

► SPRENGING FOR KABELGRØFT PÅ MONGSTAD

Sammendrag/konklusjon

Det er behov for å styrke overføringskapasiteten inn til Bergensområdet, et område som nettmessig omfatter kommunene Bergen, Askøy, Øygarden, Fjell, Sund, Meland, Lindås, Radøy, Fedje, Austrheim, Gulen, Masfjorden, Høyanger sør, Vaksdal, Osterøy og Os. Dagens overføringsnett har ikke full reserve til området, og dersom det oppstår en feil på den viktigste kraftledningen inn til Bergensområdet om vinteren, vil store deler av området mørklegges. I denne forbindelse vil det være nødvendig med noe sprengningsarbeid ved Mongstad.

Ved Mongstad planlegges det å sprengne ut 250 m³ fjell i en bredde på 16 meter og dybde fra 0 til – 5 meter.

Undervannsprengning kan medføre stor skade på marint liv. Norconsult foreslår derfor følgende avbøtende tiltak i forbindelse med arbeidene:

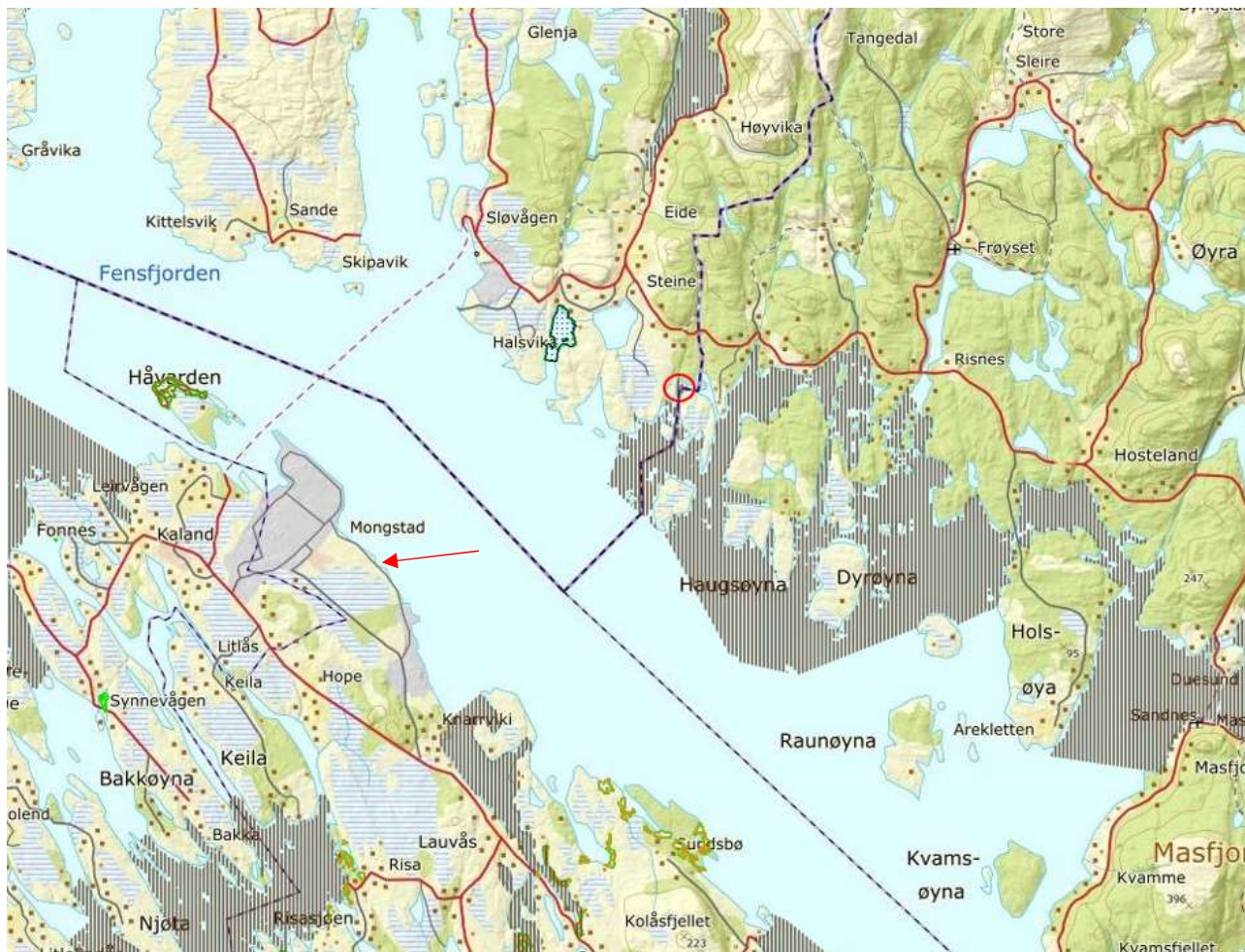
- For å begrense det maksimale spisstrykket fra detonasjonen bør salven deles opp i delladninger som settes av med forsinkelse i forhold til hverandre, såkalt sekvensiell sprengning. Sprengningsplanen bør på forhånd analyseres slik at tidsforsinkelsen mellom delladningene i salven er satt optimalt.
- Boblegardin bør benyttes i forbindelse med anleggsarbeidene
- Det er videre viktig at det benyttes tilstrekkelig fordemning i borhullene slik at energien i detonasjonen blir avsatt i fjellet og ikke direkte til vann.

