



KYSTVERKET

**Kystverkets vurderinger og anbefalinger etter
undersøkelse og kartlegging av U-864
2025 – 2026**

Sammendrag

Tittel:	Kystverkets vurderinger og anbefalinger etter undersøkelse og kartlegging av U-864 i 2025 og 2026	Tilte:	The Norwegian Coastal Administration's Assessments and Recommendations Following the Investigation and Mapping of U-864 in 2025 and in 2026
Prosjektgruppe:	Kystverket Marstrand DNV Expected Value	Project team:	NCA Marstrand DNV Expected Value
Dato:	28.08.2026	Date:	28.08.2026
Rapport Nr:	2 (Endelig versjon)	Report No:	2 (Final version)
Sider:	111	Pages:	111
ISBN papir:		ISBN Paper:	
ISBN elektronisk:		ISBN electronic:	
ISSN:		ISSN:	
Prosjekt:	Undersøkelse og kartlegging av U-864 i 2025 og 2026	Project:	Investigation and mapping of U-864 in 2025 and 2026
Prosjektleder:	Lill Veronika Benjaminsen (Kystverket)	Project manager:	Lill Veronika Benjaminsen (NCA)
Emneord:		Key words:	

Oppdraget

Kystverket fikk i august 2024 i oppdrag fra Nærings- og fiskeridepartementet å gjennomføre nye undersøkelser av vraket etter U-864 og områdene rundt. Formålet var å redusere usikkerheten knyttet til en mulig heving av deler av kvikksølvlasten, og på dette grunnlaget gi en anbefaling om hvorvidt det bør arbeides videre med heving av kvikksølvlast før tildekking av vraket og den forurensede sjøbunnen, eller om man bør gå rett på tildekking.

I oppdraget er det lagt til grunn at hensynet til miljørisiko skal tillegges avgjørende vekt, samtidig som en eventuell hevingsoperasjon må være økonomisk forsvarlig. Resultatene fra undersøkelsene skal danne grunnlag for Kystverkets anbefaling om videre håndtering av vraket.

Gjennomførte undersøkelser

Undersøkelsene i 2025 og 2026 har gitt det mest omfattende kunnskapsgrunnlaget om U-864 siden vraket ble lokalisert i 2003. Gjennom kartlegging av vraket og sjøbunnen, visuelle inspeksjoner og fysiske inngrep i vraket er det fremskaffet ny kunnskap om vrakets tilstand, kjølkonstruksjonen, kvikksølvbeholdere, forekomsten av frittflytende metallisk kvikksølv, ammunisjonen og eksplosiver om bord og grunnforholdene rundt vraket. Flere sentrale usikkerheter er redusert, samtidig som undersøkelsene har avdekket forhold som tidligere ikke har vært kjent.

De viktigste funnene er:

- Det er teknisk mulig å etablere tilgang til kjølkassene og hente ut kvikksølvbeholdere ved bruk av fjernstyrte undervannssystemer.
- Kjølkassene som ble undersøkt fremstod i hovedsak som intakte, men med betydelig korrosjon på innfestinger av kjølplatene.
- Kjølkassene inneholder både intakte kvikksølvbeholdere, korroderte beholdere og frittflytende metallisk kvikksølv. Det er også påvist frittflytende metallisk kvikksølv i sedimentene rundt vraket.
- Arbeider i sedimentene rundt vraket medfører spredning av kvikksølv og forurensede sedimenter. Erfaringene fra undersøkelsene viser at slik spredning er vanskelig å unngå fullt ut.
- Sannsynligheten for torpedodetonasjon ved gjennomføring av de analyserte arbeidsoperasjonene vurderes som lav.
- Fjernmålingsmetoder ga ikke grunnlag for å fastslå innholdet i kjølkassene eller lokalisere eventuelle kvikksølvbeholdere i sedimentene med tilstrekkelig sikkerhet. Videre kunnskap om kjølkassene og last forutsetter derfor fysisk tilgang til vraket.
- Oppdaterte analyser tilsier at sannsynligheten for at en eller flere torpedoer detonerer er lav. Ved en tildekking av vrakseksjonene viser simuleringer at miljøkonsekvensene av en eventuell detonasjon vil være begrensede.

Vurdering av heving av kvikksølvlast

Undersøkelsene viser at heving av deler av kvikksølvlasten er teknisk mulig. Samtidig viser de at operasjonen er kompleks, ressurskrevende og forbundet med usikkerhet knyttet til

gjennomføring, tidsbruk, kostnader og risiko for spredning av kvikksølv. Erfaringene fra Tokt 2b viser at selv begrensede inngrep i vraket kan medføre frigjøring og spredning av frittflytende metallisk kvikksølv. Videre er det usikkert hvor mye av kvikksølvet som fremdeles befinner seg i kjølen som vil kunne heves, selv med en omfattende operasjon. Undersøkelsene viser også at det finnes frittflytende metallisk kvikksølv i kjølkamre sammen med intakte beholdere og beholdere som var ødelagt grunnet korrosjon. Kvikksølv finnes også som frittflytende metallisk kvikksølv i sedimentene rundt vraket. Selv om deler av kvikksølvlasten heves, vil det fortsatt være nødvendig å tildekke vraket og de forurensede sedimentene.

Vurdering av alternativene tildekking og heving av last etterfulgt av tildekking

Kystverkets vurdering er at både tildekking og heving av last etterfulgt av tildekking vil kunne gi en varig reduksjon av den langsiktige miljørisikoen. Begge alternativene avsluttes med tildekking av vraket og den forurensede sjøbunnen, og vurderes derfor å gi tilnærmet samme langsiktige miljøeffekt.

Den viktigste forskjellen mellom alternativene er gjennomføringsrisiko, miljøpåvirkning i tiltaksfasen og kostnader. Undersøkelsene har vist at heving av last innebærer mer omfattende inngrep i vraket og høyere operasjonell kompleksitet som medfører høyere kostnader og større risiko for spredning enn ved direkte tildekking.

Kystverkets miljøfaglige vurdering viser at begge alternativene kan oppnå tilnærmet samme langsiktige miljøeffekt. Den samfunnsøkonomiske analysen viser at alternativ med en direkte tildekking oppnår denne effekten til betydelig lavere kostnad enn alternativet for heving av last med etterfølgende tildekking. Videre viser analysen at den negative miljøpåvirkningen på kort sikt, under selve tiltaket, er høyere for alternativet med heving av last enn ved direkte tildekking.

Anbefaling

Kystverkets vurdering tar utgangspunkt i kriteriene som er fastsatt i oppdraget fra Nærings- og fiskeridepartementet, hvor hensynet til miljørisiko skal tillegges avgjørende vekt samtidig som tiltaket skal være økonomisk forsvarlig.

Kystverket vurderer at både tildekking og heving av last etterfulgt av tildekking kan gi en betydelig reduksjon av miljørisikoen på lang sikt. Forskjellen mellom alternativene ligger primært i miljørisikoen på kort sikt (i gjennomføringsfasen), gjennomføringsrisikoen og kostnadene ved tiltaket.

På bakgrunn av det oppdaterte kunnskapsgrunnlaget anbefaler Kystverket tildekking av vraket og de forurensede sedimentene som varig miljøtiltak ved U-864.

Kystverket vurderer at tildekking gir den mest forutsigbare måloppnåelsen, den laveste miljørisikoen i gjennomføringsfasen og den beste samlede måloppnåelsen sett opp mot oppdragets føringer om at miljørisiko skal tillegges avgjørende vekt og at tiltaket skal være økonomisk forsvarlig.

Selv om heving av deler av kvikksølvlasten er teknisk mulig, vurderes den samlede miljøgevinsten som begrenset fordi tildekking uansett må gjennomføres etterpå og fordi en heving av kvikksølvlasten vil medføre økt spredning av kvikksølv i gjennomføringsfasen.

Executive summary:

The Assignment

In August 2024, the Norwegian Coastal Administration (NCA) was commissioned by the Ministry of Trade, Industry and Fisheries (NFD) to carry out new investigations of the wreck of U-864 and the surrounding seabed. The purpose was to reduce uncertainty related to a possible recovery of parts of the mercury cargo and, on that basis, provide a recommendation on whether further work should be directed towards recovery of mercury cargo prior to capping of the wreck and contaminated seabed, or proceed with capping directly.

The assignment specified that environmental risk shall be given decisive weight, while any recovery operation must also be economically justifiable. The results of the investigations form the basis for the NCA's recommendation on the future management of the wreck.

Investigations Conducted

The investigations carried out in 2025 and 2026 have provided the most comprehensive knowledge base on U-864 since the wreck was located in 2003. Through mapping of the wreck and seabed, visual inspections and physical interventions in the wreck, new knowledge has been obtained regarding the condition of the wreck, the keel structure, the mercury canisters, the occurrence of free metallic mercury, the ammunition and explosives on board and the geotechnical conditions surrounding the wreck. Several key uncertainties have been reduced, while the investigations have also revealed previously unknown conditions.

The most important findings are:

- It is technically feasible to establish access to the keel compartments and recover mercury canisters using remotely operated underwater systems.
- The keel compartments examined were generally found to be structurally intact, although significant corrosion was observed in fastening of the keel side-plate.
- The keel compartments contain a combination of intact mercury canisters, corroded canisters and free-floating metallic mercury. Free-floating metallic mercury was also identified in the sediments surrounding the wreck.
- Work in contaminated sediments causes the spread of mercury and contaminated sediment. Experience from the investigations demonstrates that such spreading is difficult to avoid entirely.
- The probability of torpedo detonation during the analysed work operations for a possible full-scale future operation is considered low.
- Remote sensing methods did not provide sufficient information to determine the contents of the keel compartments or reliably locate potential mercury canisters in the sediments. Further knowledge of the keel compartments and the cargo inside therefore requires direct physical access to and into the wreck.
- Updated analyses indicate that the probability of one or more torpedoes detonating is low. Simulations show that, following capping of the wreck sections, the environmental consequences of a potential detonation would be limited.

Assessment of Recovery of Mercury Cargo

The investigations demonstrate that recovery of parts of the mercury cargo is technically feasible. At the same time, they show that such an operation would be complex, resource-intensive and associated with uncertainty regarding execution, duration, costs and the risk of mercury spreading. Experience from Offshore Campaign 2b demonstrates that even relatively limited interventions in the wreck may result in the release and spread of free-floating metallic mercury.

There remains considerable uncertainty regarding how much mercury can ultimately be recovered, even for a full-scale operation. The investigations also show that free-floating metallic mercury is already present in the keel-compartments together with intact canisters and canisters that are corroded and leak. Mercury occurs both as free-floating metallic mercury within the keel compartments and in the surrounding sediments. Consequently, even if part of the mercury cargo is recovered, capping of the wreck and contaminated sediments would still be necessary.

Assessment of the Alternatives: Capping versus Recovery of Mercury Cargo Followed by Capping

The NCA's assessment is that both capping and recovery of mercury cargo followed by capping can provide a lasting reduction in long-term environmental risk. Since both alternatives ultimately include capping of the wreck and the contaminated seabed, they will achieve equivalent long-term positive environmental effects compared to today's situation.

The principal differences between the alternatives relate to operational risk, environmental impacts during the operational phase and costs. The investigations have shown that recovery of the mercury cargo requires substantially more intrusive operations on the wreck, involves greater operational complexity, leads to higher costs and entails a greater risk of mercury contamination spreading than direct capping.

The NCA's environmental assessment concludes that both alternatives can achieve approximately the same long-term environmental effect. However, the socio-economic analysis demonstrates that the alternative with direct capping, achieves this effect at significantly lower cost than recovery of the mercury cargo followed by capping. Furthermore, the short-term environmental effect, during execution, is more negative during recovery of the mercury cargo compared to direct capping.

Recommendation

The NCA's assessment is based on the criteria established in the assignment from the Ministry of Trade, Industry and Fisheries, which specifies that environmental risk shall be given decisive weight and that any measure must be economically justifiable.

The NCA considers that both capping and recovery of mercury cargo followed by capping can achieve a substantial reduction in long-term environmental risk. The primary differences between the alternatives relate to short-term environmental risk (during execution), execution risk and costs.

Based on the updated knowledge base, the Norwegian Coastal Administration recommends capping of the wreck and the contaminated sediments as the permanent environmental measure for U-864.

The NCA considers capping to provide the most predictable achievement of project objectives, the lowest environmental risk during implementation and the best overall outcome when assessed against the assignment's requirements that environmental risk shall be given decisive weight and that the measure must be economically justifiable.

Although recovery of parts of the mercury cargo is technically feasible, the overall environmental benefit is considered limited because capping would still be required afterwards, while recovery operations themselves increase the risk of mercury spreading during execution.

Copyright © Kystverket

Denne publikasjonen er vernet i henhold til Åndsverkloven

Ved gjengivelse av materiale fra publikasjonen, må fullstendig kilde oppgis

Language of Report: Norwegian

Innhold

1	Innledning	3
1.1	Historisk informasjon om U-864	3
1.2	Fra funn av vraket til dagens oppdrag.....	5
1.3	Oppdraget fra Nærings og fiskeridepartementet	7
1.4	Kystverkets gjennomføring av oppdraget	8
1.5	Forkortelser	8
1.6	Veiledning til rapporten	9
2	Problembeskrivelse	10
2.1	Innledning.....	10
2.2	Fakta om kvikksølv som miljøgift	10
2.3	Forurensset området ved U-864.....	11
2.4	Utlekking av kvikksølv fra sedimenter nær U-864	13
2.5	Resultater fra overvåkning av fisk og skalldyr	15
2.6	Tilførsel av kvikksølv til Norge	16
3	Behovsanalyse	18
3.1	Krav til behovsanalyse	18
3.2	Normative behov.....	19
3.3	Etterspørselsbaserte behov	20
3.4	Interessentbaserte behov	20
3.5	Oppsummering av behov	21
4	Strategiske mål	22
4.1	Innledning.....	22
4.2	Gjeldende samfunnsmål.....	22
4.3	Gjeldende effektmål.....	22
5	Nye undersøkelser	24
5.1	Innledning.....	24
5.2	Markedsdialog.....	25
5.3	Kartlegging av sjøbunn og vrakdeler (Tokt 1).....	26
5.4	Inspeksjon av kjøll og kvikksølvbeholdere (Tokt 2a og 2b)	31
5.5	Undersøkelser om plassering av og tilstand på ammunisjon.....	38
5.6	Mulighetsstudie for heving av last	43

5.7	Oppdaterte studier fra tidligere utredninger	44
6	Rammebetingelser for valg av konsept.....	47
6.1	Innledning.....	47
6.2	Forhold som påvirker rammebetingelser.....	48
6.3	Trinnvis gjennomføring av operasjonen.....	52
6.4	Oppdaterte rammebetingelser	52
7	Mulighetsrom og alternativer	55
7.1	Innledning.....	55
7.2	Nullalternativet	56
7.3	Alternativ 1 Tildekking av vrakdeler og forurenset sjøbunn	58
7.4	Alternativ 3 Heving av last og tildekking av vrak og forurenset sjøbunn	66
8	Alternativanalyse	83
8.1	Innledning.....	83
8.2	Investeringskostnader	83
8.3	Samfunnsøkonomisk analyse	87
9	Samlet vurdering og anbefaling	90
9.1	Innledning.....	90
9.2	Er det mulig å hente opp deler av kvikksølvlasten?	90
9.3	Resultater fra undersøkelser	90
9.4	Miljørisiko	92
9.5	Operasjonell risiko.....	93
9.6	Ammunisjon og eksplosivrisiko	93
9.7	Kostnader og økonomisk forsvarlighet	94
9.8	Samlet vurdering og anbefaling	96
10	Relevante forhold for etterfølgende fase	99
10.1	Bakgrunn	99
10.2	Forhold som kan være relevant ved videre oppfølging	99
10.3	Dokumentasjon og kvalitetssikring	100
10.4	Avsluttende merknad	101
11	Vedlegg og referanser	102

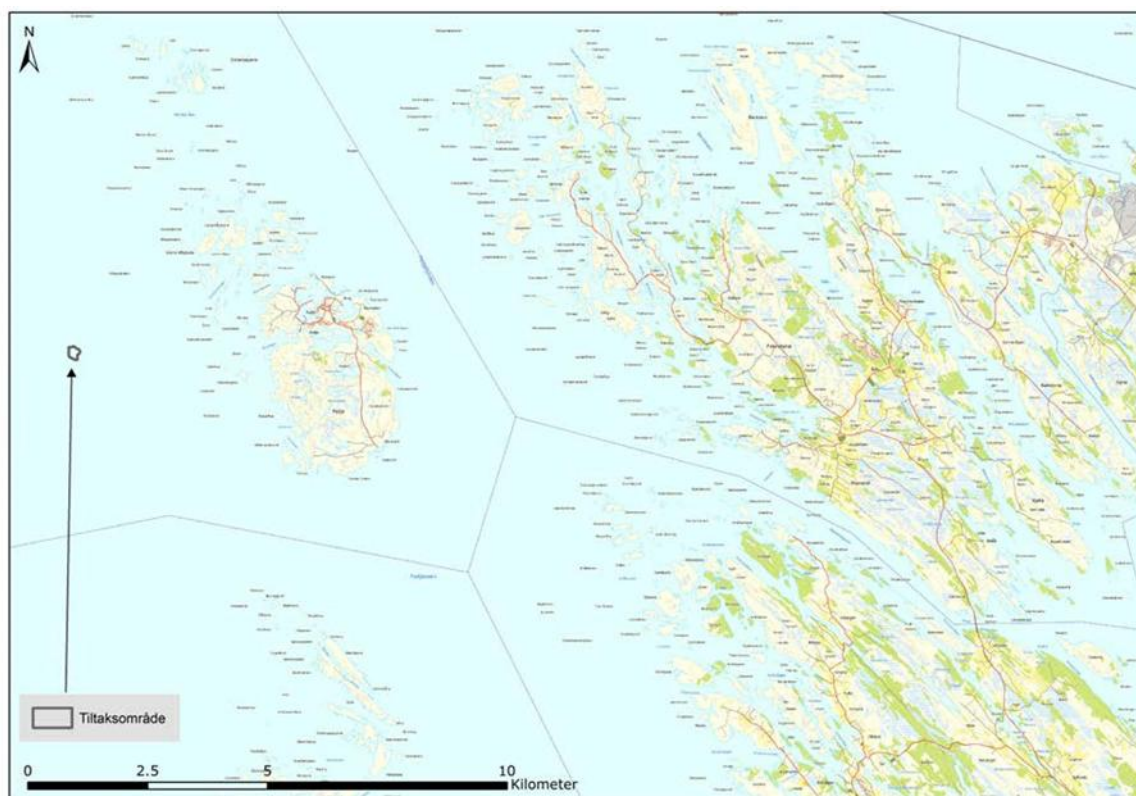
1 Innledning

1.1 Historisk informasjon om U-864

Under andre verdenskrig ble det transportert betydelige mengder råvarer og teknologi mellom aksemaktene Japan, Tyskland og Italia. Som følge av allierte blokader og høy risiko for angrep på overflatefartøy ble transportene i stor grad gjennomført med ubåter. Utvekslingen omfattet hovedsakelig militært viktige råvarer og teknologi. For å dekke Japans behov for innsatsfaktorer til våpenproduksjon ble det transportert kvikksølv fra Europa til Japan. Kvikksølv ble blant annet brukt i produksjon av sprengstoff og som tennsats i bomber, granater og torpedoer.

Mot slutten av krigen var den tyske ubåten U-864 på vei fra Tyskland til Japan via Norge med krigsmateriell om bord. Ifølge historiske dokumenter fraktet ubåten om lag 67 tonn metallisk kvikksølv i væskeform, lagret i stålbeholdere i kjølen.

Den 9. februar 1945 ble U-864 torpedert og senket av den britiske ubåten HMS *Venturer*, om lag 2 nautiske mil vest for øya Fedje i Hordaland (jf. Figur 1). Som følge av torpederingen brakk ubåten i to og sank til havbunnen i to hovedseksjoner.



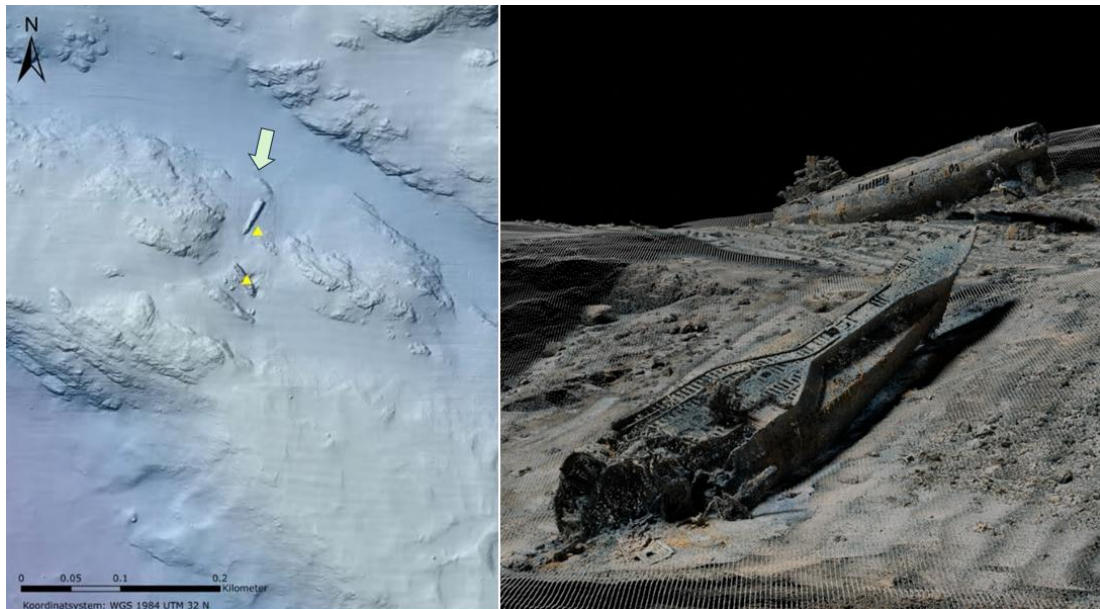
Figur 1 Tiltaksområdet hvor vraket av U-864 ligger er ca. 2 NM (3,7 km) utenfor Fedje

Da ubåten ble senket, forelå det ingen presis registrering av havariposisjonen. Vraket ble først lokalisert av Sjøforsvaret i 2003, på 150-175 meters dyp.

Etter funnet i 2003 har vrakdelene og sjøbunnen i området blitt undersøkt i flere omganger. Undersøkelsene har dokumentert høye konsentrasjoner av kvikksølv i sedimentene rundt vrakdelene. I perioden 2005–2013 ble det funnet totalt åtte kvikksølvbeholdere i

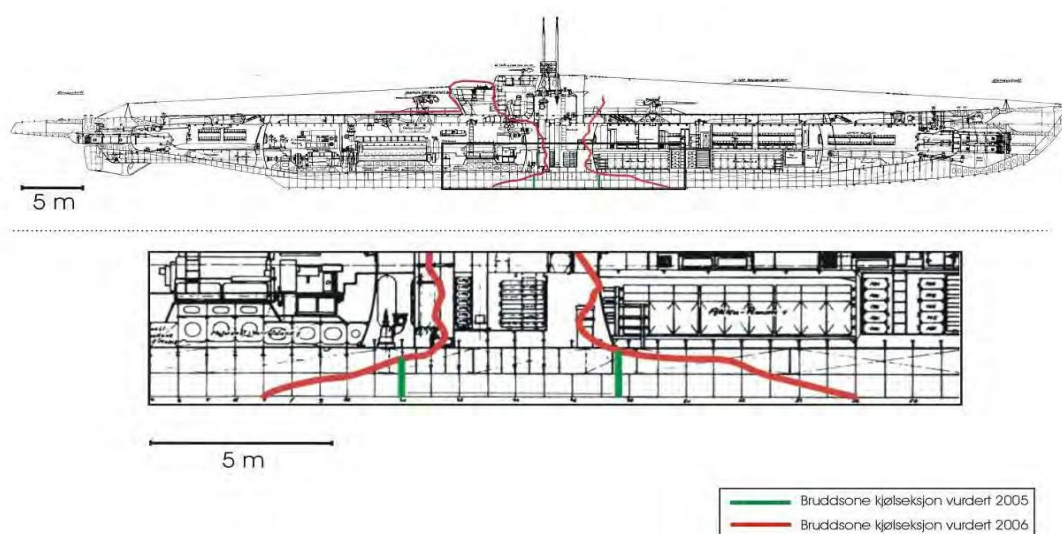
sedimentene. Samtlige beholdere ble tatt opp og undersøkt. Syv av de åtte beholdere var korrodert gjennom hele godstykkelsen, slik at kvikksølv hadde lekket ut. For den siste beholderen var gjenværende godstykkelse redusert til om lag 1 mm da den ble funnet i 2005.

Funnene dokumenterer at det med sikkerhet var kvikksølvlast om bord. Det er imidlertid fortsatt usikkerhet knyttet til det opprinnelige antallet beholdere og den totale mengde kvikksølv. Estimatenes er i stor grad basert på historiske bestillingsdata fra Japan.



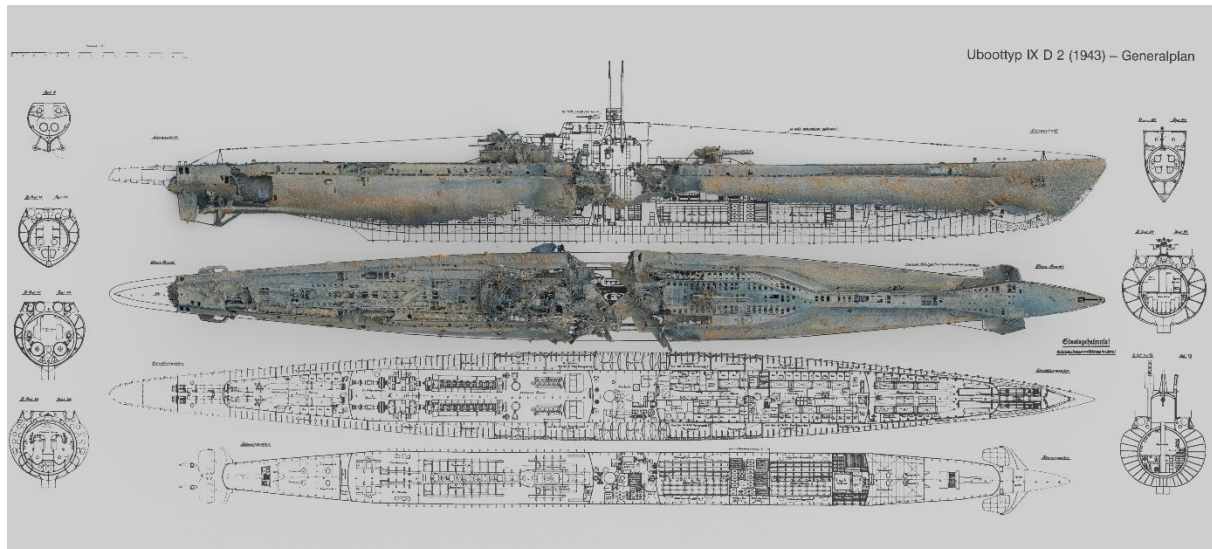
Figur 2 Områdekart som viser vrakposisjonen på sjøbunnen (Kystverket) og fotogrammetribilde fra Tokt 1 (2025). Pilen i kartet til venstre viser retningen for fotogrammetribilde til høyre. Forseksjonen ligger nærmest.

Skadene på vrakdelene nær bruddåpningen viser at profilskroget på babord side er revet bort, mens vrakdelene på styrbord side bærer preg av å være presset oppover av eksplosjonskraften. Observasjonene indikerer at torpedoen traff nær kjølen og er i samsvar med tidligere dokumentasjon som viser at forskipet ble hardest rammet.



Figur 3 Antatt bruddsone for vraket av U-864 som følge av torpedering. Det er betydelig usikkerhet knyttet til bruddsonens forløp ned mot kjølen. Kilde: Originale tegninger av U-864 /D08/ med inntegnet bruddsoner utarbeidet av Geopartner.

Basert på analyser av treffpunkt og skadeomfang er det lagt til grunn, som en konservativ antakelse, at om lag 25 prosent av kjølen er borte eller sterkt skadet. Denne antagelsen er imidlertid ikke verifisert, og det er betydelig usikkerhet knyttet til hvor stor del av kjølen som faktisk ble ødelagt. Det vurderes som sannsynlig at lasten i dette området ble fragmentert eller på annen måte kraftig påvirket av eksplosjonen.



Figur 4 Tegninger av U-864 sammenholdt med fotogrammetri av vrakdelene. Bruddsonen fremkommer tydelig i de eksponerte vrakdelene. Vrakdeler som er skjult under sedimentene fremkommer ikke i fotogrammetrien.

U-864 inngår i en gruppe tyske vrak som etter krigen ble overtatt av norske myndigheter som fiendeeiendom og senere overført til private eiere. Spørsmål knyttet til eierskap, rettigheter og eventuelle erstatningsmessige forhold ligger utenfor denne rapportens mandat.

1.2 Fra funn av vraket til dagens oppdrag

1.2.1 Lokalisering og tidligere undersøkelser

Da vraket etter U-864 ble lokalisert i 2003, ble det raskt avdekket forhøyede konsentrasjoner av kvikksølv i sedimentene rundt vrakdelene. Senere undersøkelser dokumenterte at ubåten hadde fraktet en betydelig last av metallisk kvikksølv da den ble senket i 1945, og at deler av lasten hadde lekket ut til omgivelsene.

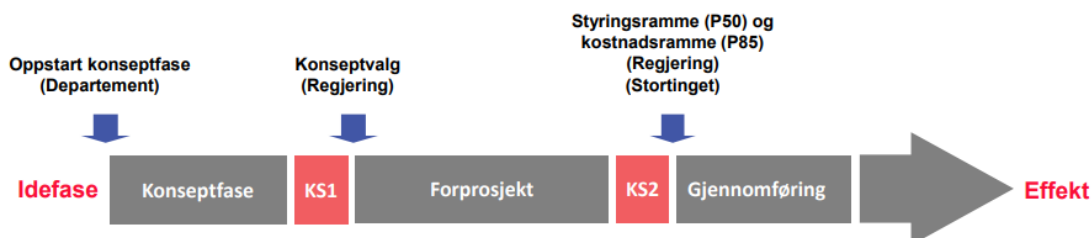
I perioden 2005 til 2014 ble det gjennomført flere undersøkelser og forsøk på å etablere tilgang til kjølkassene der kvikksølvbeholderne antas å være plassert. Arbeidene ga viktig kunnskap om vraket, men viste også at tilgang til kjølkassene var teknisk krevende. Forsøk med både sugemudring og graving ble gjennomført, men uten at man oppnådde tilstrekkelig kunnskap om innholdet i kjølen.

I 2016 ble det etablert en støttefylling i skråningen nedenfor vrakdelene for å stabilisere området. Tiltaket ble vurdert som nødvendig uavhengig av valg av endelig løsning.

1.2.2 Tidligere utredninger og anbefalinger

Prosjektet har en lang historikk med ulike undersøkelser og utredninger helt tilbake til funn av vrakdelene i 2003. I 2010 vedtok Stortinget at prosjektet skulle underlegges regelverket i

statens prosjektmodell. Det ble gjennomført en konseptvalgutredning (KVU) i 2011 /D01/ og en ekstern kvalitetssikring (KS1) i 2012 /D02/. Deretter ble alternativene tildekking og heving av kvikksølvlast utredet videre gjennom egne forprosjekter. Valg av konsept og eventuell bevilgning til gjennomføring skulle behandles i tråd med modellens beslutningsprosesser, jf. Figur 5.



Figur 5 Statens prosjektmodell (Finansdepartementets rundskriv R-108/23)

Gjennom KVU, KS1 og forprosjektfasen ble tildekking av vraket og de forurensede sedimentene (alternativ 1) gjennomgående vurdert som det foretrukne alternativet. Samtidig ble heving av kvikksølvlast (alternativ 3) vurdert som et relevant alternativ dersom dette kunne gjennomføres med akseptabel risiko og kostnad.

Heving av vrak (alternativ 2) ble ikke videreført til forprosjektfasen. Begrunnelsen for dette bygget på at modellberegninger og det innsamlede erfaringsmaterialet tilsa at tildekking ga en effektiv isolering og var et permanent og evigvarende miljøtiltak, slik at dette ville være et likeverdig alternativ mht. den langsiktige miljørisikoen. Da hevingsalternativene ga en vesentlig høyere risiko på kort sikt, samtidig som de var betydelig dyrere å gjennomføre, fremsto tildekking som et bedre alternativ.

Forprosjektene for alternativ 1 og 3 ble ferdigstilt i 2014 /D03/, /D04/. På bakgrunn av resultatene anbefalte Kystverket at alternativ 1 (tildekking) skulle videreføres /D05/. Leveransene fra forprosjektene har ikke vært gjenstand for ekstern kvalitetssikring.

Utviklingen i hvilke alternativer som har vært vurdert og anbefalt gjennom prosjektets ulike faser er oppsummert i Tabell 1.

Tabell 1 Utredede alternativ i prosjektets ulike faser. Anbefalt alternativ for videreføring er markert med uthevet skrift.

KVU (2011)	KS1 (2012)	Forprosjekter (2014)	Ekspertutvalg (2022)
0. Nullalternativ	0. Nullalternativ		
1. Tildekking	1. Tildekking	1. Tildekking	1. Tildekking
2. Heving av vrak	2. Heving av vrak		2. Heving av vrak
3. Heving av last	3. Heving av last	3. Heving av last	3. Heving av last
	4A. Heving av vrak + mudring		
	4B. Heving av last + mudring		

I 2020 oppnevnte regjeringen et ekspertutvalg for å vurdere om ny kunnskap og ny teknologi kunne gi grunnlag for en annen håndtering av U-864 enn det som tidligere var anbefalt.

Utvalget leverte sin rapport i 2022 /D06/. Utvalgets vurderinger ble gjort under et noe bredere mandat enn det foreliggende oppdraget, der miljørisiko skal tillegges avgjørende vekt ved vurdering av tiltak.

Utvalget vurderte på nytt alternativ 2 (heving av vrak), men identifiserte ikke nye hovedalternativer utover dem som tidligere var utredet. Ekspertutvalget vurderte at både tildekking og heving av kvikksølvlast etterfulgt av tildekking kunne være gjennomførbare løsninger. Samtidig pekte utvalget på betydelige gjenværende usikkerheter knyttet til blant annet kvikksølvlasten, vrakets tilstand og forekomsten av ammunisjon. Utvalget anbefalte derfor at det ble gjennomført nye undersøkelser for å redusere usikkerhetene før endelig beslutning ble fattet.

I den oppdaterte risikovurderingen ble det videre lagt til grunn at det var betydelig usikkerhet knyttet til håndteringen av vraket uten først å fjerne torpedoene. Risikoen for liv og helse ved en løfteoperasjon med bemannet løftefartøy og torpedoer i vrakseksjonene ble vurdert som uakseptabel. Utvalget pekte samtidig på at det ikke forelå tilstrekkelig kunnskap om tilstanden til ammunisjonen eller hvordan den ville reagere ved håndtering av vraket. Utvalget fant ikke informasjon som tilsa at disse kan håndteres før heving av vraket, og de ville dermed utgjøre en risiko for personell om bord i løftefartøyet som ville blitt ansett som uakseptabel i f.eks. i olje- og gassindustrien, hvor flere av utvalgets medlemmer har sin erfaring fra.

1.3 Oppdraget fra Nærings og fiskeridepartementet

Med bakgrunn i ekspertutvalgets arbeid fikk Kystverket i august 2024 i oppdrag fra Nærings- og fiskeridepartementet (NFD) å planlegge og gjennomføre nye undersøkelser av vrakdelene av U-864 og områdene rundt /D07/. Formålet med undersøkelsene var å redusere usikkerheten i kunnskapsgrunnlaget for en mulig heving av deler av kvikksølvlasten ved å fremskaffe mer informasjon om:

- eventuelle endringer i grunnforhold og tilstanden på trykkskroget siden forrige gang vraket ble undersøkt
- tilstanden på kjølkassen hvor kvikksølvbeholderne ligger
- tilstanden på kvikksølvbeholderne
- tilstanden på, og plassering av ammunisjon
- hvor mye flytende kvikksølv som kan befinne seg i vraket og i sedimentene i umiddelbar nærhet

Undersøkelsene skulle gjennomføres i tråd med vedtatte miljøkrav og akseptkriterier, og spredning av forurensede sedimenter skulle unngås.

Resultatene fra undersøkelsene inngår i denne rapporten, sammen med en vurdering og anbefaling av om man bør gå videre med heving av kvikksølvlast før tildekking av vraket og forurensset sjøbunn, eller om man bør gå direkte til tildekking. Vurdering av heving av vrakdelene inngår ikke i oppdraget.

I oppdragsbrevet er Kystverket bedt om å legge avgjørende vekt på miljørisiko ved vurderingen av videre tiltak. En eventuell heving av kvikksølvlasten skal samtidig være

økonomisk forsvarlig. Rapporten skulle også inneholde en vurdering av kostnader, bevilgningsbehov og mulig tidspunkt for gjennomføring av anbefalte tiltak.

NFD la videre til grunn at arbeidet skulle involvere relevante fagmiljøer med kompetanse innen subsea- og offshoreoperasjoner, ammunisjon, eksplosiver og miljø.

1.4 Kystverkets gjennomføring av oppdraget

For å sikre nødvendig faglig kompetanse i prosjektet gjennomførte Kystverket en offentlig anskaffelse. Marstrand AS ble tildelt kontrakten med bistand fra DNV, NGI og Expected Value. Kystverket har i tillegg innhentet bistand fra en rekke andre fagmiljøer, inkludert miljøfaglige miljøer, forsvarssektoren og leverandørmarkedet.

Arbeidet har omfattet markedsdialog, tekniske studier og tre større undersøkelseskampanjer offshore i 2025 og 2026. Undersøkelsene har omfattet kartlegging av sjøbunn og vrakdeler, inspeksjon av kjølkassene, undersøkelser av kvikksølvlasten, vurderinger av ammunisjon og eksplosiver samt oppdaterte analyser av aktuelle tiltak.

1.5 Forkortelser

I rapporten er det benyttet ulike forkortelser. I tabellen nedenfor er forkortelsene listet opp og definert.

Tabell 2 Forkortelser benyttet i rapporten

Forkortelse	Definisjon
ADR / RID	Internasjonalt regelverk for transport av farlig gods på hhv veg og jernbane
CPT	Cone Penetrometer Test
DFØ	Direktoratet for økonomistyring
DNV	Det Norske Veritas
EV	Expected Value (firmanavn)
FD	Forsvarsdepartementet
FFI	Forsvarets Forskningsinstitutt
FMA	Forsvarsmateriell
FOH	Fellesoperativt Hovedkvarter
GIS	Geografisk informasjonssystem
GVI	Generell Visuell Inspeksjon
Hg	Grunnstoffsymbol for kvikksølv
HI	Havforskningsinstituttet
IMDG Code	International Maritime Dangerous Goods Code
IXD2	Typebetegnelse for tysk ubåt av samme klasse som U-864 tilhørte
KVU	Konseptvalgutredning
KS1 / KS2	Ekstern kvalitetssikring ved ulike milepæler i statens prosjektmodell

Forkortelse	Definisjon
MBES	Multi-Beam Echosounder (multistråle-ekkolodd)
MDK	Minedykkerkommandoen
NIFES	Nasjonalt institutt for ernærings og sjømatforskning
NFD	Nærings- og fiskeridepartementet
NGI	Norges Geotekniske Institutt
NIVA	Norsk Institutt for Vannforskning
RFI	Request For Information (Markedsdialog)
ROV	Remote Operated Vehicle (fjernstyrt undervannsfarkost)
SA	Supplerende analyse
SBP	Sub-Bottom Profiler
SOLAS	International Convention for the Safety of Life at Sea
SSD	Sentralt styringsdokument (del av leveransen fra et forprosjekt)
U-864	Tysk ubåt fra 2.verdenskrig som ble senket ca 2 nautiske mil vest av Fedje i Hordaland
UXO	Unexploded Ordnance (udetonerde eksplosiver)

1.6 Veiledning til rapporten

Denne rapporten er utarbeidet som grunnlag for Kystverkets anbefaling om videre håndtering av vraket etter U-864. Rapporten følger i hovedsak prinsippene i statens prosjektmodell for store investeringsprosjekter ved et konseptvalg, og er strukturert slik at den kan inngå i videre utredning og kvalitetssikring.

Lesere med behov for ulik detaljeringsgrad kan benytte rapporten på forskjellige måter:

- For en kort oversikt over hovedfunn, vurderinger og anbefalinger, anbefales sammendraget.
- For innsikt i resultatene fra nye undersøkelser i 2025 og 2026, anbefales kapittel 5.
- For en beskrivelse av alternativer og konsekvenser, anbefales kapittel 7 og 8.
- For Kystverkets samlede vurdering og anbefaling, anbefales kapittel 9.
- For lesere som ønsker full bakgrunn og dokumentasjon, bør rapporten leses i sin helhet.

Rapporten gir et svar på hovedspørsmålet om ny kunnskap fra undersøkelsene gir grunnlag for å anbefale videre arbeid med heving av kvikksølvlast før tildekking av vraket, eller om man bør gå direkte til tildekking som miljøtiltak.

2 Problembeskrivelse

2.1 Innledning

Skipsvrak inneholder ofte materialer og stoffer som kan forurensere omgivelsene, blant annet drivstoff, smøreoljer, maling og rester av last. For U-864 ble det i 2013 gjennomført en operasjon for å fjerne olje og dermed redusere risikoen for akutte utslipp.

Den viktigste kilden til forurensningsrisiko i dag er imidlertid kvikksølvlasten som var lastet i kjølen på U-864 da ubåten ble torpedert og sank. De høye konsentrasjonene av kvikksølv som er påvist i sedimentene rundt vraket, viser at betydelige mengder av lasten ble spredt til nærområdet som følge av eksplosjonen ved torpederingen. Det forekommer fortsatt utlekking av kvikksølv fra gjenværende last og fra eksponert kvikksølv i og rundt vrakdelene på havbunnen.

Undersøkelser gjennomført av Havforskningsinstituttet (HI) viser at kvikksølvnivåene i fisk fra området ikke er forhøyet sammenlignet med bakgrunnsnivået langs Vestlandskysten. Det gjelder i dag ingen særskilte kostholdsråd for sjømat fra området rundt U-864. Mattilsynet opphevet i 2015 det tidligere føre-var-rådet fra 2005 om at gravide, ammende og små barn ikke burde spise sjømat fanget ved vraket.

