

**Miljøovervåkning, strømundersøkelser,  
sedimentkartlegging og vurdering av  
sedimenttildekking - Fase 2 kartlegging  
ved U-864 høsten 2006.**

**Utsetting av en sedimentfelle**



<b>Hovedkontor</b> Gautadaléen 21 0349 OSLO Telefon (47) 22 18 51 00 Telefax (47) 22 18 52 00 Internet: www.niva.no	<b>Sørlandsavdelingen</b> Televeien 3 4879 Grimstad Telefon (47) 37 29 50 55 Telefax (47) 37 04 45 13	<b>Østlandsavdelingen</b> Sandvikaveien 41 2312 Ottestad Telefon (47) 62 57 64 00 Telefax (47) 62 57 66 53	<b>Vestlandsavdelingen</b> Postboks 2026 5817 Bergen Telefon (47) 55 30 22 50 Telefax (47) 55 30 22 51	<b>Midt-Norge</b> Postboks 1266 7462 Trondheim Telefon (47) 73 54 63 85 / 86 Telefax (47) 54 63 87
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tittel Miljøovervåkning, strømundersøkelser, sedimentkartlegging og vurdering av sedimenttildekking - Fase 2 kartlegging ved U-864 høsten 2006	Løpenr. (for bestilling) 5279/2006	Dato 01.12.2006
	Prosjektnr. Undernr. 26265	Sider Pris 52
Forfatter(e) Frode Uriansrud Jens Skei Tom Mortensen	Fagområde Miljøgifter	Distribusjon Ikke frigitt 2014 - sperring opphevet
	Geografisk område Hordaland	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Geoconsult	Oppdragsreferanse Knut Fjeld
--------------------------------	---------------------------------

## Sammendrag

Kystdirektoratet tildelte sommeren 2006 Geoconsult AS oppdraget med de videre undersøkelsene ved U864-vraket utenfor Fedje. Som underleverandør ble NIVA tildelt oppgaven med å gjennomføre miljøovervåkning, kartlegging av kvikksølvforurensning i sedimentene, utarbeide overvåkningsplaner og vurdere tildekking av forurensete sedimenter. Formålet med disse undersøkelsene var å etablere et faktagrunnlag som kunne brukes til å avgjøre de videre tiltakene med sikte på å fjerne forurensningsfaren fra det marine miljøet i området vest for Fedje. Rapporten beskriver resultatene fra kartlegging av kvikksølvkonsentrasjonen i overflatesedimentene nær vraket, miljøovervåkingen, samt strømmålinger, forslag til langsiktig miljøovervåking og resultater fra etterkontroll av vraket 5 uker etter endt mudring.

Undersøkelsene for å avgrense det forurensete området viste at arealet som er markert til meget sterkt forurenset (tilstandsklasse III – V) rundt vraket av U-864 er ca. 30.000 m<sup>2</sup> stort. Leiremassene i bunn av mudringshullet og nær kjølen på akterseksjonen er lite til ubetydelig forurenset (Tilstandsklasse I).

I forbindelse med de gjennomførte arbeidene på sjøbunnen ble det foretatt miljøovervåking ved hjelp av vannprøvetaking, turbiditetsmålere og sedimentfeller. Resultatene viste at det spesielt under sugemudringsperioden foregikk en spredning av partikler mot øst, nord og nordvest. Vannmassene hadde ikke konstant forhøyede kvikksølvkonsentrasjoner under mudringsoperasjonen, noe som kan indikere at det forekommer episodiske hendelser med oppvirvling av forurensete masser. Partiklene som akkumulerte i sedimentfellene var sterkt til meget sterkt kvikksølvforurenset. Disse resultatene viser at det er vanskelig å gjennomføre arbeid ved vraket uten at det forekommer en viss spredning av kvikksølv.

Strømretningen i bunnvannet var stabil med en nordvestlig retning. Ved bunnen var gjennomsnittshastigheten ca. 0.1 m/s, mens den ca. 40 meter over sjøbunnen var ca. 0.3 m/s. Maksimum observert strømhastighet i bunnvannet var 0.87 m/s, mens maksimum observert strømhastighet 40 meter over sjøbunnen var 1.6 m/s.

Det anbefales å dekke til de sedimentene som er mest forurenset, mens mudring må begrenses til det som er nødvendig for å komme til vraket for inspeksjon og eventuelt uthenting av kvikksølvbeholdere fra vraket. Dekklaget bør bestå av et ca. 50 cm tykt lag med olivinsand og et øvre ca. 20 cm tykt gruslag (partikler > 10 mm) for beskyttelse mot erosjon.

Fire norske emneord 1. Miljøovervåkning 2. Sedimentkartlegging 3. Strømmålinger 4. Kvikksølv	Fire engelske emneord 1. Environmental monitoring 2. Sediment mapping 3. Current measurements 4. Mercury
----------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

*Frode Uriansrud*

Prosjektleder

*Kristoffer Nes*

Forskningsleder

*Jørh Nygaard*

Fag- og markedsdirektør

ISBN 82-577-5007-7

**Miljøovervåkning, strømundersøkelser,  
sedimentkartlegging og vurdering av  
sedimenttildekking  
- Fase 2 kartlegging ved U-864 høsten 2006**

## Forord

Kystdirektoratet tildelte sommeren 2006 Geoconsult AS oppdraget med de videre undersøkelsene ved U864-vraket utenfor Fedje. Som underleverandør ble NIVA tildelt oppgaven med å gjennomføre miljøovervåkning, kartlegging av kvikksølvforurensning i sedimentene, utarbeide overvåkningsplaner og vurdere tildekking av forurensede sedimenter. Formålet med undersøkelsene var å etablere et faktagrunnlag som kan brukes til å definere de videre tiltakene med sikte på å fjerne forurensningsfaren fra det marine miljøet forårsaket av U-864 i området vest for Fedje.

Den foreliggende rapporten omhandler resultatene fra miljøovervåkning, kartlegging av kvikksølvkonsentrasjonene i sedimentene, strømundersøkelsene, utkast til langsiktig overvåkning av området etter at tiltak er gjennomført og resultater fra etterkontroll av vraket (postsurvey) 5 uker etter endt mudring. Analyser av total kvikksølv i vann og sedimenter ble gjennomført ”offshore”. Miljøoppfølgingsplanen knyttet til feltarbeidet i september 2006 er vist i Geoconsult sin prosjekthåndbok.

Kontaktpersoner hos Geoconsult har vært Knut Fjeld og Eirik Hauger. Prosjektleder på NIVA er Frode Uriansrud. I tillegg har Ivar Dahl, Tom Mortensen, Jens Skei, Ingar Bescan og Henning Wehde fra NIVA vært medarbeidere i prosjektet. Kristoffer Næs, Dominique Durand og Jarle Nygard har vært ansvarlig for kvalitetssikring.

Bergen, 31.10.2005

*Frode Uriansrud*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>6</b>
<b>Summary</b>	<b>9</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>11</b>
<b>2. Målsetting</b>	<b>12</b>
<b>3. Sedimentprøvetaking og analyse av kvikksølv i sediment</b>	<b>13</b>
3.1 Bakgrunn	13
3.2 Feltarbeid	13
3.2.1 Avgrensing av forurenset areal	13
3.2.2 Etterkontroll av sedimenter i mudringshull (postsurvey)	14
3.3 Kjemisk analyse av sedimenter	15
3.4 Resultater	15
3.4.1 Avgrensing av forurenset areal	15
3.4.2 Etterkontroll av sedimenter i mudringshull	18
3.5 Oppsummering av sedimentresultatene	19
<b>4. Miljøovervåkning</b>	<b>19</b>
4.1 Generell bakgrunn for miljøovervåkingen	19
4.2 Overvåkingsprogrammet	20
4.2.1 Vannprøver	21
4.2.2 Kontroll av partikkelspredning (turbiditet) under mudre- og gravearbeidene	22
4.2.3 Sedimentfeller	24
4.2.4 Visuell dokumentasjon av oppvirvling av sedimenter	24
4.3 Kjemiske analyser	24
4.4 Resultater miljøovervåking	24
4.4.1 Vannprøver	24
4.4.2 Turbiditetsmålinger	26
4.4.3 Sedimentfeller	31
4.4.4 Visuell dokumentasjon av oppvirvling av sedimenter	32
4.5 Kort vurdering av mudringsteknikken	32
4.6 Oppsummering av miljøovervåkingen	34
<b>5. Strømmålinger</b>	<b>35</b>
5.1 Bakgrunn	35
5.2 Resultater fra strømundersøkelsene	35
5.3 Oppsummering av strømundersøkelsene	41
<b>6. Tildekking av forurensete sedimenter</b>	<b>42</b>
6.1 Vurdering av type tildekkingsmasser	42
6.1.1 Materialets fysiske egenskaper	42
6.1.2 Materialets kjemiske egenskaper	43

---

6.1.3 Materialets effekt på organismer	44
6.1.4 Utforming av dekklaget	44
6.1.5 Anbefalt dekkmasse	45
<b>7. Forslag til program for etterkontroll og miljøovervåkning</b>	<b>46</b>
7.1 Dokumentere miljøtilstanden i området før tiltak	46
7.2 Overvåkning i anleggsperioden	46
7.2.1 Konkretisering av måleprogram	46
7.3 Overvåkning i et 10-års perspektiv	48
7.3.1 Konkretisering av måleprogram	48
<b>8. Referanser</b>	<b>50</b>
<b>Vedlegg A. Aquapro setup info</b>	<b>51</b>

---

## Sammendrag

Kystdirektoratet tildelte sommeren 2006 Geoconsult AS oppdraget med de videre undersøkelsene ved U864-vraket utenfor Fedje. Som underleverandør ble NIVA tildelt oppgaven med å gjennomføre miljøovervåking, kartlegging av kvikksølvforurensing i sedimentene, utarbeide overvåkingsplaner og vurdere tildekking av forurensede sedimenter. Formålet med disse undersøkelsene var å etablere et faktagrunnlag som kunne brukes til å definere de videre tiltakene med sikte på å fjerne forurensningsfaren i området vest for Fedje. Den foreliggende rapporten beskriver resultatene fra kartlegging av kvikksølvkonsentrasjonene i sedimentene nær vraket, gjennomføring av miljøovervåkingen, samt strømmålinger, plan for langsiktig overvåking av området etter at tiltak er gjennomført og resultater fra etterkontroll (postsurvey) 5 uker etter endt mudring.

Resultatene fra **sedimentkartleggingen** kan sammenfattes i følgende punkter:

- Området som er sterkt kvikksølvforurenset befinner seg innenfor en radius på ca. 100-150 meter fra vraket.
- Akkumulasjonsområdene har høyere kvikksølvkonsentrasjoner enn områdene med mye fjell og stein.
- Området som er markert til meget sterkt forurenset (tilstandsklasse IV – V), har et totalareal på ca. 18.000m<sup>2</sup>. Området som er markert forurenset (tilstandsklasse III), utgjør et areal på ca. 12.000 m<sup>2</sup>. Det potensielle tiltaksområdet er beregnet til å være ca. 30.000 m<sup>2</sup>.
- Leiremassene i bunn av mudringshullet og nær kjølen på vraket var lite til ubetydelig forurenset.

Resultatene fra **miljøovervåkingen** kan sammenfattes i følgende punkter:

### *Vannprøvetaking*

- Nivåene av kvikksølv i vannprøver varierte fra lite til meget sterkt forurenset. Høyest kvikksølvkonsentrasjon i vannmassene ble påvist ved gravemudring av forurensede overflatesedimenter.
- Mudring av de kvikksølvforurensede sedimentene medførte forhøyede kvikksølvkonsentrasjoner i vannmassene nord og nordvest for vraket.
- Vannmassene hadde ikke konstant forhøyede kvikksølvkonsentrasjoner under mudringsarbeidene, noe som kan indikere at det forekommer episodiske hendelser med oppvirvling av forurensede sedimentpartikler. Innblanding av forurensede masser i de rene leiremassene eller oppvirvling av forurensede sedimenter fra ROV eller annen aktivitet på sjøbunn, kan muligens forårsake en slik spredning.
- Vannprøver med mye partikler hadde forhøyede kvikksølvkonsentrasjoner. Dette indikerer at partiklene som virvles opp hadde forhøyede kvikksølvkonsentrasjoner.

### *Partikkelspredning*

- Ved fjerning av forurensede masser ble det kun påvist en liten og kortvarig øking i partikkelmengden i bunnvannet rett nord for arbeidsområdet. Dette kan trolig forklares med at de forurensede overflatesedimentene hovedsakelig består av sand og grus som raskt sedimenterer. I tillegg ble ikke sedimentene under gravemudringen virvlet like mye opp som under sugemudringen.
- Mudring av sedimenter ved akterskipet for å komme til ubåtens kjøparti førte til spredning av partikler ut over det området som var avgrenset som tiltaksområde.
- Partikkelspredningen skjedde hovedsakelig mot nord, nordvest og øst under sugemudringsarbeidene og økt partikkelmengde ble registrert opp til ca. 30 meter over sjøbunnen.

### ***Sedimentfeller***

- Partikler som akkumulerte i sedimentfellene hadde kvikksølvkonsentrasjoner som tilsvarte tilstandsklasse III til V (markert til meget sterkt forurenset). Dette indikerer at det under mudringsarbeidene foregikk spredning av forurensete partikler ut over det arealet som var karakterisert markert til meget sterkt forurenset.
- Høyest kvikksølvkonsentrasjon og mest materiale ble observert i sedimentfellene nærmest arbeidsområdet.
- Sedimentfellene sør og sørvest for mudringsområdet hadde lite materiale og lavest kvikksølvkonsentrasjon.

Resultatene fra overvåking av mudringsoperasjonen indikerer at det er meget vanskelig å gjennomføre en mudring ved vraket av U-864 uten at det foregår spredning av kvikksølv. En bør derfor ved senere arbeider i størst mulig grad unngå å mudre sedimentene.

Resultatene fra **strømundersøkelsen** kan sammenfattes i følgende punkter:

- Strømretningen i bunnvannet var stabil mot nordvest. En eventuell spredning av partikler vil derfor hovedsakelig gå mot nordvest.
- Strømhastighetene avtok gradvis fra 40 meter over sjøbunn og ned. Ved bunnen var gjennomsnittshastigheten ca. 0.1 m/s, mens den 40 meter over sjøbunn var ca. 0.3 m/s.
- Maksimum observert strømhastighet i bunnvannet var 0.87 m/s, mens maksimal observert strømhastighet 40 meter over sjøbunn var 1.6 m/s.

Resultatene fra vurdering av **tildekking** kan sammenfattes i følgende punkter

- Tildekking av de mest forurensete sedimentene vil sterkt redusere risiko for spredning av kvikksølv til andre områder, samt bidra til at dyr som lever i sedimentet blir mindre eksponert for kvikksølv. Samtidig vil fisk som lever nær bunnen, og som ernærer seg på sedimentlevende dyr, bli mindre eksponert. Effekten av en tildekking vil skje nesten umiddelbart.
- Det er viktig å finne en dekkmasse som passer for formålet og som tar hensyn til de lokale forholdene (f.eks. i forhold til erosjon). Valg av masse skal godkjennes av SFT i henhold til utarbeidede kriterier.
- Ettersom vraket av ubåten ligger i et område med betydelig bunnstrøm og erosjon er det viktig å bruke en dekkmasse som ikke eroderes bort. Ut fra de rådende strømforholdene i området må dekkmassene ha en kornstørrelse > 7-10 mm. Vi foreslår derfor å bruke en tolags tildekking med et finere materiale underst som har evne til å adsorbere kvikksølv (dekklag) og et overliggende erosjonssikringslag. Vi anbefaler at dekklaget (olivinsand) har en tykkelse på ca. 50 cm, mens erosjonssikringslaget har en tykkelse på ca. 20 cm.

### **Forslag til langsiktig miljøovervåkingsprogram**

Miljøovervåkingsprogrammet beskriver overvåkingen under anleggsfasen og den langsiktige etterkontrollen av miljøtilstanden etter gjennomført tiltak.

I forkant av tiltaket på selve vraket utarbeides en miljøoppfølgingsplan som beskriver miljørisiko forbundet med tiltaket. Miljøoppfølgingsplanen må ta for seg miljørisikoen knyttet til de ulike operasjonene og håndtering av forurensete masser. Dette gjøres tidligst mulig for å raskt identifisere risikofylte operasjoner. Når de risikofylte operasjonene er identifisert må det igangsettes tiltak for å redusere miljørisikoen.

Det foreslås i anleggsfasen å overvåke turbiditet (partikkelspredning), vannets innhold av kvikksølv og kvikksølvkonsentrasjonen i partikler som akkumulerer i området utenfor selve tiltaksområdet.



I det langsiktige overvåkingsprogrammet foreslås en årlig innsamling av fisk (og eventuelt skalldyr) fra tiltaksområdet og innsamling av sedimentprøver annethvert år. Det bør stilles krav om at innsamlingen av fiskeprøver gjøres på samme måte som før tiltaket (undersøkelser av NIFES 2006). Sedimentprøvene tas for å dokumentere at kvikksølv ikke transporteres gjennom dekklaget i tiltaksområdet og for å dokumentere at sedimentkvaliteten i randsonen til tiltaksområdet (150 m fra vraket) ikke har endret seg i negativ retning som følge av tiltaket. Endelig overvåkingsprogram utarbeides i samarbeid med KyD, SFT og Mattilsynet.

## Summary

Title: Environmental monitoring, sediment survey and environmental risk assessment associated with phase 2 mapping and removal of mercury contamination near sunken submarine (U-864) outside Fedje, West Norway.

Year: 2006

Author: Uriansrud F, Skei, J, Tom Mortensen, Ivar Dahl, Henning Wehle

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-5007-7

Outside Fedje in Hordaland a German submarine (U-864) is resting on the sea floor at 150 m depth. The submarine is broken into two large parts (bow and stern) and a lot of smaller wreck debris from the mid section. The submarine is assumed to have a cargo of 65-70 tons of metallic mercury. Preliminary studies of mercury in the sediments close to the wreckage in 2003 and in 2005 indicated normal levels of mercury outside a radius of 200-300 meters from the wreck. Close to the wreck, the sediments were highly mercury contaminated.

The Norwegian Coastal Administration (NCA) awarded summer 2006 Geoconsult AS the Fase II contract with mapping and recovery of mercury bottles from the wreck of U-864. As a subcontractor, Norwegian Institute for Water Research (NIVA) was contacted to perform environmental monitoring of fields operations, mapping the mercury concentrations in sediments, current measurements and capping evaluation.

The results from the **sediment mapping** may be summarized as follows:

- Sediments within a distance of 100-150-meters from the wreck had mercury concentrations above 0,6 mg/kg (marked contaminated). Dispersal was mainly towards northwest.
- Accumulation areas had higher mercury concentration compared to areas with rock outcrop and hard boulder surface.
- The area where sediment remediation is necessary is about 30.000 m<sup>2</sup>.
- Clay near the keel of the submarine and from the bottom of the dredged area have low mercury concentrations (0,006 to 0,02 mg Hg/kg t.v.).

The results from the **environmental monitoring** may be summarized as follows:

### *Water sampling*

- Mercury levels in water ranged from low (<1 ng/l) to very high (>30 ng/l). Highest concentrations were observed near the wreck during dredging of contaminated surface sediments.
- Dredging of contaminated sediments resulted in increased mercury concentrations north and northwest of the dredging area.
- The bottom water did not have constant elevated mercury concentrations. This might indicate that short events with resuspension of contaminated sediments occur.
- Water samples with high particle concentrations had elevated levels of mercury. This might indicate that dredged sediments had elevated levels of mercury.

### *Sediment dispersal*

- Removal of sediment to get access to the keel around the stern section of the wreck resulted in dispersal of contaminated particles towards north, northwest and east.
- During suction dredging there were observed an increase in particle concentrations from seabed and 30 m up in the water column to the east and northwest of the dredging area.
- When contaminated surface sediments were dredged, there were observed a small increase in particle concentration in the bottom water to the north.

- No work could be performed around the wreck without the risk of resuspension.

***Sediment traps***

- Particles that accumulated in sediment traps were highly contaminated. The mercury concentrations ranged from 0,8 mg/kg to 167 mg/kg. This indicates that the dredged sediments were mercury contaminated.
- Highest concentrations were observed in sediment traps located near the dredging area. The sediment traps near the dredging location also collected the largest amount of sediments.

The results of the environmental monitoring indicate that it is difficult to avoid dispersal of mercury during dredging. Consequently, dredging should be restricted.

The result from the **current measurements** may be summarized as follows:

- The bottom currents in the area are very stable in a northwest direction.
- The bottom water had an average current velocity of 0,1 m/s, while 30 m above seabed the average velocity was 0,3 m/s. The maximum observed current velocity in the bottom water was 0,87 m/s. The water mass 30 above seabed had maximum recorded velocity of 1,6 m/s.

