



## Notat

|                |                                                                              |                 |                          |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------------|
| OPPDRAAG       | 10266625-01 KR-Utvidet-risikovurdering-undervannsakustikk-Røyrasundet-Svædet | DOKUMENTKODE    | 10266625-01-RIMT-NOT-001 |
| EMNE           | Utvidet risikovurdering ved sprenging                                        | TILGJENGELIGHET | Åpen                     |
| OPPDRAAGSGIVER | Kystverket                                                                   | OPPDRAAGSLEDER  | Tim Fristedt             |
| KONTAKTPERSON  | Henrik L. Kristoffersen                                                      | UTARBEIDET AV   | Tim Fristedt             |
| KOPI           |                                                                              | ANSVARLIG ENHET | 10235003                 |

### SAMMENDRAG

Det er gjennomført en oppdatert risikovurdering for å bedømme effekten av akustisk impulsiv lydeksposering fra sprenging i tiltaksområdene Skinnbrokleia, Kyrkjefluda og Svædet. Grunnet anleggstekniske vurderinger av nødvendig ladningsstørrelse for effektiv og økonomisk gjennomførelse av anleggsarbeidene er det vurdert 200 kg sprengvekt i Skinnbrokleia og Kyrkjefluda, mens for Svædet er sprengvekt satt til 15 kg siden det eventuelt kan det finnes behov til splitting av steinblokk.

Med en forbedret beregningsmodell for sprengtrykk i sjø, kan graden av konservatisme i anslåtte risikoavstander for skade på fisk signifikant minkes. Modellen er validert for mer enn 500 sprenginger over hele Norge og inneholder vurderinger av effektiviteten av fordemming basert på berggrunnskart over området, samt en refleksjonsdempingsterm som er avhengig hvor mange ganger lyden reflekteres mot bunn og en impedanseforskjell mellom bunn og sjøvann.

For den økte sprengvekten i Skinnbrokleia øker risikosonen for alvorlige skader fra 120 til 170 m, mens risikoavstandene for de mindre alvorlige risikosonene generelt minsker for den høyere sprengvekten på 200 kg i kombinasjon med den oppdaterte modellformuleringen. For temporære skader (TTS) minsker avstanden med omtrent 150 m og for adferdsendring (BDT) minsker risikosonen med hele 1.1 km. Siden tiltakene ikke skal skje i gytetiden er risikovurdering for gytende fisk (torsk) ikke et tema. Isteden er det mest trolig sånn at de mindre risikoavstandene til de mildere risikosonene BDT og TTS bidrar til å minke det generelle risikobildet for alt dyreliv i området som vurderes som lav og er begrenset til innenfor 850 m ifra sprengplassen (TTS) og for alvorlige skader (PTS) innenfor 200 m.

Sprengtrykket fra aktivitet i Svædet som forplanter inn mot verneområdene Flørauden og Eggholmen vil maksimalt ligge på litt over 170 dB re 1 µPa. Dette innebærer at det ikke er noen risiko for fugler eller annet dyreliv innenfor verneområdene. Den generelle risikoen for skader som kan oppstå på grunn av lydeksposering fra oppsplitting av steinblokk på bunnen vurderes dermed som lav til svært begrenset.

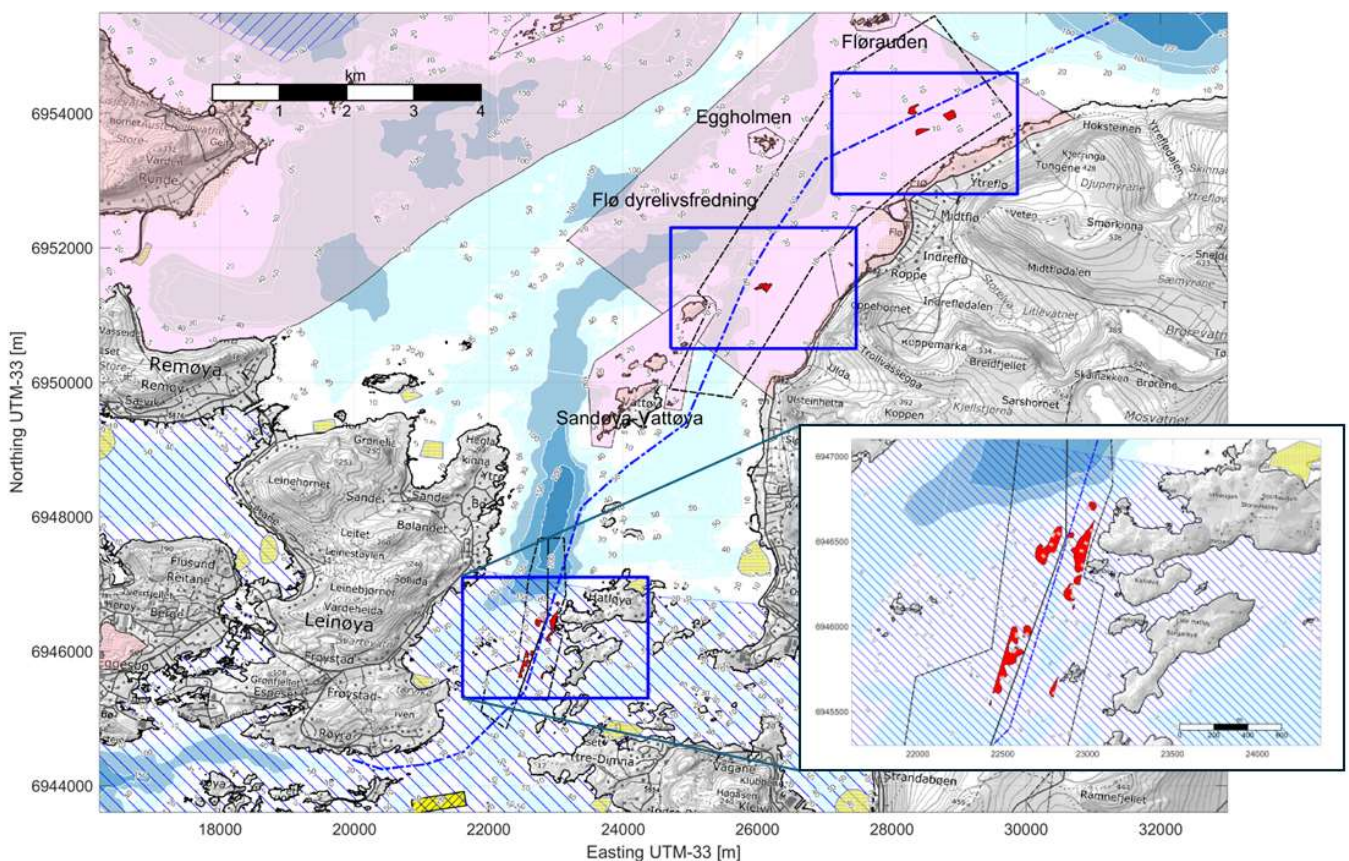
I Kyrkjefluda er det vurdert opp til 200 kg sprengvekt per intervall. Risikoavstandene er omtrent like de i Skinnbrokleia mens resipientene er som de for Svædet og derfor i hovedsak relatert til hekketida. Hvis sprengingene skjer med tette hull er risikoen for skade på fisk/fugl vurdert som lav i naturreservatene som har særskilt verdi for biologisk mangfold.

|      |            |                                                                        |               |                     |              |
|------|------------|------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------|--------------|
|      |            |                                                                        |               |                     |              |
|      |            |                                                                        |               |                     |              |
| 01   | 02.05.2025 | Lagt til Kyrkjefluda i risikovurderingen, Praktisk bruk av boblegardin | Tim Fristedt  | Hans Kristian Djuve | Tim Fristedt |
| 00   | 11.04.2025 | Første utgave                                                          | Tim Fristedt  | Hans Kristian Djuve | Tim Fristedt |
| REV. | DATO       | BESKRIVELSE                                                            | UTARBEIDET AV | KONTROLLERT AV      | GODKJENT AV  |

