



BILAG 3

RISIKOVURDERING FOR HÆNDELSER MED UXO

Lodbjerg-Nymindesø

BILAG X RISIKOVURDERING FOR HÆNDELSER MED UXO

BILAG X RISIKOVURDERING FOR HÆNDELSER MED UXO
Kystbeskyttelse Lodbjerg - Nymindesgab Kystbeskyttelse
Lodbjerg - Nymindesgab

Projektnavn **VVM for kystbeskyttelse ved den danske vestkyst**
Projektnr. **1100053632**
Modtager **Kystdirektoratet**
Dokumenttype **Rapport**
Version **1.12**
Dato **2025/06/26**
Udarbejdet af **MASOE / LWB**

Rambøll
Hannemanns Allé 53
DK-2300 København S

T +45 5161 1000

*Denne rapport er baseret på informationer fra fortrolige kilder.
Referencelisten er derfor ikke udfyldende.*

Indhold

1.	Indledning	2
1.1	Formål og afgrænsning	2
2.	Metode	3
3.	Baggrund	5
3.1	Kystforandringer siden udlæggelse af UXOer	5
3.2	Aktiviteter ved sandfodring	6
3.3	Aktiviteter ved kystnærfodring	6
3.4	Rapporterede ulykker	6
3.5	Fiskeriaktiviteter nær ved kysten	7
3.6	UXOer	8
3.6.1	KMA miner	9
3.6.2	Forstrandsminer	11
3.6.3	MK I-IV miner	11
3.6.4	Øvrige UXOer	13
4.	Antagelser	15
4.1	Modelområde og vanddybde fra kysten	15
4.2	Placering af UXOer	15
4.2.1	KMA-miner	16
4.2.2	Forstrandsminer	16
4.3	Sandsugerens ruter og opførsel i vandet	16
4.3.1	Påvirkning af bølger på sandsugerens afstand til bunden	17
4.4	Forventet sandfodring i perioden 2025-2039	18
5.	Scenarier	19
5.1	Strandfodring	19
5.2	Rainbowing	19
5.3	Splitning	20
5.4	Grundstødning	20
5.5	Opsummering af scenarier	21
6.	Risikovurdering	22
6.1	Estimering af frekvens for en hændelse	22
6.1.1	Monte Carlo Model	22
6.1.2	Grundstødning - Sandsuger grundstøder og rammer et UXO	22
6.1.3	Kystnær fodring (Rainbowing og splitning) – Sandsuger rammer bunden, hvor et UXO ligger	24
6.1.4	Strandfodring - Rørledning sænkes til havbunden og rammer et UXO	25
6.2	Konsekvensvurdering	25
6.2.1	Metode til vurdering af konsekvenser	25
6.2.2	Vurdering af konsekvenser	26
6.3	Risikovurdering	27
6.4	Risikomitigerende tiltag	27
6.4.1	Mitigering ved sandfodring	27
6.4.2	Scanning af havbunden inden kystnær fodring	28
6.4.3	Kystnær fodring (rainbowing og splitning)	28
7.	Referencer	29

1. Indledning

KDI, som bygherre, med Rambøll som rådgiver, er i et høringssvar fra Forsvarets Ejendomsstyrelse til miljøvurderingen af kystbeskyttelsesprojektet for 2025-2039, anbefalet at gennemføre et UXO-survey af kyststrækningen fra Nymindegab til Lodbjerg. Årsagen hertil er, at denne kyststrækning fra kysten og én nautisk mil ud i vandet i søkort er markeret som et fareområde i hvilket, arbejder på havbunden, bundfiskeri og ankring frarådes.

UXO er en bred betegnelse for eksplosiver i form af miner, ammunition, granater eller bomber der ligger efterladt i havet, hvor de påvirkes af havmiljøet og potentielt bliver en kilde til forurening. Det er muligt, at nogle UXOer endnu er aktive og kan aktiveres enten ved grundstødning af et skib eller ved arbejder på/nær havbunden, da dette kan medføre berøring af UXOet. En aktivering af et UXO vil medføre en eksplosion, som kan lede til potentielle skadevirkninger på materiel med risiko for tab af materiel eller liv.

1.1 Formål og afgrænsning

Formålet med denne rapport er at estimere risikoen for en hændelse, hvor en sandsuger eller andet materiel anvendt i vandet rammer et UXO i forbindelse med losning af sand langs den jyske vestkyst på strækningen fra Nymindegab til Lodbjerg, som led i kystbeskyttelsesindsatsen.

Nærværende undersøgelse tager kun risiko ved UXO, der ligger i vandet, i betragtning.

Meget af den litteratur, som omhandler UXO, herunder typen, den geografiske fordeling og oprydning, er meget spredt og kun kendt samlet i fortrolige dokumenter, som Rambøll ikke benytter til dette studie.

Anden tilstedeværelse af UXO end den fundet i relevante kilder kan ikke udelukkes, da der kan være UXOer fra ikke-registrerede begivenheder; begivenhedernes lokalitet er upræcise; eller at UXOer har flyttet sig, siden de blev lagt i vandet.

Det i denne undersøgelse fastlagte risikoniveau er bestemt under forudsætning af, at der udføres kystbeskyttelse uden forudgående UXO-survey på den berørte strækning. I denne undersøgelse vurderes ikke på niveauet af risikoen i forhold til et acceptkriterium.

2. Metode

Risikovurderingen for en hændelse med et UXO i forbindelse med kystbeskyttelsesaktiviteterne på strækningen fra Lodbjerg til Nymindegab definerer en risiko som produktet af sandsynligheden for, at faren finder sted og den tilhørende konsekvens, hvis faren optræder.

For at bestemme sandsynligheden antages det, at en hændelse kun kan finde sted ved, at et objekt har kontakt med et UXO. Dvs. det antages, at et UXO lokaliseret langs den jyske vestkyst ikke detonerer tilfældigt.

Herefter identificeres de handlinger, under hvilken et objekt og et UXO kan komme i kontakt. Til dette formål er der behov for viden om:

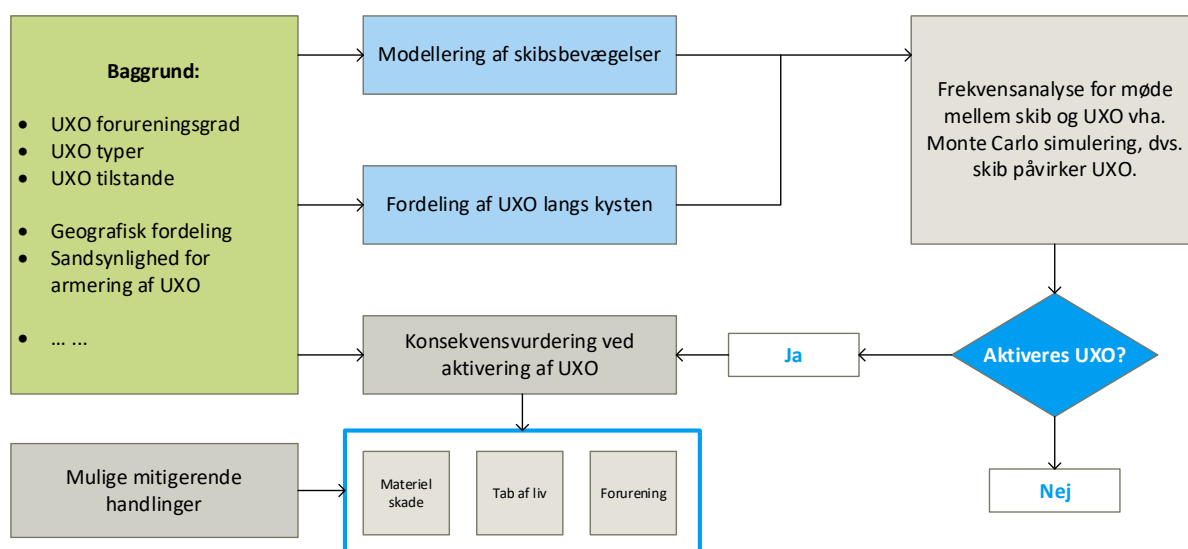
- Hvilke og hvor mange UXOer der findes.
- Sandsynligheden for kontakt med et UXO.
- Tilstanden af UXOer.
- Sandsynlighed for at et UXO aktiveres ved kontakt.

Således er det nødvendigt at identificere UXO-typer, deres antal og mulige geografiske fordelinger. Dette sker bl.a. ved brug af oplysninger i historiske kilder; kontakt til Forsvarets dykkertjeneste; samt informationer vedr. kystens ændringer fra KDI.

For at undersøge sandsynligheden for kontakt med et UXO i forbindelse med sandfodring, modelleres en sandsugers rute ind mod kysten i området. Dette gøres med input fra KDI og entreprenører, der har erfaring med operationer relateret til sandfodring og lignende operationer.

Ved at kombinere fordelingen af skibsbevægelserne med fordelingen af placeringen af UXOs estimeres en sandsynlighed for, at et møde mellem en sandsuger og et UXO finder sted. I beregningen benyttes Monte Carlo simulering, der tager højde for de mange usikkerheder og fordelinger, der beskriver UXO i havet og sandsugersens bevægelser.

Metoden er opsummeret i Figur 2-1.



Figur 2-1. Skitse over metoden brugt til at udføre risikoanalysen for mødet med UXO langs den jyske vestkyst.

Der skelnes igennem rapporten, mellem at påvirke et UXO og aktivering (eksplosion) af et UXO. Denne skelnen er nødvendig fordi, hvis en sandsuger rammer et UXO, så vil det påvirke UXOet med en kraft, men det er ikke givet at UXOet vil aktiveres og eksplodere. F.eks. hvis UXOet ligger begravet i sandet og sandsugeren rammer sandet hvorunder UXOet ligger, så vil sandsugeren, påvirker sandet og indirekte også UXOet. Herefter er reaktionen af UXOet usikker, således at effekten af at påvirke et UXO, direkte eller indirekte kan være en eller flere af følgende:

- Ingenting.
- UXOet flyttes.
- UXOet får en bule eller mindre ubetydelig skade.
- UXOet beskadiges og kan ikke eksplodere.
- UXOet aktiveres og eksploderer.

3. Baggrund

Meget af litteraturen, som omhandler UXO, herunder typen, den geografiske fordeling og oprydning, er samlet i fortrolige dokumenter. De enkelte kilder kan findes i nationale arkiver, hos aktive eller pensionerede soldater med kendskab til håndtering af UXO'er eller forskellige tidsskrifter udgivet af f.eks. søværnet eller foreninger tilknyttet de danske værn. Den baggrundsviden, der er brugt i udarbejdelsen af denne undersøgelse, kan derfor ikke i alle tilfælde refereres pga. kildebeskyttelse.

Baggrundsinformation er anvendt til fastlæggelse af risikoen for et UXO-hændelse i forbindelse med sandfodring på den jyske vestkyst under forudsætning af, at der ikke udføres et UXO-survey. Denne baggrundsinformation er opsummeret i det følgende.

