

Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

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

Østlandsavdelingen

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

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5008 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-NIVA A/S

9015 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

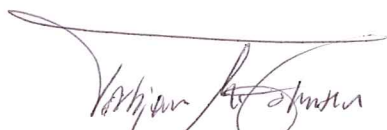
Tittel Store Lungegårdsvann - overvåking under dumping av sprengstein	Løpenr. (for bestilling) 4109-99	Dato 25.11.99
	Prosjektnr. Undernr. O-99031	Sider Pris 53
Forfatter(e) Torbjørn M. Johnsen Jarle Molvær Arild Sundfjord	Fagområde Miljøgifter sjøvann	Distribusjon
	Geografisk område Hordaland	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Bergen kommune	Oppdragsreferanse Olav Ytre-Arne
------------------------------------	-------------------------------------

Sammendrag

I forbindelse med dumping av sprengstein i Store Lungegårdsvann har vannkvaliteten vært overvåket i perioden januar-mars 1999. Målinger av TOC i vannmassene i dumpingsområdet viste at gammel sjøbunn bare unntaksvis ble virvlet opp til overflaten. Analyser av PCB og PAH viste lave konsentrasjoner for samtlige prøver. Generelt var Hg-konsentrasjonen lav, men ved en måling ble det konstatert Hg-konsentrasjoner mellom 1,5 og 3,0 ng/l (tilstandsklasse II - "Moderat forurenset") og med en avtagende konsentrasjonsgradient fra dumpingsområdet til Damsgårdundet. Økninger i PAH- og Hg-konsentrasjonene var korrelert med økning i TOC-verdiene. Transmisjonsmålinger viste at siltskjørt rundt dumpingsområdet virket effektivt forebyggende mht. partikkelspredning.

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Store Lungegårdsvann 2. Sprengstein utfylling 3. Overvåking 4. Miljøgifter 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Store Lungegårdsvann 2. Boulder dumping 3. Monitoring 4. Chemical pollutants
---	---


Torbjørn M. Johnsen
Prosjektleder


Kari Nygaard
Forskningsleder
ISBN 82-577-3718-6


Bjørn Braaten
Forskningsjef

Store Lungegårdsvann

– overvåking under dumping av sprengstein

Forord

Rapporten er utarbeidet av Norsk institutt for vannforskning (NIVA) på oppdrag av Bergen kommune. Oppdraget er gjennomført på grunnlag av bestillingsbrev av 19.01.99 sendt fra Instanes a.s på vegne av Bergen kommune.

Prosjektleder hos Bergen kommune har vært Olav Ytre-Arne.

Prosjektgjennomføringen har vært ledet av Instanes a.s hvor Lars Christensen var kontaktperson i første del av prosjektet, mens Kjell Petter Solhaug senere overtok prosjektansvaret.

Ved NIVAs Vestlandsavdeling har Einar Nygaard, Arild Sundfjord, Camilla Grimsby og Torbjørn M. Johnsen gjennomført feltarbeid inkludert utsetting av strømrigger, hydrografiske målinger, måling av transmisjon og innsamling av vannprøver. Alle analyser av vannprøver har vært utført ved NIVAs laboratorium i Oslo.

Rapporten er kvalitetssikret av Ketil Hylland.

Hovedansvarlige for rapporteringen har vært Arild Sundfjord, Jarle Molvær og Torbjørn Johnsen.

Bergen, 25. november 1999

*Torbjørn M. Johnsen
(prosjektleder)*

Innhold

Sammendrag	5
Summary	6
1. Bakgrunn	7
2. Materiale og metoder	8
2.1 Områdebeskrivelse	8
2.2 Stasjoner	9
2.3 Hydrografi	9
2.4 Strøm- og partikkelmålinger.	10
2.4.1 Instrumenttyper	10
2.5 Transmisjonsmålinger	11
2.6 Vannprøver	11
2.7 Beregning av fortynning og konsentrasjoner	12
2.7.1 Metode	12
2.7.2 Data	12
3. Resultater	14
3.1 Måleresultater - hydrografi	14
3.2 Måleresultater - strøm	15
3.2.1 RCM9	15
3.2.2 ADP	19
3.3 Resultater - fortynning	24
3.4 Transmisjon	25
3.5 Partikkelanalyse	29
3.6 Kjemiske analyser	30
3.6.1 Totalt organisk karbon - TOC	30
3.6.2 Miljøgifter	30
3.7 Transport av miljøgifter	33
4. Diskusjon	35
5. Litteratur	38
Vedlegg A.	39
Vedlegg B.	44
Vedlegg C.	46
Vedlegg D.	50
Vedlegg E.	53

Sammendrag

I forbindelse med steindumping i Store Lungegårdsvann ble det i perioden januar-mars 1999 gjennomført 5 innsamlinger av hydrografiske data og vannprøver fra 1 meters dyp for analyse av PCB, PAH, Hg og TOC i tillegg til transmisjonsmålinger. En innsamlings- og prøvetakingsrunde ble foretatt før steindumping ble igangsatt, mens de 4 resterende rundene ble gjennomført under steindumping. Prøveinnsamling og transmisjonsmålinger ble foretatt innenfor og utenfor siltskjørtet i Store Lungegårdsvann og i Damsgårdsundet. I samme periode ble det gjennomført strømmålinger på to stasjoner i Store Lungegårdsvann.

Store Lungegårdsvann er et basseng med grunn terskel slik at dypvannet til tider blir stagnant. Målinger av salinitet og temperatur viste at det fant sted en dypvannsutsiftning i løpet av januar 1999.

Vannstrømmen i Store Lungegårdsvann er sterkt tidevannspåvirket. Ved fløende sjø presses vann med stor kraft gjennom sundet under Nygårdsbroen. Strømmen følger topografien og svekkes etter hvert som den trenger lenger innover i bassenget. På fjærende sjø er det en roligere strøm ut fra bassenget.

Målingene av TOC i vannmassene viste at forurenset sjøbunn kun unntaksvis ble transportert opp i det øvre brakkvannslaget.

Konsentrasjonene av PCB₇ i vannmassene oversteg deteksjonsgrensen på 0,1-0,2 ng/l kun i ett tilfelle.

Høyeste konsentrasjon av total PAH var 47,7 ng/l hvorav 68% besto av disykliske forbindelser - noe som sannsynliggjør at forurensningskilden ikke var oppvirvlet sjøsediment, men forurensning fra vei eller trafikk. For de ekte PAH-ene ble det ikke funnet noen klare konsentrasjonsgradienter fra dumpingsområdet og ut til stasjonen i Damsgårdsundet. PAH-konsentrasjonene i vannmassene var generelt sett lave.

Konsentrasjonene av kvikksølv var generelt lave (<1 ng/l), men ved siste prøveinnsamling viste analyseresultatene konsentrasjoner mellom 1,5 og 3,0 ng Hg/l (tilstandsklasse II - "Moderat forurenset") med høyeste verdi innenfor siltskjørtet og laveste verdi i Damsgårdsundet.

Målingene viste at økende mengder total PAH og Hg i vannmassene i Store Lungegårdsvann var godt korrelert med økende TOC-verdier.

Lave konsentrasjoner og manglende konsentrasjonsgradienter for PCB₇ og PAH ga ikke grunnlag for beregning av transport av disse stoffene ut fra Store Lungegårdsvann som følge av steindumping. I ett tilfelle med avtagende konsentrasjonsgradient fra dumpingsområdet til Damsgårdsundet ble den potensielle transporten av Hg beregnet til 240 mg, men på bakgrunn av numeriske modellberegninger kan en gjøre regning med at mesteparten av kvikksølvet (~90%) vil sedimentere inne i Store Lungegårdsvann.

Transmisjonsmålinger viste at siltskjørtet rundt dumpingsområdet virket svært dempende, spesielt på spredningen av steinpartikler. Partikkeltettheten i vannet utenfor siltskjørtet var korrelert til dumpingsaktiviteten slik at de laveste konsentrasjonene ble registrert ved ukestart etter at det hadde vært stans i dumping av sprengstein.

Dypvannsutsiftningen i Store Lungegårdsvann i januar førte til tilførsel av klart dypvann. I løpet av måleperioden økte i partikkelmengden både naturlig som resultat av tilførsler av partikler fra avrenning og algeproduksjon, men sannsynligvis også på grunn av tilførsler av partikler fra steindumping.

Summary

Title: Store Lungegårdsvann - monitoring during boulder dumping.

Year: 1999.

Author: Johnsen, T.M., J. Molvær & A. Sundfjord.

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3718-6.

In connection with dumping of rocks in Store Lungegårdsvann the water quality was monitored from January-March 1999. The aim of the project was to determine the content of particles and chemical pollutants in the water during the dumping period. In addition there was a need to evaluate measures for particle dispersion prevention.

The water circulation and exchange in Store Lungegårdsvann is mainly tidal. On a rising tide, the water is forced into the basin at great speed. The current follows the topography, and is gradually weakened further inside the basin. On ebbing sea, the outflowing water is much calmer and the flow is more homogeneous.

The sill connecting Store Lungegårdsvann to the fjord system outside is very shallow. This impedes free exchange of water, and causes the deep water in the basin to become periodically stagnant. Measurements of salinity and temperature showed that a renewal of the deep water took place in January 1999.

At three stations - two in Store Lungegårdsvann and one in Damsgårdsundet - water samples from 1 metre depth was analysed with respect to PCB, PAH, Hg, and total organic carbon (TOC). The measurements of TOC showed that sediment from the bottom was only occasionally transported to the surface.

The concentrations of PCB and PAH were low (<0,1-0,2 ng PCB/L and 5-47,7 ng PAH/L, respectively) throughout the period and there was no evident concentration gradient from the dumping area to Damsgårdsundet.

Generally, the concentration of Hg was low (<1,0 ng Hg/L), but at the end of March the concentrations varied between 1,5 and 3,0 ng Hg/L. The highest concentration was found in the dumping area and the lowest in Damsgårdsundet. In this case the potential transport of Hg was estimated to 240 mg, but model simulations show that most of the Hg (~90%) will sediment inside Store Lungegårdsvann.

Measurements of transmission showed that use of a silt skirt around the dumping area reduced the spreading of particles considerably. The density of particles outside the silt skirt was correlated to the occurrence of rock dumping.

1. Bakgrunn

Bergen kommune vedtok like før årsskiftet 1998/99 utfylling av sprengstein i Store Lungegårdsvann, og tidlig i januar 1999 ga miljøvernavdelingen hos Fylkesmannen i Hordaland tillatelse til slik utfylling. Utfyllingen var imidlertid omtvistet, blant annet fordi bunnsedimentene i Store Lungegårdsvann er sterkt forurenset av ulike miljøgifter (Skei et al. 1994, Johnsen et al. 1998). Tidligere undersøkelser har vist at steindumping i Store Lungegårdsvann fører til oppvirvling av sedimenter (Botnen et al. 1995), og på bakgrunn av gjennomførte strømmålinger, sedimentasjonsforsøk og modellberegninger (Johnsen et al. 1998) kunne det ikke utelukkes at steindumpingen kunne føre til at forurensete bunnsediment ble fraktet ut fra dumpingsområdet.

I tillatelsen fra miljøvernavdelingen ble det derfor stilt ulike vilkår for utfyllingen. Et av kravene var at det under utfyllingsarbeidet skulle etableres et siltskjørt for å hindre spredning av forurensning fra utfyllingsområdet. I tillegg skulle det gjennomføres et overvåkingsprogram for å kontrollere partikkel- og miljøgiftkonsentrasjonene i Store Lungegårdsvann og Damsgårdsundet i utfyllingsperioden. Overvåkingsprogrammet skulle også skaffe tilveie data for å dokumentere og vurdere effekten av de igangsatte sikringstiltak, dvs. monteringen av siltskjørt.

Formålet med dette prosjektet har dermed vært:

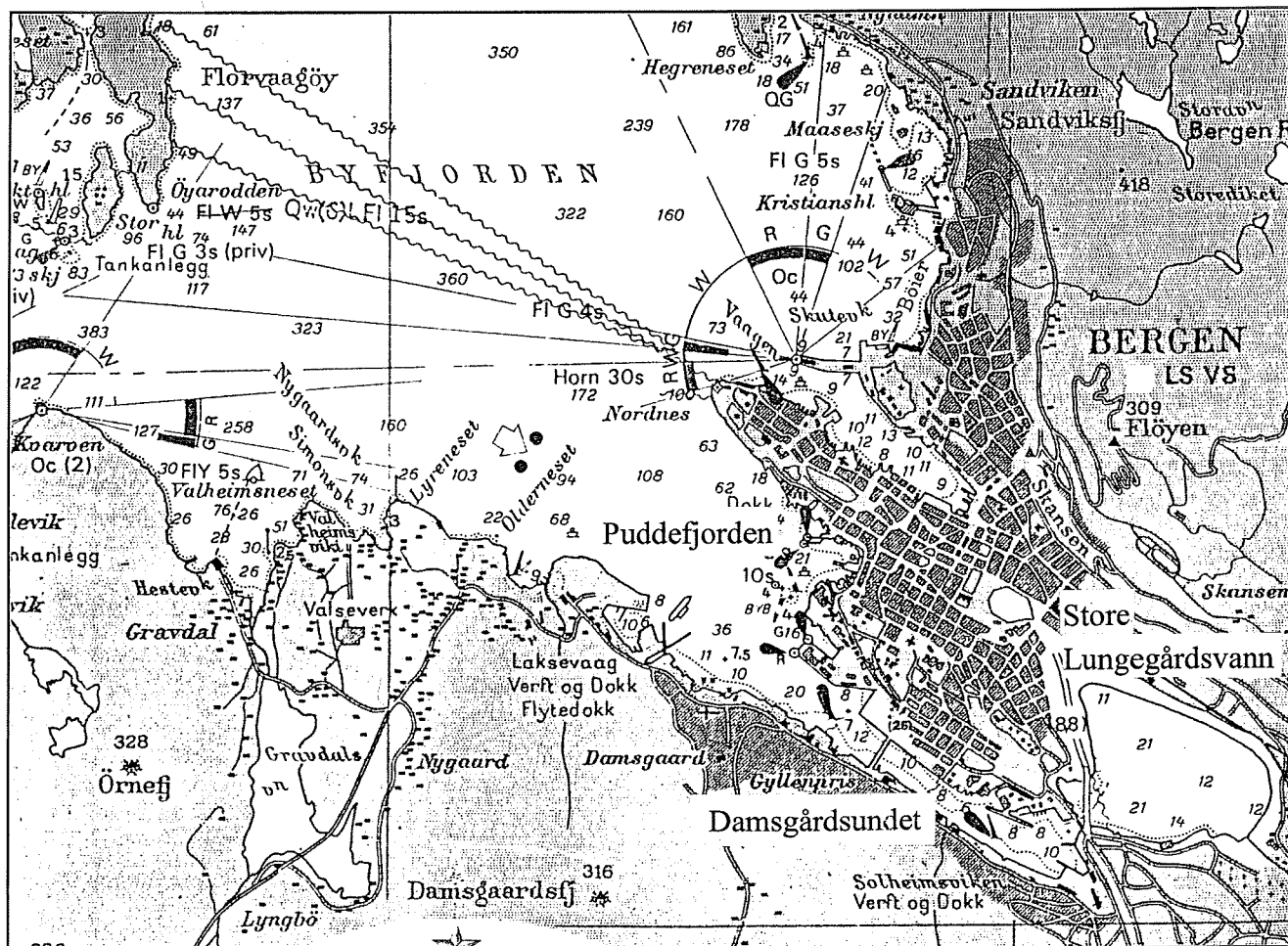
- *Å overvåke partikkel- og miljøgiftkonsentrasjonene i Store Lungegårdsvann og Damsgårdsundet i utfyllingsperioden.*
- *Å få en dokumentasjon på og vurdering av effektiviteten av iverksatte tiltak for å begrense spredning av partikler og miljøgifter fra dumpingsområdet.*

2. Materiale og metoder

2.1 Områdebeskrivelse

Store Lungegårdsvann er et isolert område med flate på ca. 450 mål som står i forbindelse med Puddefjorden og Byfjorden gjennom Damsgårdsundet (Figur 1). Reguleringer og planeringer rundt Store Lungegårdsvann har i perioden 1994-97 redusert vannspeilflaten med ca. 18 mål. Under Gamle Nygårdsbro er det en terskel som er ca. 3,7 m dyp og 5,9 m bredt. Ca. 350 meter innenfor terskelen starter et dypområde på ca. 120 mål med maksimaldyp på 26 meter, mens det øvrige området har typiske dyp på 12-18 meter. Over terskelen er tidevannsstrømmen svært kraftig, spesielt når det flør. Til Store Lungegårdsvann er det flere mindre elver/tilsig av ferskvann og en underjordisk kanalforbindelse til Lille Lungegårdsvann.