**Suggested environmental monitoring program.**

The proposed environmental program describes monitoring during the construction phase and post construction. This will form the basis for documenting the long-term environmental benefits of the remedial action.

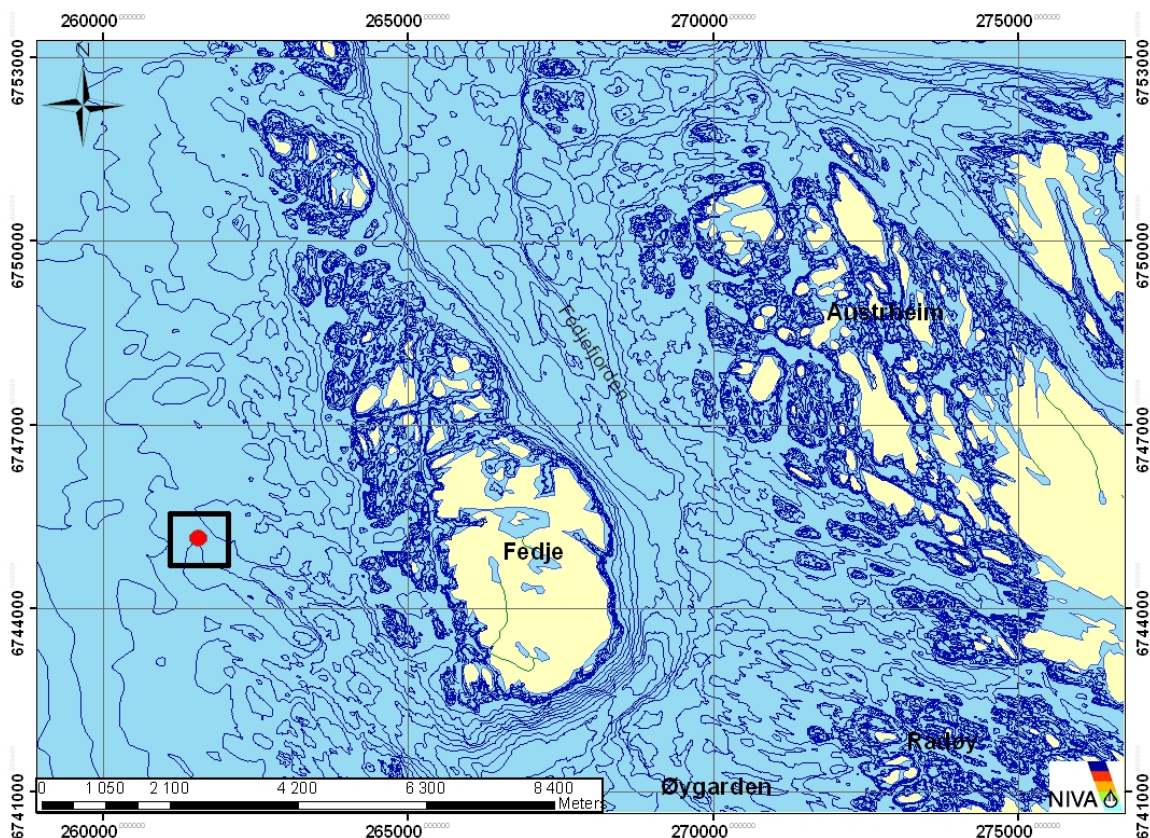
An Environmental follow-up plan should be prepared before starting any remedial action.

During the construction phase we propose to monitor turbidity, mercury concentration in water and the mercury concentrations in particles that accumulate outside the remediation area.

The proposed long-term monitoring includes a yearly collection of fish and a every second year sampling of sediments. Fish sampling should be done in the same way as the NIFES 2006 sampling. Sediments are sampled to document the mercury flux through the cap layer and to document sediment quality outside the remediation area. Final monitoring program will be prepared in cooperation with SFT, KyD and the Norwegian Food Safety Authority.

# 1. Innledning

Den tyske ubåten U-864 ble senket vest av Fedje (Figur 1) i februar 1945 på vei til Japan. Via ubåthistoriske kilder i Tyskland er det funnet informasjon som har gitt grunn til å tro at den hadde en last på ca. 65 tonn metallisk kvikksølv. Det ble høsten 2005 tatt opp en kvikksølvbeholder fra vraket noe som bekrefter at det var kvikksølvlast om bord. Sedimentene nær vraket er meget sterkt forurenset. Det er derfor sannsynliggjort at noe av kvikksølvet er kommet ut av stålbeholderne. Det er imidlertid svært usikkert i hvilken grad store deler av kvikksølvlasten befinner seg inne i vraket eller på utsiden.



**Figur 1.** Lokalisering av sunket tysk ubåt (U-864) utenfor Fedje i Hordaland

De første undersøkelsene av bunnsedimentene (Skei 2004) og av fiskeprøver (Julshamn og Klungsøyr, 2004) startet i 2003. Den preliminare sedimentundersøkelsen omfattet målinger av kvikksølv i 10 sedimentprøver tatt tett opp til vraket. Her ble det målt svært høye kvikksølvkonsentrasjoner i noen sedimentoverflateprøver. Det ble også påvist noe forhøyede nivåer av kvikksølv i filet av uer og i krabbesmør.

Oppfølgende undersøkelser ble gjort våren 2005 for å kartlegge influensområdet (Uriansrud et al. 2005a). Sedimentoverflateprøver ble samlet inn innenfor en radius på 3 km fra vraket. Resultatene viste at de forhøyede kvikksølvverdiene var begrenset til et område i en radius på < 300 m fra ubåten.

Den tredje feltinnsatsen ble gjort i oktober 2005 under ledelse av Geoconsult. Foruten bunnkartlegging med seismisk utstyr og ROV, ble det tatt sedimentprøver og vannprøver helt inntil vraket, samt gjennomført strømundersøkelser ca 100 m nord for vraket.

Den foreliggende rapporten beskriver resultatene fra sedimentundersøkelsen, miljøovervåking av arbeidene, strømundersøkelser og anbefalinger i forhold til tildekking av forurensede sedimenter. I tillegg er det utarbeidet et forslag til langsiktig overvåkingsprogram for området.

## 2. Målsetting

Målsettingen med NIVAs del av prosjektet har vært følgende:

1. Utarbeide et miljøoppfølgingsprogram. Hensikten med dette var å ivareta alle miljøaspektene og redusere miljørisikoen mest mulig under de ulike operasjonene (se Geoconsults prosjekthåndbok).
2. Avgrense området som er meget sterkt forurenset av kvikksølv rundt vrakdelene, og som må betraktes som et potensielt tiltaksområde.
3. Miljøovervåking av de ulike feltaktivitetene for om mulig å fastslå om det har foregått spredning av kvikksølv under arbeidene.
4. Foreta strømmålinger for å kunne vurdere egnede kornstørrelser i tildekkingslaget dersom det skulle bli aktuelt å dekke til vraket og sedimentene. I tillegg vil kunnskap om strømforholdene i området være viktig i forbindelse med større undervannsoperasjoner (for eksempel heving av vraket).
5. Foreta vurdering av egnede tildekkingsmasser.
6. Utarbeide langsiktig overvåkingsprogram for området for å dokumentere om det gjennomførte tiltaket har hatt tilsiktet effekt.

## 3. Sedimentprøvetaking og analyse av kvikksølv i sediment

### 3.1 Bakgrunn

Kystdirektoratet (KyD) ønsket i de innledende undersøkelsene våren 2005 å få avgrenset området som er kvikksølvforurenset. Dette ble gjort ved å analysere 30 sedimentoverflateprøver i en radius på ca 3 km rundt vraket av U-864. Det ble da ikke påvist spredning av kvikksølv utover en avstand på 300 m fra vraket (Uriansrud et al. 2005a, Skei, 2003). I oktober 2005 ble det på nytt gjennomført sedimentprøvetaking i akkumulasjonsområdene innenfor en radius på ca 80-100 meter fra vraket. Analysene av disse prøvene viste at området innenfor en radius på 80-100 meter var meget sterkt kvikksølvforurenset. Bakgrunnen for at det ble valgt å gjennomføre en ny runde med sedimentprøvetaking og analyse av kvikksølv i overflatesedimentene rundt vraket var om mulig å avgrense ytterligere området som er forurenset av kvikksølv.

### 3.2 Feltarbeid

#### 3.2.1 Avgrensning av forurenset areal

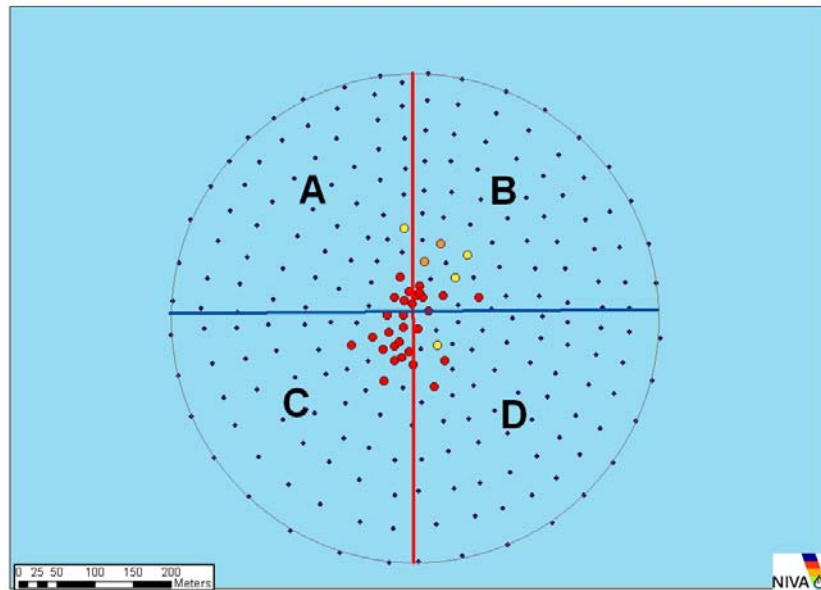
Sedimentprøvetaking ble gjennomført i perioden fra 2/9-06 til 4/9-06 ved hjelp av en ROV-operert prøvetaker (Figur 2) fra fartøyet SV Geoholm. Det var i alt planlagt å samle inn 250 sedimentoverflateprøver innenfor en radius på ca. 300 meter fra vraket (Figur 3). Dette arealet ble delt inn i 4 soner (A, B, C, D) for å gjøre det enklere å gjennomføre prøvetaking og analyser i riktig rekkefølge. Prøvetakingen startet i områdene nærmest vraket som tidligere ikke var prøvetatt. Det ble forsøkt prøvetatt bunnprøver på 82 lokaliteter. Av disse ble 63 sedimentoverflateprøver analysert. Prøvetakingen i 2006 skiller seg fra tidligere prøvetakinger i området ved at prøvene ble samlet inn fra områder både med akkumulasjonsbunn og erosjonsbunn.

Selve prøvetakingen ble utført ved at en kurv med åtte tomme prøverør ble senket ned til ca. 10 m over sjøbunnen. ROVen tok så kurven av kranen og kjørte til en på forhånd fastsatt stasjon. Prøverørene ble forsiktig presset vertikalt ned i sedimentene (Figur 2) og plassert tilbake i kurven. Når kurven var full, ble denne tatt opp på dekk og ny satt ut. Hele prosessen ble registrert på video.

**Tabell 2** gir en oversikt over koordinater og analyseresultater fra prøvetakingen rundt vraket av U-864 september 2006. Ved flere av lokalitetene var sjøbunnen for hard til å ta prøve.



**Figur 2.** Prøvetaking av sedimenter med ROV.



**Figur 3.** Planlagte sedimentprøvetakingsstasjoner i september 2006 ved vraket av U-864. Større fargelagte sirkler i midten viser tidligere prøvetatte stasjoner nær vraket. Disse er klassifisert etter SFTs klassifiseringssystem (Molvær et al. 1997).

### 3.2.2 Etterkontroll av sedimenter i mudringshull (postsurvey)

Ca. 5 uker etter endt feltarbeid ble det besluttet å gjennomføre en etterkontroll for å dokumentere tilstanden til vraket etter endt mudring. Dette fordi vraket begynte å bevege seg som følge av mudringsarbeidene. Kontrollen innebar MBE (Multibeam) kartlegging innenfor 100 x 100 m rundt akterskipet for å vise ny masselokalering rundt vraket, visuell inspeksjon av vrak (sprekker i sveiser), måling av pitch/roll og dybder på akterskip, måling av gap mellom akterskip og sedimenter og sedimentkjerner i mudringshullet. 22.10 2006 ble det i mudringshullet ved hjelp av en ROV-operert prøvetaker samlet inn sedimentkjerner fra 4 stasjoner. Prøverørene hadde spesialdesignede lange håndtak for å komme til under kjølen. 2 kjerner ble tatt horisontalt i gravehullet inn mot kjølen (Figur 4), mens 2 andre kjerner ble tatt vertikalt i bunn av gravehullet. Tabell 1 gir en oversikt over plassering av de ulike kjernene. Formålet med sedimentprøvetakingen inn mot kjølen var å påse at leiren nær kjølen ikke er kvikksølvforurenset. Hvis sedimentene nær kjølen er kvikksølvforurenset kan dette indikere at det er eller har vært løst kvikksølv inne i kjølen på vraket.



**Figur 4.** Horisontal sedimentprøvetaking inn mot kjølen i etterkant av mudringsarbeidene.

**Tabell 1.** Oversikt over prøvetatte stasjoner i mudringshullet i etterkant av mudringsoperasjonene. Prøvene ble samlet inn 22.10.2006 ca. 4 uker etter mudringsarbeidene ble avsluttet. Koordinater WGS84.

Dato	Prøve nr.	Øst	Nord	Kommentar
22/10/06	13	261560	6745079	Bunn av gravehull nær kjølen. 6 cm sediment i prøvefangeren. Snitt:3-4 cm Grå leire
22/10/06	14	261557	6745078	Vertikalt ned i bunn av gravehull ca. 3 m fra kjølen Snittet i intervallene 0-2 cm, 14-16 cm, 28-30 cm Kjernelengde: 30 cm Grå leire
22/10/06	16	261556	6745076	Horisontal prøve i gravehullet inn mot kjølen Kjernelengde 4 cm Mye av prøven forsvant under transporten fra sjøbunn og opp.
22/10/06	18	261557	6745077	Prøve ødelagt
22/10/06	26	261557	6745078	Horisontal prøve i gravehullet inn mot kjølen Snittet i intervallene 0-2 cm, 19-21 cm, 28-40 cm Kjernelengde: 40 cm Grå leire

### 3.3 Kjemisk analyse av sedimenter

Analysen av kvikksølv i overflatesedimentene ble fortløpende gjort om bord i SV Geoholm. Dette for raskest mulig avgrensning av influensområdet.

Det ble benyttet en kvikksølvanalysator med tilhørende ovnsenhet til analysene. Dette er en bærbar kvikksølvmåler basert på atomabsorpsjonsspektroskopi og beregnet på feltbruk. Måleprinsippet er at lys fra en kvikksølvlampe passerer gjennom en målecelle og detekteres av et fotomultiplikatorrør. Ved nærvær av kvikksølv damp i målecellen vil dette lyset absorberes og svekkelsen blir et mål for kvikksølvkonsentrasjonen.

Prøvene ble homogenisert ved å røre godt rundt i prøvebeholderen. Deretter ble det tatt ut en liten delprøve i aluminiumsskåler til tørking i varmeskap ved 60 °C. Den tørre prøven ble så homogenisert ytterligere ved knusing i morter og en bestemt mengde prøve overført til et veieskip. Dette ble så overført til feltanalysatoren for måling.

Selve målingen av kvikksølv skjer ved at veieskipet inneholdende prøven føres inn i en ovn. Kvikksølvet i prøven vil da fordampe og suges inn i målecellen. Praktisk deteksjonsgrense for målingene er ca. 0,001 mg/kg.

### 3.4 Resultater

#### 3.4.1 Avgrensning av forurenset areal

Området der vraket av U-864 er lokalisert er kupert og overflatesedimentene er meget harde. Ved mange av de planlagte lokalitetene var det vanskelig å få tatt prøve (Tabell 2). Bunnforholdene tolkes ved disse lokalitetene til å være så harde og strømmen trolig så sterk at bunnen klassifiseres som erosjonsbunn. I disse områdene er det lite sannsynlig at kvikksølv har akkumulert. Til tross for erosjonsbunn i enkelte områder vil fastsittende bunnorganismer kunne filtrere forurensete partikler fra vannmassene og dermed bli eksponert for forhøyede kvikksølvkonsentrasjoner.

Basert på analyser av sedimentoverflateprøvene var det mulig å avgrense arealet som var sterkt til meget sterkt kvikksølvforurenset (markert med rød linje på Figur 5). Dette området har en størrelse på



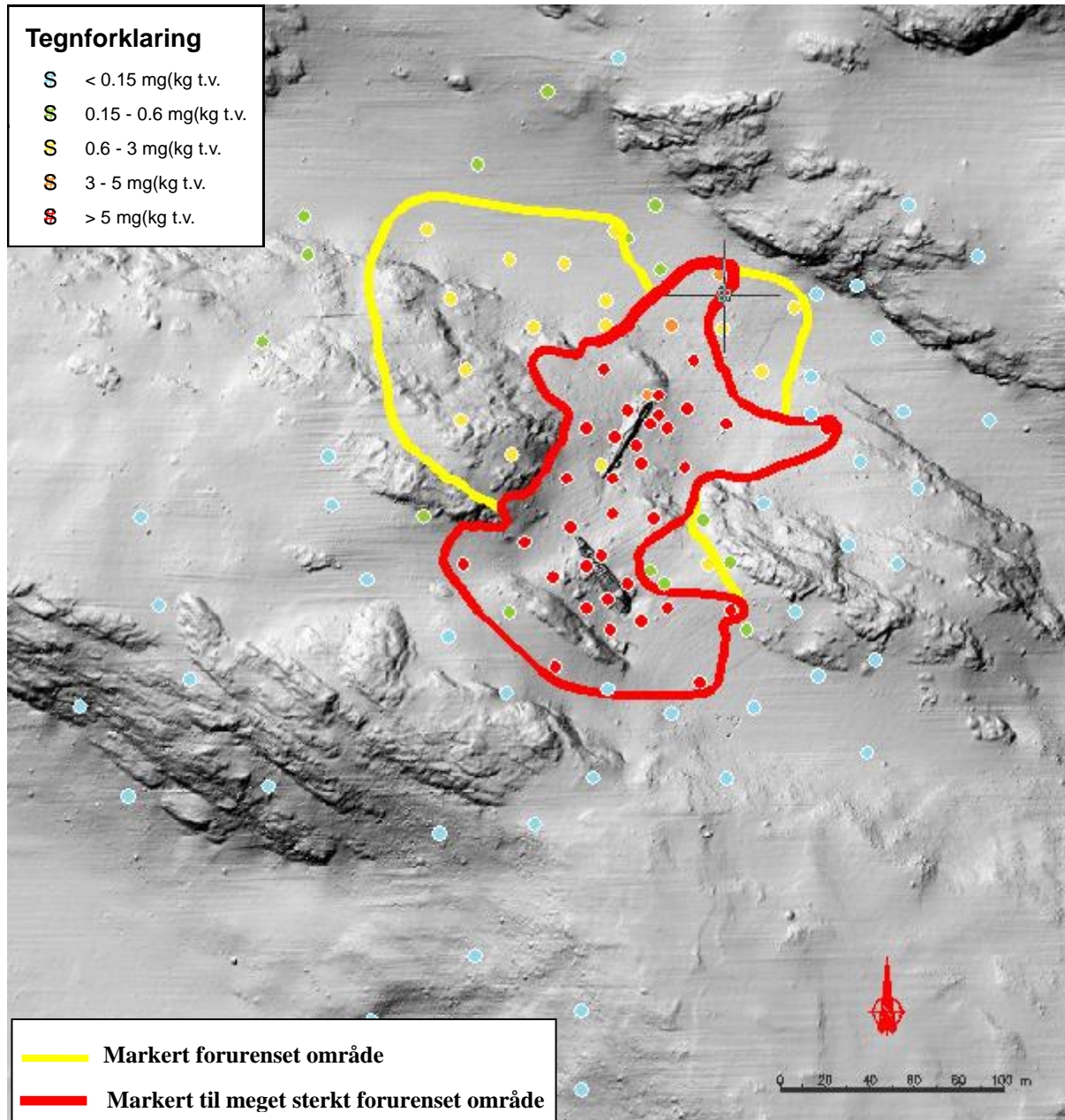
ca. 18.000 m<sup>2</sup>. Området som var markert forurenset (markert med gul linje i Figur 5) hadde en størrelse på ca. 12.000 m<sup>2</sup>. Sedimentene utenfor det avgrensede område var moderat til ubetydelig forurenset.

