

# Dataanalyse av kontinuerlige målinger utenfor Norwegian Crystallites A/S på Drag i Tysfjord



# RAPPORT

**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 59  
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  Dataanalyse av kontinuerlige målinger utenfor Norwegian Crystallites A/S på Drag i Tysfjord.	Løpenr. (for bestilling) 6436-2012	Dato 13.3.2013
	Prosjektnr. Undernr. 11327	Sider Pris 29
Forfatter(e)  Anna Birgitta Ledang og Bjørnar Beylich.	Fagområde Oseanografi	Distribusjon Fri
	Geografisk område Nordland	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Norwegian Crystallites A/S	Oppdragsreferanse Kari Moen
--	--------------------------------

**Sammendrag**  
På bakgrunn av resultater fra en tidligere undersøkelse gjennomført av NIVA for Norwegian Crystallites A/S ble det anbefalt et overvåkingsprogram, da spesielt med tanke på å få til kontinuerlige målinger av vannsøylen for å bedre kunne fange opp bedriftens sjøutslipp. I mars 2012 ble det derfor satt ut en permanent målerigg i Tysfjord som måler kontinuerlig temperatur, saltholdighet, strøm, turbiditet og pH. Resultatene fra dataanalysen viser god sammenheng mellom syrevask (bruk av fluorkiselsyre) og reduksjon av pH i sjøvann samt at variasjonen i pH også varierer med tidevannsbidraget og inn- og utstrøm av fjorden. Det er i tillegg vist et sammenfall mellom episoder med høy turbiditet og lav eller ingen drift for flotasjonsprosessene. SPI-undersøkelsen viste at det kunne være kvarts i sedimentet, men at hvite korn som ble observert også kunne være skjell-/korallrester.

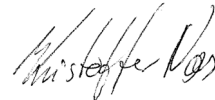
<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Marin målerigg</li> <li>2. Overvåkning</li> <li>3. pH</li> <li>4. SPI</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Marine measurement platform</li> <li>2. Monitoring</li> <li>3. pH</li> <li>4. SPI</li> </ol>
---	---



*Anna Birgitta Ledang*  
Prosjektleder



*Kai Sørensen*  
Forskningsleder



*Kristoffer Næs*  
Forskningsdirektør

**Dataanalyse av kontinuerlige målinger utenfor  
Norwegian Crystallites A/S på Drag i Tysfjord.**

## Forord

Det har blitt satt ut en marin målerigg utenfor Drag i Tysfjord etter en anbefaling om videre overvåkning av utslipp til sjøresipienten fra Norwegian Crystallites A/S, særlig med tanke på økning av utslippets størrelse.

Prosjektet har blitt gjennomført av NIVA og vi takker Kari Moen ved Norwegian Crystallites A/S for god kommunikasjon underveis i dette arbeidet.

Måleriggen ble utplassert i mars 2012 av Arne Veidel og Morten Willbergh. Service på riggen ble gjennomført i oktober 2012 av Odd Arne Segtnan Skogan. SPI-undersøkelsen ble gjennomført av Bjørnar Beylich og delkapittelet om disse undersøkelsene er skrevet av ham. Anna Birgitta Ledang har skrevet de resterende kapitlene og har vært prosjektleder.

Oslo, 13. mars 2013

*Anna Birgitta Ledang*

---

# Innhold

	<b>1</b>
<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>6</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>7</b>
1.1 Bakgrunn og formål	7
1.2 Områdebeskrivelse	7
1.3 Marin målerigg	8
1.4 SPI-Undersøkelser	10
1.4.1 Generelt om SPI	10
1.4.2 Om arbeidet i Tysfjord	11
<b>2. Resultater</b>	<b>12</b>
2.1.1 Hydrografi	14
2.1.2 Strømmålinger	15
2.1.3 Turbiditet	17
2.1.4 pH	18
2.1.5 Sammenheng mellom strøm og pH	19
2.1.6 Sammenheng mellom strøm og temperatur	21
2.1.7 Mulige biologiske effekter av lav pH i sjøvann	22
2.2 SPI- undersøkelsen	22
2.2.1 BHQ-analyse og tilstandsklasse	22
2.2.2 Kvarts/avgang	24
<b>3. Konklusjon</b>	<b>26</b>
<b>4. Referanser</b>	<b>28</b>
<b>5. Vedlegg</b>	<b>29</b>
5.1 SPI	29

---

## Sammendrag

I 2010 gjennomførte NIVA en undersøkelse av sjøresipienten for Norwegian Crystallites A/S med bakgrunn i sjøutslipp fra to ulike produksjonsprosesser av kvarts; en oppredningsfase og en syrevaskfase. Undersøkelsen omfattet blant annet repeterte enkeltmålinger av salt, temperatur, turbiditet og pH i sjøresipienten ved flere stasjoner rundt utslippspunktet, beregning av pH ut i fra mengden svovelsyre og fluorkiselsyre samt modellering av fortykning og innlagingsdyp for utslippet i sjøresipienten. På bakgrunn av disse resultatene ble det anbefalt et overvåkningsprogram spesielt med tanke på å få til kontinuerlige målinger av vannsøylen for å bedre kunne fange opp utslippet i sjøresipienten samt å få bedre dokumentert om bunnfaunaen i sjøresipienten blir berørt.

Episoder med høy turbiditet sammenfalt med perioder med lav eller ingen drift for flotasjonsprosessene. Data indikerer derfor at det kan være partikkelutslipp fra oppredningsfasen i ledning 2 i disse periodene og at det er dette som forklarer de høye målingene.

Det er vist god sammenheng mellom utslipp fra syrevaskfasen og målt pH-reduksjon ved målepunktet i sjøresipienten. Sammenheng mellom utslipp fra bedriften til resipienten og responsen av dette utslippet på sjøvannets pH ble vist. Utslippet fra bedriften ga pH-reduksjon ned i 6.6. Til tross for dette var det kun 0.5 % av målingene med pH under 7.4.

Det er mulig tegn til avgang i bunnfauna. En del hvite korn ble funnet, og det er naturlig å tro at deler av dette er kvarts og at noe av dette er skjell-/korallrester. Det er muligens tegn til avgang i sedimentet, men ut i fra SPI-undersøkelsen ser det ikke ut til å være noe problem med nedslamming.

Det anbefales en utvidelse av måleriggen samt en bedre kartlegging av pH omkring utslippspunktet. For å bedre kunne se om syrevaskutslipp vil gi reduksjon av pH også på grunnere dyp, bør en vurdere å ha sensorer omkring 10 m eller grunnere som et tillegg til dagens sensorer på 20 m dyp. For en bedre kartlegging av pH-forholdene rundt utslippet, både horisontalt og vertikalt, foreslås målinger av pH ved flere stasjoner rundt utslippspunktet samt alkalinitets prøver for å undersøke om utslippet også kan gi redusert alkalinitet.

## Summary

Title: Data report from from permanent marine measuring platform in Tysfjord.

Year: 2012

Author: Ledang, Anna Birgitta and Beylich, Bjørnar.

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-6171-4

During 2010 NIVA conducted an investigation of the seawater recipient for Norwegian Crystallites A/S (Ledang m. fl., 2011) based on a discharge to the recipient from the industrial company. This investigation involved measures of salinity, temperature, turbidity and pH in the seawater recipient on several stations encircling the point of discharge release, pH calculation based on the amount of acid used together with dilution modeling and vertical rise in the water column of the discharge plume. Based on these results a monitoring program has been developed with a platform of continuous measure of the water column.

Data analyses of the measurements from the platform show that episodes of high turbidity coincides with periods of low or no flotation processes. This could indicate that in such episodes particulate discharges occurs and this explains the high readings.

The monitoring platform shows another important feature, that is the relation between the discharge from the industrial company and the response with a reduction of the seawater pH. The discharge clearly reduced the pH in the seawater and during the time series pH has shown readings at 6.6.

An additional survey was performed which showed that there are some white grains in the sediment, and it is natural to believe that some of these are quartz from the discharge and some remains of shells or coralls. Thus we are possibly seeing traces of tailings, but siltation does not appear to be a problem. Based on SPI and surface images the area investigated appears to have rich benthic fauna that includes brittle stars, cnidarians (including remains of corals), polychaets, sea cucumbers and crustaceans.

An additional measuring depth higher up in the water column for a control of the vertical ascending of the discharge is recommended. For a better mapping of the horizontal and the vertical distribution of the pH after a long time of production, a thoroughly measuring of pH should be done around the discharge point along with alkalinity measurements.

# 1. Innledning

## 1.1 Bakgrunn og formål

I 2010 gjennomførte NIVA en undersøkelse av sjøresipienten for Norwegian Crystallites A/S, heretter omtalt som NC A/S, (Ledang m. fl., 2011) med bakgrunn i utslipp fra bedriften. NC A/S produserer kvarts, og produksjonsprosessen medfører utslipp til sjø ved 30 meters dyp fra to ulike prosesser. Ett rør (kalt ledning 2) har utslipp fra oppredningsfasen og består av ferskvann samt mineralpartikler, svovelsyre, fluorkiselsyre og flotasjonskemikalier. Det andre røret (kalt ledning 3) har utslipp fra syrevaskfasen og består av en større del sjøvann pumpet inn fra 30 meters dyp og en liten del ferskvann med fluorkiselsyre.

Undersøkelsen omfattet blant annet repeterte enkeltmålinger av salt, temperatur, turbiditet og pH i sjøresipienten ved flere stasjoner rundt utslippspunktet, beregning av pH ut i fra mengden svovelsyre og fluorkiselsyre samt modellering av fortykning og innlagringsdyp for utslippet i sjøresipienten.

