

Sedimentundersøkelser i sjøen utenfor Jotun, Gimle

Supplerende undersøkelser høsten 2007



Hovedkontor

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

Sørlandsavdelingen

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

Østlandsavdelingen

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

Vestlandsavdelingen

Postboks 2026
5817 Bergen
Telefon (47) 2218 51 00
Telefax (47) 55 23 24 95

NIVA Midt-Norge

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

Tittel Sedimentundersøkelser i sjøen utenfor Jotun, Gimle Supplerende undersøkelser høsten 2007	Løpenr. (for bestilling) 5611-2008	Dato 2008.05.26
	Prosjektnr. Undernr. O-26253	Sider Pris 25
Forfatter(e) Torgeir Bakke	Fagområde Marine miljøgifter	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Vestfold	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Jotun A/S	Oppdragsreferanse P.K. Aagaard
-------------------------------	-----------------------------------

Sammendrag

NIVA har kartlagt miljøgifter i sjøsedimenter og bunnfauna utenfor Jotun, Sandefjord. Sedimentet hadde 0,5 – 8 % organisk karbon (TOC), med en ekstremverdi på 19 %. Det sentrale området utenfor Jotun hadde kvikksølv (Hg) i SFT klasse III-V. Her og sør for Jotun var det høyest Hg i overflata. Utover mot dypet var Hg høyest litt nede i sedimentet. Metyl-Hg utgjorde fra 0,09 % til 0,12 % av total-Hg, og det var ingen klar endring i % metyl-Hg med sedimentdyp. Bly (Pb) viste godt samsvar med Hg. Klorerte bifenyler (PCB) var meget flekkvist fordelt og viste jevnt over høyt nivå. Mot dypere vann ble det funnet høyest PCB litt nede i sedimentet. Tributyltinn (TBT) viste samme horisontale og vertikale mønsteret som de andre miljøgiftene, men målingene indikerer at TBT kan ha andre kilder og annen oppførsel enn de andre miljøgiftene. Strømmen utenfor Jotun er vekslende sør- og nordgående med høyest hastighet mot sør. Både strøm-, turbiditets- og miljøgiftmønsteret viser at spredningen av resuspendert sediment i størst grad skjer sørover. Hg i bunnfauna står i likevekt med sedimentene og viser at Hg i sediment er biotilgjengelig. Risikoen for skade på human helse av Hg i sedimentene ansees likevel for å være liten.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Sediment	1. Sediment
2. Bunnfauna	2. Bottom fauna
3. Miljøgifter	3. Contaminants
4. Miljøundersøkelse	4. Environmental survey



Torgeir Bakke
Prosjektleder



Kristoffer Næs
Forskningsleder



Jarle Nygard
Fag- og markedsdirektør

Sedimentundersøkelser i sjøen utenfor Jotun, Gimle

Supplerende undersøkelser høsten 2007

Forord

På oppdrag fra Jotun A/S har NIVA, delvis i samarbeide med NGI, gjennomført miljøundersøkelser i sjøområdet utenfor bedriftens fabrikk på Gimle i Sandefjord i perioden 2005 - 2007. Følgende nøkkelpersoner har deltatt i gjennomføringen.

Forsker Aud Helland, NIVA (nå Rambøll): feltinnsamling av sedimenter og blåskjell, vurdering av sedimentforhold.

Professor Ketil Hylland, NIVA og UiO: innsamling av bunnfauna til analyse.

Stipendiat Eivind Farnen Finne, NIVA: innsamling og behandling av faunaprøver.

Forskningsassistent Merete Schøyen, NIVA: opparbeidelse av blåskjell til analyse.

Ingeniør Arne Veidel og ingeniør Theodor Norendal, NIVA: strøm- og turbiditetsmålinger.

Gruppeleder Bente Lauritzen, NIVA: kjemiske analyser.

Seniorforsker Torgeir Bakke, NIVA: prosjektleder, ansvarlig for rapportering.

I tillegg er isotopanalyser og aldersdatering av sedimentkjerner utført av TJ Andersen, Universitetet i København, og analyse av organisk kvikksølv utført av Analytica as.

Kontaktperson hos NGI har vært Bente Havik.

Kontaktperson hos Jotun A/S har vært HMS og KS-sjef Per Kristian Aagaard.

Oslo, 26. mai 2008

*Torgeir Bakke
prosjektleder*

Innhold

Sammendrag	5
1. Bakgrunn og målsetning	6
2. Metoder og materiale	7
2.1 Feltarbeid sedimenter	7
2.2 Feltarbeid blåskjell	9
2.3 Feltarbeid bunnfauna	10
2.4 Feltarbeid strømmålinger	11
3. Resultater	12
3.1 Bunnsedimenter	12
3.1.1 Totalt organisk karbon (TOC)	12
3.1.2 Kvikksølv	12
3.1.3 Metylkvikksølv (met-Hg)	13
3.1.4 Bly	16
3.1.5 PCB	17
3.1.6 Tributyltinn	17
3.2 Strømmålinger	18
3.3 Kvikksølv i bunnfauna	20
4. Konklusjoner	23
5. Referanser	24

Sammendrag

I 2006 gjennomført NIVA i samarbeid med NGI en kartlegging av miljøgiftinnhold på Jotuns fabrikkområde på Gimle i Sandefjord og i bunnsedimentene i sjøen utenfor fabrikken. Høsten 2007 gjennomførte NIVA supplerende analyser av organisk og uorganisk kvikksølv i sedimentene og i lokal bunnfauna. Strømforhold og turbiditet ble også målt kontinuerlig over en periode på ca 2 mnd ved årsskiftet 2007/2008. Resultatene fra de supplerende undersøkelsene er tidligere rapportert til Jotun i form av tekniske notater, men er her samlet i en egen rapport sammen med de øvrige sedimentundersøkelsene.

De kjemiske analysene av sedimentene utenfor Jotun viser et relativt normalt innhold av organisk karbon på 0,5 – 8 %, bortsett fra en ekstremverdi på 19 % litt nede i sedimentet sentralt utenfor kaiene.

De supplerende analysene av Hg (kvikksølv) samsvarte med de tidligere analysene og viste at det sentrale området jevnt over tilsvarte SFT klasse V (meget sterkt forurenset) ned til minst 20-25 cm i sedimentet. Sedimentene sør for Jotun hadde også høyest Hg i de øverste 6-10 cm, mens man utover mot dypet fant de høyeste nivåene litt nede i sedimentet. Metyl-Hg utgjorde fra 0,09 % til 0,12 % av total-Hg, noe som ansees normalt for marine sedimenter. Total-Hg og metyl-Hg korrelerte positivt og det var ingen systematisk endring i % metyl-Hg med sedimentdyp. Vertikalmønsteret viser at dannelsen av metyl-Hg i sedimentet er begrenset av andre faktorer enn tilgangen på uorganisk Hg. Målingene indikerer at den største resuspensjonen av Hg fra det sentrale området skjedde midt på 1990-tallet, mens høyeste tilførsel utover mot dypet skjedde rundt perioden for Jotun-brannen.

Supplerende analyser av Pb (bly) viser godt samsvar med Hg. Supplerende analyser av polyklorerte bifenyler (PCB) forsterker inntrykket av at den ekstremt høye konsentrasjonen som ble funnet i 6-10 cm sedimentdyp sentralt utenfor Jotun er sterkt begrenset vertikalt. PCB er meget flekkvist fordelt i det sentrale området, men med de høyeste nivåene i de øvre 10 cm. Mot dypere vann ble de høyeste PCB-nivåene funnet litt nede i sedimentet. Mønsteret av TBT (tributyltinn) viser også stort sett det samme horisontale og vertikale mønsteret som de andre miljøgiftene, men mønsteret i sedimentene rett utenfor Jotun indikerer at TBT kan ha andre kilder og annen oppførsel i miljøet enn de andre miljøgiftene.

Strømmålingene viste vekslende sør- og nordgående strøm med typisk hastighet under 5 cm/sek. Sørgående strøm hadde de høyeste hastighetene. Høyest turbiditet i vannmassene nær bunnen sør for Jotun ble målt på sørgående strøm. Både strøm-, turbiditets- og miljøgiftmønsteret støtter konklusjonen om at spredningen av resuspendert sediment skjer i størst grad sørover fra det sentrale området, og at sedimentene i de dypere områdene øst for Jotun får tilført renere sediment i dag enn tidligere.

Hg-nivå i bunnfauna var lavest nord for Jotun og høyest sentralt utenfor Jotun og samsvarte således med Hg-mønsteret i sedimentene. Den sedimentlevende muslingen *Nuculoma tenuis* hadde 123 – 248 ganger høyere Hg-innhold enn blåskjell fra de samme områdene. Noe av dette kan skyldes forurensete partikler i tarmkanalen som ikke lot seg fjerne. Analysene viser at bunnfaunaen står i likevekt med sedimentene mht Hg, og at Hg er biotilgjengelig og iallfall til dels løst i porevannet. Biotilgjengeligheten synes å være større enn det som generelt antas for Hg i SFTs risikoverktøy for forurensete sedimenter. Risikoen for skade på human helse av Hg i disse sedimentene gjennom konsum av sjømat ansees likevel for å være liten.