## 1 Bakgrunn

Grunnet anleggstekniske vurderinger av nødvendig ladningsstørrelse for effektiv og økonomisk gjennomførelse av anleggsarbeidene i tiltaksområdet er det meldt behov for en oppdatert vurdering av anbefalt ladningsstørrelse i Skinnabrokleia, Kyrkjefluda og ved Svædet, se [1]. Tiltaksområdene er vist i figur 1. Revurdering kan begrunnes i at det er klarlagt at det ikke kommer til å utføres noen sprengninger i gytetida og at det vil være aktuelt å bruke maks størrelse på sprengningsvekt på 200 kg per intervall, med innborede ladninger og bruk av fordemming. I tillegg har metodikken for risikovurdering og beregning av lydtrykk fra sprengingstiltak blitt forbedret vesentlig og inkluderer nå vurderinger av berg og bergkvalitet i området for en bedre estimering av forventet effekt fra fordemming, samt avstandsavhengig demping i forplantingsmodellen for lyd. Dette gjør at lydtrykksberegningen blir mer presis og minker dermed usikkerhetene i den endelige risikovurderingen.

For tiltaksområdet Svædet skal det også gjøres vurderinger mot resipient av støvende arbeid/sprengningsarbeid, hvor det kan være behov for begrenset sprengning av større enkeltblokker. På samme måte som for Skinnabrokleia og Kyrkjefluda planlegges i utgangspunktet gjennomføring av dette arbeid utenom sårbare perioder for naturmiljøet der disse er i konflikt.



Figur 1. Oversiktskart for de tre planområdene som er formål for utvidet risikovurdering; Skinnabrokleia lengst i sør, Svædet i nord og Kyrkjefluda i midten markert med blå firkanter. Røde områder viser grunner der det planlegges utdyping. Dybdene er markert med dybdekoter og markert i blå fargetoner. Rosa områder er verneområder og det skraverte området i sør indikerer gytetfelt for kysttorsk. Gul skravert firkant med rød skravering i nedre delen av figuren er oppdrettsanlegg 37517 Skarvskjæret for tare dyrking og prikkete gule områder er låssetningsplasser for fisk. Området ved Skinnabrokleia er innfelt i nedre høyre hjørnet av figuren. Kart: Multiconsult basert på data fra Geonorge.no.

## 2 Metodikk

Metodikken for å beregne sprengtrykk og vurdere risikoen for dyreliv går gjennom nøye i opprinnelig rapport [1], Appendiks C. I mellomtiden etter at opprinnelig rapport ble forfattet har metodikken blitt utviklet på flere punkter, da særlig i relasjon til effekten av fordemming (når borehullene tettes for å holde sprengtrykket nede i berget som skal sprenges). I tillegg har metodikk blitt utviklet både for å inkludere effekten av ulike typer bunnssedimenter og ulike typer forplantingsmodeller. Vi har også lagt til oppdaterte retningslinjer for risikogrenser til fisk og dyreliv i vår prosedyre, som inkluderer de seneste risikogrensene og anbefalingene til Havforskningsinstituttet (HI) og FFI. I neste seksjon er det gjort et kort sammendrag over de ulike forbedringene i den hydroakustiske forplantingsmodellen for risikovurdering.

### 2.1 Forbedringer av forplantingsmodellen

#### 2.1.1 Fordemming

Med base i Arons' formel, se [1, 2], Appendiks C.2 er det lagt til en mer helhetlig formulering av fordemmingseffektene. For beregninger av trykkbølge for innborede ladninger brukes en skjermingsfaktor eller «fordemmingseffekt», hvilken defineres hvor stor fraksjon  $\gamma$  av trykket  $p$  fra en fritt hengende ladning, som dempes ut gjennom knusingen av fjell. Dette gjør at det målte akustiske trykket  $p_m$  må reduseres med fraksjonen  $(1 - \gamma)$ ,

$$p_m = (1 - \gamma)p. \quad (1)$$

I litteraturen finnes mange ulike tall på effektiviteten til fordemming. Disse varierer betydelig fra 10 % til at 40 % av sprengningsenergien tillates forplante seg til akustisk energi (hvilket tilsvarer en fordemningsfaktor på henholdsvis  $\gamma = 90 - 60$  %, [3, 4, 5, 6]. De erfaringer vi hatt til dags dato i forbindelse med utdypingsprosjekter, sprenginger av grunner for både dype (palsprengninger) og grunne (flå) sprenginger og i tillegg knusing av fjell under fylling i sjø er at fordemningsfaktoren er noen steder mellom 80 – 90 %, dette innebærer at omtrent 10 – 20 % av energien i sprengingen går ut i sjøen som akustisk trykk [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14].

#### 2.1.2 Refleksjonsdemping

Ifra våre samlede analyseresultat ifra alle våre akustiske målinger kan vi konkludere at det målte trykket  $p_m$  kan godt kan beskrives med en dempingsterm  $\alpha(d, R, H)$  som er avhengig hvordan lyd reflekteres i bunn. For hver refleksjon i bunn blir en viss fraksjon av lydenergien absorbert i bunn, der mykere sedimenter absorberer mer enn harde bunner og fjell. Metodikken er bygget på en refleksjonsformulering basert på impedansforskjeller mellom de ulike mediene. Når lyd går igjennom en grenseflate mellom medier med ulike akustisk impedans, skjer en deling av den akustiske energien. For en trykkbølge deler refleksjonskoeffisient  $R^2$  og transmisjonskoeffisient  $T^2$  energien slik:

$$\begin{aligned} R^2 &= \frac{(Z_1 - Z_2)^2}{(Z_1 + Z_2)^2} \\ T^2 &= \frac{4Z_1Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} \end{aligned} \quad (2)$$

der  $Z_1$  er den akustiske impedansen i det opprinnelige mediet med innfallende og reflektert lydfelt og  $Z_2$  er impedansen i mediet med det transmitterte feltet. Ifølge typiske verdier i Tabell 1, for lydhastighet og tetthet reflekteres ca. 70 % av energien og ca. 30 % forplantes ved en overgang mellom fjell og vann.



Tabell 1: Akustiske egenskaper for fjell, fylling 0/400 og sjøvann og stål, som danner grunnlag for å beregne refleksjon og transmisjon gjennom en overgang mellom medier/grenseflate. [15, 16]

| Medie                                                  | Lydhastighet, $c$ | Tetthet, $\rho$             |
|--------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------|
| Fast fjell                                             | 6000 m/s          | 2650–2850 kg/m <sup>3</sup> |
| Fylling 0/400 (plastring, porøsitet 20% <sup>1</sup> ) | 2400–3300 m/s     | 2300–2500 kg/m <sup>3</sup> |
| Fylling 0/400 (kompaktet, porøsitet 10%)               | 3300–4200 m/s     | 2500–2700 kg/m <sup>3</sup> |
| Sjøvann                                                | 1500 m/s          | 1000–1030 kg/m <sup>3</sup> |
| Stål                                                   | 5000 m/s          | 7800–8000 kg/m <sup>3</sup> |

Med verdiene ifra Tabell 1 gir en overgang mellom fjell og sjøvann en transmisjonskoeffisient  $T=$  55-60 % og en refleksjonskoeffisient  $R=$  80-85 %, se Tabell 2. Hvis fjellet er mykere, blir  $R$  mindre, samtidig som  $T$  øker. For et hardere material, eks. stål gir overgangen til vann en transmisjon  $T=$  35-40 % og  $R=$  90-95 %.