A01	2019-02-14	Sprengningsarbeider og effekter for naturmiljø	Eirik Bjerke Thorsen	Håkon Gregersen	Eivind Kildal
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

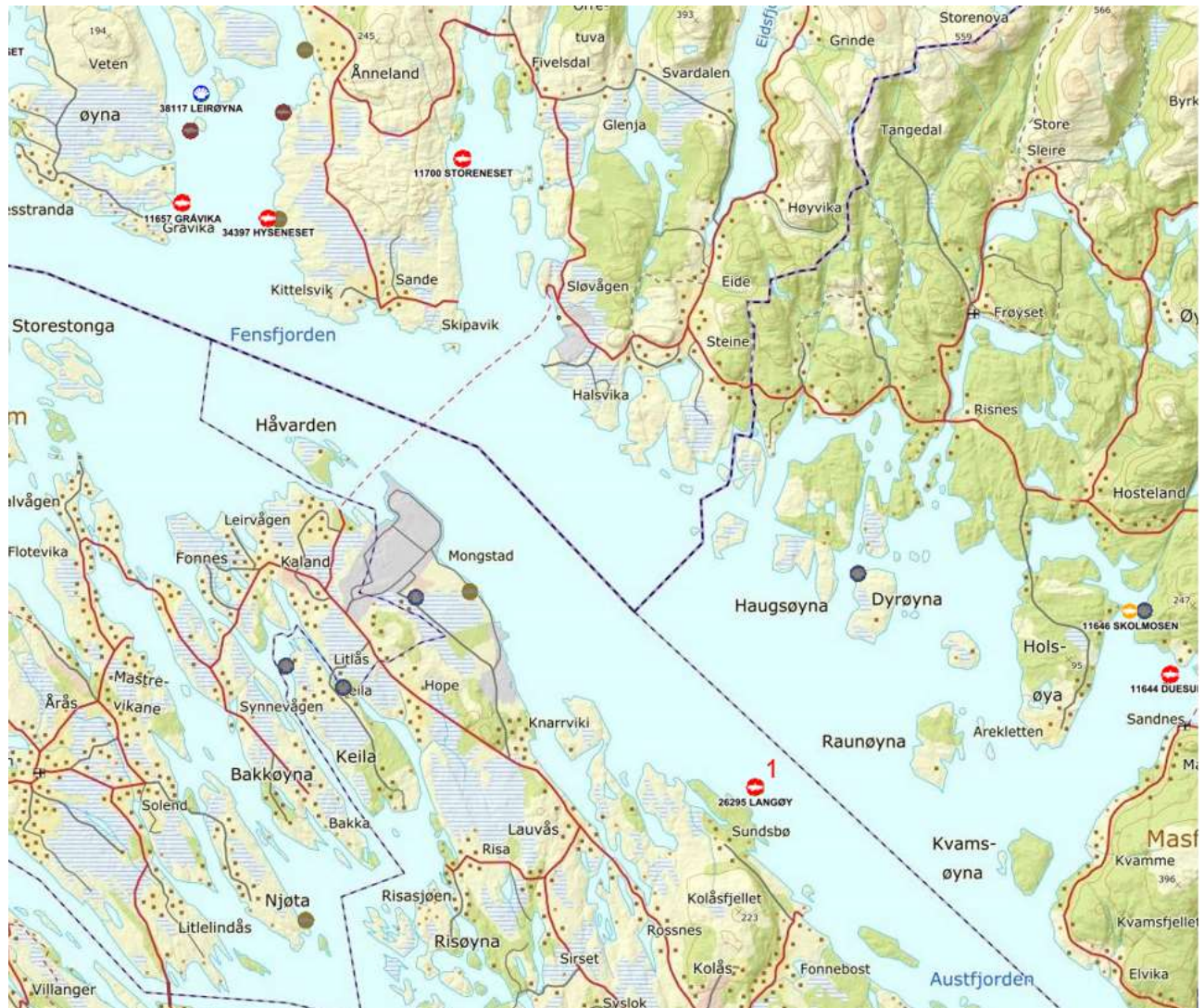
Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult AS. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