3.1 Kystforandringer siden udlæggelse af UXO'er

Kystens forandring siden Anden Verdenskrig, hvor der systematisk blev udlagt miner langs kysten, er blevet undersøgt med udgangspunkt i opmålingsdata fra KDI, samt orthofoto

Konkret er ortofoto af den jyske vestkyst fra 1945 til 2022 sammenlignet, for at fastlægge kystens tilbagetrækning over denne periode. Dette er opsummeret i Tabel 3-1, hvoraf det også fremgår hvor meget erosion, der er registreret på hver enkel delstrækning, samt hvilken vanddybde kystlinjen i år 1945 svarer til i år 2022.

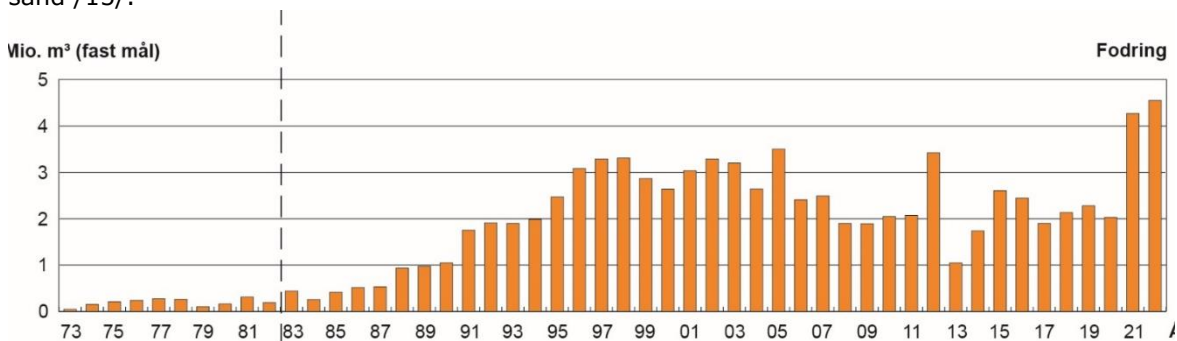
Tabel 3-1. Kystens tilbagetrækning fra 1945 til 2022 på kyststrækningen Lodbjerg-Nymindegab, samt nutidens vanddybde for kystlinjen i år 1945, ref /15/.

	Interval erosion [m]	Gennemsnitlig erosion i perioden 1945 til 2022 [m]	Dybde gennemsnit 2022 ved kystlinje fra 1945 [m]
Agger Tange	30-100	75	5,0
Harboøre Tange	50-100	75	3,3
Vrist-Ferring	40-100	75	3,6
Bovbjerg Klint	0-25	15	2,0
Trans-Thorsminde	175-260	200	5,2
Thorsminde-Husby	60-180	125	4,3
Husby-Søndervig	40-100	75	2,5
Ndr. Holmsland Tange	40-50	50	2,3
Sdr. Holmsland Tange	100-150	125	3,4
Gennemsnit		90	3,5

Af Tabel 3-1 kan det udledes, at kystlinjen anno 1945 i år 2022 i gennemsnit ligger 90 m fra dagens kyst og at vanddybden ved det, der var kystlinjen i år 1945, i gennemsnit er 3,5 m.

Til nærværende studie har KDI oplyst om den historiske fodringshistorik i projektområdet langs den jyske vestkyst, se Figur 3-1. Desuden har KDI estimeret den gennemsnitlige laststørrelse af et skib og dermed, hvor mange ture en sandsuger er sejlet fra et indvindingsområde og ind til kysten for at losse sand, se ref. /15/. Her oplyses det, at der i alt er gennemført cirka 62.500

løsninger langs kyststrækningen, og at den gennemsnitlige laststørrelse har været på 1.400 m³ sand /15/.



Figur 3-1. Årlige fodringsmængder langs jyske vestkyst i mio. m³ sand fra år 1973 til og med 2019 /15/.

KDI har oplyst, at kystbeskyttelse ved sandfodring typisk består af en fordeling med 60% kystnær fodring og 40% strandfodring.

3.2 Aktiviteter ved sandfodring

Ved strandfodring anvendes en rørledning af stål på omkring 1.200 m længde. Røret ankommer til kysten med slæbebåd. Under fragt er røret fyldt med luft, så det flyder. Ved klargøring af rørledningen sænkes den langsomt ned på bunden, ved at den fyldes med vand. Den ene ende af rørledningen trækkes op på land, mens den anden ende ligger i vandet på ca. 8-10 m vanddybde. Her er den forankret med to ankre. Disse fires langsomt ned på bunden, ca. 200 m væk fra enden af rørledningen.

3.3 Aktiviteter ved kystnærfodring

Kystnær fodring sker enten ved rainbowing eller splitning.

Med rainbowing sker typisk fra omkring 6 m dybdekurven. Det sker ved, at skibet sejler langsomt ind mod kysten og positionerer sig. Herefter startes skibets pumper og sandet sprøjtes længere ind mod kysten og lægges på lavere vanddybde. I og med at skibet sejler ind på lavt vand, er det ikke unormalt at skibets stævn kan røre bunden, fordi skibet står på lavt vand med lille plads under kølen.

Når der skal sandfodres ved hjælp af rainbowing, kan der før påbegyndelse af kampagnen, udføres et multibeam survey med et fint grid. Formålet med et sådan survey er todelt, dels fastlægger det lokaliteten af 6 m dybdekurven, og dernæst kan det også bruges til at undersøge og kortlægge havbunden for evt. store og fremmede objekter.

Kystnær fodring med splitning, hvor skibet sejler ind mod kysten og åbner sit skrog enten ved at splitte på midten eller åbne bundlemme under skibet, der tillader sandet i skibets lastrum at falde til bunden. Ved splitning forstærkes revlen, der på ydersiden forhøjes med en 1,5-3 meter tyk sandpude /1/.

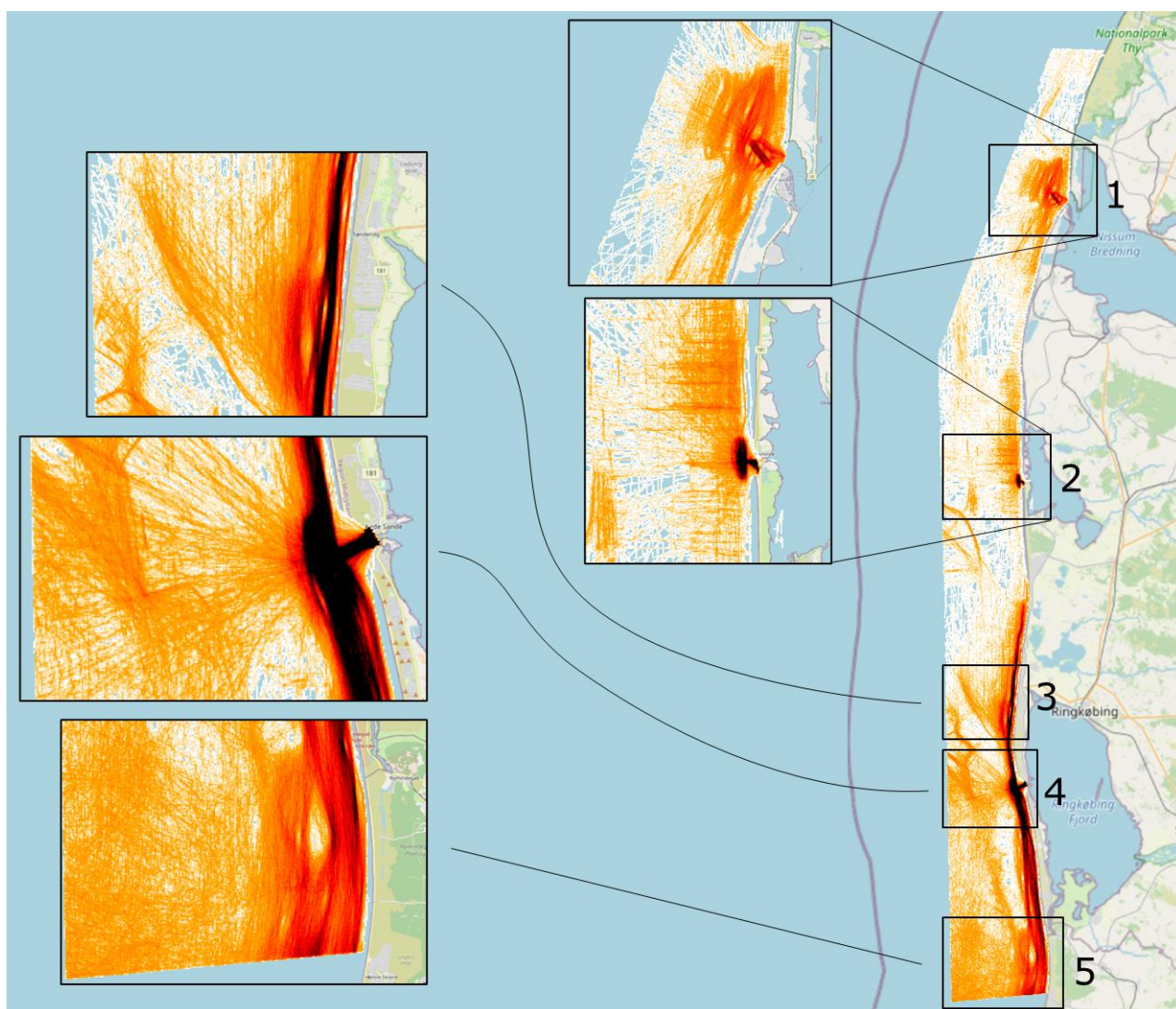
3.4 Rapporterede ulykker

Den Maritime Havarikommision (DMAIB) er adspurgt om kendte hændelser til søs med UXO i dansk farvand /14/. DMAIB oplyser, at de ikke har registreret ulykkeshændelser, som involverer eksplosiver i deres database.

3.5 Fiskeriaktiviteter nær ved kysten

Der er gennemgået fem års AIS-data ud for den jyske vestkyst i perioden fra 2018 til og med 2022 for at undersøge fiskeaktiviteter langs kysten i denne periode. Herfra er visualiseret trafikintensiteten fra fiskeskibe der sejler med en hastighed på 2-4 knob, da dette hastighedsinterval vurderes at være en indikator for bundtrawl eller andre aktiviteter, hvor fiskeskibets udstyr har kontakt med bunden/21/, /22/ og /23/.

I Figur 3-2 ses den jyske vestkyst med et skibstrafikintensitetskort for fiskeskibe sejlen med 2-4 knob fra perioden 2018 til 2022 som registreret i AIS data. De områder, hvor der er observeret mere intens trafik, er også vist i zoom.