Høytliggende terskel og en utpreget vertikal sjiktning som følge av tidvis stor lokal ferskvannstilførsel, gir liten vannutskiftning i Store Lungegårdsvann. Dette fører til stagnasjon av dypvannet og perioder med lave oksygenkonsentrasjoner og tidvis også utvikling av hydrogensulfid.

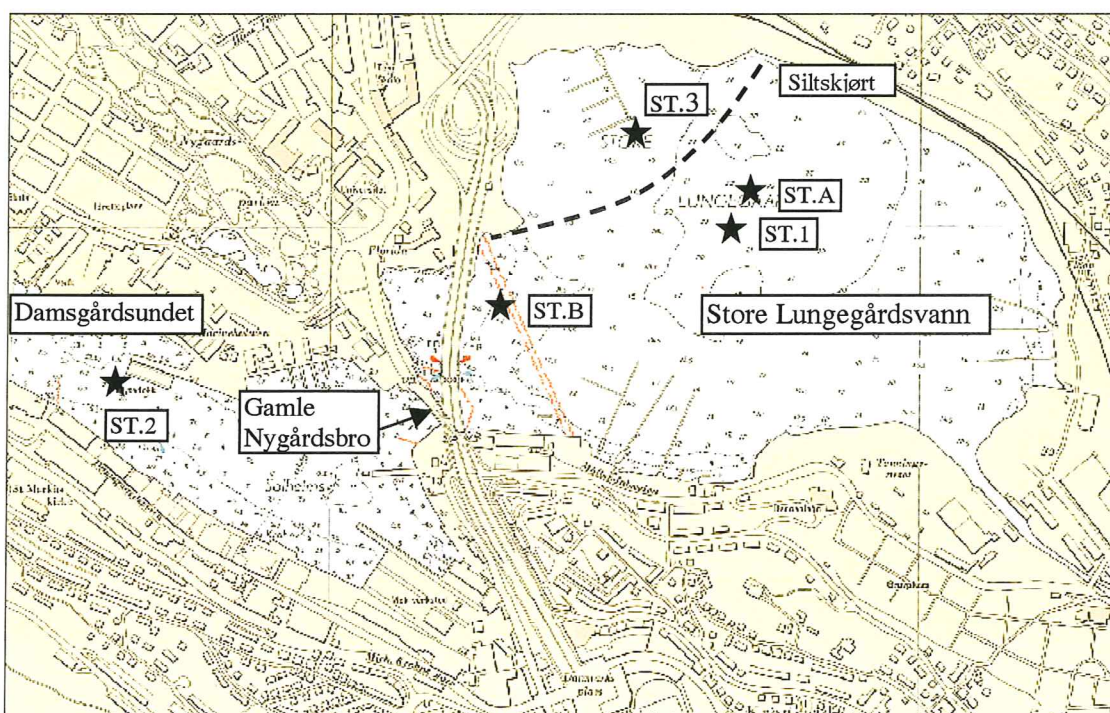


Figur 1. Kart over Byfjorden med markering av Puddefjorden, Damsgårdsundet og Store Lungegårdsvann.

2.2 Stasjoner

For prøvetaking av vann for kjemiske analyser og måling av hydrografi og transmisjon ble det etablert 3 faste stasjoner. Stasjon 1 ble lagt i Store Lungegårdsvanns dypområde utenfor siltskjørtet. Stasjon 2 ble etablert i Damsgårdsundet ca. 600 meter sør for Gamle Nygårdsbru, mens Stasjon 3 ble lagt til dumpingsområdet innenfor siltskjørtet (Figur 2). De tre stasjonene ble valgt slik at forurensingssituasjonen skulle kunne følges utenfor og innenfor siltskjørtet i Store Lungegårdsvann og i vannet som strømmet ut fra Store Lungegårdsvann gjennom Damsgårdsundet. Bunn dyptet på stasjon 1, 2 og 3 var henholdsvis ca. 20, 8 og 15 meter.

Strømretning og strømhastighet ble målt på to stasjoner – en like utenfor dumpingsstedet (Stasjon A) og en nær munningen (innenfor Nygårdsbroen) (Stasjon B).



Figur 2. Store Lungegårdsvannet og Damsgårdsundet med markering av prøvetakingsstasjoner (Stasjon 1-3) og posisjoner for strømmålere (Stasjon A-B).

2.3 Hydrografi

For å kunne kartlegge eventuell spredning av miljøgifter ut av Store Lungegårdsvann, er det vesentlig å kjenne til konsentrasjonene av miljøgifter i den øvre delen av vannsøylen, sirkulasjon og utskiftningsforhold både inne i selve vannet og mellom vannet og fjorden utenfor.

Vannets saltinnhold (salinitet) og temperatur bestemmer egenvekten og er dermed viktige parametre for å kunne vurdere stabilitet og vertikalsirkulasjon i vannmassene. Disse størrelsene kan også si noe om den horisontale utskiftningen. Saliniteten regnes som en konservativ parameter, det vil si at f.eks. en økning i salinitet normalt må skyldes tilførsel og innblanding av saltere vann.

Det ble tatt hydrografi-profiler på de tre faste stasjonene ca. hver 14. dag i tidsrommet 12.01-30.03.1999 (avhengig av vær-/isforhold samt irregulære opphold i dumpingen). Målingene ble utført med en SeaBird SBE-19 nedsenkbar CTD-sonde som logger konduktivitet (som omregnes til salinitet), temperatur og trykk (dyp) med stor nøyaktighet (oppløsningen er oppgitt til 0,0001 S/m for konduktivitet, 0,001 °C for temperatur og 0,015 % av måleområdet for trykk (SeaBird Electronics, Inc, 1997)). Rådataene er filtrert og midlet til intervaller på 0,5 meter før plotting. Målingene ble gjort 12.01, 29.01, 19.02, 03.03, 18.03 og 30.03.

2.4 Strøm- og partikkelmålinger.

2.4.1 Instrumenttyper

Det ble brukt to instrumenter for å måle strøm i Lungegårdsvannet. Begge instrumentene måler strømhastighet og strømrretning ved bruk av Doppler-effekten, det vil si at det er akustiske målere uten eksterne bevegelige deler. I tillegg har det ene instrumentet (Aanderaa RCM9) en egen turbiditetsmåler og det andre (Nortek ADP) logger signalstyrke, som gir et inntrykk av hvordan partikkelmengden/-fordelingen i bassenget varierer med tiden. Begge målerne har intern datalagring og strømforsyning. For å kunne dekke en lang måleperiode er instrumentene programmert til å foreta hyppige målinger som så midles over et gitt intervall, og lagres som en "periodeverdi" med gjennomsnittlig strømrretning.

Aanderaa RCM9

Dette instrumentet måler strøm i ett punkt i det dyp det er plassert. Det har ingen nedre terskelverdi, og kan derfor registrere svært lave hastigheter. Strømrretningen bestemmes ved hjelp av et innebygd kompass, og i tillegg er det sensorer som kompenserer for en eventuell helningsvinkel på instrumentet.

Nøyaktigheten til RCM9 er gitt til:

Fart, målebredde:	± 3 m/s
Fart, oppløsning:	0,1 cm/s
Fart, nøyaktighet:	± 2% av målt fart, eller 2 cm/s (standardavvik)
Retning, nøyaktighet:	± 5° for helningsvinkel < 15°

Instrumentet er utstyrt med en turbiditetsmåler. Infrarødt lys sendes ut, reflekteres i vannet, og retursignalet registreres i instrumentet. Jo flere partikler det er i vannet, jo mer lys vil reflekteres, og mengden lys som fanges opp gir dermed et mål på mengden suspendert materiale i vannet ved sensoren.

Instrumentet var stasjonert nær det grunne sundet ut til Damsgårdssundet/Puddefjorden (stasjon A), i et område der det er kjent at strømmen er sterk på fløende sjø (jfr. Figur 2). Måledypet (både for strøm og turbiditet) var 1,5 meter. Måleren ble satt ut 18.01.99 og tatt inn igjen 09.04.99. Det ble skiftet batteri og datalagringsenhet 16.02.99 slik at det er et kort avbrudd i måleserien her. Midlingsintervallet er på denne måleren satt til 10 minutter.

Nortek ADP

Også dette instrumentet bruker Doppler-prinsippet til å måle strømfarten. Måleren registrerer strømmen oppover i vannsøylen i dybdeceller à 1 meter, med et midlingsintervall på 20 minutter. Nortek-instrumentet stod oppankret i en ramme på bunnen i den dypeste delen av Lungegårdsvannet,

like utenfor midten av siltskjørtet (jfr. **Figur 2**). I tillegg til forankringssystemet og instrumentets egen høyde er det en "blindsoner" over sensoren, slik at nederste målecelle er på omlag 14 meters dyp. Sjøttet helt øverst vil alltid være preget av mye forstyrrelse fra overflaten (det genereres mye refleksjon/støy av lydbølger her), og målingene herfra må derfor neglisjeres.

Noen av spesifikasjonene for Nortek ADP 500 kHz strømmåler er oppgitt til:

Fart, målebredde:	± 10 m/s
Fart, oppløsning:	0,1 cm/s
Fart, nøyaktighet:	± 1% av målt fart, ± 0,5 cm/s
Retning, nøyaktighet:	± 0,5°

Doppler-målingene er basert på at lydssignaler som sendes ut fra instrumentet reflekteres av partikler i vannet, og ekkoet registreres i instrumentet. Styrken på retursignalet er en indikasjon på hvor mye partikler det er i vannet uttrykt ved forholdet mellom signal og (naturlig) bakgrunnsstøy (SNR - Signal to Noise Ratio, i det videre omtalt som signalstyrke). Signalet som sendes fra instrumentet, vil alltid svekkes med økende avstand fra måleren slik at i utgangspunktet vil målecellene som ligger nærmest instrumentet, gi det sterkeste ekkoet. Dersom det er mer reflekterende materiale i de øvre cellene, vil dette altså kunne detekteres fra verdien for signalstyrke. Det er også mulig å følge utviklingen i et gitt dyp over tid - dersom partikkelmengden øker vil dette gjenspeiles i signalstyrken.

ADPen sto utplassert i perioden fra 29.01.99 til 08.05.99. I denne perioden ble det 24.02.99 gjennomført batteriskift og dataavlesning.

2.5 Transmisjonsmålinger

For måling av transmisjon i vannmassene på de faste stasjonene i Store Lungegårdsvann og i Damsgårdundet (jfr. **Figur 2**) ble det benyttet et transmisjonsmeter (Q-meter). Dette instrumentet måler vannets gjennomsjinnelighet slik at både vannets egensvekning og svekningen som skyldes partikler måles. Det innebærer at også oppløst materiale i vannmassene gir utslag på transmisjonsmålingene. Målingene leses av som en voltverdi på instrumentet og regnes deretter om til svekning pr. meter ved 660 nm (c_{660} (m^{-1})). For rent vann er den teoretiske svekningen pr. meter ved 660 nm lik 0,32.

Målingene med Q-meter ble gjennomført ved manuell avlesning på de ulike dypene.

2.6 Vannprøver

På hver av de faste stasjonene (Stasjonene 1-3) ble det tatt vannprøver på 1 meters dyp for analyse av total mengde polyklorerte bifenyler (PCB), polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH), kvikksølv (Hg), totalt organisk karbon (TOC) og partikkelmengde.

Alle prøver ble tatt under fallende vannstand. Til prøvetakingen ble det benyttet en nedsenkbar pumpe (Whale) som leverte ca. 2-2,5 liter vann pr. minutt. Til pumpen var det koblet en silikonslange merket for hver meter. Pumpe og slange ble vasket etter hver prøveinnsamling. Før vannprøver til analyse ble tatt ble det pumpet vann gjennom slangen i 2 minutter.

Under tapping av vannprøver for analyse av kvikksølv (Hg) er kontaminerings-risikoen fra uønskede partikler eller andre forurensningskilder stor. Tungmetallflaskene er derfor innpakket i to plastposer hvor den ytre posen benyttes til tildekning av flaskeåpningen under tapping.

Alle prøver ble sendt til NIVAs akkrediterte laboratorium i Oslo for analyse. Hg er blitt analysert etter akkreditert metode. Prøvene er først blitt freon-ekstraherte og deretter analysert med atomabsorpsjon (grafittovn).

I PAH-analysene inngår også naftalener og andre disykliske forbindelser.

I PCB-analysene tas det også med en del andre klororganiske stoffer som fem- og seksklorerte benzener (QCB og HCB), α og γ (Lindan) hexaklorsyklohexan (HCHA og HCHG) og oktoklorstyren (OCS). I tillegg analyseres det på derivater av DDT slik som 4,4-DDE (DDEPP) og 4,4-DDD (TDEPP).

Prøvene for analyse av organiske miljøgifter er blitt analysert etter en modifisering av akkreditert metode. Modifiseringen av den akkrediterte metoden består stort sett i at et mindre vannvolum (5 liter) blir benyttet slik at den analytiske deteksjonsgrensen blir noe høyere enn med større vannvolum. Vannprøvene ble ekstrahert med organiske løsningsmidler tilsatt intern standard, og deretter ble ekstraktet renset før kjøring i gasskromatograf.

