5	4-6

Sprengninger den 4/5-2005: Undervannskamera plassert på 8m dyp i merden. 1.sprengning kl 1151 på ca 8m dyp (utenpå fylling), det ble brukt **12,5kg** dynamitt. Første opptak på video varte i 8minutter inkl 4min. etter sprengning. Sprengningen kom etter 4,5min etter at opptaket startet.

2.sprengning kom kl 1227, **13kg** ladning. Og 3.sprengning kom kl 1328 med **14 kg** ladning. Sprengningene foregikk i kartprofil **1115-1140** (se vedlegg kopi av kart fra Statens Vegvesen). Dvs ca 1000m fra anlegget på Skjer.

Værforhold: Utfjærende sjø (Appendiks tabell 1). Vind fra vest/sørvest (inn fjorden) laber/frisk bris, så vidt hvite skumtopper på bølgene. Hovedstrøm i sjø gikk innover fjorden.

Sprengning den 1/6-2005: I samband med denne sprengningen ble en STD måler utplassert kl 0915 måleren stod ute i 10 min dvs under hele sprengningsforløpet. Måleren ble plassert på 6,4m dyp. Sprengladningene ble denne gang plassert inne i rør med ca 5-7m overdekning og fra 2-10m dyp. Og ca 10 m mellom hvert rør. Til sammen **28kg** dynamitt ble sprengt samtidig. Sprengningene foregikk i kartprofil **1120-1130** (se vedlegg kopi av kart fra Statens Vegvesen). Dvs ca 1000m fra anlegget på Skjer. Værforhold: Utfjærende sjø (Appendiks tabell 2). Stille fjord og strøm ut fjorden.

Sprengning den 3/6-2005: Denne sprengningen ble også tatt opp på DV video (samme kamera som over) Opptaket startet kl 1225 og ble stanset kl 12.35.30. Totalt 10min og 31 sek. STD målingene ble startet kl 1229 og sprengningen fant sted kl 12.30.30. Sprengningene skjedde i rør inne i fylling fra 3-13/14m dyp med 10m mellom hvert av de 2 rørene. Sprengningene foregikk i kartprofil **1140-1150** (se vedlegg kopi av kart fra Statens Vegvesen). 17 kg ladning.

Sprengninger den 20/12-2005: Kl 1355-1630. Hadde fått vite at det egentlig ikke skulle foretaes flere sprengninger og hadde derfor ikke tilgjengelig opptaksutstyr for disse sprengningene mao. kun visuell observasjon direkte. De 5 første ladningene foregikk i kartprofil (1305-1325) (se vedlegg kopi av kart fra Statens Vegvesen) fra kl 1355-1410, ca 850m fra Skjer. To ladninger a **5 kg** ble sprengt i kartrute (1335-1350) (se vedlegg) fra kl 1520-1600, ca 780-850m fra Skjer. **8stk a 5kg** ble sprengt i kartprofil (1250-1300) i perioden kl 1545 til kl1630, ca 860-900m fra tunnelmunning mot Sogndal. Sprengningene foregikk i (rør?) på 5-8m dyp. Til sammen ble det sprengt 15 ladninger denne dagen. (Kartprofil 1325-1350) ligger nærmest akvastasjonen. (ca 780m). Værforhold: Utfjærende sjø (Appendiks tabell 4).

Sprengning den 21/12-2005: Nye sprengninger i kartrute (1170-1245) fra kl 1010-1023, ca 860-960m fra Skjer. **10 ladninger a 5kg**. Dybde 4-6m. Værforhold: Fløende sjø (Appendikstabell 5). Vind ut fjorden (svak). Strøm i sjø innover fjorden, tydelig ”bul” på notvegg.

Sprengninger foretatt i 2006 er ikke blitt varslet og dermed heller ikke registrert.

Registrering av dødlighet har foregått etter vanlige rutiner og er vist i tabellene nedenfor som akkumulert dødlighet pr måned og i % pr måned i forhold til antallet til enhver tid.