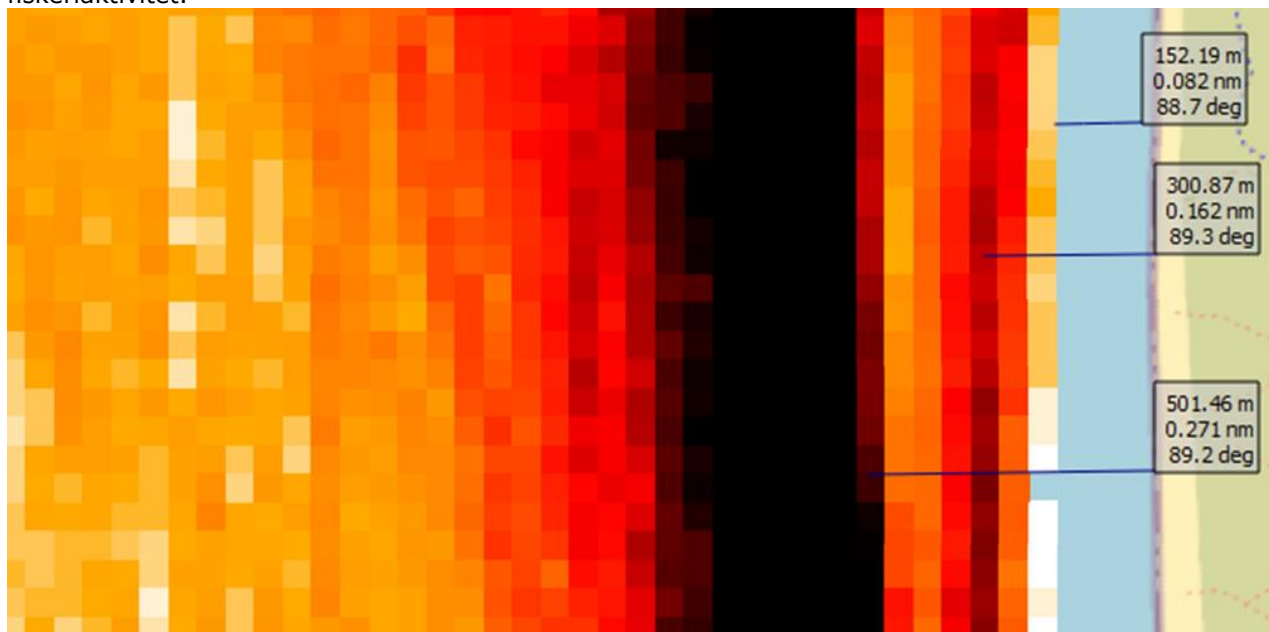


Figur 3-2: Skibstrafikintensitetskort for fiskeskibe sejlen med 2-4 knob fra perioden 2018 til 2022 givet AIS data.

Det ses, at fiskeskibe sejlen med 2-4 knob fra perioden 2018 til 2022 har færdes udenfor Thyborøn, område (1), og Thorsminde, område (2), hvor der ses sejlads mønstre, hvor skibene zig-zagger igennem et område. Derudover fremgår det, at der er sejlads mønstre frem og tilbage ud for Ringkøbing Fjord ved område (3, 4, 5), idet intensiteten er meget mere tydelig og mørk.

I Figur 3-3 er afstanden fra registreret aktivitet til kysten vist for forskellige trafikintensiteter ved område (3) nord for Hvide Sande. Det nærmeste trafikken kommer til kysten er 150 meter, mens afstanden til den intense centerlinje for en nord-sydgående rute ligger på en afstand af 300 meter fra kysten. Afstanden til kanten af den sorte (kraftigste) intensitet fra kysten er ca. 500 meter.

De samme afstande mellem kysten og skibstrafikintensiteten ses flere steder langs kysten, og det valgte område, der er vist afmålt i Figur 3-3, er derfor repræsentativt for den kystnære fiskeriaktivitet.



Figur 3-3: Afmålte afstande til kysten nord for Hvide Sande i område (3), se Figur 3-2.

Baseret på ovenstående konstateres det, at der er betydelig fiskeriaktivitet, som involverer bundberøring indenfor den zone hvor ankring, fiskeri og arbejder på bunden frarådes, som også er vist i danske søkort langs den jyske vestkyst.

Fiskeaktiviteten med bundfiskeri indenfor en sømil fra kysten er foregået i mange år. Det må derfor formodes, at store dele af området er trawlet igennem flere gange. Denne aktivitet er ikke medtaget i frekvensberegningerne i forhold til udbredelsen af UXOer på havbunden. Endvidere er der ikke i nyere tid registreret ulykker i dansk farvand hvor et skib har ramt et UXO, herunder heller ikke for de sandfodringer der er foretaget i stor stil siden 1990'erne.

3.6 UXOer

Kilder til forurening med UXOer er hovedsageligt krige, specifikt for danske farvande, Første og Anden Verdenskrig. Endvidere er der ved militær aktivitet, hvor der anvendes skarp ammunition, risiko for tab af ammunition, eller at denne ikke armeres som ønsket, hvormed ammunitionen kan blive til et UXO efter at være tabt eller affyret fra et våben.

Langs den jyske vestkyst er det særligt den tyske besættelse af Danmark under Anden Verdenskrig, der har bidraget til, at der blev fordelt miner langs kyststrækningen. Dog har den britiske hær også fordelt miner i de danske farvande for at forhindre den tyske flådes bevægelighed igennem de danske farvande, ved havneindsejlinger og igennem Kattegat til og fra Østersøen.

Rambøll har i forbindelse med dette studie kontaktet Forsvaret med henblik på at undersøge deres erfaringer med UXO'er langs den jyske vestkyst. Forsvaret formidlede kontakt til Søværnets Dykkertjeneste, som på mail har oplyst om UXO-typer, der potentielt kan findes i vandet langs den jyske vestkyst, se Tabel 3-2.

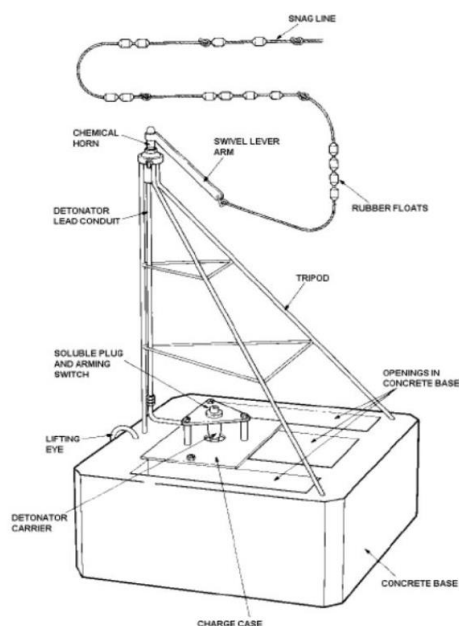
Tabel 3-2. Oversigt over mulige UXO-typer langs den jyske vestkyst samt deres relevans og potentielle sprængstofsmængde, fra ref. /4/.

Nummer	Minetype	Relevans	Sprængstofsmængde
1	KMA-Miner	Relevant	75-90 kg
2	Forstrandsminer	Relevant	90 kg
3	MK I-IV	Ikke relevant	350-400 kg
4	Div. Granater 120 mm og mindre	Ikke relevant	Omkring 5 kg
5	Antipersonel & panserminer	Ikke relevant	5 kg
6	Fosforgranater	Ikke relevant	Ukendt
7	Andre uspecificerede granater	Ikke relevant	Ukendt

I afsnittene 3.6.1 til 3.6.4 præsenteres en oversigt over den forventede relevans fra de UXO-typer der er fundet relevant for nærværende studie. Generelt gælder der for de UXO-typer, der ikke er fundet relevant, at der ikke er identificeret kilder, der beskriver systematisk forurening af projektområdet med disse typer. Som beskrevet i afsnit 1.1 kan det ikke udelukkes, at der er enkelte eksemplarer i vandet langs den jyske vestkyst.

3.6.1 KMA miner

KMA er en forkortelse for Küstenminen type A. Minen er udlagt af den tyske besættelsesmagt i et bælte langs den jyske vestkyst i Danmark i 1944. Minen er også kendt fra Anden Verdenskrig i f.eks. Holland, ref. /5/. En tegning af minen er vist i Figur 3-4.



Specifikationer

Betonfundament med hulrum til sprængladning

Trefod af stål på toppen

Dimensioner: 119,4x199,4x50,8 cm

Højde: 223,5cm

Sprængstofs mængde: 50-90 kg

Vægt: ca. 1.016 kg

Detonator: Hertz Horn med fangline

Fanglinelængde: 23,62m

Figur 3-4: Küstenminen type A og dens dimensioner, ref. /5/.

Der blev i løbet af Anden Verdenskrig udlagt omkring 8.500 KMA-miner langs den jyske vestkyst, og af disse var der i 1950 uskadeliggjort ca. 8.200 miner, jf. ref. /6/. Endvidere blev det i november 1952 berettet, at der langs den jyske vestkyst blev uskadeliggjort totalt cirka 10.000 miner i perioden fra 1945 og frem til november 1952, ref. /16/. Desuden beskrives det i ref. /16/, at miner på strækningen langs kysten kan forekomme, da enkelte miner kan være overset pga. sandvandring.

I følge en artikel fra Tidskrift fra Søværnet fra 1946 (ref. /11/) blev KMA-minerne udlagt i to parallelle rækker og med en gennemsnitlig afstand på 20 m langs hele kysten. Minerne blev udlagt tæt på kysten i omkring 2,5 m vanddybde. Ifølge ref. /6/ er antallet af udlagte miner dog undervurderet i forhold til status for oprydningen opgjort i år 1950.

Undersøgelser af KMA-minernes tilstand cirka et år efter udlægning viser, at ståltrefoden er svækket. Senere fund af minerne i Holland /5/ viser, at trefoden er eroderet helt væk. Dette forventes også at være tilfældet for miner af samme type udlagt i dansk farvand. Således forventes det, at KMA-minerne i dag er så medtagede, at de som miner med en fangline ikke længere er funktionsdygtige. Dog er bakelitkassen, som sprængstoffet er indlejret i, samt øvrige vigtige komponenter af minen i forhold til sprængstoffet, vurderet til ofte at være i god stand (ref. /5/), hvorfor sprængstoffet stadig kan anses som funktionsdygtigt og vil kunne detonere under rigtige omstændigheder.

Ved strygningen af minerne efter Anden Verdenskrigs afslutning oplevede soldaterne, at miner tilsander og sætter sig ned i sandet, hvilket gjorde det svært at lokalisere og uskadeliggøre dem. Det betød i nogle tilfælde, at minerne ikke blev fundet. Sammen med muligheden for, at minerne vandrer over tid pga. storme, betyder dette, at nogle miner står et andet sted end forventet. Eftersom minerne, allerede fra de sættes på havbunden, begynder at sande til og kan sætte sig, vurderes det mest sandsynligt, at minerne tilsander og "forsvinder ned i sandet" snarere end at de flytter sig, se ref. /16/.

Ved strygning blev KMA-minerne uskadeliggjort med sprængstof. Var minerne ikke nedsandet, blev der anvendt 3 kg trotyl. Var minerne tilsandet, så kun syrehornet var synligt, anvendtes i stedet 30-35 kg trotyl til bortsprængning af minen, ref. /16/. Her må forstås, at aktivering af KMA-minens sprængstof krævede væsentligt mere kraft, hvis minen var begravet nede i sandet, end hvis den var synlig på havbunden, og at årsagen til behovet for den ekstra sprængkraft skyldtes det sand, minen var begravet i.