Total organisk karbon (TOC) er bestemt ved katalytisk forbrenning slik at mengden ikke-flyktig organisk karbon framkommer.

Telling av partikkelmengde og størrelsesfordeling er målt ved bruk av Coulter Multisizer med 0,9 % NaCl som elektrolytt og Hulltubus (Orifice) 100 μ m tube.

2.7 Beregning av fortykning og konsentrasjoner

2.7.1 Metode

For å beregne konsentrasjonen av kvikksølv i den vannmassen som strømmer ut gjennom Nygårdsbroen, dvs. ca. 700 m fra der hvor slam strømmet over siltskjørtet, anvender vi datamodellen PLUMES (Baumgartner et al. 1994) som er utgitt av det amerikanske miljøverndirektoratet (EPA). Konsentrasjonen i en gitt avstand fra utslippet beregnes ved bruk av:

- vannmengden som strømmer ut over kanten av siltskjørtet
- konsentrasjonen i dette vannet
- en koeffisient for den turbulent diffusjonen
- sjiktningen i vannmassen ,samt
- en typisk strømhastighet på strekningen mellom stasjon 1 og Nygårdsbroen.

For å beskrive den turbulente blandingen er brukt koeffisienten $0,0003 \text{ cm}^{2/3}/\text{s}$ som Baumgartner et al. (1994) anbefaler for noe innelukkede kystområder.

Kvikksølvet vil sannsynligvis i stor grad være bundet til partikler. Målinger av synkehastighet for partiklene i Store Lungegårdsvann har vist at disse gjennomgående synker noen få cm/time (Johnsen et al. 1998). Åpningen mot Solheimsviken ved Nygårdsbroa er ca. 3 m (300 cm) dyp og det tyder på at bare en liten andel av partiklene rekker å synke ned i "dypvannet" før de fraktes ut av Store Lungegårdsvann. Derfor er ikke utsynking av partikler tatt med i beregningene, som dermed bare styres av fortykningen.

2.7.2 Data

Beregningene gjøres for 30.3 1999 da målinger tyder på en viss transport av kvikksølv ut av Store Lungegårdsvann. Vi mangler en del data som normalt vil være input til modellen, og må derfor gjøre noen antakelser:

- Vi kjenner ikke vannmengden og hastigheten på vannet som strømmet over siltskjørtet. Vår antakelse blir da at vannet strømmet ut over en bredde på ca. 40 m, med hastighet ca. 10 cm/s. Dypet av denne vannmassen settes til ca. 1 m.

Konsentrasjonen av kvikksølv på stasjon 3 innenfor siltskjørtet ble målt til 3 ng/l, og det er brukt som "startkonsentrasjon".

Sjiktningen i Store Lungegårdsvann (stasjon 1) er kjent fra NIVAs målinger den 30.3.99.

Målingene av kvikksølv den 30.3.99 ble gjort ved fallende vannstand og dermed utstrømmende vann. I følge Tidevannstabellene fra Statens Kartverk, Sjøkartverket, var det høyvann kl. 10.05 og lavvann kl. 16.23 den 30.3.99. Strømmålinger ved stasjon 1 viste en typisk hastighet omkring 5 cm/s under utstrømningen av tidevann. Det er trolig at hastigheten har vært noe større nærmere Nygårdsbroen, og i beregningene er 6 cm/s valgt som gjennomsnittshastighet.

3. Resultater

3.1 Måleresultater – hydrografi

Som man kan forvente, var variasjonen i salinitet og temperatur størst i overflatelaget. Inne i selve Store Lungegårdsvann (Stasjon 1 og 3) varierte saliniteten i overflatelaget (1,0 meters dyp) mellom 12,0 og 28,5 i løpet av måleperioden. Denne variasjonen skyldes primært tilførsel av ferskvann fra avrenning, nedbør og/eller ismelting. Ute i Puddefjorden (Stasjon 2) var variasjonen mindre og her ble målt salinitet mellom 20 og 29 i overflaten over hele perioden. I de dypere vannmassene i Store Lungegårdsvann lå saliniteten mellom henholdsvis 30,0-31,5, mens ute i Damsgårdsundet varierte den mellom 30,0-33,0.

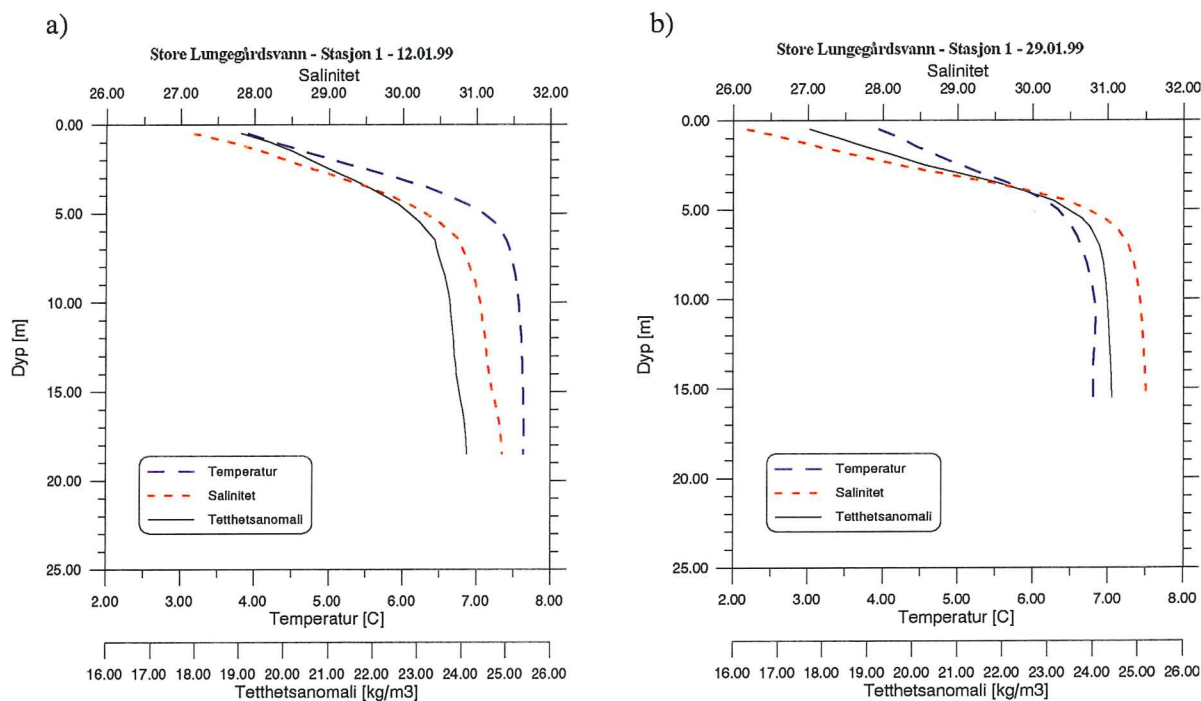
Temperaturutviklingen viste lignende variasjon. I den øvre delen av vannmassene varierte temperaturen mellom 2,0 og 6,0 °C i hele perioden. Her var det mindre forskjell mellom målingene i Store Lungegårdsvann og Damsgårdsundet enn for saliniteten. Overflatevann og ferskvann som tilføres, vil ha tilnærmet samme temperatur i dette området slik at økt ferskvannstilførsel ikke gir et like tydelig signal på temperaturen som på saliniteten. I dypvannet lå temperaturen mellom 6,0 og 8,0 °C med en svak temperatursynking gjennom måleperioden.

På grunn av de store variasjonene i salinitet og temperatur vil også vannets tetthet variere mye. Inne i Store Lungegårdsvann lå tetthetsanomalien σ_t (vannets tetthet - 1000 kg/m³) mellom 10,5 og 22,5 kg/m³ i øvre lag og mellom 24,0 og 25,0 kg/m³ i dypet. Ute i Damsgårdsundet var tilsvarende verdier 16,0-23,0 og 24,5-26,0 kg/m³.

Alle målinger av salinitet, temperatur og den beregnede σ_t er vist i **Vedlegg A**.

Noen av tetthetsprofilene krever ekstra omtale. Mellom 12. og 29. januar økte saltholdigheten samtidig som temperaturen sank i dypvannet i Store Lungegårdsvann - noe som resulterte i en liten økning i dypvannets tetthet (**Figur 3**). Dette indikerer at det fant sted en dypvannsutskiftning i denne perioden.

Målingene fra 19.02, 18.03 og 30.03 viste at ved stasjon 2 hadde vann i samme dyp som terskelen inn til Store Lungegårdsvann (ca. 3,0 m) høyere tetthet enn bunnvannet inne i bassenget (se figur 1). Dette betyr at det ved vanlig tidevannsutskiftning gjennom sundet vil strømme inn vann med stor nok egenvekt til å synke ned i de dypere delene av Store Lungegårdsvann. Det vil altså genereres vertikalsirkulasjon i bassenget, og en del av dypvannet som tvinges opp kan etterhvert forventes å strømme ut til Puddefjorden.



Figur 3. Salinitets-, temperatur- og tetthetsprofiler fra a) 12.1 og b) 29.01.99 målt på stasjon 1 i Store Lungegårdsvann.

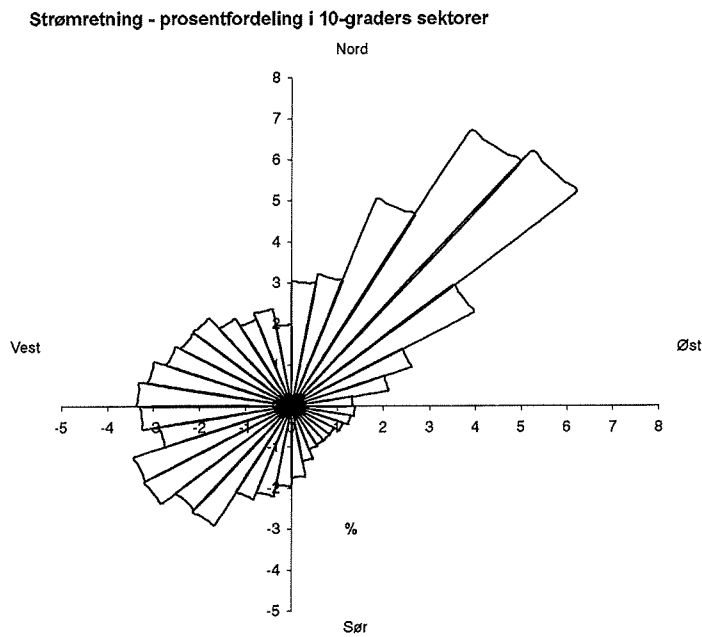
3.2 Måleresultater - strøm

I det følgende presenteres data fra de to strømmålerne av typen RCM9 og ADCP. Det er laget plott som viser strømmens retningsfordeling, midlere fart i hver retning samt et bilde på fluks (transport) i hver retning. I tillegg er det sett nærmere på typiske døgnsykluser (flo/fjære).

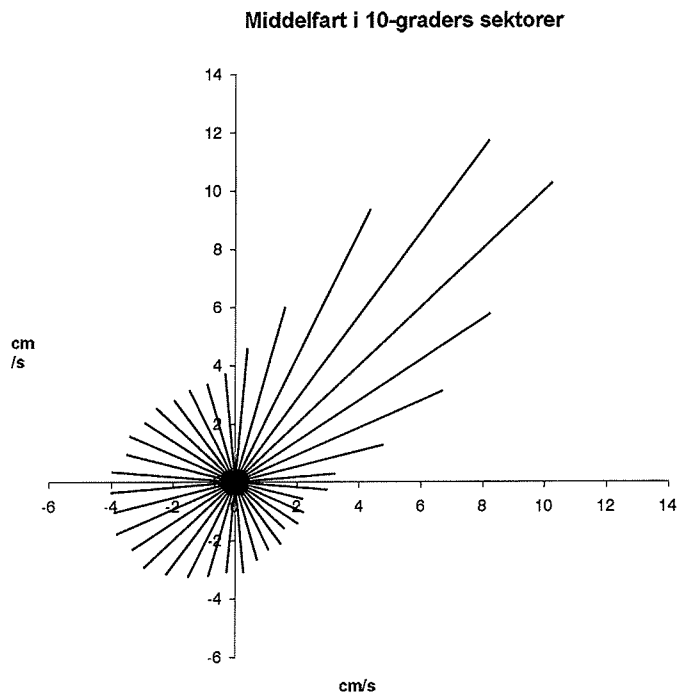
Partikkelmengdene er også studert i relasjon til strømbildet på ulike tidspunkt, og utviklingen over tid er analysert og kommentert.

3.2.1 RCM9

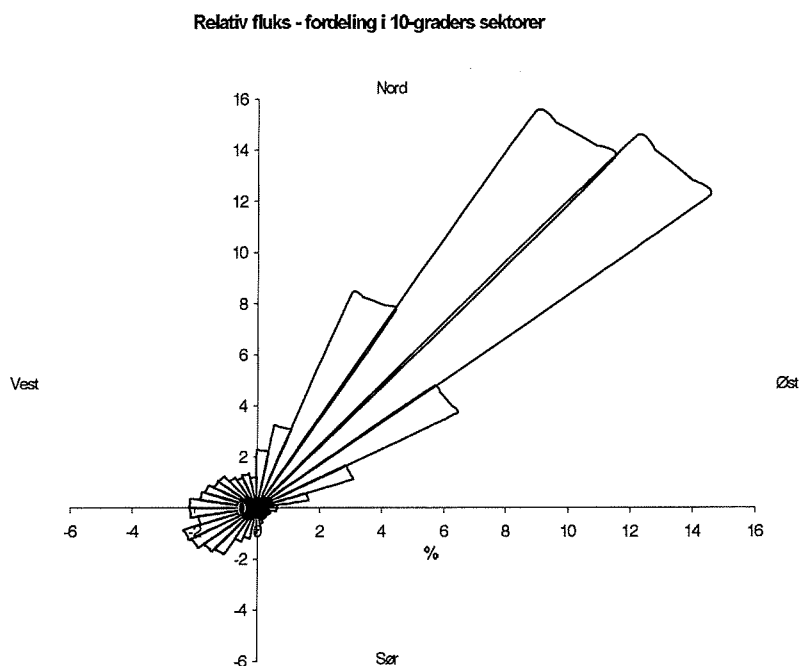
Denne strømmåleren var plassert i grunnområdet innenfor Gamle Nygårds bro (Stasjon B) og resultatene viser sterk påvirkning av tidevann. Strøm i nordøstlig retning dominerer gjennom hele perioden (Figur 4), og det er også ved den strømrretningen de midlere hastighetene er høyest (Figur 5). Figur 6 viser volumtransport i hver 10-graders sektor (relativ fordeling for hele perioden) og man ser at innstrømning på fløende sjø er totalt dominerende. Vannet som kommer inn gjennom sundet under Nygårdsbroen har høy hastighet, og strømmer inn nærmest som en elv. På fjærende sjø er hastighetene langt lavere fordi det da er jevnere utstrømning fra hele bassenget.