For å redusere risikoen for ytterligere spredning av forurensede sedimenter ble det i 2016 etablert en støttefylling nedenfor vrakdelene. Formålet var å stabilisere skråningen der deler av vraket ligger, og dermed hindre utglidning og økt spredning av kvikksølv.

2.2 Fakta om kvikksølv som miljøgift

Kvikksølv er et metall som har vært benyttet i ulike produkter og industrielle prosesser gjennom lang tid. I Norge ble det fra 1. januar 2008 innført et generelt forbud mot bruk av kvikksølv i produkter, med noen få unntak.

I et marint miljø forekommer kvikksølv i flere kjemiske former, blant annet:

1. **Elementært kvikksølv (Hg^0)** – rent kvikksølv i flytende form
2. **Uorganisk kvikksølv (Hg^{2+})** – oppløst i vann eller bundet til partikler og sedimenter, og kan danne komplekser med blant annet klorid i sjøvann
3. **Metylkvikksølv (CH_3Hg^+)** – en organisk form som dannes biologisk, typisk av mikroorganismer i oksygenfattige sedimenter, krever også en karbonkilde for å dannes

I atmosfæren kan kvikksølvet også være i dampform (Hg^0). Kvikksølv damp oppstår når grunnstoffet kvikksølv fordampes, fordampingen øker når temperaturen øker. Kvikksølv i uorganisk form kan utgjøre en fare ved innånding av kvikksølv damp, hudkontakt eller ev. inntak av kvikksølvforurenset mat.

Metylkvikksølv regnes som den mest helse- og miljøfarlige formen, da det er fettløselig, tas lett opp i organismer og kan bioakkumuleres og biomagnifiseres i næringskjeder. Stoffet kan også passere biologiske barrierer som blod-hjerne-barrieren og morkaken, og virker som en potent nervegift.

I marine sedimenter kan uorganisk kvikksølv omdannes til metylkvikksølv gjennom biologiske prosesser som involverer mikroorganismer. Denne omdannelsen forutsetter tilgang på organisk materiale og skjer mest effektivt i næringsrike områder med høy biologisk aktivitet, som elvemunninger og viker med stor produksjon av alger og plankton.

Vraket av U-864 ligger imidlertid på om lag 150 meters dyp, i et område med begrenset tilgang på organisk materiale og lav biologisk produktivitet. Under slike forhold vurderes potensialet for omdannelse til metylkvikksølv som svært lavt.

Laboratorieforsøk utført av NIVA og Texas Tech University støtter dette og viser at metyleringspotensialet i sedimentene rundt vraket er svært lav så lenge tilførselen av organisk materiale er lav. Når tilgjengelig organisk materiale er brukt opp, avtar og stopper metyleringsprosessen /D16/.

Selv om risikoen for dannelse av metylkvikksølv vurderes som lav, representerer kvikksølv fortsatt den mest alvorlige forurensningen knyttet til U-864. Den betydelige mengden kvikksølv som antas å ha vært om bord, kombinert med påviste utslipp til sedimentene, tilsier at det er nødvendig å vurdere tiltak for å hindre videre spredning og redusere risikoen for langsiktige miljøeffekter.

Sammenligningen med Minamata-hendelsen

I diskusjonen om kvikksølvforurensning vises det av og til Minamata-hendelsen i Japan på 1950-tallet, hvor over 2 000 personer ble alvorlig skadet eller døde etter eksponering for kvikksølv gjennom konsum av forurenset sjømat.

Forurensningen stammet fra en fabrikk som produserte acetaldehyd og benyttet kvikksølv som katalysator. Over en periode på om lag 35 år ble det sluppet ut anslagsvis 70–150 tonn kvikksølv til Minamatabukta. I produksjonsprosessen ble det dannet metylkvikksølv, som også ble sluppet direkte til sjø og deretter tatt opp i næringskjeden.

En viktig forskjell er at kvikksølvet ved U-864 foreligger i hovedsak som metallisk (elementært) kvikksølv. Omdannelse til metylkvikksølv forutsetter blant annet biologisk aktivitet og tilgang på organisk materiale, noe som er meget begrenset ved U-864. Som følge av dette vurderes dannelsen av metylkvikksølv i området å være svært lav.

Ved U-864 er kilden rent elementært kvikksølv og ikke metylkvikksølv, derfor er situasjonen ved U-864 helt annerledes enn den var i Minamata.

2.3 Forurenset området ved U-864

Sjøbunnen i området rundt vrakdelene av U-864 er forurenset med kvikksølv. Tidligere undersøkelser har dokumentert høye konsentrasjoner av kvikksølv i sedimentene rundt vrakdelene, og området tilfredsstiller ikke kravene til god kjemisk tilstand.

Kunnskapsgrunnlaget om hvordan kvikksølvet er fordelt i og rundt vraket har blitt forbedret gjennom undersøkelsene i 2025-2026. Tidligere var det kjent at kvikksølv forekom i sedimentene rundt vraket og at enkelte kvikksølvbeholdere hadde blitt funnet utenfor vrakdelene. De nye undersøkelsene har vist at kvikksølv forekommer i flere ulike former og på flere ulike steder.

Undersøkelsene i 2026 viste at kvikksølv fortsatt finnes i kjølkassene i vraket, både som innhold i intakte beholdere og i korroderte beholdere. Det ble samtidig påvist frittflytende metallisk kvikksølv i kjølkassene og i sedimentene rundt vraket. Funnene viser at deler av kvikksølvet ikke lenger er innelukket i beholdere, men allerede forekommer som fri fase i og rundt vraket.

Dette innebærer at forurensningen ved U-864 ikke er begrenset til de kvikksølvbeholderne som fortsatt ligger i kjølkassene. Forurensningen omfatter også kvikksølv som tidligere har lekket ut fra beholdere og kvikksølv som er spredt i sedimentene rundt vraket. Selv om fremtidige tiltak skulle lykkes med å hente opp deler av kvikksølvlasten, vil det derfor fortsatt være kvikksølv igjen i området som må håndteres.

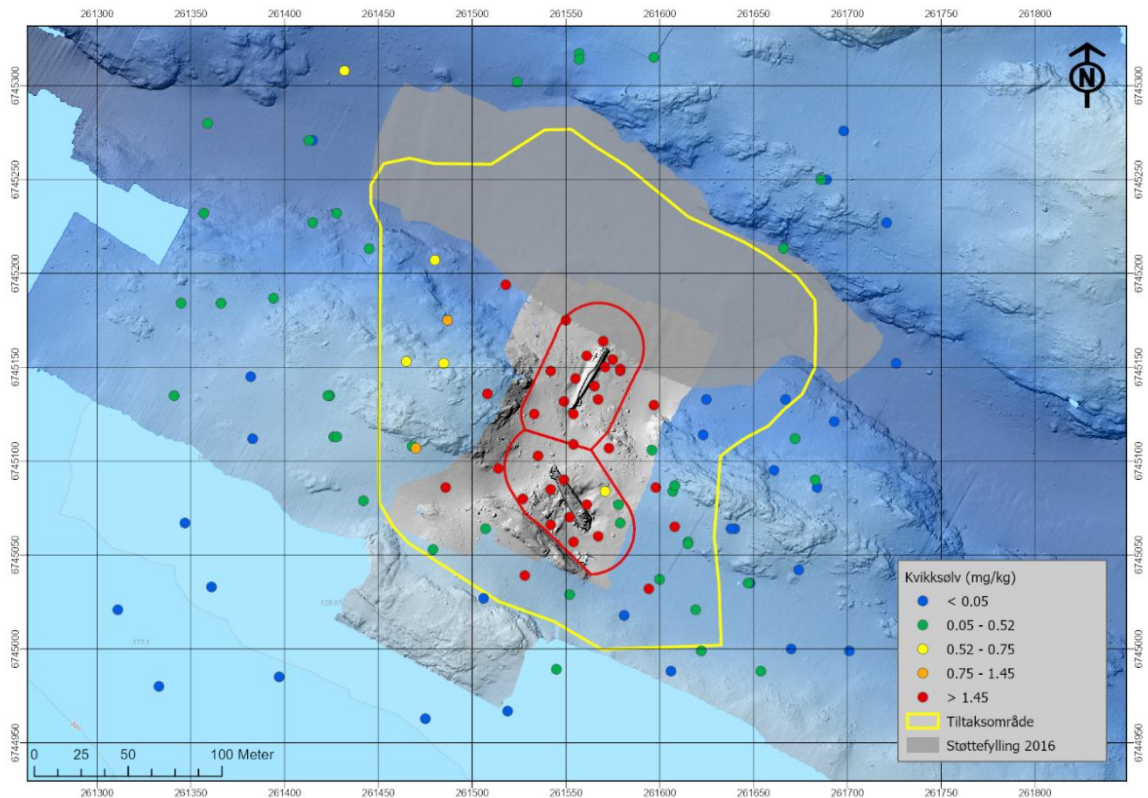
Det mest sannsynlige er at kvikksølvbeholdere som ligger igjen i kjølen er i lignende tilstand som de som ble funnet i 2026. Over tid vil også de gjenstående kvikksølvflaskene ruste, og da vil i prinsipp alt kvikksølv i vraket være i flytende form og ikke noe kvikksølv vil være igjen i de lukkede beholdere. Kvikksølvet som er 13,5 ganger tyngre enn vann vil søke seg til det laveste punktet i vraket og det vil etter hvert som vraket rustet være den laveste delen av kjølen. På sikt vil kvikksølvet bli liggende i sedimentet under restene av vraket, noe av kvikksølvet kan i noen grad også spres nedover i sedimentet og deler av dette kvikksølvet bindes til sedimentene. Faren for økt utlekking og eksponering for organismer vil være begrenset til områder der kvikksølv fremdeles befinner seg eksponert på overflaten av sjøbunnen eller som en del av forurenset sediment på sjøbunnen. Både restene av vraket og eventuelle nye sedimenter vil begrense slike områder med kvikksølv eksponert på sjøbunnen.

I Figur 6 nedenfor vises tilstandsklasser basert på målte konsentrasjoner i sedimentet på sjøbunnen i undersøkelser gjennomført fra 2003 og frem til 2013. Sedimentet er klassifisert i henhold til kjemisk miljøtilstand etter Miljødirektoratets inndeling i tilstandsklasser (Tabell 3). Det ytre området som er innringet med en gul linje er tiltaksområdet og angir ytter-grensene for det området der tilstanden i hovedsak klassifiseres som moderat eller dårlig /D23/. De indre områdene rundt vrakseksjonene, som er markert med en rød linje, er områder der den kjemiske tilstanden i sedimentet er klassifisert som svært dårlig. Spredning av kvikksølv og opptak av kvikksølv i organismer kan skje fra overflaten av sjøbunnen der kvikksølv er eksponert til vannet over og til organismer som lever i sedimentet på sjøbunnen. Kvikksølvet som er begravd lenger ned i sedimentet eller innkapslet i vraket er i mindre grad eksponert og derfor ikke tilgjengelig for opptak i organismer.

Dersom jordskjelv, ankring i vraket eller andre større fysiske forstyrrelser utløser en detonasjon av torpedoer i vraket er det sannsynlig at dette vil føre til en betydelig lokal spredning av kvikksølv.

Tabell 3 Miljødirektoratets gjeldende tilstandsklasser for kvikksølv i sediment (M-608/2016 revidert 2020)

Tilstandsklasse	I	II	III	IV	V
Beskrivelse	Bakgrunn	God	Moderat	Dårlig	Svært dårlig
Kvikksølv (mg Hg/kg)	0-0,05	0,05 - 0,52	0,52 - 0,75	0,75 - 1,45	>1,45



Figur 6 Målte konsentrasjoner av kvikksølv (Hg) i sediment i området rundt vraket. Tilstandsklasser i henhold til Miljødirektoratets gjeldende veileder M-608/2016 (revidert 2020). Støttefylling (rene masser), som er markert i grått, ble lagt ut i 2016. Yttergrensen av området hvor tilstanden i hovedsak klassifiseres som moderat eller dårlig og er foreslått tildekket er angitt med en gul linje, mens de områdene som er nærmest vraket og som er mest forurensede er markert med en rød linje. Kilde: Kystverket, FFI, Van Oord, NIVA og DNV.

For å vurdere miljørisikoen knyttet til U-864, er mekanismer for spredning av kvikksølv fra vrakdelene og området rundt vrakdelene viktig. Kvikksølv i porevannet i sedimentene og i vannet over kan tas opp av bunndyr, noe som utgjør en risiko for økosystemet. I tillegg kan mennesker bli utsatt for kvikksølv gjennom inntak av fisk og skaldyr fra vrakområdet (risiko for human helse). Risikoen for både natur og mennesker henger sammen med hvor mye kvikksølv som lekker ut fra vrakdelene og fra de forurensede sedimentene og metyleringen av dette. Dette behandles nærmere i de to etterfølgende kapitlene.

2.4 Utlekking av kvikksølv fra sedimenter nær U-864

Utlekking av uorganisk kvikksølv og metylkvikksølv, samt opptak i organismer, ble undersøkt i et forsøksoppsett basert på tre sedimentprøver hentet i umiddelbar nærhet til vraket av U-864. Forsøkene ble gjennomført av NIVA i 2005 /D09/. Forsøksoppsettet inkluderte sentrale mekanismer for spredning av kvikksølv, herunder diffusjon (transport fra områder med høy til lav konsentrasjon) og bioturbasjon (omrøring av sedimenter forårsaket av bunnlevende organismer). Formålet var å gi et mest mulig realistisk bilde av utlekkingsprosesser og å undersøke biotilgjengeligheten av kvikksølv i sedimentene.

Biotilgjengelighetstester, der modellorganismer (børstemark og nettsnegl) ble eksponert for kvikksølvforurensede sedimenter, viste at kvikksølv tas opp i organismene. Som forventet var opptaket av metylkvikksølv høyere enn for uorganisk kvikksølv. Samtidig var

konsentrasjonen av metylkvikksølv i sedimentene svært lav sammenlignet med total kvikksølvkonsentrasjon, og utgjorde om lag 0,0015 % av totalen.

Den gjennomsnittlige årlige utlekkingen av totalt kvikksølv ble estimert til 0,142 g/m² sjøbunn for sedimentene i umiddelbar nærhet til vraket av U-864, hvorav om lag 0,00056 % var metylkvikksølv /D09/. Dersom prøvene er representative for det forurensede området rundt vraket, anslått til om lag 30 000 m² /D21/, tilsvarer dette en samlet utlekking fra sedimentene på rundt 4 kg kvikksølv per år.

Dette anslaget er i god overensstemmelse med tidligere modellberegninger av utlekking fra sjøbunnen (ca. 3 kg per år) utført i forbindelse med vurderinger av tildekkingsalternativet (DNV 2008), /D10/. Samlet sett indikerer resultatene at sedimentene rundt U-864 utgjør en vedvarende, men begrenset kilde til kvikksølvforurensning, og at omdannelsen til metylkvikksølv er svært lav.

Hvordan foregår spredningen av kvikksølv fra U-864?

Da U-864 ble torpedert i 1945, ble deler av kvikksølvlasten spredt ut på sjøbunnen rundt vraket. Noen kvikksølvbeholdere ble trolig ødelagt umiddelbart slik at en sky av kvikksølv sank til bunns og la seg rundt vrakdelene, mens andre ble liggende igjen i vraket eller i sedimentene. Undersøkelser viser at kvikksølv i dag forekommer både i beholdere, som frittflytende metallisk kvikksølv og som forurensning i sedimentene rundt vraket.

Kvikksølv som ligger i sedimentene, lekker gradvis ut til vannmassene gjennom en prosess som kalles diffusjon. Diffusjon innebærer at et stoff beveger seg fra områder med høy konsentrasjon til områder med lav konsentrasjon, i dette tilfellet fra sedimentene til havvannet. Prosessen skjer langsomt, men pågår kontinuerlig så lenge kvikksølv er eksponert i sedimentene.

Skjer det en utlekking fra kvikksølvet i og rundt vraket?

For å undersøke hvor mye kvikksølv som lekker ut, gjennomførte NIVA laboratorieforsøk på sedimentprøver hentet fra det mest forurensede området rundt vraket. Basert på disse forsøkene ble den samlede utlekkingen fra de forurensede sedimentene estimert til om lag 4 kg kvikksølv per år. Tidligere modellberegninger har gitt tilsvarende resultater på rundt 3 kg per år.

Så lenge man ikke gjør noen tiltak så forventes utlekkingen av 4 kg kvikksølv i året være forholdsvis konstant i overskuelig fremtid.

Hva blir det så av kvikksølvet som lekker ut og som forsvinner over i havvannet?

Antagelig transporteres kvikksølvet et godt stykke med havstrømmene og noe av det vil sannsynligvis avsettes på sjøbunnen hvor det er mindre havstrømmer. En kan nok ikke forvente å finne noe spor av dette kvikksølvet, det er tross alt bare 8 gram som lekker ut i døgnet og det vil nok raskt fortynnes så det ikke er sporbart. Havvannet inneholder lave verdier av kvikksølv allerede som følge av global forurensning etc. og U-864 sitt bidrag via utlekking i denne sammenhengen vil nok være for lite til å etterlate seg noen spor.

Er så metylkvikksølv et problem?

NIVA sjekket i 2005 hvor mye av de 4 kg kvikksølv som lekket ut, som er metylkvikksølv. Testene viste at det var 0,00056 % av kvikksølvet som lekker ut som er metylkvikksølv (dvs. omtrent null).

Hva hvis man så ikke ønsker denne utlekkingen på 4 kg i året?

Hvis man dekker til det forurensede området med rene masser, så blir diffusjonen nesten null. Kvikksølvet har da en så lang vei for å ta seg igjennom de rene massene (diffundere) at det i prinsipp ikke vil være noe som spres. Tildekking kan gjøres både for å isolere hele lasten og de forurensede sedimentene slik de ligger i dag eller det kan gjøres for å isolere resterende kvikksølv i vraket og sedimentene etter heving av kvikksølv fra lasten.

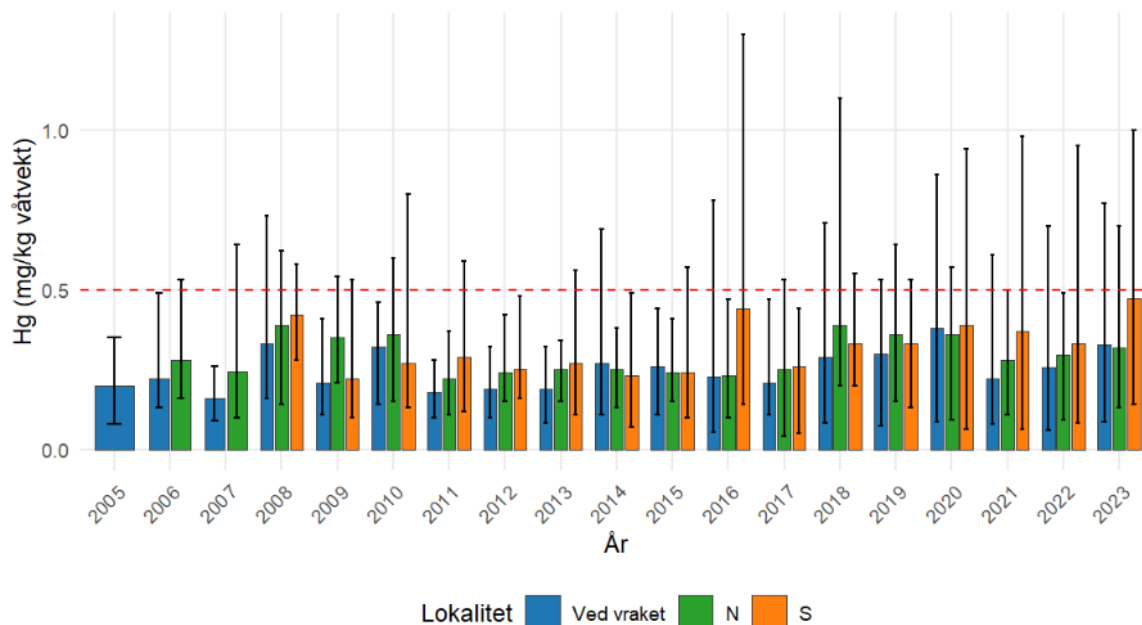
2.5 Resultater fra overvåkning av fisk og skalldyr

HI har siden 2004 analysert kvikksølvkonsentrasjonen i krabbe og fisk (torsk, brosme, lange, sei og uer) fra området ved U-864 /D15/. Konsentrasjonene målt i fisk og krabbe ved vraket sammenliknes med konsentrasjoner målt 2 – 4 sjømil nord for og sør for vraket, og med data fra andre undersøkelser i Norskehavet, Barentshavet og Nordsjøen (NIFES miljødatabase), samt med EUs øvre grenseverdi for mattrygghet for fisk /D11/. Tabell 4 fra HI sin rapport fra 2018 oppsummerer innholdet av kvikksølv i fisk fanget ved U-864 og i andre områder. Denne tabellen viser at kvikksølv i fisk ved U-864 er på samme nivå som i fisk fanget i Nordsjøen og Norskehavet, høyere enn i fisk fanget i Barentshavet, men lavere enn fisk fanget i fjorder og kystnære strøk på Vestlandet og i Skagerak der man kan forvente større utslipp fra land. Dette betyr at det ikke er funnet en forhøyet konsentrasjon i fisken fanget ved U-864 som kan tilskrives utlekking fra vraket av U-864.

Tabell 4 Kvikksølvkonsentrasjoner i brosme fanget i ulike områder i to ulike undersøkelser samt i denne overvåkningen ved U- 864 2005-2017. Utdrag av tabell fra HI 2018 (Kvikksølvinnhold i fisk og annen sjømat ved vraket av U-864 vest av Fedje – Resultater fra fast overvåkning og ekstra prøvetaking i 2016 Sylvia Frantzen, Håkon Otterå, Hilde Elise Heldal og Amund Måge. ISSN 1893-4536)

Uttaksområde	N	Snitt	SD	Min	Maks
Fjord, Nordsjø	445	0.68	0.48	0.10	2.7
Kyst, Skagerrak	90	0.53	0.19	0.15	1.0
Kyst, Nordsjø	76	0.39	0.19	0.052	1.0
Kyst, Norskehav	271	0.29	0.21	0.0050	0.98
Nordsjøen	123	0.28	0.12	0.059	0.75
Fedje	869	0.26	0.12	0.070	1.3
Atlanterhavet	125	0.25	0.16	0.060	1.0
Norskehavet	340	0.182	0.093	0.055	0.97
Barentshavet	141	0.133	0.073	0.030	0.46
Kyst, Barentshav	93	0.100	0.076	0.035	0.47
Fjord, Barentshav	94	0.086	0.055	0.032	0.30
All Grps	2667	0.32	0.29	0.0050	2.7

Nedenfor er resultater fra målinger av kvikksølv i brosme ved vraket av U-864 og områder nord og sør for vraket fra 2005 til 2023 vist grafisk. EUs og Norges øvre grense for omsetning av fisk (inkl. brosme) er 0,5 mg/kg våtvekt for kvikksølv.



Figur 7 Gjennomsnittskonsentrasjon (og standardavvik) av kvikksølv i brosme målt av HI fra 2005 til 2023. Kvikksølvkonsentrasjoner i brosme målt ved vraket og nord (N) og sør (S) for vraket. Rød stiple linje er grenseverdien for kvikksølv i brosme og de fleste fiskearter som omsettes i EU og Norge.

HI har parallelt med overvåkingen av U-864 utført forskning som inkluderer analyser av ulike kvikksølvisotoper i fisk. Isotopanalysene publisert i 2019 viser ingen tegn til at kvikksølvet man finner i fisk (brosme) i området stammer fra kvikksølvet i U-864 vraket /D17 og D18/. HI har også tidligere (2016) gjennomført tilsvarende undersøkelser av krabbe og publisert resultater i en vitenskapelig artikkel /D19/ der de konkluderer med at det er noe mer usikkerhet knyttet til påvisning av kvikksølvisotoper fra U-864 i krabbe (kun påvist i brunt kjøtt og ikke i klokjøtt).

2.6 Tilførsel av kvikksølv til Norge

Hoveddelen av kvikksølvet som tilføres landområdene i Norge, transporteres langveisfra via atmosfæren og avsettes gjennom nedbør og tørravsetning (kvikksølvet i luften avsettes direkte på bakken uten hjelp av nedbør). Tilførselen skjer både til land og til ferskvannssystemer. En andel av dette kvikksølvet transporteres videre til havet gjennom avrenning fra land via elver. Tilførselen fra elver utgjør en betydelig kilde til kvikksølv i kystområdene, men er samlet sett mindre enn den atmosfæriske tilførselen.

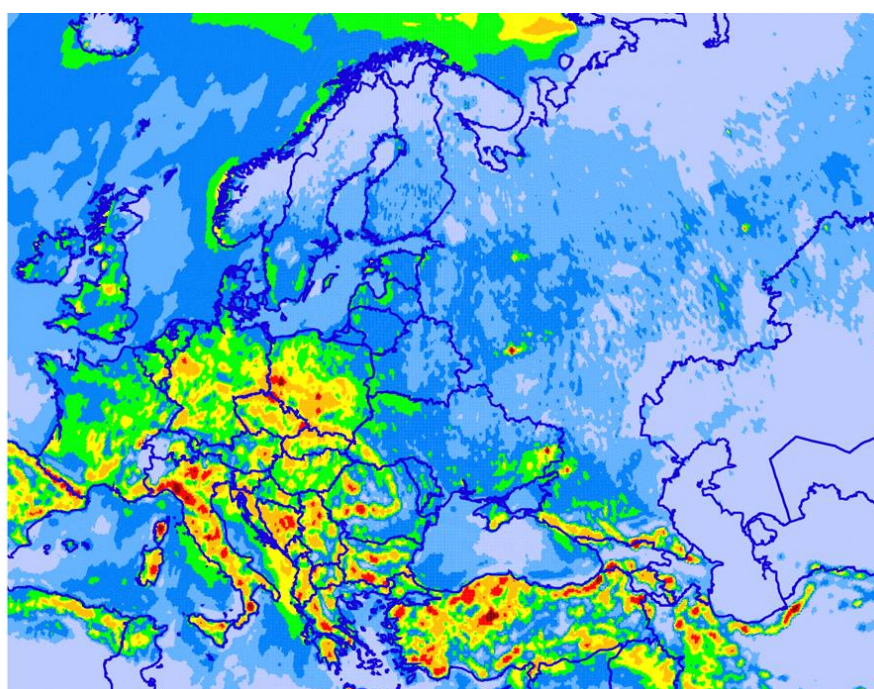
NIVA /D24/, har anslått at om lag 3 077 kg kvikksølv tilføres fastlands-Norge årlig via atmosfæren. Av dette transporteres anslagsvis rundt 10 prosent videre til havet gjennom vassdrag. Dette tilsvarer om lag 280–330 kg kvikksølv per år, avhengig av beregningsmetode /D24/.

Rapporterte årlige avsetninger av kvikksølv i Europa er vist i Figur 8. Figuren viser at de største årlige avsetningene foregår i Mellom- og Sør-Europa. For Nordsjøen (750 000 km²) er den årlige avsetningen av kvikksølv 4 til 8 tonn.

Det er beregnet at om lag 90 prosent av kvikksølvet som avsettes i Norge stammer fra langtransporterte utslipp fra andre land, mens norske utslipp utgjør en mindre andel. Avsetningen av kvikksølv i Norge er generelt lavere enn i områder lengre sør og øst i Europa.

Det er anslått at utslippet fra vraket av U-864 er i størrelsesorden 4 kg kvikksølv per år. Dette er vesentlig lavere enn den samlede årlige tilførselen til norske kystområder, men representerer en lokal punktkilde som kan gi forhøyede konsentrasjoner i nærområdet.

Selv om utslippet fra U-864 er lavt i nasjonal sammenheng, er det sammenlignbart med større enkeltutslipp fra industri. Dette understreker betydningen av å vurdere tiltak, særlig med tanke på lokale miljøeffekter.



Gram/kvadratkilometer/år



Kilde: EMEP 2020/Miljøstatus.no

Figur 8 Årlig avsetning av kvikksølv i miljøet i gram per km² og år (2018) Kilde: www.miljodirektoratet.no

Norske utslipp (Miljødirektoratets utslippsdatabase) har årlige data for utslipp av kvikksølv fra norsk industri med utslippstillatelse. Utslipp fra norsk landbasert industri har vært hovedsakelig til luft. Det har vært en betydelig nedgang i utslippene. I 1994 var det nesten 600 kg kvikksølv som industrien slapp ut, men i 2023 hadde dette gått ned til 84 kg kvikksølv og i 2025 så var det kun utslipp av 3 kg kvikksølv som ble rapportert /D25/.

Det estimerte årlige utslippet fra området ved U-864 er sammenlignbart med de største enkeltutslippene fra industri på land og i Nordsjøen.

3 Behovsanalyse

3.1 Krav til behovsanalyse

I henhold til statens prosjektmodell (Finansdepartementets rundskriv R-108/23) skal en behovsanalyse beskrive bredden av relevante og konkrete behov knyttet til problembeskrivelsen, sett i et overordnet samfunnsperspektiv. Analysen skal også omfatte en kartlegging av relevante interessenter og aktører, samt identifisere hvem som berøres av tiltaket og eventuelle interessekonflikter. Videre skal det gjøres en vurdering av styrken i de identifiserte behovene, og det skal fremgå hvilke behov som legges til grunn for videre utredning.

Som en del av konseptvalgutredningen (2011) ble det utarbeidet en behovsanalyse. Denne ble senere kvalitetssikret (KS1) i 2012 og konklusjonen fra KS1 var følgende;

«Behovsanalysen dokumenterer det prosjektutløsende behovet på en tilfredsstillende måte. Problemstillingene knyttet til vrakdelene og de omkringliggende sedimentene er godt beskrevet, herunder også konsekvensene av og de mekanismene som forårsaker kvikksølvforurensning.

Ved valg av alternativ, bør man også se denne kvikksølvforurensningen opp mot den totale kvikksølvforurensningen i Norge og Nordsjøen.

De normative behovene er tilfredsstillende beskrevet og godt forankret i politiske strategier om miljø sikkerhet, matvaresikkerhet og bærekraftig utvikling.

De interessegruppebaserte behovene vurderes som tilfredsstillende beskrevet. Det vil imidlertid kunne dannes helt nye interessegrupper avhengig av endelig løsningsvalg.»

I dokumentasjonen fra de to forprosjekterte alternativene, Alternativ 1 Tildekking av vrak og forurenset sjøbunn og Alternativ 3 Heving av last og tildekking av vrak og forurenset sjøbunn (begge 2014) ble behovsanalysen fra KVVU lagt til grunn.

Etter forprosjektrapportene ble utgitt i 2014, er begrepet «det prosjektutløsende behov» erstattet av en bredere tilnærming til problembeskrivelsen. Dagens krav er at behovsanalysen «skal beskrive bredden i aktuelle, konkrete behov relatert til problembeskrivelsen, vurdert i et overordnet samfunnsperspektiv». Samtidig skal de ulike behovene vurderes med hensyn til styrke og relevant for den videre utredningen.

Behovsanalysen gjennomføres normalt som en tredelt analyse der det vurderes:

1. Normative behov
2. Etterspørselsbaserte behov
3. Interessentbaserte behov

I det videre er det beskrevet hvordan disse behovene er behandlet i de tidligere faser av prosjektet, og hva som legges til grunn for Kystverkets pågående utredning.

3.2 Normative behov

Med normative behov menes problemstillingens forankring i relevante politiske mål, strategier, lover og forskrifter. De normative behovene knyttet til håndtering av vraket av U-864 ble kartlagt i KVVU i 2011 og vurdert i ekstern kvalitetssikring (KS1) i 2012.

Konklusjonene fra dette arbeidet ble lagt til grunn i de etterfølgende forprosjektene.

I oppdraget fra NFD er Kystverket bedt om å legge avgjørende vekt på miljøhensyn i sine vurderinger, samtidig som et eventuelt tiltak skal være økonomisk forsvarlig. Denne føringen innebærer at hensynet til å redusere miljørisiko og begrense spredning av kvikksølv står sentralt i vurderingen av aktuelle tiltak, og utgjør en viktig del av de normative behovene i prosjektet.

I KS1-rapporten ble de normative behovene særlig knyttet til tre hovedområder:

1. **Miljøsikkerhet**, herunder å forebygge at kjemikalier medfører skade på helse eller miljø
2. **Matvaresikkerhet**, inkludert at norsk sjømat holder tilstrekkelig kvalitet og er trygg for konsum, samt hensyn til folke- og dyrehelse
3. **Bærekraftig utvikling**, med særlig vekt på føre-var-prinsippet og hensynet til rettferdig fordeling av miljøbelastning mellom generasjoner

Behovet for bærekraftig utvikling har også sammenheng med Norges oppfølging av FNs bærekraftsmål, særlig mål 14 *Livet i havet*, som omhandler vern og bærekraftig bruk av hav og marine ressurser, og mål 3 *God helse og livskvalitet*, gjennom begrensning av eksponering for miljøgifter.

I ekspertutvalgets rapport (2022) ble endringer i rammebetingelser fremhevet som et sentralt tema. Utvalget pekte særlig på oppdateringen av vannforskriften i 2018 og Norges tilslutning til Minamatakonvensjonen i 2017. Disse bidrar til å tydeliggjøre kravene til håndtering av kvikksølvforurensning, herunder at forurensede områder bør ryddes opp i, uten å gi konkrete føringer for valg av metode.

Internasjonale forpliktelser:

Norge tiltrådte Minamatakonvensjonen i 2017. Konvensjonen har som formål å redusere globale utslipp av kvikksølv og begrense eksponering for mennesker og miljø. Konvensjonen understøtter behovet for tiltak som hindrer spredning fra forurensede sedimenter og kilder på havbunnen. Samtidig er det verdt å merke seg at regelverk gjennom EØS-avtalen på enkelte områder stiller mer detaljerte og strengere krav enn det som følger direkte av konvensjonen.

EØS/EU-relatert miljøregelverk:

Vannforskriften ble oppdatert i 2018 i tråd med EUs vanndirektiv. Miljøkvalitetsstandardene for kvikksølv i sediment er skjerpet, blant annet gjennom reduksjon av grenseverdien for god kjemisk tilstand fra 0,63 mg/kg til 0,52 mg/kg. Dette innebærer strengere krav til vurdering og gjennomføring av tiltak i forurensede områder.

Nasjonale føringer og forvaltning:

Gjennom arbeidet til ekspertutvalget ble praktisering av relevant regelverk ytterligere tydeliggjort av Miljødirektoratet, blant annet knyttet til kvikksølvforordningen, avfallsregelverket og krav til deponering. Dette innebærer økte forventninger til

dokumentasjon, valg av metode og oppfølging av tiltak. I praksis innebærer dette blant annet:

- skjerpede krav til å forebygge spredning av kvikksølv
- økt vekt på reduksjon av miljørisiko
- betydning for avgrensning av tiltaksområde og miljømål som følge av strengere standarder
- krav til forsvarlig håndtering, lagring/deponering og sporbarhet av kvikksølvholdig avfall

Krav fra miljøforvaltningen understreker også behovet for grundig planlegging av operasjonssikkerhet, kontroll med partikkelspredning og miljøovervåkning i alle faser av et tiltak. Kystverket har i arbeidet hatt dialog med Miljødirektoratet, herunder om planlegging og gjennomføring av undersøkelser, samt vurdering av relevante tiltak.

3.3 Etterspørselsbaserte behov

Etterspørselsbaserte behov uttrykker normalt et misforhold mellom tilbudt kapasitet eller ytelse og etterspørsel. For problemstillingen knyttet til vraket av U-864 vurderes det ikke å foreligge noen slik etterspørsel.

I KVV (2011) ble etterspørselsbaserte behov derfor vurdert som lite relevante, en vurdering som også ble støttet i KS1 (2012). Kystverket legger til grunn at dette fortsatt er gjeldende, og at behovsbildet i hovedsak ivaretas gjennom normative og interessentbaserte behov.

3.4 Interessentbaserte behov

Interessentbaserte behov ble utredet i KVV (2011) og senere videreutviklet i forprosjektene (2014). Interessentanalysen i ekspertutvalgets rapport (2022) bygger på analysene fra disse tidligere fasene.

Ekspertutvalget vurderte konsekvenser for interessenter både under gjennomføring av tiltak og for situasjonen etter at tiltak er gjennomført. Analysen omfatter både direkte og indirekte berørte aktører. Kystverket vurderer at interessentanalysen i ekspertutvalgets rapport fortsatt er dekkende for det foreliggende oppdraget. I rapporten peker ekspertutvalget på at det fra enkelte interessenter og fagmiljøer er reist bekymring om tildekkingsalternativet. Dette gjelder blant annet risiko for spredning av kvikksølv som følge av jordskjelv, mulig økt metylering under tildekking og risiko for detonasjon av torpedoer. Utvalget fant imidlertid ikke grunnlag for at disse forholdene endret deres samlede risikovurdering av tildekkingsalternativet.

Ekspertutvalget la i større grad enn tidligere utredninger vekt på lokalbefolkningens bekymring knyttet til kvikksølvforurensningen. Utvalget begrunnet dette med at samfunnsøkonomiske analyser ikke alltid fullt ut fanger opp virkninger som oppleves av mindre lokalsamfunn eller enkeltpersoner. Kystverket har i sine vurderinger lagt gjeldende retningslinjer for samfunnsøkonomiske analyser til grunn, i tråd med mandatet for oppdraget. Gjeldende metodikk gir samtidig mulighet for å identifisere, beskrive og synliggjøre virkninger for lokalsamfunn og enkeltgrupper når slike virkninger vurderes som relevante og tilstrekkelig dokumenterbare.

Når det gjelder miljøhensyn, er det ikke identifisert noen grunnleggende motsetning mellom de normative behovene og de sentrale interessentbehovene. Både miljøregelverk, internasjonale forpliktelser og berørte interessenter peker mot et behov for å redusere risikoen for spredning av kvikksølv og begrense fremtidige miljøkonsekvenser.

3.5 Oppsummering av behov

Kystverket har i denne utredningen oppdatert de normative behovene med utgangspunkt i gjeldende politiske mål, strategier, lover og forskrifter, samt føringene gitt i oppdraget fra NFD.

De normative behovene og de interessentbaserte behovene fremstår i hovedsak som sammenfallende. Både gjeldende miljøregelverk, internasjonale forpliktelser og sentrale interessentgrupper understøtter et behov for å redusere risikoen for spredning av kvikksølv og begrense fremtidige miljøkonsekvenser.

I KS1-rapporten ble det konkludert med at de interessentbaserte behovene var tilfredsstillende beskrevet, men det ble samtidig pekt på at nye interessegrupper kan oppstå avhengig av valgt løsning. Dette perspektivet er videreført i ekspertutvalgets rapport (2022), som peker på at hevingsalternativene i større grad kan bidra til opplevd trygghet og samfunnsstabilitet for lokalbefolkningen og andre interessenter som over tid har engasjert seg i saken.

Kystverket vurderer at de normative behovene er de sterkeste og mest førende behovene i den videre utredningen. Disse er forankret i gjeldende lovverk, internasjonale forpliktelser og føringene gitt i oppdraget. De interessentbaserte behovene vurderes også som betydelige, særlig knyttet til lokalbefolkningens bekymring for fremtidig miljø- og helserisiko og ønsket om en varig løsning. Etterspørselsbaserte behov vurderes fortsatt som lite relevante for problemstillingen.

I tråd med oppdraget fra NFD har Kystverket lagt avgjørende vekt på miljøhensyn i våre vurderinger, samtidig som det vurderes at et eventuelt tiltak er økonomisk forsvarlig. Den samfunnsøkonomiske analysen omfatter derfor virkninger for miljø både på både kort og lang sikt, samt andre relevante effekter, herunder konsekvenser for helse og operasjonell sikkerhet.

4 Strategiske mål

4.1 Innledning

På bakgrunn av problembeskrivelsen og behovsanalysen vurderer Kystverket at de overordnede målene som ble etablert gjennom KVVU (2011) og videreført i forprosjektene (2014), fortsatt er relevante. De er i samsvar med gjeldende miljøregelverk, internasjonale forpliktelser og føringene gitt i oppdraget fra NFD. Nedenfor sammenfattes gjeldende samfunns mål og effektmål for prosjektet.

4.2 Gjeldende samfunns mål

Samfunns målet for håndtering av vraket av U-864 ble formulert i KVVU i 2011, med utgangspunkt i behovet for å oppnå god miljøtilstand på lang sikt. Målet innebærer å redusere påvirkningen fra kvikksølvforurensningen og bidra til at miljøtilstanden i området over tid som tilsvarer naturlig bakgrunn.

I KVVU ble samfunns målet formulert som:

«Miljøet rundt U-864 er og forblir som det som er typisk for kyststrømmen på Vestlandet»

I forprosjektene ble formuleringen justert ved at referansen ble endret fra «kyststrømmen på Vestlandet» til «den nordlige delen av Nordsjøen». Dette ble vurdert å gi et mer hensiktsmessig sammenligningsgrunnlag for senere oppfølging av måloppnåelse.

Kystverket legger til grunn følgende samfunns mål:

Samfunns mål
Miljøet rundt U-864 er og forblir som det som er typisk for den nordlige delen av Nordsjøen

I ekspertutvalgets rapport (2022) ble formuleringen fra KVVU videreført, uten å reflektere justeringen som ble gjort i forprosjektene.

I denne utredningen legger Kystverket til grunn samfunns målet slik det er formulert i forprosjektene.

4.3 Gjeldende effektmål

Effektmålene for prosjektet er i hovedsak videreført fra KVVU til forprosjektene, med samme presisering som for samfunns målet, der referansen til «den nordlige delen av Nordsjøen» er lagt til grunn.

I forprosjektene ble det lagt til grunn at effektene av tiltaket skal kunne dokumenteres og etterprøves gjennom miljøovervåking før, under og etter gjennomføring. For å være konsistent med samfunns målet skal tiltaket bidra til at konsentrasjonene av kvikksølv reduseres mot bakgrunnsnivå, samtidig som opptak i næringskjeden begrenses.