3.6.2 Forstrandsminer

Forstrandsminer blev placeret på kysten i brændingen eller omkring 1 m dybde. Minerne er runde og med et syrehorn (for minerne ved Thyborøn) eller to syrehorn, jf. ref. /11/. Minerne blev udlagt i vandkanten fra indsejlingen ved Thyborøn og syd til Høfde 46, en strækning på cirka 5 km. Her blev i alt udlagt 239 miner på én række, hvoraf 101 miner er uskadeliggjort ved status i 1950, ref. /6/. Ref. /10/ beskriver, at det over tid formodes, at forstrandsminerne er blevet utætte, hvorfor sprængstoffet er blevet vådt, og minerne dermed har mistet sin evne til at eksplodere ved mekaniske stød. Søværnets Dykkertjeneste oplyser dog, at de i deres trusselsvurdering af en konkret situation med et UXO altid antager, at sprængstof er følsomt overfor varme, stød og friktion, ref. /13/.

Forstrandsminer er svære at lokalisere, da de gradvist graver sig ned i sandet og/eller flytter sig over tid, ref. /8/. Ved rydningen efter Anden Verdenskrig blev der brugt minesøgere, der kunne registrere miner ned til 20 cm dybde, hvilket ikke var velegnet til at lokalisere forstrandsminerne, der formentligt har ligget dybere begravet i sandet. Senere er der udviklet detektorer, der kan registrere forstrandsminer ned til minimum 3 m dybde, ref. /16/. Endvidere er det beskrevet i ref. /16/, hvordan der i forbindelse med oprydningen blev gået 15-16 km for hver 100 m undersøgt strand, for at kortlægge hele strandbredden for miner. Derudover er strandene og farvandene strøget og eftersøgt for miner ad flere omgange for at tage hensyn til, at minerne før en storm er tilsandet og efter en storm kan komme til syne.

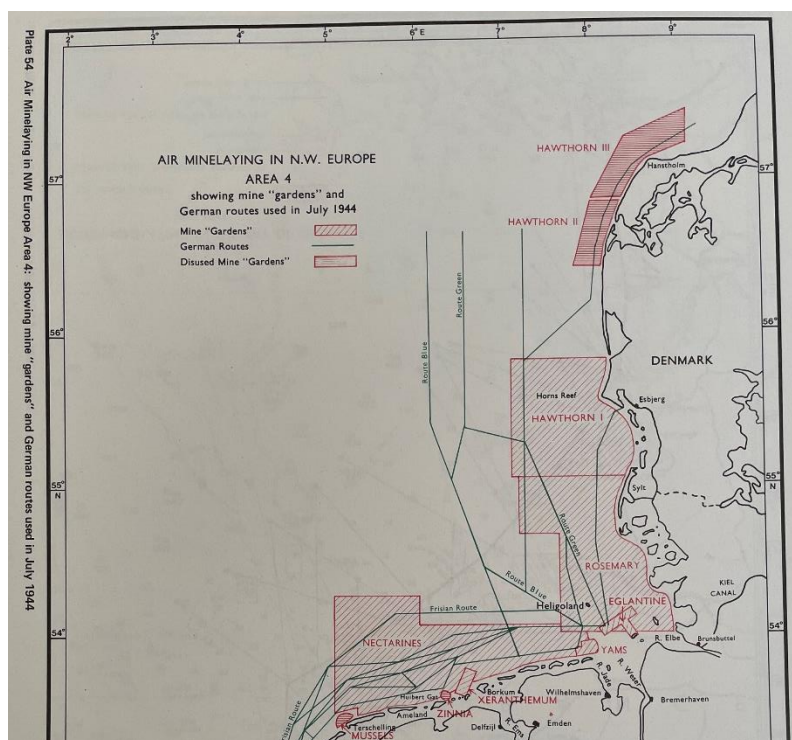
Ref. /17/ oplyser, at der ved minørholdenes nedlæggelse omkring november 1952, var uskadeliggjort 750 forstrandsminer. Ved Status i 1950, ref. /6/, var der bortsprængt 671 forstrandsminer. Dvs. yderligere 79 forstrandsminer er uskadeliggjort fra 1950 til minørholdenes ophør sidst i 1952. Det er ukendt, hvor mange af de 79 forstrandsminer der blev fundet ved strækningen ved Thyborøn.

Ud fra de identificerede kilder kan det forventes, at der på strækningen fra indsejlingen til Thyborøn og til Høfde 46 kan forefindes UXO'er der omkring 1945 blev lagt ud på omkring en meters dybde. Givet at detektorer kan registrere ned til 3 m dybde, formodes det, at minerne kan ligge dybt begravet i sandet og således ikke er i nærheden af overfladen.

3.6.3 MK I-IV miner

Minetyper MK I-IV er en bundmine, som er kastet fra fly af briterne for at afspærre danske farvande for skibstrafik. Briterne udlagde miner over store områder ved hjælp af fly. Minerne er cylinderformede og blev kastet fra relativ lav højde.

Briterne arbejdede med specifikke områder, hvor de kastede bundminer fra fly. Udsætningen af miner skete i forbindelse med Briternes operation "Gardening". Udfor den jyske vestkyst og i den sydligste del af Nordsøen er flere områder udlagt til minefelter, se Figur 3-5. Det meste af kyststrækningen, hvor kystbeskyttelsesarbejdet foregår, er dermed fri for disse minefelter. Bemærk at områderne Hawthorn II og III i Figur 3-5 fra 1944 ikke er i brug.



Figur 3-5. Mineområder i forbindelse med operation "Gardening", fra ref. /12/.

Om områderne bemærkes det, at disse strækker sig mange kilometer ud fra kysten, hvilket reducerer sandsynligheden for at miner er lagt tæt langs kysten. Som bundminer afventer minerne, at et skib eller ubåd passerer forbi, hvilket registreres af minen på flere måder, bl.a. ved registrering af forbipasserendes skibes magnetfelter og motor- og propellyd.

Præcist hvor mange MK I-IV miner, der blev udlagt i dansk farvand, er ukendt. Fra ref. /12/, vurderes det, at ca. 3.000 miner blev spredt i områderne Rosemary, Hawthorn I, II, og III, se Tabel 3-3.

Tabel 3-3. Antal miner i Hawthorn I og Rosemary felterne udlagt per år, fra ref. /12/.

Year		Hawthorn / Rosemary
1940	Mines	-
	Casualties	-
	Ratio	-
1941	Mines	37
	Casualties	1
	Ratio	1:37
1942	Mines	698
	Casualties	18
	Ratio	1:39
1943	Mines	156
	Casualties	12
	Ratio	1:13

Year		Hawthorn / Rosemary
1944	Mines	1.800
	Casualties	53
	Ratio	1:34
1945	Mines	296
	Casualties	1
	Ratio	1:296
Overall	Mines	2.987
	Casualties	85
	Ratio	1:35

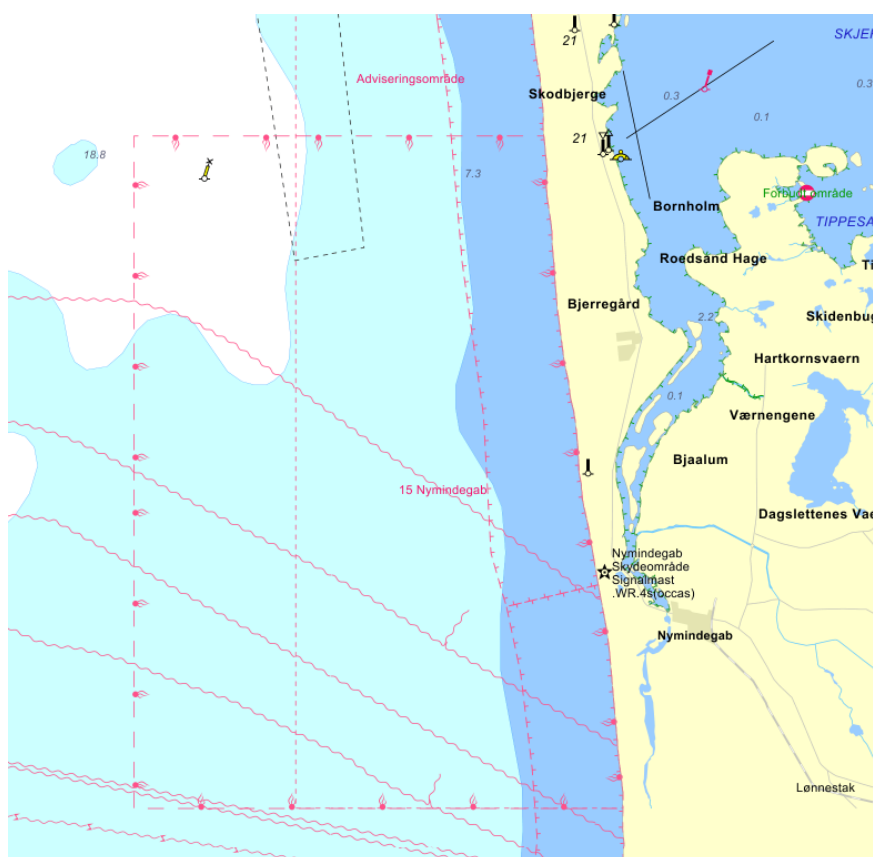
Det ses, at hovedparten blev udlagt i 1944, hvor Hawthorn II og III var taget ud af brug, hvilket reducerer relevansen udenfor den jyske vestkyst, da hovedparten af minerne således må være udlagt i områderne Hawthorn I og Rosemary, der begge er syd for den undersøgte strækning.

Søværnets dykkertjeneste oplyser, at det er usandsynligt, at der skulle ligge MK I-IV miner på den berørte strækning, se Tabel 3-2 og ref. /13/. Der er således ikke overordnet grund til at tro, at undersøgelsesområdet er forurenet med MK I-IV miner.

3.6.4 Øvrige UXOer

Fra Tabel 3-2 fremgår UXO-typer som diverse granater på 120 mm og mindre, antipersonel og panserminer, fosforgranater, og andre uspecificerede granater.

Granater af forskellige kaliber og typer kan teoretisk forefindes overalt i danske farvande, da midlertidige skydeområder kan oprettes både til lands, på søen og i luften af de danske værn. Det vurderes dog, at der ikke er særlig grund til, at kystområderne udsættes for forurening med UXOer, da disse arealer i høj grad benyttes til civile formål. Dog skal nævnes skydeterrænet ved Nymindegab, se Figur 3-6. , hvor der skydes fra land mod vandet, hvormed området kan forurenes. Dette område strækker sig cirka 14 km langs kysten og cirka 8 km ud fra kysten.



Figur 3-6. Udsnit fra Eniros online søkort for farvandet ud for Nymindégab, hvor forsigtighedsområde i forbindelse med ammunition er markeret, ref. /19/.

Personel- og panserminer blev ryddet fra den jyske vestkyst umiddelbart efter krigen. I forbindelse med kystens tilbagetrækning er det dog muligt, at nogle af de personel- og panserminer, der blev lagt tæt på vandkanten, i dag befinder sig ude i vandet. Fordi rydningen, med undtagelse af et enkelt område ved Skallingen omkring Blåvand, skete i årene efter krigen, er det meget begrænset hvor mange UXO, der ligger ude i vandet i dag, da det må formodes, at hovedparten af minerne blev ryddet. For de miner, der fortsat ligger begravet ude i vandet gælder, at de er hårdt medtaget, da de er konstrueret af træ og blik ref. /20/.

