

NIVA



RAPPORT LNR 4643-2003

Pilotprosjekt Kristiansandsfjorden

Risiko for spredning av miljøgifter
ved oppankring av skip over
forurensede bunnsedimenter



Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5005 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-niva

9296 Tromsø
Telefon (47) 77 75 03 00
Telefax (47) 77 75 03 01

Tittel Pilotprosjekt Kristiansandsfjorden. Risiko for spredning av miljøgifter ved oppankring av skip over forurensede bunnsedimenter	Løpenr. (for bestilling)	Dato
	4643-2003	27.4 2003
	Prosjektnr. Undernr.	Sider Pris
	21366	42
Forfatter(e) Jarle Molvær Birger Bjerkeng	Fagområde	Distribusjon
	Oseanografi/Marine miljøgifter	Trykket
	Geografisk område	NIVA
	Vest-Agder	

Oppdragsgiver(e) Fylkesmannen i Vest-Agder, Kristiansand	Oppdragsreferanse
---	-------------------

Sammendrag Under oppankring av skip på to lokaliteter med forurenset bunnsediment i Vesterhavn ved Kristiansand ble det utført målinger og gjort videoopptak for å studere risikoen for oppvirvling og spredning av miljøgifter. Resultatene viser at ved opphiving av anker og kjetting er risikoen langt større enn ved nedfiring og plassering av ankeret på bunnen. Overslagsberegninger antyder at oppankring i Vesterhavn årlig medfører oppvirvling av 300-600 g nikkel, 140-320 mg av heksaklorbensen, 10 mg av PCB og 1 mg av dioksiner. Dette er vesentlig mindre (sannsynligvis $\leq 3\%$) enn direkte utslipp fra land i 2000. Den anvendte metodikken fungerte bra selv under relativt vanskelige værforhold, men det gis anbefalinger om en del klare forbedringer.
--

Fire norske emneord 1. Fjordsedimenter 2. Forurensning 3. Spredning 4. Oppankring	Fire engelske emneord 1. Fjord sediments 2. Pollution 3. Dispersion 4. Anchoring
---	--

O-21366

Pilotprosjekt Kristiansandsfjorden

Risiko for spredning av miljøgifter ved oppankring av skip over forurensede bunnsedimenter

Forord

Det foreliggende prosjekt er gjennomført for Kristiansand kommune, Miljøavdelingen, som en del av Pilotprosjekt Kristiansandsfjorden. Prosjektets hovedmål har vært en vurdering av risikoen for spredning av miljøgifter ved skipsoppankring over forurensede bunnsedimenter.

Feltarbeidet ble utført i begynnelsen av desember 2002 og vi takker Arne Skaar ved ROV og Dykkerservice, Kristiansand, for god lokal organisering av feltarbeidet og god oppfølging. Kaptein Geir Sørensen på skoleskipet "M/S Sjøkurs" gjorde en utmerket jobb under oppankringene i Kristiansandsfjorden. Harald Schjelderup i Norske Skjell DA manøvrerte "Negro" på en upåklagelig måte under vanskelige værforhold.

Lars Berg-Christensen, Sørlandskonsult as, har på en prikkfri måte fulgt opp prosjektet på vegne av vår oppdragsgiver.

Ved NIVA deltok Birger Bjerkeng i feltarbeidet, har i ettertid utført en vesentlig del av databehandlingen og har arbeidet med rapporten. Jarle Molvær planla feltarbeidet og har hatt hovedansvaret for rapporten foruten å være prosjektleder.

Oslo, 27.4 2003

Jarle Molvær

Innhold

Sammendrag	6
Summary	8
1. Innledning	9
1.1 Bakgrunn	9
1.2 Formål	9
2. Metodikk og data	10
2.1 Forstudien	10
2.2 Feltundersøkelsen	10
2.2.1 Værforhold	10
2.2.2 Instrumenter som ble brukt	12
2.2.3 Målinger og prøvetaking 1-2.12 2002	14
3. Resultater	17
3.1 Vannmassene i Vesterhav	17
3.2 Strømmens retning og hastighet under ankringsforsøkene	18
3.3 Ankringsted B	20
3.3.1 Vurdering av strømforhold	20
3.3.2 Bruk av ROV	20
3.3.3 Turbiditet	24
3.3.4 Vannprøve	28
3.4 Overdekkingsområdet	29
3.5 Ankringssted C	30
3.5.1 Vurdering av strømforhold	30
3.5.2 Turbiditet	30
3.5.3 Vannprøve	34
4. Sammenfattende vurderinger	35
4.1 Delmål 1: Vurderinger av risiko for spredning av miljøgifter ved skipsoppankring	35
4.2 Delmål 2: Framskaffe opplysninger om ankring kan skade overdekking av forurensede bunnsedimenter	37
4.3 Delmål 3: Utprøving av metodikk	37
4.4 Oppsummering	38

5. Litteratur	38
Vedlegg A. Feltlogg for 2.12 2003	39
Vedlegg B. Beskrivelse av ROV	40
Vedlegg C. Tilleggsfigurer	41

Sammendrag

Bakgrunn og Formål:

I mange norske havner inneholder bunnsedimentene store mengder av miljøgifter, og generelt ansees det som uheldig at disse sedimentene virvles opp og spres i vannsøylen. Dette kan imidlertid skje som følge av oppankring av skip, når ankeret treffer bunnen og når anker og kjetting hives opp. Det foreliggende prosjektet hadde som hovedmål å gi et grunnlag for å bedømme risikoen for spredning av miljøgifter ved slik skipsoppankring. Et annet viktig mål var utprøving av metodikk for å kartlegge og kvantifisere slik spredning.

Feltarbeidet:

Feltarbeidet ble gjennomført i desember 2002 med oppankring av M/S "Sjøkurs" på 1432 bruttotonn på to av lokalitetene som havnemyndighetene bruker for oppankring i Vesterhavn ved Kristiansand. I 2001 ble gjort undersøkelser som viste at bunnsedimentene her er betydelig forurenset av nikkel, PCB og av heksaklorbensen. Under nedfiring og oppheising av anker og kjetting ble gjennomført strømmålinger, målinger av turbiditet, innsamlet vannprøver og brukt ROV (Remote Operated Vehicle) for video-opptak. Værforholdene var ikke optimale for en slik studie.

Resultater:

Resultatene viser at med den type sedimenter som finnes på de to ankringsstedene ble en betydelig mengde bunnsedimenter revet løs fra bunnen og spredt i vannsøylen under oppheising av kjetting og anker. Nedfiring av ankeret medførte langt mindre oppvirvling og spredning av partikler. Samlet sett kunne det dreie seg om løsriving og spredning av i størrelsesorden 60 l bunnsediment ved hver oppankring.

Opplysninger fra Kristiansand havnevesen tyder på at det skjer 20-25 oppankringer pr. år. Skipenes størrelse varierer og ankringsstedene varierer, men en størrelsesorden av oppvirvlet mengde fra 20-25 oppankringer kan være:

Nikkel:	300-600 g
Sum PCB ₇ :	10 mg
HCB:	140-320 mg
Dioksiner:	1 mg

Dette er vesentlig mindre (sannsynligvis $\leq 3\%$) enn utslippene fra land i 2000. Målingene gir ikke grunnlag for noen god bestemmelse av sedimenteringen av oppvirvlet materiale, men sannsynligvis vil det meste av oppvirvlet sediment fra selve oppankringen synke fort til bunns igjen. Ved opphiving av anker og kjetting kan sedimentene spres i hele vannsøylen og den horisontale spredningen blir langt større enn når ankeret legges ut.

Erfaring med metodikk:

Feltundersøkelsen ble gjennomført under forholdsvis vanskelige forhold, men gav verdifulle erfaringer mht. valg av metodikk for slike studier:

1. Fordi mange oppgaver må gjennomføres på kort tid er det viktig med tilstrekkelig antall personer som har oversikt og forståelse for hva som skal gjøres som kan tilpasse feltmålingene i forhold til dette. I vårt tilfelle kunne det med fordel vært en mann til.
2. Man leter etter en forholdsvis liten sky av partikler som beveger seg i 3 dimensjoner. Dette gjør at fortløpende og rask posisjonsbestemmelse er viktig. Bruk av GPS sammen med registreringene av turbiditet fungerte bra.
3. Manglende kjennskap til strømretning og strømhastighet i vannmassen nær bunnen var et svakt punkt. Ved senere anledninger må man forsøke å framskaffe slik informasjon, om ikke annet enn ved bruk av strømkors.

4. Bruk av ROV var meget nyttig og bør brukes ved andre anledninger. Metodikken kan forbedres mye. Spesielt nevner vi:
- Det tok for lang tid å manøvrere ROV i posisjon før ankring,
 - Ved flere anledninger var inntrykket at propellene som ble brukt i manøvreringen medførte stor oppvirvling av bunnslam. Dette bør kunne unngås ved mer forsiktig manøvrering.
 - Videobildene kan forbedres ved noe bedre og raskere manøvrering av ROV og ved at operatøren har en klarere forståelse av hvilken type av bilder som vil være nyttig.

Summary

Title: Pilot project Kristiansandsfjord. An study of resuspension and spreading of contaminants from anchoring on polluted fjord sediments.

Year: 2003

Authors: Jarle Molvær and Birger Bjerkeng

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-4307-0

In many Norwegian harbours the bottom sediments are heavily polluted. The primary goal of this project was to study the risk of resuspension and spreading of contaminants following anchoring on this type of sediments. Another goal was to test methods for quantification of the resuspension from anchoring.

The field study was carried out in the Kristiansand harbour in December 2002 where a ship of 1432 tons twice anchored on sediments polluted from nickel, PCB, HCB and dioxins. The study included measurements of current speed and direction, turbidity, temperature, salinity and water sampling for analysis of total suspended material and nickel. A ROV (Remote Operated Vehicle) was used for video documentation. The weather conditions were far from optimal.

The results indicated a resuspension of 60 l during one anchoring, where the chain brought most of the sediments into the water column. Assuming 20-25 anchoring on this type of sediments every year, an annual resuspension of

Nickel:	300-600 g
Sum PCB ₇ :	10 mg
HCB:	140-320 mg
Dioxins:	1 mg TCDF/D eqv.

is indicated. This was probably less than 3% of the landbased discharges in 2000.

During such a study the time factor is important as many measurements must be carried out over a short time, at the right positions and depths. The instrumentation, man-power and planning must be adequate for this task. In this case a combination of GPS positioning and rapid turbidity measurements worked well. In other studies one should also try to get realtime data for current direction and speed in order to know in which direction the particles are moving. The ROV was very useful, but the method can be improved.

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

I mange norske havner er konsentrasjonen av miljøgifter så høye at myndighetene har innført kostholdsråd eller restriksjoner på omsetning av fisk eller skalldyr. I disse områdene inneholder bunnsedimentene høye konsentrasjoner av organiske miljøgifter og/eller metaller og man regner med at utlekking eller opptak av disse miljøgiftene i betydelig grad bidrar til forurensingen av marine organismer.

Kristiansandsfjorden har vært belastet med tilførsler av både tungmetaller, PAH og klororganiske forbindelser og flere undersøkelser har vist at sedimentene i indre deler er til dels sterkt forurenset av disse forbindelsene. Etter at det er gjennomført betydelige reduksjoner i direktetilførslene, er det sannsynlig at sedimentene kan spille en viktig rolle i å opprettholde forhøyede nivåer i organismer. Det arbeides nå med en tiltaksplan for opprydding i de forurensete sedimentene.

Oppvirvling og spredning av forurensete bunnsedimenter kan skje i forskjellige sammenhenger, og oppankring av skip er en. Sedimenter virvles opp i det ankeret treffer bunnen og sedimenter følger med anker og kjetting når disse hives opp og renner tilbake eller spyles tilbake til sjøen.

Kristiansand havn har årlig anløp av et stort antall skip. En del av disse ankrer før eller etter lasting/lossing. I hovedsak benyttes to ankringsfelt, begge med god "holdbunn" som kan tyde på forholdsvis bløte sedimenter. Området er derfor egnet for en studie av skipsoppankring og oppvirvling av forurensete sedimenter.

I Hannevika pågår et arbeid med overdekking av forurensete bunnsedimenter. Det ble ansett som viktig å få avklart om ankring vil ødelegge en slik "forsegling" av forurensete stoffer.

1.2 Formål

Formålet med denne undersøkelsen er å:

1. *Gi grunnlag for en generell vurdering av risikoen for spredning av miljøgifter ved skipsoppankring på forurensete bunnsedimenter*
2. *Framskaffe opplysninger om ankring kan skade overdekking av forurensete bunnsedimenter*
3. *Utprøve metodikk*

2. Metodikk og data

Metodemessig har prosjektet bestått av en Forstudie og en Feltundersøkelse, som beskrives kort nedenfor:

2.1 Forstudien

I denne fasen ble det innsamlet opplysninger om hvor/hvordan/hvor ofte mm. det foregår oppankringer i Kristiansand havn. Kristiansand havnevesen framskaffet kartmateriale som viste posisjonen for i alt 8 ankringsområder, samt oversikt over ankringer i tidsrommet 1.1-17.9 2002. Det var foretatt 15 oppankringer av skip med typisk størrelse 2800-2900 brutto registertonn, varierende fra 939 til 19602 tonn.