De tre effektmålene vurderes som innbyrdes konsistente og gjensidig understøttende. Effektmål 1 anses som det mest sentrale fordi det er nærmest knyttet til prosjektets formål

om å redusere forurensningskilden. Effektmål 2 og 3 beskriver henholdsvis spredningseffekter og virkninger for det marine økosystemet og sjømatressursene.

Tabell 5 Effektmål

Nr	Effektmål	Indikator
1	Kvikksølvnivået i vannsøylen og i overfatesediment fra dette området skal være på samme nivå som er typisk for den nordlige delen av Nordsjøen	Prøvetaking av sedimenter i vrakposisjon og referanseposisjoner benyttes som sammenligningsgrunnlag.
2	Områder utenfor tiltaksområdet skal ikke påvirkes av kvikksølvforurensning som kan gi varig målbar forurensning som overstiger det som er typisk for den nordlige delen av Nordsjøen	Miljøovervåking under tiltak skal detektere spredning av forurensede masser utover tiltaksområdet
3	Gjennomsnittskonsentrasjonen av kvikksølv i fisk og skalldyr fra vrakposisjonen skal være på samme nivå som er typisk for den nordlige delen av Nordsjøen	Overvåkingsprogram for fisk og skalldyr videreføres for å overvåke innhold av miljøgifter samt sammenlignes med data fra referanseområder. (Reduksjonen av kvikksølvkonsentrasjon i fisk og skalldyr vil ta noe mer tid og må følges opp med overvåkingsdata)

Kystverket vurderer at effektmålene fortsatt er dekkende for prosjektets formål og konsistente med problembeskrivelsen og behovsanalysen. Effektmålene vil derfor legges til grunn for den videre utredningen og vurderingen av måloppnåelse for de ulike tiltakene.

Det er ikke identifisert målkonflikter knyttet til de overordnede miljømålene.

5 Nye undersøkelser

5.1 Innledning

I august 2024 fikk Kystverket i oppdrag fra NFD å gjennomføre nye undersøkelser av vraket etter U-864 og områdene rundt. Formålet var å redusere usikkerheten knyttet til en mulig heving av deler av kvikksølvlasten ved å fremskaffe oppdatert informasjon om vrakets tilstand, grunnforholdene, kvikksølvlasten og ammunisjonen om bord. Oppdraget bygget på anbefalingene fra ekspertutvalget som leverte sin rapport i 2022, og på regjeringens beslutning om å arbeide videre med å avklare om heving av kvikksølvlast kunne gjennomføres på en miljømessig forsvarlig måte.

Undersøkelsene skulle gjennomføres i tråd med gjeldende miljøkrav og akseptkriterier, med særlig vekt på å unngå spredning av forurensede sedimenter og kvikksølv. Resultatene skulle gi et bedre grunnlag for å vurdere gjennomførbarhet, risiko, kostnader og forventet måloppnåelse ved et eventuelt fremtidig tiltak.

Arbeidet har omfattet markedsdialog med relevante fagmiljøer og leverandører, kartlegging av sjøbunn og vrakdelar, fysiske undersøkelser av kjølkonstruksjonen, undersøkelser av kvikksølvlasten, vurderinger av ammunisjon og eksplosiver samt oppdaterte tekniske og samfunnsøkonomiske analyser. Undersøkelsene ble gjennomført gjennom to hovedkampanjer offshore i 2025 og 2026, omtalt som henholdsvis Tokt 1 og Tokt 2.

Undersøkelsene har gitt det mest omfattende kunnskapsgrunnlaget om U-864 siden vraket ble lokalisert i 2003. Flere sentrale usikkerheter er redusert, samtidig som undersøkelsene har avdekket forhold som tidligere ikke har vært kjent. Særlig gjelder dette tilstanden til kvikksølvbeholderne, forekomsten av frittflytende metallisk kvikksølv, muligheten for å etablere tilgang til kjølkassene og erfaringene med spredning av kvikksølv ved arbeid på vraket.

De viktigste resultatene fra undersøkelsene kan oppsummeres slik:

- Det er teknisk mulig å etablere tilgang til kjølkassene og hente ut kvikksølvbeholdere ved bruk av fjernstyrte undervannssystemer.
- Kjølkassene som ble undersøkt fremstod i hovedsak som intakte, men med betydelig korrosjon på innfestinger.
- Kjølkassene inneholder både intakte kvikksølvbeholdere, korroderte beholdere og frittflytende metallisk kvikksølv.
- Det er påvist frittflytende metallisk kvikksølv både i kjølkassene og som kvikksølvperler i sedimentene rundt vraket.
- Arbeider i sedimentene rundt vraket medfører spredning av kvikksølv og forurensede sedimenter. Erfaringene fra undersøkelsene viser at slik spredning er vanskelig å unngå fullt ut.
- Sannsynligheten for torpedodetonasjon ved gjennomføring av de analyserte arbeidsoperasjonene vurderes som lav. Ved en tildekking av vrakseksjonene viser simuleringer at miljøkonsekvensene av en eventuell detonasjon vil være begrensede.
- Undersøkelsene har ikke gitt grunnlag for å kartlegge innholdet i kjølkassene eller lokalisere eventuelle kvikksølvbeholdere i sedimentene uten fysiske inngrep i vraket.

I de følgende kapitlene presenteres undersøkelsene og resultatene i detalj. Resultatene danner grunnlag for de oppdaterte vurderingene av rammebetingelser, alternativer og anbefalinger som følger senere i rapporten.

5.2 Markedsdialog

5.2.1 Bakgrunn og formål

Som del av oppdraget gjennomførte Kystverket markedsdialoger med leverandører, fagmiljøer og virksomheter med relevant kompetanse innen marine operasjoner, subseateknologi, miljøovervåking, håndtering av farlig avfall og eksplosivsikkerhet. Formålet var å innhente oppdatert kunnskap om tilgjengelig teknologi, gjennomføringsmetoder og erfaringer som kunne bidra til planleggingen av de nye undersøkelsene og eventuelle fremtidige tiltak ved U-864.

Markedsdialogen skulle også bidra til å identifisere forhold som kunne påvirke risiko, gjennomførbarhet, kostnader og kontraktstrategi ved et eventuelt fremtidig tiltak.

5.2.2 Gjennomføring

Markedsdialogen ble gjennomført gjennom formelle og uformelle kanaler, herunder forespørsler til markedet (RFI) /01/, leverandørkonferanser, møter med enkeltaktører og dialog med spesialiserte fagmiljøer. Innspill ble innhentet både i forkant av undersøkelsene og underveis i arbeidet.

Dialogen omfattet blant annet:

- kartlegging av vrak og sjøbunn
- etablering av tilgang til kjølkasser
- håndtering av kvikksølvbeholdere og frittflytende kvikksølv
- miljøovervåking
- håndtering av ammunisjon og eksplosiver
- organisering av komplekse marine operasjoner
- kontraktstrategi og prosjektgjennomføring.

5.2.3 Hovedinnspill fra markedet

De fleste aktørene vurderte at det finnes teknologi som gjør det mulig å gjennomføre både undersøkelser og inngrep på vraket, selv om prosjektet ble ansett som teknisk krevende og forbundet med betydelig usikkerhet. Flere av deltakerne hadde omfattende erfaring fra planlegging og gjennomføring av krevende offshore- og subseaoperasjoner. Innspillene omfattet derfor ikke bare tekniske løsninger, men også vurderinger av gjennomførbarhet, operasjonell risiko, teknologiutvikling og prosjektgjennomføring. Kystverket vurderer at denne erfaringsbaserte kunnskapen har vært et viktig supplement til de tekniske analysene.

Flere aktører pekte på følgende utfordringer som særlig viktige:

- tilgang til kjølkassene
- håndtering av frittflytende kvikksølv

- begrensning av spredning av forurensning
- håndtering av ammunisjon og eksplosiver
- usikkerhet knyttet til vrakets tilstand og innhold.

Markedsdialogen og erfaringene fra de gjennomførte undersøkelsene viser at prosjektet krever kompetanse innen en rekke spesialiserte fagområder. Kystverket vurderer at den største utfordringen ikke er manglende kompetanse, men samordningen mellom ulike fagmiljøer, teknologier og det kommersielle grensesnittet.

5.2.4 Betydning for dette oppdraget

Markedsdialogen bidro direkte til planleggingen av undersøkelsene som ble gjennomført i 2025 og 2026. Flere av innspillene ble brukt ved valg av undersøkelsesmetoder, planlegging av Tokt 1 og Tokt 2 og vurderinger av aktuelle tekniske løsninger.

Dialogen bidro også til å identifisere forhold som måtte avklares gjennom praktiske undersøkelser. Erfaringene fra de gjennomførte undersøkelsene bekreftet i stor grad markedets vurdering av hvilke utfordringer som ville være mest sentrale ved arbeid på vraket.

5.2.5 Relevans for videre arbeid

Flere av innspillene som ble mottatt gjennom markedsdialogen går utover det foreliggende oppdraget og kan være relevante ved videre utredning eller gjennomføring av fremtidige tiltak. Dette gjelder blant annet:

- kvalifisering og testing av teknologi
- organisering av komplekse marine operasjoner
- kontrakt- og anskaffelsesstrategi
- samhandling mellom spesialiserte fagmiljøer
- håndtering av tekniske og operasjonelle grensesnitt

Kystverket vurderer at markedsdialogen har gitt et verdifullt supplement til de tekniske undersøkelsene og bidratt til et bredere beslutningsgrunnlag for de videre vurderingene i rapporten.

5.3 Kartlegging av sjøbunn og vrakdeler (Tukt 1)

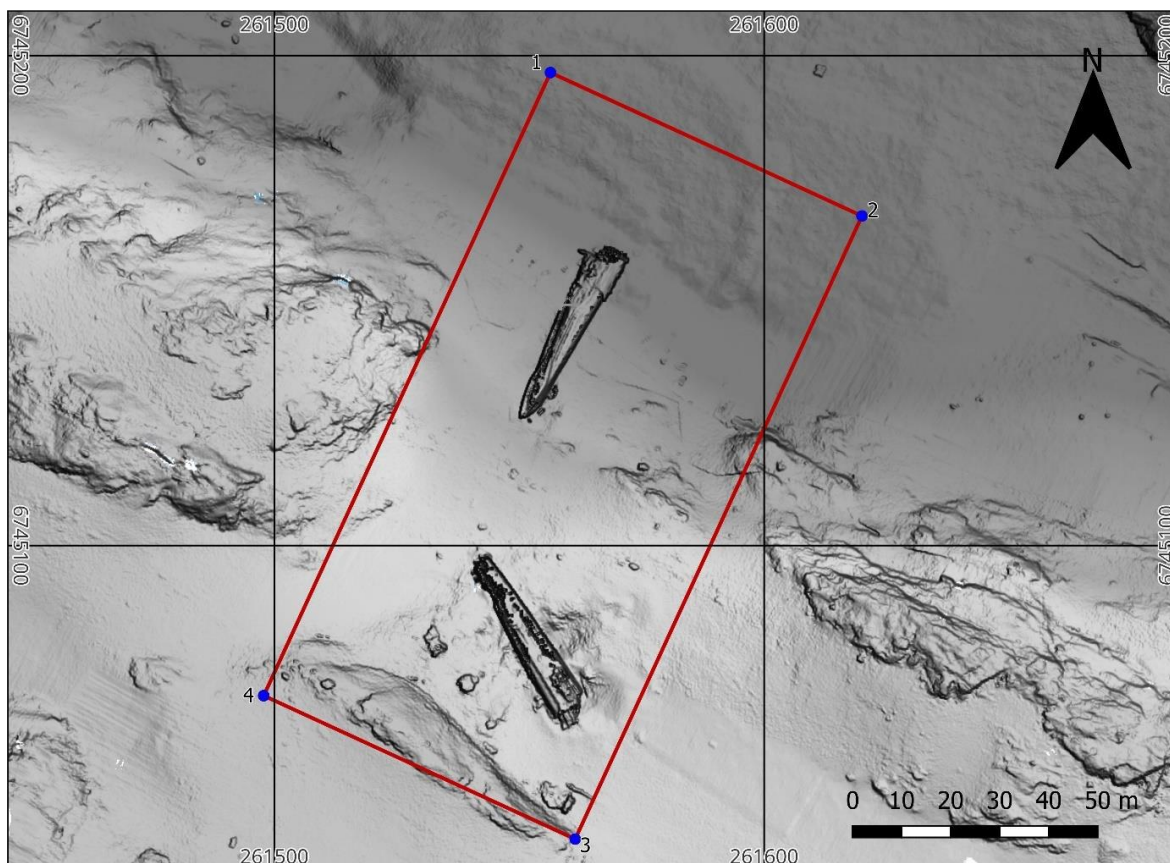
5.3.1 Formål og gjennomføring

Tukt 1 ble gjennomført av Reach Subsea AS i perioden mai til juni 2025. Formålet var å redusere usikkerheten knyttet til vrakets tilstand, kjølkonstruksjonen, sjøbunnen rundt vraket og mulig forekomst av kvikksølvbeholdere utenfor vrakdelene. Undersøkelsene skulle også gi et bedre grunnlag for planlegging av Tokt 2 og for videre vurderinger av gjennomførbarhet, risiko og kostnader ved et eventuelt fremtidig tiltak.

Undersøkelsene omfattet geofysisk kartlegging, fotogrammetri, visuelle inspeksjoner, elektromagnetiske undersøkelser og tykkelsesmålinger av vrakets skrog. Resultatene er dokumentert i sluttrapporten fra Reach Subsea /V03/.

5.3.2 Hovedresultater

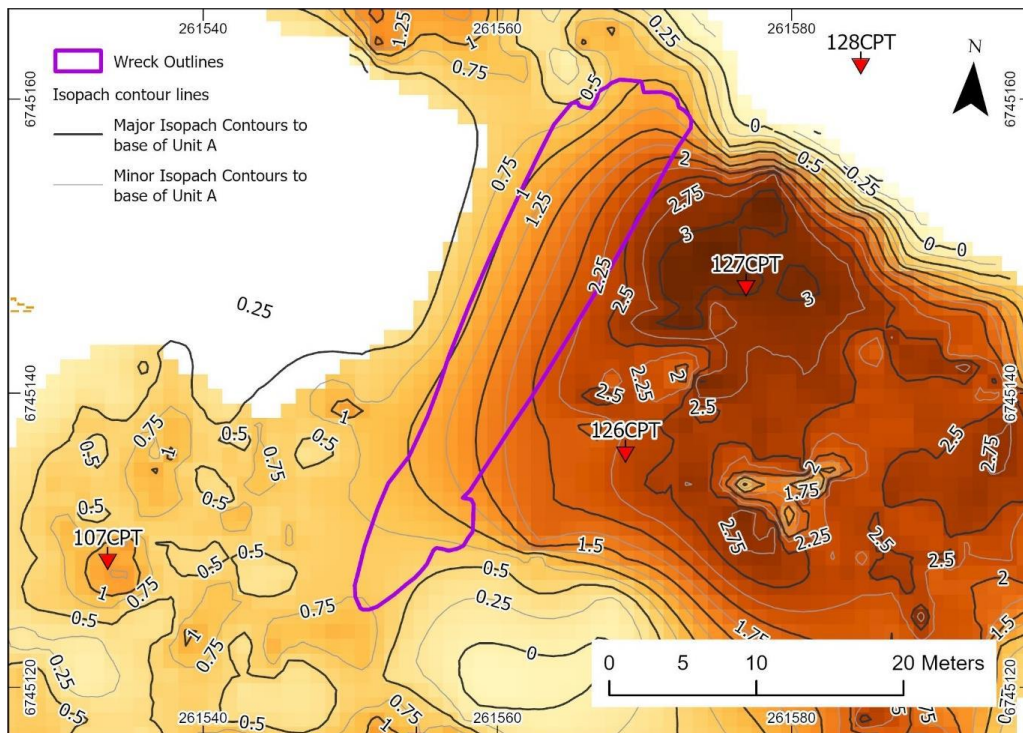
Tokt 1 ga et bedre datagrunnlag enn det som tidligere har vært tilgjengelig. Kartleggingen resulterte blant annet i detaljerte fotogrammetriske modeller av vrakdelene og sjøbunnen rundt vraket. Modellene ga et mer komplett bilde av vrakets tilstand, geometri og plassering i sedimentene enn tidligere undersøkelser. De dannet samtidig grunnlaget for planleggingen av de fysiske undersøkelsene som senere ble gjennomført under Tokt 2.



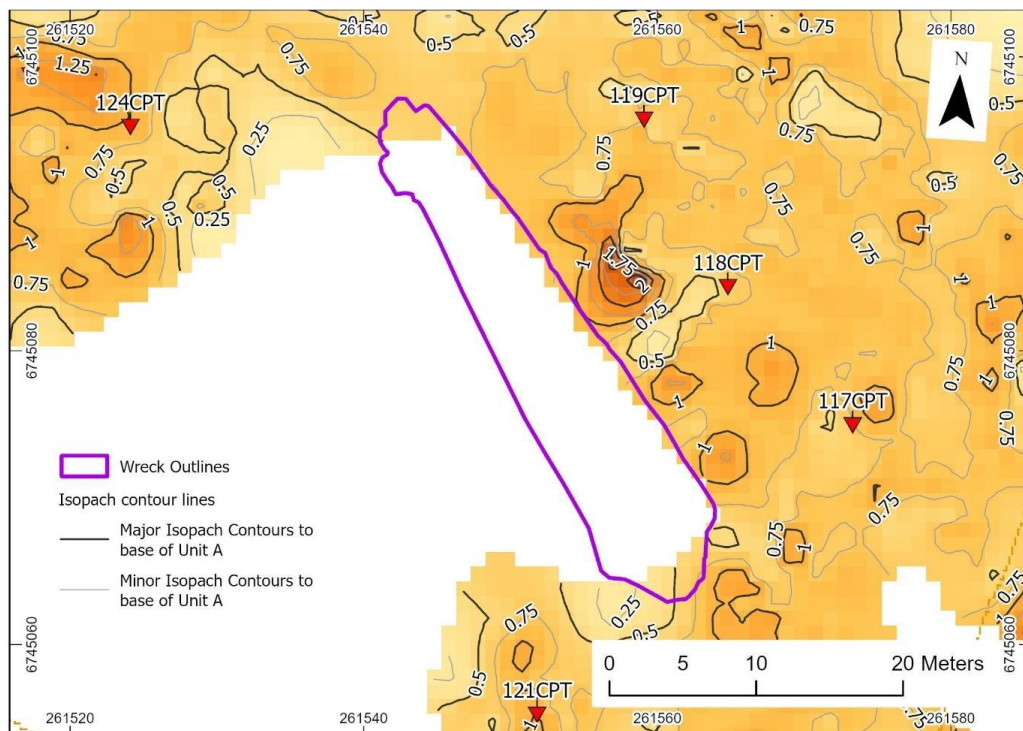
Figur 9 Utstrekning av området som kartleggingen omfattet er markert i rødt

Undersøkelsene bekreftet at vraket har omfattende korrosjon og strukturelle skader, men også at betydelige deler av skrogkonstruksjonene fortsatt er bevart. Tykkelsesmålinger utført på de samme lokasjonene som i 2005 viste redusert materialtykkelse ved alle målepunkter. Reduksjonen ble estimert til mellom om lag 3 og 19 prosent sammenlignet med tidligere målinger.

Kartleggingen ga også ny informasjon om grunnforholdene rundt vraket. Særlig ved forseksjonen viste resultatene at kjølkonstruksjonen ikke nødvendigvis ligger direkte på berggrunn slik det tidligere har vært antatt. Dette styrket muligheten for at deler av kjølen kunne være bevart, men undersøkelsene ga ikke grunnlag for å fastslå kjølenes faktiske tilstand. Dette måtte undersøkes nærmere gjennom fysiske inngrep i vraket.



Figur 10 Isopach-kart som viser dybden til berggrunnen under overflaten ved forseksjonen



Figur 11 Isopach-kart som viser dybden til berggrunnen under overflaten ved akterseksjonen

Videre viste undersøkelsene at sjøbunnen rundt vraket inneholder betydelige mengder steinblokker, vrakdelar og grove sedimenter. Dette var viktig informasjon for planlegging av senere mudringsarbeider og etablering av tilgang til kjølkassene.

5.3.3 Begrensninger ved fjernmåling

En sentral målsetting med Tokt 1 var å undersøke om moderne kartleggingsmetoder kunne redusere behovet for fysiske inngrep i vraket.

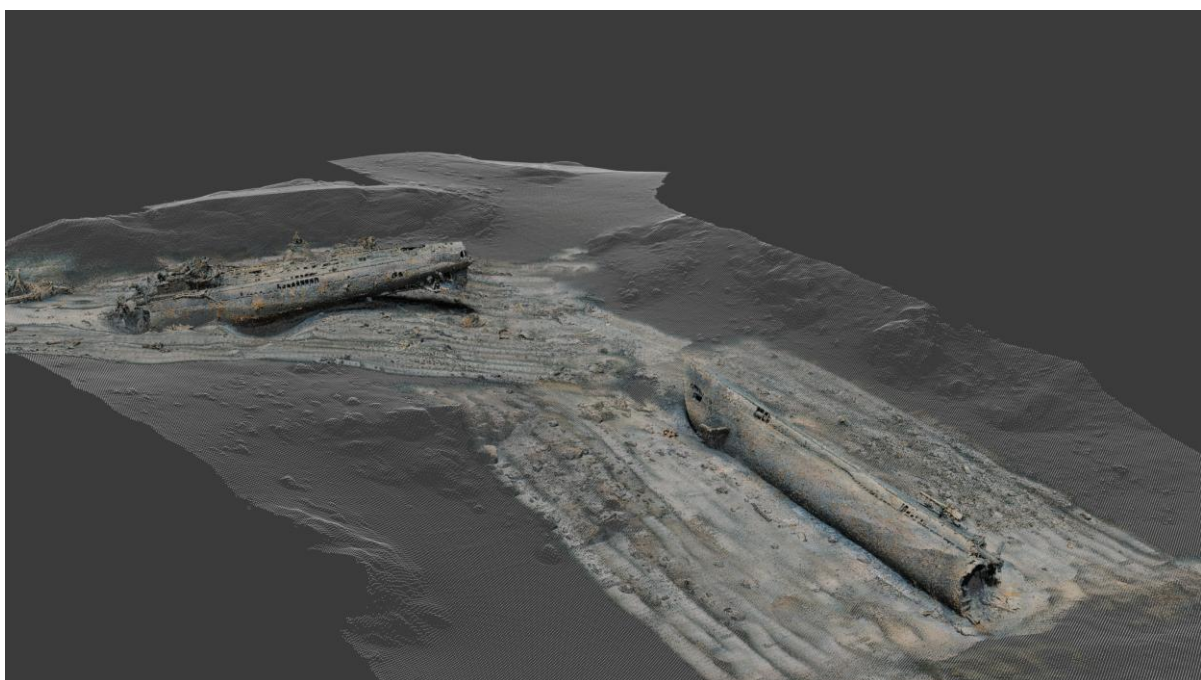
De elektromagnetiske undersøkelsene identifiserte flere anomalier som kunne representere metalliske objekter i sjøbunnen. Undersøkelsene ga imidlertid ikke grunnlag for å fastslå om disse objektene var kvikksølvbeholdere. Tilsvarende ga de geofysiske metodene begrenset informasjon om innholdet i kjølkassene og om eventuelle forekomster av kvikksølv i sedimentene.

Forsøk på innvendig inspeksjon av vrakdelene ga også begrensede resultater. Sedimenter, kabler og vrakrester gjorde det vanskelig å oppnå tilstrekkelig tilgang til vrakets indre konstruksjoner. Undersøkelsene ga derfor ikke grunnlag for å fastslå forholdene i torpedorommene eller innholdet i kjølkassene.

Tokt 1 viste dermed at moderne fjernmålingsmetoder kunne gi bedre kunnskap om vrakets tilstand og omgivelsene rundt vraket, men ikke besvare de mest sentrale spørsmålene knyttet til kvikksølvlasten. Det var fortsatt ikke mulig å fastslå tilstanden til kjølkassene, tilstanden til kvikksølvbeholderne eller forekomsten av frittflytende kvikksølv uten å gjennomføre fysiske inngrep i vraket.

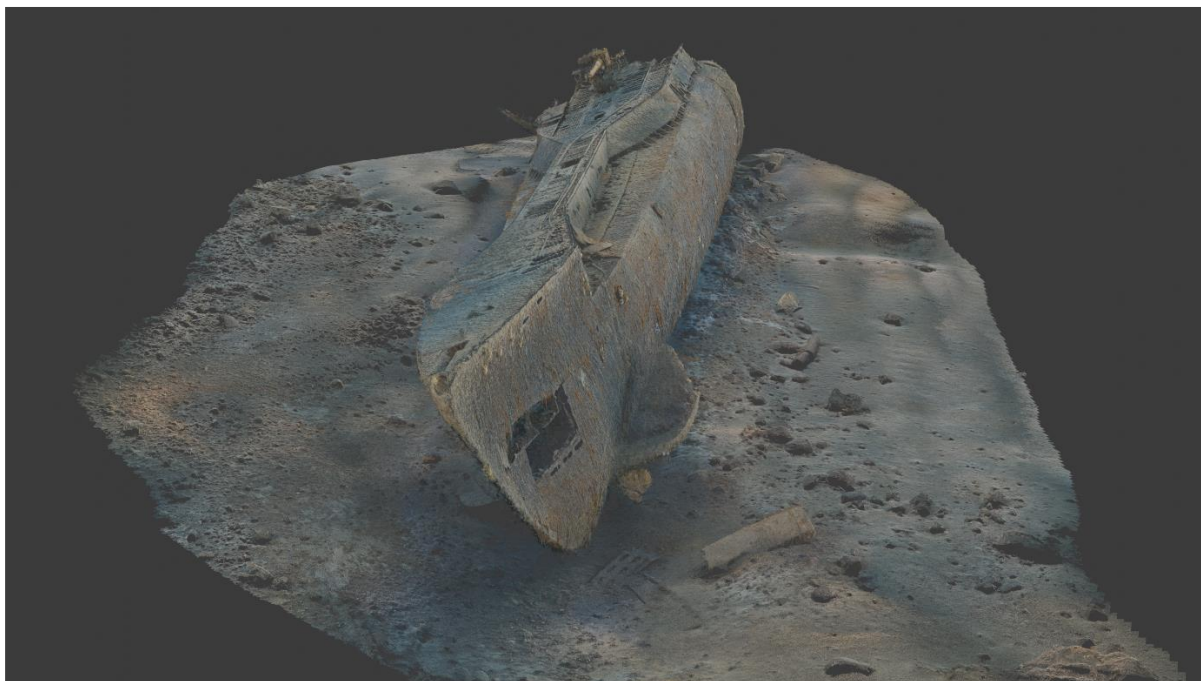
5.3.4 Betydning for videre arbeid

Tokt 1 reduserte noen usikkerheter knyttet til vrakets tilstand og grunnforholdene rundt vraket. Samtidig viste undersøkelsene tydelig begrensningene ved å basere seg på fjernmåling alene. Kystverket vurderte på denne bakgrunn at de viktigste gjenværende usikkerhetene kun kunne reduseres gjennom fysiske undersøkelser av kjølkonstruksjonen. Resultatene fra Tokt 1 dannet derfor grunnlaget for planleggingen av Tokt 2, hvor hovedmålet var å etablere tilgang til kjølkassene og undersøke kvikksølvlasten direkte.



Figur 12 Oversiktsbilde (fotogrammetri) av vrakposisjonen for U-864

Bildene nedenfor viser fotogrammetri av henholdsvis forseksjonen og akterseksjonen.



Figur 13 Fotogrammetri av forskipet av vraket etter U-864



Figur 14 Fotogrammetri av akterskipet av vraket etter U-864

5.4 Inspeksjon av kjøl og kvikksølvbeholdere (Tokt 2a og 2b)

5.4.1 Formål

Tokt 1 ga et bedre grunnlag for å forstå vrakets tilstand og grunnforholdene rundt vraket. De mest sentrale spørsmålene knyttet til kjølkassene, kvikksølvbeholderne og forekomsten av frittflytende kvikksølv kunne imidlertid ikke besvares uten fysiske inngrep i vraket.

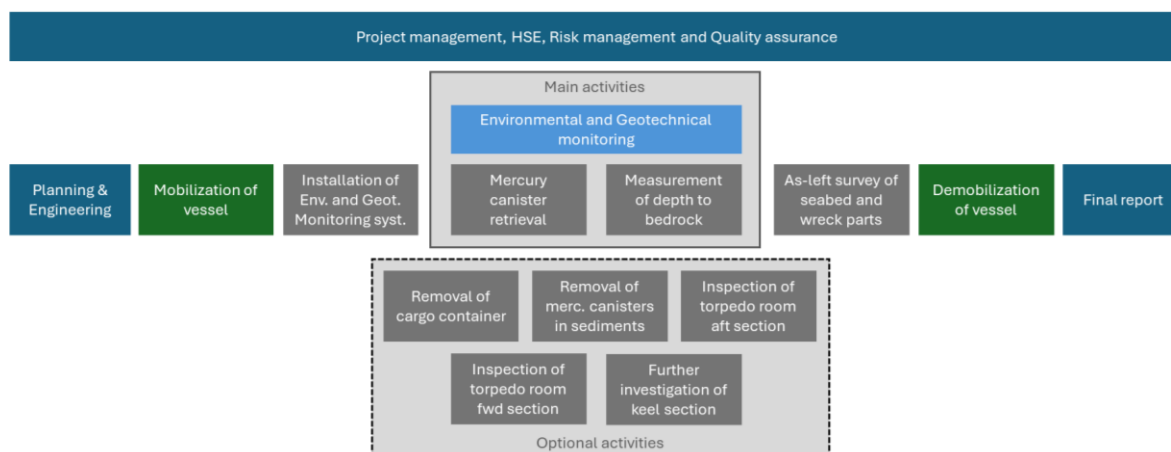
Formålet med Tokt 2 var derfor å etablere tilgang til kjølkonstruksjonen og undersøke forhold som tidligere ikke hadde vært tilgjengelige for inspeksjon. Undersøkelsene skulle gi ny kunnskap om:

- tilstanden til kjølkassene
- tilstanden til kvikksølvbeholderne
- forekomsten av frittflytende metallisk kvikksølv
- praktisk tilgang til kjølkassene
- spredning av kvikksølv ved arbeid på vraket
- gjennomførbarheten av et eventuelt fremtidig tiltak.

5.4.2 Tokt 2a

Tokt 2a ble igangsatt av Reach Subsea AS våren 2026. Arbeidet omfattet etablering av miljøovervåking, overvåking av vrakets stabilitet og forberedelser til de planlagte inngrepene i vraket. Dårlige værforhold medførte imidlertid at de sentrale undersøkelsene ikke kunne gjennomføres som planlagt.

Planlagte aktiviteter og rekkefølgen mellom disse er vist i figuren nedenfor.



Figur 15 Aktiviteter for Tokt 2 satt opp i en tidslinje for planlagt gjennomføring

Selv om de viktigste undersøkelsene måtte utsettes, ga Tokt 2a nyttig erfaring med operasjonsforholdene på lokaliteten og bekreftet betydningen av stabile værvinduer ved arbeid på vraket. Erfaringene ble lagt til grunn for den videre planleggingen av Tokt 2b.

5.4.3 Tokt 2b

Tokt 2 ble gjenopptatt av Reach Subsea AS i juni 2026, og omtales som tokt 2b. Formålet med toktet var uendret. Resultatene er dokumentert i sluttrapporten fra Reach Subsea /V21/.

Tilgang til kjølkassene

Etter sugemudring langs babord side av forseksjonen ble det etablert tilgang til kjølkonstruksjonen. Arbeidet viste at dette var mulig, men betydelig mer tidkrevende enn planlagt. Steinblokker, vrakdelar og krevende grunnforhold økte både tidsforbruket og kompleksiteten i operasjonen.

Etter at kjølplaten var fjernet ble seks kjølkasser gjort tilgjengelige for inspeksjon. Dette var første gang siden vraket ble lokalisert i 2003 at det ble etablert direkte tilgang til kjølkassene.

Kjølkassens innhold

Inspeksjonene viste at kjølkassene hadde ulikt innhold. I flere av kjølkassene ble det observert kvikksølvholdig slam, stein og glass, trevirke og annet materiale. I de bakerste kjølkassene ble det identifisert kvikksølvbeholdere i kombinasjon med treverk. Dette var første gang kvikksølvbeholdere ble observert direkte inne i kjølkonstruksjonen. Stålet inne i kjølkassen var dekket av et svart materialet som ved analyse har vist seg å trolig være jernsulfid.



Figur 16 Kjølkassene etter at kjølplaten var fjernet

Tilstand på kvikksølvbeholderne

Fra én kjølkasse ble 22 av 24 kvikksølvbeholdere tatt opp for nærmere undersøkelser. De to siste beholderne fremstod som rustet fast i konstruksjonen og lot seg ikke fjerne.

Alle de intakte beholdere var smidd, mens de korroderte beholdere var sveiset. Tre av de sveisede beholdere var fortsatt fulle ved opptak, men begynte å lekke under håndtering.

Resultatene viser at lasten i dag består av en kombinasjon av intakte beholdere, beholdere i ulik grad av nedbrytning og frittflytende metallisk kvikksølv.

Observasjonene tyder på at den aktre delen av kjølkassen kunne inneholde et tilsvarende antall beholdere. For å få tilgang til disse ville det vært nødvendig med ytterligere mudring. På grunn av usikkerhet knyttet til spredning av kvikksølv ved slike arbeider ble det ikke gjennomført ytterligere inngrep i dette området.



Figur 17 Uttak av kvikksølvbeholder fra kjølkassen

Frittflytende metallisk kvikksølv

Et av de viktigste funnene under Tøkt 2b var dokumentasjonen av frittflytende metallisk kvikksølv. Det ble observert utsiving av frittflytende metallisk kvikksølv ved demontering av kjølplaten.

Det ble også observert store mengder kvikksølvperler i sedimentene rundt arbeidsområdet. Funnene viser at kvikksølv ikke bare finnes i beholdere inne i kjølkassene, men også som frittflytende metallisk kvikksølv både i kjølkassene og i sedimentene rundt vraket.

Spredning av kvikksølv

Miljøovervåkingen viste at arbeid på vraket medfører spredning av kvikksølv. Det ble registrert transport av kvikksølv ut av operasjonsområdet under arbeidene, og erfaringene viste at slik spredning er vanskelig å unngå fullt ut ved fysiske inngrep i vraket. Det ble estimert at om lag 3,2 kg kvikksølv ble transportert ut av operasjonsområdet i løpet av kampanjen.

Undersøkelsene viste også at en del av transporten ikke bare var knyttet til partikkelbundet spredning, men også til løst eller frittflytende kvikksølv i vannfasen. Dette representerer et viktig forhold ved vurdering av eventuelle fremtidige tiltak.

Grunnforhold og dybde til fjell

Det ble gjennomført ni målinger av dybde til fjell ved både baug- og akterseksjonen. Målingene viste varierende dybde til antatt fjell, fra om lag 1 til over 4 meter. På én lokalitet ved baugseksjonen ble det registrert mer enn 4 meter sedimenter uten at berggrunn ble påtruffet, mens i det punktet der lavest dybde ble målt ble det også målt en dybde på mer enn 3 meter. Kartleggingen ga bedre forståelse av grunnforholdene rundt vraket. Samtidig gjenstår usikkerhet knyttet til enkelte målinger, blant annet fordi metoden ikke med sikkerhet kan skille mellom fast fjell og større steinblokker.

5.4.4 Erfaringer med gjennomføring av tiltaket på U-864

Betydningen av undersøkelsene

Undersøkelsene i 2025 og 2026 har gitt det mest verdifulle kunnskapsgrunnlaget om U-864 siden vraket ble lokalisert. Gjennom kartlegging, inspeksjoner og inngrep i vraket er flere sentrale usikkerheter redusert, samtidig som undersøkelsene har avdekket forhold som har direkte betydning for planlegging og gjennomføring av fremtidige tiltak.

Tokt 1 ga et forbedret datagrunnlag gjennom etablering av detaljerte fotogrammetriske modeller av vrakdelene og sjøbunnen rundt vraket. Tokt 2 demonstrerte i praksis hvordan tilgang til kjølkonstruksjonen kan etableres, og ga samtidig ny kunnskap om tilstanden til de undersøkte kjølkassene, kvikksølvbeholderne og forekomsten av fritt kvikksølv. Erfaringene gir et betydelig bedre grunnlag for vurdering av risiko, kostnader og gjennomførbarhet enn det som tidligere har vært tilgjengelig.

Tilgang til kjølkassene

Undersøkelsene viste at det er mulig å etablere tilgang til kjølkassene ved målrettet fjerning av sedimenter og demontering av kjølplater. Metoden ga tilgang til flere sammenhengende kjølkasser og gjorde det mulig å hente ut både kvikksølvbeholdere og fritt kvikksølv ved hjelp av ROV.

Erfaringene viste samtidig at fjerning av hele kjølplaten ga vesentlig bedre tilgang enn etablering av mindre inspeksjonsåpninger. Ved å fjerne en kjølplate med lengde om lag 4,2 meter ble det etablert tilgang til seks kjølkasser.

På bakgrunn av erfaringene fra Tokt 2b vurderes tilgang fra den ene siden av vrakdelen som den eneste metoden som så langt er demonstrert i praksis. Mudring fra motsatt side på forskipet ville medført betydelig større mudringsmasser og lenger tid, samt større utfordringer til vrakets stabilitet.

Det ble ikke gjennomført undersøkelser av muligheten for å etablere tilgang gjennom kjølens senterplate. Det foreligger derfor ikke et erfaringsgrunnlag for å vurdere gjennomførbarheten av en slik løsning. Basert på vrakets konstruksjon kan det imidlertid ikke utelukkes at dette

kan være en mulig tilnærming. Eventuelle slike løsninger må vurderes gjennom egne analyser og praktiske forsøk.

Mudring som metode

Tokt 2b demonstrerte at mudring er en gjennomførbar metode for å etablere tilgang til kjølkonstruksjonen. Samtidig viste undersøkelsene at metoden er teknisk krevende og vesentlig mer ressursintensiv enn lagt til grunn ved planleggingen.

Mudringsarbeidene ble påvirket av steinblokker, harde masser, komplekse grunnforhold og tekniske utfordringer med graveutstyret. Det ble observert steiner med størrelse opp mot flere tonn i det området som måtte graves ut for å etablere tilgang til kjølen.

Produktiv mudringstid var om lag 30 timer, mot 17 timer lagt til grunn i operasjonsplanen. Det økte tidsforbruket skyldtes blant annet forekomst av større steinblokker, harde masser og utfordrende grunnforhold. Erfaringene viser at lokale forhold kan ha betydelig innvirkning på framdriften ved arbeid tett på vraket. Samtidig er avviket av en størrelsesorden som normalt håndteres gjennom tidsreserver og usikkerhetsmarginer i planlegging av subseaoperasjoner.

Gjennomføringen krever omfattende vurderinger av vrakstabilitet, kontinuerlig overvåking av vrakbevegelser og kan kreve lokale stabiliserende tiltak, eksempelvis bruk av steinfylte sekker (rockbags).

Arbeidene viste også at det etableres relativt store utgravningsområder for å oppnå nødvendig tilgang, noe som får betydning for tidsbruk, kostnader og risiko for spredning av forurensning.

Frittflytende kvikksølv og konsekvenser for fremtidige inngrep

Et av de viktigste funnene fra Tokt 2b var forekomsten av frittflytende metallisk kvikksølv både inne i kjølkassene og i sedimentene utenfor vraket.

Det ble observert at kvikksølv ble frigjort når sedimenter, kjøplate og konstruksjonsdeler ble forstyrret. Allerede ved den første mekaniske påvirkningen av kjøplaten ble det observert utsiving av kvikksølv fra en kjølkasse.

Det ble videre observert store mengder kvikksølvperler i sedimentene rundt arbeidsområdet, stedvis flere meter fra vraket. Observasjonene viste at kvikksølvet ikke samlet seg i tydelige lommer som enkelt kunne samles opp igjen, men fordelte seg i sedimentene og forsvant delvis ned mellom løsmasser og steiner.

Funnene tilsier at tiltak som innebærer løfting, rotasjon eller annen vesentlig bevegelse av vrakdelene kan medføre økt risiko for frigjøring og spredning av kvikksølv. Dette bør inngå som en sentral premiss ved vurdering av eventuelle fremtidige tiltak.

Stabilitetsovervåking

Undersøkelsene viste at overvåking av vrakets stabilitet kan gjennomføres med god presisjon ved hjelp av moderne sensorer.

Det ble registrert én mindre bevegelse i forbindelse med utsetting av graveutstyr på sjøbunnen. Siden det ikke ble registrert ytterligere utslag under grave- og

uttaksoperasjonene, kan det ikke utelukkes at registreringen skyldtes midlertidig måleteknisk støy snarere enn en faktisk bevegelse.

Erfaringene viser at kontinuerlig stabilitetsovervåking bør være en integrert del av fremtidige operasjoner på vraket.

Miljøovervåking og begrensning av kvikksølvspredning

Den planlagte løsningen med faste bøyer for turbiditetsmålinger viste seg ikke egnet for forholdene ved Fedje. Utstyret og metoden var ikke egnet for strømforholdene på stedet og medførte at systemet ikke kunne installeres som planlagt, og prosjektet måtte gå over til ROV-baserte målinger.

ROV-baserte målinger ga større fleksibilitet og gjorde det mulig å følge spredningsplumen mer aktivt. Samtidig medførte løsningen konkurranse om ROV-kapasitet mellom miljøovervåking og operasjonelle aktiviteter. For et fremtidig tiltak bør en derfor vurdere et eget fartøy og minimum ett eget ROV-system for miljøovervåkning.

Målingene av partikler (turbiditet) og kvikksølv i vannmassene under tokt 2b viste at turbiditet ikke alene forklarer variasjonen i målt kvikksølvkonsentrasjon i de samme vannmassene. Det var likevel en grad av sammenheng mellom høye kvikksølvkonsentrasjoner og høy turbiditet. Dette gjorde at man kunne bruke målingene av turbiditet til å modellere spredningen av kvikksølv under arbeidene ved vraket.

Den planlagte container- og filterløsningen fungerte ikke som forutsatt under operasjonen. Erfaringene indikerer at samspillet mellom sedimentegenskaper og stein, hydraulisk kapasitet og systemutforming var mer komplekst enn forutsatt i planleggingen. For å opprettholde nødvendig funksjon i mudringssystemet ble filterenheten koblet fra. Konsekvensen var at operasjonen måtte gjennomføres uten filtercontainer, noe som medførte at kvikksølvspredningen ble større enn planlagt.

