

UNDERVANDSSPRÆNGNING

FAGNOTAT – RAMMER FOR SPRÆGNINGSPROGRAM I FORBINDELSE
MED KONSTRUKTION AF PLANLAGT TRAWLERTERMINAL.

TLF +45 56 40 00 00

FAX +45 56 40 99 99

WWW cowi.dk

INDHOLD

1	Resumé	3
2	Indledning	5
2.1	Projektet og den nødvendige undervandssprængning.	6
3	Erfaring fra sprængningsarbejder i nærheden	7
3.1.1	Prøvesprængning med 27 kg	8
3.1.2	Konstruktionen af containerterminalen	9
4	Metodebeskrivelse sprængning	9
4.1	Generelt	9
4.2	Geometrier for sprængfelter	10
4.2.1	Dybde af spuns ned til 4 m	10
4.2.2	Dybde af spuns ned til 5,5 m	11
4.3	Antal sprængfelter	12
4.4	Tændingsplan	12
4.5	Ækvivalent mængde TNT	13
4.6	Sprængstofmængder	13
5	Afværgeforanstaltninger	14
5.1	Boblegardiner	14
5.1.1	Luftmængder og ventilfordeling	15
5.1.2	Udlægning	15
5.1.3	Forventet dæmpning, ét eller flere boblegardiner	16
5.1.4	Anbefaling om boblegardiner	17

PROJEKTNR.

A246375

DOKUMENTNR.

A246375-VVM-TN-002

VERSION

2.0

UDGIVELSES DATO

2024-04-04

BESKRIVELSE

Fagnotat
Undervandssprængning

UDARBEJDET

SKAN

KONTROLLERET

SEMG

GODKENDT

BOLN

5.2	Skræmmesprængninger	17
5.3	Forudgående overvågning af høregruppernes påvirkningsområde	17
5.4	Fordæmning	18
5.5	Sælpinger/Acoustic Deterrent Device	18
6	Referencer	19

1 Resumé

Dette notat beskriver et rammeprogram for undervandssprængninger i forbindelse med det planlagte anlæg af en trawlerterminal i havnen i Nuuk. Rammeprogrammet er sat op med henblik på den vurdering af virkninger på miljøet, der aktuelt gennemføres for projektet.

Programmet omfatter sprængninger, der er vurderes tilstrækkelige til at sikre gennemførelsen af byggeriet. Der er anlagt en såkaldt "worst case" vurdering af de nødvendige sprængninger og parametre, så der er sikkerhed for at byggeriet kan gennemføres. De anviste parametre er de maksimale, i den forstand, at byggeriet forventeligt kan gennemføres med anvendelse af disse parametre eller parametre, der er mindre.

Det bemærkes, at entreprisen forventes udbudt som totalentreprise, hvor design, dimensionering og udførelsesmetode udlægges til entreprenøren. De specifikke anlægsmetoder kan derfor variere ift. hvad der er beskrevet i nærværende notat.

I programmet er desuden valgt løsninger, der indebærer så begrænset udsendelse af undervandsstøj, som muligt.

Programmet er således en maksimal ramme, der anvendes for miljøvurdering af undervandsstøj. Det bemærkes at sprængninger under vand i Grønland kræver en række tilladelser og godkendelser, for hvilke der skal udføres forskellige andre beskrivelser.

Trawlerterminalen planlægges anlagt som en 300 m langt kaj anlæg, syd for den eksisterende Containerterminal i Nuuk havn. De 300 m kajkant skal ligge i forlængelse af kajen for trawlerterminalen.

Vanddybden er op til 17 m. På havbunden ligger der 1-2 m løsmateriale og herunder klippegrund.

Kajen konstrueres ved, at der graves og sprænges en grøft i havbunden, i alt 4 hhv. 5,5 m dyb under nuværende havbund. Heri stilles spuns til kajkant. Der fyldes op på begge sider af spunsen, der over havbunden forankres med jordankre der rækker ind i strukturer i kajen.

Konkret, skal der sprænges en grøft, der på de nordligste 200 m er 4 m under nuværende havbund, og på de sydligste 100 m 5,5 m under nuværende havbund. Endelige dybder vil afhænge af detaljeprojektering af spuns.

Arbejdsgangen for sprængningerne vil i store træk være som følger:

- 1 Arbejdsfeltet ryddes for løsmateriale.

- 2 Der bores sprænghuller ned i klippen. Maksimalt antal for et sprængfelt er 28 huller. Geometrien tilpasses de stedlige forhold. Forventet dybde for boringen er op til 4+2 m for de nordligste 200 m og 5,5+2 m for de sydligste 100 m. Dette svarer til den dybde under nuværende havbund, som grøften skal have plus underboring i størrelsesorden op til 2 m, for at sikre, at bundkoten i grøften overholdes.
- 3 Sprænghullerne lades, med op til 20 kg Eurodyn-3000 pr. hul og fordæmmes (dvs. lukkes) med knust klippe. Den maksimale mængde sprængstof for et sprængfelt med 28 huller er således 560 kg.
- 4 Sprængningen gennemføres, hvorved klippen løsnes, og der dannes revne der generelt er 4 m hhv. 5,5 m under havbunden, med en mindste fribredde i bund på 1 m i bundkoten til spunsen.
- 5 Sprængfelt og omkringliggende havbund ryddes med grab – løst stenmateriale tages op på kajen, og knuses. Spunsen opstilles, og det knuste materiale suppleres med yderligere materiale, der samlet fyldes tilbage, ned i revnen, på kajsiden og havsiden af spunsen.
- 6 Proceduren gentages for det efterfølgende sprængfelt.

