

# GEOLOGI FOR SAMFUNNET

*GEOLOGY FOR SOCIETY*





Rapport nr.: 2013.054		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Miljøstatus i Borgenfjorden				
Forfatter: Oddvar Longva, Jarle Mork, Aivo Lepland, Thomas McClimans, Leif Rise			Oppdragsgiver: NGU, Fylkesmannen i Nord-Trøndelag	
Fylke: Nord-Trøndelag		Kommune: Inderøy		
Kartblad (M=1:250.000) Trondheim		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1722.1 Stiklestad		
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 104	Pris: 312,-	
Feltarbeid utført: 18.-23. september 2012		Rapportdato: 27. november 2013	Prosjektnr.: 347800	Ansvarlig: Reidulv Bøe <i>Reidulv Bøe</i>
Sammendrag:				
<p>Det er gjennomført en analyse av miljøstatus i Borgenfjorden for å møte Vanndirektivets krav. Som støtte for analysen ble det gjennomført dybdekartlegging av 11,4 km<sup>2</sup> av fjordens arealer, og kartlegging av sedimentforhold og strømforhold i fjorden. Data ble samlet inn med NGUs fartøy F/F Seisma i 2012. Bunnsedimentene er generelt slamholdige unntatt ved innløpet ved Straumen, hvor man finner partier med grovere sedimenter delvis ført inn i fjorden med strømmen og delvis vasket ut av leira av bunnstrømmer. Det er indikasjoner på at strømsystemet er endret fra 1970-tallet, og det spekuleres i om det kan ha sammenheng med utfylling av sundet sør for Sundsøya og/eller naturlig erosjon i innløpet. I denne rapporten er miljøtilstand analysert basert på innholdet av utvalgte kjemiske stoffer i bunnsedimentene. I tillegg er bunnfaunaen i ulike områder av Borgenfjorden beskrevet, og den økologiske tilstanden er vurdert basert på faunasammensetning. Kjemisk sett er miljøstatusen for Borgenfjorden god. Både tungmetallanalysene og analysene av organiske miljøgifter viser at bunnsedimentene ikke er forurenset i henhold til Miljødirektoratets (Klifs) krav, og at innholdet av miljøgifter generelt har blitt lavere de siste tiårene. Økologisk sett virker fjorden også "frisk", bortsett fra områdene dypere enn ca. 20 m i indre basseng som har oksygensvikt i bunnvannet deler av året. Oksygensvikten er en naturgitt prosess og forholdene har trolig endret seg lite de siste 100 år.</p>				
Emneord: Dybdemåling	Hydrografi		Strøm	
Seismikk	Bunnsedimenter		Bunnfauna	
Miljøstatus	Tungmetaller		Organiske miljøgifter	

## Innhold

1.	INNLEDNING .....	6
2.	KLASSIFISERING AV MILJØTILSTAND I VANN .....	8
3.	METODER.....	9
3.1	Dybdemåling .....	9
3.2	Seismikk .....	9
3.3	Tidevannsmålinger .....	9
3.4	Hydrografering .....	10
3.5	Videoregistreringer .....	10
3.6	Prøvetaking .....	10
3.7	Sedimentanalyse .....	11
3.8	Fauna .....	11
3.9	Databehandling/GIS .....	12
4.	RESULTATER .....	12
4.1	Dybdeforhold.....	12
4.2	Hydrografi og strøm .....	12
4.3	Bunnsedimenter .....	15
4.3.1	Kornstørrelse bunnsedimenter.....	15
4.3.2	Erosjonsbunn og avsetningsbunn .....	19
5.	KJEMISK MILJØTILSTAND I BUNNSEDIMENTENE .....	20
5.1	Hovedelementer.....	21
5.2	Tungmetaller.....	22
5.3	Organiske miljøgifter.....	24
5.4	Utvikling i kjemisk miljøtilstand over tid.....	26
6.	ØKOLOGISK TILSTAND .....	26
6.1	Videoanalyse av bunnfauna.....	27
6.1.1	Videolinjer i ytre basseng.....	27
6.1.2	Videolinjer i indre basseng.....	29
6.2	Faunaanalyse fra grabbprøver .....	30
6.2.1	Grabbprøve P 1207001.....	30
6.2.2	Grabbprøve P1207002.....	30
6.2.3	Grabbprøve P1207003.....	31
6.3	Vurdering av økologisk tilstand .....	31
7.	ERFARINGER.....	31
8.	KONKLUSJONER .....	32
9.	TAKK.....	33
10.	REFERANSER .....	34

## VEDLEGG

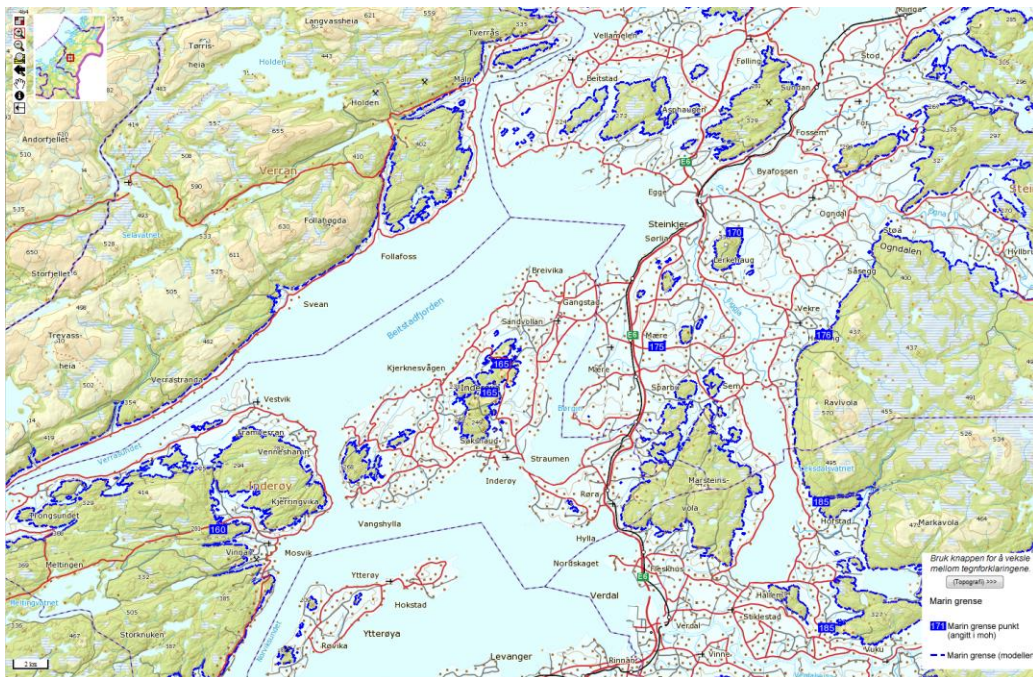
- Vedlegg 1. Rapport fra Thomas McClimans, SINTEF og Jarle Mork, NTNU; Hydrografi og strøm
- Vedlegg 2. Analyserapport fra NGU; Kornfordeling, svovel, karbon og uorganiske miljøgifter
- Vedlegg 3. Analyserapport fra Eurofins Norsk Miljøanalyse AS; Organiske miljøgifter
- Vedlegg 4. Rapport fra Jarle Mork, NTNU; Analyse av bunnfauna fra seks videolinjer.
- Vedlegg 5. Analyserapport av Øystein Stokland, Marine Bunndyr A/S; Bløtbunnsfaunaundersøkelse i Indre Borgenfjord, Inderøy og Steinkjer kommuner i Nord-Trøndelag for NTNU, Institutt for Biologi, september 2012.



## 1. INNLEDNING

Borgenfjorden (Børgin) ligger i Inderøy kommune, Nord-Trøndelag. Den er en relativt grunn sidearm til Trondheimsfjorden - en poll, og er knyttet til hovedfjorden med passasjen Straumen. Borgenfjorden består av to noenlunde jevnstore basseng med et samlet flateinnhold på 19,3 km<sup>2</sup> ved høyvann og 17,2 km<sup>2</sup> ved lavvann. Bassenget nærmest Straumen kalles gjerne ytre basseng og har et største dyp på ca. 40 m, mens indre basseng er ca. 32 m dypt på det dypeste. Den kraftige tidevannsstrømmen mellom Trondheimsfjorden og Børgin gir grunnlag for stor produksjon og tetthet av ulike bunndyrarter, som for eksempel flerbørstemark, muslinger, pigghuder og sjøpunger. Disse dyrene bidrar til at Borgenfjorden er en rik fiskefjord.

Børgin er ett av 17 områder som det i september 2009 ble meldt oppstart for i første pulje av Nasjonal marin verneplan. Verneformålet er å ta vare på det særegne pollsystemet og dets fysiske og kjemiske rammebetingelser, samt å sikre det rike plante- og dyrelivet som er karakteristisk for naturtypene her. Områdets betydning for forskning er også en del av verneformålet (<http://www.miljodirektoratet.no/no/Tema/Verneomrader/Marin-verneplan/Omradebeskrivelser/Borgin/>).



Figur 1. Den blå linjen viser marin grense over Innherred som er det høyeste nivået havet stod etter at isen smeltet bort, og lyseblå farge viser områdene som har vært dekket av hav. Kilde: <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>

Under siste istid var området dekket av innlandsisen til ca. 11 500 år før nåtid, og vekten av isen presset ned jordskorpen. Da isbreen smeltet tilbake hevet landet seg, og strandlinjen fra den gang ligger ca. 170 m høyere enn dagens havnivå (Fig. 1).

Hovedløpet av Trondheimsfjorden og inn i Beitstadfjorden gikk i lang tid over det som nå er Borgenfjorden. Isavsmeltingen førte store mengder slam ut i fjorden som falt ut på bunnen og dannet tykke leirlag. Da isen forsvant, startet jordskorpa å heve seg, og etter hvert forandret passasjen på østsiden av dagens Inderøy seg fra å være en dyp del av fjorden til å bli et strømsund, til å bli en avsnørt fjordarm, en poll. Sundet i nord ble tørt land for ca. 1500 år siden (Sveian 1992). Fremdeles skjer en langsom strandforskyvning på ca. 2 mm i året, og Straumen har blitt gradvis grunnere. Hvis landhevingen fortsetter som nå og isen i Antarktis ikke smelter, vil Borgenfjorden til slutt bli en innsjø.

Borgenfjorden er viden kjent for sin lokale bestand av flatfisken rødspette, «gullflyndra», og dens utsøkte smaksegenskaper. Den omtales av Åsmund Olavsson Vinje i «Ferdaminne frå sumaren 1860», som « ... desse flyndrone, som er som eggeplome på tunga». Gullflyndra figurerer også i emblemet til Inderøy kommune. Den gode tilveksten i flyndrebestanden ga grunnlag for et ganske lukrativt lokalt fiskeri; i en periode ble det sendt levende fisk med jernbane til markedet i Oslo. Den gode tilgangen på gullflyndre avtok i årene 1940-50, usikkert av hvilken grunn. Frem til begynnelsen av 1960-årene var imidlertid Borgenfjorden en viktig lokalitet for fangst av stamfisk, og ikke minst for utsetting av rødspettelarver fra klekkingsvirksomheten ved Trondhjem Biologiske Stasjon.

Borgenfjordens topografi og dybdeforhold medfører forskjeller i de hydrografiske forhold i de to bassengene. Jetstrålen på opptil 5 m/s fra tidevannet gjennom Straumen fører til full omrøring (metastabile vannmasser) i ytre basseng og gjennom året varierer temperaturen følgelig mellom 0 og 20 grader C og saltholdigheten mellom 14 og 34 promille. I indre basseng dannes en betydelig sjiktning i vannet om sommeren med en øvre fritt sirkulerende og en dypere ikke-sirkulerende vannmasse. Grensen mellom disse vannmassene kalles et sprangsjikt. Sjiktningen hindrer oksygentilførselen nedover i vannsøylen og gjennom sommer og høst fører det til alvorlig oksygenmangel i bunnvannet. Om høsten, når overflatesaltholdigheten øker og temperaturen synker, blir vannet tyngre og tilslutt fører det til en omrøring av vannmassene. Sprangsjiktet løses opp, og oksygen når ned til de dypeste delene av fjorden og gjør bunnen tilgjengelige for liv.

I regi av Borgenfjordprosjektet ble det på 1960- og 70-tallet utført omfattende undersøkelser av abiotiske og biologiske forhold i Borgenfjorden (Denstadli 1972, Gulliksen 1971, 1972, 1973, 1974, Lande 1972, 1973, 1974, Mork 1976). Undersøkelsene omfattet bunnssubstrater, strømforhold, hydrografiske serier, bunnfauna og fisk (ernæring, vekst og reproduksjon hos rødspette og torsk). Undersøkelser av bunnfauna har senere vært av sporadisk art i tilknytning til mer spesifikke prosjekter (Gulliksen 1971, 1972, 1973, 1974, 1977). Etter 1972 er imidlertid spesielt fiskefaunaen (inkl. torsk og gullflyndre) blitt ganske grundig overvåket med tokt med forskningsfartøy to ganger årlig frem til 2005, og det er gjort omfattende genetiske studier så vel som merking/gjenfangstforsøk med disse to artene.

Miljøvernavdelingen ved Fylkesmannen i Nord-Trøndelag har fokusert på Borgenfjorden som resipient, og har foretatt undersøkelser av blant annet tilførselsbekker ved to anledninger (på

1990-tallet og i 2005) (Bartnes 2005). Avrenning fra jordbruk er blitt redusert i de senere tiår ved at barmaksgjødsling er blitt forbudt, og kloakkutløpet er flyttet fra indre basseng til Beitstadfjorden. For å kartlegge miljøstatusen til fjorden i dag og hvordan dette har utviklet seg over tid, ble det gjennomført et tokt med NGUs forskningsfartøy F/F Seisma fra 18. til 21. september 2012. På feltarbeidet deltok Professor Jarle Mørk, NTNU, geolog/forsker Leif Rise, NGU, skipper/geolog Oddvar Longva, NGU, teknisk ansvarlig Rolf Myhren, NGU og Frode Volden, NTNU.

## **2. KLASSIFISERING AV MILJØTILSTAND I VANN**

I Norge skal kjemisk overvåking av vannforekomstene i første omgang foregå ved overvåking av vann, sediment og biota. For at en vannforekomst skal klassifiseres som god må målinger ikke overskride grenseverdier i disse mediene. ([www.vannportalen.no](http://www.vannportalen.no); Klassifiseringsveileder). Grenseverdier for vann er oppgitt enten som en maksimal tillatt verdi eller et årlig gjennomsnitt. God kjemisk status basert på vannprøver tilsier at målinger av alle forbindelser i alle vannprøver ligger under den maksimalt tillatte grensen og at gjennomsnitt av alle konsentrasjoner gjennom et år ikke overskrider årlig gjennomsnitt. Det foreligger per dags dato grenseverdier for alle prioriterte stoffer i vannsøylen og tre stoffer i biota.

Miljøkvalitetsstandarder (Environmental Quality Standards - EQS) for sediment og biota er under utarbeidelse i EU, men det er usikkert når disse foreligger. Inntil videre skal derfor eksisterende veileder benyttes, dvs. Veileder for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann TA2229/2007 (sedimentveileder) og Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann TA1467/1997 (biota). Det finnes ikke norske klassegrenser for alle forbindelsene på EUs prioritetsliste.

I veilederne finnes tabeller som viser grenseverdier som per dags dato er gjeldende for miljøgifter i vann og i sediment og biota for kystvann. For at en vannforekomst klassifiseres til god kjemisk tilstand må konsentrasjonene av miljøgifter være under de respektive grenseverdiene, men det må tas hensyn til eventuelt forhøyede verdier av tungmetaller som kan skyldes naturlig høye bakgrunnsverdier. Kvalitetsstandarder i vann er angitt i µg/l. Benevnning for kvalitetsstandarder i sediment og biota for kystvann er angitt i enten mg/kg eller µg/kg.

Grenseverdiene for miljøkvalitet i biota må ikke forveksles med grenseverdi for spiselighet og omsetning av sjømat. For grenseverdier av miljøgifter i mat, se [www.mattilsynet.no](http://www.mattilsynet.no). I denne rapporten er miljøtilstand basert på analyse av innholdet av utvalgte kjemiske stoffer i bunnsedimenter. I tillegg er bunnfaunaen i ulike områder av Borgenfjorden beskrevet, og den økologiske tilstanden vurdert basert på faunasammensetning.



### **3. METODER**

#### **3.1 Dybdemåling**

F/F Seisma er utrustet med et WMB-80F WASSP multistråleekkolodd som ble brukt for å samle inn detaljerte dybde data fra Borgenfjorden. Wassp-systemet sender en sonarpuls i en 120° bred vinkel på tvers av fartøyet og prosesserer 112 dynamiske stråler med opptil 8 pulser i sekundet. Båten er også utstyrt med mottaker for differensielle GPS posisjonsdata og sensorer for automatiske korreksjoner for rull, hiv, stamp og kurs, noe som gir god nøyaktighet i dataene. Dataene ble visualisert i sanntid på OLEX kartplottesystem under innsamling. Dataene er griddet med 1 m cellestørrelse og gjengitt i kartene i denne oppløsningen med tillatelse fra Forsvaret.

Styrken på lydsignalet (backscatterintensitet) som returneres fra bunnen registreres under oppmålingen. Styrken avhenger av sjøbunnens fysiske egenskaper (kornstørrelse og småskala topografi). På bakgrunn av dette kan man gi et grovt estimat av hvilke sedimenter som ligger på bunnen fordi høyere backscatterverdier generelt betyr grovere kornstørrelse.

#### **3.2 Seismikk**

For å få informasjon om sedimentene under havbunnen samlet vi inn lettseismiske data med TOPAS parametrisk sonar. Prinsippet for seismikk er at man sender ut en lydimpuls som trenger ned i sedimentene. Deler av energien blir reflektert fra lag med ulike akustiske egenskaper. Dette registreres og framstilles grafisk slik at man får et bilde av lagpakken med interne reflekser alt etter hvordan sedimentene ble avsatt. TOPAS-systemet har chirp-funksjon slik at det sender ut lydimpulser der frekvensen varierer mellom 2 og 6 kHz. Dette gir en kombinasjon av høy oppløsning av reflektorer og brukbar penetrasjon av lyden nedover i lagpakken.

Seismikken trenger gjennom og registrer de finkornige sedimentene under fjordbunnen, men stopper i hardere masser som morene og fjell. Oppløsningen er typisk mellom 0,1 og 0,5 m. Totalt ble det samlet inn 6 seismiske linjer i det undersøkte området. Seismikkdataene ble først konvertert fra SEG-Y format til jpg2000 ved programvaren SEG-YJp2 og deretter visualisert og tolket i SEG-YJp2 Viewer utviklet ved den kanadiske geologiske undersøkelsen. Tid/dyp konvertering ble gjort automatisk av programmet. Lydhastigheten er satt til 1500 m/s.

#### **3.3 Tidevannsmålinger**

Bunntrykket ble målt med en VLR 740 trykkmåler. Måleren senkes ned på bunnen og registrerer trykkvariasjonene etter som vannet stiger eller synker. Dette regnes om til vannivå som så benyttes til å korrigere dybdemålingene for tidevannsforskjeller eller til å studere de hydrologiske forholdene i fjorden.



Fig. 2 . En Nansen vannhenter ble benyttet for å ta vannprøver. Her tappes prøven ut.

### 3.4 Hydrografering

Målingene ble utført med en SAIV CTD utstyrt med oksygensonde. Det ble registrert to profiler, ett i hvert av bassengene. Oksygeninnholdet i vannet ( $O_2$ ) ble også titrert med Winkler-metode på vannprøver tatt med Nansen vannhenter (Fig. 2).

### 3.5 Videoregistreringer

En videorigg med et videokamera og lys ble tauet like over bunnen i 0,5-1 knops fart for å filme bunnfauna og bunnsediment. Linjer på ca. 15 minutter ble registrert.

### 3.6 Prøvetaking

En 30x30 cm bokscorer ble brukt for å ta prøver av bunnsedimentene. Prøvene ble løst ut på dekk, fotografert og underprøve tatt. Bunnfauna ble vasket ut av de øverste 10 cm av prøven og lagt på sprit/formalin for senere artsbestemmelser på laboratoriet i Trondheim.

Tre parallelle sedimentkjerner (A,B,C) for miljøanalyser ble tatt i dypeste delen av indre basseng. Fjordbunnen ved prøvetakingsstasjonen består av finkornige sedimenter med svak strøm og stabile avsetningsforhold. Prøvetakingsstasjonen (Fig. 6) ble valgt ut på bakgrunn av data fra multistråleekkolodd (dybde og backscatter) i nærheten av Borgenfjordprosjektets

(1977) stasjon 4B. Sedimentkjernene ble tatt med en Niemistöprøvetaker med plastrør med 6,3 cm indre diameter og 80 cm lengde.

Sedimentkjernene, med sjøvann på toppen, ble forseglet om bord og oppbevart i vertikal posisjon. Dermed blir vann-sediment-overgangen godt bevart og ikke forstyrret. Sedimentkjernene ble satt på kjølelager på NGU inntil sedimentskivene til analysene ble tatt ut i oktober 2012.

### **3.7 Sedimentanalyse**

Ved NGU Lab ble 1 cm tjukke sedimentskiver fra 25 nivåer fra A-kjernen frysetørket og materiale til følgende analyser tatt ut:

- Coulter laserdiffraksjon. Kornfordeling fra 2 mm ned til 0,4 µm. 5 prøver.
- LECO elementanalysator. Totalinnhold av svovel og karbon og bestemmelse av organisk karbon (TS, TC og TOC) i alle 25 prøver.
- AA, ICP-AES og ICP-MS. HNO<sub>3</sub>-ekstraksjon etter NS 4770. Påfølgende analyse av hovedelementer og sporelementer. 25 prøver.

Vedlegg 2 gjengir analyserapporten fra NGU Lab i sin helhet. Analyserapporten inneholder ytterligere opplysninger om analysemetoder og -kvalitet. Dataene er tilgjengelige i NGUs databaser.

Prøvene til de organiske miljøgiftanalysene ble tatt fra B-kjernen. Fordi det trengs relativt store prøvemengder for analyse av THC, PAH<sub>16</sub>, PCB<sub>7</sub> og TBT ble det tatt tre 5 cm tykke prøver fra kerneintervallene 0-5, 10-15 og 25-30 cm dybde. Prøvene ble sendt i posten til Eurofins Norsk Miljøanalyse AS i Moss. Vedlegg 3 viser resultatene fra de organiske miljøgiftanalysene slik de er rapportert av Eurofins Norsk Miljøanalyse AS.

### **3.8 Fauna**

Bunndyrfaunaen ble beskrevet ved visuell analyse av videoopptakene fra bunnen og ved analyse av det biologiske materialet som ble vasket ut av grabbprøvene. Analysen av det biologiske materialet ble gjennomført av firmaet "Marine Bunndyr". Faunaens sammensetning ble vurdert med hensyn til oksygeninnhold i vannet.

### 3.9 Databehandling/GIS

Båtens posisjon under datainnsamlingen ble logget med RTK (Real Time Kinematic) GPS med en posisjonsnøyaktighet på bedre enn 1 m. Dataene ble etter toktet lagt inn i NGUs databaser og er senere bearbeidet i ArcGis for fremstilling av kart.

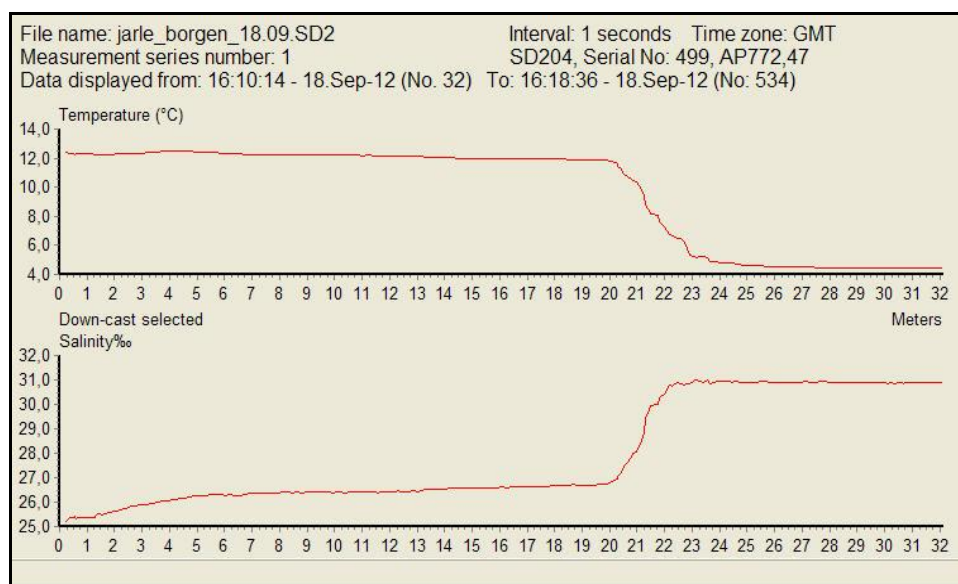
## 4. RESULTATER

### 4.1 Dybdeforhold

Borgenfjorden er en grunn sidearm som er forbundet med Trondheimsfjorden gjennom en sterk tidevannsstrøm ved Straumen. Borgenfjorden består av to noenlunde jevnstore basseng med et samlet flateinnhold på 19,3 km<sup>2</sup> ved høyvann og 17,2 km<sup>2</sup> ved lavvann. Bassenget nærmest Straumen kalles gjerne ytre basseng og har et største dyp på ca. 40 m, mens indre basseng er ca. 32 m dypt på det dypeste. De nye dybdemålingene er griddet med 1 m oppløsning, dekker ca. 11,5 km<sup>2</sup> av de sentrale deler av fjorden og gir en detaljert fremstilling av dybdeforholdene i de to bassengene.

### 4.2 Hydrografi og strøm

Tidevannsstrømmen som forbinder Borgenfjorden med Trondheimsfjorden er 140 m bred og ca. 5 m dyp, og to ganger daglig passerer ca. 27 millioner m<sup>3</sup> vann gjennom sundet. Volumet er basert på gjennomsnittlig areal mellom høyvann og lavvann og en tidevannsforskjell på 1,5 m.

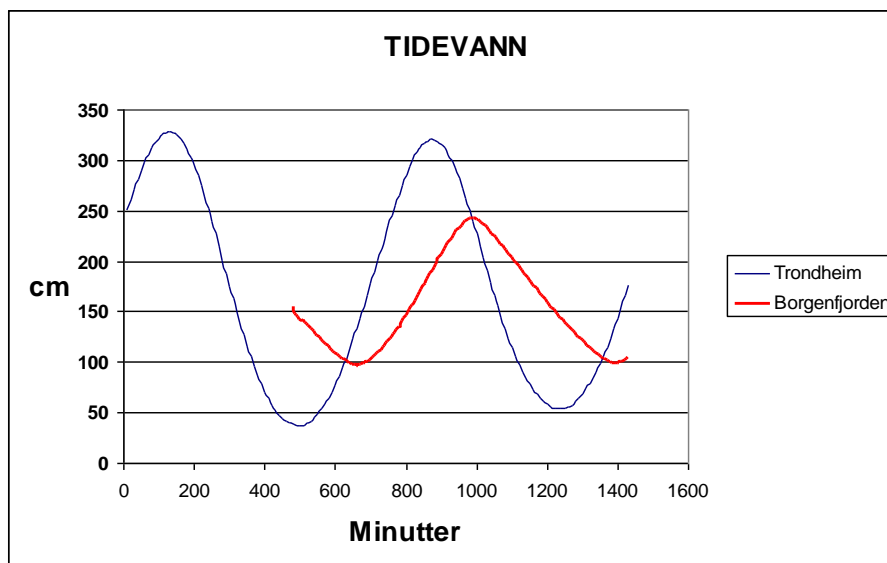


Figur 3. Hummeldalsdypet (Borgenfjordprosjektet 1977; Stasjon 4B). Dybdeprofil av temperatur (øverst) og salthodighet (nederst), 18. september 2012. Et tydelig overgangslag med skarp forandring i begge parametre sees på ca. 20,5-22 m dyp.

Tidligere undersøkelser har vist at det indre bassenget i Borgenfjorden er betydelig mindre omrørt av tidevannet enn det ytre bassenget. Det er god ventilasjon av vannet over terskeldypet ved Bosnes (13 m), men tyngre vintervann blir liggende i dypet utover sommer og høst. Under brakkvannsspeilet blir det i løpet av sommeren et markert sprangsjikt, og det blir en sterkt redusert oksygentilførsel til bunnvannet. Nedbryting av organisk materiale på bunnen bruker ganske raskt opp oksygenet og bunnvannet lukter råttent fra ut på sommeren. Dette fenomenet har vært påvist i flere tidligere hydrografiske undersøkelser i indre basseng (Vedlegg 1). Stagnerende bunnvann med oksygensvikt sommer/høst er dokumentert i indre basseng både i 1967, 1968 og 1969 i regi av "Borgenfjord-prosjektet" (McClimans 1973) og senere (Linde & Mork 1998, denne rapporten - Figur 3). Temperaturkurver i rapporter av betydelig eldre årgang (Nordgaard 1913) viser et skarpt sprangsjikt i indre basseng om høsten også den gang, men da ble det ikke målt oksygeninnhold. At det oppstår anoksiske forhold i slike avsnørte fjordarmer er en naturlig og vanlig prosess, og vi har nok hatt slike forhold i Borgenfjorden i mange hundre år.

Når lufttemperaturen utover høsten kjøler vannet ned ovenfra og overflatevannet i Trondheimsfjorden blir saltere, flytter sprangsjiktet seg nedover mot dypet og oppløser seg, gjerne en gang i september-oktober. Da blir det igjen vannomrøring og transport av oksygen ned mot bunnen i hele bassenget slik at forholdene blir levelige for bunnorganismer.

Målingene i september 2012 viste som forventet oksygensvikt i bunnvannet på dyp større enn ca. 20 m.

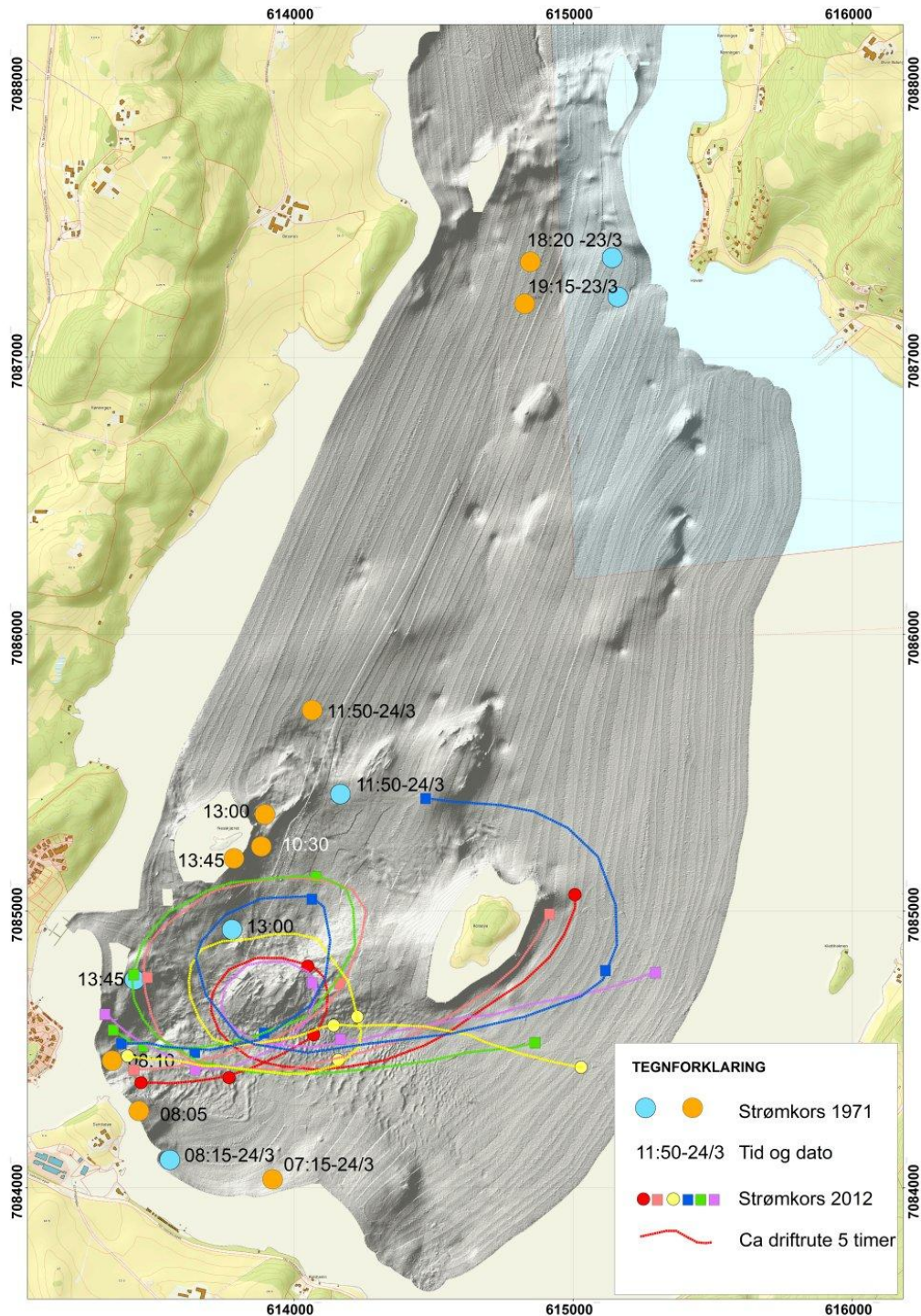


Figur 4. Vannstandsmålinger i Trondheim (<http://vannstand.no>) og Borgenfjorden 19. september 2012.

