



KYSTVERKET

Forord



Kystverket er Fiskeri- og kystdepartementets etat for sjøtransport, sjøsikkerhet, havner og beredskap mot akutt forurensning, og er blitt gitt ansvar å utrede miljøtiltak for å håndtere kvikksølvforurensingen fra den torpederte tyske ubåten U-864.

Norske miljømyndigheter ble i 2003 varslet om at ubåten U-864 kunne være lastet med beholdere med metallisk kvikksølv som skulle transporteres til Japan. Det ble derfor initiert et miljøovervåkingsprogram som siden har overvåket fisk og skalldyr som lever i og i nærhet til vrakposisjonen til U-864.

Kystverket har gjennomført fysiske undersøkelser av vrakdelene og omkringliggende sedimenter i 2005 og 2006. Det er data fra denne innsamlingen som legges til grunn for vurderinger om hvilket miljøtiltak som anbefales for å beskytte miljøet for ytterligere eksponering av kvikksølvlasten.

Det er tidligere overlevert rapporter til Fiskeri- og kystdepartementet med anbefaling om miljøtiltak for håndtering av U-864 i 2006 og 2008. Kystverket fikk i 2010 i oppdrag å utrede konseptvalg i henhold til Finansdepartementets ordning for kvalitetssikring av store statlige investeringer. Det overordnede formålet med ordningen er at dette skal gi mer vellykkete prosjekter, reduserte kostnader for staten og mer nytte for hver krone. Kystverkets konseptvalgutredning vil sammen med den eksterne kvalitetssikres rapport (KS1) danne Regjeringens beslutningsgrunnlag for valg av tiltak for U-864.

Kystverket overleverte sin konseptvalgutredning for håndtering av kvikksølvforurensingen fra U-864 i januar 2011. I anledning av den eksterne kvalitetssikrers ønske om en større detaljering av et alternativ som benytter mudringsteknologi for håndtering av forurensede sedimenter som erstatning eller som tillegg til tildekkningsteknologi, har Kystverket på oppdrag fra Fiskeri- og Kystdepartementet gjennomført en utredning som dekker dette alternativet. Den gjennomførte tilleggsutredning vil inkluderes i den eksterne kvalitetssikrers analyse for håndtering av kvikksølvforurensingen fra U-864.

Ålesund, 19.september 2011

Kirsti L. Slotsvik
kystdirektør

HOVEDKONTORET - BEREDSKAPSAVDELINGEN - HORTEN

Sentral postadresse: Kystverket, Serviceboks 2,
6025 ÅLESUND

Telefon: +47 07847
Telefaks: +47 70 23 10 08

Internett: www.kystverket.no
E-post: post@kystverket.no

Besøksadr.: Senter for marint miljø og sikkerhet,
Moloveien 7, HORTEN

Telefon: +47 07847
Telefaks: +47 33 03 49 49

Bankgiro:
Org.Nr.: 7694 05 08831
NO 970 237 372

Brev, sakskorrespondanse og e-post bes adressert til Kystverket, ikke til avdeling eller enkeltperson
Akutt forurensning : Telefon 110

Innhold

1	Sammendrag	5
1.1	Konklusjoner og anbefalinger	5
1.1.1	Mengde kvikksølv som vil ligge igjen etter heving gjennomført som i alternativ 2	5
1.1.2	Vurdering av nytt alternativ 4	6
1.1.3	Risikoen ved tildekkingsalternativet i et 1000-års perspektiv	7
2	Konseptvalgutredning for håndtering av U-864	8
2.1	Tilleggsutredning av nytt alternativ 4 – KVU U-864	8
2.2	Avgrensninger alternativ 4	9
3	Vurdering av mengde kvikksølv i ubåtens kjølvann og i omkringliggende sedimenter	10
3.1	Vurdering av mengde kvikksølv gjenværende i kjølvann på U-864	10
3.1.1	Vurdering av bruddsonen på kjølvannet til U-864	10
3.2	Teoretisk beregning av kvikksølvmengde	11
3.2.1	Scenario 1 – Alle kjølvannrommene i midtseksjonen er fylt med kvikksølvbeholdere	12
3.2.2	Scenario 2 – 37 prosent av kjølvannrommene i midtseksjonen er fylt med kvikksølvbeholdere	12
3.2.3	Konklusjon på gjenværende kvikksølv i kjølvannet på U-864	12
3.3	Mengde kvikksølv i sediment	13
3.3.1	Høye konsentrasjoner av kvikksølv nær vraket	14
3.3.2	Lagdeling av kvikksølvforurensning	15
4	Vurdering av nytt alternativ 4 for U-864	18
4.1	Nærmere om alternativet	18
4.1.1	Alternativ 4A – Heving av vrak og mudring	18
4.1.2	Alternativ 4B – Heving av last og mudring	18
4.2	Vurdering av tilgjengelig mudringsteknologi	19
4.2.1	Beskrivelse av mudringssystemer	19
4.2.2	Anbefaling	29
4.3	Miljørisiko	30
4.3.1	Miljørisiko alternativ 4a	30
4.3.2	Miljørisiko alternativ 4b	31
4.4	Usikkerhetsanalyse	32
4.4.1	Prosjektnedbrytningsstruktur	32
4.4.2	Usikkerhetsfaktorer	33
5	Fornytt vurdering av risiko ved tildekking i langt perspektiv	35
6	Vedlegg	36

HOVEDKONTORET - BEREDSKAPSAVDELINGEN - HORTEN

Sentral postadresse: Kystverket, Serviceboks 2,
6025 ÅLESUND

Telefon: +47 07847
Telefaks: +47 70 23 10 08

Internett: www.kystverket.no
E-post: post@kystverket.no

Besøksadr.: Senter for marint miljø og sikkerhet,
Moloveien 7, HORTEN

Telefon: +47 07847
Telefaks: +47 33 03 49 49

Bankgiro:
Org.Nr.: 7694 05 08831
NO 970 237 372

Brev, saksrespondanse og e-post bes adressert til Kystverket, ikke til avdeling eller enkeltperson
Akutt forurensning : Telefon 110

Tilleggsutredning av fagalternativ 4 - konseptvalgutredning for håndtering av U-864	
Rapport dato	19.september 2011
Prosjektleder	Hans Petter Mortensholm
Verifisert av	Johan Marius Ly
Godkjent av	Kirsti L. Slotsvik

HOVEDKONTORET - BEREDSKAPSAVDELINGEN - HORTEN

Sentral postadresse: Kystverket, Serviceboks 2,
6025 ÅLESUND

Telefon: +47 07847
Telefaks: +47 70 23 10 08

Internett: www.kystverket.no
E-post: post@kystverket.no

Besøksadr.: Senter for marint miljø og sikkerhet,
Moloveien 7, HORTEN

Telefon: +47 07847
Telefaks: +47 33 03 49 49

Bankgiro: 7694 05 08831
Org.Nr.: NO 970 237 372

Brev, saksrespondanse og e-post bes adressert til Kystverket, ikke til avdeling eller enkeltperson
Akutt forurensning : Telefon 110

1 Sammendrag

I KVU U-864 ble mudring som miljøtiltak for å håndtere de forurensede sedimenter utelatt med bakgrunn i tiltakets risiko for ytterligere spredning av finpartikulært materiale, samt at mudring av et stort område ble vurdert til svært kostbart. De mudringsoperasjoner som er kostnadsberegnet i KVU U-864 begrenser seg til forventet mudring for tilkomstarbeid til ubåtens kjøll og mudring av områder med særdeles høy konsentrasjon kvikksølv (hot-spots). Tilgjengelig mudringsteknologi og dets egnethet for miljømudring av kvikksølvholdige sedimenter rundt U-864 ble utredet av Det Norske Veritas som tilleggsstudie nr 5 i 2008.

Kystverket overleverte sin konseptvalgutredning for håndtering av kvikksølvforurensingen fra U-864 i januar 2011. I anledning av den eksterne kvalitetssikrers ønske om en større detaljering av et alternativ som benytter mudringsteknologi for håndtering av forurensede sedimenter som erstatning eller som tillegg til tildekkningsteknologi, har Kystverket på oppdrag fra Fiskeri- og Kystdepartementet gjennomført en utredning som dekker dette alternativet. Den gjennomførte tilleggsutredning vil inkluderes i den eksterne kvalitetssikrers analyse for håndtering av kvikksølvforurensingen fra U-864.

1.1 Konklusjoner og anbefalinger

I dette kapitlet beskriver vi våre konklusjoner på oppdragets problemstillinger, og de anbefalingene konklusjonene leder til, der det er aktuelt.

1.1.1 Mengde kvikksølv som vil ligge igjen etter heving gjennomført som i alternativ 2

Tabellen under oppsummerer de anslåtte kvikksølvsmengdene.

Tabell 1.1 Oppsummering av anslag over kvikksølvmengder

	Mengde kvikksølv i sedimentet og vrakdelene (t)		
	Lavt anslag	Middels anslag	Høyt anslag
Mengde i sedimentet like ved og under vraket (Område III og IV)	0,33	8,7	19
Mengde i sedimentet på sjøbunnen omkring vraket (Område I, II og V)	0,02	0,09	0,2
Mengde i vraket	11	46	51
Mengde om bord i U-864 ved torpederingen (Anslag)	67	67	67
Mengde ikke gjort rede for (4) – 1), 2) og 3))	55,7	12	0*

* Differansen blir -3, som innebærer at alt er gjort rede for dersom den faktiske mengde fordelingen ligger nær det høye anslaget både i sedimentet og i vraket. Det presiseres at total mengde kvikksølv om bord ved senkingen er usikker ettersom lastepapirene ikke er funnet

Av tabellen fremgår det at det er et betydelig spenn i de anslåtte mengdene. Kvikksølv utenfor vraket er anslått å være mellom 350 kg og om lag 19 tonn, mens mengden i vraket er anslått til å være mellom 11 og 51 tonn.

Tabellen viser at det enten er de høye anslagene som er nærmest den faktiske fordelingen eller så er det en stor mengde kvikksølv som ikke gjort rede for, sannsynligvis kvikksølv som ligger i beholdere på og i sedimentet på sjøbunnen. Mengden som ikke er gjort rede for kan også vært spredt utenfor området der det er funnet kvikksølv på sjøbunnen. Dette er imidlertid lite sannsynlig, fordi kvikksølv har en sterk tendens til å sedimentere slik at ved en enda større spredning under eller etter torpederingen ville sedimentene omkring vraket vært mye mer forurenset.

1.1.2 Vurdering av nytt alternativ 4

Tabellen under viser forventingsverdien og usikkerhetsspennet for de analyserte konseptene.

Tabell 1.2 Levetidskostnader og usikkerhetsspenn, nåverdi mill 2010-kr, avrundet, ekskl. mva¹

Konsept	P15	P50 (forventningsverdi)	P85
4A - Heving av vrak og mudring	1 051	1 770	2 150
4B - Heving av last og mudring	942	1 460	1 760

Tabellen viser at alternativ 4A er dyrere enn alternativ 4B. Samtlige er dyrere enn forventningsverdien til alternativene som ble utredet i KVUen.

De største usikkerhetsfaktorene for alternativene som kan påvirkes av prosjektet er *Operativ løsning*, *Gjennomføringsstrategi og evne* og *Teknisk utforming*. Disse faktorene bør derfor vies stor oppmerksomhet i det videre arbeidet. Dette kan øke muligheten for kostnadsbesparelser og redusere risikoen for kostnadsoverskridelser.

For tildekkingsalternativet er i tillegg faktoren *Driftsorganisasjonen*, det vil si organisasjonen som gjennomfører langtidsovervåkning etter at tiltaket er gjennomført, høyt oppe i usikkerhetsrangeringen, og bør være et fokusområde dersom dette alternativet blir valgt.

1.1.2.1 Anbefalinger

For å kunne sammenligne alternativ 4A og B med alternativene som tidligere er utredet, bør det gjennomføres en samfunnsøkonomisk analyse av alternativet.

For å kunne sammenligne alternativ 4A og 4B med de øvrige alternativene, er det bevisst ikke gjort noen endringer i forutsetninger, usikkerheter eller priser som er tatt med videre fra KVU U-864. Etter innlevering av utredningen har det fremkommet ny informasjon om enkelte temaer, i tillegg til at det kan være aktuelt å revurdere noen forhold. Vi anbefaler at det i videre arbeidet med prosjektet gjøres nye vurderinger og oppdateringer knyttet til følgende tema:

- **Mengde kvikksølv i vraket:** I KVU U-864 er det i kostnad for deponering av kvikksølvbeholdere lagt til grunn at man deponerer 55 tonn kvikksølv. I følge Ingeniums vurdering av 26. august 2011 indikerer ulike scenarioer en teoretisk mengde kvikksølv i midtseksjonens kjølrom mellom 16 tonn og 57 tonn. Siden midtseksjonen ble sprengt og det er påvist kvikksølv i sedimenter, vet man at noe av kvikksølvet ikke lenger befinner seg i vraket. Det er derfor lite sannsynlig at så mye som 55 tonn kvikksølv befinner seg inne i vraket og tallet bør derfor nedjusteres. Dette påvirker en kostnadspost på omlag 900 000 kr, med mye usikkerhet knyttet til seg.
- **Markedsutvikling:** Usikkerhetsfaktoren "Offshore Marked" har ikke hensyntatt dagens prognoser om forventet utvikling av oljepris og rater for offshore fartøy. Usikkerhetsfaktoren "Marked (råvarepris stål etc.)" er basert på en antagelse om økte råvarepriser. Disse forholdene bør revurderes.
- **Risiko for eksplosjoner:** Ved sugemudring er det store krefter som virker på sedimentene, og det vil være en økt fare for at ammunisjon i sedimenter rundt vraket kan gå av. Konsekvensen av dette vil kunne være ødelagt utstyr og forsinkelser i arbeidet. Det vil gjennomføres operasjonelle tiltak som hindrer at ammunisjonen vil komme over vann. Vi anbefaler at denne usikkerheten blir vurdert nøye før en eventuell videreføring av alternativene.
- **Fordeling av utviklingskostnader:** På grunn av en stor grad av nyutvikling av utstyr, både for mudring og heving av vrak, bør man i kontraktsforhandlingene ha som mål at

¹

MVA er utelatt av hensyn til sammenligning med tidligere gjennomførte analyser. Det alt vesentlige av kostnadene vil ved gjennomføring bli belastet med 25 % mva.

entreprenøren selv dekker en del av kostnaden ved utvikling av nytt utstyr. En god kontraktstrategi vil kunne føre til en større oppside når det gjelder slike kostnader.