Der kan arbejdes flere steder langs den planlagte revne i samme periode, men der foretages maksimalt én sprængning pr. 24 timer. Arbejdet med sprængninger ventes at kunne gennemføres på en sommersæson (april – september), evt. skal der arbejdes i to sæsoner.

Nøgleparametre for sprængningsprogrammet er således disse værdier:

- > Op til 70 sprængfelter
- > Op til 28 huller pr sprængfelt
- > Op til 20 kg Eurodyn-3000 pr hul (maksimal enhedsladning)
- > Borehullerne fordæmmes (lukkes) med knust klippe. Fordæmmingslængden tilpasses hullets længde, men er mindst 0,9 m ved 89 mm borehul.
- > Sprængsalven tilrettelægges med en forsinkelse mellem de enkelte sprængninger, der optimerer sprængningens effekt på klipperydningen, med ovenstående parametre, herunder maksimal enhedsladning på 20 kg Eurodyn-3000. Ved brug af et nonel-tændsystem anbefales det, at intervallet mellem detonationer er 25 ms.
- > Der udføres maksimalt én sprængning pr. 24 timer.

I forbindelse med sprængningerne udføres en række afværgeforanstaltninger til dæmpning af støjvirkningen under vandoverfladen og til advarsel / bortskræmning af havpattedyr mv.

Disse afværgeforanstaltninger er:

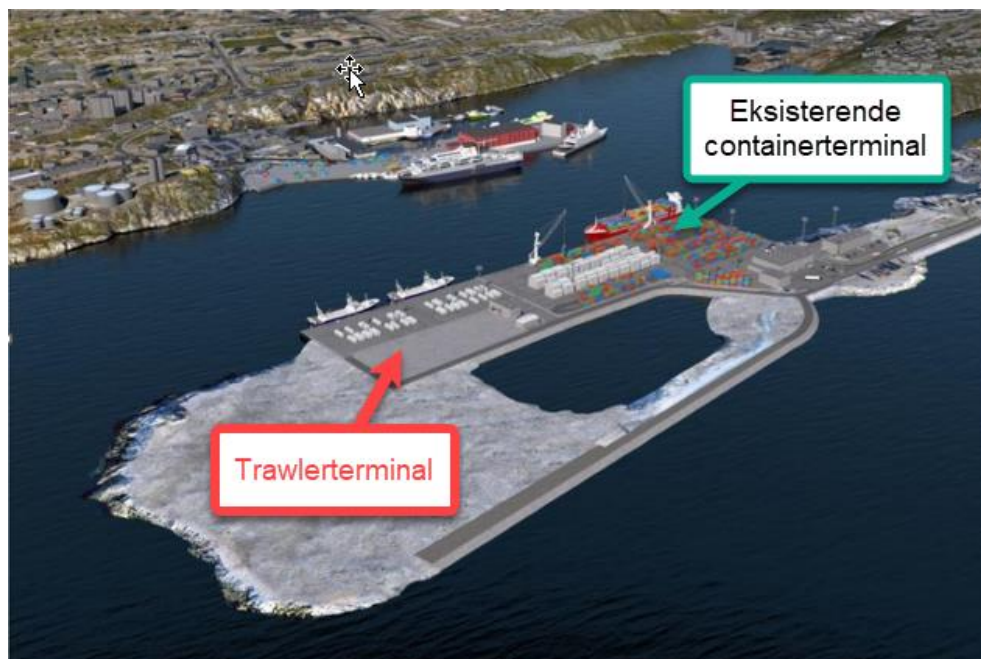
- > Anvendelse af boblegardiner omkring sprængningsfeltet – dæmper lydtrykket. Der anvendes et dobbelt boblegardin, dvs. to boblegardiner:
 - > Radius af det inderste gardin i forhold til sprængfeltet skal afstemmes af ud fra de lokale tekniske forhold, men forventes at være ca. 30 m.
 - > Afstanden mellem det inderste og yderste gardin er mindst lig vanddybden.
 - > Gardinet forsynes med en luftmængde på mindst $1 \text{ m}^3/(\text{min}\cdot\text{m})$, det vil sige kubikmeter pr. løbende meter boblegardin og pr. minut.
 - > Afstand mellem hver dyse er ca. 20-30 cm
- > Fordæmning/pakning af sprænghullet (ovenpå sprængstoffet) af knust klippe, tilpasset hullets længde og diameter, hvilket dæmper lydtrykket.
- > Det kan overvejes at anvende skræmmesprængninger (mindre sprængninger) 15, 10 og 5 minutter før detonation af sprængfelt
- > Overvågning af påvirkningsområder for havpattedyr 0,5 timer før sprængning. Sprængning indstilles, hvis der er hvaler i området.
- > Sælpinger anvendes konstant under boring og ifm sprængning.

Disse parametre inklusive afværgeforanstaltninger indgår i den videre beregning af kildestyrke og modelberegninger for udbredelsen af undervandsstøjen. Via disse beregninger kortlægges de områder, hvor havpattedyr i forskellige høregrupper kan påvirkes af støjen fra sprængningen. Disse områder dannes derpå grundlag for vurderingen af påvirkninger for disse dyregrupper.

