

Rapport

Røst Fiskerihavn

OPPDAGSGIVER

Kystverket

EMNE

Risikovurdering av sprengning i sjø

DATO / REVISJON: 2026-02-16 / 02

DOKUMENTKODE: 10268487-02-RIMT-RAP-001



Multiconsult



Dette dokumentet har blitt utarbeidet av Multiconsult på vegne av Multiconsult Norge AS eller selskapets klient. Klientens rettigheter til dokumentet er gitt i den aktuelle oppdragsavtalen eller ved anmodning. Tredjeparter har ingen rettigheter til bruk av dokumentet (eller deler av det) uten skriftlig forhåndsgodkjenning fra Multiconsult med mindre annet følger av norsk lov. Multiconsult påtar seg intet ansvar for bruk av dokumentet (eller deler av det) til andre formål, på andre måter eller av andre personer eller enheter enn det som er godkjent skriftlig av Multiconsult. Deler av dokumentet kan være beskyttet av immaterielle rettigheter og/eller eiendomsrettigheter. Kopiering, distribusjon, endring, behandling eller annen bruk av dokumentet er ikke tillatt uten skriftlig forhåndssamtykke fra Multiconsult eller annen innehaver av slike rettigheter med mindre annet følger av norsk lov.



Rapport

OPPDRAAG	Røst Fiskerihavn	DOKUMENTKODE	10268487-02-RIMT-RAP-001
EMNE	Risikovurdering av sprengning i sjø	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAAGSGIVER	Kystverket	OPPDRAAGSLEDER	Helene Aasen
KONTAKTPERSON	Henrik Kristoffersen	UTARBEIDET AV	Lonnie Mikkelsen
KOORDINATER	Sone: 33 N Øst: 374596 / Nord: 7490854	ANSVARLIG ENHET	10235002

SAMMENDRAG

Kystverket planlegger utbedring av innseilingen til Røst fiskerihavn i Røst kommune. Multiconsult er engasjert for å gjennomføre en risikovurdering av sprengningsarbeidet på tre plasser langs innseilingen til Røst fiskerihavn. De tre lokasjonene har ulike dybder og trenger derfor både ulik pallhøyde og ladevekt for å oppnå ønsket måldybde.

Det er tatt i bruk 2 ulike metoder for forplantning av lydtrykk, en forenklet analytisk modell og en mer komplisert avstandsavhengig modell (*Bellhop*) som er bedre egnet ved komplekse topografiske forhold. *Bellhop*-modellen inkluderer både bunntopografi, tetthetsfordeling i vannsøylen og refleksjoner i overflate og sjøbunn i sin analyse.

Resultater fra begge modellene viser risiko for endret adferd (BDT) under gyteperioden opptil en avstand på 2 800-3 000 m ved posisjon 1 (lengst syd), og påvirker spesielt den nordlige delen av gyteområdet for rødspette/torsk/sei/hyse, som ligger sør for Vedøya. For alle sprengninger er det lite sannsynlig at det påvirker gytefeltet for torsk mot sørøst, og i tillegg forekommer det bare en liten påvirkning på Røstøyan landskapsvernområde mot sørvest.

Det anbefales ikke å sprengte ved posisjon 1 i gyteperioden for rødspette, som varer fra september til november, samt i gyteperioden for torsk, sei og hyse som varer fra januar til mai, for å unngå påvirkning av gytende fisk. Det anbefales i alle tilfeller å bruke fordemming og vurderingene forutsetter korrekt bruk av tidsforsinkelse mellom sprengningsintervallene.

REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV
02	16.02.26	Oppdatering av følsomme resipienter (gytende fisk i området)	LONM	FT	HEA
01	09.12.25	Oppdatering av Bellhop modellresultater	LONM	FT	HEA
00	26.11.25	Første utkast revv00 av miljørisikovurdering	LONM	TF	HEA



INNHOLDSFORTEGNELSE

1	Begreper og grenseverdier	5
1.1	Begreper og definisjoner	5
1.2	Risikogrenser for lydtrykk i sjø	5
2	Innledning	6
3	Grunnlag	7
3.1	Bunnforhold	7
3.2	Salveplanlegging.....	7
3.3	Metode	7
3.4	Parameter forenklet modell	7
3.5	Parameter for <i>Bellhop</i>	8
4	Resultat – sprenging (SPL)	9
4.1	Posisjon 1	9
4.2	Posisjon 2.....	11
4.3	Posisjon 3.....	13
5	Konklusjoner og anbefalinger	15
5.1	Posisjon 1	15
5.2	Posisjon 2.....	15
5.3	Posisjon 3.....	15
5.4	Anbefaling	15
6	Referanser	16
	Appendiks A. Risiko og terskelverdier	18
	Appendiks B. Akustikk i vann / hydroakustikk.....	19
	Appendiks C. Metodebeskrivelse	21
	Appendiks D. Bellhop	23



1 Begreper og grenseverdier

1.1 Begreper og definisjoner

Tabell 1-1 Forklaringer på definisjoner benyttet i rapporten

Term/forkortning/uttrykk	Forklaring	Beskrivelse
SPL (Sound pressure level)	Spisstrykk	Kortvarig lydimpuls målt i dB. Blir ofte brukt i forbindelse med sprengning.
Høreterskel		Terskelverdi for når en art kan oppfatte lyd (spisstrykk).
Respons		Noen fisk viser forandring i atferd, som endring i svømmemønstre, orientering og skremmereaksjoner.
BDT, Responsterskel	Terskel for endret adferd	Lydstyrke (dB) som kreves for å observere respons hos fisk sånn at den endrer adferd.
TTS	Temporært terskelskift	Midlertidig hørselsskade / svekket hørsel.
PTS	Permanent terskelskift	Kronisk hørselsskade - uopprettelig svekkelse av hørselen.
S ₀ , SL, SL ₀	Kildestyrke «Source level»	Styrken til lydkilden. Kilden karakteriseres med en kildestyrke i [dB re. 1 µPa @ 1m], hvilket betyr at trykkfeltet er definert 1 m fra kilden. En karakteristisk egenskap for kilden, uavhengig av forplantning fra kilde til mottaker ved 1 meter.

1.2 Risikogrenser for lydtrykk i sjø

Havforskningsinstituttet har etablert grenseverdier for både kortvarig og langvarig lydeksposering for fisk, små-hvaler (nise), seler og andre marine rovdyr [1]. Grenseverdiene for kortvarige lydeksposering (som er tilfellet ved sprengning) er presentert i risikomatrise i Tabell 1-2. Se ytterligere beskrivelse i Appendiks A. Risiko og terskelverdier.

Tabell 1-2. Terskelverdier ved kortvarig lydeksposering. Tabell basert på studier ved sprenging og peling [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. Spisstrykket, SPL er angitt i dB re 1 µPa. Manglende data er oppgitt som M.D.

	BDT - Terskel for endret adferd/reaksjon	TTS – Temporær terskelforskyvning	PTS – Permanent terskelforskyvning	Barometrisk traume / død	Partikkel-bevegelse
Type / art	SPL	SPL	SPL	SPL	mm/s
Fisk i merder / Gyting	163	-	-	-	-
Fisk, fritt svømmende	190	206	207	229-234	< 6
Små-hval (nise)	152	196	202	229-234	< 6
Seler	M.D.	212	218	217-242	13
Andre marine rovdyr (eks. hvalross, isbjørn)	M.D.	226	232	-	M.D.
Terskelverdier brukt i plott i denne rapporten	163/190	200	210	220	-

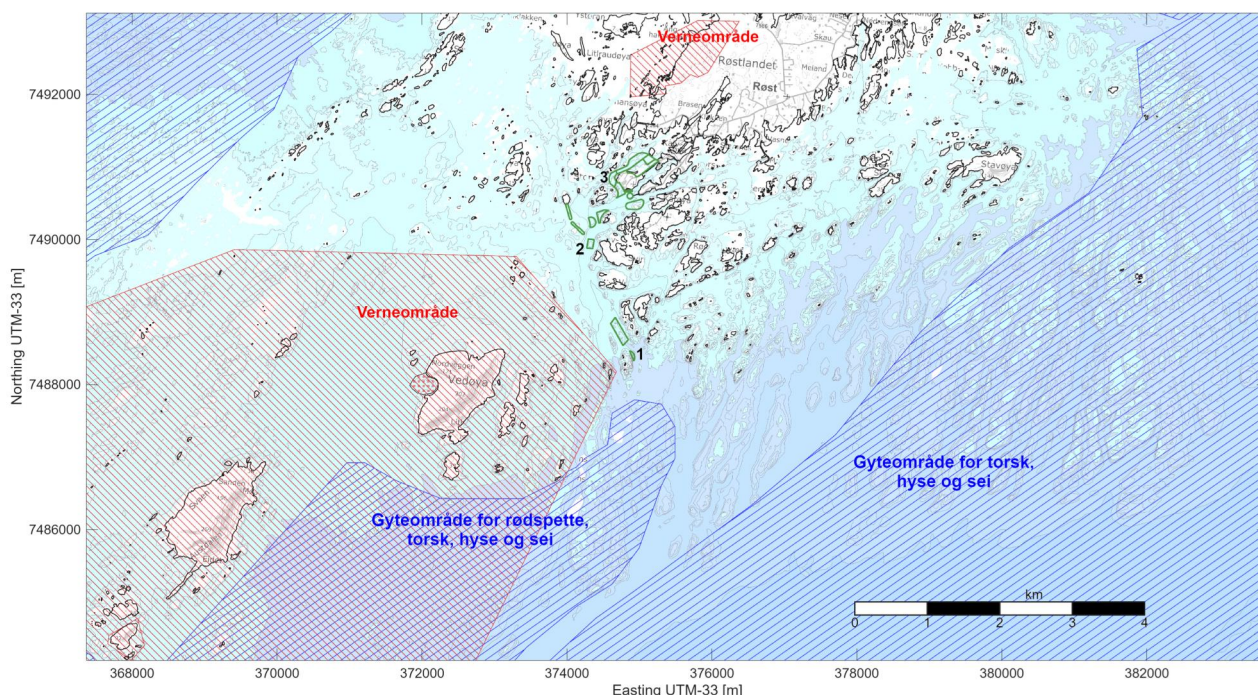
2 Innledning

Kystverket planlegger utbedring av innseilingen til Røst fiskerihavn i Røst kommune. Den planlagte utbedringen omfatter anleggsarbeider i sjø, hvilket inkluderer etablering av liggehavn, utdypning av innseiling, utdypning av snuareal for ferge, etablering av molo samt etablering av strandkantdeponi.