3 Registrerte viktige områder for fisk i området

I Miljødirektoratets kartdatabase miljøstatus (www.miljøstatus.no) fremgår det at det er gyteområder for kysttorsk sør og øst for tiltaksområdet. Torsk blir i Norge forvaltet som fire bestander (Nordøstarktisk torsk, kysttorsk nord for 62N, Nordsjøtorsk og kysttorsk på Skagerakkysten). I tiltaksområdet er det snakk om Nordsjøtorsk, som har hatt en kontinuerlig nedgang siden 1970 (www.artsdatabanken.no). I tillegg utgjøre området leveområde for en lang rekke arter, blant annet breiflabb, brisling, Nordsjøsilde og sei (www.kart.fiskeridir.no).



Figur 2: Gråskraverte felt viser gyteområder for Nordsjøtorsk, tiltaksområdet er omtrentlig vist med rød pil. Avstanden fra gyteområdet i sør er ca. 2,2 km, mens det er mer enn 3,5 km til området i øst. Kilde: www.kart.fiskeridir.no.



Figur 3: Lokalteter for akvakultur omkring tiltaksområdene. Den nærmeste lokaliteten, Langøy (1), ligger mer enn 4 km fra østligste delen av Mongstad, de andre lokalitetene i nord har en avstand på over 6 km fra Mongstad.

4 Registrerte marine naturtyper

Det er ingen registrerte viktige naturtyper i influensområdet for tiltakene.

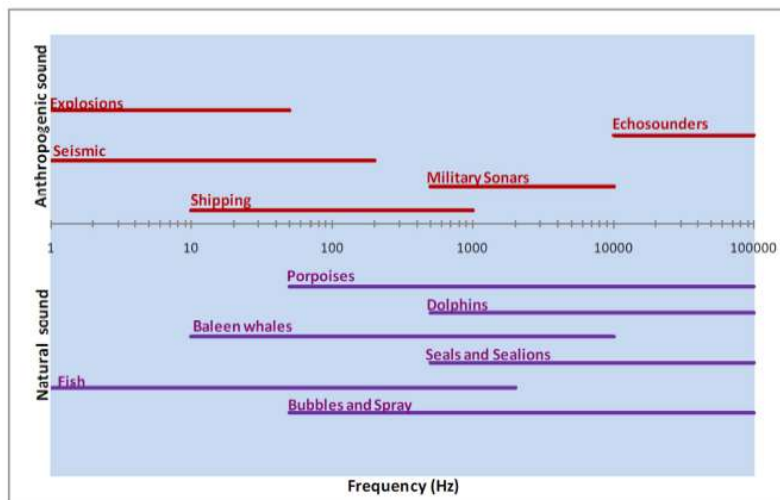
5 Forvaltningsrelevante artsfunn & leveområder

Et større område rundt Geitarøyna, om lag 4 km nordøst for Mongstad, er registrert som viktig overvintringsområde for fugl. Området skal vinterstid ha store flokker med blant annet kvinand, siland og ærfugl.