Opplysninger om sedimentenes beskaffenhet og innhold av miljøgifter ble hentet fra Næs og Rygg (2001).

Når det gjelder strømforhold er det forholdene nær bunnen som er viktigst. Vi måtte konstatere at det ikke tidligere er utført målinger av strømhastighet og strømrretning ved bunnen i det aktuelle området. Strømforholdene var dermed ukjent, men kunne antas å være svært skiftende som følge av tidevann og skiftende vindforhold.

Utover dette har vi dratt nytte av resultatene fra den studien av oppvirvling og spredning av forurenset sediment pga. skipstrafikk ved hovedkaiene til Falconbridge Nikkelverk i Vesterhavn og Elkems ASA i Fiskåbukta som NIVA gjennomførte høsten 2001 (Bjerkeng og Molvær, 2001).

2.2 Feltundersøkelsen

Feltarbeidet foregikk i tidsrommet 1.-2. desember 2002. Arbeidet ble fokusert om tre lokaliteter (se **Figur 1**):

1. Ankringsplass B
2. Et område rett sør for Falconbridges hovedkai, med overdekkede bunnsedimenter (nær Kristiansands havnevesen sin ankringsplass A)
3. Ankringsplass C

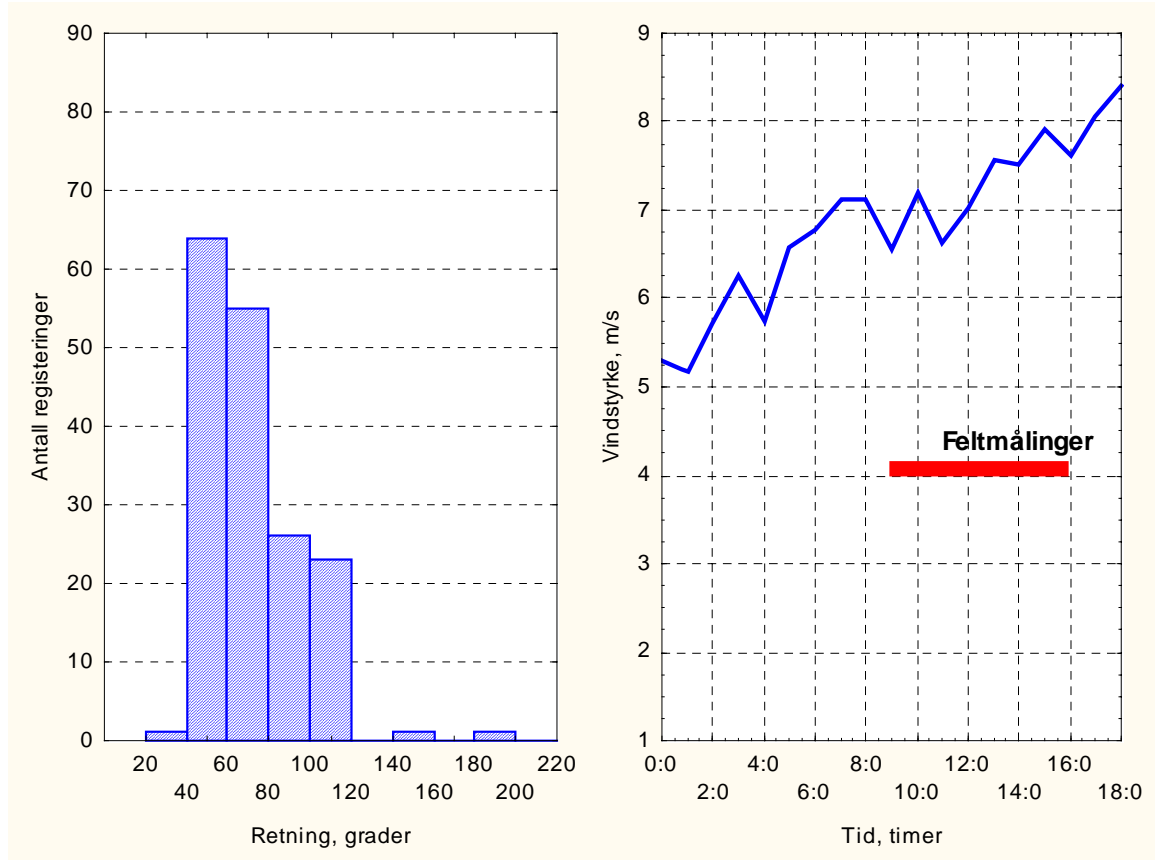
Rekkefølgen av ankringsforsøkene var 1-2-3. Til oppankringsforsøkene ble brukt skoleskipet M/S "Sjøkurs" fra Sørlandets Sjøaspirantskole, Kristiansand. Skipet er på 1432 brutto tonn og brukte det ene av ankerne under forsøkene. Det hadde vært ønskelig å benytte et skip på 2500-3000 tonn, men det var ikke praktisk mulig.

2.2.1 Værforhold

Mens målingene foregikk blåste frisk bris – liten kuling fra nordøst med regn og sludd (**Figur 2**).



Figur 1. Oversiktskart med ankringssteder (B og C) i Vesterhavnen, overdekket ankringsområde (A) i Hannevikas ytre del samt posisjon for strømmåler. Kartet viser også en del karakteristiske bunndyp.



Figur 2. Vindretning og vindstyrke den 2.12 2003. Vindstyrken er bare vist fram til kl. 18 om ettermiddagen. Tidsrommet for feltmålingene er vist med horisontal linje.

2.2.2 Instrumenter som ble brukt

Nortek Vektormåler

Denne strømmåleren bruker Dopplerprinsippet til beregning av strømhastighet og retning. Lydpulser sendes ut i en retning, og ekkoet fra partiklene i et lite målevolum (noen få cm^3) fanges opp av sensorer som står rettet på skrå inn mot målevolumet i tre forskjellige retninger. Dette brukes til å beregne 3-dimensjonal hastighet. Signalstyrken i ekkoet er et halvkvantitativt mål for partikkelmengden (ulike typer partikler kan gi ulikt ekko). Fordi alle de tre strålene fanger opp ekko fra det samme lille målevolumet, kan vektormåleren måle over svært korte tidsintervaller. Målehyppigheten kan varieres fra 1 til 64 Hz (ganger pr sekund) ved kontinuerlig måling. Den kan også innstilles på å måle med en slik frekvens over et kortere tidsrom, med en lengre pause mellom hvert måletidsrom ("Burst"-måling).

Måleren registrerer også trykk og temperatur. Temperaturmålingene gjøres mest for å korrigere lydhastigheten i vann i den omregningen instrumentet gjør fra akustiske signaler til strømhastighet, og har relativt lang tidskonstant. Den måleren som ble brukt var dessuten påmontert en Seapoint turbiditetsensor av type Seapoint SA1V.

Sonde for måling av turbiditet, temperatur og konduktivitet mellom overflate og bunn

En SensorData STD-sonde modell 204 (konduktivitet, temperatur, dyp) med påmontert turbiditetssensor av type Seapoint SA1V ble benyttet for målinger av vertikalprofiler. Sonden registrerte hvert sekund og gjennom en kabel ble dataene ble overført til en PC og framstilt grafisk. Nedfiringshastigheten ble avpasset slik at man fikk målinger med 0.2-0.3 m intervall. Dermed kunne en straks se i hvilke dyp turbiditeten (som mål på mengden partikler i vannmassen) var høy, og avgjøre om det skulle tas vannprøve i det dypet.

Niskin vannhenter

Vannprøver for analyse av metaller, totalt suspendert materiale og gløderest ble innsamlet med en Niskin 5 liters vannhenter. Vannhenteren var syrevasket før bruk for å eliminere risikoen for kontaminering. Under prøvetakingen for metaller ble brukt plasthansker og prøvene ble oppbevart på syrevaskede plastflasker med dobbel kork. Flaskene ble oppbevart i plastposer.

Prøvene for suspendert materiale og gløderest ble tappet på 1 liters plastflasker.

GPS posisjonsbestemmelse

Under arbeidet ble målebåtens posisjon registrert fortløpende ved GPS koblet til PC, med logging av posisjonen en gang pr. sekund. Den horisontale posisjonen bestemmes innenfor en nøyaktighet på noen få meter. Tidspunktene i GPS og STD ble kontrollert mot hverandre som beskrevet i feltloggen, og etter justering for tidsforskjell kunne de loggede posisjonene derfor kobles til STD-dataene. Skråstilling av wiren til STDen kan gi noe tilleggsavvik, men total unøyaktighet i posisjonsbestemmelsen for STD-data bør ligge innenfor 10-15 m.

Remote Operated Vehicle (ROV)

For observasjon og dokumentasjon ble en ROV brukt for å gjøre video-opptak under ankringsforsøkene (**Figur 3**). En detaljert beskrivelse av ROVen er gitt i **Vedlegg B**.

Error! Unknown switch argument.

Figur 3. ROV (SUB-fighter 7500) som ble brukt den 2. desember 2002.

2.2.3 Målinger og prøvetaking 1-2.12 2002**Strømmåling:**

Fra 1.12 kl. 17:33 til 2.12 kl. 15:53 var en Nortek strømmåler utplassert nord for Myrodden i en rigg som sto fast plassert på bunnen på ca. 36 m dyp, med måledypet ca. 1 m over bunnen (se **Figur 1**). Måleren målte i "burst" modus med målefrekvens 8 Hz over intervaller på 8 sekunder og med en hvileperiode på 30 sekunder mellom hvert måleintervall. Foruten strømhastighet og strømretning registrerte måleren turbiditet og temperatur. Temperaturmålingen viser bare relativt langsomme variasjoner.

Feltarbeidet den 2.12 2002 er detaljert beskrevet i loggen (**Vedlegg A**). Hovedtrekkene omtales nedenfor.

Målinger ved ankringsplass B:

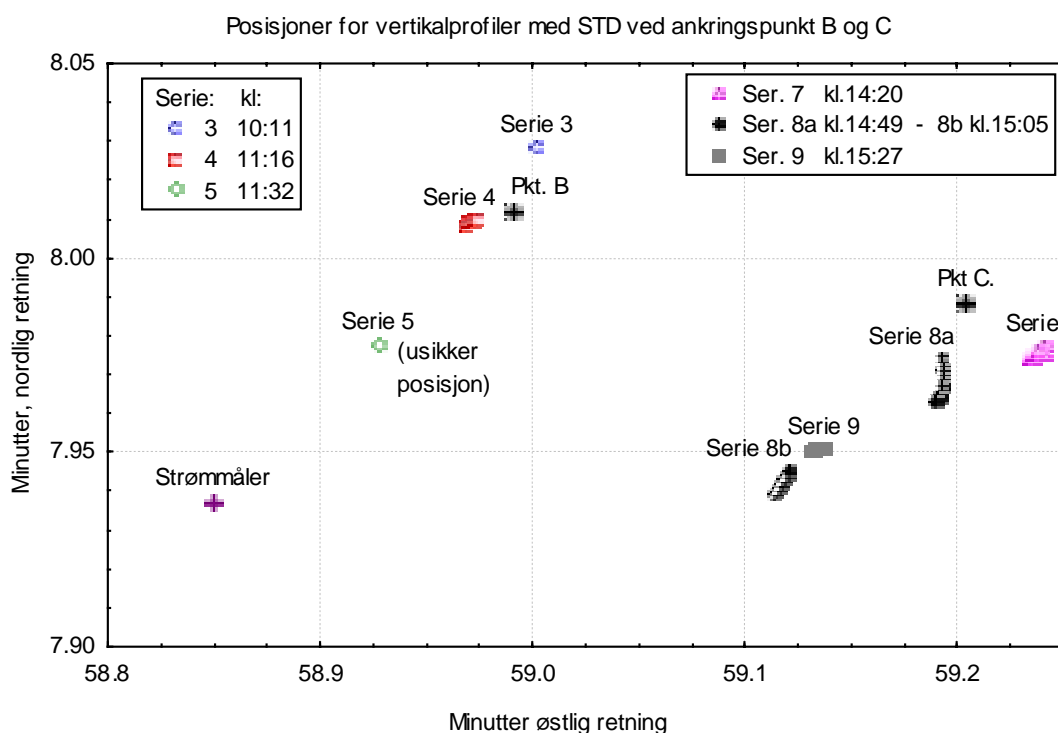
Posisjonen ble bestemt kl. 0950 og merket med bøye. Deretter ble det tatt en STD-profil med registrering av turbiditet fra overflate til bunn for å dokumentere før-tilstanden, og en vannprøve nær bunnen i 35 m dyp. Prøven ble tatt for måling av suspendert stoff og nikkel.