1. Bakgrunn og målsetning

I 2006 gjennomført NIVA i samarbeid med NGI en kartlegging av miljøgiftinnhold i bunnsedimentene utenfor Jotuns kaianlegg på Gimle i Sandefjord. Resultatene er beskrevet i Havik og Bakke (2007). Disse resultatene dekker analyse av et større utvalg av de sedimentprøvene som ble tatt inn, men for å belyse vertikalfordelingen av miljøgiftene bedre i det sentrale forurensede området utenfor kaiene ble NIVA høsten 2007 bedt om å analysere ytterligere 8 lagrede prøver fra ulike sedimentdyp på de to mest forurensede stasjonene (stasjon 6 og 7 i Figur 1). Analysene omfattet totalt organisk karbon, kvikksølv, bly, PCB₇ og TBT i lagrede parallellprøver av sediment fra undersøkelsen beskrevet i Havik og Bakke (2007).

På bakgrunn av krav fra SFT gjennomførte NIVA høsten 2007 også supplerende analyser av organisk og uorganisk kvikksølv i et utvalg av de gjenværende sedimentprøvene. Det ble også gjennomført prøvetaking og analyse av kvikksølv i lokal bunnfauna. Videre ble det gjort kontinuerlige målinger av strømforhold og turbiditet over en periode på ca 2 mnd fra 27.11.2007 til 23.01.2008. Resultatene fra de supplerende undersøkelsene er tidligere rapportert til Jotun i form av tekniske notater. På anmodning fra Jotun samles disse nå i en NIVA-rapport.

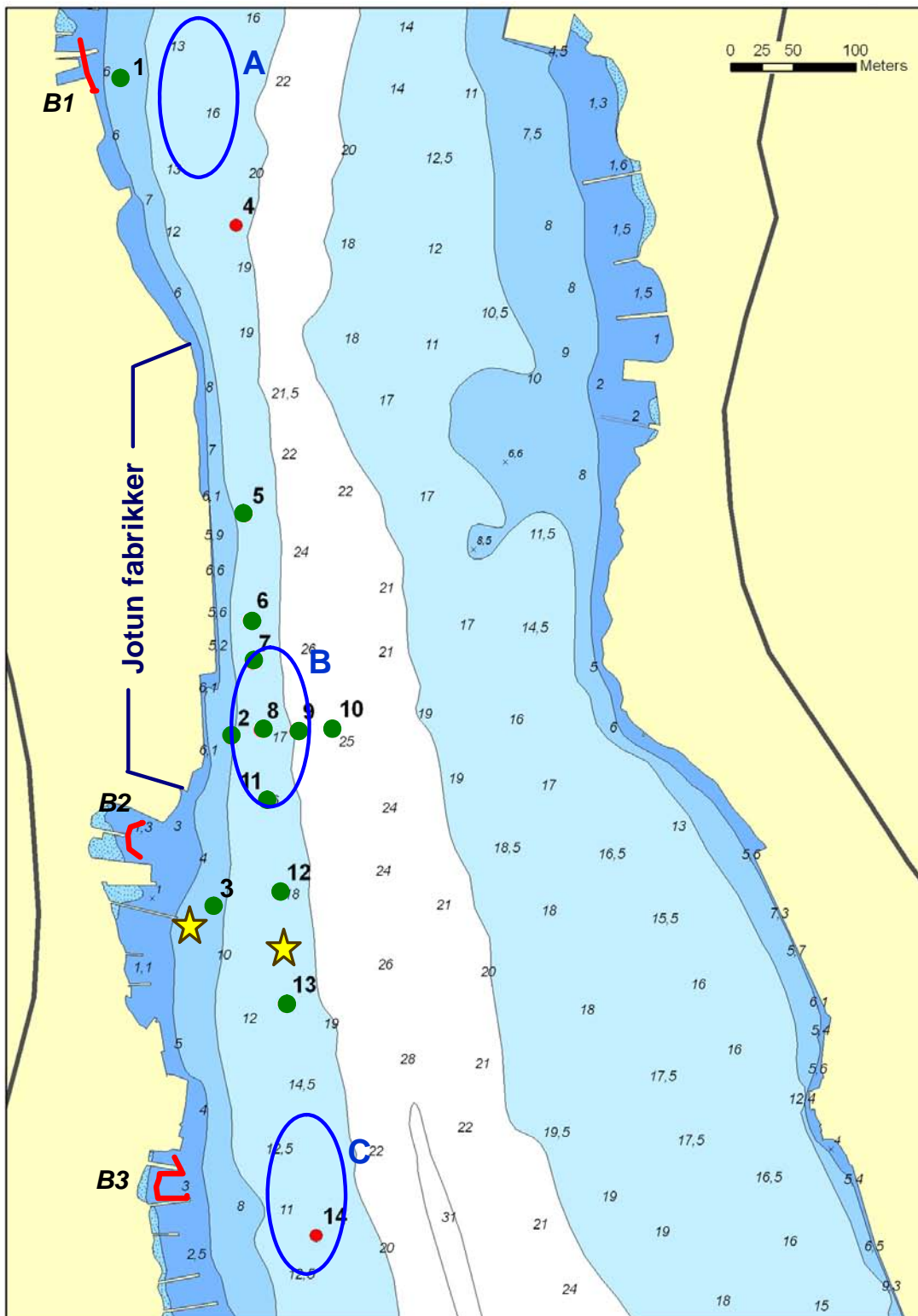
2. Metoder og materiale

2.1 Feltarbeid sedimenter

Feltarbeidet for innsamling av bunnsedimenter ble utført 15. – 16. juni 2006 som del av undersøkelsen beskrevet av Havik og Bakke (2007). Ansvarlig for feltarbeidet var forsker Dr.Sci. Aud Helland, NIVA. Prøvetaking av bunnsedimentene ble utført fra F/F Trygve Braarud (Universitetet i Oslo). Det ble samlet bunnsedimenter fra 12 stasjoner utenfor Jotun (Figur 1). Prøvetakingen ble utført med Niemistö kjerneprøvetaker. Alle kjernene ble snittet i seksjoner 0-2 cm, 2-4 cm, 4-6 cm, 6-10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm, osv. til maksimal kjernelengde, som varierte fra 15 cm til 40 cm. Det ble tatt to parallelle kjerner fra hver stasjon, og prøvene ble frosset ned om bord. Stasjonsposisjoner, vandyp og beskrivelse av sedimentkjernene er gitt i Tabell 1.

Kjemiske analyser av totalt kvikksølv (tot-Hg), bly (Pb), polyklorete bifenyler (sju kongener : PCB₇) og tinnorganiske forbindelser (mono-, di-, tributyltinn samt mono- di- og trifenylytinn) ble gjort ved NIVAs laboratorium. Analyse av organisk kvikksølv (metylkvikksølv, met-Hg) ble gjort av Analytica as. Analyse av kornfordeling ble utført av GeoGruppen as, og aldersdatering av 2 kjerner ved ²¹⁰Pb- og Cs-metoden ble gjort av Universitetet i København. Analysemetodene er beskrevet i Havik og Bakke 2007.

For helhetens skyld er også resultatene fra miljøgiftanalyse av 3 sedimentprøver tatt i 2005 (Havik og Bakke 2006) inkludert i resultatene. Stasjonene er vist sammen med de andre i Figur 1.



Figur 1 Posisjoner for sedimentprøvetaking (grønne punkter 1-14), innsamling av blåskjell (røde linjer B1 – B3), bunnsfauna (blå ovaler A-C) og måling av strøm (gule stjerner) utenfor Jotun Fabrikker 2005 – 2007..

Tabell 1. Oversikt over vanndyp og posisjoner for sedimentprøvetaking utenfor Jotun Fabrikker. Siste kolonne gir en beskrivelse av kjernene som ble samlet. Stasjon 1 og 3 ble prøvetatt 20.07.2005, de øvrige stasjonene 16.06.2006. Stasjon 2 overflate ble tatt ved begge innsamlingene.