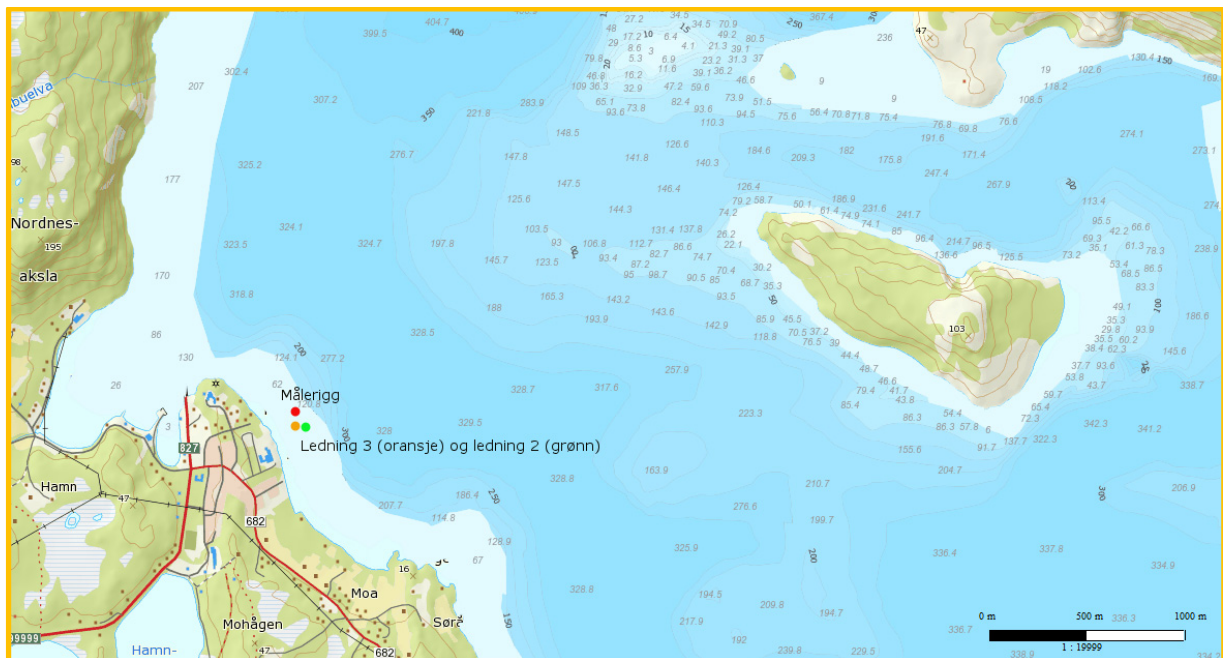
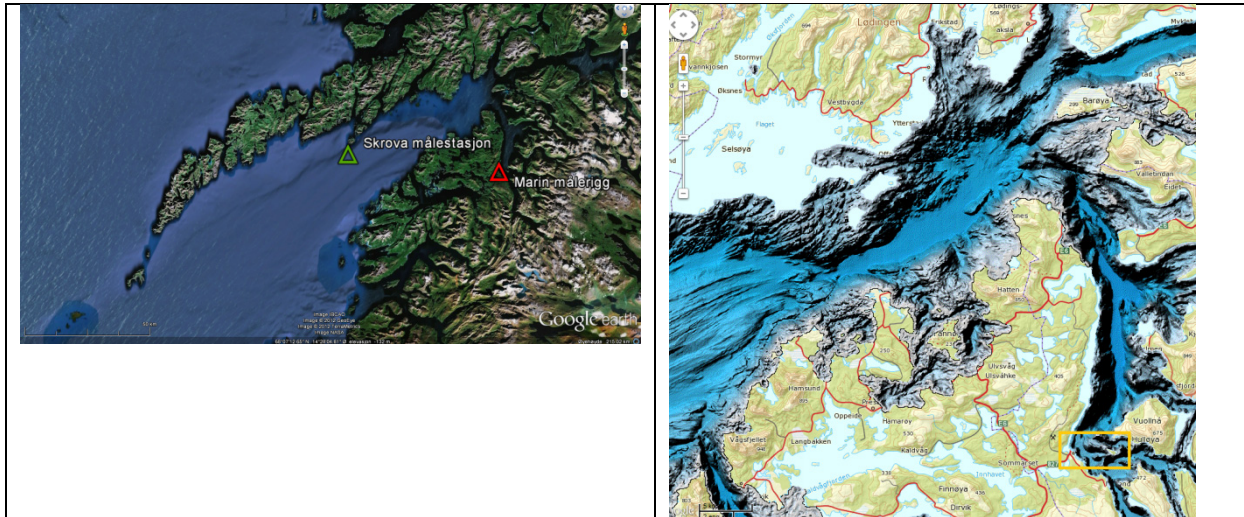
På bakgrunn av resultatene fra denne undersøkelsen ble det anbefalt et overvåkningsprogram, spesielt med tanke på å få til kontinuerlige målinger av vannsøylen som lettere kunne fange opp eventuelle effekter enn ved tidsspredte enkeltmålinger, samt å få bedre dokumentert om bunnfaunaen i sjøresipienten blir berørt.

## 1.2 Områdebeskrivelse

Tysfjord er en dyp fjord nord for Bodø og øst for Vestfjorden (*Figur 1*). Det største dypet er ved inngangen til Tysfjord fra Vestfjorden på 717 m. Videre innover fjorden går det en renne fra dette dypeste punktet som ender på omkring 200-300 m innerst i fjorden, og er grunnere i de forskjellige fjordarmene i indre del av fjorden. Utenfor Drag, hvor utslippspunktene for ledning 2 og ledning 3 finnes, og hvor måleriggen ble plassert (*Figur 1*, nederst), er det en bratt skråning som ender i et bunndyp på omkring 329 m. Det er få elveutløp i denne fjorden, og lite ferskvannsbidrag.

Hydrografimålinger fra Ledang m. fl. (2011) viste også dette, med en svak sjiktning gjennom store deler av året.





Figur 1. Oversiktskart over Vestfjorden og Tysfjorden (over til venstre, kilde: Google og over til høyre, kilde: <http://www.ngu.no/mareano/Prosjekt/kart/Havbunnskart-landskap.html>) og lokalt kart over Tysfjord ved Drag markert som oransje boks (nede, kilde: <http://www.gislink.no/gislink/>). Ledning 2 (grønn) er fra oppredningsfasen og ledning 3 (oransje) er fra syrevaskfasen.

### 1.3 Målerigg

Måleriggen i Tysfjord ble utplassert i slutten av mars 2012, nord for utslippsledningene og omkring 70 m i avstand fra utslippsrørene til NC A/S. Målingene pågår fortsatt, men den måleserien som er analysert her dekker perioden 1. april til 19. november. Riggen måler temperatur, salinitet, turbiditet, pH og strøm. Måleintervallet er satt til 15 minutter og dataene blir overført kontinuerlig til NIVAs datamonitorings side [www.aquamonitor.no](http://www.aquamonitor.no). Produksjon og utslipp fra oppredningsfasen (ledning 2) er kontinuerlig, mens produksjon og utslipp til sjøvannstank fra syrevaskfasen (ledning 3) er en batchprosess. Prosessen består derimot av flere enheter slik at batchene delvis kan overlappe. Målefrekvensen må være høy nok til at batch-utslippene skal kunne bli fanget opp av måleriggen. Målesensorene er plassert på 20 m dyp.

Tabell 1. Posisjoner for utslippspunkter og målestasjoner

	Breddegrad	Lengdegrad
Ledning 2	68.046	16.094
Ledning 3	68.046	16.095
Målerigg	68.0466	16.09397
Referansestasjon	68.04012	16.20633



Figur 2. Marin målerigg med bøye i overflaten som markerer posisjon til rigg. Solcellepanel benyttes for å sikre kontinuerlig målinger uten bytte av batterier.

Tabell 2. Målenøyaktighet til de ulike sensorene på måleriggen.

Parameter	Usikkerhet
Strøm	$\pm 0,15$ cm/s eller 1 %
Turbiditet	$\pm 2$ NTU eller 5 %
pH	$\pm 0,2$ enhet
Temperatur	$\pm 0,15$ °C
Saltholdighet	$\pm 0,1$ ppt eller 1 %

Saltholdighet måles ikke direkte, men beregnes i instrumentet ut fra temperatur og målt konduktivitet.

Måleinstrumentene montert på måleriggen er fra YSI og Aanderaa. Sensoren 6560 måler pH, temperatur og konduktivitet og er montert på en sonde (6600 V2). Strømmålinger er tatt med en DCS Z-pulse sensor fra Aanderaa.

## 1.4 Resultater fra tidligere undersøkelse

Modellresultater fra Ledang m.fl. (2011) basert på fem ulike tetthetsprofiler gjennom året og fra ulike sesonger (januar, november, juni, oktober og desember) viste at grunnet ferskvann i utslippet fra oppredningen (ledning 2) og liten tetthetsjiktning i vannsøylen<sup>1</sup> var det gjennomslag til overflaten for fire av fem profiler med svak strøm (2 cm/s) for dette utslippet. Ved sterk strøm (10 cm/s) var innlagringsdypet hhv. 25 og 20 m for to av profilene, og innlagring omkring 5-10 m for de andre profilene. Modellberegninger viste også at ved en avstand på 3 m fra utslippet vil partikkelkonsentrasjonen være på 100 til 420 mg/l og ved en avstand 100 til 200 m vil partikkelkonsentrasjonen være mellom 2 og 12 mg/l, basert på 29 090 mg/l (partikkelkonsentrasjon gitt fra bedriften) i utslippet.

For utslipp fra syrevaskfasen (ledning 3) tok beregningene hensyn til at det er fortynnet før utslipp med en stor andel sjøvann fra 30 m dyp (97 % sjøvann og 3 % ferskvann), men også her viste modellresultater at det ved noen tilfeller var gjennomslag til overflaten. Ved svak strøm på 2 cm/s ga beregningene innlagringsdyp på 28 og 20 m for to av de fem profilene, og gjennomslag til overflaten for de andre tre tilfellene. Ved sterk strøm på 10 cm/s ga modellberegningene ingen gjennomslag av det fortynnede utslippet til overflaten, og innlagringsdyp på hhv. 29, 23 og 15 m for tre av de fem profilene. Etter en fortynning på mellom 34x til 194x vil pH være tilbake på 8.0 til 8.2 og dette vil innebære en avstand på 20 til 200 m fra utslippspunktet, avhengig av strømhastigheten (sammenlignet med en pH ned mot 2.7 akkurat i utslippspunktet og uten videre fortynning i resipienten).

Et supplerende modelleringsarbeid (Ledang og Schaanning (2011)) ble også gjennomført med tanke på et framtidsscenario. Dette innebar ett scenario med økning av fluorkiselsyre på ~321 % (fra 5249 kg/døgn til 22 125 kg/døgn) med 1x sjøvannsinnblanding som betyr samme mengde sjøvann som i det tidligere modelleringsarbeidet i Ledang m.fl. (2011) og ett scenario med samme mengde fluorkiselsyre med 4x sjøvannsinnblanding. Disse to tilfellene vil gi en utslippøkning fra ledning 3 på 26 % og 317 %.