Fosforgranater indeholder fosfor, der antænder ved kontakt med atmosfærisk luft, pga. iltindholdet. Fosforgranater, der forefindes i havvand, kan ikke reagere med atmosfærisk luft, da de ikke er udsat herfor, og derfor udgør granater af denne type ikke en relevant forurening for nærværende undersøgelse.

Generelt har området ved Nordsøen indgået i kamphandlinger i forbindelse med begge verdenskrige, ligesom bombefly har overfløjet arealet adskillige gange. I den forbindelse er det muligt, at ammunition, bomber, torpedoer med mere er spredt tilfældigt over hele havarealet. Graden af forurening fra verdenskrigene er således ukendt. Dog er det utænkeligt, at spredningen af disse granater er helt tilfældig, da den mest sandsynligt er koncentreret omkring den aktivitet, der har været af skibsruter og flyruter mellem luftbaser og bombemål.

Om end forurening af andre typer UXO, se ref. /13/, som ikke er omfattet af ovenstående, ikke kan udelukkes at findes i undersøgelsesområdet, så anses dets tilstedeværelse som usandsynlig og i mindre forekomster end for de kystnære KMA- og forstrandsminer, som systematisk blev udlagt langs kysten.

4. Antagelser

Der er i udarbejdelsen af risikovurderingen gjort en række antagelser. Antagelserne er gjort med udgangspunkt i den baggrundsinformation, som er præsenteret i kapitel 3.

Antagelserne er gjort, da bl.a. antallet og den geografiske fordeling af UXO'er er behæftet med stor usikkerhed. F.eks. er det usikkert, om UXO'erne er jævnt fordelt på havbunden, eller om de ligger i større grupperinger i enkelte områder. Desuden er der en stor usikkerhed i fordelingen af UXO-typer, der kan forventes, samt hvilken tilstand de forskellige UXO'er har. Antagelserne er gjort konservativt, og den afledte risiko må ligeledes anses for at være konservativ.

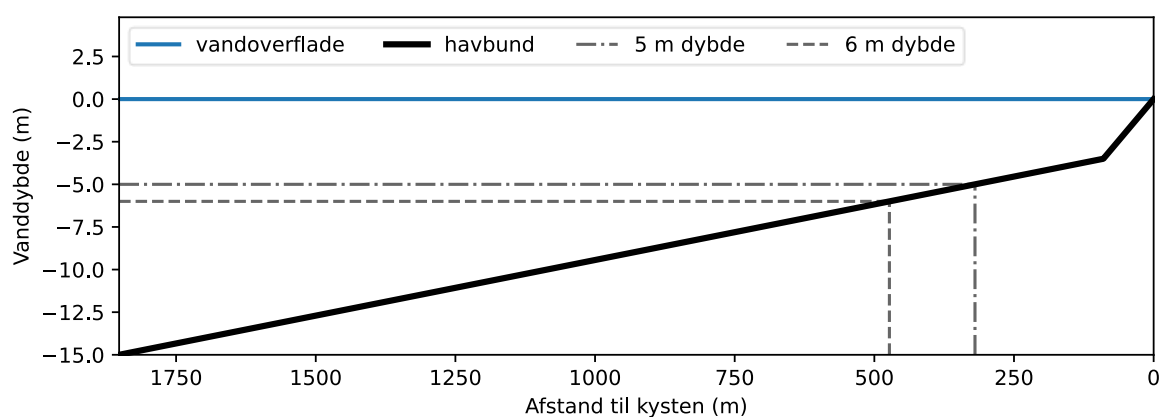
Projektbeskrivelsen til miljøvurderingen af kystbeskyttelse i perioden 2025 til 2039, ref. /1/ danner udgangspunkt for de aktiviteter med sandsugere, der kan føre til en hændelse med et UXO. Da der i projektbeskrivelsen ikke er angivet, hvor stor en del af den kystnære fodring, der sker med rainbowing versus splitning, er det antaget, at kystnær fodring udelukkende udføres som rainbowing, da denne metode er den mest kritiske ift. eventuelle UXO-hændelser. Dette er derfor en konservativ antagelse.

4.1 Modelområde og vanddybde fra kysten

Antagelserne forbundet med modelopbygning og antagne vanddybder er beskrevet i det følgende.

Overordnet er det antaget, at hele kysten kan beskrives ved et firkantet polygon, der er 116 km langt og 1,852 km (1 sømil) bredt.

Havbunden langs hele kysten beskrives ved at antage, at vanddybden i afstand af 0 m fra kysten er 0 m, samt at der i en afstand på 90 m er 3,5 m dybt. Ved en afstand fra kysten på 1,852 m antages det, at der er 15 m dybt. Dette er jf. informationerne fra opmålingsdata, se afsnit 3.1. Det antages videre, at vanddybden som funktion af afstanden fra kysten afhænger lineært af afstanden til kysten, dermed bliver dybdeforholdene som funktion af afstand til kysten som vist i Figur 4-1.



Figur 4-1. Generaliseret model af havbunden med udgangspunkt i målinger fra KDI.

4.2 Placering af UXO'er

Jævnfør afsnit 3.6 antages det, at der i området tæt ved kysten kun kan forefindes to typer af miner: KMA-miner og forstrandsminer. Forekomsten af andre typer er formelt ikke udelukket, men der er ikke identificerede kilder, der fremhæver systematisk forurening af andre UXO-typer

end KMA- og forstrandsminer i det undersøgte område. Undtagelsen kan være personel- og panserminer, men disse beskrives i givet fald af kilder til at være så medtaget, at de ikke længere fungerer.

4.2.1 KMA-miner

I det KMA-minerne blev udsat omkring 2,5 m vanddybde omkring år 1945 antages det, at disse miner i dag står på en vanddybde der er større end 3,5 m. Ved at forudsætte en lineær stigende vanddybde og i det tilfælde, at KMA-minerne ikke er flyttet eller sprængt, antages det, at de i dag står på en vanddybde af omkring $2,5 \text{ m} + 3,5 \text{ m} = 6 \text{ m}$ vanddybde.

Med udgangspunkt i afsnit 3.6.1 er det ukendt hvor mange KMA-miner der er tilbage. Omkring 8.500 miner er ryddet. Givet at kun enkelte miner er tilbage og gemt pga. sandvandring, antages det, at der er en rest tilbage på 1% af 8.500 KMA-miner.

Det er antaget, at KMA-minerne blev udlagt sådan, at de blev sigtet lagt, der hvor vanddybden var 2,5 m, men at de godt kunne lægges med en vanddybde på plus/minus 0,5 m mere eller mindre. Det er videre antaget, at KMA-minerne ikke er lagt på vanddybder mindre end 2 m, mens der er en større spredning af KMA-minerne i vanddybder over 2,5 m.

Det er antaget, at KMA-minernes fordeling som funktion af vanddybde kan beskrives som en trekantsfordeling med højeste sandsynlighed ved 2,5m og nul sandsynlighed for vanddybder mindre end 2 m og vanddybder over 4 m. Dermed bliver fordelingen for KMA-miner i vandet i dag, at de mest sandsynligt står på vanddybder på 6 m vand og har nul sandsynlighed for at findes på dybder større end 8 m og mindre end 5 m.

4.2.2 Forstrandsminer

Forstrandsminer blev lagt på op til 1 m vanddybde omkring år 1945. Det antages, at placeringen af forstrandsminerne kan beskrives ved en trekantsfordeling med mest sandsynlig værdi på 1 m og med et sandsynligt interval på 0,5 m til hver side. Således er der nul sandsynlighed for at forstrandsminerne blev placeret på dybder mindre end 0,5 m og over 1,5 m.

Ved samme fremgangsmåde som for KMA-minerne, forventes det således, at forstrandsminerne skal kunne lokaliseres på en vanddybde mellem 4 m og 5 m, med mest sandsynlige dybde på 4,5 m.

4.3 Sandsugerens ruter og opførsel i vandet

Sandsugeren antages at være 80 m lang, 20 m bred, og med en dybgang på 5 m.

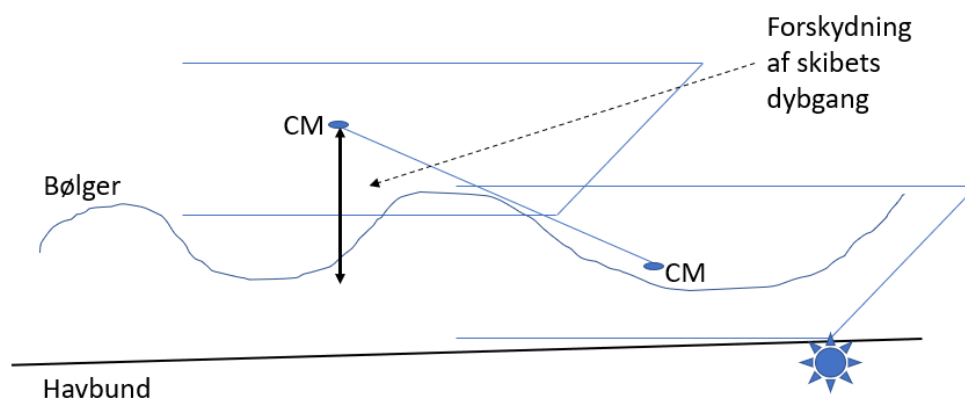
Sandsugeren antages altid at sejle vinkelret mod kysten. Det antages desuden, at sandsugeren ved rainbowing forsøger at stoppe, så skibets stævn er over 6 m dybdekurven. Dette er ikke nødvendigvis muligt, hvorfor det antages, at dens lokation varierer ift. 6 m kurven med op til en halv skibslængde i hver retning.

Givet sandsugeren har en dybgang på 5 m er der kun 1 m vand under sandsugeren. Det er således ikke utænkeligt, at den pga. bølger og evt. undertryk under kølen pga. returløbende vand, rammer bunden med en del af skibet. Det antages i så fald, at det er skibets stævn der rammer bunden. Arealet af skibets bund, der kan ramme bunden, antages at være lig med 7% af skibets længde gange 90% skibets bredde, da skibet ikke er fuldstændig firkantet. For en sandsuger, der er 80 m lang og 20 m bred, svarer det til, at skibets forreste 5,6 m kan ramme bunden med en 18 m bred sektion.

Mekanismen til at sandsugeren kan ramme bunden antages dog kun at være bølgegangen.

4.3.1 Påvirkning af bølger på sandsugerens afstand til bunden

Ændringerne af skibets afstand til bunden og utilsigtet berøring af bunden med skibets stævn antages at skyldes, bølger der passerer forbi skibet og får det til at vippe i vandet. Dette er groft skitseret i Figur 4-2, hvor der illustreres et skib, hvor bølger passerer forbi skibet og løfter det op ved bølgetop, og lader det synke ned ved bølgedal. Er bølgedalen dyb nok, vil skibet ramme bunden.



Figur 4-2: Principskitse af ændring af skibets dybgang pga. bølger.

Hvis skibet har en meter fri vand under kølen, og bølgerne har en højde på 2 m, fra bølgedal til bølgetop, da sænkes skibet en meter ned i vandet og vil akkurat røre bunden. Er bølgen større vil skibet i højere grad påvirke bunden med sin vægt. Fordelingen af bølgerne over tid observeres fra bølgemålere af KDI der har flere målestationer langs vestkysten.