De ble også gjort tidevannsmålinger i to perioder, den første over tre dager i september i ytre basseng, den andre over en spring-/nipperperiode i desember. Figur 4 viser tidevannskurver i Trondheim og i Borgenfjorden fra september. Dataene fra desember er delvis presentert i Vedlegg 1. Kurvene viser at flo sjø i Borgenfjorden kommer ca. 1 time og femti minutter etter



Trondheim og formen på kurva viser at vannet renner fortere inn i fjorden enn ut av den. Det betyr at Straumen går sterkest når det flør.



Figur 5. Strømkorsforsøk fra 1971 og fra 2012. I forsøket i 2012 ble korsene fulgt nøye nok til å kunne konstruere omtrentlige driftruter. Det er verre for forsøket fra 1971, men det er tydelig at også den gang må bøyene ha fulgt en virvelbevegelse i ytre basseng.

Strømforholdene i overflatevannet ved innløpet til fjorden ble registrert ved å sette ut strømkors ved strømskiftet ved fjære sjø og registrere posisjonen av de ulike strømkorsene

ved å kjøre båten bort til korsene etter tur og lese av posisjonen. Resultatet er vist i Figur 5 og sammenstilt med en registrering fra 1971. Forskjellene mellom de to målingene tyder på et endret strømmønster og vi spekulerer om det kan ha sammenheng med utfylling i sundet på innsiden av Sundsøya i forbindelse med etablering av et industriområde. Dette diskuteres grundigere i Vedlegg 1.

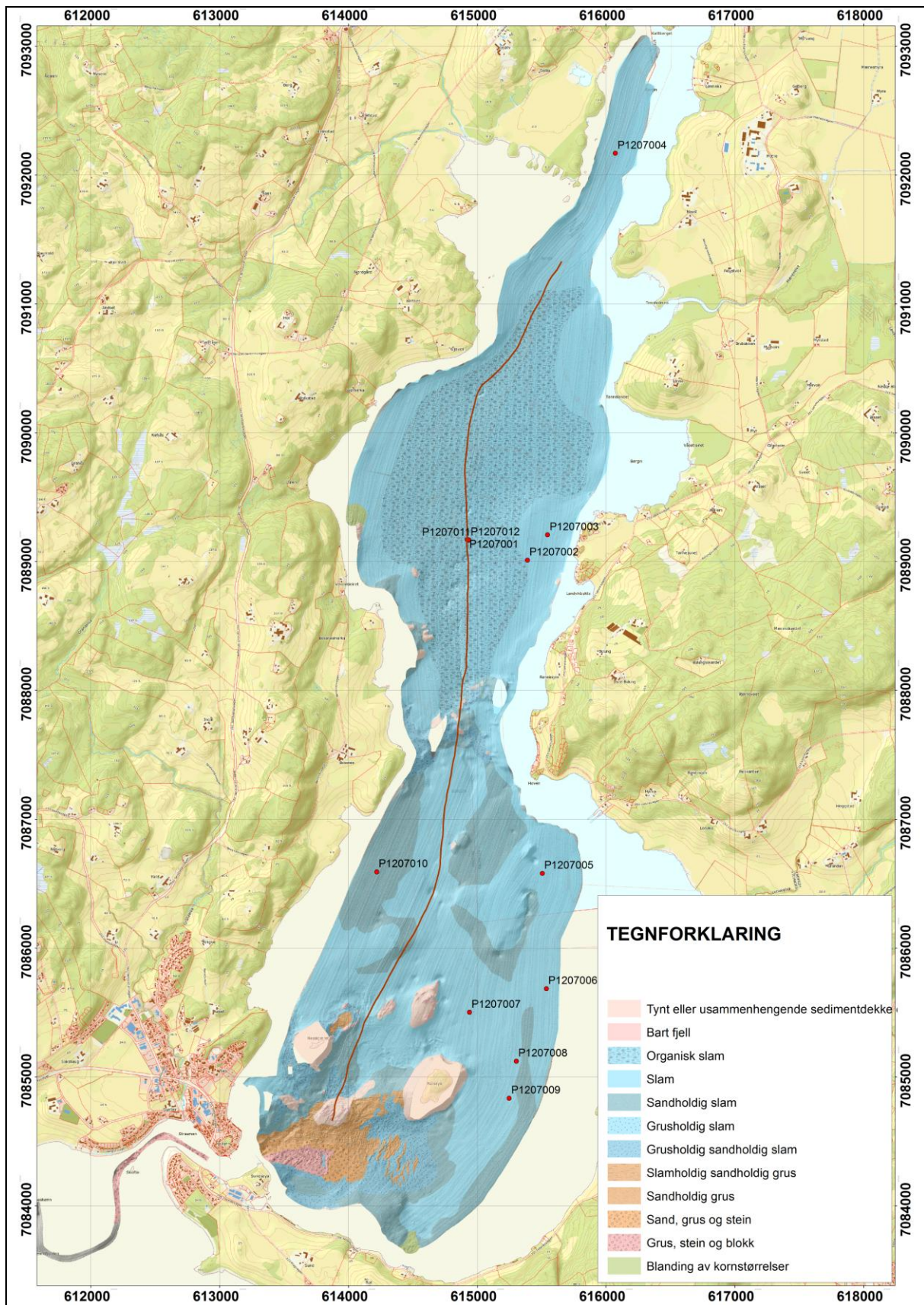
Ved å sammenligne historiske data med de nye målingene fra september 2012 er det ingenting som tyder på at den fysiske prosessen som fører til stillestående bunnvann og oksygensvikt i Hummeldalsdypet i Borgenfjordens indre basseng har endret karakter noe særlig gjennom de siste 100 år. Den prosessen er en naturgitt effekt av topografi og tidevann idet vannmassene dypere enn terskelen ved Bosnes (13 m dyp) er skjermet fra de sterke strømmene i det ytre bassenget. Endringer i strømningsmønstre kan ha noe virkning på utskiftningshastighet, men intensiteten av oksygensvikten avhenger av tilførselen av næringsstoffer og generelle regionale klimatiske forhold (milde/kalde vintre, nedbør/avrenning). At den siste er av betydning er vist i data fra 1967 da overflatevannet utenfor Borgenfjorden var usedvanlig brakt og O<sub>2</sub>-svikten varte til desember. Størrelsen av belastningen fra menneskelig virksomhet (kloakk og avrenning fra jordbruk) har neppe vært konstant gjennom et helt århundre, men tiltak for å redusere den *regionalt* har sannsynligvis redusert O<sub>2</sub>-svikten de senere år. Mer utfyllende beskrivelse av de hydrologiske forholdene og diskusjon om utskiftningshastighet finnes i Vedlegg 1.

## 4.3 Bunnsedimenter

### 4.3.1 Kornstørrelse bunnsedimenter

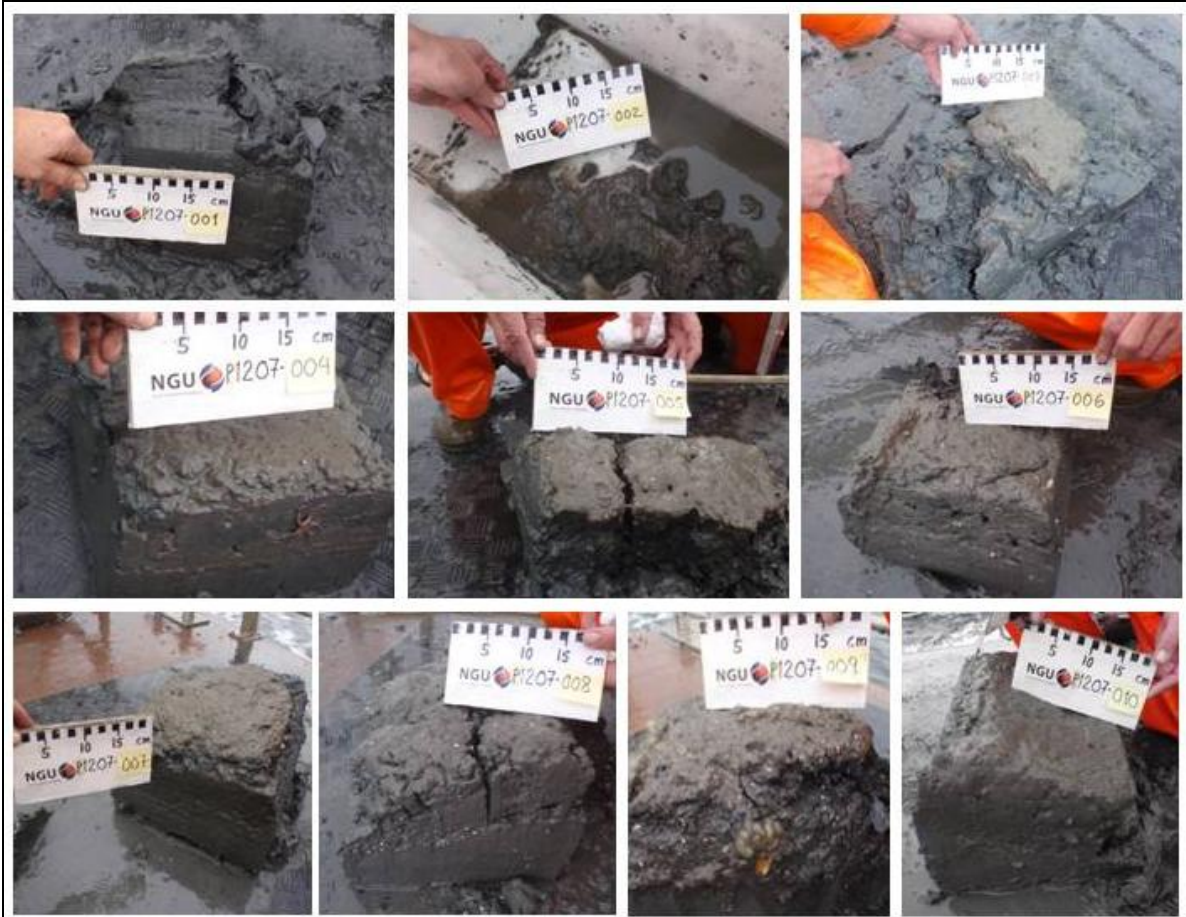
Bunnen i Borgenfjorden er slamholdig med større eller mindre innhold av sand over det meste av fjorden unntatt ved innløpet ved Straumen mot Rolsøya og Nesskjæret hvor bunnsedimentene er grovere (Strømberg 1974, denne rapporten). Selve landryggen som skiller Borgenfjorden fra Trondheimsfjorden er en morenerygg som inneholder alt fra leire til store steinblokker. Den sterke strømmen i sundet eroderer i morenen og mye grus og stein er ført inn i fjorden og ligger like innenfor innløpet ( Fig. 6, 7, 8). Denne prosessen kan motvirker konsekvensene av landheving på utskiftning av vannmassene i Borgenfjorden. Når landhevingen struper innløpet blir strømmen sterkere og erosjonen øker inntil likevekten er gjenopprettet. Dette systemet varer så lenge morene kan eroderes.





Figur 6. Bunnsedimenter (kornstørrelse) og prøvelokaliteter.

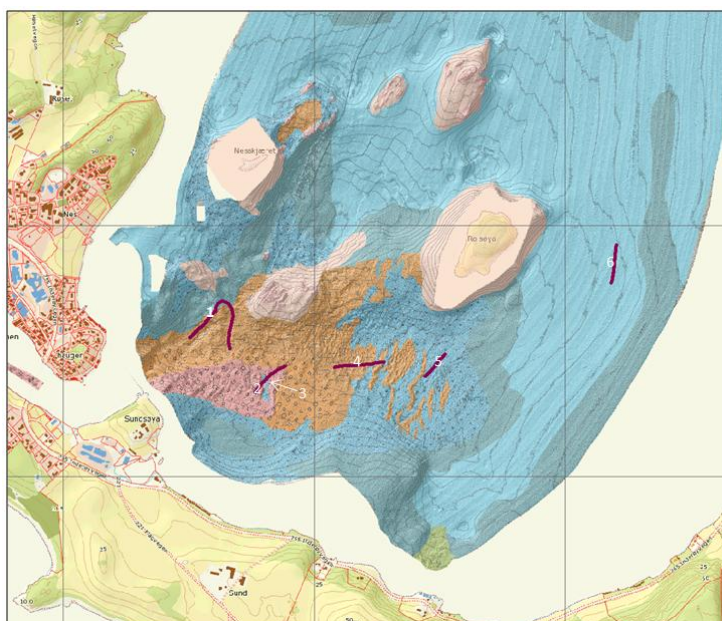




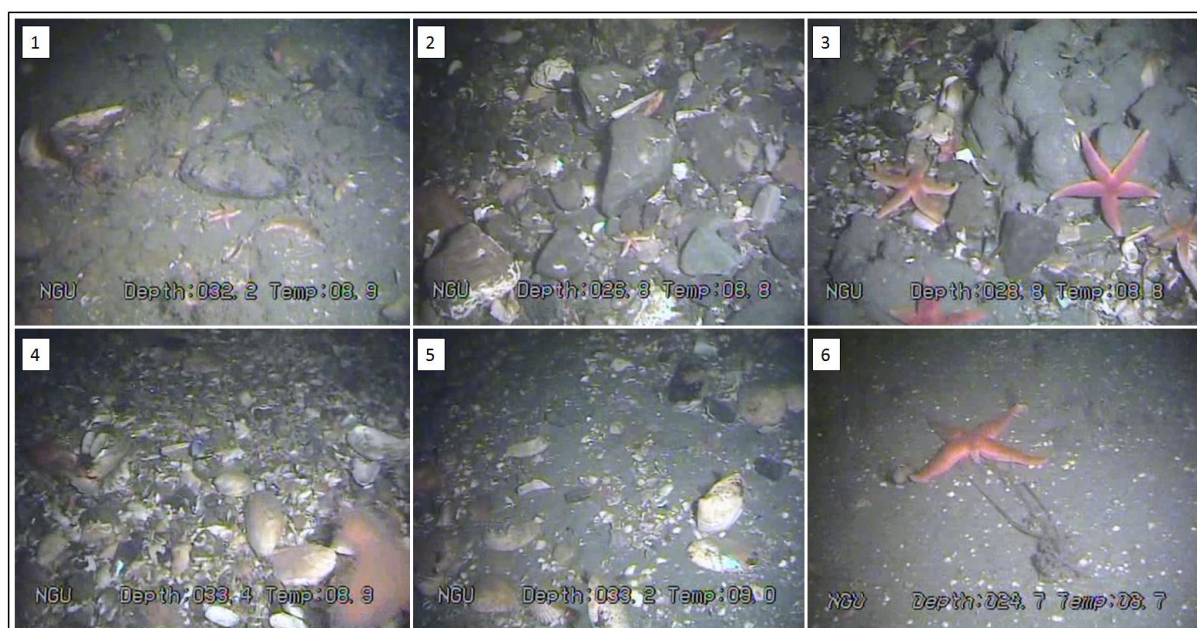
*Figur 7. Bilder av grabbprøver fra Borgensfjorden. Prøvelokalitetene er vist på Figur 6. Legg merke til at prøve nr. 1207001 fra Hummeldjupet er helt svart.*

Samtidig har strømmen erodert i leirmassene på bunnen (Bilde 3, Fig. 7) og vasket ut finstoff slik at stein og grus fra leira danner en hud av erosjonsmateriale som er samlet i dyneformer fra innløpet og forbi Rolsøya. Dynene er størst og grovest nærmest innløpet og blir mindre nedstrøms. Skall av døde skjell hoper seg opp i disse dynene.

Vi har observert to mindre løsmasser fra strandkanten ved Rol (UTM 614480, 7083730) og Verdalsleiret (UTM 614010, 7089360). Der rasmassene dekker bunnen består sedimentene av hardere masser. I sentrale deler av indre basseng, under 20 m vanddyb, er slammet svært organiskholdig, lukter vondt og er svart på farge (Fig. 7).



Figur 8. Kornstørrelsen er nært knyttet opp mot styrken på bunnstrømmen. I områdene med grus og grusholdig slam har vi erosjonsbunn. Sandig slam er en overgang og slam er akkumulasjonsbunn. De fiolette linjene er videolinjer. De hvite tallene tilsvare nummer på bildene i Figur 9, og angir omtrentlig posisjon for hvor bildene er tatt.

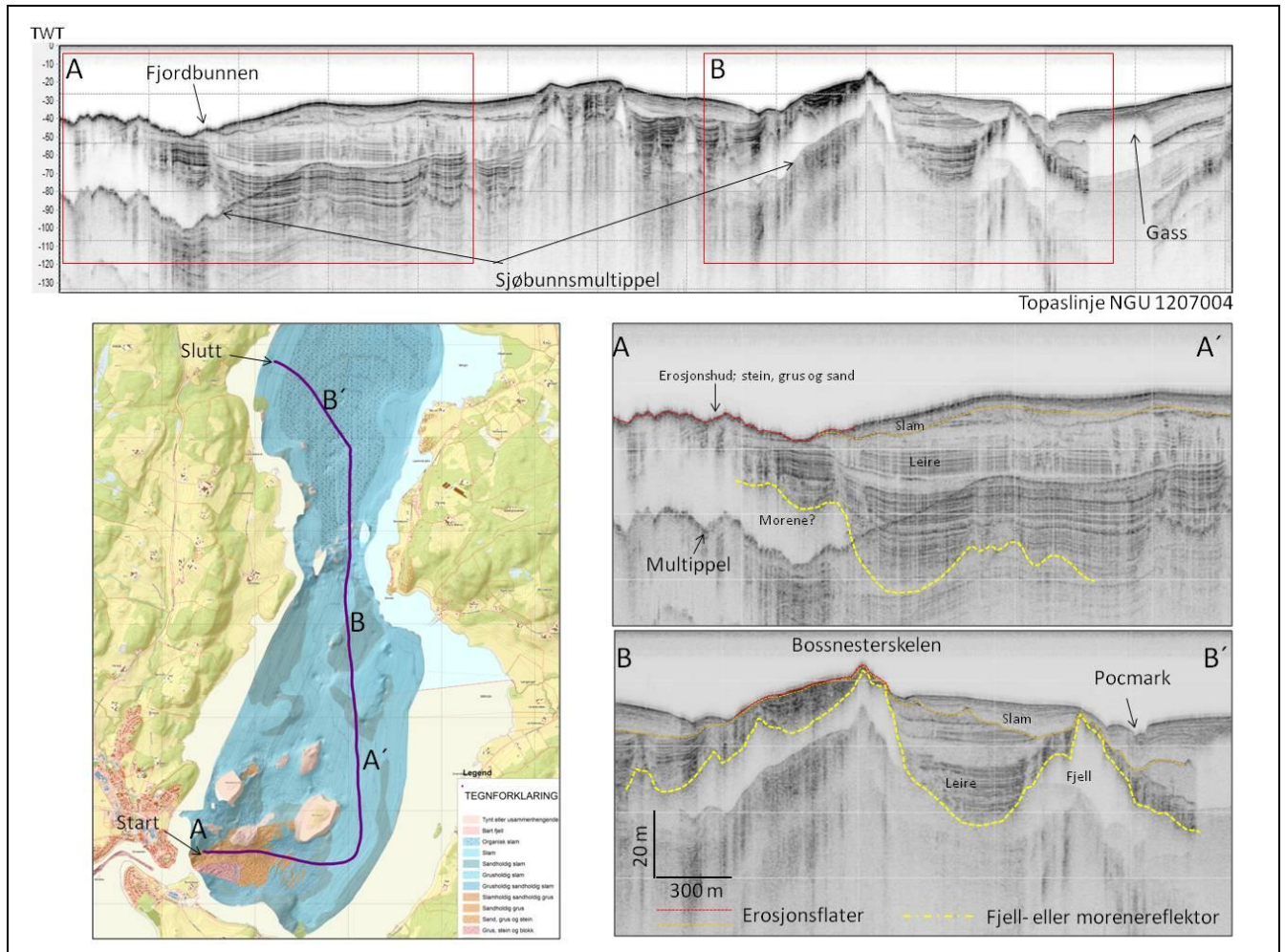


Figur 9. Typiske bunnforhold fra rundt innløpet til fjorden og til østsiden av Rolsøya. Bildenummer i Figur 7 gir omtrentlig posisjon. Bilde nummer 1 viser en nedslammet, relativt grov bunn, noe som tyder på at styrken på bunnstrømmen varierer slik at den tidvis er sterk nok til å vaske vekk slammet, og andre tider svak nok til at slam kan bunnfelles. Det kan også bety at strømsystemet er lagt om slik at dette området vil slammes ned etter som tiden går. Bilde 2-6 indikerer at bunnstrømmen gradvis avtar østover fra innløpet. Bilde 3 viser strømerosjon i leire, hjulpet av skjell som graver i sedimentet. Sjøstjernene er mellom 10 og 15 cm i diameter.



#### 4.3.2 Erosjonsbunn og avsetningsbunn

Bunnstrømmen blir svakere bort fra innløpet ved Straumen, og kornstørrelsen på sedimentene blir gradvis finere (Fig. 7). I området hvor bunnen påvirkes av bunnstrømmen har det dannet seg sedimentdyner med veksling mellom grusige og sandige sedimenter (Fig. 8) med en sterk anrikning av muslingskall i dynene og etter hvert som bunnstrømpåvirkningen avtar (Fig. 9), og en veksling mellom sandige og slamholdige sedimenter (se også videobeskrivelsen s. 29 og Vedlegg 4).



Figur 10. Seismisk linje 1207004 fra Straumen til Sjømarka. Dyp på profilet er oppgitt i millisekund (toveis gangtid, (TWT)). 10 ms tilsvarer ca. 7.5 m ved en lydshastighet på 1500 meter i sekundet.

Figur 10 viser et seismisk profil fra innløpet til fjorden ved Straumen til Sjømarka på vestsiden av indre basseng. Profilet viser at det stedvis ligger over 60 m tykke lag av leire og slam i fjorden, hvorav mesteparten ble avsatt foran isbreen på slutten av istida. Seismikken viser at det i dag er erosjon i området ved innløpet til fjorden og over terskelen ved Bossnes, men at det har vært perioder med erosjon tidligere. Den kraftigste erosjonen, markert med den oransje linjen, er trolig resultat av isbrens graving da brekanten, etter å ha ligget noen km

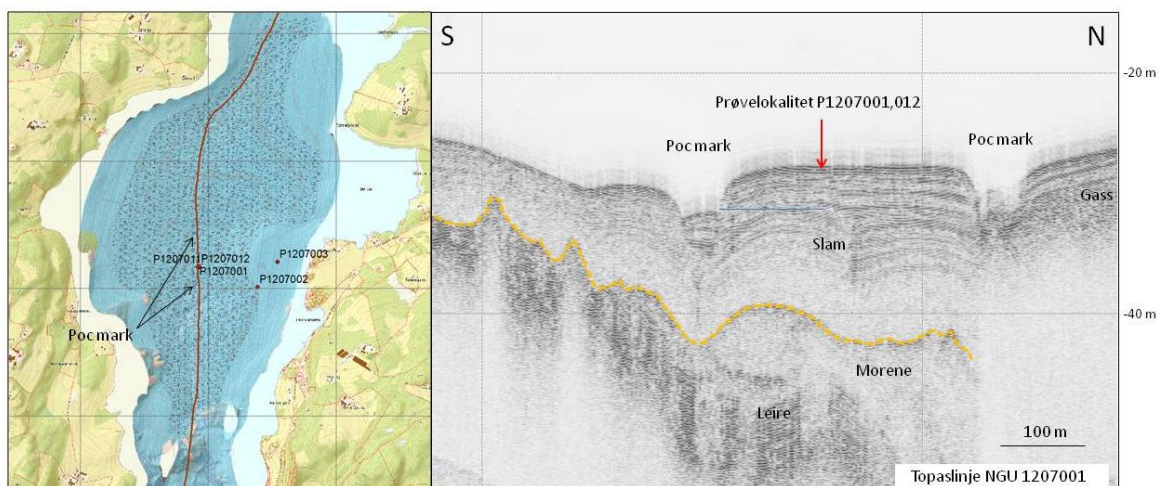
lengre inne i fjorden, rykket fram på nytt og avsatte moreneryggen (Hoklingentrinnet) som skiller Borgenfjorden fra Trondheimsfjorden. Dette skjedde for ca 12 200 år siden (Sveian 1997, Rise m.fl. 2005). Uten å ha dateringer av sedimentene antar vi da at sedimentene under den oransje linjen ble avsatt mens breen lå lengre inne i fjorden, og at sedimentene over er avsatt etter at isen forsvant. Den største sedimentasjonen har skjedd i det indre bassenget. Gass i sedimentene tyder på at de inneholder mye organisk materiale som kan bli nedbrutt og danne gass. Hvis det finnes tette lag i sedimentene kan gassen bli fanget under et lokk og gi blanking av de seismiske signalene slik vi ser på Figur 10.

Et spesielt fenomen er velutvikla pockmark på fjordbunnen (Fig. 6, 11). Dette er sirkulære til ovale fordypninger ca. 4 m dype og 80-90 m vide. I indre basseng ligger det 6-7 slike fordypninger på en linje gjennom Hummeldjupet og Sjøvoll. I ytre basseng finner vi minst 17 slike fordypninger. Her ligger de inntil oppragende fjellknauser som er dekket av sedimenter. Disse gropene tror vi er dannet av grunnvann under hydrostatisk trykk som strømmer opp fra sprekker i fjellet under sedimentene.

## **5. KJEMISK MILJØTILSTAND I BUNNSEDIMENTENE**

I Norge skal kjemisk overvåking av vannforekomster foregå ved overvåking av vann, sediment og biota. Prøver av vann og biota vil gi nåsituasjonen ved prøvetakingstidspunktet, mens analyse av serier av sedimentprøver nedover i sjøbunnen viser utvikling av kjemisk tilstand over tid. Overflateprøven viser dagens situasjon (Lepland m.fl. 2010). Prinsippet er at forurensningsstoffer i vannet binder seg primært til leirpartikler og organisk materiale og bunnfelles sammen med partiklene. I områder med svak bunnstrøm bunnfelles finkornig materiale sakte og rolig, og slamlaget blir tykkere år for år. Erfaring viser at forurensningsstoffene forblir bundet til partiklene og ligger som et arkiv over kjemisk tilstand i vannkroppen over tid. Kun kraftig blanding av sedimentene av gravende organismer kan viske ut det kjemiske signalet, men dette er ikke noe problem i områder hvor man har oksygensvikt i bunnvannet som i indre basseng i Borgenfjorden.

I september 2012 ble det tatt tre parallelle, ca. 90 cm lange sedimentkjerner fra en stasjon i Hummeldjupet (Fig. 11) for å analysere sedimentenes kornfordeling, kjemiske sammensetning, og innholdet av tungmetaller og organiske miljøgifter. Miljøundersøkelsen er gjennomført i samarbeid mellom NGU, NTNU, SINTEF og Fylkesmannen i Nord-Trøndelag. Prøvelokaliteten ble lagt til området med svak strøm og avsetning av finkornige sedimenter i nærheten av Borgenfjordprosjekts stasjon 4B (McClimans 1973). Seismikken viser at det ligger over 10 m med finkornige sedimenter over den siste erosjonsflaten i området (Fig. 11) Det er ingen strukturer i sedimentkjernen som antyder at sedimentasjonen er avbrutt av erosjon.



Figur 11. Sedimentlagfølgen der sedimentkjernene er tatt. Profillinjen går fra sør mot nord. Det sørligste pocmark-et synes å være delvis fylt med akustisk lagdelte sedimenter, og er trolig ikke aktivt. Forholdene i det nordlige pocmark-et er mer uklare.

Kjernene ble dedikert til følgende analyser: A-kjerne for analyse av sedimentkornfordeling og kjemisk sammensetning, B-kjerne for analyse av forskjellige organiske forbindelser og C-kjerne for eventuell datering ved hjelp av Cesium-metoden. Det siste er ikke gjort.

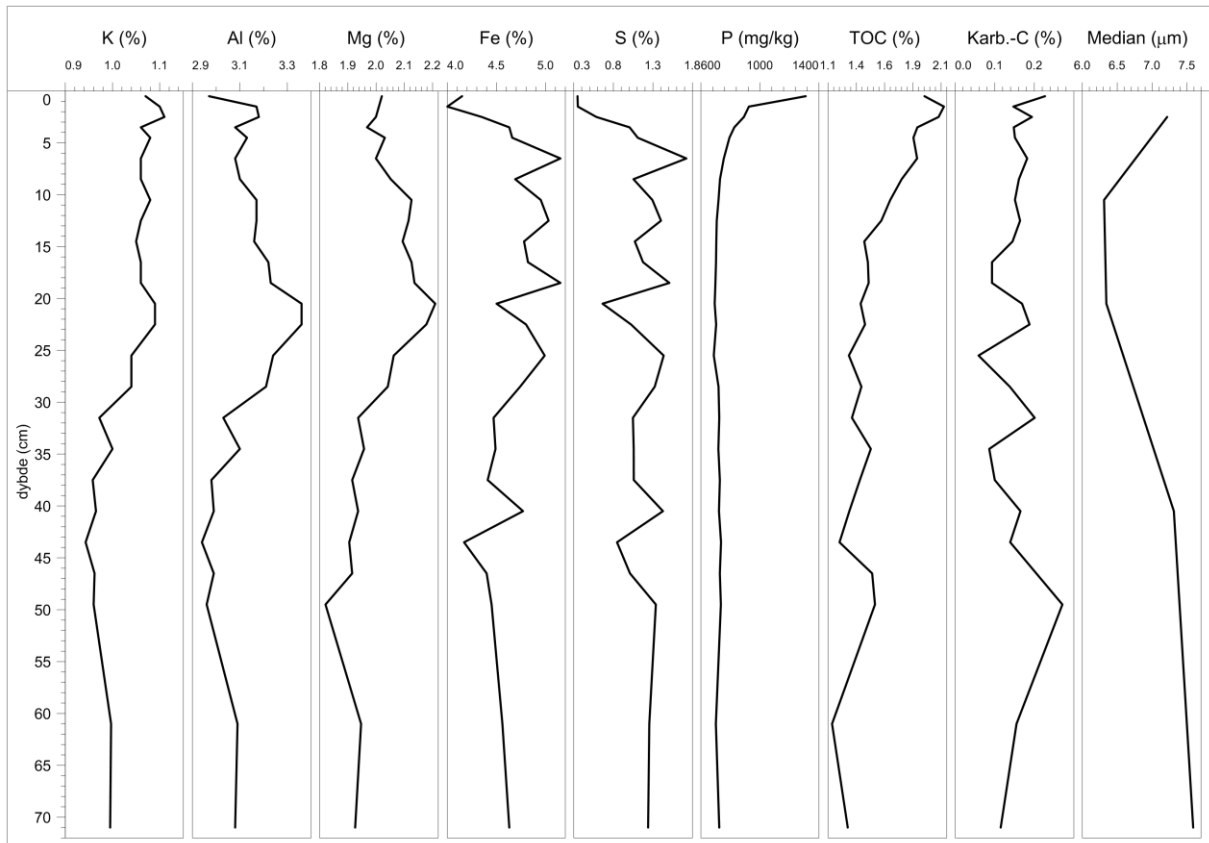
Rapporten presenterer konsentrasjonsnivåene av en rekke hovedelementer og forurensningsstoffer i sedimentene i området, og nivåene sammenlignes med klassifikasjonssystemet som Miljødirektoratet (tidligere Klif) har etablert for kyst- og fjordsedimenter. Variasjonen i kjemiske data fra sedimentkjernene vises for å dokumentere endringene i tungmetallkonsentrasjonene gjennom de siste par hundre år. Dataene kan brukes for evaluering av miljøstatus i Borgenfjorden samt som grunnlag for miljøovervåking og eventuelle forurensningstiltak.