Deretter gikk Sjøkurs opp i posisjon og senket ankeret til det var ca. 5 m over bunnen. ROV ble så plassert rett over ankeret og fulgte etter mens ankeret ble senket til bunn kl. 1112. Deretter ble det tatt

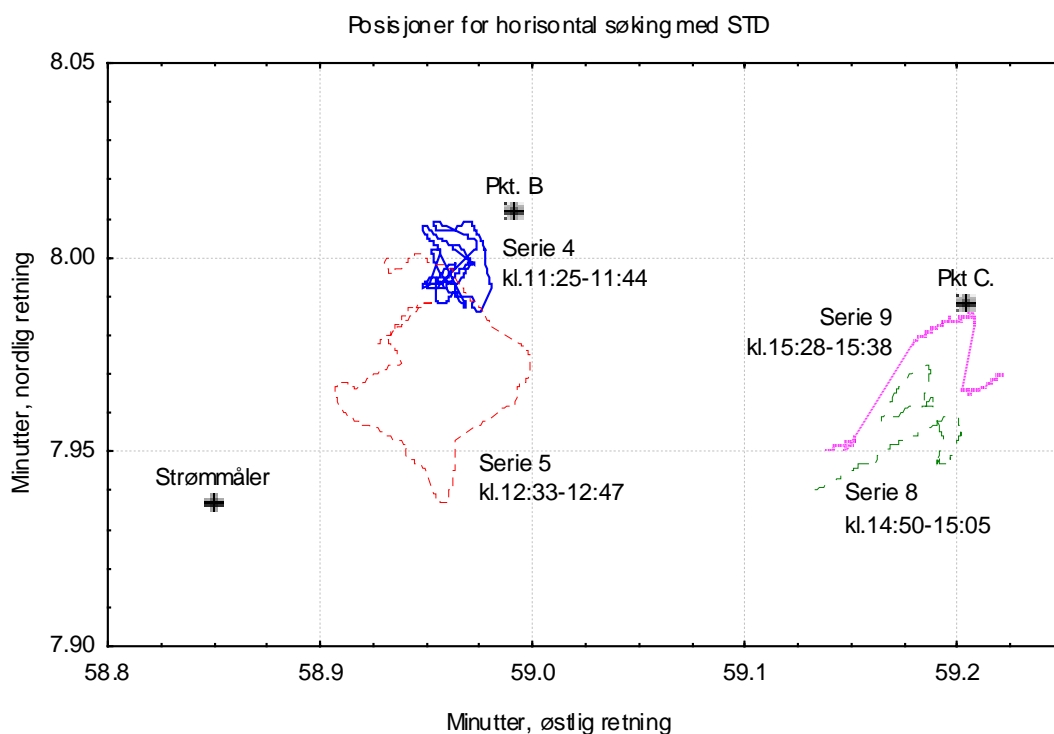
- video-opptak fra ROV av ankeret på bunnen med oppvirvling av partikler omkring.
- vertikalprofiler av turbiditet, saltholdighet og temperatur
- vannprøve i 34 m dyp der turbiditeten viste utslag.
- Horisontale søk med STD-sonden nedsenket, stort sett til dyp mellom 25 og 35 meter for å forsøke å kartlegge horisontal utberedelse av partikkelskyer.

Det ble deretter gjort noen videoopptak med ROV som viste både urørt bunn og bunn med tydelige merker etter ankring, og av hvordan sediment på kjettingen ble vasket av mens Sjøkurs beveget seg og halte den opp fra bunnen. Til slutt ble det gjort en del forgjeves forsøk på å finne igjen ankerkjetting og anker med ROV, og den ble til slutt tatt ombord igjen, og målingene avsluttet.

Posisjon for ankeret og for STD-profilene er vist i **Figur 5**, og banene for søk med nedsenket STD er vist i **Figur 6**.



Figur 5. Posisjoner for ankring samt måling av vertikalprofiler med STD ved de to ankringspunktene.



Figur 6. Baner for horisontal søking med STD nedsenket ved ankringspunkt B og C.

Ankring på område med overdekket bunnsediment

Posisjonen ble bestemt kl. 1320 og merket med bøye. Deretter ble ROV satt ut, men kunne ikke observere noe pga. svært grumset vann nede ved bunnen. Den ble derfor tatt opp. En STD-profil med måling av turbiditet ble tatt for å dokumentere tilstanden. Fordi det ikke ville være mulig å observere hverken oppvirvling av partikler eller skader på overdekkingen som følge av oppankring ble forsøket avbrutt.

Denne situasjonen skyldes sannsynligvis at en leker dumpet overdekkingsmasser noe lenger inne i Hannevika omkring 15 minutter før vi ankom.

Målinger ved ankringsplass C:

Posisjonen ble bestemt kl. 1416 og merket med bøye. Deretter ble det tatt en STD-profil med registrering av turbiditet fra overflate til bunn, samt en vannprøve i 35 m dyp for å dokumentere førtilstanden. Vannprøven ble tatt med sikte på måling av suspendert stoff og nikkel. Deretter gikk Sjøkurs opp i posisjon og senket ankeret kl. 1448 og det ble tatt vertikallprofiler av turbiditet, samt en vannprøve i 40 m dyp der turbiditeten viste utslag. Kl. 15:25 ble ankeret tatt opp, og det ble deretter tatt en avsluttende vertikalprofil og et søk på dypt vann med STD. Posisjon for ankeret og for STD-målingene er vist i **Figur 5** og **Figur 6**.

Feltarbeidet ble avsluttet med at strømmåleren nord for Myrodden ble tatt opp ca. kl. 16:00.

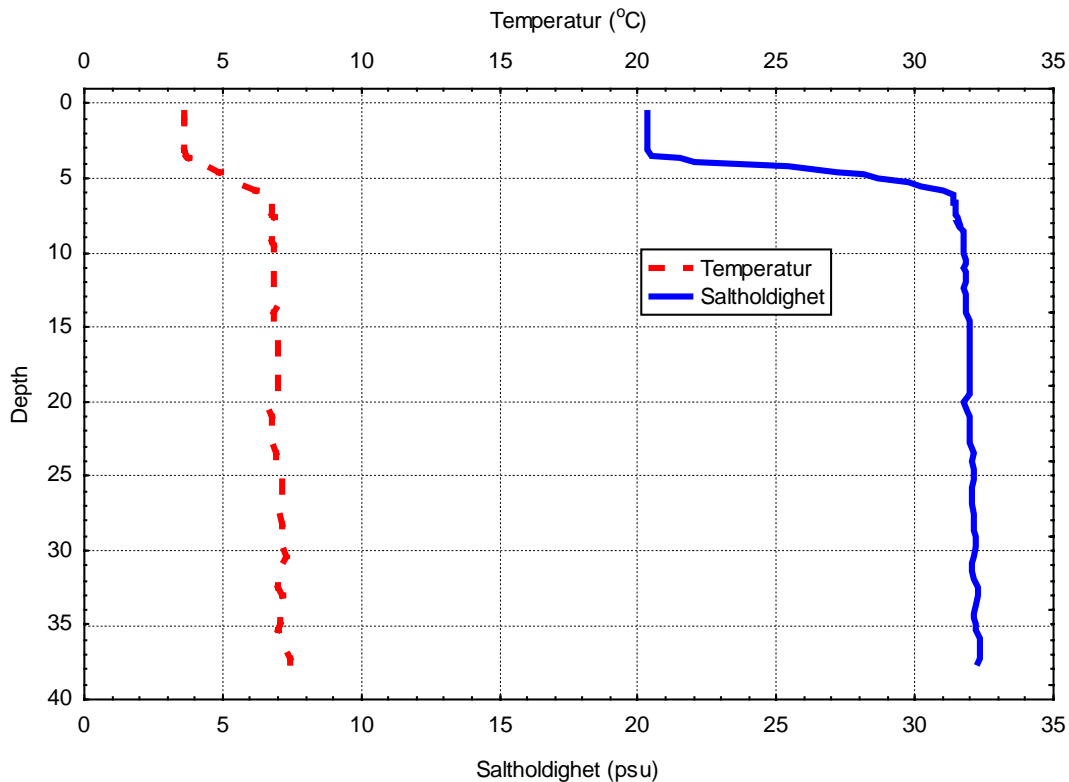
3. Resultater

3.1 Vannmassene i Vesterhavn

Mens målingene foregikk var vannmassen i Vesterhavn inndelt i 3 tydelige lag (**Figur 7**):

- Brakkvannslag fra overflata og ned til 3-4 m dyp
- Overgangslag (sprangsjikt) fra nedre del av brakkvannslaget og til 6-7 m dyp
- Sjøvannslag fra 6-7 m dyp og til bunn

Det markerte brakkvannslaget tyder på relativt stor vannføring i Otra og Topdalselva forut for den 2.12. Med den svake sjiktningen i sjøvannslaget lå det til rette for at oppvirvlede bunnsedimenter kunne virvles relativt høyt opp i vannmassen.



Figur 7. Vertikalprofil for temperatur og saltholdighet ved ankringsplass B om formiddagen den 2.12 2002.

3.2 Strømmens retning og hastighet under ankringsforsøkene

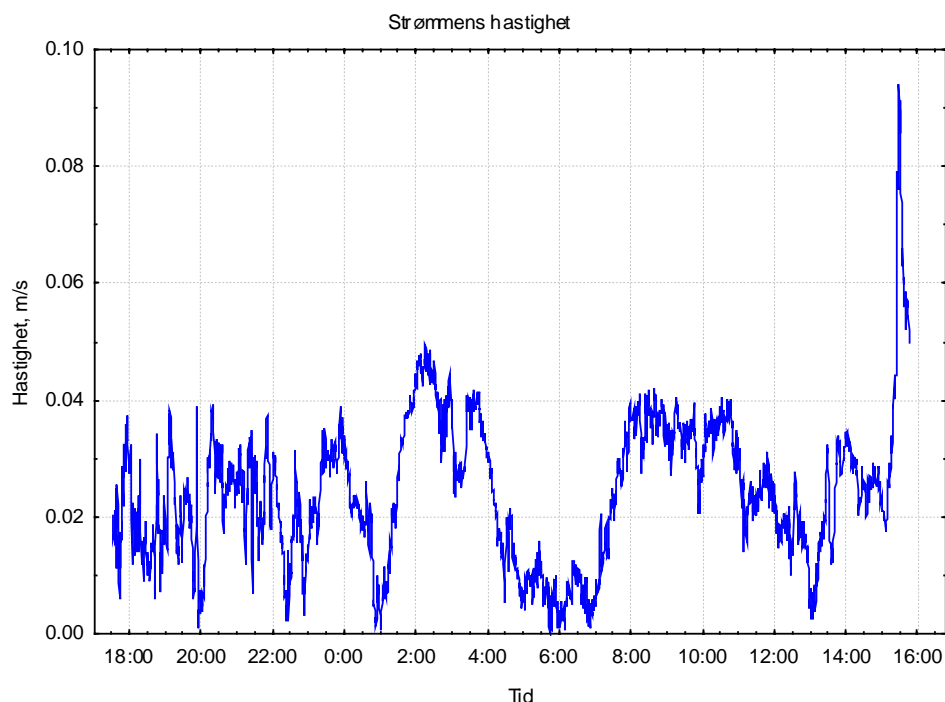
Strømforholdene i området blir påvirket av tidevann og vind. Tidevannstabellene fra Statens Kartverk (Statens Kartverk 2001) gir tidspunkt for forventet høy- og lavvann i Kristiansand havn (**Tabell 1**). Forskjellen mellom høyvann og lavvann var 28-30 cm.

Feltmålingene ble i hovedsak utført den 2.12 mellom kl. 10 og kl. 1530, dvs. først på stigende vannstand, ved høyvann og deretter en kort periode med synkende vannstand. Merk at ved stigende eller synkende vannstand vil vann strømme henholdsvis inn og ut av fjordområdet.

Tabell 1. Tidspunkt for høyvann og lavvann i Kristiansand havn 1-2. desember

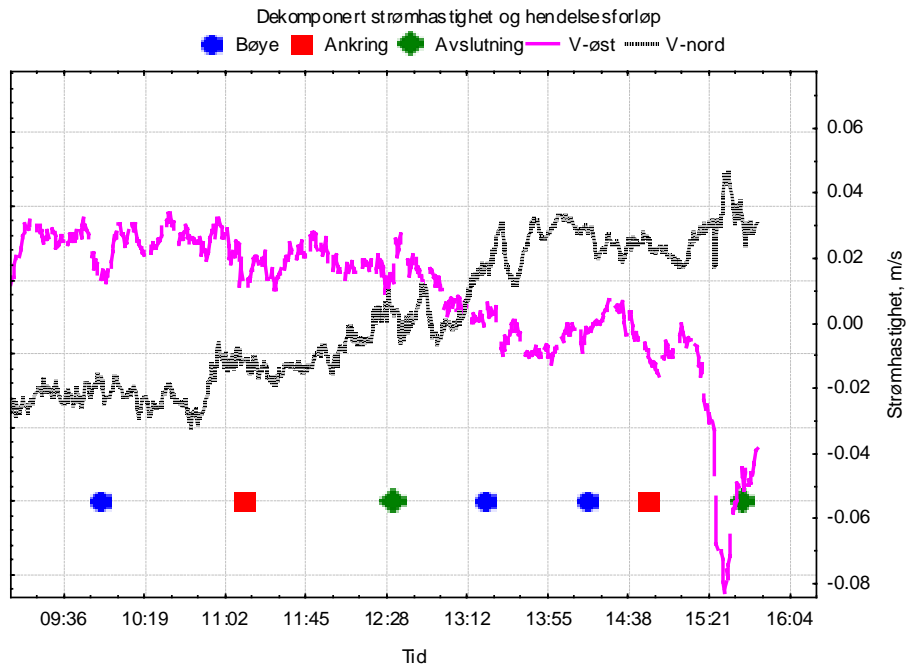
Dato	Høyvann	Lavvann
1. desember	1341	1942
2. desember	0211	0746
"- -"	1429	2028

Strømhastigheten i 35 m dyp nord for Myrodden var varierende, men jevnt over lav (**Figur 8**). Gjennomsnittlig hastighet over ca. 22.5 timer var ca. 0.02 m/s, som til eksempel tilsvarer en forflytning på 10-15 m/10 minutter.