Multiconsult Norge AS er engasjert for å gjennomføre en risikovurdering av sprengningsarbeidet som skal utføres i forbindelse med utdypningen. Dette innebærer en vurdering av sprengtrykk ved tre forskjellige posisjoner og potensiell påvirkning ved verne- og gyteområder som vist i Figur 2-1.

Røstøyene landskapsverneområde med dyrelivsfredning (sydvestlige verneområde på Figur 2-1) er tilholdssted for noen av de største hekkekoloniene for sjøfugl på fastlandsdelene av Europa. Røstøyene har også faste forekomster av både steinkobbe og havert. Verneområdet i nord, vist i Figur 2-1, er en del av Røstlandet naturreservat hvor formålet er å bevare et viktig våtmarksområde med naturlig tilhørende vegetasjon og dyreliv, særlig på grunn av områdets betydning som trekk- og hekkelokalitet for våtmarksfugl.

De blå skraverte områdene i Figur 2-1 viser gyteområder. Sør for Vedøya (rett sør for posisjon 1) gyter rødspette i perioden september-november, torsk i perioden januar-april, hyse i perioden april-mai samt sei i perioden februar-mars [8]. Det sydøstlige blå skraverte området markerer gyteområde for torsk i perioden mars-mai, hyse i perioden mars-juni og sei i perioden februar-mai [8]. Det er i tillegg vandringsrute for gyteklar sild, mens hyse, torsk og sei beiter her.



Figur 2-1. Kartoversikt over området rundt Røst fiskerihavn. Tiltaksområder er markert i grønt og tre posisjoner er markert med nummer 1-3. Landskapsverneområder er vist med rød skravering, og de blå skraverte områdene viser gyteområder for fisk. Det rød-prykkede området langs Vedøyas vestkyst markerer låssettingsplass.



3 Grunnlag

3.1 Bunnforhold

Ifølge Norges Geologiske Undersøkelse (NGU) består grunnfjellet rundt Røst hovedsakelig av migmatitt og båndgneis. Migmatitt er en blandingsbergart med folder og lagdelte strukturer, mens båndgneis er en metamorf bergart med regelmessig veksling av lag med ulik sammensetning. Disse strukturelle egenskapene kan medføre anisotropi, dvs. retningsavhengige mekaniske og dermed sprengningstekniske egenskaper. Dette kan påvirke lydforplantning fra sprengning, for eksempel ved at lydbølger har ulik hastighet i forskjellige retninger eller at bergarten har høyere styrke langs lagene enn på tvers. En slik vurdering krever imidlertid spesifikke akustiske og geotekniske analyser.

3.2 Salveplanlegging

På de tre posisjonene 1, 2 og 3 skal det henholdsvis sprenges bort 4, 5 og 7 meter (pallhøyde). Basert på tidligere erfaringer, gjøres det et overslag på ca. 15 kg sprengstoff per meter som skal sprenges bort. Dette fører til et anslag av ladevekt på 60, 75 og 100 kg for de 3 ulike posisjonene. Det er forutsatt at salvene sprenges med korrekt tidsseparasjon for å spre ut trykkenergien over tid for å unngå de aller høyeste spisstrykkene.

3.3 Metode

Det er i første omgang lagt til grunn en forenklet metodikk basert på prediksjon av horisontal spredning av lydbølger. Kjernen i akustisk modellering er primært geometrisk spredning av trykkenergien, uten å ta hensyn til bunntopografi, sedimenttykkelse eller sedimentsammensetning. Denne metoden er ofte svært konservativ, og man måler ofte et større energitap enn det som modelleres. Multiconsult har derfor utviklet en metode som inkluderer demping fra refleksjoner i bunn og overflate, samt vurdering av fordemming som avbøtende tiltak. Se Appendix B og C for mer detaljert forklaring.

Det er i tillegg beregnet hvordan lydutbredelsen skjer basert på en avstandsavhengig modell om inkluderer bunntopografi (*Bellhop*). Modellen tar med effekter som refleksjon og brytning av de akustiske bølgene ved havbunnen og fra øyer og skjær i området.

3.4 Parameter forenklet modell

For sprenging er den viktigste komponenten spisstrykk (SPL) og vi trenger derfor å definere følgende inputparametere:

Sprengvekt per intervall (Q)	Estimert sprengvekt på 60 kg, 75 kg og 100 kg ved henholdsvis posisjon 1, 2 og 3 som vist i Figur 2-1 ut ifra pallhøyde beskrevet i 3.2.
Dybde (H)	Det er benyttet en middeldybde på 30 m for området. Det foretrekkes å bruke en større dybde i området siden det gir en generelt lavere akkumulert demping og dermed opprettholder en konservativ tilnærming i analysen.
Fordemming (γ)	For samtlige områder presenteres antatt effektivitet på fordemming på både 80 % og 90 %, hhv. uten og med fordemming.
Refleksjonsdemping (R)	I norske fjorder varierer dempingen ved refleksjoner i bunn slik at 50-80 % av innfallende energi er reflektert. Det gjøres et konservativt anslag på 90 %, dvs. det tillates at 90 % av lyden blir reflektert ved hver bunnrefleksjon og tilsvarende demping er dermed 10 % gjennom absorpsjon i bunn.



3.5 Parameter for *Bellhop*

For sprenging er den viktigste komponenten spissstrykk (SPL) og vi trenger derfor å definere følgende inputparametere:

Koordinatsystem	UTM 33 N	
Dybdegrid	364714:10:384714	[antall gridceller: 2001]
	7478692:10:7498692	[antall gridceller: 2001]
Azimuth vinkler	0:4:360	[antall sektorer: 91]
Vertikal vinkler	-90:5:90	[antall sektorer: 36]
Horisontal oppløsning	1 m	
Vertikal oppløsning	1 m	
Lydhastighet	Uniform profil: 1500 m/s	
Maksimal beregningsavstand	5000 m	
Sprengvekt per intervall (Q)	Estimert sprengvekt på 60 kg, 75 kg og 100 kg ved henholdsvis posisjon 1, 2 og 3 som vist i Figur 2-1 ut ifra pallhøyde beskrevet i 3.2.	
Fordemming (γ)	For samtlige områder presenteres antatt effektivitet på fordemming på både 80 % og 90 %, hhv. uten og med fordemming.	
Bunnforhold (sand / leira / grus / fjell)	Det har blitt undersøkt ulike innstillinger av de fysiske egenskapene for bunnforhold og for de frekvenser som er aktuelle å representere sprenging (under 1 kHz) gir valget av bunn (sand, leire, grus og fjell) liten forskjell. Resultatene peker på at det generelt er for liten demping på lengre avstander i forhold til hva som er tilpasset fra tidligere målinger i norske farvann [9, 10, 11, 12, 13, 14]. Vi bruker derfor isteden den empiriske formuleringen med refleksjonsdemping, se ligning (5) i Appendiks C, som er brukt for å dempe et bredbåndet signal sånn at beregningene kalibreres mot målinger.	
Refleksjonsdemping (R)	I norske fjorder varierer dempingen ved refleksjoner i bunn slik at 50-80 % av innfallende energi er reflektert. Det gjøres et konservativt anslag på 90 %, dvs. det tillates at 90 % av lyden blir reflektert ved hver bunnrefleksjon og tilsvarende demping er dermed 10 % gjennom absorpsjon i bunn.	

