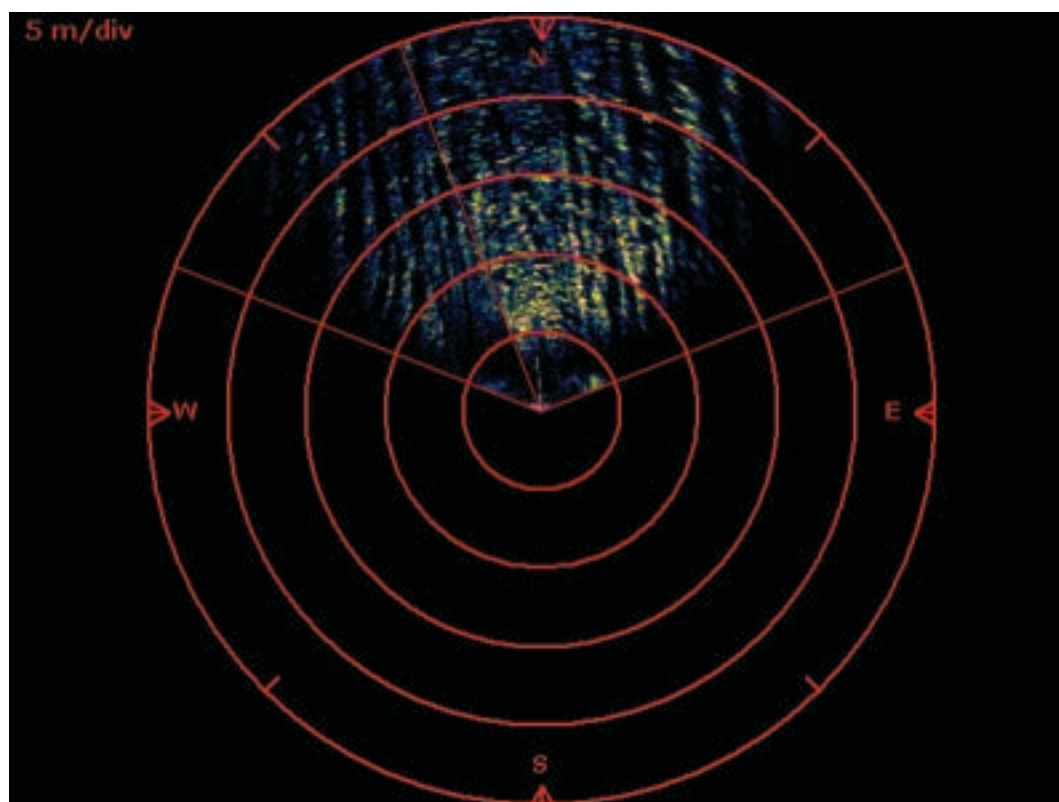


Sedimentoppvirvling under reketråling i Eidangerfjorden juni 2008



Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Jon Lilletuns vei 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 55 31 22 14

NIVA Midt-Norge

Pirsenteret, Havnegata 9
Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

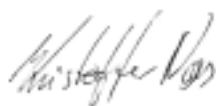
Tittel Sedimentoppvirvling under reketråling i Eidangerfjorden juni 2008.	Løpenr. (for bestilling) 6282-2012	Dato 07.02.2012
	Prosjektnr. Udemnr. O-27387	Sider Pris 38
Forfatter(e) Jarle Molvær, Jan Magnusson, Kristoffer Næs og Morten Schaanning.	Fagområde Marine miljøgifter	Distribusjon
	Geografisk område Telemark	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Norsk Hydro og Fylkesmannen i Telemark, Miljøvern avdelingen	Oppdragsreferanse
--	-------------------

Sammendrag

Bunnsedimentene i Grenlandsfjordene inneholder miljøgifter og særlig da dioksiner. I Eidangerfjorden ble det i juni 2008 utført en studie av hvordan bunntråling etter reker virvler opp sedimenter og medfører spredning av forurensede partikler. Prosjektet var et samarbeid mellom NIVA, Stockholms Universitet og Sveriges Fiskeriverk Havsfiskelaboratoriet i Lysekil, og omfattet målinger av strømforhold ved bunnen, turbiditet, partikkelkonsentrasjon og partikkelstørrelse under bunntråling i to dager. Resultatene viste markert partikkelspredning til 15-18 m over bunnen og i en bredde på ca. 150 m. Mengde oppvirvlet dioksin kan beregnes til størrelsesorden 5-50 mg toksisitetsekvivalenter (TE) fra et tråltrekk som her ble studert. På årsbasis i størrelsesorden 300-2500 mgTE. Det meste vil resedimentere i Eidangerfjorden mens en mindre andel som er knyttet til små partikler kan spres til Langesundsfjorden. Det vil skje en desorpsjon av dioksin fra de oppvirvlede partiklene som kan føre til en økt konsentrasjon av løst dioksin til de bunn-nære vannmassene.

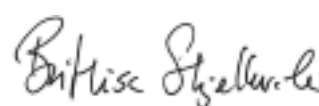
Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Sedimenter	1. Sediments
2. Tråling	2. Trawling
3. Oppvirvling	3. Resuspension
4. Miljøgifter	4. Pollutants



Kristoffer Næs
Prosjektleder



Morten Thorne Schaanning
Forskningsleder



Brit Lisa Skjelkvåle Monsen
Forskningsdirektør

O-27387

**Sedimentoppvirvling under reketråling
i Eidangerfjorden juni 2008**

Forord

Dette prosjektet er gjennomført på oppdrag av Norsk Hydro (Thinc-prosjektet) og Fylkesmannen i Telemark, Miljøvernavdelingen. Kontaktpersoner har vært henholdsvis Sverre Olav Lie og Marianne Olsen.

Det faglige arbeidet er gjennomført i samarbeid med Universitetet i Stockholm ved Clare Bradshaw og Sveriges Fiskeriverk, Havsfiskelaboratoriet ved Mattias Sköld med R/V "Hålabben". Vi vil også få fremheve det tekniske samarbeidet med R/V "Trygve Braarud" ved skipper Sindre Holm og rekekråler "Tine Marlin" ved skipper Thor-Olaf Thomsen.

Ved NIVA ble arbeidet ledet av H.C. Nilsson (prosjektledelse og organisering av feltarbeid) mens Jarle Molvær og Jan Magnusson hadde ansvaret for målinger i felt, etterfølgende databehandling og utarbeidelse av rapport. Kristoffer Næs har vært prosjektleder

Oslo, 7.02.2012

Kristoffer Næs

Innhold

Sammendrag	5
Summary	7
1. Bakgrunn og formål	8
2. Feltarbeidet	10
3. Resultater	13
3.1 Vannmassene i Eidangerfjorden	13
3.2 Tidevannet	14
3.3 Partikkelstørrelse og sedimentasjon	15
3.4 Strømforhold og turbiditet ved trålpportene	17
3.5 Målinger av turbiditet	23
3.6 Partikkelskyens utbredelse ved bunnen	26
4. Estimat av oppvirvlet mengde	31
4.1 Partikkelskyens utbredelse	31
4.2 Konsentrasjon og utsynking av partikler	31
4.3 Mengde av dioksiner i oppvirvlede partikler	31
5. Vurdering av trålingens betydning i forhold til resirkulering av dioksiner	32
6. Litteratur	33
Vedlegg A.	34

Sammendrag

Sedimentene i Grenlandsfjordene inneholder miljøgifter (spesielt dioksiner) fra utslipp gjennom de siste 50 år. I Grenlandsfjordene utenfor Brevik foregår bunntrålfiske etter reker, og denne virksomheten påvirker bunnsedimentet og fører til oppvirvling av partikler. Imidlertid er ikke effekten eller omfanget av bunntrålingen undersøkt. Dette prosjektet har derfor hatt som formål å studere omfanget av resuspensjonen av sedimenter under bunntråling og vurdere betydningen i forhold til spredning av miljøgifter.

Feltarbeidet ble gjennomført i Eidangerfjorden over tre dager i juni 2008, med bruk av fartøyer fra Universitetet i Oslo og Fiskeristyrelsen i Lysekil, Sverige. Trålingen ble utført av skipper Thor-Olaf Thomsen. Det deltok forskere fra Stockholms Universitet, Sveriges Fiskeriverk Havsfiskelaboratoriet i Lysekil (nå under Sveriges lantbruksuniversitet) og NIVA.

Trålingen ble gjennomført i en lengde på ca. 3600 m i Eidangerfjorden. Samtidig ble det gjort målinger av strømhastighet og -retning, turbiditet og partikkelkonsentrasjon. Resultatene viser oppvirvling av sedimenter til en høyde av 15-18 m over bunnen. Skyen med partikler forflyttet seg med strømmen med stor variasjon i retning. Trolig ble også den opprinnelige partikkelskyen etter hvert delt i flere. Typisk bredde av skyen ble anslått til ca. 150 m.

Analysene viser at ca. 95 % av partiklene hadde diameter $<10 \mu\text{m}$ og ca. 50 % hadde diameter $<4 \mu\text{m}$. Den teoretiske synkehastigheten for partiklene ble beregnet til mellom 0,2 m/d (partikkeldiameter $2 \mu\text{m}$) og 5 m/d (partikkeldiameter $10 \mu\text{m}$). Det ble videre antatt at en betydelig andel av de små partiklene dannet større partikler ved flokkulering, og at 1-5m/d var typisk sedimentasjonshastighet i partikkelskyen. Dette betyr at en stor del av partiklene som trålen virvlet opp sannsynligvis sank til bunns i løpet av et døgn, men de minste partiklene (tilsvarende omkring 0,5 mg/l) kan ha blitt svevende i flere døgn og fordelt seg over storparten av Eidangerfjorden.

På grunnlag av volumet av skyen med partikler, partikkelkonsentrasjon og dioksinkonsentrasjon i sedimentene ble oppvirvlet mengde dioksin anslått til størrelsesorden 5-50 mg toksisitetsekvivalenter (TE) fra et tråltrekk av den lengden som vi her studerte. På årsbasis kan oppvirvlingen fra 50-60 tråltrekk anslås til 300-2500 mgTE, eller mest sannsynlig 500-1500 mgTE. Det meste vil resedimentere i Eidangerfjorden, mens en mindre andel som er knyttet til små partikler kan spres til Langesundsfjorden.

Den estimerte oppvirvlingen av dioksiner er i samme størrelsesorden som det som er blitt modellert og målt som transport fra Frierfjorden over terskelen til fjordområdet utenfor ($1000 \text{ mgTE}/\text{år}$). Et viktig spørsmål blir hva tråloppvirvlingen betyr for konsentrasjoner i organismer. I utgangspunktet kan man argumentere med at oppvirvling av forurensede sedimentpartikler som så faller ned igjen på et sediment med samme forurensningsgrad, representerer et lite problem. Trålingen vil imidlertid representere en spredningsmekanisme for dioksinforurensede partikler i bunnvannet i fjordsystemet. I en relativt nylig gjennomført undersøkelse av konsentrasjoner av og på partikler i bunnvannet i Grenlandsfjordene ble det målt en økning i den partikulære dioksinkonsentrasjonen med en faktor på 4-9 mellom overflatevannmassene og dypvannet i Eidangerfjorden og Kalven. Denne forskjellen er ikke nødvendigvis en følge av tråling, men kan skyldes oppvirvling på grunn av naturlige prosesser (resuspensjon) i skråningene og på den flate fjordbunnen.

Når sedimentpartiklene resuspenderes, vil det skje en desorpsjon av dioksin. I tillegg er det sannsynlig at oppvirvlingen av porevann vil bidra til økt konsentrasjon av løst dioksin i bunnvannet. I tillegg til utlekking og desorpsjon fra oppvirvlede partikler kan dioksiner resirkuleres via opptak i sedimentlevende organismer. Simuleringer med Sedflex-modellen har vist at den viktigste

opptaksveien for dioksiner i bunnfisk, for eksempel torsk, er gjennom denne næringskjeden. Forutsetningen er at det er vesentlig høyere konsentrasjoner av dioksin i porevannet sammenlignet med de frie vannmasser. Det ligger utenfor formålet i denne rapporten å kvantifisere konsekvensen av trålingen for konsentrasjoner av dioksiner i organismer. Resultatene oppnådd i dette arbeidet representerer imidlertid en verdifull informasjon for fremtidige revisjoner av modellrammeverket som er utviklet for Grenlandsfjordene.

Summary

Title: Resuspension of sediments during shrimp trawling in the Eidangerfjord June 2008

Year: 2012

Authors: Jarle Molvær, Jan Magnusson, Kristoffer Næs and Morten Schaanning.

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: 978-82-577-6017-5.

The bottom sediments in the Grenland fjords contain dioxins from industrial discharges over the last 50 years. Bottom trawling for shrimp in the outer part of the fjord system creates resuspension of these sediments. The aim of this project was to study the extent of this resuspension and its importance in relation to spreading of dioxins to other parts of fjords.

The field study was carried out in the Eidangerfjord during 2-4.6.2008, with scientists from University of Stockholm, Swedish University of Agricultural Sciences, and NIVA. The research vessels were from the University of Oslo and the Swedish University of Agricultural Sciences, Lysekil, Sweden. The trawling was carried out by Thor-Olav Thomsen with his "Tine Marlin".

The trawl tracks were approximately 3600 m long. Measurements of turbidity, particle concentration and simultaneous current measurements showed resuspension of sediments to a height of 15-18 m. The width of the watermass with suspended sediments varied with time, but with 150 m as a typical value.

Approximately 95 % of resuspended particles had diameters $<10 \mu\text{m}$ and ca. 50 % had diameters $<4 \mu\text{m}$. The sinking velocity of the particles was calculated to 0,2-5 m/day (for diameters 2-10 μm). A significant part of the particles probably flocculated, and we assume that 1-5 m/day was a typical sinking velocity. Most of the particles would settle in the Eidangerfjord, but the smallest particles (amounting to approximately 0,5 mg/l) might have been in suspension for several days and to some extent settled in the Langesundsfjord.

Taking into consideration the concentration of dioxins in the sediments and 50-60 trawltracks annually, the annually resuspended sediments may contain 300-2500 mgTE, or more probably 500-1500 mg TE. In comparison the modeled annual transport of dioxins from the Frierfjord over the Brevik sill to the fjord area outside is approximately 1000 mgTE.

An important question is what effect this resuspension has on dioxin uptake in marine organisms, as it represents a mechanism for distribution of dioxin in the fjord bottom water. This need to be addressed through the established model for the area (Sedflex), but is outside the scope for this report. A previous study of particles in the bottom water of the Eidangerfjord and Kalven found that the dioxin concentration was 4-9 times higher than in the surface water. However, this is not necessarily caused by trawling as natural resuspension of sediments both on the sloping sides of the fjord and the bottom may be of importance.