Tabell 2. Dødlighet i perioden juni – des. 2005

Måned	Antall døde	% døde
Juni	39	0,62
Juli	51	0,81
August	23	0,37
September	63	1,02
Oktober	75	1,23
November	53	0,88
Desember	12	0,20

Tabell 3. Dødlighet i perioden jan – okt. 2006

Måned	Antall døde	% døde
Januar	45	0,63
Februar	8	0,11
Mars	30	0,43
April	99	1,41
Mai	17	0,18
Juni	11	0,11
Juli	11	0,11
August	1	0,01
September	4	0,04
Oktober	2	0,02

3. Resultat

Sprengninger den 4/5-2005: Vidar Aasen plukket opp en god del brisling (*Sprattus sprattus*) >400 stk, 3 torsk (*Gadus morhua*) og 1 hyse (*Melanogrammus aeglefinus*).

Det ble antydnet at ca 20% kommer til overflaten. Fugler fiskemåke mfl. plukket også en del. Florø dykkerservice observerte 1-2 døde brisling pr m2 på 20m dyp. Det ble ikke observert noen spesielle reaksjoner fra torsken i merdene.

Sprengning den 1/6-2005: Det ble observert en tydelig knitre/slurpe lyd under flytepontongene i anlegget.

Sprengning den 3/6-2005: Det har nå vært store salinitetsforandringer siden 1/6-2005. Den 2/6-2005 ble det observert sørvest vind med oppstuing av ferskvann. Samme ”knitre/slurpe” lyd ble også observert denne gangen. Værforhold: Utfjærende sjø (Appendiks tabell 3).

Sprengninger den 20/12-2005: Fisken viste kollektive fryktutbrudd men det hele gikk over på et par sekunder.

Sprengning den 21/12-2005: Kollektiv fluktreaksjon nedover i merden etter 2. og 7. smell. Observerer kollektive rykk i fiskegruppen før smellet (lyden går 4 ganger fortere i vann enn i luft). Bra appetitt umiddelbart etter sprengning.

Sprengningene ved Nedre Stedje førte ikke til synlige endringer i adferd etter at sprengningene ble avsluttet. Og det ble heller ikke registrert endringer i appetitt. Fisken ble overvåket på vanlig måte i forbindelse med røktingen samt med undervannskamera fram til denne dag.

I etterkant har den akustiske belastning på fisk ved undervannsprengninger blitt beregnet teoretisk. Og det ble funnet verdier i området 160 – 175 dB ref 1uPa. (Appendiks R1-R5)

Litteratursøk

Litteratursøk i Bibsys på undervannsprengninger gav 4 treff i bibliotekbasen, ingen treff i emneportal, forskdok publikasjoner og forskdok prosjekter. Se hovedreferanseliste for relevant litteratur og tilleggsliste for litteratur som ble mottatt men ikke er referert.

Undervannsekspløsjoner gav 1 treff:

Underwater explosion gav 18 treff, kun 3 ble betraktet som relevant:

Følgende 3 titler ble betraktet som relevant og forsøkt bestilt:

- ” **Hydrodynamics of explosion : experiments and models**”
- “ **Water waves generated by underwater explosion**”
- “ **Impact and explosion : analysis and design**”

Underwater blasting gav 5 treff:

Underwater detonation gav 3 treff.

Underwater blasting operations gav 0 treff.

Underwater explosive charge gav 0 treff.

4. Diskusjon

I denne studien er grunnlagsdataene få og omfanget begrenset, men våre observasjoner samsvarer med tidligere forsøk på området (Larsen *et.al* 1993). Som viser lav dødlighet i avstander >150m fra sprengstedet. Men at fisken kan påvirkes i avstander på over 1000m. Jf

våre observasjoner fra sprengningene den 20 og 21/12-2005. Samt de teoretiske beregningene i for akustisk belastning på fisk i appendiks R1-R5.