- **Prosjektorganisasjonens kompetanse og kapasitet:** For usikkerhetsfaktoren "Gjennomføringsstrategi og evne" har man for alle alternativene lagt et påslag på 5 prosent og høyere for hele kostnaden knyttet til konseptgjennomføring. Begrunnelsen for dette er blant annet at man har vurdert det som sannsynlig med noe svak kompetanse og kapasitet i organisasjonen, og derav følgende avvik i forhold til planlagt gjennomføring. Ved en videreføring av prosjektet bør organisasjonens kompetanse og kapasitet økes, og påslaget følgelig reduseres.

Vi viser også til det som er anført over om håndtering av usikkerhet.

1.1.3 Risikoen ved tildekkingsalternativet i et 1000-års perspektiv

Alle identifiserte risiki er av lav sannsynlighet og har lave eller mindre konsekvenser ved tildekkingsalternativet. Tildekking av U-864 er derfor vurdert til å ha høy sikkerhet mot ytterligere negativ påvirkning på miljøet.

2 Konseptvalgutredning for håndtering av U-864

Vraket av den tyske ubåten U-864 ble funnet utenfor Fedje i Hordaland i 2003. Vraket inneholder store mengder metallisk kvikksølv (anslagsvis 67 tonn).

I St. prp. nr. 67 (2008-2009) Tilleggsbevilgninger og omprioriteringer i statsbudsjettet 2009 ble Stortinget informert om at regjeringen mente at vraket av U-864 burde heves. Videre ble det fremholdt at forurenset havbunn burde dekkes til med rene masser. Det ble også gjort rede for at det skulle gjennomføres en nærmere kvalitetssikring av hevingsalternativet, KS2 (Prop. 1 S (2009-2010) for Fiskeri- og kystdepartementet). Ut fra en samlet vurdering av utredningsgrunnlaget og resultatene fra den eksterne kvalitetssikringen konkluderte regjeringen deretter med at det var behov for ytterligere utredninger av den videre håndteringen av U-864 før endelig beslutning om hvordan vraket skal håndteres blir fattet. Gitt prosjektets målsetning om å redusere miljørisikoen, var det etter regjeringens vurdering ikke forsvarlig å gå videre med hevingsprosjektet slik prosjektet forelå da den eksterne kvalitetssikringen ble gjennomført (Prop. 81 S (2009–2010)).

Regjeringen varslet i Prop. 81 S (2009–2010) om at det skulle igangsettes en forstudie om håndtering av U-864. Forstudien skulle inneholde følgende fire alternativer: nullalternativet, tildekking, heving og et alternativ der heving og tildekking kombineres. Hensikten med å inkludere tildekking og et alternativ der heving og tildekking kombineres, var å øke sannsynligheten for å komme fram til et tilfredsstillende alternativ for håndtering av kvikksølvforurensningen. Nullalternativet skulle tjene som et referansealternativ som de andre konseptene kunne sammenliknes med. Det understrekes samtidig at Regjeringen vurderer det som viktig å få gjort nødvendige tiltak for å håndtere forurensningen fra U-864, og at målet med den videre oppfølgingen av U-864 er å redusere miljørisikoen knyttet til kvikksølvforurensningen.

Fiskeri- og kystdepartementet gav deretter Kystverket mandat til å utarbeide en konseptvalgutredning (forstudie) (se mandat vedlegg A) med følgende målsetting:

Målsetningen med prosjektet er å håndtere kvikksølvforurensningen knyttet til U-864 slik at miljørisikoen reduseres mest mulig. Prosjektet skal videre bidra til at forurensningsnivået i sjømat, vannsøylen og i sedimentene fra dette området ligger på nivå tilsvarende det som er typisk for den nordlige delen av Nordsjøen.

Etter at forstudien har vært gjenstand for ekstern kvalitetssikring av konseptvalg (KS1) vil regjeringen konkludere med hvilket alternativ som bør velges.

2.1 Tilleggsutredning av nytt alternativ 4 – KVVU U-864

I KVVU U-864 ble mudring som miljøtiltak for å håndtere de forurensete sedimentene utelatt med bakgrunn i tiltakets risiko for ytterligere spredning av finpartikulært materiale, samt at mudring av et stort område ble vurdert til svært kostbart. De mudringsoperasjoner som er kostnadsberegnet i KVVU U-864 begrenser seg til forventet mudring for tilkomstarbeid til ubåtens kjøll og mudring av områder med særdeles høy konsentrasjon kvikksølv (hot-spots). Tilgjengelig mudringsteknologi og dets egnethet for miljømudring av kvikksølvholdige sedimentene rundt U-864 ble utredet av Det Norske Veritas som tilleggsstudie nr 5 i 2008.

I oppdrag fra Fiskeri- og kystdepartementet datert den 8. april 2011 ble Kystverket gitt i oppdrag å utføre følgende tilleggsutredninger for U-864:

- Kystverket skal gjøre en vurdering av hvor mye kvikksølv som vil ligge igjen etter en heving av U-864 slik dette er definert i alternativ 2. Kystverket må her dokumentere usikkerheten som er forbundet med denne vurderingen.
- Kystverket skal gjøre en vurdering av et nytt alternativ 4 der man fjerner en nærmere spesifisert andel av de forurensete sedimentene før området tildekkes. Departementet ber om at andelen settes så høyt som mulig etter en konkret teknisk vurdering, og i dialog med interessentene. Det bes her om at Kystverket både vurderer heving av selve ubåtvraket med

påfølgende mudring av sedimentene, og et alternativ der kun lasten tas opp for deretter å mudre området.

Når det gjelder mudringsteknologi, ber vi om at Kystverket gjør en grundig vurdering av tilgjengelig teknologi for slike operasjoner. I utarbeidelsen av dette alternativet skal miljørisiko og muligheten for å ta opp en størst mulig mengde kvikksølv vektlegges. Det må også foretas en økonomisk vurdering av tiltaket.

Kystverket skal gjøre en fornyet vurdering av risikoen ved tildekkingsalternativet i et 1000-årsperspektiv med tanke på blant annet jordskjelv, erosjon og ytre påvirkning.

Disse punktene behandles i hvert sitt hovedkapittel i rapporten.

2.2 Avgrensninger alternativ 4

Kystverket tolker oppdraget slik at det ikke inngår å utføre en samfunnsøkonomisk analyse av det nye alternativet, eller å sammenligne dette med de alternativene som ble utredet i KVUen.

Risiko for detonasjon av ammunisjon/sprenglegemer under mudring er ikke utredet men kan være en begrensende faktor som kan påvirke mudringsarbeidet negativt. Eksplosivryddingseksperter fra Sjøforsvaret har vurdert at sannsynlighet for utilsiktet detonasjon av skjult ammunisjon i sediment er høy dersom det benyttes kraftig utstyr for sugemudring. En slik detonasjon kan medføre spredning av kvikksølvforurensende sediment samt påføre mudringsmateriellet skade.

3 Vurdering av mengde kvikksølv i ubåtens kjølvann og i omkringliggende sedimenter

Utredning av antatt last ombord på U-864 ble gjennomført som tilleggstudie nr 7 av DNV i 2008. Konklusjonen i denne utredningen var at ULTRA-arkivene fra England viser dokumentasjon på at 1857 (ca 67 tonn) beholdere med kvikksølv kunne være lagret på U-864 ved avgang Kiel, Tyskland.

I mai 1945 ble stort sett alt av dokumentasjon om tyske militære oppdrag destruert før de alliertes overtagelse av landet. ULTRA-arkivene i London er derfor den eneste kjente kilde som beskriver U-864 sitt oppdrag og hvilken last som ubåten skulle transportere til Japan.

For å etterforsyne Japan med kvikksølv og andre komponenter til våpenindustrien, ble fra 1943 tyske og italienske ubåter benyttet som transportmiddel mellom Tyskland og Japan. Det er antatt at ca 620 tonn kvikksølv ble fraktet på denne måten og at ca 420 tonn kvikksølv ble tapt der ubåtene ble senket av allierte styrker. Det ble på 60- og 70-tallet gjennomført heving av kvikksølvbeholdere fra U-859 som ble senket i Malakkastredet. Bakgrunn for heving av beholdere var deres økonomiske verdi. Vraket av U-859 ligger på ca 30 meters dybde og det ble benyttet dykkere for å tømme ubåtens kjølvann. Forurensingssituasjonen rundt vraket er ukjent.

Kystverket har basert sine vurderinger av lastemetodikk på innspill fra Jurgen Osten fra Tyskland som var sjef på U-861 under andre verdenskrig. Under hans kommando fraktet U-861 ca 100 tonn kvikksølv fra Tyskland til Japan. I tillegg har den tyske pensjonerte ingeniøren Wolfgang Lauenstein bistått med informasjonsinnhenting omkring den tyske hevingsoperasjonen av kvikksølvbeholdere fra U-859.

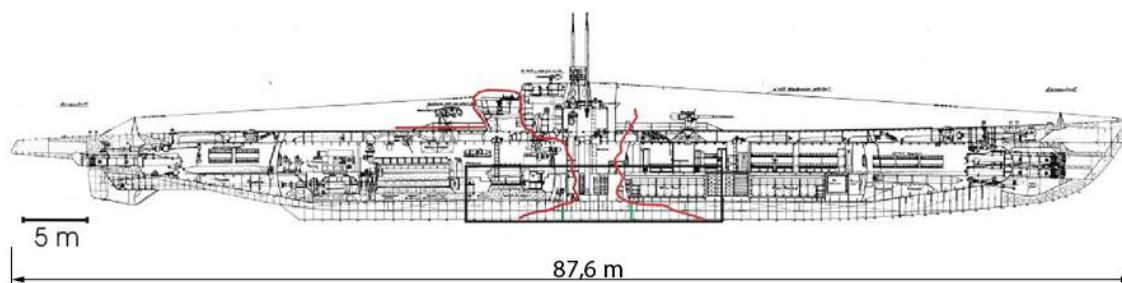
3.1 Vurdering av mengde kvikksølv gjenværende i kjølvann på U-864

Kystverket antar at U-864 fraktet kvikksølvbeholderne på samme måte som U-861 og U-859. I disse ubåtene ble beholderne plassert i kjølvannet og erstattet blyballast gjennom dokksetting før avgang Tyskland og etter ankomst Japan.

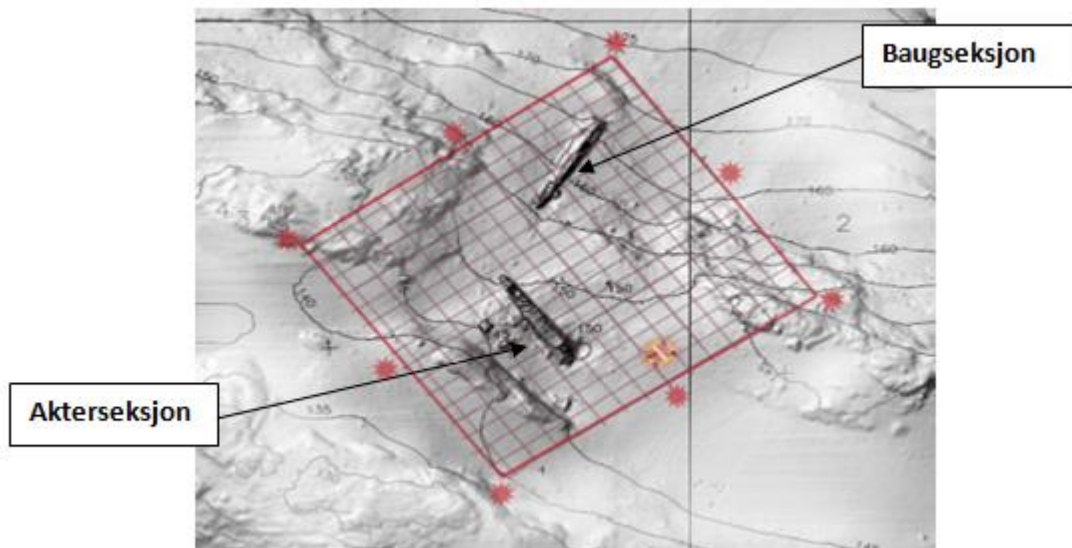
Under fjerning av beholdere fra kjølvannet til U-859, ble det konstatert at kvikksølvbeholderne ikke var jevnt fordelt, dvs. at enkelte kjølvann rom inneholdt tradisjonell blyballast mens andre kjølvann rom kun inneholdt kvikksølvbeholdere.

Den antatte mengde ballast som den aktuelle ubåtklassen type XI D2 førte er ca 100 tonn. Dersom U-864 medbrakte 1857 beholdere innebærer dette at ubåten også må ha kjølvann rom med tradisjonell ballast i tillegg til kvikksølvbeholderne.

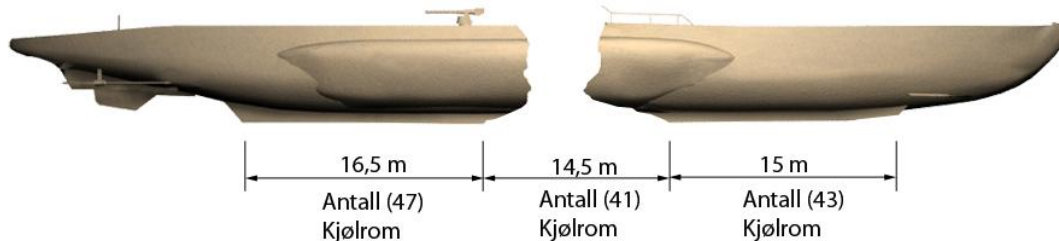
3.1.1 Vurdering av bruddsonen på kjølvannet til U-864



Det ble gjennomført fysiske undersøkelser av vrakseksjonene til U-864 i 2005 og 2006 med formål om å innhente informasjon om kjølvannets tilstand og omfanget av bruddsonene på forskip og akterskip. Kjølvannpartiene på begge vrakseksjonene ligger begravd i sedimentene og mudringsforsøk i 2005 ble oppgitt på grunn av for harde sedimenter for sugemudring, mens mudringsforsøk i 2006 måtte avbrytes på grunn av ustabilitet på akterseksjonen. Forseksjonen ligger i et geoteknisk ustabil område og mudring på denne seksjonen ble frarådet av NGI.