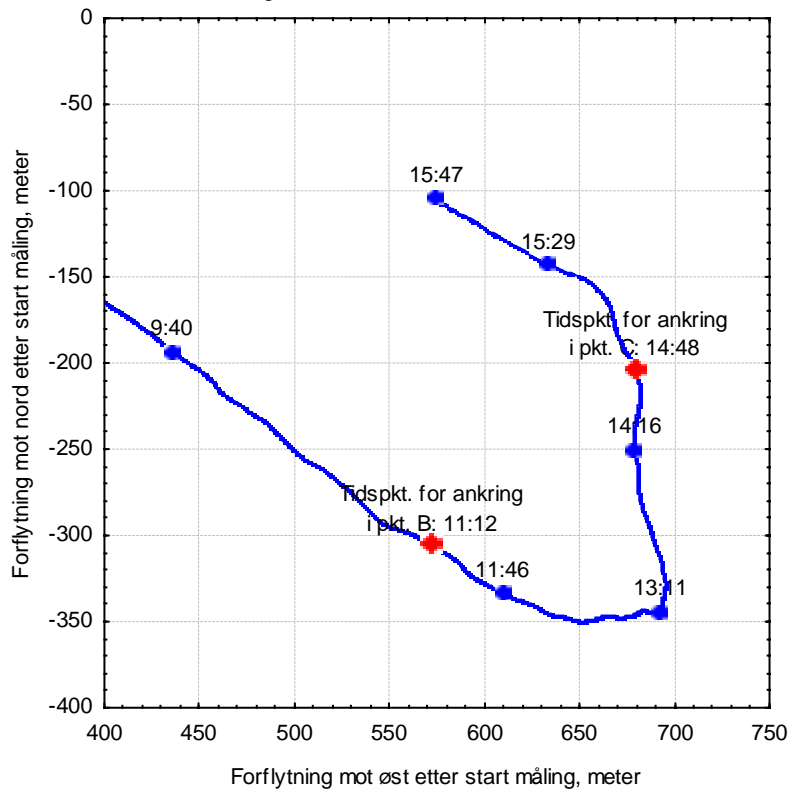


Figur 8. Strømhastighet i 35 m dyp nord for Myrodden mellom 1.12.02 kl. 1730 og 2.12.02 kl. 1575

Et mer detaljert bilde er vist i **Figur 9**, hvor strømmens nord-sørkomponenter er vist sammen med hendelsesforløpet. De mest interessante tidsrommene er mellom Ankring og Avslutning. Et progressivt vektordiagram kan gi et mer helhetlig bilde ved å kombinere opplysningene om strømmens retning og hastighet og viser hvordan en partikkel ville ha beveget seg hvis den til enhver tid hadde forflyttet seg med den hastighet og den retning som strømmåleren registrerte. Diagrammet viser altså ikke faktiske strømbaner, men fordi et slikt diagram har nord-sør koordinater, er det velegnet til å vise hvordan strømmen varierte omkring målepunktet (**Figur 10**). Strømretningen var sørøst under første ankring og nord-nordvest under den siste ankringen.



Figur 9. Strømmens nord-sør og øst-vest komponenter i 35 m dyp nord for Myrodden fra morgen til ettermiddag den 2.12.02. Strømmåling ved bunnen nord for Myrodden under feltarbeidet framstilt som progressivt vektordiagram (strømhastighet integrert til avstand). Målingene startet den 1.12.03 kl. 1733



Figur 10. Progressivt vektordiagram for strømmen i 35 m dyp nord for Myrodden. Målingene startet 1.12.02 kl. 1733 og ble avsluttet 2.12.02 kl. 1547, og figuren viser situasjonen mens feltarbeidet foregikk. Figuren viser at strømrretningen først var sørøstlig, for deretter å dreie mot nord-nordvest. Tidspunkt for de to ankringene er markert på figuren.

3.3 Ankringsted B

3.3.1 Vurdering av strømforhold

Som vist i **Figur 10** beveget vannmassen ved bunnen seg langsomt i sørøstlig retning under oppankringen.

3.3.2 Bruk av ROV

Under ankingen ble ankeret først senket ned til det var ca. 5 m over bunnen og ROVen plassert like ved. Deretter ble ankeret senket fort til det traff bunnen og ROVen fulgte etter. Videobildene gir ikke noe godt bilde av oppvirvlingen av bunnslam, men **Figur 12** gir et inntrykk av en partikkelsky med omfang på kanskje 6-8 m³.



Figur 12. Figuren er ikke tydelig, men viser ankeret like etter det traff bunnen (Tidsanvisningen på videofilmen er ca. 7 mer enn sann lokal tid). Til høyre for ankeret sees en sky av oppvirvlet bunnslam.

Kaptein Sørensen på M/S Sjøkurs opplyser at de hadde omlag 50 m kjetting liggende på bunnen. Bunnslammet var ganske mykt og **Figur 13** viser sporet av kjettingen.



Figur 13. Merker av kjettingen på bunnen ved ankringsposisjon B.

Kjettingen besto av 22.5 cm lange og 12.0-13.3 cm brede løkker med en tverrstolpe. Da kjettingen ble heist opp ble betydelige mengder av bunnsлам også revet løs og fulgte med kjettingen. Dette er vist i **Figur 14** og **Figur 15**, og på begge bildene sees hvordan bunnsлам rives løs/vaskes av kjettingen under opphivingen. Denne medrivningen og utvaskingen foregikk trolig over en kjettinglengde på omkring 50 m. Betydningen av dette vil bli vurdert i Kapittel 4.



Figur 14. Nærbilde av kjettingen under opphaling av kjettingen fra bunnen. Legg merke til bunnsلامmet som sitter på kjettingen.

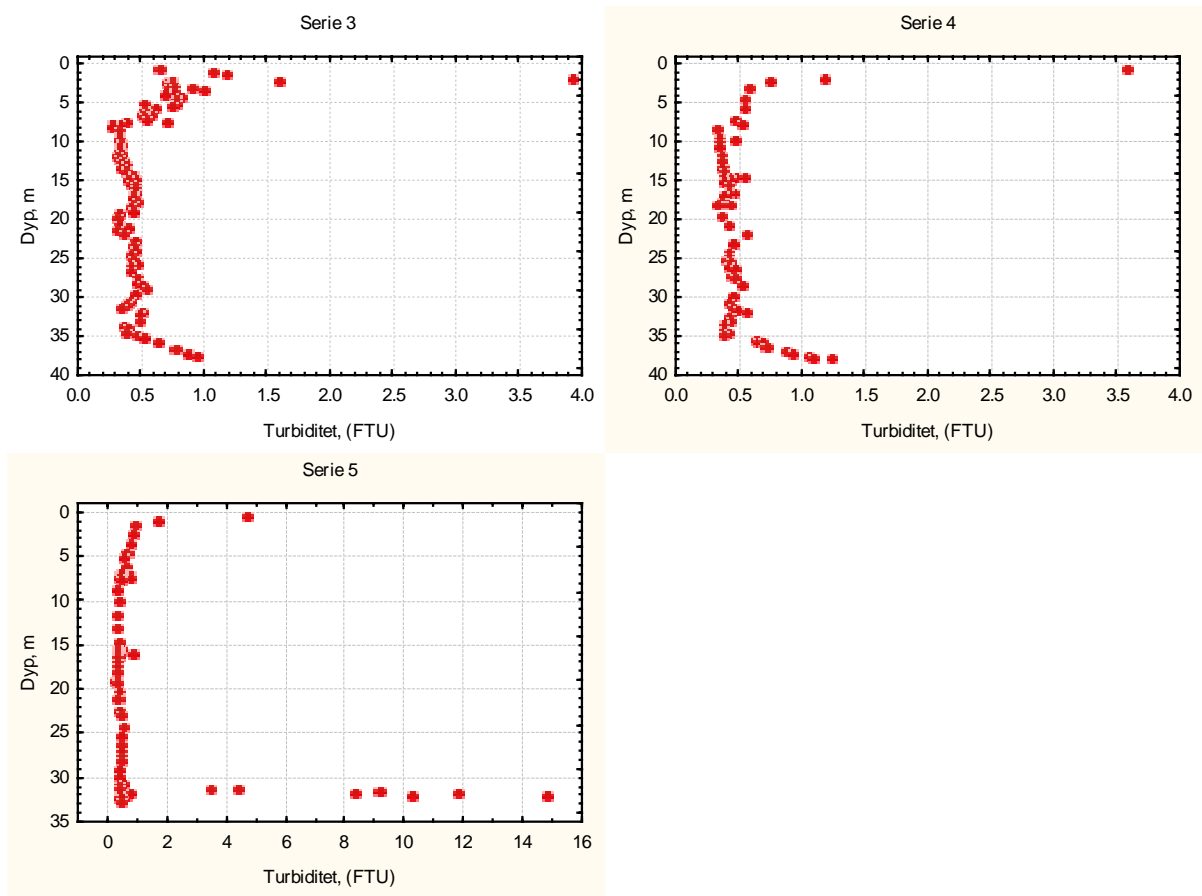


Figur 15. Nærbilde av kjettingen under opphaling av kjettingen fra bunnen. Legg merke til bunnslammet som sitter på kjettingen og som faller av.

3.3.3 Turbiditet

Turbiditet i sjøvann vil oftest være omkring 0.5. Det ble målt tre vertikallprofiler av turbiditet ved ankringsplass B som vist i **Figur 16**, og måleposisjonene er vist i **Figur 5**. Serie 3 er en måling før ankringsforsøket begynte og stammer fra samme vertikallprofil som **Figur 7**. Man ser noe forhøyet turbiditet i brakkvannslaget, normal og lav turbiditet i det vesentlige av sjøvannslaget samt en mindre økning nær bunnen.

Serie 4 viser en vertikallprofil tatt i ca. 5 m avstand fra ankeret like etter at det var satt på bunnen. I alt vesentlig var turbiditeten her like lav som for serie 3, og det var uventet. Serie 5 viser en STD-profil litt sørvest for ankringsposisjonen, tatt noe over en time senere, etter at "Sjøkurs" hadde beveget noe, slik at kjettingen ble hevet opp fra bunn, med de resultater som fremgår av videobildene i **Figur 14** og **Figur 15**. I denne profilen sees en betydelig økning av turbiditeten nær bunnen.



Figur 16. Vertikallprofiler av turbiditet før oppankring (serie 3), nær ankeret umiddelbart etter oppankring (serie 4) og sørøst for ankeret 80 minutter etter oppankring.

Forklaringen på to ulike resultatene av vertikallprofil 4 og 5 kan være at nær ankeret hadde skyen med oppvirvlede partikler liten utstrekning og/eller ble ført i en retning som førte til at sonden i serie 4 ikke registrerte oppvirvlingen. Da serie 5 ble tatt hadde kjettingen avgitt partikler til vannet som vist av videoopptakene. "Sjøkurs" drev av sørvestover i vinden, og det ble målt i området mellom ankeret og "Sjøkurs".