Stasjon	Dyp (m)	Pos N	Pos V	Beskrivelse
1	6,0	59 6.850	10 13.406	Tatt med grabb, delprøve av øvre 0-2 cm, sandblandet mudder
2	11,0	59 6.573	10 13.557	Begge kjerner like, til kjemi 18 cm, til korn 16 cm. Grov sand og skjellrester. Brun overflate, ellers homogent grå
3	7,0	59 6.501	10 13.542	Tatt med grabb, delprøve av øvre 0-2 cm, sandblandet mudder
4	15,5	59 6.793	10 13.503	Kjerne 20 cm. Sandig silt. Brun oliven overflate 0-2cm, grå fra 4 cm, svart 10-15 cm, mer grå mot bunnen 15-20cm.
5	16,0	59 6.669	10 13.555	Begge kjerner like, til kjemi 15 cm, til korn 17 cm. Sand med skjellrester. Oliven brun overflate, svart ved 4 cm.
6	15,6	59 6.624	10 13.566	Kjernene noe forskjellig, til kjemi 20 cm, til korn 32 cm. Til kjemi: Sand, oliven brun overflate (1cm) deretter grå sand, svart ved 4 cm, mer grå ved 20 cm. Til korn: Sand, oliven brun overflate, ved 6 cm lys grå siltig leire lukt av H ₂ S. Dette laget gikk helt ned til 25-30cm. I bunn av kjernen (30cm overgang til svart sand igjen (lik som kjemi kjernen ved 15 cm)
7	14,8	59 6.606	10 13.570	Begge kjerner like, til kjemi 15 cm, til korn 20 cm. Sand med skjellrester i overflaten, levende snegl i overflaten, homogen grå.
8	14,5	59 6.577	10 13.581	Begge kjerner like, til kjemi 14 cm, til korn 16 cm. Sand og grus, oliven til grå (øvre 1cm), deretter grå til svart. Ved 6 cm fastere sediment med mindre grus
9	20,0	59 6.578	10 13.611	Tre kjerner, 210Pb = 48 cm, kjemi 32 cm, korn 41 cm . Alle kjerner like. Fin sandig silt. Oliven grå øvre 1 cm, dereetter homogen grå, ingen spesielle sjiktninger. Kjernen til kjemi synlig biotirbert de øvre 5 cm (bioturb gang).
10	23,5	59 6.580	10 13.641	Begge kjerner like, til kjemi 40 cm, til korn 37 cm. Sandig silt. Oliven til grå fnokker (pellets) i overflaten. Bioturbert. Deretter fastere grå, gråsvart ved 4 cm og videre nedover.
11	15,3	59 6.547	10 13.591	Begge kjerner like, til kjemi 15 cm, til korn 10 cm. Fin sand. Brun oliven overflate (0-2 cm) deretter brun til grå.
12	15,3	59 6.508	10 13.607	Begge kjerner like, til kjemi 29 cm, til korn 20 cm. Sand, homogen grå. Kjernen til kjemi drenerte, foreslår kjerne II overflate (0-2) til kjemi
13	14,6	59 6.460	10 13.618	Begge kjerner like, til kjemi 21 cm, til korn 24 cm. Stein med rur og levende pelikanfotsnegl i overflaten på kjernen til korn. Fin siltig sand brun overflate ellers grå
14	14,5	59 6.362	10 13.658	19 cm kjerne. Som stasjon 13. Fastere renere sand fra 10-15 cm

2.2 Feltarbeid blåskjell

Innsamling av blåskjell i nærområdet for Jotun ble gjort samtidig med sedimentprøvetakingen. Blåskjell ble analysert for å avklare om vannet i nærområdet inneholdt biotilgjengelig kvikksølv. Innsamling ble gjort fra tre stasjoner B1 - B3 (Figur 1). Fra hver stasjon ble det samlet minimum 20 individer i skallstørrelse 30 – 50 mm. Skjellene ble skrapet rene for påvekst og frosset ned. I laboratorium ble skjellene tint og bløtdelene tatt ut. For hver stasjon ble bløtdelene fra 20 individer slått sammen til en blandprøve som ble sendt til analyse av kvikksølvinnhold ved NIVAs laboratorium.

2.3 Feltarbeid bunnfauna

Bunnfaunaprøver ble tatt 05.11.2007 på tre stasjoner (Figur 1), på 14-16 m dyp. Ansvarlig for feltarbeidet var professor Ketil Hylland, UiO. På hver lokalitet ble det tatt omkring 10 parallelle prøver med grabb for å få nok materiale. Målsetningen var minimum 3 prøver av ulike faunakategori fra hver stasjon à 1-2 g friskvekt pr prøve. Prøvene ble grovsortert i aktuelle faunakategorier om bord og holdt kjølig før behandling i laboratoriet.

Beskrivelse av faunaprøvematerialet er gitt i Tabell 2. Det lyktes å samle 5 kategorier av fauna som var felles for alle tre stasjonene. Til sammen 15 prøver ble sendt til analyse av Hg-innhold ved NIVAs laboratorium. Forbehandling før analyse var følgende:

- Musling *Nuculoma tenuis*: utdissekering av bløtdeler fra skall, bløtdeler samlet til en blandprøve fra hver stasjon
- Børstemark type *Nephtys*: kun forsiktig skylling med destillert vann for å fjerne utvendig sediment
- Børstemark *Pectinaria koreni*: utdissekering fra skall og forsiktig skylling med destillert vann for å fjerne utvendig sediment
- Børstemark type *Goniada/Glycera*: kun forsiktig skylling med destillert vann for å fjerne utvendig sediment
- Børstemark Sedentaria (lite bevegelige): kun forsiktig skylling med destillert vann for å fjerne utvendig sediment

Tabell 2. Oversikt over faunaprøver samlet. Skyggelagte prøver ble sendt til analyse.

Stasjon A Nord for Jotun

Prøveid	Prøvetype
A1	<i>Nuculoma tenuis</i> (musling)
A2	Polychaeta errantia 1 (<i>Nephtys</i> + andre nereider)
A3	<i>Pectinaria koreni</i> (rørlevende børstemark)
A4	Polychaeta errantia 2 (type <i>Goniada/Glycera</i>)
A5	Polychaeta sedentaria diverse
øvrige	<i>Ensis</i> ,
øvrige	Ophiuroidea,
øvrige	Nemertini

Stasjon B utenfor kaiene

Prøveid	Prøvetype
B1	<i>Nuculoma tenuis</i> (musling)
B2	Polychaeta errantia 1 (<i>Nephtys</i> + andre nereider)
B3	<i>Pectinaria koreni</i> (rørlevende børstemark)
B4	Polychaeta sedentaria diverse
B5	Polychaeta errantia 2 (type <i>Goniada/Glycera</i>)
øvrige	Muslinger (<i>Ensis</i> , <i>Cardium</i> , <i>Venerupis</i> , ++)
øvrige	Nemertini
øvrige	<i>Polyphysia</i> (polychaet)

Forts neste side.

Stasjon C sør for Jotun

Prøveid	Prøvetype
C1	<i>Nuculoma tenuis</i> (musling)
C2	Polychaeta errantia 1 (<i>Nephtys</i> + andre nereider)
C3	<i>Pectinaria koreni</i> (rørlevende børstemark)
C4	Polychaeta errantia 2 (type <i>Goniada/Glycera</i>)
C5	Polychaeta sedentaria diverse
øvrige	Muslinger (<i>Ensis</i>)
øvrige	Nemertini
øvrige	Ophiuroidea
øvrige	<i>Polyphysia</i> (polychaet)

2.4 Feltarbeid strømmålinger

En rigg med 2 automatisk loggende strømmålere (Aanderaa RCM9) ble den 27.11.2007 satt ut i en fast posisjon sør for Jotun (Figur 1). Riggeren hadde 2 strømmålere, en Gyttre-måler og en Aanderaa RCM9 som i tillegg måler turbiditet. Vanddyppet i området var 25 m. Gyttremåleren sto på 11 m dyp og Aanderaa-måleren 1 m over bunnen. Instrumentene logget strømhastighet, strømretning, temperatur og turbiditet (det siste bare Aanderaa-måleren) hvert 10. minutt med intern datalagring. Riggeren sto ute fram til 23.01.2008, men i to forskjellige posisjoner. Dette skyldtes at riggeren ble dratt opp av uvedkommende den 9.12 og deretter hengt ut igjen, men noe lenger inne mot land (på enden av en pir) den 12.12. Datoene fremgår av loggerresultatene. Da den ble funnet i denne posisjonen ved innhenting sto Gyttre-måleren på 1 m dyp og Aanderaa-måleren på bunnen. Begge målerne har likevel fungert godt. Målingene før og etter denne episoden viser ikke noe entydig forskjell. Dette tolker vi som at strømbildet i området er såpass homogent at flyttingen av riggeren i hovedsak har skjedd innenfor samme vannmassen.

3. Resultater

3.1 Bunnsedimenter

De samlede resultater av miljøgiftanalysene er gitt i Tabell 4 til

Tabell 8.

3.1.1 Totalt organisk karbon (TOC)

TOC ble ikke analysert i prøvene fra 2005 (stasjon 1 og 3). Fra stasjon 6 og 7 er TOC analysert i enkelte parallelle sjikt fra de to replikate kjerneprøvene (Tabell 3). TOC-innholdet var relativt normalt, fra 5,5 g/kg tv (0,6 %) til 82,3 g/kg tv (8,2 %), bortsett fra en eksremverdi på 190 g/kg tv (19%) 10-15 cm nede i sedimentet sentralt utenfor kaiene. På stasjon 7 var det et rimelig samsvar mellom TOC-nivåene innenfor samme sedimentsjikt. På stasjon 6 var forskjellene mellom de to kjernene større og systemtiske: kjerne 6b hadde 3-7 ganger høyere TOC enn tilsvarende sjikt i kjerne 6a.

Tabell 3. Innhold av totalt organisk karbon (TOC) i sedimentene utenfor Gimle (g/kg tørrvekt). – viser at prøven ikke er analysert for TOC.

cm dyp	Stasjon														
	1	2	3	4	5	6a	6b	7a	7b	8	9	10	11	12	13
0-2	-	14,2	-	-	19,7	23	-	24,2	-	31,2	30,1	28	13,7	-	25,5
2-4	-	-	-	-	-	-	-	-	39,1	-	-	-	-	-	-
4-6	-	-	-	-	-	29,8	82,3	42,6	67,8	59,8	32	-	15,8	-	-
6-10	-	10,9	-	-	25,3	33,8	-	34,3	47,9	21	44	35	6,6	-	23,7
10-15	-	-	-	-	17,7	27,4	190	22	12,8	22,4	35	-	-	-	13,8
15-20	-	5,5	-	-	-	19,5	71,9	9,5	-	8,6	-	38,8	-	-	12,4
20-25	-	-	-	-	-	37,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25-30	-	33,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32,9	-	-	-

3.1.2 Kvikksølv

Totalkvikksølv er analysert ved 3 anledninger på dette materialet, i øvre 0-2 cm fra stasjon 1 og 3 i 2005 (Havik og Bakke 2005) og fra kjerneprøvene i 2006 og 2007 (Tabell 4). På stasjon 6 fantes Hg i klasse V ned til minst 20-25 cm sedimendtyd. Nivåene i kjerne 6a lå ca 10 x høyere enn tilsvarende sjikt i kjerne 6b ned til 15 cm dyp, mens nivåene var jevnere lenger nede. På stasjon 7 var Hg-belastningen i hovedsak begrenset til de øvre 10-15 cm. På stasjon 10 var det entydig lavere Hg-nivå i de øvre ca 10 cm enn dypere nede. Tendensen på stasjonene sør for Jotun (stasjon 11-13) var motsatt. Her lå de høyeste nivåene grunnere enn 6 til 10 cm.