Erfaringene viser at fremtidige arbeider må baseres på kvalifiserte og dokumenterte løsninger for håndtering av mudrede sedimenter og begrensning av kvikksølvspredning. Tokt 2b viste at funksjonalitet som fremstår tilfredsstillende på konseptstadiet ikke nødvendigvis fungerer som forutsatt i operasjon. Teknologikvalifisering av kritiske systemer før gjennomføring av et hovedtiltak vurderes derfor som en grunnleggende forutsetning.¹

Teknologi og utstyr

Undersøkelsene synliggjorde behovet for grundig kvalifisering og testing av spesialutstyr før mobilisering. Flere av de planlagte tekniske løsningene fungerte ikke fullt ut som forutsatt under de faktiske driftsforholdene, og enkelte løsninger måtte tilpasses underveis eller ble ikke tatt i bruk. Samtidig viste arbeidet at det var mulig å utvikle og implementere alternative tekniske løsninger i løpet av operasjonen. Et viktig eksempel var utviklingen av Mercury Recovery Tool (MRT), som muliggjorde oppsamling av om lag 21 liter frittflytende metallisk

¹ Teknologikvalifisering bør gjennomføres etter anerkjent metodikk for kvalifisering av ny eller modifisert teknologi, eksempelvis DNV-RP-A203.

kvikksølv fra kjølkassene. Erfaringene viser at spesialutstyr for denne typen operasjoner bør gjennomgå systematisk teknologikvalifisering før mobilisering, samtidig som det må planlegges for nødvendig redundans i kritisk utstyr og reservedeler. Selv mindre tekniske feil kan få betydelig innvirkning på framdriften i et komplekst operasjonsmiljø.

Ingeniørarbeid og planlegging

Flere av løsningene som ble benyttet offshore måtte utvikles, tilpasses eller videreutvikles underveis i kampanjen. Erfaringene understreker betydningen av en omfattende ingeniør- og planleggingsfase før gjennomføring av et eventuelt hovedtiltak.

Særlig gjelder dette:

- kvalifisering og testing av kritisk utstyr,
- utvikling og verifikasjon av metoder for miljøovervåking,
- håndtering og oppsamling av flytende kvikksølv,
- detaljert modellering av vraket og kjølkonstruksjonen,
- planlegging av tilgang til kjølkassene og gjennomføring av operasjoner i vrakområdet.

Erfaringene fra Tokt 2b viser også betydningen av et detaljert digitalt modellgrunnlag for vraket og omkringliggende strukturer. Et fremtidig tiltak vil ha nytte av 3D-modellgrunnlaget som kan benyttes direkte i prosjektering, operasjonsplanlegging, metodeutvikling og verifikasjon av tekniske løsninger.

Værvhengighet og fleksibilitet

Tokt 2a og Tokt 2b bekreftet at gjennomføringen er svært avhengig av vær- og strømforhold.

Arbeidet måtte avbrytes i mars 2026 etter langvarige perioder med værforhold utenfor de operative grensene. Erfaringene illustrerer betydningen av tilstrekkelig tid, fleksibilitet og robuste operasjonsplaner.

Værsensitive operasjoner bør så langt som mulig planlegges gjennomført i perioder av året med størst sannsynlighet for stabile forhold. Samtidig bør kontraktstrategi, fartøydisponering og bemanning legge til rette for at operasjoner kan avbrytes og gjenopptas uten vesentlige konsekvenser for framdrift, kostnader eller sikkerhet.

Oppsummering

Tokt 2b viste at tilgang til kjølkonstruksjonen er operasjonelt gjennomførbart, men at arbeidene er teknisk komplekse, værvhengige og ressurskrevende.

Undersøkelsene har redusert flere viktige usikkerheter knyttet til tilgang til kjølkassene, håndtering av kvikksølvbeholdere, oppsamling av frittflytende metallisk kvikksølv og gjennomføring av tiltak i nær tilknytning til vraket. Samtidig viste operasjonen at flere spesialutviklede tekniske løsninger ikke fungerte fullt ut som forutsatt under de faktiske driftsforholdene, og at teknologikvalifisering, testing og operasjonell verifikasjon av kritiske systemer vil være en viktig forutsetning for et eventuelt hovedtiltak.

Erfaringene har også synliggjort betydningen av robust miljøovervåking, håndtering av kvikksølvspreddning, oppfølging av stabilitetsforhold samt tilstrekkelige tidsreserver og

fleksibilitet for å håndtere værrelatert usikkerhet. Samlet gir Tokt 2b et vesentlig bedre grunnlag for videre planlegging, kostnadsestimering og risikovurdering enn det som tidligere har vært tilgjengelig.

5.5 Undersøkelser om plassering av og tilstand på ammunisjon

5.5.1 Innledning

Det er overveiende sannsynlig at U-864 hadde torpedoer for selvforsvar, samt ammunisjon til artilleri, luftvern og håndvåpen da ubåten ble senket. Denne vurderingen bygger på ubåtens oppdrag og det faktum at andre verdenskrig fortsatt pågikk. Det er ikke funnet lastepapirer som presist beskriver mengde og type torpedoer og annen ammunisjon om bord da U-864 forlot Bergen. Tidligere utredninger har derfor basert vurderingene av ammunisjonslasten på tilgjengelige historiske kilder.

I oppdragsbrevet fra NFD til Kystverket er det presisert at denne utredningen skal fremskaffe mer informasjon om type, mengde, tilstand og plassering på ammunisjon og eksplosiver som er å finne om bord i vraket av U-864. Dette er nødvendig for bedre å kunne vurdere risikoen for en eventuell detonasjon av torpedoer under gjennomføring av tiltak, og på lang sikt etter gjennomført tiltak. Konsekvensen av en slik detonasjon er antatt å medføre spredning av kvikksølvforurensede sedimenter, noe som vil medføre negative miljøkonsekvenser. Detonasjonen kan også skade personell, utstyr og/eller fartøy under et pågående tiltak.

5.5.2 Tidligere utredninger om ammunisjon

Helt siden Sjøforsvaret lokaliserte vraket etter U-864 i 2003, har type, mengde, plassering og tilstand for ammunisjon og eksplosiver blitt vurdert gjennom ulike studier og informasjonskilder.

I perioden 2007-2008 gjennomførte DNV en utredning av muligheten for å heve vrakdelene. Som del av dette arbeidet ble det utarbeidet en tilleggsstudie /D12/ for kartlegging av ammunisjon og eksplosiver. Kartleggingen bygget primært på åpne kilder om tysk ubåtkrigføring under andre verdenskrig, samt e-postkorrespondanse med tidligere sjef for U-861, Jürgen Oesten. Basert på dette materialet ble det anslått at U-864 hadde full ammunisjonslast, tilsvarende inntil 27 torpedoer, i tillegg til ammunisjon til 105 mm kanon og luftvernartilleri (37 mm og 20 mm). Minedykkerkommandoen (MDK), som deltok som fagmiljø i utredningen, vurderte den gang at selvdetonasjon av torpedoene i forbindelse med tildekking eller heving kun var teoretisk mulig. Risikoen for detonasjon ved heving av vraket ble derfor vurdert som svært lav. I senere utredninger har dette estimatet for mengde torpedoer og ammunisjon om bord i stor grad vært lagt til grunn som dimensjonerende for risikovurderingene. I ekspertutvalgets rapport fra 2022 /D06/ vises det imidlertid til en annen kilde som antyder at antall torpedoer kan være 24, som er noe lavere enn opprinnelig antatt.

Ekspertutvalget viser videre til en rapport fra Forsvarsmateriell (FMA) fra 2019 /D13/, hvor sannsynligheten for detonasjon ved heving av vraket ble anslått til å være mellom 10^{-5} og 10^{-3} . Utvalget vurderte dette som et risikonivå som ikke ville være akseptabelt for sammenlignbare operasjoner i olje- og gassnæringen, og frarådet på dette grunnlaget heving

av vraket som tiltak. Samtidig fremgår det av FMA-rapporten at det ikke finnes kjente tilfeller der sunket ammunisjonslast tilsvarende U-864 har detonert spontant, og at sannsynligheten for detonasjon i nullalternativet (dagens situasjon) er anslått til om lag 10^{-7} per år. Det fremgår også at ved tildekking vil vekten av massene kunne medføre at vrakdelene kollapse noe tidligere enn uten tildekking. Samtidig vil vraket være bedre beskyttet mot ytre påvirkninger. FMA vurderte også at jordskjelv ikke vil kunne tilføre tilstrekkelig energi til å utløse detonasjon av høyeksplosiver som torpedoer.

Antall torpedoer i vraket har i tidligere utredninger ikke vært utslagsgivende for valg av tiltak. Det avgjørende har vært at det trolig er flere torpedoer om bord, og detonasjon ikke kan utelukkes. Effekten av en eventuell detonasjon har ikke vært kvantifisert, kun kvalitativt vurdert. I tidligere vurderinger er det lagt til grunn at en detonasjon kan medføre store materielle skader på utstyr om en eller flere torpedoer detonerer under et tiltak ved vraket og kunne spre kvikksølvforurensede sedimenter, også etter tildekking /D04/.

5.5.3 Nye utredninger og undersøkelser på vraket

Ett av formålene med Kystverkets utredning har vært å fremskaffe bedre kunnskap om risiko knyttet til eventuell detonasjon av torpedoer i vraket. Dette er nødvendig for å kunne vurdere i hvilken grad eksplosjonsrisiko påvirker muligheten for å gjennomføre tiltakene som denne utredningen omfatter, det vil si tildekking og heving av kvikksølvlast.

Kystverket har innhentet bistand fra Forsvarsdepartementet (FD) innen fagområdet ammunisjon og eksplosiver med formål å vurdere type, tilstanden på og plassering av ammunisjon i vrakdelene. Oppdraget ble videreført til Forsvaret, Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) og Forsvarsmateriell (FMA), som har bidratt i arbeidet 0106/. Fra Forsvaret har Sjøforsvaret, representert ved Minedykkerkommandoen (MDK), og Forsvarets operative hovedkvarter (FOH), deltatt. Bistanden har omfattet faglige råd knyttet til sikker gjennomføring av undersøkelsene på vraket, og vurdering av risiko for detonasjon av torpedoer.

Kystverket sendte en presisering av oppdraget til FD med underliggende etater, hvor det fremgikk at det ikke skulle utredes alternative tiltak utover heving av kvikksølvlast og tildekking av vrakdelene. Årsaken var at dette var utenfor Kystverkets mandat, og at dette ville kreve en særskilt bestilling fra NFD /V23/.

FMA leverte 28. august 2025 en rapport /V07/ som svar på spørsmål Kystverket hadde stilt FMA, FFI og Forsvaret /V06/. I rapporten skriver FMA at «I likhet med Ekspertutvalget har Forsvarsmateriell vurdert tre ulike hovedalternativer som bakgrunn for vår risikovurdering». Dette omfatter også alternativet «heving av vrak med last og deretter tildekking av sjøbunn». Tilsvarende alternativ omtales i ekspertutvalgets rapport /D06/ som heving av vrak og last etterfulgt av tildekking, og tilsvarer alternativ 2 Heving av vrak i KVVU.

Kystverket vurderer at de faglige vurderingene av ammunisjon, eksplosivrisiko og mulige konsekvenser ved tildekking som fremkommer i FMAs rapport er relevante for de tiltakene som omfattes av oppdraget, og disse vurderingene er derfor inkludert i det samlede kunnskapsgrunnlaget. FMAs anbefaling om heving av vrak med last bygger imidlertid på et alternativ som ligger utenfor rammene for den foreliggende utredningen. Kystverket har derfor ikke vurdert eller tatt stilling til denne anbefalingen som del av rapportens konklusjoner.

I samme rapport rettet FMA kritikk mot enkelte tidligere utredninger og vurderinger, blant annet knyttet til bruk av historiske kilder, vurderinger av ammunisjon om bord på U-864 og betydningen dette har hatt for tidligere anbefaling av tiltak. Kystverket deler ikke FMAs vurdering av at dette har hatt avgjørende betydning for tidligere anbefalinger om tiltak. Tidligere anbefalinger har i stor grad vært basert på helhetlige vurderinger av miljørisiko, gjennomførbarhet, fleksibilitet og kostnader.

I forbindelse med planlegging og gjennomføring av Tokt 1 og Tokt 2 har FMA, FFI og Forsvaret vurdert planlagte aktiviteter opp mot risiko for detonasjon av eksplosiver /V07, V08, V09/. Deres innspill har vært lagt til grunn ved planleggingen av undersøkelsene, og har også medført at enkelte planlagte aktiviteter ikke har vært gjennomført.

Rapporten fra FMA identifiserte flere risikoforhold knyttet til detonasjon av torpedoer, og vurderingene skilte seg på enkelte områder fra vurderingene som ble gitt av Forsvaret og FFI. FMA «fraråder alle alternativer for tildekking uten først å ha fjernet store og middels store eksplosiver fra vrakdelene». Kystverket vurderte derfor at det var behov for å få nærmere belyst de problemstillingene som ble løftet frem, særlig knyttet til sannsynlighet for og konsekvensene av en eventuell detonasjon og de underliggende mekanismene som kan påvirke risikoen. Dette omfatter blant annet til betydningen av korrosjon, aldring av eksplosiver, fysiske belastninger, trykkpåvirkning og andre relevante fysiske og kjemiske forhold.

FFI ble derfor gitt i oppdrag å utrede sannsynlighet for og konsekvens av en detonasjon mer i detalj. Deres vurdering var at det var behov for å gjennomføre mer detaljerte beregninger og simulering av virkningen av en detonasjon. FFIs oppgaver omfattet både undersøkelser og vurderinger av sannsynlighet for en detonasjon og hvilke konsekvenser, i form av spredning av kvikksølvforurensning, som kan oppstå ved en detonasjon av torpedoer under en tildekking.

Nye vurderinger av mengde og type ammunisjon og eksplosiver

Historiske kilder har vært det viktigste grunnlaget for å vurdere mengder og type ammunisjon og eksplosiver som var om bord i U-864 da ubåten ble torpedert. Lasten er imidlertid ikke verifisert gjennom visuell inspeksjon eller fysiske funn i vraket.

FMA oversendte til Kystverket en rapport utarbeidet av marinehistorikeren Dr. Axel Niestle om ammunisjon og eksplosiver om bord på U-864 /D14/. Niestle har gjort betydelig forskning på tyske ubåter fra andre verdenskrig basert på blant annet tyske arkiver. Niestle påpeker at det ikke er funnet lastedokumenter som entydig beskriver ammunisjonslasten på U-864 da den forlot Bergen, men har på grunnlag av tilgjengelig dokumentasjon gjort en vurdering av hva ubåten mest sannsynlig hadde av last ombord.

Kystverket vurderer Niestlés arbeid som det mest troverdige og best dokumenterte informasjonen som i dag er tilgjengelig om ammunisjonslasten. Denne vurderingen legges derfor til grunn for de videre analysene. Samtidig understrekes det at både mengde, type og plassering av ammunisjon og eksplosiver fortsatt er beheftet med usikkerhet inntil dette kan verifiseres gjennom direkte observasjoner i vraket. Niestle vurderer at U-864 trolig hadde åtte torpedoer om bord, hvorav seks forre torpedorom og to i aktre. Dette er vesentlig færre enn tidligere anslag på opptil 27 torpedoer. Han peker videre på at torpedoene trolig var av typen G7e (TIII) og G7es (TV) med elektrisk fremdrift. FMA påpeker at G7e(TV) har et tennapparat

av typen Pi4c. Både FMA og FFI skriver at dette er særlig relevant fordi Pi4c mangler en ekstra sikkermekanisme i form av et fysisk skille mellom eksplosivene og tennkjeden utgjør /V02/.

Niestle vurdere også at lastekontainerne under casingen mest sannsynlig ikke inneholdt torpedoer, men annen last. Videre ble det ansett som sannsynlig at ubåten var lastet med et begrenset antall 50 kg flybomber, granater og håndvåpenammunisjon.

For de videre vurderingene av risiko knyttet til ammunisjon og eksplosiver legger Kystverket til grunn Niestles vurderinger av antall og type. Dette er også i samsvar med de forutsetningene som er benyttet i FFIs analyser av detonasjonssannsynlighet og konsekvens.

Verifisering av antall og type torpedoer

Torpedoene representerer den største eksplosivrisikoen i vraket. Det har derfor vært et mål å verifisere visuelt antall og type torpedoer gjennom visuell inspeksjon, for å gi et bedre grunnlag for vurdering av sannsynlighet for detonasjon og eventuelle forholdsregler som må gjøres ifm. tiltak på vraket.

En slik verifikasjon er imidlertid krevende. Ifølge Niestlés vurderinger er trolig seks av de åtte torpedoene lastet i torpedorørene: fire i de fremste torpedorørene og to i de aktre, samt to på dørken i forre torpedorum. Det begrenser muligheten for direkte observasjon. Torpedoer som eventuelt ligger lagret på dørken i torpedorummet er derimot noe lettere tilgjengelig, men vil fortsatt kreve adkomst til dette rommet.

Under Tokt 1 ble det gjort forsøkt på en visuell inspeksjon med et videokamera plassert på en lanse. Fra tidligere undersøkelser fantes det allerede en åpning inntil torpedorummet i akterseksjonen. FMA frarådet å lage en åpning inn til torpedorummet i forseksjonen, blant annet for å unngå mekanisk påkjenning av torpedoer og fordi vanninntrenging kunne påvirke tilstanden til eksplosivene.

I stedet ble kameraet ført inn gjennom bruddåpningen i akterseksjonen. Forsøket ga imidlertid ikke tilstrekkelig informasjon på grunn av dårlig sikt, oppvirkede sedimenter, kabler og vrakrester som hindret innsyn. Undersøkelsene ga derfor ikke grunnlag for å bekrefte eller avkrefte verken antall eller type torpedoer i vraket.

Sympatisk detonasjon

Det er lagt til grunn at U-864 trolig hadde fire av torpedoene i forre torpedorør, og to torpedoer i torpedorørene akterut. Avstanden mellom torpedoene i torpedorørene er liten, og det har derfor vært et sentralt spørsmål om detonasjon av en torpedo også vil føre til detonasjon av flere andre torpedoer. Dette omtales som sympatisk detonasjon.

Både FMA og FFI mener at det er betydelig sannsynlighet for sympatisk detonasjon dersom en torpedo i et torpedorør detonerer. FFI sine vurderinger er i samsvar med en rapport utarbeidet av MSIAC (et NATO-finansiert kompetansesenter for ammunisjonssikkerhet) på oppdrag fra FMA.

Kystverket legger derfor til grunn at dersom en torpedo i torpedorørene skulle detonere, så vil dette kunne avsette også de andre torpedoene lastet i torpedorørene. Dette legges derfor til grunn for analyse av konsekvens ved detonasjon etter tildekning.

Konsekvens av detonasjon av torpedoer ombord

FFI har som nevnt over gjennomført forenklede simuleringer av konsekvenser av detonasjon av torpedoer i forskipet både før og etter at vraket er tildekket. For Kystverket har det vært viktig å få vurdert disse scenariene fordi resultatene har betydning for vurderingen av om tildekking av vrak og forurensset sjøbunn fortsatt vil være et alternativ som kan gjennomføres ut fra miljørisiko. FFI valgte i sin modellering å legge informasjon mottatt fra MSIAC til grunn med en detonasjon av i alt fire torpedoer i forseksjonen av ubåten (sympatisk detonasjon) /D28/.

Resultatene viser at mengden kvikksølv som kan transporteres opp i vannsøylen av en slik detonasjon er svært begrenset (< 5 kilo) etter at tildekking er gjennomført. Forurensede sedimenter kan bli løftet lokalt, rundt 15 meter opp, men vil raskt sedimentere igjen. I stillestående vann er effekten beregnet å være begrenset til et område rundt vraket med en radius på om lag 10 meter. Eventuelle havstrømmer kan påvirke utbredelsen noe, avhengig av partikkelstørrelse og lokale strømforhold.

Dersom detonasjonen inntreffer før tildekking er gjennomført, så viser simuleringene at opp mot 160 kg masser vil kunne løftes opp med gassboblen til opp mot 50 meter. Men mengden kvikksølv som transporteres med havstrømmen vil i all hovedsak synke til bunns igjen innenfor tiltaksområdet som er planlagt tildekket.

Ettersom kjølkassene ikke er plassert under torpedorørene vil disse i mindre grad bli berørt av en detonasjon.

Selv i et konservativt scenario med flere samtidige detonasjoner vurderer FFI spredningen av kvikksølv til å være flere størrelsesordener mindre enn da ubåten ble torpedert i 1945.

Sannsynligheten for detonasjon av torpedoer

Sannsynligheten for detonasjon av torpedoene, både uten ytre påvirkninger og som følge av mekaniske belastninger, har vært vurdert av FMA, FFI og Forsvaret. Vurderingene er ikke helt sammenfallende. Utfordringen ligger naturlig nok i å gi et presist estimat for en hendelse som forventes å inntreffe svært sjelden, og hvor tilgangen til relevante observasjoner og erfaringsdata er begrenset.

Som beskrevet i kapitlet over viser FFIs analyser at de miljømessige konsekvensene av en sympatisk detonasjon fra fire torpedoer etter tildekking er begrensede. Dette innebærer at usikkerheten knyttet til sannsynligheten for en detonasjon får mindre betydning for den samlede vurderingen av miljørisikoen enn dersom konsekvensene hadde vært større. Kystverket har mottatt vurderinger om sannsynlighet for detonasjon fra FMA, Forsvaret ved MDK/FOH og FFI. Kystverket vurderer at FFIs arbeid gir det mest detaljerte og etterprøvbare grunnlaget for å vurdere risiko knyttet til eksplosiver i vraket. Analysene bygger på gjennomgang av torpedotypens oppbygging og virkemåte, vurderinger av relevante fysiske og kjemiske prosesser, modelleringer og beregninger samt kvalitative vurderinger der kvantifisering ikke har vært mulig.

FFI har blant annet vurdert hvordan torpedoene kan påvirkes av trykk, bevegelser og deformasjon av vraket, og hva konsekvensene kan bli dersom en detonasjon skulle skje. Tennmekanismen er også vurdert mht. korrosjon av DNV /V14/ og lagt til grunn av FFI.

FFI konkluderer med at det er liten sannsynlighet for at torpedoene skal detonere dersom de blir liggende i vraket, både på kort og lang sikt.

FFI skriver at «Ingen av eksplosivene vil kunne selvdetonere uten ytre påvirkning», og vurderer at eksplosivene tåler store belastninger som utvikler seg langsomt, slik som ved sammensynking av masser og gradvis svikt av vraket. Sannsynligheten for detonasjon kan reduseres ved at vraket fylles med fin granulær masse (eksempelvis sand). FFI vurderer videre at torpedolasten vil tåle de bevegelsene som kan forventes under inspeksjon, tømning av kjølkasser og tildekking. Den viktigste operative begrensningen er at «bevegelser av vrakdelene som gir kraftige direkte støt mot torpedorørene må unngås».

Rapporten viser også at påvirkning fra for eksempel jordskjelv ikke i seg selv forventes å kunne utløse detonasjon så lenge eksplosivene ligger innesluttet i vann eller sedimenter. Eventuelle indirekte effekter, som sammenklemming eller forskyvning av masser og strukturer, vurderes å ha lav sannsynlighet for å føre til detonasjon.

Analysene bygger på modellering og konservative forutsetninger, og kompletterer tidligere vurderinger fra forsvarssektoren.

Samlet viser FFIs analyser at sannsynligheten for detonasjon er lav, samtidig som konsekvensene av en eventuell sympatisk detonasjon etter tildekking vurderes som begrensede. FFI påpeker videre at konsekvensene kan reduseres ytterligere gjennom utforming og dimensjonering av tildekkingen.

Kystverket vurderer derfor at selv om det fortsatt er usikkerhet knyttet til den eksakte sannsynligheten for detonasjon, er risikoen fra torpedolasten tilstrekkelig belyst av FFI, FMA og Forsvaret til å kunne inngå som en del av det samlede beslutningsgrunnlaget for valg av tiltak.

5.6 Mulighetsstudie for heving av last

Subsea7 gjennomførte på vegne av Kystverket i perioden januar til mai 2026 en mulighetsstudie av ulike metoder for å heve kvikksølvlasten fra vraket av U-864. Formålet var å vurdere gjennomførbarhet, kartlegge sentrale risikoforhold, tidsbruk og overordnet kostnadsnivå for alternative metoder for uttak og heving av kvikksølvlasten.

Studien bygger på tidligere konseptarbeid gjennomført i forbindelse med forprosjekt for heving av last (2014), oppdatert kunnskap om vrakets tilstand og havbunnsforhold, samt nyere kartlegging av vrakdelene gjennomført i 2025 og 2026. Vurderingene er gjort med utgangspunkt i etablerte prinsipper for marine operasjoner og tilgjengelig teknologi.

Fire alternative metoder for uttak av kvikksølv er vurdert. Tre av metodene er konsepter som ble utviklet i forbindelse med forprosjektet fra 2014, mens én metode ble utviklet som en del av den nye studien. For hver metode ble det gjennomført en overordnet vurdering av teknisk og operasjonell gjennomførbarhet, sentrale arbeidsoperasjoner, fartøybehov, risiko knyttet til spredning av forurensede sedimenter og kvikksølv, strukturell stabilitet i vraket, håndtering

av torpedoer og sikkerhet for personell. Videre ble det utarbeidet estimater for gjennomføringstid og kostnadsnivå (klasse 5-estimat etter AACE klassifiseringssystem²).

Studien legger til grunn bruk av fjernstyrte undervannsfarkoster (ROV) fremfor dykkere i gjennomføringen av operasjonene. Dette er begrunnet med hensyn til personellsikkerhet og kompleksiteten i arbeidsoperasjonene på aktuell vanndybde.

Det vises til vedlegg /V05/ for beskrivelse av de fire metodene og en oppsummering av konklusjoner fra mulighetsstudien. Mulighetsstudien fra Subsea7 er inkludert som et eget vedlegg /V12/.

Det understrekes at mulighetsstudien representerer en overordnet vurdering på konseptnivå. Eventuell gjennomføring av et tiltak vil kreve videre prosjektering, teknologiutvikling, testing og detaljering av operasjonelle løsninger.

5.7 Oppdaterte studier fra tidligere utredninger

5.7.1 Site-Specific Seismic Hazard Study for the Submarine Wreck U-864 Location, NORSAR

NORSAR utarbeidet en stedsspesifikk seismisk fareanalyse ved U-864 i 2019 på vegne av Kystverket. Studien tok utgangspunkt i historisk og nyere seismisitet i Sørvest-Norge, inkludert aktivitet langs Øygarden-forkastningssonen. Formålet var å etablere et grunnlag for dimensjonering av støttefylling og tildekkingen av vrakdelene.

I mai 2026 leverte NORSAR en oppdatert stedsspesifikk probabilistisk seismisk fareanalyse for lokasjonen til U-864 /V13/. Oppdateringen ble bestilt av Kystverket for å innarbeide ny kunnskap, nye jordskjelvdata og forbedrede analysemetoder som er utviklet siden 2019. Hovedformålet med analysen var å kvantifisere jordskjelvbelastningen ved vraklokasjonen som grunnlag for vurdering av stabiliteten til eksisterende og fremtidige tiltak, herunder støttefylling og tildekkingsløsninger. Analysen bygger på samme metodiske rammeverk som 2019-studien for å sikre sammenlignbarhet, men med oppdaterte data og modellforutsetninger.

Oppdateringen omfattet blant annet:

- nytt jordskjelvkataloggrunnlag frem til februar 2026
- oppdaterte modeller for jordbevegelse
- reviderte parametere for seismisk aktivitet og kildeområder
- oppdatert modellgrunnlag for beregning av seismisk fare

² AACE's klassifiseringssystem (Den internasjonale foreningen for kostnadsestimering, planlegging og kostnadsstyring (AACE International))

Resultater

Den oppdaterte analysen viser gjennomgående noe høyere beregnet jordskjelvfare enn analysen fra 2019, særlig for jordbevegelser ved korte perioder. Økningen skyldes i hovedsak oppdaterte modeller for jordbevegelser og et bredere modellgrunnlag.

Samtidig er hovedbildet av fareforholdene i stor grad uendret. Den oppdaterte analysen bekrefter derfor de overordnede konklusjonene fra 2019-studien, samtidig som den gir et mer robust faglig grunnlag for vurderingene.

Data fra regionen viser også at det etter andre verdenskrig har forekommet flere jordskjelv av moderat størrelse, med momentmagnitudo omkring 5,0-5,3. Disse hendelsene inngår i datagrunnlaget som er brukt for å beskrive den regionale seismiske aktiviteten.

Analysen gir imidlertid ikke dokumentasjon på konkrete virkninger av enkeltstående historiske jordskjelv på selve vraket. Vurderingene bygger på sannsynlighetsbaserte analyser av samlet jordskjelvakтивitet og ikke på observasjoner av dokumenterte skader ved lokaliteten.

Forbehold og usikkerhet

NORSAR understreker at analysen er beheftet med betydelig usikkerhet. Viktige forhold er blant annet:

- jordskjelvkatalogen dekker bare om lag 130 år, som er kort sammenlignet med intervallene mellom de største jordskjelvene
- jordskjelvdata inneholder usikkerhet knyttet til styrke, dybde og lokalisering
- enkelte registrerte hendelser kan være menneskeskapte
- modellering av jordskjelvkilder innebærer faglige skjønnsvurderinger
- kunnskapen om offshore-forkastninger er begrenset
- modellene for jordbevegelse er ikke utviklet spesifikt for norske forhold

Videre er lokale forhold i løsmassene ved havbunnen ikke fullt ut representert i analysen.

Betydning for U-864

På et overordnet nivå kan det legges til grunn at området over tid har vært utsatt for moderate jordskjelvb belastninger. Dette støttes også av tidligere geotekniske vurderinger, som indikerer at selv sjeldne dimensjonerende hendelser forventes å gi begrensede permanente deformasjoner, anslått til mindre enn om lag 20 cm.

Den oppdaterte analysen viser at jordskjelvb belastningen ved U-864-lokasjonen er noe høyere enn tidligere estimert, men den endrer ikke vesentlig det overordnede bildet av fareforholdene. Det er fortsatt ikke identifisert forhold som tilsier at jordskjelv utgjør en kritisk trussel mot stabiliteten til vraket eller aktuelle tiltak.

Samlet sett styrker den oppdaterte analysen kunnskapsgrunnlaget, men gir ikke grunnlag for å endre tidligere vurderinger av jordskjelv som dimensjonerende faktor for tiltak ved U-864. Eventuelle fremtidige analyser av lokale grunnforhold og videre seismisk overvåkning kan redusere usikkerheten ytterligere, men eksisterende kunnskapsgrunnlag vurderes som tilstrekkelig for de vurderingene som inngår i denne utredningen.

5.7.2 Korrosjonsstudier

I 2008 utarbeidet DNV en utredning om korrosjonsskader på kvikksølvbeholdere i kjølkasser og i sedimenter rundt U-86, *Supplementary studies, Study nr. 1: Corrosion, 2008*. Formålet med studien var å vurdere korrosjonsskadene på de stålbeholderne som inneholder metallisk (flytende) kvikksølv, som er plassert i kjølkassene på vrakdelene etter U-864, og til de beholderne som ikke ble ødelagt som følge av torpederingen. Disse ble slynget ut og ligger spredt ut i området rundt vrakdelene og er helt eller delvis sunket ned i sedimentene. Vurderingene baserte seg på beholdere som var funnet i sedimentene på vraklokasjonen og hevet. Beholdere i kjølkasser var ikke funnet på dette tidspunktet. Den overordnede konklusjonen fra utredningen var:

«Det er ikke forventet at skade som følge av korrosjon vil påvirke integriteten til skroget ved heving i løpet av de neste ti år, eller at korrosjon har forårsaket signifikant økning av kvikksølvkontamineringen av bunnsedimenter. Tildekking vil redusere fremtidig korrosjon av kvikksølvbeholderne. Ytterligere eksponering vil med tiden gi penetrering av beholderne, men akkumulering av korrosjonsprodukter på overflaten vil derved innkapsle kvikksølvet.»

Et viktig formål med tokt 2 i mars 2026 var å få bekreftet tilstanden på kvikksølvbeholderne i kjølkassen, samt vurdere integriteten til kjølkassen. Som følge av at vi ikke lyktes med å få gjennomført dette toktet, ble DNV tildelt en oppgave der de skulle foreta nye vurderinger av korrosjonsskader på kjøll og kvikksølvbeholdere i kjølkasser.

De overordnede konklusjonene til DNVs rapport /V15/ er:

- For kvikksølvbeholdere (karbonstål) som ligger i kjølkassene dypt i sedimentene, er korrosjonsraten relativt lav. Korrosjonshastigheten bestemmes først og fremst av miljøforholdene, og ikke av effekter knyttet til kvikksølv. I disse kassene antas det at miljøet er oksygenfritt og den mikrobielle aktiviteten begrenset, og som gir korrosjonshastigheter på 0,001–0,005 mm per år. Det er derfor lite sannsynlig at det vil oppstå lekkasje av kvikksølv fra disse beholderne i løpet av de neste 15 årene.
- For beholderne som befinner seg i kjølkasser nær toppen av sedimentene, utenfor kjølkassene nedgravd høyt oppe i sedimentene, forventes imidlertid høyere korrosjonshastigheter, noe som vil kunne føre til gjennomkorrosjon og hull i beholderne er å forvente.
- Den mulige galvaniske effekten av kvikksølv og kvikksølvforbindelser, på grunn av sine sterke polariserende egenskaper, betyr at effekten av galvanisk korrosjon mellom kvikksølv og karbonstål er ubetydelig.

I etterkant av at DNV leverte denne rapporten, så ble Tokt 2B gjennomført (se kapittel 5.4.3). Observasjonene man der gjorde viste at korrosjonen på kvikksølvbeholderne var betydelig høyere enn forventet. Forutsetningene som lå til grunn for DNVs vurderinger viste seg å være feil, kjølkassene som ble åpnet lå grunnere, og det har trolig vært større gjennomstrømning av sjøvann i disse enn antatt.

Med bakgrunn i oppdaterte forutsetninger for vurdering av korrosjon fra Tokt 2b så skal DNV utarbeide en oppdatert rapport. Denne er ikke ferdig når denne rapporten til NFD leveres.

6 Rammebetingelser for valg av konsept

6.1 Innledning

Rammebetingelsene for valg av konsept ble opprinnelig utredet i KVVU i 2011 og senere konkretisert i forprosjektene fra 2014.

Forprosjektet for alternativ 3 Heving av last etablerte et sett av overordnede krav knyttet til miljørisiko og gjennomførbarhet. Disse kravene bygget på kravene fra KVVU, men ble justert med utgangspunkt i den kunnskapen som forelå på tidspunktet. Kystverket har valgt å legge kravene fra forprosjektet til grunn som utgangspunkt for denne vurderingen. Kravene omfatter hensyn til miljørisiko på kort og lang sikt, samt gjennomførbarhet av tiltaket. Med miljørisiko på kort sikt menes risiko i gjennomføringsfasen, mens miljørisiko på lang sikt omfatter effekter etter at tiltaket er gjennomført og i et langsiktig perspektiv. Kravene fra forprosjektet er presentert nedenfor.

Tabell 6 Overordnede krav fra forprosjektet for Alternativ 3 Heving av last (2014)

Prioritering	Krav	Verifikasjon	Styrke i krav
1. Miljørisiko på lang sikt			
1.1	Effektmålene for håndtering av kvikksølvforurensningen fra U-864 vil benyttes som krav for å redusere den langsiktige miljørisiko fra U-864	Konsentrasjonen i overflatesedimenter og spredning av kvikksølv fra området der U-864 ligger i dag skal være så lavt at dette ikke utgjør noen risiko for opptak i organismer i området utover det som er typisk for nordlig del av Nordsjøen.	Absolutt
2. Miljørisiko på kort sikt			
2.1	Maks 30 kg kvikksølv skal spres utenfor tiltaksområdet under gjennomføring av miljøtiltak for kvikksølvforurensningen fra U-864.	Gjennomføringen skal miljøovervåkes i henhold til miljøkrav og akseptkriterier for U-864	Viktig
3. Gjennomførbarhet			
3.1	Det skal være mulig å gjennomføre tiltaket med dagens kunnskap og teknologi		Viktig
3.2	Tiltaket skal være fleksibelt med tanke på andre forutsetninger		Viktig
3.3	Utforming av tiltaket må ta hensyn til den geotekniske ustabiliteten i området		Absolutt
3.4	Utformingen av tiltaket må sikre tilgang til alle kjølkasser og at innhold i disse kan fjernes (kvikksølvbeholdere og eventuelt flytende kvikksølv som har lekket ut i og i umiddelbar nærhet av kjølkassen). Dette skal sikre en realistisk mulighet for fjerning av 50 % av kvikksølvlasten gitt den eksisterende informasjon om vraket.		Absolutt

Av kravene som ble etablert i forprosjektet vurderes krav 3.3 om geoteknisk stabilitet i hovedsak å være ivaretatt gjennom etableringen av støttefyllingen i 2016. Arbeid ved begge vrakseksjonene vurderes nå som praktisk mulig å gjennomføre.

Kystverket har i denne utredningen gjennomført nye undersøkelser og kartlegging av vraket, både gjennom visuelle inspeksjoner og fysiske inngrep. På bakgrunn av dette er tidligere rammebetingelser vurdert opp mot ny informasjon og oppdatert kunnskapsgrunnlag.

Ekspertutvalget vurderte i 2022 rammebetingelser knyttet til regulatoriske krav, samfunnsutvikling og juridiske forhold. Utvalget konkluderte med at regelverket ikke er til hinder for å deponere forurensede sedimenter innen tiltaksområdet og å la vrakdeler bli liggende igjen på sjøbunnen. Videre ble det lagt til grunn at tildekking av vrak og forurensede sedimenter kan gjennomføres innen gjeldende rettslige rammer.

Ekspertutvalget anbefalte samtidig en trinnvis gjennomføring av heving av last. Det skal underveis være mulig å avbryte hevingsoperasjon og gå over på en tildekking dersom risiko vurderes som uakseptabel, eller dersom videre uttak av kvikksølv ikke står i rimelig forhold til kostnadene. Denne anbefalingen kan ses i sammenheng med kravet om fleksibilitet i gjennomføringen av tiltaket.

6.2 Forhold som påvirker rammebetingelser

Mandatet for utredningen bygger på anbefalingene fra ekspertutvalget i 2022. Gjennom undersøkelser, kartlegging og nye analyser har Kystverket innhentet informasjon som på enkelte områder gir et bedre kunnskapsgrunnlag enn det som i tidligere utredninger har vært tilgjengelig.

I det følgende vurderes forhold som kan påvirke rammebetingelsene for et tiltak på U-864.

6.2.1 Metoder og teknologi for bruk ved et sluttiltak

I ekspertutvalgets rapport fra 2022 ble det vurdert om ny informasjon og ny teknologi kunne endre forutsetningene for å hente kvikksølv fra vraket før tildekking.

Utvalget identifiserte flere områder hvor ytterligere undersøkelser og teknologiske løsninger kunne redusere usikkerheten knyttet til gjennomførbarheten av et slikt tiltak. Flere av disse problemstillingene ble senere innarbeidet i arbeidet som Kystverket har gjennomført på oppdrag fra NFD. I kravmatrisen som ble etablert gjennom KVVU og videreført i forprosjektet, ble det lagt til grunn at tiltaket skulle kunne gjennomføres ved bruk av dagens kunnskap og teknologi. Dette var en viktig forutsetning for å sikre at et eventuelt tiltak kunne planlegges og gjennomføres med et akseptabelt risikonivå.

Gjennom markedsdialog, tekniske studier og undersøkelser som er gjennomført i 2025 og 2026, har Kystverket fått et vesentlig bedre grunnlag for å vurdere tilgjengelig teknologi og metoder for et mulig hovedtiltak. Erfaringene fra Tokt 2a og Tokt 2b viser at det finnes teknologi som muliggjør tilgang til kjølkasser, inspeksjon av vrakdeler, uthenting av kvikksølvbeholdere og annet innhold og oppsamling av frittflytende kvikksølv. Samtidig viste undersøkelsene at flere spesialtilpassede løsninger som ble benyttet vil kreve videreutvikling, modifikasjoner eller alternative tilnærminger for bruk ved en fullskala operasjon.

Mulighetsstudien gjennomført av Subsea7 viser at de vurderte metodene i hovedsak bygger på etablerte metoder og teknologi som benyttes inne subsea- og offshorenæringen. Dette gjelder blant annet mudring, løfteoperasjoner, ROV-baserte arbeidsoperasjoner og håndtering av masser på havbunnen. Det vil for enkelte operasjoner kreve tilpasning av eksisterende teknologi eller utvikling av spesialisert utstyr.

Kystverket vurderer derfor at eksisterende og dokumentert teknologi bør benyttes der dette er mulig. Dersom ny teknologi, eller eksisterende teknologi anvendt på nye bruksområder, tas i bruk, bør løsningene gjennomgå nødvendig testing og dokumentasjon, og i enkelte tilfeller bruk av teknologikvalifisering, før operasjonene gjennomføres. Erfaringene fra Tokt 2a og Tokt 2b viser at dette er viktig både for å redusere operasjonell risiko og for å sikre realistiske estimater for tidsbruk og kostnader.

På denne bakgrunn vurderer Kystverket at kravet om bruk av kjent teknologi fortsatt er gjeldende.

6.2.2 Mengder kvikksølv som det er sannsynlig å kunne heve

Tidligere krav 3.4 om at tiltaket skal sikre tilgang til alle kjølkasser og gi en realistisk mulighet for å fjerne minst 50% av kvikksølvlasten foreslås tatt ut som overordnet rammebetingelse. Kravet ble etablert i forprosjektet på et tidspunkt hvor kunnskapen om vrakets tilstand, kjølkassenes innhold og kvikksølvets plassering var vesentlig mer begrenset enn i dag.

I tråd med ekspertutvalgets anbefaling om en trinnvis gjennomføringsmodell vurderer Kystverket at resultatene fra et eventuelt hovedtiltak bør vurderes fortløpende, fremfor å knytte tiltaket til et absolutt krav om tilgang til alle kjølkasser eller en bestemt uttaksgrad. Mengden kvikksølv som faktisk kan fjernes vil derfor være et resultat av gjennomføringen av tiltaket, og ikke en overordnet rammebetingelse for at tiltaket skal kunne gjennomføres.