For den jyske vestkyst antages det, at fordelingen af signifikante bølgehøjder er karakteriseret ved registreringer fra målestationen Fjaltring for perioden 1991-2018, der viser god overensstemmelse med øvrige stationer, se ref. /18/.

Tabel 4-1 viser et såkaldt scatter-diagram for forekomst af signifikante bølgehøjder, H_s , og peak-bølgeperioder, T_p , ved Fjaltring-måleren i perioden 1994-2018. Som det fremgår af scartertabellen, er de hyppigst-forekommende signifikante bølgehøjder mellem nul og tre meter.

Tabel 4-1: Sandsynlighed for forekomst af H_s og T_p ved Fjaltring (omni-retning i perioden 1991-2018), fra ref. /18/.

		Peak-bølgeperioder (T_p) [s]										Sum [%]
		0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	
Signifikant bølge-højde (H_s) [m]	0-1	0.2	5.5	18.6	8.5	5.1	6.4	3.4	1.9	0.4	0.3	50.2
	1-2	0.0	0.1	8.1	18.5	5.5	1.5	0.6	0.3	0.1	0.1	34.2
	2-3	0.0	0.0	0.2	5.5	5.2	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	11.7
	3-4	0.0	0.0	0.0	0.3	1.7	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	2.7
	4-5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.5
	5-6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
	6-7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	7-8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	8-9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Sum [%]	0.2	5.6	26.9	32.7	17.7	9.6	4.3	2.3	0.5	0.3	100

Selvom bølgens periode også påvirker, i hvilken grad skibet flyttes op og ned i vandet i forhold til bunden, så ses der konservativt her kun på fordelingen af den signifikante bølgehøjde. Fra projektbeskrivelsen vides det, at sandsugeren kun opererer i signifikante bølgehøjder op til 3 m, hvorfor bølgerne aldrig bliver højere, mens skibet udfører kystbeskyttelsesopgaver.

Således antages, at den signifikante bølgehøjde altid er et sted i midten af intervallerne mellem 0-1 m, 1-2 m og 2-3 m, hver med sin sandsynlighed givet ved renormalisering i forhold til de tre bølgeintervallers sandsynlighed oplyst til højre i Tabel 4-1.

Den signifikante bølgehøjde er defineret som middelværdien af den største 1/3 af bølgerne i en tidsperiode. Det betyder, at der er en underliggende fordeling af bølgehøjder. Forekomsten af forskellige bølgehøjder følger normalt en Rayleigh-fordeling. Der ses dog bort fra denne fordeling her for at simplificere. I stedet antages det, at skibet i løbet af enhver rainbowing aktion oplever en signifikant bølgehøjde der er genereret ved:

- i) At trække et interval for signifikant bølgehøjde givet Tabel 4-1 der er mindre end 3 m, og
- ii) Ud fra en uniform fordeling vælges en signifikant bølgehøjde i det specifikke interval på 1 m som Tabel 4-1 giver.

4.4 Forventet sandfodring i perioden 2025-2039

For perioden fra 2025 til 2039 er der jf. projektbeskrivelsens Tabel 1-2 en fordeling af kystbeskyttelsen med 60% kystnær fodring og 40% strandfodring.

Det er uspecificeret, hvor stor en andel af kystnær fodring der sker via hhv. rainbowing og ved splitning. Derfor tages udgangspunkt i worst case scenariet, som er rainbowing, hvor skibet sejler tættest på kysten og dermed har størst sandsynlighed for at ramme bunden.

Over hele perioden vil store dele af strækningen blive sandfodret, hvorfor det må forventes, at der vil være sejlads langs hele kysten. Dog bemærkes det, at området ved Nymindegab ikke forudsættes at skulle sandfodres, da kyststrækningen i dette område fremrykkes, således at der her sker en netto landindvinding modsat stort set hele resten af kyststrækningen, se Figur 1-3 i ref. /1/.

Der udføres op til fire kampagner med strandfodring per år, ref. /1/, og for hver kampagne laves 5 km af strækningen med strandfodring. En rørledning kan maksimalt anvendes til fodring af 2 km strand. I princippet kunne rørledningen opbygges først 1 km den ene retning, hvorefter den skilles ad og samles på ny ned langs den modsatte retning af stranden. Det antages her, at rørledningen sænkes og løftes fra bunden for 2 kilometer strandfodring. Dermed lægges rørledningen ud tre gange på 5 km strækning med strandfodring. Med 4 kampagner pr år giver dette, at rørledningen udlægges 12 gange på et år.

5. Scenarier

Der bruges tre forskellige metoder til sandfodring med sandsugere:

1. Strandfodring.
2. Rainbowing.
3. Splitning.

Ved hver metode kan utilsigtet eller tilsigtet berøring med havbunden med et skib, et anker eller en havledning betyde, at en UXO-hændelse finder sted. Nedenfor beskrives de forskellige scenarier for, hvordan bundberøring kan opstå, samt om den er utilsigtet eller tilsigtet.

5.1 Strandfodring

Ved strandfodring sejler skibet i lastet tilstand ind mod kysten hvor en havledning er udlagt og ligger langs havbunden, som skibet tilkobler sig og derefter pumpes lasten af sand ind på stranden.

Havledningen er lavet af stål, er 1.200 m lang og har en ydre diameter på 660 mm. I den ene ende består havledningen af en fleksible del, som kan nå fra havbunden og op til havoverfladen og derfra til skibets stævn i dækhøjde. Her tilkobles havledningen skibets pumperør, hvorefter pumpning af sand kan begynde.

Havledningen placeres vinkelret på kysten ud i vandet. For at sikre ledningens position er den forankret yderst i vandet med to ankre, der er placeret ca. 200 m fra havledningen på hver side. Ankrene vejer 1-1,5 ton stykket. Ankrene placeres ved nedsænkning fra både via wirer.

Mobilisering af havledningen foregår ved, at to slæbefartøjer fragter havledningen til kyststrækningen og positionerer havledningen. Under transporten flyder havledningen, da den fyldes med luft inden transport. Når havledningen er transporteret dertil, hvor den skal bruges, fyldes den langsomt med vand, så den synker ned på havbunden i ønsket position. Havledningen forankres herefter med de to ankre.

Ved demobilisering hæves ankrene fra havbunden vha. de to slæbebåde og havledningens vand erstattes med luft vha. en kompressor på land, hvormed havledningen langsomt løftes op i vandoverfladen og kan flyttes.

På baggrund af den ovenfor beskrevne proces er der ved strandfodring derfor tilsigtet bundberøring med havledningen og de ankre, der bruges til forankring. Fordi havledningens ydre ende ligger på 8 m til 10 m dybde formodes det, at sandsugeren ikke vil komme i kontakt med havbunden ved strandfodring.

I det ankrene fastspænder havledningens ydre ende ligger de på tilsvarende vanddybde, dvs. på 8 til 10 m.

5.2 Rainbowing

Ved rainbowing sejler sandsugere ind mod kysten til omkring 6 m dybdekurven, hvorefter den vha. pumperørsmundingen på fartøjets stævn sprøjter sandet ind mod kysten, og sandet dermed lægges i vandet tæt mod kysten.

Afhængig af skibets størrelse og dermed dybgang er der begrænset fri dybde under skibet, ligesom bathymetrien omkring 6 m kurven kan variere meget. Det betyder, at skibet ved manøvrering har stor sandsynlighed for utilsigtet at ramme havbunden med stævnen/pulpen. Dette sker enten pga. havbundens bathymetri og/eller fordi skibet ruller i bølgerne, mens det ligger på lavt vand. Det er endvidere også muligt at tilbageløbende vand passerer under skibet, hvor der er lidt plads, således at der kan opstå et undertryk, som trækker skibet længere ned mod bunden. Efter endt rainbowing, hvor skibet har ligget stille, sætter det i bak væk fra kysten, før det vender rundt og sejler væk, eller vender 180 grader ved almindelig fremdrift, såfremt der er tilstrækkelig med vand under skibet.

Ved rainbowing er der således stor sandsynlighed for utilsigtet berøring af havbunden med skibets stævn/pulp.

5.3 Splitning

Ved splitning sejler skibet ind mod kysten og åbner sit skrog enten ved at splitte på midten eller åbne bundlemme under skibet, der tillader sandet i skibets lastrum at falde til bunden.

Jf. projektbeskrivelsen, foregår splitning ved, at skibet sejler ind til den ønskede position nær kysten, hvor skibet tømmer sin last ud igennem bunden af skibet, og sandet placeres under skibet. Ved splitning forstærkes revlen, der på ydersiden forhøjes med en 1,5-3 meter tyk sandpude. Således er der et mindste frirum under skibet på 1,5-3 meter.

Ved splitning vurderes der derfor, at der er risiko for, at skibet rører havbunden, men der er større afstand til bunden under skibet end ved rainbowing, jf. at vanddybden sænkes lokalt hvor skibet splitter og at skibet ikke grundstøder ved eller efter splitning.

5.4 Grundstødning

Uanset hvilken af de tre metoder til sandfodring der anvendes, skal sandsugeren sejle med retning mod kysten og dermed lavt vand. I den forbindelse er der altid en risiko for, at der kan opstå maskinfejl eller menneskelige fejl, der kan medføre, at sandsugeren grundstøder.

Ved sådanne fejl kan skibet enten grundstøde, imens det er under fremdrift fra skibets propeller, såkaldt grundstødning under fremdrift, eller skibet kan miste evnen til at sejle ved egen kraft, og dermed drive og ende med en såkaldt drivende grundstødning.

Ved grundstødning under fremdrift sker grundstødningen, fordi skibet ikke stopper eller ikke drejer af i tide, før det rammer lavvandszonen, i dette tilfælde kysten. Det er også muligt, at skibet mister evnen til at styre, mens motoren forsat driver skibets propel(ler), og skibet derfor er i fremdrift, f.eks. pga. fejl i installationer. Den estimerede og typisk anvendte frekvens for sådanne hændelser er $1,6 \times 10^{-4}$ pr. tur, altså én gang pr 6.250 ture jf. ref. /3/.

Grundstødning med drivende skibe sker, fordi skibet mister fremdrift fra propellen, hvorefter farten sænkes, og skibet begynder at flyde efter de lokale strøm- og vindforhold. I dette tilfælde, selv hvis skibet har retning mod kysten, når det mister sin fremdrift, kan det ende med at drive langs med eller væk fra kysten. Det er også muligt, at skibet i disse situationer får reetableret fremdriften eller kaster anker og dermed undgår grundstødning.

Grundstødning som følge af menneskelige fejl eller maskinfejl medfører, at sandsugeren utilsigtet rører bunden.

5.5 Opsummering af scenarier

Med udgangspunkt i ovenstående gennemgang af aktiviteter og fejlkilder er identificeret tre scenarier, for hvilke risikoen for en UXO-hændelse bestemmes, se Tabel 5-1.

Tabel 5-1: Scenarier med en UXO-hændelse, for hvilke risikoen vurderes.

Aktivitet	Beskrivelse:
Strandfodring	Rørledning lægges på bunden, hvor et UXO ligger og dermed påvirkes.
Kystnærfodring (Rainbowing eller splitning)	Skibets stævn rammer bunden, hvor et UXO ligger og dermed påvirkes.
Grundstødning	Menneskeligfejl eller maskinfejl betyder, at skibet grundstøder og rammer bunden, hvor et UXO ligger og dermed påvirkes.