Flere forsøk har vist at undervannsekspløsjoner kan føre til skade og dødlighet på fisk. Under sprengninger i Kåfjorden (sidefjord til Altafjorden) ble det 13.juli 1989 foretatt seismiske sprengninger med ladninger fra 50-150gram totalt 44 salver. Et lakseanlegg som var plassert ca 2km fra eksplosjonsstedet opplevde kraftig appetittsvikt noen dager etter sprengningene, mens to torskeanlegg som lå henholdsvis 500 og 1200m fra eksplosjonsstedet observerte momentan appetittsvikt. Det ble også registrert omfattende dødlighet med opp mot 40% dødlighet første uken. (Nilsen P. 1989). Ved Isnestofen i Altafjorden ble det 19juli samme år sprengt 24 miner i en salve som tilsvarte 131kg sprengstoff. Innenfor en radius på 11km lå det 4matfiskanlegg (2 torskeanlegg og 2 lakseanlegg). Salven som ble detonert på 2m dyp førte til plutselig høy dødlighet og appetittsvikt i alle anleggene og symptomene var lik det en hadde registrert i Kåfjorden (Nilsen P, 1989). Til tross for store avstander opp mot 11km og at anlegg også lå i le bak øyer/holmer ble det altså registrert effekter av sprengningene. I dette forsøket ble det altså registrert skader langt utover de teoretiske beregningene for sikkerhetsavstand (Yelverton *et al.* 1975), slik det er referert til i (Larsen *et.al* 1993).

Under forsøkene nevnt over som ble gjennomført i regi av Finmarksforskning ble det registrert infarktdannelser hos fisken ved at blodårenes endotel-celler er løsrevet og fullstendig borte fra store områder. Dette førte til trombedannelse og påfølgende infarkt. I tillegg ble det registrert appetittsvikt som varte opp mot 7 uker for torsk. Unormal adferd i opptil 5 uker for torsk. Tilvekst hos torsken som var utsatt for sprengninger ble likevel registrert som like god som uberørt fisk. Svømmeblære skader synes å være en usikker indikator for slike hendelser. Gass-skader i øynene ble funnet hos 1 av 4 torsk og denne skaden ble omtrent ikke registrert hos villfisk i Altafjorden. For øvrig ble det ikke registrert skader på de andre undersøkte organer under dette forsøket. (Nilsen P, 1989). Speare, 1991 viser at lignende skader er blitt observert i fisk med gassblæresyke Og blodpropp er også observert i laks infisert med *Aeromonas salmonicida*. Samt til en viss grad i klinisk frisk fisk (Saunders *et.al* 1992) referert fra (Larsen *et.al* 1993). Mao er slike skader ikke bare typisk for undervannsprengninger.

Skader oppstår spesielt for organismer som utsettes for lydpuiser med rask stighetid (dvs at lydtrykket vokser meget raskt) og med en spissverdi på 230dB ref 1uPa eller mer (<http://www.olf.no/miljo/miljorapporter/?18395>). Dette er tilfelle med undervannsekspløsjoner. Men luftkanoner som benyttes ved seismiske undersøkelser har relativt langsom stighetid og derfor kan organismene tåle et høyere spissttrykk. Spissttrykk høyere enn 230dB oppstår bare i umiddelbar nærhet av luftkanonen. Havforskningsinstituttet ved (Dalen *et.al.* 1996, i (<http://www.olf.no/miljo/miljorapporter/?18395>)) konkluderte med at antallet egg og yngel som befinner seg innenfor den farlige avstanden til en luftkanon er så lite at det ikke har noen betydning for fiskebestanden. De beregnet en dødlighet på 0,0012%/dag (<http://www.olf.no/miljo/miljorapporter/?18395>). Havforskningsinstituttet utførte i 1993 en studie der en såg på effekter av seismikk skyting på fangst og fangstilgjengelighet av torsk og hyse. Undersøkelsene viste reduserte trålfangster av torsk ut til 33km fra lydilden, men analyse av tallmaterialet gir ikke sikre holdepunkter for en skremmeradius utover 1-2km fra seismikkfartøyet (<http://www.olf.no/miljo/miljorapporter/?18395>).

Kirkwood and Brinkley (1945) i (Bulson, P.S 1997) kalkulerte at energien fra en undervanns sjokkbølge minket raskt etterhvert som bølgen ble spredt utover, omtrent 30% ble oppløst

innen 5 ganger radien av ladningen og 48% innen 25 ganger radien. Energimålinger funnet i eksperimentelle trykk/tid kurver, viser generelt 25% lavere energi enn det de ovenforstående kalkulasjonene viste (Bulson, P.S 1997).