1. Bakgrunn og formål

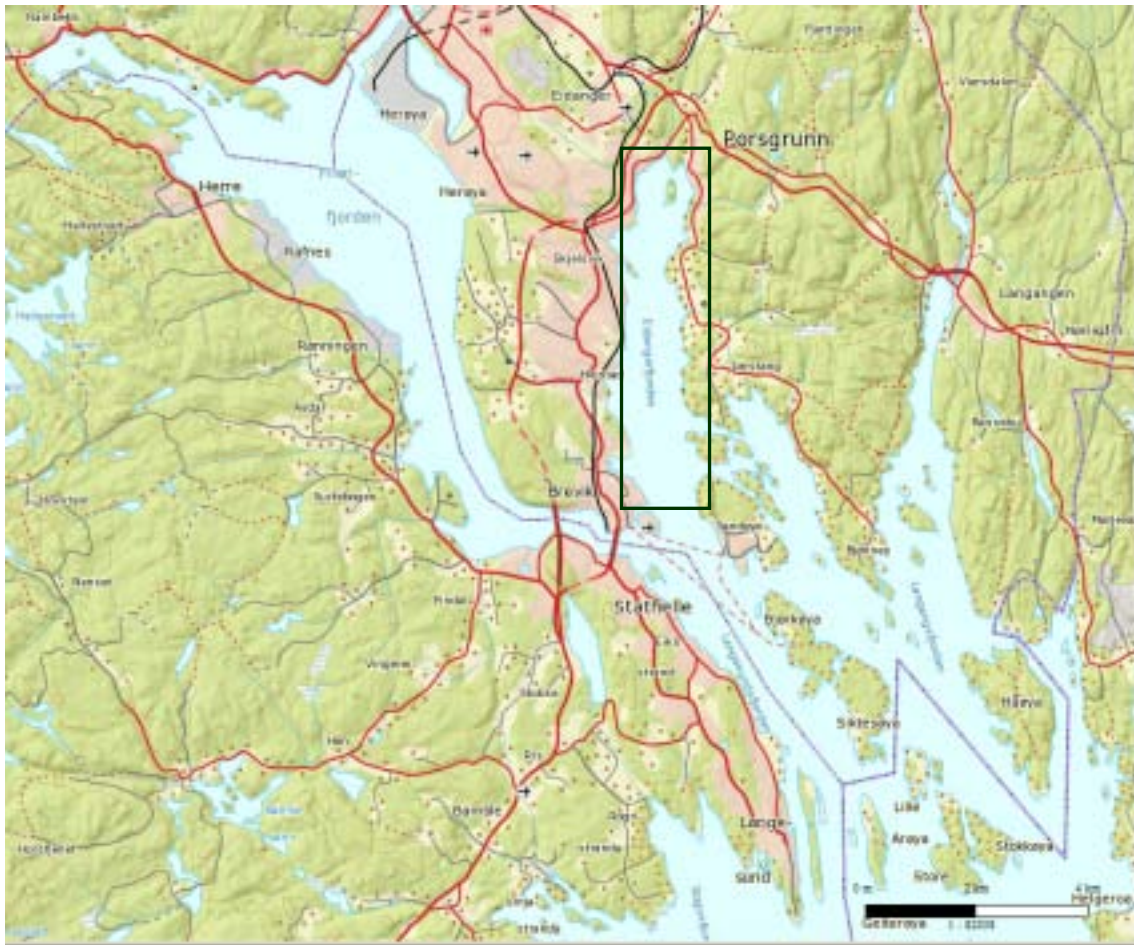
Bunnsediment fungerer ofte som en felle for miljøgifter. I sedimentene fra Grenlandsfjordene er det lagret miljøgifter (spesielt dioksiner) fra utslipp gjennom de siste 50 årene (Næs, 1999). I fjordområdet utenfor Brevik pågår et bunntrålfiske (hovedsakelig etter reker) som påvirker bunnsedimentet og virvler opp og sprer partikler. **Figur 1** viser hvordan en tråldør kan ”pløye opp” fjordbunnen. Imidlertid er verken effekten eller omfanget av bunntrålingens påvirkning tidligere undersøkt.

Prosjektets formål var å studere hvilken betydning oppvirvling av bunnsedimenter under tråling kan ha for spredning av miljøgifter.

Studien ble lagt til Eidangerfjorden hvor det jevnlig tråles etter reker (**Figur 2**).



Figur 1. Spor etter tråldører på bunnen av Eidangerfjorden.



Figur 2. Kart over Grenlandsfjordene med Eidangerfjorden (innrammet).

2. Feltarbeidet

Feltarbeidet ble utført i tidsrommet 2-4.6.2008, med bruk av R/V "T. Braarud" fra Universitetet i Oslo, "R/V Hålabben" fra Sveriges Fiskerverk Havsfiskelaboratoriet i Lysekil, og reketråleren "Tine Marlin". I dette tidsrommet ble det gjennomført:

1. Tråling i en ca. 1500 m lang trasé mellom to "porter" der instrumenter for måling av turbiditet og strøm var utplassert like over bunnen. Portenes bredde var 120-130 m. Det ble gjennomført to trålinger hver dag. (se **Figur 3** og Vedlegg A, Figur A1-A2 og Tabell A1-A2).
2. Strømmålinger ca. 2 m over bunnen i 4 posisjoner som definerte de to "portene" som tråleren beveget seg gjennom. Målingene skulle beskrive hvordan vannmassene beveget seg under og etter trålingen. Målerne ble plassert om ettermiddagen den 2.6 og var av typen Aanderaa RCM9 som registrerte med 1 minutt intervall. **Figur 3** viser plassering av trålportene i Eidangerfjorden og forankringen av strømmålerne.

I tillegg ble det brukt en Doppler strømmåler av type Aanderaa RDCP600 som fra "Hålabben" ble slept langsomt 20-25 m over bunnen, mens den registrerte vertikalt nedover med 2 minutters intervall.

3. Oppvirvlingen av partikler ble beskrevet ved tre type målinger:
 - Målinger av turbiditet ved sensorer på de 4 strømmålerne ved trålportene
 - Foruten sensorene på de fire strømmålerne ble turbiditet målt av sensorer på de tre CTDene om bord i "T. Braarud" og STDen som ble brukt om bord i "Hålabben". Oftest som vertikallprofiler, men også ved at instrumentene ble slept langsomt omkring mens de var plassert mindre enn 10 m over bunnen.
 - I tillegg ble den akustisk profilerende måleren RDCP-600 brukt fra "Hålabben" ved å registrere fra 65-70 m dyp og mot bunn, dvs. gjennom en vannsøyle på ca. 30 m. Denne registrerer ikke turbiditet direkte, men signalstyrken gir et relativt mål på partikkelmengden i vannet.
 - Partikkelmengden (totalt suspendert materiale, TSM) ble målt i 27 vannprøver som ble tatt med vannhenter fra "T. Braarud". I 7 av prøvene ble også partikkelstørrelse og -volum bestemt ved bruk av en Coulter Counter partikkelanalysator.

Målinger med CTD/STD og vannprøvetaking er nærmere beskrevet i Vedlegg A, Tabellene A1 og A2.

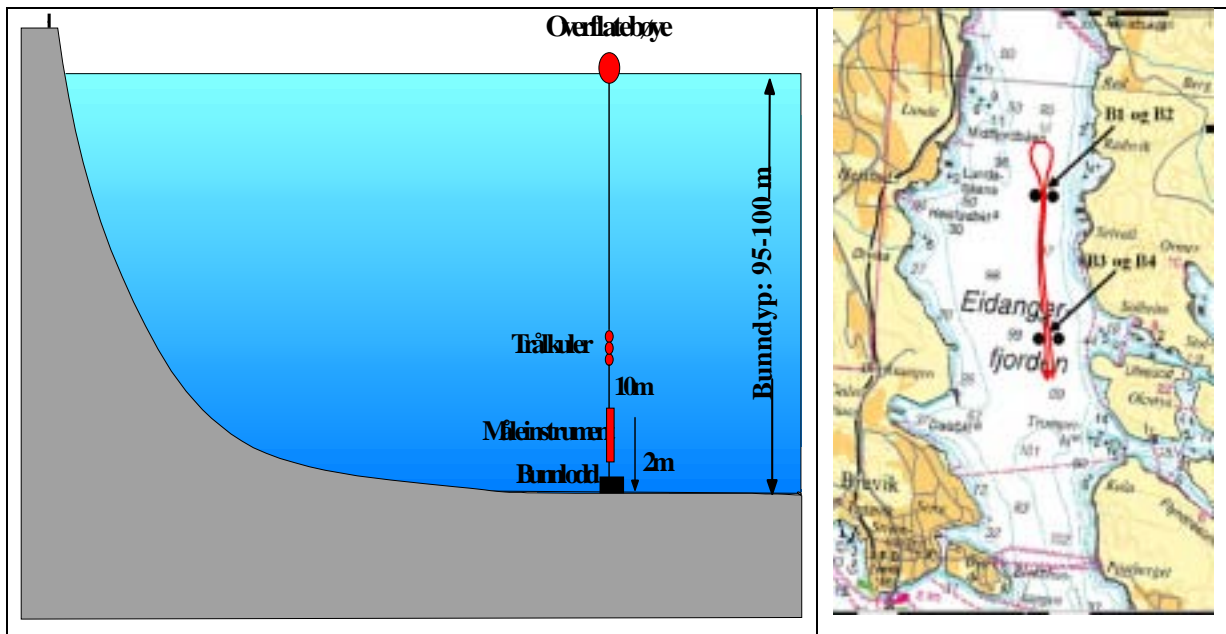
STDen som ble brukt fra "Hålabben" hadde defekt trykksensor og registreringen av dyp ble derfor unøyaktig. Den følgende datagjennomgangen er derfor i stor grad basert på målingene fra "T. Braarud", der også vannprøvene ble innsamlet. Her ble brukt tre CTDer:

- Skipets fastmonterte CTD (type Falmouth) med en Seapoint turbiditetsensor. CTDen var montert på en Rosette vannprøvetaker utstyrt med NIO-vannhenter.
- 2 stk. SEACAT (type Seabird) var festet på Rosett-vannprøvetakeren, og begge utstyrt med Seapoint turbiditetsensorer.

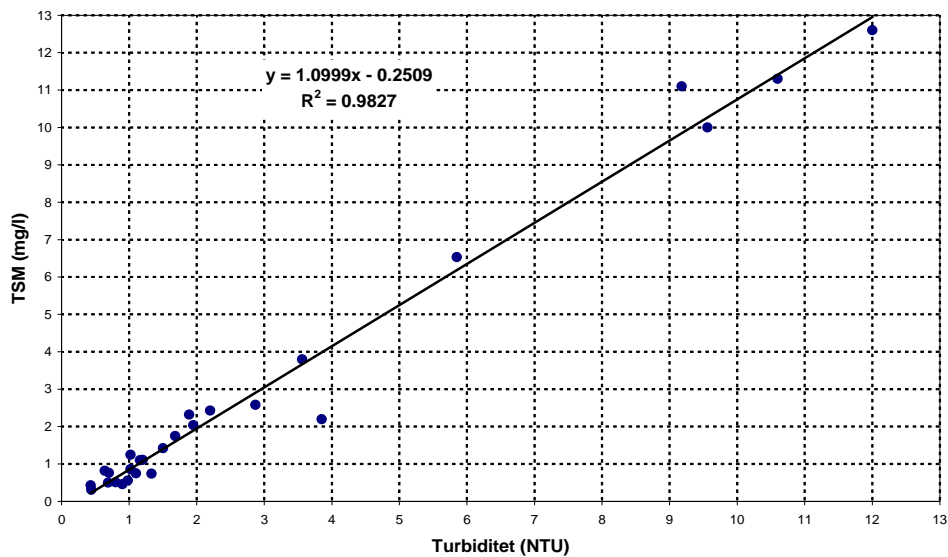
Tabell 1 beskriver instrumentenes sensorer i mer detalj. At trykksensoren på STDen som ble brukt fra "Hålabben" var defekt vanskeliggjorde en nøyaktig beskrivelse av partikkelskyens vertikale utbredelse omkring søndre port (se også Vedlegg A, Figur A3).

For å kontrollere turbiditetsensorene og beskrive sammenhengen mellom turbiditet og total suspendert materiale (TSM), ble 27 vannprøver analysert på turbiditet og totalt suspendert materiale (TSM). Dette ga en sterk lineær sammenheng:

TSM (mg/l) = 1,1 * Turb (NTU) - 0,25, med R² = 0,98 (som vist i **Figur 4**).



Figur 3. Til venstre: skisse av forankringssystem for strømmålerne ved bunnen. Til høyre: Plassering av de fire strømmålerne (2x2stk) som markerte portene som trålen ble slept gjennom. Avstanden mellom de to trålporene var ca. 1200 m. Traseen som tråleren fulgte fra sør til nord, og tilbake, er vist med rød strek. For mer detaljert beskrivelse av trålingen: se Vedlegg A, Figurene A1-A2.



Figur 4. Sammenheng mellom TSM og turbiditet, basert på vannprøver og målinger fra 3- 4.6.2008.

Tabell 1. Instrumenter brukt under feltarbeidet. RDCP-600 måler ikke turbiditeten direkte, men signalstyrken er et relativt mål for partikkelmengde og turbiditet.

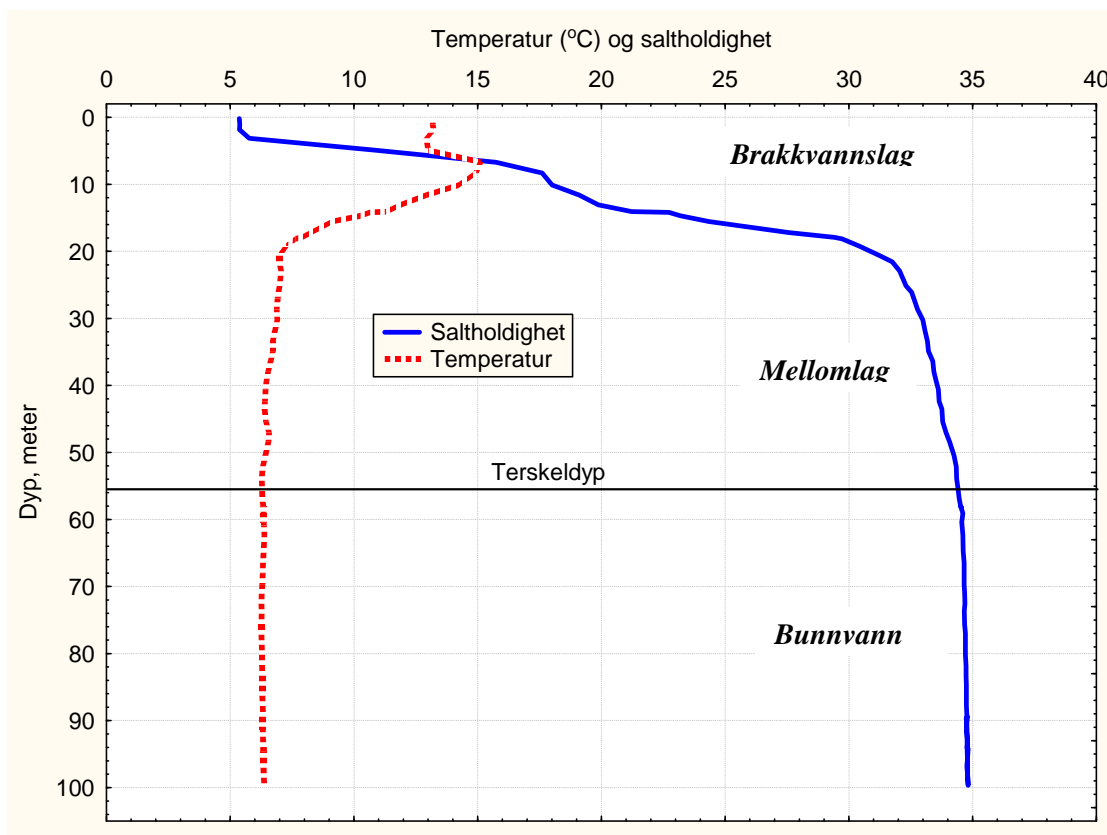
Instrument nr.	Hastighet	Retning	Temperatur	Saltholdighet	Turbiditet	Kommentar
RCM9 25	X	X	X	X	X	Defekt sensor for saltholdighet.
RCM9 623	X	X	X	X	X	
RCM9 624	X	X	X	X	X	
RCM9 626	X	X	X	X	X	
RDCP-600	X	X			"X"	Akustisk måler.
SeaCat CTD			X	X	X	Fra "T. Braarud".
SAIV STD			X	X	X	Fra "Hålabben". Defekt trykksensor.