Analyser av kvikksølv i overflatesedimentene viste en tydelig spredning fra vraket mot nordvest (Figur 5).

**Tabell 2.** Sedimentstasjoner prøvetatt 2-4/9-2006 rundt vraket av U-864. Analyseresultatene er klassifisert i henhold til SFTs klassifikasjonssystem (Molvær et al. 1997). Alle verdier er oppgitt på tørrvektbasis. Koordinatsystem: UTM32.

Lokalitet nr.	Øst	Nord	Tot-Hg konsentrasjon (mg/kg)	Kommentar
28	261415	6745227	0,44	
30	261394	6745187	0,15	
31	261383	6745144		Hard bunn. Ingen prøve
32	261557	6745317	0,07	
33	261524	6745302	0,23	
34	261492	6745268	0,22	
35	261470	6745239	1,3	
36	261447	6745211		Ingen prøve. Hard bunn
37	261438	6745173		Ingen prøve. Hard bunn
38	261424	6745135	0,07	
41	261507	6745225	0,7	
42	261480	6745207	0,7	
43	261485	6745152	0,6	
44	261459	6745132		Ingen prøve. Hard bunn
45	261551	6745206	1	
46	261532	6745223	0,8	
47	261518	6745194	1,5	
48	261487	6745175	0,8	
49	261508	6745136	2,5	
68	261311	6745021	0,05	
69	261333	6744980	0,02	
70	261365	6744939		Ingen prøve. Hard bunn
71	261405	6744902		Ingen prøve. Hard bunn
72	261444	6744878	0,01	
73	261492	6744855		Ingen prøve. Hard bunn
74	261540	6744846	0,04	
76	261347	6745067	0,04	
77	261361	6745033	0,02	
78	261397	6744985	0,03	
79	261419	6744962		Ingen prøve. Hard bunn
80	261456	6744933		Ingen prøve. Hard bunn
81	261491	6744907	0,07	
82	261540	6744882	0,04	
83	261381	6745112		Ingen prøve. For hard bunn
84	261395	6745079		Ingen prøve. For hard bunn
85	261418	6745039		Ingen prøve. For hard bunn
86	261442	6745079	0,08	
87	261426	6745113	0,07	
88	261468	6745108	0,35	

Lokalitet nr.	Øst	Nord	Tot-Hg konsentrasjon (mg/kg)	Kommentar
90	261475	6744963	0,03	
92	261552	6745029	0,08	
93	261507	6745064	0,21	
94	261479	6745053	0,08	
95	261506	6745027	0,02	
96	261469	6745051		Ingen prøve. For hard bunn
97	261480	6745020		Ingen prøve. For hard bunn
98	261514	6744992		Ingen prøve. For hard bunn
99	261545	6744989	0,06	
100	261519	6744967	0,04	
142	261689	6745250	0,02	
143	261721	6745227	0,04	
144	261721	6745188		
145	261726	6745152	0,05	
146	261573	6745250	0,2	
147	261576	6745220	0,5	
148	261609	6745250		Ingen prøve. For hard bunn
149	261647	6745209	0,05	
150	261666	6745213	0,1	
151	261675	6745189	0,04	
152	261686	6745156	0,1	
153	261645	6745172	0,1	
154	261604	6745193	0,9	
155	261624	6745133		Ingen prøve. For hard bunn
156	261667	6745133	0,05	
157	261645	6745155	0,06	
200	261670	6745000	0,05	
201	261638	6744989		Ingen prøve. For hard bunn
202	261606	6744988	0,05	
203	261693	6745121	0,025	
204	261684	6745086	0,04	
205	261674	6745042	0,02	
206	261648	6745035	0,04	
207	261619	6745021	0,07	
208	261581	6745018	0,04	
209	261661	6745095	0,05	
210	261638	6745064	0,03	
211	261615	6745056	0,2	
212	261623	6745114	0,01	
213	261608	6745087	0,25	
214	261596	6745106	0,22	
215	261578	6745077	0,4	



**Figur 5.** Kvikksølvkonsentrasjonen (tot-Hg) i overflatesedimentene (0-2 cm) nær vraket av U-864. Prøvene er klassifisert etter SFTs klassifiseringsystem (Molvær et al. 1997). Kartet laget av NIVA og Geoconsult.

### 3.4.2 Etterkontroll av sedimenter i mudringshull

I etterkant av mudringsarbeidene ble det samlet inn sedimentkjerner fra mudringslokaliteten. Noen prøver ble tatt vertikalt ned i bunn av mudringshullet, mens noe andre ble tatt horisontalt inn mot kjølen på vraket. Alle analyserte sedimentprøver fra leiremassen i bunn av mudringshullet og inn mot kjølen var lite til ubetydelig forurenset med hensyn på kvikksølv (Tabell 3).

**Tabell 3.** Analyseresultater fra prøvetaking i mudringshullet 5 uker etter endt mudring.. Analyseresultatene er klassifisert i henhold til SFTs klassifikasjonssystem (Molvær et al. 1997). Alle verdier er oppgitt på tørrvektbasis.

Prøve nr.	Snitt	Prøvetaking	Tot-Hg konsentrasjon (mg/kg)
13	2-4 cm	Leire i CC (core catcher)	0,006
14	0-2 cm	Vertikal kjerneprøve i mudringshullet	0,006
	14-16 cm		0,02
	28-30 cm		0,005
16	0-1 cm	Horisontal kjerneprøve i mudringshullet inn mot kjølen	0,02
	3-4 cm		0,01
26	0-2 cm	Horisontal kjerne i mudringshullet inn mot kjølen	0,006
	19-21 cm		0,004
	38-40 cm		0,005

### 3.5 Oppsummering av sedimentresultatene

- Området som er sterkest forurenset er avgrenset til en radius på ca 100-150 meter fra vraket (potensielt tiltaksområde).
- Akkumulasjonsområdene hadde høyere kvikksølvkonsentrasjoner enn erosjonsområdene.
- Området som er markert til meget sterkt forurenset (tilstandsklasse IV – V) har et totalareal på ca. 18.000 m<sup>2</sup>. Området som er markert forurenset (tilstandsklasse III) utgjør et areal på ca 12.000 m<sup>2</sup>.
- Leiremassene under kjølen på ubåten var lite til ubetydelig forurenset.

## 4. Miljøovervåking

### 4.1 Generell bakgrunn for miljøovervåkingen

All fysisk aktivitet knyttet til undersøkelser ved vraket av U-864 kan medføre fare for spredning av kvikksølv. For å redusere spredningsfaren ble det før arbeidet startet utarbeidet en miljøoppfølgingsplan, der miljørisikoen og muligheten for avbøtende tiltak knyttet til de ulike aktivitetene ble vurdert og overvåking foreslått. Miljøoppfølgingsplanen som ble brukt i forbindelse med feltarbeidet i september 2006 er vist i Geoconsults prosjekthåndbok. I tillegg til miljøoppfølgingsplanen ble det utarbeidet detaljerte prosedyrer for hvordan en skulle gjennomføre de ulike operasjonene på en mest mulig miljøforsvarlig måte.

I forkant av operasjonen sendte Kystdirektoratet (KyD) en søknad til SFT (Statens forurensningstilsyn) for å klarlegge hvilke krav som ville bli stilt til operasjonen. I henhold til SFTs tillatelse for undersøkelsen ved U-864 utenfor Fedje i 2006, ble det stilt følgende krav til miljøovervåking av operasjonen:

1. Prøvetaking av vann i nærområdet før, under og etter tiltakene for å dokumentere eventuelle forhøyde konsentrasjoner av kvikksølv som følge av tiltakene og ved eventuelle uhell.
2. Kontroll av kvikksølv i vannmasser som slippes ut i forbindelse med mudring av forurensete sedimenter, og ved oppsamling av kvikksølv ved eventuelle uhell.

3. Prøvetaking av sedimenter i forbindelse med mudring eller levering av mudrede masser til spesialmottak.
4. Videodokumentasjon av oppvirvling av sediment forårsaket ved bruk av ROV og ved eventuelle uhell, samt avbøtende tiltak ved håndtering av kvikksølvbeholdere.

Prøvetaking, behandling og analyse ble utført etter Norsk Standard (NS) der dette var tilgjengelig.

## 4.2 Overvåkingsprogrammet

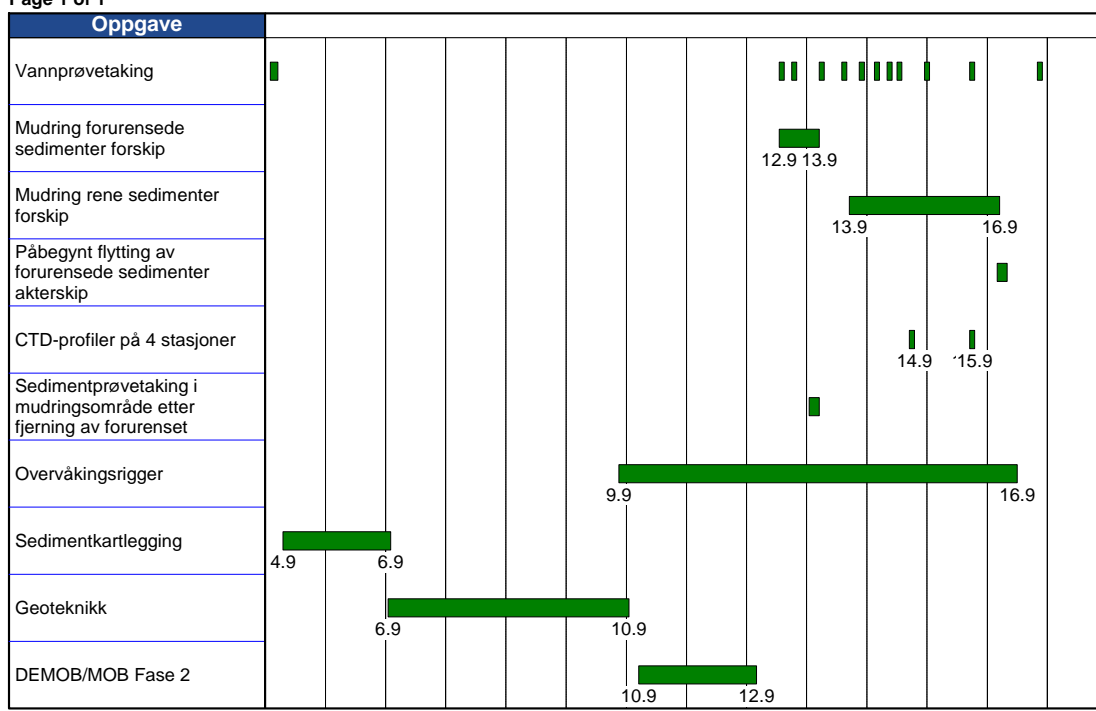
For å føre kontroll med arbeidene ved vraket av U-864 september 2006, ble det i forkant av feltarbeidet utarbeidet et overvåkingsprogram for å dokumentere spredning av partikler og kvikksølvforurensning fra sterkt forurenset område til det området rundt vraket som hadde kvikksølvkonsentrasjoner i overflatesedimentene under grensen SFT hadde satt for forurensete sedimenter (3 mg Hg/kg t.v. Ref: mudringstillatelse fra SFT, 2006).

Overvåkningen bestod i:

- Vannprøvetaking rundt arbeidsområdet før, under og etter arbeidene. Vannprøver ble under arbeidene samlet inn på 5 lokaliteter i ytterkant av forurenset område. Noen av prøvetakingslokalitetene måtte justeres underveis på grunn av problemer med å komme til med ROVen.
- Målinger av strømforhold og partikkelmengde (turbiditet) i vannmassene rundt arbeidsområdet før, under og etter arbeidene. Seks overvåkingsstasjoner for måling av partikkelmengden i vannmassene ble satt ut i ulike himmelretninger rundt vraket. Fire av disse målte strømhastighet og retning.
- Utsetting av sedimentfeller i ytterkant av forurenset område for å kontrollere kvikksølvkonsentrasjonen i partikler som transporteres og avsettes utenfor det sterkt forurensete området. Det ble plassert ut 6 sedimentfeller i ulike himmelretninger rundt det forurensete området.

Figur 6 gir en oversikt over prøvetaking og utsetting av overvåkingsutstyr i forhold til gjennomførte arbeidsoppgaver ved vraket av U-864 i perioden 4. til 16. september 2006. Det ble ikke kartlagt eventuell spredning forårsaket av sedimentkartlegging og geotekniske undersøkelser. Dette fordi disse aktivitetene ikke medfører vesentlig risiko for oppvirvling av forurensete sedimenter.

Page 1 of 1

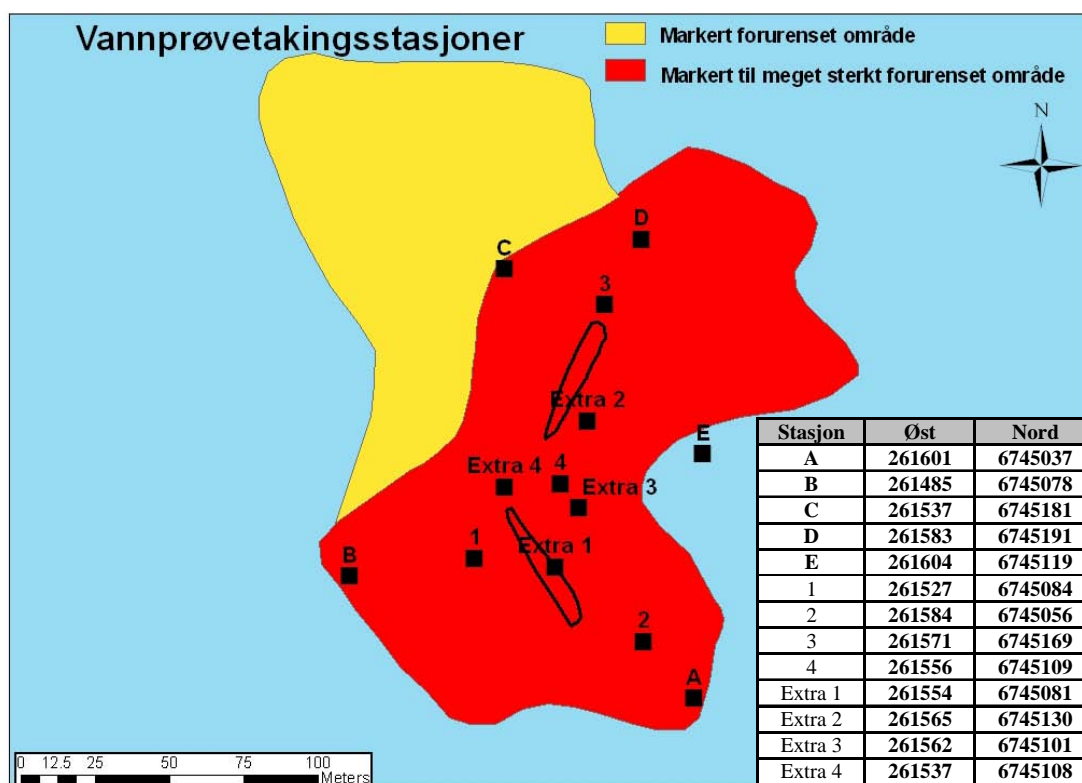


**Figur 6.** Prøvetaking og utsetting av instrumenter i forhold til ulike arbeider ved vraket av U-864 september 2006.

#### 4.2.1 Vannprøver

Vannprøver for overvåking av kvikksølvkonsentrasjon i vannmassene ble hentet inn før, under og etter mudringsarbeidene (Figur 6).

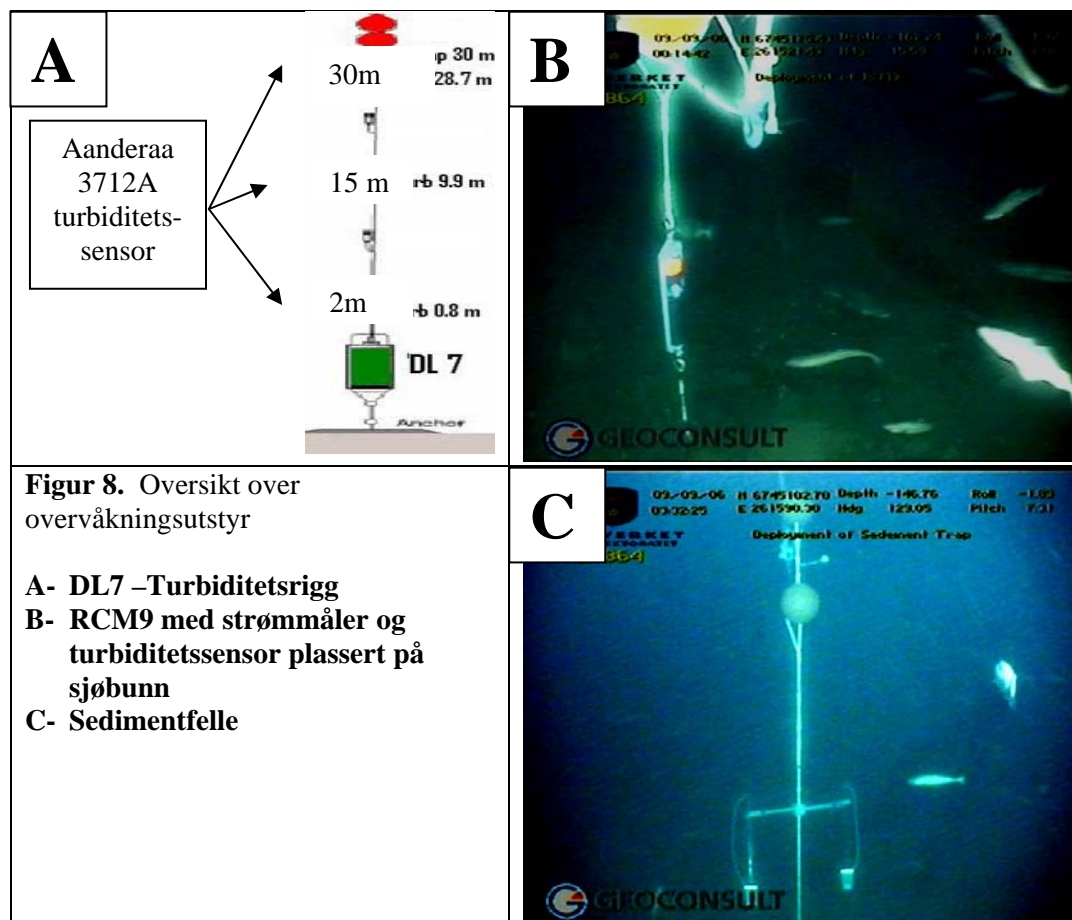
I forkant av operasjonen ble det hentet inn 4 vannprøver av bunnvannet nær vraket (stasjon 1-4, Figur 7). Dette ble gjort for å ha bakgrunnskonsentrasjonen for kvikksølv i vannmassene før arbeidet startet. Vannprøvetaking under mudringsfasen ble gjennomført på 5 hovedstasjoner (A, B, C, D, E). For å unngå at ROV og mudringsmaskiner skulle komme i konflikt med hverandre var det nødvendig ved noen tidspunkter å droppe enkelte av prøvestasjonene. Som følge av begrenset rekkevidde på ROVen under gravearbeidene, måtte vannprøvene samles inn innenfor en radius på 100 meter fra mudringslokaliteten. Ved avsluttet arbeid ble de samme stasjonene (stasjon 1-4) undersøkt på nytt. Alle vannprøvene ble samlet inn 3-4 meter over sjøbunnen. Vannprøvene ble samlet inn med ROV og fortløpende analysert om bord. Dette for å ha kontroll med kvikksølvkonsentrasjonen i vannmassene i beholderen som fraktet forurensede masser fra sjøbunnen og opp på dekk. Det ble kun gjort to slike analyser fordi det viste seg umulig å fjerne sedimentene fra beholderen som i utgangspunktet skulle frakte forurensede sedimenter fra sjøbunn og opp flere ganger. Det ble i stedet besluttet å lagre sedimentene i disse spesialbygde beholderne.



**Figur 7.** Oversikt over vannprøvetakingsstasjoner under arbeidet rundt vraket av U-864 september 2006. Koordinatsystem: UTM32.