Larsen *et.al.* 1993, har studert effekten av undervannssprengninger på fisk og forsøkene støtter opp om tidligere forsøk på området som bl.a viser modeller for forventet dødlighet som funksjon av avstand til sprengningspunktet (Yelverton *et al.* 1975). Disse forsøkene viser i motsetning til registreringane frå Kåfjorden og Altafjorden lav dødlighet i avstander > 150m fra sprengstedet med ladning på 10kg tnt på 5m dyp. Dette er nær opp mot de ladninger som ble benyttet ved Nedre Stedje og samsvarer med de registreringene for dødlighet ved akvastasjonen på Skjer. Larsen *et. al.*, 1993 deler området fra sprengstedet og utover inn i 3 soner; nærfeltsonen, overgangssonen og fjærfeltsonen. Han viser til at det er vanskelig å angi eksakte grenser for de ulike sonene. Men med en sprengladning på 10kg TNT avfyrt på 5meter dyp, kan en regne nærfeltsonen fra sprengstedet til 1% dødlighetsgrensen (ca 75m). Grensen mellom overgangssonen og fjærfeltet vil antakelig ligge over 1000m fra sprengningspunktet. I overgangssonen (skadesonen) er sannsynligheten for momentan dødlighet liten. Anlegget på Skjer ligger nær opp mot overgangen mellom overgangssonen og fjærfeltet og en har ikke registrert unormal dødlighet i forbindelse med sprengningene (se appendiks tabell 6 og 7). Men en kan ikke utelukke at fisken blir stresset jf observasjonene fra sprengningene i desember der vi observerte frykt/fluktreaksjon hos torsken. Dette samsvarer med (Larsen *et.al.*,1993) som viser til at laks plassert i fjærfeltet (1000m fra sprengning med 10kg TNT) hadde tegn som kunne tyde på at den var stresset ut over det som som var tilfelle for kontrollgruppen. Lydtrykket (gjennomsnitt av 7 skudd) var her på 217dB ref 1 uPa. Dette er langt over fryktterskelen for torsk og muligens også over fiskens smerteterskel (Knudsen og Enger, 1980) i (Larsen *et. al.*, 1993).

I samband med minesprengning (på 227kg sprengstoff) ved Helligvær ble det i et oppdrettsanlegg for laks (plassert 1,7km fra sprengstedet og godt skjermet) observert vha undervannskamera en svak dykking på selve sprengningstidspunktet med en rask normalisering etter få sekunder (Soldal A. V. 1990). I samme forsøk ble det ved makroskopiske, histopatologiske og hematologiske undersøkelser vist begynnende indre skader. I en annen rapport (Kjellsby E., 1993) fra samme forsøk blir det ikke rapportert om patologiske forandringer på laksen i anlegget. Dykkeren som filmet laksen under forsøket rapporterte at han hørte smellet fra detonasjonen men karakteriserte det som svakt. Fra overflaten ble det ikke observert noen reaksjoner. Lydtrykksnivået i forsøket ved Helligvær ble målt til 163dB ref 1 uPa dette er innenfor laksens fryktterskel og kan forklare laksens tendens til å ville dykke (Kjellsby E., 1993). I denne rapporten ble det også satt opp en tabell som antyder sammenhengen mellom lydtrykksnivåene og de forventede korresponderende virkninger. Sammen med de teoretiske formlene for beregning av lydtrykksnivået kan dette være gunstig å bruke i forkant av nye sprengnings prosjekt der virkningene på oppdrettsanlegg i nærheten er usikre.

5. Sammendrag

Det ble ikke påvist unormal dødlighet i oppdrettsanlegget ved Skjersnes i forbindelse med undervannssprengningene ved Hagelin i 2005. Og våre observasjoner og teoretiske beregninger samsvarer godt med tidligere forsøk på området (Larsen *et. al.*, 1993, Kjellsby og Kvalsvik, 1997). Iflg. våre observasjoner og beregninger viste fisken tegn på frykt/flukt. Og en situasjon med denne type stress kan være med og svekke fiskens immunsystem. Antallet

sprengninger har vært få og vi vet for lite om hva et større antall gjentatte sprengninger kan føre til med hensyn på fiskens adferd, appetitt og immunrespons.