6 Generelt om sprengning i vann

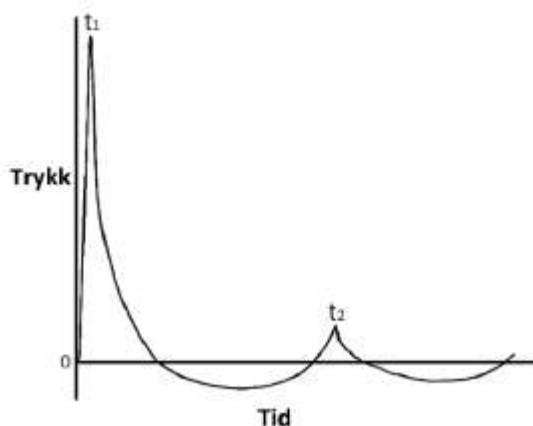
I sjø er det til enhver tid et varierende naturlig lydbilde generert av vind, bølger, geologisk aktivitet, lyder generert av ulike artsgrupper etc. Totalt utgjør dette den naturlige bakgrunnsstøyen. Antropogene støykilder vil befinne seg i samme frekvensnivå som den naturlige bakgrunnsstøyen,

men med betydelig høyere amplituder. Dette kan forårsake negative effekter på fisk, sjøpattedyr og annet liv i sjøen enten gjennom fysiologiske påvirkninger eller skader, eller ved å forårsake uheldige endringer i adferd. Figuren nedenfor viser hvordan antropogene lydkilder overlapper i frekvens med naturlig bakgrunnsstøy, inkludert fisk og sjøpattedyr.



Figur 4: Frekvensintervaller for noen naturlige og antropogene lydkilder i havet. Kilde: FFI 2017.

Ved en detonasjon vil fast stoff, sprengstoff, omsettes til gassform med en hastighet som skaper en trykkbølge med overlydsfart. Sjøkkbølgen skapes av en veldig hurtig ekspanderende gassboble, som dytter vannmolekylene foran seg. Resultatet er en trykkbølge som karakteriseres av en veldig rask trykkøkning til et nivå som langt overstiger det statiske trykket i vannet. Sammenlignet med detonasjoner i luft vil det i vann oppstå en kraftig sjokkbølge med påfølgende boblepulser, se figur nedenfor.



Figur 5: Viser en tenkt sjokkbølge (t_1) med påfølgende boblepuls (t_2) dannet ved sprengning i vann. Tiden null markerer initiering av detonasjonen. Kilde: Aron et al. 1948, Koschinski 2011.

Dersom gassboblen som dannes ikke når overflaten ved ekspansjonen, vil den etter hvert trekke seg sammen og begynne å pulser. Den danner en mer langvarig boblepuls der den oscillerer (svinger). Når den har nådd sitt maksimum (t_1) vil den gå mot et minimum før trykket igjen stiger til neste maksimum (t_2). Hvor mange oscillasjoner boblen gjør bestemmes ut fra type og mengde sprengstoff samt dyp. Rask trykkøkning etterfulgt av rask trykkfall er svært destruktivt for marint/akvatisk liv (Grimsbø & Kvadsheim, 2018).

Hastigheten trykkbølgen forplanter seg i sprengstoffet med kalles detonasjonshastighet, denne vil variere for ulike sprengstofftyper. Militære eksplosiver har generelt høyere detonasjonshastighet enn eksplosiver til sivil bruk, slik som brukt til bergsprengning. For bergsprengning vil

detonasjonshastigheten kunne påvirkes av borehulldiameter (*Amundsen 1984*) og trykk. Eksplosivet sin sprengvirkning blir for sivile typer ofte relatert til ANFO (Amonium nitrate fuel oil) med et forholdstall. For militære eksplosiver blir gjerne sprengvirkning oppgitt i TNT-ekvivalenter (Trinitrotoluen), som har en helt annen karakteristikk enn ANFO. Det er viktig å ha i mente forskjellene mellom sprengstofftyper, særlig med hensyn på detonasjonshastighet. Sprengstoff med lavere detonasjonshastighet vil gi et trykkforløp med langsommere stigning og dermed i utgangspunktet være mindre skadelig for marint liv. I noen sammenhenger er derimot den totale energien i pulsen også viktig (NOAA/NMFS 2016).