Det er i dette oppdraget, tilsvarende som i forbindelse med forprosjektet (2014) gjennomført beregninger av mengder kvikksølv det er mulig å heve for de ulike metoder for heving av last som er vurdert. Det vises til etterfølgende kapittel 7.4.3 for resultater av beregningene.

6.2.3 Regelverk for transport, mellomlagring, eksport og deponering av kvikksølv

Transport, mellomlagring, eksport og deponering av kvikksølv er regulert gjennom både nasjonalt og internasjonalt regelverk. For et tiltak ved U-864 vil dette blant annet omfatte krav til sjøtransport etter SOLAS-konvensjonen og IMDG koden, landtransport etter ADR-regelverket, samt regelverk for håndtering av farlig avfall. I tillegg må håndteringen av kvikksølvholdig avfall skje i samsvar med krav til emballering, merking, deklarerer mellomlagring, eksport og langtidslagring. I Norge har enkelte virksomheter tillatelse fra Miljødirektoratet eller Statsforvalteren til å motta og mellomlagre begrensede mengder kvikksølvholdig avfall. Slike virksomheter må ha nødvendige tillatelser etter forurensningsloven og være tilknyttet en verdikjede som kan ivareta videre behandling eller sluttlagring av avfallet.

Det finnes per i dag ikke anlegg i Norge for langtidslagring av metallisk kvikksølv i en størrelsesorden som er relevant for et eventuelt tiltak ved U-864. Kvikksølvholdig avfall må derfor eksporteres til godkjente behandlings- eller sluttlagringsanlegg i utlandet. Flytende

kvikksølv må normalt stabiliseres før permanent sluttlagring. Før eksport kan gjennomføres må relevante myndigheter i både eksport- og mottakerland være informert og ha gitt nødvendige godkjenninger.

Kystverket har vært i kontakt med virksomheter som har tillatelse til å mellomlagre kvikksølv i Norge for å kartlegge tilgjengelig mottakskapasitet. Tilbakemeldingene viser at flere aktører kan motta inntil 30 tonn kvikksølv ved én levering, forutsatt at de varsles i god tid slik at kapasitet for videre behandling og sluttlagring kan sikres.

Kystverket vurderer på denne bakgrunn at regelverket for transport, mellomlagring, eksport og sluttdeponering av kvikksølv ikke utgjør en begrensning for gjennomføring av et eventuelt tiltak ved U-864. Regelverket medfører imidlertid krav til planlegging, logistikk, myndighetsdialog og nødvendige godkjenninger som må innarbeides i et eventuelt forprosjekt og den videre gjennomføringsfasen.

6.2.4 Realistisk budsjett for spredning av kvikksølv under operasjonen som muliggjør heving av last

I rammebetingelsene som ble fastsatt i forprosjektene er det definert et krav til hvor mye kvikksølv som kan spres utenfor tiltaksområdet. Med *tiltaksområdet* menes det området av sjøbunnen som planlegges tildekket av rene mineralske masser.

I krav 2.1 står det «Maks 30 kg kvikksølv skal spres utenfor tiltaksområde under gjennomføring av miljøtiltak for kvikksølvforurensingen fra U-864.»

Bakgrunnen for kravet var tidligere beregninger som anslo en årlig utlekking fra de forurensede sedimenter på ca. 3 kg kvikksølv per år /D10/. En maksimal spredning på 30 kg under gjennomføring av tiltaket tilsvarer dermed omtrent ti års naturlig utlekking. Laboratorieforsøk gjennomført av NIVA har senere estimert årlig utlekking til om lag 4 kg kvikksølv per år /D09/, som er av samme størrelsesorden som i modellberegningene.

Ved gjennomføringen av Tokt 2 ble det satt et eget øvre budsjett for spredning av 3 kg kvikksølv. I sluttrapporten fra miljøovervåkingen beregnet NIVA den kumulative spredningen under operasjonen til om lag 3,2 kg kvikksølv, det vil si marginalt over det fastsatte budsjettet.

For å etablere tilgang til kjølkassene som ble tømt for kvikksølv, ble det mudret om lag 45 m³ under Tokt 2b. Et grovt anslag tilsier at det må mudres ytterligere ca. 1000 m³ for å få tilgang til de resterende kjølkassene. Dersom spredning per mudret volum være på samme nivå som under Tokt 2b, ville dette indikere en samlet spredning som er vesentlig høyere enn dagens krav på 30 kg kvikksølv ($1000/45 \times 3,2 = 71$ kg kvikksølv). Dette er imidlertid kun et orienterende anslag og tar ikke hensyn til mulige forbedringer i metode, utstyr eller renseløsninger.

Det understrekes at filterløsningen som skulle redusere spredningen under Tokt 2b ikke fungerte som planlagt. Løsninger for begrenning av utslipp fra mudrede masser bør derfor videreutvikles, testes og kvalifiseres før en eventuell fullskala operasjon gjennomføres. Samtidig må det legges til grunn at en operasjon som innebærer omfattende mudring for å få tilgang til alle kjølkassene vil være forbundet med risiko for spredning av kvikksølv.

Basert på erfaringene fra Tokt 2 vurderer Kystverket at realismen i krav 2.1 bør gjennomgås på nytt. Hvilke mengder kvikksølv som eventuelt kan aksepteres spredd utenfor

tiltaksområdet må vurderes opp mot forventet miljøeffekt, behovet for eventuell utvidelse av tiltaksområdet og de tilhørende kostnadene.

6.2.5 Plassering og tilstand av eksplosiver

Tilstedeværelsen av torpedoer i vraket utgjør en viktig rammebetingelse for alle tiltak som innebærer inngrep i vrakdelene. Andre eksplosiver eller ammunisjon vurderes ikke å være dimensjonerende for valg og utforming av tiltak, selv om den må håndteres på en forsvarlig måte dersom den påtreffes under gjennomføringen.

Torpedoene påvirker blant annet krav til sikkerhet for personell og utstyr, hvilke arbeidsoperasjoner som kan gjennomføres på vraket med restriksjoner på bevegelser, utforming av eventuelle tildekkingsløsninger og vurderinger av langsiktig miljørisiko. Videre vil både sannsynligheten for en utilsiktet detonasjon og konsekvensene av en eventuell detonasjon være relevante for vurderingen av aktuelle tiltak.

Forsvarssektoren har ulike vurderinger av sannsynligheten for detonasjon av torpedoene, særlig knyttet til aldring av eksplosiver, korrosjon, jordskjelv og andre langsiktige påvirkninger. Det er samtidig bred faglig enighet om at torpedoene representerer et forhold som må ivaretas ved planlegging og gjennomføring av tiltak ved vraket.

Kystverket har i den videre utredningen lagt de samlede vurderingene fra forsvarssektoren til grunn, herunder supplerende vurderinger og modelleringer gjennomført av FFI. På denne bakgrunn vurderes eksplosiver fortsatt å være en premissgivende faktor for utforming og gjennomføring av tiltak, men ikke et forhold som i seg selv utelukker de tiltakene som omfattes av oppdraget fra NFD.

6.2.6 Levninger

U-864 representerer et særskilt tilfelle der hensynet til miljø, sikkerhet og respekt for omkomne må vurderes samlet. I henhold til gravplassloven § 1 tredje ledd anses levninger etter omkomne som befinner seg på havbunnen som en «naturlig grav», som skal behandles med verdighet og ikke utsettes for unødige forstyrrelser.

Det er den enkelte omkomne, og ikke vraket som sådan, som utgjør en grav etter loven. Vernet omfatter levninger, tilhørende klær og utstyr, samt de nærmeste omgivelsene.

Samtidig åpner regelverket for at tekniske undersøkelser og tiltak kan gjennomføres når dette er nødvendig, for eksempel for å hindre alvorlig forurensning. Slike inngrep forutsetter at det foretas en grundig vurdering og at arbeidet gjennomføres planmessig og med nødvendig aktsomhet.

Krigsgravtjenesten, underlagt Kultur- og likestillingsdepartementet, har ansvar for forvaltning av krigsgraver, herunder håndtering av levninger, varsling og kontakt med berørte lands myndigheter. Kystverket har mottatt retningslinjer for håndtering av eventuelle funn av levninger.

I tråd med gjeldende praksis skal levninger behandles med størst mulig verdighet og pietet. Dersom levninger påtreffes, skal disse som hovedregel ikke bringes til overflaten, men håndteres på en etisk forsvarlig måte. Oppsamling og sikring på sjøbunnen kan være aktuelt, med mindre annet beslattes av ansvarlige myndigheter.

Kystverket har så langt ikke gjort observasjoner av levninger under de gjennomførte undersøkelsene. Dersom levninger skulle påtreffes i forbindelse med fremtidige undersøkelser eller tiltak, vil Kystverket samarbeide med politiet og Krigsgravtjenesten for å sikre korrekt og verdig håndtering.

Besetningen på U-864 besto av både tysk og japansk personell. Kystverket har gjennom Krigsgravtjenesten hatt dialog med berørte lands myndigheter, både i denne og tidligere utredningsfaser. Dersom levninger tas opp, må videre håndtering og eventuell gravlegging skje i samsvar med gjeldende regelverk og etter avklaring med de aktuelle landenes myndigheter.

Kystverket vurderer at hensynet til levninger og krigsgravproblematikk utgjør en viktig rammebetingelse for eventuelle tiltak ved U-864. Forholdet vurderes imidlertid ikke å være til hinder for nødvendige miljøtiltak, forutsatt at disse planlegges og gjennomføres på en respektfull og forsvarlig måte.

6.3 Trinnvis gjennomføring av operasjonen

I forprosjektet ble det etablert et krav (krav 3.2) om at tiltaket skal være fleksibelt med tanke på endrede forutsetninger. Dette kravet ble indirekte videreført av ekspertutvalget (2022), som anbefalte at en eventuell operasjon for uttak av kvikksølvlasten gjennomføres trinnvis.

En trinnvis gjennomføringsmodell innebærer at resultatene evalueres fortløpende, og at det ved definerte beslutningspunkter vurderes om arbeidet skal videreføres, justeres eller avsluttes. Modellen gir dermed mulighet til å håndtere ny informasjon om vraket, kvikksølvlasten, miljøpåvirkning eller operasjonelle forhold etter hvert som disse blir kjent.

Erfaringene fra Tokt 2a og 2b understøtter behovet for en slik tilnærming. Undersøkelsene viste at flere forhold først kunne avklares etter at fysisk tilgang til kjølkassene var etablert, herunder tilstanden på kvikksølvbeholderne, forekomst av flytende kvikksølv og praktiske forhold knyttet til gjennomføringen av operasjonene.

Det bør etableres naturlige beslutningspunkter underveis i gjennomføringen. Dette kan for eksempel knyttes til resultater oppnådd ved enkelte kjølkasser, mengden kvikksølv som er hentet opp, hindringer i sjøbunnen eller erfaringer med spredning og operasjonell risiko opp mot satte grenseverdier.

Kystverket vurderer derfor at en trinnvis gjennomføringsmodell fortsatt bør legges til grunn for videre planlegging av et eventuelt tiltak. Denne modellen støtter opp under det overordnede krav 3.2 om at tiltaket skal være fleksibelt med tanke på endrede forutsetninger.

6.4 Oppdaterte rammebetingelser

Kystverkets vurdering er at de opprinnelige rammebetingelsene fra forprosjektet fortsatt utgjør et relevant utgangspunkt for vurdering av tiltak ved U-864. Samtidig har nye undersøkelser, kartlegging og analyser gjennomført i perioden 2025-2026 gitt ny kunnskap om vrakets tilstand, kvikksølvlasten og mulige gjennomføringsmetoder. På denne bakgrunn er det vurdert om de tidligere rammebetingelsene fortsatt er hensiktsmessige, eller om det er behov for justeringer.

Krav knyttet til miljørisiko både på lang og kort sikt (krav 1 og 2 i tabellen nedenfor) fastholdes. Kravet til å benytte dagens teknologi kan omformuleres til at det skal legges til grunn at en prosess for testing og dokumentasjon av metoder og utstyr, og at det gjennomføres teknologikvalifisering for kritisk utstyr som enten er nytt, eller eksisterende teknologi anvendt på nytt område.

Tabell 7 Oppdaterte overordnede rammebetingelser for gjennomføring av Alternativ 3 Heving av last

Prioritering	Krav	Verifikasjon	Styrke i krav
1. Miljørisiko på lang sikt			
1.1	Effektmålene for håndtering av kvikksølvforurensningen fra U-864 vil benyttes som krav for å redusere den langsiktige miljørisiko fra U-864	Konsentrasjonen i overflatesedimenter og spredning av kvikksølv fra området der U-864 ligger i dag skal være så lavt at dette ikke utgjør noen risiko for opptak i organismer i området utover det som er typisk for nordlig del av Nordsjøen.	Absolutt
2. Miljørisiko på kort sikt			
2.1	Maks 30 kg kvikksølv skal spres utenfor tiltaksområdet under gjennomføring av miljøtiltak for kvikksølvforurensningen fra U-864.	Gjennomføringen skal miljøovervåkes i henhold til miljøkrav og akseptkriterier for U-864	Viktig
3. Gjennomførbarhet			
3.1	Det skal være mulig å gjennomføre tiltaket med dagens kunnskap og teknologi		Viktig
3.2	Tiltaket skal være fleksibelt med tanke på andre forutsetninger		Viktig

Av tidligere krav satt til gjennomføring av tiltaket, videreføres krav 3.1 og 3.2. For sistnevnte krav presiseres det at en gjennomføring av tiltaket må planlegges i trinn for å vurdere videre gevinst opp mot risiko og kostnader for å fortsette operasjonen.

Tidligere krav 3.3 om at utforming av tiltaket må ta hensyn til den geotekniske ustabiliteten i området var knyttet til den overordnede områdestabiliteten. Denne problemstillingen ble i hovedsak håndtert gjennom etablering av støttefyllingen i 2016. Kravet tas derfor ut fra de overordnede kravene. Det vil likevel fortsatt være behov for geotekniske vurderinger og beregninger for å verifisere lokal stabilitet ved planlegging av fysiske inngrep i sedimentene, særlig i området rundt forseksjonen.

Tidligere krav 3.4 om at tiltaket skal sikre tilgang til alle kjølkasser og gi en realistisk mulighet for å fjerne minst 50% av kvikksølvlasten foreslås tatt ut som overordnet rammebetingelse. Bakgrunnen for dette er at mengden kvikksølvbeholdere, samt flytende kvikksølv i kjølkassene, avhenger av antall kvikksølvbeholdere som var lagret midtskips. Dersom de

fleste ble lagret midtskips, så ble disse ødelagt da U-864 ble torpedert. Denne mengden kvikksølv ligger da i sedimentene, enten i nedgravde beholdere eller som frittflytende kvikksølv spredt i sedimentene. Omfattende mudring/graving med heving av disse massene er et tiltak som tidligere er utredet (KS1) men som ikke er videreført. Dette er derfor et forhold som medfører at selv om en operasjon er fullt ut vellykket, og alle gjenværende kjølkasser blir åpnet, så kan mengde gjenværende kvikksølv som kan heves være begrenset. Dette kravet blir derfor ikke mulig å vurdere om vil innfris før operasjonen er gjennomført, og er derfor ikke egnet som et krav.

7 Mulighetsrom og alternativer

7.1 Innledning

I denne utredningen har Kystverket avgrenset analysen til de alternativene som oppdraget fra NFD omfatter og med de føringer som er beskrevet. Kystverket har, på bakgrunn av funnene i de undersøkelser som er gjennomført, gjort en vurdering av om man bør gå videre med heving av kvikksølv før tildekking av vraket og forurenset sjøbunn, eller om man bør gå rett til tildekking.

Dette innebærer at følgende investeringsalternativer er vurdert. Det er benyttet samme nummer og betegnelse som i tidligere utredninger:

- Alternativ 1 Tildekking av vrakdeler og forurenset havbunn
- Alternativ 3 Heving av last og tildekking av vrak og forurenset havbunn

For alternativ 3 Heving av last har Kystverket vurdert flere mulige gjennomføringsmetoder. Mulighetsstudien som er beskrevet i kapittel 5.6 omfatter en ny vurdering av de tre metodene for heving av last som ble utviklet i forprosjektet (2014), i tillegg til utvikling av en ny metode 4 Kutte som en del av studien. Erfaringene fra tokt 2b viste samtidig at forekomsten av flytende kvikksølv var større enn tidligere antatt. På denne bakgrunn er det utviklet og beskrevet en modifisert versjon av metode 1 Rulle omtalt i mulighetsstudien, se vedlegg /V05/. Metoden som videre er omtalt som Metode 1b Grave bygger på metoden som ble benyttet under Tokt 2b, og er nærmere beskrevet i kapittel 7.4.

Illustrasjonen nedenfor viser situasjonen etter at tiltak er gjennomført for alternativ 1 Tildekking og for alternativ 3 Heving av last der to alternative metoder er presentert.

Alt. 1 Tildekking

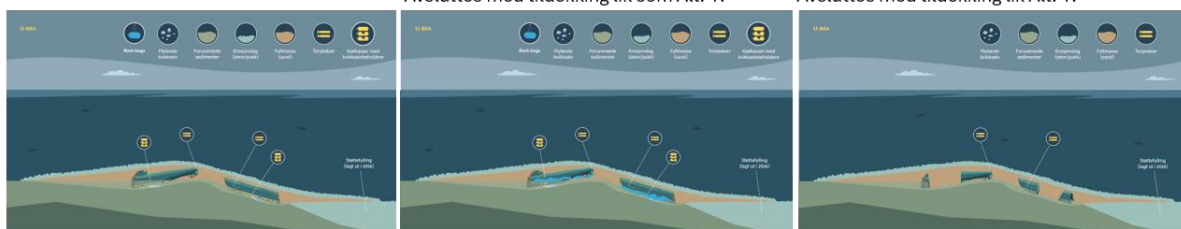
Vrak med kvikksølvbeholdere beholdere og tiltaksområdet med forurenset sjøbunn dekkes til med rene masser og erosjonslag.

Alt. 3 Heving av last (Metode 1b Grave)

Mudre/grave tilgang til kjølkasser som tømmes for tilgjengelige kvikksølvbeholdere og flytende kvikksølv. Kvikksølv transporteres videre for stabilisering og deponering i utlandet. Avsluttes med tildekking lik som Alt. 1.

Alt. 3 Heving av last (Metode 4 Kutte)

Mudre/grave tilgang til vrak som kuttes slik at vrakdeler med kjølkasser heves. På land tømmes vrak for kvikksølvlast og evt. eksplosiver. Kvikksølv transporteres videre for stabilisering og deponering i utlandet. Avsluttes med tildekking lik Alt. 1.



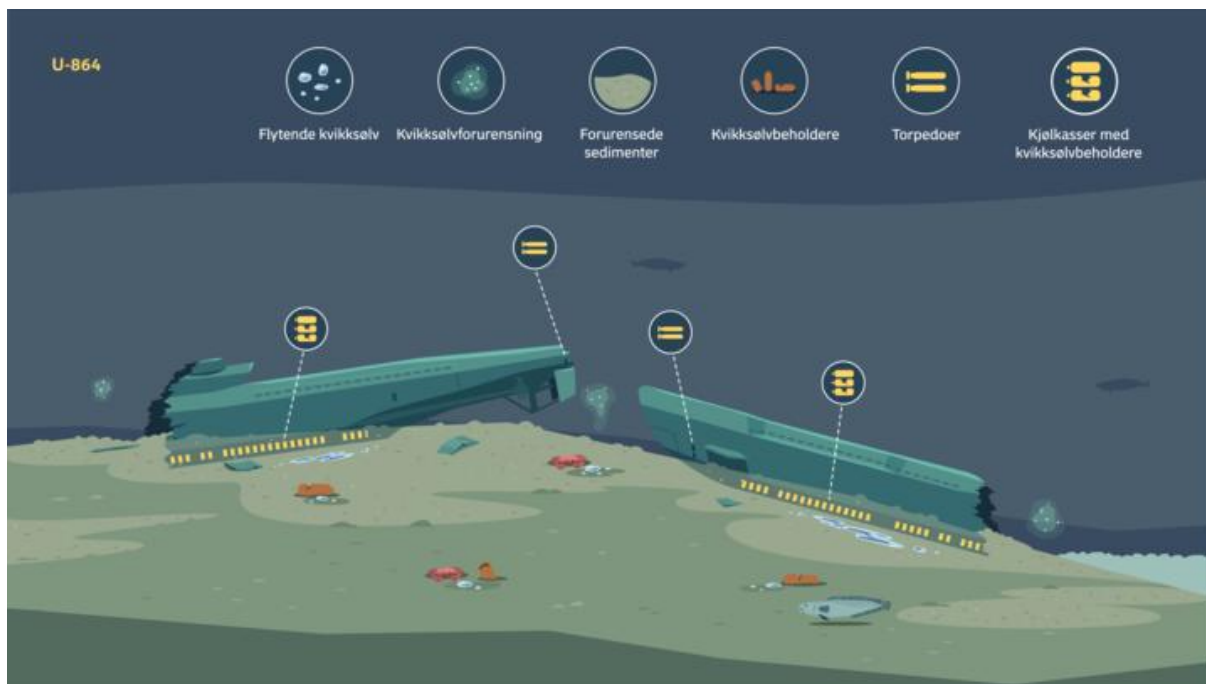
Figur 18 Illustrasjon av slutttilstand for Alternativ 1 og 3

Kystverket har i denne utredningen ikke tatt stilling til valg av gjennomføringsmetode for alternativ 3. De ulike metodene representerer ulike måter å gjennomføre alternativ 3 Heving av last på som har både styrker og svakheter som beskrevet i kapittel 7.4.7. Begge metoder er vurdert i kapittel 8 Alternativanalysen.

7.2 Nullalternativet

Nullalternativet innebærer at dagens situasjon videreføres der det ikke gjennomføres fysiske tiltak ved vraket av U-864. Nullalternativet var en del av alternativanalysen i KVU (2011) og var dermed en del av grunnlaget som ble kvalitetssikret i KS1 (2012).

I mandatet til Ekspertutvalget (2022) var det lagt vekt på å få frem ny informasjon om «*handlingsalternativene*», spesielt knyttet til heving. Ekspertutvalget har i den samfunnsøkonomiske analysen vurdert nullalternativet til ikke å være et aktuelt handlingsalternativ, men har benyttet dette som referansealternativ ved sammenligning av de tre handlingsalternativene tildekking, heving av last og heving av vrak.



Figur 19 Illustrasjon av dagens situasjon ved U-864 med de to vrakseksjoner. Begge vrakseksjonene inneholder kjølkasser, og det ble gjennom Tokt 2b påvist kvikksølvbeholdere i kjølkasser i forseksjonen (til venstre i bildet).

I denne utredningen har Kystverket sett nærmere på og gitt begrunnelser for at nullalternativet ikke vurderes som et relevant alternativ for håndteringen av kvikksølvforurensningen fra U-864. Nedenfor er ulike forhold og hendelser knyttet til situasjonen ved vraket beskrevet på henholdsvis kort (0 - 100 år) og lang (100 - 1000 år) sikt.

Miljøtilstand og regelverk

Nærområdet rundt vrakdelene er i dag sterkt forurensset med kvikksølv, og klassifiseres som å ha svært dårlig kjemisk miljøtilstand i henhold til Miljødirektoratets klassifisering. På lang sikt forventes sedimentene i nærområdet rundt vrakdelene fortsatt å være sterkt forurensset med kvikksølv. Den naturlige sedimenteringen i området er lav, og overdekking kun fra naturlig sedimentering vurderes derfor å ha begrenset betydning for miljøtilstanden.

Lekkasje av kvikksølv til omgivelsene

Det vil forventes en kontinuerlig lekkasje av kvikksølv fra sedimentene til vannmassene. Selv om årlig utlekking isolert sett er begrenset til 4 kg kvikksølv i året basert på NIVAs laboratorieforsøk /D09/ (3 kg basert på modellberegninger /D10/, vil utslippet vedvare over

lang tid. Det kan heller ikke utelukkes at økt eksponering av kvikksølv over tid, blant annet som følge av korrosjon av beholdere, kan påvirke utlekkingen. Det vises til kapittel 2.4 for informasjon om utlekking av kvikksølv fra sedimentene nær vraket etter U-864.

Opptak i næringskjeden

Undersøkelser viser at dagens nivå av kvikksølv i fisk i området ikke avviker vesentlig fra bakgrunnsnivå langs kysten. Derfor er det ikke grunnlag for kostholdsrestriksjoner i dag. Som beskrevet i kapittel 2.5 er det videre konkludert med at kvikksølv i brosme og klokjøtt i krabber fanget ved vrakposisjonen ikke stammer fra kvikksølv fra vraket etter U-864, men fra den generelle kvikksølvforurensningen i kystområdene.

Dersom dagens situasjon videreføres, forventes det ikke vesentlige endringer i opptaket av kvikksølv i næringskjeden. Kvikksølvet vurderes i stor grad å forbli på sjøbunnen i forekomster av flytende kvikksølv og bundet i sedimentene. Kystverket vurderer derfor at situasjonen for opptak i næringskjeden i hovedsak vil være uendret også i et langsiktig perspektiv.

Hendelser som kan påvirke forurensningssituasjonen

Det kan ikke utelukkes hendelser som videre kan utløse en detonasjon av torpedoer om bord i vraket og medføre spredning av forurensede sedimenter. Dette kan være hendelser som nødankring, og som kan gi en direkte fysisk påvirkning av vraket eller naturlige hendelser som et jordskjelv.

Sannsynligheten for at denne type hendelser inntreffer med en styrke som medfører detonasjon av torpedoer vurderes som meget lav. FFI beskriver i sin rapport /V02/ at lavfrekvente skjær- og trykkbølger fra jordskjelv vurderes å ikke i seg selv kunne sette av eksplosiver som ligger innesluttet i deformerbare materialer som sand eller vann. Direkte påvirkning av «tunge» langsomme støt som gir kraftig sammenklemming, eller treff av tunge komponenter ved en kollaps av stive strukturer, som eksempelvis skroget til U-864, kan ikke helt utelukkes inne i vraket av U-864. Dette kan eksempelvis være en sekundæreffekt av jordskjelv eller nødankring.

En detonasjon av torpedoer uten en overliggende tildekking vil føre til spredning av kvikksølvforurensede sedimenter. Det forventes at en eventuell detonasjon vil medføre mindre omfattende spredning enn ved torpederingen i 1945, ettersom detonasjonen vil skje på eller nær sjøbunnen og ikke i vannsøylen

Oppsummering

På bakgrunn av forholdene, herunder usikkerhet beskrevet ovenfor, vurderer Kystverket det slik at nullalternativet ikke vil innebære tilstrekkelige tiltak for å kunne oppnå samfunns målet og effektmålene ved at:

- det forurensede området rundt vraket ikke oppnår en god miljøtilstand,
- forurensningen vedvarer over tid,
- det skjer en vedvarende, om enn begrenset, spredning av kvikksølv til omgivelsene
- hendelser som videre kan utløse en detonasjon av torpedoer om bord i vraket, og som medfører spredning av forurensede sedimenter, ikke kan utelukkes.

Nullalternativet vurderes derfor ikke å være et aktuelt tiltak for å oppnå prosjektets mål, og legges derfor kun til grunn som referansealternativ i alternativanalysen. Det vises til utdypende begrunnelse i kapittel 8.3 Samfunnsøkonomisk analyse.

7.3 Alternativ 1 Tildekking av vrakdelar og forurenset sjøbunn

Alternativet omfatter utlegging av tildekking over vrakdelar og forurenset sjøbunn og er detaljert beskrevet i forprosjektet /D03/ (2014) og i rapport fra NGI /D20/ (2017).

Alternativet innebærer at vrakdelene og de forurensete sedimentene dekkes til med rene mineralske masser for å isolere kvikksølvforurensningen fra det marine miljøet. Hensikten er å redusere spredningen av kvikksølv til vannmassene og hindre opptak i næringskjeden. Tiltaket innebærer at kvikksølvlasten blir liggende på stedet, og den langsiktige effekten er derfor avhengig av at tildekkingen opprettholder sin funksjon over tid. Bruk av rene masser for å isolere forurensete sedimenter er en etablert metode som er benyttet i flere oppryddingsprosjekter i norske sjøområder.

Som en del av Kystverkets nåværende utredning er det utarbeidet et teknisk notat fra NGI «Vurdering av tildekkingsmasser og volumer» som inngår som et vedlegg /V19/. En kortfattet beskrivelse av tiltaket som oppsummerer det tekniske notatet inngår som et eget vedlegg /V04/. Dette beskriver hensikten med tildekkingen, nødvendig areal som må tildekkes, oppbygging av tildekkingen med tilhørende volum og vekt. Videre er forutsetninger og antagelser knyttet til omfang og utforming av tildekkingen beskrevet.

7.3.1 Beskrivelse av alternativets ulike operasjonelle steg og miljøpåvirkning

De ulike stegene for gjennomføring av alternativet er illustrert nedenfor.



Figur 20 Alternativ 1 Tildekking - Prinsippskisse av tiltakets prosess

I det følgende beskrives de enkelte stegene i operasjonen. For hvert steg vises en prinsippskisse av de sentrale aktivitetene, samt en kvalitativ vurdering av miljøpåvirkningen med særlig vekt på spredning av kvikksølv. Vurderingene beskrives for en normalsituasjon ved gjennomføring av steget.

Avslutningsvis presenteres en samlet fremstilling av den forventede miljøpåvirkningen gjennom de ulike stegene i tiltaket. Fremstillingen viser forventet størrelsesorden på spredning av kvikksølv både ved normalsituasjon og ved en hendelse som kan utløse en detonasjon av torpedoer.

For alternativ 1 Tildekking er en eventuell miljøpåvirkning i hovedsak begrenset til mulig spredning av kvikksølv til vannmassene under gjennomføring av tiltaket som skjer nede på

sjøbunnen. Alternativet innebærer ikke heving av kvikksølvlasten gjennom vannsøylen eller håndtering av kvikksølv på land.

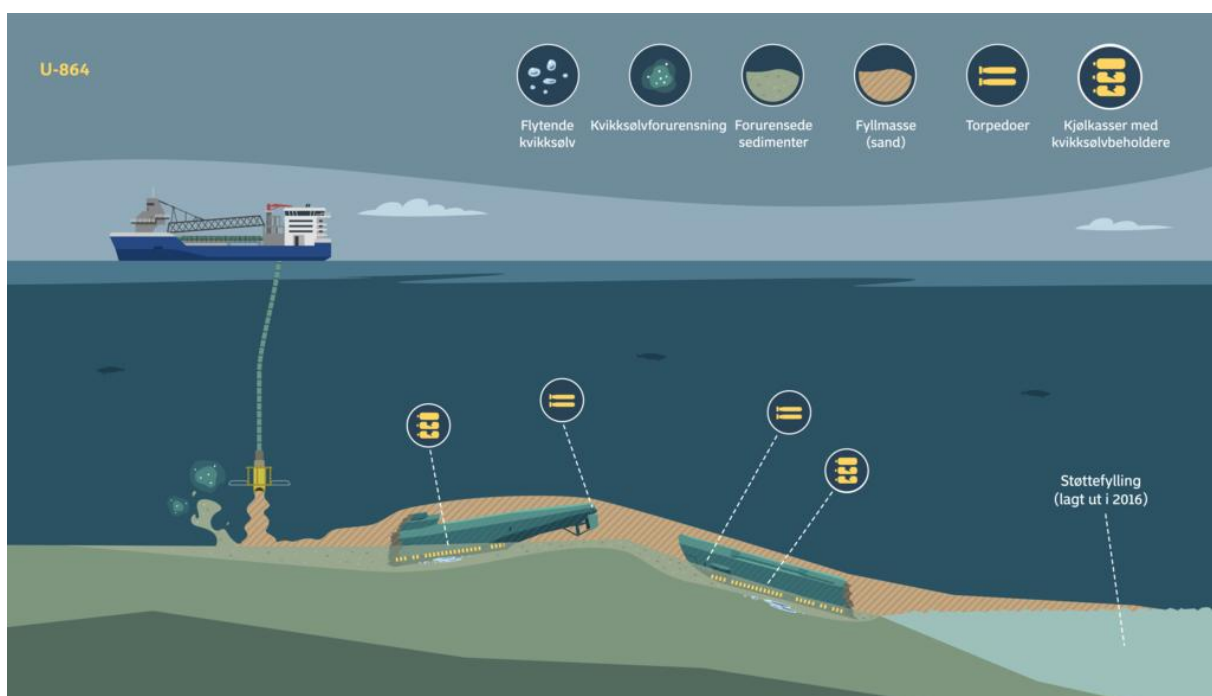
Steg 1 – Utlegging av finkornede masser

Operasjon

I det første steget legges det ut rene finkornede masser (sand) rundt vrakdelene. Deretter tildekkes området over vrakdelene og ut i et område for å isolere forurensede sedimenter fra det marine miljøet. Det vises til figur i kapittel 2.3 som viser tiltaksområdet. Nærmere detaljer om utstrekning og oppbygging av tildekkingen er beskrevet i vedlegg /V04/.

Utleggingen gjennomføres ved bruk av et spesialisert fartøy (rock dumper) som kontrollert fører ned rene masser til tiltaksområdet gjennom et fleksibelt rør. Tildekningen bygges opp lagvis, og utleggingen rundt vrakdelene må gjennomføres skånsomt slik at massene legger seg tett inntil vraket og fyller synlige hulrom på ubåtvrakets dekk (keisingen) og ved bruddåpningene.

I et fremtidig forprosjekt bør det vurderes om også innsiden av vraket skal fylles med masser (sand). Hensikten vil være å redusere muligheten for friksjon og brå bevegelser dersom vrakdelene over tid kollapser pga. korrosjon og tyngden fra overliggende masser. Det vises til vurderinger som FFI har foretatt /V02/.



Figur 21 Tildekking - Steg 1. Prinsippskisse av operasjon med utlegging av finkornede masser (sand)

Miljøpåvirkning i en normalsituasjon

Det må forventes noe oppvirvling av sedimenter ved utlegging av det første sandlaget, særlig i områdene nær vrakdelene hvor forurensningsnivåene er høyest. Etter hvert som tildekkingen bygges opp, vil kontakten med de forurensede sedimentene reduseres, og

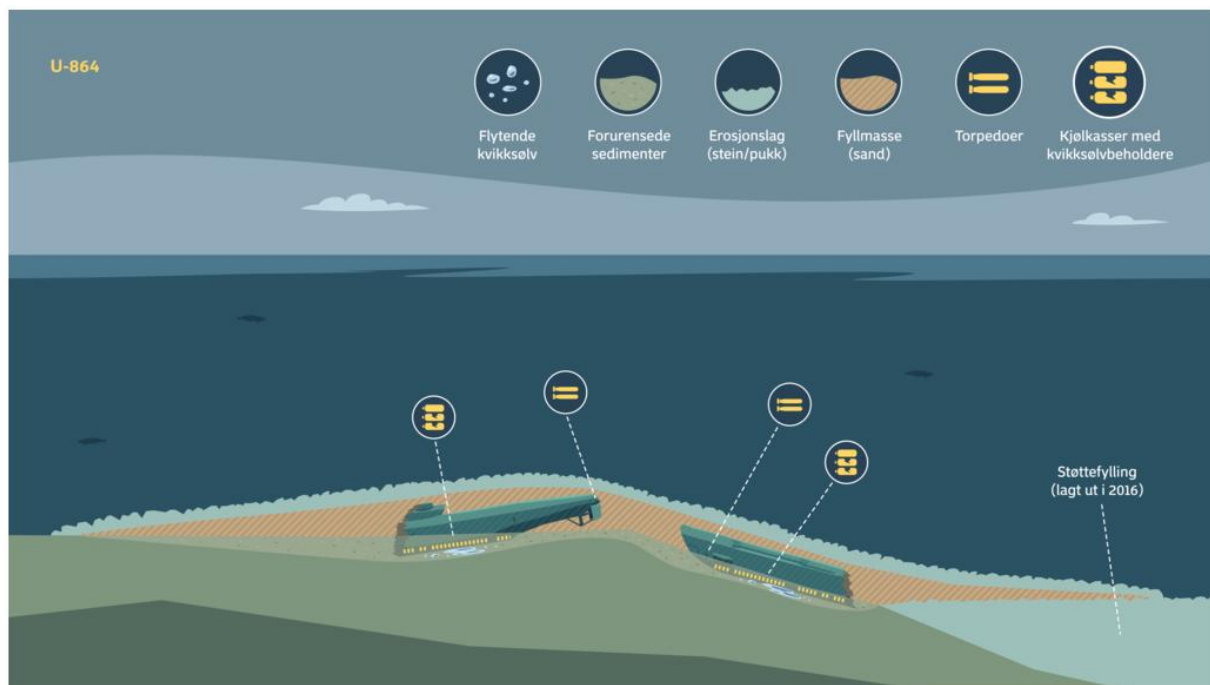
spredningen avta. Erfaringene fra utleggingen av støttefyllingen i 2016 viser at slik utlegging gir begrenset spredning av forurensede sedimenter. Sedimentene nær vrakdelene er imidlertid mer forurensede enn områdene som tidligere ble dekket av støttefyllingen, og noe høyere spredning må derfor forventes.

Samlet vurderes spredningen av kvikksølvforurensede sedimenter ved tildekking å være vesentlig mindre enn ved tiltak som innebærer mudring eller andre direkte fysiske inngrep i sjøbunnen.

Steg 2 – Utlegging av erosjonslag:

Operasjon

Etter at sandlaget er lagt ut vil det legges ut et lag med pukk/stein for å minimere utvaskingen av masser som følge av bølger og havstrømmer. Det benyttes tilsvarende fartøy som i steg 1.



Figur 22 Tildekking - Steg 2. Prinsippskisse av situasjon etter at erosjonslaget er lagt ut

Miljøpåvirkning i en normalsituasjon

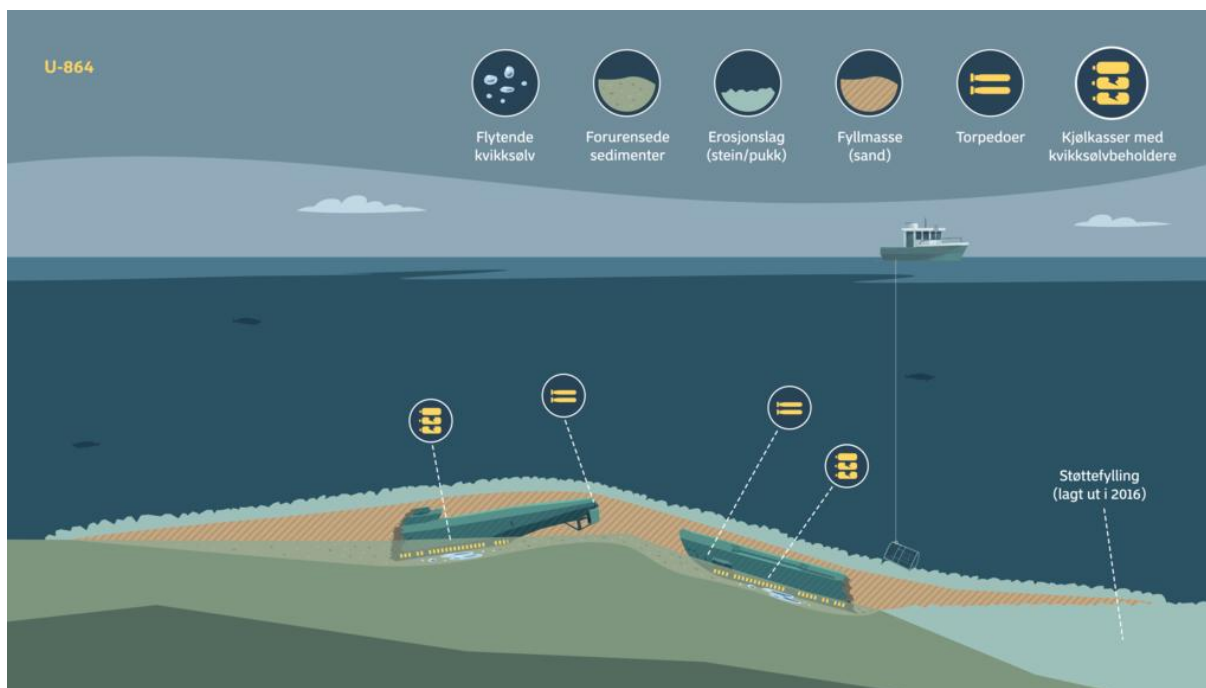
Miljøpåvirkningen vil være redusert i denne fasen av operasjonen sammenlignet med steg 1 da det ikke vil være direkte kontakt mellom erosjonslaget som legges ut og forurensede sedimenter.

Steg 3 – Overvåkning av tiltaksområdet

Operasjon

I etterkant av fullført tiltak vil tiltaksområdet overvåkes for å sikre at tiltaket har hatt ønsket effekt. Overvåkingen forventes å være i form av fangst av fisk og skalldyr der det måles innholdet av kvikksølv. Dette er prøvetaking som Havforskningsinstituttet i dag gjennomfører

årlig, og som er nærmere beskrevet i kapittel 2.5. Det er lagt til grunn årlige undersøkelser i en periode på fem år. Prøvetakingen vil kunne reduseres dersom resultatene er innenfor de gjeldende kriteriene og viser seg å være stabile over tid.



Figur 23 Tildekking - Steg 3. Overvåkning av området etter tiltak er utført

Miljøpåvirkning i en normalsituasjon

Det forventes ikke utlekking av kvikksølv fra tildekningen som er målbar hverken i et kort- eller i et langsiktig perspektiv. Selve overvåkningen medfører ikke spredning av kvikksølv.

Hvordan virker tildekkingen?

Tildekkingen skal fysisk isolere kvikksølvet og de forurensede sedimentene fra vannet over og fra bunnfauna som etablerer seg på overflaten av tildekkingen.

Tildekkingen skal redusere transport av vannløst kvikksølv (ioner, kloridkomplekser, metylkvikksølv og andre løste former) slik at konsentrasjonen i den øverste delen av tildekkingen skal holde god miljøtilstand eller bedre (konsentrasjonen av kvikksølv skal være lavere enn 0,52 mg/kg).