Tabell 2: Matrise med tall i % på spennvidde i refleksjons- og transmisjonskoeffisienter,  $R$  og  $T$ , basert på egenskapene til de ulike mediene i Tabell 1. Refleksjonskoeffisientene  $R$  vises over diagonalen og transmisjonskoeffisientene  $T$  vises under diagonalen.

| Medie       | Vann  | Fjell | 0/400 (10%) | 0/400 (20%) | Stål  |
|-------------|-------|-------|-------------|-------------|-------|
| Vann        |       | 80-85 | 70-80       | 55-70       | 90-95 |
| Fjell       | 55-60 |       | 10-30       | 30-50       | 40-50 |
| 0/400 (10%) | 60-70 | 90-95 |             | 10-20       | 50-65 |
| 0/400 (20%) | 60-80 | 85-95 | 90-95       |             | 65-75 |
| Stål        | 35-40 | 90-95 | 75-85       | 65-75       |       |

For flere norske fjorder har vi tilpasset refleksjonskoeffisienten  $R$  og sett at den ved flere tilfeller havner et sted mellom 60-90%, hvilket er helt i tråd med forventede verdier ifra den teoretiske beskrivelsen i ligning (2). Formuleringen for målt trykk  $p_m$  inkluderende en dempingsterm  $\alpha$  kan derfor skrives slik,

$$p_m = (1 - \gamma)p \alpha(d, R, H) \quad (3)$$

der vi valgt å beskrive  $\alpha$  som en enkel strålebanemodell der vi ser på hvor mange ganger en lydbølge i middeltall treffer bunn i sin veg mellom kilde og sensor. Forenklet holder det derfor å se på 45 graders «lydstråler» som beveger seg mellom grenseflatene. Dersom refleksjonen i overflaten er i prinsippet perfekt (det er lite energitap i overflaten siden impedanskontrasten mellom vann og luft høy) telles kun bunnrefleksjoner og da blir avstanden  $L$  mellom hver bunnrefleks i en fjord med middeldybde  $H$ :

$$L = 2\sqrt{2}H. \quad (4)$$

Dette betyr at, for hver distanse  $L$ , reflekteres  $R$  % av trykkbølgen og resten er tapt igjennom bunnrefleksjonene. Siden antall refleksjoner  $N_r(d) = d/L$  er en funksjon av avstanden kan dempingen  $\alpha$  derfor beskrives kontinuerlig. Dette gir dempingen  $\alpha(d, R, H)$  fra bunnrefleksjoner som en funksjon av avstanden  $d$ ;

<sup>1</sup> Perfekt pakket «plastring» med sfæriske stein av samme dimensjon gir en porøsitet på 25.9%

$$\alpha(d, R, H) = -(1 - R)^{N_r(d)} = -(1 - R)^{\frac{d}{L}} = -(1 - R)^{d/(2\sqrt{2}H)}. \quad (5)$$

Denne formulering har vist seg meget robust og lar seg fint implementere for lydeksponeringsberegninger.

## 2.2 Oppdaterte risikogrenser for lydtrykk i sjø

Sprenging gir er impulsiv trykkpuls som karakteriseres av spisstrykk (SPL) og hvis dette er høyt nok, kan trykket påføre både temporære og permanente skader på dyreliv i området. På lengere avstander blir dyrene kun forstyrret og skremt, og kan derfor endre adferd. Ulike type dyr og ulike arter har ulike type reaksjon; noen arter flytter seg unna og andre blir ikke skremt [17]. I forestående prosjekt omhandler det primært fritt svømmende fisk som ikke er rødlistet eller skal til å gyte. For denne type fisk er grenseverdien for endret adferd fra impulsiv trykkpåvirkning ifølge internasjonal faglitteratur [18, 19] satt til ca. 190 dB re 1 µPa, se Tabell 3. Havforskningsinstituttet har i samarbeid med FFI publisert forskning om at eks. laks i merder viser kortvarige, men helt normale, forstyrrelser ved lavere terskler, hhv. >163 og ca. 168 dB re 1 µPa (hhv. [20] og [9]), og man ønsker derfor ikke å påføre gytende fisk høyere spisstrykk enn dette. Havforskningsinstituttet har videre etablert ytterligere to grensenivåer for lyd fra kontinuerlige kilder (basert på seismiske undersøkelser) og disse integrerer over hhv. 10 og 60 sekunder, og betegnes som SEL<sub>10</sub> og SEL<sub>60</sub>, [21, 22]. For å unngå adferdsendring anbefaler HI at SEL<sub>10</sub> <145 dB re 1 µPa<sup>2</sup>s, alternativt at SEL<sub>60</sub> <153 dB re 1 µPa<sup>2</sup>s. (SEL<sub>10</sub> og SEL<sub>60</sub> kan brukes helt analogt siden det for en repetitiv med samme styrke over tid gir samme skalering av beregnet SEL som av grenseverdiene).

Disse nye retningslinjer har derfor resultert i en oppdatert risikovurderingsmatrise (sammenlign med Tabell 8 i Appendiks E i opprinnelig rapport [1]), som også inkluderer risiko for små hvaler/nise, seldyr og andre marine rovdyr, se Tabell 3.

Tabell 3: Terskelverdier ved kort- og langvarig lydeksponering. Tabell basert på studier ved sprenging og peling [23, 24, 19, 25]. Spisstrykket, SPL er angitt i [dB re 1 µPa], og lydeksponering, SEL er angitt i [dB re 1 µPa<sup>2</sup>s]. Manglende data er oppgitt som M.D.

| Type art                                     | BDT - Terskel for endret adferd / reaksjon |                   | TTS – Temporær terskelforskyvning |                   | PTS – Permanent terskelforskyvning |                   | Barometrisk trauma / død |                   | Partikkelbevegelse |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|--------------------|
|                                              | SPL                                        | SEL <sub>10</sub> | SPL                               | SEL <sub>10</sub> | SPL                                | SEL <sub>10</sub> | SPL                      | SEL <sub>10</sub> |                    |
| Fisk i merder / Gyting                       | 163                                        | 145               | -                                 | -                 | -                                  | -                 | -                        | -                 | -                  |
| Fisk                                         | 190                                        | 160               | 206                               | 186               | 207                                | 203               | 229-234                  | 210               | < 6                |
| Liten hval / Nise                            | 152                                        | 145               | 196                               | 202               | 207                                | 203               | 229-234                  | -                 | < 6                |
| Phocids (seldyr)                             | M.D.                                       | M.D.              | 212                               | 170               | 218                                | 185               | 217-242                  | -                 | 13                 |
| Andre marine rovdyr (eks. hvalross, isbjørn) | M.D.                                       | M.D.              | 226                               | 188               | 232                                | 203               | -                        | -                 | M.D.               |
| Terskelverdier                               | 150 / 165 / 190                            | 145 / 160         | 200                               | 180               | 210                                | 200               | 220                      | 210               | 6                  |

## 2.3 Skinnbrokleia

Vanndybden ved Skinnbrokleia Nord varierer mellom 10 m og 30 m. Like nord for avgrensing er vandypet over 200 m, med det passende navnet Botnaløysa. Sjøbunnstopografien er nokså variert. De grunnere områdene består mest av oppstikkende bergkoller, uten nevneverdig forekomst av løsmasser. I øst, like utenfor farleden, ligger holmer og skjær som stikker over vannoverflaten. Det er hovedsakelig denne typen bergformasjon som trenger de store palhøydene og en anslått sprengvekt på 200 kg per intervall, mens løsmassene er mer fokusert til de dypere delene der mektigheten er



størst på steder hvor bergforløpet danner bassenglignende groper som kan fange opp transporterte sedimenter [26]. Sammensetninger av berggrunnen i Skinnabrokleia er, iht. NGU sin karttjeneste [27], dominert av gneis og granittisk gneis, hvilke begge er relativt harde. Det finnes heller ikke i kartmaterialet noen mistanker om sterk grad av oppsprukket fjell eller foliering av bergkoller eller underliggende berggrunn.