Når det gjelder dødelighet hos villfisk var skadeomfanget på nivå med det en fant under sprengningene i Lærdal høsten 1993 og våren 1994 (Johnsen *et.al.* 1994).

Tilgangen på litteratur syntes i første omgang å være begrenset jf. litteratursøk på internett.

Det viste seg imidlertid etter å ha mottatt noe litteratur at omfanget var betydelig men likevel vanskelig tilgjengelig (pers.med. bibliotekar, Inger Hågård, HSF og epost fra bibliotekar Wenche Vadseth, Fiskeridirektoratet/Havforskningsinstituttet). Og en del litteratur har ikke vært mulig å skaffe. I referanselisten er det to lister, en liste med litteratur referert til i denne rapporten og en liste med annen litteratur på området som ble mottatt men ikke er benyttet av ulike årsaker. I begge listene er det et betydelig antall andre kilde henvisninger som også kan være til nytte.

Litteratur

Bulson P.S. (1997). Explosive Loading of Engineering Structures. A history of research and a review of recent developments. E & FN Spon, an imprint of Chapman & Hall, 2-6 Boundary Row, London SE1 8HN, UK.

Johnsen, G. H., Kålås S., Kambestad A. (1994).

Vurdering av skader på fisk ved undervannsprengninger i Raudbergbukta i Lærdal : erfaringer fra sprengningsarbeidene høsten 1993 og våren 1994. Rådgivende biologer As, rapport nr 139, november 1994.

Johnsen, G. H. (2005). Konsekvensutredning for Havsul I, Sandøy kommune. Tema: Marin flora og fauna. Rapport nr. 849.

Kjellsby, E (1993). Akustisk eksponering av fisk ved undervannsprengninger. FFI/rapport - 93/2004

Kjellsby, E. (1997). Begrensning av skade på marin fauna ved undervannsprengninger . FFI/RAPPORT-97/ 04847.

Larsen T., Kjellsby E., Olsen S. (1993). Effekter av undervannsprengning på fisk. Sluttrapport NFFR-prosjekt 1101-701.356
Rapport fra senter for marine ressurser NR.11-1993

Larsen T., Johnsen H. K., Valheim M., Olsen R.E., Lund F. R., Kjellsby E., Olsen S. (1992). Effekter av undervannsprengning på fisk. FDH-rapport 1992:2

Nilsen P., (1989). Om oppfølging av oppdrettsfisk etter undersjøiske sprengninger i Alta sommeren 1989. Rapport fra Finnmarksforskning.

Saunders, R.L., A.P. Farrell, and D.E. Knox. (1992). Progression of coronary arterial lesions in Atlantic salmon (*Salmo salar*) as a function of growth rate. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 49: 878-884.

Soldal A. V. (1990). Minesprengning ved Helligvær, effekten på laks i merd. Fiskeriteknologisk Forskningsinstitutt, oppdragsrapport, prosjekt nr. 6170.

Speare, D.J. (1991). Endothelial lesions associated with gas bubble disease in fish. *Journal of Comparative Pathology*, vol. 104, 327-335.

<http://www.olf.no/miljo/miljorapporter/?18395>

Annen litteratur (ikke referert)

Bangash M.Y.H. (1993), *Impact and explosion, analysis and design*. Blackwell Scientific publications.

Caspersen, J. (1968). *Lydtrykk og energispektra fra undervannseksplonasjoner*. Hovedoppgave i fysikk, Universitetet i Oslo.

Dalen J., Raknes A. (1985). *Skremme effekter på fisk frå 3-dimensjonale seismiske undersøkelser*. Havforskningsinstituttet. Prosjekt nr. FO 8504/1802.21

Dalen J., Knutsen G.M. (1985). *Skadeeffekter på egg, larver og yngel frå seismiske undersøkelser*. Havforskningsinstituttet. Prosjekt nr. FO 8505/1802.21

Dietz, R., Mosbech, A. (1989). *Effekter av seismisk aktivitet i arktiske havområder*. Et litteraturstudie. Grønlands Miljøundersøkelser, oktober 1989,

Falk, M. R., Lawrence, M. J. (1973). *Seismic Exploration: Its nature and effect on fish*. Resource Management Branch Central Region. Technical report series No CEN T-73-9.