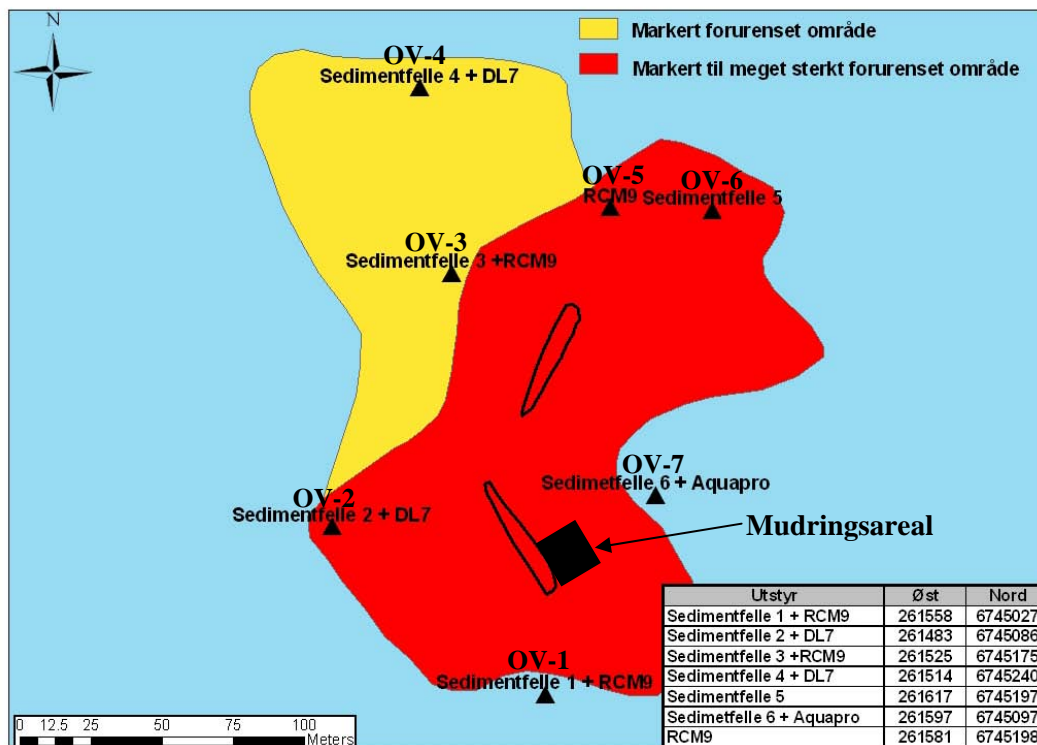
#### 4.2.2 Kontroll av partikkelspredning (turbiditet) under mudre- og gravearbeidene

Før mudre- og gravearbeidene startet ble det plassert ut overvåkingsutstyr på 6 stasjoner i ytterkant av det forurensede området (Figur 9). Alt overvåkingsutstyr gjorde registreringer med 2 minutters intervall. Det ble benyttet to 30 meter lange DL7-turbiditetsrigger som målte partikkelmengden ved 3 ulike vanddyb (3 meter, 18 meter og 33 meter over sjøbunnen, Figur 8 A). I tillegg ble det plassert ut 3 RCM9 rigger som målte strøm og turbiditet på et punkt ca. 1,5 meter over sjøbunnen (Figur 8 B), og en Nortek Aquapro profilerende strømmåler som målte strømhastigheten i flere vannlag opp til 40 meter over sjøbunnen. På Aquaproen var det montert en seapoint turbiditetsmåler som målte partikkelmengden i et punkt (ca. 2,5 m over sjøbunnen). Hovedstrømningsretningen i området er mot nordvest. Det ble derfor plassert ut noe mer overvåkingsutstyr i nordvestlig retning for vraket. Overvåkingsriggene ble plassert ut med ROV.



**Figur 8.** Oversikt over overvåkningsutstyr

- A- DL7 –Turbiditetsrigg
- B- RCM9 med strømmåler og turbiditets-sensor plassert på sjøbunn
- C- Sedimentfelle



**Figur 9.** Plassering av stasjonære måleinstrumenter rundt vraket av U-864 (strømmålere, turbiditetsmålere og sedimentfeller). OV-1 = Overvåkningsstasjon 1 osv. Svart kvadrat indikerer arealet som ble mudret. Koordinater: UTM32.



I tillegg til de stasjonære måleinstrumentene ble det benyttet en SAIV CTD-sonde med turbiditetsmåler for å finne mektigheten til partikkelskyen i vannmassene under mudringsarbeidene. CTDen ble montert foran på ROVen. Det ble i løpet av mudringsperioden gjennomført profilerende målinger 2 ganger på stasjonene A, B, C, D og E (Figur 7). Målingene ble gjort fra 50 meters dyp og ned til bunnen. Alle 5 stasjonene var ikke mulig å prøveta begge gangene på grunn av begrenset rekkevidde på ROVen

#### **4.2.3 Sedimentfeller**

I ytterkant av det forurensede området ble det plassert ut 6 sedimentfeller (Figur 9). Sedimentfellene fanger opp partikler som bunnfeller eller transporteres forbi og vil derfor kunne gi informasjon om en eventuell partikkelspredning har medført forhøyede kvikksølvkonsentrasjoner i overflatesedimentene utenfor området som er planlagt tildekket. Sedimentfellene ble plassert ut med ROV. Sedimentfellene sto ute i perioden fra 09.09.2006 til 16.09.2006.

#### **4.2.4 Visuell dokumentasjon av oppvirvling av sedimenter**

Hele mudringsoperasjonen ble visuelt overvåket med 2 ROV-systemer. Dette gav en god oversikt over partikkelmengden i vannmassene nær vraket ved de ulike arbeidene.

### **4.3 Kjemiske analyser**

Det ble benyttet en kvikksølvanalysator med tilhørende kalddampsgenerator til analysene. Dette er en bærbar kvikksølvmåler basert på atomabsorpsjonsspektroskopi, beregnet på feltbruk. Måleprinsippet er at lys fra en kvikksølvlampe passerer gjennom en målecelle og detekteres av et fotomultiplikatorrør. Ved nærvær av kvikksølv damp i målecellen vil dette lyset absorberes og svekkelsen blir et mål for kvikksølvkonsentrasjonen.

Vannprøvene ble konservert med salpetersyre umiddelbart etter prøvetaking. Selve målingen av kvikksølv skjer ved at en porsjon av prøven tilsettes en løsning av tinnklorid og dermed reduseres kvikksølvforbindelsene i prøven til elementært flyktig kvikksølv. Dette skilles ut av løsningen i en gass/væskeseparator og føres til instrumentets målecelle. Praktisk deteksjonsgrense for målingene er 1 ng/l.

Materialet fra sedimentfellene ble veid og analysert på samme måte som beskrevet i Kap. 3







### **4.4 Resultater miljøovervåking**

#### **4.4.1 Vannprøver**

I forbindelse med undersøkelsen ved U-864 september 2006 satte SFT som krav at det skulle gjennomføres overvåking av kvikksølvkonsentrasjonen i vannmassene før, under og etter arbeidene. Det ble under feltarbeidet analysert totalt 38 vannprøver fra bunnvannet rundt vraket og 2 vannprøver fra "subsea" containere på dekk. Tabell 4.gir en oversikt over analyseresultatene fra innsamlede vannprøver. Analyseresultatene er klassifisert i henhold til miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann (Molvær et al. 1997).

**Tabell 4..** Analyseresultater fra vannprøver som ble samlet inn rundt vraket av U-864 i forbindelse med miljøovervåkning av mudringsoperasjonen september 2006.

Prøvetaking	Område	Dato	Hg ng/l	Kommentarer
1	1	03:09:06	<1	
1	2	03:09:06	2	
1	3	03:09:06	38	ROVen virvlet opp partikler
1	4	03:09:06	<1	
2	A	12.09.2006	1,4	
2	B	12.09.2006	-	Prøvetaker ødelagt av ROV
3	D	13.09.2006	3,4	
3	E	13.09.2006	-	Tom prøve
4	A	13.09.2006		Tom prøve
4	B	13.09.2006	5,7	
4	C	13.09.2006	6,6	
4	D	13.09.2006		Tom prøve
4	E	13.09.2006	6,3	
5	A	13.09.2006	1,3	
5	C	13.09.2006	<1	
5	D	13.09.2006	38	Oppvirvling av partikler fra ROV.
5	Extra 1	13.09.2006	2,3	
6	A	13.09.2006	<1	
6	B	13.09.2006	<1	
6	Extra 2	13.09.2006	<1	
7	A	14.09.2006	<1	
7	B	14.09.2006		Tom prøve
7	C	14.09.2006	<1	
7	E	14.09.2006	<1	
8	B	14.09.2006	<1	
8	C	14.09.2006	<1	
8	E	14.09.2006	1,2	
8	Extra 3	14.09.2006	7,3	Nær mudringslokaliteten
9	A	14.09.2006	<1	
9	C	14.09.2006	<1	
9	Extra 4	14.09.2006	<1	
10	A	14.09.2006	<1	
10	B	14.09.2006	<1	
10	C	14.09.2006	13	Mye partikler
10	E	14.09.2006	<1	
11	A	15.09.2006	<1	
11	C	15.09.2006	<1	
11	D	15.09.2006	21	Mye partikler
11	E	15.09.2006	<1	
12	1	17.09.2006	1,2	
12	2	18.09.2006	2,4	
12	3	19.09.2006	1,9	
12	4	20.09.2006	11	
Konteiner-1		13.09.2006	5,0	Vannprøve fra subsea konteiner på dekk
Konteiner-2		13.09.2006	6,4	Vannprøve fra subsea konteiner på dekk

	I. Ubetydelig-lite forurenset		II. Moderat forurenset		III. Markert forurenset		IV. Sterkt forurenset
	V. Meget sterkt forurenset		Ikke i klassifiseringssystem				

For å etablere bakgrunnskonsentrasjonen for kvikksølv i vannmassene rundt vraket ble det i forkant av arbeidet samlet inn vannprøver fra 4 lokaliteter (1-4, **Figur 7**Figur 7). De preliminære undersøkelsene viste generelt lave verdier (<1 ng/l). En av vannprøvene som ble samlet inn før arbeidene startet var meget sterkt kvikksølvforurenset (37 ng/l). Denne høye verdien er trolig forårsaket av at ROVen virvlet opp forurensete partikler i forkant av prøvetakingen (visuell observasjon).

Under mudringsarbeidene ble det samlet inn vannprøver ved 10 tidspunkter. Vannprøvene ble hovedsakelig samlet inn i ytterkant av det sterkt forurensete området. Det ble også samlet inn noen prøver nær utløpsvannet fra mudringsoperasjonen (stasjon Ekstra 2 og Ekstra 3). Under mudring av forurensete masser ble det påvist en økning i kvikksølvkonsentrasjonen i vannmassene rundt mudringslokaliteten (moderat til markert forurenset). Ved mudring av rene masser ble det også ved enkelte prøvetakinger påvist forhøyede kvikksølvkonsentrasjoner i vannmassene nord (stasjon D) og nordvest (stasjon C) for vraket. Vannprøvene samlet inn fra eksosvannet fra mudringsmaskinen var moderat til markert kvikksølvforurenset (tilstandsklasse II-III, Molvær et al. 1997).

De avsluttende vannanalysene fra stasjon 1-4 ved mudringslokaliteten viste noe forhøyede verdier (markert til moderat forurenset) sammenlignet med de preliminære undersøkelsene foretatt i forkant av arbeidet. Dette kan ha sammenheng med oppvirvling av forurensete partikler under mudringsarbeidene.

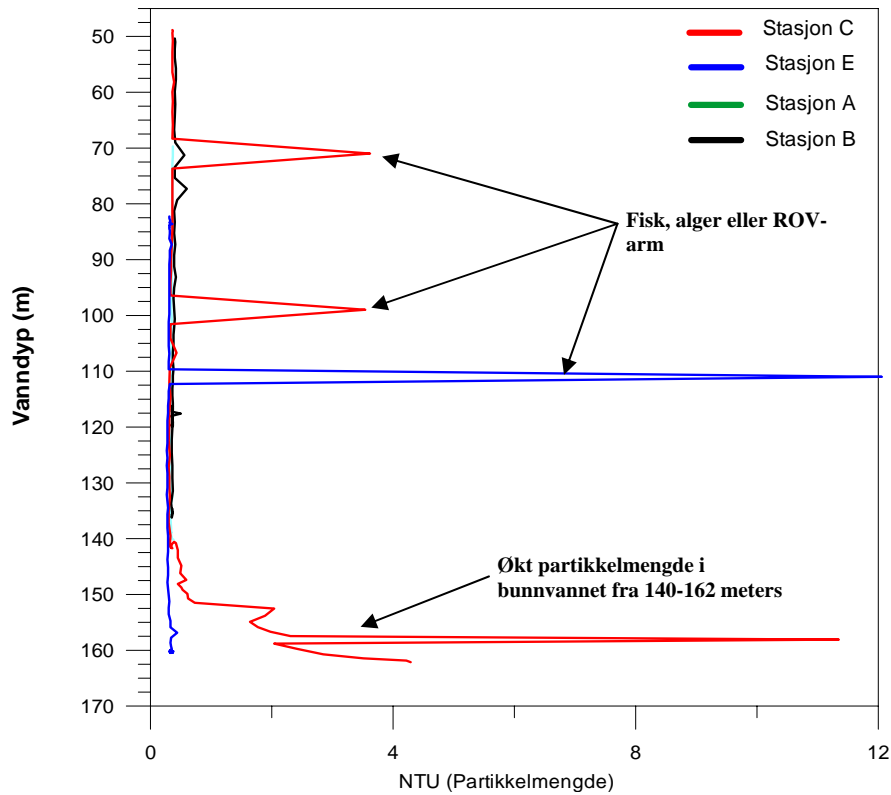
Vannprøvene fra ”subsea” containere med forurensete sedimenter var markert forurenset (Tabell 4).

#### **4.4.2 Turbiditetsmålinger**

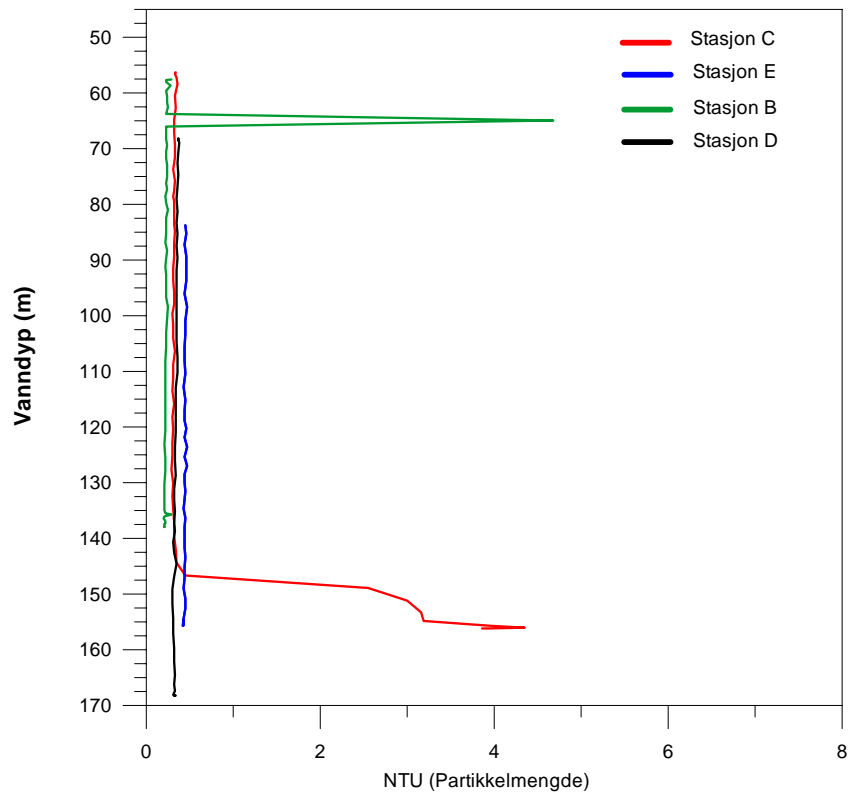
Spredning av partikler under mudringsarbeidene ble overvåket med stasjonære overvåkningsrigger og SAIV CTD-sonde med ekstern turbiditetssensor. CTDen ble montert på ROVen. Dette ble gjort for å dokumentere spredning av partikler fra forurenset område til ikke forurenset område under mudringsarbeidet.

##### ***Målinger av partikkelspredning i vannmassene med ROV-montert CTD.***

Partikkelmengden i vannmassen var ved begge måletidspunktene (14. og 15. sept.) lave på alle stasjoner bortsett fra på stasjon C nordvest for vraket (Figur 10 og Figur 11). Profilen fra stasjon C viste at bunnvannet fra ca. 140 meters vanddyb og ned til sjøbunnen (162 meter) hadde forhøyede partikkelmengder. Dette viser at det under mudringsarbeidene foregikk en spredning av partikler mot nordvest.



**Figur 10.** Partikkelmengden i vannmassene på 4 stasjoner (A, B, C og E) fra ca 50 meters vanddyb og ned til sjøbunnen. Profilen ble målt 14/9-2006.



**Figur 11.** Partikkelmengden i vannmassene på 4 stasjoner (B, C, D og E) fra ca 50 meters vanddyb og ned til sjøbunnen. Profilen ble målt 15/9-2006.

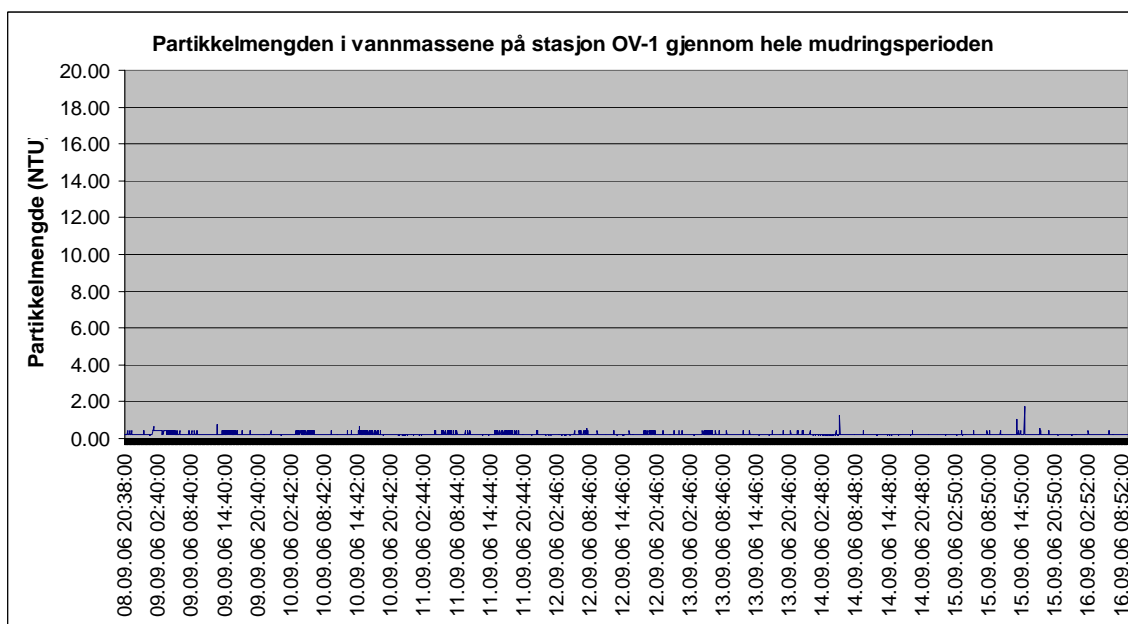
### Målinger av partikkelspredning med stasjonære måleinstrumenter

Fjerning av kvikksølvforurensede overflatesedimenter med visirgrabb ble gjennomført i perioden fra kl: 1200 09/9-06 til kl 0500 13/9-2006. I denne perioden ble det påvist noe spredning av partikler mot nord (Figur 16) og øst (Figur 17). Ved sugemudring av rene sedimenter ble det påvist betydelig partikkelspredning mot øst (Figur 17), nord (Figur 16) og nordvest (Figur 15

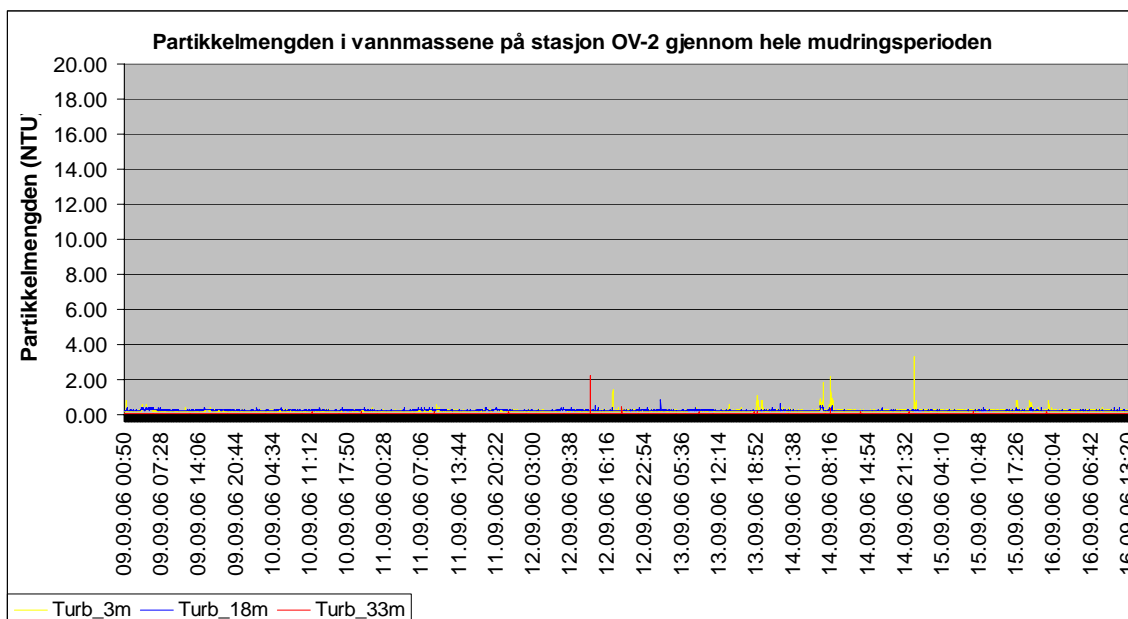
**Figur 15** og

**Figur 14** (Figur 14). På overvåkningsstasjon 4 (OV-4) ca. 200 meter nordvest for mudringsområdet, ble det påvist økt partikkelmengde fra ca 3-33 meter over bunnen i perioden da mudringen pågikk. Dette er i overensstemmelse med det som ble målt med ROV-montert turbiditetsmåler nordvest for vraket (Figur 10 og Figur 11). Signalstyrkeverdiene fra Aquaproen på overvåkningsstasjon 7 (OV-7) øst for vraket, viste en tydelig økning i signalstyrke i tidsrommet da mudringsarbeidene pågikk (Figur 17). Dette viser at det under mudringsperioden foregikk spredning av partikler også mot øst. Ved enkelte episoder var det høye signalstyrkeverdier opp til ca 40 meter over bunnen under mudringsarbeidene. Signalstyrkedata fra Aquaproen ble benyttet i stedet for punktdata fra seapoint turbiditetsmåleren. Dette fordi turbiditetsverdiene fra seapointen virket meget ustabile.