Når forurensningen ligger ubeskyttet slik den gjør nå, er det et tynt lag med nesten stillestående vann over kvikksølvforurensningen som kontrollerer utlekking av kvikksølv til vannet over. Dette vannlaget kalles for det diffusive grenselaget (Diffusive boundary layer). Tykkelsen på dette laget vil avhenge blant annet av vannstrømmene i området, men er ofte i størrelsesordenen 0,5 mm. Når man plasserer en tildekking bestående av rene mineralske masser over forurensningen vil utlekking av kvikksølv måtte transporteres over en mye større avstand og derfor gå mye saktere. I tillegg vil transporthastigheten reduseres ved at det bare er det åpne volumet mellom sandpartiklene i tildekkingen som er tilgjengelig for transport og ved at kvikksølv bindes til sandpartiklene i tildekkingen.

Diffusjonstransport (F) beskrives matematisk med Ficks lov:

$$F = -D(dC/dz)$$

D er stoffets diffusjonskoeffisient

dC er konsentrasjonsforskjellen mellom porevannet i sedimentet i kontakt med kvikksølvforurensningen og konsentrasjonen i sjøvannet over sjøbunnen

dz er avstanden mellom kvikksølvforurensningen og sjøvannet over sjøbunnen

Basert på dette vil diffusjonstransport av kvikksølv kunne reduseres med mer enn 1000 ganger med en tildekking som har et 90 cm isolasjonslag.

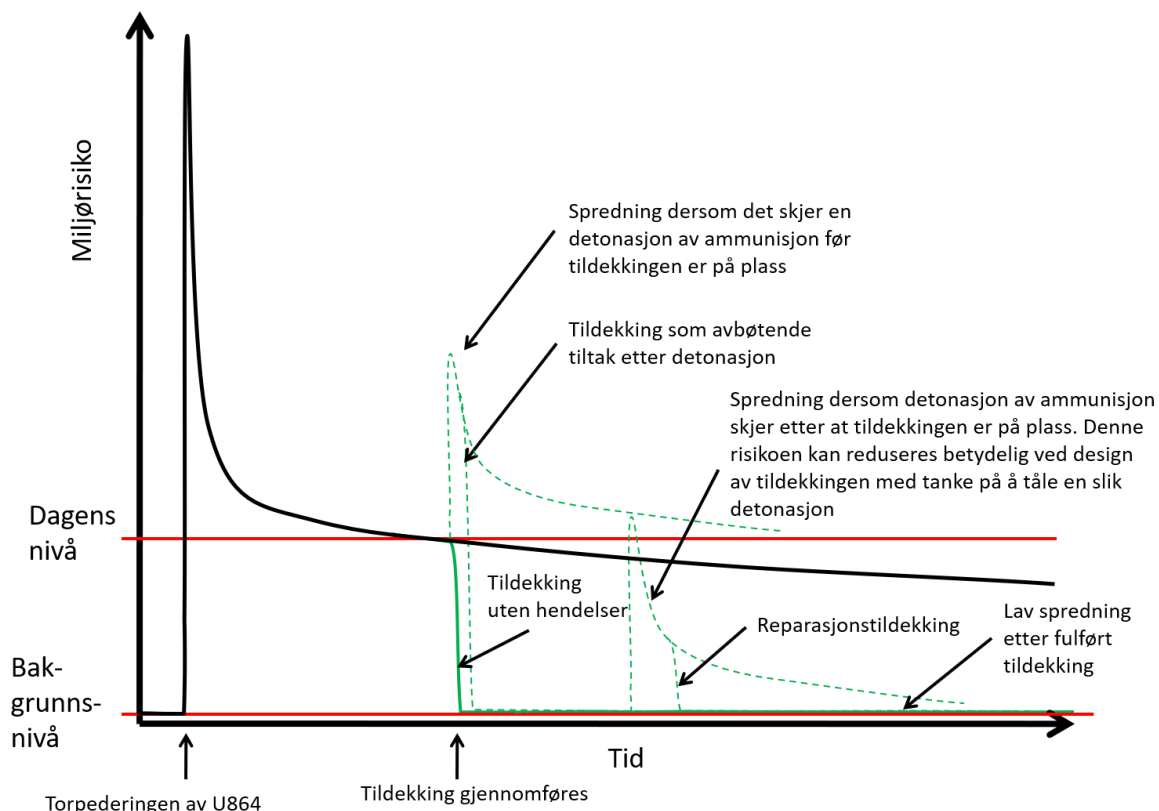
Tildekkingen designes ved å modellere transporten og justere tykkelsen på isolasjonslaget slik at konsentrasjonen i den øverste delen av tildekkingen holdes under ønsket grenseverdi. Designet inkluderer også andre lag som skal hindre at andre mekanismer, slik som aktiviteten til bunnfauna, vannstrømmer inne i tildekkingen og erosjon, skal påvirke diffusjonstransporten i isolasjonslaget. Et slikt overordnet design er beskrevet i NGI notat /V19/.

7.3.2 Overordnede betraktninger av miljørisiko for alternativ 1 Tildekking

Miljørisiko knyttet til spredning av kvikksølv bestemmes både av mengden kvikksølv som spres og av hvor tilgjengelig kvikksølvet er for sjølevende organismer eller mennesker og andre organismer på land. Tilgjengelighet av kvikksølv til næringskjeden er beskrevet i kapittel 2.2.

Kystverket har utarbeidet en semikvantitativ analyse av miljørisikoen ved å skalere forventet konsekvens ved ulike hendelser i forhold til kjente situasjoner. Resultatet av denne analysen for tildekkingsalternativet er presentert i figuren nedenfor.

De kjente situasjonene er først og fremst spredning av kvikksølv da U-864 ble torpedert i 1945 og dagens situasjon. Spredningen som skjedde i 1945 vet vi en del om ut fra hvordan kvikksølvet er fordelt i sedimentene på sjøbunnen i dag. Siden kvikksølv er spredt over om lag 30 000 m² betyr dette at det under torpederingen ble spredt store mengder kvikksølv i vannet som raskt sedimenterte på sjøbunnen.



Figur 24 Semikvantitativ grafisk beskrivelse av forventet risiko knyttet til spredning av kvikksølv for tildekkingsalternativet (Figurene er basert på miljørisikovurderingen som ble gjort i KVVU og oppdatert med ny informasjon). Hverken risiko- eller tidsskalaen kan brukes til å lese av eksakte verdier. Utvikling i spredning og risiko er vurdert basert på kunnskap om hvordan slik spredning utvikles over tid. Spredning ved ulike hendelser vurdert i forhold til spredningen som skjedde ved torpederingen i 1945 og i forhold til dagens situasjon

Det er sannsynlig at tilgjengeligheten av kvikksølv og utlekking til omgivelsene var betydelig høyere i tiden etter torpederingen enn den er i dag. Resultater fra målinger av mengder kvikksølv i sedimentene i dag viser at miljøtilstanden er svært dårlig³, og at det skjer en årlig utlekking på om lag 4 kg kvikksølv fra vrakområdet basert på NIVAs laboratorieforsøk /D09/ (3 kg kvikksølv basert på modellberegninger /D10/). Det er likevel ikke påvist forhøyet konsentrasjon i fisk og krabber fra området, og det er dokumentert at kvikksølv funnet i fisk på lokaliteten ikke stammer fra U-864 (kapittel 2.5).

En sakte og svært begrenset transport av kvikksølv gjennom diffusjon fra sedimentet under og vrakdelene og opp gjennom tildekkingen vi fremover kunne forekomme. Denne transporten vil være svært lav fordi tildekkingen gir en stor økning i transportveien. Tidligere gjennomførte modelleringer av denne transporten gir maksimal utlekking etter flere tusen år på ca. 0,3 g/år, noe som er om lag 10 000 ganger lavere enn utlekkingen i dag uten tildekking. Tildekkingen designes med formål om at transporten av kvikksølv skal reduseres slik at konsentrasjonen i overflaten på ny sjøbunn ikke skal overstige øvre grenseverdien for god tilstand (0,52 mg/kg) i henhold til Miljødirektoratets veileder /D23/.

³ Klasse V i Miljødirektoratets gjeldende tilstandsklasser for kvikksølv i sediment /D23/

Miljøpåvirkning ved ekstraordinære hendelser under gjennomføring av tiltaket

FFI beskriver i sin rapport /V02/ sannsynligheten for en detonasjon som følge av utlegging av tildekkingsmasser som lav, forutsatt at tildekkingen gjennomføres kontrollert og uten å påføre vraket kraftige mekaniske belastninger. Dersom en slik hendelse skulle inntreffe under gjennomføringen av tiltaket, vil konsekvensen kunne være skade på utstyr og spredning av kvikksølvforurensede sedimenter. Omfanget av en slik spredning er imidlertid usikkert og vil blant annet avhenge av hvor langt tildekkingsarbeidet har kommet når hendelsen inntreffer.

Miljøpåvirkning ved ekstraordinære hendelser på lang sikt

Det kan ikke utelukkes at torpedoene i vrakdelene på lang sikt kan bli utsatt for hendelser som i teorien kan føre til detonasjon, eksempelvis på grunn av korrosjon, kollaps av vrakstrukturen eller andre ytre påvirkning. FFI vurderer imidlertid sannsynligheten som lav for at torpedoer detonerer i et langsiktig perspektiv.

FFI har videre gjennomført simuleringer av konsekvensen av en mulig detonasjon etter tildekkingen er etablert. I rapporten opplyser de om at analysene viser at spredningen av kvikksølv i hovedsak forventes å være lokal og betydelig mindre (flere størrelsesordener) enn ved torpederingen i 1945. Omfanget vil være avhengig av tildekkingens tykkelse og utforming.

Simuleringene viser også at det er mulig å designe tildekkingen slik at den tåler en detonasjon der spredningen tilnærmelsesvis kan unngås. En mulig detonasjon vil kunne registreres gjennom overvåkingen som NORSAR kontinuerlig gjennomfører, og der varsler kan bli formidlet til rett etat for å igangsette undersøkelser og eventuelt avbøtende tiltak. Det vil i prinsippet være mulig å utbedre en skade på tildekkingen gjennom etablering av ny tildekking, men dette vil kreve nye geotekniske og miljøtekniske vurderinger.

7.3.3 Metylering av kvikksølv ved tildekking

Ekspertutvalget som leverte sin rapport i 2022 konkluderte med at alle de foreslåtte alternativene ville måtte avsluttes med tildekking /D06/.

En problemstilling som har vært diskutert i flere utredninger er om tildekkingen i seg selv kan bidra til økt dannelse av metylkvikksølv. For U-864 er dette særlig relevant fordi metylkvikksølv er den formen for kvikksølv som lettest tas opp i organismer og kan bioakkumuleres i næringskjeden. Risikoen for metylering avhenger blant annet av tilgang på organisk materiale og forholdene i sedimentene.

Laboratorieforsøk gjennomført på sedimenter fra området rundt U-864 viser at metylering kan øke dersom sedimentene tilføres organisk karbon. Samtidig viste analysene at sedimentene ved U-864 inneholder svært lite organisk materiale, om lag én vektprosent. Forholdene ved lokaliteten vurderes derfor som mindre gunstige for metylering enn i mange kyst- og fjordområder med høy biologisk aktivitet /D16/.

Samlet sett viser utførte studier at metylering under tildekking er mulig under bestemte forhold, særlig dersom sedimentene inneholder betydelige mengder organisk materiale. Dagens kunnskapsgrunnlag tilsier imidlertid at risikoen for omfattende metylering ved U-864 er begrenset som følge av det lave innholdet av organisk materiale i sedimentene. Valg av tildekkingsmateriale kan likevel påvirke prosessene og bør vurderes nærmere ved eventuell videre prosjektering av et tildekkingstiltak.

Den tildekkingsløsningen som er lagt til grunn i kostnadsanalysen bygger på oppdatert tildekkingsdesign utarbeidet etter tidligere prosjekteringsarbeid og inkluderer ikke bruk av aktive materialer som f.eks. aktivt kull som eget tildekkingsmateriale. Eventuell bruk av aktive materialer må vurderes nærmere i en senere prosjekteringsfase og inngår ikke i kostnadsgrunnlaget som er lagt til grunn i denne rapporten.

Metylering skjer fortrinnsvis under anaerobe forhold (uten oksygen) og forutsetter tilgang på biotilgjengelig organisk materiale.

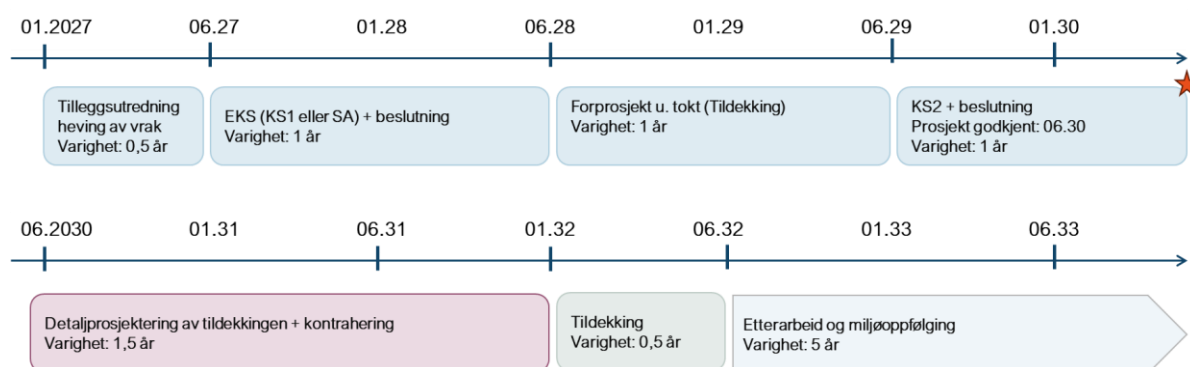
En tildekking vil redusere tilgangen på oksygen til sedimentene og dermed kunne bidra til at det blir anaerobe forhold i sedimentene. Samtidig vil tildekking med mineralske masser også hindre tilgang på nytt organisk materiale. Dette betyr at en tildekking kan øke metyleringen for kvikksølv som i dag ligger i den aerobe (oksygenrike) øverste delen av sedimentene på sjøbunnen. Siden tilgangen på organisk materiale også begrenses så vil denne økningen være forbigående. Tildekkingen vil dessuten også være effektiv når det gjelder å redusere transporten av metylkvikksølv som eventuelt dannes under tildekkingen.

Det er imidlertid viktig å sørge for at det brukes tildekkingsmasser som ikke inneholder biotilgjengelig karbon, fordi slikt karbon vil kunne gi betydelig økning i metyleringen av kvikksølvet. Per i dag er metyleringen av kvikksølvet ved U-864 svært lav. Som tidligere nevnt er det kun målt svært lave konsentrasjoner av metylkvikksølv i vannprøver og i tester av utlekking fra sjøbunnen.

7.3.4 Fremdriftsplan for gjennomføring av Alternativ 1 Tildekking

Det er utarbeidet en tentativ fremdriftsplan for gjennomføring av resterende faser av prosjektet avhengig av valg av alternativ. Planen er utgangspunktet for kostnadsanalysen og den samfunnsøkonomiske analysen. Tidspunkt for gjennomføring og varigheter tar utgangspunkt i at det skal gjennomføres en supplerende utredning for heving av vrak. Det er lagt inn tid for ekstern kvalitetssikring av utredningene. Det er videre planlagt med en etterfølgende forprosjektering og en etterfølgende KS2 som grunnlag for en investeringsbeslutning.

For alternativ 1 er det lagt til grunn en utførelsesentreprise der Kystverket detaljprosjekterer tildekkingen og anskaffer en marin entreprenør for gjennomføring av tiltaket. Varigheter for de ulike fasene fremgår av tidsplanen nedenfor. Ved en investeringsbeslutning i juni 2030, kan tildekkingen være etablert medio 2032.



Figur 25 Fremdriftsplan for gjennomføring av Alternativ 1 Tildekking. Planen er basert på en utførelsesentreprise. Samlet varighet av prosjektering og utførelse antas den samme uavhengig av valg av entrepriseform.

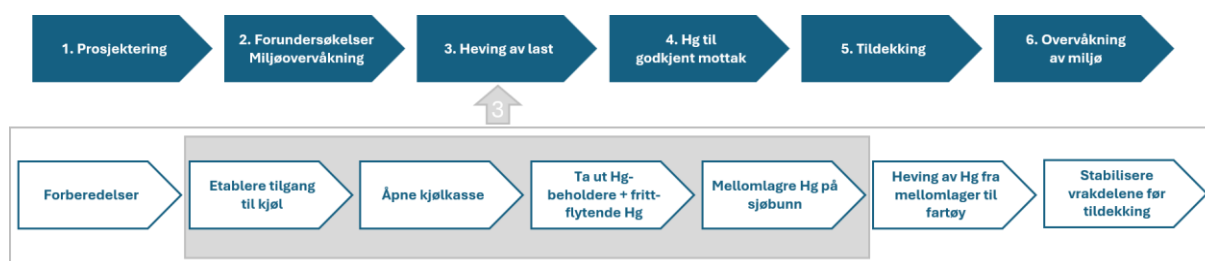
7.4 Alternativ 3 Heving av last og tildekking av vrak og forurenset sjøbunn

7.4.1 Innledning

Alternativet omfatter en første fase der kvikksølvlasten forsøkes hentet ut av vraket, etterfulgt av tildekking av gjenværende vrakdeler og forurenset sjøbunn. Selve tildekkingen vil i prinsipp være tilsvarende som tiltaket beskrevet for Alternativ 1 Tildekking, men omfang og utforming vil være avhengig av situasjonen på sjøbunnen etter at arbeidet kvikksølvlasten er avsluttet.

7.4.2 Overordnet beskrivelse av alternativets første fase

I forprosjektet (2014) ble det lagt til grunn at det skulle etableres tilkomst til kjølkassene, slik at kvikksølvbeholdere og eventuelt flytende kvikksølv kunne tas ut og bringes til land for videre håndtering. Erfaringene fra Tokt 2b har vist at betydelige mengder kvikksølv forekommer som frittflytende kvikksølv i kjølkassene og i tilgrensende sedimenter. Dette har betydning for hvordan et eventuelt tiltak kan gjennomføres. I figuren nedenfor er alle faser av alternativ 3 vist med enkelte endringer fra forprosjektet grunnet omfanget av frittflytende kvikksølv i kjølkassene.



Figur 26 Stegvis fremgangsmåte for gjennomføring Alternativ 3 Heving av last (2014). Her er operasjonen med etablering av en støttefylling tatt ut da dette allerede er gjennomført. Aktivitetene vil gjennomføres i flere trinn. Det er to vrakdeler (for- og akterseksjon) som skal tømmes for Hg-beholdere og frittflytende kvikksølv, og operasjonen for hver av vrakdelene vil foregå i etapper. For hver vrakdel vil valgt metode for heving påvirke hvor mange etapper operasjonen deles opp i.

Mulighetsstudien for heving av last, som er beskrevet i kapittel 5.6, vurderte flere metoder for heving av last. Metode 4 Kutte ble vurdert å ha potensiale for et høyt uttak av kvikksølv og et lavere kostnadsnivå, men metoden bygger imidlertid på forutsetninger om tilstanden til kvikksølvbeholdere som erfaringene fra Tokt 2b delvis utfordrer. For at metode 4 Kutte fortsatt skal være aktuell, må metoden videreutvikles og tilpasses en ny situasjon med frittflytende kvikksølv i kjølkassene.

For å håndtere konsekvensene av de nye funnene fra Tokt 2b, har Kystverket derfor beskrevet en modifisert versjon av metode 1 Rulle, omtalt som metode 1b Grave. Denne metoden er, sammen med metode 4 Kutte, lagt til grunn for alternativanalysen, uten at dette

innebærer et valg av metode for en eventuell fremtidig gjennomføring dersom alternativ 3 Heving av last legges til grunn.

Metode 1b Grave bygger på trinnvis utgraving langs én side av vrakseksjonene, uttak av kvikksølvbeholdere og frittflytende kvikksølv, og fortløpende stabilisering av vraket ved tilbakefylling med steinmasser. Det forutsettes at tilgang til kjølkamre på motsatt side etableres ved åpning av den langsgående senterplaten i kjølkassene. Det vises til supplerende informasjon om utfordringer knyttet til tilgang til motstående side i vedlegg /V05/ og /V12/.

7.4.3 Mengder kvikksølv det er mulig å heve

Resultatene fra modelleringen som ble utført ifm. forprosjektet viser svært stor usikkerhet for hvor mange kvikksølvbeholdere som kan forventes å kunne heves. En stor bidragsyter til dette er usikkerhet knyttet til hvor kvikksølvbeholderne ble stuert, antall lagret i hver kjølkasse, status på beholderne og hvor stor andel av disse som ble ødelagt da U-864 ble torpedert. I tillegg vil en hevingsoperasjon være svært krevende operasjon og som øker usikkerheten ytterligere.

Oppdraget fra NFD omfatter å gjennomføre nye undersøkelser på U-864 som spesifikt omfatter kvikksølvlasten i form av å kartlegge;

- tilstanden på kjølkassen hvor kvikksølvbeholderne ligger
- tilstanden på kvikksølvbeholderne
- hvor mye flytende kvikksølv som kan befinne seg i vraket og i sedimentene i umiddelbar nærhet.

Formålet med undersøkelsene var å innhente informasjon som kan redusere usikkerheten om mengde, plassering og tilstand på kvikksølvbeholderne i kjølkassene og i sedimentene for å gi en mer presis vurdering av mengden kvikksølv som kan forventes å kunne heves.

Tokt 2B (beskrevet i kapittel 5.4.3) lyktes med å grave tilgang til seks kjølkasser, hvorav to av disse inneholdt kvikksølvbeholdere: 24 stk. i hvert kammer. Ett av disse ble tømt, og hvor 12 flasker var hele, 10 var rustet hull på og kvikksølvet lekket ut, mens to beholdere ikke var mulig å løsne fra kjølkassen. I tillegg ble samlet pumpet opp rundt 21 liter flytende kvikksølv fra kjølkassen som ble tømt for kvikksølvbeholdere, kjølkassen med annet innhold og fra sedimentene i det utgravde området.

Tokt 2B viste at tilstanden på kvikksølvbeholderne er dårligere enn tidligere antatt og som har medført at mengden flytende kvikksølv i og utenfor kjølkassene er betydelig.

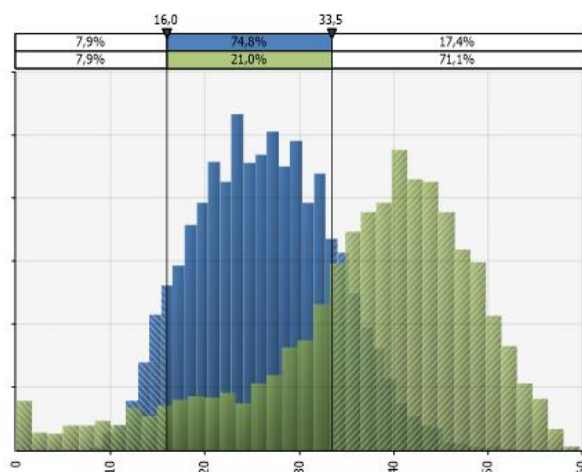
Usikkerheten i resultatene er fortsatt stor, men resultatene oppnådd i Tokt 2B har redusert usikkerheten betydelig. Antall kvikksølvflasker per kammer, status på beholderne og kjølkasse, samt operasjonelle forhold er nå mer kjent. Men det må fortsatt tas i betraktning av kun to kjølkamre med kvikksølvbeholdere er funnet og at disse to ikke nødvendigvis trenger å være representative for de resterende kjølkassene med kvikksølvbeholdere.

Med tilgang til ny informasjon har Kystverket oppdatert den kvantitative analysen fra forprosjektet i 2014 av hvor stor andel av kvikksølvlasten som det er mulig å heve. Det er i analysen beregnet mengder kvikksølv det er mulig å heve ved bruk av både metode 1b Grave og metode 4 Kutte, og resultatene er vist i tabellen nedenfor.

Tabell 8 Analyseresultater av mengder kvikksølv (tonn) som kan forventes å bli hevet

Teknisk løsning	Forventningsverdi ⁴	p15	p85
Metode 1b Grave	26 (39 %)	18	34
Metode 4 Kutte	37 (54 %)	25	48

Resultatene viser at ved å benytte metode 4 Kutte kan det forventes å heve rett over 50 % av total mengder kvikksølv. Når man ser på hele spredningen av resultatene, så er bildet noe mer nyansert:



Figur 27 Mengde (tonn) kvikksølv som kan forventes hevet [Blå: "Grave", grønn: "Kutte"]. X-akse viser tonn

Resultatene viser at usikkerheten er betydelig større for metode 4 Kutte enn for metode 1b Grave. For «Kutte» kan utfallet være at man ikke lykkes i det hele tatt eller at man kun lykkes i å heve en vrakdel og at denne inneholder lite kvikksølv. For «Grave» vil man med høy sannsynlighet lykkes med å finne/åpne flere kjølkasser og heve kvikksølvflasker fra disse.

Men samtidig er potensialet for å kunne heve en langt større andel av kvikksølvet høyere ved «Kutte» enn «Heve». Årsak til dette er krevende tilgang til motsatt side av kjølkamrene, særlig på den aktre vrakdelen.

Resultatene over er gitt dagens vurdering av metode og teknologi. For «Grave» er det tilgang gjennom senterplaten for å få tilgang til motstående kjølkasser som er vurderes som utfordrende. Dersom det utvikles gode verktøy og løsninger vil sannsynligheten for å lykkes med dette kunne øke forventet mengder kvikksølv som kan heves.

Den største gjenværende usikkerheten er andelen kvikksølvbeholdere som var lastet i midtseksjonen som ble knust under torpederingen og hvor mye av kjølkassen som er ødelagt av torpederingen og sammenstøt med sjøbunnen. Denne usikkerheten vil ikke bli avdekket før alle kjølkassene inspiseres og åpnes. Dersom en stor andel av kvikksølvbeholderne var lagret i denne delen så kan det medføre at en mindre mengde kvikksølv kan heves, og det til tross for at en operasjon i seg selv er fullt ut vellykket.

For mer detaljer om metode og resultater, se vedlegg /V10/.

⁴ Andelen av total mengder kvikksølv er basert på at U864 ble lastet iht. bestillingen som var 1857 beholdere og at det i hver beholder er 2,7 liter kvikksølv, samlet 67 tonn.

7.4.4 Alternativ 3 – metode 1b Grave

Metoden forutsetter at det etableres tilkomst til kjølkassene gjennom utgraving langs den ene siden av forseksjon og akterseksjon. Kvikksølvbeholdere tas deretter ut og frifflytende kvikksølv pumpes opp fra kjølkamre på begge sider, og som skjer i etapper for å sikre stabilitet. Deretter tildekkes vrakdelene og den forurensede sjøbunnen med rene masser.

Figuren nedenfor viser stegene i en gjennomføring ved bruk av denne metoden.

Steg 1:

Grave, tømme kjølkasser, sugе opp fritt kvikksølv og stabilisere vrak



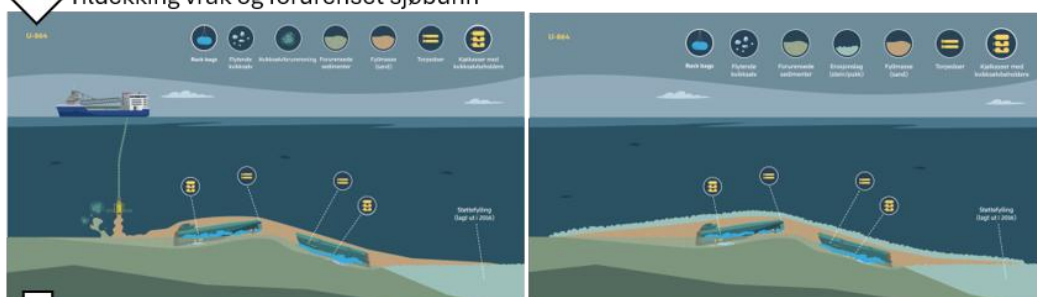
Steg 2:

- Løfte kvikksølvlast til fartøy, transport til mottak på land og behandle kvikksølv før videre transport



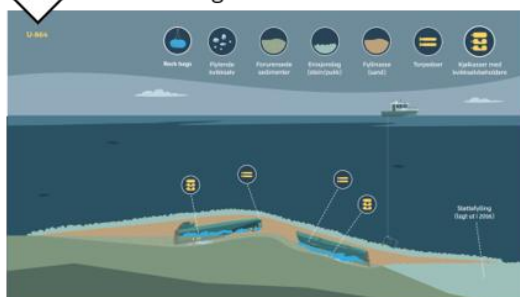
Steg 3:

- Tildekking vrak og forurenset sjøbunn



Steg 4:

Overvåkning av tiltaksområdet



Deponering:

Kvikksølv sendes til prosessering og deponi



Figur 28 Alternativ 3 Heving av last og tildekking av vrak og forurenset havbunn - Prinsippsskisse av tiltakets ulike steg basert på metode 1b Grave

Stegene omfatter aktiviteter fra etablering av tilgang til kjølkasser til kvikksølvet er ferdig stabilisert og deponert. I det følgende beskrives hvert steg med tilhørende operasjoner og en kvalitativ vurdering av miljøpåvirkningen ved en situasjon med normal gjennomføring.

I motsetning til alternativ 1 innebærer denne metoden håndtering og transport av kvikksølv til land. Miljøpåvirkningen er derfor ikke begrenset til sjømiljøet, men omfatter også mulig spredning og eksponering til luft, land og personell gjennom videre håndtering, behandling og deponering av kvikksølvlasten.

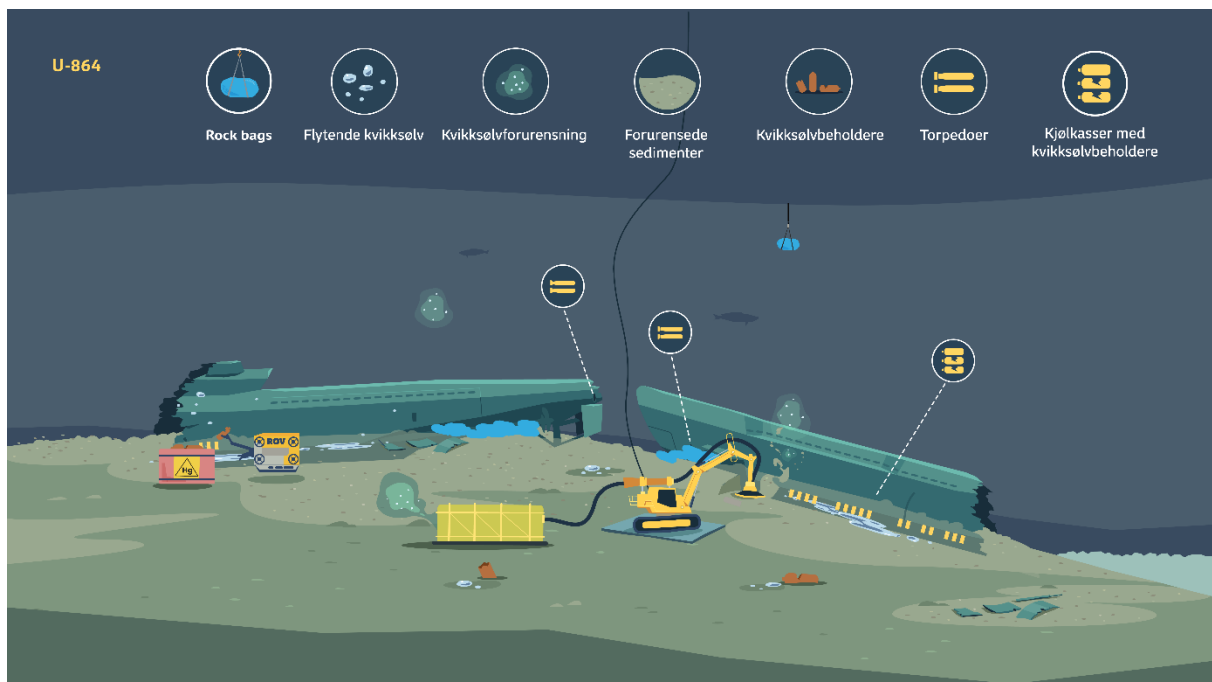
Steg 1 – Grave, tømme kjølkasser og stabilisere vraket

Operasjon

Det første steget av operasjonen omfatter følgende trinnvise aktiviteter:

- etablering av tilkomst til kjølkassene gjennom fjerning av sedimenter,
- uttak og mellomlagring av kvikksølvbeholdere på sjøbunnen,
- frittflytende kvikksølv suges opp egnede beholdere og mellomlagres,
- etablering av tilgang til motstående kjølkamre, og uttak av kvikksølvlast
- tilbakefylling og stabilisering av de utgravde områdene.

Arbeidet gjennomføres trinnvis i begrensede lengder for hver vrakseksjon for å sikre stabilitet. Etter at én del er tømt og stabilisert kan operasjonen videreføres til neste del.





Figur 29 Illustrasjoner av Steg 1. Øverste bilde viser sugemudring av en del langs forseksjonen, mens en del lengst fremme er ferdig stabilisert etter uttak av kvikksølvlast. I samme bilde vises uttak av kvikksølvbeholdere ved akterseksjonen og mellomlagring av disse på sjøbunnen. Nederste bilde viser oppsugning av flytende kvikksølv som pumpes over i en container, mens akterseksjonen er ferdig stabilisert etter arbeider med å heve lasten.

Illustrasjonene over viser på en forenklet måte arbeider på begge vrakseksjoner. Endelig rekkefølge på og fordelingen av arbeidene mellom vrakseksjonene, må utredes og beskrives i et forprosjekt.

Miljøpåvirkning i en normalsituasjon

I denne fasen vil det være risiko for eksponering av kvikksølvforurensning til sjø. Erfaringene fra Tokt 2b viser at sugemudring og andre fysiske inngrep i sedimentene medfører oppvirvling og spredning av kvikksølvforurensning til vannmassene. Denne spredningen må reduseres gjennom fysiske tiltak med dokumentert effekt slik at mengden av kvikksølv som spres utenfor tiltaksområdet holdes innenfor fastsatt budsjett.

Det legges derfor til grunn at det etableres et miljøovervåkingsprogram som følger arbeidene fortløpende og gjør det mulig å iverksette korrigerende tiltak dersom fastsatte grenser overskrides.

Miljøpåvirkning ved ekstraordinære hendelser

FFI beskriver i sin rapport /V02/ sannsynligheten for en detonasjon som følge av arbeider med vraket som lav, forutsatt at arbeidene gjennomføres kontrollert og uten å påføre vraket kraftige mekaniske belastninger. Vrakdelene må utstyres med bevegelsessensorer slik at uønskede bevegelser av vrakdelene varsles om og der nødvendig stabiliserende tiltak iverksettes før operasjonen kan fortsette.

Dersom en slik hendelse skulle inntreffe under gjennomføringen av tiltaket, vil konsekvensen kunne være skade på utstyr og spredning av kvikksølvforurensede sedimenter.

Miljøkonsekvensen vil imidlertid være begrenset til at sedimenter og kvikksølv som spres

som følge av en detonasjon i all hovedsak vil synke til bunns igjen innenfor tiltaksområdet som er planlagt tildekket.

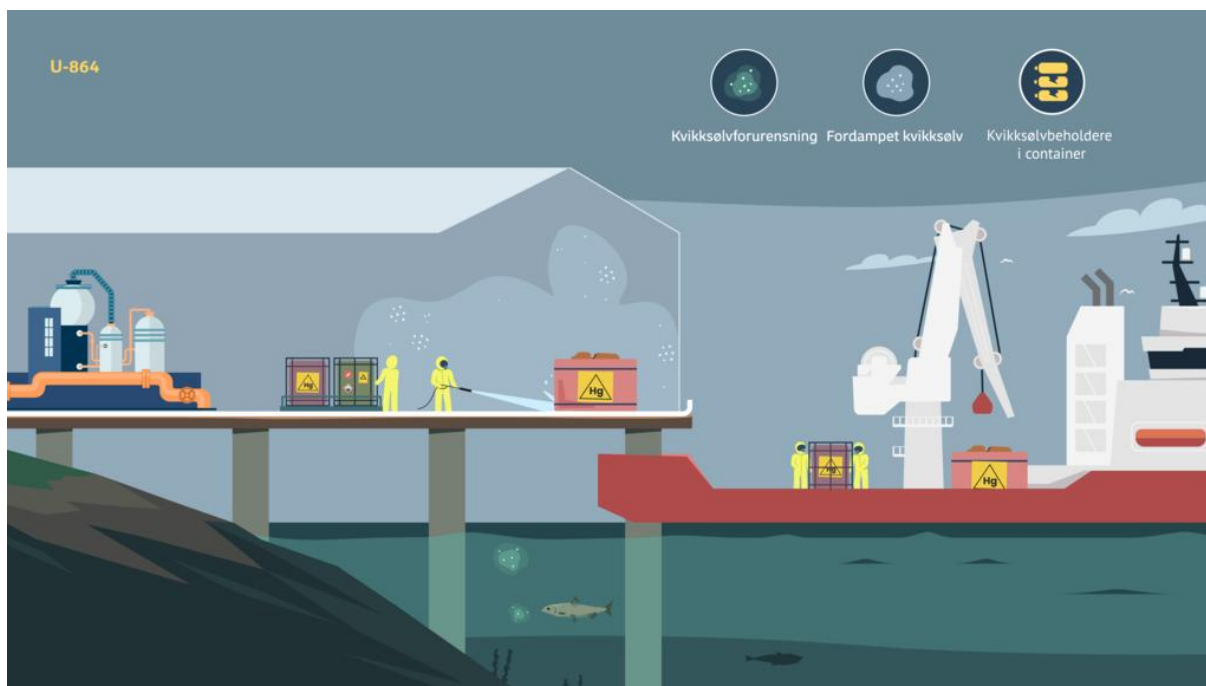
Steg 2 – Løfte kvikksølvlast til fartøy, transport til mottak på land og behandle kvikksølv før videre transport

Operasjon

Det andre steget av operasjonen omfatter følgende trinnvise aktiviteter:

- løfting av kvikksølvbeholdere og oppsamlet flytende kvikksølv til et fartøy,
- transport til mottaksanlegg på land for videre behandling,
- sortering og behandling av kvikksølv og øvrig avfall,
- kvikksølv prosesseres for å oppfylle krav til mottaksanlegg i utlandet for stabilisering og deponering
- håndtering av annet farlig avfall prosesseres for deponering og evt. gjenbruk





Figur 30 Illustrasjoner av Steg 2. Øverste bilde viser heving av containere som inneholder kvikksølvbeholdere og lukkede beholdere med fritt flytende kvikksølv opp til et fartøy. Nederste bilde viser mottak av kvikksølvlasten til et landanlegg for videre kildesortering av avfallet og prosessering av dette. Det skal skilles ut kvikksølv på en form som oppfyller krav til prosessanlegg i utlandet for videre håndtering og stabilisering av kvikksølvet.

Miljøpåvirkning i en normalsituasjon

I denne fasen vil det være risiko for kvikksølvforurensning til sjø, luft og land dersom håndteringen ikke skjer kontrollert. Risikoen knytter seg særlig til lasting, lossing, transport og behandling av kvikksølvholdig materiale. Når lasten tas i land vil det være en risiko for at kvikksølv fortsatt fordampes eller ved uhell spres til land og videre til resipient. Denne spredningen må reduseres gjennom fysiske tiltak slik at mengde av kvikksølv som spres er innenfor de krav som settes til mottakets utslippsbegrensninger og vilkår for drift.

Miljøpåvirkning ved ekstraordinære hendelser

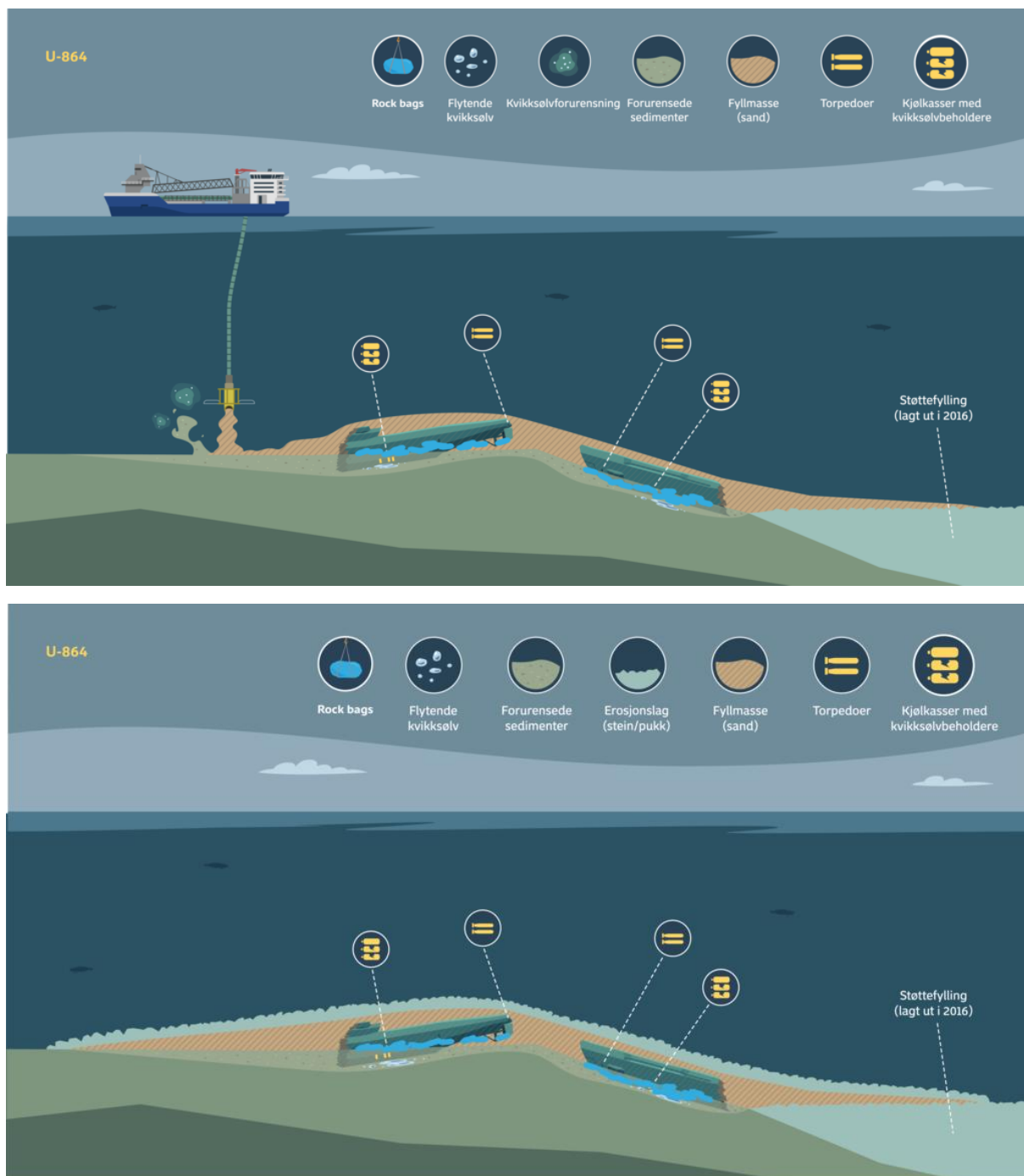
Det vil alltid være en risiko for ekstraordinære uønskede hendelser ved håndtering av farlige stoffer som eksponering til mennesker og/eller omgivelser. Det er hendelser som må identifiseres og håndteres gjennom mottakets kvalitetssystem. Tiltak som både reduserer sannsynlighet for at hendelsen inntreffer, og tiltak som reduserer skadevirkninger kan reduseres best mulig dersom en hendelse inntreffer, må beskrives.