4 Resultat – sprenging (SPL)

4.1 Posisjon 1

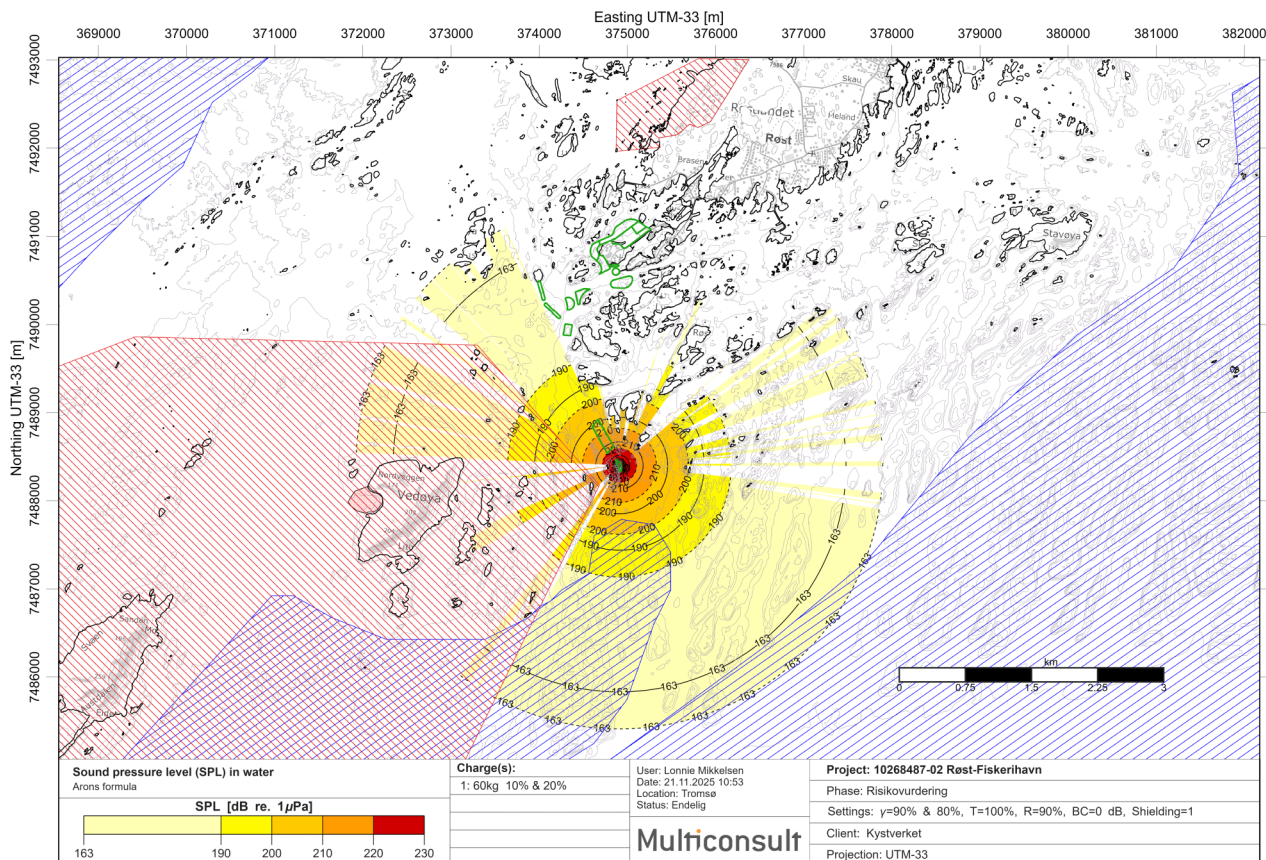
Figur 4-1 viser resultatet av en konservativ spredningsmodell ved posisjon 1 med ladevekt 60 kg, både med og uten fordemmingseffekt. Tilhørende risikoavstander er oppgitt i Tabell 4-1. Hvis fordemming har en god effekt begrenses risikoavstanden for død fra 190 m til 110 m. Samtidig reduseres risikoen for PTS fra 420 m til 270 m og TTS fra 780 m til 550 m. Avstanden for BDT (adferds respons terskel 190 dB re 1 μ Pa) forekommer opptil en avstand på 1 270 m uten og 960 m med fordemming.

Hvis sprengningen foregår i gyteperioden, vil BDT grensen i stedet være på 163 dB re 1 μ Pa (Tabell 1-2). Dette øker avstander for BDT til 2 990 m uten fordemming og 2 570 m med god effekt av fordemming. Disse avstandene sprer seg godt inn i gytefeltet for rødspette, torsk, hyse og sei mot syd og inn i verneområdet mot vest. For gyttende fisk vil det være risiko for påvirkning av adferd, samt en liten risiko (for all fisk) for TTS i den nordligste enden (Figur 4-1).

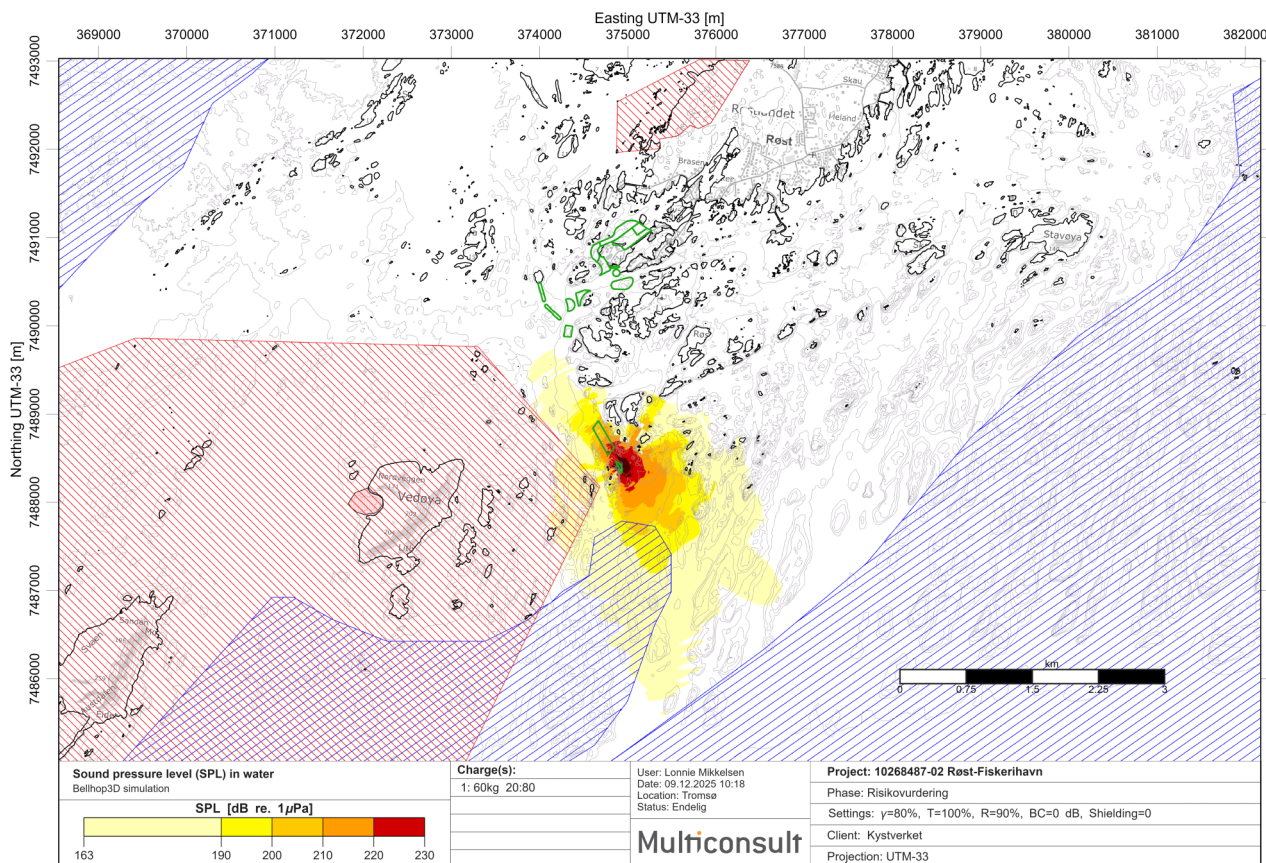
Figur 4-2 viser resultatet fra *Bellhop*-modellen uten fordemming, som tar høyde for bunntopografi. Det er tydelig at lyden begrenses mot vest i denne analysen ettersom det er veldig grunt der. Dermed reduseres den delen av gyteområdet, som er utsatt for den lave BDT grensen for gyting, og verneområdet mot vest blir godt skjermet fra trykkbølgene ifra sprengningene. Kun den ytterste østlige delen blir utsatt for lydtrykk over 163 dB re 1 μ Pa. Generelt minkes avstanden for BDT under gyting under *Bellhop*-simuleringen, men i enkelte retninger forplantes lyden litt lengre. Derfor forekommer det økte avstander i Tabell 4-1 for *Bellhop* sammenlignet med den analytiske modellen for de øvrige grensenivåene. Dette kommer av at risikoavstanden som tas ut ifra *Bellhop*-simuleringen er basert på medianen av verdien av lydtrykket tatt over hele vannsøylen i alle retninger.

Tabell 4-1. Tabell over risikoavstander av en 60 kg sprengning ved posisjon 1.