A-kjernen ble delt opp i 1 cm tykke skiver, mens fra B-kjernen ble tatt ut tre 5 cm tykke skiver for analyse. Figurene 12-14 viser profiler i kjernene av et utvalg av hoved- og sporelementer, median kornstørrelse og organiske miljøgifter, mens samtlige analyseresultater finnes i Vedlegg 2. Sporelementmålingene angis i konsentrasjonsenheten mg/kg tørr sediment (TS) mens hovedelementmålingene angis i prosent. Konsentrasjonsenheten for organiske miljøgifter er enten  $\mu\text{m}/\text{kg}$  eller mg/kg TS.

## 5.1 Hovedelementer

Geokjemiske profiler av hovedelementer som K, Al og Mg viser en tydelig endring ved ca. 35 cm kjernedybde (Fig. 12) med de høyeste verdiene i den midterste (35-5 cm) delen av kjernen. Disse hovedelementene er i større grad bundet til finkornige leirmineraler, og høyere verdier tyder på større innhold av leire i sedimentene. Dette er i samsvar med resultater av

kornfordelingsanalysene, som er noe finere i midterste delen av kjerne (20-10 cm) sammenlignet med bunnen og toppen. Slike hovedelement- og kornfordelingsendringer i kjernen kan forklares med forandringer i sedimentasjonsmiljø i fjorden, og kan tolkes som en noe roligere periode da sedimentene i midterste delen av kjernen ble avsatt



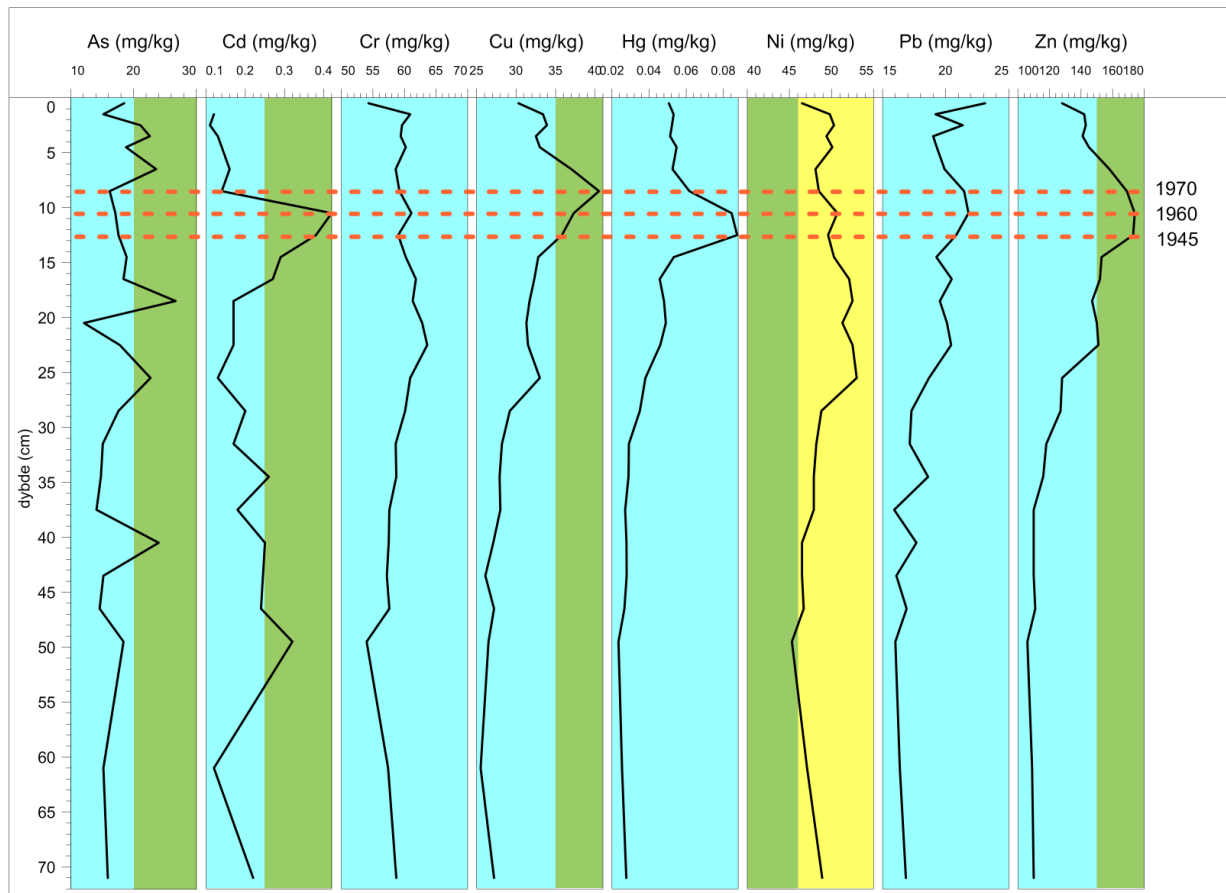
Figur 12. Hovedelementer i sedimentene basert på analysene av A-kjernen.

Jern- og svovelprofiler går parallelt og reflekterer innholdet av jernsulfider (svovelkis). At innholdet av jernsulfider minker i øverste 5 cm kan tyde på en mer oksisk vannsøyle under avsetning av disse sedimentene sammenlignet med sedimentene lengre ned i kjernen (>5 cm), som kan ha vært avsatt under mer anoksiske forhold. Det kan tyde på at det har skjedd en svak forbedring med tanke på oksygenvikten i bunnvannet etter siste del av 1980 tallet. Dette kan ha sammenheng med de tiltak som er gjort. Gradvis minking i innhold av organisk materiale (TOC) og fosfor fra overflaten til ca. 15 cm kjernedybde og stabilisering videre nedover tyder på at nedbryting av avsatt biomasse skjer mest effektivt i de øverste 15 cm.

## 5.2 Tungmetaller

I Figur 13 vises innholdet av de ulike metallene som mg/kg plottet mot dyp i kjernen. Fargene i kolonnene svarer til Miljødirektoratets klasser for miljøtilstand (forurensningsnivå) i sedimenter

(Tabell 1). Blått tilsvarer bakgrunnsverdi - ikke forurenset, grønt tilsvarer god miljøtilstand og gult tilsvarer moderat miljøtilstand. Alle metallene unntatt nikkel havner i blå klasse, det vil si at de er karakteriserte som ikke forurenset. Ser vi på nikkel har det forhøyet verdi gjennom hele kjernen, dvs. også fra tiden før den industrielle revolusjonen. Det tilsier at nikkel finnes naturlig i området og stammer trolig fra berggrunnen i nedslagsfeltet til fjorden.



Figur 13. Innholdet av tungmetaller i sedimentene i indre basseng.

Vi har ikke datert sedimentene, men fordelingen av de ulike tungmetallene er karakteristisk og fra andre steder i Norge vet vi at har forhøyde verdier av kvikksølv og kadmium mellom 40-tallet og 70-tallet. Basert på denne kunnskapen har vi indikert hvor sedimentene som ble avsatt i 1945, 1960 og 1970 ligger i kjernen. Hvis vi sammenligner innholdet mot tidsangivelsen i de røde stiplede linjene ser vi at innholdet av de fleste metallene starter å øke på ca. 50 cm dyp, som tidmessig tilsvarer andre halvdel av 1800-tallet og industrialiseringen i Norge. Vi ser også at de fleste metallene hadde høyest, men fortsatt lave verdier, i etterkrigsårene, og at mengden av slike elementer fritt i naturen har avtatt fram mot nåtiden. Det betyr at sedimentene kan karakteriseres som ikke forurenset og at miljøtilstanden i vanddirektivsammenheng er god.

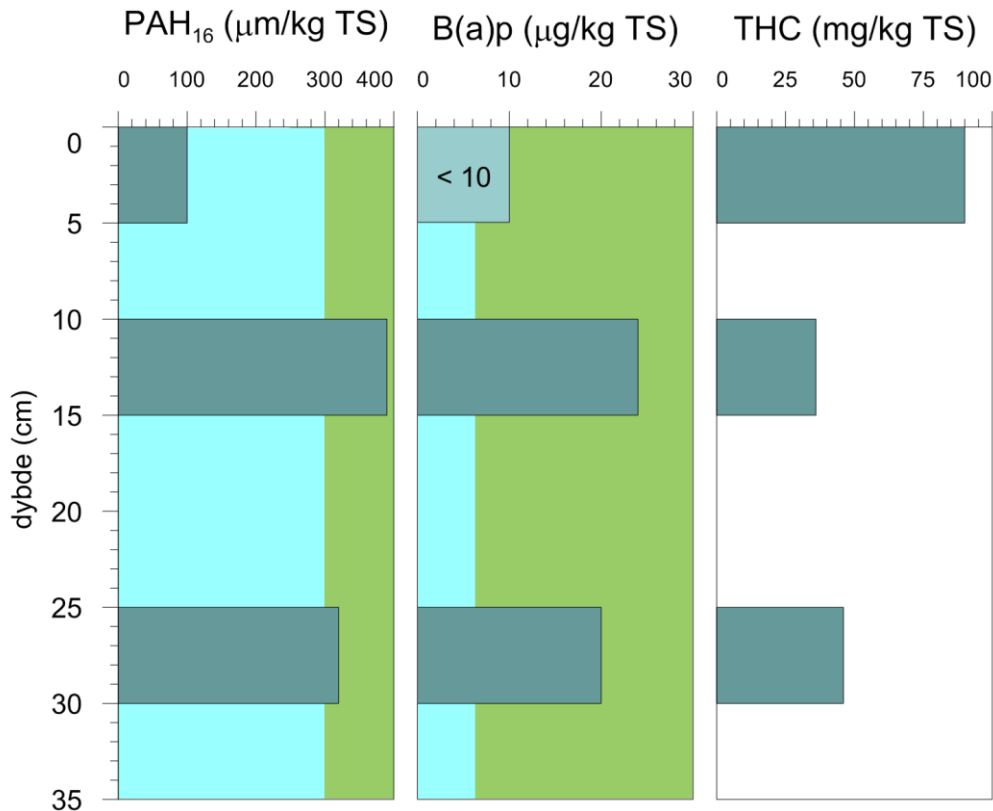


Parameter	Forurensingsnivå				
	I Bakgrunn	II God	III Moderat	IV Dårlig	V Svært dårlig
Arsen (mg/kg TS)	<20	20 – 52	52 – 76	76 – 580	>580
Bly (mg/kg TS)	<30	30 – 83	83 – 100	100 – 720	>720
Kadmium (mg/kg )	<0,25	0,25 – 2,6	2,6 – 15	15 – 140	>140
Kobber (mg/kg TS)	<35	35 – 51	51 – 55	55 – 220	>220
Krom (mg/kg TS)	<70	70 – 560	560 – 5900	5900 – 59000	>59000
Kvikksølv (mg/kg )	<0,15	0,15 – 0,63	0,63 – 0,86	0,86 – 1,6	>1,6
Nikkel (mg/kg TS)	<30	30 – 46	46 – 120	120 – 840	>840
Sink (mg/kg TS)	<150	150 – 360	360 – 590	590 – 4500	>4500
PAH <sub>16</sub> (µg/kg TS)	<300	300 – 2000	2000 – 6000	6000 – 20000	>20000
B(a)p (µg/kg TS)	<6	6 – 420	420 – 830	830 – 4200	>4200
PCB <sub>7</sub> (µg/kg TS)	<5	5 – 17	17 – 190	190 – 1900	>1900
TBT (µg/kg TS) forvaltningsmes sig	<1	1 – 5	5 – 20	20 – 100	>100

Tabell 1. Miljødirektoratets marine forurensningsklassifisering for metaller og uorganiske elementer i tørt sediment (TS) i fjorder og kystsedimenter (Molvær m. fl., 1997, Klif-veileder 2229, 2007, Bakke m. fl. 2010).

### 5.3 Organiske miljøgifter

Det kreves større volum sediment for å analysere organiske miljøgifter enn tungmetaller, og derfor ble det tatt ut 5 cm tykke skiver for slik analyse. Nivåene fra 0-5 cm, 10-15cm og 25-30cm fra B-kjernen ble analysert. Samtlige tre prøver har lavt innhold av organiske miljøgifter (Fig. 14).



Figur 14 . Organiske miljøgifter i sedimentene i Borgenfjorden. Bakgrunnsfargene svarer til Miljødirektoratets marine forurensningsklassifisering for miljøtilstand (forurensningsnivå) i sedimenter (Tabell 1). Blått tilsvarende bakgrunnsverdi - ikke forurensset, grønt tilsvarende god miljøtilstand. Det finnes ikke grenseverdier for miljøtilstand for THC i Klifs klassifisering.

Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) er helseskadelige, og en del av forbindelsene er kreftfremkallende, blant annet Benzo(a)pyren (B(a)p). De 2 – 6 ring aromatiske hydrokarbonene oppstår typisk som et resultat av ufullstendig forbrenning av organisk materiale som ved vedfyring, skogsbrann eller ufullstendig forbrenning av fossile drivstoffprodukter som olje, diesel, bensin eller kull. Resultatene fra Borgenfjorden viser noe høyere verdier (390 og 460) µm/kg, tilstandsklasse II) for PAH<sub>16</sub> forbindelser i dypere intervaller i sedimentkjerne sammenlignet med overflaten (100 µg/kg, tilstandsklasse I). Benzo(a)pyren er kun registrert i dypere intervaller (24 og 20 µm/kg) i sedimentkjerner med nivåer tilsvarende tilstandsklasse II mens ved overflaten er B(a)P konsentrasjon under deteksjonsgrensen på 10 µg/kg. Dette viser bedret tilstand mot nåtiden.

Polyklorinerte bifenyler (PCB<sub>7</sub>) har vært brukt i lysarmaturer, i hydraulikkolje og som tilsetning til utendørsmaling. Det ble lagt ned totalforbud mot bruk av PCB i Norge fra 1980, men det finnes fremdeles en del PCB som ennå ikke er fjernet. PCB er svært vanskelig å bryte ned, og vil således forbli i naturen i mange år. PCB er helse- og miljøskadelig selv i meget lave konsentrasjoner. Resultatene fra Borgenfjorden viser at PCB<sub>7</sub> konsentrasjoner i samtlige tre prøver er under deteksjonsgrensen og tilsvarende bakgrunnsnivå (<0,005 mg/kg).

Totale hydrokarboner (THC) er hydrokarboner som kan relateres til olje og oljeprodukter. Det analyseres for lette hydrokarboner til tunge hydrokarboner dvs. fra C<sub>5</sub>-C<sub>8</sub>-forbindelser opp til C<sub>16</sub>-C<sub>35</sub>-hydrokarbonforbindelser. Det finnes ikke grenseverdier for slike stoffer i Miljødirektorat (Klif) veilederen for kyst- og fjordsedimenter. I Borgenfjorden varierer nivåene fra 36 til 90 mg/kg, og den høyeste verdien var registrert i overflateprøven (0-5 cm) (Fig. 14). Det er utelukkende registrert tyngre hydrokarboner (C<sub>16</sub>-C<sub>35</sub>), mens lette og middelstunge hydrokarboner alle er under deteksjonsgrensene på 5 mg/kg (Vedlegg 3).

Tributyltinn (TBT) er et stoff som brukes for å hindre algevekst på skipsskrog, og er en meget giftig, organisk tinnforbindelse. TBT er ikke funnet i Borgenfjorden og alle tre analyserte prøver har konsentrasjon under deteksjonsgrensen på 1 µg/kg.

Sammenlignet med Miljødirektoratets klassifikasjonssystem for forurensingsnivåer i sedimenter i kyst- og fjordområder (Molvær m. fl. 1997, Klif 2007, Bakke et al. 2010) tilsvarer verdier av organiske miljøgifter tilstandsklasse I (bakgrunn) og tilstandsklasse II (god).

#### **5.4 Utvikling i kjemisk miljøtilstand over tid**

Hvis vi sammenligner innholdet mot tidsangivelsen i de røde stiplede linjene (Fig. 13) ser vi at innholdet av de fleste metallene startet å øke på ca. 50 cm dyp i kjernen. Dette tilsvarer tidsmessig andre halvdel av 1800-tallet og faller sammen med industrialiseringen i Norge. Vi ser også at de fleste metallene hadde høyest, men fortsatt lave verdier i etterkrigsårene og at mengden av slike elementer fritt i naturen har avtatt fram mot nåtiden. Samtidig er innholdet av organiske miljøgifter meget lave. Det betyr at sedimentene kan karakteriseres som ikke forurenset og at den kjemiske miljøtilstanden i vanddirektivsammenheng er god. Endringen i innhold av tungmetaller i sedimentene med reduksjon de siste tiårene kan tyde på at tiltakene med omlegging av kloakkutslipp til Beitstadfjorden og reduksjon av gjødsling på bar mark har hatt positiv effekt. At innholdet av jernsulfider minker i de øverste 5 cm kan tyde på en mer oksisk vannsøyle under avsetning av disse sedimentene sammenlignet med sedimentene lengre ned i kjernen (>5 cm), som kan ha vært avsatt under mer anoksiske forhold. Det kan tyde på at det har skjedd en svak forbedring med tanke på oksygenvikten i bunnvannet etter siste del 1980 tallet, og dette kan ha sammenheng med de tiltak som er gjort.

## **6. ØKOLOGISK TILSTAND**

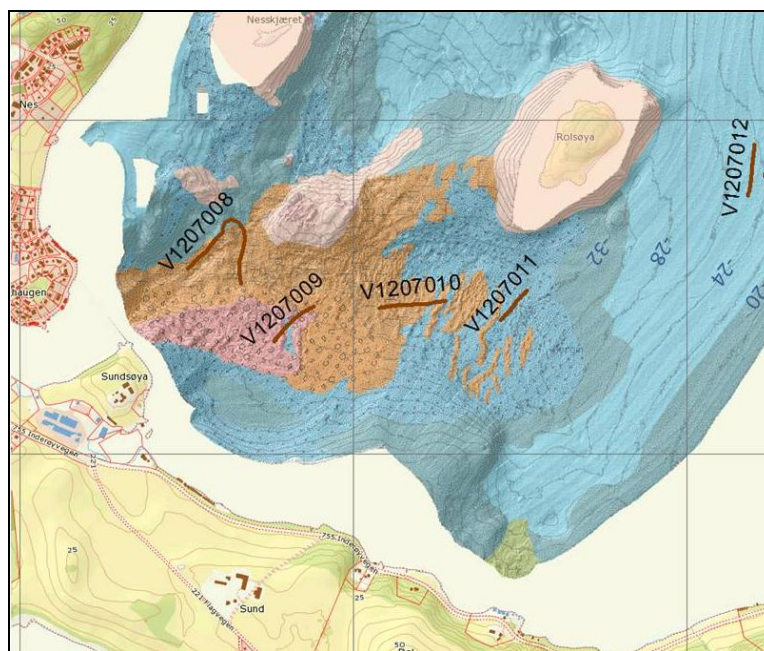
For å beskrive den økologiske tilstanden i fjorden ble det kjørt seks videolinjer, en i indre basseng og fem i ytre. Disse videolinjene er analysert og bunndyrsfaunaen beskrevet. Fordi videokameraet ikke har konstant avstand til bunnen under filmingen det er det variabelt hvor mye som kan identifiseres på bunnen.

21. september 2012 kunne sprangsjiktet i indre basseng observeres tydelig på ekkoloddet, Det var en del fisk i fjorden, men ingen ble registrert under ca. 20 m dyp hverken på bunnen eller i vannsøylen, noe som er en klar indikasjon på oksygenmangel i bunnvannet. For å få en oversikt over bunndyrssamfunnene ble det tatt tre grabbprøver under, nær og over sprangsjiktet, og det biologiske materialet ble vasket ut og senere analysert.

## 6.1 Videoanalyse av bunnfauna

### 6.1.1 Videolinjer i ytre basseng

V1207008 - V12009/1207010 - V1207011 - V1207012 (full omtale i vedlegg 4)



Figur 15. Videolinjer i ytre basseng. Alle linjene starter i sør eller vest. Rutene er 1x1 km. Dybdekonturintervall er 2 m.

#### Resymé videolinje V1207008

Total videolengde: 14,04 min.

Start transekt: Dyp: 32,2m, T: 8,7 °C

Slutt transekt: Dyp: 30,3m, T: 8,9 °C

Strømekspert hardbunn med noe mer sedimentering i den nordre ytterkanten av transektet; dvs. frem mot svingen mot sørsørøst. Bunnen i dette området er i stor grad dekket av skjellfragmenter, men transektet har litt varierende dyp og tilsynelatende også strømeksperting og dermed sedimenttype. Der er en liten rygg underveis. Styrken av strømmen påvirker sannsynligvis både artsrikdom og sammensetning, men diversiteten er

generelt høy – av en helt annen rikdom enn på bløtbunnen i videolinje V2007006 i indre basseng (se nedenfor).

### **Resymé videolinje V1207010**

Total videolengde: 20,35 min.

Start transekt: Dyp: 33,4m T: 8,8 °C

Slutt transekt: Dyp: 33,1m, T: 8,9 °C

Overveiende hardbunn med god vanngjennomstrømning og svært artsrikt samfunn med typiske arter som bløtkorallen dødningshånd (*Alcyonium digitatum*) på eksponerte steder, kråkeboller, sjøstjerner og O-skjell. Den første halvdel av transektet bar preg av å være strømekspontert med mye skjellfragmenter og lite ren bløtbunn, men den noe dypere bunnen på den siste halvparten syntes litt mindre strømekspontert med flekkvis innslag av bløtere bunn og litt mindre rik epifauna både med hensyn til arter og til individantall.

### **Resymé videolinje V1207011**

Total videolengde: ca. 10 min.

Start transekt: Dyp: 33,4m T: 9,0 °C

Slutt transekt: Dyp: 32,4m, T: 9,0 °C

Artsmangfold og tetthet tyder på bedre levevilkår for filter-feeders (så som bløtkoraller) enn på V12 (se nedenfor), formodentlig pga høyere vannstrøm og mer planktonisk føde. Bunnssubstrat og artsvariasjonen i dette transektet var ganske likt det på videolinje V1207011 (se ovenfor), og tyder på gode levevilkår for filter-feeders. På bunnen var det mye skallfragmenter av O-skjell og betydelige forekomster av drøbakksjøpinnsvinet (*Strongylocentrotus droebachiensis*), bløtkorallen dødningshånd (*Alcyonium digitatum*) og den store rov-sjøstjernen *Solaster sp.* Dypet varierer lite langs transektet, og bunnssubstratet har noe mindre innslag av bløte leirflater enn i videolinje V1207010 (se ovenfor).

### **Resymé videolinje V1207012**

Total videolengde: 5,5 min.

Start transekt: Dyp: 24,6 m T: 8,7 °C

Slutt transekt: Dyp: 24,3 m, T: 8,8 °C

Denne videolinjen er tatt på 9-10 m grunnere vann enn de foregående, og bunnssubstratet reflekterer mindre strømhastighet og eksponering; det er en blanding av bløt- og hardbunn, med mye hvite skallrester fra bivalver, samt noen planterester. En god del mer nedslamming enn på videolinjene V2007008, V2007010 og V2007011 omtalt ovenfor. Moderat god vannstrøm over bunnen har tillatt bløtkorallen dødningshånd (*Alcyonium digitatum*) å etablere seg et par steder (som filter-feeder krever den god vannstrøm). Noe rikere dyreliv mot midten/slutten av linjen. Bunnen har flekkvis områder med mye småskjell men sparsom epifauna avbrutt av områder med betydelig dyreliv i form av tårnsnegl (*Turritella sp.*), hjerteskjell (*Cardium sp.*), sjøstjerner (*Asterias rubens m.fl.*), slangestjerner, kongsnegl



(*Buccinum undatum*), kolonier av sjøpunger (*Ciona intestinalis*) og noen få koraller (dødningehånd; *Alcyonium digitatum*). Den rikeste epifaunaen finnes på områder der det (kanskje på grunn av mer strømeksponeering) er fester for koraller og sjøpunger (dvs. på stein, sunket trevirke etc.). Forholdsvis mye sjøstjerner (mest vanlig korstroll; *Asterias rubens*).

### 6.1.2 Videolinjer i indre basseng

V1207006 (full omtale i Vedlegg 4)

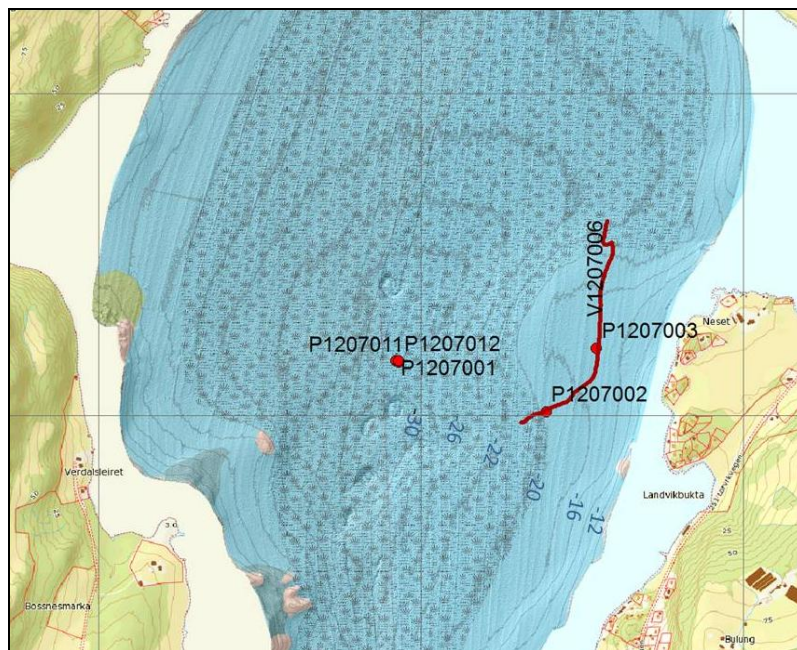


Fig. 16. Videolinje V1207006 i indre basseng. Linjen starter i nord. Rutenettet er 1x1 km.

#### Resymé videolinje V1207006

Total videolengde: ca. 60 min.

Start transekt: Dyp: 16,4 m, T: 8,9 °C

Slutt transekt: Dyp: 21,5 m, T: 8,7 °C

Transektet var kurvet og gikk på 16,5-20,5 meters dyp, dvs. ved og under sprangskiktet som ble demonstrert på CTD-sonden, og med start i nord. Under sprangskiktet (termoklinen) synker oksygenmetningen raskt og diversiteten av dyr er lav; den domineres av relativt få arter som typisk tåler lavt oksygeninnhold. Bunnssubstratet er mudder/leire, og epifaunaen er generelt svært fattig. Artene som observeres er typiske for lokaliteter med lavt oksygeninnhold; børsteormer (*Polydora sp.*), sandreke (*Crangon crangon*) kongsnegl (*Buccinum undatum*), slangestjerner (*Ophiuroidea*) og svamp. Typisk for linjen er at jo dypere, jo færre arter.

I den første femtedelen av trekket viste videoen en relativt jevn leirbunn med spor etter aktiviteten til in-/epifauna bunnorganismer. Kun sandreker beveget seg over bunnen. De kan grave seg ned som vern mot predatorer, og kan ved slik adferd ha forårsaket de små uregelmessighetene i bunnleiren som kan sees på Figur 1 i Vedlegg 4 (Videolinje V2007006). Frem mot midten av transektet, som gikk over et noe grunnere område med sand/leirebunn, gikk epifaunaen etter hvert over til flekkvise, tette skoger av rørbyggende børsteormer (*polychaeta*) formodentlig *Polydora sp.* (grabbprøve P1207003). Det ble også observert noen få kongsnegl (*Buccinum undatum*), sjøstjerner (*Asterias rubens*) samt en kråkebolle av ubestemt art.

Mot den siste delen av transektet ble kursen lagt om til vest og krysset 20 m-kurven. Bunnsubstratet ble etter hvert mer slamholdig med slangestjerner på og delvis i substratet. Noen få små fisk, som kan ha vært sand- eller leirkutlinger, ble observert, samt en svamp som antagelig var levende siden den ikke var dekket av leirsubstratet. Infaunaen er dokumentert i grabb-rapporten (grabbprøve P1207002). Generelt ble bunnsubstratet mer finkornig og epifaunaen mer sparsom mot dypet ved 21m.

## 6.2 Faunaanalyse fra grabbprøver

### 6.2.1 Grabbprøve P 1207001

Prøven ble tatt på 30 meters dyp (Bilde i Fig. 7). Lokaliteten har periodisk anoksisk bunnvann. Det ble identifisert to arter; flerbørstemarkene *Polydora caeca* med fire individer og *Heteromastus filiformis* med ett individ. Det ble videre registrert to uidentifiserbare fragmenter. Det ene kunne være et fragment av en sjøpølse fra familien *Synaptidae* (*Leptosynapta/Labidoplax*), mens det andre var et fragment som minnet om flerbørstemarkslekten *Prionospio*.

De to sikkert identifiserte artene er assosiert med svært påvirkede resipientforhold. De to fragmentene antyder en noe rikere fauna, muligens med arter som er knyttet til mindre påvirkede resipientforhold. Det er sikkert fastslått at bunnen på 30 meters dyp i indre Borgenfjords dypparti hadde et levende bløtbunnsfaunasamfunn per 21. september 2012.

### 6.2.2 Grabbprøve P1207002

Prøven ble tatt på 19 meters dyp i det som ble antatt å være overgangssonen mellom anoksisk og oksygenrikt vann (Bilde i Fig. 7). Det ble identifisert seks arter. Flerbørstemarken *Maldane sarsi* var mest tallrik med 59 individer. Arten er forurensningsømfintlig og knyttet til upåvirkede resipientforhold. Flerbørstemarken *Polydora caullery* og muslingen *Corbula gibba* forekom med henholdsvis sju og seks individer. Disse artene er begge svært forurensningstolerante og kan finnes under sterkt påvirkede resipientforhold.

Flerbørstemarkene *Paramphinoe jeffreysii* og *Heteromastus filiformis* samt muslingen *Kurtiella bidentata* fantes i få individer. Den første og tredje av disse kan forekomme ved moderat til tydelig belastning, mens den andre er svært forurensningstolerant.

Ut fra de identifiserte artene og artslista framgår det at faunaen på stasjonen var en blanding av forurensningsømfintlige- og tolerante arter. Dette er forenlig med en beliggenhet mellom tidvis oksygenfattig område og mer upåvirkede forhold.

### 6.2.3 Grabbprøve P1207003

Prøven ble tatt på ca 17 m dyp i en permanent oksygenert del av resipienten (Bilde i Fig. 7). Det ble identifisert 19 arter (foruten foraminiferer). *Muslingen Corbula gibba* var mest tallrik med 53 individer. Arten er svært forurensningstolerant og kan finnes under svært påvirkede forhold. Flerbørstemarken *Myriochele oculata* var nest hyppigst med 30 individer. Arten er relativt forurensningstolerant, og kan være knyttet til moderat til tydelig påvirkede resipientforhold. Foruten foraminiferer, som var relativt tallrike festet til individer av muslingen *Corbula gibba*, fantes 11 individer av den forurensningsømfintlige muslingkrepsen *Philomedes globosus*. Forøvrig fantes 10 taksa med ett individ hver med følsomhet for forurensningspåvirkning varierende fra ømfintlig til moderat.

## 6.3 Vurdering av økologisk tilstand

Videoregistreringene av epifaunaen i ytre basseng og i områdene over ca 20 m i indre basseng tilsier en bunnøkologi i god balanse. Under sprangsjiktet i indre basseng ser vi liv, men svært sparsomt. Infaunaen er vurdert i tre grabbprøver. Under sprangsjiktet på 30 m dyp ble det identifisert kun to arter; flerbørstemarkene *Polydora caeca* med fire individer og *Heteromastus filiformis* med ett individ. De to sikkert identifiserte artene er assosiert med svært påvirkede resipientforhold som skyldes den gjentatte oksygenvikten. Det er sikkert fastslått at bunnen på 30 meters dyp i indre basseng hadde et levende bløtbunnsfaunasamfunn per 21. september 2012. Over sprangsjiktet er det identifisert en rikere fauna og lokaliteten og fjorden som helhet framstår som lite påvirket og et miljø i god økologisk balanse.