Modellresultatene i dette arbeidet viste at ved 1x blanding med sjøvann ville 4 av 5 tilfeller ha gjennomslag til overflaten ved svak strøm. Ved sterk strøm var det innlagring omkring 4 m for 3 tilfeller, og 25 og ~16 m for to tilfeller. Samtidig viste resultatene at pH vil være mellom 6.6 og 7.8 ved en avstand på 10 m fra utslippspunktet grunnet fortynning (sammenlignet med en pH på 1.9 akkurat i utslippspunktet og uten videre fortynning i resipienten).

For scenarioet med 4x sjøvannsinnblanding var det ingen gjennomslag til overflaten for hverken svak eller sterk strøm. Innlagringsdyp ved svak strøm på 2 cm/s var på ~3 m for tre av fem tilfeller og 23 og 28 m for to tilfeller. For sterk strøm på 10 cm/s var det innlagring på 10 m for tre tilfeller og på 23 og 28 m for to tilfeller, altså størst endring i innlagringen i det øvre laget ved sterk strøm. Ved en avstand på 35 m vil pH ha økt til mellom 7.9 og 8.0 grunnet fortynning (sammenlignet med pH ned mot 2.7 akkurat ved utslippspunkt og uten videre fortynning i resipienten).

## 1.5 SPI-Undersøkelser

### 1.5.1 Generelt om SPI

Sedimentprofilfotografering (SPI) er en rask metode for visuell kartlegging og klassifisering av sediment og bløtbunnfauna. Teknikken kan sammenlignes med et omvendt periskop som ser horisontalt inn i de øverste desimeterne av sedimentet. Bildet som blir 17,3 cm bredt og 26 cm høyt, tas nede i sedimentet uten å forstyrre strukturer i sedimentet. Et digitalt kamera med blits er montert i

---

<sup>1</sup> Tetthetsforskjellen mellom 30 m dyp og overflaten var bare 0,3 til 1,5 sigma-t enheter, dvs. hhv. ca. 1 og 5 % av forskjellen mellom ferskvann og rent havvann



riggen pådro seg skader som gjorde den umulig å bruke. På stasjonen nærmest utslippet (NC1) drev båten etter at det første bildet ble tatt, slik at det ble større avstand til dette stasjonspunktet. Derfor er det for denne stasjonen gjengitt to koordinater i kart og tabeller.

## 2. Resultater

NC A/S har gitt NIVA produksjonsdata fra oppredningsfasen og syrevaskfasen. Dataene er ikke direkte utslippsvolum, men er kontinuerlige tidsserier med prosessdata som er korrelerte med utslippsvolum. Oppredningsfasen gir opphav til partikkelutslippet fra ledning 2 og for denne prosessen er det gitt informasjon om flotasjonsprosessene for å kunne se etter en sammenheng mellom dette og turbiditetsdata fra måleriggen. For syrevaskfasen, som gir opphav til utslipp i ledning 3, er vaskefrekvens pr. dag oppgitt for å se på sammenhengen med pH-målinger. Det er antatt at de angitte tidspunktene for syrevask også betyr at det ved dette tidspunktet vil være utslipp til sjøresipienten fra ledning 3.

Data presentert i denne rapporten er fra måleperioden 30. mars til 19. november 2012. En del arbeid har blitt lagt inn i dataanalyse for å vurdere kvaliteten og flagge målinger som er tydelige feil (enkeltmålinger med store og tydelige avvik fra de resterende målingene).

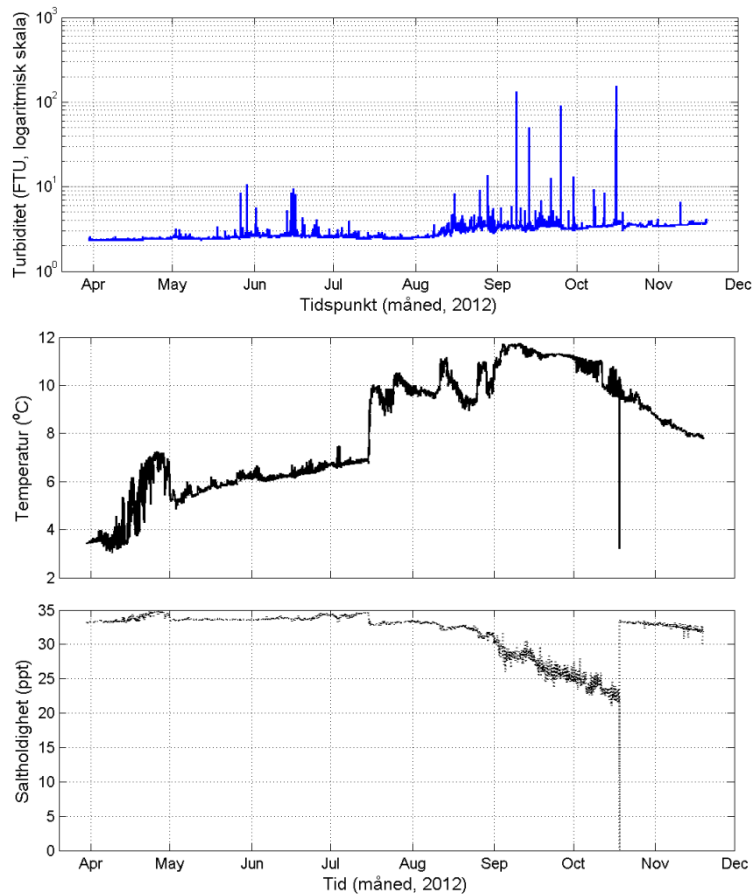
### 2.1 Kvalitetskontroll

Sensorene har en målefrekvens på 15 minutter. Figur 4 viser rådata fra målingene av turbiditet og temperatur og saltholdighet. Måleresultater for turbiditet inneholder en del plutselige og kortvarige store utslag («spikes» eller «outliers») som avviker i så stor grad fra de resterende målingene at de må være feil. I dette tilfellet er det spesielt turbiditet og hastighet (ikke vist her) som har tydelig feil verdier. Strømhastigheten har en del enkeltstående verdier på 392 cm/s som er åpenbart feil, mens den ellers har realistiske verdier fra 0 til 31 cm/s. Som for strømhastigheten er disse enkeltstående verdiene flagget som dårlige data i datasettet.

Ved 15. juli var det en tydelig økning i temperaturen og et dropp i saltholdighet. Det var ingen økning i turbiditet på samme tidspunkt. Denne økningen/droppet skjer over ett døgn og vi kan anta at dette er reelle målinger.

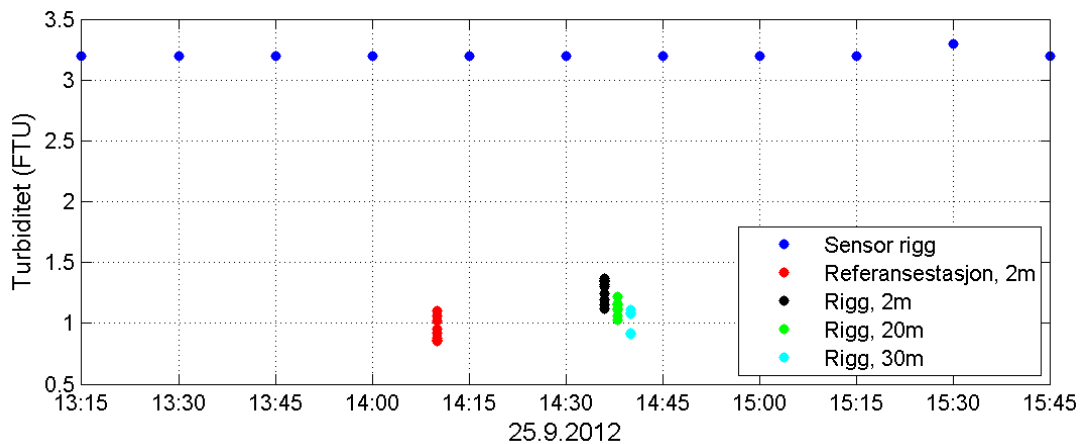
I midten av august begynner en «kontinuerlig» nedgang i saltholdigheten og dette skyldes begroing på konduktivitetscellen.

I midten av oktober ble det gjennomført service på riggen. Den tydelige «spiken» i temperatur og saltholdighet (som også er synlig i pH rådataene som ikke er presentert her) skyldes at sensorene ble tatt opp i luft for rengjøring. Etter dette er det en tydelig økning i saltholdighet som er et direkte resultat av sensorregngjøringen.



Figur 4. Presentasjon av rådata for målinger av turbiditet og temperatur og saltholdighet.

Ved gjennomføringen av SPI-undersøkelsen ble det også tatt vannprøver ved referanse-stasjonen lenger ute i Tysfjord og like ved måleriggen. Turbiditetsanalyser av disse vannprøvene viste at turbiditeten lå omkring 0.8-1.4 FTU, med litt høyere verdier i overflatelaget enn på 20 og 30 m og litt høyere ved måleriggen enn på referansestasjonen, men alt i alt ganske små variasjoner (Figur 5). Disse verdiene tyder på at verdier fra måleriggen er feil og at sonden er feil kalibrert.



Figur 5. Sammenligning av sensorverdier fra måleriggen (20 m dyp) og analyserte verdier av turbiditet i vannprøver fra 25. 9.2012.

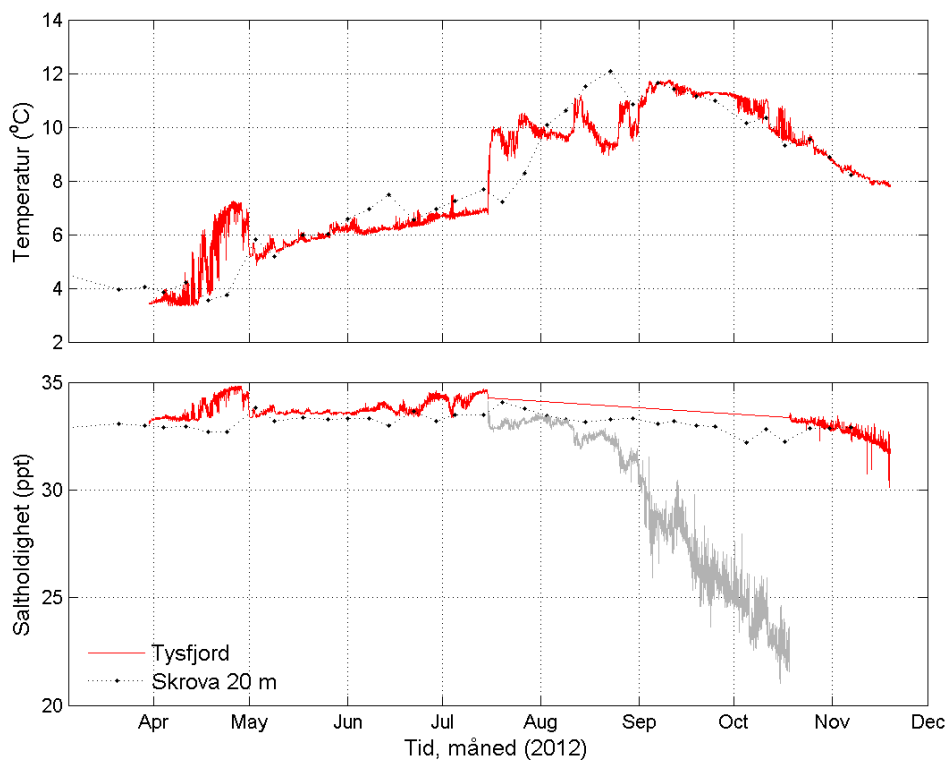
Disse kontrollmålingene brukes senere for å justere absoluttverdiene fra sonden.