Gausland, I. (2003). *Seismic surveys impact on fish and fisheries*. Report for Norwegian Oil Industry Association (OLF).

Konya, Calvin J.: *Guide specifications for surface and underwater blasting*. - 2nd ed.
ARK/BYGBIB x-saml 622.235 G94

Mellor, M. (1986): *Blasting and blast effects in cold regions*. Part 2 :
Underwater explosions. Special report 86-16.

Underwater blasting. - Home ed. Nobel Division. Imperial Chemical Industries Limited
DORA x 622.235 Im7u

Yelverton, J. T., Richmond, D. R., Hicks, W., Saunders, K., Fletcher, E. R. (1975). *The relationship between fish size and their response to underwater blast*. Lovelace foundation for medical education and research Albuquerque NM. Report number. DNA 3677T

Østby, C., Nordstrøm, L. & Moe K. A. (2003). *Utredning av konsekvenser av helårlig petroleumsvirksomhet Lofoten-Barentshavet*. Konsekvenser av seismisk aktivitet – ULB delutredning 18. Olje og energidepartementet. Rapport nr. 1138-01-01.

Appendiks

Tidevannstabellene (tabell 1-5) er hentet fra:

http://vannstand.statkart.no/skjema2.php?sted=11&tid=21&mnd=12&aar=2005&antall_dager=1&nivaa=0&typedata=0&tabell=vis+tabell

Via Det norske meteorologiske institutt sine sider.

Tidsperiodene for sprengningene er markert i tabellene med kursiv og større skrift.

I forhold til Bergen som standardhavn er tidskorleksjonen +6min i Måløy og -14min i Lærdal.

Tabell 1.

Måløy 04.05.2005 (tidspunktene er justert for sommertid/vintertid) (høyder er gitt i cm relativt sjøkartnull)		Døgn: 1	
Tid	Observert vannstand (cm relativt sjøkartnull)	Beregnet tidevann (cm relativt sjøkartnull)	Værets virkning (observert) (cm)
00	108	96	12
01	89	75	14
02	75	62	13
03	70	60	10
04	80	70	10
05	101	91	10
06	125	117	8
07	147	140	7
08	156	154	2
09	157	156	1
10	142	145	-3
11	118	123	-5
12	89	93	-4
13	58	64	-6
14	35	41	-6
15	24	31	-7
16	30	35	-5
17	47	54	-7
18	79	84	-5
19	112	116	-4
20	141	142	-1
21	158	156	2
22	164	157	7
23	153	144	9

Tabell 2.

Måløy 01.06.2005 (tidspunktene er justert for sommertid/vintertid) (høyder er gitt i cm relativt sjøkartnull)		Døgn: 1	
Tid	Observert vannstand (cm relativt sjøkartnull)	Beregnet tidevann (cm relativt sjøkartnull)	Værets virkning (observert) (cm)
00	66	67	-1
01	60	62	-2
02	67	68	-1
03	84	85	-1
04	106	108	-2
05	129	131	-2
06	145	147	-2
07	152	153	-1
08	145	147	-2
09	128	130	-2
10	103	105	-2
11	74	77	-3
12	52	54	-2
13	36	39	-3
14	33	36	-3
15	45	47	-2
16	67	69	-2
17	95	97	-2
18	122	123	-1
19	138	141	-3
20	144	148	-4
21	142	143	-1
22	127	127	0
23	103	104	-1

Tabell 3.