Figur 4. Prosentvis fordeling av strømretning i 10-graders sektorer for hele måleperioden på Stasjon B.



Figur 5. Middelfart i 10-graders sektorer for hele måleperioden på Stasjon B.



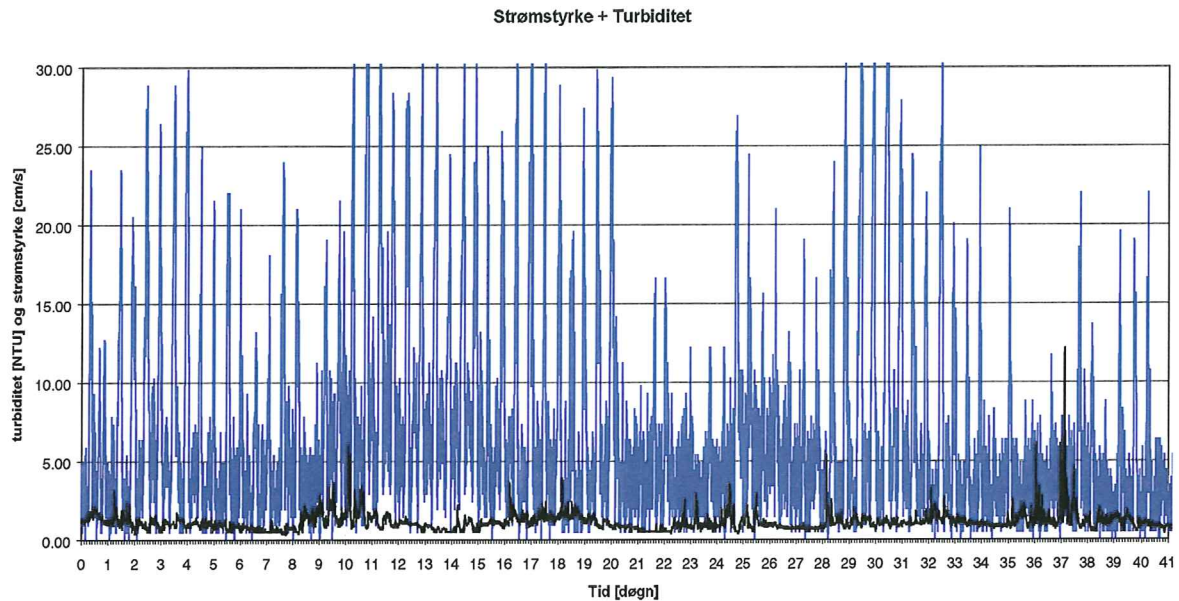
Figur 6. Relativ fordeling av transport i 10-graders sektorer for hele måleperioden på Stasjon B.

Figur 7 a) og b) viser hvordan strømstyrke og partikkelmengde på Stasjon B varierte gjennom måleperioden. Som påpekt ovenfor er det klar tidevannspåvirkning av strømfarten, med tildels svært høye hastigheter ved fløende sjø. Dessuten ses det hvordan strømfarten samsvarer med månefasene med de høyeste strømhastighetene i forbindelse med ny- og fullmåne.

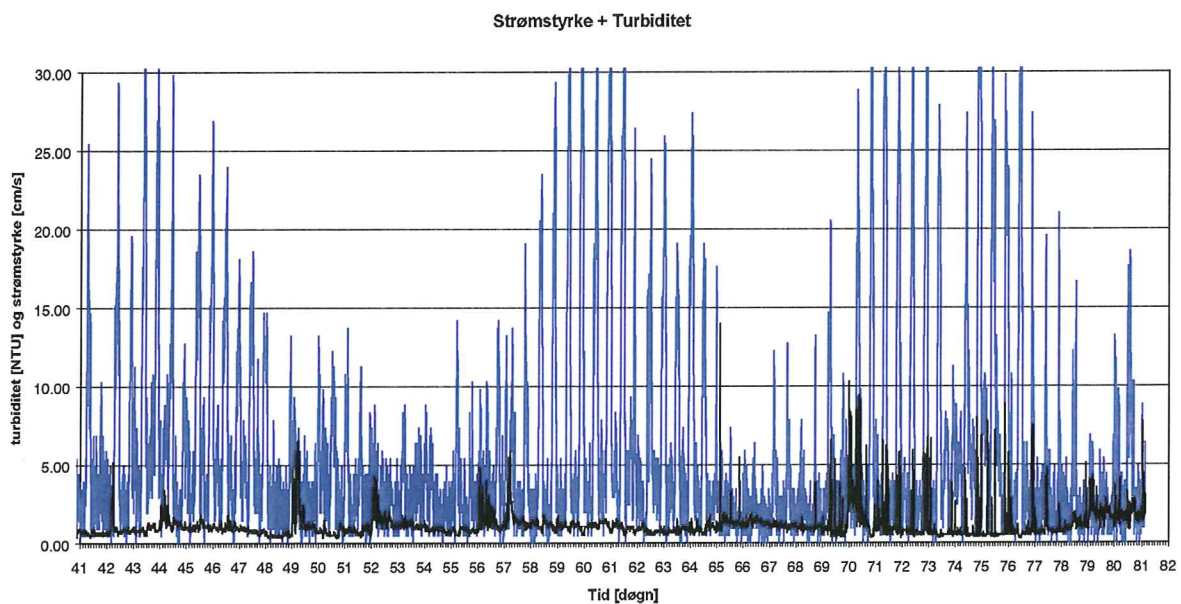
Et annet interessant trekk er ukentlig variasjon av turbiditeten. Måleserien starter mandag 18. januar like etter at steindumpingen i Store Lungegårdsvann var startet. Målingene viser tydelig at partikkelmengden er minst på søndager/mandager (dag 6-7, 13-14 osv). Det er nærliggende å peke på en sammenheng med at det ikke ble dumpet sprengstein i helgene.

På slutten av måleperioden var det langt flere høye turbiditetsverdier enn tidligere. Fra dag 69 (dvs. mandag 29. mars) til slutten av måleperioden ble det gjort relativt mange registreringer med høy turbiditet. En del av de høye registreringene faller sammen med påsken da det var stans i steindumpingen i Store Lungegårdsvann. Det synes imidlertid som om det er ca. to perioder pr. døgn hvor turbiditeten er svært høy og at disse periodene faller sammen med utstrømmende vann. Men fordi flere av registreringene faller sammen med tidspunkt hvor det ikke har vært steindumping, må de høye turbiditetsregistreringene skyldes andre forhold som f.eks. mye partikler i elvene som munner ut i Store Lungegårdsvann, algeblomstringer o.l. Et annet forhold er at det var mye begroing på turbiditetssensoren da måleinstrumentet ble tatt opp. Dette kan muligens være med på å forklare de relativt mange registreringene av høy turbiditet i en periode hvor det ikke ble gjennomført steindumping.

a)

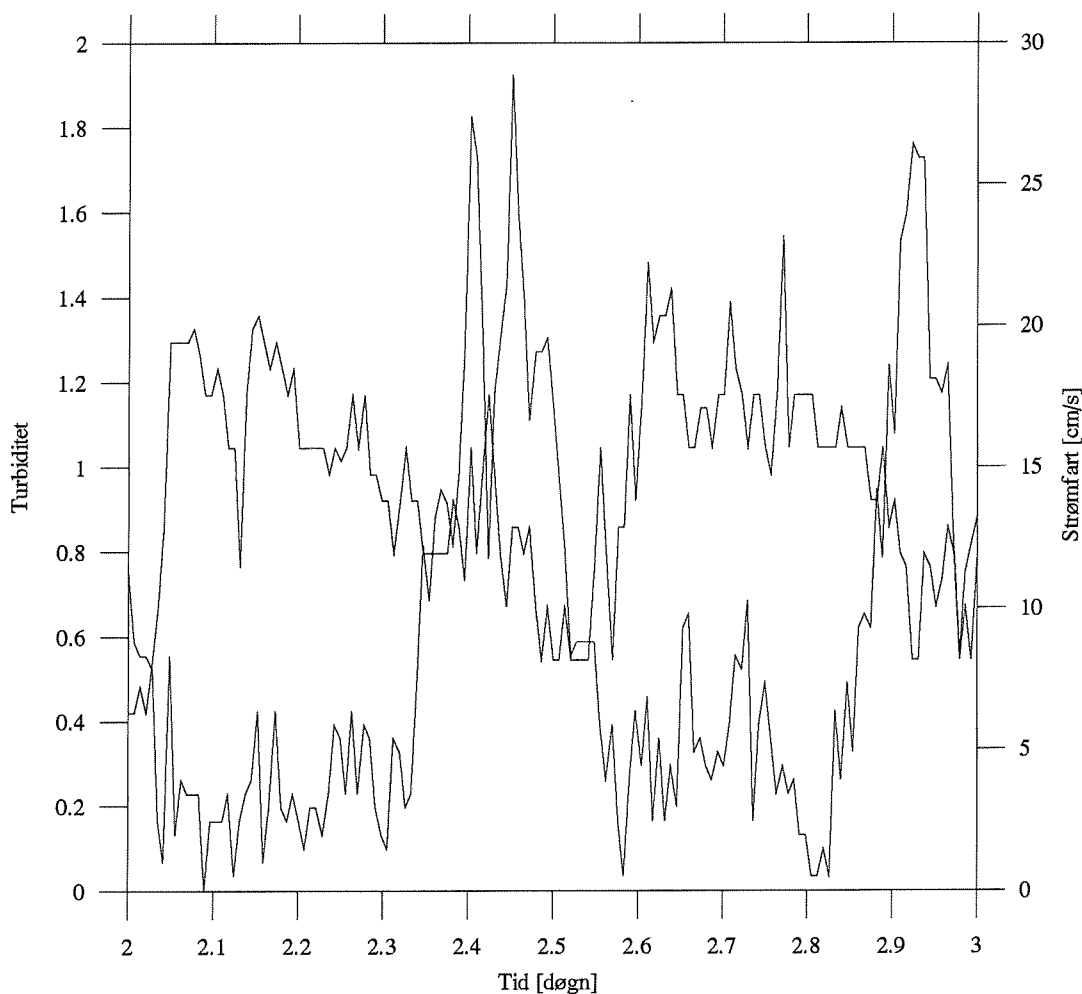


b)



Figur 7. Strømfart (blå) og turbiditet (svart) for RCM9 i 1,5 m dyp på Stasjon B for a) de første 41 døgn og b) for de siste 41 døgn i tidsperioden 18.01-09.04.99. Instrumentet ble satt ut 18.01.99 kl. 11.38, som tilsvarer figurens nullpunkt på tidsaksen. For å få bedre oppløsning er strømfarten kuttet ved 30 cm/s selv om en del målinger overskrider dette nivået.

Figur 8 viser et "typisk" døgn-forløp for strømstyrke og turbiditet på Stasjon B. Fløende sjø ses to ganger som tydelige maksima i strømhastighet, i godt samsvar med tidevannstabellen. Det er også klar sammenheng mellom inn- og utstrømning i verdiene for turbiditet. Ved fjærende sjø strømmer



Figur 8. Strømfart (blå) og turbiditet (svart) for en 24-timers periode med start 20.01.99 kl.11.38 i måleserien fra RCM9.

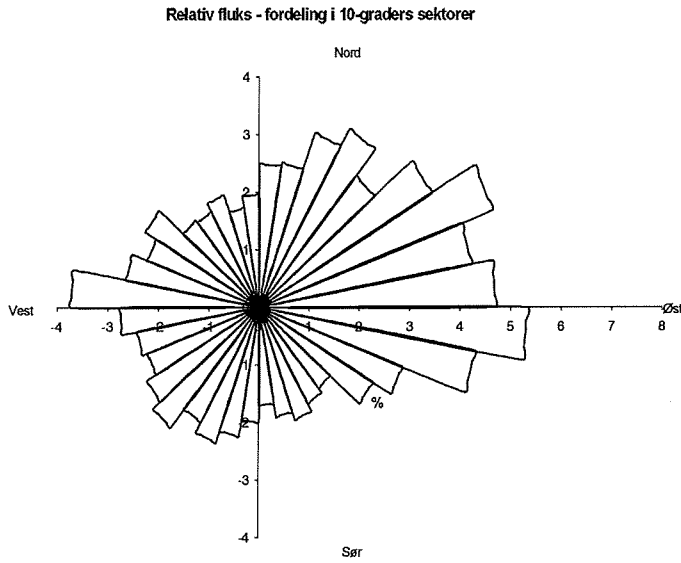
det vann utover fra de indre delene av bassenget, og partikkelkonsentrasjonen er høy. Når strømmen snur, kommer vann inn fra Puddefjorden og dermed avtar turbiditeten raskt.

3.2.2 ADP

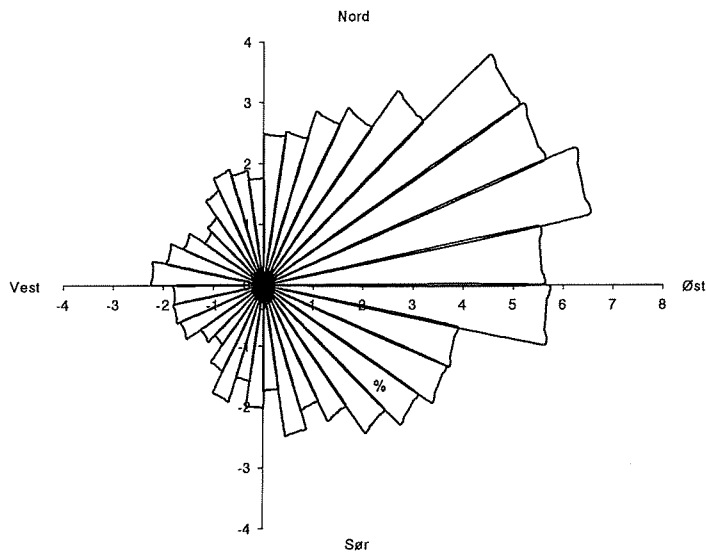
Målingene lenger inne i Lungegårdsvannet (Stasjon A) viser at strømmen også her er klart påvirket av tidevannet. For å vise hvordan bildet varierer med dypet, presenteres det data fra tre ulike dyp - fra 3, 6, 9 og 12 meters dyp. Dataene er midlede verdier fra én meter tykke celler. Siltskjørtet som var plassert ut utenfor dumpingsområdet, nådde ned til 4,7 meters dyp og påvirket dermed strømmingen i den øverste cellen. I 6 m dyp var det fri sirkulasjon mellom dumpingsområdet og målingsområdet, og tidevannspåvirkningen på strømmen kan fortsatt forventes å være tilstede. Den grunne terskelen ved Nygårdsbroen medfører at i 8 m dyp vil utskiftningen av vann med Puddefjorden være liten, mens det er åpen forbindelse mellom dumpingsområdet og stedet der måleren var plassert. Dumpingen foregikk i et område med dyp 10-12 m, slik at en eventuell økning i partikkelmengde i 12 m dyp i hovedsak antas å være oppvirket materiale som transporteres ut fra dumpingsområdet og synker ned utenfor dette.