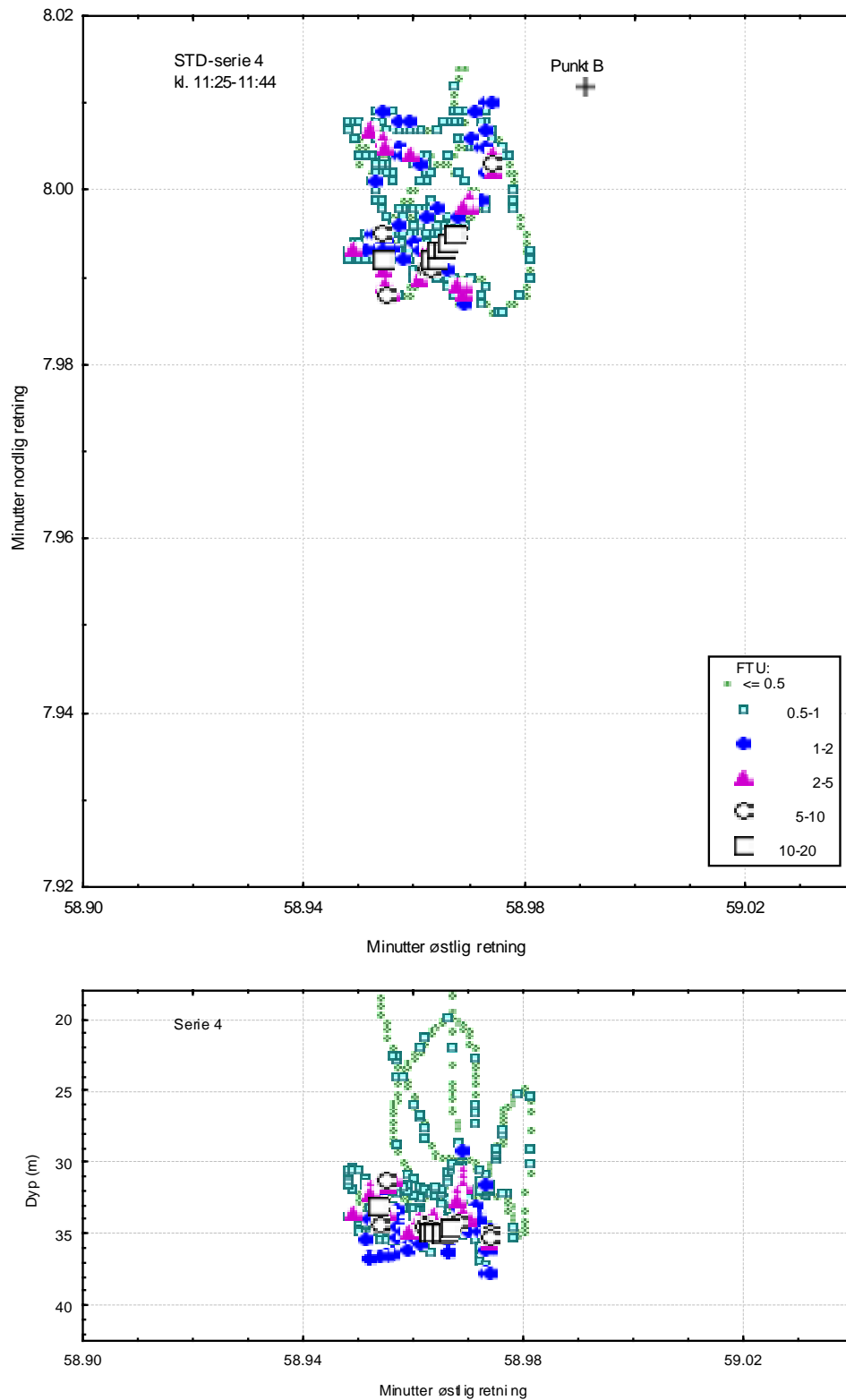
For å prøve å registrere omfang av en eventuell partikkelsky ble STD-sonden ikke bare brukt til å måle vertikallprofiler, men også holdt på dyp varierende mellom 20 og 40 m mens båten beveget seg rundt i området som vist i **Figur 6** mens ankeret var på bunnen. Slike målinger inngikk i både STD-serie 4 (**Figur 17**) og serie 5 (**Figur 18**). Disse to figurene viser målt turbiditet som funksjon av posisjon og dyp ut fra kobling mellom STD-data og GPS-logging. Den øverste delfiguren i hvert figurpar viser turbiditet som funksjon av østlig og nordlig retning ved de to ankringspunktene. Den nederste delfiguren viser de samme data, men nå mot østlig retning og måledyp. Ved å sammenholde de to delfigurene kan en få et ganske godt bilde av posisjon og dyp for vann med forhøyet partikkelinnhold.

Serie 4 i **Figur 17** viser søking med STD-sonde rett etter den første ankringen i punkt B og man ser en sky med forhøyet konsentrasjon av partikler sørvest for ankringspunktet, stort sett i 33-35 m dyp, altså noe høyere opp enn hva den innledende verikalprofilen viste.

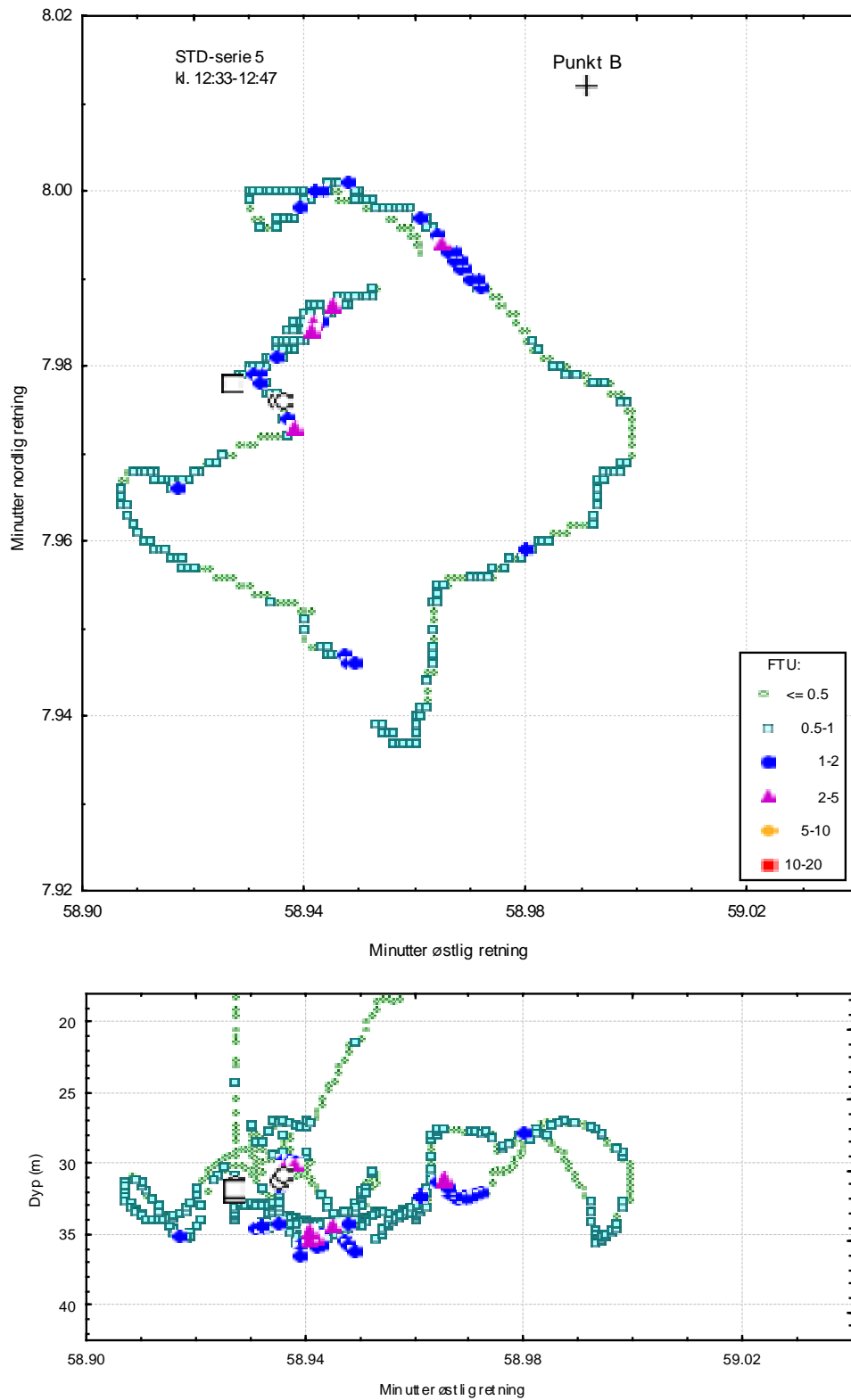
Serie 5 i **Figur 18** ble tatt omtrent en time senere, noe lenger mot sørvest. Her var det mindre spor av forhøyet partikkelinnhold, men det ble registrert noe i omtrent samme dypintervall. Det kan virke overraskende at det ble funnet høyere partikkelkonsentrasjoner sørvest for ankringspunktet, mens strømmen gikk i sørøstlig til østlig retning under ankringen og etterpå (**Figur 10**). Imidlertid ble det ikke målt i andre retninger pga. vansker med manøvreringen, så det kan ikke bedømmes i en større sammenheng. Målingene foregikk dessuten i stor grad mellom ankringspunktet og 'Sjøkurs', og det kan være partikler som skyldes bevegelser av kjettingen. Resultatene stemmer godt med det bilde video-opptakene ga.

Dessuten er det ikke sikkert at strømretningen ved strømmåleren er representativ for området nær ankringspunktet; det kan ha vært sirkulasjonsmønstre drevet av vind og tidevann men også styrt av topografien.

En usikkerhetsfaktor er hvorvidt noe av det som ses kan skyldes oppvirvling fra ROven.



Figur 17. Resultat av STD-søk, serie 4 ved ankringspunkt B. Den øverste figuren viser turbiditet (FTU) som funksjon av posisjon. Nederste figur viser samme data mot østlig retning, med samme skala som ovenfor, og dyp.



Figur 18. Resultat av STD-søk i serie 5 ved ankringspunkt B. Den øverste figuren viser turbiditet (FTU) som funksjon av posisjon. Nederste figur viser de samme data mot østlig retning - med samme skala som ovenfor - og med dyp på vertikal akse.

3.3.4 Vannprøve

Nikkel ble brukt som "sporstoff" for bedømmelse av spredning av miljøgifter fra bunnsedimentene til vannmassen. Dette kan gjøres fordi konsentrasjonen av nikkel i sedimentene er meget høy og at høy konsentrasjon av nikkel sammenfaller med høye konsentrasjoner av organiske miljøgifter. En annen grunn er at det både er vesentlig enklere og billigere å innsamle og analysere vannprøver mht. nikkel enn for organiske miljøgifter.

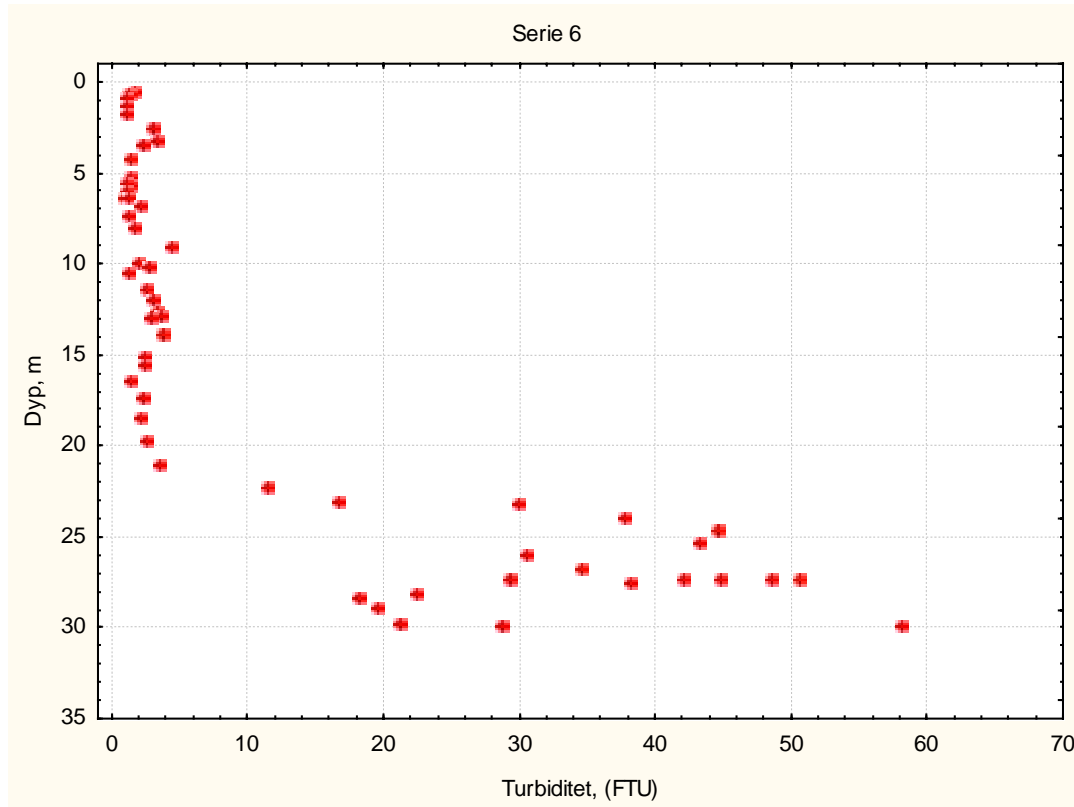
Analyseresultatene for de to vannprøvene som ble tatt sammen med forventet bakgrunnsnivå er vist i **Tabell 2**. For nikkel er bakgrunnsnivået satt til vannkvalitetsklasse 1 i det norske klassifiseringssystemet (Molvær et al., 1997), mens bakgrunnsnivået for TSM er anslått ut fra erfaringstall. Prøven som ble tatt like etter ankring viste en økning på 13x for TSM og 4x for nikkel i forhold til før-situasjonen. Årsaken må være oppvirvling av bunnsediment da ankeret og eventuelt også kjettingen ble plassert på bunnen.

Tabell 2. Analyseresultat for vannprøve tatt før og under ankring i posisjon B.