Risiko / Effekt	Spisstrykk (dB re 1 μ Pa)	Analytisk modell - uten fordemming ($\gamma = 80\%$)	Analytisk modell - uten fordemming ($\gamma = 90\%$)	<i>Bellhop</i> - uten fordemming ($\gamma = 80\%$)	<i>Bellhop</i> - med fordemming ($\gamma = 90\%$)
		Ladevekt: 60 kg	Ladevekt: 60 kg	Ladevekt: 60 kg	Ladevekt: 60 kg
Barometrisk trauma / død	220	190 m	110 m	380 m	260 m
PTS – Permanent terskelforskyvning	210	420 m	270 m	680 m	490 m
TTS – Temporær terskelforskyvning	200	780 m	550 m	960 m	690 m
BDT – Terskel for endret adferd/reaksjon	190	1 270 m	960 m	1 280 m	1 120 m
BDT – Terskel under gyting	163	2 990 m	2 570 m	2 860 m	2 340 m



Figur 4-1. Sprengning av 60 kg ved posisjon 1 med (heltrukket) og uten (stiplet strek) fordemmingseffekt.



Figur 4-2. Lydtubredelsen fra sprengning på 60 kg ved posisjon 1, ved bruk av Bellhop spredningsmodell uten fordemming.



4.2 Posisjon 2

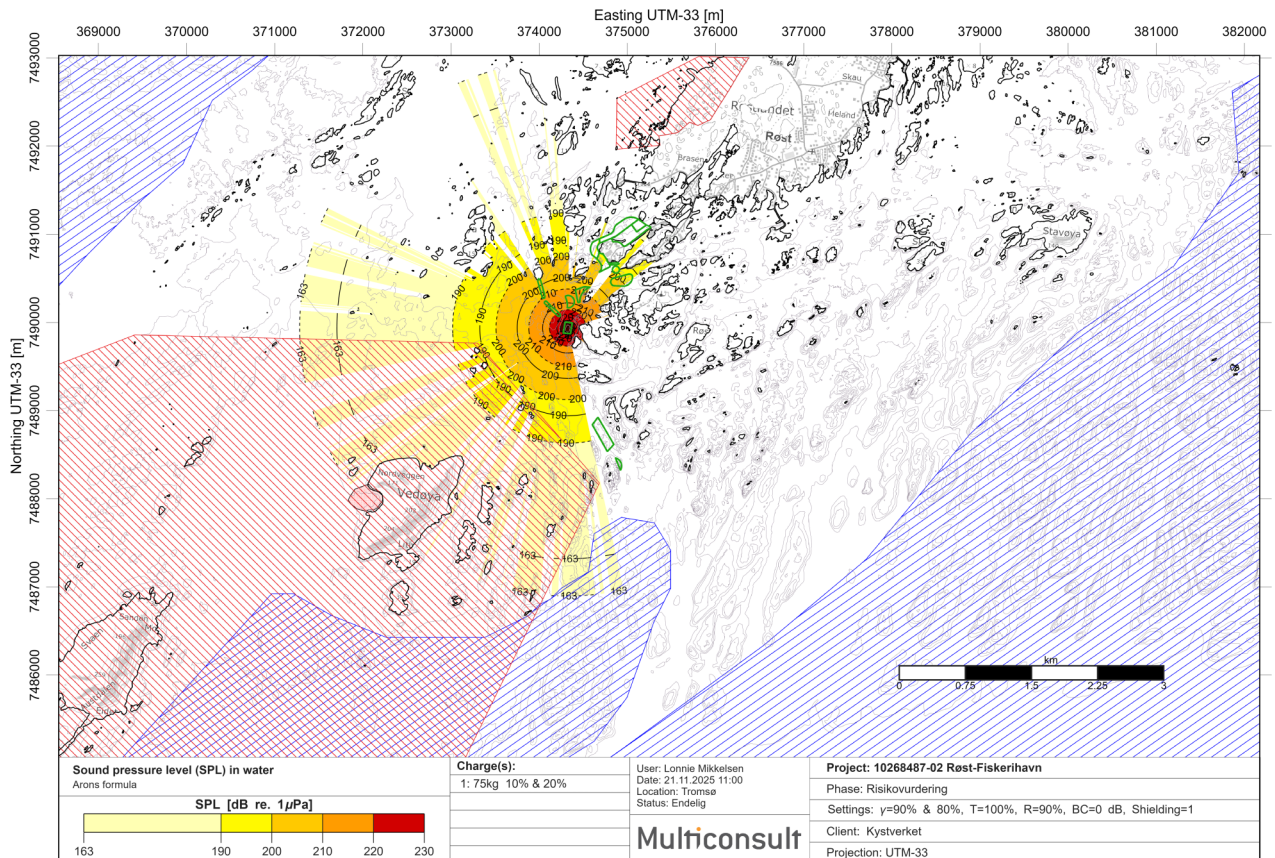
Figur 4-3 viser resultatet av en analytisk spredningsmodell ved posisjon 2 med ladevekt på 75 kg, vist med og uten fordemmingseffekt. Tilhørende risikoavstander er oppgitt i Tabell 4-2. Med fordemmingseffekt begrenses risikoavstanden for død fra 210 til 120 m. Samtidig reduseres risikoen for PTS fra 440 m til 280 m og TTS fra 810 m til 570 m. Risikoen for BDT (adferdsrespons 190 dB re 1 μ Pa) sprer seg til en avstand på 1 310 m ved sprengning uten fordemming og 1 000 m med fordemming.

Lengst nord i gytefeltet for rødspette, torsk, hyse og sei er det risiko for BDT under gyting (163 dB re 1 μ Pa). Men det er primært verneområdet mot sydvest som ligger i risikozonen for støypåvirkning fra sprengning i posisjon 2.

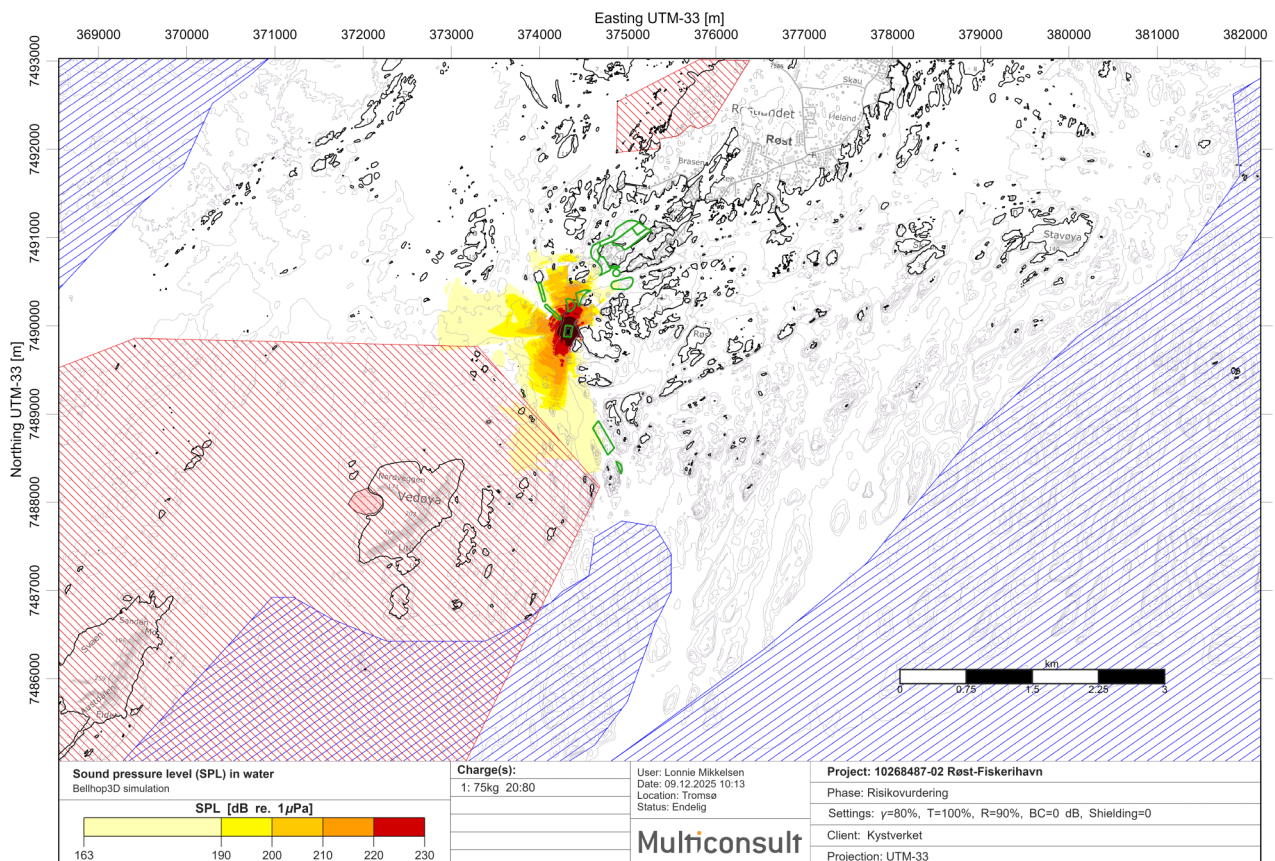
Figur 4-4 viser resultatet av *Bellhop*-modellen uten fordemming. Bunntopografien i området fører til at lyden blir redusert i alle retninger og dermed påvirkes veldig liten del av verneområdet mot vest i henhold til grensenivåene. Enkelte retninger spres lyden bedre og derfor er det noe forhøyede verdier for *Bellhop*-modellen sammenlignet med den analytiske modellen, fordi tabellen viser maksimale avstander av medianen av trykket over dybden. I tillegg er området godt skjermet, og lydenergien blir reflektert tilbake i området nært sprengningen. Med *Bellhop*-modellen vil gyteområdet mot sydøst ikke bli påvirket selv under gyting.