3. Resultater

3.1 Vannmassene i Eidangerfjorden

Utstrømmingen av brakkvann fra Frierfjorden og terskelen på ca. 55 m dyp ved Dybingen gjør det hensiktsmessig å inndele vannmassene i Eidangerfjorden i 3 vannlag (*Figur 5*):

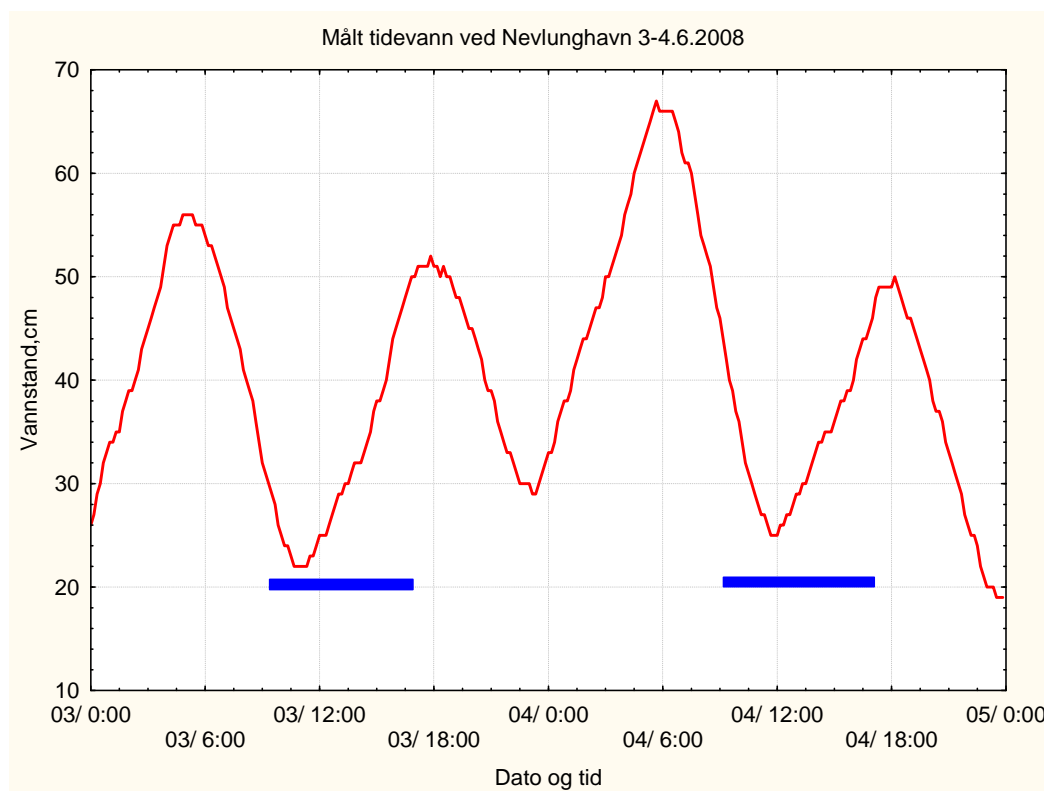
- Øverst ligger et markert brakkvannslag med typisk tykkelse ca. 2 m.
- Under ligger et mellomlag der saltholdigheten først øker raskt til ca. 30 for deretter å øke langsommere til 32-34 ned til terskelen i ca. 55 m dyp.
- Underst finnes re forholdsvis homogent dypvann fra terskelen og videre ned mot bunnen. Oppholdstiden for dypvannet er 5-8 måneder, med tidsrommet mai-oktober som typisk stagnasjonsperiode (Molvær og Stigebrandt, 1991).



Figur 5. Typisk vertikalprofil for temperatur og saltholdighet under feltarbeidet i Eidangerfjorden. Terskeldypet og de tre vannmassene er antydnet.

3.2 Tidevannet

Nær bunnen, ca. 50 m under fjordterskelen, er vannbevegelsene oftest langsomme og preget av halvdaglig tidevann og av skiftende meteorologiske forhold (vind og lufttrykk). Trålingen startet omkring lavvann om formiddagen den 3.6 og 4.6 og ble begge dager avsluttet sent på ettermiddagen (**Figur 6**). Begge dager foregikk dermed trålingen i alt vesentlig under stigende tidevann, dvs. strøm hovedsakelig rettet innover fjorden.



Figur 6. Tidevann ved Nevlunghavn 3-4.6.2008. Tidsrommene da trålingen foregikk er vist med blå strek (kilde: vannstand.no).

3.3 Partikkelstørrelse og sedimentasjon

Partiklene som trålen virvlet opp synker etter hvert til bunns igjen. Synkehastigheten er avhengig av mange faktorer, og for å få et inntrykk av hastighet og varighet i vannmassen bruker vi Stokes' lov for partiklers synkehastighet i en stillestående væske:

$$V = \frac{d^2(\rho_s - \rho_w)g}{18\mu}$$

V	=	hastighet av partikkelen i vann
d	=	partikkeldiameter
ρ_s	=	partikkelens tetthet
ρ_w	=	væskens tetthet
μ	=	væskens dynamiske viskositet = $\nu \cdot \rho_w$ hvor ν er kinematisk viskositet.
g	=	tyngdens akselerasjon

Partikkelstørrelsen i de 7 vannprøvene varierte forholdsvis lite. Omlag 95 % av partiklene hadde diameter mindre enn 10 μm og mer enn 50 % mindre enn 4 μm (**Figur 7**). Beregning av kumulativt volum viser en annen fordeling, ved at det er de "forholdsvis få" partiklene med diameter større enn 12-15 μm som dominerer i volumberegningen. Som dermed betyr at vekten av partiklene i suspensjon vil avta langt raskere enn partikkelantallet kan indikere.

Viskositet, seighet, er den egenskapen at sjøvannet her motsetter seg at en partikkel (med helt annen egenvekt enn sjøvann) beveger seg gjennom det. Kinematisk viskositet for sjøvann (saltholdighet 35) ved temperatur 10 °C er ca. $1.35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, og med tetthet $\rho_w = 1026 \text{ kg m}^{-3}$ blir den dynamiske viskositeten ca. $1.38 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$. Dette gjelder ved laminær strøm rundt partikkelen. Kriteriet for laminær strøm er at Reynolds tall

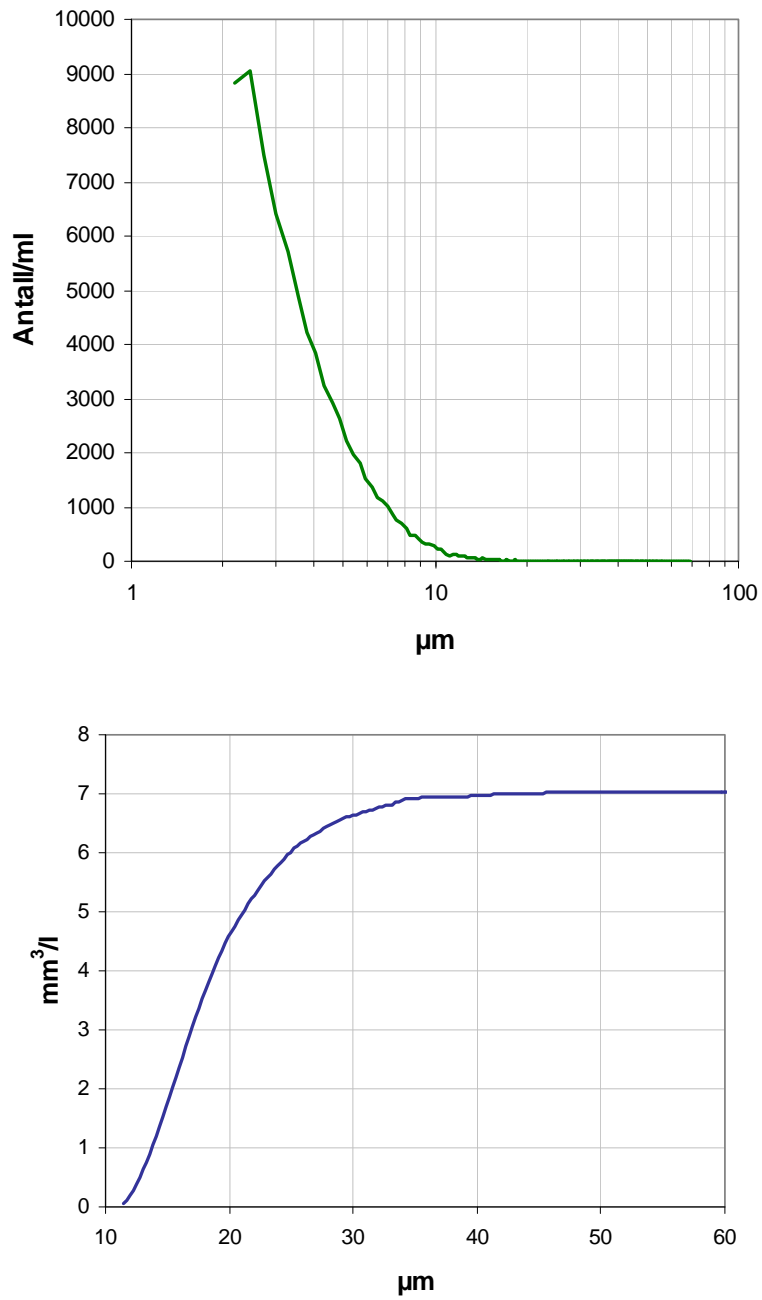
$$\text{Re} = \frac{\rho_w V d}{\mu}$$

er under en viss grense. Hastigheten stemmer svært godt når $\text{Re} < 0,1$, og med ca. 10 % nøyaktighet for $\text{Re} = 1$. Våre data gir $\text{Re} < 0,1$ for $d < 50 \mu\text{m}$, som betyr at ved den aktuelle fordelingen i partikkelstørrelse bør Stokes lov gi en god beskrivelse av synkehastigheten for partiklene.

Med $\rho_s = 2600 \text{ kg/m}^3$ og $\rho_w = 1026 \text{ kg/m}^3$ blir partiklenes synkehastighet som funksjon av diameteren som vist i **Tabell 2** nedenfor. Overslagsberegninger tyder på flere millioner partikler pr. liter. Ved slike tette "bestander" av små mineralske partikler har imidlertid disse en tendens til å søke sammen og danne større "klumper" som består av mange partikler. Dette skjer ved at svake elektrostatiske krefter trekker partiklene mot hverandre og prosessen kalles "**flokkulering**". Hermed kan utsynkingen øke vesentlig fordi de store partiklene som dermed dannes synker langt raskere enn hver enkelt av de små partiklene. Effekten av flokkuleringen har vi imidlertid ikke mulighet for å beregne, men dette betyr sannsynligvis at en stor andel av de minste partiklene vil forsvinne raskere fra dypvannet enn Stokes lov beregner.

Tabell 2. Beregnet synkehastighet ved bruk av Stokes lov.

Partikkeldiameter (mikrometer)	Synkehastighet	
	m/time	m/døgn
50	5,5	132
20	0,83	20
15	0,46	11,2
10	0,21	5,0
5	0,05	1,2
2	0,01	0,2



Figur 7. Beskrivelse av partikler fra stasjon EB26 (N:59.07111 og E: 9.7089) i Eidangerfjorden. Øverst: størrelsesfordeling. Nederst: kumulativt volum.

3.4 Strømforhold og turbiditet ved trålpportene

Strømforhold

De fire strømmålerne ved de to portene målte strømmens retning, hastigheten samt turbiditet med ett minuttintervall. I utgangspunktet var det forventet at strømretning og –hastighet ville være tydelig påvirket av tidevannet.

Strømmen ved søndre port var i hovedsak rettet nord-sør (**Figur 8**). Som ventet var hastigheten lav og typisk 2-3 cm/s (**Figur 9**). Når hastigheten dekomponeres langs en nord-sør akse (**Figur 9**) framkommer en periodisitet som synes å ligge nær opp til det halvdaglige tidevannet – jf. også **Figur 6**. Tidsserien er for kort til at man kan dokumentere dette ved en statistisk analyse av tidsserien, men bildet stemmer med det som var forventet.

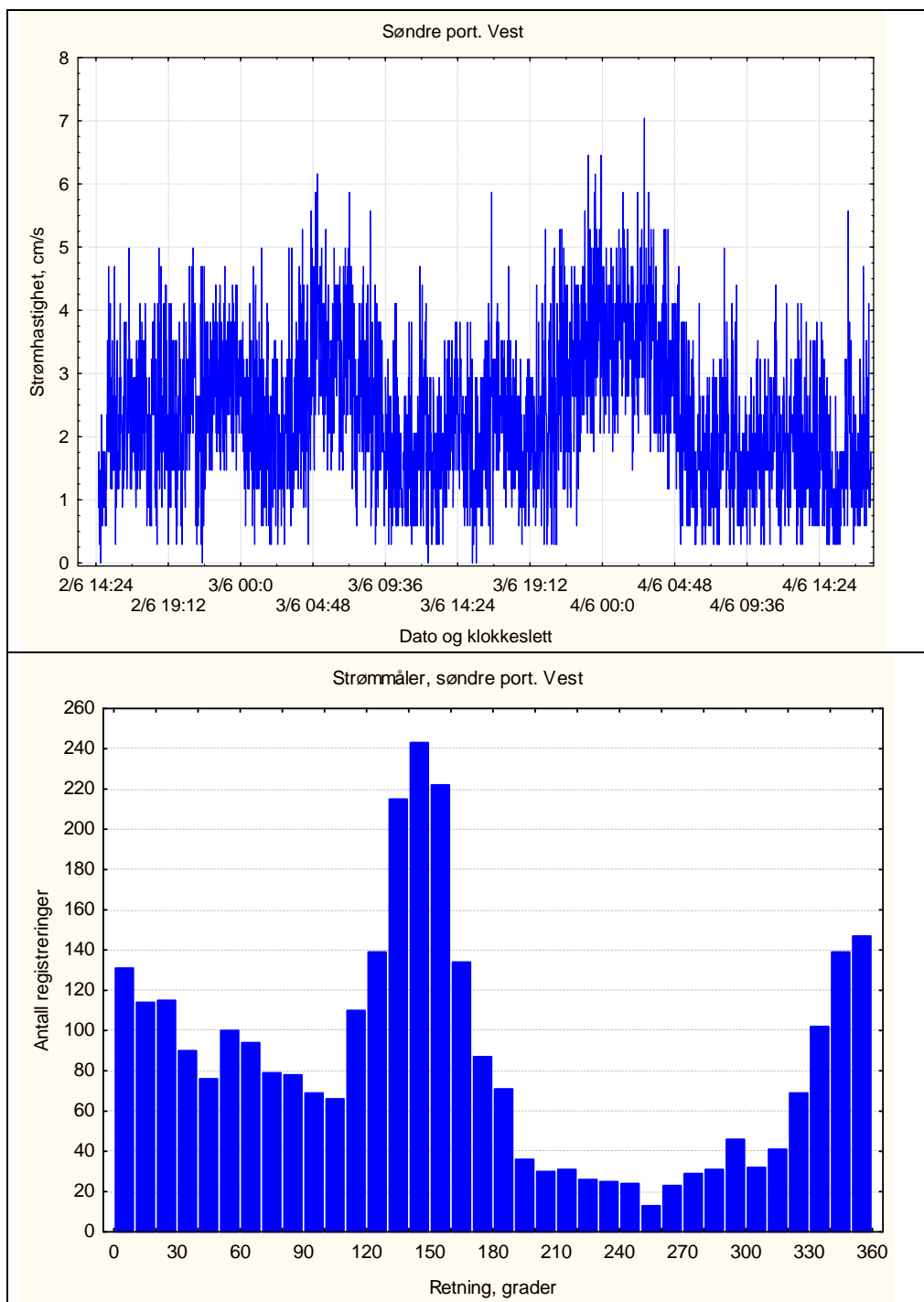
For å få et mer detaljert bilde av vannbevegelsene ved de to portene har vi plottet opp progressive vektordiagram som viser vannbevegelsene ved søndre port under og like etter trålingene (**Figur 10** og **Figur 11**). Dette er figurer som beskriver bevegelsen til en partikkel under forutsetning av at den starter der strømmåleren står og deretter forflytter seg i den retning og med den hastighet som til enhver tid måles av strømmåleren. Kurven som dermed trekkes kan gi et inntrykk av hvordan vannmassen forflyttet seg over tid. Den første trålingen 3.6. foregikk under nordgående strøm som etter hvert dreiet mot øst-nordøst. Dette tyder på at partikkelskyen i hovedsak ble liggende øst for porten – og dermed i liten grad merkbar på de vestre målerne i portene.