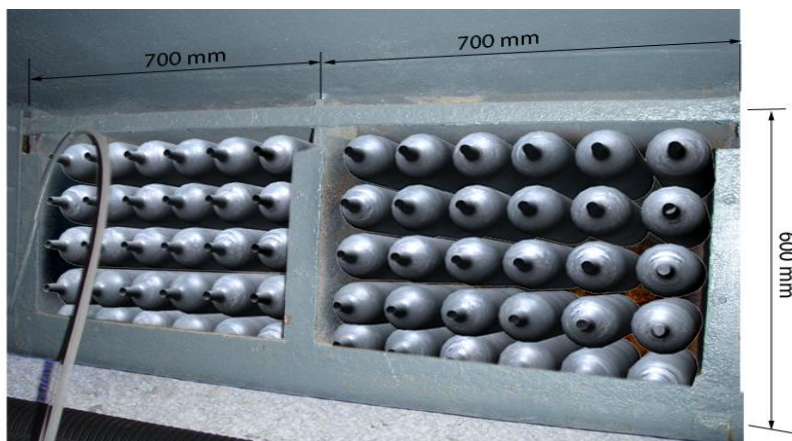


Etter analyse av klassesetninger på tysk type IX D2, er det totalt 131 kjølrom spredt langs ubåten. Midtpartiet på U-864 er ødelagt og deler av denne ligger langs styrbord side på akterseksjonen. På bakgrunn av vurdering av bruddsonen fra toktet i 2006, antas det at 47 kjølrom er igjen på akterseksjonen mens 43 kjølrom er antatt igjen på forseksjonen. Dette betyr at 41 kjølrom, med plass til inntil 1558 kvikksølvbeholdere, antas å ha blitt ødelagt under torpederingen i 1945. Kvikksølvet i disse beholderen kan da ha blitt spredt på sjøbunnen, enten som rent kvikksølv fra ødelagte beholdere eller som intakte beholdere. Funn av både intakte og delvis ødelagte beholdere på sjøbunnen (Geoconsult 2005-2006) og av høye kvikksølvkonsentrasjoner i sedimentet på sjøbunnen bekrefter at begge deler har skjedd.



3.2 Teoretisk beregning av kvikksølvmengde

Det er estimert å kunne være maksimalt 38 stk kvikksølvbeholdere i hvert kjølrom. Dersom hele dybden (600mm) er utnyttet kan det være 8 beholdere i tillegg til de 30 "synlige" (5 x 6):



Det er vurdert 2 scenarier for teoretisk mengde kvikksølv i midtseksjonens kjølerom:

3.2.1 Scenario 1 – Alle kjølerommene i midtseksjonen er fylt med kvikksølvbeholdere

Dette scenarioet gjelder hvor mye kvikksølv som kan ha blitt spredt på sjøbunnen, dersom den delen av kjølen som antas sprengt bort var fylt med maksimalt antall kvikksølvbeholdere.

Maksimal mengde kvikksølv spredt ut i sjøbunnen:

Ved 38 beholdere (5 x 6 + 8) i hvert kjølerom:

36 kg pr. beholder x 38 stk beholdere i hvert kjølerom x 41 kjølerom = ca. 56-57 tonn

Ved 30 beholdere (5 x 6) i hvert kjølerom:

36 kg pr. beholder x 30 stk beholdere i hvert kjølerom x 41 kjølerom = ca. 44-45 tonn

Med dette scenarioet kan det anslås at mellom 299 og 627 beholdere ligger igjen i vraket. Med 36 kg kvikksølv per beholder, gir det mellom 10,8 og 22,6 tonn kvikksølv.

3.2.2 Scenario 2 – 37 prosent av kjølerommene i midtseksjonen er fylt med kvikksølvbeholdere

Dette scenarioet gjelder hvor mye kvikksølv kan ha blitt spredt på sjøbunnen, dersom kvikksølvet var jevnt fordelt i kjølerommene slik at disse bare var fylt med 37 prosent av maksimal oppfylling av kvikksølv.

Den maksimale kapasiteten var 4978 beholdere (131 kjølerom x 38 beholdere), men kun 1857 beholdere ble lastet om bord (i følge dokumentasjonen), dvs. at 37 prosent av kjølerommene er fylt.

Maksimal mengde kvikksølv spredt ut i sjøbunnen:

Ved 38 beholdere (5 x 6 + 8) i hvert kjølerom:

36 kg pr. beholder x 38 stk beholdere i hvert kjølerom x 41 kjølerom x 37% = ca. 20-21 tonn

Ved 30 beholdere (5 x 6) i hvert kjølerom:

36 kg pr. beholder x 30 stk beholdere i hvert kjølerom x 41 kjølerom x 37% = ca. 16-17 tonn

Med dette scenarioet kan det anslås at mellom 1 283 og 1 406 beholdere ligger igjen i vraket. Med 36 kg kvikksølv per beholder, gir det mellom 46,2 og 50,6 tonn kvikksølv.

3.2.3 Konklusjon på gjenværende kvikksølv i kjølen på U-864

Målinger har påvist kvikksølv spredt til sedimentene rundt vraket og det er derfor sikkert at et visst antall beholdere må ha vært lagret i midtseksjonenes kjølerom. De vurderte scenarioene indikerer en teoretisk mengde kvikksølv i midtseksjonens kjølerom mellom 16 tonn og 57 tonn.

56-57 tonn er vurdert å være den maksimale kvikksølvmengden som har vært lagret i midtseksjonens kjølerom, og som kan teoretisk ha blitt spredt i sjøbunnen.

Med referanse til tømning av kjølen på U-859 hvor en del av kjølkassene var tomme, kan det spekuleres i at det samme var tilfelle for U-864. I så tilfelle vil estimatet på 16-20 tonn kvikksølv være mer sannsynlig enn maksimumsanslaget på 57 tonn.

Kystverket vurderer at følgende usikkerhetsmomenter kan påvirke kvikksølvmengden:

- Antall beholdere lagret i kjøle på U-864: I ULTRA arkivene er det kun funnet signal som beskriver lastbestillingen over hva U-864 skulle frakte til Japan. Det er ikke funnet dokumentasjon over hva som fysisk ble lastet ombord. 1857 beholdere er derfor antatt som verst tenkelig scenario. Det er lite sannsynlig at U-864 lastet flere beholdere enn bestillingen, heller større sannsynlighet for færre beholdere siden transporten foregikk mot slutten av andre verdenskrig.
- Skadeomfanget på ubåtens kjøle er ukjent. Hvor mange beholdere som er skadet som resultat av torpederingen og den påfølgende sammenstøt med sjøbunn er ukjent.
- Informasjon fra bergingen av kvikksølvbeholdere fra U-859 indikerer at enkelte kjølerom kan inneholde vanlig ballast. I verste scenario vil hovedparten av kvikksølvbeholdere være lokalisert til den del av kjølen som ble mest skadet under torpederingen.

3.3 Mengde kvikksølv i sediment

Gjennomgang av dokumenter som gjaldt lasting av U-864 har vist at ubåten kan ha vært lastet med inntil 67 tonn kvikksølv. Ved torpederingen har deler av lasten blitt spredt ut av vraket og gjenfinnes på sjøbunnen. Estimater av mengden kvikksølv i sedimentet er viktig for å vurdere hvor mye kvikksølv som ligger igjen i vraket og for å vurdere mengden forurenset sediment som må mudres dersom dette alternativet velges.

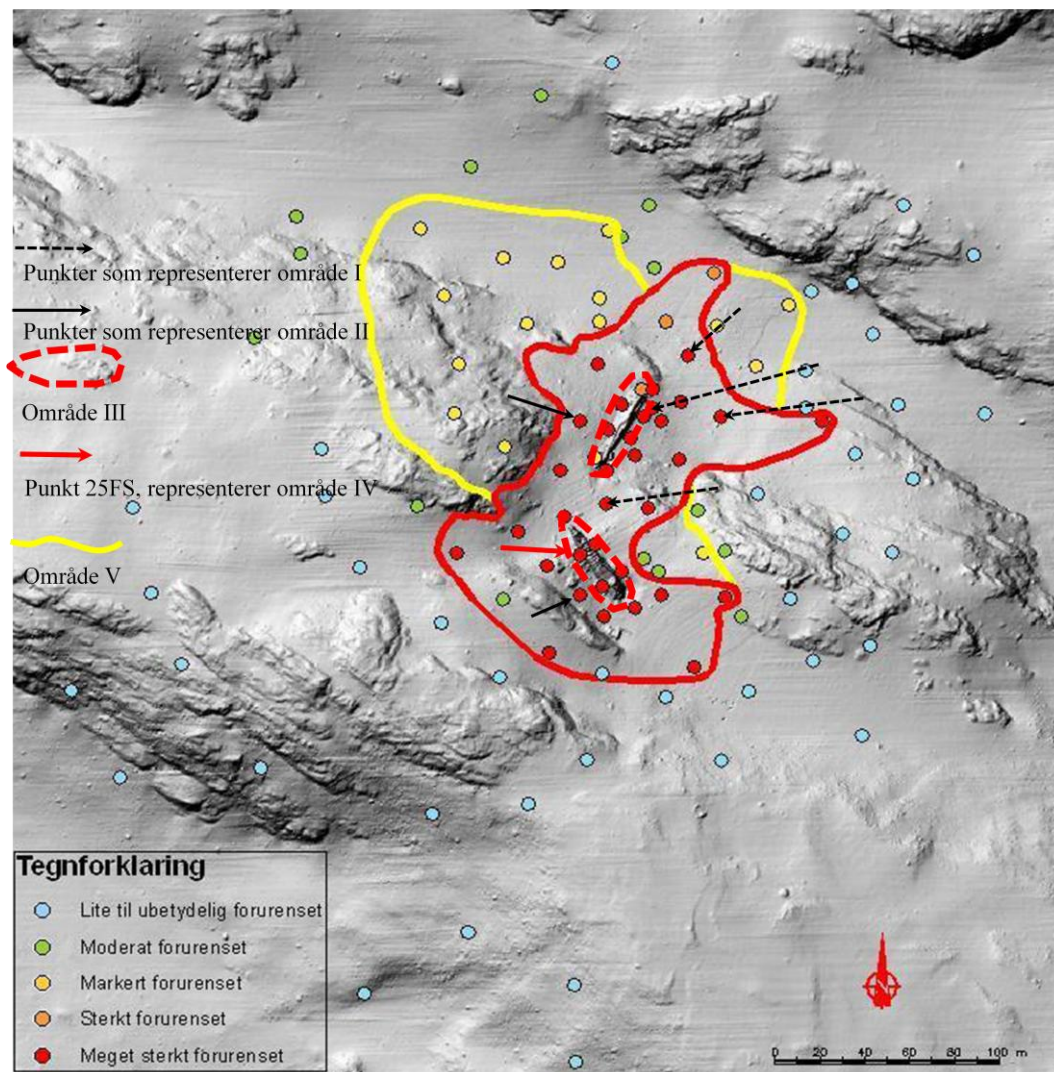
Sommeren 2005 ble det gjennomført en kartlegging av kvikksølvinnholdet i sedimentet omkring U-864. Det ble hentet inn og analysert prøver fra 35 stasjoner, på 10 av disse stasjonene ble det tatt kjerneprøver der kvikksølvinnholdet ble analysert i flere sedimentdyp (NIVA 5092-2005). Våren 2006 ble det prøvetatt og analysert sediment fra ytterligere 62 stasjoner (NIVA 5279-2006). DNV har tidligere estimert mengden kvikksølv i sedimentet omkring U-864 til mellom 0,9 og 20 t (DNV, 2008d) basert på resultatene fra NIVA (5092-2005).

NGI har her gjort en ny gjennomgang av kvikksølvmengde basert på de samme resultatene, med en mer detaljert vurdering av lagtykkelser og volum i sediment områder med ulike konsentrasjoner. Data fra det mindre forurensete området utenfor og analyser av tre sedimentprøver fra området nær vraket, brukt i bokforsøk (NIVA 5089-2005), er også inkludert i denne analysen.

Basert på de målte kvikksølvkonsentrasjonene i sedimentet er sjøbunnen omkring vraket av U-864 delt inn i fem ulike kategorier:

- Område I: Område med lagdelt Hg innhold. Deler av området som er markert med rød linje på Figur 3.1
- Område II: Området uten lagdelt konsentrasjon, Hg målt ned til 20 – 40 cm. Deler av området som er markert med rød linje på Figur 3.1
- Område III: Et mindre område like ved vraket med potensielt stor, men ukjent mektighet Hg-forurensning
- Område IV: Masser med frifase Hg like ved vraket (>100 000 mg/kg ts)
- Område V: Mindre forurenset område lenger unna vraket. Området markert med gul linje på Figur 3.1

Figur



Figur 3.1 Prøvetakingsstasjoner og forurensningssituasjonen på disse. Klassifisert etter Klifs tidligere system for klassifisering av forurensete sedimenter (Klif 1997).