### 2.3.1 Modellparameter - Skinnabrokleia

Med den nye metodikken som har blitt utviklet kan vi lage en risikovurdering som tar hensyn til flere parametere enn tidligere.

**Kildestyrke:** Her er det ønsket at risikovurderingen baseres på en maksimal sprengvekt per intervall på 200 kg for å klare og spreng ned til plandybde på 11.3 m. Med omtrent 2 m underboring blir dette en maksimal pallhøyde på 14 m. Med antatt normalt hullmønster (4 x 3.7 m med hulldimensjon Ø127 mm) og sprenging tilpasset flytende sprengstoff («slurry» med en vekt på ca. 16 kg/m hull). Med noen del uladet og fordemming på 1-1.5 m gir det en total ladestørrelse per hull like under 200 kg.

**Fordemming:** For at fordemming skal få tiltenkt effekt må berget ikke være altfor oppsprukket eller være av altfor lav kvalitet [12]. Siden berget er forventet å være hard og i liten grad oppsprukket, kan vi derfor anta at eventuell fordemming kommer til å gi god dempingeffekt. Vi kan derfor primært bruke risikoavstandene fra beregninger med skjermingskoeffisient  $\gamma=90\%$  og fortsatt ha en konservativ tilnærming i beregningene.

**Forplantning:** For beregninger av spredning og forplantning av sprengtrykk gjør vi ikke noen endringer i forplantningsegenskapene til lydfeltet og bruker (likt som i forrige rapport) Arons' formel.

**Refleksjonsdemping:** I norske fjorder varierer dempingen ved refleksjoner i bunn slik at 60-90% av innfallende energien er reflektert. Vi gjør et konservativt anslag og setter  $R=90\%$ , dvs. vi tillater at 90% av lyden er reflektert ved hver bunnrefleksjon og 10 % er absorbert i bunn.

**SPL-risiko:** Utenfor gytetida er grenseverdiene for temporære skader (TTS) på fisk i Skinnabrokleia 200 dB re 1  $\mu$ Pa. Vi trenger heller ikke å vurdere effektene for oppdrettsanlegget 37517 Skarvskjæret siden dette driver med taredyrking.

## 2.4 Svædet

Svædet ligger omsluttet av et verneområde benevnt «Flø Dyrelivsfredning», her er egentlig den eneste restriksjonen at alle fugle- og pattedyrarter er freda mot jakt- og fangst og har per dags dato ikke noen andre restriksjoner. Omtrent 1 km nord nordvest for tiltaksområde Svædet ligger en gruppe skjær «Flørauden naturreservat» som er et område med særlig verdi for biologisk mangfold og som inneholder truet, sjelden og sårbar natur. Området er en viktig hekkelokalitet for sjøfugl, inkludert ærfugl, terner, måker og teist. Det samme gjelder «Eggholmen naturreservat» 2.2 km vest-sydvest for Svædet og «Sandøya-Vattøya naturreservat» omtrent 4.3 km sydvest for Svædet.

Bunnforholdene i området rundt Svædet er relativt flate og selve Svædet er en rygg av løsmasser som strekker seg sørøst fra Flørauden naturreservat. Ryggen har en dybde på omtrent 11 m og seismiske undersøkelser indikerer en berghorisont mellom kote -17 og -65 m [28]. I opprinnelig rapport var det ikke gjort beregninger for sprenging siden det kun var planlagt mudring av løsmasser. Nå vurderer man å se på mulighetene for å spreng enkelte salver for å dele opp større blokker, og enklere kunne mudre dem bort.



### 2.4.1 Modellparameter - Svædet

Vi bruker samme metodikk for analysen av sprenginger ved Svædet som Skinnabrokleia, og vi har derfor samme utgangspunkt for å ta hensyn til flere parametere enn tidligere.

**Kildestyrke:** Her er det vurdert at maksimal sprengvekt for oppdeling av steinblokk på maksimalt 15 kg per intervall.

**Fordemning:** Selv om det er større kompakte blokker som skal sprenges er det muligens ikke helt hensiktsmessig å klare og gjennomføre en effektiv fordemning av denne type sprenging. Vi baserer derfor risikovurderingen på beregninger med utettede hull ( $\gamma = 80\%$ ) for å bedømme risikoen for skade på fisk og dyreliv i området.

**Forplantning:** For sprenging gjør vi ikke noen endringer i forplantingsegenskapene til lydfeltet og bruker Arons' formel, som i forrige rapport.

**Refleksjonsdemping:** Det kan forventes at effekten av refleksjonsdempingen i dette området er litt høyere enn i Skinnabrokleia siden dybden i området er litt lavere og det i tillegg er mykere bunn gjennom løsmassene. For å fortsette med en konservativ tilnærming setter vi også i denne beregning  $R=90\%$ , dvs. vi tillater at 90% av lyden er reflektert ved hver bunnrefleksjon og 10 % er absorbert i bunn i samme grad som for Skinnabrokleia.

**SPL-risiko:** Siden det ikke er noen gytefelt i området, og heller ikke noen dokumenterte oppvekstområder for yngel eller juvenil fisk, er grenseverdiene for temporære skader på fisk lik den i Skinnabrokleia og settes til 200 dB re 1  $\mu\text{Pa}$ . For fugl er det lite grenseverdier dokumentert for skade, men det som finnes dokumentert er i samme størrelsesorden som for fisk [29], og temaet her er isteden at man ikke ønsker å forstyrre selve områdene under hekketida. For både Flørauden og Eggholmen burde avstanden på cirka 2 km være en god beskyttelse for å oppnå dette. Men vi anslår at vi ønsker å ha liten eller ingen påvirkning på adferden, og setter grensen for SPL til  $<180$  dB re 1  $\mu\text{Pa}$  i verneområdene.

## 2.5 Kyrkjefluda

Kyrkjefluda består av en sammenhengende bergknaus på dybdekote -6.0 til -8.0 m. Omgivende områder ligger mellom kote -15.0 og -20.0 m. Mot sørvest skrår sjøbunnen ned mot kote -50.0 m, og mot vest skrår det ned mot det som i opprinnelig samlet grunnlagsrapport [26] er benevnt «Sjødeponi Svædet/Kyrkjefluda». Løsmasser på sjøbunn er hovedsakelig konsentrert i groper og furer i bunn samt et tynt dekke av løsmasser i flate partier. Ved Kyrkjefluda er Eggholmen (1.9 km) og Sandøya-Vattøya naturreservat (0.8 km) bevaringsverdige resipienter for undervannsstøy. Avstanden til nærmeste gytefelt for sild er omtrent 7 km nordvest for grunnene som utdypes, og nærmeste gytefelt for torsk er omtrent 5.3 km sørvest. Kyrkjefluda er også lokalisert innenfor Flø dyrelivsfredning, se nærmere beskrivelse i kap. 2.4.

Iht. NGU sin karttjeneste [27] er sammensetningen av berggrunnen i Kyrkjefluda meget lik den i Skinnabrokleia, og består hovedsakelig av gneis og granittisk gneis, som begge er relativt harde. Det finnes heller ikke i kartmaterialet noen mistanker om sterk grad av oppsprukket fjell eller foliering av bergkoller eller underliggende berggrunn. Tykkere lag av løsmasser er iht. til undersøkelsene [30] i hovedsak lokalisert til groper og hull, mens det ligger et tynt lag distribuert i hele området.

### 2.5.1 Modellparameter - Kyrkjefluda

Vi bruker samme metodikk for analysen av sprenginger som ved Svædet og Skinnabrokleia, og vi har derfor samme utgangspunkt for å ta hensyn til flere parametere enn tidligere.