## 7. ERFARINGER

Feltarbeidet ble utført av et team bestående av en biolog, to geologer og to teknikere pluss at vi hadde et nært samarbeid med lokalkjente. Dette gjorde at valg av lokaliteter for hydrografering, prøvetaking og videofilming ble optimalisert. Under bearbeidelsen av geologiske, biologiske, geokjemiske og hydrografiske data har det vært en styrke med den tverrfaglige kompetansen i teamet. Dette har gjort at de miljømessige forholdene kunne sees i en bredere sammenheng.

## 8. KONKLUSJONER

Det er gjennomført en kartlegging av miljøstatus av Borgenfjorden basert på forurensing i bunnsedimenter og kvalitativ vurdering av økologisk status ut fra analyse av bunndyrsfauna. Som støtte for analysen er det gjennomført dybdekartlegging av 11,4 km<sup>2</sup> av fjordens arealer og kartlegging av sedimentforhold og strømforhold. Bunnsedimentene er generelt slamholdige unntatt ved innløpet ved Straumen, der man finner partier med grovere sedimenter delvis ført inn i fjorden med strømmen og delvis vasket ut av leira av bunnstrømserosjon.

Det er indikasjoner på at strømsystemet er endret fra 1970-tallet, og det spekuleres i om det kan ha sammenheng med utfylling av sundet sør for Sundsøya og/eller naturlig erosjon ved innløpet. Endringene kan ha påvirket sprangsjiktet i indrebassenget noe.

Ved å sammenligne historiske data med de nye målingene fra september 2012 er det ingenting som tyder på at den fysiske prosessen som fører til stillestående bunnvann og oksygensvikt i Hummeldalsdypet i Borgenfjordens indre basseng har endret karakter gjennom de siste 100 år. Den prosessen er en naturgitt effekt av topografi og tidevann idet vannmassene dypere enn terskelen ved Bosnes (13 m dyp) er skjermet fra de sterke strømmene i det ytre bassenget.

Analysene av bunnsedimentene i indre basseng viser at fjorden mottok mest tungmetaller i etterkrigsårene, men at verdiene var lave også den gang. De viser videre at mengden av slike elementer fritt i naturen har ytterligere avtatt fram mot nåtiden. Samtidig er innholdet av organiske miljøgifter meget lave. Det betyr at sedimentene kan karakteriseres som ikke forurenset og at den kjemiske miljøtilstanden i vanndirektivsammenheng er god. Endringen av innhold av tungmetaller i sedimentene, med reduksjon de siste tiårene, kan tyde på at tiltakene som er gjort med omlegging av kloakkutslipp til Trondheimsfjorden og reduksjon av gjødsling på bar mark har hatt positiv effekt. At innholdet av jernsulfider minker i de øverste 5 cm kan tyde på en mer oksisk vannsøyle under avsetning av disse sedimentene sammenlignet med sedimentene lengre ned i kjernen, som kan ha vært avsatt under mer anoksiske forhold. Det kan tyde på at det har skjedd en svak forbedring med tanke på oksygensvikten i bunnvannet etter siste del 1980-tallet, som kan ha sammenheng med de tiltak som er gjort.

Økologisk sett virker fjorden frisk. I ytre basseng, ved innløpet, forekommer bunnhabitatene noe flekkvis, med områder med mye småskjell men sparsom epifauna, avbrutt av områder med betydelig dyreliv i form av tårnsnegl (*Turritella sp.*), hjerteskjell (*Cardium sp.*), sjøstjerner (*Asterias rubens* m.fl.), slangestjerner, kongsnegl (*Buccinum undatum*), kolonier av sjøpunger (*Ciona intestinalis*), og noen få koraller (dødningehånd; *Alcyonium digitatum*). Den rikeste epifaunaen finnes på områder der det, kanskje på grunn av mer strømeksposering, er feste for koraller og sjøpunger (dvs. på steiner, sunket trevirke etc.). Det finnes forholdsvis

mye sjøstjerner (mest vanlig korstroll; *Asterias rubens*). Floraen tyder på en økologi i god stand.

Over sprangsjiktet i indre basseng viser epifaunaen flekkvise, tette skoger av rørbyggende børsteormer (*polychaeta*) formodentlig *Polydora sp.* Det ble også observert noen få kongsnegl (*Buccinum undatum*), sjøstjerner (*Asterias rubens*), samt en kråkebolle av ubestemt art. Generelt er bunnssubstratet mer finkornig og epifaunaen mer sparsom under 21m dyp.

Infaunaen er vurdert i tre grabbprøver. Under sprangsjiktet, på 30 m dyp, ble det identifisert kun to arter; flerbørstemarkene *Polydora caeca* med fire individer, og *Heteromastus filiformis* med ett individ. De to sikkert identifiserte artene er assosiert med svært påvirkede resipientforhold som skyldes den gjentatte oksygenvikten. Over sprangsjiktet er det identifisert en rikere fauna, og lokaliteten og fjorden som helhet framstår som lite påvirket og et miljø i god økologisk balanse.

## 9. TAKK

Takk til Willy Sundfær for å dele lokal kunnskap, Roy Brantzegg for å hjelpe til med tidevannsmålingene, Kjersti Mølmann for transport av instrumenter og Rolf Myhren og Frode Volden for teknisk assistanse under feltarbeidet.

## 10. REFERANSER

Anon, 2009. Veileder 01:2009. Klassifisering av miljøtilstand i vann. Direktoratgruppen for gjennomføringen av vanndirektivet. 181sider.

Bakke, T., Källqvist, T., Ruus, A., Breedveld, G.D., og Hylland, K., 2010. Development of sediment quality criteria in Norway. *Journal of Soils and Sediments*, 10, 172-178.

Bartnes, R.H. 2005. Vannundersøkelse av bekkene i nedslagsfeltet til indre del av Børgin. Forprosjekt. Miljø-service Trøndelag AS. Rapport nr: 2004-01. 15.02.05. Prosjekt nr: 138. 41sider + vedlegg.

Dahl, K. 1899. Beretning om Fiskeriundersøgelser i og om Trondhjemsfjorden 1898. *Kongelige Norske Videnskabers Selskabs Skrifter* 1898, 10, 1-62.

Denstadli, S.O. 1972. Forplantning, vekst og ernæring hos torsk (*Gadus morhua* L.) i Borgenfjorden, Nord-Trøndelag. Hovedfagsoppgave i marin zoologi ved Universitetet i Trondheim. Trondheim. 111 sider.

Gulliksen, B. og Lande, E. 1971. Bunnfaunaen i Strømmen. *Kongelige Norske Videnskabers Selskabs Museet, Borgenfjordundersøkelsene. Preliminærrapport* 1970, 27-31.

Gulliksen, B. 1971. A new record of *Goniomus vertens* Agassiz (Limnomedusae) in Norway. *Kongelige Norske Videnskabers Selskab. Museet. Miscellanea* 18, 1-4.

Gulliksen, B. 1972. Spawning, larval settlement, growth, biomass and distribution of *Ciona intestinalis* in Borgenfjorden, North-Trøndelag, Norway. *Sarsia* 51, 83-96.

Gulliksen, B. 1973. The vertical distribution and habitat of the ascidians in Borgenfjorden estuary, North-Trøndelag, Norway. *Sarsia* 52, 21-28.

Gulliksen, B. 1974. The ascidian fauna on level bottom areas in the Borgenfjord, 1967-1973. *Kongelige Norske Videnskabers Selskab. Museet. Miscellanea* 21, 1-18.

Gulliksen, B. 1977. Borgenfjordprosjektet. Sluttrapport. Borgenfjordundersøkelsene, 1967-1976. NAVF-prosjekt D.55.44.-8. Avslutningsrapport. red.: Bjørn Gulliksen. Trondhjem Biologiske Stasjon 1977. 33 sider.

Lande, R. 1970. *Pleuronectes platessa*. *Kongelige Norske Videnskabers Selskab Museet, Borgenfjord-undersøkelsene, Preliminærrapport* 1969, 20-24.

Lande, R. 1972. Aldersfordeling, vekst og næringsvaner hos rødspette (*Pleuronectes platessa* L.) fra ytre basseng i Borgenfjorden, Nord-Trøndelag. Hovedfagsoppgave i marin zoologi



ved Universitetet i Trondheim. Trondheim 1972. 91 sider.

Lande, R. 1973. Food and feeding habits of plaice (*Pleuronectes platessa* L.) in Borgenfjorden, Nord-Trøndelag, Norway. *Norwegian Journal of Zoology*, 21, 2, 91-100.

Lande, R. 1974. Aldersfordeling hos rødspette, *Pleuronectes platessa* L., i Borgenfjorden, Nord-Trøndelag. *Fauna* 27, 214-221.

Lande, R. 1976. Food and feeding habits of the dab (*Limanda limanda* (L.) in Borgenfjorden, North-Trøndelag, Norway. *Norwegian Journal of Zoology* 24, 225-230.

Lande, R. 1976. Food and feeding habits of the long and rough dab, *Hippoglossus platessoides* (Fabricius) in Borgenfjorden, Norway. *Sarsia* 62, 19-24.

Lepland, Aivo., Andersen, T.J., Lepland, Aave., Arp, H.P.H., Alve, E., Breedveld, G.D. & Rindby, A., 2010. Sedimentation and chronology of heavy metal pollution in Oslo harbour, Norway, *Marine Pollution Bulletin*, 60, 1512-1522.

Linde, S.O. og Mork, J. 1998. Hydrografi og rødspettebiologi i Borgenfjorden Høsten 1998. Trondhjem Biologiske Stasjon 1998. Rapport til Inderøy kommune. 8 sider + 6 vedlegg.

McClimans, T.A. 1972. An approximate theory for the structure of strong pycnoclines. *Geofysiske Publikasjoner*, xxvii, No. 5.

McClimans, T.A. 1973. Physical oceanography of Borgenfjorden. *Kongelige Norske Videnskabers Selskabs Skrifter* 1973, 2, 1-42.

McClimans, T.A., 1978. On the energetics of tidal inlets to landlocked fjords. *Marine Science Communications*, 4, 121-137.

Miljødirektoratet. Revidert del av Veileder for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann, TA-2229/2007.

Molvær, J., Knutzen, J., Magnusson, J., Rygg, B., Skei, J. og Sørensen, J. 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystvann. Veiledning. SFT-rapport 97:03, TA-1467. 36 sider.

Mork, J. 1976. Populasjonsstudier av torsk (*Gadus morhua* L.) fra indre Trondheimsfjord Hovedoppgave i marin zoologi ved Universitetet i Trondheim. 158 sider.

Mork, J. 1998. Gullflyndra i Borgenfjorden. Biologi og historikk. Foredrag på fellesmøte med kommune og forvaltning på Jektvolden Fjordhotell 24. august 1998. 8 sider.

Nordgaard, O. 1909. Beretning om forsøk med utklækning av guldflyndre (*Pleuronectes platessa* Lin.) ved Trondhjems Biologiske Station i aarene 1908 og 1909. Kongelige Norske Videnskabers Selskabs Skrifter 1909, 7, 1-46.

Nordgaard, O. 1914. Beretning om forsøk med utklækning av guldflyndre (*Pleuronectes platessa* Lin.) ved Trondhjems Biologiske Station i aarene 1910-1914. Kongelige Norske Videnskabers Selskabs Skrifter 1913, 6, 1-104.

Nordgård, O. 1923. Bemerkninger om dyrelivet i Borgenfjorden. Kongelige Norske Videnskabers Selskabs Skrifter 1921, 5, 1-22.

Nordgård, O. 1926. Trondhjem biologiske stasjon 1900-1925. Kongelige Norske Videnskabers Selskabs Skrifter 1925, 1, 1-99.

Rise, L., Bøe, R., Sveian, H., Olsen, H. A. 2006. The deglaciation history of Trondheimsfjorden and Trondheimsleia, Central Norway. *Norwegian Journal of Geology*, 10, 86, 419-438.

Rygg, B. 2002. Indicator species index for assessing benthic ecological quality in marine waters of Norway. NIVA-rapport SNO 4548-2002. 32 sider.

Skjæveland, S.H. 1970. Echinodermata. Kongelige Norske Videnskabers Selskab. Museet. Borgenfjordundersøkelsene, Preliminærrapport 1969, 15-19.

Skjæveland, S.H. 1972. Echinodermene i Borgenfjorden. Hovedfagsoppgave, Universitetet i Trondheim. 140 sider.

Skjæveland, S.H. 1973. Ecology of the echinoderms in Borgenfjorden, North-Trøndelag. Kongelige Norske Videnskabers Selskab. Museet. *Miscellanea* 8, 1-51.

Strømgren, T., O. Fagerjord & E. Lande 1971. Littoralundersøkelser i Borgenfjorden; infauna på Lorvikleiret. Kongelige Norske Videnskabers Selskab. Museet. Borgenfjordundersøkelsene, Preliminærrapport 1970, 21-26.

Strømgren, T., O. Fagerjord og E. Lande 1971. Sedimentundersøkelser i Borgenfjorden. Kongelige Norske Videnskabers Selskab. Museet. Borgenfjordundersøkelsene, Preliminærrapport 1970, 37-40.

Strömngren, T., Lande, R. og Engen, S. 1973. Intertidal distribution of the fauna on muddy beaches in the Borgenfjord area. *Sarsia* 53, 49-70.

Strømgren, T. 1974. The use of a weighted arithmetic mean for describing the sediments of a landlocked basin (Borgenfjorden, Western Norway). *Deep Sea Research* 21, 155-160.

Sveian, H. 1992. Steinkjerfjorden. Kvartærgeologisk kart; Steinkjerfjorden; CST 139140, 1:20 000, trykt i farger. Norges geologiske undersøkelse.

Sveian, H. og Solli, A. 1997. Tid og form – geologisk historie, i: Dahl, R., Sveian, H. og Thoresen, M. (red.) 1997, Nord-Trøndelag og Fosen – geologi og landskap. Norges geologiske undersøkelse.

Sveian, H. 1997. Ice marginal deposits and deglaciation chronology in Nord-Trøndelag and Fosen, Central Norway. *Norges geologiske undersøkelse Bulletin*, 433, 52-53.



## **VEDLEGG 1**

Rapport fra Thomas McClimans, SINTEF og Jarle Mork, NTNU; Hydrografi og strøm

## HYDROGRAFI OG STRØM

### 1 Hydrografiske forhold i indre basseng (Stasjon 4B) i Borgenfjorden i dag og historisk

Det er kjent fra tidligere undersøkelser at det indre bassenget i Borgenfjorden er mye mindre berørt av omrøringen ved tidevannet enn det ytre bassenget. Det er god ventilasjon av vannet over terskeldypet ved Bosnes (13 m), men tyngre vintervann blir liggende i dypet utover sommer og høst. Under brakkvannspeilet som dannes blir det i løpet av sommeren et markert sprangsjikt, og det blir en sterkt redusert oksygentilførsel til bunnvannet. Nedbryting av organisk materiale på bunnen bruker ganske raskt opp oksygenet der og bunnvannet lukter råttent fra ut på sommeren. Dette fenomenet har vært påvist i flere tidligere hydrografiske undersøkelser i indre basseng. Når lufttemperaturen utover høsten nedkjøler vannet ovenfra, og overflatevannet i Trondheimsfjorden blir saltere, flytter sprangsjiktet seg nedover mot dypet og oppløser seg gjerne en gang i september-oktober. Da blir det igjen vannomrøring og transport av oksygen ned mot bunnen i hele bassenget slik at forholdene blir levelige for bunnorganismer.

Disse spesielle anoksiske forholdene om sommeren har vært påvist i mange tidligere undersøkelser som spenner over en lang tidsperiode, for eksempel av Nordgaard (1912), McClimans (1973), Gulliksen (1977) og Linde & Mork (1998). Årsaksforholdene har vært knyttet opp mot tilførsel av plantenæringsstoffer fra omkringliggende jordbrukslandskap og organisk belastning fra et kloakkutslipp i indre basseng. Alternativt er belastningen i hele regionen en kilde idet tidevannsstrømmer til Borgenfjorden består av det øverste 5 m vann nedstrøms Værdalsøra (McClimans, 1973). Disse mulige kildene er i løpet av de senere ti-år blitt redusert ved at barmarksgjødsling er blitt forbudt og kloakkutløpet i indre bassenget er lagt om til Beitstadfjorden.

En del av motiveringen for dette nye prosjektet var å beskrive den biologiske statusen i indre bassenget etter gjennomføringene av disse miljøtiltakene – kunne det spores en effekt av dem?

De fysiske faktorene som er relevante i en slik vurdering oppnås ved standard hydrografiske målinger av strømmer, vannutskiftning, saltholdighet, temperatur og oksygeninnhold. Disse parametrene er bestemmende for livsforholdene i vannsøylen og på bunnen.

Under Borgenfjordundersøkelsene ble dyphølen ved Hummeldalen identifisert som det mest påvirkede området for oksygensvikt, og bunnsstratet der beskrevet som mørk/svart leire som luktet av hydrogensulfid ( $H_2S$ ).

Følgelig ble Hummeldalsdypet i denne undersøkelsen valgt som lokalitet for hydrografiske snitt (salt, temperatur og oksygen), samt for video-opptak og grabb-prøver for bestemmelse av bunnfauna (epi- og in-fauna). Målingene ble utført med en SAIV ctd utstyrt med



oksygensonde (O<sub>2</sub> ble også titrert med Winkler-metode ). De hydrografiske målingene er summert i de følgende grafene Fig. 1, Fig. 2 og Fig. 3.

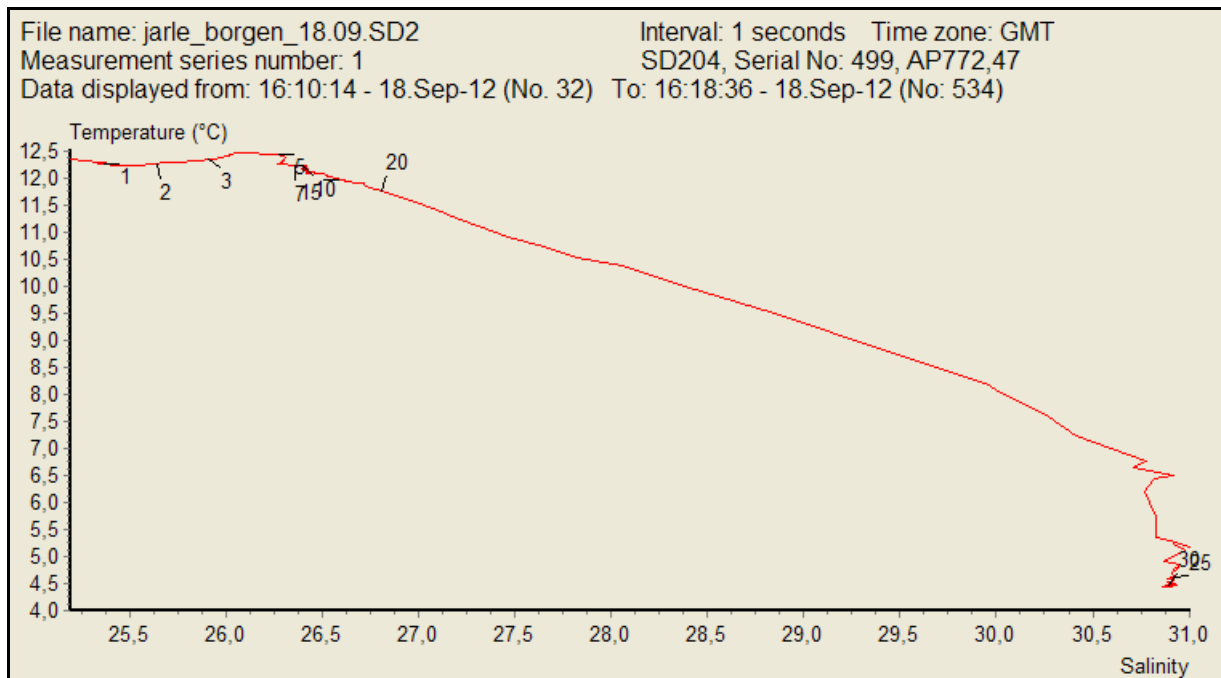


Fig. 1. Hummeldalsdypet (Stasjon 4B). T-S kurve (plott av temperatur mot salinitet som illustrerer samvariasjonen mellom saltholdighet og temperatur, med brakt, varmt og dermed lett vann på toppen og saltere, kaldere og tyngre vann ved bunnen. Tall ved kurven viser dyp i m.

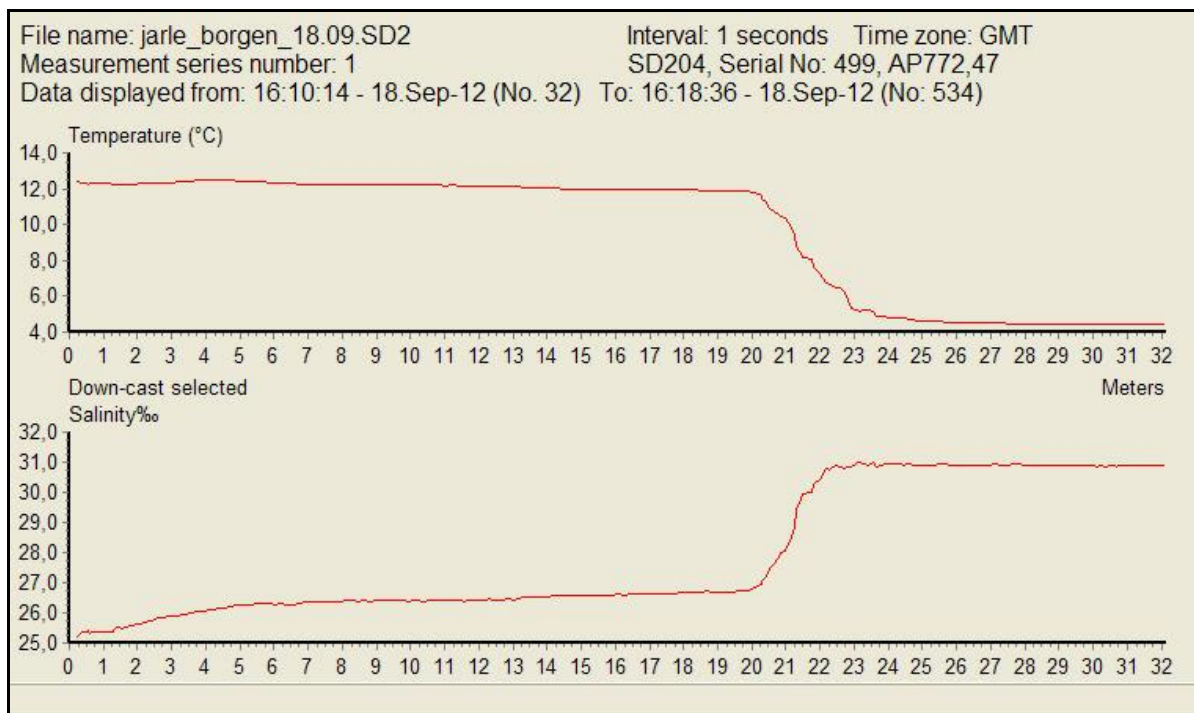


Fig. 2. Hummeldalsdypet (Stasjon 5B). Dybdeprofil av temperatur (øverst) og salthodighet (nederst). Et tydelig overgangslag med skarp forandring i begge parametre sees på ca 20,5-22 meters dyp.

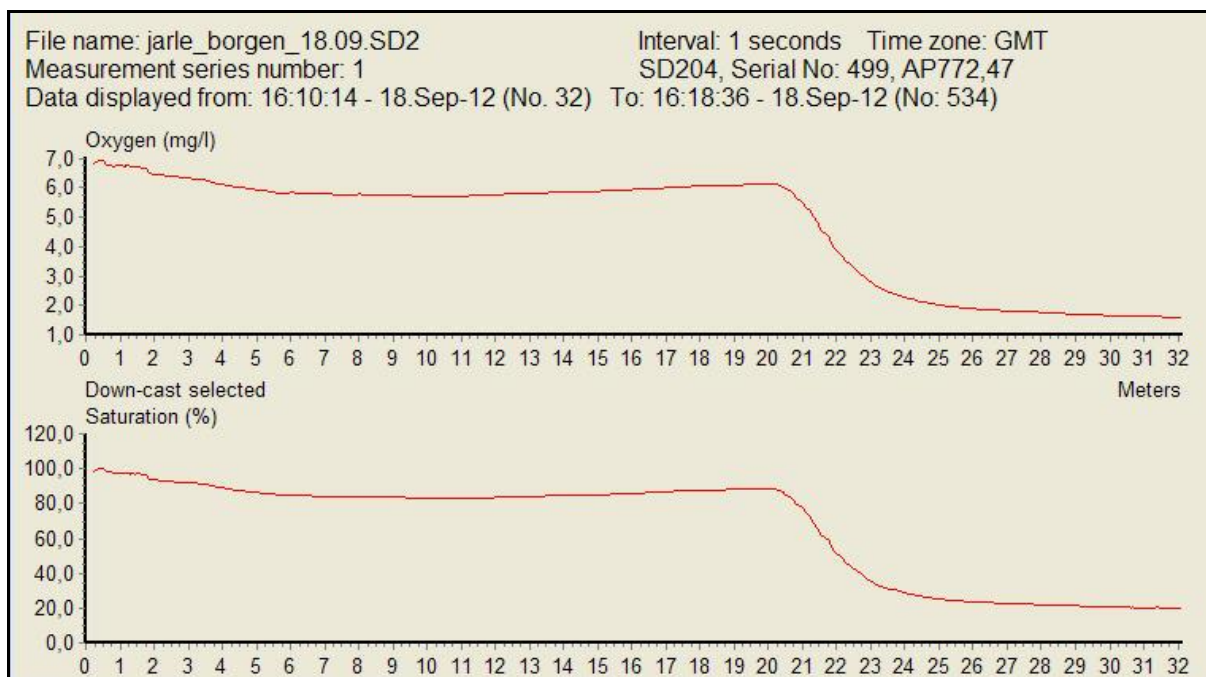


Fig. 3. Hummeldalsdypet (Stasjon 4B). Dybdeprofil av oksygeninnhold (øverst) og oksygenmetning (nederst). Grafen viser en sterk reduksjon i vannets  $O_2$  innhold i de dypere lag. Starten på  $O_2$  reduksjonen faller sammen med starten på det omrøringshemmende overgangslaget som går fram av Fig. 1 og Fig. 2.

I hovedsak viser disse hydrografiske dataene det samme som i tidligere undersøkelser fra nærliggende stasjoner 4 og 4B på samme årstid; en tydelig sjiktning og medfølgende redusert okygenering i vannmassene under sprangsjiktet. Det luktet også denne gang, som nevnt i tidligere rapporter, sterkt råttent (hydrogensulfid -  $H_2S$ ) av prøver (tatt med Nansen vannhenter) av bunnvannet på Stasjon 4B. Oksygenkurvene faller svært bratt fra ca 20 m og nedover.

T-S diagrammet i Fig. 4 viser stor årlig variabilitet i juni (1968-1969) og langtids stabilitet (1912-1969). Det ble foretatt hydrografiske målinger på Stasjon 4B i Borgenfjorden i regi av NTNU-TBS i slutten av september 1998. Dette var samme årstid for de nye målingene i 2012. Resultatene fra den gang er vist i Fig. 5. Formatet på grafene er noe annerledes enn i Fig. 1-3), men felles er det tydelige sprangsjiktet på rundt 20 m dyp og den lave  $O_2$ -metningen under dette dypet (Fig. 5). Data fra 1967-1969 (McClimans, 1973; Tabell 3 og Fig. 3) vise  $O_2$  svikt under 20 m dyp i september og tidligere.

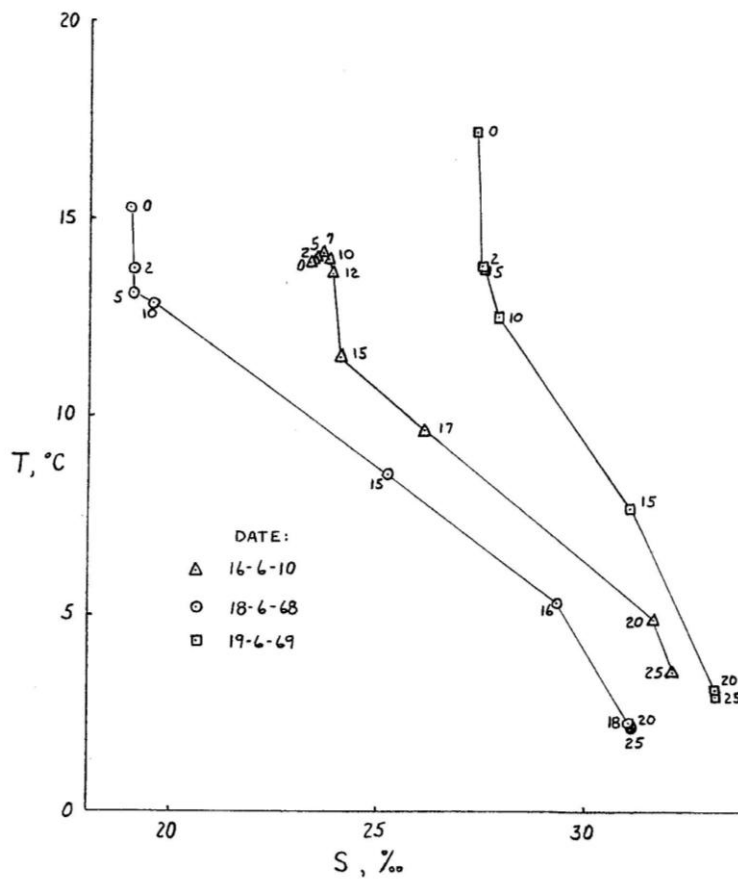


Fig. 4. T-S diagram for juni hydrografi (McClimans, 1973). Måledyp i m er notert på kurvene.

Denne situasjonen - med et sirkulasjonshemmende sprangsjikt og med oksygensvikt nedenfor ser ut til å utvikle seg gjennom vår/sommer da innstrømmende vann fra Trondheimsfjorden er lettere enn bassengvannet ved Hummeldalsdypet, og holde seg stabilt til ut på høsten. Da vil den innstrømmende kaldere, saltere og dermed tyngre vann over terskelen trenge nedover i vannsøylen helt til sprangsjiktet løser seg opp omtrent ut i oktober. I 1967 var det så sent som i desember (McClimans, 1973; Tabell 3 og Fig. 3) da det var ferskere enn normalt overflatevann utenfor Straumen.

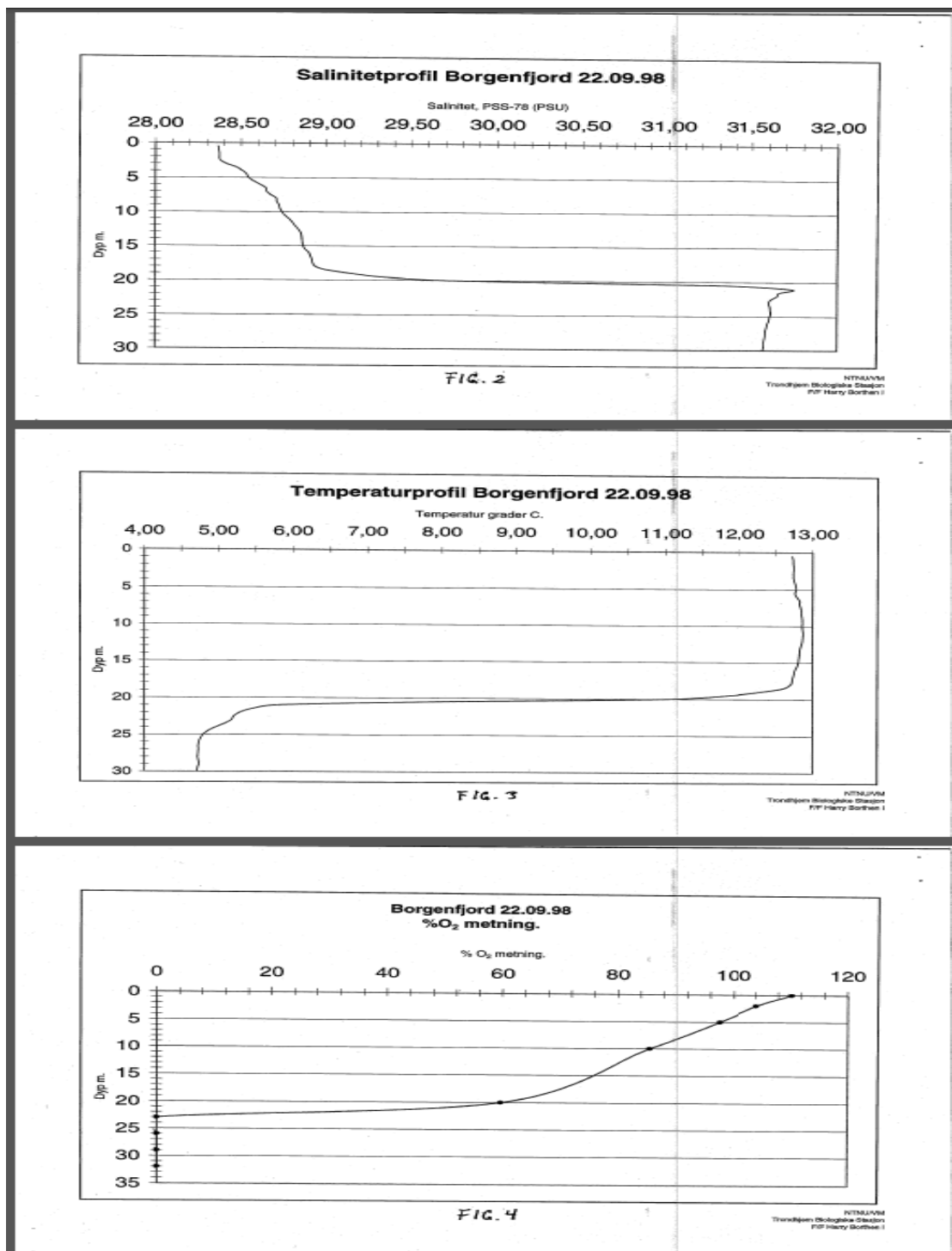


Fig. 5. Hydrografi (Salinitet, temperatur og O<sub>2</sub>) på Stasjon 4B I september 1998 (Linde & Mork 1998).