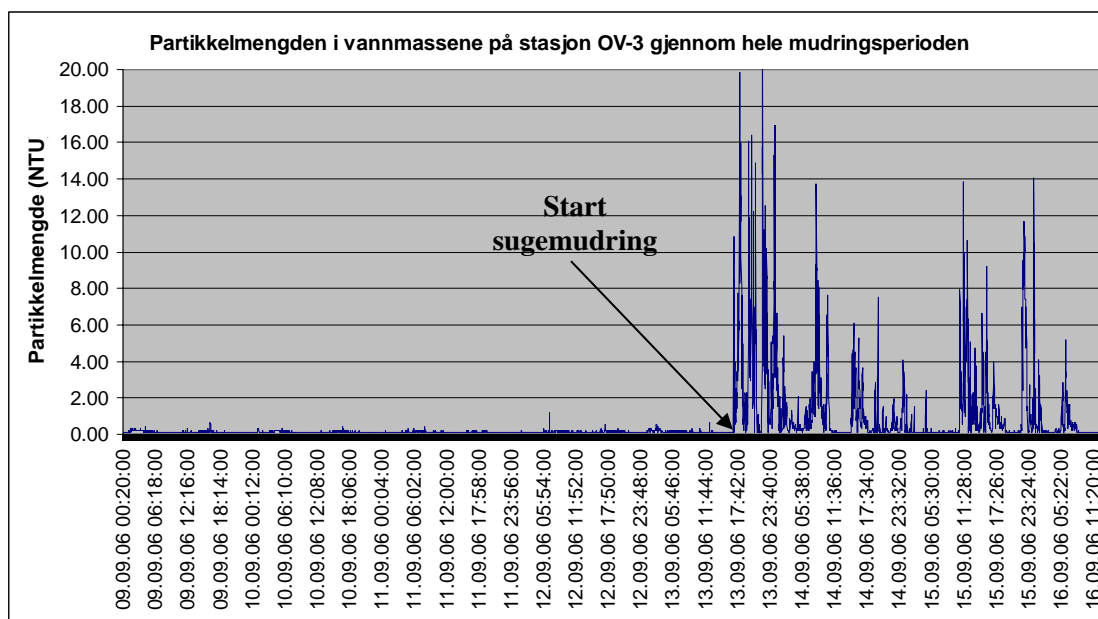
Noen mindre episoder med økt partikkelmengde i vannmassene ble observert mot sør og sørvest for vraket i mudringsperioden (Figur 12 og Figur 13). Det kan ikke utelukkes at de mindre turbiditetstoppene mot sør og sørvest (OV1 og OV2) også skyldes mudringen. Dette til tross for at den dominerende strømretningen var mot nordvest. ROven, som ved flere anledninger var nær disse turbiditetsriggene, kan også ha forårsaket kortvarige økninger i partikkelmengden nær bunnen.



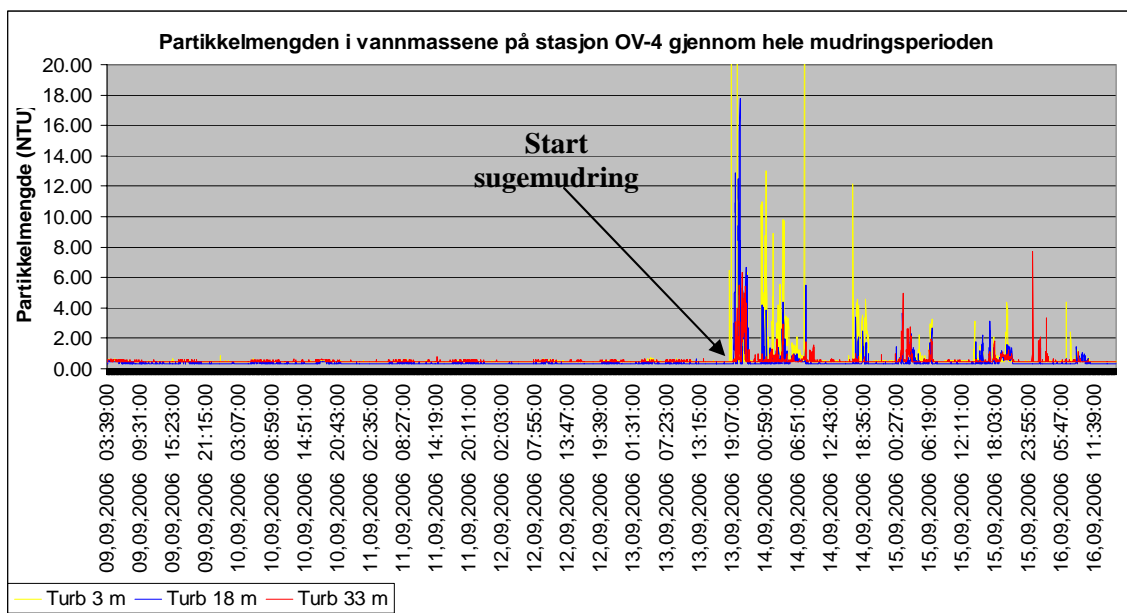
**Figur 12.** Partikkelmengden i bunnvannet ca. 3 m over sjøbunn på overvåkningsstasjon 1 (OV-1) i perioden fra 08/9-06 til 16/9-06. Målingene er foretatt med RCM9 ca. 60 meter sør for mudringslokaliteten.



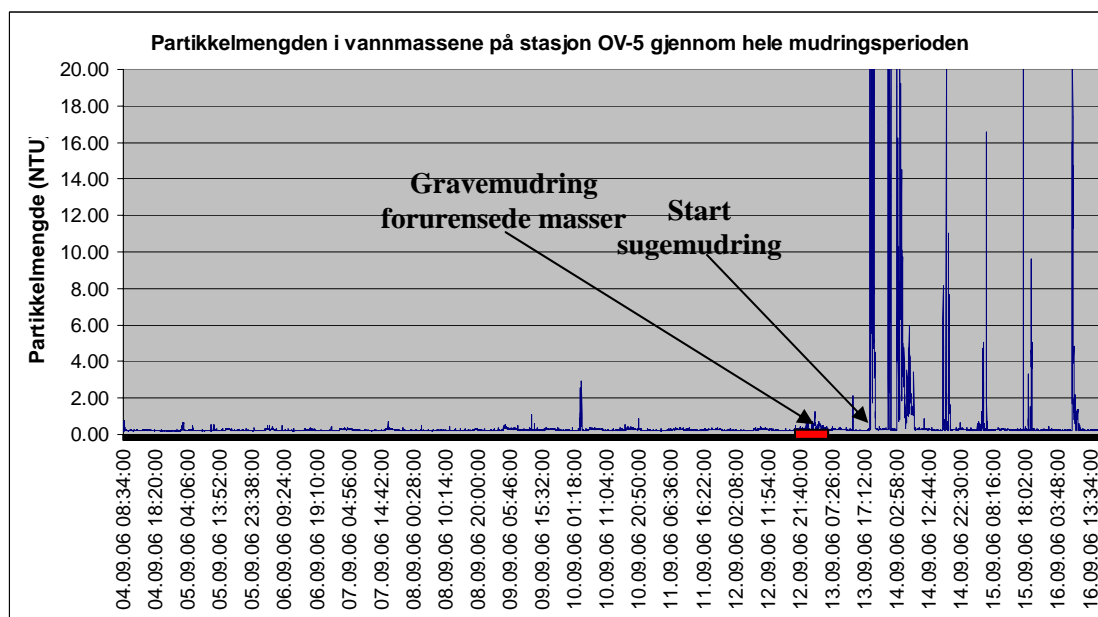
**Figur 13.** Partikkelmengden i 3 vannlag (3 m, 18 m og 33 meter over sjøbunnen) på overvåkingsstasjon 2 (OV-2) i perioden fra 09/9-06 til 16/9-06. Målingene er foretatt med en DL7 ca. 60 meter vest for mudringslokaliteten.



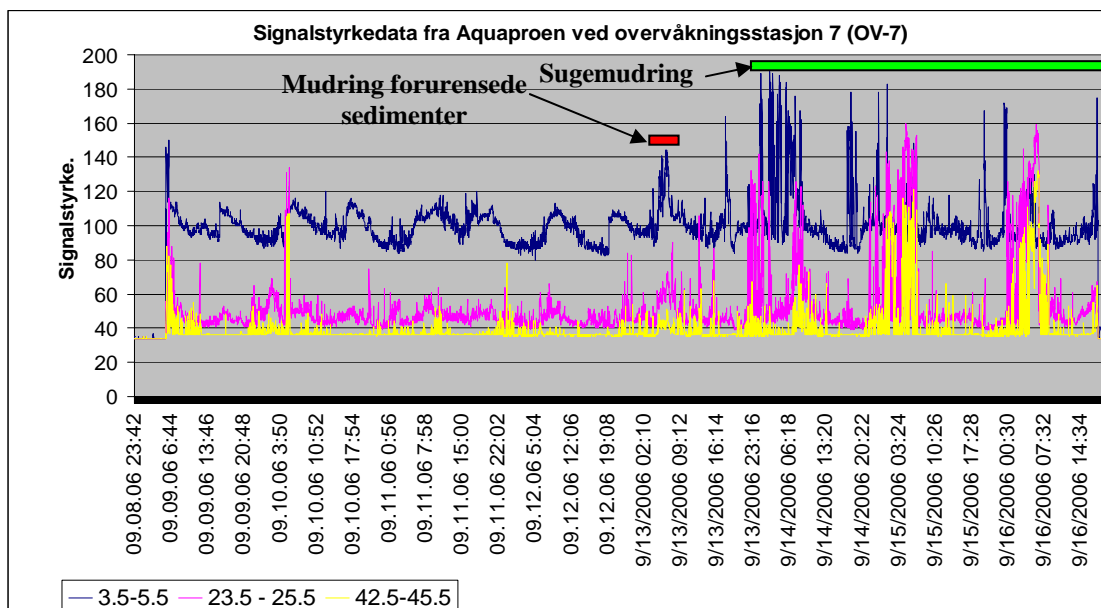
**Figur 14.** Partikkelmengden i bunnvannet ca. 3 m over sjøbunn på overvåkingsstasjon 3 (OV-3) i perioden fra 09/9-06 til 16/9-06. Målingene er foretatt med RCM9 ca. 100 meter nordvest for mudringslokaliteten.



**Figur 15.** Partikkelmengden i 3 vannlag (3 m, 18 m og 33 meter over sjøbunnen) på overvåkingsstasjon 4 (OV-4) i perioden fra 09/9- 06 til 16/9-06. Målingene er foretatt med en DL7 ca. 200 meter nordvest for mudringslokaliteten.



**Figur 16.** Partikkelmengden i bunnvannet ca. 1 meter over sjøbunnen på overvåkingsstasjon 5 (OV-5) i perioden fra 09/9- 06 til 16/9-06. Målingene er foretatt med RCM9 ca. 120 meter nord for mudringslokaliteten.



**Figur 17.** Partikkelmengden i bunnvannet ved 3 vanddyb (3,5-5,5 m, 23,5-25,5 m og 42,5-45,5 m over sjøbunnen). Partikkelmengden er representert ved signalstyrkeverdier fra Aquaproen på overvåkingsstasjon 7 (OV-7) i perioden fra 08/9-06 til 16/9-06. Signalstyrkedata gir en indikasjon på mengden partikler i vannmassene. Ved høyere verdier er det generelt mer partikler i vannmassene. Fisk og organismer som vandrer opp og ned i vannmassene kan også påvirke signalstyrken. NB ! Dataene gir ikke absolutte partikkelmengder i vannmassene.

#### 4.4.3 Sedimentfeller

For å kontrollere kvikksølvkonsentrasjonen i og mengden partikler som sedimenterte i ytterkant av det forurensede området ble det plassert ut sedimentfeller på 6 stasjoner (Figur 9). På hver stasjon var det 2 rør som samlet opp partikler (A og B). Analyseresultatene er vist i Tabell 5.

Mengden materiale i de ulike sedimentfellene varierte fra 0,5 gram ved overvåkingsstasjon 1 (OV-1) sør for mudringsområdet til ca 44 gram i sedimentfelle 6 (OV-7) ca. 40 meter øst for mudringslokaliteten (Tabell 5). Årsaken til at sedimentfelle 6 hadde mye mer materiale enn de andre er trolig at eksosen fra mudringsmaskinen sendte partiklene i østlig retning kombinert med at sedimentfelle 6 lå nær arbeidsområdet. Overvåkingsstasjonene i medstrøms retning (nordvest), viste avtagende mengde materiale med økende avstand fra mudringslokaliteten. Stasjonene nærmest mudringsarbeidene (OV-7 og OV-3) hadde grovere sedimentpartikler enn stasjonene som var lokalisert lenger vekk (OV-4) og sør for mudringslokaliteten (OV-1 og OV-2).

Partiklene som akkumulerte i sedimentfellene var generelt sterkt til meget sterkt forurenset (Tabell 5). Dette indikerer at det under mudringsoperasjonen foregikk spredning av kvikksølvforurensete partikler. Partiklene som sedimenterte sør for mudringsarbeidet hadde betydelig lavere (0,8-0,9 mg Hg/kg t.v., markert forurenset) kvikksølvkonsentrasjoner enn det som ble målt i de andre sedimentfellene (> 4 mg Hg/kg t.v., sterkt til meget sterkt forurenset). Sedimentfellene som var mest påvirket av mudringsarbeidene (sedimentfelle 6 → OV-7 og sedimentfelle 3 → OV-3) hadde høyest kvikksølvkonsentrasjoner. Dette viser at sedimentene som ble mudret ikke utelukkende var rene.






Både observasjonen av forhøyede kvikksølvkonsentrasjoner i vannmassene og sedimentfellene kan være forårsaket av en kombinasjon av oppvirvling av forurensete partikler fra overvåkings-ROven eller mudringsmaskinen, og nedrasing av kvikksølvforurensete overflatesedimenter i gravehullet.



Dersom forurensede overflatesedimenter raser ned i gravehullet vil disse blande seg med rene masser, suges opp og spres i vannmassene. Det var svært vanskelig å påvise omfanget av dette i og med at sikten rundt mudringsarbeidene var meget begrenset. Analyser av leiren i forkant av sugemudringen viste at leiren hadde en kvikksølvkonsentrasjon som varierte fra 0.03-0,3 mg/kg (lite til moderat forurensset). Det ble ikke samlet inn sedimentprøver ved ubåtkjølen under sugermudringen på grunn av at ROVen da først måtte ha muligheten for å komme til. Operasjonen ble stoppet før ROVen fikk mulighet til å komme inn under kjølen.

**Tabell 5.** Analyseresultater sedimentfeller. Prøvene er klassifisert i henhold til miljøkvalitet i fjorden og kystfarvann (Molvær et al. 1997).

Stasjon	Mengde materiale i sedimentfelle (gram)	Tot-Hg Kons. mg/kg t.v
Sedimentfelle 1 A	0,497	0,8
Sedimentfelle 1 B	0,551	0,92
Sedimentfelle 2 A	0,484	5,68
Sedimentfelle 2 B	0,598	5,62
Sedimentfelle 3 A	5,964	10,3
Sedimentfelle 3 B	5,864	9,85
Sedimentfelle 4 A	1,530	5,09
Sedimentfelle 4 B	1,719	3,74
Sedimentfelle 5 A	1,146	13,3
Sedimentfelle 5 B	0,987	14,8
Sedimentfelle 6 A	43,792	167
Sedimentfelle 6 B	Prøve påkjørt av ROV	

	I. Ubetydelig-lite forurensset		II. Moderat forurensset		III. Markert forurensset		IV. Sterkt forurensset
	V. Meget sterkt forurensset		Ikke i klassifiseringssystem				

#### 4.4.4 Visuell dokumentasjon av oppvirvling av sedimenter

Både ved mudring av forurensede masser med visirgrabb og rene masser med sugemudring var partikkelmengden i vannmassene på mudringslokaliteten relativt høy. Dette førte til dårlig sikt og at en ved flere anledninger måtte vente for å grave videre. Det viste seg enkelte ganger å være vanskelig å treffe med visirgrabben i injeksjonshullet på konteineren. Dette medførte trolig spredning av forurensede partikler.

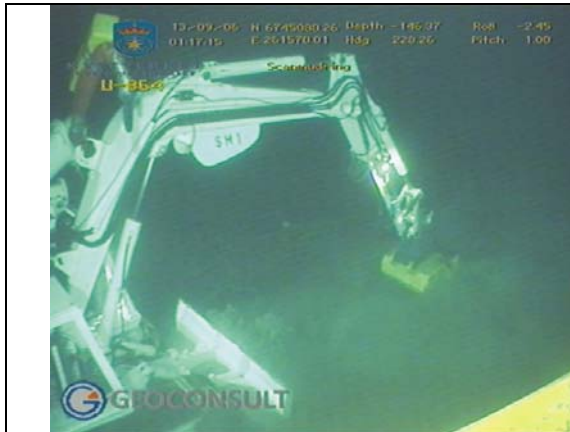
De sterke bunnstrømmene i området gjorde at sikten relativt raskt ble bedre etter en oppvirvlingsepisode. Dette viser at partiklene raskt spres til omkringliggende områder. Nede i gravehullet som var ca 4 meter dypt var imidlertid sikten svært begrenset under arbeidene.

### 4.5 Kort vurdering av mudringsteknikken

#### *Visirgrabbmudring*

Mudring med en nytviklet visirgrabb ble gjort i for å fjerne de meget sterkt forurensede overflatesedimentene på en mest mulig skånsom og effektiv måte (Figur 18). Det ble under mudring med visirgrabb påvist liten spredning av partikler ut over det arealet som allerede var karakterisert som meget sterkt kvikksølvforurensset. Dette kan ha sammenheng med at partiklene som gravemudres hovedsakelig bestod av sand som raskt sedimenterer. I tillegg virvlet gravemudringen opp relativt lite partikler sammenlignet med sugemudringen, der massene ble sluppet fritt ut i vannet bak mudringsfartøyet. Ut fra de visuelle observasjonene av mudring med visirgrabb var den mest kritiske

operasjonen tømning av visirgrabben i "subsea" konteiner (Figur 19). Denne operasjonen bør forbedres med senere bruk av denne teknologien. Mudring med visirgrabb var relativt godt egnet til denne typen sandige, harde og kompakte sedimenter på stort vandyp. Dette utelukker ikke at det er stor fare for spreng av forurensning ved bruk av denne teknikken. Det bør påpekes av denne metoden ikke trenger å fungere på samme måte i områder med andre typer sedimenter.



