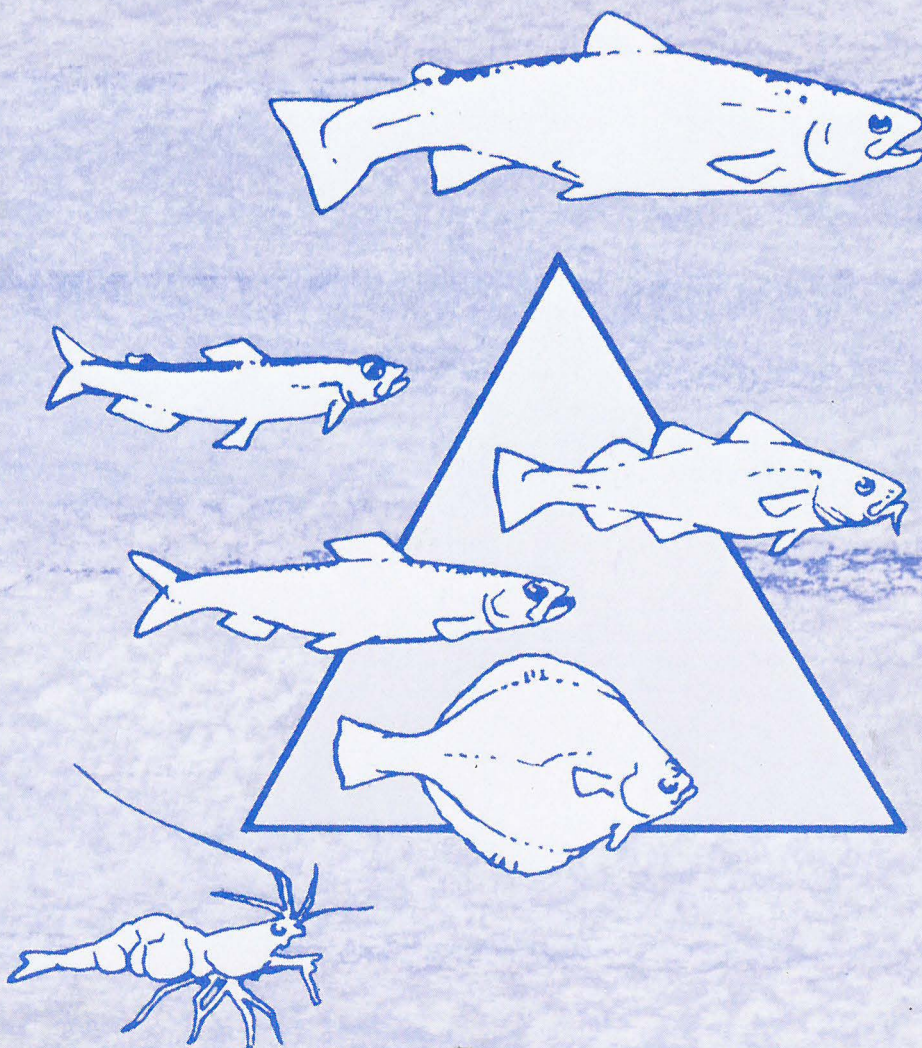


HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

RAPPORT FRA SENTER FOR MARINE RESSURSER NR. 11 - 1993

Tor Larsen, Erling Kjellsby og Steinar Olsen:

**EFFEKTER AV
UNDERVANNSSPRENGNING PÅ FISK**



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

SENTER FOR MARINE RESSURSER

~~1217 / 1716~~

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
RAPPORT FRA SENTER FOR MARINE RESSURSER NR. 11 - 1993

*Fiskeridirektoratets
Bibliotek*

¹ Tor Larsen, Erling Kjellsby og ² Steinar Olsen:
³

EFFEKTER AV
UNDERVANNSSPRENGNING PÅ FISK

(Sluttrapport NFFR-prosjekt 1101 - 701.356)

- 1) FINNMARK DISTRIKTSHØGSKOLE, ALTA
- 2) FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT, HORTEN
- 3) HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

INNLEDNING.

Sommeren 1989 ble det i løpet av 6 dager utført flere sprengninger med høyeksplosiver i Altafjorden. I dagene like etterpå ble det observert økt fiskedødelighet og -skade i flere fiskeoppdrettsanlegg en halv til flere kilometer fra sprengningsstedene (Larsen et al., 1990, Nilsen, 1990). Skadene var av samme karakter som tidligere var blitt beskrevet i forbindelse med undervannssprengning. Det var derfor nærliggende å anta at det var en direkte sammenheng mellom sprengningene og fiskedødeligheten. Tar en imidlertid utgangspunkt i de modeller som normalt benyttes til å beregne fiskedødelighet etter undervannssprengning, så synes en slik antagelse lite sannsynlig på grunn av de lange avstandene mellom sprengningslokalitetene og oppdrettsanleggene i Altafjorden og det man vet om lydutbredelse i sjøen.

I tidligere sprengningsforsøk har en nesten utelukkende lagt vekt på å registrere momentan dødelighet. Dødeligheten etter sprengningene i Altafjorden var på topp noen dager etter at sprengningene hadde funnet sted. Et spørsmålet som derfor ble reist var om dødelighet som følge av undervannssprengning kunne ha et forsinket forløp og at dødelighet rapportert i tidligere forsøk derfor kunne ha vært underestimert. Det ble også reist spørsmål om hvorvidt dødelighet langt utenfor den beregnede sikkerhetsavstand kunne forekomme som følge av gjentatte sprengninger, på grunn av spesielle hydrologiske forhold eller varierende bunntopografi. I de ulike beregningsmodellene for fiskedødelighet etter undervannssprengning er det kun i liten grad tatt hensyn til slike faktorer.

PERSONELL

Prosjektansvarlig har vært professor Steinar Olsen ved Havforskningsinstituttet i Bergen. 1. amanuensis Tor Larsen ved Finnmark Distriktshøgskole i Alta, har stått for planlegging av det meste av feltarbeidet, elektronmikroskopi samt statistisk bearbeiding av det biologiske datamaterialet. Forsker Erling Kjellsby ved Forsvaret Forskningsinstitutt i Horten, har foretatt de akustiske målingene samt analyse av det akustiske datamaterialet. Veterinær Mette Valheim ved Statens Veterinære Laboratorietjenester i Harstad, har utført histopatologiske undersøkelser samt makroskopiske undersøkelser av forsøksfisken.