Dyp, m	Totalt suspendert materiale, mg/l	Nikkel $\mu\text{g/l}$	Kommentar
35	0.34	0.44	Før ankring
34	4.62	1.70	3 minutter etter at ankeret nådde bunnen
Forventet bakgrunns-konsentrasjon	0.3-0.4	<0.5	

3.4 Overdekkingsområdet

Som tidligere forklart ble forsøket avbrutt fordi sikten ved bunnen var så dårlig at det ikke ville være mulig å observere om ankring skadet overdekkingen. På dette stedet ble det derfor bare tatt en vertikalprofil med måling av turbiditet (**Figur 20**). Hele vannsøylen hadde økt turbiditet, med særlig høye verdier under 21-22 m dyp. Sannsynligvis skyldes dette dumping av overdekkingsmasser lenger inne i Hannevika.



3.5 Ankringssted C

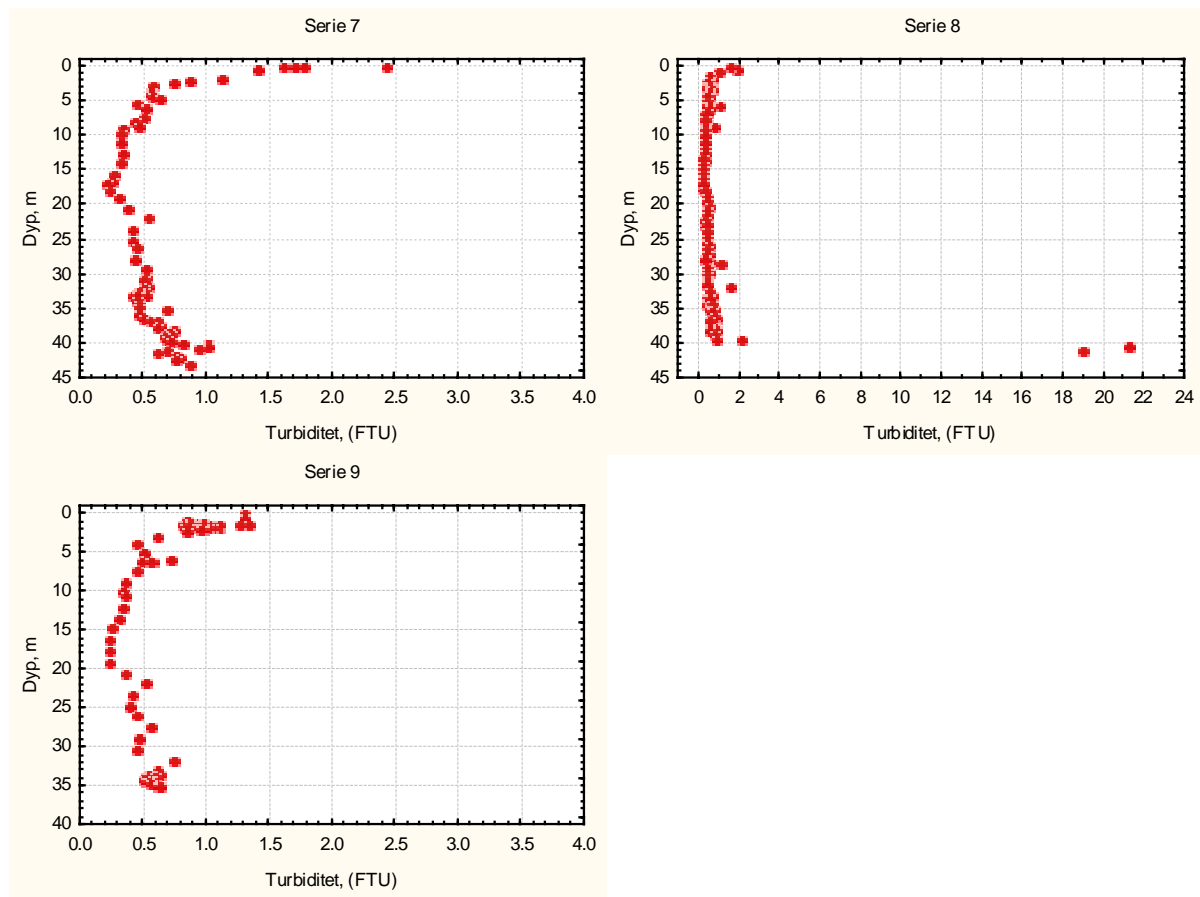
3.5.1 Vurdering av strømforhold

Som vist i **Figur 10** beveget vannmassen ved bunnen seg sannsynligvis langsomt i nord-nordvestlig retning under oppankringen.

3.5.2 Turbiditet

Det ble målt tre vertikale profiler av turbiditet ved ankringsplass C, som vist i **Figur 21**. Serie 7 er en måling før ankringsforsøket begynte, litt sørøst for ankringspunktet. Man ser noe forhøyet turbiditet i brakkvannslaget, normal og lav turbiditet i den største delen av sjøvannslaget samt en mindre økning nær bunnen. I hovedsak er dette det samme bildet som før ankring ved plass B.

Serie 8(a) viser en vertikalprofil tatt nær ankeret like etter at det var satt på bunnen og man ser en sporadisk økning av turbiditeten helt nær bunnen. Serie 9 lenger mot sørvest viser ingen økning.

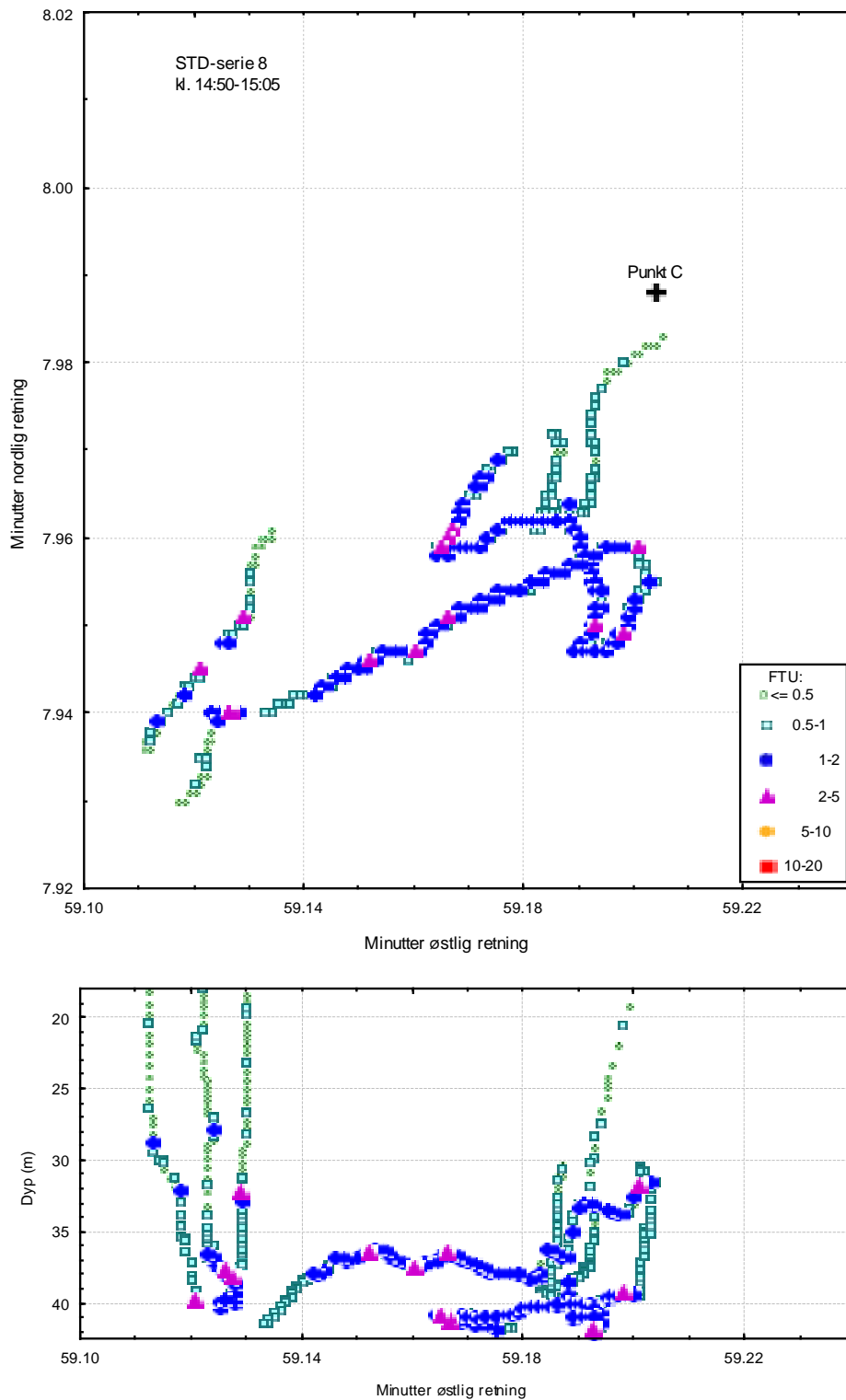


Figur 21. Vertikalprofiler av turbiditet før oppankring (serie 7), nær ankeret umiddelbart etter oppankring (serie 8) og sørøst for ankringspunktet etter at ankeret var tatt opp igjen (serie 9).

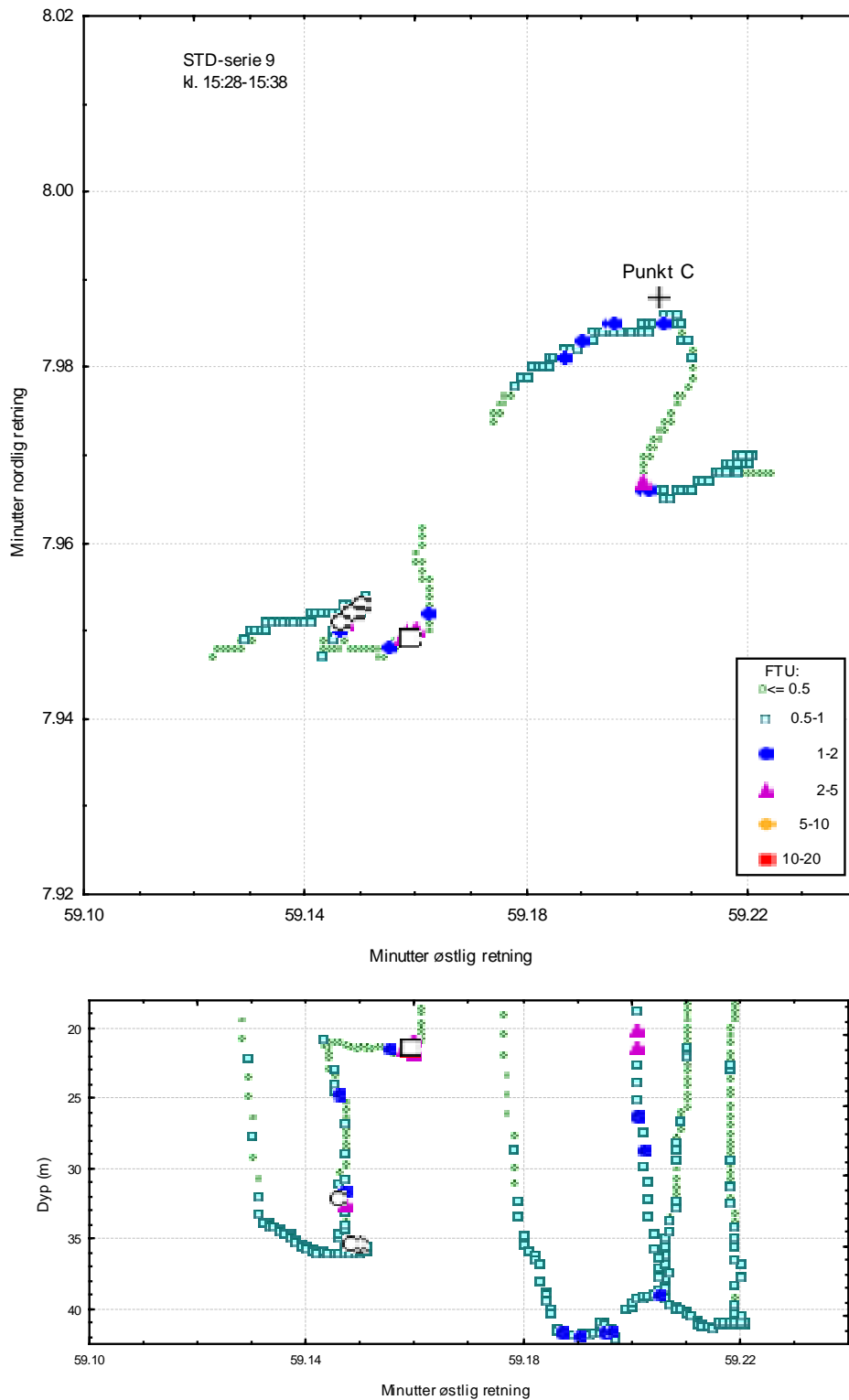
Også her ble det kjørt søk med STD. Resultatene for serie 8 er vist i **Figur 22** og for serie 9 i **Figur 23**. Strømmen ved strømmåleren gikk da i nordvestlig retning, men også her har vi mest målinger i sørvestlig retning. Serie 8, tatt rett etter ankringen, viser noe forhøyet partikkelkonsentrasjon et stykke fra ankeret, opp til 2-5 FTU enkelte steder, og 1-2 FTU over større områder, i 30 til 40 m dyp. Serie 9, som ble tatt en time senere, etter at ankeret var tatt opp, viser høyere partikkelkonsentrasjoner, mere

flekkvis, og fordelt høyere opp i vannmassene, med store konsentrasjoner både i 33-35 m dyp og i 20-22 m dyp. Det var også noe forhøyet konsentrasjon omkring 35 m nær ankringspunktet. I dette tilfelle ble det ikke brukt ROV, så partikkelinnholdet her kan bare skyldes ankeret og kjettingen. Målingene stemmer kvalitativt godt med videoopptaket av kjettingen på vei opp; det virker rimelig at en kan få flekkvis høye partikkelkonsentrasjoner høyt opp i vannmassene når sedimentene i inne i kjettingløkkene løsner.