**Kildestyrke:** Det er litt usikkerhet rundt hvilke endelige pallhøyder som kommer til å brukes ved Kyrkjefluda, derfor er det ønsket at risikovurderingen skal baseres på en maksimal sprengvekt per intervall på 200 kg for å ha mulighet å klare høye paller. Dette til tross for at det er lite sannsynlig at denne ladevekten blir brukt. Med 2 m underboring estimerer vi at man kan klare opp til en maksimal pallhøyde på 14 m, hvis det er brukt normalt hullmønster (4 x 3.7 m med hulldimensjon Ø127 mm) og sprenging tilpasset flytende sprengstoff («slurry» med en vekt på ca. 16 kg/m hull).

**Fordemming:** For at fordemming skal få tiltenkt effekt må berget ikke være altfor oppsprukket eller være av altfor lav kvalitet [12]. Siden berget er forventet å være hardt og i liten grad oppsprukket, kan vi derfor anta at eventuell fordemming kommer til å gi god dempingseffekt analogt med Skinnabrokleia. Vi kan derfor primært bruke risikoavstandene fra beregninger med skjermingskoeffisient  $\gamma=90\%$  og fortsatt ha en konservativ tilnærming i beregningene.

**Forplantning:** For beregninger av spredning og forplantning av sprengtrykk gjør vi ikke noen endringer i forplantningsegenskapene til lydfeltet og bruker (likt som i forrige rapport) Arons' formel.

**Refleksjonsdemping:** I norske fjorder varierer dempingen ved refleksjoner i bunn slik at 60-90% av innfallende energien er reflektert. Siden det er dokumentert et tynt lag løsmasser i området gjør vi et konservativt anslag og setter  $R=90\%$ , dvs. vi tillater at 90% av lyden er reflektert ved hver bunnrefleksjon og 10 % er absorbert i bunn.

**SPL-risiko:** Siden det ikke er noen gytefeltet i området og heller ikke noe dokumentert oppvekstområde for yngel eller juvenil fisk er grenseverdiene for temporære skader på fisk lik den i Skinnabrokleia og setts til 200 dB re 1  $\mu\text{Pa}$ . Resipientene nært Kyrkjefluda er i hovedsak relatert til hekkeområdene i naturreservatet og vi bruker derfor samme grenseverdier som for Svædet, se kap. 2.4.1. Hvis sprenging skal skje utenfor hekketida setter vi grensa til 200 dB re 1  $\mu\text{Pa}$  i likhet med Svædet.

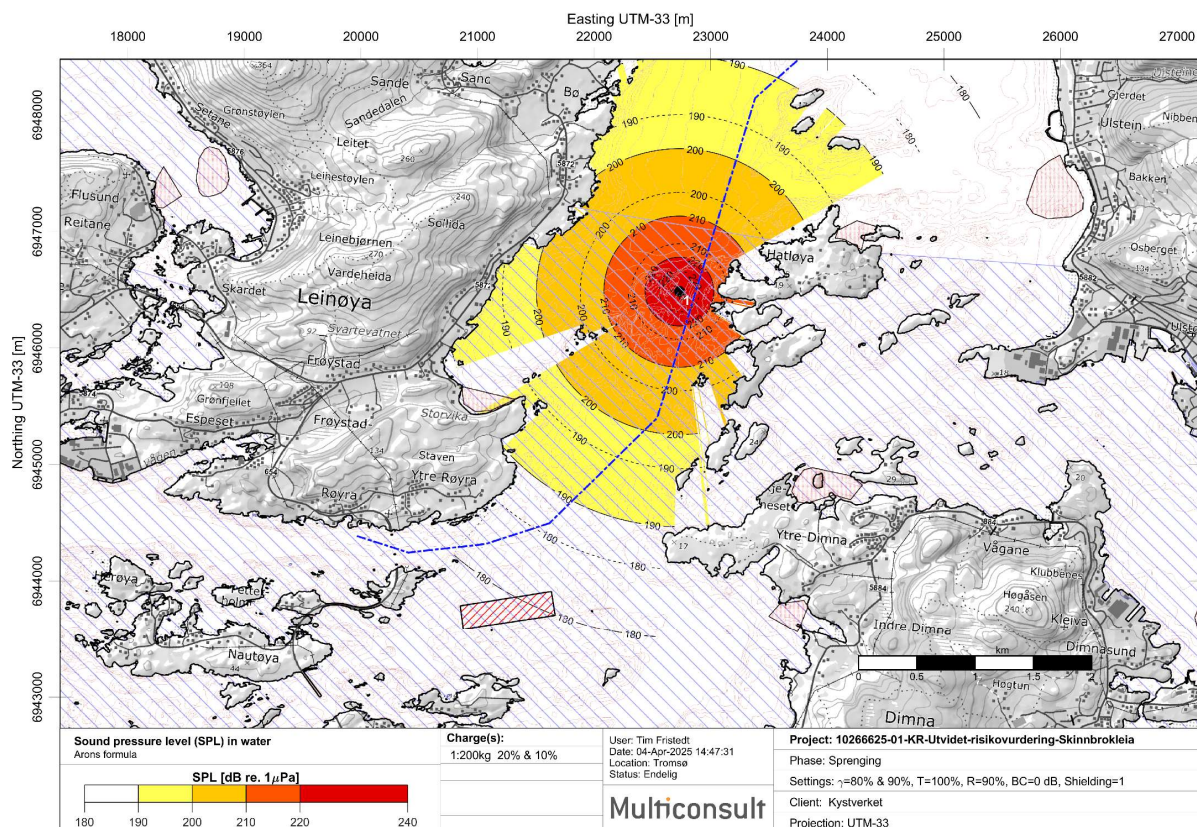
## 2.6 Resultater

### 2.6.1 Resultater Skinnabrokleia

Beregningsresultatene vises i Figur 2 med de innstilninger som er redegjort for i seksjon 2.3.1. Risikosonene vises i tilsvarende farge som er beskrevet i både legenden og i Tabell 3.

Siden vi konkludert at fordemming mest sannsynlig kommer til å gi en god effekt kan vi fokusere på de stiplete sirklene, som svarer mot sprengning med god fordemming ( $\gamma=90\%$ ). Det er tydelig at det er en relativt stor sone der det kan forventes endret adferd (BDT: SPL > 190 dB re 1  $\mu\text{Pa}$ ) som innefatter omtrent hele Skinnabrokleia. Risikosonen for temporære skader (TTS: SPL > 200 dB re 1  $\mu\text{Pa}$ ) strekker seg like under 1 km ut ifra sprengstedet og soner for permanente skader/død (SPL > 220 dB re 1  $\mu\text{Pa}$ ) når omtrent 200 m ifra selve sprengingen.

Siden tiltaket ikke kommer til å skje innenfor gyttiden til torsk trengs ikke noen vurdering iht. det blå skraverte området som viser gytefelt til kysttorsk. Man kan notere at låssettingsplassen i Storvika, på vestre side av Skinnabrokleia, ikke havner i grensesonen der det kan forventes endret adferd (BDT: SPL > 190 dB re 1  $\mu\text{Pa}$ ), men at det mest sannsynlig kommer til å bli eksponert for en mye lavere trykkpåvirkning siden Storvika i stor grad er skjermet av de små øyene i midten av Skinnabrokleia. De andre låssetningsplassene i området er godt skjermet gjennom sin plassering på østsida av Hatløya.