I tillegg har følgende personer deltatt i feltarbeidet og bidratt med sine spesialfelt:

1. amanuensis Rolf E. Olsen, Finnmark Distriktshøgskole (enzymologi). 1. amanuensis Helge K. Johnsen, Norges

Fiskerihøgskole, Tromsø (fysiologi). Forsker Stein Rubach, Finnmarksforskning, Hammerfest og forsker Aud Vold Soldal, Havforskningsinstituttet (langtidsundersøkelse av vekst og dødelighet). Avd. leder Kjell Hægdaahl, Finnmarksforskning, Hammerfest (planlegging, feltarbeid). Avd. ingeniør. Frank R, Lund, Finnmark Distriktshøgskole (laboratoriearbeid). Menige og befal fra minedykkergruppen, FKN, Ramsund, Bodø (sprengning). Røktene ved Havbrukstasjonen i Forsøl. Mannskapet på F/F "Fjordfangst" og M/K "Staurfjell".

MÅL

Det primære mål med prosjektet har vært å:

- teste ut i hvor stor grad fiskedødelighet etter undervannsprengning kan forutsies ved hjelp av beregningsmodeller
- å registrerer langtidsdødelighet og vekst på sprengningsutsatt fisk
- å finne ut i hvor stor grad bunntopografi og hydrologiske forhold eventuelt påvirker effekten av sprengning på fisk
- å registrere stress hos fisk plassert i antatt trygg avstand fra sprengningene
- å teste forskjellen i effekt mellom dynamitt og TNT
- å teste den kumulative effekten av gjentatte sprengninger

GJENNOMFØRING

Generelt

Forsøkene ble utført i Ytre Torskefjorden på Kvaløya i Finnmark. Utførelse, analysemetoder, forsøksdesign er detaljert beskrevet i egen rapport (Larsen et al., 1992) og i publikasjoner under skriving (Larsen et al., 1993, under bearb.)

Modeller for beregning av dødelighet hos fisk utsatt for undervannsprengning.

En modell som ansees som pålitelig under forhold tilsvarende forholdene under sprengningene i Altafjorden, er beskrevet av Yelverton (1975). Modellen vil under vanlige omstendigheter (sprengladninger avfyrt på relativt grunt vann) angi en sikkerhetsavstand varierende fra noen få titalls meter til noen hundre meter avhengig av en rekke faktorer som f.eks., ladningens størrelse, ladningens dybde, fiskens størrelse og fiskens dybde (se Wright, 1982, for en oversikt).

I figur 1 er Yelvertons modell illustrert ved at den forventede dødeligheten er angitt som funksjon av avstanden fra sprengningspunktet. Som figuren viser vil den forventede dødeligheten synke raskt med avstanden fra sprengningspunktet. Avstanden til det punkt hvor en med høy sannsynlighet ikke forventer dødelighet kalles sikkerhetsavstanden.

Figur 2 viser hvordan sikkerhetsavstanden i følge Yelvertons modell øker når vi øker størrelsen på sprengladningen og

holder andre faktorer konstant. Vi ser at om en øker sprengladningen med det ti-dobbelte, så vil sikkerhetsavstanden kun øke med ca det dobbelte.

Sjokkbølger fra grunne undervannsekspløsjoner.

Avhengig av hvordan sjokkbølgen og den skadelige effekten av sprengningen forandrer karakter med avstand fra sprengningspunktet, så kan en grovt dele inn avstanden fra sprengningspunktet i 3 soner. Den nærmeste sonen kalles nærfeltsonen eller dødelighetssonen. Akustisk karakteriseres denne sonen av at sjokkpulsamplituden (det maksimale positive trykket i sjokkpulsen) vil stige i løpet av noen få ti- eller hundretalls mikrosekunder til trykk tilsvarende flere tusen kPa (kilopascal) som tilsvarer flere ti-talls atmosfæretrykk. Trykkøkningen er et resultat av en sammenpressing av vannpartiklene og vil derfor etterfølges av en tilsvarende fortynning. Denne fortynning vil langt underskride det statiske trykket i vannet og vil derfor representere et undertrykk. Undertrykk er farlig for fisk med svømmeblære fordi det vil føre til en hurtig og kraftig ekspansjon av svømmeblæren, ofte med omfattende indre skader og døden til følge.

En ennå farligere situasjon for fisken oppstår hvis sjokkbølgen reflekteres i havoverflaten, noe som særlig oppstår ved rolig sjø. Den reflekterte sjokkbølgen vil være faseforskøvet en halv bølgelengde. Dette medfører at den reflekterte sjokkbølgen prøver å sette opp et undertrykk nesten tilsvarende det overtrykk som eksisterte før refleksjonen. I slike tilfeller kan undertrykket bli så stort at sjøen kaviterer. Figur 3 viser et eksempel fra våre forsøk hvor dette fenomenet illustreres.

Sonen utenfor nærfeltet kalles overgangsonen eller skadesonen. Her er sannsynligheten for momentan dødelighet liten. Sjokkpulsamplituden er nå under 1000 kPa (< ca 9 atmosfærer) og kavitasjonen er mindre vanlig. I den grad det forekommer dødelighet så rammes helst fisk som står nært bunnen eller overflaten eller som blir utsatt for en sjokkbølge som blir konsentrert eller fokusert på fisken.

Den tredje sonen kalles fjernfeltet. Om sommeren vil lyden avbøyes mot bunnen på grunn av lydshastighetsprofilen i sjøen. Lyden i fjernfeltet vil derfor normalt bestå av multiple lydrefleksjoner og lydtrykket vil være betydelig svekket. En forventer derfor normalt ikke skader i fjernfeltet om sommeren, men en kan ikke utelukke at fisken blir stresset. I tilfeller med lydbølger som når fisken direkte, vil lydtrykket være mindre svekket og det kan oppstå tegn på stress og mindre skader i fisken. I en oppdrettsituasjon er stress uønsket ettersom det kan hemme immunkapasiteten på fisken.

Det er vanskelig å angi eksakte grenser for de ulike sonene. Med en sprengladning på 10 kg TNT avfyrt på 5 meter dyp (se figur 1) kan en regne nærfeltsonen fra sprengningspunktet til

1% dødelighetsgrensen (ca 75 meter). Grensen mellom overgangssonen og fjernfeltet vil antagelig ligge over 1000 meter fra sprengningspunktet.

RESULTATER

Registrert dødelighet sammenlignet med forventet dødelighet

Figur 4a viser den observerte dødeligheten sammenlignet med den forventede dødeligheten etter Yelvertons modell. Resultatene er fra forsøkene sommeren 1991 (Larsen et al. 1992). Målingene ble gjort under forhold med meget sterk vind, d.v.s forhold hvor havoverflaten antas å reflektere lyden dårlig. Vi ser at det er god overensstemmelse mellom forventet og observert dødelighet. Sprengningene her bestod av både TNT og dynamitt, og det ble ikke observert forskjell i dødelighet med de to sprengkildene til tross for at TNT har høyere forbrenningshastighet (6900 m/sek) enn dynamitt (5000 m/sek).