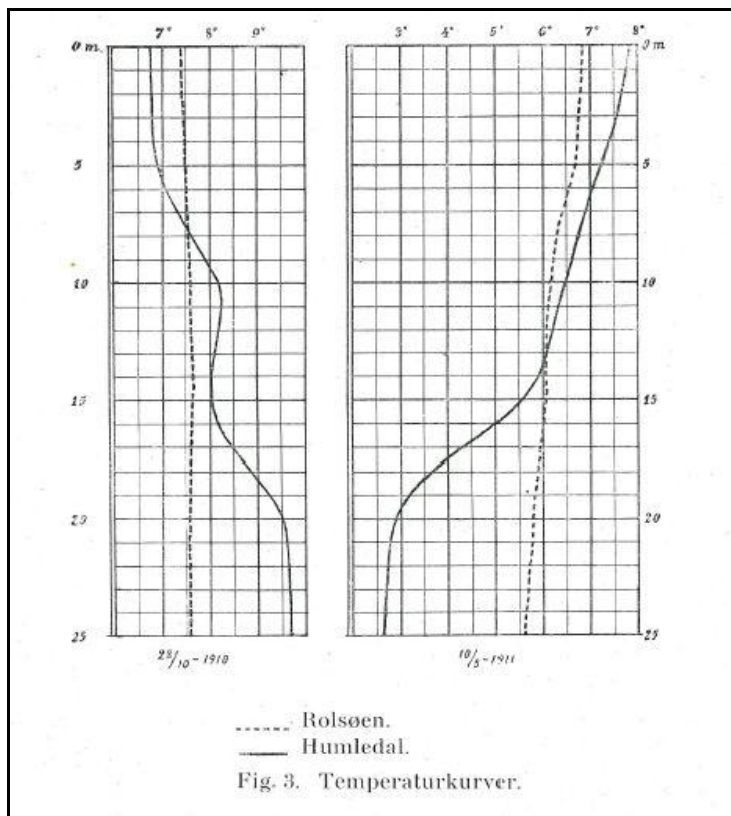


Fig. 6 Hydrografi i Borgenfjorden 1910-1911(over og nedenfor).

Datum	Station	Lod-skud	Dyb-de	Tempe-ratur	Saltgehalt	
					Cl. pro mille	Salt pro mille
28/10 1910	Humledal, Borgenfj.	27	0	6,75	16,18	29,23
			5	7,45	16,33	29,51
			10	8,25	16,63	30,05
			15	8,05	16,70	30,17
			20	9,6	17,74	32,05
			25	9,7	17,83	32,21
28/10 1910	Ved Rolsøen, Borgenfj.	37	0	7,45	16,33	29,51
			5	7,5	16,48	29,78
			10	7,6	16,55	29,9
			15	7,6	16,57	29,94
			20	7,6	16,58	29,96
			25	7,6	16,58	29,96
			30	7,65	16,65	30,08
35	7,7	16,65	30,08			
10/5 1911	Humledal, Borgenfj.	27	0	7,85	15,32	27,68
			5	7,25	15,76	28,48
			10	6,45	16,03	28,96
			15	5,5	16,54	29,88
			20	2,9	17,47	31,56
			25	2,7	17,56	31,73
10/5 1911	Rolsøen, Borgenfj.	37	0	6,9	15,22	27,50
			5	6,7	15,24	27,54
			10	6,2	15,77	28,49
			15	6,05	15,98	28,87
			20	5,8	16,25	29,36
			30	5,55	16,47	29,76
			35	5,45	16,49	29,79

Historisk tilbakeblikk mht hydrografi:

I forbindelse med at Trondhjem Biologiske Stasjon startet utsetting av rødspettelarver på forskjellige steder i og omkring Trondheimsfjorden ble det foretatt en del hydrografiske målinger på potensielle lokaliteter for utsetting. Borgenfjorden var en slik lokalitet. Høst 1910 og sommer 1911 ble temperatur- og saltholdighetsprofiler både ved Rolsøya og over Hummeldalsdypet innhentet.

**Til venstre:**

Hydrografiske data for Borgenfjorden. Temperaturprofil (øverst) og tabellerte verdier for salt og temperatur (nederst), (Nordgaard, 1912).

## 2 Oppsummering av hydrografien på Hummeldalsdypet (Stasjon 4B):

Selve den fysiske prosessen som fører til stillestående bunnvann og oksygensvikt i Hummeldalsdypet i Borgenfjordens indre basseng ser ikke ut til å ha endret karakter noe særlig gjennom de siste 100 år.

Den prosessen er en naturgitt effekt av topografi og tidevann idet vannmassen dypere enn terskelen ved Bosnes (13 m dyp) er skjermet fra de sterke strømmene i det ytre bassenget. Imidlertid; intensiteten av oksygensvikten avhenger av tilførselen av næringsstoffer og generelle regionale klimatiske forhold (milde/kalde vintre, nedbør/avrenning). At den siste er av betydning er vist i data fra 1967 da overflatevannet utenfor Borgenfjorden var usedvanlig brakk og O<sub>2</sub> svikten varte til desember. Størrelsen av belastningen fra menneskelig virksomhet (kloakk og avrenning fra jordbruk) har neppe vært konstant gjennom et helt århundre, men tiltak for å redusere den *regionalt* har sannsynligvis redusert O<sub>2</sub> svikten de senere år.

## 3 Tolkning av hydrografi

McClimans (1972) sammenlignet strukturen i Borgenfjordens sprangsjikt med lignende data fra Hardangerfjorden, Indiske havet og sperresjiktet over Oslo. En forenklet teori viste at den karakteristiske tykkelse ( $L$ ) var avhengig av turbulensnivået i det eroderende laget over sprangsjiktet. Resultatene fra Borgenfjordstudiet i 60-tallet (IBP prosjekt) ble sammenlignet med de tidligere data fra Nordgård (1912). Dataene fra IBP prosjektet viste at lagtykkelse ganger kvadratroten av tetthets spranget ( $\Delta\rho$ ) falt pent på en kurve som falt med sprangsjiktdyp ( $Z_1$ ) (se McClimans, 1973, Fig. 9). Resultatene fra Nordgaards studie i 1910-11 viste verdier som var høyere enn de fra 60-tallet og konklusjonen var at turbulensnivået i den nordlige bassenget var lavere i 60-tallet. Det ble spekulert om endringen skyldes landheving og mindre sterk tidevanns strømmer og/eller en omdreining av tidevannsstråle bort fra terskelområdet ved Bosnes.

Tabell 1 viser dataene fra de tidligere hydrografiske toktene sammenlignet med nyere data fra 1998 og 2012. Det forekommer at ved sterkere erosjon vil sprangsjiktet nå dypere ned på et tidligere tidspunkt. Slik er tilfellet tidligere (Nordgaard, 1912) og ved de nye data fra 1998 (Fig. 4) og 2012 (Fig. 2). De nye målingene tyder på at turbulensmiljøet i Hummeldalsdypet er nærmere den for 100 år siden og at erosjonshastigheten er større enn ved 1960-tallet. Dette kan ha med endringer i strømmene over terskelen ved Bosnes. Det må nevnes at  $\Delta\rho$  representerer sesongsendringer av vannmasser, og  $L$  representerer langtids midling av blandingsforholdene, for eksempel gjennom spring og nip flo. Vi må likevel være litt forsiktig med detaljtolkning av  $Z_1$  idet tidevannsfasene ikke er noterte.



Tabell 1. Observasjoner av sprangsjiktets dyp, tykkelse og tetthetsprang ved Humeldalsdypet.

Dato	$Z_1$ (m)	L (m)	$\Delta\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
16.06.10	17.0	2.0	6.5
10.05.11	14.5	4.5	2.5
28.09.67	18.5	1.0	3.2
09.05.68	14.5	2.5	2.9
27.05.68	15.0	2.0	3.5
18.06.68	14.75	1.5	9.9
10.07.68	15.75	1.0	7.0
11.09.68	18.5	1.25	2.3
19.06.69	14.0	2.5	5.3
06.08.69	15.0	2.0	5.0
22.09.98	19.5	1.5	3.2
18.09.12	20.3	2.0	4.1

#### 4 Strøm

Strømmene i Borgenfjorden er dominert av tidevannsinnstrømning fra innløpet ved Straumen. Vannmengden av og strømstyrke avhenger av tverrsnittsarealet i innløpet og tidevannsforskjell i Trondheimsfjorden og Borgenfjorden. McClimans (1973) viste en sirkulasjon med klokka rundt Rolsøy.

En RCM-4 strømmåler var plassert i 16 m dyp ved nordspissen av Rolsøy fra 18. mai til 12. juni, 1974, men målingene er ennå ikke rapportert. En statistisk strømrose fra målingene er vist på Fig. 7.

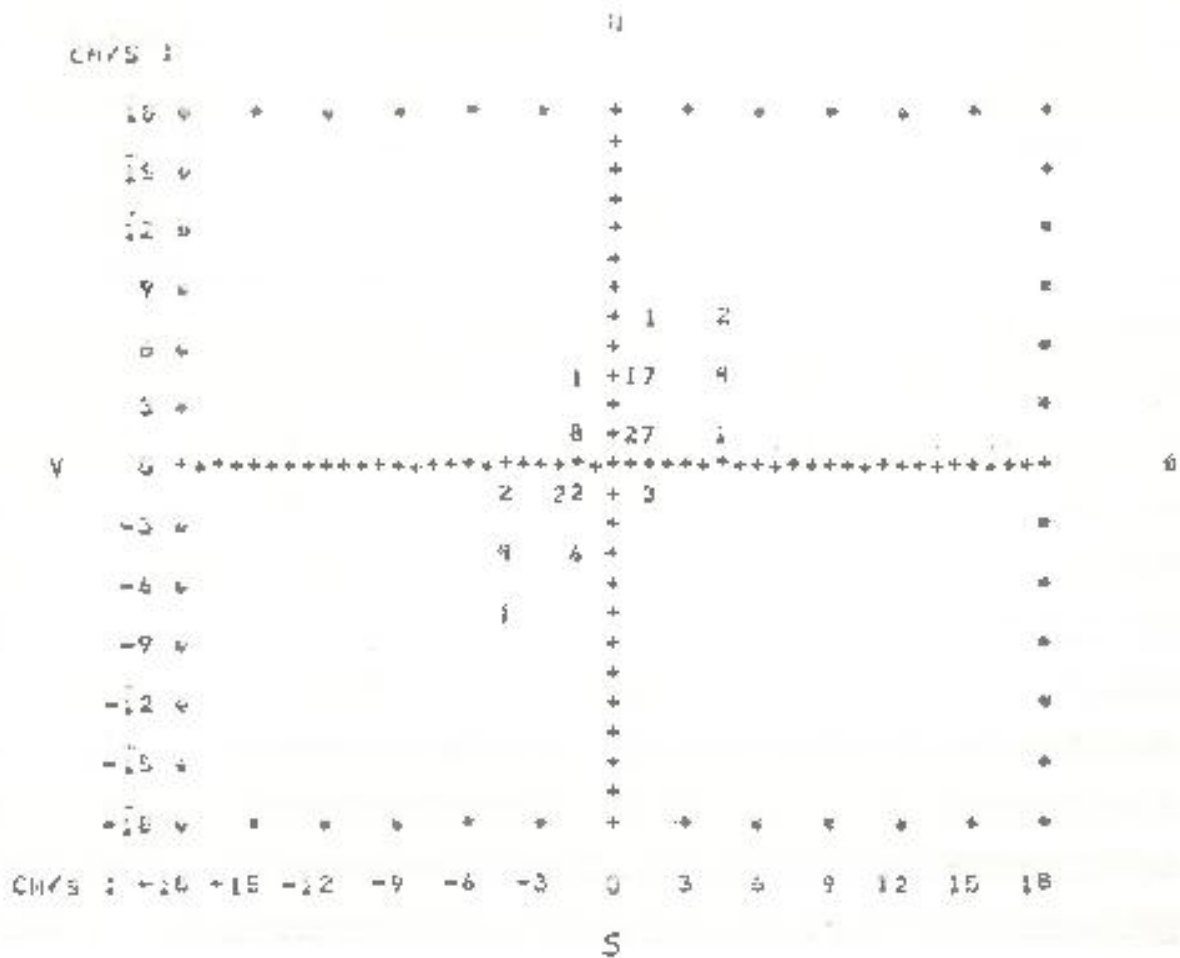


Fig. 7. Statistisk strømrose (%) i 16 m dyp nord for Rolsøy, 18. mai – 12. juni 1974. Måleren var bare 20 m fra land og strømmene er tydeligvis styrt av topografien. Det var en overvekt av målinger mot NNØ som støtter sirkulasjonsmønstret beskrevet i McClimans (1973). Det var stor variabilitet i tid, men strømmen var sterkere ved springflo enn ved nippflo og toppen mot NNØ kom ca 2 timer etter HV i Trondheim (Sjøkartverk, 1974) eller omtrent 3 timer etter maks innstrømning ved Straumen. Det var også tilfeller med økt NNØ strøm ved dette målestedet nord for Rolsøy ca. 3 timer etter maks utstrømning i Straumen. Det kan hende at jordrotasjon hadde noe med strømmingen rundt Rolsøy å gjøre i 1974.

I september 2012 ble strømkors lagt ut ved innløpet til Borgenfjorden for første gang siden 1971. De to datasett er vist på Fig. 8.

Resultatene viser at det har vært en vesentlig endring i strømningsmønstret siden IBP studien. Drivkraften til strømmene er tidevannsforskjeller i Borgenfjorden og Trondheimsfjorden. Det var spekulert at landhevingen vil kunne strupe innløpet å føre til en mindre vannutveksling i

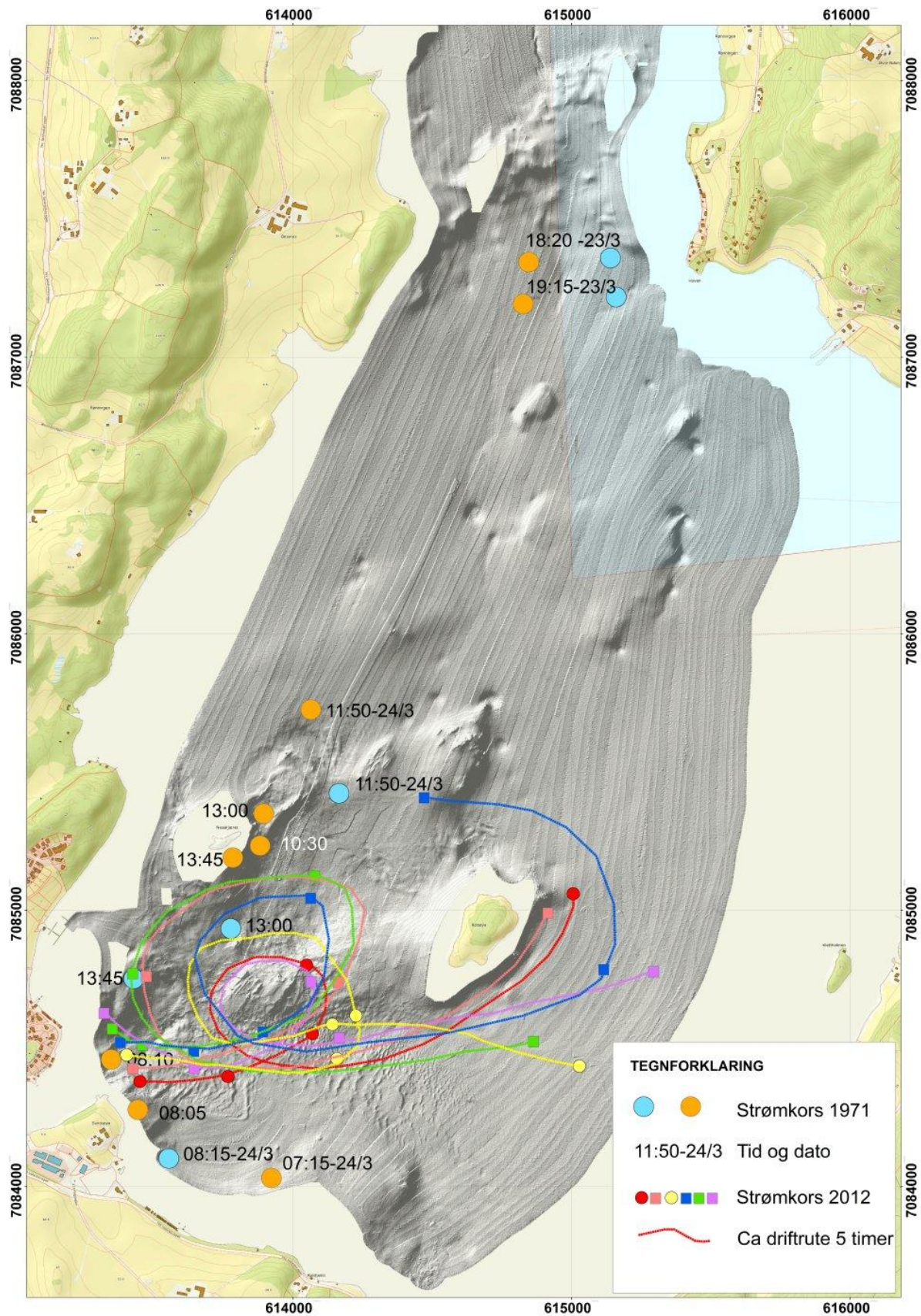


Fig. 8 Strømkorsbaner ved innløpet til Borgenfjorden

fjorden. På dette grunnlag ble det målt bunntrykk i fjorden gjennom flere tidevannsperioder for å kunne se forskjeller fra tidevannsrespons i 1969.

## 5 Vurdering av bunntrykksmålinger

Strømstyrken ved Straumen er avhengig av vannstandene i Trondheimsfjorden og Borgenfjorden. Bunntrykket ble målt med en VLR 740 trykkmåler i ca. 6 m dyp ved en kai nord for Straumen. Et eksempel på målingene den 19. september, sammenlignet med tidevanns-observasjoner ved Trondheim (<http://vannstand.no>) er vist på Fig. 9. Data fra Borgenfjorden ble justert til Trondheims data ved at det ble antatt lik vannstand på begge målepunkter da det var høyvann (HV) i Borgenfjorden. Det samme ble gjort for tidsseriene som ble målt i 1969 (McClimans, 1973).

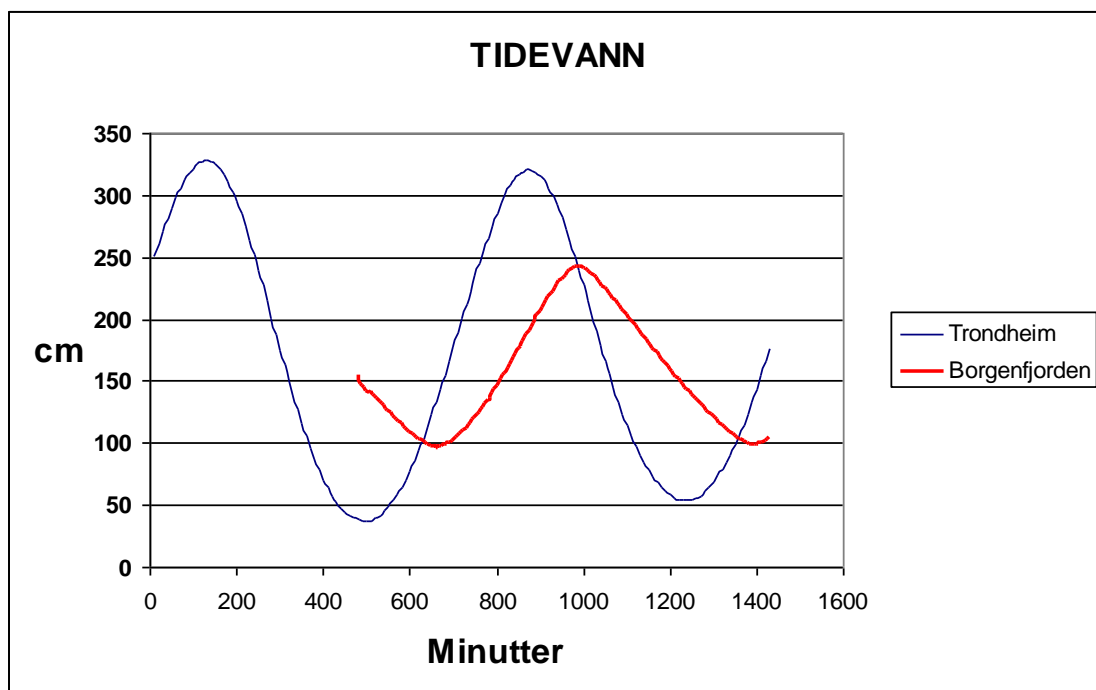


Fig. 9. Vannstandsmålinger i Trondheim (<http://vannstand.no>) og Borgenfjorden, 19. september 2012.

De tidligere data fra 1969 viste en symmetrisk respons der lavvann (LV) i Borgenfjorden også traff kurven i Trondheim. De nye resultatene i Fig. 9 viser en forsinkelse på over 30 min etter passeringen av den samme vannstand i Trondheim. Dvs. innstrømningen til Borgenfjorden tar minst én time mindre enn utstrømningen. De nye dataene ble målt ved springflo mens de fra 1969 ble målt ved niflo, der symmetrien er mer sannsynlig. Når påfyllingen skjer forttere blir strålehastigheten i innstrømningen større og turbulent blanding i fjorden også mer intens. For en rettferdig sammenligning måtte vi ha nye målinger ved niflo. Dette ble gjort i desember 2012 og resultatene er vist på Fig. 10.

En enkel teori om stråleblanding ble utviklet ved basis i de tidligere data fra Borgenfjorden (McClimans, 1978). I teorien er det antatt en harmonisk respons. To faktorer som påvirker responsen i Borgenfjorden er tverrsnittsarealet ved innløpet og amplituden til tidevannet. Blandeegenskaper i fjorden er en komplisert funksjon av de to. Den første forandres med

landheving, havstigning, erosjon, m.m. I det aktuelle området gir resultater som ligger over teorien mer effektiv blanding i Borgenfjorden (Fig. 10). Med teorien er det mulig å sammenligne de to ulike sett av observasjoner. Resultatene viser at responsen i Borgenfjorden i dag er større enn forventet ved stråleteorien. Dette kan bety at tverrsnittsarealet ved kontrollpunktet (innløpets smaleste seksjon) har økt siden 1969 eller at forutsetningene ved teorien ikke gjelder for større amplituder. Skjevheten vist i Fig. 9 viser at de større amplitudene er påvirket av bunnen.

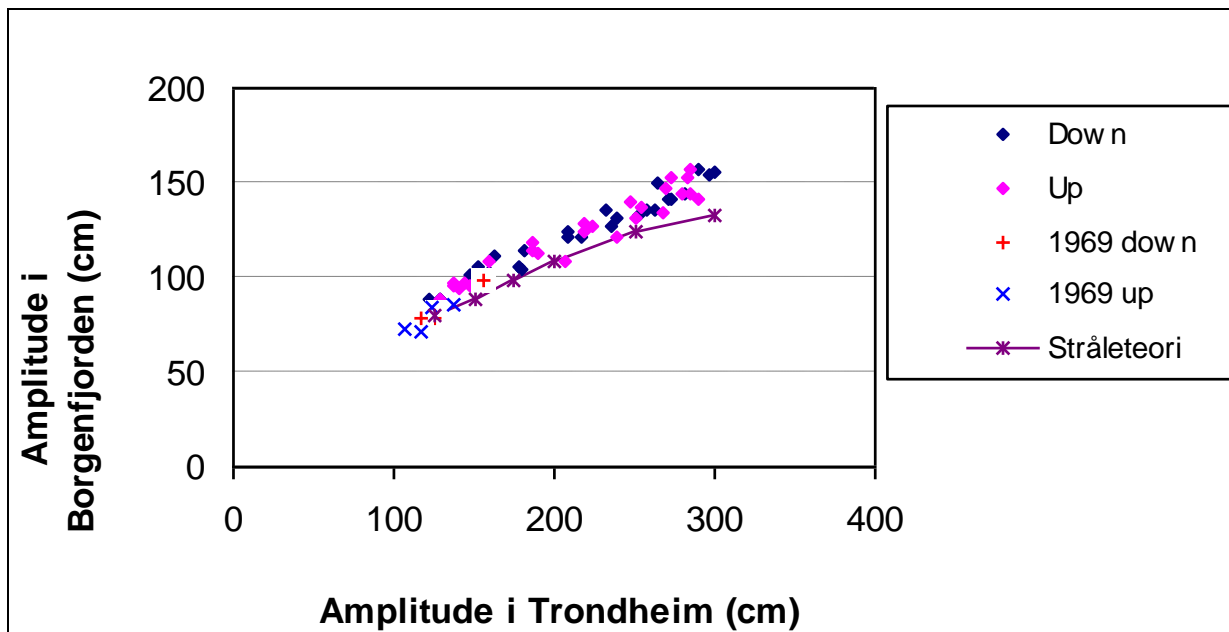


Fig. 10. Sammenligning av nye og gamle tidevannsamplituder i Borgenfjorden og Trondheim (<http://vannstand.no>). Her er "amplituden" vannstandsfor forskjell HV-LV.

Alternativet til et økt tverrsnittsareal er endringer i innløpet som kan ha dannet en mer strømlinjet vannvei med mindre motstand. [Bunnkartlegging fra Seisma dekker ikke store nok arealer av selve innløpet til å vurdere denne muligheten.] De nyeste drivmarkørdata viser at strømmønstreet ved innløpet er annerledes enn i 1971 (Fig. 8). Det kan hende at systemet er svært følsomt til retningen av innstrømmingen når den peker mot Rolsøy. I så fall vil en sirkulasjon mot klokka rundt Rolsøy kunne forsterke en innstrømning til høyre. Alt tyder på at de fysiske forholdene i forbindelse med vannutskifting (ventilasjon) i Hummeldalsdypet er forbedret med den "nye" sirkulasjonen (se også Tabell 1 og diskusjonen der).





## **VEDLEGG 2**

Analyserapport fra NGU; Kornfordeling, svovel, karbon og uorganiske miljøgifter

Metoden anvendes på analyseløsninger fremstilt ved ekstraksjon med 7 N HNO<sub>3</sub> i autoklav, i samsvar med Norsk Standard - NS 4770  
Analysen er således basert på partiell syreekstraksjon i 7N HNO<sub>3</sub> og de rapporterte analyseverdier representerer derfor ikke totalverdier i prøven

**INSTRUMENT:** Perkin Elmer SIMAA 6000

**METODE:** Metodeoppsettet er beskrevet i NGU-SD 2.12: Atomabsorpsjonsanalyse (GF-AAS) av ekstrakter (As, Cd, Pb, Se, Sn)

**NEDRE BESTEMMELSESGRENSER (LLQ) OG USIKKERHETER**, basert på fortynningsfaktor 1000, dvs. 1 g prøve fortynnes i 1000 ml analysevolum\*:

	Cd	Pb	As	Se	Sn
LLQ, mg/kg	0.02	0.6	1	1	2
INFO: 5·LLQ, mg/kg	0.1	3	5	5	10
INFO: Høyeste måleområde, mg/kg	2.5	50	50	100	100
Usikkerhet†, LLQ - 5·LLQ	40%	40%	30%	60%	30%
Usikkerhet†, 5·LLQ-høyeste måleområde	20%	20%	15%	30%	20%

\*For analyser med fortynningsfaktor som avviker fra 1000, blir deteksjonsgrensene og måleområdene automatisk omregnet.

†Oppgitte usikkerheter har dekningsfaktor 2 (2 standardavvik), noe som tilsvarer et konfidensintervall på 95 %.

**PREISISJON:** Det analyseres rutinemessig kontrollprøver som føres i kontrolldiagram (X-diagram). Disse kan forevises om ønskelig.

**ANTALL PRØVER:** 25

**ANMERKNINGER:** Ingen

Gjengivelse av analysedata skal skje på en slik måte at meningsinnholdet i rapporten ikke endres.

Ferdig analysert	23/ Nov/ 2012	Frank Berge
	Dato	OPERATØR

Prøve id.	As mg/kg	Cd mg/kg	Pb mg/kg
100051	19.9	0.16	25.3
100052	14.2	0.19	21.0
100053	22.7	0.19	22.2
100054	24.5	0.17	16.6
100055	19.7	0.14	17.7
100057	26.0	0.24	15.1
100059	15.9	0.22	18.9
100061	17.9	0.38	17.7
100063	18.0	0.41	15.8
100065	19.1	0.28	17.4
100067	19.3	0.25	16.7
100069	29.4	0.17	14.1
100071	11.7	0.1	18.9
100073	18.8	0.16	16.0
100076	24.6	0.23	14.6
100079	18.4	0.18	13.2
100082	15.8	0.17	15.2
100085	14.8	0.26	14.7
100088	14.5	0.19	12.4
100091	27.8	0.21	11.8
100094	15.0	0.11	15.4
100097	14.8	0.26	14.7
100100	19.6	0.33	13.6
100106	14.7	0.15	11.4
68961	15.8	0.22	13.5

**Metoden anvendes på analyseløsninger fremstilt ved ekstraksjon med 7 N HNO<sub>3</sub> i autoklav, i samsvar med Norsk Standard - NS 4770**  
Analysen er således basert på partiell dekomponering og de rapporterte analyseverdier representerer derfor ikke totalverdier i prøven

**INSTRUMENT:** CETAC M-6000A Hg Analyzer

**METODE:** Metodeoppsettet er beskrevet i NGU-SD 2.13: Atomabsorpsjonsanalyse (CV-AAS) av Hg i ekstrakter

**NEDRE BESTEMMELSESGRENSE (LLQ): 0.005 mg/kg (mg/kg = ppm)**

*\*Basert på fortynningsfaktor 100, dvs. 1 g prøve fortynnes i 100 ml analysevolum.*

*For analyser med fortynningsfaktor som avviker fra 100, blir deteksjonsgrensene og måleområdene automatisk omregnet.*

**ANALYSEUSIKKERHET:** 0.005 - 0.025 mg/kg: ± 40 % rel.

0.025 - 2.00 mg/kg: ± 20 % rel.

**Oppgitt usikkerhet har dekningsfaktor 2 (2 standardavvik), noe som tilsvarer et konfidensintervall på 95 %**

**PREISISJON:** Det analyseres rutinemessig kontrollprøver som føres i kontrolldiagram (X-diagram). Disse kan forevises om ønskelig.