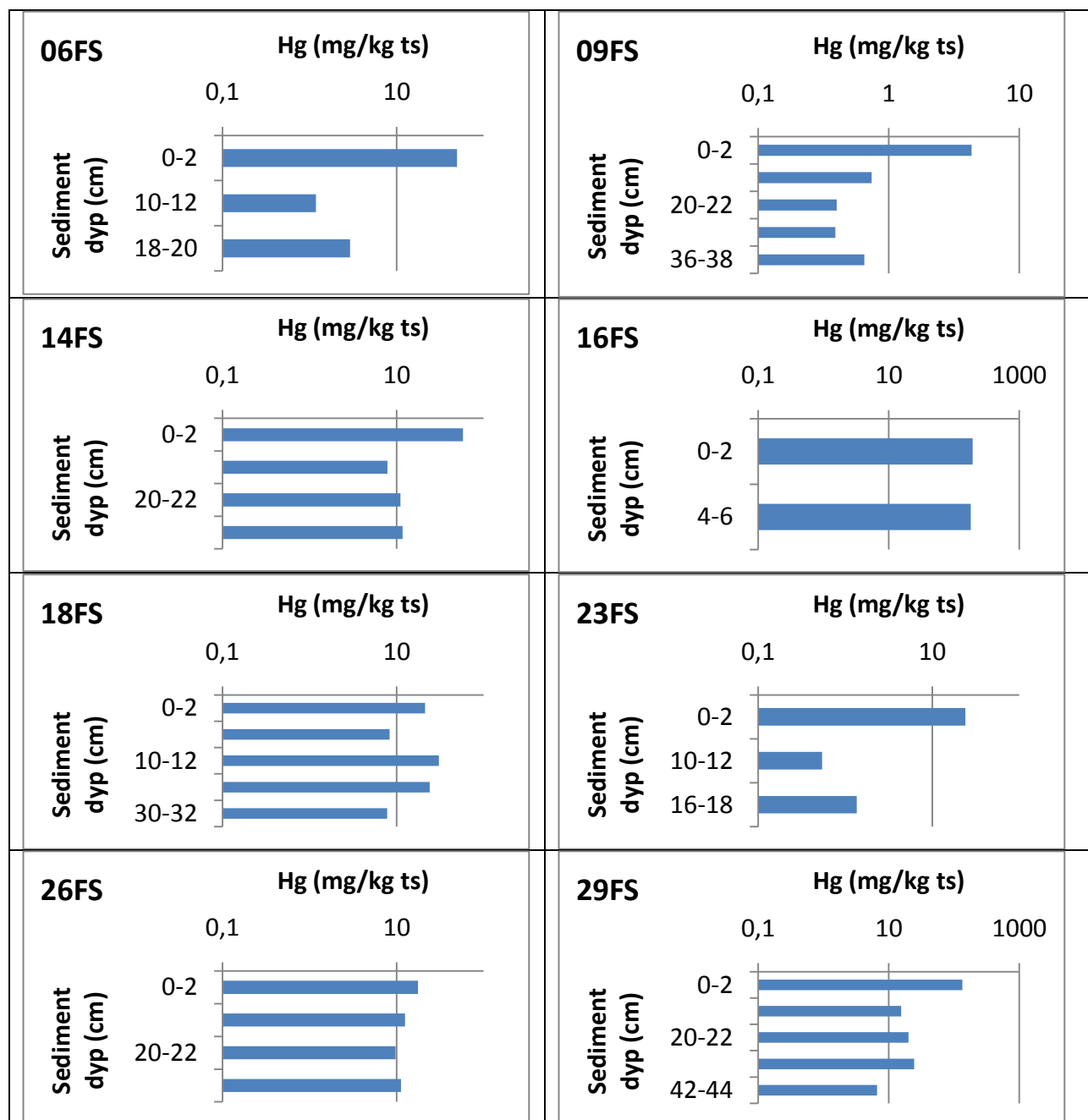
3.3.1 Høye konsentrasjoner av kvikksølv nær vraket

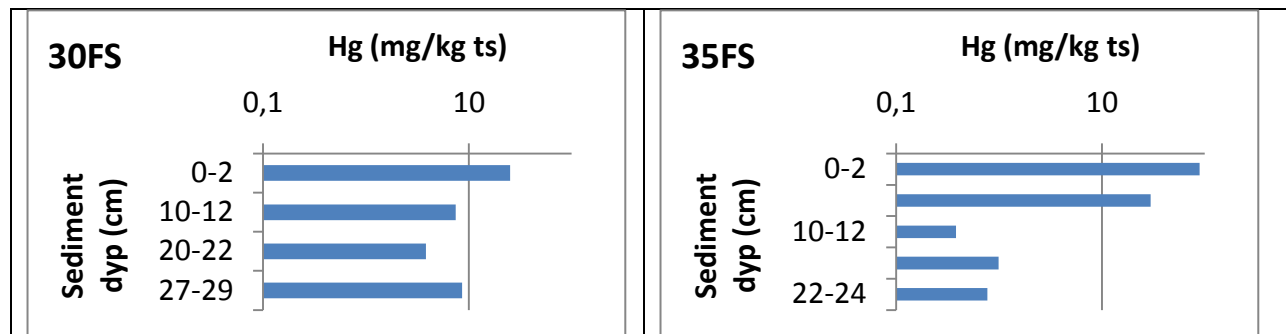
Sedimentundersøkelsen viser også at de høyeste kvikksølvkonsentrasjonene i sediment er funnet nærmest vraket (Område III). Det er også funnet tre punkter med svært høye konsentrasjoner nær vraket (945 – 107 800 mg Hg/kg ts). Den høyeste av disse målingene tilsvarer nesten 11% Hg i sedimentet. Disse punktene ble identifisert som "Hot spot" områder i forbindelse med modellering av spredning i forbindelse med mudring (DNV 2008a). I beregningen av mengden kvikksølv i sedimentet er sedimentet delt opp i to områder med høy konsentrasjon av kvikksølv: Område III basert på alle høye målinger like ved vraket bortsett fra 25FS der det er påvist 11% kvikksølv i sediment. Det er laget en egen kategori basert på denne prøven som antas å være representativ for områder der det har lekket ut fri fase kvikksølv (Område IV). Grunnen til å gjøre dette skille er at prøven fra 25FS inneholder så mye Hg at det indikere at det må finnes områder med fri fase Hg ved vraket. Mengde Hg i slike områder er stor og derfor viktig for estimatet av mengde kvikksølv. Usikkerheten i både konsentrasjon og volum sediment i disse områdene basert på noen få prøver er stor og en skjønsmessig vurdering av hva som er sannsynlige høye og lave estimater er brukt for å illustrere denne usikkerheten.

3.3.2 Lagdeling av kvikksølvforurensning

Figur 3.2 viser konsentrasjonen av kvikksølv i sedimentkjerner tatt på 10 stasjoner omkring vraket av U-864. Resultatene viser at det er to ulike typer kvikksølvprofiler i de analyserte kjernene:

1. Profiler med høy kvikksølvkonsentrasjon (>3 mg/kg, ofte mye høyere) i det øverste 2 – 7 cm sedimentlaget og lavere kvikksølvkonsentrasjoner (<3 mg/kg ts) dypere enn dette: Stasjon 06FS, 09FS, 23FS og 35FS
2. Profiler med høy konsentrasjon av kvikksølv (>3 mg/kg, ofte mye høyere) i hele sedimentprofilen som er analysert: Stasjon 14FS, 16FS, 18FS, 26FS, 29FS og 30FS





Figur 3.2 Kvikksølvkonsentrasjon i sedimentprofiler. Plottene er laget basert på data fra NIVA 5092-2005.

4 av de 10 kjernene (14FS, 16FS, 26FS og 30FS) er tatt like ved vraket og antas å representere masser like ved vraket som er sterkt forurensede (Område III), men ikke med innslag av fri fase.

De 6 andre kjernene (06FS, 09FS, 18FS, 23FS, 29FS og 35FS) er antatt å være fordelt jevnt over det forurensede arealet og at de derfor er representative for fordelingen av kvikksølv i sedimentet i området innenfor den røde linjen i Figur 3.1 (Område I og II). Antall prøver med de ulike profilene antas derfor å representere den arealmessige fordelingen av områder med kvikksølvforurensning bare i de øverste 7 cm av sedimentet og områder der forurensningen er dypere og ikke avgrenset.

For beregning av mengde kvikksølv i sedimentet er det også antatt at det er lite kvikksølv i sedimentet under der det er påvist i kjerneprøvene. I de kjernene som hadde kvikksølv i hele kjernen kan dette føre til en underestimert mengde kvikksølvforurensning i disse punktene.

Tabell 3.1 oppsummerer konsentrasjonene som er målt i sedimentet omkring U-864. Dette sammen med densitet og vanninnhold fra NGI-rapport 20061348-6 er brukt til å estimere mengden kvikksølv i sedimentet.

Tabell 3.1 Kvikksølvkonsentrasjoner i sediment fordelt mellom de ulike del-områder (mg Hg/kg).

	Område II/I	Område I	Område II	Område III	Område IV	Område V	Alle prøver
Sedimentlag	0-7 cm	7-29 cm	7-29 cm			0-7 cm	
Gjennomsnitt	32	0,9	18	169	107 800	0,44	1206
Standardavvik	39	0,73	8,9	419	-	0,59	11236
10% persentil	2,0	0,39	7,3	7,9	-	0,026	0,070
Median	17,55	0,74	20	25	107 800	0,15	6,2
90% persentil	82	1,4	27	239	-	1,1	87
Maksimum	135	2,9	31	1955	-	2,5	107800
Minimum	0,72	0,38	6,6	3,83	-	0,010	0,010
Antall prøver (N)	24	11	7	22	1	27	92

Det er gjort tre ulike estimater: et lavt, et middels og et høyt. I disse anslagene er 10% persentil, gjennomsnitt og 90% persentil benyttet for kvikksølvkonsentrasjon. For volum av Område III og

Område IV, som ligger like ved vraket er det ikke gjort prøvetaing som avgrensner mektighet av disse konsentrasjonene. Det er derfor lagt inn lavt, middels og høyt skjønnsmessige anslag av disse volumene.

Tabell 3.2 Mengde kvikksølv i ulike sediment områder. Lavt anslag (10 % persentil-konsentrasjoner), Middels anslag (gjennomsnittskonsentrasjoner) Høyt anslag (90 % persentil-konsentrasjoner).

	Mengde kvikksølv i sedimentet fordelt på områder og i sedimentsjikt (kg)		
	Lavt anslag	Middels anslag	Høyt anslag
Område I med lagdelt Hg innhold			
0-7 cm	2,4	37	97
7-29 cm	1,4	3	5
Område II uten lagdelt konsentrasjon, Hg målt ned til 20 - 40 cm			
0-7 cm	1,2	19	48
7-29 cm	13,5	34	50
Område III, like ved vraket med potensielt stor mektighet Hg-forurensning (lavt anslag)			
100 – 500 cm mektighet	26	1087	3844
Område IV Masser med tilnærmet frifase Hg			
Volum: lavt anslag	308	7700	15400
Område V Mindre forurenset område lenger unna vraket			
0-7 cm	0,03	0,52	1,3
Sum alle områder og sjikt	352	8881	19446

Resultatet av disse estimatene viser at mengden kvikksølv i sedimentet sannsynligvis ligger mellom 0,3 tonn og 20 tonn, noe som stemmer godt over ens med tidligere estimat (DNV 2008a). Ingenium har anslått mengden kvikksølv som kan ha vært i den delen av U-864 som ble ødelagt under torpederingen og derfor kan ha blitt spredt ut av vraket, til å være 16 - 57 tonn (Ingenium 2011). Dette betyr at det meste av kvikksølvlasten kan være spredt ut av vraket og ligge på sjøbunnen eller begravd i sedimentet. Estimater av mengden kvikksølv i sedimentet som er gjort her viser at store deler av det som ble spredt fra ubåten etter torpederingen fremdeles kan ligge igjen i sedimentet.

Mektighet og volum av sedimentet like ved vraket med de høyeste konsentrasjonene er ukjent. Estimater viser imidlertid at de største mengdene av kvikksølvet i sedimentet er i disse sedimentene (90 – 99 %). Dersom mengden sediment med de høyeste kvikksølvkonsentrasjonene er enda større enn anslått her kan mengden kvikksølv også i sedimentet også være større. Usikkerheten i estimatene styres derfor av usikkerheten i konsentrasjon og volum av disse sedimentene.

Dette betyr også at mudring i de forurensede områdene nær vraket både vil gi størst mulighet for å fjerne kvikksølv fra sjøbunnen, men også størst risiko for uønsket spredning under mudring. Dette må det tas hensyn til ved mudring ved vraket både som en del av arbeidet for å skaffe tilkomst ved heving av vrak eller last og ved mudring for å fjerne kvikksølvforurensede sedimenter.

4 Vurdering av nytt alternativ 4 for U-864

Fjerning av kvikksølvforurensede sedimenter i tiltaksområdet for U-864 vil være en utfordrende oppgave med hensyn til tilgjengelig teknologi og i forhold til å oppnå de miljøkrav og akseptkriterier som vil bli stilt til en slik operasjon.

4.1 Nærmere om alternativet

Alternativ 4 er delt opp i to underalternativer:

Alternativ 4a: Fjerning av hele vraket og mudring av forurenset sediment

Alternativ 4b: Fjerning av kvikksølvlast fra vraket og mudring av forurenset sediment

I bestillingen fra FGD er det presisert at man skal fjerne en så høy andel så som mulig av de forurensede sedimentene. Nedenfor følger en kort beskrivelse av alternativene omhandlet i denne analysen.

4.1.1 Alternativ 4A – Heving av vrak og mudring

Heving av vrakdeler fra U-864 innebærer at synlige vrakrester løftes fra sjøbunnen til overflaten og renses ved godkjent mottak, i tillegg til opplukking av vrakrester og kvikksølvbeholdere på sjøbunnen. Det er nødvendig med stabiliserende tiltak, for eksempel støttefylling², i skråningen hvor den fremre vrakdelen befinner seg, før det gjøres tiltak. Metallisk kvikksølv som tas ut av skipets kjøll, deler av vraket som ikke lar seg rense for kvikksølv og forurenset sediment som følger med vraket vil bli deponert. Eksplosiver i vraket må fjernes av kvalifisert personell. Gjenværende sedimentforurensing etter hevingen av vraket må i tillegg håndteres ved å mudre og deponere de forurensede sedimentene. Eventuelle levninger vil tas hånd om i tråd med gjeldende normer og etiske retningslinjer, som fastsettes i samråd med hhv. tyske og japanske myndigheter. Etter at tiltaket er gjennomført vil området bli fulgt opp med nødvendig miljøovervåking. Forut for en hevingsoperasjon må gjenværende bunkersolje fjernes fra intakte tanker.

Siden dette alternativet er basert på en forutsetning om at de forurensede sedimentene skal mudres, forutsettes det at man ved utlegging av støttefylling må mudre sedimentene først for så å legge ut de stabiliserende massene. Mudring av de resterende forurensede massene vil så gjøres etter hevingen av vraket, noe som betyr at den totale mudringen kan bli delt i to separate operasjoner. Av volumet til den tildekkingen som hadde vært nødvendig dersom man ikke mudret de forurensede sedimentene, er det antatt at støttefyllingen utgjør rundt 2/3. Dette fordi støttefyllingen må være dyp og dekke et stort område for å virke stabiliserende. Konsekvensen er derfor at man må gjøre tre tiltak (mudring, heving og tildekking) istedenfor to (heving og tildekking).

Mudringen av forurensede sedimenter i vrakområdet kan i alternativ 4A gjøres etter at vraket er hevet. Det betyr at mudringen vil være enklere enn om vraket ligger på sjøbunnen (slik som i alternativ 4B) og at det derfor er større sannsynlighet for at mudringen vil gi så lite restforurensning at tildekking ikke er nødvendig for å oppnå god nok miljøkvalitet på sjøbunnen. Det er likevel en hvis sannsynlighet for at det også i alternativ 4A vil være behov for noe tildekking i tillegg til det som gjøres i form av støttefyllingen.