Figur 4b gjelder tilsvarende forsøk sommeren 1992. Denne gangen var havoverflaten rolig og dermed en god lydreflektor. Vi ser her at dødeligheten varierer mere enn i 1991. I tillegg er den gjennomsnittlige dødeligheten noe høyere enn forventet. Den store variasjonen i registrert dødelighet synes å ha sin forklaring i at variasjonen i sjokkpulsamplituden er større for sprengningene i 1992 enn for 1991 (se figur 5a,b), antakelig fordi overflaterreflekterte bølger i varierende grad har samvirket med den direkte sjokkbølgen, samt muligens andre hydrologiske forhold. Høyere dødeligheten kan skyldes mer omfattende kavitasjon enn under forsøkene 1991.

Uansett årsak så er avviket fra den forventede dødelighet kun tilstede i nærfeltsonen mens det ikke ble observert dødelighet utenfor den forventede sikkerhetsavstanden.

Langtidseffekter av sprengning på fisk.

Dødeligheten etter sprengningene var i over 95 % av tilfellene momentan. Det var ingen unormal dødelighet i perioden 2 uker til 6 måneder etter sprengningene. Seks måneder etter sprengningene var det få makroskopisk tegn til tidligere skade i fisk som hadde stått i nærfeltsonen, med unntak av noen få overlevende fra ei merd som hadde stått kloss opp til sprengningspunktet (20 meter fra sprengning med 10 kg TNT). Her ble det observert synlige arr samt sammenvoksing av indre organer.

Fisken hadde liten appetitt de første 2 ukene etter sprengningene. Senere var appetitten normal. Det var heller ingen signifikant forskjell i vekta av sprengningsutsatt fisk sammenlignet med kontrollgruppen. Dette siste skyldes antagelig kompensatorisk vekst, et fenomen som synes vanlig hos oppdrettsfisk som har vært sultet i en periode.

Undervannssprengning og stress hos fisk.

Laks plassert i fjernfeltet (1000 meter fra sprengning med 10 kg TNT) hadde tegn som kunne tyde på at den var stresset ut over det som var tilfelle for kontrollgruppen. Lydtrykket (gjennomsnittet av 7 skudd) lå her på 217 dB ref 1 μ Pa. Dette er langt over fryktterskelen for torsk (man kjenner ikke fryktterskelen for laks) og muligens også over fiskens smerteterskel (Knudsen og Enger, 1990).

Det er vist at fisk i vill tilstand vil prøve å unnsnippe lyden fra luftkanoner (Dalen og Raknes, 1985). Hvordan oppdrettsfisk i fjernfeltet reagerer atferdsmessig på lyden fra sprengninger er ikke klarlagt. Oppdrettere av røye har observert at røye i kar har lagt seg på bunnen av karet og omkommet på grunn av oksygenmangel. Dette har angivelig skjedd fordi lyset uventet har blitt slått av (Atle Mortensen, pers. medd.). Hvis oppdrettsfisk i merd forsøker å flykte, kan en teoretisk tenke seg at klemskader og oksygenmangel vil kunne oppstå hvis fisketettheten er høy.

Makro- og mikroskopiske skader samt klinisk kjemiske målinger av skade

Tabell 1 viser makroskopiske skader hos fisk i forskjellig avstander fra sprengningspunktet. Sammenligner man skaden hos død og overlevende fisk, så er frekvensen og graden av revnet svømmeblære og revnet lever større hos død fisk enn hos overlevende. Lignende forskjell var vanskelig å påvise for andre typer skader. Dødsårsaken er derfor sannsynligvis knyttet til skade i disse organene.

Svømmeblærevegg, oval, lever, nyrene, milt og bukhinne hadde økende grad av skade med økende lydtrykk.

I død fisk etter sprengningene i Altafjorden ble det observert skader på innsida av de større blodårene. De samme skadene ble også funnet i fisk i nærfeltsonen under våre forsøk. Lignende skader har imidlertid også blitt observert i fisk med gassblæresyke (gassovermetning i blodet) (Speare 1991). Blodpropp er også observert i laks infisert med Aeromonas salmonicida (Salte et al. 1991), og til en viss grad også i klinisk frisk laks (Saunders et al. 1992). Blodåreskader og thrombedannelser er derfor ikke bare typisk for sprengningsskade men antagelig også for en rekke andre sykkelige tilstander slik tilfelle er hos høyere dyr.

Det var også mulig å måle skaden klinisk kjemisk ved å måle serumverdiene av enzymene alanin aminotransferase (ALAT) og aspartat aminotransferase (ASAT). Disse enzymene finnes normalt inne i celler i varierende mengder for de ulike organer og vev. Ved skade lekker ASAT, ALAT og andre intracellulære substanser ut av cellene og mengden av disse stoffene i blodet vil da ofte være korrelert med skaden. Figur 6 viser sammenhengen mellom serumverdiene av ASAT og lydtrykknivå. Vi har i ettertid erfart at også transport- og

håndteringstress alene fører til økte mengder av ASAT og ALAT i fiskens blod, noe en bør ta hensyn til ved måling av disse enzymene i fisk. Det var også store variasjoner i ASAT-verdier for et bestemt lydtrykknivå (figur 6). Dette gjør at en må ha et høyt antall målinger for å kunne dra sikre konklusjoner. Metoden synes derfor å være noe mindre nøyaktig enn hva vi antok i utgangspunktet.

Sammenheng mellom lydtrykknivå og dødelighet/skade.

Yelverton har vist at sjokkbølgens letale (LD_{50}) impuls (tids-integralet av trykket i sjokkbølgen) var uavhengig av faktorer som sprengningsdybde og fiskens dybde og at sjokkbølgens impuls derfor var egnet mål for å forutsi fiskedødelighet ved sprengning under varierende forhold. Den letale sjokkpulsamplitude var på den annen side forskjellig avhengig av sprengladningens dybde og fiskens dybde. Det ble også vist at mindre fisk tok lettere skade enn større fisk (Yelverton et al., 1975).