Steg 3 – Tildekking av vrak og forurenset sjøbunn

Operasjon

Etter at arbeidet med håndtering av kvikksølvlasten er avsluttet, gjennomføres tildekking av vrak og forurenset sjøbunn. Arbeidsoppgaver og tekniske løsninger er i hovedsak tilsvarende som for alternativ 1 Tildekking.

Figuren nedenfor viser to situasjonsbilder for hhv. en operasjon med utlegging av lag med fine masser og en situasjon der erosjonslaget er ferdig lagt ut.



Figur 31 Illustrasjoner av Steg 3. Øverste bilde viser utlegging av finkornede masser, mens nederste bilde viser ferdig utlagt erosjonslag.

Miljøpåvirkning i en normalsituasjon og ved ekstraordinære hendelser

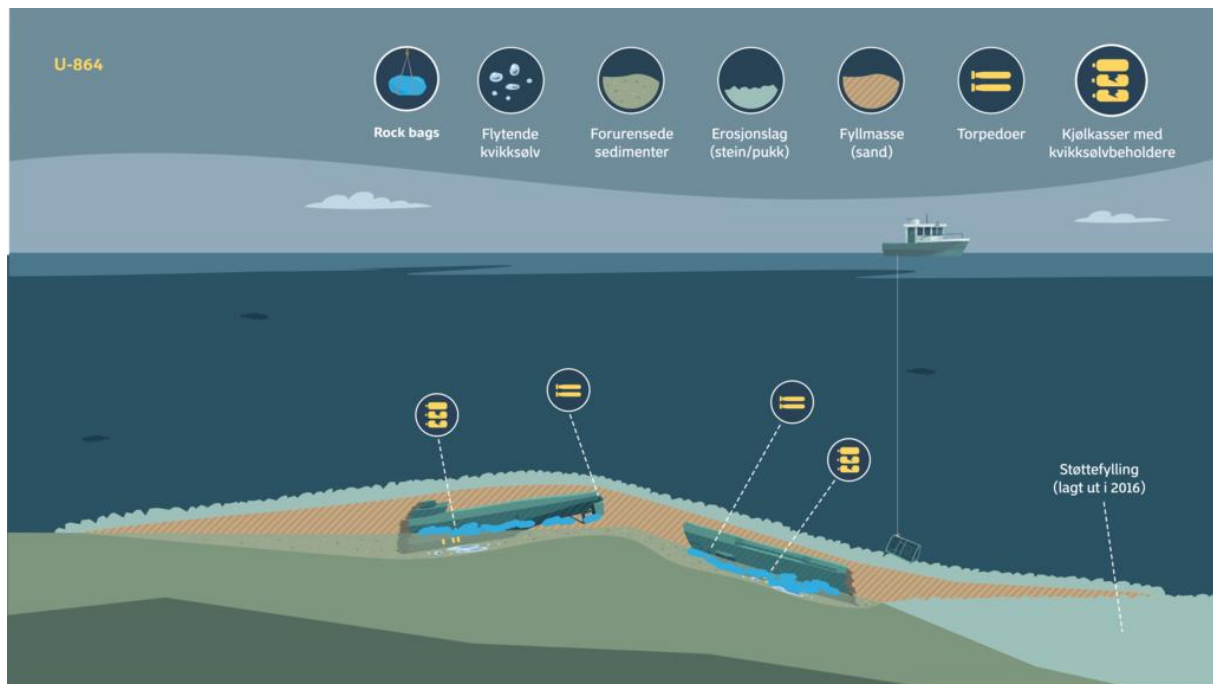
Miljøpåvirkningen vurderes tilsvarende som for Alternativ 1 Tildekking.

Steg 4: Overvåkning av tiltaksområdet

Operasjon

I etterkant av fullført tiltak vil tiltaksområdet overvåkes for å sikre at tiltaket har hatt ønsket effekt. Overvåkingen forventes i hovedsak å omfatte prøvetaking av fisk og skalldyr.

Overvåkningen forventes å være tilsvarende som for alternativ 1 Tildekking. Figuren nedenfor viser et situasjonsbilde med prøvetaking gjennom fangst av fisk og krabber for etterfølgende analyser.



Figur 32 Illustrasjoner av Steg 4. Overvåking av tiltaksområdet etter slutført tiltak

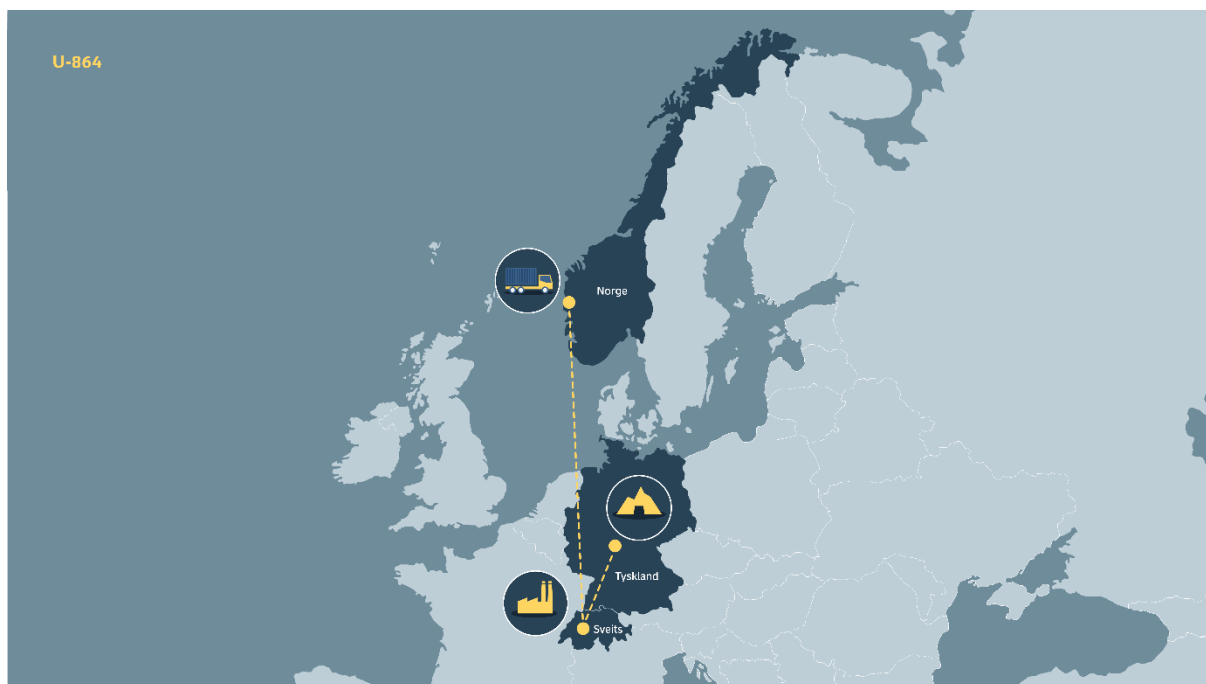
Miljøpåvirkning i en normalsituasjon og ved ekstraordinære hendelser

Miljøpåvirkningen vil være tilsvarende som for alternativ 1 Tildekking.

Steg 5 - Deponering av kvikksølv

Operasjon

Fra mottaksanlegget på land, som har gjennomført nødvendig forbehandling av kvikksølvlasten, må kvikksølvet fraktes til godkjent sluttbehandlingsanlegg for stabilisering og videre til et deponi.



Figur 33 Illustrasjoner av mulig rute for transport av metallisk flytende kvikksølv fra Norge til mottakerland for hhv. stabilisering og deponering av kvikksølv

Miljøpåvirkning i en normalsituasjon

Transport og behandling skal gjennomføres i tråd med gjeldende regelverk for farlig avfall. Ved normalt drift forventes utslippene å være svært begrensede.

Miljøpåvirkning ved ekstraordinære hendelser

Det kan oppstå hendelser i forbindelse med transport, lossing eller behandling av kvikksølvlasten. Slike hendelser må håndteres gjennom etablerte sikkerhets- og beredskapssystemene hos de involverte aktørene.

Stabilisert kvikksølv deponeres normalt i godkjente underjordiske anlegg. Miljørisikoen ved slike sluttdeponier vurderes som svært lav sammenlignet med lagring av metallisk flytende kvikksølv.

7.4.5 Alternativ 3 – metode 4 Kutte

I denne metoden seksjonerer for- og akterseksjonen av vraket ved hjelp av kutteoperasjoner der formålet er å skille ut de deler av vraket som inneholder kjølkasser med kvikksølv kan skilles ut og heves. Vrakdeler som inneholder torpedoer, blir liggende igjen på sjøbunnen. Etter at arbeidet med kvikksølvlasten er avsluttet, tildekkes de gjenværende vrakdelene og den forurensede sjøbunnen med rene masser.

Figuren nedenfor viser hovedstegene i gjennomføring av metoden frem til tildekkingsfasen.

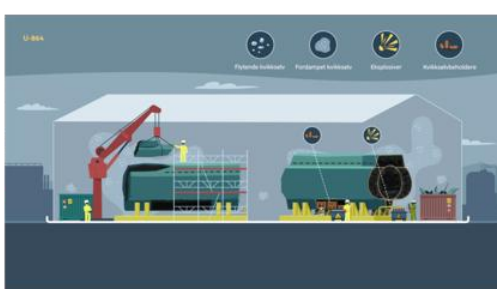
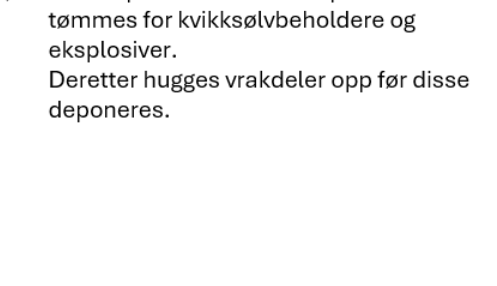
Steg 1:

Kutte og heve vrakdeler med kjølkasser. Suge opp evt. dammer med kvikksølv



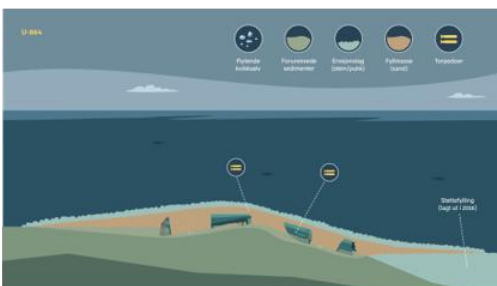
Steg 2:

Vrakdeler løftes til fartøy i tette containere, for å transporteres til mottak på land der de tømmes for kvikksølvbeholdere og eksplosiver. Deretter hugges vrakdeler opp før disse deponeres.



Steg 3:

Tildekking vrak og forurenset sjøbunn



Steg 4:

Overvåkning av tiltaksområdet



Figur 34 Alternativ 3 Heving av last og tildekking av vrak og forurenset havbunn - Prinsippskisse av tiltakets ulike steg basert på metode 4 Kutte. Steg 4 Overvåkning av tiltaksområdet og Deponering er ikke vist her. Disse vil være tilsvarende som for i foregående kapittel for metode 1b Grave

Steg 4 Overvåkning samt Deponering er tilsvarende som vist for metode 1b Grave.

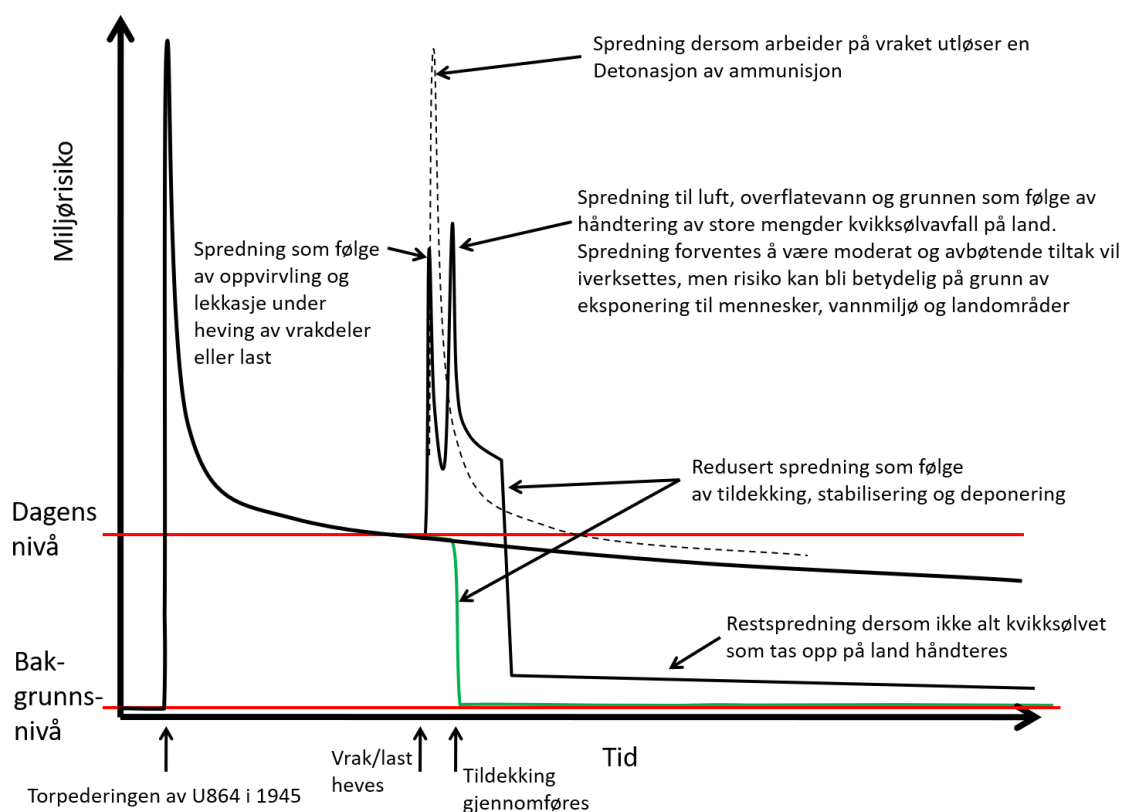
De ulike stegene for denne metoden er detaljert beskrevet i Vedlegg /V11/.

7.4.6 Overordnede betraktninger av miljørisiko for alternativ 3 Heving av last

Erfaringene fra gjennomførte tokt viser at mudring og andre fysiske inngrep i sjøbunnen og på vraket medfører spredning av kvikksølvforurensning. For alternativ 3 vil slik spredning kunne oppstå både under etablering av tilgang til kjølkassene og under uttak av kvikksølvbeholdere og flytende kvikksølv.

Alternativet innebærer videre at kvikksølvlasten tas opp fra sjøbunnen og håndteres på fartøy og på land før sluttdeponering. Dette kan innebærer at miljøpåvirkningen ikke bare er knyttet til sjøbunnen og vannmassene, men også til håndtering, transport og behandling av kvikksølv på land. Avbøtende tiltak kan iverksettes, men faren for direkte eksponering av mennesker og nærmiljø kan ikke elimineres fullstendig.

Resultatet av den semikvantitative miljørisikoanalysen for alternativ 3 Heving av last er presentert i figuren nedenfor og vil i prinsippet være den samme uavhengig av om det legges til grunn metode 1b Grave eller metode 4 Kutte for gjennomføring av tiltak.

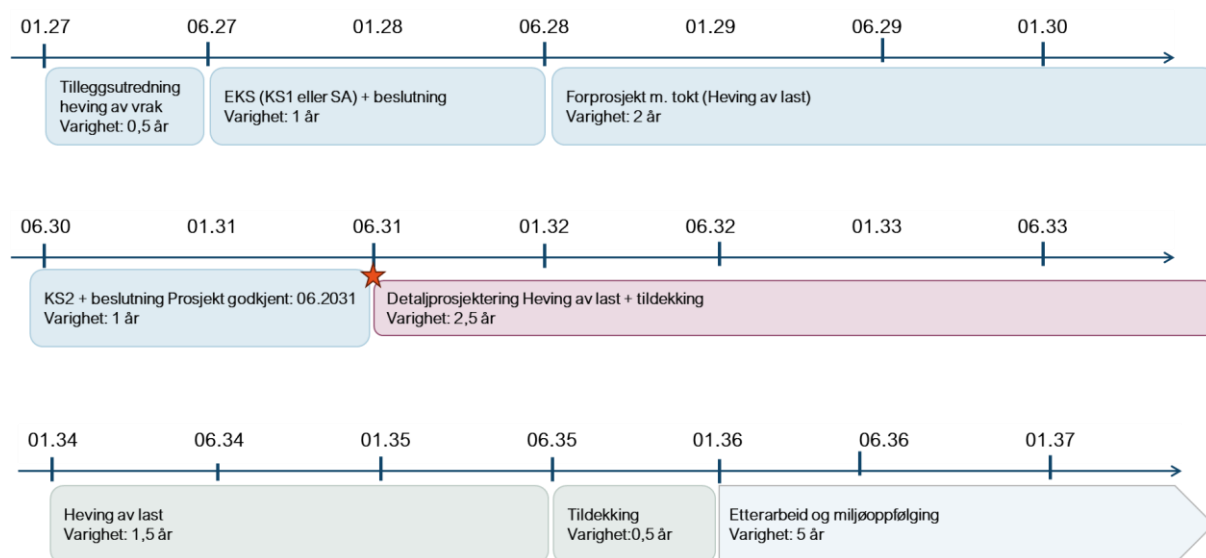


Figur 35 Semikvantitativ grafisk beskrivelse av forventet risiko knyttet til spredning av kvikksølv for heving av last alternativet (Figurene er basert på miljørisikovurderingen gjort i KVVU og oppdatert med informasjon innsamlet etter dette). Hverken risiko- eller tidsskalaen kan brukes til å lese av eksakte verdier. Men utvikling i spredning er vurdert basert på kunnskap om hvordan slik spredning utvikles over tid. Spredning og risiko ved ulike hendelser vurdert relativt i forhold til spredningen som skjedde ved torpederingen i 1945 og i forhold til dagens nivå for utslipp.

7.4.7 Fremdriftsplan for gjennomføring av Alternativ 3 Heving av last

Det er utarbeidet en tentativ fremdriftsplan for alternativ 3 Heving av last. Planen danner grunnlag for kostnadsanalysen og den samfunnsøkonomiske analysen. Fremdriftsplanen legger til grunn at det gjennomføres en supplerende utredning for heving av vrak, etterfulgt av ekstern kvalitetssikring, forprosjektering og KS2 før investeringsbeslutning.

For alternativ 3 er det vist en fremdriftsplan der Kystverket detaljprosjekterer tiltaket og anskaffer en marin entreprenør for gjennomføring. Samlet varighet for prosjektering og utførelse er estimert til om lag 4,5 år. Den lange gjennomføringsperioden gir mulighet for å vurdere alternative anskaffelses- og kontraktstrategier, herunder modeller som involverer entreprenør i en tidligere fase av prosjektet på et tidligere tidspunkt.



Figur 36 Fremdriftsplan for gjennomføring av Alternativ 3 Heving av last. Planen er basert på en utførelsesentreprise. Samlet varighet av prosjektering og utførelse antas den samme uavhengig av valg av entrepriseform.

7.4.8 Vurdering av metode 1b Grave og metode 4 Kutte

Begge metodene innebærer omfattende fysiske inngrep i vrak og sedimenter for å etablere tilgang til kjølkassene. Erfaringene fra Tokt 2b viser at mudring, håndtering av kjølkasser og uttak av kvikksølv vil medføre spredning av kvikksølvforurensning. Det må derfor legges til grunn at begge metodene vil gi en midlertidig økning i eksponeringen av kvikksølv til omgivelsene i gjennomføringsfasen.

De to metodene skiller seg først og fremst fra hverandre når det gjelder forventet uttaksgrad for kvikksølv, gjennomførbarhet, kostnader, usikkerhet og muligheten for trinnvis gjennomføring. Tabellen nedenfor oppsummerer de viktigste styrkene og svakhetene ved de to metodene basert på dagens kunnskapsgrunnlag. Gitt den fasen prosjektet er i, er svakhetene som er listet opp ikke søkt løst. Sammenstillingen nedenfor er ikke uttømmende, men den lister opp de viktigste forskjellene for metode 1b Grave og metode 4 Kutte.

Tabell 9 Styrker og svakheter ved de to ulike metodene for Alternativ 3 Heving av last

	Metode 1B - Grave
Styrker	• Metode utprøvd under tidligere tokt og ved tokt 2b der det er lyktes å etablere tilkomst til kjølkasser og hente ut kvikksølvbeholdere og frittflytende metallisk kvikksølv • Det er overveiende sannsynlig at en god andel av kvikksølvbeholdere kan heves • Metoden er mer robust for dårlig vær enn metoden «Kutte» da det ikke er behov for et større løftefartøy • Lavere investeringskostnader i spesialutstyr før marin operasjon starter sammenlignet med metode 4 Kutte • Ikke behov for å ha fartøy rett over vraket (jf. fare for detonasjon) • Godt egnet for trinnvis gjennomføring der antall trinn styres av praktisk gjennomførbarhet og stabiliserende tiltak • Lavere kostnader til utvikling av utstyr enn metode 4 Kutte og mulighet hele veien for stegvis å gå videre eller å avbryte. • Mindre usikkerhet knyttet til faktisk oppnådd uttaksgrad sammenlignet med metode 4 Kutte.
Svakheter	• Store volumer av sedimenter må mudres, noe som kan gi utfordringer med spredning av kvikksølv og lokal stabilitet for vrak. Utvikling av effektive tiltak kan redusere utfordringene. • Forventet lavere uttaksgrad av kvikksølv enn ved metode 4 Kutte, gitt dagens teknologi og metodeutvikling.
	Metode 4 – Kutte
Styrker	• Potensialet for å hente ut en større andel av kvikksølvlasten enn ved metode 1b Grave, gitt dagens teknologi og forutsetninger. • Vrakdeler som inneholder torpedoer kan skilles fra vrakdeler som inneholder kvikksølvlast før hevingsoperasjonen.
Svakheter	• Store kostnader til utvikling, testing og anskaffelse av spesialutstyr før den marine operasjonen kan starter. • Løftefartøy må arbeide over vrakdeler når disse skal flyttes, og som kan medføre bevegelser på vrakdelene med torpedoer

	• Fritt flytende kvikksølv i kjølkassene kan gi økt risiko for lekkasje og spredning ved kutting, flytting og løfting av vrakseksjoner. • Mindre egnet for trinnvis gjennomføring, da store investeringer og forberedende arbeider må gjennomføres før uttak av kvikksølv kan starte. • Antall trinn som en hevingsoperasjon naturlig kan deles inn antas å være to der heving av last i hhv for- og akterseksjon.
--	--

8 Alternativanalyse

8.1 Innledning

Dette kapitlet sammenfatter vurderingene av de utredede alternativene for håndtering av U-864. Formålet er å gi et samlet beslutningsgrunnlag basert på investeringskostnader, usikkerhet, samfunnsøkonomiske virkninger, miljøeffekter og gjennomføringsrisiko.

Alternativanalysen er gjennomført i tråd med mandatet fra NFD, samt Finansdepartementets rundskriv R-108/23 og R-109/21, og bygger på de tekniske og økonomiske analysene som er dokumentert i rapportens vedlegg.

Følgende alternativer vurderes:

- A0 Nullalternativet
- A1 Tildekking av vrak og forurenset sjøbunn
- A3/1b Heving av last ved graving etterfulgt av tildekking
- A3/4 Heving av vrakdeler med last ved kutting etterfulgt av tildekking

Nullalternativet er inkludert som referansegrunnlag, men anses ikke som et reelt tiltaksalternativ.

8.2 Investeringskostnader

8.2.1 Basisestimat

Basiskalkylen skal reflektere dagens prosjektforståelse og forventet anbudssum ved effektiv konkurranse i leverandørmarkedet. Tabellen nedenfor viser estimert basis for hvert alternativ.

Tabell 10 Basisestimat for alternativene. Kostnader i mill. kr ekskl. mva. Prisnivået er 2026K2.

Prosjektkostnader	A0 Null-alternativet	A1 Tildekking	A3/1b Heving av last, Grave	A3/4 Heving last, Kutte
Byggherrekostnader	-	108	161	161
Overvåking av miljø og vrakstabilitet	-	95	235	258
Heving av last	-	-	385	703
Tildekking	-	114	114	114
Dekommisjonering av vrak	-	-	-	70
Hg til godkjent mottak	-	-	26	37
Basisestimat	-	317	922	1 343

Nullalternativet omfatter kun driftskostnader. Tabellen viser hvilke kostnadsposter som inngår i de øvrige alternativene. Alternativ 1 Tildekking omfatter byggherrekostnader, overvåking av miljø og vrakstabilitet samt tildekning av vraket. Alternativ 3 Heving av last, metode 1b Grave

omfatter de samme kostnadene, med tillegg av kostnader til heving og håndtering av last, samt levering av kvikksølv til godkjent mottak. Alternativ 3 Heving av last, metode 4 Kutte omfatter i tillegg kostnader til heving og dekommisjonering av vrakdelere. De enkelte kostnadspostene, estimeringsmetodikken og de beregningstekniske forutsetningene er nærmere beskrevet i vedlegget Kostnads- og usikkerhetsanalyse /V17/. Vedlegget redegjør også for de avgrensninger av omfang som ligger til grunn for basisestimatet.

8.2.2 Usikkerhetsanalyse av investeringskostnader

Det er gjennomført en usikkerhetsanalyse av investeringskostnader som beskrevet i vedlegg /V17/ Kostnads- og usikkerhetsanalyse. Hovedresultatene vises i tabellen under og videre kapitler oppsummerer resultatene fra analysen.

Tabell 11 Hovedresultater fra usikkerhetsanalyse, avrundet til nærmeste 10 mill.kr, ekskl. mva. Prisenivå: 2026K2.

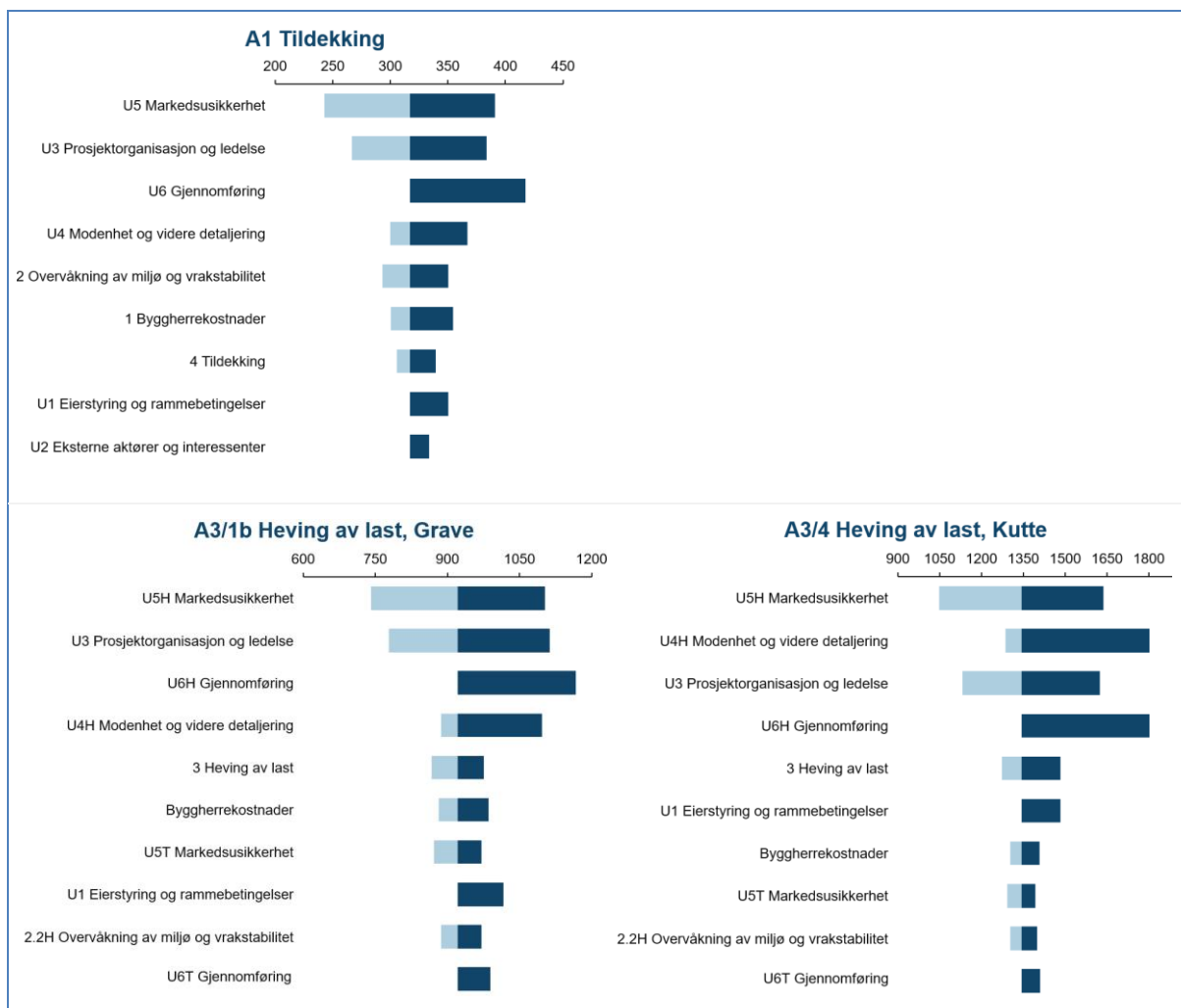
	A1 Tildekking		A3/1b Heving av last, Grave		A3/4 Heving av last, Kutte	
Kostnadselement	Mill.kr.	(%)	Mill.kr.	(%)	Mill. kr	(%)
Basisestimat	320		920		1 340	
Forventet tillegg	90	28 %	300	33 %	570	43 %
P50	410		1 230		1 930	
Forventet kostnad	420		1 250		1 960	
Usikkerhetsavsetning	180		450		800	
P85	590		1 680		2 710	
Standardavvik	150	36 %	400	32 %	700	36 %

Usikkerhetsanalysen viser at P50- og P85-verdi er henholdsvis 410 og 590 mill.kr for alternativ 1 Tildekking, 1 230 og 1 680 mill.kr for alternativ 3 Heving av last, metode 1b Grave, og 1 930 og 2 710 mill. kr for alternativ 3 Heving av last, metode 4 Kutte. Forventet tillegg er beregnet til hhv. 28, 33 og 43 prosent av basisestimatet for alternativene. Dette viser forskjellen i modenhetene til estimatene, der alternativ 1 Tildekking er av større modning og mer kjente priser enn resterende alternativer. Alternativ 3 Heving av last, metode 1b Grave anses også som mer modent og mindre usikkert enn metode 4 Kutte, da vi kan benytte erfaringer fra tokt 2b, og det er en mindre nyskapende metode for heving av last.

Usikkerheten, uttrykt som relativt standardavvik, er på hhv. 36, 33 og 36 prosent av forventet kostnad, og reflekterer prosjektets usikkerhetsbilde, modenhet og kvalitet på basisestimatet. Det relative standardavviket er noe lavere for alternativ 3 Heving av last, metode 1b Grave, enn for alternativ 1 Tildekking og alternativ 3 Heving av last, metode 4 Kutte. Dette skyldes at alternativet består av flere kostnadselementer og faser med usikkerhet som ikke er fullt ut korrelerte. Når usikkerhetene ses samlet, reduseres den relative usikkerheten i alternativets

totale kostnad. For metode 4 Kutte, er usikkerhetsnivået større, og den relative usikkerheten vil ikke oppleve en like stor reduksjon for et samlet tiltak.

Tornadodiagrammene i figuren under rangerer usikkerhetselementene (kostnadsposter og usikkerhetsdrivere) som bidrar mest til den totale kostnadsusikkerheten i prosjektet. Lyseblå del (til venstre) viser potensial for kostnadsreduksjon, mens blå del (til høyre) viser potensial for kostnadsøkning, i forhold til basisestimatet.



Figur 37 Tornadodiagram med rangering av usikkerhetene som bidrar mest til den totale usikkerheten (standardavviket) i analysen. Basisestimat er angitt med vertikal linje i midten. Blått og lyseblått felt angir henholdsvis P10- og P90-verdi i forhold til basisestimatet. Alle kostnader i mill.kr, ekskl. mva. Prisnivå: 2026 K2.

De største bidragsyttere til usikkerhetsbildet er likt for alternativ 1 Tildekking og alternativ 3 Heving av last, metode 1b Grave. For alternativ 3 Heving av last, metode 4 Kutte er modenheten til alternativet en større bidragsyter til usikkerhet.

Tornadodiagrammene viser at flere usikkerhetselementer har en klart høyere trusselside enn mulighetsside, noe som gjenspeiles i den høye andelen mørkeblå søyler i forhold til de lyseblå i tornadodiagrammet. Dette viser at den samlede usikkerheten i prosjektet er høyreskjev, med større potensial for kostnadsøkning enn for innsparing.

Under beskrives de tre største usikkerhetene for alternativene. For beskrivelser av resterende poster, se Vedlegg 17 Kostnads- og usikkerhetsanalyse /V17/.

U5 Markedsusikkerhet

Markedsusikkerheten er beregnet ved bruk av NTNU Concepts markedsformel. Driveren representerer usikkerhet knyttet til utviklingen i entreprenør- og leverandørmarkedet frem til kontrahering, herunder konkurransesituasjon, kapasitet i markedet, konjunkturer og prosjektets attraktivitet. Markedsusikkerheten er vurdert som symmetrisk, ettersom markedsutviklingen kan gi både høyere og lavere kontraktspriser enn det som er lagt til grunn i basisestimatet.

Mulighetene ligger i å ha en god kontraktstrategi med fleksibilitet for å treffe en gunstig periode for gjennomføring tilpasset markedet. Utfordringene ligger i å få engasjert et tilstrekkelig antall og de riktige aktørene for å få utviklet metoder og verktøy videre for tiltaket heving av last. Anskaffelse i hektisk periode og lav respons på anbudet vil også slå ut negativt.

U3 Prosjektorganisasjon og ledelse

Driveren omfatter usikkerhet knyttet til prosjektorganisasjonens evne til ledelse og styring i prosjekteringsfase og gjennomføringsfase. Driveren inkluderer også evnen til å planlegge, kapasitet og tilgang på ressurser, kontinuitet for nøkkelpersonell, erfaring med tilsvarende prosjekter, evne til samhandling og kommunikasjon internt i prosjektet og i organisasjonen, samt oppfølging av leverandør.

Mulighetene ligger i god styring, effektiv samhandling mellom aktørene og tett oppfølging av leverandør, som kan redusere konfliktnivået, gi kontroll på gråsoner og muliggjøre bedre kostnadsstyring. Gode prosesser for endringsstyring, kontinuitet i prosjektorganisasjonen og koordinering på tvers av Kystverket, rådgivere, leverandører for tildekking og leverandører for heving og behandling av last kan også gi gevinster. Trusselsiden, som er større enn mulighetssiden, ligger i svak koordinering, undervurderte budsjettposter, ressursbelastning i prosjektorganisasjonen, samtidige prosjekter og utydelig arbeidsdeling med leverandører og rådgivere. Dette kan føre til konflikter, styringssvikt og forsinkelser.

U4 Modenhet og videre detaljering

Driveren omfatter usikkerhet knyttet til den videre modningen av prosjektet under forprosjekt og detaljprosjekteringen som følge av konkretisering av løsninger, mangler som avdekkes, samt tolkning av premisser.

Mulighetene ligger i modning og billigere løsninger og løsningsutvikling - spesielt for alternativ 3 Heving av last. Alternativ 3 Heving av last, metode 4 Kutte er av Subsea7 beskrevet som umodent og det er lagt til grunn 40 prosent contingency i basis. Basisestimatet som er lagt til grunn i usikkerhetsanalysen har delt contingency potten, der noe er inkludert i mest sannsynlig, og resterende som et resultat av modning i P90. Dette tilsvarer at modningen fører til at dagens løsning blir dyrere enn forventet, design av løfteklo kan være mer utfordrende enn antatt og verifisering og utviklingen av løsningen kan ta lengre tid enn forventet og gi forsinkelser. Alternativ 3 Heving av last, metode 1b Grave er mer testet ut og har dermed mindre usikkerhet rundt videre modning, spesielt etter tokt 2b, men krever fortsatt testing og mer detaljering for en storskala operasjon.

Eventuelle forundersøkelser og tokt kan gi ny informasjon som medfører endring i løsningsdesign. Dette kan både virke besparende eller kostnadsøkende. Andre usikkerheter som kan virke på modningsusikkerheten for alternativ 3 Heving av last er utstyret for

"slurping" som er relativt nytt, og håndteringen etter at vrak og kvikksølv har ankommet kaia. I verste utfall må behandlingen gjøres et annet sted eller på et anlegg som ikke er rigget for den type behandlinger og der anleggskapasitet må bygges opp, noe som er tidkrevende og fordyrende.

U6 Gjennomføring

Driveren omhandler forhold som kan gi utfordringer i gjennomføringsfasen; teknisk kompleksitet, fremdriftsutfordringer, behov for midlertidige tiltak, værventetid og mer.

Mulighetssiden ligger i fleksibilitet for gjennomføringen, da fartøy kan komme i "mellomtiden" av to prosjekter, dette kan gi en rimeligere fartøysleie. Det er også en mulighet for å spare tid under operasjonen enn det dagens plan har lagt opp til. Det vil være mulighet for en oppside i dagens basisestimat, men denne vurderes som beskjeden. Det er lagt til grunn et påslag på fem prosent i basis som følge av forventet værventing og andre utfordringer uansett metode for alternativ 3 Heving av last. Utover dette er andre utfordringer som kan føre til negative kostnadskonsekvenser i stor grad knyttet til forhold som medfører forsinkelser. Dette kan være ytterligere værventetid, utstyr som blir ødelagt eller ikke fungerer som forventet, bevegelser og behov for å fjerne mer løsmasser enn antatt, mer kvikksølv blir spredt og/eller det er ammunisjon i sjøbunn som suges opp. For alternativ 3 Heving av last, metode 4 Kutte kan det bli mer krevende å utvikle nødvendige verktøy og systemer som fungerer under de forholdene som er på vraklokasjonen, samt gjennomføre realistiske tester av disse.

8.3 Samfunnsøkonomisk analyse

I den samfunnsøkonomiske analysen har Kystverket vurdert verdier som kan tallfestes i kroner. Disse består av netto nåverdi av betalbare kostnader for staten, med påslag av skattefinansieringskostnad.

De ikke-prissatte virkningene fanger opp relevante nyttevirkinger, hovedsakelig i form av endrede skadevirkinger for naturmiljø og omgivelser. Kystverket har gjort vurderinger for alle ikke-prissatte indikatorer relativt til nullalternativet. Påvirkning per berørt, antall berørte, fordeling av virkninger over analyseperioden og sannsynlighet for at virkningen inntreffer, er vurdert. Det er benyttet en ni-punkts skala for «grad av påvirkning» og «samlet score» hvor 0 angir at virkningen er lik nullalternativet. Skalaen er vist i figuren nedenfor.

Vurderingsskala for ikke-prissatte virkninger								
----	---	--	-	0	+	++	+++	++++
meget stor negativ virkning	stor negativ virkning	middels negativ virkning	liten negativ virkning	ubetydelig/ingen virkning	liten positiv virkning	middels positiv virkning	stor positiv virkning	meget stor positiv virkning

Figur 38 Vurderingsskala for ikke-prissatte virkninger i samfunnsøkonomisk analyse

Styrken i plussene og minusene kan variere både innen og mellom alternativer. Kystverket har derfor lagt vekt på å beskrive de kvalitative virkningene fremfor kun å score dem langs +/- skalaen.

Den samlede scoringen av de ikke-prissatte virkningene er basert på en innbyrdes vurdering av indikatorenes score og realøkonomiske betydning, og ikke en summering. Kystverket viser til vedlegg om Samfunnsøkonomisk analyse /V18/ for en grundigere omtale av virkninger med tilhørende indikatorer.

Samlet rangering av alternativene er vist i tabellen under.

Tabell 12 Samfunnsøkonomiske virkninger, oppsummert

Virkninger	A0 Nullalternativ	A1 Tildekking	A3/1b Heving av last, graving	A3/4 Heving av vrakdelar med last
Netto nåverdi Investering + drift⁵	83	413	1 086	1 681
Miljøvirkninger, kort sikt	0	0	-	--
Miljøvirkninger, lang sikt	0	++	++	++
Personskader/omkomne	0	0	0	-
Netto verditap for næringsvirksomhet	0	+	+	+
Virkning for nærliggende lokalsamfunn	0	+	++	++
Realopsjoner	0	0	0	-
Samlet virkning, ikke prissatte virkninger	0	++	++	++
SAMLET RANGERING	X	1	2	3

Den viktigste virkningen som inngår i den samlede vurderingen, er miljøvirkninger på lang sikt. Disse gir den underliggende legitimiteten for å vurdere iverksetting av tiltak for å bedre miljøsituasjonen rundt U-864. Samtidig er det visse forskjeller mellom alternativene når det gjelder både kortsiktige miljøvirkninger, og personskaderisiko, der A3/metode 4 Heving av vrakdelar med last kommer noe dårligere ut enn de øvrige. A3/metode 1 b har også visse negative kortsiktige miljøvirkninger. Selv om vi ikke vurderer dette som tilstrekkelig til å differensiere den samlede scoren mellom alternativene, så bidrar de til å støtte rangeringen av dem. Det samme gjelder for realopsjoner, der A3/metode 4 gir lavest fleksibilitet blant hevingsalternativene.