Tabell 4-2. Tabell over risikoavstander basert på en 75 kg sprengning ved posisjon 2.

Risiko / Effekt	Spisstrykk (dB re 1 μ Pa)	Analytisk modell - uten fordemming ($\gamma = 80\%$)	Analytisk modell - uten fordemming ($\gamma = 90\%$)	<i>Bellhop</i> - uten fordemming ($\gamma = 80\%$)	<i>Bellhop</i> - med fordemming ($\gamma = 90\%$)
		Ladevekt: 75 kg	Ladevekt: 75 kg	Ladevekt: 75 kg	Ladevekt: 75 kg
Barometrisk trauma / død	220	210 m	120 m	410 m	350 m
PTS – Permanent terskelforskyvning	210	440 m	280 m	670 m	540 m
TTS – Temporær terskelforskyvning	200	810 m	570 m	860 m	830 m
BDT – Terskel for endret adferd/reaksjon	190	1 310 m	1 000 m	980 m	980 m
BDT – Terskel under gyting	163	3 040 m	2 620 m	1 740 m	1 610 m



Figur 4-3. Sprengning på 75 kg ved posisjon 2 vist med (heltrukket) og uten (stiplet strek) fordemmingseffekt.



Figur 4-4. Lydtubredelsen fra sprengning på 75 kg ved posisjon 2, ved bruk av Bellhop spredningsmodell uten fordemming.



4.3 Posisjon 3

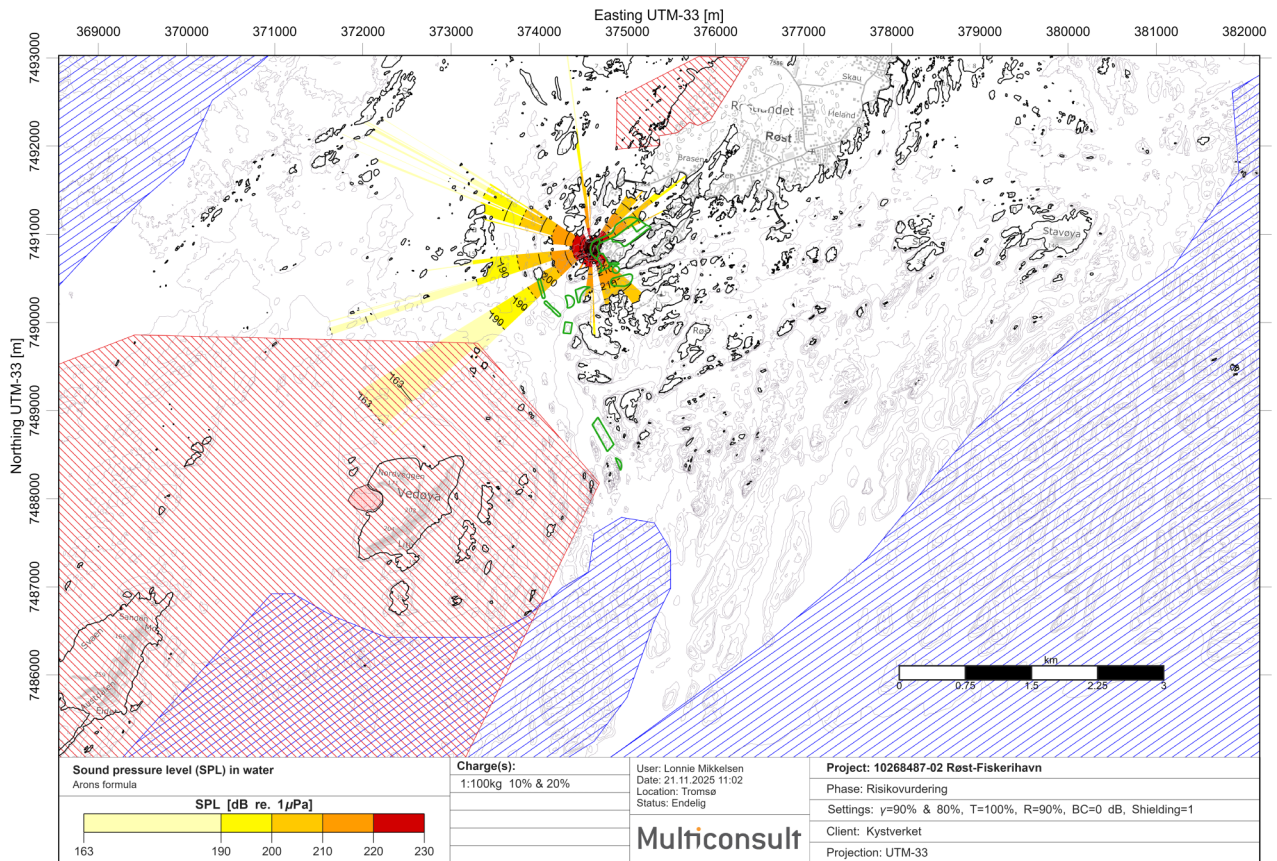
Figur 4-5 viser resultatet fra den analytiske spredningsmodellen ved posisjon 3 med ladevekt på 100 kg, vist med og uten fordemmingseffekt. Tilhørende risikoavstander er oppgitt i Tabell 4-3. Med fordemmingseffekt begrenses risikoavstanden for død fra 220 til 130 m. Samtidig reduseres risikoen for PTS fra 470 m til 310 m og TTS fra 850 m til 610 m. Avstanden for BDT (adferdsrespons 190 dB re 1 μ Pa) er på opptil 1 360 m uten fordemming og 1 040 m med. Den lavere BDT grensen for gytende fisk (163 dB re 1 μ Pa) sprer seg noe lengre ut, til 3 110 m uten fordemming og minker til 2 690 m ved bruk av fordemming.

Figur 4-6 viser resultatet fra *Bellhop*-modellen, og akkurat som for posisjon 2 begrenses lydutbredelsen i alle retninger. Generelt er risikoavstandene her kortere sammenlignet med den analytiske modellen, foruten risikoavstandene for PTS og barometrisk trauma/død (Tabell 4-3). På samme måte som for posisjon 2 er dette mest sannsynlig en konsekvens av at området er vel skjermet og at lydenergien blir reflektert tilbake inn i området nært sprengningen.

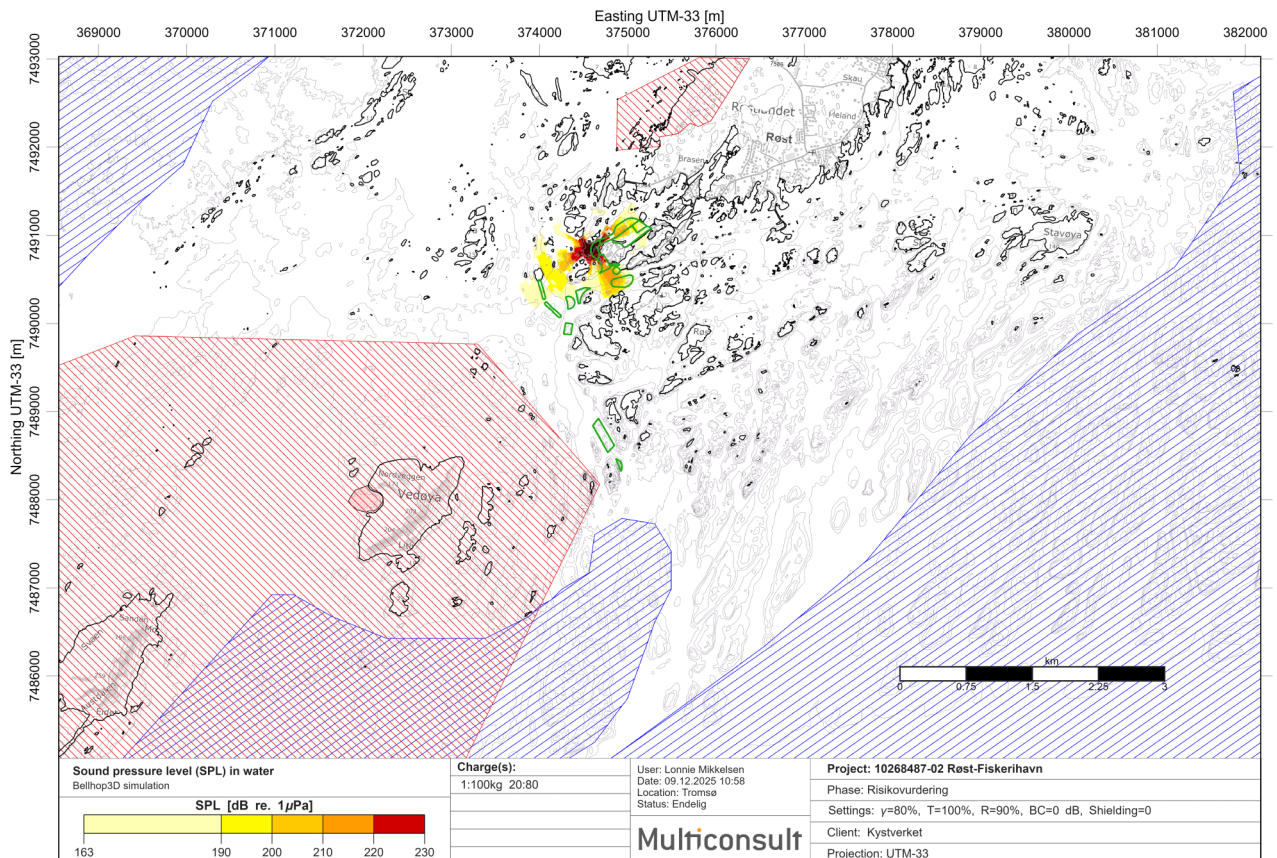
Det er ingen gytefelt som blir påvirket av sprengning ved posisjon 3 og kun liten sannsynlighet for støypåvirkning av verneområdet mot vest.