4.1.2 Alternativ 4B – Heving av last og mudring

I alternativet med heving av last heves kun kvikksølvbeholdere, mens det resterende vraket blir liggende. I tillegg vil synlige kvikksølvbeholdere og vrakrester i området direkte rundt vrakseksjonene fjernes og deponeres. Det er nødvendig med stabiliserende tiltak i skråningen hvor den fremre vrakdelen befinner seg, før operasjoner knyttet til heving av last gjennomføres. Gjenværende sedimentforurensing etter hevingen av kvikksølvbeholdere må håndteres ved å mudre og deponere de forurensede sedimentene. Det anses som sannsynlig at man ikke vil klare å fjerne alt av forurenset

² NGI, 29/8-2011, Konseptvalgutredning for håndtering av U-864 – Geotekniske vurderinger knyttet til gjennomføring av alternativ 4

sediment under og nærme vraket, og det vil derfor være behov for å dekke til noe restforurensing. Etter tiltaket er gjennomført vil området bli fulgt opp med nødvendig miljøovervåking. Forut for heving av last operasjonen må gjenværende bunkersolje fjernes fra intakte tanker.

Følgene av at det vil være restforurensing, både i vraket og under vraket, gjør at det vil være behov for å dekke over vraket. Tildekking av vrakdelene gjør at mektigheten her blir stor, i tillegg til at det er behov for støttefylling. Verst tenkelig tildekkingsbehov vil derfor være det samme som i fullt tildekkingsalternativ. Sannsynligvis vil det være noe mindre, men behovet vil være vesentlig større enn i alternativ 4A. Konsekvensen er også her at man må gjennomføre tre tiltak (heving av last, mudring og tildekking) istedenfor to (heving av last og tildekking, som i alternativ 3).

4.2 Vurdering av tilgjengelig mudringsteknologi



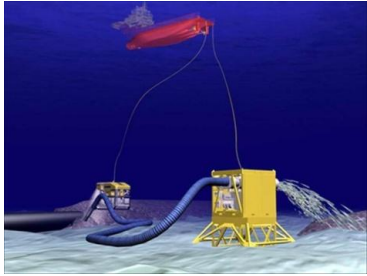

I dette kapitlet vurderer vi hvilke mudringsteknologier som er tilgjengelige og i hvilke deler av operasjonen de kan være egnet.

4.2.1 Beskrivelse av mudringssystemer

Det eksisterer i dag to hovedformer for mudringsmetoder og teknologi som kan være aktuelle for denne type mudringsoperasjon:

1. Overflatefartøy med sugesystemer/pumper og oppsamlingstanker for masser
2. ROV (Remotely Operated Vehicle) basert utstyr plassert på sjøbunnen

Disse to hovedmetodene kan deles opp i sugesystemer eller mekaniske gravesystemer som beskrevet i figuren under sammen med en overordnet beskrivelse av fordeler og ulemper.

	Sugemudring	Gravemudring	Fordeler og ulemper
Manøvreres fra overflatefartøy	 <p>Leiv Eiriksson (2010)</p> <p>155 m 2 x 6500 kW</p>		<p>Fordeler:</p> <ul style="list-style-type: none"> Mindre oppvirvling pga. manøvrering Høy kapasitet <p>Ulemper:</p> <ul style="list-style-type: none"> Dårligere presisjon Vanskeligere å operere mellom steiner og vrakdeler
Manøvreres ved hjelp av ROV			
Fordeler og ulemper	<p>Fordeler:</p> <ul style="list-style-type: none"> Liten oppvirvling under mudringen Kan justere sugehastighet slik at beholdere og andre objekter ikke suges opp eller suges opp <p>Ulemper:</p> <ul style="list-style-type: none"> Produserer mye forurenset vann 	<p>Fordeler:</p> <ul style="list-style-type: none"> Liten ekstra innblanding av vann i de mudrede massene <p>Ulemper:</p> <ul style="list-style-type: none"> Mye oppvirvling under mudring Stein i grabben hindrer lukking av grabb og fører til spredning av forurensete partikler 	<p>Fordeler:</p> <ul style="list-style-type: none"> God presisjon og kommer til i trange områder Hg-beholdere og ammunisjon kan oppdages og kan håndteres for seg <p>Ulemper:</p> <ul style="list-style-type: none"> Oppvirvling pga manøvrering Lav kapasitet

Figur 4.1 Teknikker, fordeler og ulemper

³ Oppdatert rapport Jan De Nul, datert 7/8-2011

⁴ Technical Report DNV – Salvage of U-864 – supplementary studies – dredging, datert 4/7-08

4.2.1.1 Overflatefartøy med sugesystemer

En av de vanligste metodene for mudring av store områder er ved bruk av et overflatefartøy utstyrt med et rør eller slange påmontert et sugehode som følger sjøbunnen. Dette utstyret krever en kraftig pumpe for å skape det nødvendige undertrykket som gjør at partikler/sedimenter suges opp i fartøyets tanker. Pumpen er vanligvis plassert på selve røret i en viss avstand fra sugehode. Røret henger i kraner på fartøyets skipside og blir senket/hevet ved bruk av de samme kranene ombord. Røret er hengslet i overgangen fra skipsiden slik at det som blir sugd opp fra havbunnen havner i dedikerte tanker om bord på fartøyet. Utstyret er basert på kjent og utprøvd teknologi og er ansett som svært pålitelig. Denne metoden/utstyret blir kalt "Suction Hopper Dredger".

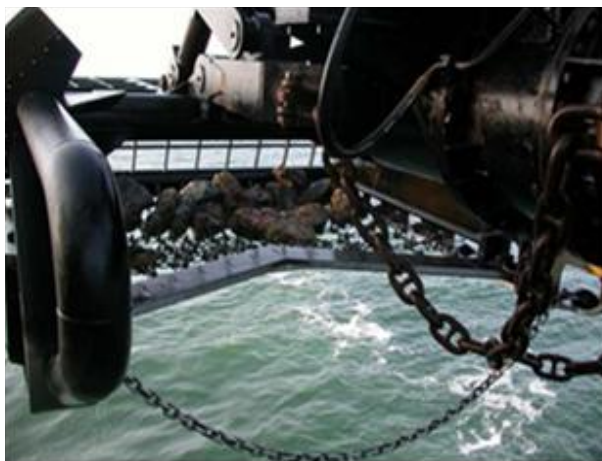


Figur 4.2 Trailing Suction Hopper Dredger (www.vanoord.com) and Leiv Eriksson (www.jandenul.com)

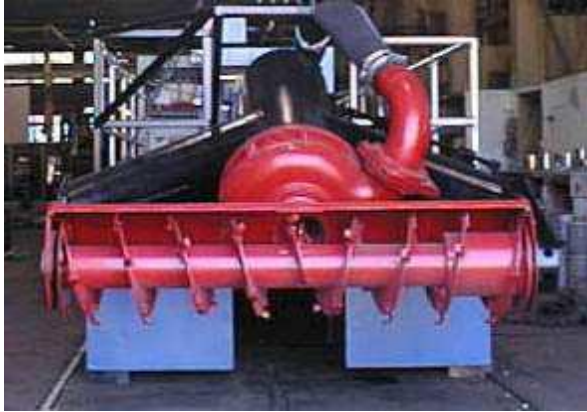
Sugehodets utforming blir tilpasset prosjektets mål og hensikt, og kan variere fra rene sugedyser til mer mekaniske systemer som "skraper" langs sjøbunnen for å plukke opp store og tunge elementer. I tillegg kan fartøyet utstyres med en grabb utformet som en "kamskjell" som tar med seg en stor mengde sedimenter i et mekanisk lukket system. Dersom sjøbunnen er hard og kompakt kan en "augerskrue" eller "skraper" benyttes til å løse opp massene, slik at partiklene kan bli sugd opp i slangen.






Figur 4.3 Sugehode (Jan De Nul)



Figur 4.4 Mekanisk skraper (Jan De Nul)



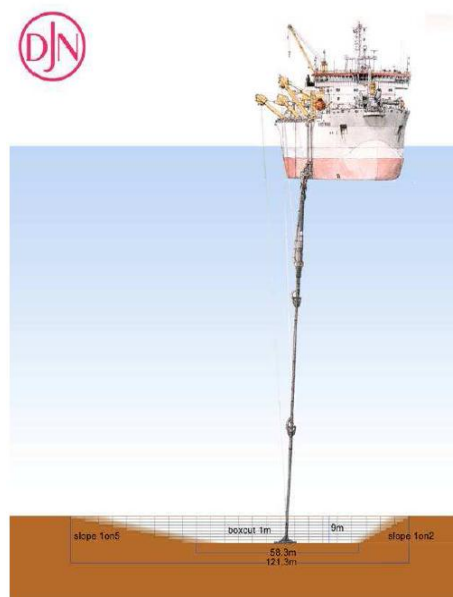
Figur 4.5 Augerskrue (DNV 2008)

Trailing Suction Hopper Dredger	Cutter Suction Dredger	Backhoe Dredger
Hydraulic	Mechanical + Hydraulic	Mechanical
Draghead	Cutterhead	Bucket
		

Figur 4.6 3 typer utgravingsmetoder (Jan De Nul)

Denne utstyrskonfigurasjonen har vært brukt i en rekke mudringsprosjekter. Det er stort sett ved operasjoner der det er hensiktsmessig å flytte store mengder masse på kort tid at denne metoden har vært effektiv, for eksempel ved mudring av havner og flytting av landområder som The Palm-prosjektet i Dubai og etablering av moloer i Nederland.

I tillegg har denne metoden vært utbredt ved offshoreoperasjoner knyttet til olje/gass-næringen internasjonalt, som for eksempel ved mudring av Glory Holes utenfor Newfoundland Canada som er vist i figuren under. Store mengder sedimenter suges ut for å lage 9 m dype forsenkninger i sjøbunnen der subsea brønnutstyr blir plassert, for å unngå ødeleggelser av isfjell som kan skrape langs sjøbunnen. I tillegg benyttes denne metoden for nedgraving av lange rørledningsgater offshore.



Figur 4.7 Glorie Hole (Jan De Nul)

Fartøyene har variert størrelse, men de som har kapasitet på dybder ned til cirka 160 m er store havgående skip som kan operere i bølgehøyder på opptil 2,5 m – 3,5 m H_s^5 . Tankene på disse skipene rommer fra 37.000 m³ til 47.000 m³ masse og kan forsegles slik at man unngår lekkasjer ut i sjø ved transport eller dårlig vær. Sugemudring som beskrevet over vil ha en effektivitet på cirka 10 til 30 prosent masser, mens resten er vann. Dette avhenger av tettheten på massene som skal suges opp.

Disse fartøyene er også utstyrt med dynamisk posisjoneringssystemer (DP) som gjør det mulig til enhver tid å ha god kontroll på sugehodets posisjon på havbunnen. Det blir også benyttet annet posisjoneringssystem plassert på havbunnen ved behov. Disse systemene vil kunne håndtere vær-situasjoner (strøm, vind og bølger) i vrakområdet rundt U-864.

4.2.1.1.1 Marked og aktører

De to største selskapene innenfor denne industrien globalt som benytter denne teknologien er Van Oord fra Nederland og belgiske Jan De Nul. Begge selskapene har flere skip med en kapasitet på rundt 155 m - 160 m vanddyp og mye erfaring fra flere års drift og store internasjonale prosjekter. I forbindelse med utlysingen av løfteoperasjonen for U-864 i 2008 har begge selskapene vurdert mudring av havbunnen rundt ubåten og beskrevet hver sin løsning som utnytter store overflatefartøy for sikker behandling av masser i tillegg til sugestyr som er egnet for den aktuelle dybden. Begge selskaper har også gitt innspill på både teknologi og metode som er beskrevet og vurdert i denne rapporten. Det har blitt arrangert møte Jan De Nul 17. juni 2011 og Van Oord 30. juni 2011. Hovedpunktene i disse møtene er beskrevet i kapittel 4.2.1.1.2.

4.2.1.1.2 Vurdering

Det som kjennetegner denne typen operasjoner er mye kraft og stor gjennomstrømningshastighet av sedimenter og vann. Dette er en fordel med tanke på minst mulig spredning av partikler, men kan og være en ulempe med tanke på håndtering av stort og tungt utstyr på havbunnen. I utgangspunktet kan dette utstyret lett operere på de angitte dypene og kunne håndtere de store massene det her er snakk om, ved å pumpe slam og sedimenter om bord i fartøyene med stor tankkapasitet. De største fartøyene kan romme totalt cirka 47.000 m³. Dette vil kreve flere turer til landdeponi for deponering av masser og cirka 6 tur/retur for å håndtere totalt 30.000 m⁶.

En betydelig fordel med sugemudring med et større "suction hopper dredger" fartøy er at denne metoden gir mulighet til å suge med kraftige pumper som kan opprettholde et betydelig undertrykk og dermed hindre spredning av forurensede partikler under mudringen.

⁵ H_s = Signifikant Bølgehøyde. Signifikant bølgehøyde (H_s) er gjennomsnittsverdien av den høyeste tredjedelen av individuelle bølgehøyder i en 20 minutters periode

⁶ Jan De Nul i samtale 17/6-2011

En viktig begrensning med dette utstyret er imidlertid at det kan være vanskelig å mudre med tilstrekkelig presisjon omkring knauser og vrakdeler. Ved vraket vil dette være særlig viktig, fordi mudringen kan forårsake at vraket flytter på seg med den risiko for ukontrollert spredning av kvikksølv som det innebærer. Omkring knauser og steiner kan dette antakelig løses med å mudre opp et større volum, slik at man er sikker på å få med alt.

Gravemudring kan mudre med større presisjon enn sugemudring. Det er imidlertid ikke noe undertrykk som hindrer spredning av partikler som vil oppstå når grabben river løs masser fra sjøbunnen og grabben løftes gjennom vannet til lekter eller container der de skal lastes for transport. Slik spredning avbøtes ofte med å konstruere grabbene slik at de er lukket når de løftes gjennom vannet. Dette hindrer likevel ikke spredning av partikler i det grabben løsner materialet fra sjøbunnen eller ved løfting gjennom vannmassene hvis stein eller andre ting sitter fast i grabben og hindrer at denne lukkes.

Begge selskapene vurdert i 4.2.1.1.1 har vurdert mudringsarbeid rundt U-864, men hadde ikke på det nåværende tidspunkt (juni 2011) utviklet utstyr som kunne håndtere kvikksølvpartikler eller sedimenter som inneholdt kvikksølv med tanke på spredning eller sikker håndtering av dette ved pumping. I tillegg ble det heller ikke vurdert spesielle behov for stabilisering av vrakdeler og/eller ubåt ved mudring i nærheten av disse.