Figur 9 a)-d) viser relativ fluks i henholdsvis 3, 6, 9 og 12 m dyp. I alle dyp er det en overvekt av transport i østlig retning. Det er tidligere nevnt at innstrømningen ved fløende sjø er spesielt kraftig i denne delen av bassenget, mens utstrømningen foregår jevnere fra hele området. Tidevannssirkulasjonen ser ut til å være mest markant i 3 og 6 meters dyp. I utgangspunktet skulle dette vært mest synlig i 3 m dyp, men siltskjørtet ser ut til å hemme sirkulasjonen i dette dypet. Som man kan forvente avtar tidevannspåvirkningen med dypet fordi vannmassene under terskeldyp påvirkes i mindre grad av tidevannet.

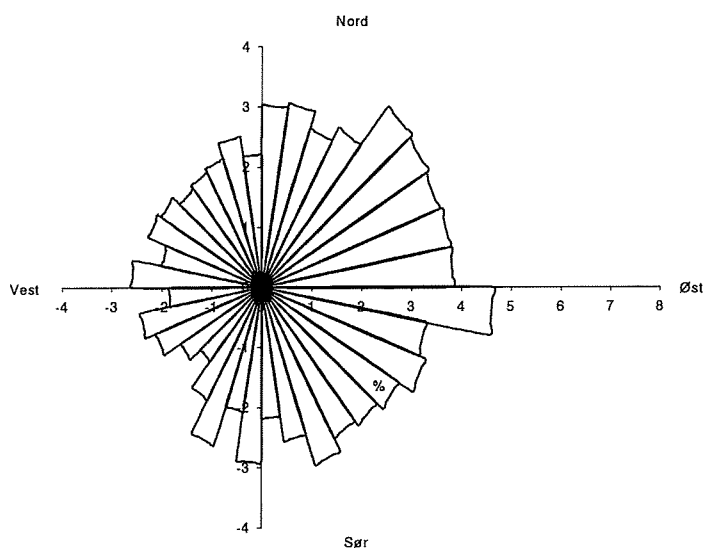
a)



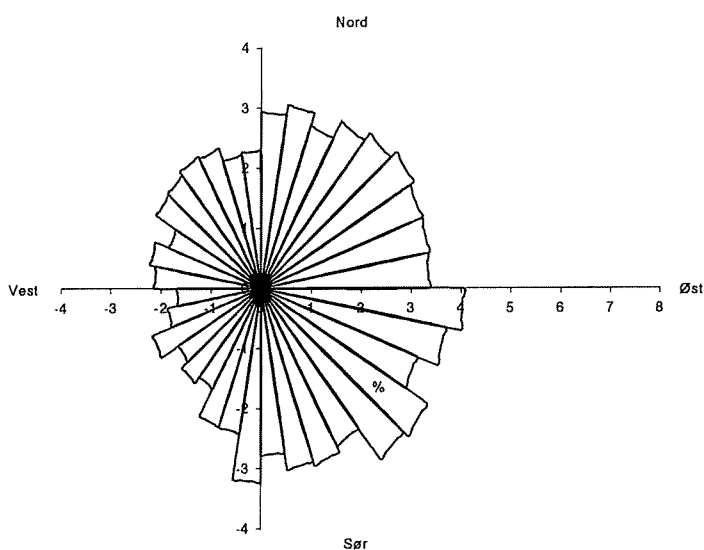
b)



c)

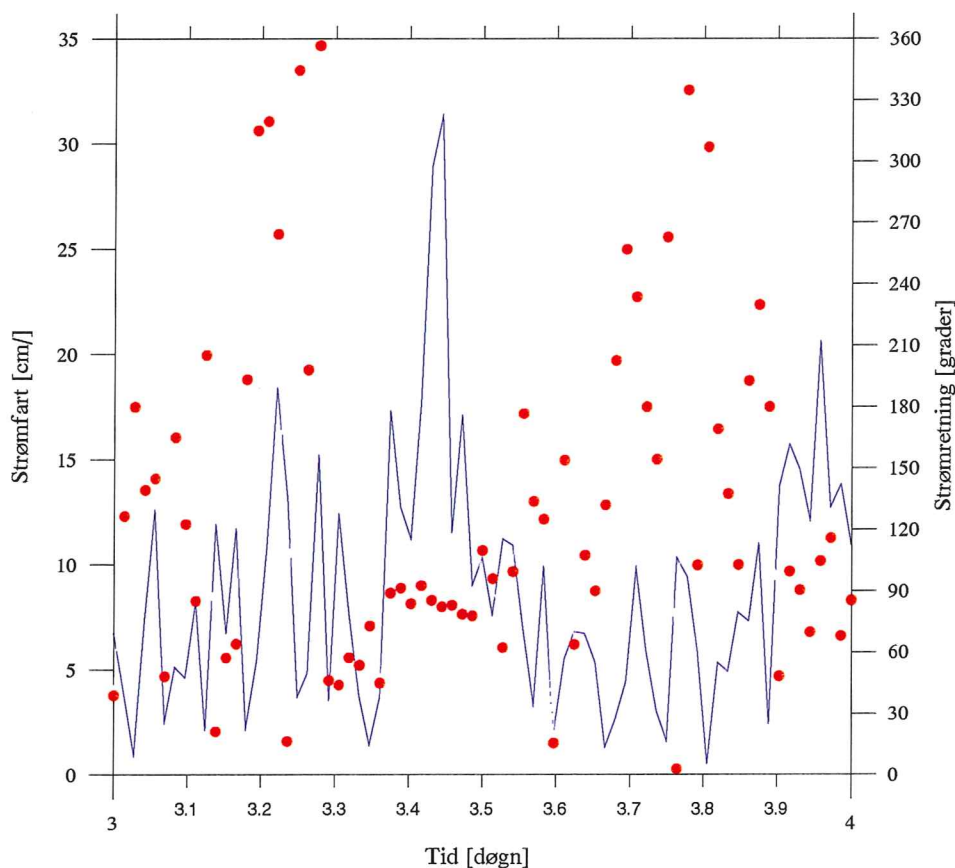


d)



Figur 9. a) - d) Midlere relativ fluks i 10-graders sektorer for hele måleperioden i henholdsvis 3, 6, 9 og 12 meters dyp på Stasjon A.

Tidevannets påvirkning varierer med dypet, og **Figur 10** viser hvordan strømmens fart og retning "henger sammen" i 3 m dyp. Fløende sjø, karakterisert ved høy strømfart, har rimelig homogen retning på ca. 70-100°, mens mellomperiodene viser langt større variasjon. Denne tendensen finnes også i 6 m dyp, men er noe svakere. I 9 og 12 m dyp er strømbildet langt mer komplekst - det er her stor og ukorrelert variasjon i retning og fart.

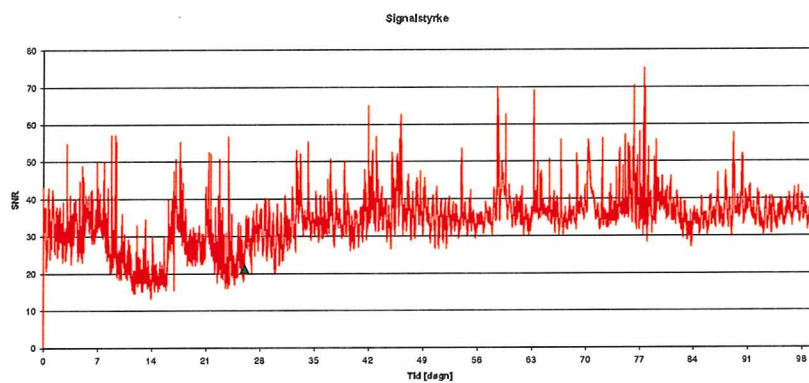


Figur 10. Sammenheng mellom strømfart (strek) og -retning (sirkler) i 3 m dyp i en 24-timersperiode med start 21.01.99 kl. 11.38 på Stasjon A utenfor dumpingområdet.

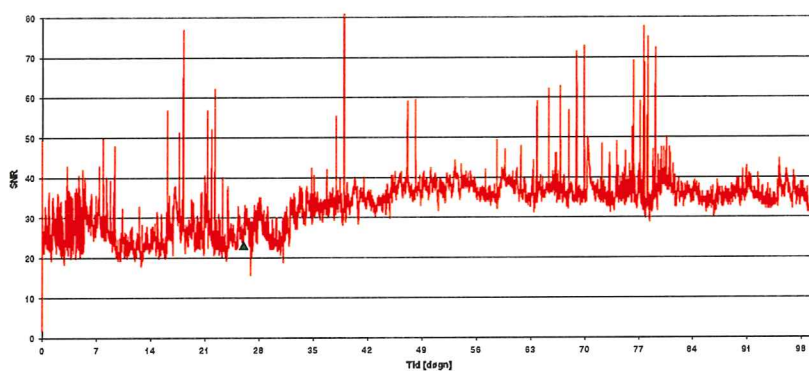
Sammenhengen mellom strømfart (flo/fjære) og partikkelmengde er langt mindre tydelig i Nortek-dataene enn i måleserien nærmere sundet ut til Puddefjorden. Det kan se ut til å være en litt forsinket respons på fløende sjø ved at verdien for signalstyrke (SNR-ratio) øker noe en stund etter at den østlige strømmen er på det sterkeste. Strømbildet er imidlertid såvidt komplekst her at det ikke kan påvises noen entydig, direkte sammenheng mellom strømhastighet og partikkelkonsentrasjon, og det er derfor ikke tatt med noen figur som viser korrelasjon mellom disse to parametrene. Manglene på tydelig samvariasjon har sannsynligvis sammenheng med flere forhold slik som at hastigheten på det innstrømmende vannet varierer over tid (varierer med månefasene), varierende åpning i siltduken på midten, varierende partikkelmengde i vannmassene innenfor siltduken o.l.

Ser en nærmere på nivået for signalstyrke over tid, har dette imidlertid en klart økende tendens (**Figur 11**). Ved måleperiodens begynnelse ligger signalstyrken på omlag 25-30 både i 3 og 6 m dyp, mens den mot slutten har nådd en markert høyere verdi på omlag 35. I 9 m dyp var start-verdiene oppunder 30 og økte til ca. 40, mens det på 12 meter lå i overkant av 30 ved start og omtrent 45 ved slutt. Det må dog påpekes at det i løpet av denne tiden også har foregått episodiske algeoppblomstringer (f.eks våroppblomstring i månedsskiftet februar-mars) slik at denne økningen i signalstyrken (SNR-ratio) i alle dyp neppe bare skyldes dumping av stein.

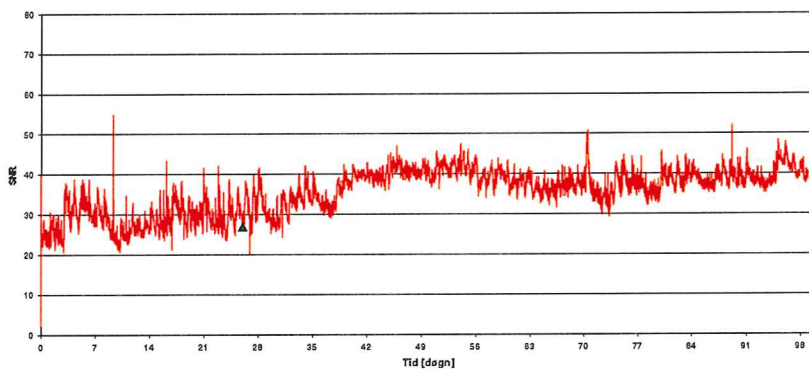
a)



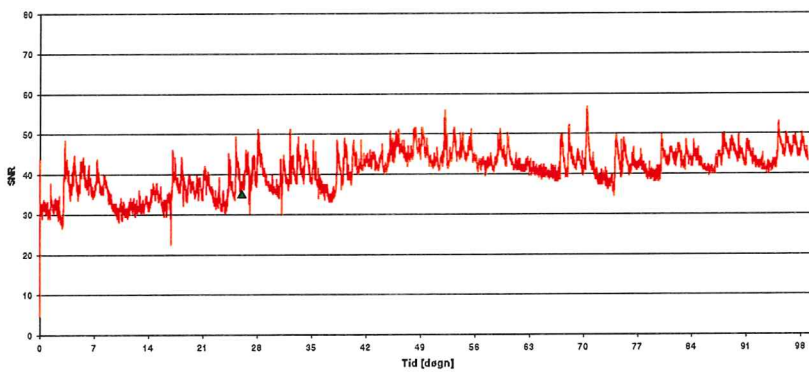
b)



c)



d)



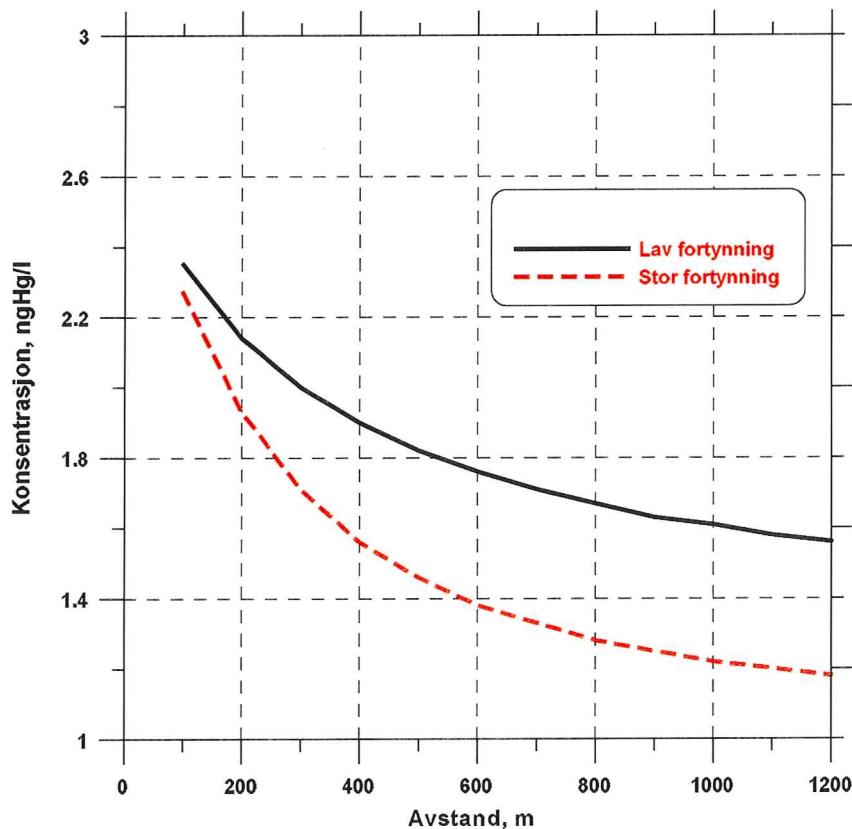
Figur 11. SNR-verdier på a) 3, b) 6, c) 9 og d) 12 meters dyp i måleperioden på Stasjon A utenfor dumpingsområdet.