Ved den andre trålingen den 3.6. var strømretningen i hovedsak nordvestlig og partiklene burde merkes på den vestre måleren.

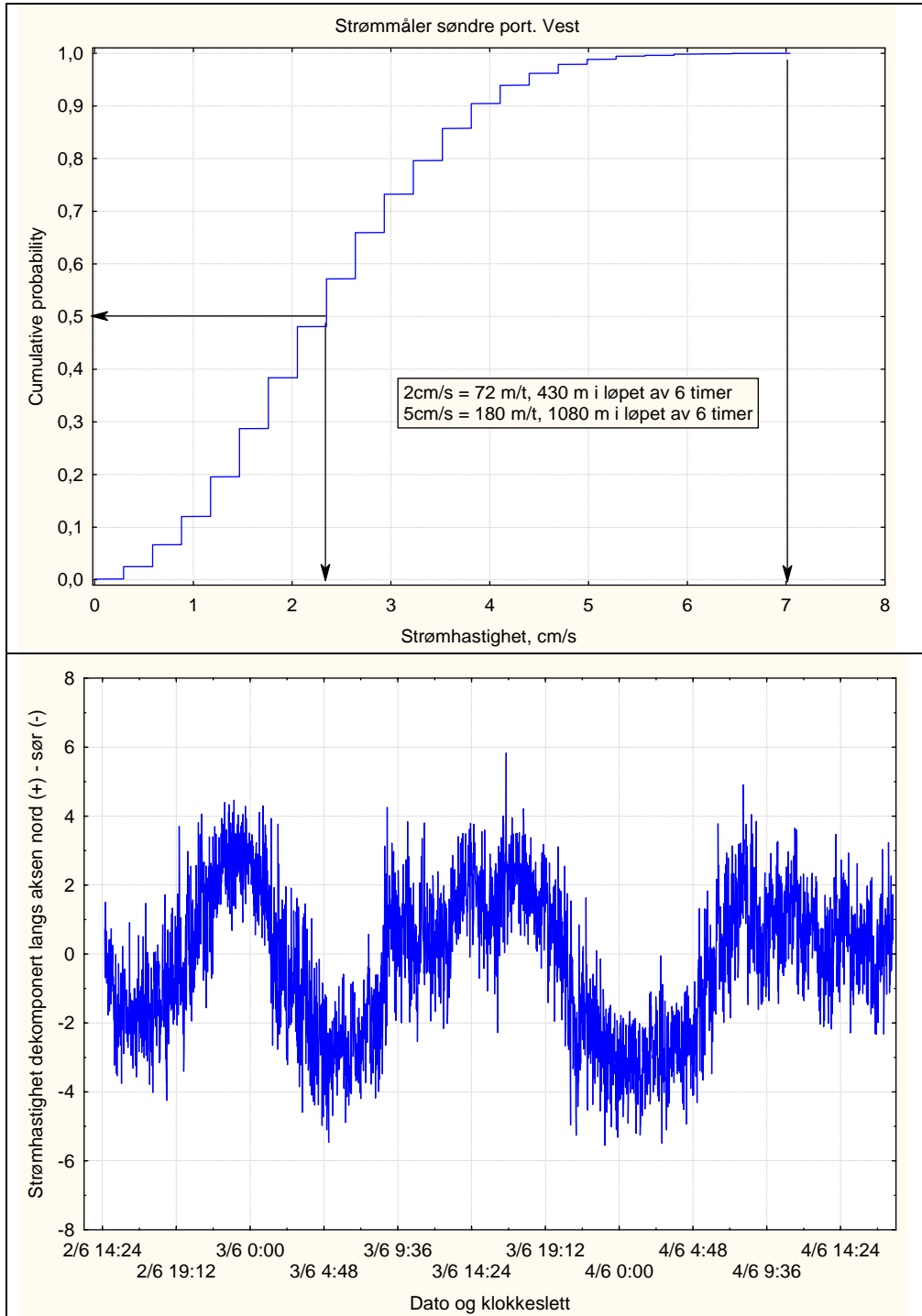
Ved begge trålingene den 4.6 var strømbildet i hovedsak nordlig strøm som etter hvert dreide mot nordøst. Sannsynligheten skulle være størst for å fange opp skyen på de østlige målerne.

Ved nordre port var vannbevegelsen i hovedsak nordlig begge dager, men med lange perioder der retningen vekslet mellom østlig og vestlig (**Figur 12**).

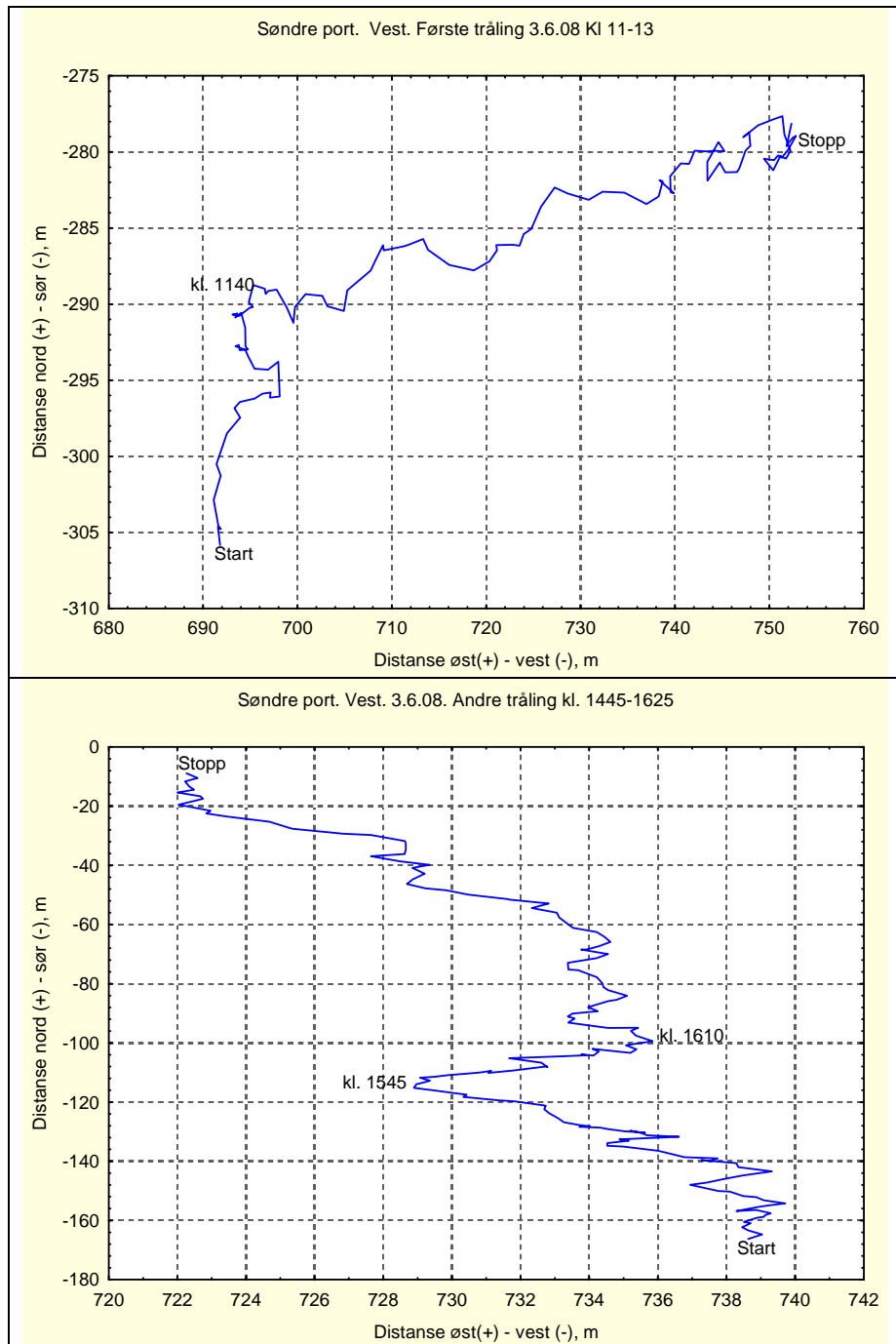
Samlet sett viser strømmålingene et bilde der det halvdaglige tidevannet driver en langsom bevegelse ut-inn av Eidangerfjorden. I tillegg til denne ”hovedbevegelsen” oppstår variasjoner der strømmen periodevis går i vestlig eller i østlig retning, og sannsynligvis også med dannelse av langsomme virvler.



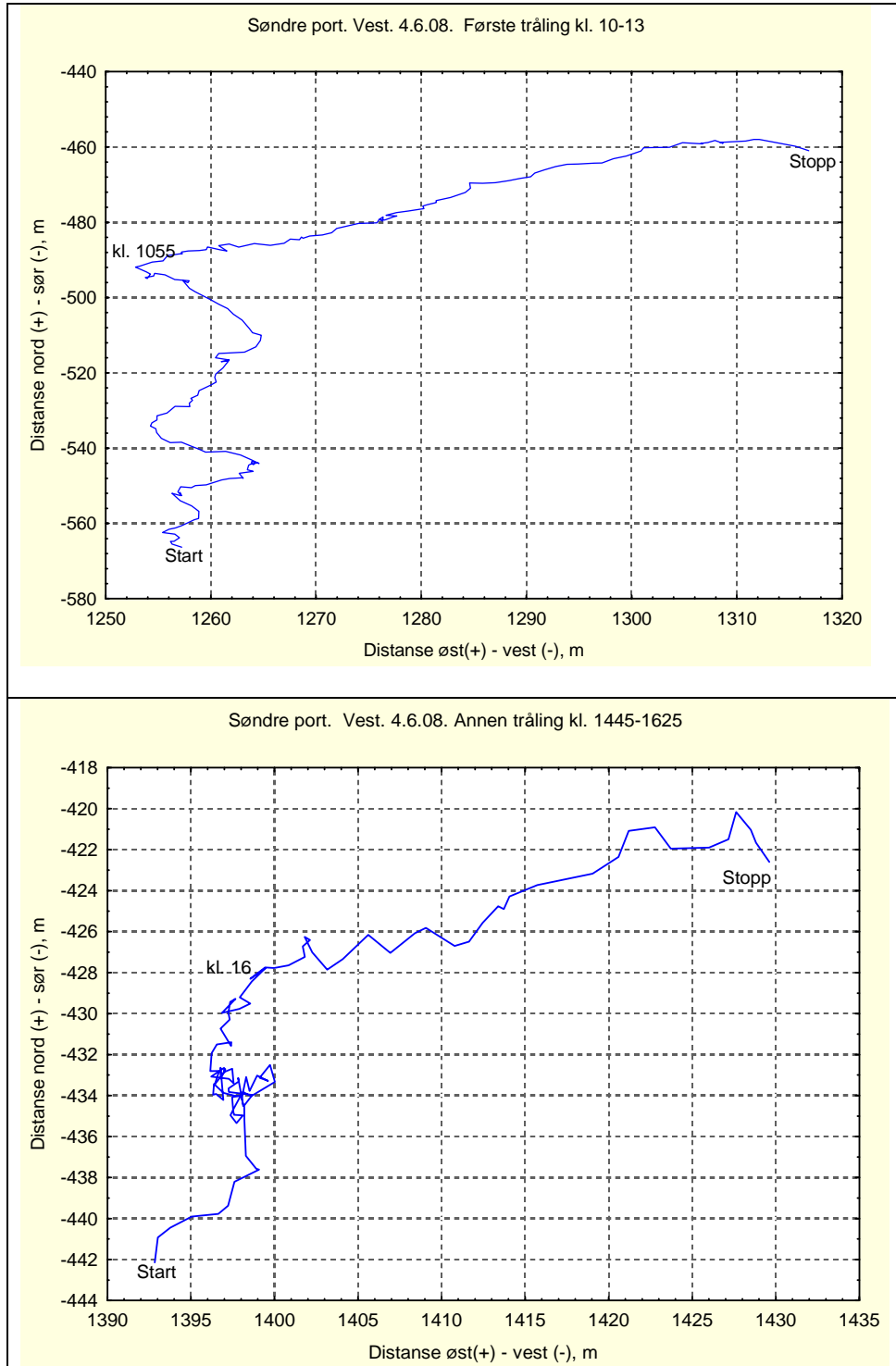
Figur 8. Måling i 95 m dyp ved søndre port, vestre måler. Øvre figur viser strømhastigheten og nedre figur viser at dominerende strømretning var nord-sør.