Det pågår prosjekter hos begge aktørene for å utvikle rør og pumper for å kunne operere på større dyp, ned mot 200 m - 300 m. I tillegg har det blitt vurdert utstyr for å håndtere masser med innhold av fri-fase kvikksølv ved bruk av deres eksisterende teknologi og modifisert sugehode. Sugehode er foreslått utstyrt med en "partikkelfelle" for oppsamling av fri-fase kvikksølv. Dette er prosjekter som foreløpig kun eksisterer på tegnebrettet, og det er uklart når man eventuelt kan forvente resultater fra dette.

I tillegg vil det være hensiktsmessig med en videre utvikling og vurdering av utstyr som kan forhindre spredning i form av for eksempel en kappe/beskyttelse av sugeområdet. En nedstengingsventil på enden av slangen kan forhindre at masser "blåses" tilbake ved feil eller stopp i pumpen. Det bør vurderes og utarbeides egnede prosedyrer for nedstengning.

Det er sannsynlig at en operasjon på U-864 teknisk vil kunne gjennomføres med eksisterende utstyr for sugemudring, men da med noe nyutvikling av sugesystemer for å få den ønskede hastigheten til å fjerne kvikksølv og kvikksølvholdige sedimenter i tillegg til en egnet partikkelfelle.

Fartøyenes værtoleranser gir en sannsynlig oppetid i sommermånedene (mai - september) på cirka 90 prosent i området rundt vraket⁷.

Hovedpunktene fra møtene er beskrevet i tabellen under

Tabell 4.1 Hovedpunkter fra møter med selskapene

Selskap	Oppsummering	Dato
Jan De Nul	Oppdatering av tilbud og beskrivelse gitt i rapport datert 23. mai 2007. Selskapet fikk en kort redegjørelse for prosjektets situasjon og fase og deretter det teknologiske og miljømessige utfordringene ved vraket. Jan De Nul ga en kort innføring i sine erfaringer fra tidligere prosjekter. Deretter ble det diskutert mulige metoder og utstyr for en mudring rundt U-864. Det var klart at det i dag ikke eksisterer utstyr som direkte egner seg for mudring av kvikksølvholdige sedimenter og som sikrer en minimal spredning ved en operasjon. Selskapet ser for seg en løsning der noe utstyr må nyutvikles og testes i fullskala.	17. juni 2011
Van Oord	Selskapet fikk en kort redegjørelse for prosjektets situasjon og fase og deretter det teknologiske og miljømessige utfordringene ved vraket. Van Oord ga en kort innføring i sine erfaringer fra tidligere prosjekter og nyutviklinger i forbindelse med sammenkobling av ROV og	30. juni 2011

⁷ Samtaler med Jan De Nul og Van Oord beskrevet under

Selskap	Oppsummering	Dato
	overflatefartøy. Deretter ble det diskutert mulige metoder og utstyr for en mudring rundt U-864. Det var klart at det i dag ikke eksisterer utstyr som direkte egner seg for mudring av kvikksølvholdige sedimenter og som sikrer en minimal spredning ved en operasjon. Van Oord mener det bør la seg gjøre å bruke eksisterende utstyr i stor grad, men at det er hensiktsmessig med ytterligere testing og survey på vraklokasjonen.	

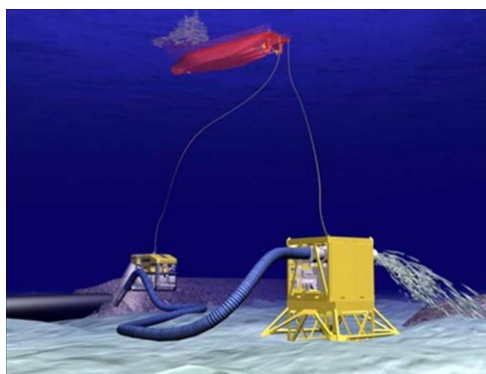
4.2.1.2 ROV-mudring fra sjøbunnen

En ROV er en fjernstyrt undervannsfarkost for avanserte operasjoner på dypt vann (ned mot cirka 2.500 m vanddyb). Disse er designet for forskjellige formål, men er alle kontrollert fra overflaten via en "navlestreng"/kabel. ROV'en har motorer/thrustere for å styre bevegelse i vannet i tillegg til gripe- armer eller bevegelses- armer for forskjellige formål. En ROV er også vanligvis utstyrt med lys og kameraer som kan styres fra overflaten.

I områder der det er behov for større nøyaktighet rundt håndtering av masser har det vanligvis blitt benyttet ROV mudringsutstyr. Dette er utstyr der en ROV håndterer et sugehode eller en graveskuffe. Dette gir bedre kontroll enn håndtering fra overflaten. Disse systemene blir mye brukt innenfor olje/gass-industrien for installasjon av subsea-utstyr i tillegg til rørleggingsoperasjoner. I tillegg eksisterer det også varianter av ROV-utstyr som har blitt benyttet til rene miljømudringer av norske havner⁸, der sikker håndtering av massene har blitt prioritert fremfor gjennomføringstid og kraft.



Figur 4.9 ROV - Triton XLS



Figur 4.8 ROV mudringsspread

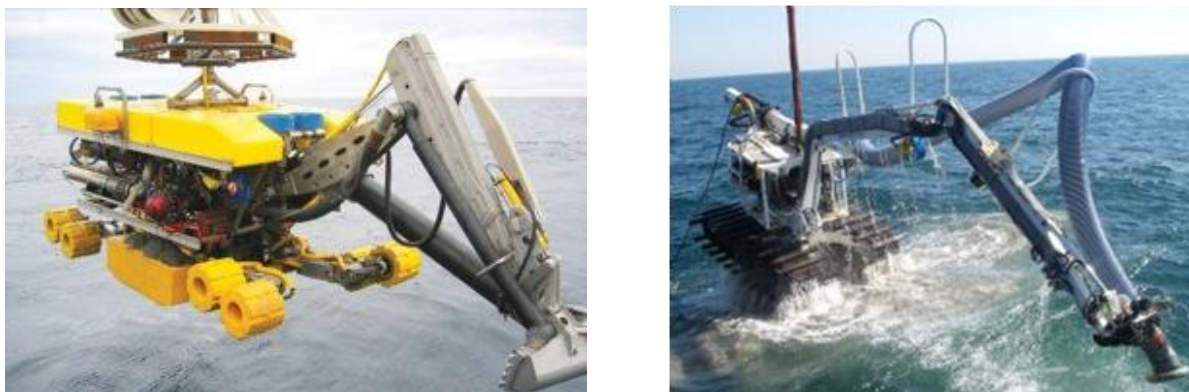
En typisk ROV mudringskonfigurasjon består av et mindre overflatefartøy som transporterer ROV og utstyr til lokasjonen og som har nødvendig krankapasitet for installasjon. ROV og subsea-pumpe blir plassert på havbunnen og ROV'en styrer et sugehode koblet til pumpen med en slange. Sugehode kan ha forskjellig størrelse avhengig av hvilke typer masser som skal fjernes, men det må være håndterbart for en ROV. Det er viktig å påpeke at det er mulig å tilrettelegge for håndterbarhet ved å legge på nødvendig oppdrift på utstyr som skal håndteres.

ROV'en blir styrt via en "navlestreng" (umbilical) opp til overflatefartøyet som gir styring og nødvendig elektrisk/hydraulisk kraft. Vanlig kapasitet for et slikt utstyr er rundt 100 tonn/time der cirka 10 prosent av mudret masse er sedimenter og 90 prosent er vann. Massene blir enten flyttet over i en beholder på sjøbunnen eller til dedikerte lokasjoner i nærheten ved slangens utløp.

ROV mudringssystemer vil kunne operere på dyp ned mot 2000 m og vil i liten grad være avhengig av værforhold ved overflaten. Det er kun ved heving/senking av utstyr at det er begrensninger knyttet til bølgehøyde (Hs opp mot 2,5 m). Ved bølgehøyder på over cirka 4 m vil det likevel være grunn til å stoppe en ROV-styrt mudringsoperasjon på grunn av faren for avdrift av overflatefartøyet.

Noen ROV'er er også utstyrt med belter/hjul for å bevege seg på havbunnen og dermed gi en bedre kontroll og større kraft for masseforflytninger.

⁸ "Miljøbas"-mudring av Haakonvern, NCC.



Figur 4.10 ROV med belte for mudringsoperasjoner

ROV'en kan også bli utstyrt med en grabb (lukket system) for sikrere håndtering av massene, som da blir tømt i en beholder/container plassert på havbunnen. Dette gir liten grad av spredning, men er til gjengjeld svært tidkrevende. Noe spredning vil forekomme, siden det ikke er mulig å lukke systemet helt og idet grabben løsriver sedimenter fra havbunnen.

Denne metoden ble benyttet av selskapet Scanmudring ved survey rundt vraket i 2006 for å få tilgang til kjølen. Mudringen ble avsluttet grunnet bevegelse i vraket som gjorde arbeidet vanskelig og farlig. Bildene under er hentet fra denne operasjonen.



Figur 4.11 Scanmudring/Geoconsult (2006)

4.2.1.2.1 Marked og aktører

Det er en rekke aktører i forbindelse med olje/gass-industrien, både nasjonalt og internasjonalt, som har mudringsutstyr for ROV-håndtering. Dette er anerkjente og vel utprøvde operasjoner knyttet til en del offshore installasjoner i tillegg til rørleggingsoperasjoner der mudring blir benyttet for å fjerne elementer som hindrer installasjon på havbunnen.

De mest kjente aktørene er installasjonsselskaper som Subsea 7 og Technip, i tillegg til spesialiserte mudringsselskaper som Scanmudring, Multiconsult, Sedicon, Oceaneering og AF Gruppen. Disse har mindre erfaring med oppsamling av mudrede masser for å hindre spredning, da det her er forflytning lokalt på sjøbunnen og opprydding som har stått i fokus.

I tillegg eksisterer det endel selskaper som har spesialisert seg på "miljømudring" av havner eller andre forurensede lokasjoner, som NCC og Seabed Services AS. Dette er selskaper som ofte har spesialisert seg på mindre prosjekter og skreddersydde mudringsmetoder/løsninger. Det som kjennetegner sistnevnte er at det stort sett er beregnet på grunt vann og mindre mengder masse en det som er tilfelle ved U-864.

Det er her systemer med mindre pumper og slanger som leder til et deponi/tank for håndtering av foruensede masser, enten andre områder på land eller tanker/containere på sjøbunnen. Utstyret som i dag er kjent er ikke utviklet for å håndtere mer værharde områder som ved Fedje eller for håndtering av spesielt kvikksølv eller kvikksølvholdige sedimenter. Dette er beskrevet nærmere i kapittel 4.2.1.3. Vi har arrangert møter med Scanmudring 18. mai 2011 og NCC 20. mai 2011, hovedpunktene fra disse møtene er beskrevet i kapittel 4.2.1.2.2.

4.2.1.2.2 Vurdering

ROV mudringssystemer muliggjør generelt stor nøyaktighet for håndtering av sugehode og egner seg under operasjoner som krever mindre kraft/hastighet. Utstyret har til dels liten kapasitet på pumper og oppsamling av sedimenter sammenlignet med overflatebaserte systemer.

Fordelen med ROV-operert mudring er at slikt utstyr kan mudre med større presisjon og fleksibilitet i forhold til vrakrester, steiner og andre hindringer på sjøbunnen rundt U-864. En viktig ulempe med ROV-operert mudring er imidlertid at både beltegående og truster manøvrerte ROVer kan føre til oppvirvling av partikler fra sjøbunnen den beveger seg over. Dette kan redusere sikt og føre til spredning av kvikksølv. Det er også viktig at det blir tatt høyde for sikkerhetssystemer for "nedetid" eller tilbakeslag fra slanger/pumpe under selve operasjonen for å hindre ytterligere spredning.

En ROV mudringsoperasjon vil generelt ta noe lengre tid enn en overflatebasert operasjon grunnet nedetid for undervannssystemer og håndterbarhet av utstyret. Vi tror likevel det er sannsynlig å mudre hele området i løpet av en sommersesong (cirka 5 måneder). Et overflatefartøy vil laste om bord containere/beholdere etter hvert som disse blir fylt opp og deretter transportere dette til egnet deponi. Det er sannsynlig at dette vil være fartøy med noe mindre kapasitet enn beskrevet tidligere for sugemudringsfartøy, og dermed kreve flere enn 6 turer for å flytte samme mengde masse.

Ingen av aktørene beskrevet i kapittel 4.2.1.2.1 har direkte erfaring med mudring av kvikksølv eller kvikksølvholdige sedimenter.

Hovedpunktene fra møtene er beskrevet under:

Tabell 4.2 Hovedpunkter fra møter med selskapene

Selskap	Oppsummering	Dato
Scanmudring	Selskapet fikk en redegjørelse for prosjektet og utfordringene med kvikksølvforurensing og spredning. Scanmudring presenterte sitt utstyr, som er basert på ROV systemer og sugesystemer. Utstyret er godt kjent og utprøvd på diverse offshoreprosjekter på norsk sektor så vel som andre lokasjoner i verden. Ingen erfaring med fjerning av kvikksølv eller kvikksølvholdig sedimenter.	18. mai 2011
NCC	Selskapet fikk en redegjørelse for prosjektet og utfordringene med kvikksølvforurensing og spredning. De har god erfaring med miljømudring av Karljohansvern og fjerning av 40.000 m ³ masser. Dette ble flyttet til et deponi i nærheten. Systemet som ble brukt var basert på ROV teknologi og vannjet/dyser som spylte sedimenter inn i en tank på en lekter ved overflaten. Ingen erfaring med kvikksølv eller kvikksølvholdige sedimenter og satte spesielt spørsmålsteget ved håndtering av kvikksølv pga. den høye egenvekten. Anbefalte fullskala tester av eventuelt nyutviklet utstyr.	20. mai 2011

4.2.1.3 Alternative metoder

Det finnes i dag en del mindre selskaper som har spesialisert seg på å skreddersy mudringsløsninger for forskjellige typer miljømudring. Disse selskapene utvikler i stor grad sitt eget utstyr og har god erfaring med å løse spesifikke oppgaver som ikke tradisjonelt og utprøvd utstyr kan håndtere.

Slik vi ser det er hovedutfordringen i forbindelse med U-864 å sørge for et sugehode/dyse som kan håndtere kvikksølv og kvikksølvholdige sedimenter med stor nok sikkerhet slik at man unngår spredning (utover akseptable rammer) og selve utgravingen rundt de to store vrakdelene.

Vi mener det vil være hensiktsmessig å inkludere spesialekspertise fra slike selskaper, fortrinnsvis i form av studier, for å kunne utvikle slikt utstyr. Dette bør eventuelt gjennomføres i neste fase av prosjektet.