3.3 Resultater - fortykning

Beregningene gir konsentrasjonen i sentrum av en sky med partikkelholdig vann, som funksjon av fortykning. Gitt at forutsetningene er noenlunde riktige er dette dermed maksimal-konsentrasjoner.

Beregningene er utført både med en konstant turbulent diffusjonskoeffisient og med en koeffisient som øker med tiden. I relativt åpne områder antas den sistnevnte å gi mest realistiske resultater, men i Store Lungegårdsvann kan det være riktig å legge mest vekt på resultatene fra beregninger med konstant koeffisient. Resultatet er vist i **Figur 12**, og i sin helhet i **Vedlegg B**.

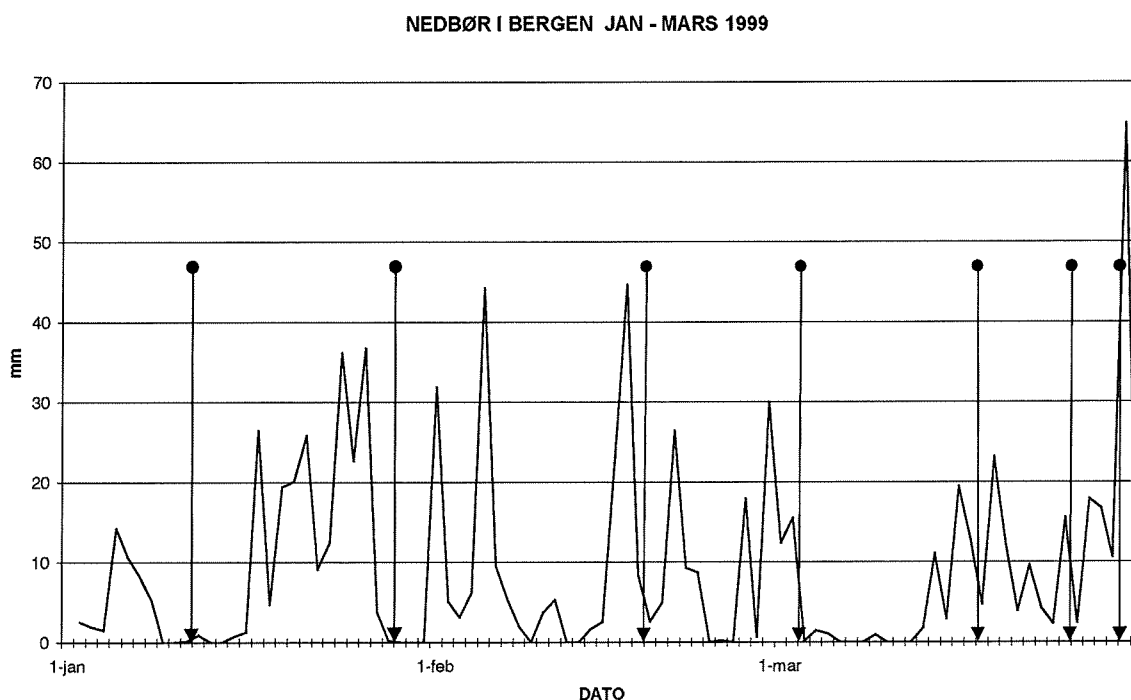
Den 30.3.99 ble det målt 2,5 ng Hg/l ca. 100 m utenfor siltskjørtet og 1,5 ng Hg/l i Damsgårdsundet. Beregningene tyder altså på at dette er konsentrasjoner som under ugunstige forhold (svikt i siltskjørtet, liten fortykning, liten sedimentasjon, rask transport ut av Store Lungegårdsvann) kan være resultat av utfyllingsarbeidet.



Figur 12. Beregnet konsentrasjon av kvikksølv i sentrum av en sky med oppvirvlet bunnsedimenter, med økende avstand fra kanten av siltskjørtet. En kurve viser beregningene ved antatt lav fortykning (konstant turbulent diffusjonskoeffisient) og en annen viser resultater for antatt stor fortykning (turbulent diffusjonskoeffisient som øker med tiden). Nygårdsbroen ligger ca. 700 m fra kanten av siltskjørtet, som det lå den 30.3.99.

3.4 Transmisjon

I perioden januar-mars 1999 ble det gjennomført 7 transmisjonsmålinger hvorav 5 ble gjennomført under steindumping. Alle resultater er presentert i Vedlegg C. Målingen den 12. januar ble foretatt før steindumping i Store Lungegårdsvann ble igangsatt, og 26. mars ble det gjennomført transmisjonsmålinger under en stans i utfyllingsarbeidene. Fordi nedbør fører til økt avrenning som kna påvirke transmisjonsmålingene, er nedbørsdata for perioden januar-mars 1999 (kilde: DNMI, Vervarslinga på Vestlandet) presentert i Figur 13.



Figur 13. Nedbør i Bergen i perioden januar-mars 1999. Måletidspunkt for transmisjon angitt på figuren med piler.

Første måling foretatt 12. januar på Stasjon 1 i Store Lungegårdsvann viser relativt god gjennomskinnelighet i vannmassene ned til 11 meter (**Figur 14**). Denne målingen ble foretatt etter en periode med relativt lite nedbør. I de dypere delene av vannmassen (12-20 meter) var imidlertid gjennomskinneligheten noe redusert (høyere verdi for c_{660}), noe som blant annet kan skyldes at det i det stagnante dypvannet var en opphoping av organisk materiale.

Transmisjonsmålingene fra 29. januar, etter at steindumping hadde pågått en tid, viser at vannmassene i Store Lungegårdsvann hadde fått betydelig redusert gjennomskinnelighet i de øvre deler av vannmassene (**Figur 15**). Spesielt stor var reduksjonen i de øvre 4 meterne innenfor siltskjørtet (Stasjon 3) hvor gjennomsnittlig c_{660} -verdi var 4,22, mens tilsvarende verdi utenfor siltskjørtet var 1,41. Redusert gjennomskinnelighet utenfor siltskjørtet kan - i tillegg til lekkasje fra dumpingsområdet - ha sammenheng med at målingene er foretatt etter en periode med relativt mye nedbør som kan ha forårsaket tilførsler av partikler. Mellom 5 og 10 meter var det redusert gjennomskinnelighet både innenfor og utenfor siltskjørtet med gjennomsnittlig c_{660} -verdier på henholdsvis 1,79 og 1,35. Det tyder på at partikler fra steindumpingsområdet hadde spredd seg under siltskjørtet og videre utover

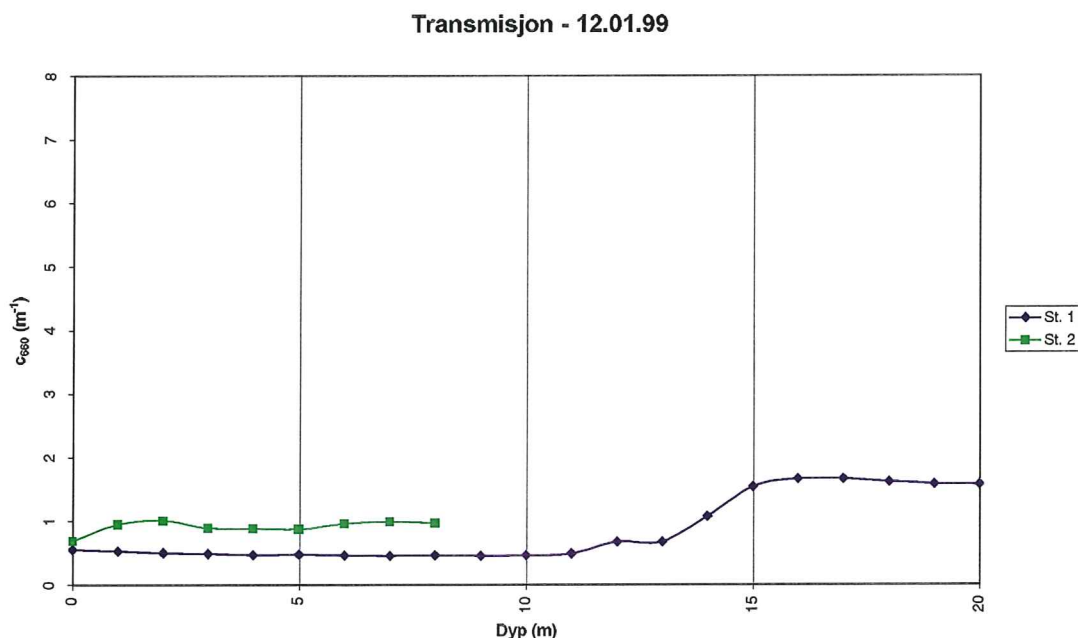
i vannet. Dette viser at siltskjørtet som har en dybde på ca. 4,7 meter, forhindret mesteparten av partiklene i den øvre delen av vannsøylen fra å spre seg utover i Store Lungegårdsvann.

I dypvannet ble ikke den samme svekningen i gjennomsnittlighet målt 29. januar slik som ved målingen foretatt 12. januar. Heller ikke ved de senere målingene ble denne reduserte transmisjonen registrert. Dette stemmer med at en dypvannsutskiftning hadde funnet sted en eller annen gang mellom de to måledatoene.

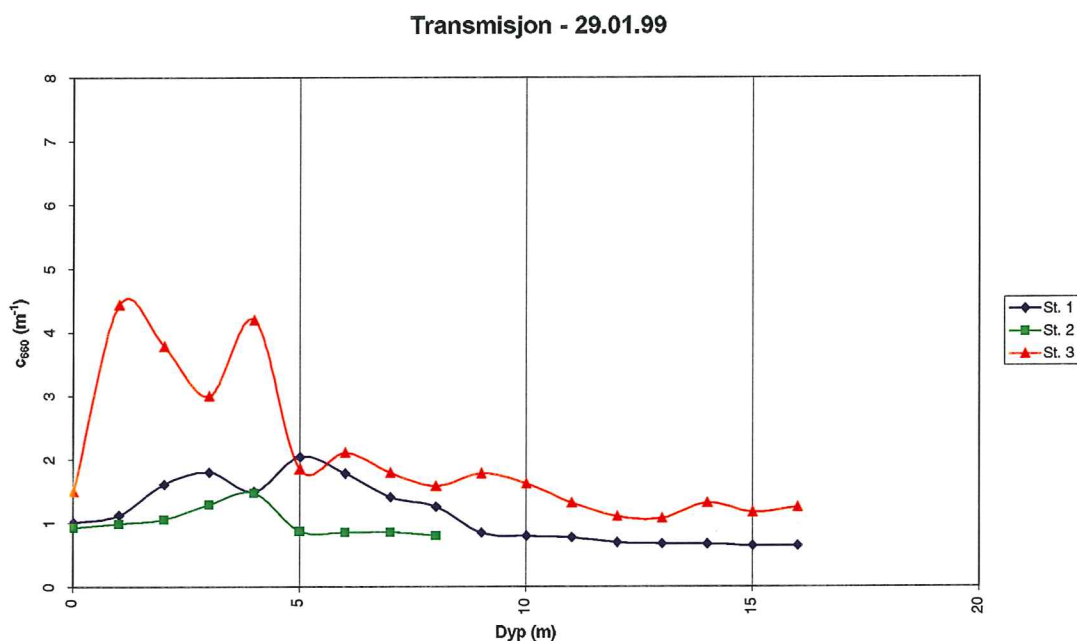
I Damsgårdsundet (Stasjon 2) ble det 29. januar målt redusert gjennomsnittlighet på 3-4 meters dyp (jfr. **Figur 15**), mens det ved de fleste andre måletidspunktene ble registrert lavest gjennomsnittlighet nær overflaten (jfr. **Vedlegg C**). Transmisjonen nær overflaten var stort sett på samme nivå som for overflatevannet utenfor siltduken inne i Store Lungegårdsvann.

Ved flere av målingene innenfor siltskjørtet (29. januar, 19. februar, 3. mars og 18. mars) ble det funnet at partikkelkonsentrasjonene varierte nedover i vannsøylen med flere sjikt hvor partikkelmengden var særlig stor (jfr. **Vedlegg C**). Observasjoner under turbiditetsmålingene og analyseresultatene tyder på at de ulike sjiktene ved de fleste anledninger besto av steinstøv som holdt på å synke. Under dumping av stein på gammel sjøbunn vil partikler fra sjøbunnen virvles opp i vannsøylen og ved enkelte anledninger ble det observert at mudderpartikler fra sjøbunnen kom helt opp til overflaten og farget vannet helt mørkt. Etter noen timer hadde vannet da fått normal farge igjen. Under slike episoder vil de partikkelholdige sjiktene også bestå av oppvirvlet sjøbunn.

Utenfor siltskjørtet i Store Lungegårdsvann ble de høyeste partikkelansamlingene oftest funnet i den øvre meteren av vannsøylen og/eller i et sjikt som lå under dybden på siltskjørtet (jfr. **Vedlegg C**, 19. februar, 3. mars og 18. mars). En forklaring på de høye partikkelkonsentrasjonene i den øvre meteren kan være at partikler har lekket ut gjennom en åpning midt i siltskjørtet og spredd seg utover samtidig som partikkelskyen er blitt fortynnet. Mye nedbør i forkant av målingene kan også ha bidratt



Figur 14. Resultater av transmisjonsmålinger foretatt 12. januar 99 i Store Lungegårdsvann (stasjon 1) og Damsgårdsundet (stasjon 2).



Figur 15. Resultater av transmisjonsmålinger foretatt 29. januar 1999 på stasjon 1 (utenfor siltskjørt) og stasjon 3 (innenfor siltskjørt) i Store Lungegårdsvann og i Damsgårdsundet på stasjon 2.