De målingene som ble gjort med søking med STD har ikke tilstrekkelig omfang til å kvantifisere partikkelskyer, men som utprøving av målemetoden var det vellykket. Under mer optimale forhold, med lite vind og en raskere og lettere manøvrerbar målebåt vil denne metoden kombinert med noen vannprøver kunne gi en meget god beskrivelse av partikkelskyen, og vil kunne følge den over tid ettersom partiklene sprer seg og synker ut igjen.



Figur 22. Resultat av STD-søk i serie 8 ved ankringspunkt B. Den øverste figuren viser turbiditet (FTU) som funksjon av posisjon. Nederste figur viser de samme data mot østlig retning - med samme skala som ovenfor - og med dyp på vertikal akse.



Figur 23. Resultat av STD-søk i serie 9 ved ankringspunkt B. Den øverste figuren viser turbiditet (FTU) som funksjon av posisjon. Nederste figur viser de samme data mot østlig retning - med samme skala som ovenfor - og med dyp på vertikal akse.

3.5.3 Vannprøve

Analyseresultatene for de to vannprøvene som ble tatt sammen med forventet bakgrunnsnivå er vist i **Tabell 3**. For nikkel er bakgrunnsnivået satt til vannkvalitetsklasse 1 i det norske klassifiseringssystemet (Molvær et al., 1997), mens bakgrunnsnivået for TSM er anslått ut fra erfaringstall. Prøven som ble tatt like etter ankring viste en svak økning på for TSM i forhold til før-situasjonen.

Tabell 3. Analyseresultat for vannprøve tatt før og under ankring i posisjon B.

Dyp, m	Totalt suspendert materiale, mg/l	Nikkel $\mu\text{g/l}$	Kommentar
35	0.45	0.44	Før ankring
40	0.60		8 minutter etter at ankeret nådde bunnen
Forventet bakgrunns-konsentrasjon	0.3-0.4	<0.5	

4. Sammenfattende vurderinger

Formålet med prosjektet er:

1. Gi grunnlag for en generell vurdering av risikoen for spredning av miljøgifter ved skipsoppankring på forurensede bunnsedimenter
2. Framskaffe opplysninger om ankring kan skade overdekking av forurensede bunnsedimenter.
3. Utprøve metodikk

I det etterfølgende blir hver av delmålene vurdert.

4.1 Delmål 1: Vurderinger av risiko for spredning av miljøgifter ved skipsoppankring

Risikoen for spredning av miljøgifter ved skipsoppankring er i hovedsak knyttet til størrelsen av oppvirvlingen av forurensede bunnsedimenter ved:

- Nedfiring når ankeret treffer bunnen
- Opphiving av anker og kjetting
- Forflytning av kjetting og evt. anker mens begge deler ligger på bunnen

Dette prosjektet har vært rettet inn mot de to første punktene.

Oppvirvling da ankeret traff bunnen:

Grunnlaget for å bedømme størrelsen av oppvirvlingen er forholdsvis svakt. Bildene fra ROVen tyder på at skyen med oppvirvlet bunnslam hadde liten utstrekning (**Figur 12**). Målingene av turbiditet og vannprøver viste forholdsvis lave konsentrasjoner, og vi ser ikke bort fra at dette skyldes at målingene ble utført i ytterkant av eller utenfor skyen.

Av samme grunn er det vanskelig å bedømme utstrekningen av skyen og partikkelkonsentrasjonen i denne, men det er grunnlag for å anslå en størrelsesorden. Et realistisk øvre estimat for volumet kan være $2\text{m} \times 2\text{m} \times 2\text{m} = 8 \text{ m}^3$. I en slik sky vil konsentrasjonen av partikler variere mye, men igjen kan et høyt estimat være 25 mg/l regnet som totalt suspendert materiale. Under disse forutsetningene vil et volum på 8 m^3 inneholde 200 g partikler. Næs og Rygg (2001) oppgir data for partikkelinnhold (tørrstoff-innhold TTS som vekt %) og miljøgiftkonsentrasjoner fra to sedimentstasjoner i området (**Tabell 4**).

Tabell 4. Data fra sedimentstasjoner i ankringsområdet (fra Næs og Rygg, 2001). Konsentrasjonene gjelder sedimentoverflaten (0-2 cm).

Stasjon, dyp	TTS	Ni	Sum PCB7	HCB
	%	µg/g	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.
St. 25 0-2 cm	26,5	1971	30,8	1000
St. 44 0-2 cm	48,8	444	14,9	200

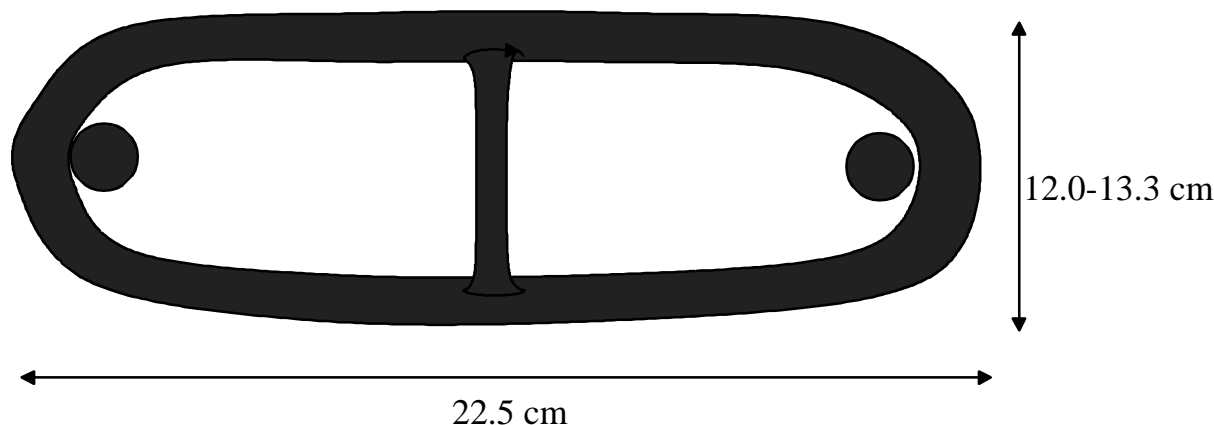
Hvis vi anvender data fra stasjon 25 og stasjon 44 og antar at partiklene har massetetthet¹ ca. 2.5 kg/dm³, blir tettheten av vått sediment hhv. 1.21 og 1.44 kg/l. Partikkelmengden pr. liter vått sediment

¹ Partiklenes massetetthet representerer forholdet mellom den masse og det volum de bidrar med når de blir tilsatt en mengde vann. Hvis et vannvolum V_w med tetthet ρ_w tilsettes en mengde m_p av partikler som har massetetthet ρ_p , vil altså blandingen ha masse $V_w \rho_w + m_p$, og volum $V_w + m_p/\rho_p$.

ut fra data fra de to stasjonene blir hhv. 0.32 og 0.7 kg og en partikkelmengde på 200 g tilsvarer oppvirvling av ca. 0.3-0.7 l vått sediment. Dette er et grovt og usikkert overslag, men tyder på at volumet av oppvirvlet bunnslam var mindre enn 1 liter.

Oppvirvling da kjetting og anker ble heist opp:

Ved opphiving vil bunnslam sitte fast inne i kjettingløkkene, utenpå løkkene (se **Figur 14 -Figur 15**) og på selve ankeret. Kaptein Geir Sørensen ved M/S "Sjøkurs" har oversendt en beskrivelse av oppankringen og av kjettingen (**Figur 24**), og denne gir grunnlag for et estimat av hvor mye slam som fulgte med kjettingen da den ble heist opp.



Figur 24. Skisse av kjettingløkke. Diameter av godset er 3.6 cm, med unntak for den tverrgående stokken som har diameter 2.4 cm.

Kjettingløkkas indre del er delt i to, og tenker vi oss disse to delene helt fylt med slam i en tykkelse av 3.6 cm, blir volumet ca. 200 cm³. Kaptein Sørensen opplyser at omkring 50 m kjetting ble liggende på bunnen, dvs. ca. 260 kjettingløkker. Tenker vi oss at alle ble fylt med slam da kjettingen lå på bunnen i det myke sedimentet, tilsvarte dette et volum på ca. 50 liter. Bildene fra ROVen kan tyde på at en betydelig del av dette slammet ble revet løs da kjettingen ble heist opp for deretter å bli spredt i vannsøylen mellom bunn og overflata.

I tillegg kommer det slammet som satt på utsiden av kjettingen og på ankeret da dette ble heist opp. Mengden av dette har vi ingen opplysninger om, men det kan kanskje være i størrelsesorden 10 liter.

Dette er grove overslagsberegninger som imidlertid fører til en klar konklusjon: **løsriving og spredning av bunnslam ved oppheising av kjetting og anker var av langt større omfang enn ved oppvirvlingen som følge av nedfiring av anker til bunnen.**

Estimat av mengde oppvirvlet forurensende stoffer:

Legger vi tørrstoffinnhold og konsentrasjonene i **Tabell 4** til grunn og antar at

- samlet volum av bunnslam som ble oppvirvlet da ankeret traff bunnen eller revet løs ved opphiving var 60 l (våtvekt)
- egenvekten av partiklene er 2.5 kg/dm³

kan mengden av oppvirvlet nikkel, PCB₇ og HCB (heksaklorbensen) beregnes. Fordi verdiene er såpass ulike gjør vi en beregning med grunnlag i dataene fra stasjon 25 og en beregning med data fra stasjon 44 (**Tabell 5**).

Tabell 5. Overslagsberegninger av mengden nikkel, PCB og HCB som kan ha blitt revet løs fra bunnslammet og virvlet inn i vannmassen under forsøket den 2.12 2002.

Stasjon	Nikkel g	Sum PCB ₇ µg	HCB µg
25	38	590	19000
44	19	630	8400

Opplysninger fra Kristiansand havnevesen tyder på at det skjer 20-25 oppankringer pr. år. Skipenes størrelse varierer og ankringsstedene varierer, men for å antydde en størrelsesorden av oppvirvlet mengde for 20 oppankringer:

Nikkel:	400-800 g
Sum PCB ₇ :	10-15 mg
HCB:	150-400 mg

Til omregningen fra HCB til dioksiner (toksisitetsekvivalenter) brukte Næs og Rygg (2001) en power-regresjon:

$$\text{pptTCDF/Dekv} = 12.993 * \text{ppbHCB}^{0.5767}. \quad (R^2=0,84, p=0,0004)$$

Anvender vi denne formelen, får vi at oppvirvlingen av HCB antyder en tilsvarende oppvirvling av 700 ng TCDF/D-ekvivalenter pr. kg. Oppvirvling av 60 l vått sediment med et vanninnhold på 40% inneholder da 42000 ng TDCF/D-ekvivalenter (0.04 mg TDCF/D-ekvivalenter). For 20-25 oppankringer pr. år antyder dette en oppvirvling av 0.8-1 mg TDCF/D-ekvivalenter.

En betydelig andel av oppvirvlet sediment vil sannsynligvis synke fort til bunns igjen.

Til sammenligning nevnes at utslipp til sjø fra Falconbridge i 2000 er beregnet til (Laugesen et al., 2001):

Nikkel:	770 kg
Organiske halogenforbindelser:	23 kg
Dioksiner (toksisitetsekvivalenter):	32 milligram

For dioksiner tyder beregningen ovenfor på at sammenlignet med utslippet til sjø kan oppvirvlingen fra ankring bidra med 3 %.

4.2 Delmål 2: Framskaffe opplysninger om ankring kan skade overdekking av forurensede bunnsedimenter

Dette målet ble ikke oppnådd fordi det ble dumpet masser for overdekking av bunnsedimenter i Hannevika like før ankringsforsøket skulle gjennomføres. Dette førte til en så tett partikkelsky og så dårlig sikt nær bunnen at det var umulig å bruke ROven for videoopptak.

4.3 Delmål 3: Utprøving av metodikk

Feltundersøkelsen ble gjennomført under forholdsvis vanskelige forhold, men gav verdifulle erfaringer mht. valg av metodikk for slike studier. Spesielt nevnes.