Under våre forsøk varierte fiskens dybde fra 0 - 5 meter, sprengningsdybden fra 3 - 5 meter og fiskens størrelse fra 0,8 - 10 kg. Til tross for denne variasjonen var det høy korrelasjon mellom sjokkpulsamplituden og dødelighet under våre forsøksbetingelser (figur 7). Sjokkpulsamplituden synes derfor som et brukbart mål for å forutsi fiskedødelighet under forhold med relativt konstant sprengnings- og fiskedybde. LD_{50} for torsk under våre forsøksbetingelser vil være ca 2700 kPa. Tilsvarende verdi for karpe under omtrent samme forhold er i følge Yelverton et al. (1975) 1200 kPa. Ser en imidlertid nærmere på hvilke størrelsesgruppe som var mest utsatt for dødelighet under våre forsøk, så vil en se at mindre fisk var mer utsatt enn den større fisken (fig. 8). Den letale (LD_{50}) sjokkpulsamplitude ville derfor vært lavere med større innslag av mindre fisk blant forsøksfisken.

Gjentatte sprengninger sammenlignet med en enkel sprengning.

Effekten av gjentatte sprengninger ble undersøkt ved at fisk ble plassert i forskjellig avstander fra sprengningspunktet, både i nærfeltsonen (25 meter), overgangsonen (65 og 180 meter) og fjernfeltet (360 meter), og deretter utsatt for opp til 30 gjentatte sprengninger med 1 kg TNT. Sikkerhetsavstanden etter 1 skudd var beregnet til 56 meter.

Det ble noe uventet kun registrert dødelighet 25 meter fra sprengningspunktet, selv etter 30 skudd. Den forventede dødeligheten etter ett skudd var på forhånd beregnet til 1,6 % ved 25 meter. Gjennomsnittlig dødelighet var imidlertid 50 % allerede etter ca 3 - 4 skudd (fig. 9). I et annet forsøk var dødeligheten 26% etter 4 skudd i en avstand hvor den forventede dødelighet etter et skudd var 1 %. For noen forsøksgrupper var dødeligheten 100 % allerede etter 6 skudd.

Fisk passert 65 og 180 meter fra sprengningen (overgangsonen) hadde økende grad av skade med økende antall skudd. Det var

særlig revnet lever, blødninger og revner i svømmeblæreveggen samt blødninger i ovalen som ble registrert. Skadens omfang ved 65 meter etter 30 skudd var like omfattende som det en ofte fant hos død fisk. Ytterligere flere skudd ville derfor antagelig medført dødelighet også ved 65 meter. Det er likevel tydelig ut fra dette forsøket at økt dødelighet som følge av gjentatte sprengninger først og fremst er et nærfeltsfenomen og at avstanden fra sprengningspunktet er den dominerende faktoren når det gjelder sjansen for dødelighet etter sprengning.

Fig. 10 viser hvordan revner i svømmeblæra, ovalen og i levra utvikler seg med økende antall skudd i fisk 25 meter fra sprengningspunktet. Tilsvarende trend for de andre organene var mindre tydelig noe som viser at svømmeblæra, levra og ovalen er de organer som rammes primært ved sprengning. Figur 11 viser hvordan utviklingen av skaden kunne registreres klinisk kjemisk i fisk 25 meter fra sprengningene. En lignende korrelasjon, om enn noe svakere, ble registrert i fisk plassert i 65 og 180 meter fra sprengningspunktet .

KONKLUSJONER

Det ble ikke registrert unormal dødelighet hos sprengningsutsatt fisk utenfor den beregnede sikkerhetsavstanden. Våre resultater støtter derfor tilsvarende resultater fra tidligere forsøk.

Det var ingen signifikant forskjell ved bruk av TNT og dynamitt med hensyn til sprengningsskade og dødelighet.

Dødeligheten var i hovedsak (i mer enn 95 % av tilfellene) momentan, og det var ingen påvisbar langtidsdødelighet blant den overlevende fisken ut over de to første ukene.

Fisken viste god evne til leging av skadene. Det var f.eks med få unntak ikke mulig å observere makroskopisk tegn etter tidligere skader i sprengningsutsatt fisk fra nærfeltsonen og overgangsonen 6 måneder etter sprengningene. Det var heller ingen signifikant forskjell i vekta av sprengningsutsatt fisk sammenlignet med kontrollgruppen til tross for at den sprengningsutsatte fisken hadde redusert appetitt de første to ukene etter sprengningene. Dette siste skyldes antagelig kompensatorisk vekst.

Det var god overensstemmelse mellom den registrerte dødelighet og den beregnede dødelighet etter Yelvertons modell (Yelverton et al. 1975). Under forhold med rolig havoverflate var den gjennomsnittlige dødeligheten noe høyere enn beregnet og det var også noe større variasjon i dødelighet enn under forhold med urolig havoverflate.

Gjentatte sprengninger førte til en markant økning i dødelighet og skade. Økning i dødelighet ble imidlertid kun registrert i nærfeltsonen og det var ingen dødelighet utenfor sikkerhetsavstanden. Dette viser at avstanden fra sprengnings-

punktet er den dominerende faktoren når det gjelder sjansen for dødelighet etter sprengning. Økning i skade som følge av gjentatte sprengninger ble også registrert utenfor beregnede sikkerhetsavstanden.

INFORMASJON

En del av resultatene er publisert i egen rapport (Larsen et al. 1992) og i ulike foredrag (n International Conference on Fisheries and Offshore Petroleum Exploitation. 6-8 april 1992, Bergen.) (Seminar arrangert av Oljeindustriens Landsforening). Det tas sikte på å publisere resultatene i internasjonale tidsskrifter.

RESULTATOPPFØLGING

Sprengninger i havet kommer i særlig konflikt med lokale fiskeressurser og oppdrett. En rekke henvendelser tyder på at det er etterspørsel etter kunnskap og retningslinjer i forbindelse med slike sprengninger. Forhåpentligvis kan disse resultatene bidra noe i denne sammenheng. En del henvendelser har gått på sammenhengen mellom lydtrykk og stress i fjernfeltet. Dette er et område vi vet for lite om i dag.

REFERANSER

Dalen, J. & Raknes A., 1985. Skremmeeffektar på fisk fra 3-dimensjonale seismiske undersøkingar. Rapport nr FO 8504, Havforskningsinstituttet, Bergen.

Knudsen, F.R. og Enger, P.S., 1990. Seismikk; effekt av luftkanon på matine organsimer. Rapport, Cooperating Marine Scientist, Oslo.

Larsen, T., H.K. Johnsen, F.R. Lund & E.A. Myklebust, 1990. Skader på oppdrettsfisk etter sprengning i Altafjorden. Norsk Fiskeoppdrett, 7:18-19.