Måløy 03.06.2005 (tidspunktene er justert for sommertid/vintertid) (høyder er gitt i cm relativt sjøkartnull)		Døgn: 1	
Tid	Observert vannstand (cm relativt sjøkartnull)	Beregnet tidevann (cm relativt sjøkartnull)	Værets virkning (observert) (cm)
00	101	102	-1
01	76	77	-1
02	60	58	2
03	52	51	1
04	60	57	3
05	78	76	2
06	106	104	2
07	133	132	1
08	152	152	0
09	161	160	1
10	157	154	3
11	137	136	1
12	111	108	3
13	81	77	4
14	54	51	3
15	40	36	4
16	39	34	5
17	51	48	3
18	77	74	3
19	109	106	3
20	137	134	3
21	153	152	1
22	158	156	2
23	148	147	1

Tabell 4.

Måløy 20.12.2005 (tidspunktene er justert for sommertid/vintertid) (høyder er gitt i cm relativt sjøkartnull)		Døgn: 1	
Tid	Observert vannstand (cm relativt sjøkartnull)	Beregnet tidevann (cm relativt sjøkartnull)	Værets virkning (observert) (cm)
00	151	159	-8
01	167	173	-6
02	170	174	-4
03	158	163	-5
04	135	141	-6
05	107	114	-7
06	84	92	-8
07	77	81	-4
08	77	83	-6
09	90	96	-6
10	110	119	-9
11	137	146	-9
12	161	169	-8
13	171	182	-11
14	170	182	-12
15	161	171	-10
16	138	148	-10
17	107	119	-12
18	80	92	-12
19	62	73	-11
20	54	66	-12
21	60	72	-12
22	78	89	-11
23	103	114	-11

Tabell 5.

Måløy 21.12.2005 (tidspunktene er justert for sommertid/vintertid) (høyder er gitt i cm relativt sjøkartnull)		Døgn: 1	
Tid	Observert vannstand (cm relativt sjøkartnull)	Beregnet tidevann (cm relativt sjøkartnull)	Værets virkning (observert) (cm)
00	131	140	-9
01	150	160	-10
02	162	169	-7
03	159	167	-8
04	146	152	-6
05	124	130	-6
06	101	108	-7
07	86	91	-5
08	85	86	-1
09	90	91	-1
10	108	106	2
11	133	129	4
12	157	152	5
13	179	170	9
14	186	178	8
15	188	175	13
16	172	161	11
17	149	138	11
18	120	112	8
19	99	89	10
20	85	75	10
21	79	72	7
22	84	80	4
23	99	98	1

Regneeksempler for forhåndsberedning av akustisk belastning på fisk i oppdrettsanlegg ved undervannssprengninger.

I eksemplene er det benyttet formler og tabeller med mer hentet fra (Kjelsby og Kvalsvik, 1997).

Følgende data inngår i beregningene:

- Ladningstørrelsen W
- Avstanden mellom sprengningsted og oppdrettsanlegg r
- Sprengningsdybde d , og om ladningen blir avsatt på bunnen eller ikke.
- Skjermings- og båndbredde (h og b) ifølge tabell fra (Kjelsby og Kvalsvik, 1997)

Beregning av maksimalnivået i sjokkbølgen:

- kubikkroten av ladningsstørrelsen $\sqrt[3]{W}$
- grensen for ulineær bølgeforplantning: $r_u = 800\sqrt[3]{W}$
- lydtryknivået i fritt felt for: $r < r_u$: $L_r = 274 + 9,5 \lg W - 22,6 \lg r$ (i ulineært forplantningsområde)
- Radius i gassboblen: $a_{gb} = \sqrt[3]{(50W/(d+10))}$ Ingen boblepulser hvis gassboblen bryter overflaten. Hvis ladningen avsettes på bunnen vil gassboblen antagelig bryte overflaten for $d < 2a_{gb}$
- Skjermings- og båndbreddetap bestemmes utfra tabell.

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

R1. Sprengning den 4mai 2005. (Benytter 14kg ladning med avstand tilnærmet 1000m og dybde 8m):

Beregning: $\sqrt[3]{W} = \sqrt[3]{14} = 2,41$

Grense for ulineær forplantning: $r_u = 800\sqrt[3]{W} = 800\sqrt[3]{14} = 1928\text{m}$

Lydtryknivået i fritt felt: $L_r = 274 + 9,5 \lg 14 - 22,6 \lg 1000 = 217\text{dB ref } 1\text{uPa}$

Gassboblediameter: $2a_{gb} = 2\sqrt[3]{(50W/(d+10))} = 6,8\text{m}$ dvs boblepuls.