### 2.1.1 Hydrografi

Figur 6 viser en tidsserie av temperatur og saltholdighet fra 20 m dyp ved måleriggen i Tysfjord sammen med en tidsserie for samme dyp fra en fast målestasjon, Skrova, som Havforskningsinstituttet (HI) har i Vestfjorden<sup>1</sup>.

Tidsserien viser tydelig den sesongmessige variasjonen gjennom året. Fra tidlig vår og frem til sommeren stiger temperaturen ved begge målepunktene, med en nedgang igjen etter september. Ved Skrova er variasjonen i saltholdighet liten og den varierer omkring 33 ppt. Fra midten av juli til midten av oktober synker saltholdigheten, for så å stige sakte igjen. Saltholdigheten i Tysfjord følger nokså likt saltholdigheten ved Skrova, med unntak av en periode fra midten av juli til midten av oktober. Først og fremst skyldes reduksjonen fra midten av juli til midten av oktober begroing og disse er vurdert som ikke realistiske og er derfor vist her i grått.

Gjennom sesongen i Tysfjord er det en svak variasjon i saltholdigheten. Dette er i samsvar med målingene som ble gjort i Ledang m. fl. (2011) og som kan forklares av den lave ferskvannstilførelsen i denne fjorden.



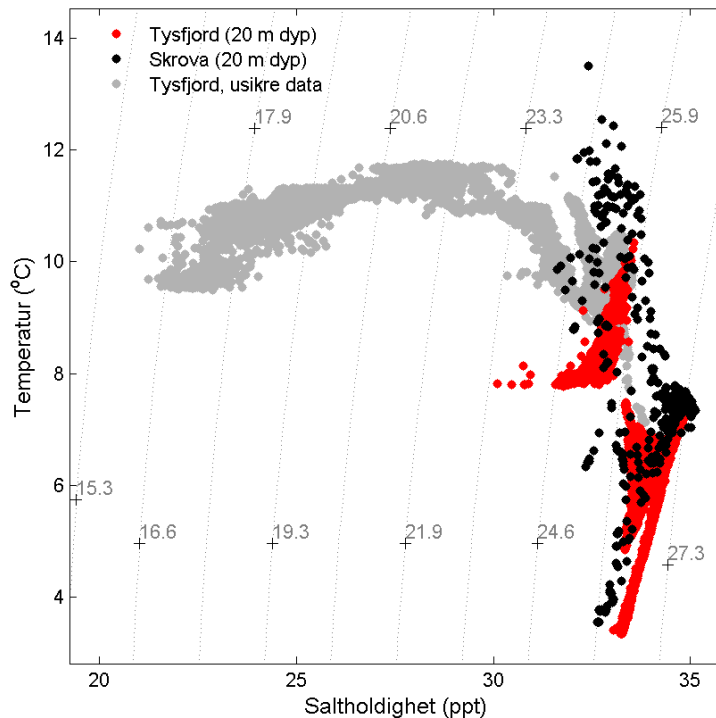
Figur 6. Tidsserie av temperatur og saltholdighet fra måleriggen i Tysfjord og fra stasjon Skrova i Vestfjorden, begge på 20 m dyp. Midt i juli viser data fra riggen en brå temperaturøkning på 3 °C i løpet av ca. ett døgn og samtidig en reduksjon av saltholdigheten med ca. 2 ppt. Fra omkring 24. august startet en begroing på konduktivitetscellen. I figuren er data fra midten i juli og til 18. oktober vist med grått i saltholdighetsserien.

I løpet av et døgn, fra 15. juli til 16. juli, endrer temperaturen seg i Tysfjord fra ca. 7 °C til 10 °C. Denne økningen i temperatur kan en også se senere ved stasjon Skrova som ligger på nordsiden av

<sup>1</sup> kilde: [http://www.imr.no/forskning/forskningsdata/stasjoner/free\\_search.php](http://www.imr.no/forskning/forskningsdata/stasjoner/free_search.php)

Vestfjorden. Utviklingen over 24 timer kan tyde på at en varmere vannmasse har entret Vestfjorden (først i sørlige del av Vestfjorden) og etter hvert Tysfjorden og at det er dette som forklarer den «nye» karakteren til temperatur i tidsserien, men det finnes ingen supplerende målinger på måleriggen som kan bekrefte denne forklaringen. I *Figur 7* vises temperatur og saltholdighet fra Skrova og fra Tysfjord i et TS-diagram. Her er den lave saltholdigheten (markert i grått både i *Figur 6* og i *Figur 7*) tydelig illustrert.

TS-diagrammet viser ellers et godt samsvar mellom Skrova og Tysfjord målingene, og at Tysfjorden og Vestfjorden er påvirket av de samme vannmassene.

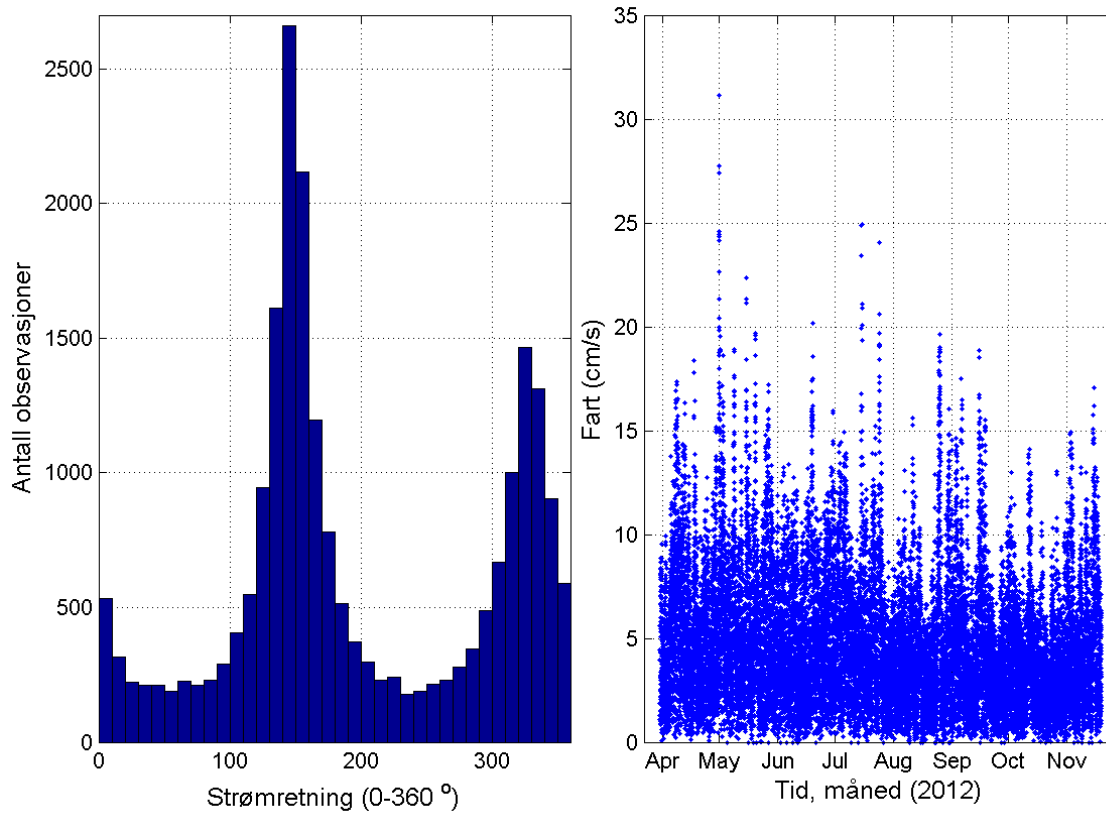


*Figur 7. TS-diagram over målingene fra måleriggen i Tysfjord og med målinger fra 20 m fra Havforskningsinstituttet (HI) sin faste stasjon Skrova i Vestfjorden i 2012 (kilde: [http://www.imr.no/forskning/forskningsdata/stasjoner/free\\_search.php](http://www.imr.no/forskning/forskningsdata/stasjoner/free_search.php)). Grå punkter er data fra måleriggen i perioden 15.juli til 18. oktober.*

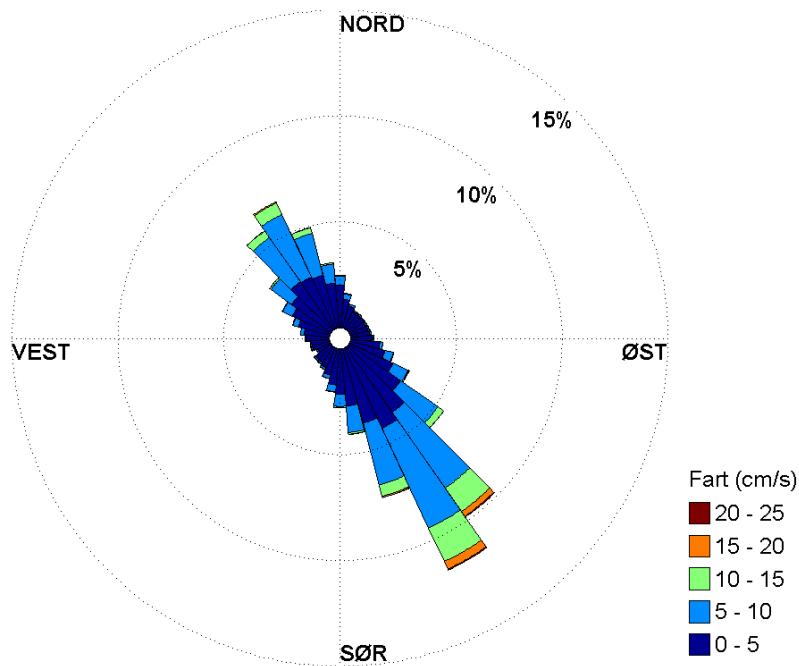
### 2.1.2 Strømmålinger

*Figur 8* til *Figur 10* viser strømdata. Histogrammet til venstre i *Figur 8* viser at de to hyppigste retningene er 150° (sørøst) og 320° (nordvest), dvs. strøm henholdsvis inn og ut av fjorden. Til høyre er farten vist mot tid, og de fleste observasjonene (tettast farge) ligger i området 0 til 10 cm/s. Det er noen få tilfeller hvor det har vært veldig sterk strøm, opp til ca. 30 cm/s. Fordeling av fart i ulike retninger er vist i roseplottet i *Figur 9*. Denne figuren viser tydeligere hvilke transport-retninger og fartsintervaller som dominerer. Retning 150° og fart i intervallet 0 til 5 cm/s er det som skjer hyppigst, med fartsintervallet 5 til 10 cm/s som det nest hyppigste fartsintervallet.