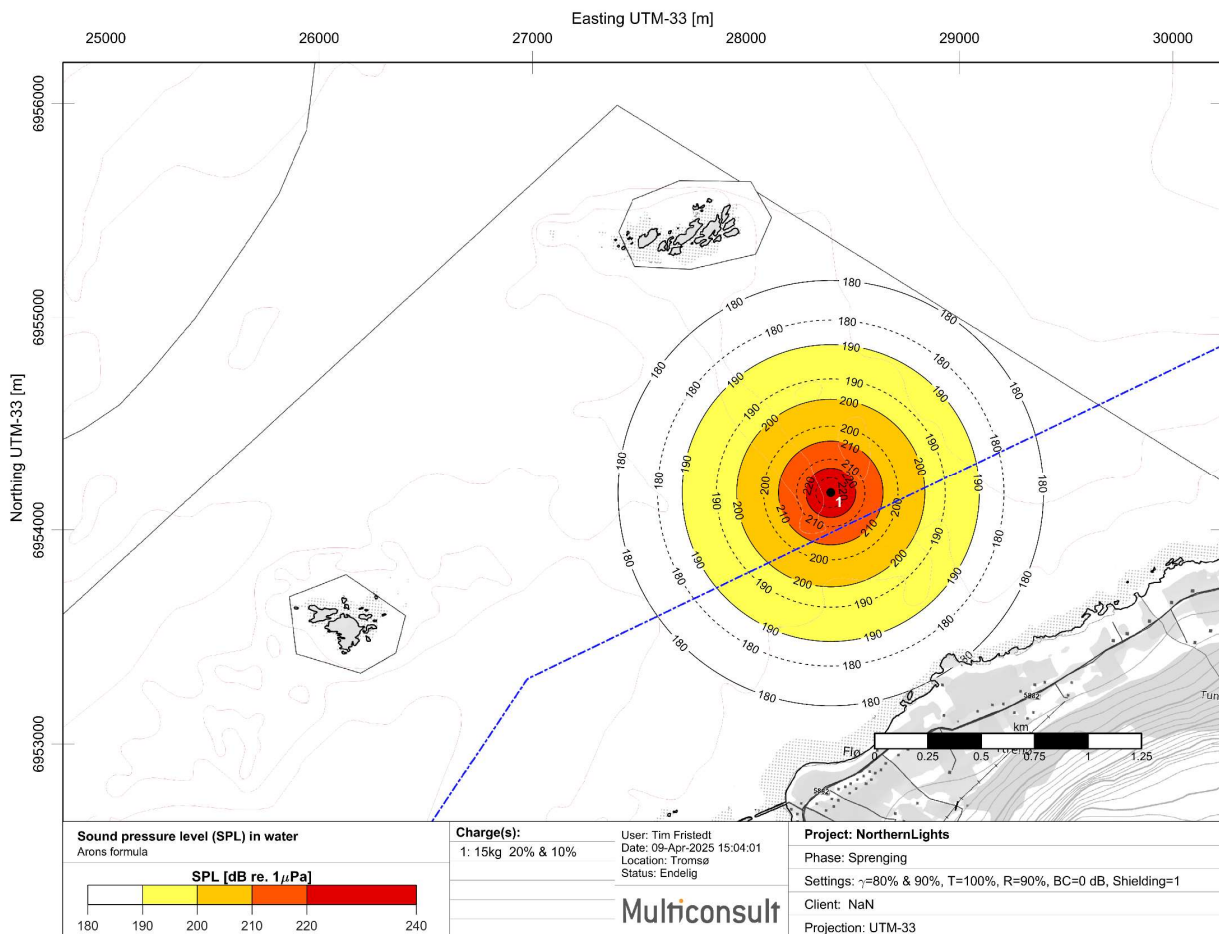


Figur 2: Resultat av analyse av beregning av spisstrykk (SPL i dB re 1  $\mu\text{Pa}$ ) fra sprengning i Skinnabrokleia med 200 kg enhetsladning. Hele sirklene indikerer sprengning med utettede hull/oppsprukket fjell ( $\gamma=80\%$ ) og stiplete sirklene indikerer godt tette hull med fungerende fordemming, ( $\gamma=90\%$ ). Blå skraverte områder markerer gytefelt for kysttorsk, rød skravert firkant er oppdrettsanlegg og røde områder med små prikker er låssetningsplasser for fisk.

## 2.6.2 Resultater Svædet

På samme måte som for Skinnabrokleia vises beregningsresultatene for Svædet grafisk (Figur 3) med de innstillinger som er lagt til grunn i seksjon 2.4.1, og risikozonene i tilsvarende farge som er beskrevet i både tegnbeskrivelsen og i Tabell 3.

Selv om vi fokuserer på den lavere graden av fordemmingseffekt (heldragne sirkler,  $\gamma=80\%$ ) ser man tydelig at det ikke foreligger noen risiko for endret adferd i verneområdene Flørauden og Eggholmen. Man kan også se at sprengtrykket som forplanter seg inn mot Flørauden maksimalt kommer til å være like over 170 dB re 1  $\mu\text{Pa}$ , hvilket er 20 dB lavere (10 ganger lavere) enn grensen for endret adferd ved SPL > 190 dB re 1  $\mu\text{Pa}$ . Sonen for endret adferd (BDT: SPL > 190 dB re 1  $\mu\text{Pa}$ ) strekker seg ut ifra sprengstedet omtrent 700 m ut og risiko for temporære skader (TTS: SPL > 200 dB re 1  $\mu\text{Pa}$ ) opptrer først innenfor 440 m og permanente skader/død (SPL > 220 dB re 1  $\mu\text{Pa}$ ) innenfor 120 m. Det foreligger derfor ikke noen risiko for fugl eller annet dyreliv innenfor verneområdene og risikoen er svært begrenset for skader som kan komme av lydeksponering fra oppsplitting gjennom sprenging av steinblokk på bunn.



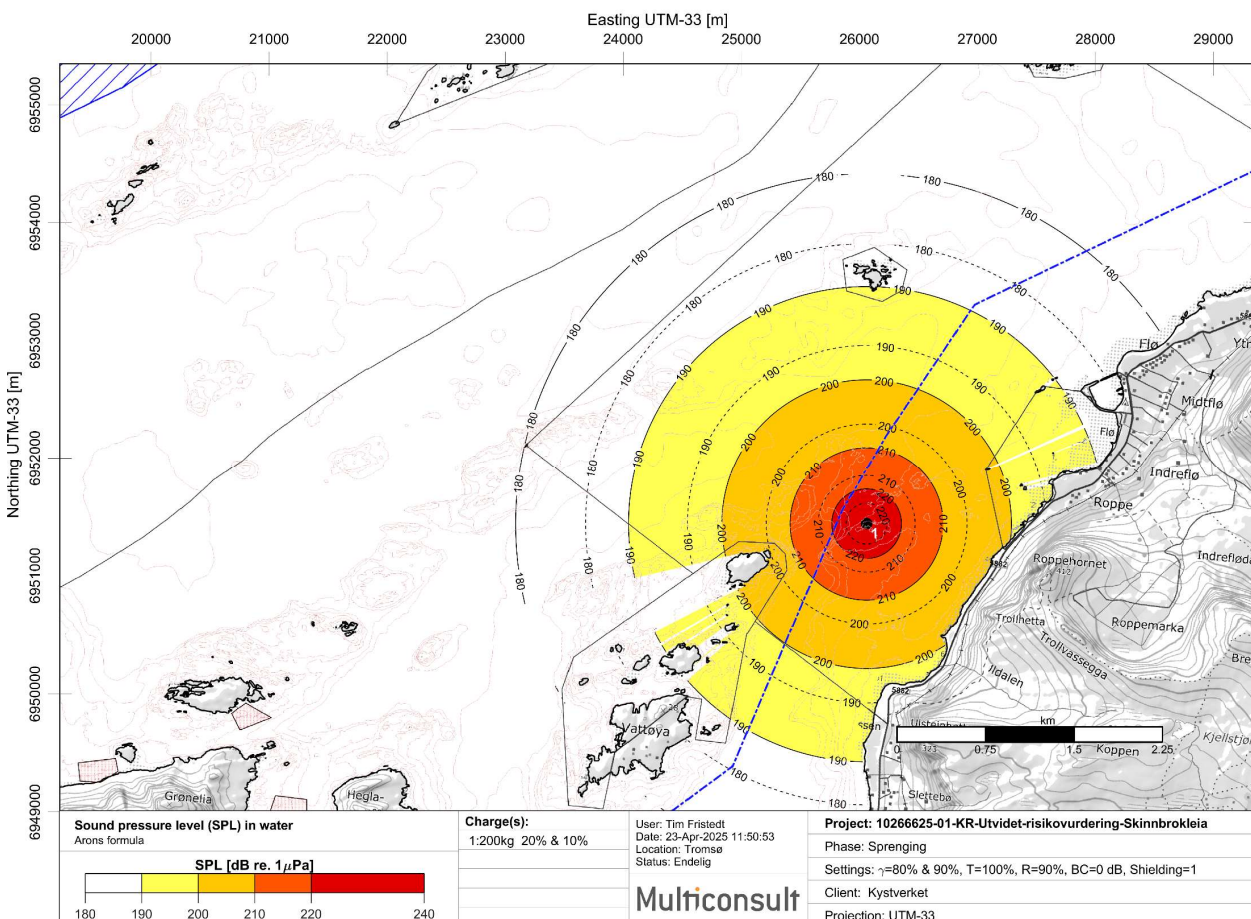
Figur 3: Resultat av analyse av beregning av spisstrykk (SPL i dB re 1  $\mu\text{Pa}$ ) fra sprengning i Svædet med 15 kg enhetsladning. Hele sirkler svarer mot sprenging med utettede hull/oppsprukket fjell ( $\gamma=80\%$ ) og stiplede sirkler svarer til godt tettede hull med fungerende fordemming, ( $\gamma=90\%$ ). Den stiplede blå linjen indikerer planlagt farled og verneområdene rundt Flørauden og Eggholmen naturreservat er markert med svarte polygoner.