Maks lydtrykksnivå: $L_m = L_r - (h+b) = 217 - 41 = \underline{176\text{dB ref } 1\text{uPa}}$

R2. Sprengning den 1juni 2005. (Benytter 28kg ladning med avstand tilnærmet 1000m og dybde 5m):

Beregning: $\sqrt[3]{W} = \sqrt[3]{28} = 3,04$

Grense for ulineær forplantning: $r_u = 800\sqrt[3]{W} = 800\sqrt[3]{28} = 2429\text{m}$

Lydtryknivået i fritt felt: $L_r = 274 + 9,5 \lg 28 - 22,6 \lg 1000 = 219,9\text{dB ref } 1\text{uPa}$

Gassboblediameter: $2a_{gb} = 2\sqrt[3]{(50W/(d+10))} = 9,07$ dvs ingen boblepuls.

Maks lydtrykksnivå: $L_m = L_r - (h+b) = 219,9 - 50 = \underline{169,9\text{dB ref } 1\text{uPa}}$

R3. Sprengning den 3juni 2005. (Benytter 17kg ladning med avstand tilnærmet 1000m og dybde 10m):

Beregning: $\sqrt[3]{W} = \sqrt[3]{17} = 2,57$

Grense for ulineær forplantning: $r_u = 800\sqrt[3]{W} = 800\sqrt[3]{17} = 2057\text{m}$

Lydtryknivået i fritt felt: $L_r = 274 + 9,5 \lg 17 - 22,6 \lg 1000 = 217,9\text{dB ref } 1\text{uPa}$

Gassboblediameter: $2a_{gb} = 2\sqrt[3]{(50W/(d+10))} = 6,97\text{m}$ dvs boblepuls.

Maks lydtrykksnivå: $L_m = L_r - (h+b) = 217,9 - 41 = \underline{176,9\text{dB ref } 1\text{uPa}}$

R4. Sprengning den 20des. 2005. (Benytter 5kg ladning med avstand tilnærmet 780m og dybde 5m):

Beregning: $\sqrt[3]{W} = \sqrt[3]{5} = 1,71$

Grense for ulineær forplantning: $r_u = 800 \sqrt[3]{W} = 800 \sqrt[3]{5} = 1368\text{m}$

Lydtrykknivået i fritt felt: $L_r = 274 + 9,5 \lg 5 - 22,6 \lg 780 = 215,3\text{dB ref } 1\text{uPa}$

Gassboblediameter: $2a_{gb} = 2 \sqrt[3]{(50W/(d+10))} = 5,1$ dvs ingen boblepuls.

Maks lydtrykksnivå: $L_m = L_r - (h+b) = 215 - 50 = \underline{165\text{dB ref } 1\text{uPa}}$

R5. Sprengning den 21des. 2005. (Benytter 5kg ladning med avstand tilnærmet 900m og dybde 5m):

Beregning: $\sqrt[3]{W} = \sqrt[3]{5} = 1,71$

Grense for ulineær forplantning: $r_u = 800 \sqrt[3]{W} = 800 \sqrt[3]{5} = 1368\text{m}$

Lydtrykknivået i fritt felt: $L_r = 274 + 9,5 \lg 5 - 22,6 \lg 900 = 213,9\text{dB ref } 1\text{uPa}$

Gassboblediameter: $2a_{gb} = 2 \sqrt[3]{(50W/(d+10))} = 5,1$ dvs ingen boblepuls.

Maks lydtrykksnivå: $L_m = L_r - (h+b) = 213,9 - 50 = \underline{163,9\text{dB ref } 1\text{uPa}}$

Det er knyttet betydelig usikkerhet til disse tallene bla. pga. begrenset tallmateriale og fordi valg av enkelte parameterverdier er basert på skjønn (Kjelsby og Kvalsvik, 1997). I tillegg det faktum at forholdene aldri kan bli helt like fra et sted til et annet.

For torsk og laks ligger fryktterskelen mellom 160-180dB ref 1uPa (Kjelsby og Kvalsvik, 1997).