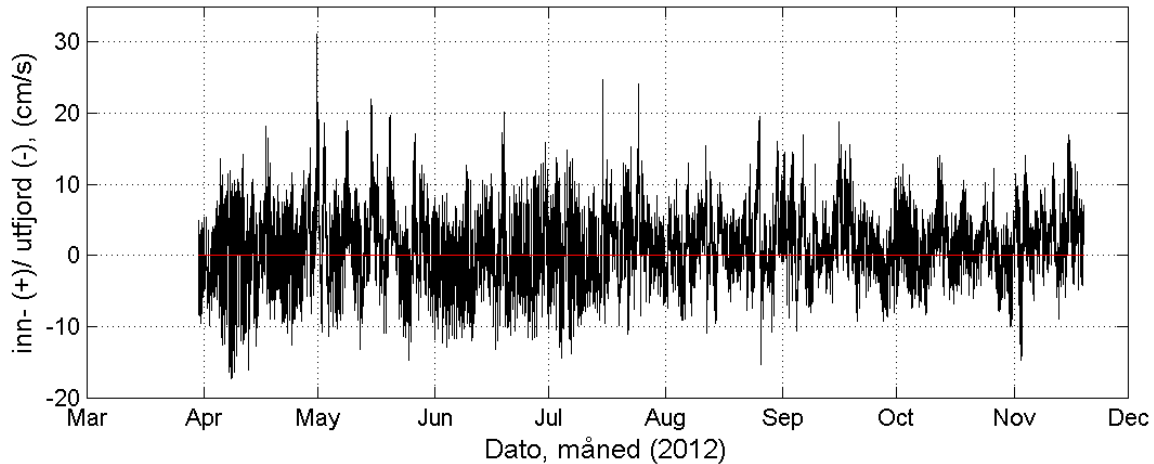


Figur 8. Figur til venstre viser frekvensen for de ulike strømretningene hvor 360 er nordlig strøm (strøm som beveger seg mot nord), 90 er østlig, 180 er sørlig og 270 er vestlig. Til høyre er farten i cm/s (uten retning) presentert.



Figur 9. Retning og fart er her presentert i en strømrose. Sirkelradius indikerer andel fartsmålinger i prosent, fargekodene viser de ulike fartsintervallene og sektorene representerer de ulike retningene.

*Figur 10* viser strømkomponenten i hovedretningen inn og ut av fjorden. I hele tidsrommet er det tydelige svingninger i hastigheten. Dette skyldes tidevannsbidraget, og ved høyere tidsoppløsning kan en tydelig se bidraget fra månen (halvdaglig bidrag med to tidevannsmaksima (flo) for en tidevannsperiode på 24 t og 50 min). Dette bidraget er tydeligere i *Figur 13* og *Figur 15* i delkapitlene 2.1.5 og 2.1.6.



*Figur 10. Strøm inn og ut av fjorden for perioden april til november 2012. Rød linje viser 0 fart.*

### 2.1.3 Turbiditet

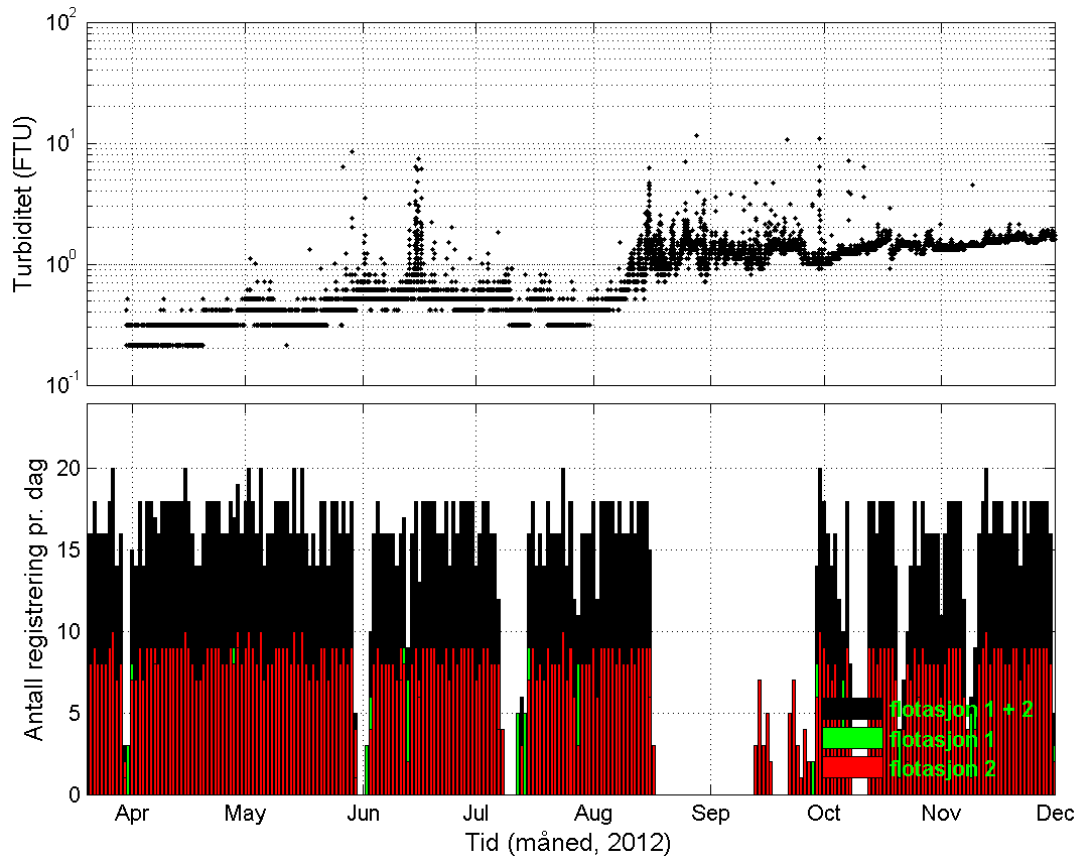
Turbiditet, målt som spredning av en infrarød lysstråle, brukes ofte som et mål på partikkelmengden i en resipient og det antas at 1 FTU  $\approx$  1 TSM mg/l<sup>1</sup>.

I *Figur 11* presenteres turbiditet som en tidsserie fra april til midten av november (øverst) og drift for flotasjonsprosessene<sup>2</sup> (nederst). Turbiditet er trukket fra med en verdi på 2.08 FTU fra analyserte vannprøver av turbiditet som vist i *Figur 5*. Tidsserien viser en generell økning i turbiditet, spesielt fra august og videre ut måleperioden som mest sannsynlig ikke skyldes utslippet men at målingene har en «drift». Turbiditet har hatt enkeltmålinger på omkring 50, 90 og 110 FTU og disse er flagget som dårlige.

Sammenligningen mellom turbiditetsmålingene fra måleriggen og drift i flotasjonsprosessen viser en sammenheng mellom perioder med høye turbiditetsmålinger og med perioder hvor det ikke er registrert noen flotasjonsprosesser. Disse høye verdiene sammenfaller også med de beregnede partikkelkonsentrasjonene fra tidligere undersøkelser som viste at turbiditet kunne variere mellom 2 og 12 mg/l 100 til 200 m fra utslippspunktet. Det finnes ingen data i dag fra NC A/S som kan gi informasjon om det er utslipp i perioder med ingen flotasjonsprosess.

<sup>1</sup> Kai Sørensen, pers. med.

<sup>2</sup> Kari Moen, pers. med.



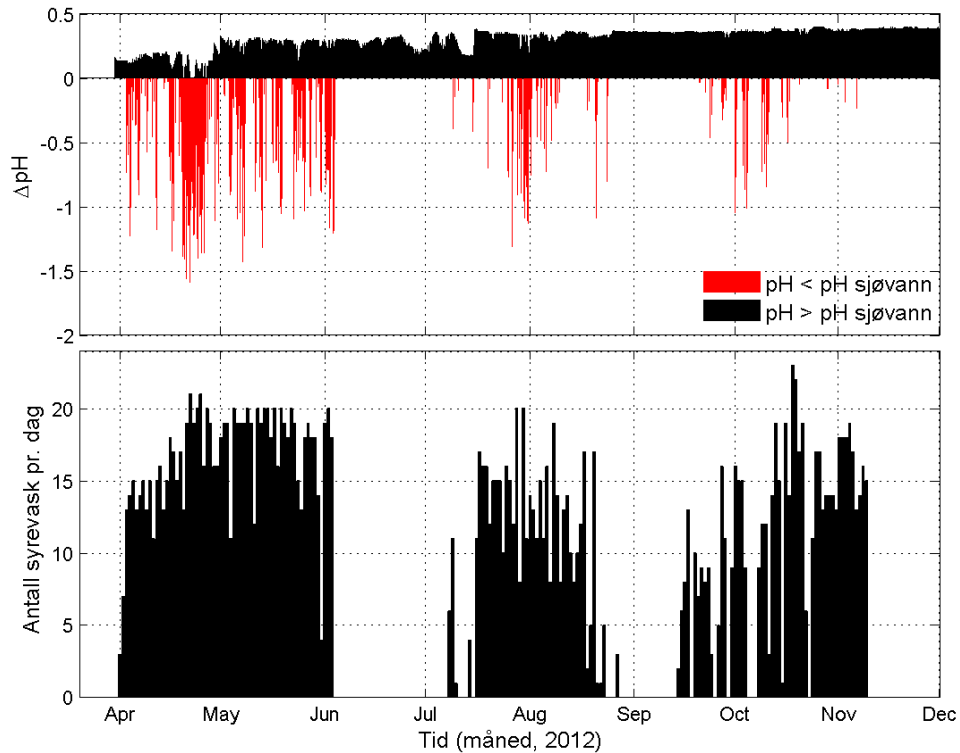
Figur 11. Tidsserie av turbiditet fra 20. mars til 19. november 2012 vist øverst. Turbiditet er korrigert for 2.08 FTU funnet fra turbiditetsvannprøver fra 20 m dyp ved måleriggen og er presentert i log-skala. Aktuelle dager med drift av flotasjonsprosesser er vist nederst.