**Figur 18.** Mudring av forurensede sedimenter med visirgrabb.



**Figur 19.** Tømning av visirgrabb i konteineren.

#### *Sugemudring*

Sugemudring av rene sedimenter ble gjort etter at det forurensede overflatelaget var fjernet med visirgrabb. Denne metodikken medførte stor partikkelspreng og bør ikke benyttes på samme måte senere til tross for at sedimentene som mudres er rene. Dette fordi det er stor fare for forurensede overflatesedimenter raser inn fra sidene og forurenses de rene massene. Dersom det gjøres tiltak for å hindre innblanding av forurensede masser kan teknikken vurderes på nytt.



**Figur 20.** Sugemudring av rene sedimenter

## 4.6 Oppsummering av miljøovervåkingen

### *Vannprøvetakingen*

- Nivåene av kvikksølv i vannprøver varierte fra lite til meget sterkt forurenset. Høyest kvikksølvkonsentrasjon i vannmassene ble påvist ved gravemudring av forurensete overflatesedimenter.
- Mudring av kvikksølvforurensete sedimentene medførte forhøyede kvikksølvkonsentrasjoner i vannmassene nord og nordvest for vraket.
- Vannmassene hadde ikke konstant forhøyede kvikksølvkonsentrasjoner, noe som kan indikere at det forekommer episodiske hendelser med oppvirvling av forurensete sedimentpartikler. Innblanding av forurensete masser i de rene leiremassene eller oppvirvling av forurensete sedimenter fra ROV eller annen aktivitet på sjøbunn kan muligens forårsake en slik spredning.
- Vannprøver med mye partikler hadde forhøyede kvikksølvkonsentrasjoner. Dette indikerer at partiklene som virvles opp hadde forhøyede kvikksølvkonsentrasjoner.

### *Partikkelspredning*

- Fjerning av sedimenter ved akterskipet for å komme til ubåtens kjøparti førte til spredning av partikler ut over det området som var avgrenset som tiltaksområde.
- Spredningen skjedde hovedsakelig mot nord, nordvest og øst.
- Partiklene spredde seg under sugemudringsarbeidene opp til 30 meter over sjøbunn. Dette kombinert med sterk strøm gjorde at partiklene kunne transporteres langt vekk.
- Ved fjerning av forurensete masser ble det kun påvist en liten og kortvaring øking i partikkelmengden i bunnvannet rett nord for arbeidsområdet. Dette kan trolig forklares med at de forurensete overflatesedimentene hovedsakelig består av sand og grus som raskt sedimenterer. I tillegg ble ikke partiklene under gravemudringen virvlet like mye opp som under sugemudringen.
- Arbeid ved vraket av U-864 kan trolig ikke gjøres uten at det er stor fare for spredning av kvikksølvforurensete partikler.

### *Sedimentfeller*

- Partikler som akkumulerte i sedimentfellene, hadde kvikksølvkonsentrasjoner som tilsvarte tilstandsklasse III til V (markert til meget sterkt forurenset). Dette indikerer at det under mudringsarbeidene foregikk spredning av forurensete partikler ut over det arealet som var karakterisert markert til meget sterkt forurenset.
- Høyest kvikksølvkonsentrasjon og mest materiale ble observert i sedimentfellene nærmest arbeidsområdet.
- Sedimentfellene sør og sørvest for mudringsområdet hadde lite materiale og lavest kvikksølvkonsentrasjon.

Resultatene fra overvåking av mudringsoperasjonen indikerer at det er meget vanskelig å gjennomføre en mudring ved vraket av U-864 uten at det foregår spredning av kvikksølv. En bør derfor ved senere arbeider i størst mulig grad unngå å mudre sedimentene.

## 5. Strømmålinger

### 5.1 Bakgrunn

Området utenfor Fedje der vraket av U-864 ligger, er kjent for å være et området med sterk strøm. Strømretning og strømhastighet i vrakområdet er viktig å måle for å kunne forutsi retning for transport av kvikksølv og for å kunne vurdere grad av erosjon i området dersom det skulle bli aktuelt å dekke til vraket. Kunnskap om strømforholdene i området vil også være viktig i forbindelse med større undervannsoperasjoner som heving av vraket.

Målinger av strømforholdene rundt vraket av U-864 ble gjennomført ved 4 stasjoner (OV-1, OV-3, OV-5 og OV-7, se Figur 9) i perioden fra 4/9-06 til 16/9-06. Det ble benyttet 3 RCM9 punktmålere som målte strømhastigheten ca. 2,5 meter over sjøbunn og en profilerende strømmåler (Aquapro) som målte strømhastighet og retning i flere vannlag opp til ca. 40 meter over sjøbunnen. Målerne gjorde en ny registrering annethvert minutt. Alt utstyr ble plassert ut ved hjelp av ROV. Aquapro setup et vist i vedlegg A.

### 5.2 Resultater fra strømundersøkelsene

Profilerende strømmålinger øst for vraket viste at strømhastighetene i bunnvannet (Figur 24) var lavere enn 20 (Figur 25) og 40 meter (Figur 26) over bunnen. Gjennomsnittshastighetene i bunnvannet var på ca. 0.1 m/s, mens den ca 40 meter over sjøbunn var ca 0.3. Maksimal observert strømhastighet 40 meter over sjøbunn var på 1.6 m/s. Strømretningen i bunnvannet var mer stabil mot nordvest, sammenlignet med vannmassene 40 meter over bunnen. Den dominerende strømretningen 40 meter over sjøbunnen var fremdeles mot nordvest.

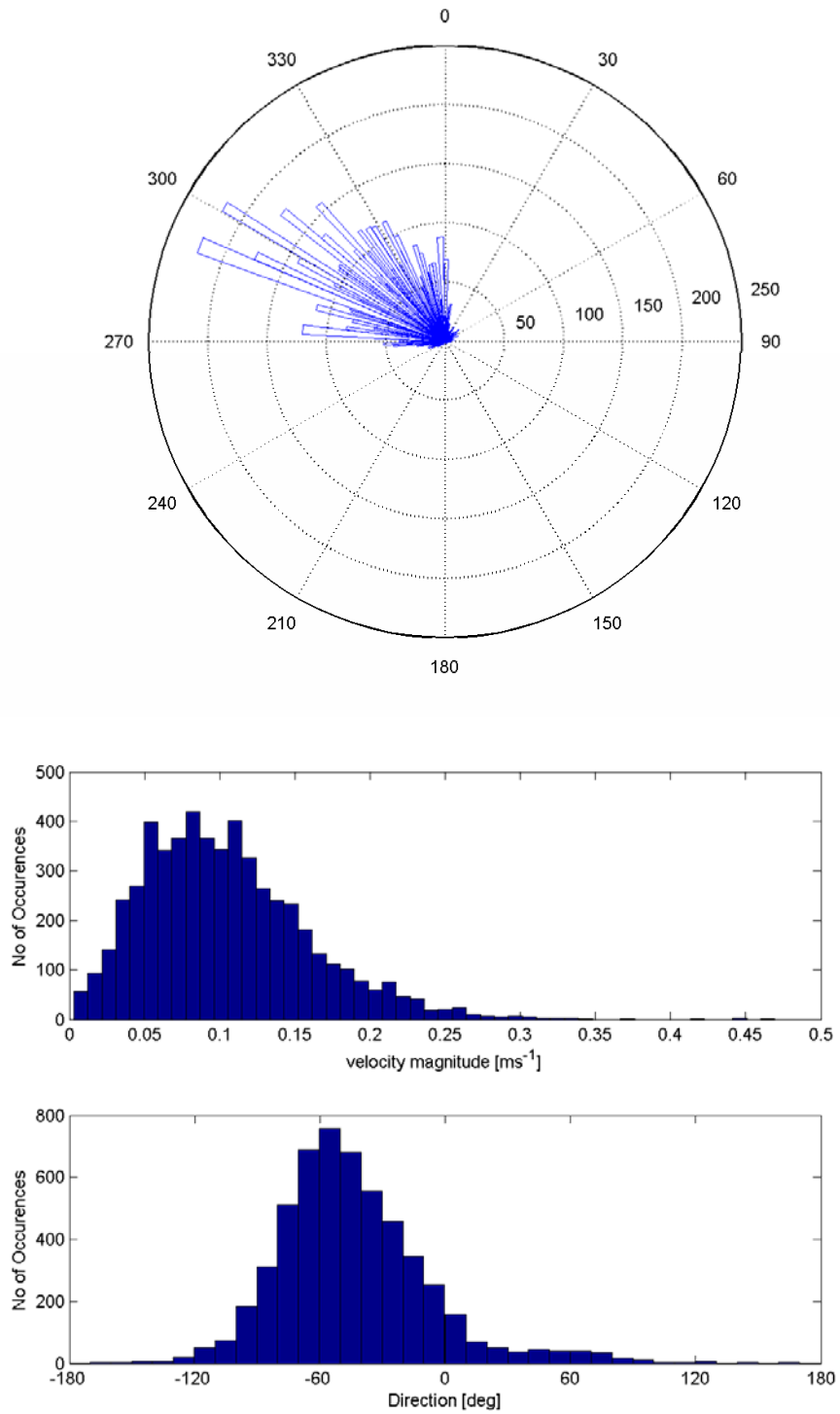
Punktmålerne viste alle en dominerende nordvestlig strømretning i bunnvannet. Målingene foretatt ca 60 meter nord for vraket (OV-5) viste en mer vestlig retning enn de andre. Årsaken til dette er trolig at bunnstrømmen i dette området følger det nordvest-sørøstlige dalføret nord for vraket. Maksimal observert strømhastighet i bunnvannet var på 0.87 m/s (OV-5), mens den gjennomsnittlige strømhastigheten var 0.1 m/s (Tabell 6).

Tabell 6 gir en statistisk sammenstilling av strømdataene gjennom hele måleperioden.

**Tabell 6.** Oversikt over maksimum, minimum og gjennomsnittshastigheten ved 4 overvåkningsstasjoner i perioden fra 2/9-06 til 16/9-06.

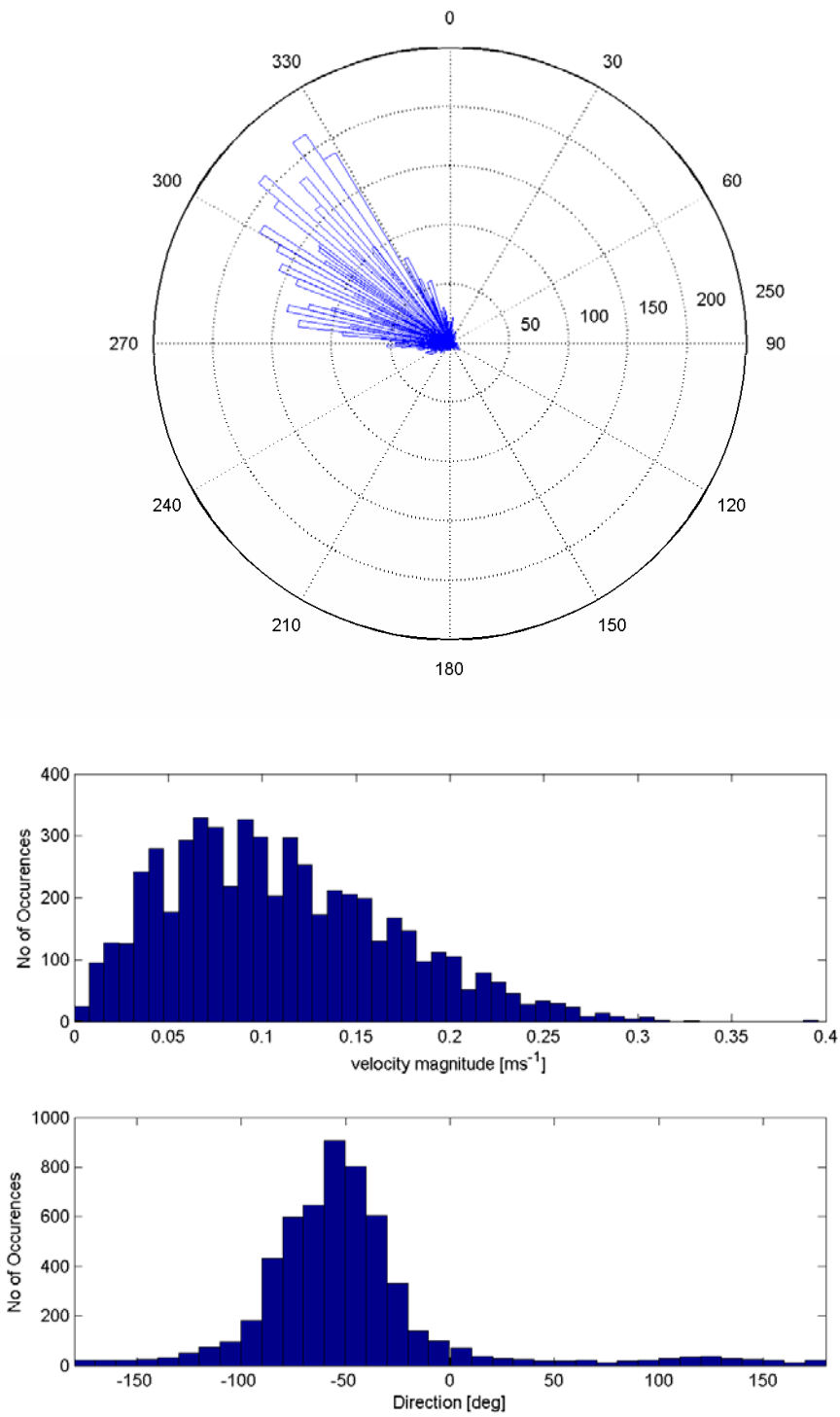
Stasjon	Maks hastighet [m/s]	Min. hastighet [m/s]	Gjennomsnittshastighet [m/s]
OV-1 (RCM-9 1346)	0.46	0.0029	0.1
OV-3 (RCM-9 635)	0.39	0	0.1
OV-5 (RCM-9 225)	0.87	0	0.1
OV-7 (AQUAPRO 3 m over sjøbunn)	0.46	0	0.1
OV-7 (AQUAPRO 20 m over sjøbunn)	0.73	0	0.2
OV-7 (AQUAPRO 40 m over sjøbunn)	1.60	0	0.3

OV-1 (RCM-9 N346)



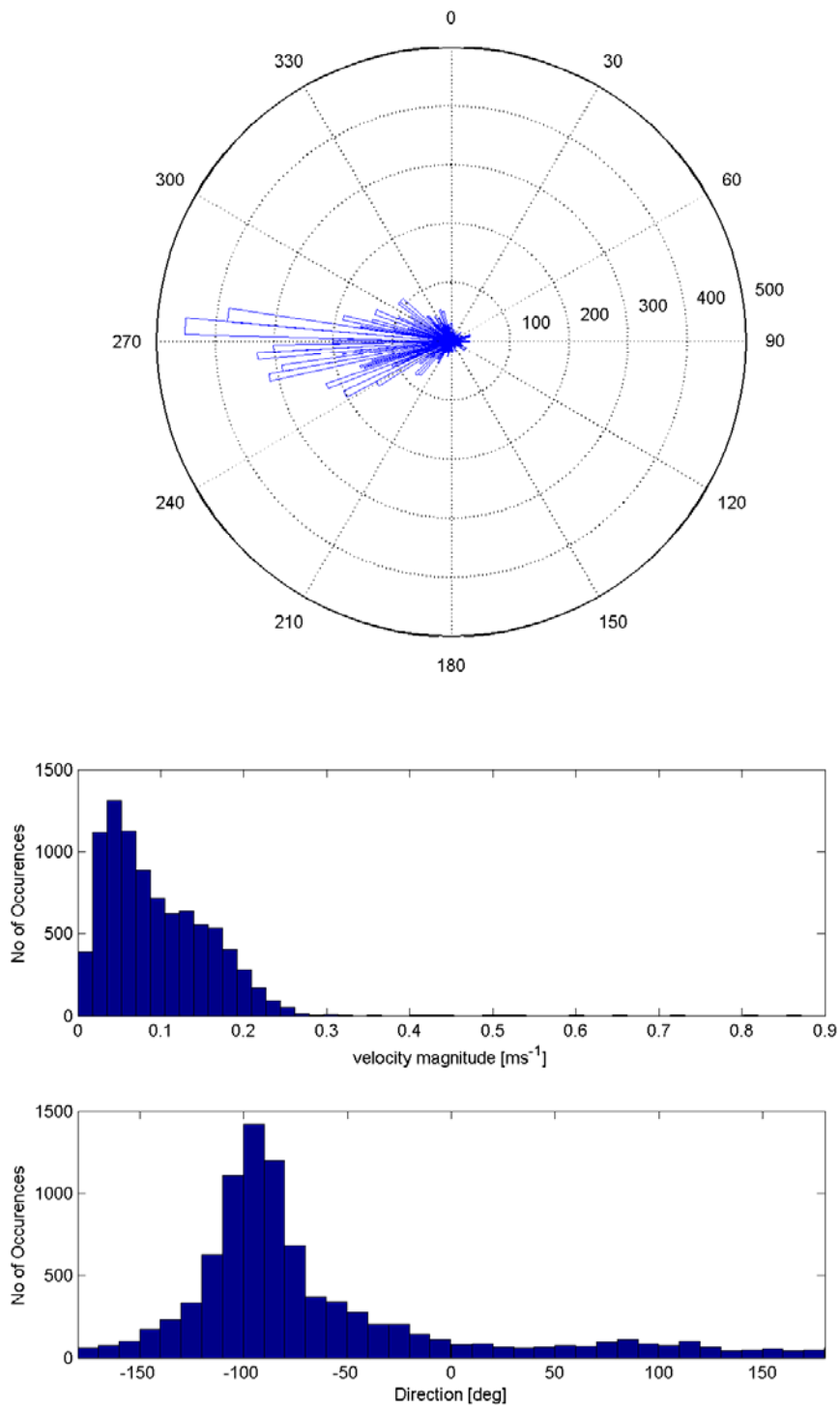
**Figur 21.** Strømmålinger ved overvåkningsstasjon OV-1(RCM-9 1346). Figuren viser dominerende strømretning og frekvens til de ulike hastighetene. Gjennomsnittshastighet = 0.1 m/s og maksimumshastigheten = 0.46 m/s.

OV-3 (RCM-9 635)

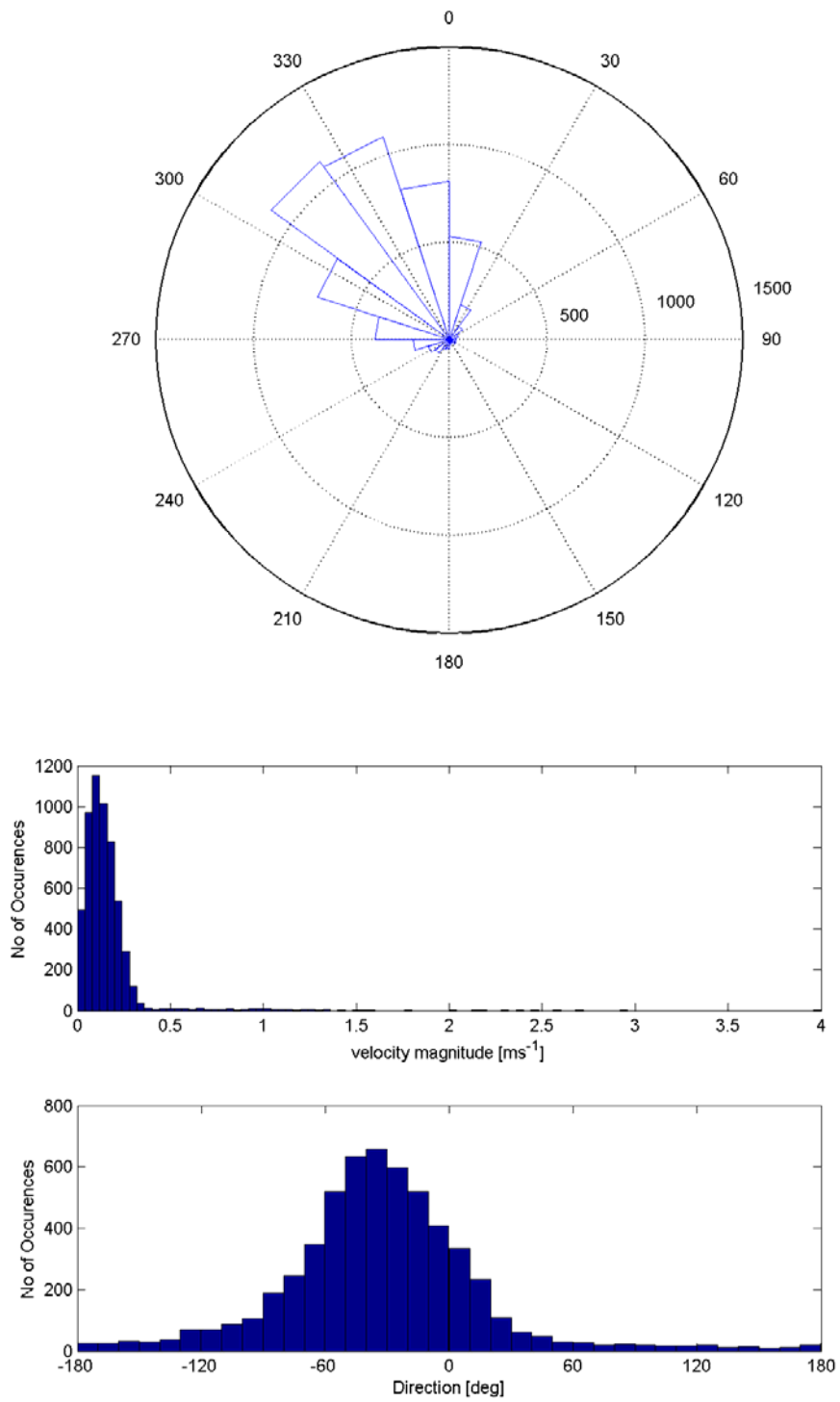


**Figur 22.** Strømmålinger ved overvåkingsstasjon OV-3 (RCM-9 635). Figuren viser dominerende strømretning og frekvens til de ulike hastighetene. Gjennomsnittshastighet = 0.1 m/s og maksimumshastigheten = 0.39 m/s.