Tabell 4. Kvikksølvkonsentrasjoner (mg/kg tørrvekt) i sjøsedimentene utenfor Gimle 2005, 2006 og 2007. Fargene viser klassifisering etter SFTs miljøkvalitetskriterier (rødt: klasse V, oransje: klasse IV, gult: klasse III, grønt: klasse II og blått: klasse I). – viser at prøven ikke er analysert for Hg.

cm dyp	Stasjon																
	1	2a	2b	3	4	5	6a	6b	7a	7b	8	9	10a	10b	11	12	13
0-2	2,8	15,2	-	6,2	-	2,01	5,76	-	31,3	-	18,3	2,73	2,67	-	8,85	4,35	3,86
2-4	-	31,9	69,3	-	-	-	18,4	1,39	16,9	7,17	-	-	-	2,13	-	7,69	-
4-6	-	10,4	-	-	-	-	47,4	4,07	28,4	9,44	22,3	3,16	-	2,18	5,43	15,2	-
6-10	-	3,01	-	-	-	6,74	63,4	-	19,1	18,0	20,4	3,97	2,55	-	0,94	7,03	5,12
10-15	-	-	-	-	-	13,1	12,4	1,67	7,52	1,23	11,1	9,41	-	5,14	-	1,93	2,24
15-20	-	0,17	-	-	-	-	7,71	11,8	1,42	-	1,44	-	8,25	-	-	0,38	0,94
20-25	-	-	-	-	-	-	14,8	-	-	-	-	-	-	6,46	-	0,05	-
25-30	-	10,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,41	-	-	0,06	-
30-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,95	-	-	-
35-40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,34	-	-	-

3.1.3 Metylkvikksølv (met-Hg)

Fra et utvalg av prøvene er det analysert for både totalt Hg-innhold og innhold av met-Hg (Tabell 5). Fra stasjon 12 (Figur 1) er hele profilen fra 0 til 29 cm analysert, fra stasjon 10 er de fleste snittene fra 2 til 40 cm dyp analysert.

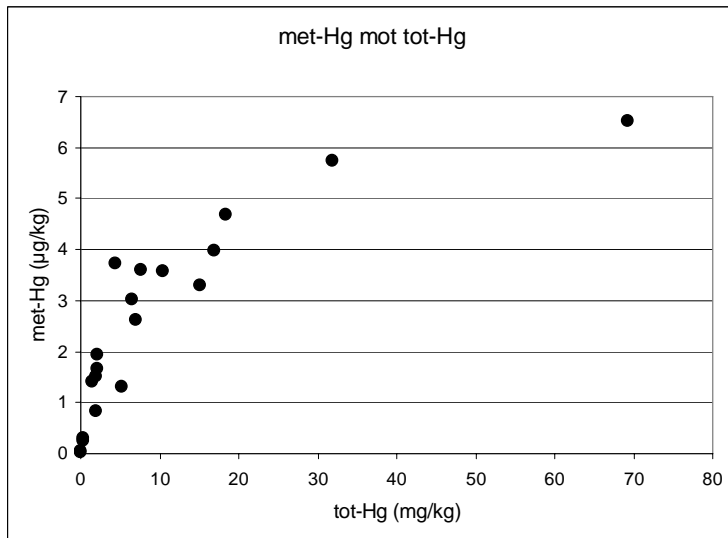
Tabell 5. Konsentrasjoner av tot-Hg, met-Hg, uorganisk Hg (som differens) og prosentandel som met-Hg utgjør av tot-Hg.

Stasjon	Sedimentdyp cm	Tot-Hg mg/kg tv	Met-Hg µg/kg tv	Uorg. Hg µg/kg tv	met-Hg/tot-Hg %
2 (I)	2-4	31,9	5,75	31894	0,018
2 (II)	2-4	69,3	6,52	69293	0,009
2	4-6	10,4	3,58	10436	0,034
6 (I)	2-4	18,4	4,69	18395	0,025
6 (II)	2-4	1,39	1,4	1389	0,101
7	2-4	16,9	3,99	16896	0,024
10	2-4	2,13	1,66	2128	0,078
10	4-6	2,18	1,95	2178	0,089
10	10-15	5,14	1,3	5139	0,025
10	20-25	6,46	3,03	6457	0,047
10	30-35	1,95	1,51	1948	0,077
10	35-40	0,34	0,25	340	0,074
12	0-2	4,35	3,73	4346	0,086
12	2-4	7,69	3,61	7686	0,047
12	4-6	15,2	3,3	15197	0,022
12	6-10	7,03	2,62	7027	0,037
12	10-15	1,93	0,84	1929	0,044
12	15-20	0,38	0,31	380	0,082
12	20-25	0,05	0,06	50	0,120
12	25-29	0,06	<0,05	57	0,044

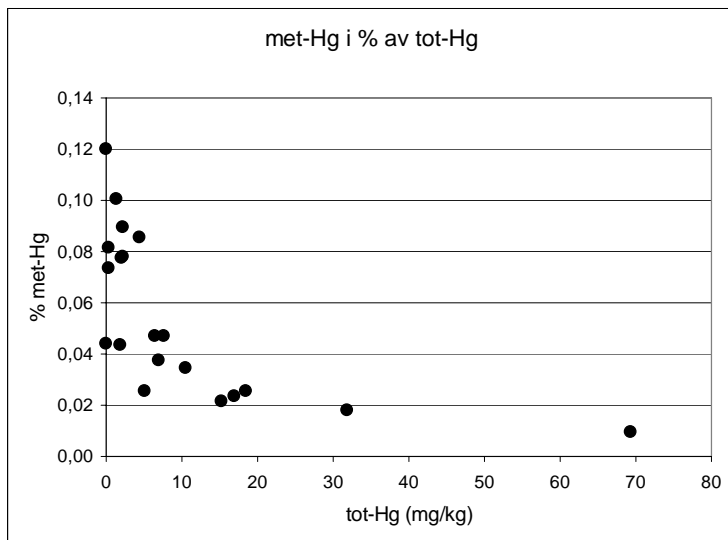
Innholdet av met-Hg varierte fra <0,05 µg/kg tørrvekt til 6,52 µg/kg tørrvekt. Det var signifikant positiv korrelasjon mellom tot-Hg og met-Hg over hele materialet (Figur 2, korrelasjonskoeffisient:

0,87 på logaritmisk x-akse, $p < 0,01$), dvs. at prøvene med høyest tot-Hg også hadde høyest innhold av metyl-Hg.

Metyl-Hg utgjorde fra 0,09 % til 0,12 % av tot-Hg (Tabell 5). Normalt utgjør andelen metyl-Hg i marint sediment under 1 %, så de funne prosentandelene må betegnes som vanlige. Resultatene viser at selv i sedimentene på stasjon 2, 6 og 7 med til dels meget høy tot-Hg var ikke prosentandelen metyl-Hg høy. Figur 3 viser at den høyeste prosentforekomsten av metyl-Hg fantes i prøvene med lavest tot-Hg (signifikant negativ korrelasjon, korrelasjonskoeffisient: $-0,85$ på logaritmisk x-akse, $p < 0,01$).



Figur 2. Forholdet mellom tot-Hg og met-Hg i alle sedimentprøvene.



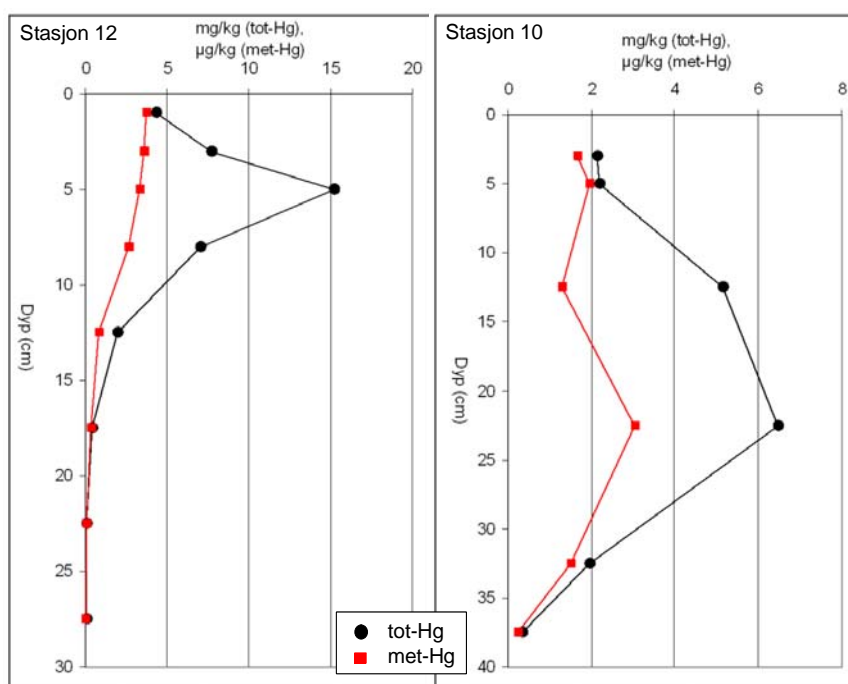
Figur 3. Endring i prosentinnhold av met-Hg med økende tot-Hg i alle sedimentprøvene.