Ved bergsprengning er det sjokkpulsen som først knuser berget, videre er det gassutviklingen som ytterligere river berget fra hverandre. Forskjellen på detonasjoner av militær ammunisjon og bergsprengning, i tillegg til at detonasjonshastighet er ulik, at militær ammunisjon som miner oftest sprenges i vannmassen, mens bergsprengning vanligvis innebærer at eksplosivet er boret ned i havbunnen. Ved bergsprengning vil da mye av energien som frigis gå med til å knuse og rive berget fra hverandre.

Den omtalte trykkpulsen (t_1 i figur 8) sin amplitude er bestemt av salve/ladningsstørrelse og sprengstoffkarakteristikk, eller kombinasjon av sprengstofftyper. Ved å redusere salve/ladningsstørrelse vil den skadelige trykkpulsens maksimaltrykk bli redusert. Dette er mulig å gjøre ved å dele en salve opp i mindre delladninger som avfyres sekvensielt ved hjelp av millisekundtennere, tennsatser oppdelt i serier med et gitt antall millisekunds forsinkelse. Målet er minst mulig ladningsstørrelse på hver delladning og gjerne ca. 20 millisekunds forsinkelse mellom hver. Utover å redusere maksimaltrykket er hensikten med tidsforsinkelsen å plassere delladningens spisstrykk t_1 i foregående delladnings trykk minimum, altså mellom foregående delladnings t_1 og t_2 . Det bør ved utarbeidelse av salveplan gjennomføres en analyse av de ulike delladningers tidsforsinkelse. Ved for liten tidsforsinkelse mellom delladningene får man ikke den tilsktede effekt og skader vil lettere kunne oppstå.

Trykket t_1 som oppstår som følge av detonasjonen vil også være avhengig av detonasjonshastighet. Valg av sprengstofftype og andre tiltak som reduserer detonasjonshastighet vil derfor være gunstig i forhold til skader på marint liv. Ikke alle eksplosiver med moderat detonasjonshastighet, som for eksempel tradisjonell ANFO, kan brukes i vann eller vannfylte borehull da vannet endrer dets sammensetning slik at de ikke detonerer. Sprengstoff som ikke detonerer ved initiering kalles forsager og kan representere en betydelig forurensning av det marine miljø, særlig med tanke på nitrogenforbindelser.

Trykkbølgene i vannet som oppstår som følge av en sprengning vil kunne speile seg i overflaten og endre fase. Dette kan skape et undertrykk og kavitasjon, som kan medføre langtidsskade på fisk. Slike uheldige speilinger i overflaten vil lettest oppstå når det er godt vær med blank sjø. Krusninger i overflaten og urolig sjø vil derimot bidra til å dempe trykkpulser og lyd fra sprengningen.

7 Sprengning og påvirkning på marint liv

Det er de omtalte trykkpulsene fra sprengningen som først og fremst forårsaker direkte skade på marint liv. Særlig gassfylte organer, som svømmeblære hos fisk eller lunger på marine pattedyr, skades ved at trykkbølgene komprimerer disse slik at vev strekkes eller rives opp med påfølgende blødninger. Hørselskader på marine pattedyr er også påvist (NOAA/NMFS 2016).