2 Indledning

Dette arbejdsnotat er skrevet som et fagligt grundlag for en VVM-vurdering for udvidelse af havnen i Qeqertaq Avaluq. Udvidelsen af havnen er planlagt for havgående trawlere og planlægges anlagt som nabo og i direkte forlængelse af eksisterende containerterminal, se Figur 2-1.

Notatet beskriver et rammeprogram for undervandssprængningerne. Programmet omfatter sprængninger, der er vurderes tilstrækkelige til at sikre gennemførelsen af byggeriet. Der er anvendt en såkaldt "Worst case" antagelser og vurderinger af de nødvendige sprængninger og parametre, så der er sikkerhed for at byggeriet kan gennemføres. De anviste parametre er de maksimale, i den forstand, at byggeriet forventeligt kan gennemføres med anvendelse af disse parametre eller parametre, der er mindre.



Figur 2-1 Oversigt over eksisterende containerterminal og planlagt trawlerterminal.

2.1 Projektet og den nødvendige undervandssprængning.

Der anlægges en trawlerkaj i forlængelse af containerkajen i Nuuk Havn.

Kajlængden er planlagt til 200-300 m, og der beskrives i dette notat de nødvendige procedurer for en 300 m kaj. Se Figur 2-2.

Kajfronten er foreslået som spunsvæg med to ankerniveauer, se Figur 2-3. Undervandssprængning vil primært være grøft for placering af spuns. For de nordligste 200 m kaj skal spunsen stilles 4 m under nuværende havbund. For de sydligste 300 m skal den stilles 5,5 m under nuværende havbund.

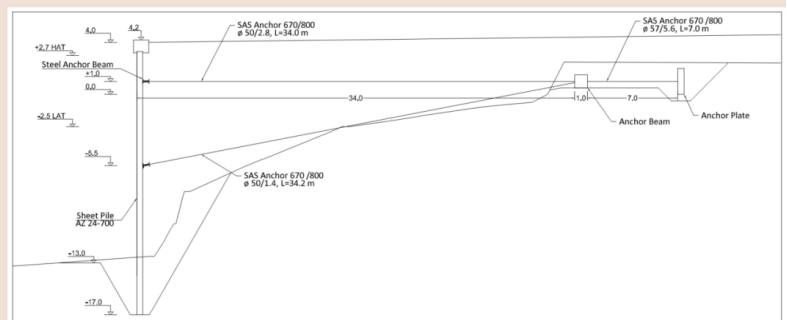
Som ramme for undervandssprængningerne er der taget udgangspunkt i følgende rammer og metoder:

- > Der skal sprænges en grøft i størrelsesordenen 300 m længde. Grøften skal have en bredde på 1 m i bunden for at muliggøre installation af spuns. Det afgørende er, at der på bunden af grøften skal placeres spuns, der skal udgøre de 300 meter havnekaj i ét og samme plan.
- > Forventet gennemsnitlig bundkote for spuns er -17 m MV, men der er ikke udført detaljprojektering endnu. Vanddybde varierer men forventes op til 15 m MV.
- > Ved etableringen i 2015-2017 af containerterminalen, der er nabo til byggefeltet, er der gennemført tilsvarende arbejder og derved indhentet en betydelig stedlig erfaring med undervandssprængning. De faktiske resultater og de anvendte geometrier for sprængfelter mv. fra konstruktionen af containerterminal ligger til grund for antagelser og anbefalinger i dette notat.



Figur 2-2: Koncept for trawlerterminalen. De nordligste 200 m af kajen vises som et gult rektangel, og de sydlige 100 meter vises som et blå rektangel, ud-snit fra (COWI, 2024-02-06).

- Spunsvæg med to ankre vurderes som den mest optimale kajkonstruktion og er en kendt løsning fra containerterminalen (frihed til entreprenørerne i valg af konstruktionstype)
- Undervandsprængning er begrænset til hovedsageligt en rende til placering af spunsjern
- Meget begrænset sprængningsarbejde på land



Figur 2-3: Koncept for kajkonstruktion.

3 Erfaring fra sprængningsarbejder i nærheden

Virkningen af sprængninger er meget afhængigt af lokale forhold, herunder det klippemateriale, der sprænges.

Containerterminalen, der er nabo til konstruktionsområdet for trawlerterminalen blev konstrueret i perioden 2015 til 2017, se Figur 2-1. I denne konstruktion indgik der undervandsprængninger, der svarer til de forestående sprængninger

for den planlagte trawlerterminal. COWI har modtaget den tilgængelige dokumentation om sprængninger fra konstruktionen af Containerterminalen, inkl. planer for sprængfelter og borehuller samt et Excel-ark hvori data fra sprængningerne er samlet. (Sikuki, fr 2024-03-01 13:31 mail).

Prøvesprængning med 20 kg

Den 17. november 2015 og den 27. november 2015 blev der udført prøvesprængning med enhedsladning på 20 kg. Resultater fra prøvesprængningen er afrapporteret i (Rambøll, 2015-12-07). Tabel 3-1 viser resultater fra prøvesprængningerne.