### 2.6.3 Resultater Kyrkjefluda

På samme måte som for Skinnabrokleia og Svædet vises beregningsresultatene for Kyrkjefluda i Figur 4 med de forutsetningene som er lagt til grunn i seksjon 2.5.1, og risikosonene i tilsvarende farge som er beskrevet i både tegnbeskrivelsen og i Tabell 3.

For Kyrkjefluda vurdertes ladestørrelser opp til 200 kg som en følge av mulige lengere palsprengninger. For å se på effekten av såpass store ladninger vises sprengtrykket for 200 kg enhetsladninger i Figur 4. Beregningene viser at, for 200 kg ladevekt med utettede hull, havner Eggholmen, Sandøy-Vattøya naturreservat og området for Flø dyrelivsfredning i sonen for reaksjon og endret adferd (SPL >190 dB re 1  $\mu$ Pa). Nordøstre del av Sandsøy-Vattøya naturreservat havner innenfor sonen for temporære skader (SPL > 200 dB re 1  $\mu$ Pa) hvis det ikke blir brukt fordemming ( $\gamma$ =80%), mens området akkurat går fri fra 200 dB-grensa hvis hullene er fordemmet ( $\gamma$ =90%). Området «Flø dyrelivsfredning» er påvirket til større grad, men området er kun fredet for jakt og fangst av fugl og pattedyr [28].

På samme måte som for Svædet bør både sprenging, graving og dumping planlegges slik at man unngår hekkeperioden mai – juli. Gytefeltene ansees å være så langt unna at undervannsstøyen fra sprengningen ikke fører til noen adferdsendringer, og fisk rundt naturreservatene (som fungerer som matressurser til sjøfuglen) er vurdert til å ha lav påvirkningsgrad.



Figur 4: Resultat av analyse av beregning av spisstrykk (SPL i dB re 1  $\mu$ Pa) fra sprengning i Kyrkjefluda med 200 kg enhetsladning. Hele sirkler svarer mot sprenging med utettede hull/oppsprukket fjell ( $\gamma$ =80%) og stiplede sirkler svarer til godt tette hull med fungerende fordemming, ( $\gamma$ =90%). Den stiplede blå linjen indikerer planlagt farled og verneområdene rundt Eggholmen og Sandøya-Vattøya naturreservat er markert med svarte polygoner.



### 3 Konklusjon og sammendrag

De grafiske resultatene i Figur 2, Figur 3 og Figur 4 er sammenstilt i tabellform i Tabell 4, der også resultatene ifra opprinnelig rapport [1] er lagt ved som den øverste linjen som beskriver Skinnabrokleia med 50 kg ladevekt per intervall og uten refleksjonsdemping ( $R=100\%$ , dvs. all energi som faller inn mot bunn blir reflektert). Vi har ikke tatt med effekten av boblegardin (10 dB demping av kildestyrken) i den oppdaterte risikovurderingen siden det er et avbøtende tiltak som har liten sannsynlighet til å kunne implementeres fremgangsrikt, grunnet eksponerte forhold og skalaen på både utdypingsområdene og resipientene.

Det er meget interessant å se at risikoavstandene for BDT og TTS er lavere for de nye resultatene med 200 kg sprengvekt sammenlignet med de ifra opprinnelig rapport der sprengvekten kun var 50 kg. For den mer alvorlige risikozonen PTS/død oppviser sprenginger med 200 kg litt lenger risikoavstander (170 m) i forhold til de for forrige avstanden på 120 m for 50 kg ladevekt per intervall. Dette kan i det første oppfattes som kontraintuitivt, men er en helt naturlig effekt av at det i de nye beregningene er introdusert refleksjonsdemping som har liten betydning i nærfeltet da det fortsatt ikke skjedd så mange refleksjoner, og tiltar i betydning på lengere avstander når lyden har rukket å bli reflektert flere ganger i bunn. Konsekvensen av dette er at risikovurderingene som blir gjort har en fortsatt stor grad av konservativ tilnærming i nærfeltet, der det faktisk er farlig (PTS/død) for dyreliv å være til stede under sprenging. Men at for de lavere risikogradene i fjernfeltet (BDT og TTS) minker graden av konservatisme i analysen og gjør beregningene mer presise.

Tabell 4: Oversikt over risikozoner og risikoavstander ifm. sprenging for de 2 tiltaksområdene som er vurdert. Risikozonene er delt opp i «Behaviour Detection Threshold (BDT)» (grense for endret adferd) og «Temporær terskelforskyving (TTS)» og «Permanent terskelforskyving (PTS)». I tabellen vises både tette ( $\gamma=90\%$ ) og uttette hull ( $\gamma=80\%$ ) og for hver sone er det også beregnet tilsvarende risikoavstand ved bruk av boblegardin (+BC).

| Risikozone<br>Tiltaksområde       | BDT (> 190 dB)                  |                                 | TTS (> 200 dB)                  |                                 | PTS (> 220 dB)                  |                                 |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|                                   | $\gamma=80$ // $\gamma=80 + BC$ | $\gamma=90$ // $\gamma=90 + BC$ | $\gamma=80$ // $\gamma=80 + BC$ | $\gamma=90$ // $\gamma=90 + BC$ | $\gamma=80$ // $\gamma=80 + BC$ | $\gamma=90$ // $\gamma=90 + BC$ |
| Skinnabrokleia 50kg ( $R=100\%$ ) | 4.8 km // 1.7 km                | 2.6 km // 940 m                 | 1.7km // 600m                   | 1 km // 350m                    | 230m // 80m                     | 120m // 50m                     |
|                                   | $\gamma=80$                     | $\gamma=90$                     | $\gamma=80$                     | $\gamma=90$                     | $\gamma=80$                     | $\gamma=90$                     |
| Skinnabrokleia 200kg ( $R=90\%$ ) | 2.0 km                          | 1.5 km                          | 1.2 km                          | 850 m                           | 300 m                           | 170 m                           |
| Svædet 15 kg ( $R=90\%$ )         | 700 m                           | 540 m                           | 440 m                           | 310 m                           | 120 m                           | 70 m                            |
| Kyrkjefluda 200 kg ( $R=90\%$ )   | 2.0 km                          | 1.5 km                          | 1.2 km                          | 850 m                           | 300 m                           | 170 m                           |

Risikovurderingen som er gjennomført med en forbedret forplantingsmodell gir dermed kortere risikoavstander for risikozonene med lav konsekvensgrad (BDT og TTS), mens for zonen med mer alvorlige permanente skader gir den nye metodikken litt lengre avstander (grunnet den høyere sprengvekten). Det understrekes at forskjellen mellom 120 m og 170 m uansett er en farlig sone, og sammenlignet med arealene til de andre to risikozonene kan dette innebære en større samlet naturverdi og signifikant minke de mindre alvorlige risikozonene. Dette fordi det er mer sannsynlig at det finnes flere dyr som kan påvirkes på 1-2 km radius enn innenfor 200 m radius.