Larsen, T., Johnsen H.K., Valheim M., Olsen R.E., Lund F.R., Kjellsby E. og Olsen S., 1992. Effekter av undervannssprengning på fisk. FDH - rapport 1992:2, Finnmark distriktshøgskole, Alta.

Nilsen, P., 1990. Rapport om oppfølging av oppdrettsfisk etter undersjøiske sprengninger i Alta sommeren 1990. Finnmarkforskningsrapport, 7/3-1990. Alta.

Salte, R., K. Norberg & Ødegaard O.R., 1991. Do extracellular products of Aeromonas salmonicida induce thrombosis by entering the fish coagulation system as factor X? Journal of Fish Diseases, 14:401-406.

Saunders, R.L., A.P. Farrell & Knox D.E., 1992. Progression of coronary arterial lesions in Atlantic salmon (Salmo salar) as a function of growth rate. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 49:878-884.

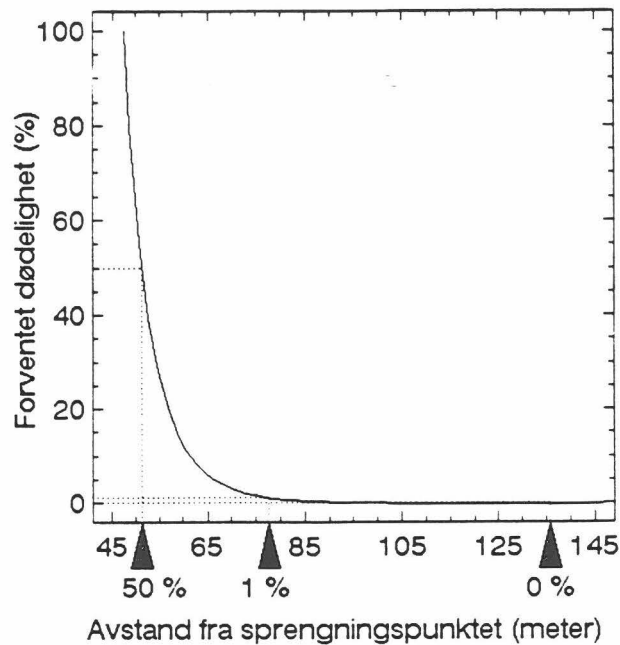
Speare, D.J., 1991. Endothelial lesions associated with gas bubble disease in fish. *Journal of Comparative Pathology*, 104:327-335.

Wright, D.G., 1982. A discussion paper on the effects of explosives on fish and marine mammals in the waters of the northwest-territories canada. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1052:I-16.

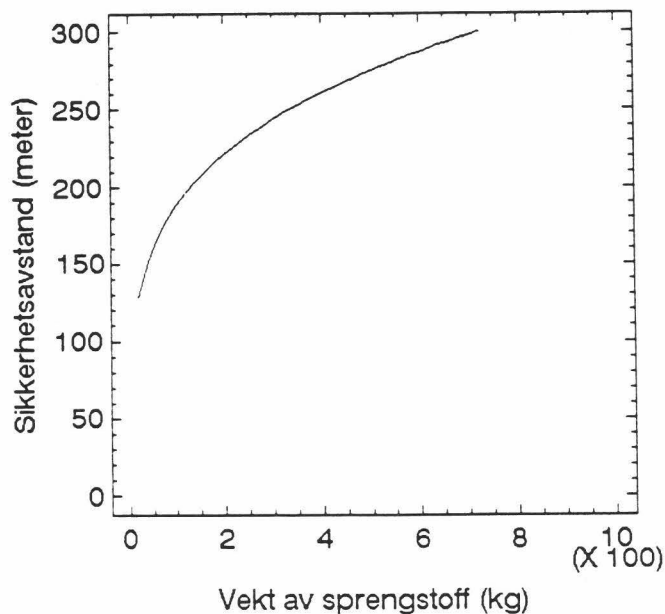
Yelverton, J.T., D.R. Richmond, W. Hicks, K. Sanders, & Fletcher E.R., 1975. The relationship between fish size and their response to underwater blast. *Defence Nuclear Agency, Dep. Defense, Washington D.C. Topical Rep. DNA 3677 T. 42 p.*

Tabell 3. Makroskopiske skader i torsk 20 m, 80 m and 200 m fra en enkel undervannssprengning. Skaden ble vurdert etter en skala fra 0 til 3 hvor 0 representerte normal tilstand mens 3 representerte betydelig skade. Stjernene i tabellen representerer gjennomsnittlig score opphøyd til nærmeste hele tall. Tallene i parentes angir i hvor stor del (i prosent) av forsøksgruppen skaden ble registrert. Det var 60 fisk i kontrollgruppen og 152 i hver av forsøksgruppene.

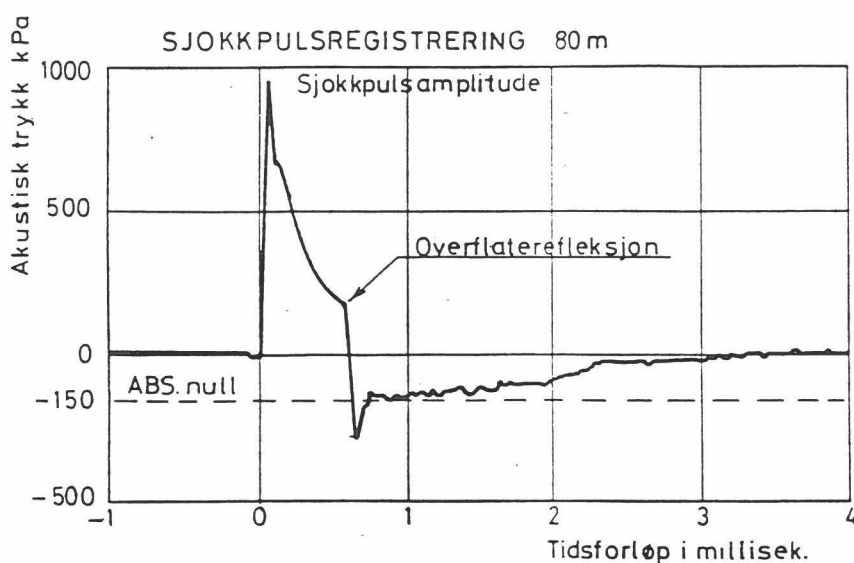
	kontroll	20m	80 m	200 m
ruptur av svømmeblære		*** (95)		
blødninger i svømmeblære-vegg				
væskeansamling under bukhinna langs svømmeblæra		* (16)	* (41)	* (24)
blødninger i milt		* (7)		
ruptur av milt		** (31)		
blodansamlinger i svømmeblære lumen		** (51)		
blødninger under perikard		** (57)	* (3)	* (8)
blødninger i lever		* (23)	* (7)	
ruptur av lever		** (69)		
ruptur av oval		* (5)	* (1)	
blødninger i gass-kjertelen		* (27)		
utstående øyne (exophthalmus)		* (2)	* (1)	
gassblærer i gasskjertel	* (19)		* (13)	* (13)
væske i bukula (ascites)		* (6)	* (1)	* (11)
ruptur i vena cava		* (15)		