Analysene av organisk/uorganisk Hg omfattet en komplett vertikalprofil i de øvre 30 cm fra Stasjon 12 og en nesten komplett profil fra Stasjon 10 ned til 40 cm (Figur 4). På Stasjon 12 viste tot-Hg et klart

maksimum i 4-6 cm sedimentdyp og jevnt avtakende konsentrasjon videre nedover. Ut fra den tidligere aldersdateringen av sedimentene som ga en estimert tilvekst på 4-5 mm/år skulle dette tilsi en maksimal tilførsel til stasjon 12 rundt 1994, dvs. betydelig senere enn brannen på Jotun. Dette indikerer at den største resuspensjonen av Hg fra det sentrale området kan ha skjedd midt på 1990-tallet.

På stasjon 10 ble høyeste tot-Hg funnet i 20-25 cm dyp, noe som også samsvarer med tidligere analyser på samme stasjon (maksimum fra 15-20 cm og nedover). Maksimum i 10-25 cm sjiktet samsvarer med tidspunktet for brannen på Jotun og støtter antakelsen om at brannmateriale kan ha forflyttet seg utover mot det dypeste partiet av fjorden utenfor Gimle. Forskjellen mellom profilene for tot-Hg på stasjon 10 og 12 støtter også tidligere konklusjon om at spredningen av resuspendert sediment fra det sentrale området skjer i større grad mot sør enn mot øst.

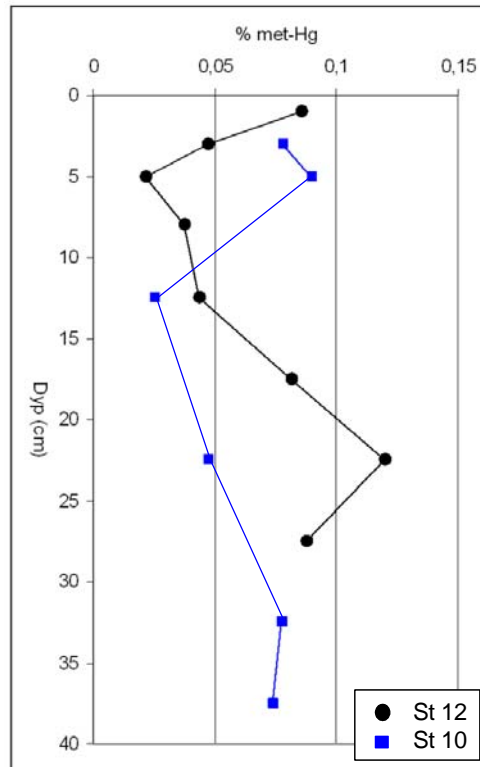
Vertikalprofilen for metyl-Hg på stasjon 12 viste jevnt fallende konsentrasjoner med sedimentdyp og uten noe maksimum på 4-6 cm (Figur 4). På stasjon 10 var det antydning til et maksimum i 20-25 cm dyp, men klart mindre utpreget enn for tot-Hg. Hvis en antar at metyl-Hg dannes fra uorganisk Hg i de diagenetiske prosessene i sedimentet, kan forholdene, spesielt på Stasjon 12 tyde på at sedimentenes kapasitet for å danne metyl-Hg er begrenset av andre faktorer enn tilgangen på Hg.



Figur 4. Vertikalfordeling av tot-Hg (mg/kg tørrvekt) og metyl-Hg (µg/kg tørrvekt) på Stasjon 10 og 12. NB: ulike skalaer på horisontal og vertikal aksene i de to diagrammene.

Det finnes ikke data for redoksforhold i sedimentene som forekomsten av metyl-Hg direkte kan sammenliknes med. Sedimentet på stasjon 10 dypere enn 4 cm ble beskrevet som gråsvart silt og leire, på stasjon 12 som siltig, grå sand. De dypere sjiktene var derfor sannsynligvis anoksiske, men ikke tilstrekkelig til at det ble notert lukt av H₂S. Selv om absolutte konsentrasjoner av metyl-Hg synker med økende sedimentdyp antyder vertikalfordelingene på stasjon 10 og 12 (Figur 5) svakt at prosentinnholdet av metyl-Hg øker i de dypere lag av sedimentet. Det er imidlertid ikke mulig å avklare om dette skyldes mer reduserende forhold, lengre tid for diagenetisk dannelse av metyl-Hg, at

tilførselsforholdene for Hg har endret seg over tid, eller at de høyere nivåene av tot-Hg nærmere overflata gir "kunstig" lav prosentandel metyl-Hg der. Ser vi bort fra den ene prøven i 20-25 cm sjiktet på stasjon 12 er imidlertid ikke prosentandelen av metyl-Hg i de dypere sedimentlagene høyere enn i overflata (Figur 5).



Figur 5. Vertikalfordeling av % metyl-Hg (av tot-Hg) i sedimentet på stasjon 10 og 12.

3.1.4 Bly

Med unntak av stasjon 8 og referansestasjon 1 (begge i klasse IV) lå alle overflateprøvene i SFT klasse III og II (Tabell 6). På stasjonene 6, 7 og 8 langs sørenden av Jotun var det imidlertid et sjikt med blykonsentrasjoner i klasse IV og V fra 4 cm og nedover, dypest (minst til 20 cm) på stasjon 6. På stasjon 7 er Pb-belastningen begrenset til de øvre ca 15 cm. Vertikalprofilene nord (stasjon 5) og sør (stasjon 11-13) for dette og utover til stasjon 10 i dypålen viste mindre forurensning med dyp. Blyforurensningen synes derfor å være begrenset til et mindre område rett utenfor sørlige del av Jotun. Resultatene viser et godt samsvar mellom Pb og Hg: ca 10 ganger høyere konsentrasjon i kjerne 6a enn i kjerne 6b ned til 15 cm, deretter ganske likt nivå.

Tabell 6. Blykonsentrasjoner (mg/kg tørrvekt) i sjøsedimentene utenfor Gimle 2005 og 2006. Fargene viser klassifisering etter SFTs miljøkvalitetskriterier (rødt: klasse V, oransje: klasse IV, gult: klasse III, grønt: klasse II og blått: klasse I). Tomme celler er ikke analysert.

cm dyp	Stasjon														
	1	2	3	4	5	6a	6b	7a	7b	8	9	10	11	12	13
0-2	780	545	230	-	149	456		215		835	165	110	175	-	216
2-4	-	-	-	-	-	-		-	515	-	-	-	-	-	-
4-6	-	-	-	-	-	1810	335	963	891	6030	206	-	354	-	-
6-10	-	195	-	-	464	4260		1840	1170	1580	300	181	90	-	312
10-15	-	-	-	-	298	2540	222	1200	94,1	754	670	-	-	-	104
15-20	-	18	-	-	-	757	946	68,4		208	-	401	-	-	44
20-25	-	-	-	-	-	2120		-		-	-	-	-	-	-
25-30	-	1290	-	-	-	-		-		-	-	238	-	-	-

3.1.5 PCB

De supplerende analysene forsterker inntrykket av at den ekstremt høye konsentrasjonen av PCB₇ i 6-10 cm sedimentdyp i kjerne 6a var sterkt begrenset vertikalt (Tabell 7). Snittene over (4-6 cm) og spesielt under (10-15 cm), hadde betydelig lavere konsentrasjon, men fortsatt i klasse IV og V. Analysene av kjerne 6b viser også at sjikt 4-6 cm og 10-15 cm hadde relativt lavt PCB-nivå i forhold til ekstremverdien. Vi har ikke PCB-analyse fra sjikt 6-10 cm i kjerne 6b, men dette er prøven som ble betegnet som industriavfall med malingslukkt under kornfordelingsanalysen. Dette tyder på at PCB-nivået kan ha vært meget høyt også her. De supplerende analysene av kjerne 7b bekrefter tidligere inntrykk av at PCB-nivået på stasjon 7 synker når man kommer ca 10 cm ned i sedimentet. Mønsteret i Tabell 7 viser at PCB er meget flekkvis fordelt fra ca 10 cm og nedover i det sentrale området.

Vertikalfordelingen av PCB endret seg langs en linje fra Jotun-kaia og ut til dypålen (stasjon 2, 8, 9 og 10) ved at den høyeste konsentrasjonen gradvis ble funnet lenger nede i sedimentet. Dette tyder også på at de dypere sedimentene får tilført et renere sediment i dag enn tidligere.