Når det gjelder virkninger for nærliggende lokalsamfunn, så er denne delen diskutert mer inngående i vedlegg Samfunnsøkonomisk analyse /V17/, der det pekes på at hensynet til lokalsamfunnene også vil være en del av en politisk vurdering, og at det er usikkert hva den

⁵ Driftskostnader er kostnader til miljøovervåking som Havforskningsinstituttet i Bergen utfører

realøkonomiske effekten er. Kystverket understreker at rangeringen i dette arbeidet er basert på en faglig teknisk/økonomisk analyse, som grunnlag for en politisk beslutning.

Alle virkningene er målt relativt til A0, nullalternativet, der Kystverket understreker at A0 ikke kan anses som en reell løsning. Nullalternativet er likevel lagt til som referanse for investeringsalternativene, men det inngår ikke i rangeringen. Det kan ikke utelukkes at det kan finnes minimumsalternativer som ligger mellom A0 og A1 Tildekking. Det vil i så fall kunne dreie seg om en forsterket overvåkning av vraket slik det ligger i dag, og tildekking etter et antall år. Kystverket har ikke vurdert eller beregnet virkninger av en slik løsning. Den vil kunne bli noe rimeligere målt i netto nåverdi, men samtidig innebære noe dårligere virkning på langsiktige miljøeffekter, fordi fortsatt utlekking vil finne sted. I tillegg vil den opplevde utryggheten i lokalsamfunnene og mulige negative virkninger for næringslivet vedvare over en lengre tidsperiode.

Kystverkets anbefaling er A1 Tildekking av hele vraket og forurensset sjøbunn.

Det kan ikke med sikkerhet slås fast at tiltaket er samfunnsøkonomisk lønnsomt, men det oppnås en forutsigbar reduksjon av kvikksølvutslipp på linje med å heve lasten og deretter tildekke den forurensede sjøbunnen, og man minimerer risiko for eksponering av kvikksølv til involvert personell og til omgivelsene i tiltaksfasen. Merkostnaden ved dette kan anses som moderat. Ved gjennomføring av tiltaket vil hele kvikksølvlasten deponeres trygt på sjøbunnen. Sammenlignet med tiltaket med heving av en usikker mengde last, transport og deponering på land, vurderer Kystverket at dette ikke vil tilføre noen merverdi i et miljøperspektiv. Man vet med sikkerhet at man ikke får opp i nærheten av all lasten, grunnet utlekkingen som allerede har skjedd. Derfor må tildekking uansett gjennomføres.

Kystverket viser til vedlegg V18 for en fullstendig gjennomgang av den samfunnsøkonomiske analysen.

9 Samlet vurdering og anbefaling

9.1 Innledning

Kystverket fikk i 2024 i oppdrag fra Nærings- og fiskeridepartementet (NFD) å gjennomføre undersøkelser ved vraket av U-864 med sikte på å redusere usikkerheten knyttet til en mulig heving av deler av kvikksølvlasten. På grunnlag av undersøkelsene skulle Kystverket vurdere om det bør arbeides videre med heving av kvikksølvlast før tildekking av vraket og forurenset sjøbunn, eller om man bør gå direkte til tildekking. Oppdraget legger til grunn at hensynet til miljørisiko skal tillegges avgjørende vekt, og at et eventuelt tiltak må være økonomisk forsvarlig.

Formålet med undersøkelsene har vært å fremskaffe bedre informasjon om:

- grunnforhold og tilstand på vraket,
- kjølkassenes tilstand,
- tilstanden på kvikksølvbeholderne,
- forekomst av flytende kvikksølv,
- tilstanden på, og plassering av ammunisjon,

Dette kapitlet oppsummerer resultatene fra undersøkelsene og gir Kystverkets samlede vurdering og anbefaling.

9.2 Er det mulig å hente opp deler av kvikksølvlasten?

Undersøkelsene som ble gjennomført under Tokt 2b demonstrerer at det er teknisk mulig å hente opp deler av kvikksølvlasten fra vraket av U-864. Det ble etablert tilgang til i alt seks kjølkasser, kvikksølvbeholdere ble hentet ut og frittflytende metallisk kvikksølv ble pumpet opp. Dette viser at de grunnleggende operasjonene som inngår i et alternativ med heving av last lar seg gjennomføre.

Undersøkelsene viser samtidig at operasjonen er teknisk krevende. Arbeidet krevde omfattende mudring, håndtering av steinblokker, spesialutstyr og løpende tilpasninger av metodene under gjennomføringen. Flere planlagte løsninger fungerte ikke som forutsatt og måtte erstattes eller videreutvikles underveis.

Kystverket vurderer derfor at heving av deler av kvikksølvlasten er teknisk mulig. Undersøkelsene viser samtidig at tiltaket er forbundet med betydelig risiko for spredning av kvikksølv i gjennomføringsfasen, gjennomføringsrisiko og usikkerhet knyttet til både kostnader og faktisk uttaksgrad. Operasjonen er dessuten teknisk kompleks og ressurskrevende. Undersøkelsene gir heller ikke grunnlag for å forvente at all gjenværende kvikksølvlast kan hentes opp. Det må legges til grunn at kvikksølv vil bli liggende igjen både i vraket og i omkringliggende sedimenter.

9.3 Resultater fra undersøkelser

9.3.1 Innledning

Undersøkelsene som ble gjennomført i 2025 og 2026 har gitt et vesentlig bedre kunnskapsgrunnlag om vraket av U-864, kvikksølvlasten og de forholdene som påvirker muligheten for å gjennomføre et fremtidig tiltak. Resultatene nedenfor oppsummerer de viktigste funnene innenfor de områdene som inngikk i oppdraget fra NFD.

9.3.2 Grunnforhold og tilstanden på trykkskroget

Undersøkelsene viser at de overordnede grunnforholdene i området i hovedsak er som tidligere beskrevet. Støttefyllingen som ble etablert i 2016 fungerer etter hensikten og har bidratt til å stabilisere vrakdelene. Samtidig viser kartleggingen at arbeider i og omkring vrakseksjonene fortsatt må ta hensyn til lokale geotekniske forhold, særlig ved omfattende mudring eller andre fysiske inngrep i sjøbunnen.

Trykkskroget er fortsatt intakt i store deler av vraket, men det er tydelige tegn på korrosjon og nedbrytning. Tilstanden varierer mellom ulike deler av vrakseksjonene, og den videre utviklingen vil påvirke hvordan vraket oppfører seg over tid.

9.3.3 Tilstanden på kjølkassene

Undersøkelsene dokumenterte at det er mulig å etablere tilgang til kjølkassene gjennom kontrollerte inngrep i sedimentene rundt vraket. Det ble etablert tilkomst til seks kjølkasser under Tokt 2b.

Resultatene viser at de undersøkte kjølkassene gjennomgående fremstår i god stand. Undersøkelsene viste at dybde til fjell varierer mellom 1,2 meter til over 4 meter under sedimentene, hvor og det fremstår derfor som sannsynlig at kjølkassen ikke er ødelagt som følge av kollisjon med fjell under sedimentene. Det ble heller ikke observert omfattende strukturelle skader på de undersøkte kjølkassene, og konstruksjonene fremstod i hovedsak som intakte. Samtidig viste arbeidene at detaljer som innfestinger og skruer og plateforbindelser var kraftig påvirket av korrosjon.

Undersøkelsene bekreftet også at kjølkassene har ulikt innhold. Enkelte kamre inneholdt kvikksølvbeholdere, mens andre inneholdt annet materiale. Det er kun et fåtall av kjølkasser som er undersøkt, og det er derfor fortsatt usikkerhet knyttet til den samlede mengden og fordelingen av kvikksølvlasten i vraket.

9.3.4 Tilstanden på kvikksølvbeholderne

Undersøkelsene viste at kvikksølvbeholderne hadde svært varierende tilstand. Fra kjølkassen som ble tømt ble det hentet ut 22 beholdere. Tolv av disse var fortsatt intakte, mens ti hadde lekkasjer som følge av korrosjon. To beholdere lot seg ikke løsne fra kjølkassen.

Undersøkelsene viste også forskjeller mellom ulike typer beholdere. Beholderne som var av støpt konstruksjon fremstod relativt godt bevart, mens de som var fremstillet med sveiset topp og bunn hadde omfattende korrosjonsskader og betydelig tap av innhold. Dette innebærer at tilstanden på de beholderne som fortsatt ligger i vraket kan variere betydelig.

Det ble påvist frittflytende metallisk kvikksølv i de undersøkte kjølkassene som følge av lekkasje fra korroderte beholdere. Samlet viser undersøkelsene at en betydelig del av kvikksølvlasten som ble inspisert ikke lenger befinner seg i intakte beholdere, og at forekomsten av frittflytende kvikksølv er større enn tidligere antatt. Selv om dette ikke kan generaliseres til å gjelde all kvikksølvlast, så gir det en indikasjon på status i kjølkassene.

Resultatene innebærer at fremtidige tiltak ikke bare må forholde seg til kvikksølvbeholdere med varierende tilstand, men også til kvikksølv som allerede har lekket ut og samlet seg i kjølkassene og også videre til omkringliggende sedimenter.

9.3.5 Tilstanden på, og plassering av ammunisjon

Undersøkelsene og de tilhørende faglige vurderingene har gitt et bedre kunnskapsgrunnlag om ammunisjonen som kan befinne seg i vraket, selv om usikkerheten ikke er eliminert.

Kystverket legger til grunn FMAs vurdering, basert på arbeidet til marinehistorikeren Dr. Axel Niestlé, om at det mest sannsynlig var åtte torpedoer om bord da U-864 ble senket.

Vurderingen bygger på historiske kilder. Det er imidlertid ikke gjennomført visuelle observasjoner som entydig bekrefter type, antall eller plassering av torpedoer og annen ammunisjon om bord. Det knytter seg derfor fortsatt usikkerhet til den faktiske ammunisjonsbeholdningen.

Det er bred faglig enighet om at torpedoene representerer den viktigste eksplosivrisikoen knyttet til vraket,

9.3.6 Forekomst av flytende kvikksølv i vraket og i sedimentene

Undersøkelsene dokumenterte forekomst av frittflytende metallisk kvikksølv både inne i de undersøkte kjølkassene og i sedimentene rundt vraket. Det ble pumpet opp ca. 21 liter frittflytende metallisk kvikksølv fra kjølkasser som ikke inneholdt kvikksølvbeholdere, og det ble også registrert frittflytende metallisk kvikksølv i forbindelse med arbeidene i sedimentene. Funnene bekrefter at lekkasje fra kvikksølvbeholdere har pågått over tid. I sedimentene var det kvikksølv i form av kvikksølvperler, ikke som ansamling av kvikksølv.

9.4 Miljørisiko

Oppdraget fra NFD legger til grunn at hensynet til miljørisiko skal tillegges avgjørende vekt ved vurderingen av videre tiltak for U-864. Kystverkets vurderinger av miljøeffekter og miljørisiko har derfor vært et sentralt beslutningsgrunnlag gjennom hele utredningen.

Miljøovervåkingen viste at arbeidene på sjøbunnen for å etablere tilgang til de undersøkte kjølkassene medførte spredning av kvikksølv utenfor operasjonsområdet. Det er estimert at om lag 3,2 kg kvikksølv ble transportert ut av operasjonsområdet under Tokt 2b. Dette viser at fysiske inngrep i sedimentene og vraket uunngåelig vil medføre en viss spredning av kvikksølv i gjennomføringsfasen.

Erfaringene viser at en fremtidig hevingsoperasjon vil kreve ytterligere utvikling, testing og i enkelte tilfeller teknologikvalifisering av metoder og utstyr for å begrense spredning av kvikksølv. Selv med slike tiltak vurderes risikoen for spredning av kvikksølv under

gjennomføringen av et tiltak med heving av last å være vesentlig høyere enn ved direkte tildekking.

Undersøkelsene har videre vist at kvikksølv allerede finnes utenfor beholderne og i sedimentene rundt vraket. Dette innebærer at en hevingsoperasjon ikke vil eliminere behovet for etterfølgende tildekking. Det må derfor legges til grunn at tildekking vil være nødvendig også etter en vellykket hevingsoperasjon for å etablere en varig miljøløsning.

Kystverket vurderer at både heving av deler av kvikksølvlasten med etterfølgende tildekking og direkte tildekking (uten heving av kvikksølvlast) kan gi tilsvarende reduksjon av miljørisiko på lang sikt. Forskjellen mellom alternativene ligger primært i miljørisikoen i gjennomføringsfasen. Heving av kvikksølvlasten innebærer omfattende inngrep i vrak og sedimenter, håndtering av kvikksølv på sjøbunnen, transport til land og videre behandling av kvikksølvet. Tildekking innebærer derimot begrensede fysiske inngrep og ingen håndtering av kvikksølvlasten på land.

Kystverket vurderer derfor at alternativ 1 Tildekking gir den laveste miljørisikoen samlet sett når både gjennomføringsfasen og den langsiktige effekten av tiltaket vurderes under ett. Dette er et sentralt premiss for den samlede anbefalingen i kapittel 9.8

9.5 Operasjonell risiko

Undersøkelsene viste at arbeid ved vraket av U-864 er operasjonelt krevende.

Gjennomføringen påvirkes av værforhold, strømforhold, grunnforhold, geoteknisk stabilitet og tekniske begrensninger ved tilgjengelig utstyr.

Tokt 2a måtte avbrytes som følge av værforholdene, og flere av aktivitetene under tokt 2b tok vesentlig lengre tid enn planlagt. Erfaringene viste også at arbeidet på sjøbunnen er komplekst, og at gjennomføringen er følsom for både operative og tekniske forhold.

Undersøkelsene viste blant annet at mudring i området er krevende. Steinblokker, harde masser og lokale variasjoner i grunnforholdene påvirket både fremdrift, metodevalg og tidsforbruk. Arbeidene forutsatte også omfattende overvåking av vrakets stabilitet og løpende vurderinger av geotekniske forhold.

Et fremtidig tiltak med heving av kvikksølvlast vil kreve videreutvikling av metoder og utstyr, omfattende planlegging og lange perioder offshore med spesialfartøy og spesialkompetanse.

Kystverket vurderer derfor at et alternativ med heving av kvikksølvlasten er forbundet med vesentlig høyere operasjonell kompleksitet og gjennomføringsrisiko enn et alternativ med direkte tildekking. Dette gjelder både risiko for forsinkelser, behov for metodeutvikling, væravhengighet og usikkerhet knyttet til gjennomføringen av de enkelte operasjonene.

9.6 Ammunisjon og eksplosivrisiko

Undersøkelsene og de tilhørende faglige vurderingene har redusert flere av usikkerhetene knyttet til ammunisjon i vraket. Kystverket legger til grunn at torpedoene representerer den dimensjonerende eksplosivrisikoen ved aktuelle tiltak på U-864.

De oppdaterte vurderingene er basert på konservative forutsetninger om ammunisjonens tilstand og egenskaper, herunder at torpedoene kan inneholde eksplosiver med høy

sensitivitet. De gjennomførte analysene tilsier at sannsynligheten for detonasjon er lav så lenge torpedoene ikke utsettes for direkte og kraftige mekaniske påvirkninger. Samtidig vil mer omfattende operasjoner som innebærer håndtering, flytting eller heving av vrakdelar med torpedoer kunne medføre økt mekanisk påvirkning og en mer kompleks operasjonell situasjon. Selv om sannsynligheten for detonasjon vurderes som lav, vil konsekvensene av en eventuell detonasjon kunne være alvorlige.

Under en tildekkingsoperasjon vil en eventuell detonasjon bety moderate konsekvenser slik som skade på ubemannet utstyr og moderat spredning av kvikksølv. Disse konsekvensene vil også kunne avbøtes med ny tildekking. Beregninger av effekten av at flere torpedoer detonerer samtidig etter tildekking viser at mengden kvikksølv som kan transporteres til høyere lag av vannsøylen vil være svært liten, i størrelsesorden gram, og vil i hovedsak legge seg innenfor en radius av 10 meter.

De gjennomførte undersøkelsene gir ikke grunnlag for å konkludere med at risikoen knyttet til ammunisjonen er eliminert, men at denne risikoen ikke utelukker alternativene som denne utredningen har utredet. Ammunisjon og eksplosivrisiko vil derfor fortsatt være et sentralt tema ved vurdering av fremtidige tiltak.

9.7 Kostnader og økonomisk forsvarlighet

9.7.1 Innledning

Kystverket har vurdert spørsmålet om økonomisk forsvarlighet gjennom kostnadsanalyse, usikkerhetsanalyse og samfunnsøkonomisk analyse. Analysene er gjennomført i henhold til Finansdepartementets rundskriv R-108/23 og R-109/21, og bygger på forutsetningene og beregningene som er beskrevet i kapittel 8 og tilhørende vedlegg.

Undersøkelsene som er gjennomført som del av Kystverkets oppdrag har gitt ny informasjon om gjennomførbarheten av alternativene og om usikkerheten knyttet til kostnader, tekniske løsninger og miljørisiko. Samtidig har undersøkelsene vist at et eventuelt hevingsalternativ vil kreve videre utvikling, testing og dokumentasjon av metoder og utstyr før et hovedtiltak kan gjennomføres.

9.7.2 Investeringskostnader

I kostnadsberegningen er det lagt til grunn en periodisering av kostnader som følger en fremdriftsplan for alternativ 1 Tildekking og alternativ 3 Heving av last som presentert i foregående kapitler. Kostnadene omfatter videre utredninger, forprosjekt, detaljprosjektering, utførelse og nødvendig overvåkning av vrakposisjonen i etterkant.

For alternativ 1 viser analysen et kostnadsnivå tilsvarende P50 på om lag 410 mill. kroner for alternativ 1 Tildekking, og et nivå svarende til P85 på om lag 590 mill. kroner.

For alternativ 3 Heving av last viser analysen kostnadsnivåer på 1 230 mill. kroner (P50) og 1 680 (P85) dersom metode 1b Grave legges til grunn. Legges metode 4 Kutte til grunn for gjennomføring er kostnadsnivåene høyere med hhv. 1920 og 2 710 mill. kroner.

Kostnadene for alternativ 3 Heving av last basert på metode 4 Kutte er vesentlig høyere enn ved bruk av metode 1b Grave, og der også usikkerheten er større.

Tabell 13 Sammenligning av forventet kostnad og kostnadsramme for alternativ 1 Tildekking og 3 Heving av last. For sistnevnte er kostnader presentert for begge metoder. Alle tall i mill.kr, ekskl. mva. Prisnivå: 2026K2

Alternativ	A1 Tildekking	A3 Heving av last, 1b Grave	A3 Heving av last, 4 Kutte
Kostnad	Mill.kr.	Mill.kr.	Mill.kr.
P50	410	1 230	1 920
P85	590	1 680	2 710

Resultatene viser at gjennomføring av alternativ 3 Heving av last er forbundet med betydelig høyere kostnader enn for alternativ 1 Tildekking. De økte kostnadene skyldes i hovedsak behovet for omfattende operative arbeider på sjøbunnen, håndtering av kvikksølvlasten, transport til land, behandling av kvikksølv og høy grad av teknisk kompleksitet.

9.7.3 Samfunnsøkonomisk analyse

Den samfunnsøkonomiske analysen viser at alle tiltaksalternativene gir bedre måloppnåelse enn nullalternativet. Den viktigste positive virkningen er reduksjon av miljørisiko på lang sikt.

For de ikke-prissatte virkningene vurderes alternativ 1 Tildekking og alternativ 3 Heving av last å gi tilnærmet samme langsiktige miljøeffekt. Begge alternativene gir en betydelig reduksjon av fremtidig eksponering og spredning av kvikksølv sammenlignet med nullalternativet. De største forskjellene mellom alternativene er knyttet til kostnader, gjennomføringsrisiko og miljøpåvirkning i gjennomføringsfasen. Heving av last medfører større operasjonelle inngrep, større risiko for spredning av kvikksølv under gjennomføringen og vesentlig høyere kostnader enn tildekking.

Samlet kommer alternativ 1 Tildekking best ut i den samfunnsøkonomiske analysen. Alternativ 3 Heving av last med metode 1b Grave fremstår som det mest robuste hevingsalternativet, mens metode 4 Kutte vurderes som mer kostnadskrevende og beheftet med større usikkerhet.

9.7.4 Økonomisk forsvarlighet

Oppdraget fra NFD legger til grunn at hensynet til miljørisiko skal tillegges avgjørende vekt, samtidig som et eventuelt tiltak må være økonomisk forsvarlig. Vurderingen av økonomisk forsvarlighet må derfor ses i sammenheng med både kostnader, miljøeffekter og gjennomførbarhet.

Undersøkelsene viser at heving av deler av kvikksølvlasten er teknisk mulig. Samtidig viser analysene at en hevingsoperasjon vil være betydelig mer kostbar enn direkte tildekking, og at den vil medføre større usikkerhet og høyere miljørisiko i gjennomføringsfasen.

Kystverket vurderer at alternativ 1 Tildekking gir størst reduksjon i miljørisiko per investerte krone. Alternativ 3 Heving av last kan gi økt trygghet gjennom fysisk fjerning av deler av kvikksølvlasten, men dette oppnås til en betydelig merkostnad samtidig som den langsiktige miljøeffekten vurderes å være tilnærmet den samme som for alternativ 1 Tildekking. Dette skyldes at begge alternativene avsluttes med tildekking av vraket og de forurensede sedimentene, og at det etter en hevingsoperasjon fortsatt vil være kvikksølv igjen i vraket og sedimentene som må isoleres gjennom tildekking.

Samlet viser kostnadsanalysen og den samfunnsøkonomiske analysen at alternativ 1 Tildekking gir den beste måloppnåelsen sett opp mot ressursbruken. Alternativ 3 Heving av last fremstår som teknisk mulig, men vesentlig mer kostbart og er beheftet med langt høyere usikkerhet i gjennomføringsfasen. Undersøkelsene viser at den økte kostnaden ved heving i hovedsak er knyttet til etablering av tilgang til kjølkassene, håndtering av kvikksølvlasten og gjennomføring av den marine operasjonen, og ikke til tiltak som gir en dokumentert bedre langsiktig miljøeffekt enn tildekking alene.

Den samlede vurderingen av alternativene og Kystverkets anbefaling er presentert i kapittel 9.8.

9.8 Samlet vurdering og anbefaling

Undersøkelsene som er gjennomført i 2025 og 2026 har gitt et vesentlig bedre kunnskapsgrunnlag enn tidligere. Dette gjelder informasjon om vrakets tilstand, grunnforholdene rundt vraket tilstand og tilstand på kjølkasser, tilstand av kvikksølvbeholderne og annen last i kjølen, forekomsten av frittflytende metallisk kvikksølv, risiko knyttet til detonasjon av torpedoer i vraket, og mulig våpenlast om bord.

Gjennomførte tokt med fysiske undersøkelser har gitt verdifull praktisk erfaring med ulike metoder som kan benyttes dersom det skal gjennomføres et fremtidig tiltak for å hente opp deler av kvikksølvlasten. Dette omfatter erfaring knyttet til anskaffelser, planlegging av en operasjon, uttesting av utstyr, gjennomføring av en undervannsoperasjon og mottak og håndtering av kvikksølvlast på land.

Resultatene viser at det er teknisk mulig å hente opp deler av kvikksølvlasten. Samtidig viser undersøkelsene at en slik operasjon er kompleks, ressurskrevende og forbundet med betydelig usikkerhet knyttet til gjennomføring, kostnader og miljøpåvirkning. Ut fra dagens kunnskapsgrunnlag vurderes det som realistisk å hente opp en del av den gjenværende kvikksølvlasten i vraket, men ikke hele lasten. Hvor stor andel som faktisk kan hentes opp er fortsatt beheftet med usikkerhet. Videre viser undersøkelsene at det uansett vil være nødvendig å gjennomføre tildekking etter en hevingsoperasjon, ettersom mange kvikksølvbeholdere allerede er ødelagt og kvikksølvet finnes utenfor beholderne og i sedimentene rundt vraket. I tillegg vil en oppvirvling og spredning av kvikksølv fra en operasjon med heving av last medføre ny kvikksølvforurensning i overflatesedimentene.

Undersøkelsene dokumenterer at:

- en del av kvikksølvlasten fortsatt finnes i intakte beholdere i kjølkassen;
- en del av beholderne er sterkt korrodert eller ødelagt;
- det finnes frittflytende metallisk kvikksølv i kjølkassene,
- kvikksølv forekommer også i sedimentene rundt vraket;

- inngrep i vraket kan føre til frigjøring og spredning av kvikksølv til omgivelsene, både partikulært og løst i vannmassene.

Kystverket vurderer at både alternativ 1 Tildekking og alternativ 3 Heving av last med etterfølgende tildekking kan gi en betydelig reduksjon av miljørisikoen på lang sikt. Forskjellen mellom alternativene ligger primært i miljørisikoen i gjennomføringsfasen. Heving av last innebærer omfattende inngrep i vrak og sedimenter, håndtering av kvikksølv på sjøbunnen, transport til land og videre behandling av kvikksølvlasten. En tildekking vil isolere kvikksølvet fra vannmassene og gjøre forurensningen i stor grad utilgjengelig for marine organismer. Når den langsiktige miljørisikoen vurderes isolert, fremstår forskjellen mellom alternativene som begrenset. Kystverket vurderer at begge alternativene i hovedsak kan oppnå tilsvarende reduksjon av miljørisiko på lang sikt. På kort og mellomlang sikt vurderes derimot alternativ 1 Tildekking å gi lavere miljørisiko, fordi tiltaket medfører mindre spredning av kvikksølv under gjennomføring av tiltaket, og fordi tiltaksområdet uansett vil måtte dekkes til.

Kostnadsanalysene viser samtidig at alternativ 1 Tildekking har vesentlig lavere kostnader enn alternativ 3 Heving av last. Den samfunnsøkonomiske analysen viser at alternativ 1 kommer best ut samlet sett, mens alternativ 3 med metode 1b Grave fremstår som det mest robuste hevingsalternativet dersom det legges avgjørende vekt på å hente opp deler av kvikksølvlasten. Alternativ 3 med metode 4 Kutte vurderes som mer usikkert, betydelig mer kostnadskrevende, men kan føre til at en større andel av gjenværende kvikksølv i kjølkassene kan heves dersom man lykkes med operasjonen.

Kystverkets vurdering tar utgangspunkt i de kriteriene som er fastsatt i oppdraget fra NFD der det legges til grunn at hensynet til miljørisiko skal tillegges avgjørende vekt, og at en eventuell hevingsoperasjon må være økonomisk forsvarlig. Kystverkets anbefaling er derfor ikke basert på om heving av kvikksølvlast er teknisk mulig eller ikke, men på en samlet vurdering av miljørisiko, gjennomførbarhet, usikkerhet og kostnader.

Kystverket anbefaler at alternativ 1 Tildekking av vraket og den forurensede sjøbunnen legges til grunn som videre miljøtiltak ved U-864.

Anbefalingen bygger på følgende forhold:

- Alternativet gir betydelig reduksjon av miljørisikoen på lang sikt.
- Alternativet har lavest investeringskostnad.
- Alternativet har lavest gjennomføringsrisiko.
- Alternativet innebærer minst risiko for eksponering av personell og omgivelser i tiltaksfasen.
- Alternativet gir tilnærmet samme langsiktige miljøeffekt som hevealternativene. Dette skyldes at begge alternativene avsluttes med tildekking av vraket og de forurensede sedimentene, og at det etter en hevingsoperasjon fortsatt vil være kvikksølv igjen i vraket og sedimentene som må isoleres gjennom tildekking.

Kystverket har i utredningen lagt føringer i oppdragsbrevet fra NFD og gjeldende retningslinjer for samfunnsøkonomiske analyser til grunn. Vurdering av hvilke hensyn som skal tillegges vekt ved valg av løsning, herunder forhold som ligger utenfor den samfunnsøkonomiske analysen, vil være et spørsmål for besluttende myndigheter.

Denne anbefalingen er basert på dagens kunnskapsgrunnlag. Den endelige beslutningen om videre tiltak fattes av NFD på grunnlag av denne utredningen, den supplerende utredningen om heving av vrak og påfølgende eksterne kvalitetssikring.

Dersom alternativ 1 Tildekking legges til grunn for tiltaket, anbefaler Kystverket at et styringsmål for videre utvikling av prosjektet settes til et beløp tilsvarende P50 svarende til 410 mill. kroner.

10 Relevante forhold for etterfølgende fase

10.1 Bakgrunn

Denne rapporten er utarbeidet som svar på NFDs oppdrag av august 2024 om å kartlegge vraket av U-864 og områdene rundt, med sikte på å redusere usikkerhetene knyttet til en eventuell heving av deler av kvikksølvlasten.

Ved behandlingen av Dokument 8:72 S (2025–2026), jf. Innst. 107 S (2025–2026), vedtok Stortinget at regjeringen skal bestille en tilleggsutredning fra Kystverket om heving av U-864 med last og/eller fjerning av torpedoer etter at de pågående undersøkelsene er avsluttet. Vedtaket ble begrunnet med nye faglige vurderinger fra FMA, som var utarbeidet som del av det pågående arbeidet med U-864. Stortinget la samtidig til grunn at både foreliggende utredning og den kommende tilleggsutredningen skal kvalitetssikres.

Stortingets vedtak kommer i forlengelsen av et omfattende utredningsarbeid som er gjennomført siden vraket ble lokalisert i 2003. Alternativer som omfatter heving av hele vraket og heving av kvikksølvlast har tidligere vært vurdert i KVV (2011), KS1 (2012) og som en del av ekspertutvalgets arbeid (2022). En videre oppfølging av Stortingets vedtak bør derfor bygge på det eksisterende kunnskapsgrunnlaget og de resultatene som er fremskaffet gjennom foreliggende undersøkelser.

Det ligger utenfor mandatet for denne utredningen å ta stilling til innholdet i en bestilling av en tilleggsutredning fra NFD. Undersøkelsene har imidlertid gitt erfaringer og ny kunnskap som kan være relevante ved den videre oppfølgingen av Stortingets vedtak. Disse forholdene omtales nedenfor. Blant annet ble flere av de supplerende analysene som Kystverket bestilte fra FFI, og som er omtalt i foreliggende rapport, ferdigstilt etter at Stortingets vedtak ble fattet. Analysene gir et mer detaljert grunnlag for vurdering av sannsynlighet for og konsekvenser av en eventuell detonasjon av torpedoer, og inngår som en del av det oppdaterte kunnskapsgrunnlaget for det videre arbeidet.

10.2 Forhold som kan være relevant ved videre oppfølging

Som beskrevet i kapittel 9.8 har gjennomførte undersøkelser gitt ny kunnskap om en rekke forhold ved vraket og de omkringliggende områder. Sammenlignet med tidligere utredninger er flere sentrale usikkerheter redusert. Undersøkelsene har samtidig identifisert forhold som kan få betydning for vurderingen av fremtidige håndteringsalternativer.

Kystverket vurderer følgende tema som særlig relevante ved en videre utredning av heving av vraket med last og/eller fjerning av torpedoer:

- vrakets strukturelle tilstand, herunder betydningen av korrosjon og skader for fremtidige løfte-, stabiliserings- eller håndteringsoperasjoner;
- plassering og tilstand til torpedoer og annen ammunisjon i vraket;
- usikkerhet knyttet til om torpedorommet i forseksjonen er vannfylt, delvis vannfylt eller inneholder luftlommer, og hvilken betydning dette har for stabilitet, sikkerhet og gjennomføring av en eventuell hevingsoperasjon;
- sammenhengen mellom eksplosivrisiko, operasjonell risiko og miljøkonsekvenser ved fysiske inngrep i og heving av vraket;

- plassering og omfang av gjenværende kvikksølvbeholdere, samt betydningen dette kan ha for blant annet løfteoperasjoner og håndtering av vrakseksjonene;
- forekomst av frittflytende metallisk kvikksølv og betydningen dette kan ha for håndtering, løfteoperasjoner og risiko for spredning;
- lokale grunnforhold og betydningen disse har for stabilitet, mudring og andre inngrep i og rundt vraket;
- usikkerheter knyttet til gjennomførbarhet, kostnader, tidsbruk og nødvendige risikoreduserende tiltak;
- fordeler og ulemper ved ulike metoder for heving av vrakseksjonene, herunder betydning av seksjonering, håndtering av torpedoer og konsekvenser for sikkerhet, miljø og gjennomføring;
- mulige gevinster ved heving av vraket sammenlignet med andre tiltak, herunder potensial for fjerning av kvikksølvkilder, redusert fremtidig behov for overvåkning og andre langsiktige virkninger.

Foreliggende undersøkelser har redusert flere sentrale usikkerheter sammenlignet med tidligere kunnskapsgrunnlag. Samtidig gjenstår det forhold som kan kreve ytterligere undersøkelser, analyser eller verifikasjon dersom nye håndteringsalternativer skal vurderes.

På enkelte områder foreligger det ulike faglige vurderinger av forhold som kan ha betydning for risiko og gjennomførbarhet ved fremtidige tiltak. Stortinget har lagt til grunn at både foreliggende utredning og en tilleggsutredning skal underlegges ekstern kvalitetssikring. Kystverket legger derfor til grunn at sentrale forutsetninger og vurderinger som har betydning for valg av tiltak bør inngå i den videre kvalitetssikringen. Det gjelder også vurderinger knyttet til ammunisjon, eksplosivrisiko, operasjonell gjennomførbarhet, miljøkonsekvenser og håndtering av usikkerhet. På områder hvor det foreligger ulike faglige vurderinger, bør kvalitetssikringen bidra med å klargjøre hvilke forutsetninger som er lagt til grunn, hvordan usikkerheten er håndtert og hvilken betydning dette har for de samlede konklusjonene. Kystverket vurderer at en slik gjennomgang vil kunne bidra til et mest mulig felles og etterprøvbart grunnlag for videre beslutninger.

10.3 Dokumentasjon og kvalitetssikring

Stortinget har lagt til grunn at Kystverkets nåværende utredning skal etterfølges av en supplerende utredning av heving av vrak og at Kystverkets anbefaling av tiltak med dette som grunnlag skal underlegges ekstern kvalitetssikring.

Kystverkets vurdering og anbefaling er at dokumentasjon som skal legges frem for ekstern kvalitetssikring i prinsipp kan følge struktur og innhold tilsvarende rapporten fra nåværende utredning. Denne rapporten kan da utvides med en beskrivelse av alternativet Heving av vrak, og dette inngå i en oppdatert alternativanalyse. Det bør også avklares om en ekstern kvalitetssikring vil være en KS1 eller en supplerende analyse som er mer tilpasset oppgaven. Innretningen av dokumentasjon fra Kystverket må deretter innrettes ut fra denne beslutningen.

Det bør også i denne fasen utredes om prosjektet kan gå direkte inn i et forprosjekt, eller om det bør inngå en avklaringsfase før oppstart av forprosjekt. Dersom valg av tiltak er heving av

last eller heving av vrak med last bør det før oppstart av et forprosjekt avklares om prosjektet egner seg for tidliginvolvering av en marin operatør.

10.4 Avsluttende merknad

Denne rapporten utgjør et oppdatert kunnskapsgrunnlag om vraket av U-864 og områdene rundt. De gjennomførte undersøkelsene har redusert flere sentrale usikkerheter og gir et vesentlig bedre grunnlag for videre vurderinger av mulige tiltak. Resultatene vurderes også å være relevante som grunnlag for en eventuell etterfølgende ekstern kvalitetssikring. Omfang og innretning av et slikt arbeid fastsettes av NFD.

11 Vedlegg og referanser

Vedlegg:

- V01: Presisering av oppdraget vedr. ammunisjonen i vrakdelene av U-864
- V02: Forsvarets Forskningsinstitutt: Vraket av U-864 – vurderinger knyttet til torpedolasten. Eksternnotat 26/01230 (4. juni 2026)
- V03: Survey report, Kystverket U-864 Wreck investigation 2025, Campaign 1, Reach Subsea, August 2025
- V04: Beskrivelse av tildekkingen
- V05: Mulighetsstudie for heving av last – overordnet beskrivelse
- V06: Spørsmål om eksplosiver til forsvarssektoren
- V07: Spørsmål og svar om eksplosiver fra FMA
- V08: Spørsmål og svar om eksplosiver fra FFI
- V09: Spørsmål og svar om eksplosiver fra FOH/MDK
- V10: Mengde kvikksølv som kan heves
- V11: Alternativ 3 – metode 4 Kutte
- V12: Mulighetsstudie for heving av last - Subsea7
- V13: Rapport fra NORSAR
- V14: DNV Korrosjonsstudie Tennmekanisme
- V15: DNV Korrosjonsstudie Kvikksølvbeholdere
- V16: NIVA - Environmental monitoring during the keel access and mercury canister retrieval operation at U-864
- V17: Kostnads- og usikkerhetsanalyse
- V18: Samfunnsøkonomisk analyse
- V19: Vurdering av tildekkingsmasser og volumer, NGI, 2026
- V20: Rapport fra Franzefoss. Håndtering, rengjøring og deklarerer av avfall fra tokt 2 – U-864 (10. august 2026)
- V21: REACH - U-864 - Wreck Campaign 2

Referanser:

- D01: Konseptvalgutredning (KVU) for håndtering av U-864, Kystverket, januar 2011
- D02: Kvalitetssikring fase 1 (KS1 – Konseptvalg) av Håndtering av U-864, Metier, januar 2012
- D03: Sentralt Styringsdokument for Miljøtiltak ved vraket av U-864, Alternativ 1 Tildekking av vrak og forurenset havbunn, Kystverket, mai 2014
- D04: Sentralt Styringsdokument for Miljøtiltak ved vraket av U-864, Alternativ 3 Heving av last og tildekking av vrak og forurenset havbunn, Kystverket, mai 2014
- D05: Miljøtiltak ved vraket av U-864, Konklusjon og faglig anbefaling fra forprosjektering av Alt.1 Tildekking av vrak og forurenset havbunn og Alt.3 Heving av last og Tildekking av vrak og forurenset havbunn, Kystverket, mai 2014
- D06: Løsninger for U-864 – Ubåtvraket utenfor Fedje i Vestland, Rapport fra ekspertutvalg nedsatt av Nærings- og fiskeridepartementet, 2022
- D07: Oppdrag fra Nærings- og fiskeridepartementet til Kystverket av august 2024
- D08: Uboottyp IXD2 – Generalplan, Tyskland, Årstall ikke angitt
- D09: NIVA Rapport LNR. 5089-2005, Utlekking og bioakkumulering av kvikksølv fra sedimenter nær U864. Resultater fra eksperimentelle undersøkelser.
- D10: Salvage og U-864 – Supplementary study No.11 Assessment of future spreading of mercury for the capping alternative. Report No.23916-11, Revision No.1, DNV, 2008
- D11: EC, 2001. Commission Regulation (EC) No 466/2001 of March 2001 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs, European Commission, 2001
- D12: Salvage of U-864 - Supplementary Study #2, Explosives, DNV, 2008
- D13: Vurdering av risiko i forbindelse med ammunisjon i U-864, Forsvarsmateriell, 2019
- D14: Ammunition carried aboard U 864 during its final patrol in February 1945, Axel Niestle, 2024
- D15: Kvikksølv i sjømat ved U-864, Havforskningsinstituttet, juni 2024
- D16: Assessment of Mercury and Methyl Mercury in Sediments Impacted by U-864 - Interim Report, Texas Tech University, January 2015 + A mesocosm experiment on methyl mercury formation after capping of U-864 sediments enriched with powdered algae, NIVA report SNO. 6867-2015
- D17: Kvikksølv i Fedje-fisken stammar ikkje frå ubåtvraket. Artikkel publisert på Forskning.no av Havforskningsinstituttet, publisert 12.03.2019.
- D18: Tracing Mercury Pollution along the Norwegian Coast via Elemental, Speciation, and Isotopic Analysis of Liver and Muscle Tissue of Deep-Water Marine Fish (Brosme brosmefisk), Ana Rua-Ibarz, Eduardo Bolea-Fernandez, Amund Maage, Sylvia Frantzen, Monica Sanden and Frank Vanhaecke, Environmental Science & Technology, January 2019
- D19: Assessment of Hg Pollution Released from a WWII Submarine Wreck (U-864) by Hg Isotopic Analysis of Sediments and Cancer Pagurus Tissues, Ana Rua-Ibarz, Eduardo Bolea-Fernandez, Amund Maage, Sylvia Frantzen, Stig Valdersnes and Frank Vanhaecke, Environmental Science & Technology, September 2016
- D20: Updated conceptual design of remedial cap to reduce environmental risk associated with mercury contamination, NGI, 2017-02-20
- D21: Miljøovervåking, strømundersøkelser, sedimentkartlegging og miljørisikovurdering knyttet til Fase 1 kartlegging og fjerning av kvikksølvforurensing ved U864, NIVA, Rapport Lnr. 5092-2005

- D22: R-108/23 Statens prosjektmodell – Krav til utredning, planlegging og kvalitetssikring av store investeringsprosjekter i staten, Finansdepartementet, mars 2023
- D23: Miljødirektoratet. Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota – revidert 30.10.2020. Veileder M-608/2016.
- D24: Atmospheric deposition and lateral transport of mercury in Norwegian drainage basins: A mercury budget for Norway. NIVA rapport l.nr. 7310-2018.
- D25: Norske utslipp - Årlige data for utslipp av kvikksølv fra norsk industri med utslippstillatelse.
<https://www.norskeutslipp.no/no/Komponenter/Utslipp/Kvikksolv/?ComponentType=utslipp&ComponentPageID=74&SectorID=600>
- D26: Forbedring av metode for ikke-prissatte virkninger i samferdselssektoren. Menon, publikasjon nr. 62/ 2020
- D27: <https://dfo.no/fagomrader/utredning/samfunnsokonomiske-analyser/veileder-i-samfunnsokonomisk-analyser>
- D28: MSIAC - Detonation Transfer in a Specific Case (10. juni 2026)
- D29: PROSUB: U-864 – Offshore Campaign 2 and 2b (31. august 2026)