Tabell 4-3. Tabell over risikoavstander fra en 100 kg sprengning ved posisjon 3.

Risiko / Effekt	Spisstrykk (dB re 1 μ Pa)	Analytisk modell - uten fordemming ($\gamma = 80\%$)	Analytisk modell - uten fordemming ($\gamma = 90\%$)	<i>Bellhop</i> - uten fordemming ($\gamma = 80\%$)	<i>Bellhop</i> - med fordemming ($\gamma = 90\%$)
		Ladevekt: 100 kg	Ladevekt: 100 kg	Ladevekt: 100 kg	Ladevekt: 100 kg
Barometrisk trauma / død	220	220 m	130 m	290 m	240 m
PTS – Permanent terskelforskyvning	210	470 m	310 m	490 m	410 m
TTS – Temporær terskelforskyvning	200	850 m	610 m	580 m	520 m
BDT – Terskel for endret adferd/reaksjon	190	1 360 m	1 040 m	670 m	630 m
BDT – Terskel under gyting	163	3 110 m	2 690 m	940 m	940 m



Figur 4-5. Sprengning av 100 kg ved posisjon 3 vist med (heltrukket) og uten (stiplet strek) fordemmingseffekt.



Figur 4-6. Lydtubredelsen fra sprengning av 100 kg ved posisjon 3, ved bruk av Bellhop spredningsmodell uten fordemming.



5 Konklusjoner og anbefalinger

5.1 Posisjon 1

Det er risiko for påvirkning av gyteområdet for rødspette, torsk, hyse og sei, dersom det sprenges i posisjon 1 (ladevekt 60 kg) i fiskenes gyteperiode, som varierer tidsmessig mellom de fire artene. Her vil det være risiko for BDT (endring av atferd) opptil en avstand på 2 990 m der sprengningen skjer uten fordemming. Lydfeltet spres inn i den nordligste delen av gyteområdet. Selv med den mer presise *Bellhop*-modellen, vil BDT kunne forekomme i en avstand av 2 860 m og påvirke den øvre delen av gyteområdet. Det er usannsynlig at den lave BDT grensen for gyting vil nå gytefeltet for torsk, sei og hyse mot sydøst.

Bellhop-modellen resulterer i en risiko for TTS i en avstand på 960 m og PTS i en avstand på 680 m. Risiko for barometrisk trauma/død kan forekomme i avstand på 380 m.

5.2 Posisjon 2

Sprengning i posisjon 2 (ladevekt på 75 kg) har risiko for BDT, TTS og PTS opptil en maksimal avstand på henholdsvis 980 m, 860 m og 670 m med *Bellhop*-modellen. Risikoen for død forekommer opptil 410 m. Det er liten sannsynlighet for påvirkning av gyteområdene og liten sannsynlighet for å påvirke verneområdet mot vest.

5.3 Posisjon 3

Ved bruk av *Bellhop*-modellen foreligger det risiko for BDT, TTS og PTS opptil en maksimal avstand på henholdsvis 670 m, 580 m og 490 m ved en sprengning i posisjon 3 (ladevekt 100 kg). Risikoen for død forekommer opptil 290 m. Det er ingen gytefelt som blir påvirket av sprengning i posisjon 3 og kun liten sannsynlighet for å påvirke verneområdet mot vest.

5.4 Anbefaling

Det anbefales ikke å sprengre ved posisjon 1 i gyteperioden for rødspette, som varer fra september til november, samt i gyteperioden for torsk, sei og hyse som varer fra januar til mai, for å unngå påvirkning av gytende fisk. Det anbefales i alle tilfeller å bruke fordemming. Beregningene utført her viser lydbredelsen, hvis effekten av fordemming ikke oppnås ($\gamma = 80\%$).

Bellhop-modellen gir et mer representativt bilde av lydbredelsen, da den tar høyde for topografien i sin beregning av lydbølgenes spredning. Selv med denne modellen, vil det være risiko for påvirkning av gyteområdet for rødspette, og samme anbefalinger som ovenfor gjelder med hensyn til tidspunkt for sprengningen i posisjon 1.

Sprengninger i posisjon 2 og 3 er godt skjermet fra nærliggende øyer, og det er ikke forventet at nærliggende gytefelt/verneområder vil påvirkes med oppgitte ladevekter.



Referanser

- [1] Havforskningsinstituttet, "Havforskningsinstituttets rådgivning for menneskeskapt støy i havet," Rapport fra Havforskningen nr. 2025-1, 2025.
- [2] S. L. Nedelec, J. Campbell, A. N. Radford, S. D. Simpson and N. D. Merchant, "Particle motion: The missing link in underwater acoustic ecology.," *Methods in Ecology and Evolution*, 2016.
- [3] Popper and Hawkins, "An overview of fish bioacoustics and the impacts of anthropogenic sounds on fishes.," vol. 94, p. 692–713, 2019.
- [4] M. H. Andersson, A. Nöjd and J. Carlström, "Kunskapsunderlag om undervattens-explosjoner og marina djur, Teknisk rapport FOI-R--4413--SE," *Totalförsvarets forskningsinstitut FOI*, 2017.
- [5] 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. Zeddis and W. N. Tavolga, "Sound Exposure Guidelines for Fishes and Sea Turtles," Springer, Cham, 2014.
- [6] A. Fauske, "Undervannssprengning i nærheten av Oppdrettsanlegg – begrensninger og krav til gjennomføring," Orica Mining Services, Fjellsprengningsteknikk, bergmekanikk/geoteknikk, 2007.
- [7] A. Arons, "Underwater explosion chock wave parameters at large distances from the charge," *J. Acoust. Soc. Am.* 26(3), p. 343–346, 1954.
- [8] Fiskeridirektoratet, "Gyteområde alle arter," 02 2026. [Online]. Available: https://open-data-fiskeridirektoratet-fiskeridir.hub.arcgis.com/datasets/b84f209bdec8415dba6bef700db035a6_1/explore?location=67.421299%2C12.013433%2C12.
- [9] T. Fristedt and O. Steinestø, "10224965-01 Innseiling Grenland - trykkmålinger Midtfjordbåen," Multiconsult, 2021.
- [10] Multiconsult, "10221687-01-TVF-NOT-003 - Propagation of sediments and noise from activities at Landfall in the OLP3 project," Multiconsult, 2022.
- [11] Multiconsult, "10250434-02 Mortingbåen og Innseiling Florø -Effekten av fordemming ved undervannssprenging," Multiconsult, Tromsø, 2024.
- [12] Multiconsult, "OPS-MUC-V-RA-90710 - Yggdrasil PfS, Underwater noise from blasting at Årskog and Ospeviki," Multiconsult, Tromsø, 2024.
- [13] Multiconsult, "Sprengning under fylling i sjø – Fv500, Musskjerneset," Multiconsult, Musskjerneset, 2022.
- [14] Multiconsult, "Vitjet - Effekten av boblegardin ved undervannssprenging," Multiconsult, Tromsø, 2024.
- [15] 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.
- [16] E. Grimsbø and P. H. Kvadsheim, "Sprengningsarbeider i sjø -effekter på marint liv og mulige tiltak, Fjellsprengningsteknikk, Bergmekanikk/geoteknikk," 2018.
- [17] R. A. Gilmanov, "Effect of shock waves during underwater borehole blasting," *Translated from Gidrotekhnicheskoe Stroitel'stvo*, vol. 5, pp. 22-25, 1984.
- [18] M. V. Hall, "Underwater signals from confined explosions in very shallow water," in *Proceedings of 20th International Congress on Acoustics*, Sydney,, 2010.
- [19] J. Swisdak and M. Michael, "Explosion effects and properties: Part II - Explosion effects in water, White Oak, Silver Spring," 1987.
- [20] 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.
- [21] G. R. Tripathy and R. R. Shirke, "Underwater Drilling and Blasting For Hard Rock Dredging In Indian Ports - A Case Study," in *International Conference On Water Resources, Coastal And Ocean (ICWRCOE 2015)*, 2015.
- [22] N. Ramstad, "Sprengning på grunne 19 og 21," Multiconsult, 2016.
- [23] 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.