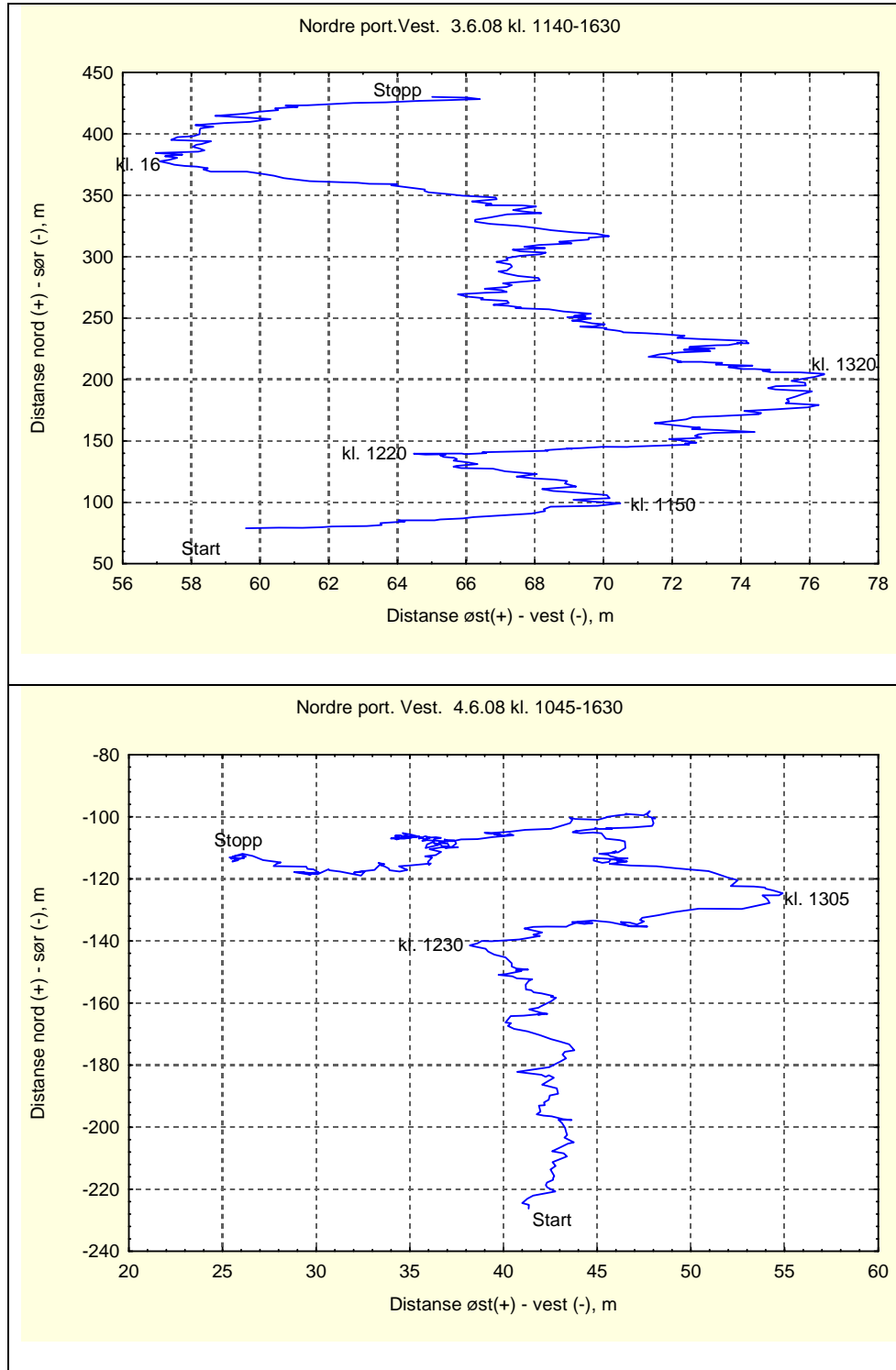
Figur 9. Måling i 95 m dyp ved søndre port, vestre måler. Øvre figur oppsummerer målingene av strømhastighet ved at median var 2,3 cm/s og ca. 90% av verdiene var under 4 cm/s. Største hastighet var 7 cm/s. Nedre figur viser strømhastighet dekomponert langs aksen nord-sør. Tidevannet er tydelig, men også andre forhold påvirker (trolig vind).



Figur 10. *Progressivt vektordiagram basert på strømretning og strømhastighet ved søndre port (vestre måler) under tråling den 3.6.2008. Kurvene beskriver bevegelsen til en partikkel under forutsetning av at den forflytter seg i den retning og med den hastighet som til enhver tid måles av strømmåleren. Under begge trålingene beveget vannmassene seg i hovedsak innover i fjorden. Om formiddagen (øvre figur) i nordøstlig retning og om ettermiddagen (nedre figur) i nordvestlig retning.*



Figur 11. *Progressivt vektordiagram basert på strømretning og strømhastighet ved søndre port (vestre måler) under tråling den 4.6.2008. Under begge trålingene beveget vannmassene seg i hovedsak innover i fjorden, men etter hvert med en markert østlig komponent.*



Figur 12. *Progressivt vektordiagram basert på strømretning og strømhastighet ved nordre port (vestre måler) under tråling. Øverst: målinger 3.6.08. Nederst: målinger 4.6.08. Selv om partiklene i hovedsak ble ført innover med tidevannet, viser store variasjoner i retning at de også forflyttet seg østover og deretter vestover.*

3.5 Målinger av turbiditet

Den 3.6 foregikk tråling i tidsrommet kl. 11-12 og kl. 1445-1710. Ved den første trålingen ble trålen satt ned like sør for søndre port og slept nordover gjennom begge portene, for så å bli tatt opp. Trålingen førte til relativt svak økning i turbiditeten ved passasje av trålportene (**Figur 13**) der turbiditeten ved søndre port, vestre måler etter første trålpassering økte fra et bakgrunnsnivå på ca. 0,6 NTU opp til 1 NTU og så kl. 13 til typisk 1-1,5 NTU. Som beskrevet ovenfor var strømmen i hovedsak rettet mot nord-nordøst og heller ikke den østre måleren viste annet enn svak økning.

Heller ikke ved den nordre porten (**Figur 14**, øvre figur) var det merkbare økning i turbiditet ved første tråling.

At ikke sensorene på strømmålerne viste større økning i turbiditeten var uventet og er vanskelig å se noen rimelig god forklaring på. Som påpekt ovenfor var strømretningen slik at skyen med oppvirvlede partikler i hovedsak ble ført mot nordvest eller nordøst, dvs. ”skrått” bort fra portene og tidsrommet med økt partikkelkonsentrasjon omkring målerne ble dermed forkortet. Men likevel skulle man forvente et tydeligere signal enn det som her ble vist.

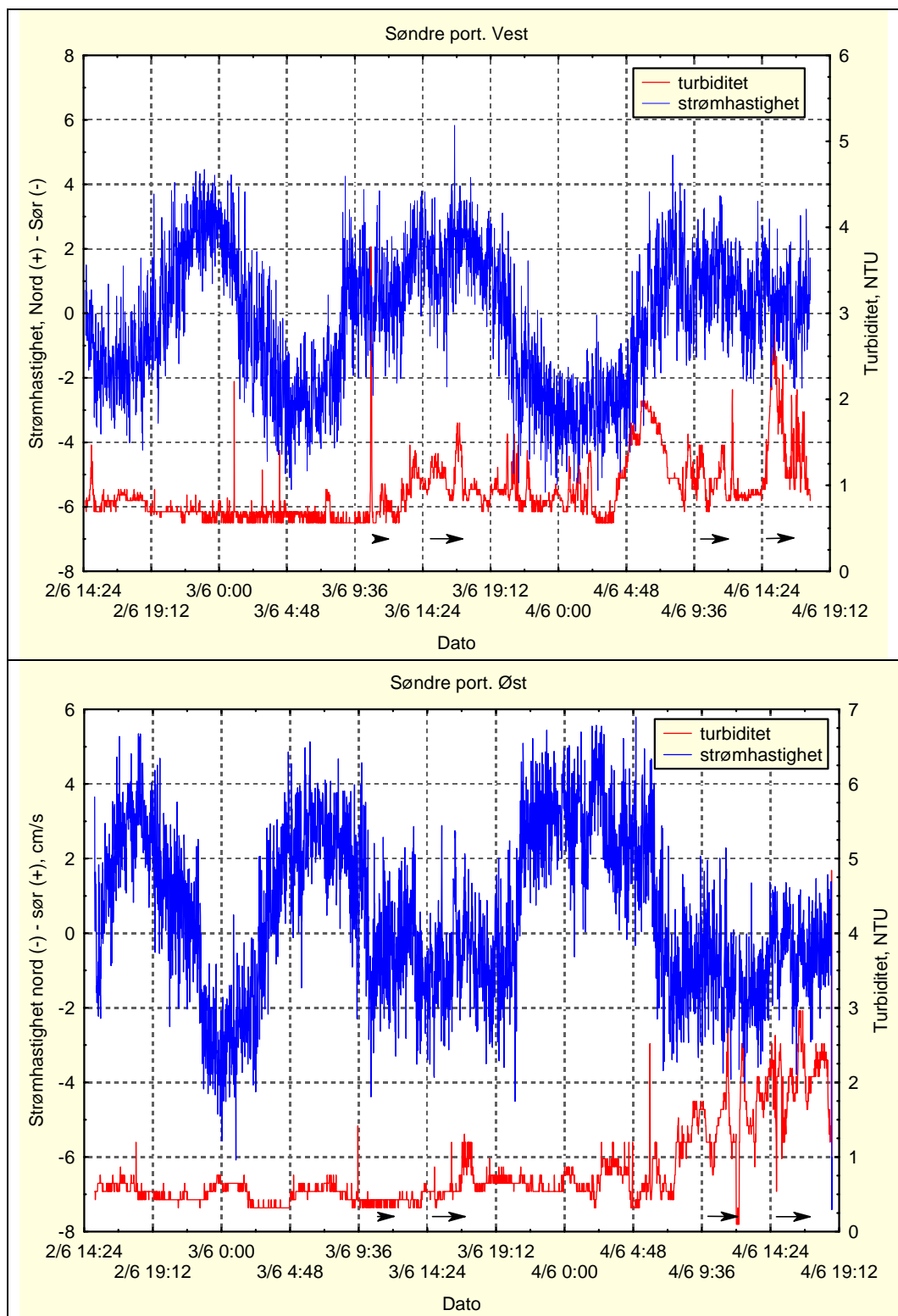
Ved trålingen om ettermiddagen den 3.6 ble trålen først slept nordover gjennom begge portene, og deretter sørover gjennom portene. Her ble det umiddelbart en moderat økning i turbiditet ved begge portene. Senere fulgte en sterk økning ved nordre port, vestre måler, fra kl. 18 – gradvis opp til ca. 5,7 NTU. Dette ble ikke registrert av den østre måleren og grunnen var sannsynligvis at partikkelskyen fra hele tråltraseen ble ført i nordvestlig retning (**Figur 12**).

At de oppvirvlede partiklene forble i vannmassen utover kvelden og natta sees også av **Figur 13** og **Figur 14**. Variasjonene passer rimelig bra med det som de progressive vektordiagrammene viser: partikkelskyen(e) ble ført rundt med strømmen, for iblant å komme i kontakt med turbiditetsensorene på strømmålerne og iblant uten kontakt med målerne.

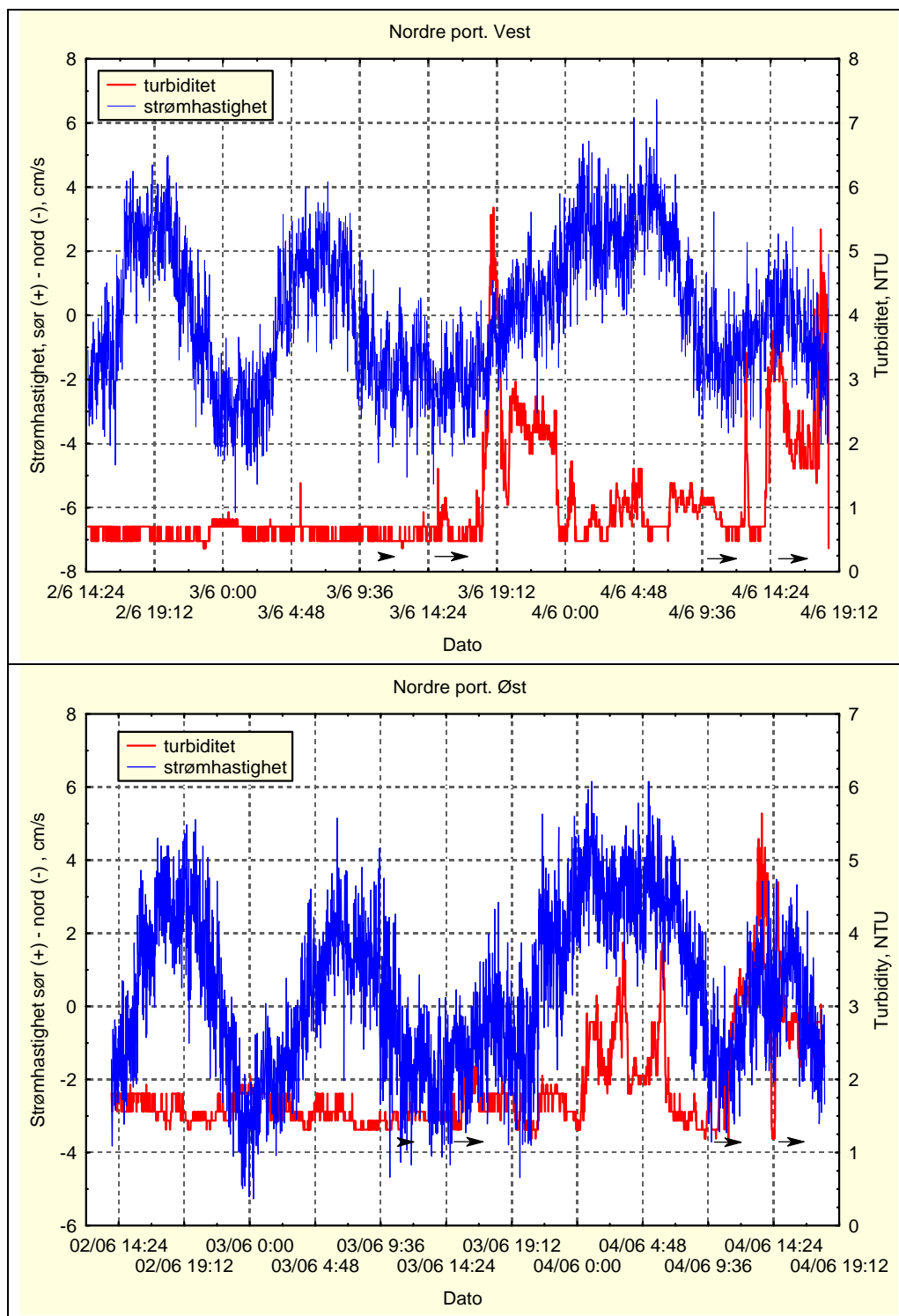
Den 4.6 var det tråling i tidsrommet kl. 10-1215 og kl. 1445-1625. Begge ganger ble trålen først slept nordover gjennom portene og deretter sørover. Ved søndre port (**Figur 13**, nedre figur) ser en økning i turbiditeten ved begge trålpassasjene, først fra et høyt ”bakgrunnsnivå” på ca. 1 NTU opp til 2 NTU og om ettermiddagen videre opp til 2-3 NTU. I begge tilfeller under nordlig – nordøstlig strøm. Altså en tydelig, men ikke stor økning. Det høye bakgrunnsnivået bekrefter at partikler som ble oppvirvlet under trålingen dagen før fortsatt befant seg i vannmassen omkring målerne.

Ved den nordre porten (**Figur 14**, nedre figur) førte trålingen til en økning opp til 5,7 NTU ved den østre måleren. Ved den vestre måleren økte nivåene til omkring 3,5 NTU og holdt seg relativt høyt resten av ettermiddagen. Altså igjen en økning som var betydelig større enn ved den søndre porten.

Sammenholdt med strømmålingene gir målingene av turbiditet ved disse to trålportene inntrykk av en sky med partikler som i stor grad beveget seg nordover. Trålen ble satt ut rett sør for søndre port og dette kan forklare at turbiditeten her var lavere enn ved nordre port. Skyen beveget seg i ulike retninger med skiftende strømretning – iblant i nord-sør retningen og iblant hovedsakelig i østlig eller vestlig retning – med varierende utslag på turbiditetssensorene. Dette indikerer også at den langstrakte partikkelskyen etter hvert ble brutt opp i flere deler.



Figur 13. Søndre port. Turbiditet og strøm i nord-sør retningen målt ca. 2 m over bunnen i tidsrommet 2-4.6. Tidspunktene med tråling er markert med horisontale, svarte piler. Øverst: vestre måler. Nederst: østre måler.



Figur 14. Nordre port. Turbiditet og strøm i nord-sør retningen målt i tidsrommet 2-4.6. Tidspunktene med tråling er markert med horisontale, svarte piler. Øverst: vestre måler. Nederst: østre måler. Turbiditeten er sannsynligvis ca. 1 NTU for høy.