Tabel 3-1 Modelleret lydtryk sammenholdt med målinger fra prøvesprængningerne, tabel er hentet fra (Rambøll, 2015-12-07)

	Distance (m)	Total (0-Peak) dB, re 1µPa	Total Max. (RMS SPL) dB, re 1µPa	Total Unweighted (SEL) dB, re 1µPa ² sek	Weighted (SEL) dB, re 1µPa ² sek			
					HFC	MFC	LFC	Pinnipeds
Scenarie 4 ²⁾	800	189	179	177	160	163	177	169
Prøvesprængning nr. 1, 17 x 20 kg, 2 boblegardiner	800 ¹⁾	181	169	165	159	163	165	164
Difference	-	8	10	12	1	0	12	5
Scenarie 2 ²⁾	800	190	180	180	163	166	180	172
Prøvesprængning nr. 2, 28 x 20 kg, 2 boblegardiner	800	185	172	167	147	149	167	160
Difference	-	5	8	13	16	17	13	12

Med denne enhedsladning var støjniveauerne væsentligt under de prædikterede niveauer fra den undervandsakustiske model. Derfor blev det foreslået at udføre en prøvesprængning med en enhedsladning på 27 kg (se næste afsnit).

3.1.1 Prøvesprængning med 27 kg

Den 04. maj 2016 blev der udført en prøvesprængning, sprængfelt U22, med enhedsladning på 27 kg i 28 borehul, hvor der blev brugt to boblegardiner for at dæmpe undervandsstøjen. Der er udarbejdet en egen rapport angående prøvesprængningerne (Rambøll, 2016-05-13). Måleresultater fremgår af Tabel 3-2.

Tabel 3-2 Resultater fra prøvesprængning sammenholdt med krav i VVM-tilladelse for ny containerterminal, tabel er hentet fra (Rambøll, 2016-05-13).

	Distance (m)	Total (0-Peak) dB, re 1µPa	Total Max. (RMS SPL) dB, re 1µPa	Total Unweighted (SEL) dB, re 1µPa ² sek	Weighted (SEL) dB, re 1µPa ² sek			
					HFC	MFC	LFC	Pinnipeds
VVM-redegørelse 54 kg, 1 boblegardin	800	201	190	181	164	167	181	173
Prøvesprængning 28 x 27 kg, 2 boblegardiner	800 ¹⁾	199	179	175	173	173	173	173
Difference ift. VVM	-	2	11	6	-9	-6	8	0

Af bore- og ladeplan for sprængfelt U22 fremgår, at der blev brugt 55 mm Eurodyn-2000 pølser og 60 mm Eurodyn-xxxx pølser (kan ikke læses på dokumentationen). Der blev ladet med 27 kg Eurodyn i hvert hul, og der blev brugt SL42 koblingsblokke.

Udførende entreprenør fik afslag på ændring i design for undervandsprængning. (Departementet for Natur, Miljø og Justitsområdet, 2016-06-06). Dette skyldtes at den kraftigere støj fra 27 kg-enhedsladningen overskred de niveauer for hhv. HFC og MFC-høregrupperne, der tidligere var godkendt i VVM-redegørelsen. Overskridelsen var på hhv. 9 og 6 dB, jf. Tabel 3-2.

3.1.2 Konstruktionen af containerterminalen

Den maksimale størrelse på sprængfeltet var 7 rækker med 4 huller i hver række (28 huller i alt), men den gennemsnitlige størrelse for undervandsprængninger ned til kote -17 var 4 rækker med 4 huller (16 huller i alt). Disse oplysninger er anvendt til at designe sprængfelter og beregne antallet af disse.

4 Metodebeskrivelse sprængning

4.1 Generelt

Der tages udgangspunkt i Eurodyn-3000, eller tilsvarende sprængstof, som også blev anvendt ved etableringen af containerterminalen. Af teknisk information på databladet Eurodyn 3000 (Dexploc, 2024-02-14) fremgår, at sprængstoffet er særlig egnet til hårde bjergarter og undervandsprængning. Det tåler vanddybder ned til 30 m.

Selve sprængningerne vil blive gennemført inden for de arbejdstider, som er anført i VVM-redegørelsen, som er mandag-fredag 07-18 og lørdag 07-14. Andre aktiviteter i relation til sprængningen, f.eks. afgravning af løsmaterialer, bore- og lade-arbejde samt opgravning af løsnets materiale efter sprængningen vil kunne finde sted i hele døgnet, dog inden for de støjgrænser for luftbåren støj som angives i VVM tilladelsen eller andre myndighedstilladelser.

Der kan arbejdes flere steder på samme tid, men for hele arbejdet er det en forudsætning, at der maksimalt gennemføres én undervandssprængning per 24 timer.

Løsmasser på havbunden fjernes, før der bores. Og efter sprængning.

4.2 Geometrier for sprængfelter

Det påpeges, at det er entreprenøren, der - indenfor de maksimale parametre, der fremgår af dette notat - ved udførelsen er ansvarlig for at tilpasse sprængningsplanen til de stedsspecifikke forhold, og at den her anviste geometri er anvist, som grundlag for beregning af forventede sprængstofmængder.