Ved sprengningsarbeider i sjø blir det ofte observert død eller skadet fisk flytende i overflaten i nærheten av sprengningsstedet, dette er fisk med svømmeblære der gassen fremdeles er i fisken. Fiskeslag uten svømmeblære eller fisk med svømmeblære der gassen har unnsluppet vil synke. Det observeres ofte vann i svømmeblæren hos fisk som har vært utsatt for sprengning (Soldal et al. 1990), dette gjelder særlig arter som har såkalt åpen svømmeblære, som for eksempel laks. Dette antas å ha sammenheng med undertrykket som oppstår som følge av den initiale trykkpulsens speiling i vannoverflaten med påfølgende kavitasjon (Gaspin & Price 1972). Vann i svømmeblæren kan føre til nedsatt almenntilstand og økt dødelighet i noe tid etter sprengning. Det er også observert sprukne svømmeblærer, noe som indikerer sterkt undertrykk eller kavitasjon.

Når avstanden fra sprengningsstedet er stor vil trykkpulsene ikke utgjøre et problem i forhold til direkte fysisk skade på marint liv, men vil medføre en lydforurensning. Lyden vil typisk ligge i et lavt frekvensområde som er hørbart for fisk (figur 7) og kan utløse stress, særlig i forbindelse med gyting, eller fisk som står i merd og ikke kan unnslippe. Stress hos fisk deles ofte i primær, sekundær og tertiær stressrespons (Iwama & Afonso 2006). En primær stressrespons er utløsning av stresshormoner som katekolaminer og kortisol, disse hormonendringene kan være kortvarige og derfor litt vanskelige å måle. Den primære adferdsmessige endringen vil være fluktnespons der fisken forsøker å komme seg bort fra en mulig fare. Denne fluktnesponsen vil i seg selv potensielt være skadelig, særlig i et oppdrettsanlegg der fisken ikke har mulighet til å unnslippe. En typisk fluktnespons vil være at fisken spenner muskulaturen slik at den danner en C før den skyter av gårde i vannet, ofte kalles dette for C-respons. Den sekundære stressresponsen følger av den primære og man kan da måle ulike biologiske og kjemiske blodparametere, som ionebalanse, laktat, pH m.m. Siden den primære stressresponsen sine endringer i stresshormoner kan være vanskelig å måle, måles ofte den sekundære stressresponsens kjemiske endringer for å få et inntrykk av stressnivået fisken har blitt utsatt for (Grimsbø & Kvadsheim, 2018).

Den tertiære stressrespons oppstår ved langvarig stress som fisken ikke greier å akklimatisere seg i forhold til. Ved slikt langvarig stress kan det gi endringer i matinntak, vekst og fiskens evne til reproduksjon, en generell reduksjon i almenntilstand. Generelt kan det virke som om fisk som har redusert almenntilstand, eller som er smittet av sykdom, får økt dødelighet og utbrudd av sykdom som følge av den ekstrabelastning en sprengning medfører. Særlig utsatt for økt dødelighet og sykdom relatert til sprengningsarbeider er fisk i oppdrettsanlegg, her finnes det eksempler på store økonomiske erstatninger (Grimsbø & Kvadsheim, 2018).

7.1 Influensområdet for detonasjoner

Det foreligger begrenset kunnskap om innenfor hvilke avstander det kan forventes skade på marint liv i forbindelse med sprengningsarbeider, følgelig er det vanskelig å beregne når det er nødvendig med tiltak. En ekspertgruppe oppnevnt av Miljødirektoratet oppsummerte i 2017 en kunnskapsstatus om effekter av detonasjoner og andre støykilder på marint liv. Der fremkommer det at ved spissstryknivåer over 210 dB (re 1 μ Pa²) for fisk og 202 for sjøpattedyr øker faren for skade (Kvadsheim et al. 2017). I en norsk studie om temaet fra 1993 (Larsen et al. 1993) ble effekten av en fritthengende ladning på 10 kg detonert på 5 meters dyp målt på torsk i avstander på 20, 80 og 200 meter. Registrert dødelighet var henholdsvis 92,8 %, 7 % og 0,7 % for de ulike avstandene, der sjokkamplituden ble målt til 68 bar (20 meter), 12 bar (80 meter) og 4,9 bar (200 meter) ved bruk av TNT. I tillegg viste forsøket at av 200 smålaks, som var plassert i fjernsonen i en avstand på 1000 meter, at 34 % hadde vann i svømmeblæren og 41 % hadde små blødninger i svømmeblæreveggen etter 7 sprengninger med en gjennomsnittlig amplitude på 0,75 bar (75 kPa). Effektene viste seg imidlertid ikke å være dødelige.