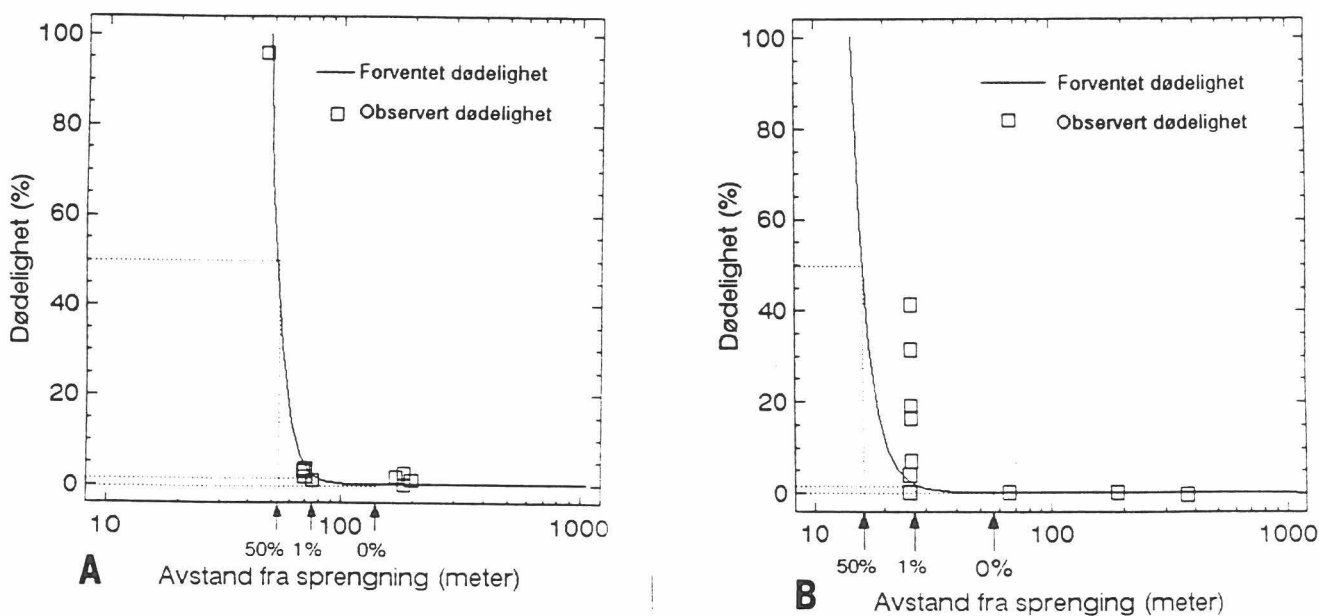
Figur 1. Forventet dødelighet som funksjon av avstand til sprengningspunktet. Kurven er beregnet etter Yelverton's modell (Yelverton et al. 1975). Pilhodene angir avstand til forventet 50 % dødelighet, 1 % dødelighet og sikkerhetsavstanden (0% dødelighet) Forutsetninger: Vekt av sprengladning: 10 kg, sprengladningens dybde: 5 meter, fiskens vekt: 1,8 kg og fiskens dybde: 5 meter.



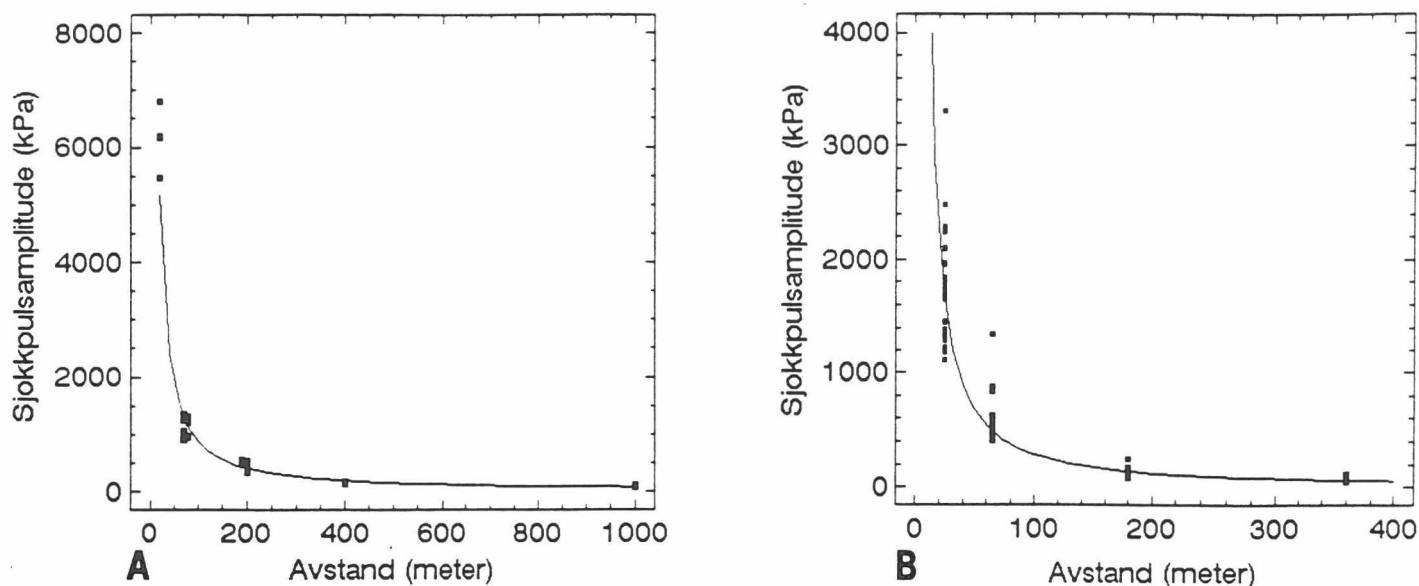
Figur 2. Beregnet sikkerhetsavstand som funksjon av sprengladningens vekt. Kurven er beregnet etter Yelverton's modell (Yelverton et al. 1975). Forutsetninger: Sprengladningens dybde: 5 meter, fiskens vekt: 2 kg og fiskens dybde: 5 meter.