**ANTALL PRØVER:** 25

**ANMERKNINGER:** Ingen

**Gjengivelse av analysedata skal skje på en slik måte at meningsinnholdet i rapporten ikke endres.**

Ferdig analysert	7/ Nov/ 2012	Frank Berge
	Dato	OPERATØR

Prøve ID	Hg [mg/kg]
100051	0.047
100052	0.049
100053	0.048
100054	0.047
100055	0.051
100057	0.049
100059	0.058
100061	0.080
100063	0.083
100065	0.049
100067	0.042
100069	0.044
100071	0.045
100073	0.042
100076	0.034
100079	0.031
100082	0.025
100085	0.025
100088	0.023
100091	0.024
100094	0.024
100097	0.023
100100	0.020
100106	0.021
68961	0.024

**Metoden anvendes på analyseløsninger fremstilt ved ekstraksjon med 7 N HNO<sub>3</sub> i autoklav i samsvar med Norsk Standard - NS 4770**

Eftersom denne syrestraksjonen er partiett, og ikke total, representerer de rapporterte analyseverdiene ikke totalinnhold i prøven.

**INSTRUMENT:** ICP-AES type Perkin Elmer Optima 4300 Dual View

**METODE:** Metodeoppsettet er beskrevet i NGU-SD 2.11: ICP-AES -analyse av ekstrakter

**NEDRE BESTEMMELSESGRENSER (LLQ) OG HØYESTE MÅLEOMRÅDE FOR ANALYSER BASERT PÅ AUTOKLAVEKSTRAKSJON (1 g prøve i 100 ml analysevolum)**

(For analyser med fortynningsfaktor som avviker fra 100, blir deteksjonsgrensene automatisk omregnet).

	Si	Al*	Fe*	Ti*	Mg*	Ca*	Na*	K*	Mn*	P*	Cu*	Zn*	Pb*	Ni*	Co*
LLQ	250	20	3	1	100	200	200	100	5	10	1	2	2	1	0.1
Høyeste målegrense	5000	50000	50000	8000	20000	300000	25000	10000	1000	1000	8000	1000	1000	8000	1000
	V*	Mo*	Cd*	Cr*	Ba*	Sr*	Zr*	B*	Be*	Li*	Sc*	Ce*	La*	Y*	As*
LLQ	1	1	0.1	1	1	1	2	10	0.1	0.5	0.1	2	0.3	0.1	2
Høyeste målegrense	8000	1000	200	8000	8000	1000	1000	1000	500	1000	1000	8000	1000	1000	8000

NB! NGU-lab er ikke akkreditert for Si (i ekstrakter).

(1 mg/kg = 1 ppm)

**ANALYSEUSIKKERHET:** i) Nedre måleområde (LLQ - 5\*LLQ):

± 25 % rel.: Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, Mn, Cu, Pb, Sr, Zr, B, Be, Li, Sc, Ce, La, Y ± 37.5 % rel.: Zn

± 50 % rel.: Ti, P, Co, V, Mo, As

ii) Øvre måleområde (> 5\*LLQ):

± 10 % rel.: Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, Mn, Cu, Pb, Ni, Cd, Cr, Ba, Sr, Zr, B, Be, Li, Sc, Ce, La, Y ± 15 % rel.: Zn

± 20 % rel.: Ti, P, Co, V, Mo, As

**Oppgitte usikkerheter har dekningsfaktor 2 (2 standardavvik), noe som tilsvarer et konfidensintervall på 95 %**

**PRESISJON:** Det analyseres rutinemessig kontrollprøver som føres i kontrolldiagram (X-diagram). Disse kan forevises om ønskelig.

**ANTALL PRØVER:** 25

**ANMERKNINGER:** Prøve med ID 100100 var analysert i 2 ulike runder og avvikende verdier for Ca og Sr relativt til nivået for disse parametre i andre prøver var bekreftet.

**Gjengivelse av analysedata skal skje på en slik måte at meningsinnholdet i rapporten ikke endres.**

Ferdig analysert	22-Nov-12	RuiKai Xie
	Dato	OPERATØR



Prøve ID	Si [mg/kg]	Al [mg/kg]	Fe [mg/kg]	Ti [mg/kg]	Mg [mg/kg]	Ca [mg/kg]	Na [mg/kg]	K [mg/kg]	Mn [mg/kg]	P [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Zn [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Co [mg/kg]
100051	325	29700	41500	1220	20100	9210	33700	10700	309	1310	30.3	128	23.1	46.5	12.8
100052	391	31700	40000	1310	20000	6490	24600	11000	318	925	33.4	142	19.2	49.8	13.8
100053	381	31800	43500	1310	19900	6180	24600	11100	305	891	33.9	143	21.3	50.3	13.9
100054	408	30800	46300	1310	19600	6070	24000	10600	306	826	32.5	141	19.0	49.4	13.9
100055	368	31300	46600	1310	20200	6240	23100	10800	323	793	33.0	145	19.3	50.1	14.0
100057	373	30800	51500	1330	19900	5850	23000	10600	344	755	37.0	158	19.9	48.1	14.2
100059	369	31000	46900	1320	20400	6040	22200	10600	351	729	40.5	169	21.5	48.5	14.2
100061	384	31700	49500	1360	21100	5990	22800	10800	349	719	37.3	174	21.8	50.7	14.6
100063	351	31700	50300	1370	21000	6270	19700	10600	356	707	35.8	173	20.8	49.6	14.8
100065	392	31600	47800	1380	20800	5990	18700	10500	347	704	32.8	153	19.3	50.3	15.1
100067	372	32200	48200	1360	21100	6020	18600	10600	359	702	32.3	152	20.5	52.1	15.4
100069	424	32300	51500	1360	21200	6310	18500	10600	371	698	31.7	147	19.5	52.5	15.5
100071	350	33600	45000	1400	21900	6510	17700	10900	370	693	31.3	150	20.1	51.3	15.2
100073	371	33600	48000	1370	21600	6270	18100	10900	368	703	31.5	151	20.4	52.5	15.7
100076	403	32400	49900	1360	20500	5810	14800	10400	373	687	33.0	128	18.7	53.0	16.6
100079	292	32100	47400	1410	20300	6010	16900	10400	382	719	29.2	127	17.3	48.8	14.2
100082	398	30300	44700	1340	19300	5830	15900	9720	342	724	28.2	118	17.1	48.2	13.9
100085	338	31000	44900	1350	19500	5840	15800	10000	346	718	27.9	116	18.6	47.9	14.1
100088	402	29800	44100	1360	19100	6090	15400	9580	346	728	28.0	110	15.9	47.9	13.6
100091	416	29900	47700	1380	19300	6170	15100	9650	341	722	27.1	110	17.7	46.5	13.5
100094	401	29400	41700	1340	19000	6580	14700	9430	340	736	26.1	110	16.1	46.5	13.4
100097	400	29900	44000	1340	19100	6210	14700	9620	348	728	27.2	111	16.9	46.7	13.6
100100	396	29600	44500	1300	18200	15800	14200	9600	332	735	26.5	106	16.0	45.3	13.1
100106	375	30900	45600	1360	19400	6140	14300	9970	351	701	25.5	109	16.4	47.1	14.2
68961	378	30800	46300	1390	19200	5930	14000	9950	358	724	27.2	110	16.8	48.9	14.1

Prøve ID	V	Mo	Cd	Cr	Ba	Sr	Zr	B	Be	Li	Sc	Ce	La	Y	As
	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
100051	87.3	1.1	<0.1	54.3	109	84.8	26.8	54	0.82	37.9	6.50	58.6	28.0	13.9	18.5
100052	100	3.7	0.12	60.9	115	61.7	31.6	51	0.93	40.5	7.15	63.7	30.5	15.3	15.2
100053	98.2	5.8	0.11	59.6	115	61.0	31.7	47	0.89	40.4	7.01	62.1	29.5	14.9	21.1
100054	94.9	6.4	0.13	59.4	113	58.4	32.1	45	0.87	39.5	6.93	60.2	28.8	14.6	22.6
100055	95.5	4.4	<0.1	60.2	117	57.3	32.6	45	0.90	40.1	6.98	60.6	28.8	14.7	18.8
100057	93.7	11.8	0.16	58.6	118	56.7	33.7	46	0.89	40.1	6.91	58.9	28.1	14.6	23.6
100059	92.7	8.0	0.14	59.2	119	56.2	34.7	46	0.91	39.2	7.03	61.3	29.0	15.1	16.2
100061	94.4	11.3	0.42	61.1	122	55.7	36.7	47	0.92	40.0	7.20	62.8	29.5	15.3	17.1
100063	89.9	12.5	0.38	59.0	120	53.1	37.0	45	0.89	40.0	6.98	62.2	29.1	15.0	17.6
100065	90.3	7.4	0.29	60.2	120	52.2	36.9	44	0.92	39.4	7.14	64.6	30.1	15.4	18.9
100067	90.1	9.2	0.27	61.8	121	51.8	38.2	46	0.94	39.8	7.35	64.9	30.3	15.7	18.4
100069	89.1	6.7	0.17	61.3	119	52.6	39.2	46	0.94	40.3	7.29	63.8	30.0	15.6	26.7
100071	92.2	1.9	<0.1	62.8	122	53.0	38.5	47	0.97	41.7	7.46	66.6	31.2	15.8	12.1
100073	94.9	5.7	0.17	63.6	124	53.4	39.3	49	0.98	41.5	7.52	66.5	31.1	15.9	17.8
100076	92.4	10.2	0.13	60.9	122	47.2	41.9	41	0.93	39.7	7.24	65.5	30.9	16.4	22.7
100079	95.3	9.2	0.20	60.1	116	51.3	36.0	46	0.89	39.3	7.07	62.7	29.7	15.2	17.6
100082	91.1	7.5	0.17	58.6	110	49.8	34.4	45	0.86	37.5	6.89	61.9	29.2	15.1	15.1
100085	91.0	5.7	0.26	58.7	112	49.6	34.5	43	0.87	38.4	6.93	62.6	29.7	15.1	14.8
100088	92.9	5.4	0.18	57.6	109	49.8	33.2	45	0.84	36.8	6.79	61.9	29.2	15.1	14.1
100091	91.8	6.1	0.25	57.5	108	50.1	33.4	43	0.82	37.3	6.71	59.9	28.5	15.0	24.0
100094	90.2	3.5	<0.1	57.2	105	50.0	32.8	44	0.83	36.6	6.77	61.4	29.2	15.1	15.2
100097	95.1	5.9	0.24	57.6	108	49.3	34.1	46	0.84	37.3	6.78	62.2	29.6	14.9	14.6
100100	96.0	10.8	0.32	54.0	105	108	33.7	44	0.79	37.1	6.48	58.8	28.0	14.5	18.4
100106	84.2	4.9	0.12	57.4	111	48.3	34.6	41	0.84	38.9	6.80	61.1	28.9	14.8	15.2
68961	91.7	8.5	0.22	58.7	111	48.6	35.1	43	0.85	38.4	6.93	62.6	29.6	15.3	15.9

**INSTRUMENT:**

Leco SC-444

**METODER:**

**BESTEMMELSER AV TOTALT KARBON (TC) / TOTALT SVOVEL (TS) / TOTALT ORGANISK KARBON (TOC)**

Forbrenningsanalyser i henhold til metodebeskrivelser i NGU-SD 2.14, NGU-SD 2.15 og NGU-SD 2.16.

**I) TOTALT KARBON (TC)**

Nedre bestemmelsesgrense [% C]: **0.07**

**Analyseusikkerhet**

Måleområde	Usikkerhet
0.07 - 0.5 %	± 0.07 %
> 0.5 %	± 15 % rel.

**II) TOTALT SVOVEL (TS)**

Nedre bestemmelsesgrense [% S]: **0.01**

**Analyseusikkerhet**

Måleområde	Usikkerhet
0.01 - 3.0 %	± 30 % rel.
> 3.0 %	± 20 % rel.

**III) TOTALT ORGANISK KARBON (TOC)**

Nedre bestemmelsesgrense [% TOC]: **0.1**

**Analyseusikkerhet**

Måleområde	Usikkerhet
0.1 - 3.0 %	± 25 % rel.
> 3.0 %	± 20 % rel.

**Oppgitte usikkerheter har dekningsfaktor 2 (2 standardavvik), noe som tilsvarer et konfidensintervall på 95 %.**

**PREISJON :**

Det analyseres rutinemessig kontrollprøver som føres i kontrolldiagram (X-diagram). Disse kan forevises om ønskelig.

**ANTALL PRØVER:**

25

**ANMERKNINGER:**

Pr nr 100097- TOC er analysert med 3 (tre) replikater pga stort avvik mellom parallelle. Prøveresultatet er gjennomsnittet av 3 parallelle. TS og TC er analysert med katalysator.

**Gjengivelse av analysedata skal skje på en slik måte at meningsinnholdet i rapporten ikke endres.**

Ferdig analysert

1/ Nov/ 2012

Anne Nordtømme

Dato

OPERATØR

Prøve ID	Svovel [%]	Karbon [%]	TOC [%]
100051	0.35	2.18	1.95
100052	0.35	2.27	2.13
100053	0.59	2.27	2.08
100054	1.01	2.04	1.89
100055	1.11	2.01	1.86
100057	1.72	2.07	1.89
100059	1.05	1.91	1.75
100061	1.29	1.80	1.65
100063	1.40	1.74	1.57
100065	1.07	1.57	1.42
100067	1.18	1.55	1.45
100069	1.51	1.55	1.46
100071	0.66	1.56	1.39
100073	1.02	1.62	1.43
100076	1.44	1.34	1.28
100079	1.32	1.53	1.40
100082	1.05	1.51	1.31
100085	1.06	1.56	1.48
100088	1.06	1.48	1.38
100091	1.43	1.45	1.29
100094	0.85	1.34	1.20
100097	1.01	1.39	1.49
100100	1.34	1.79	1.52
100106	1.25	1.29	1.14
68961	1.24	1.39	1.27

**INSTRUMENT:**

**Coulter LS 200**

**METODE:**

**Metodeoppsettet er beskrevet i NGU-SD 5.11: Kornfordelingsanalyser: Coulter laser partikkel teller.**

*Kornfordelingsbestemmelse basert på laserdiffraksjon. Laserlys brytes i ulike vinkler avhengig av størrelsen på partiklene, og registreres så av en rekke detektorer. De registrerte vinklene tilsvarer gitte partikkelstørrelser, og antall partikler er relatert til den intensiteten som den korresponderende detektoren registrerer. Kornfordelingen bestemmes således på volum-basis, med antagelse om ens tetthet på materialet vil kumulativ volum% være identisk med kumulativ masse%. Beregning på volum/masse-basis er basert på antagelse om sferiske partikler.*

**MÅLEOMRÅDE :**

**0.4 µm - 2000 mm**

**NB !** Metoden normaliserer alle data i måleområdet til sum 100 % (kumulativ %).  
Måleområdet går kun ned til 0.4 µm og dette settes som nullpunkt mhp. kumulativ %.  
Prøvene kan derfor inneholde materiale finere enn 0.4 µm.

**ANALYSEUSIKKERHET: ± 10 % [kumulativ masse(volum) %]**

*Usikkerheten er oppgitt med dekningsfaktor 2, tilsvarende et konfidensintervall på 95 %*

Bestemmelse av usikkerhet er basert på sammenligning av oppnådde resultater med sertifikatverdier for kvartstandard BCR-131, samt presisjonsdata.  
**MERK!** Metoden tar utgangspunkt i antagelse om sferiske partikler. For prøver som avviker fra dette kan usikkerheten være større.

**PRESISJON:**

**Det analyseres rutinemessig kontrollprøver som føres i kontrolldiagram (X-diagram). Disse kan forevises om ønskelig.**

**FORBEHANDLING:**

Ingen

**ANTALL PRØVER:**

**5**

**ANMERKNINGER:**

Data for fraksjoner >2000 µm er fremkommet ved gravimetriske bestemmelser.  
Prøvene er oksydert.

**Gjengivelse av analysedata skal skje på en slik måte at meningsinnholdet i rapporten ikke endres.**

Ferdig analysert

7-Nov-12

Wieslawa Koziel

Dato

OPERATØR

**Coulter data (Kumulativ volum % <=)**

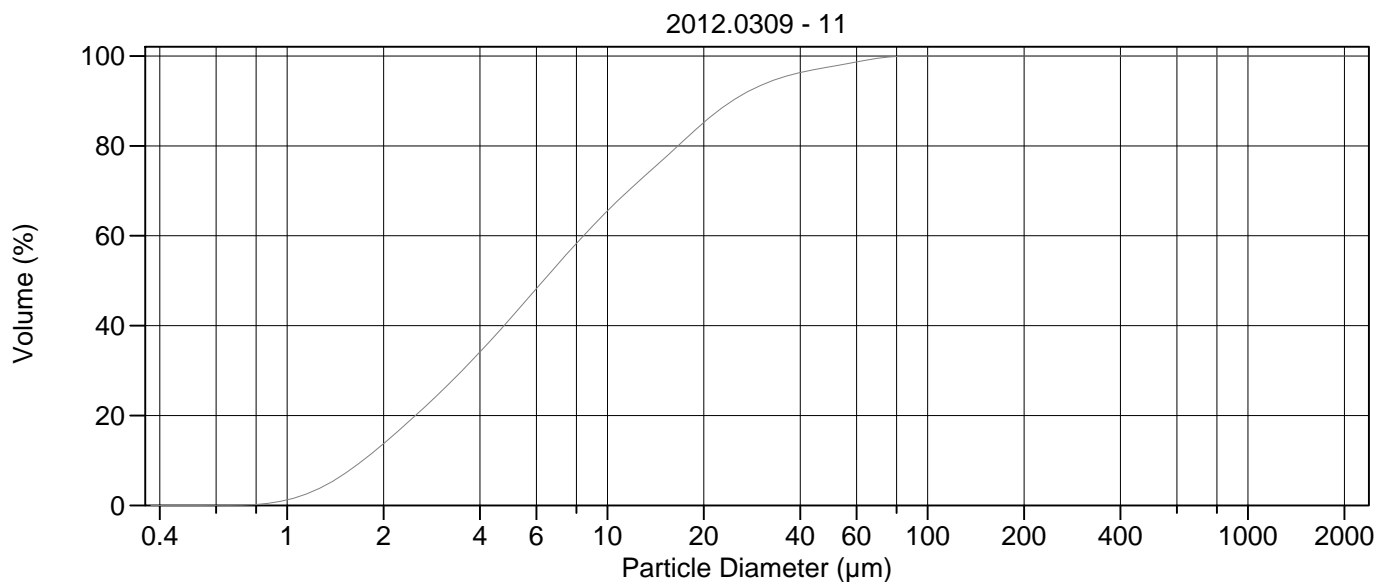
NGU prøvnr.	100053	100061	100071	100091	68961
Prøve nr. →					
Diameter(µm) ↓	3	11	21	41	61
0.375	0	0	0	0	0
0.412	0	0	0	0	0
0.452	0	0	0	0	0
0.496	0	0	0	0	0
0.545	0	0	0,000083	0	0
0.598	0,00065	0,00043	0,0026	0	0,000044
0.657	0,0091	0,0071	0,022	0,00038	0,002
0.721	0,055	0,047	0,096	0,0071	0,019
0.791	0,18	0,17	0,27	0,048	0,092
0.869	0,44	0,44	0,59	0,18	0,27
0.953	0,86	0,9	1,09	0,46	0,61
1.047	1,48	1,59	1,8	0,95	1,14
1.149	2,31	2,54	2,76	1,66	1,9
1.261	3,4	3,79	3,98	2,64	2,89
1.385	4,73	5,34	5,46	3,88	4,15
1.52	6,29	7,16	7,19	5,39	5,64
1.669	8,07	9,22	9,14	7,13	7,35
1.832	10	11,5	11,3	9,07	9,23
2.01	12,1	13,9	13,5	11,2	11,3
2.207	14,3	16,4	15,9	13,4	13,4
2.423	16,5	19	18,4	15,7	15,6
2.66	18,9	21,6	20,9	18	17,9
2.92	21,3	24,3	23,6	20,5	20,3
3.206	23,8	27,1	26,3	23,1	22,7
3.519	26,5	30	29,2	25,7	25,3
3.862	29,2	33	32,3	28,5	28
4.241	32,1	36,1	35,4	31,4	30,8
4.656	35,1	39,3	38,7	34,4	33,7
5.111	38,2	42,5	42	37,6	36,7
5.611	41,4	45,8	45,5	40,8	39,8
6.158	44,6	49,2	48,9	44	42,9
6.761	47,8	52,5	52,4	47,3	46,1
7.421	51	55,7	55,8	50,5	49,3
8.147	54,2	58,9	59,2	53,8	52,4
8.944	57,3	62	62,5	57	55,6
9.819	60,4	65	65,6	60,1	58,6
10.78	63,3	67,8	68,6	63,2	61,6
11.83	66,2	70,5	71,5	66,1	64,6
12.99	69	73,1	74,3	68,9	67,4
14.26	71,7	75,7	77,1	71,8	70,3
15.65	74,5	78,3	79,8	74,7	73,2
17.18	77,3	81	82,6	77,6	76,1
18.86	80,1	83,6	85,3	80,4	79
20.7	82,9	86,1	87,9	83,2	81,8
22.73	85,4	88,4	90,3	85,8	84,4
24.95	87,6	90,4	92,3	88,1	86,8
27.38	89,7	92,1	93,9	90,1	88,9
30.07	91,4	93,5	95,3	91,9	90,7
33	92,9	94,6	96,4	93,4	92,4
36.24	94,2	95,6	97,4	94,6	93,7



**Coulter data (Kumulativ volumum % <=)**

NGU prøvnr.	100053	100061	100071	100091	68961
Prøve nr. →					
Diameter(µm) ↓	3	11	21	41	61
39.77	95.2	96.3	98.2	95.6	94.8
43.66	96	96.9	98.8	96.4	95.6
47.93	96.7	97.4	99.3	97	96.3
52.63	97.4	97.9	99.7	97.6	97
57.77	98	98.5	99.9	98.2	97.6
63.41	98.7	99	100	98.8	98.4
69.62	99.3	99.5	100	99.4	99
76.43	99.8	99.8	100	99.8	99.6
83.9	100	100	100	100	99.9
92.09	100	100	100	100	100
101.1	100	100	100	100	100
111	100	100	100	100	100
121.8	100	100	100	100	100
133.7	100	100	100	100	100
146.8	100	100	100	100	100
161.2	100	100	100	100	100
176.8	100	100	100	100	100
194.2	100	100	100	100	100
213.2	100	100	100	100	100
234.1	100	100	100	100	100
256.8	100	100	100	100	100
282.1	100	100	100	100	100
309.6	100	100	100	100	100
339.8	100	100	100	100	100
373.1	100	100	100	100	100
409.6	100	100	100	100	100
449.7	100	100	100	100	100
493.6	100	100	100	100	100
541.9	100	100	100	100	100
594.9	100	100	100	100	100
653	100	100	100	100	100
716.9	100	100	100	100	100
786.9	100	100	100	100	100
863.9	100	100	100	100	100
948.2	100	100	100	100	100
1041	100	100	100	100	100
1143	100	100	100	100	100
1255	100	100	100	100	100
1377	100	100	100	100	100
1512	100	100	100	100	100
1660	100	100	100	100	100
1822	100	100	100	100	100
2000	100	100	100	100	100

File name:	11.\$02	21.\$02	41.\$02	61.\$02	89961
NGU prøvenr.	100063	100061	100071	100091	68961
Group ID:	2012.0309	2012.0309	2012.0309	2012.0309	2012.0309
Sample ID:	3	11	21	41	61
Operator:	W.Koziel	W.Koziel	W.Koziel	W.Koziel	W.Koziel
Comment	0.14µ ultralyd leire	0.15µ ultralyd leire	0.14µ ultralyd leire	0.14µ ultralyd leire	0.14µ ultralyd leire
Optical Model					
STATISTISKE PARAMETERE					
From	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375
To	2000	2000	2000	2000	2000
Volume	100	100	100	100	100
Mean:	12.04	10.71	9.753	11.92	12.57
Median:	7.215	6.311	6.344	7.311	7.588
D(3.2):	4.486	4.133	4.129	4.853	4.688
Mean/Median Ratio:	1.669	1.697	1.537	1.631	1.667
Mode:	6.452	5.878	5.878	6.452	7.083
95% Conf. Limits:	0	0	0	0	0
95% Conf. Limits:	37.97	34.52	28.4	37.09	39.65
S.D.:	13.23	12.15	9.513	12.84	13.81
Variance:	175	147.6	90.51	164.9	190.8
C.V.:	109.9	113.4	97.54	107.7	109.9
Skewness:	2.278	2.546	1.895	2.3	2.296
Kurtosis:	6.109	8.02	4.22	6.424	6.218
d10:	1.832	1.725	1.735	1.912	1.9
d50:	7.215	6.311	6.344	7.311	7.588
d90:	27.92	24.5	22.5	27.26	29
Specific Surf. Area	13347	14519	14533	12894	12798
% <	1.832	1.725	1.735	1.912	1.9
25	3.344	2.991	3.067	3.432	3.479
50	7.215	6.311	6.344	7.311	7.588
75	15.92	13.91	13.3	15.83	16.59
90	27.92	24.5	22.5	27.26	29
INTERPOLASJON					
Particle diameter	Volume	Volume	Volume	Volume	Volume
µm	% <	% <	% <	% <	% <
2	12	13.7	13.4	11	11.1
5	37.4	41.7	41.2	36.8	36
10	60.9	65.5	66.2	60.7	59.2
15	73.2	77.1	78.5	73.3	71.8
20	81.8	85.2	86.9	82.2	80.8
50	97	97.6	98.5	97.3	96.6
60	98.3	98.7	99.9	98.5	97.9
63	98.7	99	100	98.8	98.3
70	99.3	99.5	100	99.4	99.1
75	99.7	99.7	100	99.7	99.5
90	100	100	100	100	100
125	100	100	100	100	100
200	100	100	100	100	100
250	100	100	100	100	100
400	100	100	100	100	100
500	100	100	100	100	100
1000	100	100	100	100	100
2000	100	100	100	100	100



Volume Statistics (Arithmetic) 11.\$02

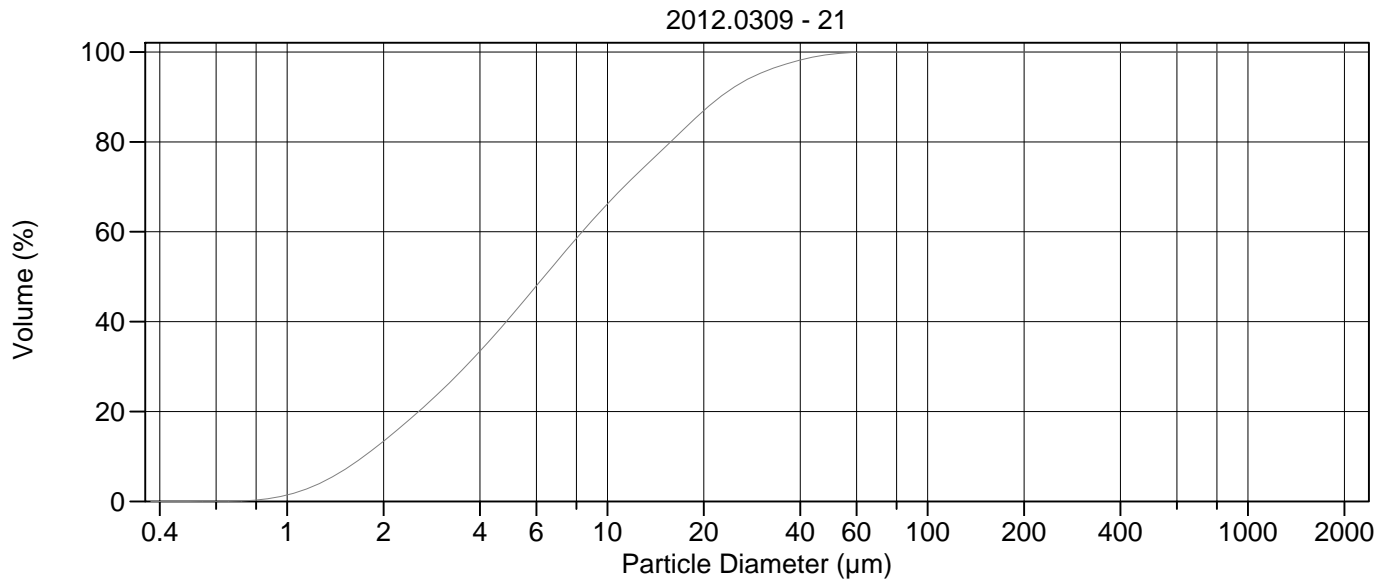
Calculations from 0.375 µm to 2000 µm

Volume	100.0%		
Mean:	10.71 µm	95% Conf. Limits:	0-34.52 µm
Median:	6.311 µm	S.D.:	12.15 µm
D(3,2):	4.133 µm	Variance:	147.6 µm <sup>2</sup>
Mean/Median Ratio:	1.697	C.V.:	113%
Mode:	5.878 µm	Skewness:	2.546 Right skewed
d <sub>10</sub> :	1.725 µm	Kurtosis:	8.020 Leptokurtic
d <sub>50</sub> :	6.311 µm		
d <sub>90</sub> :	24.50 µm		
Specific Surf. Area	14519 cm <sup>2</sup> /ml		

% <	10	25	50	75	90
Size µm	1.725	2.991	6.311	13.91	24.50

11.\$02

Particle Diameter µm	Volume % <	Particle Diameter µm	Volume % <
2.000	13.7	1000	100
5.000	41.7	2000	100
10.00	65.5		
15.00	77.1		
20.00	85.2		
50.00	97.6		
60.00	98.7		
63.00	99.0		
70.00	99.5		
75.00	99.7		
90.00	100.0		
125.0	100		
200.0	100		
250.0	100		
400.0	100		
500.0	100		



Volume Statistics (Arithmetic) 21.\$02

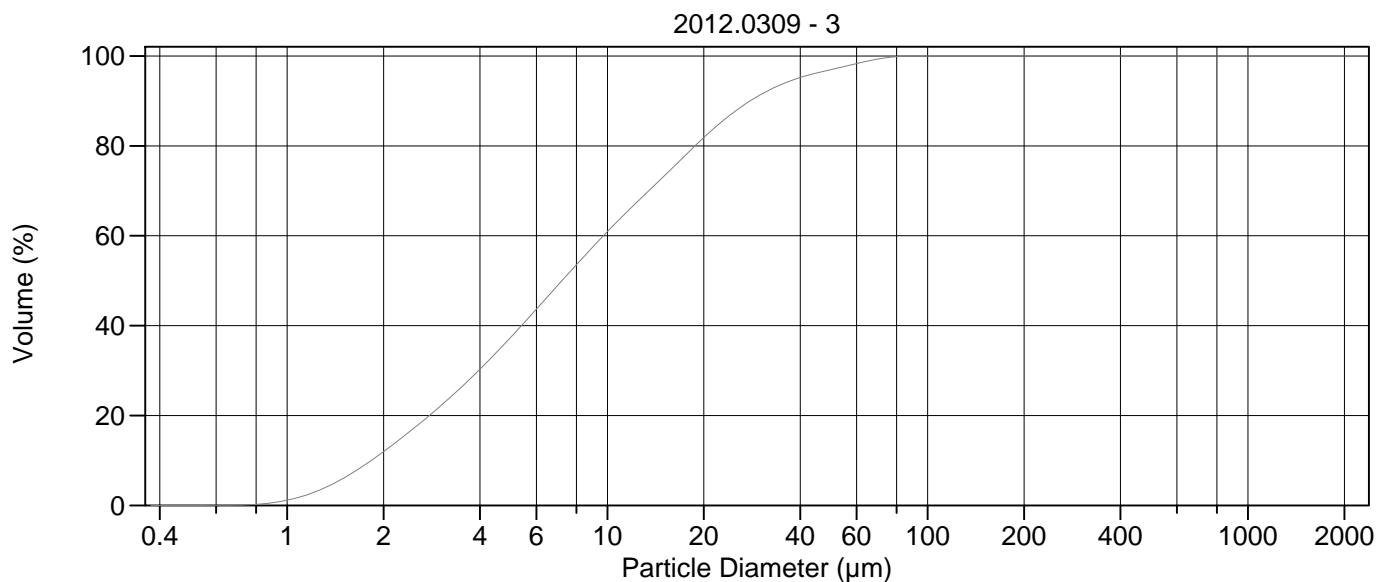
Calculations from 0.375 µm to 2000 µm

Volume	100.0%		
Mean:	9.753 µm	95% Conf. Limits:	0-28.40 µm
Median:	6.344 µm	S.D.:	9.513 µm
D(3,2):	4.129 µm	Variance:	90.51 µm <sup>2</sup>
Mean/Median Ratio:	1.537	C.V.:	97.5%
Mode:	5.878 µm	Skewness:	1.895 Right skewed
d <sub>10</sub> :	1.735 µm	Kurtosis:	4.220 Leptokurtic
d <sub>50</sub> :	6.344 µm		
d <sub>90</sub> :	22.50 µm		
Specific Surf. Area	14533 cm <sup>2</sup> /ml		