I likhet med denne studien er de fleste observasjoner av effekter fra sprengninger på marint liv utført ved detonasjoner i frie vannmasser, som gir større effekt enn hva som er tilfellet ved bergsprengning.

Nedenfor i tabell 1 er det vist en oppsummering av slike observasjoner (Kjellsby, 1993). Det må tilføyes at verdiene er fremkommet ved studier på voksen fisk med tilknyttede adferdsendringer. For larver/ungel er informasjonen hentet fra andre kilder.

Tabell 1: Effekter fra sprengninger på fisk i fri sjø som funksjon av lydtryknivå. Tallverdiene og tilhørende effekter gjelder i utgangspunktet for en sprengning. Pa: Pascal = N/m², B: bar. Gjelder under forhold med lav omgivelsesstøy og for voksen, frisk fisk som ikke er overforet (tabell fra Kjellsby 1993)

Lydtryknivå [dB ref. 1 µPa]	Effekter	Lydtrykk
260	----- Stor risiko for spontan død etter en enkel sprengning. Fisk med lukket svømmeblære vil være mer utsatt enn fisk med åpen svømmeblære.	10 MPa 1·10 ¹³ µPa 100 B
240	----- Indre skader som kan heles eller ikke. Fare for død ved gjentatte sprengninger. Sterke atferdsendringer.	1 MPa 1·10 ¹² µPa 10 B
220	----- Mindre eller ingen fysiske skader, men stress-	100 kPa 1·10 ¹¹ µPa 1 B
200	belastning ved gjentatte sprengninger. Middels sterke atferdsendringer.	10 kPa 1·10 ¹⁰ µPa 100 mB
180	----- Fisken blir påvirket. Voksen fisk kan venne seg til lydbelastningen ved gjentatte sprengninger, men dette kan være annerledes for larver/ungel. Svake til middels atferdsendringer.	1 kPa 1·10 ⁹ µPa 10 mB
160	----- 100 Pa	1·10 ⁸ µPa 1 mB
140	----- 10 Pa	1·10 ⁷ µPa 0,1 mB
	Fisken hører sprengningen(e) og voksen fisk vil reagere lite. Larver/ungel kan reagere mer.	
120	----- 1 Pa	1·10 ⁶ µPa 10 µB
100	----- 0,1 Pa	1·10 ⁵ µPa 1 µB
	Fisken hører ikke sprengningene.	

Andre kilder opererer med langt mer restriktive retningslinjer, særlig når det gjelder påvirkning på egg og tidlige stadier av larver/ungel. I retningslinjer for sprengning i sjø for Canada (Wright, D. G. & Hopky, G. E. 1998) fremkommer konkrete anbefalinger om at sprengningsarbeider som gir større trykkforskjell enn 100 kPa nære gyteområder, oppvekstområder, beiteområder og migrasjonsområder ikke skal gjennomføres. Tilsvarende skal det ikke utføres detonasjoner som utløser en større partikkelhastighet enn 13 mm/s i nærheten av gyteområder i rognklekketiden (Wright et al. 1998). Retningslinjene kommer med følgende tabeller:

Tabell 2: Retningslinjer for avstand til funksjonsområder for fisk i forhold til trykkforskjell under 100 kPa øverst og partikkelhastighet under 13 mm/s nederst (Wright et al. 1998).

Table 1. Setback distance (m) from centre of detonation of a confined explosive to fish habitat to achieve 100 kPa guideline criteria for various substrates.