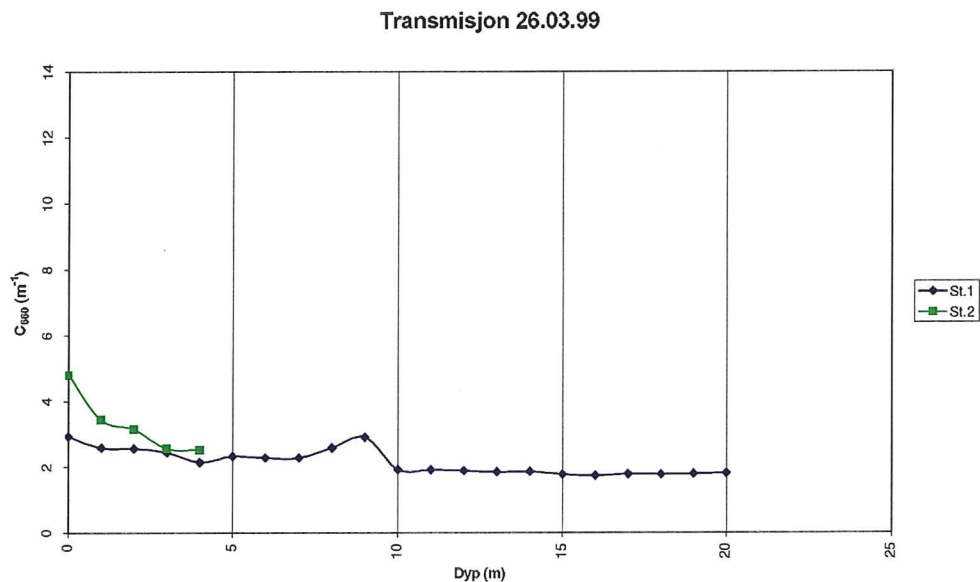
til forhøyede partikkelkonsentrasjoner i det brakke overflatevannet. Under siltskjørtet kan partiklene spre seg fritt utover i vannmassene, men målingene viser at det er betydelig lavere konsentrasjon av partikler fra 5 meter og ned mot bunnen utenfor siltskjørtet enn innenfor. Dette viser at mesteparten av de tyngre partiklene som tilføres vannsøylen inne i selve dumpingsområdet sedimenterer innenfor siltskjørtet. De lettere partiklene med større svevetid spres imidlertid under siltskjørtet og utover i Store Lungegårdsvann. Denne spredningen skjer imidlertid til en vannmasse som ligger dypere enn terskeldypet og derfor vil disse partiklene i liten grad fraktes ut av Store Lungegårdsvann.

Målingen foretatt 26. mars (**Figur 16**) ble gjort uten at det var dumping av stein i Store Lungegårdsvann. Transmisjonskurven fra Store Lungegårdsvann viser relativt mye partikler i de øvre 9 meterne av vannsøylen. Vannmassenes reduserte gjennomskinnelighet har imidlertid mest sannsynlig sammenheng med algenes vårblomstring i denne perioden.

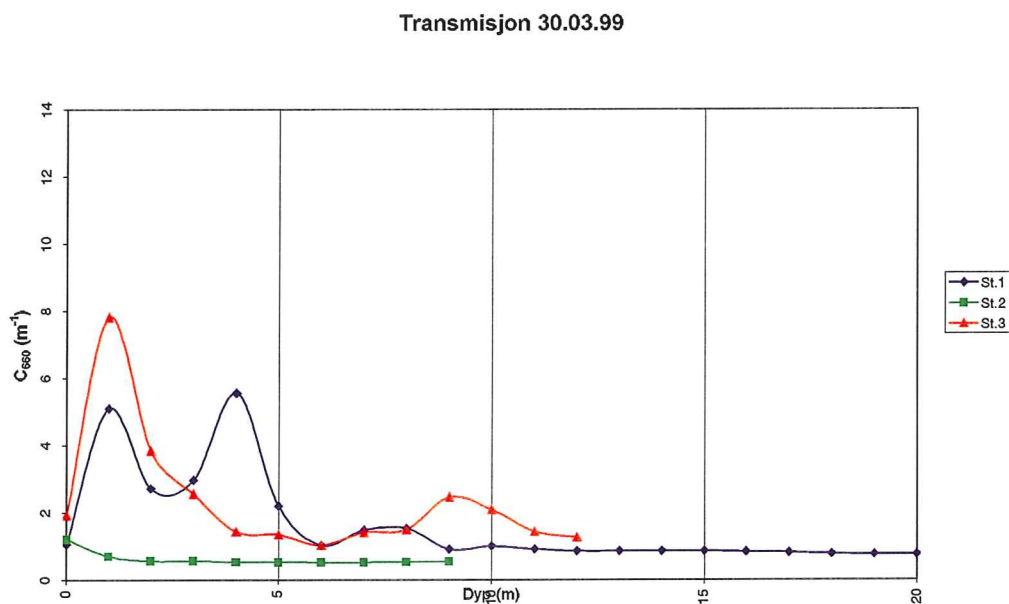
Transmisjonskurvene fra 30. mars viser betydelige mengder partikler i de øvre 5 meterne utenfor siltskjørtet (**Figur 17**). Målingen ble tatt relativt kort etter at dumpingen av stein ble igangsatt denne morgenen. Det ble observert en ca. 15-20 m bred åpning mellom siltskjørtet og land mot vestsiden. I tillegg var siltskjørtet sunket på midten slik at vannmasser med partikler nesten fritt kunne strømme ut fra dumpingsområdet og ut til selve Store Lungegårdsvann. Dette forholdet ble umiddelbart rapportert til Bergen kommune og Instanes a.s. De store partikkelmengdene i vannmassene utenfor siltskjørtet denne dagen må derfor sees i sammenheng med defekt siltskjørt. I tillegg kom det store mengder nedbør (64,8 mm) dette døgnet - noe som kan ha tilført Store Lungegårdsvann ekstra mye partikler.

Erfaringene fra transmisjonsmålingene viser at når siltskjørtet er montert forskriftsmessig, forhindrer dette i stor grad partikler fra å spre seg videre utover i Store Lungegårdsvann. Nedenfor siltskjørtkanten spres partikler videre utover i vannmassene, men dette er bare en liten del av

partiklene som tilføres/virvles opp innenfor siltskjørtet og de fordeler seg i en vannmasse som ikke har fri forbindelse med Damsgårdsundet.



Figur 16. Resultater av transmisjonsmålinger foretatt 26. mars 1999 på stasjon 1 (utenfor siltskjørt) og i Damsgårdsundet på stasjon 2.



Figur 17. Resultater av transmisjonsmålinger foretatt 30. mars 1999 på stasjon 1 (utenfor siltskjørt) og stasjon 3 (innenfor siltskjørt) i Store Lungegårdsvann og i Damsgårdsundet på stasjon 2.

3.5 Partikkelanalyse

Analysen av partikler i størrelsesområdet 2-40 μm er foretatt fra prøver samlet inn 12. og 29. januar og 3., 18. og 30. mars 1999. Resultatene fra partikkelanalysene er gjengitt i **Vedlegg D**, mens **Tabell 1** gir en oversikt over antall partikler og deres beregnede volum.

Partikkelanalysene viser at nesten alle partikler er mindre enn 10 μm . Dessuten viser samtlige målinger at partikkelmengden og partikkelvolumet er størst i prøvene tatt innenfor siltskjørtet (Stasjon 3).

Tabell 1. Antall partikler og partiklenes volum i vannprøver fra Store Lungegårdsvann for perioden 29. januar - 30. mars 1999. St. 1 = Store Lungegårdsvann, utenfor siltskjørt.
St. 2 = Damsgårdsundet. St. 3 = Store Lungegårdsvann, innenfor siltskjørt.

Dato	St. 1						St. 2		St. 3	
	1 m		6 m		10 m		1 m		1 m	
	Antall (mill/l)	Volum (mm^3/l)	Antall (mill/l)	Volum (mm^3/l)	Antall (mill/l)	Volum (mm^3/l)	Antall (mill/l)	Volum (mm^3/l)	Antall (mill/l)	Volum (mm^3/l)
12.01.99	9,3	1,02								
29.01.99	16,5	1,04					9,9	0,84	34,6	2,09
03.03.99	25,6	1,25					19,9	1,13	89,1	4,44
18.03.99	67,3	3,90	30,1	1,60	23,8	1,55				
30.03.99	26,4	1,32					26,7	2,91	209,9	10,25

3.6 Kjemiske analyser

3.6.1 Totalt organisk karbon - TOC

Resultatene av analyser av total mengde organisk karbon (TOC) i vannprøver tatt i perioden januar-mars er gjengitt i **Tabell 2**. Fra 12. januar til 29. januar ble det målt en nedgang i TOC-konsentrasjonene i Store Lungegårdsvann. Samtidig skjedde det en reduksjon i vannets gjennomskinnelighet. Det vil si at den reduserte gjennomskinneligheten i vannmassene skyldtes til førsel av uorganiske partikler.

Ved siste innsamling (30. mars) fant man de høyeste TOC-verdiene i Store Lungegårdsvann for hele måleperioden, og de høye konsentrasjonene ble funnet både innenfor og utenfor siltskjørtet. En oppblomstring av planktonalger ble registrert i området på denne tiden, og dette kan dermed ha bidratt til TOC-økningen. Stor partikkelmengde i vannmassene registrert gjennom transmisjonsmålingene og registreringer av miljøgifter i vannmassene (jfr. kap. 3.4) kan imidlertid tyde på at TOC-økningen også kan ha sammenheng med oppvirvling av organiske partikler fra sjøbunnen.

Tabell 2. Mengden totalt organisk karbon (TOC) på 1 meters dyp angitt i mg/l for prøver tatt i måleperioden januar-mars 1999 i Store Lungegårdsvann innenfor (stasjon 3) og utenfor siltskjørt (stasjon 1), og i Damsgårdsundet (stasjon 2).

Dato/Stasjon	Stasjon 1	Stasjon 2	Stasjon 3
12.01.99	1,9	2,3	
29.01.99	1,7	1,6	1,6
03.03.99	1,7	1,4	1,6
30.03.99	2,2	1,9	2,5

3.6.2 Miljøgifter

PCB

For PCB foreligger det resultater fra vannprøver tatt 12. januar, 19. februar, 3. mars og 30. mars. I **Tabell 3** er Σ PCB₇ og Σ PCB angitt, mens samtlige analyseresultater finnes i **Vedlegg E**.

Konsentrasjonene av PCB i vannmassene ligger nesten ved alle analyser under deteksjonsgrensene. Det eneste stedet hvor det ble påvist PCB-konsentrasjoner over deteksjonsgrensen, var i prøven tatt 19. februar i Damsgårdsundet (0,2 ng PCB/l). PCB-mengdene er med andre ord meget lave og ligger på bakgrunnsnivå (Klungesøyr, pers. med.)

Tabell 3. PCB angitt i ng/l for prøver tatt på 1 meters dyp i perioden januar-mars 1999 i Store Lungegårdsvann innenfor (Stasjon 3) og utenfor siltskjørt (Stasjon 1) og i Damsgårdsundet (Stasjon 2).

Stasjon	St.1	St.2	St.1	St.2	St.3	St.1	St.2	St.3	St.1	St.2	St.2
Dato	12.01. 99	12.01. 99	19.02. 99	19.02. 99	19.02. 99	03.03. 99	03.03. 99	03.03. 99	30.03. 99	30.03. 99	30.03. 99
CB-28	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1
CB-52	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1
CB-101	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1
CB-105*	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1
CB-118	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1
CB-138	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1
CB-153	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1
CB-156*	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1
CB-180	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1
CB-209*	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1
Sum PCB ₇	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1
Sum PCB	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1

PAH

Tabell 4 viser resultatene av PAH-analysene fra Store Lungegårdsvann og Damsgårdsundet. Konsentrasjonen av total PAH i Damsgårdsundet (Stasjon 2) varierer fra 3-37 ng/l og høyeste konsentrasjon ble funnet før (12. januar) steindumpingen ble igangsatt i Store Lungegårdsvann.

Inne i Store Lungegårdsvann ble det ikke funnet noen konsentrasjonsgradient fra området innenfor siltskjørtet til utenfor siltskjørtet ved de tre første målingene. Unntaket er 30. mars da det ble funnet en noe forhøyet konsentrasjon av total PAH (47,7 ng/l) i prøven tatt innenfor siltskjørtet (Stasjon 3), mens konsentrasjonen utenfor siltskjørtet (Stasjon 1) og i Damsgårdsundet var på samme nivå som ved tidligere målinger. Analysene fra prøvetakingen denne datoen viste en økende konsentrasjonsgradient fra Damsgårdsundet til vannmassene innenfor siltskjørtet. De registrerte konsentrasjonene av total PAH både fra Store Lungegårdsvann og Damsgårdsundet er imidlertid på bakgrunnsnivå (Klungesøyr et al. 1990, Klungesøyr pers. med.).

Når en ser på hvilke enkeltkomponenter som fører til den forhøyede PAH-konsentrasjonen i prøven tatt 30. mars innenfor siltskjørtet, viser det seg at dette er lette komponenter som 2-metyl-naftalen, 1-metyl-naftalen og bifenyl. Dette er disykliske hydrokarboner og tilhører dermed ikke de ekte PAH-ene (3 eller flere benzenringer). Disse lette PAH-komponentene som er relativt lett vannløselige, finnes normalt i kreosot, veiolje (i nylaget oljegrus og asfalt) og til en viss grad i tyngre oljer. Og dette er komponenter som sjelden lagres i bunnsedimenter. Funnet av disse komponentene i vannprøven tatt innenfor siltskjørtet tyder derfor på at PAH-forurensningen ikke stammer fra oppvirvlede bunnsediment, men heller har sammenheng med at vannmassene innenfor siltskjørtet er blitt forurenset på annen måte.

Tabell 4. PAH angitt i ng/l for prøver tatt på 1 meters dyp i perioden januar-mars 1999 i Store Lungegårdsvann innenfor (Stasjon 3) og utenfor siltskjørt (Stasjon 1) og i Damsgårdsundet (Stasjon 2).

Stasjon	ST. 1	ST. 2	ST. 1	ST. 2	ST. 3	ST. 1	ST. 2	ST. 3	ST. 1	ST. 2	ST. 3
	12.01. 99	12.01. 99	29.01. 99	29.01. 99	29.01. 99	03.03. 99	03.03. 99	03.03. 99	30.03. 99	30.03. 99	30.03. 99
Naftalen	<2	4,0	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2,6	1,7	1,5
2-M-Naf.	<2	3,0	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<1	<1	10,0
1-M-Naf.	<2	3,0	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<1	<1	6,9
Bifenyl	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2,0	<2	<1	<1	12,0
2,6-Dimetylnaftalen	<2	<2	2,0	<2	<2	<2	<2	<2	<1	<1	2,2
Acenaftalen	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<1	<1	<1
Acenaften	4,0	4,0	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<1	<1	<1
2,3,5-Trimetylnaftalen	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2,0	<2	<1	<1	<1
Fluoren	4,0	4,0	2,0	<2	<2	<2	<2	<2	<1	<1	<1
Fenantren	6,0	8,0	3,0	<2	<2	2,0	2,0	<2	<1	1,0	1,2
Antracen	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<1	<1	<1
1-Metylfenantren	2,0	2,0	<2	<2	<2	<2	<2	<2	1,2	<1	<1
Fluoranten	4,0	5,0	3,0	3,0	<2	3,7	4,3	3,5	3,1	2,7	4,9
Pyren	4,0	4,0	3,0	<2	5,0	4,6	8,7	4,5	4,7	5,1	7,4
Benz(a)antracen	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<1	<1	<1
Chrysen/trifenylen	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2,0	<2	1,0	<1	<1
Benzo(b,j,k)fluoranten	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2,0	2,3	1,5	1,6	1,6
Benzo(e)pyren	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	1,0	<1	<1
Benzo(a)pyren	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<1	<1	<1
Perylen	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<1	<1	<1
Ind.(1,2,3cd)pyren	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<1	<1	<1
Dibenz.(a,c/a,h)ant.	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<1	<1	<1
Benzo(ghi)perylene	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2,0	<2	1,0	<1	<1
Sum di/hetero	8,0	18,0	2,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	2,6	1,7	32,6
Sum PAH	16,0	19,0	9,0	3,0	5,0	12,3	21,0	10,3	13,5	10,4	15,1
Sum total PAH (ng/l)	24,0	37,0	13,0	3,0	5,0	12,3	25,0	10,3	16,1	12,1	47,7

I byområder vil vannmassene kunne bli tilført PAH-komponenter fra ulike kilder som asfalt, bilmotoren, oljesøl, bilgummi, tinet snø osv. (Bækken 1994). Eksempelvis kan store nedbørsmengder etter en lengre tørkeperiode transportere opplagrede PAH-komponenter i nedslagsfeltet ned til sjøen og forårsake en betydelig økning i overflatevannets PAH-konsentrasjon. De store nedbørsmengdene 30. mars (jfr. **Figur 13**) kan dermed være en mulig årsak til PAH-økningen i vannmassene innenfor siltskjørtet.