% <	10	25	50	75	90
Size µm	1.735	3.067	6.344	13.30	22.50

21.\$02

Particle Diameter µm	Volume % <	Particle Diameter µm	Volume % <
2.000	13.4	1000	100
5.000	41.2	2000	100
10.00	66.2		
15.00	78.5		
20.00	86.9		
50.00	99.5		
60.00	99.9		
63.00	100.0		
70.00	100.0		
75.00	100.0		
90.00	100		
125.0	100		
200.0	100		
250.0	100		
400.0	100		
500.0	100		



Volume Statistics (Arithmetic)

3#.\$02

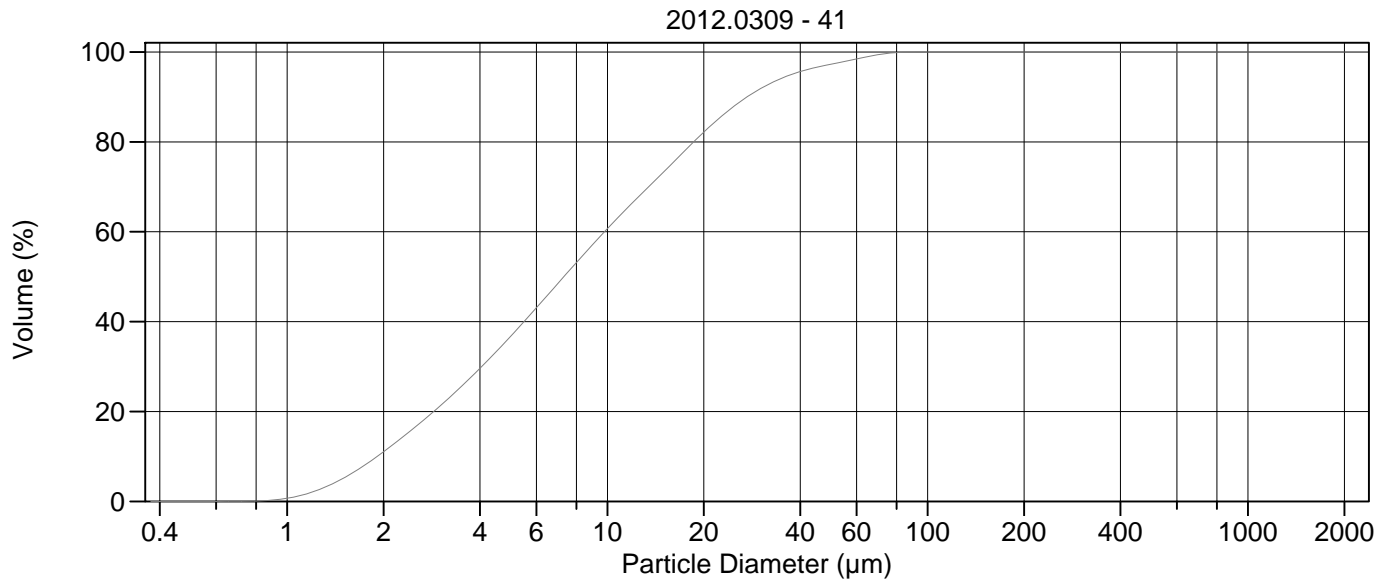
Calculations from 0.375 µm to 2000 µm

Volume	100.0%		
Mean:	12.04 µm	95% Conf. Limits:	0-37.97 µm
Median:	7.215 µm	S.D.:	13.23 µm
D(3,2):	4.496 µm	Variance:	175.0 µm <sup>2</sup>
Mean/Median Ratio:	1.669	C.V.:	110%
Mode:	6.452 µm	Skewness:	2.278 Right skewed
d <sub>10</sub> :	1.832 µm	Kurtosis:	6.109 Leptokurtic
d <sub>50</sub> :	7.215 µm		
d <sub>90</sub> :	27.92 µm		
Specific Surf. Area	13347 cm <sup>2</sup> /ml		

% <	10	25	50	75	90
Size µm	1.832	3.344	7.215	15.92	27.92

3#.\$02

Particle Diameter µm	Volume % <	Particle Diameter µm	Volume % <
2.000	12.0	1000	100
5.000	37.4	2000	100
10.00	60.9		
15.00	73.2		
20.00	81.8		
50.00	97.0		
60.00	98.3		
63.00	98.7		
70.00	99.3		
75.00	99.7		
90.00	100.0		
125.0	100		
200.0	100		
250.0	100		
400.0	100		
500.0	100		



Volume Statistics (Arithmetic) 41.\$02

Calculations from 0.375 µm to 2000 µm

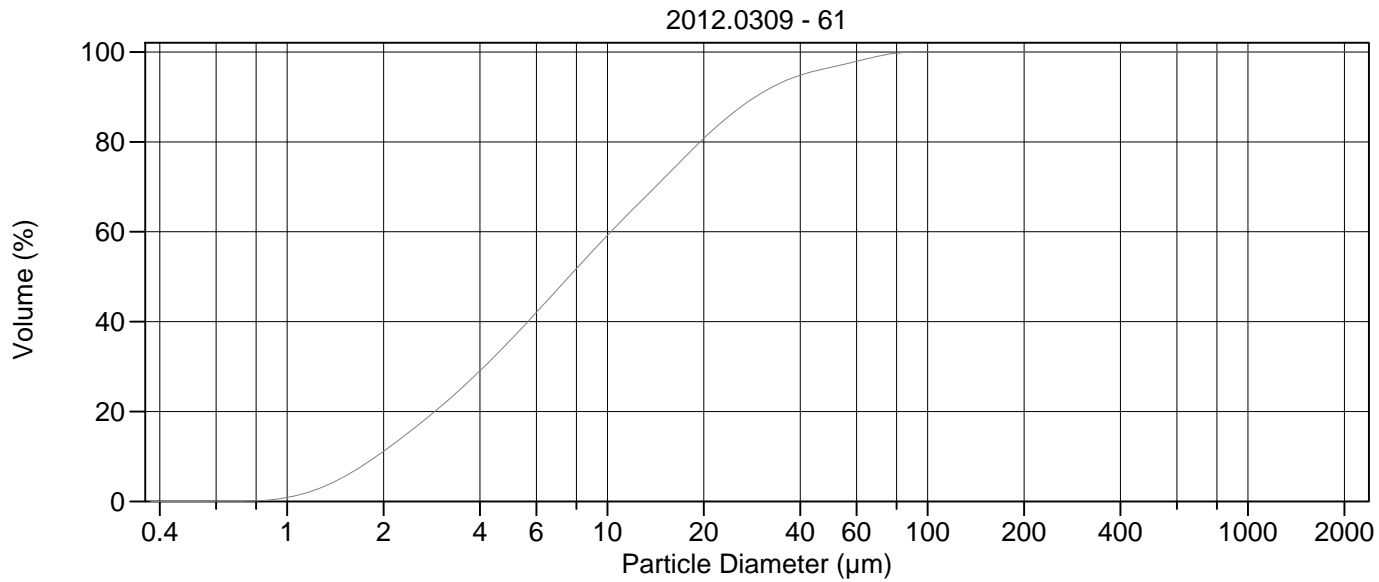
Volume	100.0%		
Mean:	11.92 µm	95% Conf. Limits:	0-37.09 µm
Median:	7.311 µm	S.D.:	12.84 µm
D(3,2):	4.653 µm	Variance:	164.9 µm <sup>2</sup>
Mean/Median Ratio:	1.631	C.V.:	108%
Mode:	6.452 µm	Skewness:	2.300 Right skewed
d <sub>10</sub> :	1.912 µm	Kurtosis:	6.424 Leptokurtic
d <sub>50</sub> :	7.311 µm		
d <sub>90</sub> :	27.26 µm		
Specific Surf. Area	12894 cm <sup>2</sup> /ml		

% <	10	25	50	75	90
Size µm	1.912	3.432	7.311	15.83	27.26

41.\$02

Particle Diameter µm	Volume % <	Particle Diameter µm	Volume % <
2.000	11.0	1000	100
5.000	36.8	2000	100
10.00	60.7		
15.00	73.3		
20.00	82.2		
50.00	97.3		
60.00	98.5		
63.00	98.8		
70.00	99.4		
75.00	99.7		
90.00	100.0		
125.0	100		
200.0	100		
250.0	100		
400.0	100		
500.0	100		





Volume Statistics (Arithmetic)

61.\$02

Calculations from 0.375 µm to 2000 µm

Volume	100.0%		
Mean:	12.57 µm	95% Conf. Limits:	0-39.65 µm
Median:	7.588 µm	S.D.:	13.81 µm
D(3,2):	4.688 µm	Variance:	190.8 µm <sup>2</sup>
Mean/Median Ratio:	1.657	C.V.:	110%
Mode:	7.083 µm	Skewness:	2.296 Right skewed
d <sub>10</sub> :	1.900 µm	Kurtosis:	6.218 Leptokurtic
d <sub>50</sub> :	7.588 µm		
d <sub>90</sub> :	29.00 µm		
Specific Surf. Area	12798 cm <sup>2</sup> /ml		

% <	10	25	50	75	90
Size µm	1.900	3.479	7.588	16.59	29.00

61.\$02

Particle Diameter µm	Volume % <	Particle Diameter µm	Volume % <
2.000	11.1	1000	100
5.000	36.0	2000	100
10.00	59.2		
15.00	71.8		
20.00	80.8		
50.00	96.6		
60.00	97.9		
63.00	98.3		
70.00	99.1		
75.00	99.5		
90.00	100.0		
125.0	100		
200.0	100		
250.0	100		
400.0	100		
500.0	100		

**OPPDRA GSGIVER:** Aivo Lepland      **NGU PROSJEKT :** 347800

**ANTALL PRØVER:** 64

**PRØVETYPE :**

**FUKTIGHET (Bestemt ved frysetørking)**

**Beregninger**

$$\Delta X_{G1} = B - C \Rightarrow Y_{G1} = \frac{B - C}{A} \bullet 100 = \frac{\Delta X_{G1}}{A} \bullet 100$$

A: Vekt av prøve    B: Vekt av prøve+emballasje    C: Vekt prøve+emballasje etter tørking     $\Delta X_{G1}$  :Vekttap (Vannvekt)     $Y_{G1}$ : % Vekttap (%Fuktighet)

**Analyseusikkerhet : 8 % rel. (1  $\sigma$ -nivå)**

**Utstyr:** Frysetørker FreeZone 6L med FreeZone Bulk Tray Dryer (BTD) fra Labconco (- 55 grd), med Vacuumbrand RC-6 pumpe.

**ANMERKNINGER:**

**Rapporten må ikke gjengis i utdrag uten skriftlig godkjenning fra NGU-Lab.**

Ferdig analysert	15/ Oct/ 2012	Clea Fabian
	Dato	OPERATØR

NGU prøvenr.	B: Vekt av prøve+emballasje (g) våt	A: Vekt av prøve (g) våt	C: Vekt prøve+emballasje (g) tørr	Posevekt (g)	1.9
				$\Delta X_{G1}$ : Vekttap (g) (Vannvekt)	$Y_{G1}$ : %Vekttap (%Fuktighet)
100051	29.702	27.80	8.629	21.07	75.8
100052	27.543	25.64	9.857	17.69	69.0
100053	25.873	23.97	9.607	16.27	67.9
100054	37.429	35.53	13.447	23.98	67.5
100055	29.913	28.01	11.097	18.82	67.2
100056	34.839	32.94	12.896	21.94	66.6
100057	28.941	27.04	10.901	18.04	66.7
100058	31.237	29.34	11.740	19.50	66.5
100059	31.695	29.80	11.973	19.72	66.2
100060	41.856	39.96	15.797	26.06	65.2
100061	24.188	22.29	9.540	14.65	65.7
100062	37.648	35.75	14.683	22.97	64.2
100063	33.065	31.17	13.298	19.77	63.4
100064	28.008	26.11	12.110	15.90	60.9
100065	36.307	34.41	16.164	20.14	58.5
100066	33.720	31.82	14.484	19.24	60.5
100067	46.569	44.67	19.456	27.11	60.7
100068	30.925	29.03	13.541	17.38	59.9
100069	30.593	28.69	13.101	17.49	61.0
100070	37.961	36.06	16.188	21.77	60.4
100071	28.760	26.86	12.600	16.16	60.2
100072	44.690	42.79	19.002	25.69	60.0
100073	42.040	40.14	17.911	24.13	60.1
100074	39.741	37.84	17.596	22.15	58.5
100075	28.433	26.53	13.483	14.95	56.3
100076	34.297	32.40	16.554	17.74	54.8
100077	39.262	37.36	19.167	20.10	53.8
100078	31.867	29.97	14.328	17.54	58.5
100079	34.160	32.26	15.477	18.68	57.9
100080	36.712	34.81	17.436	19.28	55.4
100081	36.866	34.97	16.824	20.04	57.3
100082	41.851	39.95	19.596	22.26	55.7
100083	31.717	29.82	14.487	17.23	57.8
100084	36.348	34.45	16.759	19.59	56.9
100085	34.392	32.49	16.158	18.23	56.1
100086	33.490	31.59	15.897	17.59	55.7
100087	33.632	31.73	15.647	17.99	56.7
100088	38.361	36.46	18.025	20.34	55.8
100089	34.397	32.50	16.413	17.98	55.3
100090	39.631	37.73	18.980	20.65	54.7
100091	29.839	27.94	14.666	15.17	54.3
100092	35.915	34.02	17.591	18.32	53.9
100093	40.758	38.86	19.737	21.02	54.1
100094	41.186	39.29	20.123	21.06	53.6
100095	35.355	33.46	17.576	17.78	53.1
100096	37.656	35.76	18.049	19.61	54.8
100097	39.570	37.67	19.024	20.55	54.5
100098	39.148	37.25	18.962	20.19	54.2
100099	37.877	35.98	18.264	19.61	54.5
100100	34.501	32.60	17.095	17.41	53.4
100101	76.260	74.36	36.473	39.79	53.5
100102	57.680	55.78	28.006	29.67	53.2
100103	71.340	69.44	35.058	36.28	52.2
100104	81.250	79.35	38.455	42.80	53.9
100105	75.160	73.26	36.313	38.85	53.0
100106	74.420	72.52	35.851	38.57	53.2
100107	74.930	73.03	36.427	38.50	52.7
100108	67.070	65.17	33.783	33.29	51.1
100109	80.670	78.77	40.528	40.14	51.0
100110	68.910	67.01	35.072	33.84	50.5
68961	65.140	63.24	32.141	33.00	52.2
68962	68.510	66.61	34.088	34.42	51.7
68963	73.160	71.26	37.973	35.19	49.4
68964	71.590	69.69	36.446	35.14	50.4



### **VEDLEGG 3**

Analyserapport fra Eurofins Norsk Miljøanalyse AS; Organiske miljøgifter



**Eurofins Environment Testing Norway**

**AS (Moss)**

F. reg. 965 141 618 MVA

Møllebakken 50

NO-1538 Moss

Tlf: +47 69 00 52 00

Fax: +47 69 27 23 40

Norges Geologiske Undersøkelse NGU

Postboks 6315 Sluppen

7491 TRONDHEIM

**Attn: Oddvar Longva**

**AR-13-MM-003623-01**



**EUNOMO-00069746**

Prøvemottak: 12.02.2013

Temperatur:

Analyseperiode: 12.02.2013-07.03.2013

Referanse: Sedimentprøver

## ANALYSERAPPORT

---

Tegnforklaring:

\* (Ikke omfattet av akkrediteringen)

< :Lilnre enn, > :Større enn, nd :Ikke påvist, MPN :Most Probable Number, cfu :Colony Forming Units, MU :Uncertainty of Measurement, LOQ :Kvantifiseringsgrense

Opplysninger om måleusikkerhet fås ved henvendelse til laboratoriet.

Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).



Prøvenr.: 439-2013-02120142	Prøvetakingsdato: 12.02.2013
Prøvetype: Sedimenter	Prøvetaker: Oppdragsgiver
Prøvemerking: P1220011 D 0-5	Analysestartdato: 12.02.2013

Analyse	Resultat	Enhet	MU	Metode	LOQ	Grenseverdi
<b>a) Pentachlorobenzene from CA66J</b>						
a) Pentaklorbenzen	<0.1	mg/kg tv		Internal method 2004	0.1	
<b>a) Pentachlorophenol from CA66F</b>						
a) Pentaklorfenol	<5	µg/kg tv		Internal method 0273	5	
a) Cyanid, fritt	1100	µg/kg TS		ISO 17380	1000	
<b>a) 1,2,4,5-Tetrachlorobenzene from CA66J</b>						
a) 1,2,4,5-Tetraklorbenzen	<0.3	mg/kg tv		Internal method 2004	0.3	
<b>a)* DDD, o,p'- from CA66J</b>						
a)* o,p'-DDD	<0.01	mg/kg tv		Internal method 2004	0.01	
<b>a)* DDD, p,p''- from CA66J</b>						
a)* p,p'-DDD	<0.01	mg/kg tv		Internal method 2004	0.01	
<b>a)* DDE, o,p'- from CA66J</b>						
a)* o,p'-DDE	<0.01	mg/kg tv		Internal method 2004	0.01	
<b>a)* DDE, p,p'- from CA66J</b>						
a)* p,p'-DDE	<0.01	mg/kg tv		Internal method 2004	0.01	
<b>a) DDT, o,p'- from CA66J</b>						
a) o,p'-DDT	<0.04	mg/kg tv		Internal method 2004	0.04	
<b>a) DDT, p,p'- from CA66J</b>						
a) p,p'-DDT	<0.04	mg/kg tv		Internal method 2004	0.04	
<b>a) HCH, gamma - Lindane from CA66J</b>						
a) gamma-HCH (Lindan)	<0.001	mg/kg tv		Internal method 2004	0.001	
<b>a) Hexachlorobenzene (HCB) from CA66J</b>						
a) Heksaklorbenzen	<0.03	mg/kg tv		Internal method 2004	0.03	
Total tørstoff	33	%	12%	NS 4764	0.02	
<b>Totale hydrocarboner (THC)</b>						
THC >C5-C8	<5	mg/kg TS		ISO/DIS 16703-Mod	5	
THC >C8-C10	<5	mg/kg TS		ISO/DIS 16703-Mod	5	
THC >C10-C12	<5	mg/kg TS		ISO/DIS 16703-Mod	5	
THC >C12-C16	<5	mg/kg TS		ISO/DIS 16703-Mod	5	
THC >C16-C35	90	mg/kg TS	30%	ISO/DIS 16703-Mod	20	
SUM THC (>C5-C35)	90	mg/kg TS		ISO/DIS 16703-Mod		
<b>PAH 16 EPA</b>						
Naftalen	<0.01	mg/kg TS		ISO/DIS 16703-Mod	0.01	
Acenaftylen	<0.01	mg/kg TS		ISO/DIS 16703-Mod	0.01	
Acenaften	<0.01	mg/kg TS		ISO/DIS 16703-Mod	0.01	
Fluoren	<0.01	mg/kg TS		ISO/DIS 16703-Mod	0.01	
Fenantren	<0.01	mg/kg TS		ISO/DIS 16703-Mod	0.01	
Antraoen	<0.01	mg/kg TS		ISO/DIS 16703-Mod	0.01	
Fluoranten	0.024	mg/kg TS	25%	ISO/DIS 16703-Mod	0.01	
Pyren	0.014	mg/kg TS	25%	ISO/DIS 16703-Mod	0.01	
Benzo[a]antraoen	0.011	mg/kg TS	25%	ISO/DIS 16703-Mod	0.01	
Krysen/Trifenylen	0.022	mg/kg TS	35%	ISO/DIS 16703-Mod	0.01	

**Tegnforklaring:**

\* (ikke omfattet av akkrediteringen)

&lt; :/Indre enn, &gt; :Større enn, nd :ikke påvist, MPN :Most Probable Number, cfu :Colony Forming Units, MU :Uncertainty of Measurement, LOQ :Kvantifiseringsgrense

Opplysninger om måleusikkerhet fås ved henvendelse til laboratoriet.

Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).

Side 2 av 7





Benzo[b]fluoranten	0.016 mg/kg TS	25% ISO/DIS 16703-Mod	0.01
Benzo[k]fluoranten	0.014 mg/kg TS	25% ISO/DIS 16703-Mod	0.01
Benzo[a]pyren	<0.01 mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	0.01
Indeno[1,2,3-cd]pyren	<0.01 mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	0.01
Dibenzo[a,h]antraecen	<0.01 mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	0.01
Benzo[ghi]perylen	<0.01 mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	0.01
Sum PAH(16) EPA	0.10 mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	
<b>PCB 7</b>			
PCB 28	<0.0005 mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	0.0005
PCB 52	<0.0005 mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	0.0005
PCB 101	<0.0005 mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	0.0005
PCB 118	<0.0005 mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	0.0005
PCB 138	<0.0005 mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	0.0005
PCB 153	<0.0005 mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	0.0005
PCB 180	<0.0005 mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	0.0005
Sum 7 PCB	nd mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	
Tributyltinn (TBT)	<1 µg/kg TS	40% Intern metode	1

**Tegnforklaring:**

\* (Ikke omfattet av akkrediteringen)

&lt; : Mindre enn, &gt; : Større enn, nd : Ikke påvist, MPN : Most Probable Number, cfu : Colony Forming Units, MU : Uncertainty of Measurement, LOQ : Kvantifiseringsgrense

Opplysninger om måleusikkerhet fås ved henvendelse til laboratoriet.

Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).

Side 3 av 7



Prøvenr.:	<b>439-2013-02120143</b>	Prøvetakingsdato:	12.02.2013			
Prøvetype:	Sedimenter	Prøvetaker:	Oppdragsgiver			
Prøvemerking:	P1220011 D 10-15	Analysestartdato:	12.02.2013			
Analyse	Resultat:	Enhet:	MU	Metode:	LOQ:	Grenseverdi
<b>a) Pentachlorobenzene from CA66J</b>						
a) Pentaklorbenzen	<0.1	mg/kg tv		Internal method 2004	0.1	
<b>a) Pentachlorophenol from CA66F</b>						
a) Pentaklorfenol	<5	µg/kg tv		Internal method 0273	5	
a) Cyanid, fritt	<1000	µg/kg TS		ISO 17380	1000	
<b>a) 1,2,4,5-Tetrachlorobenzene from CA66J</b>						
a) 1,2,4,5-Tetraklorbenzen	<0.3	mg/kg tv		Internal method 2004	0.3	
<b>a)* DDD, o,p'- from CA66J</b>						
a)* o,p'-DDD	<0.01	mg/kg tv		Internal method 2004	0.01	
<b>a)* DDD, p,p'''- from CA66J</b>						
a)* p,p'-DDD	<0.01	mg/kg tv		Internal method 2004	0.01	
<b>a)* DDE, o,p'- from CA66J</b>						
a)* o,p'-DDE	<0.01	mg/kg tv		Internal method 2004	0.01	
<b>a)* DDE, p,p'- from CA66J</b>						
a)* p,p'-DDE	<0.01	mg/kg tv		Internal method 2004	0.01	
<b>a) DDT, o,p'- from CA66J</b>						
a) o,p'-DDT	<0.04	mg/kg tv		Internal method 2004	0.04	
<b>a) DDT, p,p'- from CA66J</b>						
a) p,p'-DDT	<0.04	mg/kg tv		Internal method 2004	0.04	
<b>a) HCH, gamma - Lindane from CA66J</b>						
a) gamma-HCH (Lindan)	<0.001	mg/kg tv		Internal method 2004	0.001	
<b>a) Hexachlorobenzene (HCB) from CA66J</b>						
a) Heksaklorbenzen	<0.03	mg/kg tv		Internal method 2004	0.03	
Total tørrstoff	40	%	12%	NS 4764	0.02	
<b>Totale hydrocarboner (THC)</b>						
THC >C5-C8	<5	mg/kg TS		ISO/DIS 16703-Mod	5	
THC >C8-C10	<5	mg/kg TS		ISO/DIS 16703-Mod	5	
THC >C10-C12	<5	mg/kg TS		ISO/DIS 16703-Mod	5	
THC >C12-C16	<5	mg/kg TS		ISO/DIS 16703-Mod	5	
THC >C16-C35	36	mg/kg TS	30%	ISO/DIS 16703-Mod	20	
SUM THC (>C5-C35)	36	mg/kg TS		ISO/DIS 16703-Mod		
<b>PAH 16 EPA</b>						
Naftalen	<0.01	mg/kg TS		ISO/DIS 16703-Mod	0.01	
Acenaftylen	<0.01	mg/kg TS		ISO/DIS 16703-Mod	0.01	
Acenaften	<0.01	mg/kg TS		ISO/DIS 16703-Mod	0.01	
Fluoren	<0.01	mg/kg TS		ISO/DIS 16703-Mod	0.01	
Fenantren	0.026	mg/kg TS	25%	ISO/DIS 16703-Mod	0.01	
Antraoen	<0.01	mg/kg TS		ISO/DIS 16703-Mod	0.01	
Fluoranten	0.075	mg/kg TS	25%	ISO/DIS 16703-Mod	0.01	
Pyren	0.038	mg/kg TS	25%	ISO/DIS 16703-Mod	0.01	
Benzo[a]antraoen	0.032	mg/kg TS	25%	ISO/DIS 16703-Mod	0.01	
Krysen/Trifenylen	0.049	mg/kg TS	35%	ISO/DIS 16703-Mod	0.01	

**Tegnforklaring:**

\* (Ikke omfattet av akkrediteringen)

&lt; :Mindre enn, &gt; :Større enn, nd :ikke påvist, MPN :Most Probable Number, cfu :Colony Forming Units, MU :Uncertainty of Measurement, LOQ :Kvantifiseringsgrense

Opplysninger om måleusikkerhet fås ved henvendelse til laboratoriet.

Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).

Side 4 av 7



Benzo[b]fluoranten	0.051 mg/kg TS	25% ISO/DIS 16703-Mod	0.01
Benzo[k]fluoranten	0.039 mg/kg TS	25% ISO/DIS 16703-Mod	0.01
Benzo[a]pyren	0.024 mg/kg TS	25% ISO/DIS 16703-Mod	0.01
Indeno[1,2,3-cd]pyren	0.023 mg/kg TS	30% ISO/DIS 16703-Mod	0.01
Dibenzo[a,h]antraoen	<0.01 mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	0.01
Benzo[ghi]perylen	0.033 mg/kg TS	40% ISO/DIS 16703-Mod	0.01
Sum PAH(16) EPA	0.39 mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	
<b>PCB 7</b>			
PCB 28	<0.0005 mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	0.0005
PCB 52	<0.0005 mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	0.0005
PCB 101	<0.0005 mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	0.0005
PCB 118	<0.0005 mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	0.0005
PCB 138	<0.0005 mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	0.0005
PCB 153	<0.0005 mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	0.0005
PCB 180	<0.0005 mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	0.0005
Sum 7 PCB	nd mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	
Tributyltinn (TBT)	<1 µg/kg TS	40% Intern metode	1

**Teqnforklaring:**

\* (ikke omfattet av akkrediteringen)

< :lindre enn, > :Storre enn, nd :ikke pavisst, MPN :Most Probable Number, cfu :Colony Forming Units, MU :Uncertainty of Measurement, LOQ :Kvantifiseringsgrense

Opplysninger om muleusikkerhet fås ved henvendelse til laboratoriet.

Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenneise. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).

Side 5 av 7



Prøvenr.:	<b>439-2013-02120144</b>	Prøvetakingsdato:	12.02.2013			
Prøvetype:	Sedimenter	Prøvetaker:	Oppdragsgiver			
Prøvemerking:	P1220011 D 25-30	Analysestartdato:	12.02.2013			
Analyse	Resultat:	Enhet:	MU	Metode:	LOQ:	Grenseverdi
<b>a) Pentachlorobenzene from CA66J</b>						
a) Pentaklorbenzen	<0.1	mg/kg tv		Internal method 2004	0.1	
<b>a) Pentachlorophenol from CA66F</b>						
a) Pentaklorfenol	<5	µg/kg tv		Internal method 0273	5	
a) Cyanid, fritt	<1000	µg/kg TS		ISO 17380	1000	
<b>a) 1,2,4,5-Tetrachlorobenzene from CA66J</b>						
a) 1,2,4,5-Tetraklorbenzen	<0.3	mg/kg tv		Internal method 2004	0.3	
<b>a)* DDD, o,p'- from CA66J</b>						
a)* o,p'-DDD	<0.01	mg/kg tv		Internal method 2004	0.01	
<b>a)* DDD, p,p''- from CA66J</b>						
a)* p,p'-DDD	<0.01	mg/kg tv		Internal method 2004	0.01	
<b>a)* DDE, o,p'- from CA66J</b>						
a)* o,p'-DDE	<0.01	mg/kg tv		Internal method 2004	0.01	
<b>a)* DDE, p,p'- from CA66J</b>						
a)* p,p'-DDE	<0.01	mg/kg tv		Internal method 2004	0.01	
<b>a) DDT, o,p'- from CA66J</b>						
a) o,p'-DDT	<0.04	mg/kg tv		Internal method 2004	0.04	
<b>a) DDT, p,p'- from CA66J</b>						
a) p,p'-DDT	<0.04	mg/kg tv		Internal method 2004	0.04	
<b>a) HCH, gamma - Lindane from CA66J</b>						
a) gamma-HCH (Lindan)	<0.001	mg/kg tv		Internal method 2004	0.001	
<b>a) Hexachlorobenzene (HCB) from CA66J</b>						
a) Heksaklorbenzen	<0.03	mg/kg tv		Internal method 2004	0.03	
Total tørrstoff	30	%	12%	NS 4784	0.02	
<b>Totale hydrocarboner (THC)</b>						
THC >C5-C8	<5	mg/kg TS		ISO/DIS 16703-Mod	5	
THC >C8-C10	<5	mg/kg TS		ISO/DIS 16703-Mod	5	
THC >C10-C12	<5	mg/kg TS		ISO/DIS 16703-Mod	5	
THC >C12-C16	<5	mg/kg TS		ISO/DIS 16703-Mod	5	
THC >C16-C35	46	mg/kg TS	30%	ISO/DIS 16703-Mod	20	
SUM THC (>C5-C35)	46	mg/kg TS		ISO/DIS 16703-Mod		
<b>PAH 16 EPA</b>						
Naftalen	<0.01	mg/kg TS		ISO/DIS 16703-Mod	0.01	
Acenaftylen	<0.01	mg/kg TS		ISO/DIS 16703-Mod	0.01	
Acenaften	<0.01	mg/kg TS		ISO/DIS 16703-Mod	0.01	
Fluoren	<0.01	mg/kg TS		ISO/DIS 16703-Mod	0.01	
Fenantren	0.033	mg/kg TS	25%	ISO/DIS 16703-Mod	0.01	
Antraen	<0.01	mg/kg TS		ISO/DIS 16703-Mod	0.01	
Fluoranten	0.059	mg/kg TS	25%	ISO/DIS 16703-Mod	0.01	
Pyren	0.032	mg/kg TS	25%	ISO/DIS 16703-Mod	0.01	
Benzo[a]antraen	0.027	mg/kg TS	25%	ISO/DIS 16703-Mod	0.01	
Krysen/Trifenylen	0.044	mg/kg TS	35%	ISO/DIS 16703-Mod	0.01	

**Teorforklaring:**

\* (Ikke omfattet av akkrediteringen)

&lt;:Mindre enn, &gt;:Større enn, nd:Ikke påvist, MPN:Most Probable Number, cfu:Colony Forming Units, MU:Uncertainty of Measurement, LOQ:Kvantifiseringsgrense

Opplysninger om måleusikkerhet fås ved henvendelse til laboratoriet.

Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).