- [24] T. A. Oliveira, Y.-T. Lin and M. B. Porter, "Underwater Sound Propagation Modeling in a Complex Shallow Water Environment.," *Front. Mar. Sci.*, vol. 8, p. 11 pp., 2021.
- [25] K. J. Vigness-Raposa , K. Lucke, M. A. Ainslie, M. B. Halvorsen, C. A. de Jong, S. J. Labak and M. Siderius, "Special Issue: Verification and Validation of Source and Propagation Models for Underwater Sound," *Journal of the Acoustical Society of America*, 2025.
- [26] M. B. Porter and H. P. Bucker, "Gaussian beam tracing for computing ocean acoustic fields," *J. Acoust. Soc. Amer.*, vol. 82, pp. 1349-1359, 1987.
- [27] M. B. Porter and Y.-C. Liu, "Finite-Element Ray Tracing," in *Proceedings of the International Conference on Theoretical and Computational Acoustics*, 1994.
- [28] M. B. Porter, "The BELLHOP Manual and User's Guide," Heat, Light, and Sound Research, Inc., 2011.



Appendiks A. Risiko og terskelverdier

Fisk og marine pattedyr har en godt utviklet evne til å oppfatte lyd, noe som er avgjørende i undervannsmiljøer der lyd forplanter seg effektivt og synet ofte er begrenset av mørke og grumsete forhold. Lyd spiller en sentral rolle i viktige økologiske prosesser som matsøk, unnvikelse av rovdyr og kommunikasjon, for eksempel under parring.

Lyden energi, som hovedsakelig er en trykkbølge, forplanter seg i alle retninger og påvirkes av det fysiske miljøet gjennom spredning, absorpsjon, brytning og refleksjon. Dette betyr at en intens lydimpuls nær lydkilden kan modifiseres av omgivelsene og oppleves som mer langvarig og mindre intens på avstand, noe som igjen påvirker hvordan dyrene oppfatter og reagerer på lyden.

Sprengning gir en impulsiv trykkipuls som karakteriseres av spisstrykk (SPL) og hvis dette er høyt nok, kan trykket påføre temporære (TTS) eller permanente (PTS) hørselskader på dyreliv i området og i verste tilfelle forårsake død. På lengere avstander blir dyrene 'kun' forstyrret eller skremt, og kan derfor endre adferd (BDT - Terskel for endret adferd / reaksjon). Gjennom vitenskapelige undersøkelser har man målt på når disse effektene inntreffer for forskjellige arter for å nå frem til terskelverdier.

Havforskningsinstituttet (HI) har fastsatt grenseverdier for både kortvarig (impulsiv lyd) og langvarig lydeksposering, basert på egne målinger og internasjonal faglitteratur [1]. Disse verdiene gjelder risiko for fisk, hvaler (som nise), sel og andre marine rovdyr (Tabell 1-2).

For fritt svømmende fisk som ikke er rødlistet eller skal til å gyte er grenseverdien for endret adferd (BDT) fra impulsiv trykkipåvirkning ifølge internasjonal faglitteratur [1] satt til ca. 190 dB re 1 μ Pa (spisstrykk, SPL), se Tabell 1-2. For laks i merder eller gytende fisk ønsker man lavere grensenivåer og Havforskningsinstituttet (HI) har i samarbeid med Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI) publisert forskning om at f.eks. laks i merder viser kortvarige forstyrrelsesresponser ved >163 og ca. 168 dB re 1 μ Pa (hhv. [1, 15]). For å holde en konservativ tilnærming setter vi derfor grensen for atferdsendring til den lavere verdien av disse to.

Disse retningslinjene har resultert i en risikovurderingsmatrise (Tabell 1-2), som også inkluderer risiko for små hvaler (nise), seler og andre marine rovdyr. Multiconsult følger Havforskningsinstituttets (HI) anbefalinger for alle offshore- og kystnære operasjoner som involverer lydkilder med potensiell påvirkning på marine økosystemer. HI publiserer årlig oppdaterte retningslinjer for menneskeskapt undervannslud, sist oppdatert i januar 2025 [1]. Støyende aktiviteter inkluderer seismikk, elektromagnetiske undersøkelser, undervannssprengning og havvind. HI påpeker at lyden fra sprengning har lignende egenskaper som peling og seismikk – pulserende lyd med høyt topptrykk – og omfattes derfor av samme anbefalinger.



Appendiks B. Akustikk i vann / hydroakustikk

Lyd i vann kan på flere måter beskrives analogt med lyd i luft, men forskjellene er også store siden vann er betydelig tettere enn luft. Dette er en av grunnene til at man ikke direkte kan sammenligne lydtrykk i luft med lydtrykk i vann. Lydforplantningen i vann er på mange måter mer komplisert enn i luft, ettersom det skjer hyppige interaksjoner mellom lydfelt og grenseflater (overflaten/bunn) i tillegg til modulasjon, refraksjon og dispersjon i selve mediet. Bølgeforplantningen er ca. 5 ganger raskere i vann enn i luft, i tillegg til at fordelingen av temperatur og salt kan gi betydelig brytning og refraksjon av lydfeltet. Lydens interaksjon med bunn avhenger i stor grad av bunntype. I hard bunn som fjell og stein reflekteres mye av energien tilbake til vannet. I myk bunn (sediment, leire, sand) kan mye akustisk energi brytes ned i bunnen, og dermed absorberes mer effektivt.

B.1 Trykkbeskrivelse av lyd

Normalt beskrives lyd som en trykkoscillasjon og dette er i de aller fleste tilfeller en helt tilstrekkelig tilnærming. Grunnet at trykk er angitt i Pascal [Pa] og oftest blir spredt over flere størrelsesordener er det hensiktsmessig å rapportere og visualisere støynivåer i den logaritmiske skalaen dB relativt til et referansetrykk:

$$p_{dB} = 20 \cdot \log_{10}(p/p_{ref}) \quad (1)$$

der p er trykket og p_{ref} er et referansetrykk (1 μPa). Her bør det noteres at for luftakustikk benyttes $p_{ref} = 20 \mu\text{Pa}$, som representerer høreterskelen for mennesker. Dette gjør at dB-nivåene i luft blir mye lavere enn tilsvarende dB-nivå i vann, selv om kilden har samme energi/intensitetsnivå. Kilden karakteriseres med en kildestyrke i [dB re 1 μPa @ 1m], som betyr at trykkfeltet er definert 1 meter fra kilden og er en karakteristisk egenskap for selve kilden, uavhengig av forplantningsveien fra kilde til mottakerposisjon.

B.2 Spisstrykk og eksponering

Det finnes flere ulike metoder for å karakterisere lydtrykket. Den vanligste og mest intuitive er spisstrykket (topptrykket eller Sound Pressure Level) SPL_{peak} som er det høyeste absolutte avvik fra det normale trykket (middeltrykket) på et sted under en definert tid eller en spesifikk hendelse. Iblant brukes også topp-til-topp verdien $SPL_{peak-peak}$ eller SPL_{pp} , som er differensen mellom høyeste avvik ifra middeltrykket på positiv og negativ side.

For prosesser med lengre utstrekning i tid og mindre impulsiv karakter, som dumping, boring og skipsfart kan andre måletall defineres: for eksempel kvadratisk gjennomsnittsverdier: SPL_{rms} . Det er i flere tilfeller vist at relativt lave lydtrykk over en lengre tid også kan gi varige skader [5, 16], og det er da hensiktsmessig å definere lydeksponering, Sound Exposure Level (SEL) som er integralet av kvadratet til lydtrykket over et angitt tidsintervall eller hendelse (for eksempel en akustisk puls).

Lydeksponeringsnivåer uttrykkes i dB re. 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$. Lydeksponeringen er et mål på energien i det akustiske feltet hvor enheten for SEL er Pa^2s eller Jm^{-2} , dvs. energi per arealenhet.

$$SEL_{dB} = 10 \log_{10} \left(\int \frac{p(t)^2}{p_{ref}^2} dt \right) \quad (2)$$

På samme måte som for SPL så finnes det mange varianter for å karakterisere akustisk eksponering, f.eks. definisjon på et enslig peleslag (Single-strike-SEL) eller kumulative effekter som kan brukes for å karakterisere repetitive impulsive kilder.



B.3 Frekvensinnhold og støy

Trykkoscillasjonene kan beskrives som bølger, og har som alle andre bølger et spesifikt frekvensinnhold. En ren tone beskrives som en enkelt frekvens, og en blanding av toner gir et frekvensspektrum. Normalt er alle naturlige lyder en kombinasjon av mange forskjellige toner siden det alltid finnes et innslag av tilfeldighet i lydforplantning i naturen. Tones frekvenser blandes (ofte ikke-lineært) og fordeler sin energi over et spektrum. Lydnivået som utgjør det laveste nivået i et spektrum kalles bakgrunnsnivået og kan komme fra mange ulike lydkilder. Undervannsstøy kan beskrives som et kor, hvor lyder av forskjellig natur og opprinnelse blandes sammen:

- Naturlig støy eller geofoni er støy fra sprekker i jorden, bevegelse av marine sedimenter, vær og vind, brytende bølger, nedbør osv.
- Biologisk støy eller biofoni er støy av biologisk opprinnelse frembragt av marin fauna.
- Antropogen støy, eller antropofoni, er den menneskeskapte støyen som skapes av maritime aktiviteter, f.eks. skipsfart og petroleumsvirksomhet.