4.2.1.4 Mudringstiltak rundt U-864

I forbindelse med tiltak mot forurensningen ved U-864 kan følgende mudringsoperasjoner bli aktuelle:

- Mudring for tilkomst ved vraket
 - Høyt innhold av kvikksølv i disse massene betyr at det er ekstra viktig å begrense spredning herfra
 - Mudringen kan bli underlagt strenge krav til presisjon for å hindre at vraket flytter på seg ukontrollert
- Mudring for å fjerne andre sedimenter nær vraket som har høy kvikksølvkonsentrasjon og stor mektighet av forurenset sediment,
 - Høyt innhold av kvikksølv i disse massene betyr at det er ekstra viktig å begrense spredning herfra
 - Mudringen kan bli underlagt strenge krav til presisjon for å hindre at vraket flytter på seg ukontrollert
- Mudring av områder utenfor umiddelbar nærhet til vraket med mindre mektighet (< 1 m)
 - Mindre innhold av kvikksølv og derfor mindre fare for spredning ved mudring i disse sedimentene
 - Mindre behov for presisjon og sannsynligvis mindre risiko for utglidning

4.2.1.5 Mudring for tilkomst ved vraket

Dersom vraket skal heves eller dersom lasten skal hentes ut av vraket vil det være stor sannsynlighet for at det blir behov for å fjerne masser på sjøbunnen inntil vraket. Dette kan utløses av behov for å feste løfteanordninger, for å redusere friksjon mellom massene på sjøbunnen og vraket eller for å få tilkomst til kjølkassene der kvikksølvlasten er lagret.

Kartlegging av sjøbunnen omkring U-864 viser at de høyeste kvikksølvkonsentrasjonene er funnet i sedimentet like ved vraket. Mudring for tilkomst vil derfor skje i svært forurenset sediment og må derfor utføres som miljømudring.

I 2006⁹ ble det mudret inntil vraket, noe som resulterte i at vraket ble ustabil og begynte å bevege seg. Dersom kvikksølvlasten i vraket skal hentes ut (alternativ 3) og kanskje også i forbindelse med heving vil det være behov for å mudre 2 – 4 m ned i dagens sjøbunn. Dette kan føre til problemer med stabiliteten til både vraket og massene på sjøbunnen og dermed risiko for utglidning og spredning av kvikksølv. Dersom en slik mudring skal gjennomføres vil den bli komplisert og underlagt krav til presisjon og fremgangsmåte for å ivareta tilstrekkelig stabilitet. Det vil trolig være vanskelig å oppnå nødvendig presisjon med tradisjonelt mudringsutstyr som manøvreres ved hjelp av en stiv arm eller wire til overflatefartøy. Mudring der suge- eller grave-enheten er styrt av en ROV vil ha mye bedre presisjon og derfor sannsynligvis være mer egnet til denne mudringen.

4.2.1.6 Mudring for å fjerne andre sedimenter nær vraket

Som nevnt er de høyeste konsentrasjonene av kvikksølv i sedimentet målt like ved vraket. Det er derfor rimelig å anta at det vil være betydelige mengder kvikksølv i sedimentet både like ved vraket og også under vrakdelene på sjøbunnen. Noen av disse massene kan bli fjernet som en del av tilkomstmudringen i forbindelse med heving av hele vraket eller bare kvikksølvlasten. Dersom de gjenværende massene etter tilkomstmudring skal fjernes ved hjelp av mudring vil det være stor betydning om dette skjer etter at vraket er fjernet eller med vraket tilstede.

Dersom mudringen skal gjøres med vraket tilstede (for eksempel etter fjerning av kvikksølvlasten) vil det bli en kompleks mudring med krav til presisjon og gjennomføring, for å ivareta tilstrekkelig stabilitet for vraket og de forurensete massene. Mudringen vil bli like kompleks eller mer kompleks enn

⁹ Scanmudrings operasjon rundt U-864 i 2006

tilkomstmudringen, fordi det kan bli nødvendig å mudre også under vraket. Det vil sannsynligvis være nødvendig å benytte ROV-styrt mudringsutstyr for å gjøre denne mudringen. Det kan også være nødvendig å bruke gravemudring for å få med seg alle forurensede masser med tilstrekkelig presisjon. Bruk av gravemudring kan føre til større spredning ved denne mudringen enn dersom det hadde vært mulig å bruke sugemudring.

Dersom det er betydelige forurensede masser under vraket, kan det tenkes at deler av disse ikke vil være tilgjengelig for mudring uten å redusere vrakets stabilitet på en uakseptabel måte. Dersom mudringen kan gjøres etter at hele vraket er fjernet, vil det fortsatt være forhold knyttet til stabilitet av massene på sjøbunnen som det må tas hensyn til, men det vil likevel være langt mindre komplisert å fjerne de forurensede massene enn med vraket tilstede. Det vil dessuten kunne benytte sugemudring fra overflatefartøy slik at oppvirvlingen kan holdes på et minimum.

4.2.1.7 Mudring av områder utenfor umiddelbar nærhet til vraket

I områdene utenfor den umiddelbare nærheten til vrakdelene er sjøbunnen fortsatt forurenset (svært dårlig sedimentkvalitet økende til moderat kvalitet etter Klifs klassifiseringssystem for forurensede sedimenter (Klif 2007)). Mektigheten av forurensede masser forventes også å være mindre enn like ved vraket (<1 m, i de største områdene bare noen cm). Ved mudring av disse massene vil det fortsatt måtte gjøres vurderinger av stabilitet, men det forventes at kravene for å ivareta tilstrekkelig stabilitet vil bli betydelig enklere enn ved mudring like ved vraket. Her kan derfor mudringen mest sannsynlig gjøres med et større sugemudringsfartøy, som reduserer risiko for spredning.

Mudring av området omkring vraket med et sugemudringsfartøy kan gjøres med lav risiko for spredning av forurensede partikler, dersom tilstrekkelig sug opprettholdes hele tiden mens utstyret er i vann. Batymetrisk kartlegging (ref) viser at det er mange områder med knauser av bart fjell i området omkring vraket. Den geotekniske undersøkelsen av området (NGI i 2006) indikerer også at det er en del stein i løsmassene på sjøbunnen. Det kan derfor være nødvendig å benytte spesielle sugemunnstykker eller spesielle prosedyrer for at alle de forurensede massene mellom steiner og knauser tas med og for å hindre at stein setter seg fast i utstyret.

4.2.2 Anbefaling

Det vil være kritisk med nøye undersøkelser av sjøbunnen der det skal mudres, for å kartlegge vrakrester, større steiner, ammunisjon/torpedoer med videre, før en mudringsoperasjon iverksettes. Basert på dette kan større objekter fjernes og det kan velges utstyr og metode som passer forholdene best.

For å utnytte de spesielle forholdene rundt U-864, kan det være hensiktsmessig å kombinere et overflatefartøy som gir høy hastighet og kraft i tillegg til havdyp, og en ROV-løsning som gir den ønskede presisjonen under operasjonen. En standard "suction hopper dredger" vil kunne benyttes i utkanten av området, der det ikke er fare for å forstyrre vrak eller sjøbunnsstabilitet rundt vraket. Denne må utstyres med et sugehode med riktig utforming/dyse for å oppnå ønsket hastighet for å kunne være sikker på at tilfredsstillende håndtering av kvikksølv og kvikksølvholdig sedimenter. I tillegg vil det være hensiktsmessig med egnede prosedyrer for nedstengning og feil/lekkasjer ved utstyret før en operasjon igangsettes.

I områder med større tetthet på masser kan det være nødvendig å bruke en spesialutviklet augerskrue eller annet egnet mekanisk utstyr som løser opp massene. Dette må eventuelt kombineres med suging slik at det ikke forekommer spredning.

Deretter vil det være naturlig å velge en mer kontrollert ROV-metode for mudring rundt selve vraket, hvor kvikksølvkonsentrasjonene er størst. Dette vil gi større nøyaktighet, men også lengre operasjonstid. ROV'en kan være koblet opp mot et overflatefartøy av den samme typen som utfører mudringen av utkantområdene. Dermed kan man utnytte de store tankene om bord i et slikt fartøy. Det vil kreve færre turer til landdeponi. Tankene vil være forseglede ved transport for å forhindre ytterligere utslipp. Det vil være mulig å styre tankene med målingssystemer for å kontrollere kvikksølvinnhold. Det kan også tenkes bruk av rensemetoder for å kvitte seg med vann som har lav nok kvikksølvkonsentrasjon før transport. På den måten vil man kunne redusere antall turer til landdeponi ytterligere og den totale operasjonstiden vil kunne bli kortere.

Dette innebærer løsninger som enda ikke har blitt brukt eller testet, men flere av de store aktørene har startet testprosjekter for utvikling og sammensetting av slikt utstyr. I tillegg ønsker disse aktørene å øke operasjonsdybden for sugesystemene ned mot 200 - 300 meters vanddyp. Det vil også være nødvendig med ytterligere utvikling av egnet sugehode for å fjerne kvikksølv og kvikksølvholdige sedimenter, i tillegg til mekaniske systemer/ruller for å løse opp sedimenter. Slikt utstyr eksiterer i dag kun på tegnebrettet og det er usikkerhet knyttet til operasjonen og effekten av dette. Det antas at dette kan løses ved hjelp av mindre dyser, slik at hastigheten på sugestrømmen øker nok til å gjøre det mulig å få med det tunge kvikksølvet¹⁰. Dette vil sannsynligvis øke gjennomføringshastighet for selve operasjonen da mindre masser blir flyttet.

En mudringsoperasjon som beskrevet over på U-864 vil kreve noe nyutvikling og testing, men sannsynligheten for at man i hovedsak kan bruke allerede kjent utstyr og teknologi er stor. Metoden vil derimot kreve en fullskala test for å sikre håndtering av massene for minst mulig spredning og ønsket effekt ved mudring av spesielt kvikksølv. Dette vil være noe tidkrevende. Det vil også være kritisk at man planlegger og vurderer risikoen for spredning gjennom hele operasjon nøye, slik at det er mulig på iverksette tiltak underveis dersom noe skulle skje. Erfaring fra dagens offshore-installasjonsselskaper med risiko og kvalitetsstyring under hele operasjonen vil være kritisk for suksess. I tillegg vil det her være svært viktig med tilstrekkelige back-up løsninger og systemer.

4.3 Miljørisiko

Miljørisiko er i denne rapporten vurdert på samme måte som det ble gjort i utredningen i Kystverkets KVU (Kystverket 2011 og NGI 2011a). Det er antatt at spredning av kvikksølv er proporsjonal med tilgjengelighet og dermed også økologisk risiko og humanrisiko. Spredningsrisiko er vurdert basert på kvantitative estimater av spredning av kvikksølv. Fordi det er usikkerhet knyttet til graden av samvariasjon mellom spredning og økologisk risiko og humanrisiko er disse ikke kvantitativt vurdert. Den overordnede miljørisiko er oppsummert i en semi-kvantitativ figur for hvert alternativ.

Den fullstendige analysen er dokumentert i Vedlegg D.

4.3.1 Miljørisiko alternativ 4a

I dette alternativet vil hele vraket fjernes slik det er beskrevet under alternativ 2 i KVUen (Kystverket 2011). Etter at vraket er fjernet mudres det forurensede sedimentet ned til ren sjøbunn. De forurensede massene deponeres i egnet deponi. Dersom det er betydelig restforurensing igjen på sjøbunnen etter mudring kan hele eller deler av sjøbunnen dekkes til med rene masser.

Miljørisiko knyttet til denne delen av alternativ 4a vil i utgangspunktet være identisk med miljørisiko i alternativ 2. Spredningsmekanismene knyttet til mudring og deponering av forurensede sedimenter og tildekking av eventuelle forurensede sedimenter som ikke er fjernet er vurdert på nytt i denne utredningen.

Heving av hele vraket og mudring av forurensede sedimenter forventes å øke spredningen av kvikksølv på kortsikt (mens tiltaket pågår), der den største risiko for spredning er knyttet til mudring for tilkomst til vraket samt under heving og transport av vraket, som også inngår i Alternativ 2.

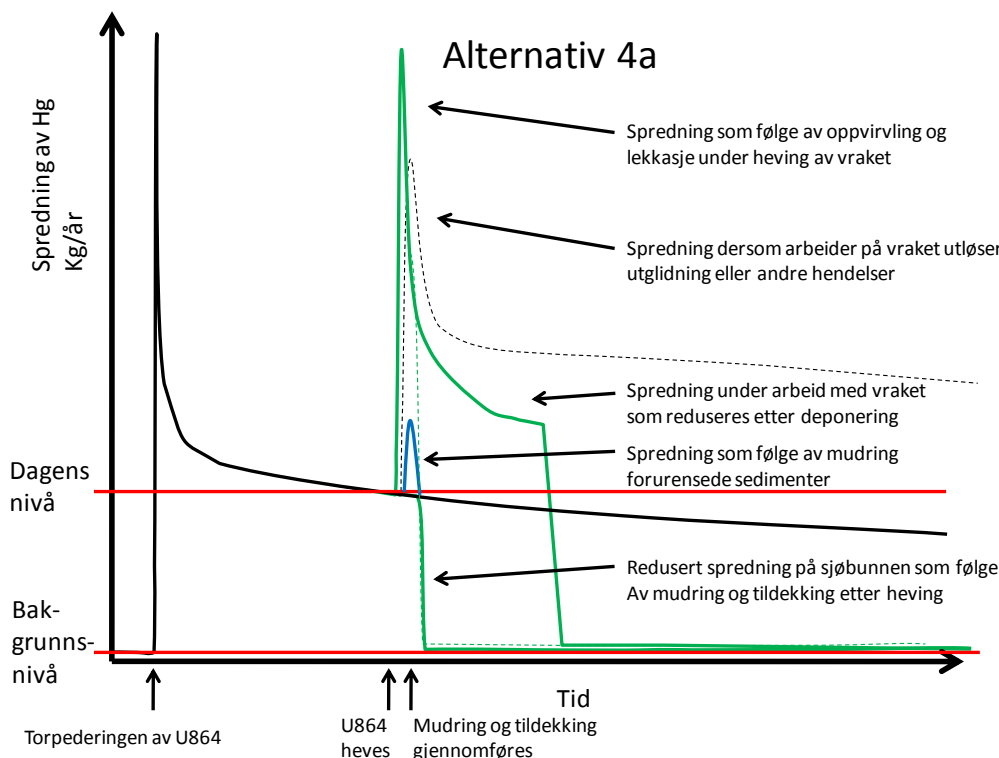
På langt sikt forventes det at det oppnås en reduksjon av utlekking fra området sammenlignet med utlekkingen i dag. I tillegg vil tildekking av eventuelle forurensede sedimentene som ikke er fjernet forventes å redusere utlekkingen av kvikksølv fra området med >99 % sammenlignet med utlekkingen i dag.