6. Risikovurdering

Risikoen i det følgende er semi-kvantitativ bestemt, idet sandsynligheden er beregnet, og konsekvensen er kvalitativt vurderet. I det følgende er der først beskrevet metoden for at bestemme frekvenserne for de identificerede hændelser, hvorefter konsekvensen af forskellige hændelser er vurderet. Afslutningsvis er den samlede risiko opsummeret, og mulige risikomitigerende tiltag, som ikke allerede er medtaget i beregningerne, er beskrevet.

6.1 Estimering af frekvens for en hændelse

Med udgangspunkt i de forrige kapitler er der udregnet et estimat for frekvensen af de forskellige identificerede scenarier, der kan lede til aktivering af et UXO i forbindelse med kystbeskyttelsesaktiviteterne.

Frekvensen for at sandsugeren rammer bunden, hvor et UXO ligger et sted i sandet, for den enkelte tur, er givet ved at tælle antallet af gange en sandsuger rammer bunden, hvor et UXO er gemt og dividere med antallet af ture

$$f_{tur} = \frac{\text{Antal møder pr år}}{\text{ture pr år}}$$

Den samlede årlige frekvens fås herefter ved at multiplicere frekvensen per tur med antallet af ture per år

$$f_{\text{årlig}} = \text{Antal ture pr år} \times f_{tur}$$

6.1.1 Monte Carlo Model

Som beskrevet i kapitel 4 er nærværende studie baseret på mange informationer, der alle er forbundet med stor usikkerhed. For at bestemme den samlede frekvens for en kontakt mellem en sandsuger og et UXO, sammensættes alle de enkelte dele i en generaliseret og simpel model, der beskriver, hvordan en sandsuger sejler mod kysten for at losse sin last via kystnær- eller strandfodring.

Modellen opsættes som en Monte Carlo model, der anvender fordelingerne i kapitel 4 som sandsynlighedsfordelinger for at generere i tusindvis af kombinationer mellem mulige ruter for sandsugerne mod kysten, placeringer af UXOer og bølger. I modellen antages, at der kun er et generaliseret tværsnitprofil af havbunden, som vist i Figur 4-1.

6.1.2 Grundstødning - Sandsuger grundstøder og rammer et UXO

Når sandsugeren grundstøder pga. maskin- eller menneskelig fejl, har den kurs mod kysten i forbindelse med transport. Hertil er der formuleret en model, som beskriver hvor tit, sandsugeren har kurs mod kysten og et UXO, der har en dybde lig skibets dybgang +/- 20 cm.

Monte Carlo algoritmen er beskrevet i Tabel 6-1.

Tabel 6-1. Monte Carlo algoritme for scenarie for grundstødning.

1. Sandsuger grundstøder og rammer UXO
For hver simulering udføres følgende: - Placer miner op langs kysten med en dybde og afstand til kysten: - KMA-miner, se afsnit 4.2.1 - Forstrandsminer, se afsnit 4.2.2 - Lav ruter for sandsugeren, 1,400 ruter per år ind mod kysten. - Registrer om skibets kurs betyder, at det påvirker et UXO med en dybde lig skibets dybgang plus/minus 20 cm.

Resultatet af simuleringen der følger beskrivelsen i Tabel 6-1 er præsenteret i Tabel 6-2. Det bemærkes, at resultaterne viser, at det kun er forstrandsminer, der umiddelbart udgør en fare for sandsugeren i dette scenarie. Som beskrevet i afsnit 3.6.2 er forstrandsminerne kun fundet at udgøre en fare på en begrænset strækning fra indsejlingen til Thyborøn og sydover til Høfde 46, i alt ca. 5 km.

Tabel 6-2. Antal hændelser pr. år hvor en sandsuger har kurs mod et UXO på rette dybde. Returperioden for denne hændelse er også opgivet.

UXO-type	Hændelser pr. år	Returperiode (år)
Forstrandsmine	3,60E-02	28
KMA-mine	0	-
Samlet	3,60E-02	28

Frekvensen for hændelser hvor en sandsuger har kurs mod et UXO, vist i Tabel 6-2., skal dernæst kombineres med frekvensen for, om skibet faktisk grundstøder. Frekvensen for en grundstødning er beregnet ved hjælp af IWRAP, se ref. /24/. I IWRAP beregnes, hvor mange gange én sandsuger med kurs mod kysten grundstøder pr. år. Frekvenserne er vist i Tabel 6-3. At frekvensen for KMA er nul skyldes, at disse typisk ligger på så dybt vand, så i en situation med grundstødning, da sejler skibet hen over, hvor KMA-minerne ligger, før det grundstøder.

Tabel 6-3. Antal grundstødninger pr. år og returperioden for grundstødninger.

Grundstødningstype	Hændelser pr. år	Returperiode (år)
Med fremdrift	1,22E-04	8.222
Uden fremdrift	2,93E-07	3.412.383
Samlet	1,22E-04	8.202

Grundstødninger skal derfor forventes én gang hvert 8.200 år, og det er mest sandsynligt, at grundstødningen sker, når skibet er under egen fremdrift. Der er for de videre beregninger ikke taget hensyn til de grundstødninger, der sker uden fremdrift, hvor skibet typisk vender siden til kysten, da dennes frekvens er væsentligt mindre end for grundstødning med fremdrift. Konservativt anvendes den samlede frekvens for grundstødninger på 1,22E-04 pr. år.

Den samlede frekvens for at sandsugeren grundstøder og rammer et UXO bliver da produktet af frekvensen for grundstødning og frekvensen for, at sandsugeren har kurs mod et UXO, som ligger i dybden svarende til skibets dybgang plus/minus 20 cm. Dette resulterer i en frekvens for

kontakt mellem en grundstødende sandsuger og et UXO på $4,39\text{E-}06$ pr. år svarende til en returperiode på over 200.000 år.

6.1.3 Kystnær fodring (Rainbowing og splitning) – Sandsuger rammer bunden, hvor et UXO ligger

Under kystnær fodring med rainbowing eller splitning sejler skibet ind på lavt vand i forhold til dets dybgang.

Tabel 6-4: Monte Carlo algoritme for scenarie for rainbowing

1. Sandsuger udfører rainbowing og rammer et UXO	
For hver simulering gør:	
1. Placer miner op langs kysten med en dybde og afstand til kysten:	
a. KMA-miner, se afsnit 4.2.1	
b. Forstrandsminer, se afsnit 4.2.2	
2. Lav ruter for sandsugeren, 1.400 ruter per år ind mod kysten	
3. Bring sandsugeren til standsning omkring 6 m kurven	
4. Undersøg om et UXO er under skibet	
a. Indenfor skibets bredde og 7% af skibets længde	
5. Registrer om skibets forende rammer bunden hvor det står	

Resultatet af Monte Carlo simuleringen som beskrevet i Tabel 6-4 er vist i Tabel 6-5.

Tabel 6-5: Antal hændelser pr år hvor en sandsuger rammer et UXO imens den udfører kystnær fodring (rainbowing eller splitning) og tiden imellem to sådanne hændelser.

UXO type	Hændelser pr. år	Returperiode (år)
Forstrandsmine	0	-
KMA-mine	$3,90\text{E-}02$	25
Samlet	$3,90\text{E-}04$	25

Fra Tabel 6-5 ses det, at der under kystnær fodring (rainbowing eller splitning) ikke forventes at forekomme hændelser, hvor sandsugeren rammer bunden på et sted, hvor der ligger en forstrandsmine. Samlet er der estimeret en frekvens for, at et skib, som foretager kystnær fodring, grundstøder på en lokation hvor der ligger et UXO er $3,90\text{E-}04$ pr. år, svarende til en returperiode, dvs. tid mellem to hændelser, på 25 år. Det bemærkes, at frekvensen for, at skibet rører bunden, hvor et UXO ligger, og UXOer dermed påvirkes, ikke er det samme som frekvensen for, at et UXO aktiveres, og der sker en eksplosion.

For at perspektivere returperioden kan der tænkes på, at sandsugere her er antaget at have en bredde på 20 m, og kyststrækningen er 116 km lang. Hvis sandsugeren skal overstryge hele arealet ved at sejle frem og tilbage mellem kysten og 1 sømil ud, skal den sejle 5800 ture frem og tilbage. Dvs. med årligt 1.400 ture, tager det sandsugeren år at dække hele kyststrækningen.

Det er beskrevet i kilder at forstrands- og KMA-miner graver sig ned i sandet og kan ligge meget dybt, dvs. flere meter under sandet. Det er muligt, at minerne kan blotlægges på havbunden pga. sandvandring. Til at modvirke, at de gamle miner blotlægges, er sandfodringen, der har fundet sted over mange år. Før minerne blotlægges, skal dette sand først vandre væk.

6.1.4 Strandfodring - Rørledning sænkes til havbunden og rammer et UXO

Det vurderes kvalitativt, at strandfodring har en ulykkesfrekvens væsentligt mindre end for kystnær fodring (rainbowing eller splitning). Dette skyldes, at det vurderes, at der ved denne aktivitet kun kan opstå kontakt med et UXO ved nedsænkning af rørledningen og ankre. I tillæg, selv hvis rørledningen nedsænkes til havbunden mange gange på hele kyststrækningen, så vurderes dette stadig at være langt færre gange, end når der udføres kystnær fodring, og fordi sandsugere, når rørledningen er udlagt, benytter sig af den mange gange, for hver gang rørledningen er udlagt. Rørledningens påvirkning af havbunden er ligeledes anderledes end skibets, da rørledningen langsomt lægges ned på havbunden, hvor skibets kontakt sker hurtigere og med større kraft, med en større påvirkning af havbunden til følge.

Der vil være to slæbebåde ved rørledningen, når den nedsænkes, men givet rørledningens længde på 1.200 m er det vurderet, at der kun er en lille frekvens for, at slæbebådene er lokaliseret nøjagtigt der, hvor en rørledning eventuelt vil ramme et UXO.

Det gælder også, at når rørledningen er lagt på havbunden, er påvirkningen sket og påvirkningen af havbunden fra rørledningen ændrer sig først, når denne hæves fra bunden. Det kritiske tidspunkt vurderes at være første berøring med havbunden. Det vurderes, at når rørledningen er lagt på havbunden, da er evt. fare for, at et UXO aktiveres, overstået.

Frekvensen for rørledningen er bestemt ud fra frekvensen for kystnær fodring for KMA-miner og ud for grundstødning for forstrandsminer. Der korrigeres med rørledningens diameter, 66 cm, i forhold til skibets bredde på 20 m. Der korrigeres også med, at rørledningen udlægges langt færre gange, end sandsugeren sejler til og fra kysten, som beskrevet i afsnit 4.4. Den estimerede frekvens og returperiode bliver da som vist i Tabel 6-6.

Tabel 6-6: Antal hændelser pr. år hvor en rørledning rammer et UXO, når den sænkes til bunden og tiden imellem to sådanne hændelser.