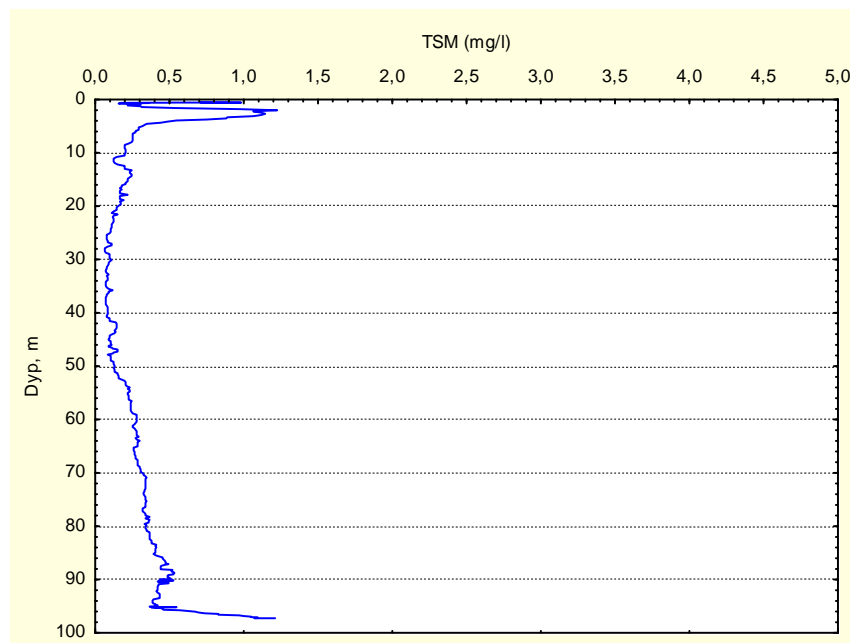
3.6 Partikkelskyens utbredelse ved bunnen

Som tidligere nevnt blir gjennomgangen av sondemålingene av turbiditet basert på målinger fra "T. Braarud". En sammenfatning av målingene fra "Hålabben" er vist i Vedlegg A, Figur A3, og kort kommentert i figurteksten der.

Første profil med CTD-sonde ble tatt kl. 09:03 den 3.6.2008 nær den søndre trålporten (posisjon N 59,07°, E 9,71°) og representerte dermed bakgrunnsdata før trålingen begynte kl. 12:04. For prøvetaking nær bunnen ble en slange senket ned gjennom vannmassen til dypet der man forventet å finne skyen av partikler som ble virvlet opp av trålen. Slik prøvetaking ble gjort 4 ganger:

1. 3.6.2008 kl. 09:08-11:05, dvs. før trålingen begynte.
2. 3.6.2008 kl. 16:10-17:17 mens "T. Braarud" fulgte etter tråleren.
3. 4.6.2008 kl. 11:10-13:02
4. 4.6.2008 kl. 15:31-16:13

Denne første CTD-profilen (**Figur 15**) viste at i brakkvannslaget var partikkelkonsentrasjonen relativt høy (0,5-1 mg/l). Deretter gradvis lavere konsentrasjon ned til ca. 40 m (0,1-0,2 mg/l) og så svakt økende ned til ca. 95 m dyp. Den markerte økningen nær bunnen (siste måling var ca. 1 m over bunnen) er vanlig i fjorder med finkornet løst sediment.



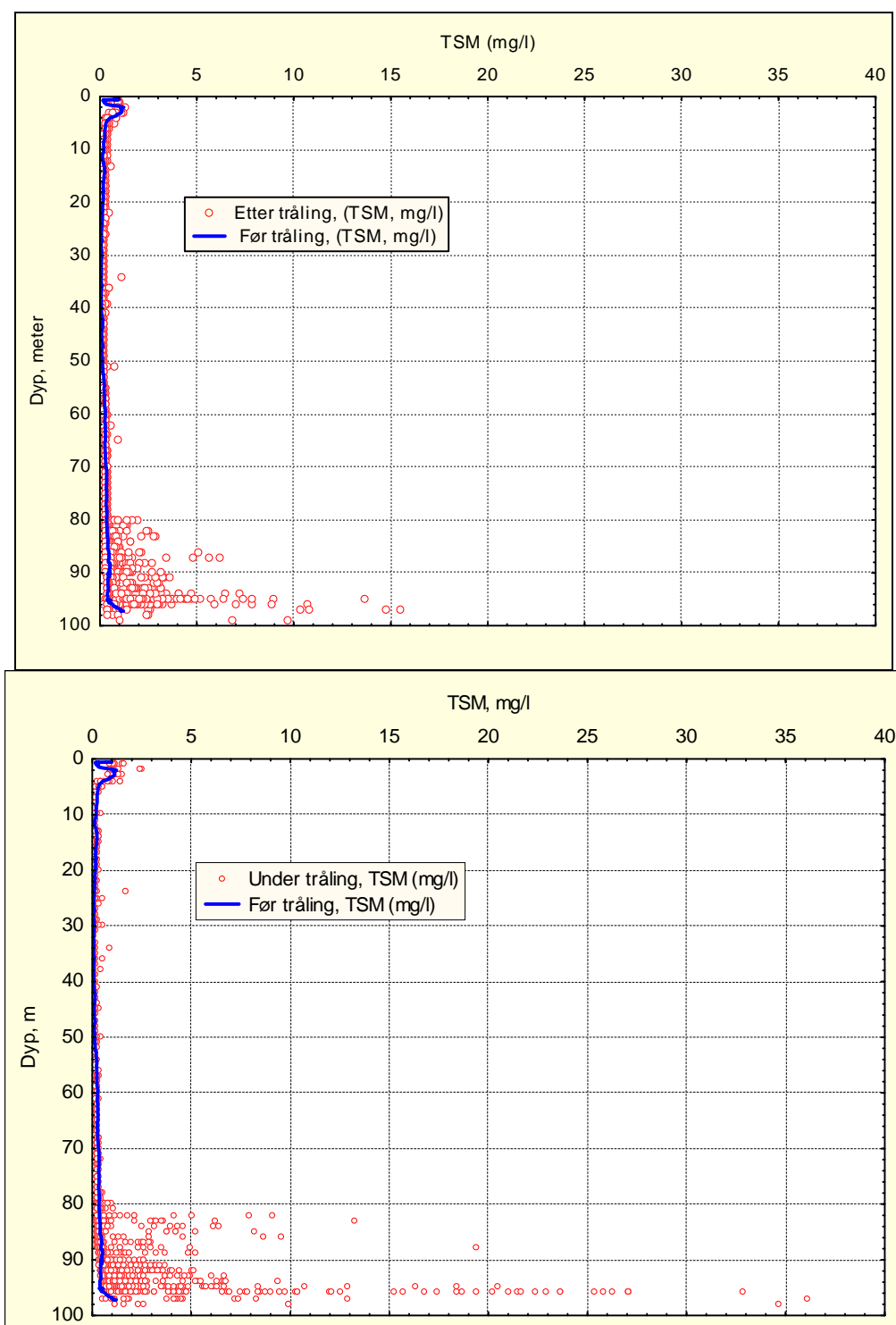
Figur 15. Måling av partikkelmengde i vannmassene før trålingen startet den 3.6.2008 (kl. 09:10). Mengden av suspendert materiale (TSM) er beregnet etter formelen i **Figur 4**. Dette kan ansees som bakgrunnsturbiditet og partikkelkonsentrasjon (mengde TSM) i området.

Partikkelskyens høyde

Vertikalprofilene av turbiditet gir det beste grunnlaget for å bestemme høyden av skyen med partikler, og som nevnt foran gir observasjonene den 4.6 det beste grunnlaget. Trålingen endret turbiditeten dramatisk. Bak trålen økte turbiditeten opp mot 30-40 NTU og gradvis ble partiklene innblandet høyere opp i vannmassen, samtidig som konsentrasjonen avtok pga. fortykning og utsynking.

Figur 16 sammenfatter vertikalprofilene fra første dag (3.6) og annen dag (4.6). I disse figurene er turbiditeten omregnet til partikkelkonsentrasjon, som mg/l (jf. **Figur 4**). I Figur 17 er målingene vist sammen med profilen før trålingen startet. Konsentrasjoner i intervallet 15-35 mg/l er 30-50x høyere

enn bakgrunnsverdien (jf. **Figur 15**) og partikkelkonsentrasjonen må dermed regnes som meget høy. Partikkelskyen nådde opp til ca. 80 m dyp, eller 15-18 m over bunnen.



Figur 16. Konsentrasjon av totalt suspendert materiale (TSM) beregnet ut fra målt turbiditet etter formelen i **Figur 4**. Øvre figur: 3.6.2008. Nedre figur: 4.6.2008. Partikkelskyen nådde opp til ca. 80 m dyp. Den blå kurven viser konsentrasjonen før trålingen begynte den 3.6.2008.

Det samme sees av målingene fra "Hålabben" med RDCP'en som ble slept langsomt 30-35 m over bunnen¹ etter trålingen om formiddagen den 4.6. I hovedsak ble dette gjort omkring søndre trålport og øst for den. Instrumentet måler ikke turbiditet, men signalstyrken er en god indikasjon på partikkelkonsentrasjonen i vannmassen. Måleren registrerte i 1 m tykke celler og **Figur 17** viser registreringene ca. 23 m, 26 m og 31 m under måleren, og med et bunn-dyp på 96-97 m burde dette tilsvare ca. 86 m, 89 m og 93 m dyp. Måleren ble åpenbart slept gjennom vannmasser med varierende konsentrasjon av partikler, derav store variasjoner i signalstyrken. Signalet var vesentlig sterkere ved bunnen enn høyere opp i vannmassen som en bekreftelse på høy partikkelkonsentrasjon nær bunnen.

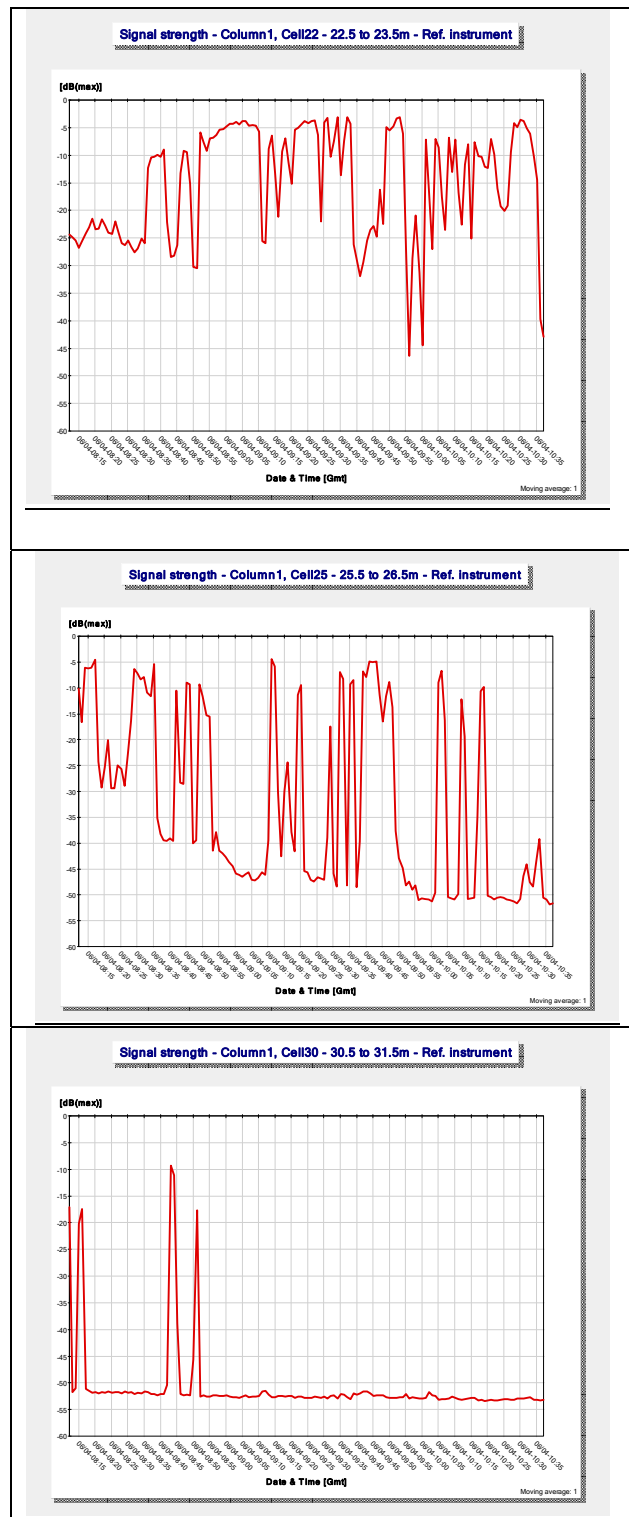
Partikkelskyens bredde

Det ble tatt flere snitt på tvers av skyen med oppvirvlede partikler. Som nevnt under gjennomgangen av strømmålingene var både strømhastigheten – og spesielt strømrretningen – ganske skiftende mens trålingen foregikk (jf. **Figur 10-Figur 12**). Fordi partikkelskyen dermed forflyttet seg tilsvarende med vannmassen var det vanskelig å følge den og få god oversikt. En annen kompliserende faktor – med unntak for formiddagen den 3.6 – er at hver tråling foregikk ved at trålen først ble trukket nordover og deretter sørover (jf. **Figur 3**). Dette medførte at det kunne være to nærliggende skyer med oppvirvlede partikler, særlig ved søndre port.

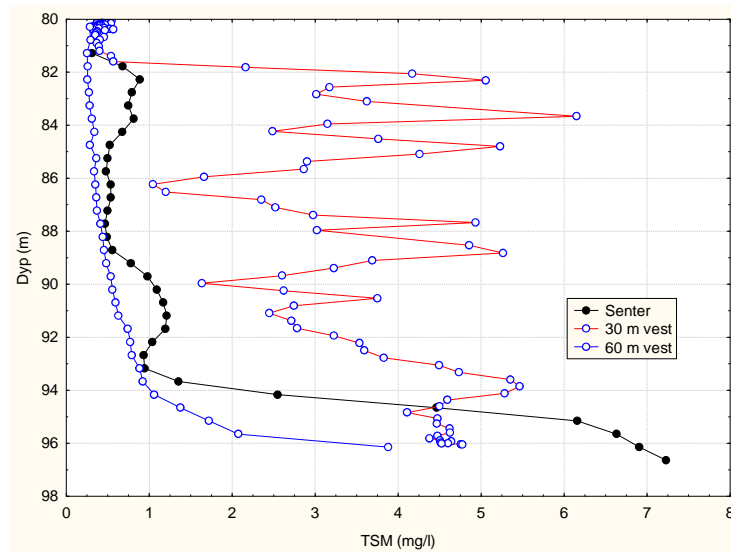
Figur 18 viser tre vertikale profiler ca. 750 m bak tråleren om formiddagen den 4.6, noe som kan tilsvare 400-450 m bak selve trålen. Før trålingen startet ble det målt turbiditet tilsvarende en partikkelkonsentrasjon på 1-1,2 mg/l i 1-1,5 m høyde over bunnen. Senterstasjonen litt nord for søndre trålport ble målt 10 minutter etter at tråleren var passert på vei nordover og de andre to stasjonene i løpet av de etterfølgende 15 minuttene. Som vist i **Figur 11** var strømrretningen i denne delen av fjorden hovedsakelig i nord-nordvest og målingene burde gi et rimelig godt inntrykk av bredden.

Figur 19 viser de samme tre stasjonene som et tverrsnitt. Resultatene tyder på at vannmassen med oppvirvlede partikler i alle fall hadde en bredde på 120-160 m. De to maksima i 25-30 m avstand fra senterlinjen kan skyldes partikkeloppvirvling fra de to tråldørene og i så fall tyder resultatene på at disse forårsaker en betydelig del av partikkeloppvirvlingen under tråling. En annen mulighet er imidlertid at bildet oppstår fordi målingene ble gjort over et tidsrom på ca. 30 minutter, mens skyen av partikler både økte i utstrekning oppover i vannmassen og forflyttet seg horisontalt.