Disse lydene blandes med hverandre og danner lydkonteksten til et studieområde. Alle lydkilder bidrar til støy til omgivelsene med variabel vekt, avhengig av frekvens, miljøforhold, menneskelige aktiviteter og lokale forhold. For at en fisk skal kunne høre en spesifikk lyd må den overstige det akustiske bakgrunnsnivået.



Appendiks C. Metodebeskrivelse

C.1 Modellering av støyutbredelse

Multiconsult har utviklet en metodikk for å beregne og visualisere undervannslyd, for å etablere en konsistent og effektiv måte å vurdere risikoen for skade på utvalgte marine dyrearter i nærheten av anleggsplasser eller ande områder for tiltak i sjø. Lydenergi, som primært er en trykkbølge, sprer seg i alle retninger, og den akustiske energien blir spredt, absorbert, brutt og reflektert. Dette får lydbølgen til å endre signatur, og for eksempel en lydimpuls som ved kilden er kort og intens, modifiseres av det fysiske miljøet og kan på avstand oppfattes som mer dratt ut i tid og dermed mindre intens.

For å gjøre en risikovurdering er det benyttet en forenklet metodikk basert på prediksjon av horisontal utbredelse av lydbølger. Kjernen i den akustiske modelleringen er hovedsakelig den geometriske spredningen av trykknenergi. For dype forhold uten interaksjon med overflaten eller bunnen skjer forplantningen sfærisk, og lydintensiteten avtar kvadratisk som en funksjon av avstand ($1/d^2$), eller uttrykt i dB-skala: $-20\log_{10}(d)$. Ved grunnere forhold fordeles energien sylindrisk, og trykket minker med $1/d$, eller $-10\log_{10}(d)$. Overgangen fra sfærisk til sirkulær spredning skjer når refleksjoner fra overflaten og bunnen kombineres til et trykkbilde. Det er dog vist at sylindrisk spredning er en altfor konservativ modell for å beskrive trykknenergiens avstandsavhengighet. I kystsoner er det ofte målt en spredningskoeffisient mellom -14 og $-17\log_{10}(d)$, noe som kan forklares med at energitapet, sammenlignet med sfærisk dispersjon, øker på grunn av tap til bunn og overflate samt i volum [4].

Disse forholdene gjør at beregningene kan utføres kostnadseffektivt og gir utbyggere og entreprenører relevant informasjon om maksimale enhetsavgifter som kan brukes til sprengning, eller hvilken effekt eller antall aktive arbeidstimer som kan brukes til peling og spunting, for å unngå skade på fisk både fra impuls- og eksponeringsperspektiv.

Lydpåvirkning deles inn i to metoder:

- For impulsive lyder beregnes et lydtryknivå som defineres av den maksimale absoluttverdien av trykket p , dette defineres som SPL («sound pressure level»). Denne metoden brukes for eksempel ved sprengning og til viss del for intensiv og kraftig peling (rammepeling).
- For lyd ustrakt over tid beregnes isteden lydeksponeringsnivået, SEL (sound exposure level). Dette brukes til arbeid som pågår over tid, som peling, spunting, dumping av steiner/mudret masse eller andre aktiviteter i sjø- eller kystsonen som skjer over tid.

C.2 Forbigående impulsiv lyd/eksplosjon

Når man sprenger i fjell, brukes mesteparten av energien til å knuse stein, og en mindre del sendes som en sjokkbølge ut i vannet. Dette er hovedgrunnen til at flere studier anbefaler å tette borehull (fordemming) med grus/pukk, i tillegg til forsinket tenning mellom de ulike ladningene, hvor hver delladning sprenges separat (intervall) med en forsinkelse på omtrent 20–50 msek mellom sprengningsintervallene.

For å vurdere topptrykket (SPL) gjøres en beregning av lydtryknivået p , som skapes fra en enkel fritthengende ladning;

$$p = A \left(\frac{d}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-b} \quad (3)$$

hvor A er en materialkonstant, karakteristisk for ulike eksplosiver, og b er en reduksjonskoeffisient som representerer den eksponentielle spredningen av trykkbølgen. Ligning (3) omtales vanligvis som



Aarons formel [7, 17, 18], og beskriver maksimalt overtrykk, p , som funksjon av ladningsvekt per intervall, Q [kg], avstand til detonasjon, d , og materialkonstanten A . Ifølge [4, 7, 19], er materialkonstanten mellom 50 og 60 MPa, og b mellom 1,13 og 1,19 for et bredt spekter av eksplosiver og forhold. Til sammenligning har sylindrisk dispersjon, $b=1$, og sfærisk dispersjon brukes $b=2$.

C.3 Fordemming

For beregninger av en trykkbølge fra innborede ladninger i berg brukes en skjermingsfaktor eller fordemmingseffekt, som defineres som andelen γ av trykket fra en fritthengende ladning p som dempes av energien, z andelen energi som blir brukt til å knuse berg. Dette betyr at det målte akustiske trykket p_m reduseres med fraksjonen $(1 - \gamma)$,

$$p_m = (1 - \gamma) p \quad (4)$$

Det finnes mange forskjellige referanser til fordemming og dens effektivitet. I litteraturen varierer verdiene over et stort intervall – fra 10 % til 40 % av sprengenergien forsvinner som akustisk energi (som tilsvarer en fordemmingseffekt på $\gamma = 90$ % til $\gamma = 60$ %) [20, 21, 22, 11, 23]. Vår erfaring fra en lang rekke mudringsprosjekter, utdypinger med sprengning av grunner og skjær for både høye paller (pallsprengning) og grunne paller (såkalt flåsprengning), samt knusing av berg under fylling i sjø, viser at fordemmingsfaktoren for typiske norske forhold, er et sted mellom 80–90 %, noe som betyr at omtrent 10–20 % av energien fra sprengningen går ut i vannet som akustisk energi.

C.4 Geometrisk fordeling – Aarons formel

Beregningsmetoden basert på Arons' formel (3) fungerer godt for å estimere undervannssprengninger på korte avstander, men overvurderer ofte sprengtrykket på lengre avstander fordi den ikke tar hensyn til demping ved refleksjoner i bunn. Basert på teoretiske vurderinger som er kalibrert med feltmålinger har Multiconsult etablert en forenklet metode som inkluderer faktorer som demping fra for eksempel fordemming, generisk bunntype og avstand. Metodikken er i samsvar med målte verdier og har blitt validert for mer enn 500 mudringssprengninger. Ved å kombinere Arons formel (3), fordemmingseffekten γ fra ligning (4) og introduksjon av refleksjonsdemping som en geometrisk formulering av lydstråler, får vi en komplett formel for trykket fra sprengning p som funksjon av avstand d , ladningsvekt Q kg per intervall, gjennomsnittlig dybde H og refleksjonskoeffisient R ,

$$p(d, Q, R, H, \gamma) = (1 - \gamma) \cdot A \left(\frac{d}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-b} \cdot R^{d/(2\sqrt{2}H)} \quad (5)$$

Refleksjonskoeffisienten R har ved flere tilfeller blitt kalibrert ifra målinger, og for å lage en konservativ tilnærming bruker vi $R=90$ %, siden dette gir en høyere mengde energi tilbake til vannsøylen fra refleksjoner i bunn. Dette muliggjør videre en diagnostisk beskrivelse av trykket som skapes av en eksplosjon i et område, og inkluderer tidligere erfaringer og målinger av både fordemmingseffekt og dempingen av refleksjonene i bunnen, i tillegg til den geometriske spredningen av energien opprinnelig beskrevet av Arons i ligning (3).



Appendiks D. Bellhop

Bellhop er et numerisk verktøy for modellering av undervannsakustikk basert på en avstandsavhengig strålegangsmodell som inkluderer bunntopografi, lydhastighet i vannsøylen samt refleksjoner i både overflate og bunn. Modellen er meget numerisk effektiv og er et ofte brukt verktøy innen en lang rekke undervannsakustiske tillempninger og har blitt validert ved flere tilfeller av flere forskergrupper [24, 25]. Detaljert beskrivelse av metodikken finnes i [26, 27, 28].

Modellen gir en output av Transmisjonstap (*Transmission Loss/TL*) hvilket beskriver hvor mye lyd svekkes med avstanden langs en lydstråle som er tillatt å reflekteres både i overflate og i bunn. Gjennom å trekke fra transmisjonstapet fra kildestyrken får man endelig fordeling av trykket i vannsøylen som funksjon av avstand og dybde. Lydstrålene blir sendt ut langs ulike retningssektorer for å skape et fullt 3D-bilde av lydforplantingen i området. Langs hver retningssektor blir det produsert en 2D-seksjon av trykk $p(x,z)$, der x beskriver den horisontale koordinaten fra sprengplassen ut i hver retningssektor og z er dybden. For å trekke frem en representativ trykkverdi for hver avstand $p(x)$ tar vi medianen av absoluttverdien av trykket over hele vannsøylen for å opprettholde en konservativ tilnærming i analysen,

$$p(x) = \text{median}_z |p(x,z)| . \quad (6)$$

Denne verdien på trykket er brukt for å beregne risikoavstander som kan sammenlignes med den forenklede modellen beskrevet i Appendiks C. Metodebeskrivelse.