Tabell 7. Konsentrasjoner av sumPCB₇ (µg/kg tørrvekt) i sjøsedimentene utenfor Gimle 2005 og 2006. Fargene viser klassifisering etter SFTs miljøkvalitetskriterier (rødt: klasse V, oransje: klasse IV, gult: klasse III, grønt: klasse II og blått: klasse I). Tomme celler er ikke analysert.

cm dyp	Stasjon														
	1	2	3	4	5	6a	6b	7a	7b	8	9	10	11	12	13
0-2	63	128	165	-	66	294		120		205	113	32	53	-	125
2-4	-	-	-	-	-	-		-	578	-	-	-	-	-	-
4-6	-	-	-	-	-	1757	201	2566	494	1215	109	-	0	-	-
6-10	-	2	-	-	148	>34637		714	709	216	331	183	10	-	137
10-15	-	-	-	-	67	122	156	69	194	43	485	-	-	-	9
15-20	-	0	-	-	-	6	583	9		5		110	-	-	2
20-25	-	-	-	-	-	397		-		-	-	-	-	-	-
25-30	-	38	-	-	-	-		-		-	-	4	-	-	-

3.1.6 Tributyltinn

De aller fleste analysene viste TBT i SFT klasse V (Tabell 8). På stasjon 6 viser analysen av sjikt 15-20 cm i kjerne 6b at TBT-forurensningen stikker dypere enn 20 cm. Kjerne 6b hadde konsekvent høyere TBT enn kjerne 6a. Dette er motsatt av tendensen for Hg og Pb, men samsvarer med tendensen

for TOC. TBT-mønsteret svekker inntrykket av samvariasjon mellom de ulike miljøgiftene som er beskrevet i rapporten fra 2006 (Havik og Bakke 2007), og styrker påstanden om at TBT kan ha andre kilder og en annen oppførsel i sjømiljøet enn de øvrige analyserte miljøgiftene. På stasjon 7 var nivåforskjellen mellom samsvarende sjikt i de to kjernene noe usystematisk, men hovedinntrykket er at TBT-belastningen minsker dypere enn 10 cm nede i sedimentet.

Tabell 8. Konsentrasjoner av tributyltinn TBT ($\mu\text{g}/\text{kg}$ tørrvekt) i sjøsedimentene utenfor Gimle 2005 og 2006. Fargene viser klassifisering etter SFTs miljøkvalitetskriterier (rødt: klasse V, oransje: klasse IV, gult: klasse III, grønt: klasse II og blått: klasse I). Tomme celler er ikke analysert.

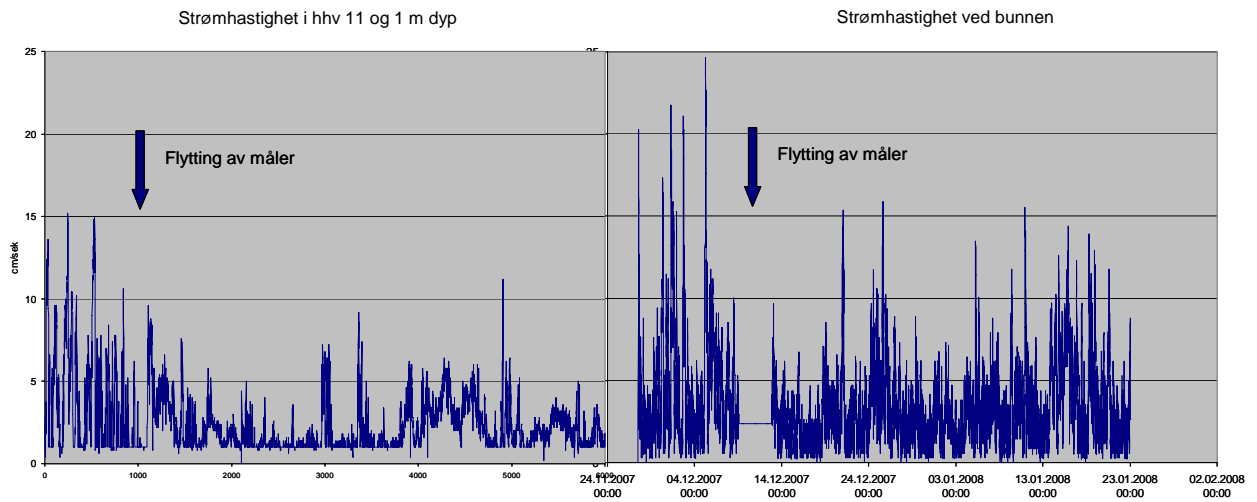
cm dyp	Stasjon														
	1	2	3	4	5	6a	6b	7a	7b	8	9	10	11	12	13
0-2	240	370	1) 2600	-	560	600		2000		700	1000	680	750	-	700
2-4	-	-	-	-	-	-	-	-	1300	-	-	-	-	-	-
4-6	-	-	-	-	-	1700	4400	4100	1900	2100	1100	-	490	-	-
6-10	-	16	-	-	570	880		1700	2200	120	1400	2100	96	-	680
10-15	-	-	-	-	69	360	15000	120	670	78	1100	-	-	-	6,4
15-20	-	<1	-	-	-	8,8	5000	3,2		6,4		230	-	-	11
20-25	-	-	-	-	-	3000		-		-	-	-	-	-	-
25-30	-	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-

1) for 2006. I 2005 var nivået 2900 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

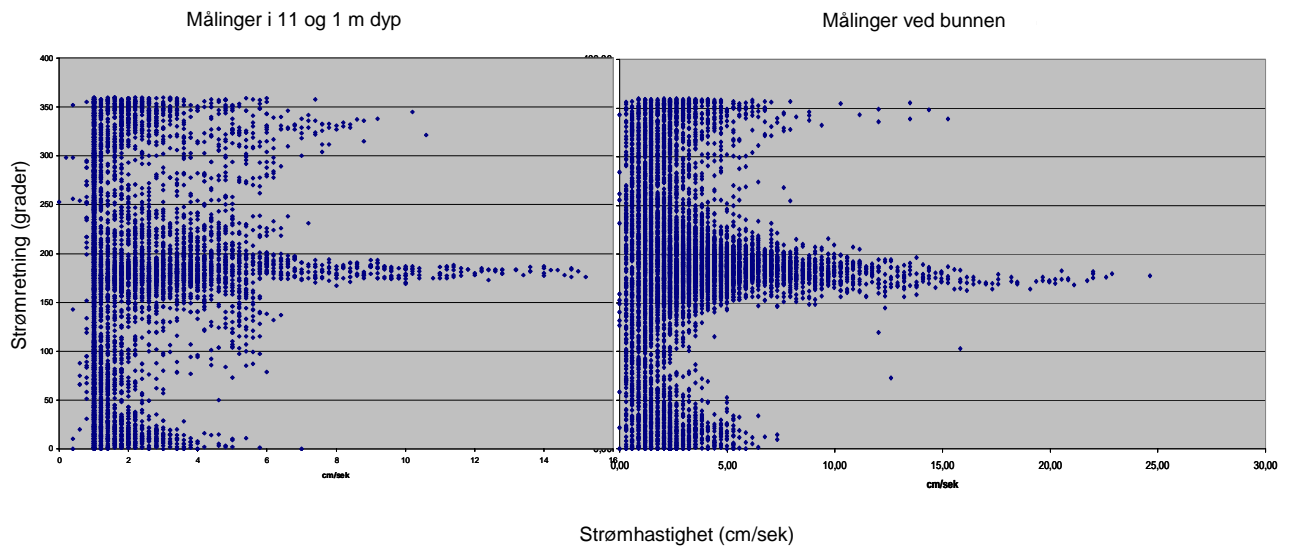
3.2 Strømmålinger

Strømmålingene ved bunnen viste ganske entydig mønster i hele måleperioden. Stømhastigheten var mesteparten av tiden under 5 cm/sek, men kom i korte perioder opp i 10-15 cm/sek (Figur 6). Perioden før riggen ble flyttet viste korte episoder med strøm på 20-25 cm/sek. Bortsett fra dette var det ikke noen entydige forskjeller mellom de to periodene. Dominerende strømrretning var mot nord og sør (ny figur). De høyeste strømhastighetene var knyttet til disse retningene, og sterkest på sørgående strøm (Figur 7). Turbiditeten i vannet var mesteparten av tiden under 5 NTU (Figur 8) noe som er normalt for fjordområder. Målingene viste en svak, men likevel klar, tendens til at det var høyest turbiditet i vannet når strømmen var sørgående (180° retning, Figur 8). Både strømmønster og turbiditet stemmer med det bildet som vises av det horisontale miljøgiftmønsteret i overflatesedimentene: større partikkelspredning mot sør enn mot nord fra det sentrale området.