OV-5 (RCM-9 225)

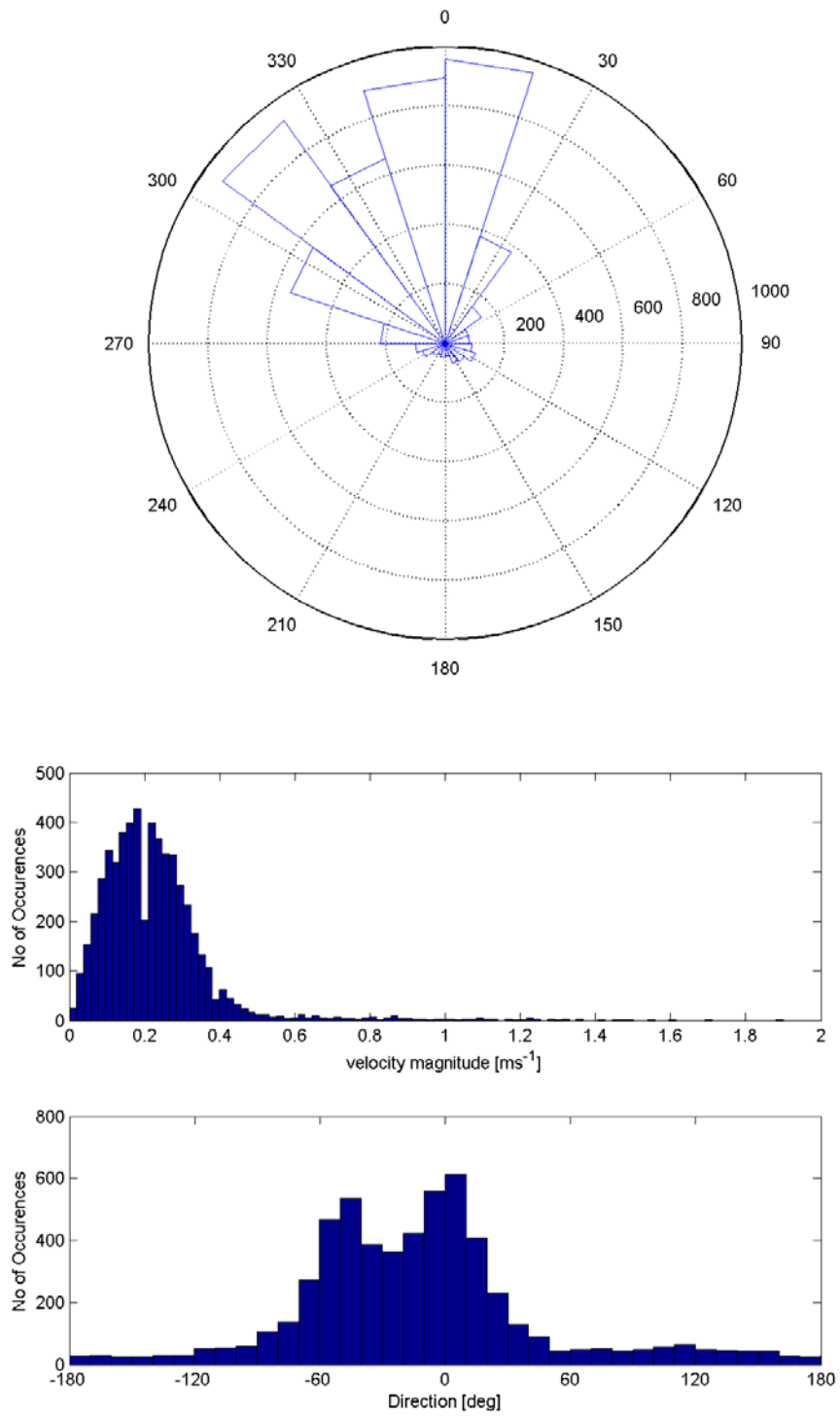


**Figur 23..** Strømmålinger ved overvåkingsstasjon OV-5 (RCM-9 225). Figuren viser dominerende strømretning og frekvens til de ulike hastighetene. Gjennomsnittshastighet = 0.1 m/s og maksimumshastigheten = 0.87 m/s.

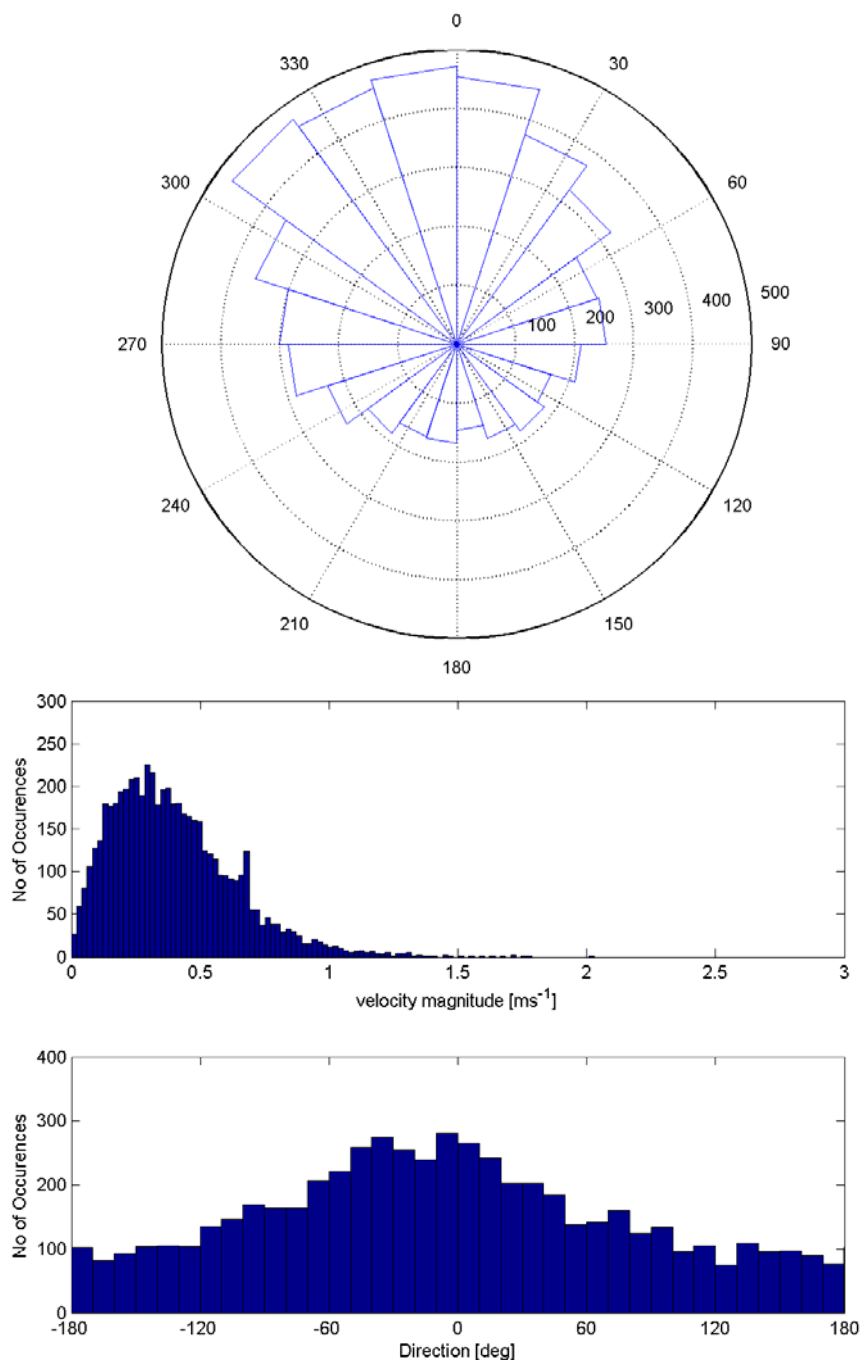


**Figur 24.** Strømmålinger 3 meter over sjøbunn ved overvåkingsstasjon OV-7 (Aquapro). Figuren viser dominerende strømreretning og frekvens til de ulike hastighetene. Gjennomsnittshastighet = 0.1 m/s og maksimumshastigheten = 0.46 m/s.





**Figur 25.** Strømmålinger 20 meter over sjøbunn ved overvåkningsstasjon OV-7 (Aquapro). Figuren viser dominerende strømmretning og frekvens til de ulike hastighetene. Gjennomsnittshastighet = 0,2 m/s og maksimumshastigheten = 0,73 m/s.



**Figur 26.** Strømmålinger 40 meter over sjøbunn ved overvåkningsstasjon OV-7 (Aquapro). Figuren viser dominerende strømrretning og frekvens til de ulike hastighetene. Gjennomsnittshastighet = 0,2 m/s og maksimumshastigheten = 1,60 m/s.

### 5.3 Oppsummering av strømundersøkelsene

- Strømrretningen i bunnvannet var veldig stabil mot nordvest.
- Strømhastighetene avtok gradvis fra 40 meter over sjøbunnen og ned mot bunnen. Ved bunnen var gjennomsnittshastigheten ca. 0,1 m/s, mens den 40 meter over sjøbunnen var ca. 0,3 m/s.
- Maksimum observert strømhastighet i bunnvannet var 0,87 m/s, mens maksimal observert strømhastigheten 40 meter over sjøbunn var 1,6 m/s.

## 6. Tildekking av forurensede sedimenter

### 6.1 Vurdering av type tildekkingsmasser

Statens forurensingstilsyn (SFT) har utarbeidet en rapport (TA2143-2005) som beskriver kunnskapsbehovet ved valg av dekkmasser. Det er et behov for dokumentasjon av:

- Materialets fysiske egenskaper
- Materialets kjemiske og innovative egenskaper
- Materialets effekt på organismer

Basert på eksisterende kunnskap og informasjon er det gjennomført en vurdering av tildekking av forurensede sedimenter, innkapsling av vraket, mudring og tiltakskostnader knyttet til vraket av U-864 (Uriansrud & Skei 2006). Denne rapporten oppsummerer også resultatene fra litteraturstudier om tildekking og mudring av forurensede sedimenter. I tillegg ble det gjennomført eksperimentelle undersøkelser der meget sterkt kvikksølvforurensede sedimenter ble dekket til med ulike dekkmasser (sand, olivin, aluminiumsoksid/bauxitt). Dette for å kunne komme med anbefalinger knyttet til egnede dekkmasser rundt vraket av U-864.

#### 6.1.1 Materialets fysiske egenskaper

Materialets fysiske egenskaper er både knyttet til materialets evne til å motstå erosjon/oppvirvling, sedimenteringsegenskaper ved utlegging av laget, evnene til å unngå utrasninger og evnen til å redusere utlekking(isolere) av miljøgifter.

Materialer som søkes brukt som dekkmasser må ha tilstrekkelig dokumentasjon/informasjon om massens opphav, eventuelt prosessering, samt en basiskarakterisering av materialet. Materialer kan forkastes på grunnlag av innhold av totalt organisk karbon (> 0,5 %), tilstedeværelse av potente antropogene miljøgifter (overskridelse av tilstandsklasse 1, SFT 97:03) og kornstørrelse. Materialer som ikke forkastes av de nevnte årsaker, kan karakteriseres som egnet under forutsetning av at innholdet av miljøgifter er i tilstandsklasse 1 (Molvær et al. 1997). Materialer som ikke forkastes må gjennomgå videre testing.

Det er viktig å gjøre en grundig vurdering av forholdene på stedet som skal tildekkes. Det gjelder spesielt fysiske forhold (f.eks. strømforhold, tidevann, bunntopografi, vanddyp, sedimentstabilitet, utrasningsfare og mulig grunnvannsutstrømming). De fleste av disse parametrene er godt kartlagt rundt vraket av U-864 (Geoconsult rapport 2005, Uriansrud et al. , 2005, Kapittel 3 og 5 i denne rapporten). Sterkt skrånende bunn, stort vanddyp og sterk strøm medfører store utfordringer ved utlegging av et dekklag rundt U-864. Dekklag er generelt enklere å etablere i lav-energiområder. Men de kan også etableres i strømrrike områder forutsatt at kornstørrelsen er tilpasset strømforholdene. I tillegg bør kornfordelingen på dekklaget være slik at den i minst mulig grad tillater diffusjon og adveksjon av kvikksølv gjennom dekklaget. Tabell 7 viser egnet kornfordeling på dekkmasser i forhold til kornfordelingen i de forurensede sedimentene som skal dekkes til. De forurensede sedimentene rundt vraket av U-864 består hovedsakelig av sand og grus.

**Tabell 7.** Skjematisk framstilling av dekkmassenes fysiske egnethet i forhold til det forurensede sedimentets fysiske egenskaper (fra TA 2143-2005). Tabellen tar ikke hensyn til materialets egnethet i forhold til å hindre spredning av miljøgifter gjennom dekklaget. Rød kvadrat indikerer kornfordelingen som kan være egnet for tildekking av forurensede sedimenter ved vraket av U-864.

		Tildeckingsmaterialer				
		Grusig	Sandig	Siltig	Leirig	
forurensede sedimenter	Grusig	Meget godt	Godt	Ikke egnet	Ikke egnet	Primærlag
		Kan brukes	Kan brukes	Ikke egnet	Ikke egnet	Sekundærlag
	Sandig	Kan brukes	Meget godt	Ikke egnet	Ikke egnet	Primærlag
		Meget godt	Meget godt	Kan brukes	Ikke egnet	Sekundærlag
	Siltig	Ikke egnet	Kan brukes		Ikke egnet	Primærlag
		Ikke egnet	Godt	Meget godt	Kan brukes	Sekundærlag
	Leirig	Ikke egnet	Ikke egnet	Kan brukes		Primærlag
		Ikke egnet	Ikke egnet	Godt	Meget godt	Sekundærlag

### 6.1.2 Materialets kjemiske egenskaper

Ved laboratorietesting av ulike materialer vår/sommer 2006 (Uriansrud & Skei 2006) ble det vist at tildekking av kvikksølvforurensede sedimenter var tilnærmet 100 prosent effektiv. Dette til tross for at laget som ble benyttet ved eksperimentene var betydelig tynnere (ca. 10 cm) enn det som vil være aktuelt å benytte ved tildekking av kvikksølvforurensede sedimenter rundt vraket av U-864 (ca. 50 cm).

Transport av kvikksølv gjennom dekklaget vil på lang sikt kontrolleres av diffusjonshastigheten gjennom dekklaget. I kompaksjonsfasen (ca. 0- 1 år) vil hovedmekanismen for transport inn i dekklaget være adveksjon (utpressing av forurenset porevann på grunn av tyngden av dekklaget). Diffusjonshastigheten til kvikksølv er avhengig av blant annet konsentrasjonsgradienter (konsentrasjonen i sediment, porevann og overliggende sjøvann) og egenskapene til materialet som forbindelsene transporteres igjennom (sediment). I tillegg vil ulike kvikksølvforbindelser ha forskjellige diffusjonsrater. Analyser av porevannet i sedimenter fra Fedje høsten 2005 viser at porevannet kan ha ekstremt høye kvikksølvkonsentrasjoner (22.800 ng/l). Spredning ved diffusjon avtar proporsjonalt med mektigheten av dekklaget. I tildekkingsforsøket gjennomført ved NIVAs Marin Forskningsstasjon på Solbergstrand vår/sommer 2006, ble det ikke påvist transport av kvikksølv fra de meget sterkt forurensede sedimentene og inn i dekklaget. Dette indikerer at tildekkingsmassene holder tilbake kvikksølvet og fungerer som ønsket i løpet av den perioden som eksperimentet vedvarte (2 måneder).

Hvis dekkmassen er finkornet, kan det medføre at det underliggende kontaminerte sedimentet endrer seg fra å være oksisk til å bli anoksisk ved at transporten av oksygen gjennom dekklaget reduseres. Det kan bety at de kjemiske forholdene i det forurensede sedimentet endres og at noen forurensingskomponenter blir mer mobile, mens andre kan bli mindre mobile. Kunnskap om de geokjemiske prosessene er derfor viktig. For kvikksølv kan en reduksjon i oksygentilførselen føre til økt metyllering som følge av tilstedeværelse av anaerobe bakterier (sulfatreduserende bakterier, SRB). Men samtidig vil en tildekking av kvikksølvholdige sedimenter føre til at tilgangen på "ferskt" organisk materiale, som er nødvendig for å stimulere den bakterielle aktiviteten, reduseres, noe som

medfører at metylleringsraten også kan reduseres. I tillegg kan kvikksølv ( $\text{Hg}^{2+}$ ), dersom det oppstår anoksiske forhold, reagere med sulfid og danne tungt løselige sulfidforbindelser. Dette kan igjen redusere mengden kvikksølv i porevannet og dermed også fluksen av kvikksølv fra sediment til vann.

Det kan være ønskelig å legge på to lag, et primærlag som har mest mulig like hydrauliske egenskaper som de forurensede sedimentene (sand), og et sekundærlag som fungerer som et stabiliserende lag i tilfelle fare for erosjon. Ukontrollert utstrømning av forurenset porevann i vannmassene kan skje ved utrasning eller utglidning. Er det fare for slike bevegelser i sedimentene bør forstøttinger vurderes. Det bør derfor gjøres en grundig vurdering av stabilitetsforholdene på stedet i forbindelse med utlegging av dekkmasser.

### **6.1.3 Materialets effekt på organismer**

Får å avdekke om dekkmaterialet har potensielle negative effekter på organismer må materialet analyseres for miljøgifter. Uansett vil en tildekking av et ca 30.000 m<sup>2</sup> stort areal rundt vraket av U-864, vil føre til endring i bunnssubstratet og dermed også det biologiske habitatet. I tillegg vil organismer som lever i sedimentene innenfor det forurensede arealet i dag begraves under dekklaget.

Under selve utleggingen av dekklaget vil det trolig forekomme forhøyede partikkelkonsentrasjoner i tildekkingsområdet og tilstøtende arealer. Dette kan ha negative effekter på fisk og føre til nedslamming av organismer. Dette er negative effekter som må aksepteres dersom det skal gjennomføres tildekking av de forurensede sedimentene.

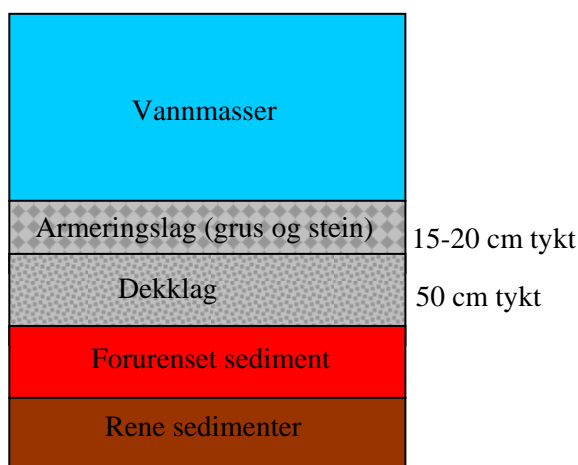
### **6.1.4 Utforming av dekklaget**

Dekklaget har som hovedmål å redusere mulighetene for at organismer som lever i sediment-vann overgangen eksponeres for de forurensede sedimentene. Dette er viktig for å redusere muligheten for at kvikksølvet overføres fra sediment via sedimentlevende dyr til fisk og skalldyr (sjømat). I tillegg reduserer dekklaget diffusjon av kvikksølv fra sediment til vann og muligheten for spredning av forurensede partikler.