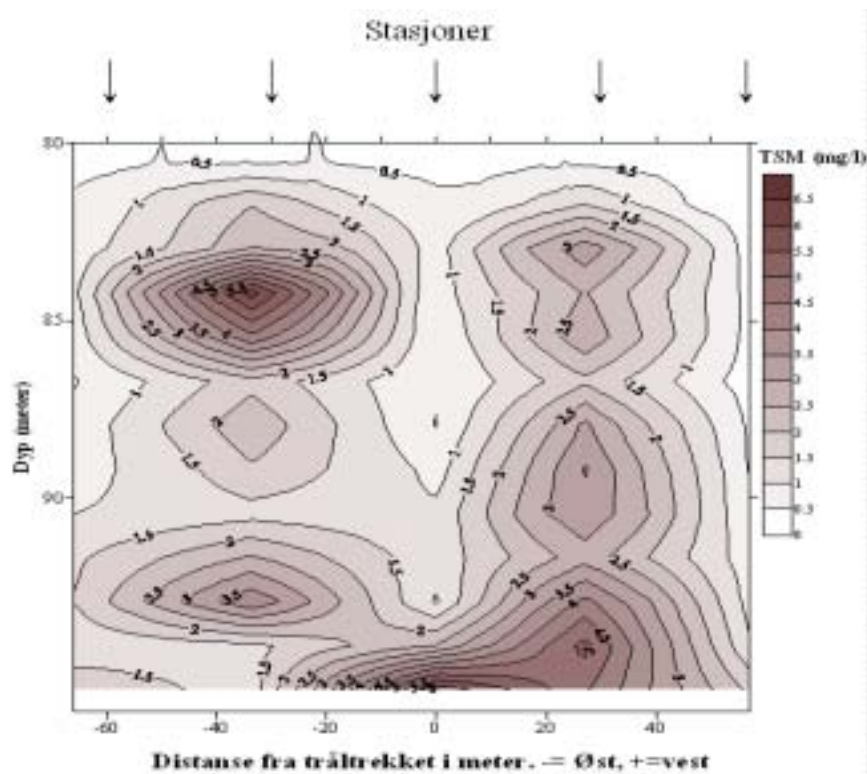
¹ Avstanden til bunnen varierte noe. Lengden av tauet som måleren hang under var konstant, men det hang ikke alltid loddrett mens båten beveget seg.



Figur 17. Signalstyrken i ca. 86 m, 89 m og 93 m dyp målt med den akustiske strømmåleren RDCP-600 mens den ble slept omkring ved søndre trålport, og øst for denne. Økende negativ verdi betyr økende signalstyrke, dvs. økt partikkelkonsentrasjon.



Figur 18. Målinger på tre stasjoner fra senter av trålbanen og vestover om ettermiddagen den 4.6. Målingene ble gjort nær søndre port etter at tråleren hadde passert på vei nordover. Bunndypet var 98 m. Partiklene sees tydelig ut til 60 m fra senterlinjen av trålbanen.



Figur 19. Sammenfatning av 5 vertikalprofiler (som TSM) på tvers av tråltrekket om formiddagen den 4.6. Bare konsentrasjoner over 1 mg/l er vist. Toppen av skyen lå i ca. 80 m dyp (jf. også **Figur 18**) og bredden var 120-150 m. Målinger rett bak trålen viser en partikkelsky som er samlet nær bunnen mens etterfølgende målinger fra posisjoner på begge sider viser betydelig partikkelspredning oppover i vannmassen.

4. Estimat av oppvirvlet mengde

4.1 Partikkelskyens utbredelse

Avstanden mellom trålportene var ca. 1200 m og vi vil anta at når trålen ble trukket nordover og deretter sørover var lengden av hele tråltrekket $2 \times \text{ca. } 1800 \text{ m} = \text{ca. } 3600 \text{ m}$. Som beskrevet foran var det vanskelig å bestemme en typisk bredde av skyen med partikler - som sannsynligvis etter hvert ble det opp som flere partikkelskyer, men 150 m kan være et realistisk tall (se **Figur 19**). Vertikalprofilene viste at partikkelskyen etter hvert nådde 15-18 m over bunnen (**Figur 18** og **Figur 19**).

Dette tyder på at samlet volum av partikkelskyen kunne være i størrelsesorden 6-8 millioner m^3 .

4.2 Konsentrasjon og utsynking av partikler

Analysene av partikkelstørrelse viser at ca. 95 % av partiklene hadde diameter $< 10 \mu\text{m}$ og omkring 50 % hadde diameter $< 4 \mu\text{m}$. Den teoretiske synkehastigheten for disse partiklene er beregnet til å ligge mellom 0,2 m/d og 5 m/d (**Tabell 2**). Antar vi så at en betydelig (men ukjent) andel av de små partiklene dannet større partikler ved flokkulering, kan det være realistisk å sette 1-5 m/d som typisk sedimentasjonshastighet i partikkelskyen. En ukjent andel av de små partiklene vil trolig ikke flokkulere og dermed beholde sin lave synkehastighet.

I tillegg til utsynkingen vil blanding med omkringliggende vannmasser – med lav partikkelkonsentrasjon – bidra til å øke vannvolumet og redusere konsentrasjonen. Dette skisserte bildet passer noenlunde med observasjonen av at "bakgrunnsnivået" om formiddagen den 4.6 var omkring det dobbelte av nivået før trålingen begynte.

Dette betyr at en stor andel av partiklene sank til bunns i løpet av et døgn, mens de minste partiklene (tilsvarende i størrelsesorden 0,5 mg/l) kan bli svevende i flere døgn, fordele seg over storparten av Eidangerfjorden og bli ført ut i Langesundsfjorden.

4.3 Mengde av dioksiner i oppvirvlede partikler

Det er vanskelig å gjøre eksakte beregninger av mengden av dioksiner som trålen virvlet opp, men basert på overslagsberegninger kan man få fram en sannsynlig størrelsesorden basert på forutsetningene under:

- Volum av skyen med oppvirvlede partikler: 6-8 mill. m^3
- I denne skyen anslås gjennomsnittlig økning i turbiditet til
 - o 1 NTU, som tilsvarer 1 g/m^3 som TSM, eller opp til
 - o 3 NTU, som tilsvarer 3 g/m^3 som TSM

Ut fra at konsentrasjonen av dioksiner i sedimentene er 1000-2000 pgTE/g^2 , blir oppvirvlet mengde dioksin for et tråltrekk:

- For 1 g/m^3 : 6 - 16 mgTE
- For 3 g/m^3 : 18 - 48 mgTE

Det meste vil resedimentere i Eidangerfjorden, men en mindre andel som er knyttet til små partikler kan spres vidt og også til Langesundsfjorden. På årsbasis kan det antas 50-60 tråltrekk, men med varierende lengde og redskap. Samlet sett er et realistisk estimat oppvirvling av 300-2500 mgTE/år, mest sannsynlig omkring 500-1500 mgTE/år.

² Kristoffer Næs, pers. medd.

5. Vurdering av trålingens betydning i forhold til resirkulering av dioksiner

Den estimerte oppvirvlingen av dioksiner er i samme størrelsesorden som det som er blitt modellert og målt (Cornelissen et al. 2010) som transport fra Frierfjorden over terskelen til fjordområdet utenfor. Et viktig spørsmål blir hva tråloppvirvlingen betyr for konsentrasjoner i organismer. I utgangspunktet kan man argumentere med at oppvirvling av forurensede sedimentpartikler som så faller ned igjen på et sediment med samme forurensningsgrad, representerer et lite problem. Trålingen vil imidlertid representere en spredningsmekanisme for dioksinforurensede partikler i bunnvannet i fjordsystemet. I en relativt nylig gjennomført undersøkelse av konsentrasjoner av og på partikler i bunnvannet i Grenlandsfjordene ble det målt en økning i den partikulære dioksinkonsentrasjonen med en faktor på 4-9 mellom overflatevannmassene og dypvannet i Eidangerfjorden og Kalven (Allan et al. 2011). Denne forskjellen er ikke nødvendigvis en følge av tråling, men kan skyldes oppvirvling på grunn av naturlige prosesser (resuspensjon) i skråningene og på den flate fjordbunnen.

Når sedimentpartiklene resuspenderes, vil det skje en desorpsjon av biotilgjengelig dioksin. I tillegg er det sannsynlig at oppvirvlingen av porevann vil bidra til økt konsentrasjon av løst dioksin i bunnvannet. I tråleksperimentet ble det montert passive prøvetakere (SPMDe) i to vann-nivå, det vil si både i partikkelskyen bak trålen og i vannmassene over skyen. Disse prøvetakerne fanger kun den oppløste, biotilgjengelige fraksjonen av dioksin. Det var et tydelig signal hvor de passive prøvetakerne trukket gjennom partikkelskyen hadde i størrelsesorden 10 ganger høyere konsentrasjon av dioksin enn de passive prøvetakerne som ble trukket gjennom vannmassene over partikkelskyen (Allan et al. in prep.).

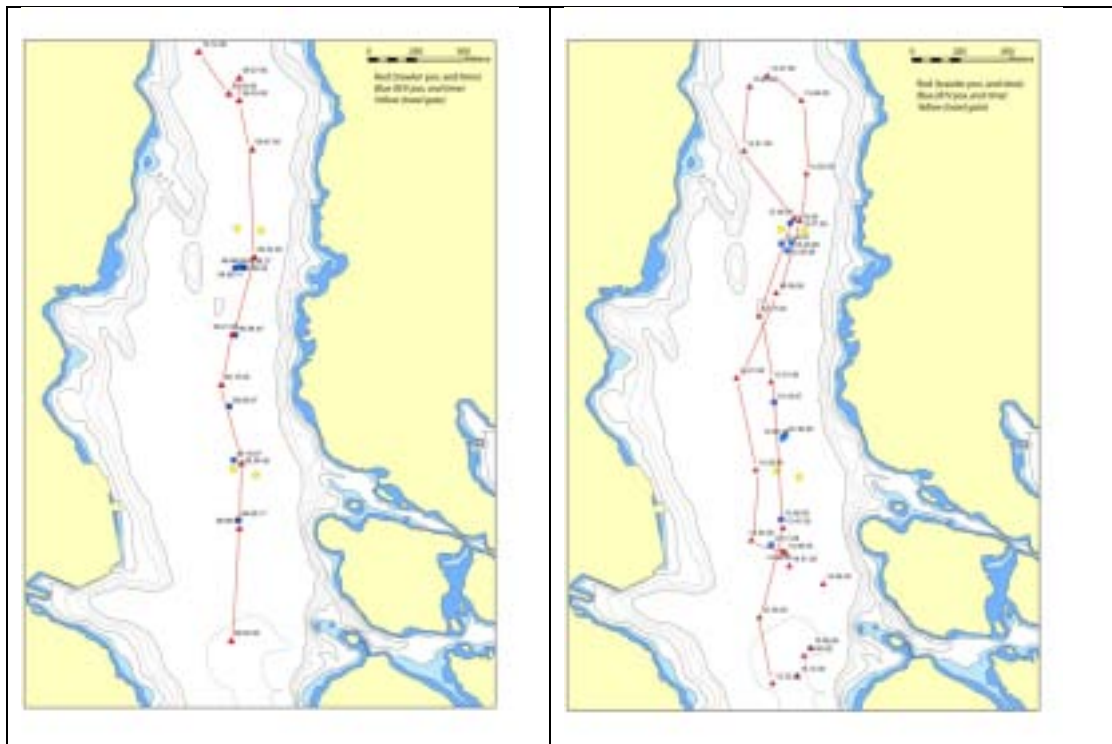
Ved Marin Forskningsstasjon Solbergstrand er det er nylig målt flukser av dioksiner fra bioturberte sedimenter til vannmasse (Schaanning og Josefsson, 2011). Fra 26 bokser med tynnsjikt-tildekkede, bioturberte sedimenter fra Frierflaket ble det målt flukser fra 1-10 pg/m²/d TE-PCDD/F (Schaanning, pers.med.). For det trålte bunnarealet på 150 x 3600 m tilsvarer dette en utlekking til bunnvannet på 0.2-2 mgTE/år. Utlekkingen er målt som opptak i passive prøvetakere (SPMDe). Dette representerer løste dioksiner og må derfor i sin helhet regnes som biotilgjengelig. I tillegg vil utlekkingen tilføre dioksiner til bunnvannet fra hele fjordens bunnareal. Selv om fluksen man kan beregne fra trålingen og denne fra laboratorieforsøket ikke kan sammenlignes direkte, indikerer disse to overslagsberegningene likevel at oppvirvling fra trålingen kan bidra vesentlig til resirkulering av biotilgjengelige dioksiner fra sediment til vannmasse.

I tillegg til utlekking og desorpsjon fra oppvirvlede partikler kan dioksiner resirkuleres via opptak i sedimentlevende organismer. Simuleringer med Sedflex-modellen (Saloranta et al. 2006) har vist at den viktigste opptaksveien for dioksiner i bunnfisk, for eksempel torsk, er gjennom næringskjeden. Forutsetningen er at det er vesentlig høyere konsentrasjoner av dioksin i porevannet sammenlignet med de frie vannmasser. Det ligger utenfor formålet i denne rapporten å kvantifisere konsekvensen av trålingen for konsentrasjoner av dioksiner i organismer, men resultatene oppnådd i dette arbeidet ansees å representere verdifull informasjon for fremtidige revisjoner av modellrammeverket som er utviklet for Grenlandsfjordene.