UXO-type	Hændelser pr. år	Returperiode (år)
Forstrandsmine	3,12E-05	32.073
KMA-mine	3,49E-05	28.636
Samlet	6,61E-05	15.129

6.2 Konsekvensvurdering

6.2.1 Metode til vurdering af konsekvenser

Konsekvensvurderingen gøres som en kvalitativ vurdering. Konsekvensen indtræffer, hvis sandsugeren, rørledningen eller et anker rammer et UXO, der efterfølgende aktiveres med en eksplosion til følge.

Konsekvensen af en UXO-eksplosion kan være følgende:

- Materiel skade.
- Tab af liv.
- Forurening pga. spild af olie eller lignende.

6.2.2 Vurdering af konsekvenser

Kystnær fodring (rainbowing og splitning) og grundstødning

Ved aktivering af et UXO under grundstødning og under kystnærfodring (rainbowing og splitning) er konsekvensen primært materiel skade på sandsugeren. Det vurderes ikke, at mandskab befinder sig ude i skibets stævn, når operationen er i gang. Aktiveres UXOet, formodes det, at denne rammer sandsugerens stævn. Sandsugeren er dobbeltskroget og har vandtætte skotter, der modvirker et totalforlis. Selv med et hul i skroget vil skibet efterfølgende kunne sejle i havn ved egen kraft eller kunne holde sig flydende og dernæst kunne bugseres til havn. I tilfælde af at skibet mister sin evne til at flyde, vil det være placeret på relativt lavt vand og kunne stå på havbunden, så besætningen vil kunne bjærges fra skibet snarere end fra vandet, eller besætningen har mulighed for at benytte skibets redningsbåde.

Til sammenligning perspektiveres ulykker med UXOer med andre sandsynlige ulykker til søs. I tilfælde af en ulykke med spild og/eller bjærgning af besætning, vil dette håndteres af det tilgængelige beredskab, som er til stede langs den jyske vestkyst med fartøjer i Hvide Sande, Thorsminde og Thyborøn, og disse vil hurtigt kunne være fremme ved ulykkesstedet. Som perspektivering, nævnes at dette beredskab også skal kunne håndtere hændelser længere ude til søs, hvor den internationale skibsfart sejler. Her findes meget større skibe, f.eks. tankskibe hvor konsekvenserne ved ulykker og forlis vil være af en større økonomisk byrde ligesom miljøpåvirkningen og andelen af liv, der kan gå tabt vurderes at være større fordi skibene er større og det foregår på dybt vand, hvorfor et sådant skib vil ligge under vand, hvis det rører bunden.

Rørledning

Givet nedsænkningen af rørledningen aktiverer et UXO, vurderes denne at blive delt i to eller flere større stykker, samt at der dannes fragmenter, der kan flyttes i vandet og ende forholdsvis langt fra eksplosionsstedet. De store stykker rør vil synke til bunds. Fordi rørledningen vil ligge i vandsøjlen vurderes det, at fragmenter fra røret ikke vil kastes lige så langt som hvis eksplosionen fandt sted på land.

Når røret sænkes ned på havbunden, sker det langsomt, og omkring røret er de to slæbebåde, der fragter røret til stranden. Kraften hvormed røret rammer havbunden vurderes at være væsentligt mindre end den kraft, som en sandsuger, der rammer havbunden, slår med.

Hvis slæbebådene er lige over røret, hvor et UXO, som aktiveres, er, kan det i værste fald betyde, at slæbebåden forliser med besætning. Hvis slæbebåden er længere væk, kan den udsættes for materiel skade ved at blive ramt af fragmenter. Det vurderes, at besætningen er delvist beskyttet af slæbebådens skrog, da eksplosionen finder sted på havets bund, således, at personskader er mindre sandsynligt.

6.3 Risikovurdering

Den samlede risikovurdering er præsenteret for hvert scenarie i Tabel 6-7.

Tabel 6-7: Risikovurderingen for de identificerede scenarier.

Scenarie med UXO	Returperiode	Konsekvens
Grundstødning, sandsuger grundstøder og påvirker et UXO	>200.000 år	- Materiel skade på sandsuger - Oliespild
Strandfodring, rørledning sænkes til bunden påvirker et UXO	>15.000 år	- Materiel skade på slæbebåd - Mulige personskaade - Oliespild slæbebåd
Kystnær fodring (rainbowing og splitning), sandsuger rammer bunden og påvirker et UXO	25 år	- Materiel skade på sandsuger - Oliespild

Det er usikkert hvorvidt påvirkningen af UXOet fra sandsugeren der rammer det, vil medføre en eksplosion. Men det formodes, at returperioderne for en eksplosion er større end de angivne returperioder end i Tabel 6-7.

6.4 Risikomitigerende tiltag

Kvantificeringen af frekvenser for ulykker og kvalificeringen af de tilhørende konsekvenser tager udgangspunkt i de antagelser, der er oplistet i afsnit 4. I det følgende er oplistet de mitigerende tiltag, som kan nedsætte risikoen for UXO-hændelser. De fleste af de nævnte tiltag er tiltag, som der ikke er taget højde for i beregningerne, men som faktisk bliver udført eller gælder for kyststrækningen, hvorfor den beregnede frekvens må forventes at være mindre end beregnet.

6.4.1 Mitigering ved sandfodring

Den gennemførte risikoanalyse tager ikke højde for, hvor stor en kraft et UXO kræver for at blive aktiveret. Det bemærkes, at de KMA-miner, der var synlige i vandet, krævede en 1/10 sprængstofmængde i forhold til dem, der lå begravet omkring 2 til 2,5 m nede i sandet (se afsnit 3.6.1). Hvor stort et tryk, skibet leverer på havbunden, er ikke taget i betragtning, men det tænkes, at det er betragteligt, skibets størrelse taget i betragtning. Trykket fra skibet vil forplante sig ned i havbunden og spredes bredt under den, fordi skibet rører med en relativ stor flade. Den sandede havbund vil ligeledes absorbere trykket og tilpasse sig skibet. Skulle et UXO være placeret, hvor skibet rammer bunden, vil der for KMA-minernes vedkommende gælde, at skibet først rammer en betonramme, hvor i sprængstoffet ligger. Således er der mere materiale til at absorbere trykket fra skibet, før det forplanter sig til sprængstoffet. Betonens tilstand er ukendt, men det er muligt, at klodsen blot skubbes længere ned i sandet, hvis skibet rammer sandlaget over betonklodsen.

Samlet er den vedblivende fodring med sand en mitigerende foranstaltning, fordi det mindsker sandsynligheden for, at minerne blottes på havbunden, og at der opstår direkte påvirkning af UXOet.

Det er af Rambølls kilder vurderet, at risikoen umiddelbart er størst for et UXO ved såkaldt uberørt havbund, i modsætning til en dynamisk havbund som findes ud for den jyske vestkyst, og som i tillæg er blevet sandfodret med adskillige mio. m³ sand siden 1983. Der er også konstateret fiskeri med bundgrej og trawl, hvor havbunden ligeledes berøres og på den måde løbende overstryges af fiskegrejet.

6.4.2 Scanning af havbunden inden kystnær fodring

Entreprenøren kan forberede en kystnær fodring-kampagne ved f.eks. at undersøge havbunden for store genstande. Dette kunne f.eks. være et multibeam survey af tilstrækkelig opløsning til at se genstande, herunder UXO, sten, vrag eller lign, som kan påføre sandsugeren materiel skade, når den bevæger sig på lavt vand.

I tilfælde af at et sådan forberedende arbejde opdager et UXO, forsinkes arbejdet med kampagnen, da arbejdet på den berørte kampagne straks indstilles, og der skal tages kontakt til Forsvarets Operationscenter, jf. BEK 1351 af 29. november 2013 § 14 om sejladsikkerhed ved entreprenørarbejde og andre aktiviteter mv. i danske farvande.

6.4.3 Kystnær fodring (rainbowing og splitning)

Ved fuld last har skibet en maksimal dybgang. Som skibet tømmer lasten, mindskes dets dybgang, og sandsynligheden for at skibet rammer bunden mindskes efterhånden, som skibet tømmer sin last. Således er øjeblikket, hvor skibet lægger til og klargør kystnær fodring (rainbowing og splitning), hvor skibets dybgang endnu er uændret, mere kritisk end den sidste halvdel af tiden, hvor skibet ligger og laver kystnær fodring.

7. Referencer

- /1/ KYST projektets Projektbeskrivelse, september 25 2023.
- /2/ Wikipedias hjemmeside med information omkring squad effekten, [Wikipedia](#), besøgt september 2023.
- /3/ Iwraps IALA causation factors
- /4/ Mail fra Søværnets Dykkertjeneste modtaget 07-09-2023
- /5/ Informationsfolder fra "Ontplobbare Oorlogsresten Küsten-mine A Datum 8 februari 2022 Explosieven Veilig Nederland", [Explosievenveilig Nederland](#), besøgt september 2023.
- /6/ Kort fra Rigsarkivet over ryddede KMA miner på jyske vestkyst, set på hjemmesiden
- /7/ Nationalmuseets billedarkiv, [Samlinger](#), besøgt september 2023.
- /8/ Webblog om oprydning efter Anden Verdenskrig og Tyskernes besættelse af Danmark, [Atlantvoldsydvest.dk](#), besøgt september 2023
- /9/ Digital kopi af Salmonsens Konversationsleksikon, 4. udgave 1949, ID 4474, [Runeberg](#), besøgt September 2023
- /10/ Artikel i BT fra 01-11-2012, "Søværnet jager fortsat miner fra krigens tid", besøgt September 2023
- /11/ Orlovskaptajn U. Hertz, 1946, Lidt om K.M.A-miner og Forstrandsminer samt rydning af disse, Tidskrift for Søværnen, s. 271, årgang 117.
- /12/ Bog, British Mining Operations 1939-1945 Vol I fra 1973.
- /13/ Mail fra Søværnets Dykkertjeneste til Rambøll, modtaget 07-09-2023.
- /14/ Mailsvar fra DMAIB til Rambøll, Emnefelt: Forespørgelse på ulykkehændelser til søs involverende UXO, dato: 17. juli 2023 14:57.
- /15/ Mailkorrespondance mellem Kystdirektoratet og Rambøll.
- /16/ Artikel i Under Dannebrog, Mineuskadeliggørelse ved Jyllands Vestkyst, af orlogskaptajn A. Gydesen, Hefte V Oktober 1954.
- /17/ Artikel i Under Dannebrog, Fra Søværnet, Hefte I, Februar 1953.
- /18/ KYST projektets bilag om Hydraulik og Sedimentation, september 25, 2023.
- /19/ Eniros online søkort, [Kartor](#), besøgt september 2023.
- /20/ Mail fra Historisker ved Vardemusserne John Jensen, modtaget september 12, 2023.
- /21/ ICES Journal of Marine Science, "Estimating seabed pressure from demersal trawls, seines, and dredges based on gear design and dimensions", juni 2015.
- /22/ Fiskericirklen, "Fiskerilære", 2007
- /23/ Fisheries Research, "Test and development of a sediment suppressing system for catch monitoring in demersal trawls", marts 2022.
- /24/ Hjemmeside for IWRAP, [Iala](#), besøgt oktober 2023
- /25/ Mail fra KDI til Rambøll vedr. KDIs UXO survey ved Blåvand og mailsvar fra Søværnkommandoen, dateret 19-07-2023