Håndtering av vraket og kvikksølvlasten etter heving og før deponering vil innebære en risiko for spredning og eksponering av kvikksølv mens dette arbeidet pågår.

Deponeringen av vraket, kvikksølvlasten og de forurensede sedimentene forutsettes gjort på et anlegg med tillatelse, kapasitet og kompetanse til å håndtere dette avfallet. Det antas at utlekking av kvikksølv etter deponering vil være lav.

¹⁰ Kvikksølv har egenvekt på ca 13 g/cm³

Figuren nedenfor viser semi-kvantitativ vurdering av spredning fra fjerning av vraket U-864, mudring av forurensede sedimenter samt eventuelle tildekking av vraket og sjøbunnen omkring for alternativ 4a.



4.3.2 Miljørisiko alternativ 4b

I dette alternativet vil så mange som mulig av kvikksølvbeholderene fjernes fra vraket slik det er beskrevet under alternativ 3 i KVUen (Kystverket 2011). Etter at kvikksølvbeholderne er fjernet mudres det forurensede sedimentet ned til ren sjøbunn. De forurensede massene deponeres i egnet deponi på land. Vraket og eventuell restforurensning etter mudring dekkes til med rene masser,

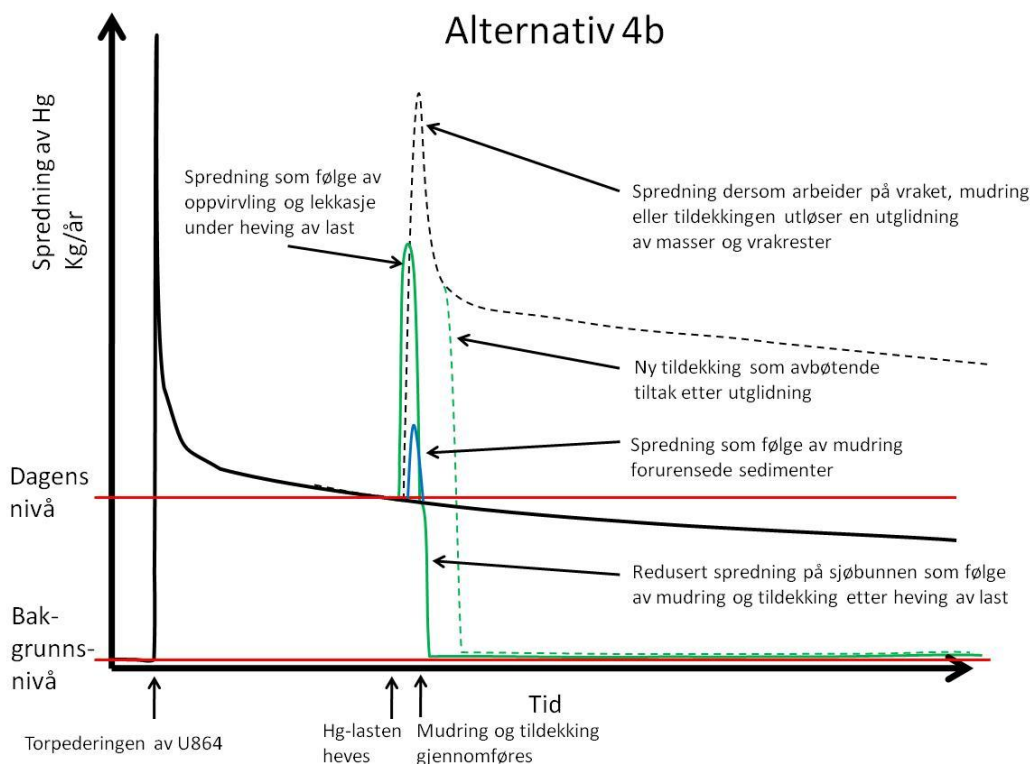
Miljørisiko knyttet til denne delen av alternativ 4b vil i utgangspunktet være identisk med miljørisiko i alternativ 3. Spredningsmekanismene knyttet til mudring og deponering av forurensede sedimenter og tildekking av eventuelle forurensede sedimenter som ikke er fjernet er vurdert på nytt i denne utredningen. Vurderingen av miljørisiko knyttet til alternativ 4b vil være forskjellig fra alternativ 4a fordi vraket fremdeles ligger på sjøbunnen under mudring og tildekking.

Heving av kvikksølvlasten og mudring av forurensede sedimenter forventes å øke spredningen av kvikksølv på kort sikt, der størst risiko for spredning er knyttet til mudring nær vraket og tap av kvikksølv under fjerning av last.

På langt sikt forventes at det oppnås en reduksjon av utlekking fra området sammenlignet med utlekkingen i dag. I tillegg vil tildekking av vraket og eventuelle forurensede sedimenter som ikke er fjernet forventes å redusere utlekkingen av kvikksølv fra området med >99 % sammenlignet med utlekkingen i dag.

Deponeringen av kvikksølvlasten og de forurensede sedimentene forutsettes gjort på et anlegg med tillatelse, kapasitet og kompetanse til å håndtere dette avfallet. Det antas at utlekking av kvikksølv etter deponering vil være lav.

Figuren nedenfor viser semi-kvantitativ vurdering av spredning fra fjerning av kvikksølvlasten fra U-864, heving av mindre vrakdeler, mudring av forurensede sedimenter samt eventuelle tildekking av vraket og sjøbunnen omkring for alternativ 4b.



4.4 Usikkerhetsanalyse

Usikkerhetsanalysen består av et kostnadsanslag og en vurdering av usikkerhet i kostnadene av de ulike prosjektelementene, samt hva effekten av disse er på usikkerheten i prosjektets totalkostnad.

I dette kapitlet redegjøres det først for noen viktige trekk ved analysen for å skape forståelse for grunnlaget for beregningene, deretter gjengis hovedresultatene fra analysen.

Den fullstendige analysen er dokumentert i Vedlegg B.

4.4.1 Prosjektnedbrytningsstruktur

Illustrasjonen under viser den overordnede prosjektnedbrytningsstrukturen (PNS) som er lagt til grunn.

Figur A Overordnet PNS for tiltak for U-864



Estimeringen av de enkelte kostnads- og inntektspostene omhandler kun estimatusikkerhet, det vil si usikkerhet i pris og mengde, gitt det konseptet som foreligger og den aktuelle situasjonen. Denne usikkerheten anslås ved et tripplestimat for de enkelte postene, der det beregnes en "lav", "sannsynlig" og "høy" verdi. Disse verdiene settes slik at de som har gjennomført estimeringen antar at

verdier rundt "lav" og "høy" kan inntreffe i ett av ti tenkte tilsvarende tilfeller. "Sannsynlig" er i denne sammenhengen ikke en gjennomsnittsverdi eller en statistisk forventningsverdi, men den verdien man antar vil inntreffe oftest, dersom det ble gjennomført en lang rekke tilsvarende tilfeller. Det statistiske begrepet for dette er modalverdi.

Grunnlaget for kostnadsestimatene er en grunnkalkyle som i stor grad er basert på utarbeidede kostnadsanslag som er gjennomført på oppdrag av Kystverket, samt en gjennomført gruppeprosess med deltagere fra prosjektet, Fiskeri- og Kyst-departementet (FKD), Vista Analyse og NGI. Gruppeprosessen ble ledet av Holte Consulting.

4.4.2 Usikkerhetsfaktorer

Usikkerhet knyttet til estimering av pris og mengder er kun en del av risikobildet. Risiko omfatter også det som kalles usikkerhetsfaktorer, det vil si endringer i prosjektinterne eller eksterne forhold som påvirker prosjektet direkte eller indirekte. Dette tas hensyn til ved å navngi og definere de faktorene deltagerne i gruppeprosessen mener påvirker det aktuelle prosjektet, og skalere prosjektkostnaden opp eller ned i forhold til faktorenes påvirkning på kostnads-estimatene.

Identifisering og kvantifisering av de ulike usikkerhetsfaktorene er dokumentert i usikkerhetsanalysen.

4.4.2.1 Resultater fra usikkerhetsanalysen

Tabellen under viser forventningsverdien og usikkerhetsspennet for de analyserte konseptene.

Tabell 4.3 *Levetidskostnader og usikkerhetsspenn, nåverdi mill 2010-kr, avrundet, ekskl. mva¹¹*

Konsept	P15	P50 (forventningsverdi)	P85
4A - Heving av vrak og mudring	1 051	1 770	2 150
4B - Heving av last og mudring	942	1 460	1 760

Tabellen viser at alternativ 4A er dyrere enn alternativ 4B. Samtlige er dyrere enn forventningsverdien til alternativene som ble utredet i KVUen.

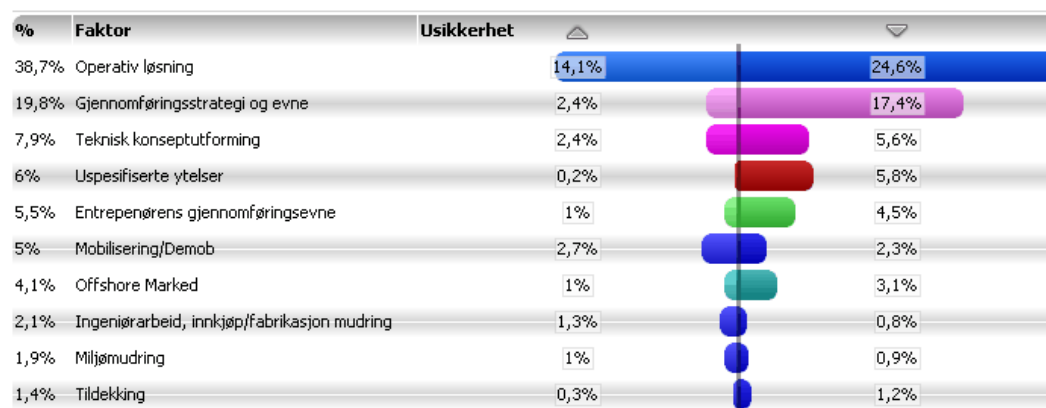
4.4.2.2 Usikkerhetsprofil

Et Tornadodiagram rangerer usikkerhetsfaktorene i forhold til deres påvirkning på det samlede usikkerhetsbildet. En samlet vurdering av Tornadodiagrammene for alle konseptene bortsett fra nullalternativet viser at de største usikkerhetsfaktorene for alternativene som kan påvirkes av prosjektet er *Operativ løsning*, *Gjennomføringsstrategi og evne* og *Teknisk utforming*. Disse faktorene bør derfor vies stor oppmerksomhet i det videre arbeidet. Dette kan øke muligheten for kostnadsbesparelser og redusere risikoen for kostnadsoverskridelser. For tildekkingsalternativet er i tillegg faktoren *Driftsorganisasjonen*, det vil si organisasjonen som gjennomfører langtidsovervåkning etter at tiltaket er gjennomført, høyt oppe i Tornadodiagrammet og bør være et fokusområde dersom dette alternativet blir valgt.

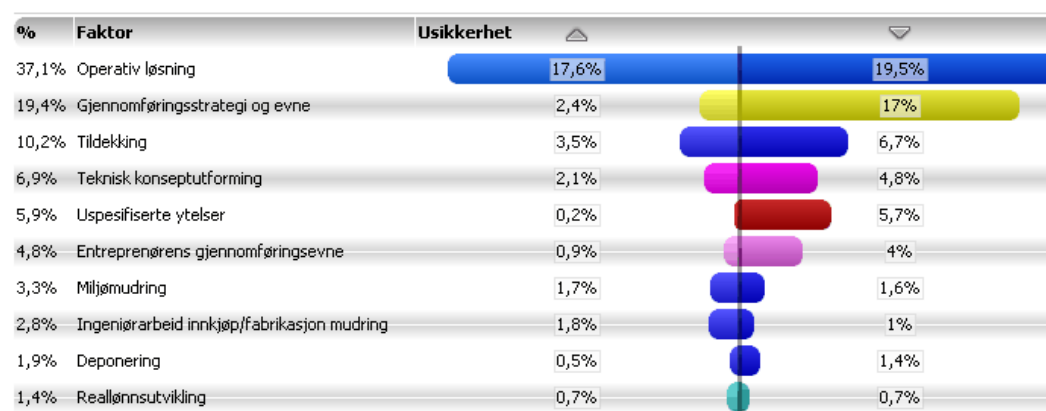
Nedenfor følger Tornadodiagram for alternativene:

¹¹ MVA er utelatt av hensyn til sammenligning med tidligere gjennomførte analyser. Det alt vesentlige av kostnadene vil ved gjennomføring bli belastet med 25 % mva.

Figur 4.12 4A - Heving av vrak og mudring



Figur 4.13 4B - Heving av last og mudring



5 Fornyet vurdering av risiko ved tildekking i langt perspektiv

Det Norske Veritas (DNV) har på vegne av Kystverket vurdert risiko ved tildekking i et langt perspektiv. Studien inkluderer en større detaljering av tildekkingsalternativet med fokus på hendelser som kan ha negativ påvirkning på miljøet i et langsiktig perspektiv. Det er identifisert og vurdert 16 hendelser som kan ha en negativ påvirkning på alternativets effektivitet.

DNV sin konklusjon er at alle identifiserte risikoer er av lav sannsynlighet og har lave eller mindre konsekvenser på tildekkingsalternativet. Tildekking av U-864 er derfor vurdert til å ha høy sikkerhet mot ytterligere negativ påvirkning på miljøet.

DNV sin fulle rapport er lagt ved som vedlegg F.

6 Vedlegg

- A. Fiskeri- og Kystdepartementet, Brev, Bestilling: U-864 – Behov for ytterligere utredninger
- B. Holte Consulting AS, Usikkerhetsanalyse
- C. Holte Consulting AS, Vurdering av mudringsteknologi
- D. Miljørisikoanalyse mudring av forurenset sediment ved U-864 (alternativ 4)
- E. Ingenium AS, Vurdering av mengde kvikksølv
- F. Det Norske Veritas, U-864 Clarification regarding the capping alternative - Probability for negative changes in a long-term perspectiv
- G. NGI, 29/8-2011, Konseptvalgutredning for håndtering av U-864 – Geotekniske vurderinger knyttet til gjennomføring av alternativ 4