#### 2.1.4 pH

I Figur 12 er pH-målinger (øverst) og antall syrevask pr. dag (nederst) presentert. For målingene av pH er disse presentert som en differanse mellom målt pH og pH for sjøvann. pH i sjøvann fluktuerer naturlig gjennom døgnet med en variasjon fra 7.4 til 9.2 på daglig basis (Middelboe and Hansen (2007)) og i næringsrike kystvann vil variasjonen i pH være spesielt stor (7.1 til 9.7) (Hansen (2002)). Variasjonen i pH er også bestemt av den geografiske lokalisering med ulik biologisk produksjon, lystilgjengelighet og ulik påvirkning av vannmasser (Chierici, 2011). I dette arbeidet er pH i sjøvann satt til en konstant på 8.2 for å vise differansen. Resultater fra Chierici (2011) viser at pH ligger rundt denne verdien for prøver tatt ved omtrent samme breddegrad på Norskekysten, samt at Tysfjord har god innstrømning fra Vestfjorden i vest (Figur 6 og Figur 7) og lavt ferskvannsbidrag i fjorden.

Disse to tidsseriene kan sammenlignes direkte for å se på sammenhengen mellom utslipp fra syrevask (antall syrevask) og virkning på pH i resipienten. Underveis i måleperioden stiger pH-verdiene jevnt fra 8.33 til 8.58 og dette skyldes antagelig drift og er ikke en naturlig pH variasjon.

Tidsseriene av pH-målinger fra måleriggen og syrevaskdata fra NC A/S viser et godt samsvar. De langvarige periodene med ingen avvik (differansen > 0) forekommer i perioder uten syrevask og avvik i pH (differansen < 0) forekommer i hovedsak i perioder med syrevask. Det er derfor en god sammenheng mellom reduksjonen i pH og antall syrevask som blir gjort pr. dag.



Figur 12. pH-målinger fra målerigg presentert øverst som differanse i pH mellom målt og 8.2. Under vises antall syrevask pr. dag. Perioden er 20. mars til 1. desember 2012, med data fra måleriggen fra 30. mars frem til 19. november og syrevaskdata fra 1. april til 9. november.

Varigheten til pH avvikene er veldig varierende. For noen tidspunkt går det kun 15 minutter før pH-verdien er tilbake til 8-nivået, mens for andre tidspunkt kan det ta 6 timer fra den laveste verdien er målt og til pH-målingene er tilbake til 8 igjen. Denne variasjonen skyldes mest sannsynlig en kombinasjon av i hvilken tidevannsfase strømforholdene er i (på vei inn eller ut av fjorden eller i en overgangsfase mellom disse to) og hvor stort og langvarig utslippet fra bedriften er.

### 2.1.5 Sammenheng mellom strøm og pH

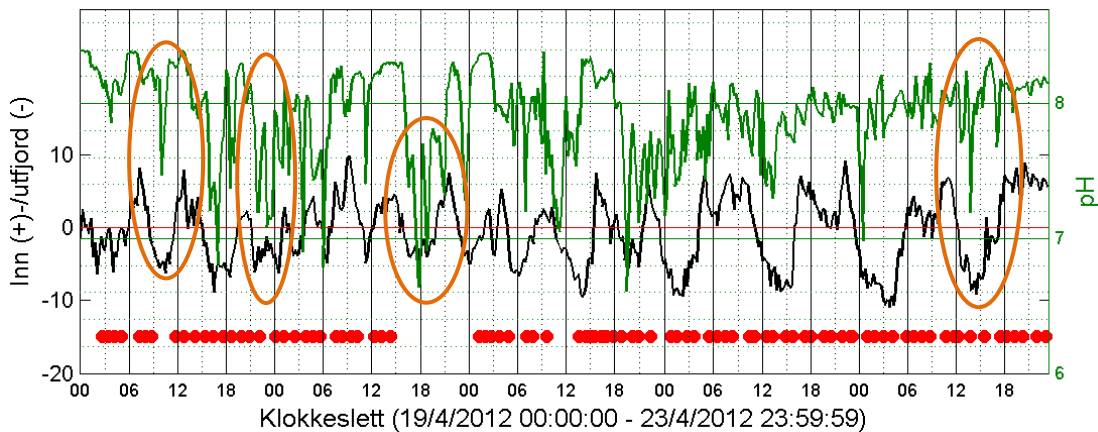
Som nevnt i delkapittel 2.1.4 kan variasjonen i pH-målingene også skyldes ulike strømforhold i kombinasjon med utslippet til NC A/S. Nettopp denne sammenhengen ser vi *Figur 13*. Denne figuren viser et utdrag fra tidsserien, fra 19. april 2010 til 23. april 2012. Hver 6. time er vist ved hele svarte vertikale linjer. Det halvdaglige tidevannsbidraget er helt tydelig til stede i inn- og utfjordsstrømmen som er presentert i denne figuren som svart tidsserie. For 19. april er to tydelige innstrømningstopper rundt 7:00-8:00 og rundt 13:00, og med en utstrøm mellom disse to tidspunktene.

Grønn kurve i figuren er pH-målingene, de større oransje sirklene fremhever tydelige sammenhenger mellom pH og strøm og røde mindre sirklene nederst i figuren indikerer tidspunkt for gjennomføring av syrevask. Måleriggen er plassert nord for utslippsledningene og ved innstrømning vil vannmasser fra utsiden av fjorden passere måleriggen. Ved utstrøm vil vannmasser fra innsiden av fjorden, også fortynnet utslipp fra utslippspunktet, passere måleriggen. I *Figur 13* er det en tydelig sammenheng mellom strøm ut av fjorden og en pH-reduksjon. De mest tydelige sammenhengene er fremhevet med oransje sirklene. Vannmasser utsatt for utslippet fra bedriften blir fraktet ut av fjorden med utstrømmen og passere målepunktet til måleriggen utstrøms.

Tredje sirkel fra venstre viser en kraftig pH-reduksjon i en svak utstrøm. Det var ingen syrevask rett før dette tidspunktet, men ca. 3 timer før var det innstrøm og syrevask. I dette tilfellet kan pH-

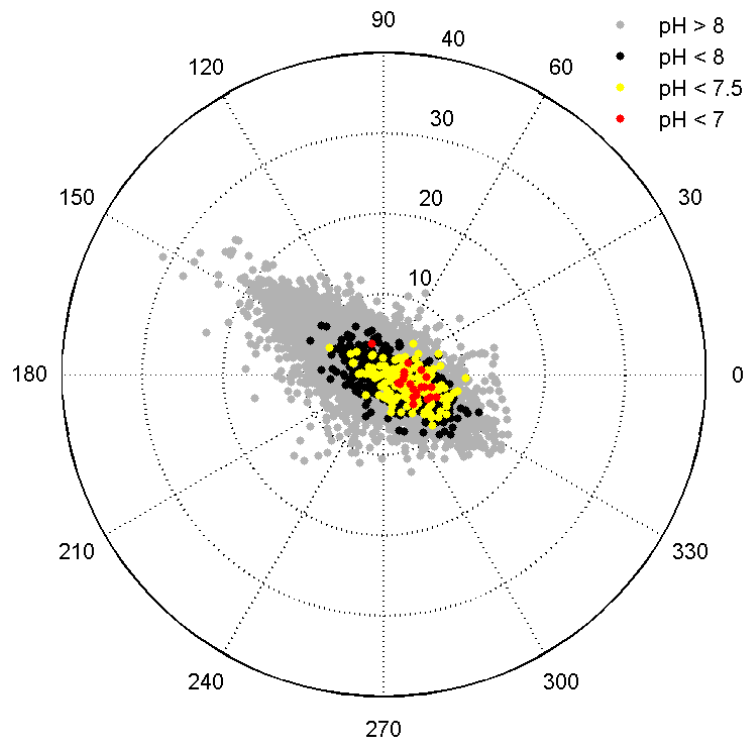
reduksjonen mest sannsynlig forklares ved at innstrøm har fraktet utslippspåvirket vann inn i fjorden, og ved utstrøm har denne vannmassen blitt fraktet tilbake og forbi måleriggen.

Ved noen tilfeller er det også en pH-reduksjon ved innstrøm. Dette kan skyldes at vannmasser med redusert pH har blitt fraktet ut av fjorden uten å ha passert måleriggen, og ved innstrøm passerer denne vannmassen måleriggen. Utvikling av storskala rotasjonsmønstre i strømmen («eddies») i fjorden grunnet horisontale hastighetsskjær (variasjon i hastighet mellom ulike vannmasser) eller topografi kan også medføre at vannmasser som er påvirket av utslippet og har redusert pH blir fraktet forbi måleriggen ved netto innstrømning.



Figur 13. Et utdrag av strøm- og pH-målinger i perioden 19. april til 23. april. Røde prikker indikerer på hvilket tidspunkt det er gjennomført syrevask, mens oransje sirkler fremhever noen tilfeller av sammenheng mellom utfjordsstrøm og lav pH.