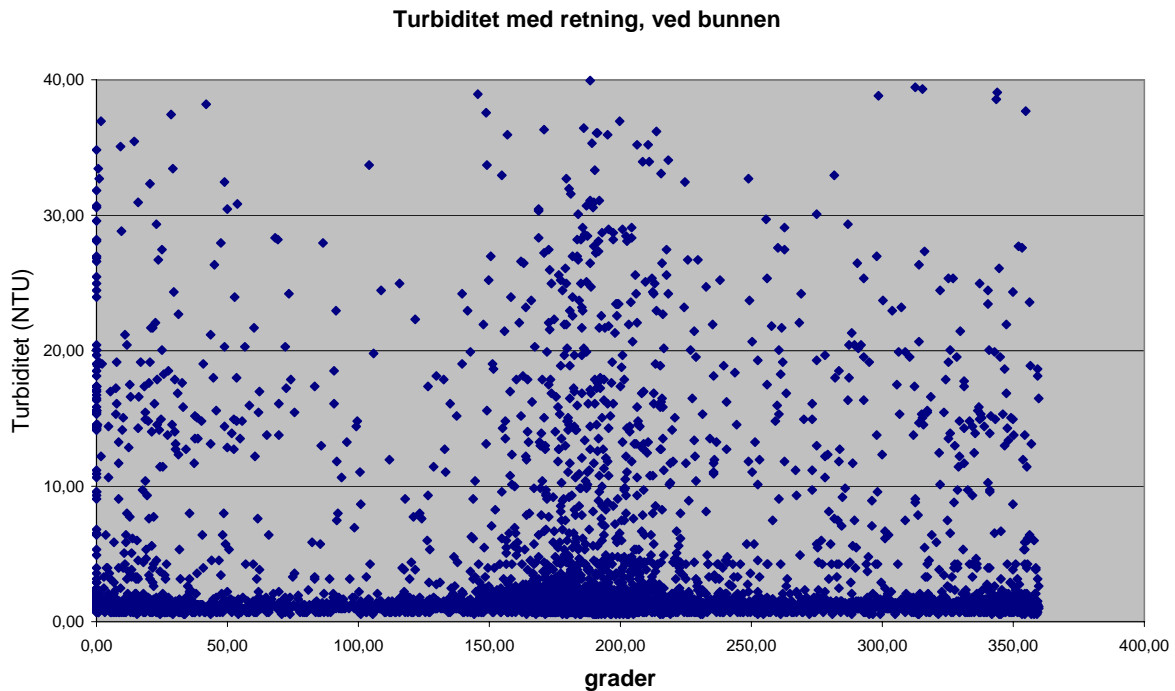
Målingene lenger oppe i vannmassene (11 m dyp i første posisjon og 1 m dyp etter at riggen ble flyttet) viser i store tekk det samme bildet. Strømhastighetene var noe lavere her enn ved bunnen og spesielt da riggen sto nærmest land (Figur 6). Strømrretningen var også mer variabel enn ved bunnen (ny figur) og bare i kortere perioder var det vedvarende strøm mot sør. Også i de øvre vannmassene hadde sørgående strøm de største strømhastighetene (Figur 7).



Figur 6. Variasjon i strømhastighet (cm/sek) i to ulike dyp rett sør for Jotun i perioden 24.11.2007 – 23.01.2008. Pil viser når riggen ble flyttet av uvedkommende.



Figur 7. Fordeling av strømhastigheter i ulike kompassretninger i posisjon rett sør for Jotun.



Figur 8. Turbiditet (NTU) som funksjon av strømretning.

3.3 Kvikksølv i bunnfauna

Konsentrasjonen av tot-Hg i bunnfauna varierte fra 0,09 mg/kg tørrvekt i børstemark (*Nephtys* type) på stasjon A nord for Jotun til 3,47 mg/kg tørrvekt i muslingen *Nuculoma tenuis* på stasjon B rett utenfor kaiene (Tabell 9, Figur 9). Innen hver av faunakategoriene var Hg-nivået lavest på stasjon A (nord for Jotun) og høyest på stasjon B (utenfor Jotun). Dette samsvarer med mønsteret for Hg i sedimentene og støtter også at transporten av Hg i hovedsak går sørover fra det sentrale, mest forurensede området.

Analysene viser at Hg i sedimentene er biotilgjengelig for den lokale sedimentfaunaen. Det tidligere analysene av blåskjell fra de samme områdene (Tabell 9) viste omtrent samme nivå som i sedimentfaunaen på stasjon A nord for Gimle, men ca 10-100 x lavere nivå enn i sedimentfaunaen på stasjon B og C. Forskjellen kan være at bunnfaunaen er i direkte kontakt med sedimentene og til dels spiser dette. De to faunakategoriene med høyest kvikksølvinnhold (*Nuculoma* og "Sedentaria diverse") spiser sediment, mens *Nephtys*, *Goniada* og *Glycera*, som hadde lavere kvikksølvinnhold, er rovdyr. Spesielt interessant er forskjellen mellom de to muslingene *Nuculoma* og blåskjell som begge lever av partikler. På stasjon B og C hadde *Nuculoma*, som bare spiser sedimentpartikler, 123 – 248 ganger høyere Hg-innhold enn blåskjell, som spiser partikler i vannet inklusive eventuelt resuspendert sediment. Ingen av analysene innbefattet at muslingene gikk seg rene for tarminnhold før analyse, og dette kan ha gitt større overestimering av Hg i de små *Nuculoma* enn i de større blåskjell. Selv om noe av forskjellen kan skyldes dette, indikerer resultatene likevel at bare en liten del av dietten til blåskjellbestanden er resuspendert sediment fra det sentrale området. Det kan også være at forholdene i den øvre delen av sedimentet der *Nuculoma* forekommer, er lite reduserende, og at porevannet derfor har et betydelig innhold av løst Hg som er biotilgjengelig. Det faktum at de to rovdyrgruppene i bunnfaunaen hadde 10 – 40 ganger høyere Hg-innhold enn blåskjell indikerer også at porevannet i overflatesedimentene inneholder løst og biotilgjengelig Hg.

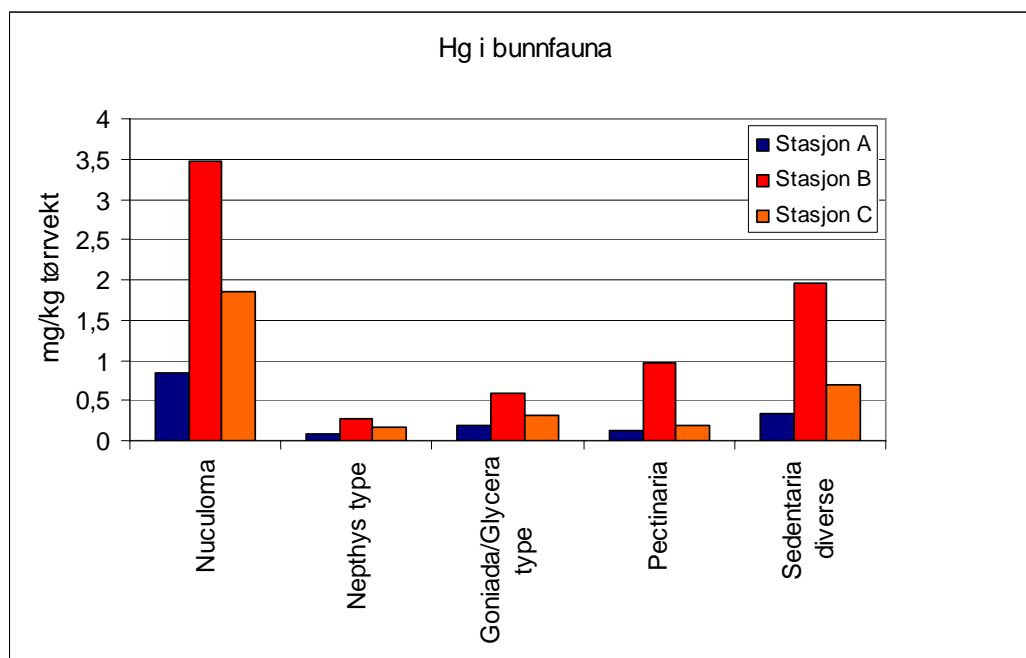
Det finnes ikke norsk miljøklassifisering av metaller i bunnfauna generelt, men det høyeste nivået i *Nuculoma* tilsvarer SFT klasse IV (sterkt forurenset) for blåskjell og klasse III (markert forurenset) for strandsnegl.

På alle stasjonene var det *Nuculoma* som entydig hadde høyest Hg-nivå (Figur 9). Noe av dette kan imidlertid skyldes partikler i tarmkanalen som ikke lot seg fjerne helt under uttak og skylling av bløtdelene. Samme problemet var til stede for "Sedentaria diverse", i tillegg til at det var vanskelig å fjerne sedimentpartikler på utsiden av dyrene helt.

Pectinaria koreni hadde lavere Hg-innhold enn de øvrige faunakategoriene som også spiser sediment. Arten lever i kremmerhusformede rør kittet sammen av mineralkorn og er lett å dissekere ut og skylle, så det kan være at vi her har lyktes i å få vekk alt sediment på utsiden og derved fått en renere prøve enn for "Sedentaria diverse". Forskjellen i Hg-nivå mellom *Pectinaria* og de to rovdyrkategoriene var liten (Figur 9).

Tabell 9. Innhold av Hg i bunnfauna (mg/kg tørrvekt). Resultatene fra analyser av blåskjell i juni 2006 er inkludert.

Faunakategori	Stasjon A	Stasjon B	Stasjon C
<i>Nuculoma tenuis</i>	0,85	3,47	1,85
<i>Nephtys</i> type	0,088	0,27	0,16
<i>Goniada/Glycera</i> type	0,18	0,59	0,31
<i>Pectinaria koreni</i>	0,13	0,97	0,19
Sedentaria diverse	0,33	1,95	0,7
Blåskjell	0,185	0,014	0,015



Figur 9. Vevsnivå av Hg i 5 kategorier av bunnfauna (mg/kg tørrvekt) fra 3 stasjoner utenfor Gimle. Stasjonsplasseringen fremgår av Figur 1.