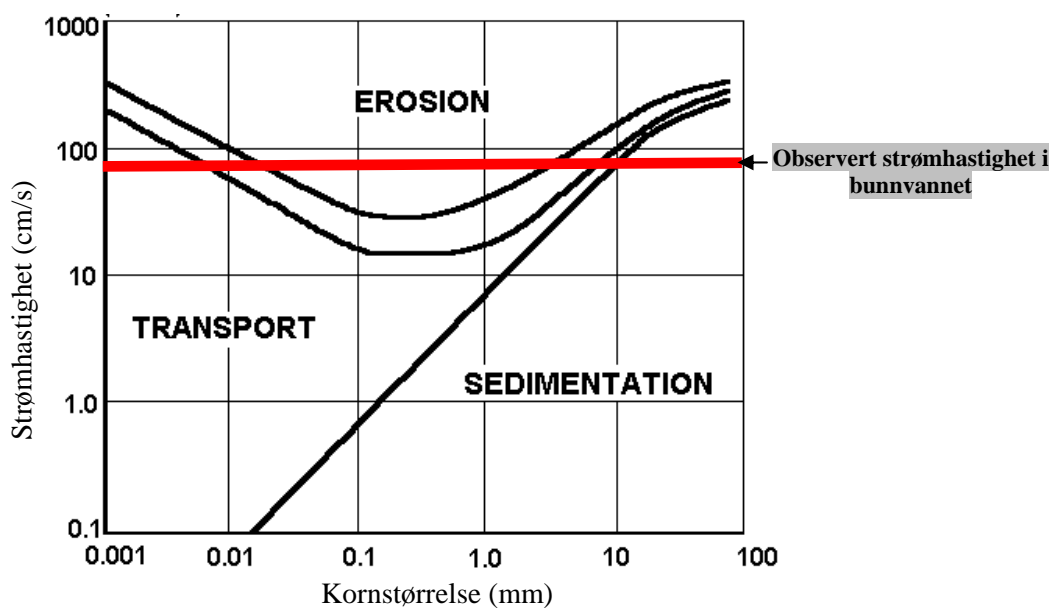
Dekklaget laget må være så finkornet at det i mest mulig grad isolerer kvikksølvet, men ikke så finkornet at det vil transporteres bort fra området under utlegging. Hjulstrøms diagram (Figur 28) benyttes ofte til å illustrere om et korn med gitt kornstørrelse kan forventes å sedimenteres, transporteres eller eroderes som funksjon av strømhastigheten langs bunnen. Ved vraket av U-864 utenfor Fedje er maksimum observert strømhastighet i bunnvannet målt til ca 87 cm/s (markert med rød linje i Figur 28). Figur 28 viser at tildekkingsmassene må ha en kornstørrelse på > ca 7-10 mm for å unngå å bli transportert bort. Dersom et tildekkingslag kun består av partikler med en kornstørrelse på > 10 mm vil mye av de absorberende egenskapene til laget forsvinne og det kvikksølvforurensende porevannet transporteres lettere gjennom. En bør derfor først legge ut et dekklag bestående av mer finkornige masser (olivin) for deretter å dekke dette til med en erosjonssikring (armeringslag) bestående av partikler > 10 mm (Figur 28). Det kan med fordel blandes inn større partikler (10-100 mm) for å ta hensyn til ekstremhendelser. Utlegging steinmasser er mye benyttet i oljeindustrien i forbindelse med for eksempel tildekking av oljerørledinger. Det finnes dermed betydelig kunnskap om deponering av slike armeringsmasser.

For å best mulig isolere de forurensede massene bør dekklaget (dekklaget, Figur 27) ha en kornstørrelse som varierer fra silt (2-63  $\mu\text{m}$ ) til sand (63-2 mm). Bruk av olivin som har høy egenvekt sammenlignet med ordinær sand, kan føre til at mer finpartikulært materiale sedimenteres. Dette vil igjen kunne øke den adsorberende egenskapen til dekklaget.

Det anbefales derfor å gjennomføre utlegging av dekklag i perioder med lavest mulig strømhastigheter i området (juni-august).



**Figur 27..** Utforming av tildekkingslaget.



**Figur 28.** Hjulstrøms diagram. Diagrammet benyttes til å estimere erosjon for partikler i området mellom 1  $\mu\text{m}$  (leire, slam) og 10 cm (grov grus, knust stein). Diagrammet viser om et korn med gitt kornstørrelse kan forventes å sedimenteres, transporteres eller eroderes som funksjon av midlere strømhastighet langs bunnen av sedimentet. Diagrammet er basert på eksperimenter med sfæriske kvartskorn.

### 6.1.5 Anbefalt dekkmasse

Ut fra en helhetsvurdering av kost/nytte og egenskapene til de ulike materialene anbefales det å benytte olivin som isolerende dekkslag. Mineralet olivin har en høyere egenvekt enn ordinær sand og vil derfor være enklere å legge ut kontrollert. Jo mer finkornet massene er, jo bedre vil det holde tilbake kvikksølvet i de underliggende sedimentene. I tillegg til at olivin har godt egnede fysiske egenskaper er dette mineralet lett tilgjengelig i Norge. Det finnes flere olivinprodusenter på Vestlandet, noe som vil redusere transportkostnadene.

Før valg av leverandør må massene kontrolleres med hensyn på organisk innhold, kornstørrelse og miljøgiftinnhold. Valg av masse skal godkjennes av SFT i henhold til utarbeidede kriterier.

## **7. Forslag til program for etterkontroll og miljøovervåkning**

Uansett valg av metoder vil tiltaket bli omfattende og det vil være et presserende behov for å dokumentere både positive og negative effekter av tiltaket. Det er viktig å se overvåkingen i forhold til tre faser:

1. Dokumentere tilstanden før tiltak
2. Overvåkning i anleggsperioden
3. Overvåkning i et 10-års perspektiv

Det endelige overvåkningsprogrammet utarbeides i samarbeid med Mattilsynet, KyD og SFT.

### **7.1 Dokumentere miljøtilstanden i området før tiltak**

Det er gjort innsamling av både vann og sedimenter ved flere anledninger i nærområdet til vrakdelene av U-864. Vann og sedimentkvaliteten før tiltak bør derfor være tilstrekkelig dokumentert. Når det gjelder bakgrunnsdata for kvikksølv i sjømat (fisk og skalldyr) ble det foretatt en omfattende innsamling sommeren 2006 (NIFES). Dette vil være grunnlaget for å dokumentere miljøgevinst på lang sikt.

### **7.2 Overvåkning i anleggsperioden**

Et hvert sedimenttiltak, uansett valg av teknologi, vil trolig ha negativ effekt på vannkvaliteten i tiltaksområdet under anleggsperioden. Aktivitet på bunnen, enten det skjer i form av graving eller tildekking, vil dette føre til en oppvirvling av forurensede partikler og spredning til området rundt. Selv om denne temporære forurensningen er uunngåelig er det viktig å kunne overvåke forurensningspotensialet og vurdere risiko. Det bør derfor installeres turbiditetssensorer i randområdene og utarbeides et opplegg for vannprøvetaking for å ha kontroll på hvor mye kvikksølv som transporteres bort fra anleggsområdet. Det kan for eksempel være mulig å ha en egen ROV tilgjengelig for miljøovervåkingen. ROVen kan i tillegg til å ta vannprøver måle partikkelmengden i ulike vannlag.

#### **7.2.1 Konkretisering av måleprogram**

Det er imidlertid viktig at påvirkningen fra anleggsarbeidet er lokal og kortvarig. Dokumentasjon av effekten av anleggsarbeidet bør konsentreres om randsonen for anleggsarbeidet. Sedimentkartleggingen har så langt vist at det ikke er nevneverdig forhøyede nivåer av kvikksølv lengre enn 150 m fra vrakdelene. Vi kan derfor betrakte avstanden 150 m fra vraket som randsonen og legge overvåkingen til dette området. Etersom anleggsarbeidet vil være av begrenset varighet (måneder) vil det ikke ha noen hensikt å overvåke sedimenter og organismer (sjømat) mens tiltaket gjennomføres. Det betyr at overvåking av vannkvalitet og partikkelspredning gjenstår. Det vil være naturlig å overvåke både turbiditet (partikkelspredning), vannets innhold av kvikksølv og kvikksølvinnholdet i partikler som akkumulerer i området som ikke er karakterisert som tiltaksområde.

#### ***Vannanalyser***

Vannprøvene bør samles inn med ROV-operert vannhenter på 8-10 stasjoner (**Figur 29**) begrenset til to prøvetakingsdyp nær sjøbunnen (2 m og 20 m over bunnen). Stasjonene plasseres ut nord, sør, øst og

vest og med økende avstand fra arbeidsområdet. Det er spesielt viktig å passe på at det tas prøver i nedstrøms retning fra vraket (nordvest). Hvis det skulle oppstå markert forurensing av vannmassen i randsonen til tiltaksområdet er det grunn til å gjøre justeringer av anleggsarbeidet som avbøtende tiltak. Dette forutsetter at analyser av kvikksølv gjøres fortløpende om bord på fartøyet. Dette ble også gjennomført under feltarbeidet høsten 2006 og viste seg å fungere godt.

Frekvensen på prøvetakingen bør avpasses andre aktiviteter i området, men det bør minimum tas prøver 6 ganger i løpet av anleggsperioden.

### **Overvåkning av partikkelspredning**

I tillegg til overvåking langs randsonen 150 meter fra vraket (4 -5 stasjoner) bør det plasseres noen overvåkingsstasjoner (4-5) i nedstrøms retning lenger fra mudringslokaliteten (**Figur 29**). Målingene foretatt under arbeidet ved vraket september 2006 viste at forurensete partikler kan transporteres lenger enn randsonen på 150 m. Overvåkingene på de ulike stasjonene må i tillegg gjøres i flere vandyp. Dette fordi oppvirvlede partikler kan påvirke bunnvannet opp til 20-25 meter over sjøbunn.

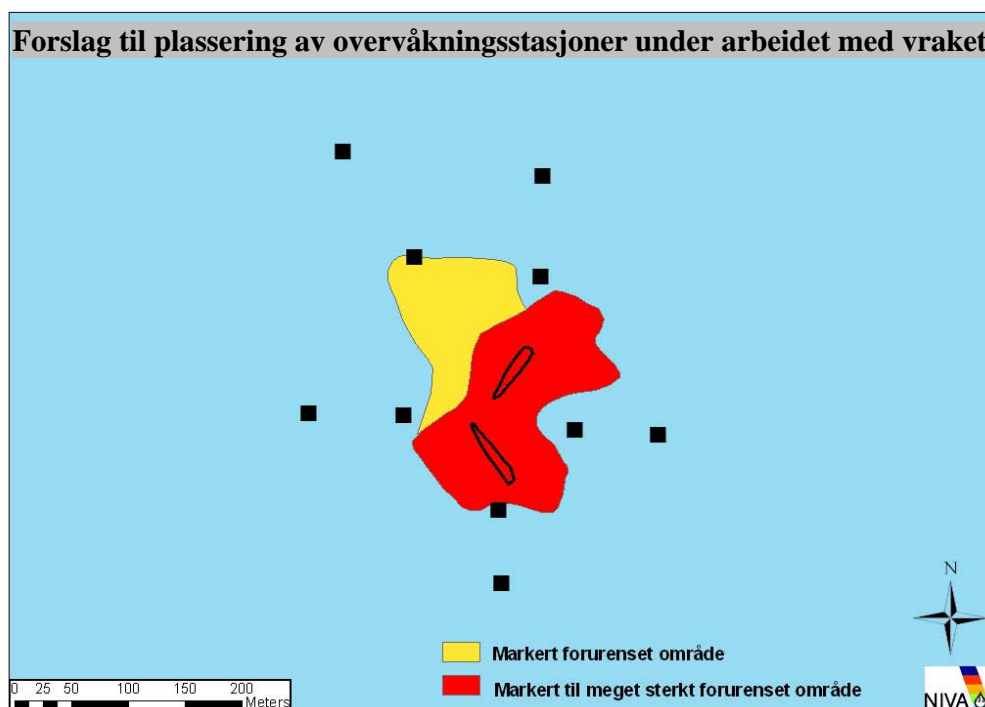
Overvåkingsriggene bør stå ute i hele anleggsperioden.

I tillegg til de stasjonære overvåkingsriggene vil der være en fordel med ROV-montert turbiditetssensor som kan gjøre målinger fra vannoverflaten og ned til sjøbunn på noen lokaliteter. Dette vil kunne gi størrelsen på partikkelskyen i vannmassene.

### **Sedimentfeller**

I tillegg til turbiditetsmålinger og vannprøver plasseres det ut sedimentfeller (10 stasjoner, **Figur 29**) for å kontrollere kvikksølvkonsentrasjonen i partiklene som akkumulerer i området utenfor tiltaksområdet. Sedimentfellene plasseres i ulik avstand fra tiltaksområdet.

Instrumentene må plasseres slik at de ikke kommer i konflikt med arbeid på vrak og i tiltaksområdet



**Figur 29.** Plassering av overvåkingsstasjoner for vannprøver og turbiditetsmålinger (partikkelspredning).



## 7.3 Overvåkning i et 10-års perspektiv

Tildekking av forurensede sedimenter som tiltaksmetode krever en langsiktig overvåkning for å dokumentere at tiltaket har varig effekt. I henhold til Palermo et al. (1999) er det behov å overvåke tildekte områder på dypt vann i en 20 års-periode. Vi har valgt å se på overvåkingen i et 10-årsperspektiv, og på bakgrunn av en evaluering etter 10 år, bør det vurderes om overvåkingen skal opphøre eller fortsette. Overvåkingen vil også kunne gi informasjon om det er behov for supplerende eller korrigerende tiltak på sikt.

En viktig del av tiltaksarbeidet er å kunne dokumentere hvordan miljøtilstanden i området blir når tiltaket er fullført. Tiltaksinvesteringene forventes å bli store og da vil dokumentasjon av miljøgevinst være påkrevet for å tilfredsstille myndighetenes og andre interessenters behov for informasjon.

Suksesskriteriene vil være flere og på ulike nivå:

1. Reduksjon i nivåer av kvikksølv i sjømat i området. Utgangspunktet er at det så langt er lite data som tyder på at det er signifikant forhøyede nivåer sammenlignet med ”ikke påvirkede områder”. Datamaterialet er sparsomt, men vil bli forsterket ved ytterligere innsamling og analyser av fisk inneværende år. Det bør sikres data som er i et slikt omfang at det lar seg behandles statistisk.
2. I henhold til SFTs tillatelse vil sedimenter som har et kvikksølvinnhold som ikke overskrider 3 mg/kg bli betraktet som rene i dette tilfelle. Et suksesskriterie vil derfor være å kunne dokumentere at ingen overflatesedimenter skal ha nivåer av kvikksølv som er høyere enn denne grensen etter tiltak. Hvis tildekking blir valgt som tiltaksmetode kan det bli vanskelig å dokumentere sedimentkvaliteten fordi det vil være behov for å legge på et armeringslag med pukk og stein over dekklaget. Det bør imidlertid la seg gjøre å komme gjennom armeringslaget enkelte steder for å ta prøver av den øvre delen av dekkmassen. Målsettingen med å legge ut et 50 cm dekklag er at dette skal fungere som en buffer mellom det forurensede sedimentet og vannmassen over. Hvis noe av kvikksølvet i det forurensede sedimentet mobiliseres så vil dette bli adsorbent i dekklaget over, fortrinnsvis i nederste del av laget.
3. Det skulle ikke være behov for overvåking av vann i denne fasen da det tidligere ikke har vært påvist forhøyede kvikksølvkonsentrasjoner i vannmassene utenom anleggsfasen.

### 7.3.1 Konkretisering av måleprogram

#### *Fisk og sjømat*

Det foreslås årlig innsamling av fisk (og eventuelt skalldyr) fra tiltaksområdet. Sammenligning av data fra fisk og skalldyr fra perioden før tiltak ble igangsatt vil indikere eventuelle effekter av tiltaket. Det bør stilles krav om at innsamlingen av prøver gjøres på samme måte som før tiltaket (undersøkelser utført av NIFES 2006). Konkretisering av måleprogram bør derfor gjøres av NIFES.

#### *Sedimenter*

Langtidsprogrammet knyttet til sedimentovervåking har to målsettinger;

- Dokumentere at kvikksølv ikke transporteres gjennom dekklaget i tiltaksområdet
- Dokumentere at sedimentkvaliteten i randsonen til tiltaksområdet (150 m fra vraket) ikke har endret seg i negativ retning som følge av tiltaket.

#### *Ved mudring*

I det området hvor det eventuelt mudres bør det direkte i etterkant av mudringen tas i størrelsen 10 overflateprøver (fem ved hver vrakdel) for å fastslå om sedimentene tilfredsstiller SFTs grense for ”rent” sediment på 3 mg/kg og dermed ikke trenger ytterligere tiltak. Et år etter at mudringen er gjennomført samles det inn i størrelsen 10 overflateprøver (fem ved hver vrakdel, samme stasjoner som direkte etter mudring) som analyseres for kvikksølv. Dette gjøres for å sjekke om sedimentene fremdeles tilfredsstiller SFTs grense for ”rent” sediment. Det vil her være behov for nøyaktig

plassering av prøvepunktene ved hver prøvetaking (f eks ROV). Dette på grunn av at det kan forekomme store variasjoner i kvikksølvkonsentrasjoner i overflatesedimentene. Det anbefales å ikke prøveta med grabb fra skip på grunn av stort dyp og avdrift fra ønsket prøvelokalitet.

#### *Ved tildekking*

I de områdene som dekkes til bør det tas noen stikkprøver med ROV-operert rørprøvetaker, hvor det tas prøver tvers gjennom armeringslaget og dekklaget og ned i det forurensede laget. Prøvene analyseres med hensyn på total kvikksølv. Målsettingen er å sjekke hvor stor del av dekklaget som er blitt kontaminert av kvikksølv. Antallet lokasjoner hvor prøver tas bør begrense seg til 5 og prøver tas årlig til at det kan dokumenteres at det ikke skjer en transport av kvikksølv gjennom dekklaget.

I tillegg til sedimentprøvetaking innenfor tiltaksområdet tas et utvalg overflateprøver i randområdet (ca. 150 m fra vraket). Prøver tas fra stasjoner hvor prøver er tatt tidligere for sammenligningens skyld og antallet begrenser seg til et 10-talls stasjoner som tas hvert tredje år.

Det bør påpekes at langtidsprogrammet for overvåkingen må være fleksibelt og at endringer kan gjøres underveis avhengig av de resultatene som framkommer

**Tabell 8.** Forslag til prøvetakingsprogram ved tildekking

Aktivitet	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Sedimentprøvetaking tildekkingslag</b>	X		X		X		X		X
<b>ROV-kontroll av dekklag</b>	X	X	X		X		X		X
<b>Sedimentprøvetaking randsone</b>	X		X		X		X		X
<b>Fisk og sjømat</b>	X	X	X	X	X	X	X	X	X

## 8. Referanser

Hjulström F. (1939): Transportation of détritit by moving water. Trask P.D., Am. Asso. Petrol. Geol., pp. 438-460 .

Julshamn K.og Klungsøy J., 2004: Kvikksølvinnholdet i filet av torsk, sei, lange og uer fanget utenfor Fedje i Hordaland. Notat NIFES/HI.

Molvær. J., Knutzen. J., Magnusson. J., Rygg. B., Skei. J.og Sørensen. J., 1997: Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Veiledning. SFT-rapport TA 1467/1997. 36s. ISBN 82-7655-367-2.

Skei. J., 2004: Analyse av sedimentprøver rundt vrak av ubåt (U-864) utenfor Fedje, Hordaland. NIVA-notat 2004.

Uriansrud, F og Skei, J., 2005a: Miljørisikovurdering av kvikksølv ved sunket ubåt U-864, Fedje i Hordaland. Fase 1: Kvikksølvkartlegging. NIVA-Rapport 5022, ISBN 82-577-4723-8.

Uriansrud, F., Schaanning, M.T.og Ruus, A., 2005b: Utlekking og bioakkumulering av kvikksølv fra sedimenter nær U-864. Resultater fra eksperimentelle undersøkelser. NIVA rapport 5089. ISBN 82-577-4795-5

Uriansrud F og Skei J.,2005c: Miljøovervåkning, sedimentkartlegging og miljørisikovurdering knyttet til Fase 1 kartlegging og fjerning av kvikksølvforurensing ved U-864. NIVA-rapport nr. 5092-2005. ISBN 82-577-4799-8.

Uriansrud, F og Skei, J., 2006. Vurderinger av tildekking av forurensede sedimenter, innkapsling av vraket, mudring og tiltakskostnader knyttet til vraket av U-864 . RAPPORT LNR 5278/2006. ISBN-82-577-5006-9

## Vedlegg A. Aquapro setup info

Profile interval	120 sec
Number of cells	20
Cell size	200 cm
Average interval	60 sec
Measurement load	50 %
Transmit pulse length	2.22 m
Blanking distance	0.50 m
Distance between pings	60.01 m
Number of beams	3
Number of pings per burst	2
Deployment time	08.09.2006 23:42:00
Number of beams	3