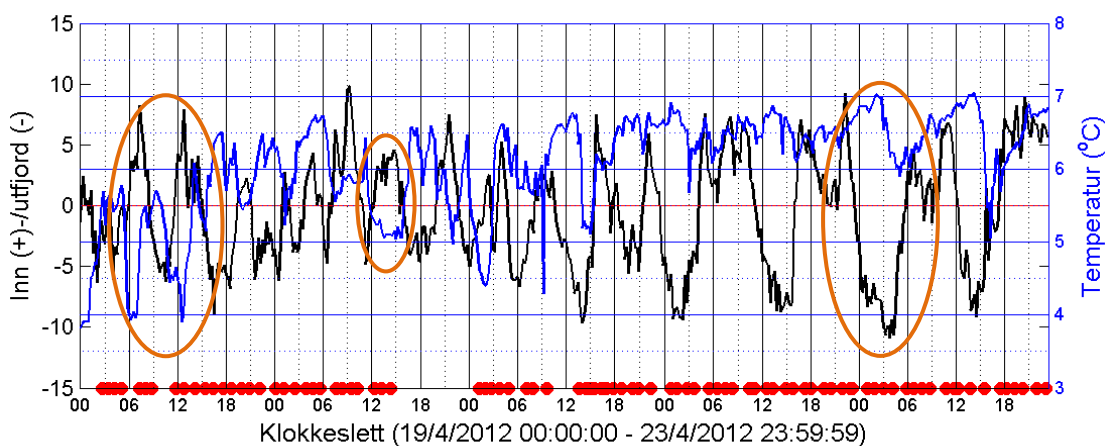
Sammenhengen mellom strøm og pH er også vist i et polar plott i Figur 14. Generelt viser denne figuren at hovedstrømretningene er som vist tidligere  $150^\circ$  og  $330^\circ$ , inn og ut av fjorden henholdvis. Samtidig viser figuren at de laveste pH-verdiene ( $\text{pH} < 7$ ) finner vi i de tilfellene hvor strømfarten er mindre enn  $10 \text{ cm/s}$  og strømretningen er omkring  $330^\circ$  som betyr ut av fjorden. Ved  $\text{pH} < 7.5$  og  $\text{pH} < 8$  gjelder også dette, men her finner vi tilfeller hvor denne lave pH'en finner sted også ved strøm inn fjorden. Som forklart ovenfor kan dette skyldes at vannmasser med redusert pH har blitt fraktet ut av fjorden uten å ha passert måleriggen, og ved innstrøm passerer denne vannmassen måleriggen.



Figur 14. Strøm i form av retning (grader) og fart (radius) ut i fra forskjellige pH verdier. Grå er pH > 8, sorte er pH < 8, gul er pH < 7.5 og rød er pH < 7.

### 2.1.6 Sammenheng mellom strøm og temperatur

Samme type sammenheng som mellom strøm og pH kan også ses mellom strøm og temperatur, vist i Figur 15. Ved innstrøm synker temperaturen, og ved utstrøm stiger den. De tydeligste sammenhengene er fremhevet i figuren med blå sirkler. Dette forklarer de små variasjonene man ser gjennom hele tidsserien i Figur 6. Hvordan temperaturen varierer med strømmen endrer seg med sesongen og temperaturforskjellene mellom Tysfjord og vannmasser i Vestfjorden.



Figur 15. Et utdrag av strøm- og temperaturmålinger for perioden 19. april til 23. april.

### 2.1.7 Mulige biologiske effekter av lav pH i sjøvann

Organismer som lever i grunne kystvann vil kunne oppleve variasjoner i pH mellom 7.4 til 9.2 på daglig basis (Middelboe and Hansen (2007)). Pelagiske organismer <sup>1</sup> blir ikke utsatt for like store døgn variasjoner, men vil kunne erfare sesongmessige variasjoner i pH på 7.5 til 9.7 (Hofmann et al. (2011)). I eutrofe <sup>2</sup> kystvann vil variasjonen i pH være spesielt stor (7.1 til 9.7) (Hansen (2002)). Variasjonen i pH er også bestemt av den geografiske lokalisering med ulik biologisk produksjon, lystilgjengelighet og ulik påvirkning av vannmasser (Chierici, 2011).

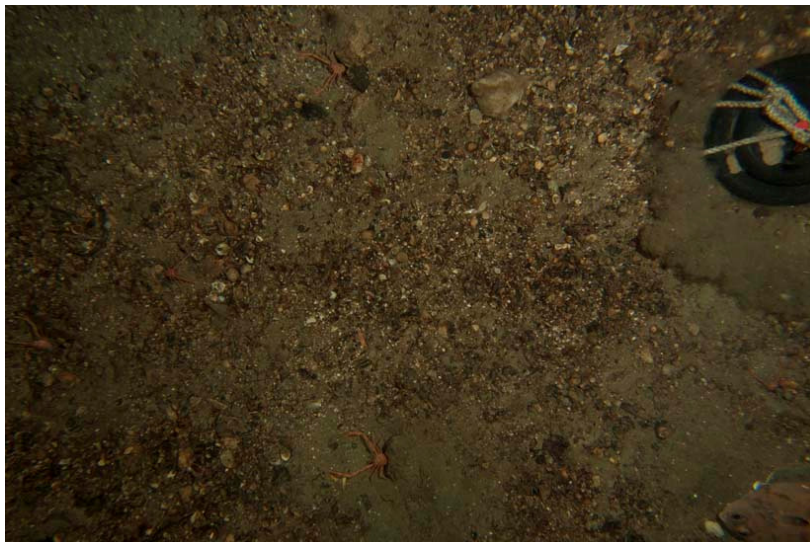
Ved å ta hensyn til den naturlige variasjonen i pH, så er det beregnet at kun 0.5 % av pH-målingene er utenfor en naturlig pH variasjon, det vil si pH < 7.4. Den tydelige sammenhengen i *Figur 12* mellom redusert pH og utslipp og de lave pH verdiene som er målt gir i utgangspunktet grunn til en viss bekymring for effekter. Eksponeringstiden med lav pH for organismer på et bestemt fast punkt i resipienten (eksempelvis ved måleriggen) er likevel trolig relativt begrenset. Flere målinger for en kartlegging av pH i et større område rundt utslippet etter en lengre driftsperiode samt vannprøver for alkalinitetsanalyser vil kunne gi bedre svar på om dette kan ha noen effekter for et lokalt økosystem.

## 2.2 SPI- undersøkelsen

### 2.2.1 BHQ-analyse og tilstandsklasse

SPI-bildene ble analysert kort tid etter feltarbeidet. Analysene omfattet standard utregning av BHQ og tilstandsklasse, og det ble sett etter kvart fra avgangen til NC A/S.

Av de seks stasjonene fikk fem stasjoner tilstandsklasse 2 (god) og ved én stasjon; stasjonen nærmest utslippet, var bunnen for hard/steinete slik at kameraet ikke kunne penetrere dypt nok ned i sedimentet til at bildene kunne klassifiseres. Resultatene av BHQ-analysen er presentert i **Tabell 3** og *Figur 17*. På overflatebildene fra NC1 kan man se at det er en god del småstein, som bekrefter at det er vanskelig å få et godt penetrasjonsdyb med kameraet. Man kan også se en god del krepsdyr og slangestjerner, samt noe spor etter gravende organismer (*Figur 16*).



*Figur 16. Overflatebildene fra NC1 viser at det er relativt steinete. Man kan også se mange krepsdyr og slangestjerner. Objektet øverst til høyre er kameraets utløserlodd.*

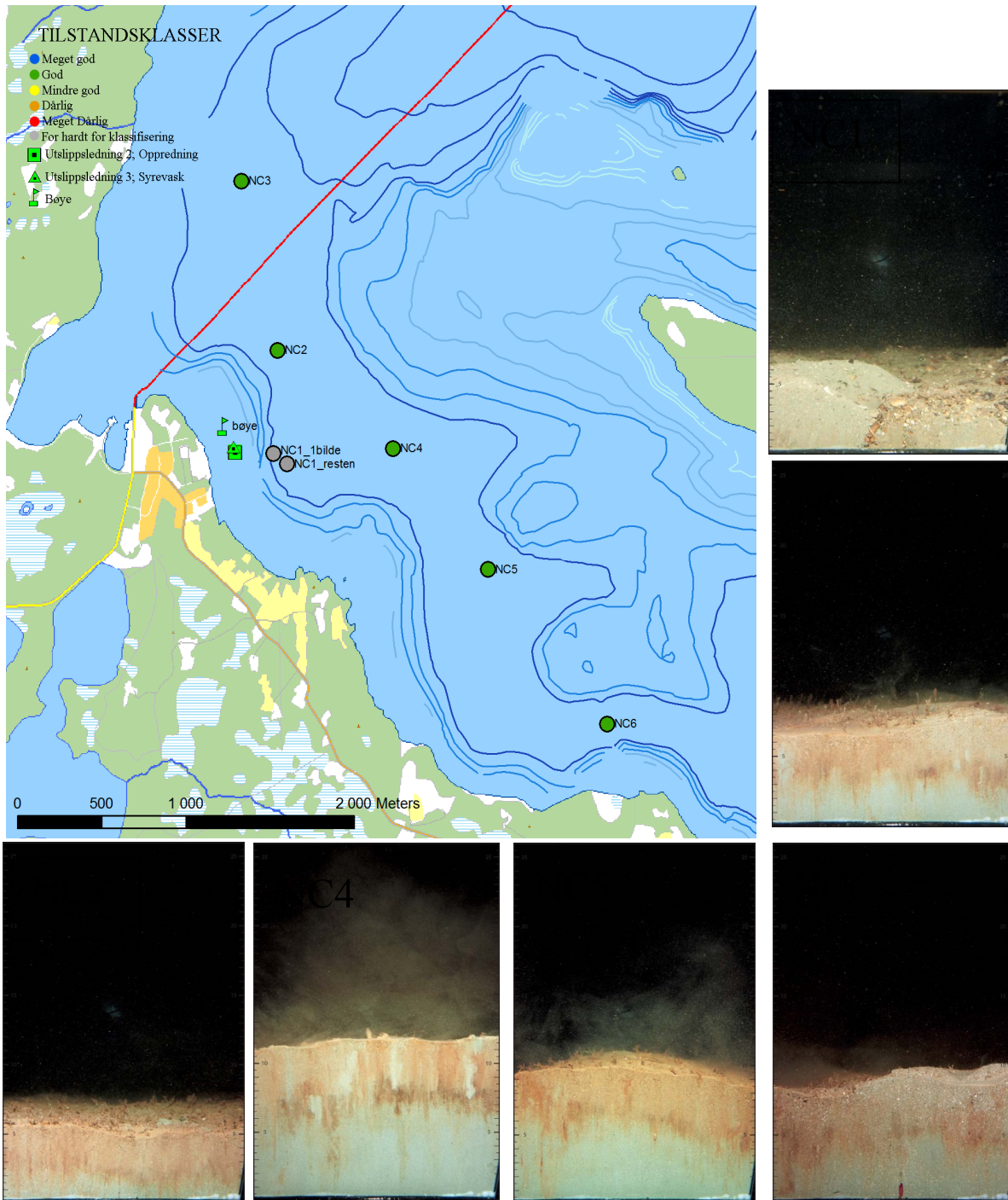
<sup>1</sup> Organismer som i det åpne havområder og ikke i kystområder.