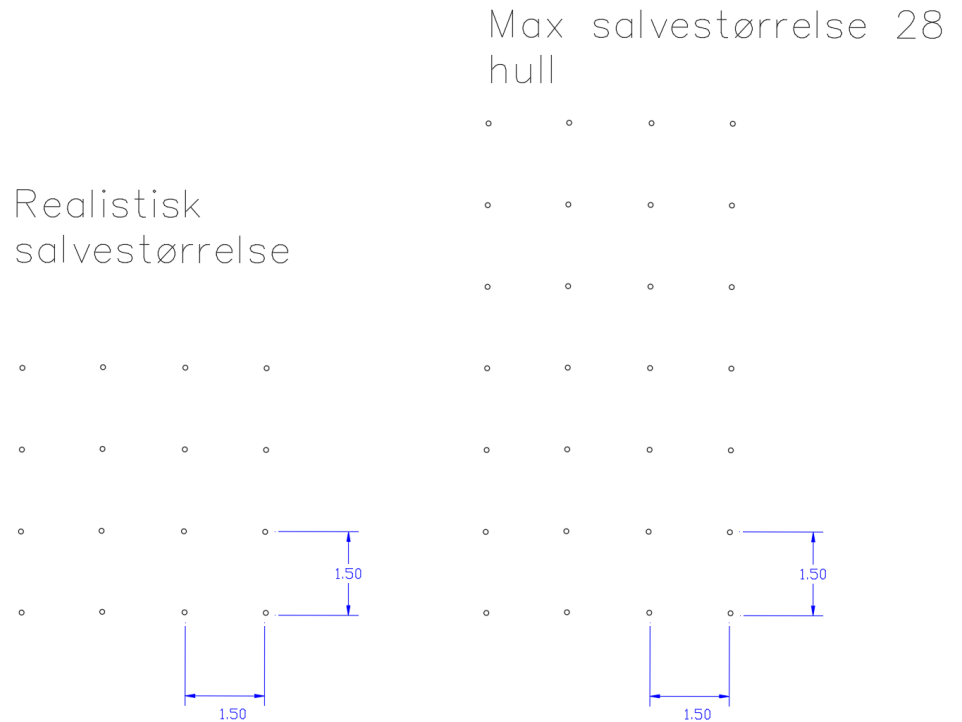
4.2.1 Dybde af spuns ned til 4 m

Der er taget udgangspunkt i, at den maksimalt tilladte størrelse af et sprængfelt er 7 rækker med 4 hul, i alt 28 hul. For beregning af nødvendigt antal sprængfelter er der benyttet erfaringstal fra containerterminalen, hvor der anvendtes sprængfelter der i gennemsnit havde 16 huller (4 rækker med 4 huller i hver).

Baseret på tidligere erfaringer tages der udgangspunkt i:

- > Et boremønster på 1,5 m x 1,5 m
- > Dybde: op til 4 m samt underboring 2 m i alt op til 6 m
- > Maksimal mængde Eurodyn-3000 per interval: 20 kg

Figur 4-1 viser sprængningsfeltets geometri, for 200 m kajfront vil der da kunne forventes 34 sprængfelter med et gennemsnitligt antal huller på 16 (4 rækker à 4 huller). Det maksimale vil være 28 huller (4 rækker à 7 huller)



Figur 4-1 Koncept for sprængfelt for de nordligste 200 m kaj (Dybde af spuns 5,5 m)

4.2.2 Dybde af spuns ned til 5,5 m

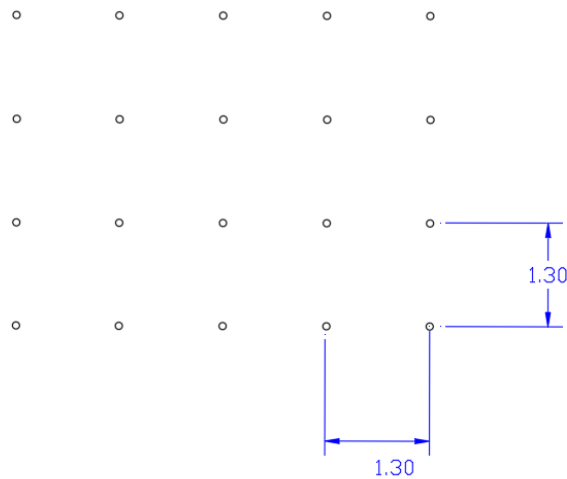
For den dybere sprængning, ned 5,5 m kan det være nødvendigt at samle borehullerne en del, og der er derfor taget udgangspunkt i en mindre afstand mellem hullerne. Det vil være op til entreprenøren at vurdere om der er behov for dette, men det er brugt som et konservativt skøn for at beregne antallet af disse sprængfelter.

Baseret på tidligere erfaringer tages der udgangspunkt i:

- > Et bormønster på 1,3 m x 1,3 m,
- > Huldybde på op til 5,5 m + 2 m underboring, i alt op til 7,5 m
- > Maksimal mængde Eurodyn-3000 per interval: 20 kg

For de sydligste 100 m kajfront vil der dermed kunne forventes behov for op til 19 sprængfelter med gennemsnitligt 20 huller (4 rækker à 5 huller). Dette er illustreret på Figur 4-2.

Realistisk salvestørrelse



Figur 4-2: Koncept for sprængfelt for de sydligste 100 m kaj (dybde af spuns: 5,5 m)

4.3 Antal sprængfelter

I afsnit 4.2.1 og 4.2.2 er der beregnet henholdsvis 34 og 19 felter. Der kan vise sig behov for yderligere felter. Selvom der er benyttet konservative skøn for geometrien, kan enkelte områder kræver flere felter. Det anbefales derfor at tage udgangspunkt i at der kan være behov for op til 70 sprængfelter.

4.4 Tændingsplan

I store dele af de sprængninger, der er udført for containerterminalen, er der benyttet 25 ms forsinkelse mellem de enkelte borehuller. Dette giver, ved 28 huller et totalt tidsinterval på 675 ms. Der anbefales, at der indbygges noget mere fleksibilitet for entreprenør til at vælge en tændingsplan med længere forsinkelse mellem rækkerne, der anbefales at regne på en maksimal tid for sprængningen på op til 902 ms.