Substrate Type	Weight of Explosive Charge (kg)							
	0.5	1	2	5	10	25	50	100
Rock	3.6	5.0	7.1	11.0	15.9	25.0	35.6	50.3
Frozen Soil	3.3	4.7	6.5	10.4	14.7	23.2	32.9	46.5
Ice	3.0	4.2	5.9	9.3	13.2	20.9	29.5	41.8
Saturated Soil	3.0	4.2	5.9	9.3	13.2	20.9	29.5	41.8
Unsaturated Soil	2.0	2.9	4.1	6.5	9.2	14.5	20.5	29.0

Table 2. Setback distance (m) from centre of detonation of a confined explosive to spawning habitat to achieve 13 mm·sec⁻¹ guideline criteria for all types of substrate.

	Weight of Explosive Charge (kg)						
	0.5	1	5	10	25	50	100
Setback distance (m)	10.7	15.1	33.7	47.8	75.5	106.7	150.9

8 Foreslåtte avbøtende tiltak

For å begrense det maksimale spisstrykket fra detonasjonen bør salven deles opp i delladninger som settes av med forsinkelse i forhold til hverandre, såkalt sekvensiell sprengning. Sprengningsplanen bør på forhånd analyseres slik at tidsforsinkelsen mellom delladningene i salven er satt optimalt.

Boblegardin bør benyttes i forbindelse med anleggsarbeidene.

Det er videre viktig at det benyttes tilstrekkelig fordemning i borhullene slik at energien i detonasjonen blir avsatt i fjellet og ikke direkte til vann.

9 Referanser

Amundsen, J. (1984) Emulsjonsslurry – erfaringer med borhulsdiameter 2 1/2" – 4" (Emulsjon slurry – experiences from drillholesdiameters 2 1/2" – 4), Fjellsprengningsteknikk, berg-mekanikk, geoteknikk, Norsk jord -og fjellteknisk forbund, p. 6.1- 6.18.

Aron, A. B., Slifko, J. P., Carter, A. (1948) Secondary Pressure Pulses Due to Gas Globe Oscillation in Underwater Explosions. I. Experimental Data, The Journal of the acoustical society of America, vol. 20, nr. 3, p. 271-276.

FFI 2017: Effekter av menneskeskapt støy på havmiljø FFI-RAPPORT 17/00075

Gaspin, J. B., Price, R. S. (1972) The underpressure field from explosions in water as modified by cavitation, Naval ordnance laboratory, White Oak, Silver Spring, Maryland, NOLTR 72-103.

Grimsbø, E. & Kvadsheim, P. H., 2018. Sprengningsarbeider i sjø -effekter på marint liv og mulig tiltak. Fjellssprengningsteknikk og bergmekanikk/geoteknikk 2018.

Iwama, G. K., Afonso, L. O. B. (2006) Stress in Fishes, Ed. Evans, D. H., Claiborne, J. B. The physiology of fishes, third edition, Taylor & Francis Group, FL. p.319-323.

Koschinski, S. (2011) Underwater Noise Pollution From Munitions Clearance and Disposal, Possible Effects on Marina Vertebrates, and Its Mitigation, Marine Technology Society Journal, vol. 45, nr. 6, p. 80-88.

Kvadsheim, P. H., Sivle, L. D., Hansen, R. R., Karlsen, H. E. (2017) Effekter av menneskeskapt støy på havmiljø, rapport til Miljødirektoratet om kunnskapsstatus, Forsvarets forskningsinstitutt, FFI-RAPPORT 17/00075. <http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M690/M690.pdf>

Larsen, T., Kjellsby, E., Olsen, S. (1993). Effekter av undervannssprengning på fisk. Havforskningsinstituttet. Rapport fra senter for marine ressurser nr. 11/1993. 18 s.

NOAA/NMFS (2016). Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing: Underwater Acoustic Thresholds for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts. U.S. Dept. of Commerce., National Oceanic and Atmospheric Administration - National Marine Fisheries Service, NOAA Technical Memorandum NMFSOPR-55, p.178.

Soldal, A. V. (1990) Minesprengning ved Helligvær, effekten på laks i merd, Oppdragsrapport, Fangstseksjonen, Fiskeriteknisk forskningsinstitutt, Institute of Fishery Technology research.

Wright, D. G. & Hopky, G. E. 1998. Guidelines for the Use of Explosives In or Near Canadian Fisheries Waters. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 210. 31 s.