## Referanser

- [1] Multiconsult, "Undervannsstøy i forbindelse med utdyping av gjennomseiling Herøy / Ulstein til Ålesund," Multiconsult, Tromsø, 2023.
- [2] A. Arons, "Underwater explosion chock wave parameters at large distances from the charge," *J. Acoust. Soc. Am.* 26(3), p. 343–346, 1954.
- [3] R. A. Gilmanov, "Effect of shock waves during underwater borehole blasting," *Translated from Gidrotekhnicheskoe Stroitel'stvo*, vol. 5, pp. 22-25, 1984.
- [4] M. V. Hall, "Underwater signals from confined explosions in very shallow water," in *Proceedings of 20th International Congress on Acoustics*, Sydney,, 2010.
- [5] G. L. Hempen, T. M. Keevin and T. Jordan, "Underwater blast pressures from a confined rock removal during the Miami harbor deepening project," *International Society of Explosives Engineers*, vol. 1, p. 12, 2007.
- [6] T. Thandavamoorthy, "A Study of Blast Pressure from Underwater Borehole Blasting," in *Second International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, St. Louis, 1991.
- [7] T. Fristedt and O. Steinestø, "10224965-01 Innseiling Grenland - trykkmålinger Midtfjordbåen," Multiconsult, 2021.
- [8] Multiconsult, "(U) 100868-E02-C02858-G-R-102-02D\_Undervannsstøy," Forsvarsbygg, Bergen, 2023.
- [9] Multiconsult, "10221687-01-TVF-NOT-003 - Propagation of sediments and noise from activities at Landfall in the OLP3 project," Multiconsult, 2022.
- [10] Multiconsult, "10245428-01-Trykkmåling Innseiling Kragerø - trykkmålinger Knubbehausen," Multiconsult/Norwegian Coastal Administration, 2022.
- [11] Multiconsult, "Sprengning under fylling i sjø – Fv500, Musskjerneset," Multiconsult, Musskjerneset, 2022.
- [12] Multiconsult, "10250434-02 Mortingbåen og Innseiling Florø -Effekten av fordemming ved undervannssprenging," Multiconsult, Tromsø, 2024.
- [13] Multiconsult, "OPS-MUC-V-RA-90710 - Yggdrasil PfS, Underwater noise from blasting at Årskog and Ospeviki," Multiconsult, Tromsø, 2024.
- [14] Multiconsult, "Vitjet - Effekten av boblegardin ved undervannssprenging," Multiconsult, Tromsø, 2024.
- [15] E. Yasar and Y. Erdogan, "Correlating sound velocity with the density, compressive strength and Young's modulus of carbonate rocks," *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, vol. 41, pp. 871-875, 2004.
- [16] A. Emdal, Introduksjon til Geoteknikk, Trondheim: NTNU, 2014.
- [17] J. G. Davidsen, S. H. Eldøy, J. Museth, R. R. Lange, A. D. Sjursen, G. Kjærstad, M. Daverin and K. Hårsaker, "Atferd til abbor, sik, harr og vederbuk under prøvepeling i Mjøsa," NTNU Vitenskapsmuseet naturhistorisk rapport 2024-5: 1-27, Trondheim, 2024.



- [18] A. G. Soloway and P. H. Dahl, "Noise source level and propagation measurement of underwater detonation training at the Silver Strand training complex, Naval Base Coronade, Coronade, CA," Prepared for Commander, U.S. Pacific Fleet. Submitted to Naval Facilities Engineering Command (NAVFAC), Southwest, San Diego, Seattle, 2015.
- [19] Popper and Hawkins, "An overview of fish bioacoustics and the impacts of anthropogenic sounds on fishes," vol. 94, p. 692–713, 2019.
- [20] P. Kvadsheim, A. Adelsten-Søvik, E. Rokke, M. Lanzky-Kolstrup, T. Nesse Forland, G. Pedersen, E. Grimsbø, O. B. Dale, Y. Cao, A. Stene and M. Smedsrud, "Risiko for skade på laksefisk i omkringliggende oppdrettsanlegg ved etablering av undervannsskytefelt på Korsnes Fort," Forsvarets forskningsinstitutt (FFI), 2022.
- [21] Havforskningsinstituttet, "Havforskningsinstituttets rådgivning for menneskeskapt støy i havet," Rapport fra Havforskningen nr. 2023-63, 2024.
- [22] Havforskningsinstituttet, "Havforskningsinstituttets rådgivning for menneskeskapt støy i havet," Rapport fra Havforskningen nr. 2025-1, 2025.
- [23] M. H. Andersson, A. Nöjd and J. Carlström, "Kunskapsunderlag om undervattens-explosjoner och marina djur, Teknisk rapport FOI-R--4413--SE," *Totalförsvarets forskningsinstitut FOI*, 2017.
- [24] A. N. Popper, A. D. Hawkins, F. R. Richard, D. A. Mann, S. Bartol, T. J. Carlson, S. Coombs, W. T. Ellison, R. L. Gentry, M. B. Halvorsen, S. Løkkeborg, P. H. Rogers, B. L. Southall, D. G. Zeddies and W. N. Tavolga, "Sound Exposure Guidelines," Springer, Cham, 2014.
- [25] A. Fauske, "Undervannssprengning i nærheten av Oppdrettsanlegg – begrensninger og krav til gjennomføring," Orica Mining Services, Fjellsprengningsteknikk, bergmekanikk/geoteknikk, 2007.
- [26] Multiconsult, "Tiltaksområde Herøy – Ulstein, Skinnabrokleia samt innseiling Ulstein nord og Ulstein sør, Kystsak nr: 2018/3183, 417854-FELLES-RAP-001," Multiconsult, 2018.
- [27] N. G. U. [NGU], "B e r g g r u n n - Nasjonal berggrunnsdatabase," Norges Geologiske Undersøkelse [NGU], 09 04 2025. [Online]. Available: [https://geo.ngu.no/kart/berggrunn\\_mobil/](https://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/). [Accessed 09 04 2025].
- [28] Multiconsult, "Røyraundet til Svædet – Naturmangfold, Herøy og Ulstein kommuner, Møre og Romsdal fylke. Kystsak nr: 2020/7578," Multiconsult, 2020.
- [29] J. T. Yelverton, D. R. Richmond, E. R. Fletcher and R. K. Jones, "Safe distances from underwater explosions for mammals and birds," Lovelace Foundation for Medical Education and Research, Albuquerque NM 87108, 1973.
- [30] Multiconsult, "Innseiling Ålesund Vest, tverrfaglig rapport med undersøkelser og vurderinger, Giske og Ålesund kommuner. Kystsak nr.: 2020/7578, 10218339-TVF-RAP-001," Multiconsult, 2020.