Side 6 av 7



Benzo[b]fluoranten	0.038 mg/kg TS	25% ISO/DIS 16703-Mod	0.01
Benzo[k]fluoranten	0.045 mg/kg TS	25% ISO/DIS 16703-Mod	0.01
Benzo[a]pyren	0.020 mg/kg TS	25% ISO/DIS 16703-Mod	0.01
Indeno[1,2,3-cd]pyren	0.020 mg/kg TS	30% ISO/DIS 16703-Mod	0.01
Dibenzo[a,h]antracen	<0.01 mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	0.01
Benzo[ghi]perylen	<0.01 mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	0.01
Sum PAH(16) EPA	0.32 mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	
<b>PCB 7</b>			
PCB 28	<0.0005 mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	0.0005
PCB 52	<0.0005 mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	0.0005
PCB 101	<0.0005 mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	0.0005
PCB 118	<0.0005 mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	0.0005
PCB 138	<0.0005 mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	0.0005
PCB 153	<0.0005 mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	0.0005
PCB 180	<0.0005 mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	0.0005
Sum 7 PCB	nd mg/kg TS	ISO/DIS 16703-Mod	
Tributyltinn (TBT)	<1 µg/kg TS	40% Intern metode	1

**Utførende laboratorium/ Underleverandør:**

a)\* Eurofins Environment A/S (Vejen), Ladelundvej 85, DK-6600, Vejen

a) DS EN ISO/IEC 17025 DANAK 168, Eurofins Environment A/S (Vejen), Ladelundvej 85, DK-6600, Vejen

**Moss 07.03.2013**


-----  
 Inger Marie Johansen  
 Laboratorie Ingenier

## VEDLEGG 4

Rapport fra Jarle Mork, NTNU; Analyse av bunnfauna fra seks videolinjer.

Bidrag til rapport fra Borgenfjordprosjektet 2012:  
Video av bunns substrat og organismer der.

Denne delrapporten omhandler videolinjene:

Fra indre basseng: V1207006

Fra ytre basseng: V1207008, V1207010, V1207011 og V1207012.

Jarle Mork 20. mai 2013

## INDRE BASSENG

Videolinje V1207006

(Ca 60 min. videoopptak). Rett vest av Bulungsneset på Sparbusiden.

Videoopptak hovedretning sør-nord langs et kurvet transekt mellom 17 og 21 meters dyp (se kart-utskrift). Videoen består av til sammen 105926 frames. (Salinitet og dybde ikke logget før fra ca midt i opptaket).

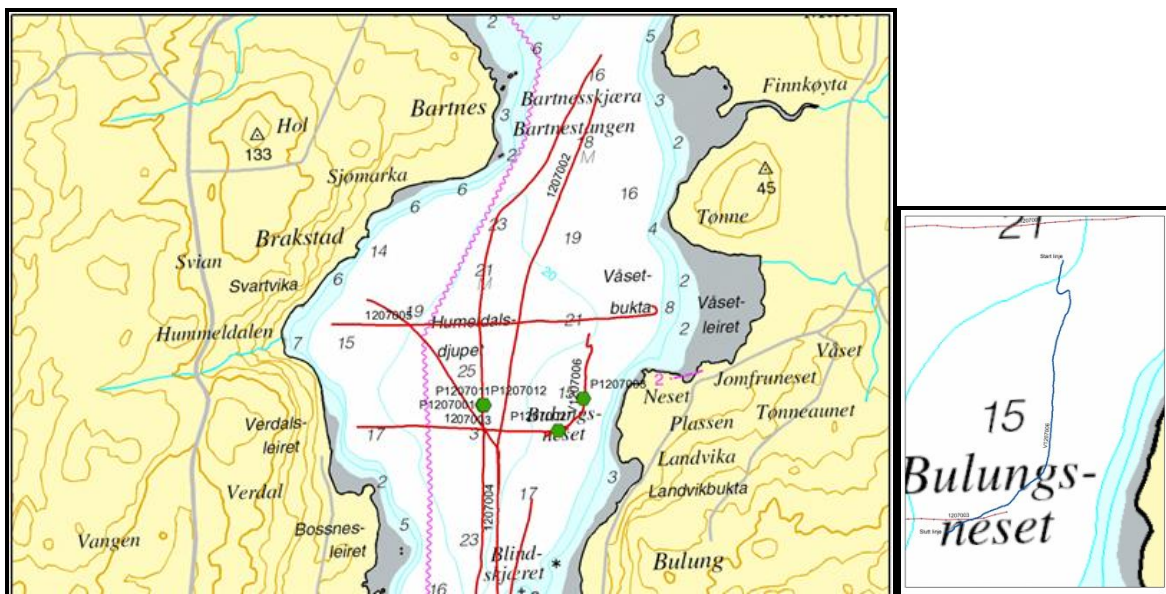


Fig. V1207006. Venstre kart: Oversikt over videolinjer i indre basseng av Borgenfjorden utført med F/F «Seisma» i september 2012. Høyre kart: Detaljer fra trekktruten.

### Generell beskrivelse av transektet V1207006.

Transektet ble gjort ned mot og delvis nedenfor 20 m isobaten, dvs ved og og under termoklinen som ble demonstrert på CTD sonde. Under termoklinen synker oksygenmetningen raskt og diversiteten av dyr er lav; den domineres av relativt få arter som typisk tåler lav  $O_2$ . Bunnsubstratet er mudder/leire og dyrelivet er generelt svært sparsomt. Artene som observeres er typiske for lokaliteter med lav  $O_2$ ; børsteormer (*Polydora sp.*), sandreke (*Crangon crangon*) kongsnegl (*Buccinum undatum*), slangestjerner (*Ophiuroidea*) og svamp. Typisk for trekket er at jo dypere, jo færre arter.



Nedenfor følger beskrivelse av bunnorganismer i transektet V2007006 . (Start i V-linjens sørvestre del)

***Første del av transektet (ca 15-17 m dyp; frames 1-10000 på videofilmen)***



*Fig. V06-1. Bunns substrat og organismer i frames 1-10000.*

**Frames 1-10000 på videofilmen.** («Frames» refererer til nummeret på enkeltbilder i videofilmen). Ca 17 m dyp (ved Stoklands Grabb 2 – grønn markør på Fig. V1207006). Sand/leire/mudder slett bunn med mye nedfall (tang, grener) og ganske tett med merker etter gravende eller slamdekkede organismer (infauna; kan være børsteormer eller nedgravde sandreker *Crangon crangon*), rørbyggende organismer og en del små hvite skjell i starten av transektet. Videre fra spredt til ganske tette forekomster av slamdekte og/eller fargede (lange, slanke og lyserøde) leddormer som epifauna, antagelig børsteormer. Bunnen virker noe nedslammet, kan tyde på lite bevegelse i vannet. Sparsomt med liv i vannet over bunnen; det som observeres svømmende synes hovedsaklig å være reker og noen mer utydelige, lyse organismer som kan være planktoniske krepsdyr eller små maneter.

***Midtre del av transektet (ca 15 m dyp; frames 10000-17000).***

**Frames 10000-17000;** lignende på startområdet, men så overgang til tette ”skoger” med opprette, rørbyggende polychaeter (kanskje *Polydora* sp., jfr Stokland rapport grabb nr. 2).

**Frames 17000-25000:** Mer tette forekomster av gråbruke reker, sannsynligvis sandreke *Crangon crangon* over bunnen (Fig. V06-2). På selve bunnen tette samlinger av slamdekte

omriss som også kan være sandreke (Fig. V06-2) som har gravd seg ned som vern mot predatorer.



Fig. V06- 2. Sandreke (*Crangon crangon*).

**Frames 25000-40000.** Igjen spredte forekomster av hvite småskjell på bunnen. Svømmende strandreker øker etter hvert i antall., spesielt fra rundt Frame 29000. Deretter mindre reker og mer opprette *Polydora* frem til Frame 31000. Disse to artene skifter roller rundt Frame 33000, der med tette forelomster av svømmende reker. Små hvite skjell også litt hyppigere (ikke foto). Frames 37668-37671 viste en liten blek sjøstjerne; den første observert i dette transektet (Ikke foto).

**Frames 40000-50000.** Frame 43983 viser sjøstjerne blant spredte *Polydora*. Jevn finsedimentert bunn med spredte hvite skjell. Noen få skall av snegler (med en rur) og



Fig. V06- 3. Kongsnegl på matsøk (utstrakt snabel).

bivalver. Økende tetthet av små hvite skjell. Levende *Buccinum undatum* snegl på Frame ca 47000 (Fig. 3).

**Frames 50000-75000.** Polydora-bunn, sand/mudder. Observasjon av en enkelt korall samt kråkebolle tyder på friskere vann. Frame 52338 og 52567 og 52760 viser flere mulige pox-holes (eller evt kreps-hull). Lokalhistoriker Willy Sundfær på Strømmen forteller at sjøkreps har vært fanget i flyndregarna i Indre basseng, men svært sjelden. Mye svømmende sandreker. Frames 53756 ff viste tett med hvite skjell og mulig død korall (ikke foto).



Fig. V06- 4. *Asterias rubens*.

[Logging av dyp og temperatur ble først startet opp på Frame 62018 som har typisk bunn for



Fig. V06- 5. Nedslammet korall

størstedelen av transektet V1207006]. Frame 54154 viste en levende, ung *Solaster* sp.(rovstjerne, ikke foto). Generelt finkornet, jevn, *Polydora*-monoton bunn med unntaksvise rekeforekomster frem til forekomst av en stor levende sjøstjerne (Fig. V06-4; Frame 62375). Frame 62300 (Dyp 16,4 and Temp 8.8) viste en levende korall festet til en død (Fig.V06-5). Frames 62375 stor, fet sjøstjerne (*Asterias rubens*). På bunnen ble en del døde kamskjell, halvt nedgravde observert, samt en sjøpung (*Ciona intestinalis*).



Fig. V06- 6. Kråkebolle.

Frame 66705 (Fig. V06-6) viser en antatt levende kråkebolle på søk etter føde (infauna) i bunnsubstratet. Både substratets beskaffenhet, lav artsdiversitet og generelt få dyr signaliserer at den undersøkte biotopen på V1207006 er et marginalt miljø for bunnlevende organismer. Hydrografiske resultater har vist at habitatet gjennomlever årlige svingninger i oksygenering som setter grenser for hvilke og hvor mange flerårige organismer som kan trives og danne samfunn.

#### ***Siste fjerdedel av transektet; Frames 75000-105925.***

«Seisma» gjør nå en sving mot babord og deretter styrbord og dypere vann. Dyp=16-17m og T=8.8 og lavere. Frame 81481 viser en stor, delvis nedgravd slangestjerne (lett å mistolke hvis man bare ser føttene; Fig. V07-7). (Foto under). Frame 84262 (D18,1 T8,7 viser en sandkutling klokken 3 (pil på Fig 8).



Fig. V06-7. Nedgravd slangestjerne.

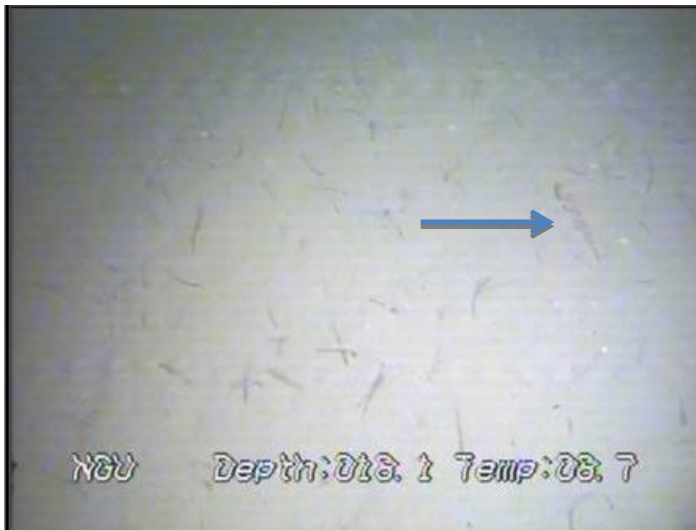


Fig. V06-8. Polydora, sandreker, kutling.



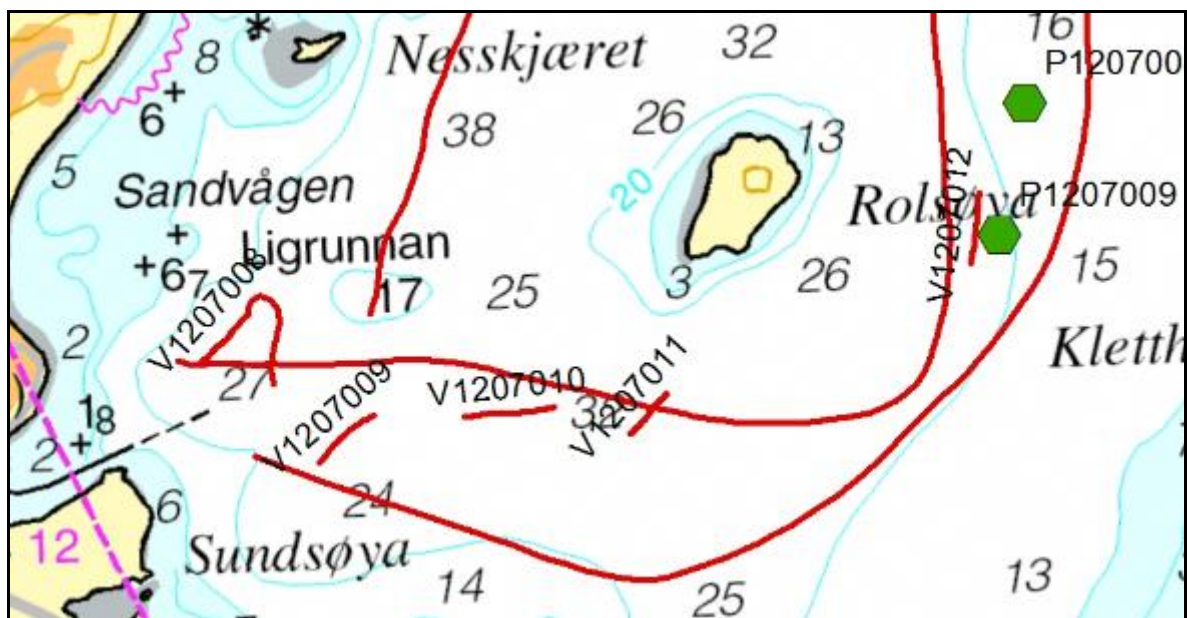
Fig. V06- 9. Polydora sp. Antatt brødsvamp opp til høyre.

Frame 100000: D=20,2 T=8,6. Mer finkornet substrat (slam), færre organismer på bunnen og færre svømmende reker. Fig. V06-8 (Frame 102669): Fisk (antatt sandkutling) på bunnen (D=20,2 Frame 91000 pluss: Det blir nå raskt dypere (D=18,7, T=8,7. Frame 98909 krysser 20m koten: D=20,0, T=8,8. T=8,5.). Fig. V06-9 viser en brødsvamp. Noen få større reker observert på denne dypere lokaliteten.

## YTRE BASSENG

5 transekt; navn som starter med en «V» på kartet.

V1207008 - V1207009 - V1207010 - V1207011 - V1207012



### V1207008 snapshots

(Kurs: Først mot Nordøst, så sving mot Syd).

Total varighet video: 14,04 min.).

Start transekt: Dyp: 32,2m, T: 8,7C

Slutt transekt: Dyp: 30,3m, T: 8,9 C



### Generell beskrivelse av transektet:

Strømekspionert hardbunn med noe mer sedimentering i nordre ytterkant av trekket. Bunnen for det meste dekket av skjellfragmenter, men i varierende grad. Transektet har varierende dyp og sedimenttype, med en «rygg» underveis. Styrken av strømmen påvirker både artsrikdom og sammensetning.



*Fig. V08-1. (ved ca 12% av trekket). Starten har vist et sammensatt substrat med både steiner og finkornet, slamlignende substrat. Skjellfragmenter, sjøstjerner, her og der tette konsentrasjoner av slangestjerner, en del O-skjell, noen dødningshåndkoraller, kråkeboller og hydroider.*



Fig. V08-2. (ved ca 20% av trekket). Virker litt mer nedslammet. Solstjernen *Solaster* sp. og en annen stor, gul, slank sjøstjerne. Stedvise ansamlinger av slangestjerner og kråkeboller.



Fig. V08-3. (Frem mot «svingen» etter ca 40% av trekket). Noe grovere og litt mindre nedslammet bunns substrat, med små og større steiner. Mer skjell og sjøstjernen *Asterias rubens* igjen.





*Fig. V08-4. (Etter ca 60% av trekket). Spesielle substratformasjoner (dyreboliger?) med mange (jaktende?) sjøstjerner omkring.*



*Fig. V08-5. (Etter ca 62% av trekket). Mer «sjøstjernejakt i dyreboliger». Habitatet virker friskt og dyresamfunnet dynamisk og relativt mangfoldig.*



*Fig. V08-6. (Fra ca 90% av trekket). Siste del av «returen» i dette transektet ligner på starten med hensyn til bunnfauna, men virker litt rikere og mer strømekspontert (kråkeboller, sjøstjerner og noen eks. av *Alcyonium digitatum*). Etter en grunnere og mer eksponert «rygg» på ca 26 m ser man igjen de spesielle «dyreboligene» med «jaktende» sjøstjerner (etter ca 90% av trekket). Helt på slutten av trekket (ca 98%) litt dypere vann med grovt substrat, O-skjell, mye skjellfragmenter og vanlig sjøstjerne (*Asterias rubens*). Virker å være en ganske strømekspontert bunn.*

### **V1207010 snapshots**

(Vest->øst med start SW av Roelsøya. Total lengde video: 20,35 min.

Start transekt: Dyp: 33,4m T: 8,8 C

Slutt transekt: Dyp: 33,1m, T: 8,9 C

### **Generell beskrivelse av transektet:**

Hardbunn, antagelig god vanngjennomstrømning og svært artsrikt samfunn med typiske arter som bløtkorallen dødningshånd (på eksponerte steder), kråkeboller, sjøstjerner og O-skjell.



*Fig. VI0-1. Start transekt. Hardbunn med gode strømforhold. Svært variert biotop mht dyrearter.*



*Fig. VI0-2. Nær start av transektet. Hardbunn med gode forekomster av den krevende bløtkorallen dødningshånd (*Alcyonium digitatum*) som tyder på god gjennomstrømning av planktonrikt vann. En liten torsk gled forbi litt senere i videoen.*





Fig. V10-3. Her begynner siste halvpart av trekket. Det er blitt dypere (36 m), og bunnssubstratet forandrer midlertidig karakter til mer finkornet, med mindre tetthet og diversitet i bunnfaunaen. Deretter tilbake til karakteristikken fra første halvdel av trekket, med sjøstjerner og O-skjell som dominerende. Dog færre *Alcyonium digitatum*.



Fig. V10-4. Helt mot slutten av transektet. Litt mindre eksponert lokalitet med mer finkornet substrat. Betydelig tetthet av bivalver, formodentlig filskjell, samt O-skjell og svamper. Noen få dødningehånd koraller forekommer.

## V1207011 snapshots

(Syd->Nord ved Stasjon P1207009 sørvest Roelsøya).

Start transekt: Dyp: 33,4m T: 9,0 C

Slutt transekt: Dyp: 32,4m, T: 9,0 C

Dyp: 32,4-33.2 gjennom transektet.

Homogen temperatur; 8,9–9,0 C gjennom transektet.

### Generell beskrivelse av V1207011:

Nesten 10 m dypere og med rikere dyreliv enn på V12 transektet. Også artsmangfold og tetthet tyder på bedre levevilkår for filter-feeders enn på V12, formodentlig pga høyere vannstrøm/mer planktonisk føde.



Fig. VII-1. Start av transekt. Ganske rikt dyreliv på bunnen, bl.a. kråkeboller og solstjerne (*Solaster sp.*).



Fig. VII-2. (Ved ca 10% tid fra start av videoen). O-skjell, korall (dødningehånd *Alcyonium digitatum*), kråkeboller.



Fig. VII-3. (Ved ca 20%). Rikt O-skjell samfunn.





Fig. VII-4. (Fra ca 30%). Rikt samfunn: O-skjell, kråkeboller, dødningshånd, sjøpunger (*Ciona intestinalis*).



Fig. VII-5. (Ved ca 50%). Meget rikt: O-skjell, dødningshånd, sjøpunger (*Ciona intestinalis*), hjerteskjell (*Cardium edulis*).



Fig. VII-6. (Ved ca 75%). Rikt bunnsamfunn med med hyppigere forekomster av bløtkorallen dødningshånd (*Alcyonium digitatum*).



Fig. VII-7. (Slutten av transektet). Artsrikt bunnsamfunn; typisk O-skjell samfunn med karakteristiske arter. Tyder på god gjennomstrømning av planktonrikt vann på transektet V1207011.



## V1207012 snapshots

(Angitt med tidspunkt relativt til totalen, som er på 5,32 minutter).

(Syd->Nord ved P1207009 øst av Roelsøya; totalt 5min. 32 sek. transekt).

Start transekt: Dyp: 24,6 m T: 8,7 C

Slutt transekt: Dyp: 24,3 m, T:8,8 C

Ganske jevnt dyp; varierte mellom 24,6 og 25,2 m gjennom hele transektet.

Homogen temperatur; 8,7 – 8,9 C gjennom hele transektet.

### Generell beskrivelse av V1207012:

Bunnssubstrat: Blanding bløt/hardbunn, mye hvite skjellrester og noen planterester. Lite nedslamming – moderat god vannstrøm over bunnen har tillatt bløtkorallen dødningehånd (*Alcyonium digitatum*) å etablere seg et par steder (som filterfeeder krever den god vannstrøm). Noe rikere dyreliv mot midten/slutten av trekket (fra ca 4:05 til 5:32 min.). Bunnfaunaen generelt noe "flekkvis" med områder med mye småskjell men sparsom epifauna avbrutt av områder med betydelig dyreliv i form av tårnsnegl (*Turritella sp.*), hjerteskjell (*Cardium sp.*), sjøstjerner (*Asterias rubens* m.fl.), slangestjerner, kongsnegl (*Buccinum undatum*), kolonier av sjøpunger (*Ciona intestinalis*) og noen få koraller (dødningehånd; *Alcyonium digitatum*).



Fig. V12-1. Starten av trekket (Tid: 0,3 min.). Hardbunn; småskjell, sjøstjerner.



Fig V12-2. Midt i trekket (Tid: 3,24 min.). Hardbunn. Tårnsnegl (*Turritella sp.*).

Det rikeste dyrelivet finnes på områder der det er feste for koraller og sjøpunger (dvs på stener, sunket trevirke etc). Forholdsvis mye sjøstjerner (mest av vanlig korstroll; *Asterias rubens*).



Fig. V12-3. Midt i trekket (3,39 min.).Hardbunn; Sjøpunger, bløtkorall (dødningehånd-*Alcyonium digitatum*, en indikatorart for god vannstrøm og planktontilgang).



*Fig. V12-4. Slutten av trekket (5,06 min.). Tett sjøpung (Ciona intestinalis) -koloni dekker større flater på bunnen.*



## **VEDLEGG 5**

Analyserapport av Øystein Stokland, Marine Bunndyr A/S; Bløtbunnsfaunaundersøkelse i Indre Borgenfjord, Inderøy og Steinkjer kommuner i Nord-Trøndelag for NTNU, Institutt for Biologi, september 2012.



## **BLØTBUNNSFAUNAUNDERSØKELSE I INDRE BORGENTJORD, INDERØY OG STEINKJER KOMMUNER I NORD-TRØNDELAGE FOR NTNU, INSTITUTT FOR BIOLOGI SEPTEMBER 2012**

Forfatter: Øystein Stokland, Marine Bunndyr AS Gradering: Fortrolig

Oppdragsgiver: NTNU, Institutt for biologi ved Jarle Mork

Marine Bunndyr AS er akkreditert for laboratoriearbeid med bløtbunnsfaunaprøver etter NS-EN-ISO 16665. Firmaet er videre akkreditert for vurdering og fortolkning av resultater etter SFT-veiledning 97:03 og NS 9410 samt NIVA-rapport 4548-12 og veileder 01:2009 ved Direktorsgruppen for gjennomføringen av vanddirektivet. Hele denne rapporten omfattes av firmaets akkrediteringsomfang.

Metoder:

De kvalitative prøvene, som var fiksert på formalin, ble farget samt lagt på sprit og siden grovsortert på identifikasjonsbrett i vandig løsning. Etter identifikasjon ble prøvene lagt på sprit igjen. Identifikasjon ble utført med standard og allment anerkjent litteratur. De registrerte dataene ble lagt inn på Excel-ark som senere ble gjort om til rapportens artsliste.

De kvalitative baserte artslistene ble analysert for de enkelte arters egenskaper med hensyn til "økologisk klasse" som er en klasseinndeling benyttet i forbindelse med beregning av AMBI-indeks og eventuelt NQII-indeks (Anon, 2009). Klasseinndelingen har trinnene I, II, III, IV og V der den enkelte arts økologiske egenskaper med hensyn til forekomst i påvirkede områder klassifiseres med I som minst påvirket og V som mest påvirket.

Videre er tilstandsklasse for ES-minima for hver art oppgitt, en verdi som angir den laveste artsmangfoldsverdi beregnet som Hurlberts indeks som den aktuelle arten er funnet ved (Rygg, 2002).

Vurderinger og fortolkninger ble foretatt ut fra økologiske klasser og ES-minima.

Innlegging av data fra en av grabbene ble kontrollert mot registreringsskjema for samme grabb.

For Marine Bunndyr AS, 8. januar 2013

Øystein Stokland

Marine Bunndyr A/S, c/o NGU, 7491 Trondheim  
Tlf. 93679237/73904365  
E-post: Oystein.Stokland@gmail.com

## 1. Stasjon 1

### 1.1. Resultater:

Stasjonen ble samlet på 30 meters dyp ved dyppunktet i Indre Borgenfjord. Lokaliteten har tidligere hatt periodisk anoksisk bunnvann.

Det ble identifisert to arter fra stasjon 1. Disse var flerbørstemarkene *Polydora caeca* med fire individer og *Heteromastus filiformis* med ett individ.

Det ble videre registrert to uidentifiserbare fragmenter. Det ene kunne være et fragment av en sjøpølse fra familien Synaptidae (*Leptosynapta/Labidoplax*), mens det andre var et fragment som minnet om flerbørstemarkslekten *Prionospio*.

### 1.2. Vurderinger og fortolkninger:

Ut fra de to sikkert identifiserte artene og artslista framgår det at disse kan være assosiert med svært påvirkede resipientforhold.

De to fragmentene antyder en noe rikere fauna, muligens med arter som er knyttet til mindre påvirkede resipientforhold.

Det er sikkert fastslått at stasjon 1 på 30 meters dyp i Indre Borgenfjords dypparti hadde et levende bløtbunnsfaunasamfunn per 21. september 2012. Det ble sikkert påvist arter knyttet til svært påvirkede resipientforhold.

## 2. Stasjon 2

### 2.1. Resultater:

Stasjonen ble samlet på 19 meters dyp nær dyppunktet i Indre Borgenfjord i det som ble antatt å være en overgangssone mellom det tidvis anoksiske dyppartiet og de øvre oksygenerte områder. Det ble identifisert seks arter fra stasjon 2. Flerbørstemarken *Maldane sarsi* var mest tallrik med 59 individer. Arten er forurensningsømfintlig og knyttet til upåvirkede resipientforhold.

Flerbørstemarken *Polydora caullery* og muslingen *Corbula gibba* forekom med henholdsvis sju og seks individer. Disse artene er begge svært forurensningstolerante og kan finnes under svært påvirkede resipientforhold.

Flerbørstemarkene *Paramphinome jeffreysii* og *Heteromastus filiformis* samt muslingen *Kurtiella bidentata* fantes i få individer. Den første og tredje av disse kan forekomme ved modeat til tydelig belastning, mens den andre er svært forurensningstolerant.

### 2.2. Vurderinger og fortolkninger:

Ut fra de identifiserte artene og artslista framgår det at faunaen på stasjonen var en blanding av forurensningsømfintlige-og tolerante arter.

Stasjon 2 på 19 meters dyp i nærheten av Indre Borgenfjords dypparti og ved en antatt overgangssone mellom tidvis anoksisk og mer upåvirket område hadde per 21. september 2012 et bløtbunnsfaunasamfunn sammensatt av både forurensningsømfintlige-og tolerante arter. Dette er forenlig med en beliggenhet mellom tidvis oksygenfattig område og mer upåvirkede forhold.

### 3. Stasjon 3

#### 3.1. Resultater:

Stasjonen ble samlet nær dyppunktet i Indre Borgenfjord, men på mindre dyp enn det som ble antatt å være det tidvis anoksiske dyppartiet i området for å få et inntrykk av bløtbunnsfaunasamfunnet i en permanent oksygenert del av resipienten.

Det ble identifisert 19 arter (foruten foraminiferer) fra stasjon 3. Muslingen *Corbula gibba* var mest tallrik med 53 individer. Arten er svært forurensningstolerant og kan finnes under svært påvirkede forhold.

Flerbørstemarken *Myriochele oculata* var nest hyppigst med 30 individer. Arten er relativt forurensningstolerant og kan være knyttet til moderat til tydelig påvirkede resipientforhold. Foruten foraminiferer, som var relativt tallrike festet til individer av muslingen *Corbula gibba*, fantes 11 individer av den forurensningsømfintlige muslingkrepsen *Philomedes globosus*. Forøvrig fantes 10 taksa med ett individ hver med følsomhet for forurensningspåvirkning varierende fra ømfintlig til moderat.

#### 3.2. Vurderinger og fortolkninger:

Ut fra de identifiserte artene og artslista framgår det at faunaen på stasjonen er en blanding av forurensningsømfintlige- og moderat tolerante arter, med kun den tallrikeste arten som svært forurensningstolerant.

Stasjon 3 i nærheten av Indre Borgenfjords dypparti, men på mindre dyp enn det som ble antatt å være i det periodisk anoksiske dyppartiet, hadde per 21. september 2012 et bløtbunnsfaunasamfunn med en svært forurensningstolerant art som den tallrikest registrerte samtidig som de øvrige 17 artene var forurensningsømfintlige eller moderat tolerante.

Muslingen *Corbula gibba* kan også være tallrik under upåvirkede forhold, og faunaen som helhet på lokaliteten framstår som lite påvirket.

### 3. Litteratur:

Anon, 2009. Veileder 01:2009. Klassifisering av miljøtilstand i vann. Direktoratets gruppa for gjennomføringen av vanndirektivet. 181s.

Rygg, B., 2002. Indicator species index for assessing benthic ecological quality in marine waters of Norway. NIVA-rapport SNO 4548-2002. 32s.



Indre Borgenfjord 21. september 2012	St.1	St. 2	St. 3	Økologisk klasse	ES-minimum
					<b>tilstandsklasse</b>
<b>ST. PROTOZOA</b>					
Foraminifera indet., frittlevende			1	-	-
Foraminifera indet., på Corbula gibba			14	-	-
<b>ST. ANNELIDA</b>					
<b>KL. POLYCHAETA</b>					
Paramphinome jeffreysi		2		III	Moderat
Polydora caeca	4			IV	Svært dårlig
Polydora caullery		7		IV	Svært dårlig
Diplocirrus glaucus			1	I	Svært god
Heteromastus filiformis	1	2		IV	Svært dårlig
Maldane sarsi		59		I	God
Myriochele oculata			30	III	Dårlig
Ampharete baltica			1	II	Svært god
Anobothrus gracilis			1	III	Moderat
Sabellidae indet.			1	I	-
<b>ST. ARTHROPODA</b>					
<b>KL. CRUSTACEA</b>					
Calanoida indet.(fra vannmasser)	1			-	-
Philomedes globosus			11	II	Svært god
Eudorella sp.			1	-	-
<b>ST. MOLLUSCA</b>					
Philine sp.			1	II	-
Mytilus edulis juv.			1	III	-
Kurtiella bidentata		1		III	Dårlig
Abra nitida			1	III	Moderat
Mya sp. juv.			1	II	-
Corbula gibba		6	53	IV	Svært dårlig
<b>ECHINIDERMATA</b>					
Amphiura sp. fr.			1	II	-
<b>DIVERSE</b>					
Uidentifiserbart fragment 1(Synaptidae?)	1			-	-
Uidentifiserbart fragment 2(Prionospio?)	1			-	-



Norges geologiske undersøkelse  
Postboks 6315, Sluppen  
7491 Trondheim, Norge

Besøksadresse  
Leiv Eirikssons vei 39, 7040 Trondheim

Telefon 73 90 40 00  
Telefax 73 92 16 20  
E-post [ngu@ngu.no](mailto:ngu@ngu.no)  
Nettside [www.ngu.no](http://www.ngu.no)

*Geological Survey of Norway  
PO Box 6315, Sluppen  
7491 Trondheim, Norway*

*Visitor address  
Leiv Eirikssons vei 39, 7040 Trondheim*

*Tel (+ 47) 73 90 40 00  
Fax (+ 47) 73 92 16 20  
E-mail [ngu@ngu.no](mailto:ngu@ngu.no)  
Web [www.ngu.no/en-gb/](http://www.ngu.no/en-gb/)*