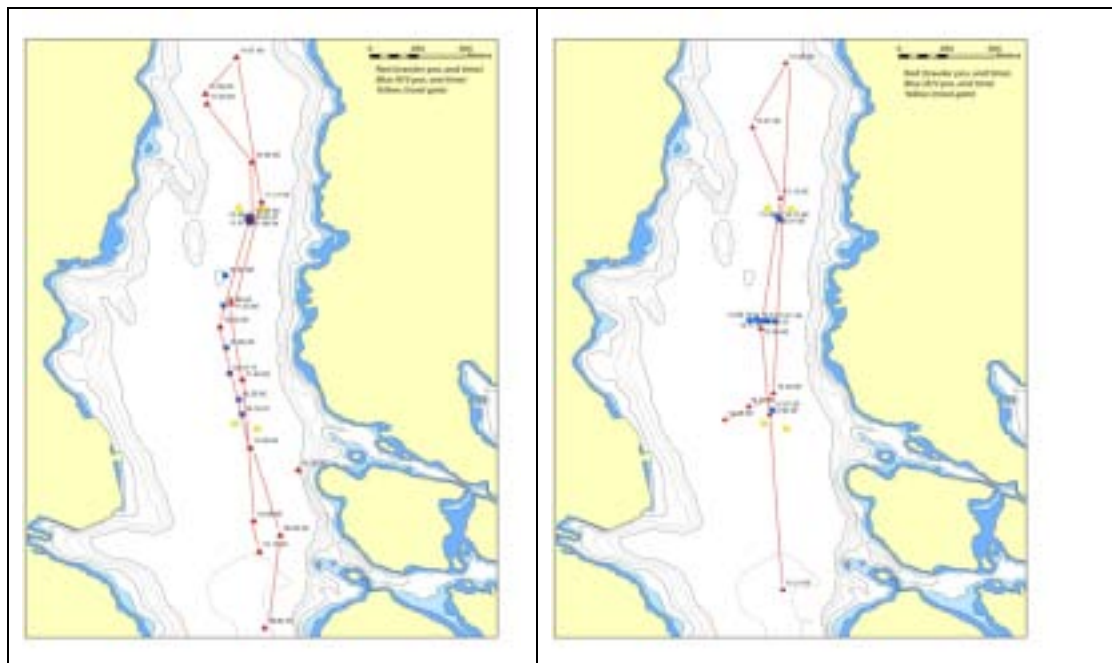
6. Litteratur

- Allan, I.J., M.T. Schaanning, B.A. Beylich 2011. Dioxins associated with suspended particulate matter- in the Grenlandsfjords (Norway). NIVA rapport l.nr 6144.
- Allan, I.J., H.C. Nilsson, J. Molvær, J. Magnusson, I. Tjersvoll, K. Næs (in prep). Towing passive samplers reveals PCDD/F release during benthic trawler-induced sediment re-suspension.
- Cornelissen, G., D. Broman and K. Næs, 2010. Freely dissolved PCDD/F concentrations in the Frierfjord, Norway: Comparing equilibrium passive sampling with "active water sampling. *J. Soils Sediments*, 10:162-171.
- Durrieu de Madron, X. D.; Ferre, B.; Le Corre, G.; Grenz, C.; Conan, P.; Pujo-Pay, M.; Buscail, R.; Bodiot, O., 2005. Trawling-induced resuspension and dispersal of muddy sediments and dissolved elements in the Gulf of Lion (NW Mediterranean). *Continental Shelf Research* 2005, 25, (19-20), 2387-2409.
- Molvær, J. og Stigebrandt, A., 1991: Undersøkelse av eutrofiering i Grenlandsfjordene 1988-89. Delrapport 3. Vannutskiftning i fjordene. Statens forurensningstilsyn. Overvåkingsrapport nr. 450/91. NIVA-rapport l.nr. 2588. Oslo/Gøteborg.
- Næs, K. 1999. Overvåking av miljøgifter i sedimentene i Grenlandsfjordene 1997. Overvåkingsrapport nr. 765/99, TA-nr. 1645/99. NIVA-rapport l.nr. 4066.
- Saloranta, T., J. Armitage, K. Næs, I. Cousins, D. Barton, 2006. SF-tool multimedia modell package: Modell code description and application fra the Grenlands fjords. NIVA-rapport l.nr. 5216.
- Schaanning, M.T., Josefsson S., 2011. Optimization of thin cap design for dioxin retention in sediments. Abstracts from 6th International Conference on Remediation of Contaminated Sediments. February 5-9, 2011, New Orleans, Louisiana

Vedlegg A.



Figur A1. Tråltrekkene den 3.6.2008. Til venstre: formiddag. Til høyre: ettermiddag.



Figur A2. Tråltrekkene den 4.6.2008. Til venstre: formiddag. Til høyre: ettermiddag.

Tabell A1. Beskrivelse av trålingen 3-4.6.2008.

Dato	Tid	Breddegrad	Lengdegrad	Anm
03.06.2008	11:05:00	59,06878	9,71045	TRÅL UTE
03.06.2008	11:16:00	59,07240	9,70808	
03.06.2008	11:22:00	59,07480	9,70872	
03.06.2008	11:33:00	59,07852	9,71013	
03.06.2008	11:48:00	59,08357	9,70917	
03.06.2008	11:54:00	59,08582	9,70763	TRÅL OPP
03.06.2008	11:58:00	59,08688	9,70747	
03.06.2008	12:04:00	59,08610	9,70663	
03.06.2008	12:13:00	59,08797	9,70358	TRÅL OPPE
03.06.2008	14:23:00	59,05852	9,71093	
03.06.2008	14:37:00	59,06157	9,70925	
03.06.2008	14:42:00	59,06582	9,71075	TRÅL UTE
03.06.2008	15:02:00	59,07263	9,70863	
03.06.2008	15:12:00	59,07567	9,70703	
03.06.2008	15:27:00	59,08033	9,70948	
03.06.2008	15:42:00		9,70448	
03.06.2008	15:46:00	59,08637	9,70455	SNUR
03.06.2008	15:48:00	59,08695	9,70607	SNUR
03.06.2008	15:50:00	59,08592	9,70933	SNUR
03.06.2008	15:53:00	59,08250	9,71032	SNUR
03.06.2008	15:58:00	59,08028	9,71002	
03.06.2008	16:07:00	59,07680	9,70845	
03.06.2008	16:22:00	59,07268	9,70545	
03.06.2008	16:36:00	59,06845	9,70787	
03.06.2008	16:46:00	59,06515	9,70797	
03.06.2008	16:49:00	59,06475	9,71090	
03.06.2008	16:50:00	59,06468	9,71115	
03.06.2008	16:52:00	59,06407	9,71160	
03.06.2008	16:57:00	59,06337	9,71482	
03.06.2008	17:06:00	59,06032	9,71417	
03.06.2008	17:07:00	59,05993	9,71358	
03.06.2008	17:11:00	59,05895	9,71313	TRÅL OPP
03.06.2008	17:23:00			TRÅL OPPE
03.06.2008	17:42:00			
04.06.2008	9:47:00	59,05790	9,71415	
04.06.2008	9:56:00	59,06280	9,71482	TRÅL UTE
04.06.2008	10:02:00	59,06728	9,71140	
04.06.2008	10:22:00	59,07350	9,70767	
04.06.2008	10:40:00	59,07932	9,70962	
04.06.2008	10:49:00	59,08225	9,70920	
04.06.2008	11:00:00	59,08513	9,70465	
04.06.2008	11:02:00	59,08565	9,70445	SNUR
04.06.2008	11:07:00	59,08767	9,70695	
04.06.2008	11:17:00	59,08020	9,71042	
04.06.2008	11:33:00	59,07477	9,70845	
04.06.2008	11:46:00	59,07082	9,71010	

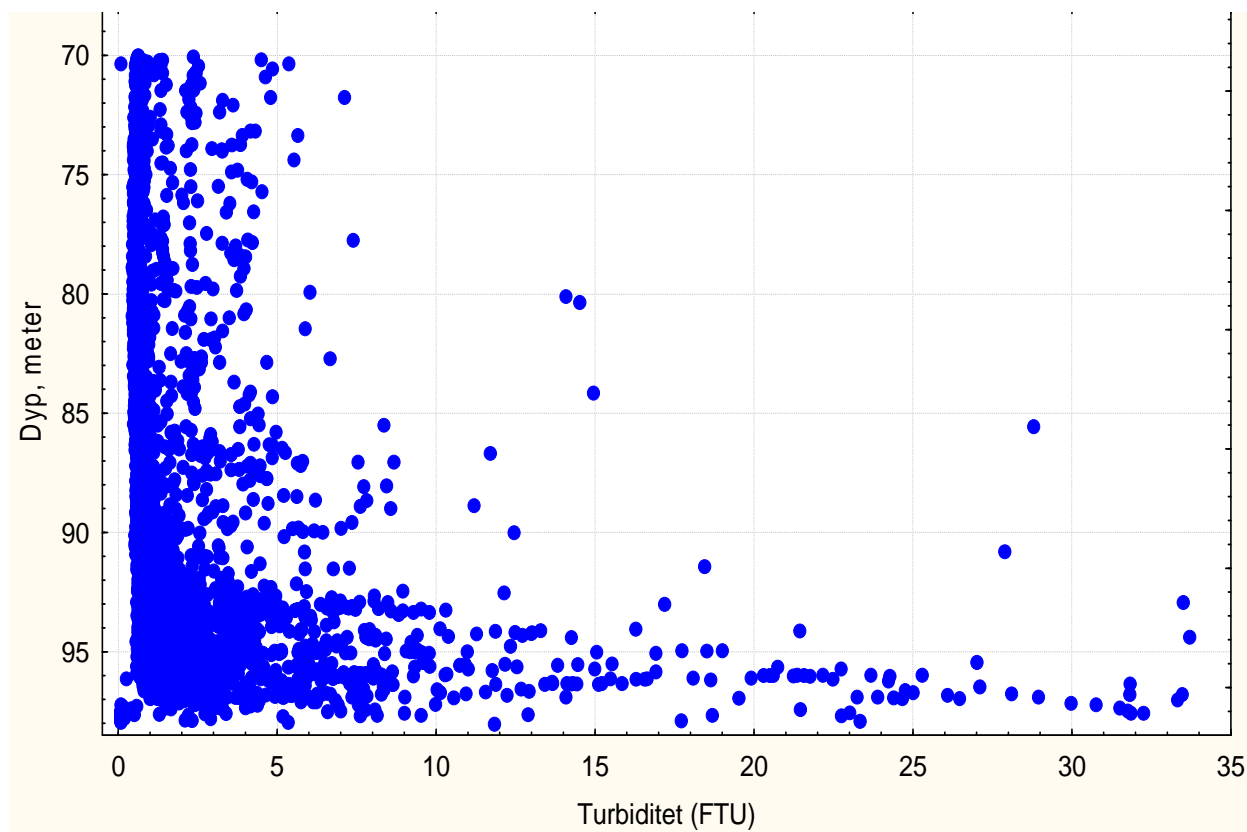
04.06.2008	12:08:00	59,06345	9,71228	
04.06.2008	12:13:00	59,06188	9,71303	TRÅL OPP
04.06.2008	12:32:00	59,06628	9,71592	
04.06.2008	14:22:00	59,05987	9,71285	
04.06.2008	14:41:00	59,06898	9,71025	TRÅL UTE
04.06.2008	14:56:00	59,07343	9,70875	
04.06.2008	15:14:00	59,08037	9,70947	
04.06.2008	15:28:00	59,08395	9,70637	SNUR
04.06.2008	15:39:00	59,08745	9,70887	SNUR
04.06.2008	16:21:00	59,07012	9,71043	
04.06.2008	16:24:00	59,06932	9,70827	TRÅL OPP
04.06.2008	16:30:00	59,06853	9,70622	TRÅL OPPE

Tabell A2. Beskrivelse av stasjoner med vannprøver og CTDprofiler tatt fra "T. Braarud".

Stasjon	Bredde-grad	Lengde-grad	Dyp	Dato	Tid	Prøvetaking	Posisjon
EB1	59,06977	9,71000	98,8	2008-06-03	09:08:18	CTD	
EB2	59,07057	9,70873	98,5	2008-06-03	09:36:42	Infiltrex ³ senkes	
EB3	59,06854	9,71040	99,0	2008-06-03	10:13:47	Infiltrex tas opp	
EB4	59,06608	9,71062	99,5	2008-06-03	11:04:31	Trålen settes ut. Tatt opp kl 12.00	250m bak tråler
EB5	59,06888	9,70975	98,8	2008-06-03	11:18:22	CTD	420m bak tråler
EB6	59,07138	9,70897	98,0	2008-06-03	11:23:43	CTD	
EB7	59,07477	9,70898	97,0	2008-06-03	11:36:00	CTD	520m bak tråler
EB8	59,07790	9,70848	98,0	2008-06-03	11:49:53	CTD	50m vest for trålbanen
EB9	59,07798	9,70887	98,0	2008-06-03	11:51:09	CTD	32m vest for trålbanen
EB10	59,07798	9,70922	98,0	2008-06-03	11:56:59	CTD	På trålbanen
EB11	59,07797	9,70922	98,0	2008-06-03	12:10:23	CTD	30m øst for trålbanen
EB12	59,07797	9,70922	98,0	2008-06-03	12:16:49	CTD	
EB13				2008-06-03	14:25:08	Trål med SPMD settes ut	
EB14	59,06620	9,71052	99,0	2008-06-03	14:51:12	Tråling starter	
EB15	59,07002	9,71007	99,0	2008-06-03	15:07:46	CTD	500m bak tråler
EB16	59,07165	9,70905	98,0	2008-06-03	15:16:28	CTD og vannpr.	555m bak tråler
EB17	59,07880	9,70913	97,0	2008-06-03	15:35:22	CTD	Rett bak tråler
EB18	59,07918	9,70947	97,0	2008-06-03	15:39:13	CTD	
EB19	59,07910	9,70857	96,0	2008-06-03	15:46:13	CTD	50m vest for trålbanen
EB20	59,08010	9,70922	96,0	2008-06-03	16:10:00	Infiltrex startes	
EB21	59,06497	9,70980	100,0	2008-06-03	17:16:38	Infiltrex stoppes	
EB22	59,07015	9,71028	98,9	2008-06-04	09:40:13	CTD	
EB23				2008-06-04	09:45:45	Trål med SPMD settes ut	
EB24	59,06897	9,71035	99,0	2008-06-04	10:19:37	CTD	400m bak tråler
EB25	59,06973	9,70995	99,0	2008-06-04	10:25:52	CTD	510m bak tråler

³ Infiltrex: slange for oppumping av vann.

EB26	59,07107	9,70890	98,0	2008-06-04	10:31:17	CTD	600m bak tråler
EB27	59,07240	9,70840	98,0	2008-06-04	10:36:26	CTD	600m bak tråler
EB28	59,07460	9,70780	97,0	2008-06-04	10:45:04	CTD	700m bak tråler
EB29	59,07618	9,70773	99,0	2008-06-04	10:52:58	CTD	780m bak tråler
EB30	59,07929	9,70962	97,0	2008-06-04	11:10:00	Infiltrex startes	
EB31	59,07930	9,70933	97,0	2008-06-04	11:15:58	CTD	
EB32	59,07930	9,70927	96,5	2008-06-04	11:37:01	CTD	614m bak tråler
EB33	59,07910	9,70960	98,0	2008-06-04	11:59:34	CTD	1400m bak tråler
EB34	59,07915	9,70933	98,0	2008-06-04	12:36:35	CTD	
EB35	59,07903	9,70958	97,0	2008-06-04	13:02:31	Infiltrex stoppes	
EB36				2008-06-04	14:23:11	Trål med SPMD settes ut	
EB37	59,06920	9,71043	98,0	2008-06-04	14:56:35	CTD	520m bak tråler
EB32	59,07380	9,70763	97,5	2008-06-04	15:08:00	CTD	60m vest for trålbanen 445m bak tråler
EB39	59,07387	9,70823	97,0	2008-06-04	15:10:42	CTD	30m vest for trålbanen 600m bak tråler
EB40	59,07382	9,70870	97,5	2008-06-04	15:14:01	CTD	760m rett bak tråler
EB41	59,07385	9,70925	97,5	2008-06-04	15:17:52	CTD	30m øst for trålbanen 800m bak tråler
EB42	59,07385	9,70992	97,5	2008-06-04	15:21:26	CTD	60m øst for trålbanen 950m bak tråler
EB43	59,07933	9,70933	97,0	2008-06-04	15:31:05	Infiltrex startes og stoppes deretter	
EB44	59,07918	9,70957	97,0	2008-06-04	15:38:07	CTD	
EB45	59,07917	9,70972	97,0	2008-06-04	16:13:59	CTD	710m bak tråler
EB46	59,07913	9,70960	97,0	2008-06-04	16:45:08	Vannprøve fra 40 m dyp. 33,9psu	



Figur A3. Turbiditetsmålinger med STD fra "Hålabben". Ut fra en vurdering av korrekt bunndyp for de enkelte profilene er det registrerte måledypet som første trinn korrigert med -18 m for alle profilene. Feilen i STDens registrering av dyp var imidlertid ikke konstant og for noen av profilene er denne korreksjonen neppe riktig. Som trinn 2 er derfor alle verdier >35 FTU fjernet fordi det er stor sannsynlighet for at STDen da har vært i kontakt med bunnen. Som trinn 3 ble noen åpenbart "feilplasserte" data i 70-80 m dyp tatt bort fra figuren. Videre korreksjoner er ikke forsøkt, men hovedinntrykket av den foreliggende figuren er høy turbiditet ved bunnen og 10-15 m oppover i vannsøylen.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no