Vi har også gjort et forsøk på å kalkulere forholdet mellom Hg i sedimentet og Hg i bunnfaunaen uttrykt som fordelingskoeffisienter. Vi har tatt utgangspunkt i et gjennomsnittlig innhold av tot-Hg i de øvre 0-2 cm på stasjonene som ligger i områdene A (stasjon 1 og 5), B (stasjon 2, 6, 7, 8 og 9) og C (stasjon 3, 11 og 13) for faunainnsamling. Forholdet mellom Hg-konsentrasjonen i fauna og i sedimentets øvre 0-2 cm kalt BSAF (Biota til Sediment Akkumulerings-Faktor) er vist i (Tabell 10). For samme faunakategori var BSAF ganske lik i de tre områdene. Dette tyder på at organismene er i likevekt med sedimentet mht Hg-innhold. Tabellen reflekterer også det høyere Hg-innholdet i *Nuculoma* i forhold til polychaetene ved at BSAF for *Nuculoma* var ca 3-6 ganger høyere. Som sagt kan noe av dette være på grunn av sedimentpartikler i tarmkanalen hos *Nuculoma*.

Tabell 10. Beregning av BSAF (Biota til Sediment Akkumulerings-Faktor) for de tre faunaområdene utenfor Jotun. BSAF er konsentrasjon i fauna/konsentrasjon i sediment

Gjennomsnittlig tot-Hg (mg/kg tv)	Stasjon A	Stasjon B	Stasjon C
Alle arter	0,32	1,45	0,64
Alle polychaeter	0,18	0,95	0,34
<i>Nuculoma</i>	0,85	3,47	1,85
<i>Goniada/Glycera</i> type	0,18	0,59	0,31
<i>Pectinaria</i>	0,13	0,97	0,19
Sediment 0-2 cm	2,41	14,05	6,30

BSAF	Stasjon A	Stasjon B	Stasjon C
Alle arter	0,13	0,10	0,10
Alle polychaeter	0,08	0,07	0,05
<i>Goniada/Glycera</i> type	0,07	0,04	0,05
<i>Pectinaria</i>	0,05	0,07	0,03
<i>Nuculoma</i>	0,35	0,25	0,29

For Hg oppgir SFTs risikoveileder (SFT TA-2230/2007) en fordelingskoeffisient (Kd) mellom sediment og porevann på 100 000 og en fordelingskoeffisient (BCF) mellom vann og fisk på 797 (omregnet til tørrvekt). Den teoretisk BSAF for Hg beregnet ut fra disse er 0,008 dvs 6 - 44 x lavere enn de beregnede BSAF-verdiene utenfor Jotun. Som tidligere nevnt er analysene av virkelig akkumulert Hg mest pålitelig for rovdirene og *Pectinaria*, og her var estimert BSAF 4-9 ganger høyere enn den teoretiske fra risikoveilederen. Dette betyr at Hg i sedimentet faktisk er mer biotilgjengelig enn det risikoveilederen legger til grunn. Det er mange usikkerheter i disse sammenlikningene, bl.a. hvorvidt faunaen også er blitt eksponert for de noe høyere Hg-nivåene lenger nede i sedimentene, men uansett viser undersøkelsen at Hg er klart biotilgjengelig.

Det er vanskelig å bedømme om denne akkumuleringen representerer noen helserisiko for mennesker som spiser fisk fanget i nærheten av Gimle. SFTs risikoveileder for forurensede sedimenter av 2005 (SFT TA-2085/2005) angir en grenseverdi mht risiko for human helse på 6 mgHg/kg tv sediment. Gjennomsnittet i de øvre 0-2 cm av alle tilgjengelige sedimentprøver i hele område A - C er 9,2 mgHg/kg, og ut fra dette utgjør Hg i sedimentet en teoretisk risiko for skade på human helse. Beregningene forutsetter imidlertid både at denne fisken kun lever av bunndyr fra dette området og at mennesker i risikozonen har et livslangt konsum av sjømat herfra. Begge deler er lite sannsynlig og vi bedømmer derfor risikoen for skade på human helse som følge av Hg i sedimentene som akseptabel. Dette støttes også direkte av analyser av skrubbefilét og krabbe tatt innenfor Tranga i 1997 som viste Hg-konsentrasjoner på antatt bakgrunnsnivå (Knutzen og Hylland 1998).

4. Konklusjoner

De kjemiske analysene av sedimentene utenfor Jotun viser et relativt normalt innhold av organisk karbon på 0,5 – 8 %, bortsett fra en ekstremverdi på 19 % litt nede i sedimentet sentralt utenfor kaiene.

De supplerende analysene av Hg (kvikksølv) samsvarte med de tidligere analysene og viste at det sentrale området jevnt over tilsvarte SFT klasse V ned til minst 20-25 cm i sedimentet. Utover mot dypet fantes de høyeste nivåene litt nede i sedimentet, mens sedimentene sør for Jotun hadde de høyeste nivåene av Hg i de øverste 6-10 cm. Innholdet av organisk bundet Hg (metyl-Hg) var fra 0,09 % til 0,12 % av total-Hg, noe som ansees normalt for marine sedimenter. Konsentrasjonen av total-Hg og metyl-Hg korrelerte positivt og det var ingen systematisk endring i % metyl-Hg med sedimentdyp. Vertikalmønsteret viser at dannelsen av metyl-Hg i sedimentet er begrenset av andre faktorer enn tilgangen på uorganisk Hg. På en stasjon rett sør for Jotun var det et klart maksimum i total-Hg i 4-6 cm sedimentdyp. Dette indikerer at den største resuspensjonen av Hg fra det sentrale området skjedde midt på 1990-tallet. Utover mot dypet indikerte en tilsvarende vertikalprofil at høyeste tilførsel skjedde rundt perioden for brannen i 1976.

Supplerende analyser av Pb (bly) ble også gjennomført og totalbildet viser godt samsvar mellom Pb og Hg.

De supplerende analysene av PCB forsterker inntrykket av at den ekstremt høye konsentrasjonen som ble funnet i 6-10 cm sedimentdyp sentralt utenfor Jotun er sterkt begrenset vertikalt. PCB er meget flekkvist fordelt i det sentrale området, men med de høyeste nivåene i de øvre 10 cm. Mot dypere vann ble de høyeste PCB-nivåene funnet litt nede i sedimentet.

Mønsteret av TBT (tributyltinn) viser også stort sett det samme horisontale og vertikale mønsteret som de andre miljøgiftene, men nivåene i parallelle kjerner tatt sentralt utenfor Jotun indikerer at TBT kan ha andre kilder og en noe annen oppførsel i miljøet enn de andre miljøgiftene.

Strømmålinger gjennomført i to punkter rett sør for Jotun viser i hovedsak vekslende sør- og nordgående strøm med typisk hastighet under 5 cm/sek. Sørgående strøm hadde de høyeste hastighetene. Samtidige turbiditetsmålinger viste høyest turbiditet i vannmassene på sørgående strøm.

Både strøm-, turbiditets- og miljøgiftmønsteret støtter konklusjonen om at spredningen av resuspendert sediment skjer i størst grad sørover fra det sentrale området, og at sedimentene i de dypere områdene øst for Jotun får tilført renere sediment i dag enn tidligere.

Hg-nivået i 5 grupper av bunnfauna samlet i 3 områder (sør for, midt utenfor og nord for Jotun) var lavest nord for Jotun og høyest sentralt utenfor Jotun og samsvarte således med Hg-mønsteret i sedimentene. Forholdet mellom Hg i sediment og Hg i bunnfauna varierte med faunatype, men var det samme i alle tre områdene for samme faunatype. Dette viser at Hg er i likevekt mellom sediment og fauna, og at Hg er biotilgjengelig. Den sedimentlevende muslingen *Nuculoma tenuis* hadde 123 – 248 ganger høyere Hg-innhold enn blåskjell fra de samme områdene. Dette, samt mønsteret for de andre bunnfaunaprøvene, viser også at Hg i sedimentene er biotilgjengelig og iallfall til dels løst i porevannet. Biotilgjengeligheten synes å være større enn det som generelt antas for Hg i SFTs risikoverktøy for forurensede sedimenter. Risikoen for skade på human helse av Hg i disse sedimentene gjennom konsum av sjømat ansees likevel for å være liten. Dette støttes av tidligere undersøkelser som har vist at torsk og krabbe fra indre del av Sandefjordsfjorden ikke er Hg-forurenset.

5. Referanser

- Havik, B og Bakke, T, 2006. Jotun A/S, Sandefjord. Miljøtekniske grunn- og sedimentundersøkelser på Gimle og ute i fjorden. NGI-rapport 20051387-1, Rev. 01. Datert 9. januar 2006
- Havik, B og Bakke, T, 2007. Jotun A/S, Sandefjord. Miljøtekniske grunn- og sedimentundersøkelser på Gimle og ute i fjorden. Supplerende undersøkelse 2006. NGI-rapport 20051387-2, Rev. 01. Datert 22. mars 2007
- Knutzen, J og Hylland, K, 1998. Miljøovervåkning i Sandefjordsfjorden og indre Mefjorden 1997-98. Delrapport 3. Miljøgifter i fisk og skalldyr. SFT TA-1586/1998, NIVA rapport 3934-1998. 76 s.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

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



Norsk institutt for vannforskning

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