Eksemplet i Figur 4-3 er vist med bundtænder U500. Der er taget udgangspunkt i noneltændere og -koblingsblokker.

række									
1	550	500	525	575				diff ms 117	
2	667	617	642	692				diff ms 142	
3	809	759	784	834				diff ms 142	
4	951	901	926	976				diff ms 142	
5	1093	1043	1068	1118				diff ms 142	
6	1235	1185	1210	1260				diff ms 142	
7	1377	1327	1352	1402					
								Total tid	
								902	

Figur 4-3: Eksempel på tændingsplan med længere forsinkelse mellem rækkerne.

4.5 Ækvivalent mængde TNT

Ækvivalent mængde TNT angiver hvor meget TNT et sprængstof tilsvare. Eurodyn-3000 har en energi på 4930 kJ/kg (Dexploc, 2024-02-14). TNT har en energi på 4184 kJ/kg.

Det vil sige at:

$$1 \text{ kg Eurodyn 3000} = 1 \text{ kg} * \frac{4930 \text{ kJ/kg}}{4184 \text{ kJ/kg}} = 1,18 \text{ kg TNT ekv.}$$

4.6 Sprængstofmængder

Tabel 4-1 viser diverse nøgletal for sprængstofmængder. Det påpeges, at tændingsanordninger ikke er medtaget. Fordæmning omtales yderligere i afsnit **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.**, men er medtaget med 10 x borehulsdiameteren. Vægt for de enkelte Eurodyn-patroner er hentet fra teknisk datablad (Dexploc, 2024-02-14).

Tabel 4-1 Oversigt over diverse teoretiske sprængstofmængder.

Dybde af sprængt grøft	4 m	5,5 m
Borehulsdiameter	89 mm	89 mm
Underboring	2 m	2 m
Hulldybde	6 m	7,5 m
Antal hul per række	4	5
Antal rækker	7	5
Fordæmning	0,9 m	0,9 m
Boremønster		
Rækkeafstand	1,5 m	1,3 m
Hullafstand	1,5 m	1,3 m
areal per hul	2,25 m ²	1,69 m ²
Sprængstof	Eurodyn-3000	Eurodyn-3000
Diameter patron	60 mm	50-55 mm
Længde patron	540 mm	540 mm
Vægt /patron	2,065 kg	1,544 kg
Udsprængt fjeld per hul	9,0 m ³	9,3 m ³
Total udsprængt fjeld per sprængfelt	252 m ³	232 m ³
Ladning per hul	19,5 kg	19,6 kg
Specifik ladning	2,2 kg/m ³	2,1 kg/m ³
Maksimal ladning per sprængfelt	546 kg	490 kg
Teoretisk maksimal ladning per hul	20 kg	20 kg
Teoretisk maksimal ladning per sprængfelt	560 kg	500 kg

5 Afværgeforanstaltninger

I sprængningsprogrammet indgår en række afværgeforanstaltninger, der dels dæmper lydtrykket udenfor projektområdet, dels skræmmer dyrene væk før klippesprængning (jf. (ASCOBANS, 1992-03-31)) og andre tiltag. Disse omtales i afsnit 5.1 til 5.5.

Der beskrives i det følgende anbefalinger, der blev indhentet til Containerterminal-projektet (Lauritzen Advising, 2015-08-31). Disse anbefalinger er ført op to date med nyeste viden herunder ikke mindst de erfaringer, der i de senere år er indhentet ved boblegardiner, der anvendes ved nedramning af vindmøller i havbunden.

5.1 Boblegardiner

Et boblegardin skabes ved, at en slange eller rør, der placeres på havbunden i en vis radius omkring støjilden. Der tilføres komprimeret luft, der siver ud af huller i slangen, og de resulterende bobler stiger mod havoverfladen fra hullerne/ventilerne i en form for "gardin" eller "væg". Et boblegardins dæmpning af

lydenergien skyldes dels refleksion af lydenergien, dels absorption af lyden, når den rammer boblerne (DOSITS, 2024-02-14). Dæmpningens effekt for et velfungerende boblegardin afhænger både af luftmængde og gardinets udlægningsmæssige detaljer.

Boblegardiner er en meget anvendt dæmpningsmetode ved undervandsstøj fra sprængning og fra pæleramning.

Fra pæleramning af monopæle til havvindmøller findes et omfattende målebase-ret erfaringsset. F.eks. indeholder (Bellmann, May, Wendt, & et. al., 2020) (herefter omtalt som "ERa-rapporten") statistisk baserede intervaller for forventede dæmpningsværdier og anbefalinger for gardinets udførelse. Det dominerende frekvensområde for pæleramning og klippesprængning er sammenligneligt, hvilket gør det relevant at inddrage erfaringerne fra ramning. (Verfuss, Sinclair, & et. al., 2019) inkluderer en gennemgang af erfaringer med dæmpning af såkaldt UXO-detonation, dvs. sprængladninger som søminer, torpedoer etc.

5.1.1 Luftmængder og ventilfordeling

Et boblegardins dæmpningseffekt stiger med mængden af luft, der lukkes ud i vandet i form af bobler. Baseret på måling af over 800 pæleramninger anbefaler ERa-rapporten i praksis et minimum på $0,5 \text{ m}^3/(\text{min}\cdot\text{m})$. Åbningerne i de enkelte dyser/huller bør være 1-2 mm, og med et mellemrum på 20-30 cm mellem hver af disse.