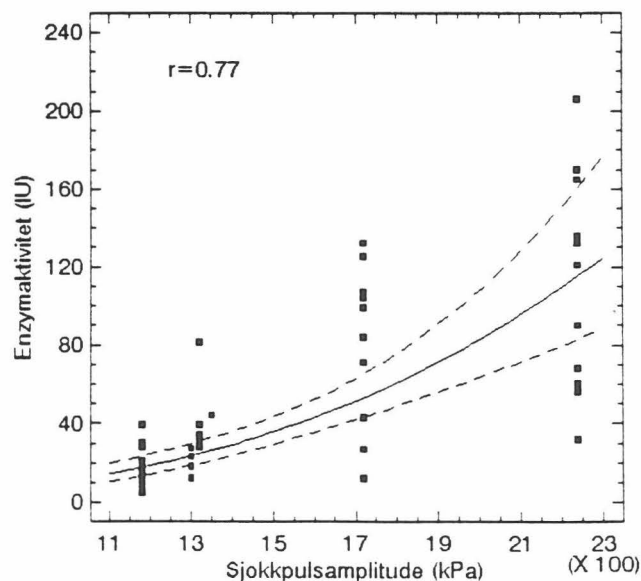
Figur 3. Figuren viser sjokkpulsforløpet i 80 meter avstand etter sprengning med 10 kg TNT på 5 meters dyp. Her fremgår det tydelig at det har oppstått kavitasjon idet det negative trykket her når ned til null absolutt trykk. Merk det hurtige trykkfallet idet den overflaterreflekterte lydbølgen samvirker med den direkte.



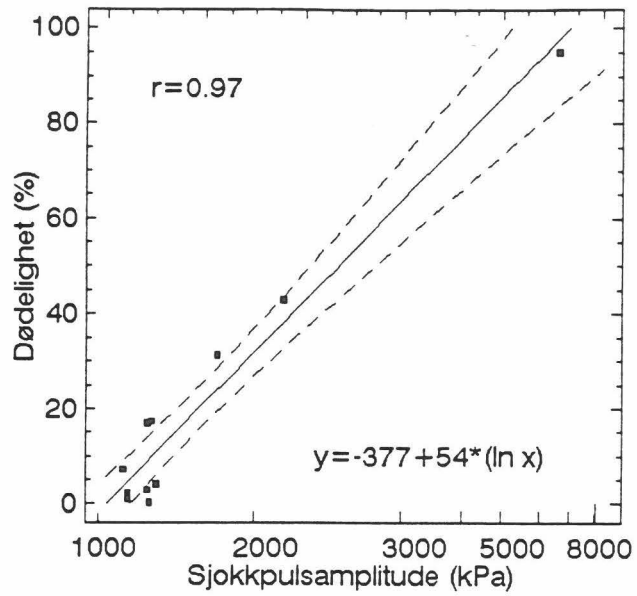
Figur 4. Kurvene viser forventet dødelighet etter Yelvertons modell. Den registrerte dødeligheten er merket med (kvadrater). Pilene angir avstand til forventet 50 % dødelighet, 1 % dødelighet og sikkerhetsavstanden (0% dødelighet) 4a. Vekta av sprengstoff: 10 kg, sprengladningens dybde: 5 meter, fiskens vekt: 1,8 kg, fiskens dybde: 5 meter, urolig havoverflate. 4b. Vekta av sprengstoff: 1 kg, sprengladningens dybde: 3 meter, fiskens vekt: 2,2 kg, fiskens dybde: 5 meter, stille havoverflate.



Figur 5. Sammenhengen mellom registrert sjokkpulsamplitude og avstand. 5a. Vekta av sprengstoff: 10 kg, sprengladningens dybde: 5 meter, fiskens vekt: 1,8 kg, fiskens dybde: 5 meter, urolig havoverflate. 5b. Vekta av sprengstoff: 1 kg, sprengladningens dybde: 3 meter, fiskens vekt: 2,2 kg, fiskens dybde: 5 meter, stille havoverflate.



Figur 6. Aktiviteten (Internasjonale enheter = IU) av enzymet aspartat aminotransferase (ASAT) i serum som funksjon av sjokkpulsamplitude



Figur 7. Dødelighet som funksjon av sjokkpulsamplitude.