1. Fordi mange oppgaver må gjennomføres på kort tid er det viktig med tilstrekkelig antall personer som har oversikt og forståelse for hva som skal gjøres, som fortløpende kan vurdere informasjonen som kommer inn og som kan tilpasse feltmålingene i forhold til dette. I vårt tilfelle kunne det med stor fordel vært 1 mann til.
2. Man leter etter en forholdsvis liten sky av partikler som beveger seg i 3 dimensjoner. Dette gjør at fortløpende og rask posisjonsbestemmelse er viktig. Bruk av GPS sammen med registreringene av turbiditet fungerte bra.

3. Manglende kjennskap til strømrretning og strømhastighet i vannmassen nær bunnen var et svakt punkt. Ved senere anledninger må man forsøke å framskaffe slik informasjon, om ikke annet enn ved bruk av strømkors.
4. Muligheten for å finne skyen ved å slepe STDen omkring i området noen meter over bunnen fungerte godt og kunne med fordel ha vært brukt mer.
5. Bruk av ROV var meget nyttig og bør brukes ved andre anledninger, men metodikken kan forbedres mye. Spesielt nevner vi:
 - Det tok for lang tid å manøvrere ROV i posisjon før ankring, og på ankringssted B var det i det hele tatt ikke mulig å få ROV i riktig posisjon. På det stedet ble forsøket derfor gjennomført uten bruk av ROV. Det skal imidlertid tilføyes at vindforholdene gjorde manøvrering av båt og ROV vanskelig ved den anledningen.
 - Ved flere anledninger var inntrykket av propellene som ble brukt i manøvreringen medførte stor oppvirvling av bunnslam. Ved en annen anledning må manøvreringen foregå mer forsiktig, selv om det kan ta litt lenger tid.
 - Videobildene kan sikkert forbedres. Potensialet for gode bilder er tilstede og mange gode bilder ble tatt. Ved noe bedre og raskere manøvrering av ROV og ved at operatøren har en klarere forståelse av hvilken type av bilder som vil være nyttig bør utbyttet bli større.

4.4 Oppsummering

- Oppheising av anker og kjetting medførte betydelig løsriving og spredning av forurensede sedimenter inn i vannmassene. Vesentlig større enn oppvirvlingen ved nedfiring av ankeret.
- Mengden av forurensende stoffer (metaller og organiske miljøgifter) som virvles opp og blandes inn i vannmassene ved oppankring er sannsynligvis langt mindre ($\leq 3\%$) enn de direkte utslippene til havnebassenget i 2000.
- Spredningen vil være svært avhengig av sedimentenes beskaffenhet. Myke og "klebrige" sedimenter vil i større grad henge fast på kjetting og anker og rives løs under opphiving enn tilfellet er for mer sandige sedimenter.
- Metodikken som ble brukt under feltmålingene fungerte i hovedsak bra, men har klare forbedringspunkt. Man har en begrenset tid til rådighet for målinger og det gjelder å utnytte denne ved å arbeide raskt og målrettet. Her er forbedringspotensiale både mht. bemanning, informasjon om strømforhold og bruk av ROV. Spesielt gjelder dette for situasjoner der arbeidsforholdene generelt er vanskelige.

5. Litteratur

Bjerkeng, B. og Molvær, J., 2001. Oppvirvling og spredning av forurenset sediment i Kristiansand på grunn av skipstrafikk. Litteraturstudium og feltundersøkelser. NIVA-rapport.

Molvær, J., Knutzen, J., Magnusson, J., Rygg, B., Skei, J. og Sørensen, J., 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Statens forurensningstilsyn. Veiledning 97:03. 36 sider.

Laugesen, J., Møskeland, T., Kelley, A. og Jensen, T., 2001. Tiltaksanalyse for opprydding i forurensede sedimenter i Kristiansandsfjorden. Veritas-rapport 2001-0807. 102 sider.

Næs, K. og Rygg, B., 2001. Tiltaksplan for opprydding i forurensede sedimenter i Kristiansandsfjorden. Kartlegging av konsentrasjoner i sedimentet i 2001 samt kartfremstilling av resultater fra tidligere undersøkelser. NIVA-rapport 4371-2001. Oslo. 43 sider.

Vedlegg A. Feltlogg for 2.12 2003

Sted:		Kristiansand havn		Dato: 2. Des. 2002		Prosjekt: O-21366 Ankring		Kontroll av tid:		
GPS-posisjon i minutter relativt til N58gr, Ø7gr		lokal tid	UTC	STD-serie	Vannprøve		Annet/kommentar	STD/ Video-tid	Avvik fra lokal tid (sek.)	Avvik fra UTC (sek.)
Øst	Nord				Nr	Dyp (m)				
							Kontroll av GPS:			
58.535	8.233	09:39	08:39				15 m vest av østenden på Falconbridge-kaia			
58.572	8.229	09:41	08:41				10 m rett sør for øst-enden av kaia			
58.991	8.012	09:55	08:55				Satt ut bøye ved ankringsplass B			
58.890	8.085	10:00	09:00				starter GPS-logging til fil			
58.994	8.029	10:10	09:10	Ser. 3: 37m			STD-tid ved lokal tid 10:10:00:	09:24:14	-2746.00	854.00
		10:20	09:20		1	35	Vannprøve TSM1 + metallprøve ved ankringsplass B			
		10:30	09:30				ROV settes i sjøen			
		10:30:50	09:30				Video-tid: 10:37:45	10:37:45	415.00	4015.00
		10:50:30	09:50				Video-tid: 10:57:25	10:57:25	415.00	4015.00
		11:12:00	10:12				Sjøkurs setter anker fra 5 m over bunn ved bøye (pkt.B)			
		11:16:02	10:16	Ser.4: 37m			STD-måling ved bøye i posisjon B			
		11:40	10:40				STD i bunn			
					2	34	Vannprøve ca. 3 minutter etterpå.			
		11:49	10:49				Avsluttet STD-måling (11:47 iføl. Instrument)			
		12:31:14	11:31	Ser.5			STD-måling litt sørvest for posisjon B, bare siste del med GPS-logging			
							Gikk til overdekket område (Ø 58.480'-58.534'; N 8.108'-8.135)			
58.500	8.119	13:21	12:21				Satte ut bøye i overdekningsområde			
58.501	8.124	13:30	12:30				Posisjon ca. 5 m fra bøye			
							ROV satt i sjøen: Grumset vann fra overflaten - ikke mulig å se noe; skyldes dumping fra lekter inne i Hanneviksbukta ca. 15 minutter før.			
		13:39:41	12:39	Ser.6:29m			Turbiditet 10-30 FTU i hele vannsøylen			
		13:45	12:45				Tar opp ROV			
							Går ut mot ankringsplass C			
59.250	7.990	14:16	13:16				Setter ut bøye - starter logging av GPS			
59.248	7.970	14:20	13:20	Ser.7: 43m			0-5m 0.5 FTU; 5-20 m 0.3 FTU; >20m 0.6 FTU			
		14:29	13:29		3	35	Vannhenter fast i bøye, tar opp bøye			
59.204	7.988	14:39	13:39				Setter ut bøye ved ankringsplass C			
		14:48	13:48				Anker droppes, ca. 20 m VSV av bøye			
		14:49	13:49	ser.8						
		14:55:50	13:55		4	40	Turbiditet ca. 1 FTU målt med STD			
		15:25	14:25				Hiver Anker			
		15:26:33	14:26	ser.9			samtidig logging av GPS			
		15:39	14:39				STD-måling avsluttes			

Vedlegg B. Beskrivelse av ROV

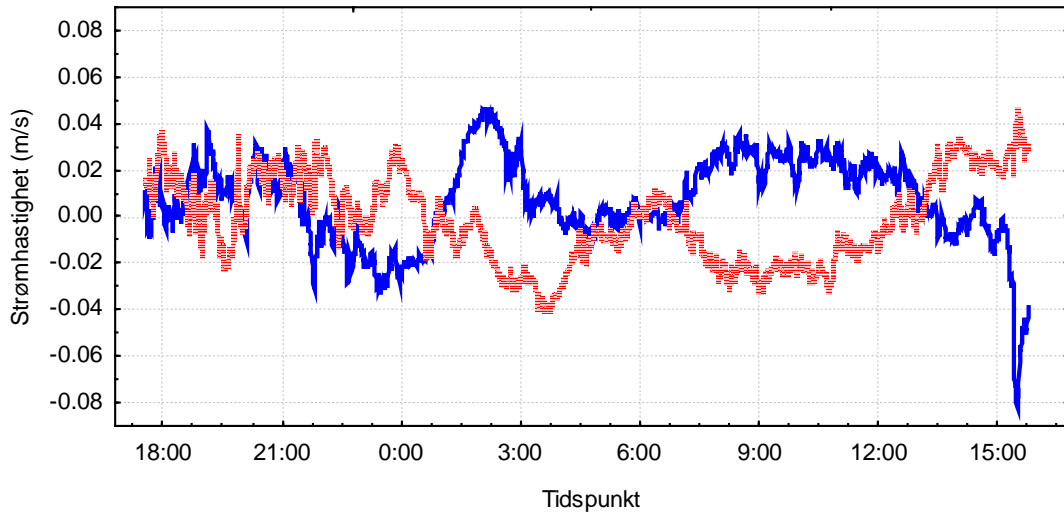
Tabellen nedenfor gir en kort beskrivelsen av den ROV (Remote Operated Vehicle) som ble brukt under ankringsforsøkene.

Type	High powered electrical ROV with interface capabilities for standard tools, sensors and electrical/ hydraulic manipulators
Work capabilities	Observation, search, survey and retrieval
Weight in air	Approx. 325 kg.
Length	140 cm.
Breadth	81 cm.
Depth	77 cm.
Operational depth	800 meters (option 2000 m).
Speed	2.8 knots horizontal; 1.2 knots vertical; 1.3 knots lateral
Power requirement	230 VAC (990 VAC), 1-phase or 3-phase 10 kW
Camera	4 Cameras, colour CCD or B/W and digital video
Auto functions	Auto depth, Auto heading, Auto altitude

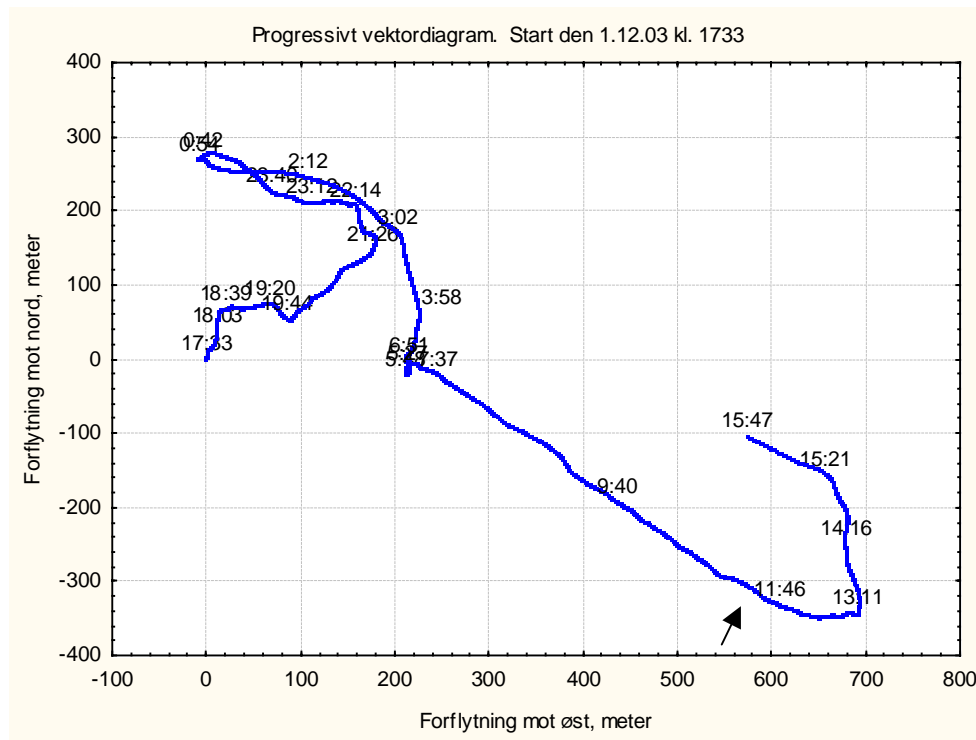
Vedlegg C. Tilleggsfigurer

Målinger av strøm i Kristiansand havn 1.-2. desember 2002

12/2/02 12:00 AM



Figur 25. Måling av strøm i 35 m dyp nord for Myrodden mellom ca. 1730 den 1.12.02 og ca. 1545 den 3.12.02. Strømmen er dekomponert i nord-sør og øst-vest komponent. Bevegelse mot hhv. sør og vest er gitt negativt fortegn.



Figur 26. Progressivt vektordiagram for strømmen i 35 m dyp nord for Myrodden. Målingene startet 1.12.02 kl. 1733 og ble avsluttet 2.12.02 kl. 1547. Figuren viser at strømrretningen først var nordøstlig, for deretter å dreie mot nordvest. Omkring en time etter midnatt skiftet strømmen mot sørøst for så å dreie mot nord omkring 12 timer senere.