<sup>2</sup> Næringsrike

**Tabell 3.** SPI-stasjoner, med posisjon i WGS84 desimalgrader, vandyp, tilstandsklasse, BHQ, n (antall bilder), penetrasjonsdyp i sedimentet og dybden av antatt skille mellom oksidert og redusert sediment (aRPD; apparent Redox Potential Discontinuity). Alle analyserte stasjoner ble bedømt til tilstandsklasse 2 (God). Grunnet problemer med ekkoloddet på Spon Superior er dybden målt med tau og er antagelig ikke helt presis.

Stasjon	Lengde-grad	Bredde-grad	Dyp (m)	Tilstands-klasse SPI	BHQ indeks	n	Penet. Dyp(cm)	aRPD (cm)
NC1_1bilde	16,09949	68,04549	320	-	-	0	2,0	
NC1_resten	16,10139	68,04494	320	-	-	0	2,0	
NC2	16,100358	68,0508	326	2	8,0	4	6,6	3,3
NC3	16,09564	68,0596	321	2	9,2	5	10,9	4,3
NC4	16,1165	68,04564	321	2	7,8	4	5,5	3,3
NC5	16,12973	68,03928	321	2	8,4	5	8,4	3,4
NC6	16,14625	68,03122	326	2	7,4	5	6,6	3,2





**Figur 17.** Kart av SPI-stasjoner. Fargen på stasjonen angir tilstandsklasse. På NC1 var det såpass hardt at kameraets penetrasjonsdyp ikke ble stort nok til å klassifisere bildene. Utslippsledninger og målbøye er også vist på kartet. Den røde linjen er en fergerute. Et eksempelbilde er vist pr stasjon.

### 2.2.2 Kvarts/avgang

Det er vanskelig å si med sikkerhet om man kan spore avgang på bildene. Det er en del hvite korn med størrelse opp til 0,3 cm. Dette kan godt være kvarts, men det kan også være rester av skjell eller koraller. Vi ser hvite korn dypt nede i sediment, som man i utgangspunktet kunne tenke seg har ligget

der lengre enn NC A/S har hatt utslipp. Imidlertid viser bildene også mange organismer som er bioturbatorer og disse kan således ha forflyttet nyere utslipp dypere ned i sedimentet. Det er heller ingen klar gradient med synkende eller økende mengde hvite korn fra utslippspunktet. Stasjonene NC1 og NC6 er stasjonene med størst mengde hvite korn. Dette er henholdsvis stasjonen nærmest og lengst fra utslippet. De største kornene (opp til 0,3 cm) er å finne ved stasjon NC1, dette er rimelig å forvente både hvis det skulle være på grunn av utslippet og hvis det naturlig sedimenterer større partikler der, fordi det er såpass nær en bratt skråning.

Konklusjonen er at det er en del hvite korn, og at det er naturlig å tro at deler av dette er kvarts og at noe er skjell/korall-rester. Vi ser altså muligens tegn til avgang i sedimentet, men det ser ikke ut til å være noe problem med nedslamming. En kort oversikt over mengden hvite korn i hver enkelt stasjon er gitt i **Tabell 4**. Basert på SPI og overflatebilder ser det ut til at bunnen har et rikt dyreliv med slangestjerner, nesledyr (deriblant rester av koraller), børstemark, sjøpølser og krepsdyr.

**Tabell 4.** En grov skjønsmessig oversikt over mengden hvite korn.

Stasjon	Avstand fra utslipp (m)	Retning fra utslipp	Beskrivelse
NC1_1bilde	250	Ø	Mye hvite korn, opptil 0,3cm
NC1_resten	350	Ø	Mye del hvite korn, opptil 0,3cm
NC2	650	NØ	Noe hvite korn, opp til 0,1cm
NC3	1550	N	Mindre hvite korn, opp til 0,1cm
NC4	950	Ø	Mindre hvite korn, opp til 0,1cm
NC5	1650	SØ	Mindre hvite korn, opp til 0,1cm
NC6	2700	SØ	Mye hvite korn, opp til 0,1cm

### 3. Konklusjon

Tidligere modellarbeid gjennomført for NC AS viste resultater på partikkelkonsentrasjoner i sjøresipienten på mellom 2 og 12 mg/l i en avstand fra 100 til 200 m fra utslippspunktet. I dette arbeidet viste målingene i målepunktet til måleriggen omkring 70 m fra utslippspunktet turbiditet opp mot 12 til 15 FTU<sup>1</sup>. Disse høye målingene sammen med andre ikke fullt så høye målinger sammenfalt med perioder hvor det var ingen drift i flotasjonsprosessene. Data indikerer derfor at det kan være partikkelutslipp fra oppredningsfasen i ledning 2 likevel i disse periodene og at det er nettopp dette som forklarer de høye målingene.

Resultater fra modellarbeid indikerte høyere pH-verdier nærmere utslippspunktet enn hva målinger fra måleriggen i dette arbeidet har visst. Dette kan skyldes antagelser gjort i modellarbeidet som for eksempel dominerende strømrretning og hastighet, men også at karakteren til utslippet kan ha forandret seg for eksempel gjennom økt produksjon og dermed økt mengde av fluorkiselsyre brukt i syrevaskfasen.

Det har blitt vist en god sammenheng mellom utslipp fra syrevaskfasen og de lave pH målingene funnet ved målepunktet. Lavest pH måling var på 6.6, likevel var kun 0.5 % av alle målingene utenfor den naturlig variasjonen i pH for sjøvann i kystnære områder. Med tanke på variasjonen i pH og den korte varigheten disse «pakkene» med lav pH har, bidrar dette trolig til liten vesentlig direkte effekt på organismer i resipienten. Likevel kan ikke dette utelukkes fullstendig. Flere målinger for en kartlegging av pH i et større geografisk område rundt utslippet etter en lengre driftsperiode samt vannprøver for alkalinitetsanalyser vil kunne gi bedre svar på om dette kan ha noen effekter for et lokalt økosystem.

Det var mulige tegn til avgang fra NC AS i sedimentet, men det så likevel ikke ut til å være noe problem med nedslamming. Basert på SPI og overflatebilder så det ut til at sjøbunnen utenfor NC AS har et rikt dyreliv med slangestjerner, nesledyr (der i blant rester av koraller), børstemark, sjøpølser og krepsdyr.

---

<sup>1</sup> 1FTU ≈ 1 mg/l.

## **4. Anbefalinger om utvidelse av måleriggen og en bedre kartlegging av pH omkring utslippspunktet.**

Beregninger tidligere utført for dette utslippet viste en innlagring omkring 20 m ved noen tilfeller, men i flere tilfeller var det innlagring ved grunnere dyp og gjennomslag til overflaten. Innlagringen avhenger ikke bare av tettheten til selve utslippsvannet, men også av de hydrofysiske egenskapene til sjøresipienten. Disse forholdene varierer fra sesong til sesong.

For å bedre kunne se om syrevaskutslipp vil gi reduksjon av pH også på grunnere dyp, bør man vurdere å ha sensorer omkring 10 m eller grunnere som et tillegg til dagens sensorer på 20 m dyp. Dagens sensorer på 20 m er i bunnsjiktet av den eufotiske<sup>1</sup> sonen.

For en bedre kartlegging av pH-forholdene, både horisontalt og vertikalt, rundt utslippspunktet kan det også være fornuftig med pH-målinger ved flere stasjoner rundt utslippspunktet. Ved et slikt arbeid bør det også tas alkalinitets prøver ettersom utslipp av sterke syrer (som fluorkiselsyre ( $H_2SiF_6$ )) kan medføre en reduksjon av alkalinitet (Zeebe and Wolf-Gladrow (2001)). Redusering av pH i sjøvann sammen med redusert alkalinitet kan påvirke karbonat metningstilstanden som kan påvirke det lokale økosystemet.

---

<sup>1</sup> Det øvre vannlaget hvor det er nok lys tilgjengelig til fotosyntese hos planteplankton.

---

## 5. Referanser

- Hansen, P. J. (2002). "Effect of high pH on the growth and survival of marine phytoplankton: implications for species succession." *Aquatic Microbial Ecology* 28(3): 279-288.
- Hofmann, G. E., J. E. Smith, K. S. Johnson, U. Send, L. A. Levin, F. Micheli, A. Paytan, N. N. Price, B. Peterson, Y. Takeshita, P. G. Matson, E. D. Crook, K. J. Kroeker, M. C. Gambi, E. B. Rivest, C. A. Frieder, P. C. Yu and T. R. Martz (2011). "High-Frequency Dynamics of Ocean pH: A Multi-Ecosystem Comparison." *PLoS ONE* 6(12): e28983.
- Ledang, A. B., Skei, J., Eikrem, W. Schanning, M. og Norling, P., 2011. Undersøkelse av sjøresipienten utenfor Norwegian Crystallites AS på Drag i Tysfjord. NIVA-rapport, 6129-2011, 46 s.
- Ledang, A.B. og Schaanning, M., 2011. Modelling av utslipp og beregning av pH ved et framtidsscenario - et supplerende dokument til rapport 6129. Notat, 10 s.
- Nilsson, H.C., Rosenberg, R. 1997. Benthic habitat quality assessment of an oxygen stressed fjord by surface and sediment profile images. *Journal of Marine Systems* 11:249-264.
- Nilsson HC, Rosenberg R. 2006. Collection and interpretation of Sediment Profile Images (SPI) using the Benthic Habitat Quality (BHQ) index and successional models. NIVA- Rapport, 5200-2006, 26 s.
- Middelboe, A. L. and P. J. Hansen (2007). "Direct effects of pH and inorganic carbon on macroalgal photosynthesis and growth." *Marine Biology Research* 3(3): 134-144.
- Pearson TH, Rosenberg R. 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr Mar Biol Ann Rev* 16:229-311.
- Rosenberg R, Blomqvist M, Nilsson HC, Cederwall H, Dimming A. 2004. Marine quality assessment by use of benthic species-abundance distributions: a proposed new protocol within the European Union Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin* 49:728-739.
- Wicks, L.C. og Roberts, J. M., 2012. Benthic invertebrates in a high-CO<sup>2</sup> world. *Oceanography and Marine Biology, Annual rev.* 50, 127-187.
- Zeebe, R.E. and Wolf-Gladrow, D..CO<sub>2</sub> in seawater: equilibrium, kinetics, isotopes. Elsevier Oceanography Series, 65. First Edition, 2001.

## **6. Vedlegg**

### **6.1 SPI**

Se egen fil "SPIvedlegg\_tysfjord.PDF"

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](http://www.niva.no) • [post@niva.no](mailto:post@niva.no)