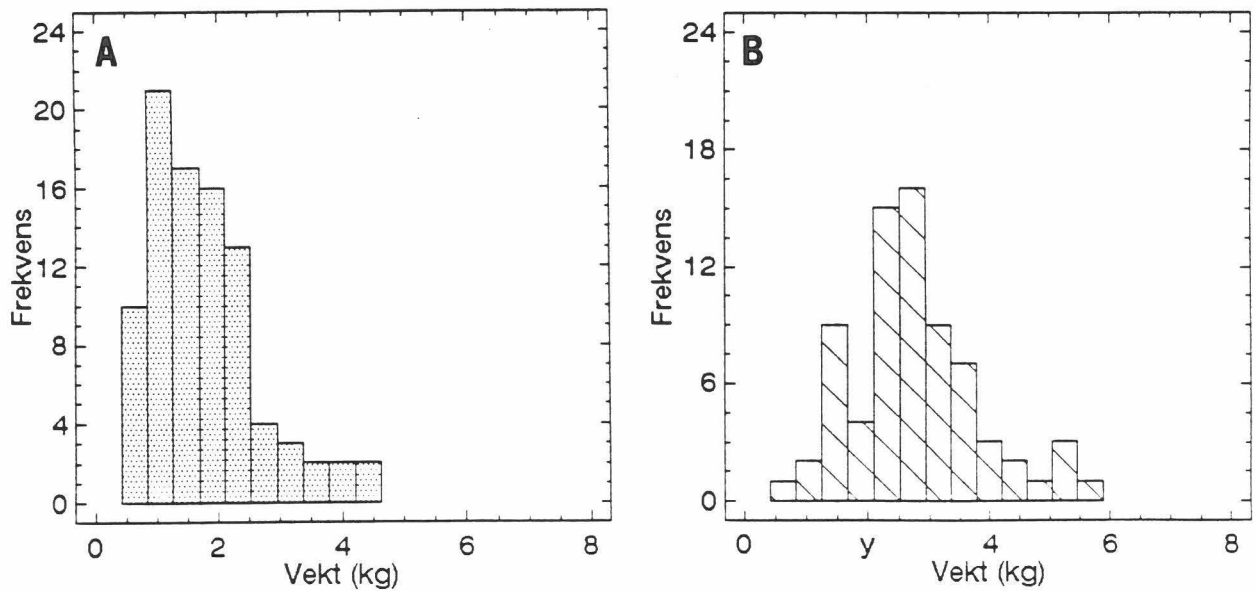
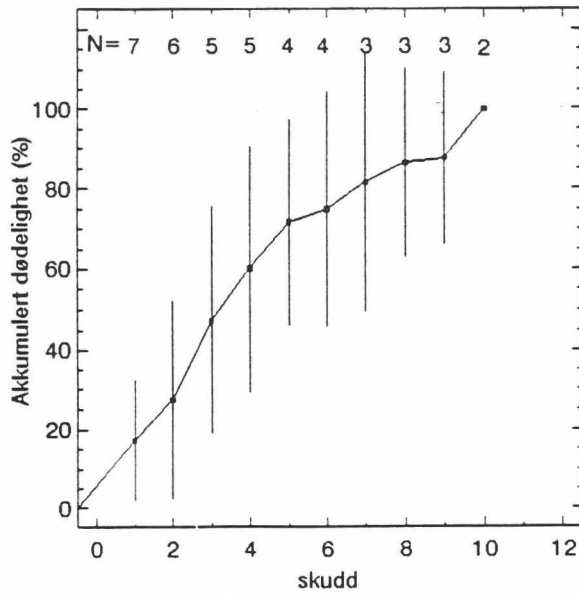
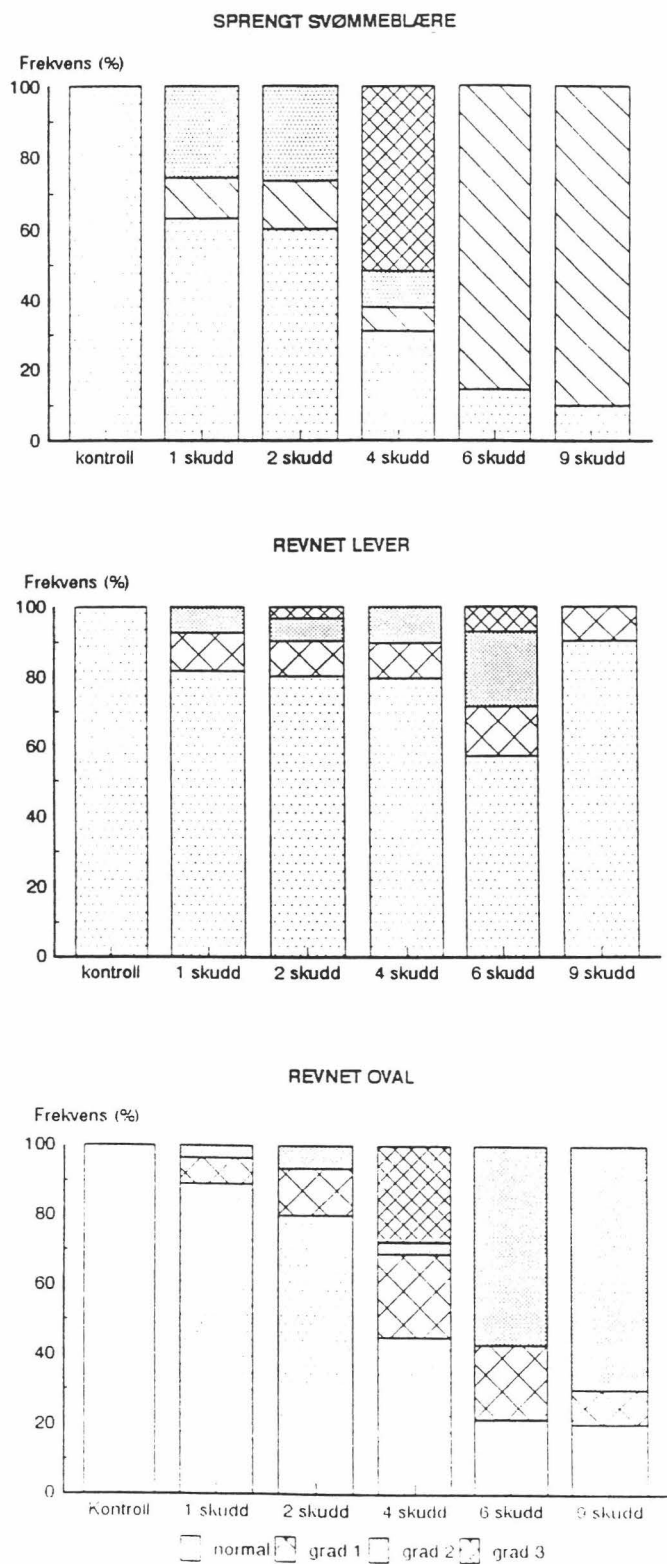


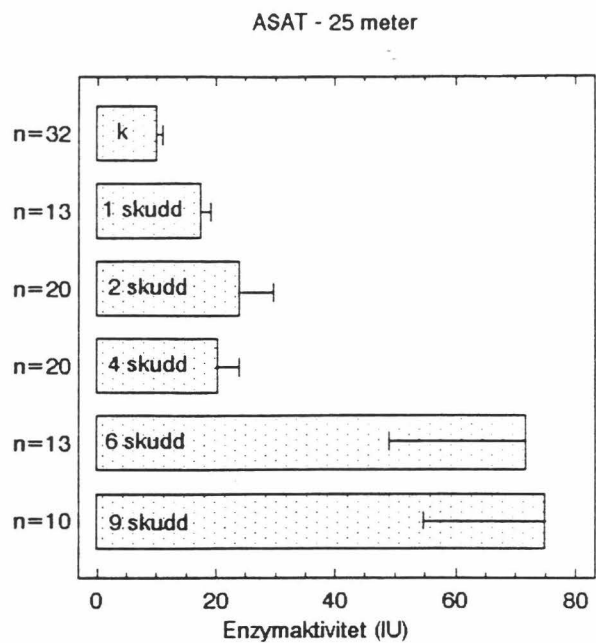
Figure 8. Frekvens histogram over død og overlevende fisk. 8a) død fisk. 8b) overlevende fisk.



Figur 9. Akkumulert dødelighet som funksjon av antall skudd. N angir antall forsøk hvert kurvepunkt er basert på. Vertikal streker angir standard avvik.



Figur 10. Frekvens og graden av makroskopiske skader som funksjon av antall skudd. a) revner i svømmeblære b) revner i lever og c) revner i ovalen.



Figur 11. Aktiviteten (Internasjonale enheter = IU) av enzymet aspartat aminotransferase (ASAT) i serum som funksjon av antall skudd.