Fra UXO-detonationer rapporterer (Verfuss, Sinclair, & et. al., 2019) anvendte luftstrømme på $1-20 \text{ m}^3/(\text{min}\cdot\text{m})$.

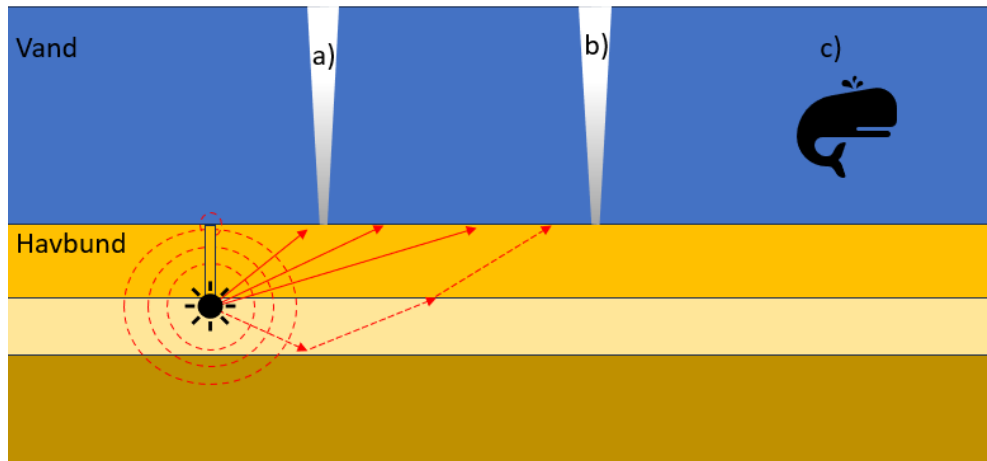
5.1.2 Udlægning

Placering og radius af ét boblegardin

Sprængningskilden er placeret i en vis dybde under havbundsoverfladen. En del af lydenergien vil derfor først nå op til vandsøjlen i en vis afstand fra borehullet, det såkaldte "point of re-radiation". Som det fremgår af skitsen i Figur 5-1 har placeringen af boblegardinet stor betydning for den opnåede dæmpning ved en modtager, punkt c). Pilene indikerer udbredelsesretningen af trykbølgefronterne. De stiplede pile viser en udbredelsesvej med refleksion fra et dybereliggende havbundslag.

Det fremgår af geometrien i Figur 5-1 at et boblegardin ved punkt a) kun vil dæmpe en del af lyden fra sprængningskilden. Den øvrige del vil passere under boblegardinet og ikke blive dæmpet af gardinet. Dette fænomen kaldes på engelsk for "tunnelling". Selv et velfungerende boblegardin vil derfor resultere i begrænset dæmpning, hvis gardinets radius er for lille.

Derimod vil et gardin placeret i stor afstand fra kilden ideelt set dæmpe al lydenergien før den når frem til modtageren. Dette er tilfældet for gardinet ved punkt b) i figuren.



Figur 5-1 *Stiliseret lydudbredelse fra sprængning i borehul, med boblegardiner ved a) og b) og modtagerpunkt ved c).*

For et konkret projekt afhænger de reelle proportioner for geometrien i figuren dels af sprængladningens dybde, dels af havbundens sammensætning og geokustiske egenskaber. Af disse er især lagtykkelse og kompressionsbølge-hastigheder vigtige.

Skitsen i Figur 5-1 er et tværsnit, og den vandrette afstand fra kilden til boblegardinerne er i praksis en radius af gardinet.

Fra containerterminalprojektet blev rapporteret følgende erfaringer:

- > Rådgivningsnotatet (Lauritzen Advising, 2015-08-31) henviser til erfaringer i litteraturen med boblegardin-radius 10 m og anbefaler afprøvning ved prøvesprængning.
- > Rambølls prøvesprængninger med hhv. 20 kg og 27 kg enhedsladning blev udført med (dobbel) boblegardin. Målerapporterne (Kristensen & Maxon, 2015) og (Rambøl, 2016) angiver ikke gardinets radius, men ud fra fotos vurderes den til ca. 10-15 m.

Ved den nylige udvidelse af havnen i Aberdeen blev anvendt et (dobbel) boblegardin i forskellige opstillinger med radius hhv. 100 m og 660 m (Fugro, 2019).

Ved pæleramning af havmøllefundamenter gør fundamentets dybde, at boblegardiner ofte anvendes med radius 50-100 m. Således anbefaler ERA-rapporten en radius på minimum 30-40 m. Den opnåelige dæmpning er frekvensafhængig, og vil derfor være forskellige for forskellige lydkilder.

5.1.3 Forventet dæmpning, ét eller flere boblegardiner

På baggrund af et stort antal havmølleprojekter med måling af undervandsstøj, sammenfatter ERA-rapporten en række anbefalinger og dæmningsdata. Et relevant udsnit af disse nævnes i dette afsnit.

For et velfungerende dobbelt boblegardin ("D-BBC") ligger den målte indsætningsdæmpninger i intervallet 12-18 dB for parameteren SEL (Sound Exposure

Level). Samme rapport angiver indsætningsdæmpningen som 1/3-oktavspektrum.

Erfaringsmæssigt dæmper et dobbelt boblegardin i praksis ca. 3 dB bedre end et tilsvarende enkelt gardin. Afstanden (dvs. forskel i radius) mellem de to gardiner bør have mindst samme størrelse som vanddybden.

Praktiske tests med 3-dobbelte og 4-dobbelte gardiner gav kun anledning til en ubetydelig øget dæmpning (ca. 1 dB), på bekostning af kraftigt forøget logistik og trykluftforsyning.

Boblegardiner består af luftbobler, som kan påvirkes af havstrøm. En vigtig erfaring er, at kraftigere strøm end ca. 0.75 m/s reducerer dæmpningen betydeligt. I et tilfælde med >2 m/s blev en forringelse af dæmpningen på >5 dB observeret.

5.1.4 Anbefaling om boblegardiner

Anbefalinger til det aktuelle trawlerterminal-projekt er:

- > Dobbelt boblegardin forsynet med en luftmængde på mindst 1 m³/(min·m)
- > Udlægningsradius af det inderste boblegardin bør bestemmes på baggrund af lokale geotekniske forhold og dybde-placeringen af sprængladningen
- > Afstanden mellem de to boblegardiner bør være mindst lig vanddybden
- > Eventuel variation af havstrømmen i løbet af døgnet bør tages i betragtning ved planlægningen, da boblegardiner er mest effektive ved maksimum 0,75 m/s strøm.

5.2 Skræmmesprængninger

Rambølls prøvesprængninger med 20 kg enhedsladning blev foretaget med indledende skræmmeforanstaltninger i form af mindre sprængladninger med 0,250 kg sprængstof hhv. 15, 10 og 5 minutter før sprængningen (Kristensen & Maxon, 2015).

Skræmmesprængningen må have en minimumsoverdækning af vand på 5 m. Det ideelle er at den er midt mellem vandoverfladen og søbunden, men dog altid minimum 5 m vandoverdækning.

5.3 Forudgående overvågning af høregruppernes påvirkningsområde

Der foretages før sprængningen en overvågning af påvirkningsområdet for de forskellige dyregrupper. Påvirkningsområdet er de områder af havet, hvor de udførte sprængninger kan påføre høreskader på havpattedyr. Overvågningen er nærmere beskrevet i VVM-rapporten (COWI, 2024).

5.4 Fordæmning

Det anbefales at materialet til fordæmning (der lukker for hullet, over sprængladningen) er knust klippe af god kvalitet, en forslag til fraktion: 5 – 11 mm eller 8 – 11 mm, afhængigt af hvilket materiale som er tilgængeligt. Fordæmningens højde anbefales mindst 10 x hul diameteren og også tilpasset borehullets dybde. Det kan ikke anbefales at benytte vand som fordæmning.

5.5 Sælpinger/Acoustic Deterrent Device

Pinger er undervandshøjtalere, der udsender lyde der skræmmer sæler og andre havpattedyr væk. Disse er nærmere beskrevet i VVM-rapporten (COWI, 2024)

6 Referencer

- ASCOBANS. (1992-03-31). *Agreement on the Conservation of Small Cetaceans of the Baltic and North Seas*.
- Bellmann, M., May, A., Wendt, T., & et. al. (2020). *Underwater noise during percussive pile driving: Influencing factors on pile-driving noise and technical possibilities to comply with noise mitigation values - ERA report*. Oldenburg.
- COWI. (2024). *Nuuk Havneudvidelse. Trawlerterminal. VVM-rapport*. .
- COWI. (2024-02-06). *Planlagt udvidelse situationsplan*.
- Departementet for Natur, Miljø og Justitsområdet. (2016-06-06). *Afslag på ændring i undervandssprængningsdesign, sags nr. 2015-2424, dok. nr. 291439*.
- Dexploc. (2024-02-14). *Teknisk information Eurodyn-3000*. Hentet fra https://dexploc.com/wp-content/uploads/2021/05/TDS_Eurodyn-3000-2021.04.29.pdf
- DOSITS. (2024-02-14). *Bubble Curtain*. In: *Discovery of Sound in the Sea*. . Accessed 14 Feb 2024. Hentet fra DOSITS: <https://dosits.org/galleries/audio-gallery/anthropogenic-sounds/bubble-curtain/>
- Fugro. (2019). *Environmental Impact Assessment Report Aberdeen Harbour Expansion Project: Revised Blasting Methodology*.
- Kristensen, P., & Maxon, C. (2015). *Ny containerterminal Nuuk - Måling af under-vandsstøj ved prøvesprængning*. Copenhagen.
- Lauritzen Advising. (2015-08-31). *Undervandssprængning, Nuuk Havn Notat om sprængplan*.
- Per Aarsleff A/S. (31.08.2015). *KM-PLAN 134912, Ny Containerterminal, Nuuk, Bilag nr. 3.4.1.2 Bore- og ladeplan rev. 4*.
- Rambøl. (2016). *Ny containerterminal Nuuk - Måling af undervandsstøj ved prøvesprængning - 27 kg*. Copenhagen.
- Rambøll. (2015-12-07). *1271001-66-051-1 Rapport om måling af undervandsstøj fra prøvesprængninger*. København.
- Rambøll. (2016-05-13). *1271001-66-051-7 Rapport undervandsstøj fra prøvesprængninger 27 kg, ver. 1*.
- Sikuki. (fr 2024-03-01 13:31 mail). *fr 2024-03-01 13:31 mail*.
- Verfuss, U., Sinclair, R., & et. al. (2019). *A review of noise abatement systems for offshore wind farm construction noise, and the potential for their application in Scottish waters*. *Scottish Natural Heritage Research Report No. 1070*.