Generelt sett var konsentrasjonene av PAH i Store Lungegårdsvann lave og de svingninger som forekommer synes ikke å være større enn at de kan forklares av "naturlige" svingninger i et innelukket byområde.

Hg

Ved de fleste målingene lå kvikksølvkonsentrasjonen i vannmassene under deteksjonsgrensen (<1,0 ng Hg/l) (jfr. Tabell 5). 29. januar viste analysene en liten konsentrasjonsøkning utenfor siltskjørtet (Stasjon 1), mens en tilsvarende økning ikke ble registrert inne i selve dumpingsområdet.

I prøvene fra 30. mars ble det imidlertid påvist kvikksølv med en konsentrasjonsgradient i prøvene. Høyest konsentrasjon (3,0 ng Hg/l) ble funnet i prøven tatt innenfor siltskjørtet (Stasjon 3), mens laveste konsentrasjon ble målt i Damsgårdsundet (1,5 ng Hg/l).

Tabell 5. Kvikksølv (Hg) angitt i ng/l for prøver tatt på 1 meters dyp i perioden januar-mars 1999 i Store Lungegårdsvann innenfor (Stasjon 3) og utenfor siltskjørt (Stasjon 1) og i Damsgårdsundet (Stasjon 2).

Dato/Stasjon	St. 1	St. 2	St. 3
12.01.99	<1,0	<1,0	
29.01.99	1,5	<1,0	<1,0
03.03.99	<1,0	<1,0	<1,0
30.03.99	2,5	1,5	3,0

3.7 Transport av miljøgifter

Konsentrasjonene av PCB i vannmassene både i Store Lungegårdsvann og i Damsgårdsundet var meget lave, dvs. lavere enn deteksjonsgrensen i nesten hele undersøkelsesperioden. Det er derfor ikke mulig å beregne transport av PCB.

Konsentrasjonen av total PAH var generelt lav i de analyserte prøvene og tidvis var konsentrasjonen høyere i Damsgårdsundet enn i Store Lungegårdsvann. Kun ved ett tidspunkt ble det funnet avtakende konsentrasjoner fra dumpingsområdet til Damsgårdsundet. For de ekte PAH-ene ble de to høyeste konsentrasjonene funnet i Damsgårdsundet og den nest høyeste konsentrasjonen ble målt før steindumping ble igangsatt. De foreliggende resultater gir derfor ikke grunnlag for beregning av transport av PAH ut fra Store Lungegårdsvann som følge av steindumping. Konsentrasjonene av PAH innenfor siltskjørtet er imidlertid så lave at transport av PAH ut fra dumpingsområdet som følge av steindumping, kan fastslås å være meget liten.

30. mars 1999 ble det målt en økende konsentrasjonsgradient for kvikksølv fra Damsgårdsundet til innenfor siltskjørtet i Store Lungegårdsvann. Samtidig var det en tilsvarende gradient for mengden totalt organisk karbon. Kvikksølv (Hg) er vanligvis sterkt bundet til organiske partikler. Det kan dermed synes forsvarlig å utføre en beregning av potensiell transport av kvikksølv ut fra Store Lungegårdsvann for et slikt tilfelle. Denne datoen ble det observert åpning i siltskjørtet slik at vann ned til ca. 1 meters dybde kunne strømme relativt fritt fra dumpingsområdet og ut i Store Lungegårdsvann.

I beregningene er det gjort regning med at arealet innenfor siltskjørtet var 80.000 m² og at vannstandsforskjellen mellom flo og fjære var 1 m, dvs. at i perioden mellom flo og fjære kan teoretisk sett 80.000 m³ vann presses forbi siltskjørtet og ut i Store Lungegårdsvann. Med en gjennomsnittlig Hg-konsentrasjon på 3,0 ng/l representerer denne vannmengden 240 mg Hg.

Laboratorieforsøk har vist at partikler fra gammel sjøbunn inne i Store Lungegårdsvann synker med en hastighet på ca. 2 cm/time (Johnsen et al. 1998). Tidligere beregninger av fortynning og spredning av partikler utført ved bruk av en 2-dimensjonal numerisk modell ("Surface Water Modeling System") hvor det er tatt hensyn til tidevann, ferskvannstilførsel og en synkehastighet for partikler på 2 cm/time, har vist at ved et utslipp av en partikkelsky i nordvestre hjørne av Store Lungegårdsvann, vil totalt kun ca.10% av partiklene transporteres ut til Damsgårdsundet (Johnsen et al. 1998). Legges disse modellberegningene til grunn vil hovedandelen av det partikkelknyttede kvikksølvet (~90%) sedimentere inne i Store Lungegårdsvann. Beregningene er gjort under forutsetning av at partiklene fritt kan forflytte seg fra dumpingsstedet og videre utover i Store Lungegårdsvann. Selv om det den 30. mars ble observert en stor lekkasje i siltskjørtet, vil siltskjørtet i betydelig grad dempe vanntransporten fra dumpingsområdet til området utenfor siltskjørtet. Dermed er det mulig at sedimentasjonen inne i Store Lungegårdsvann vil være større enn 90%. Det bør også poengteres at beregningene av kvikksølvtransport er gjort på bakgrunn av konsentrasjoner som ligger like i overkant av deteksjonsgrensen, og det fører til stor usikkerhet i beregningene.

4. Diskusjon

Overvåkingen i forbindelse med dumping av sprengstein i Store Lungegårdsvann viste at dumpingene førte til en betydelige reduksjon i vannmassenes gjennomsnittlighet. Denne reduksjonen kom som følge av at de tilførte steinmassene inneholdt store mengder steinpartikler som under dumpingene ble spredd ut i vannet. Steinpartiklene var imidlertid tunge og sank relativt raskt til bunns. Slike partikler inneholder lite eller ingen miljøgifter og påvirket derfor ikke konsentrasjonen av miljøgifter i vannmassene.

Den gamle sjøbunnen i Store Lungegårdsvann er sterkt forurenset av både PCB, PAH og kvikksølv (Hg). Sjøbunnen består av små partikler med tetthet nær sjøvannets tetthet og synker derfor sakte, og det er til disse partiklene at forurensningene er knyttet. Faren ved steindumpingene i Store Lungegårdsvann var knyttet til at de forurensete bunnsedimentene kunne bli virvlet opp til overflaten og transportert utover til Damsgårdsundet ved fjærende sjø. Målingene av totalt organisk materiale viste imidlertid at gammel sjøbunn kun i enkelte tilfeller ble brakt opp til overflaten. Grunnlaget for stor transport av miljøgifter ut fra dumpingsområdet var dermed ikke tilstede.

Analyser av vannprøver fra 1 meters dyp i Store Lungegårdsvann tatt både innenfor og utenfor siltskjørtet inneholdt ikke ved noen av målingene konsentrasjoner av PCB₇ over deteksjonsgrensen (dvs. normalt 0,1 ng/l for hver PCB-forbindelse (PCB IUPAC nr. 28, 52, 101, 118, 138, 153 og 180)). Transport av PCB ut fra Store Lungegårdsvann har dermed ikke representert noen trussel i forbindelse med sprengsteindumpingene.

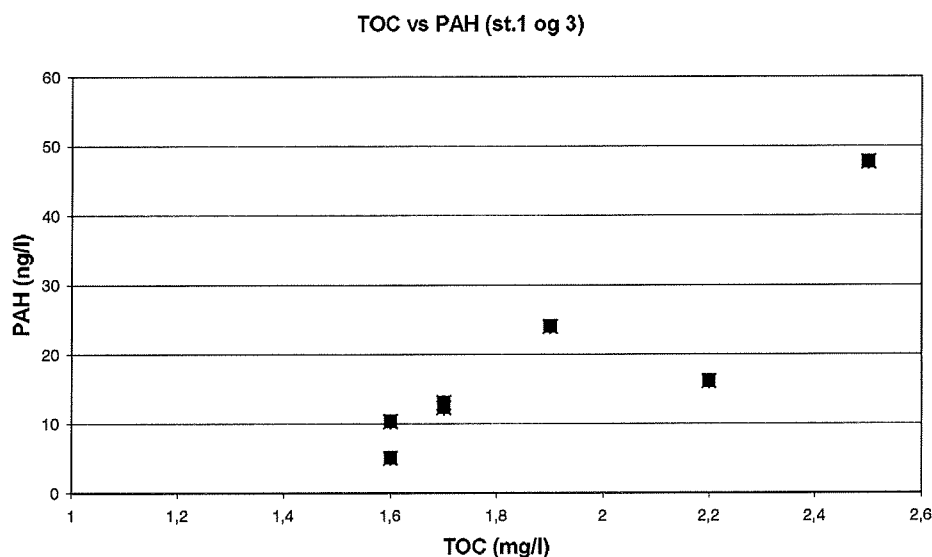
For kvikksølv ble det kun ved en prøvetaking (30. mars) funnet en avtagende konsentrasjonsgradient fra dumpingsområdet ut til Damsgårdsundet. Konsentrasjonene sank fra 3,0 til 1,5 ng Hg/l, og dette plasserer samtlige prøver i tilstandsklasse II (moderat forurenset) etter SFTs klassifiseringssystem (Molvær et al. 1997). For dette tilfellet er den potensielle transporten av Hg ut fra Store Lungegårdsvann beregnet til 240 mg, men legges tidligere gjennomførte modellberegninger til grunn framkommer det at mesteparten av kvikksølvet (~90%) vil sedimentere i Store Lungegårdsvann. Når en tar i betraktning at kvikksølvkonsentrasjonene i vannmassene stort sett lå under deteksjonsgrensen på 1 ng/l, synes heller ikke transporten av kvikksølv å representere et vesentlig faremoment under steindumping i Store Lungegårdsvann.

Konsentrasjonene av total PAH i Store Lungegårdsvann varierte mellom 5,0 og 47,7 ng/l. Den høyeste verdien målt 30. mars skyldtes imidlertid en stor andel (68%) av lette PAH-komponenter som mest sannsynlig stammer fra vei-/trafikkforurensninger og ikke fra oppvirvlet sediment. Ved de fleste av måletidspunktene ble det målt høyere konsentrasjoner av PAH utenfor dumpingsområdet i Store Lungegårdsvann enn innenfor og ved et par av målingene ble de høyeste konsentrasjonene registrert i Damsgårdsundet. Lave konsentrasjoner av PAH i vannmassene innenfor siltskjørtet og manglende konsentrasjonsgradient fra dumpingsområdet ut til Damsgårdsundet gir lite grunnlag for å beregne transport av PAH ut fra Store Lungegårdsvann som følge av steindumpingene. Ut fra målingene av PAH i vannmassene kan det konkluderes med at steindumpingene medfører liten ekstra transport av PAH ut fra Store Lungegårdsvann.

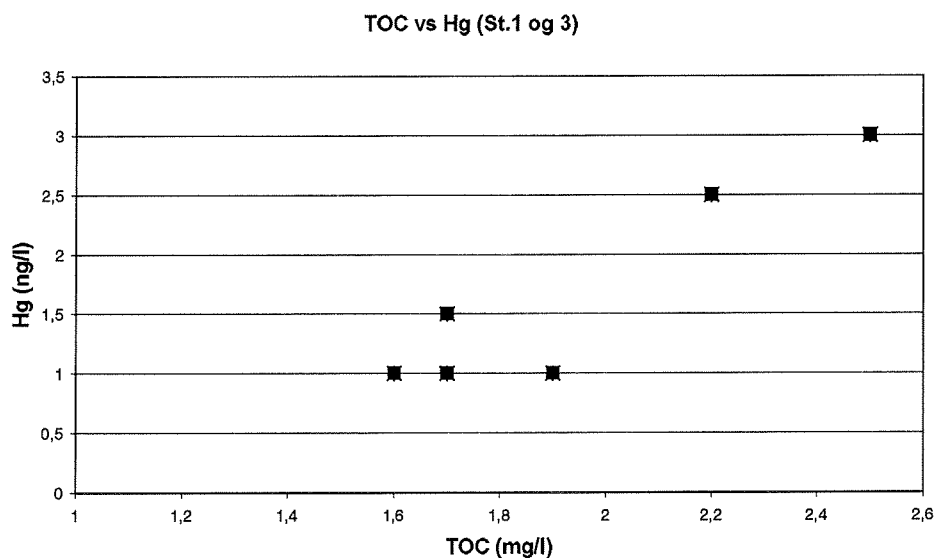
At de registrerte konsentrasjonene av PCB₇, Hg og PAH i vannmassene var svært forskjellige, kan ha sammenheng med at stoffene forekommer i ulike konsentrasjoner i sedimentet. Prøve fra de øvre 2 cm av sedimentet tatt innenfor dumpingsområdet i 1998 inneholdt 1.430, 100 og 1,7 µg/kg tørt sediment for henholdsvis PAH, Hg og PCB₇ (Johnsen m.fl. 1998, st.3). Det vil si at konsentrasjonen av Hg i sedimentet er ca. 1/15 av PAH-konsentrasjonen og konsentrasjonen av PCB₇ ca. 1/1000 av PAH-konsentrasjonen. Ved en PAH-konsentrasjon på 50 ng/l i vannmassene kan det da forventes en

Hg-konsentrasjon på ca. 3 ng/l og en PCB₇-konsentrasjon på 0,05 ng/l som er lavere enn deteksjonsgrensen for hver PCB-forbindelse. Ut fra disse betraktningene er det rimelighet i at det ikke er blitt registrert PCB₇ i vannmassene i Store Lungegårdsvann.

Hvis analyseresultatene for PAH og Hg inne i Store Lungegårdsvann sammenholdes med verdiene for total PAH, framkommer det at en økning i konsentrasjonene av PAH og Hg sammenfaller med en økning i TOC-konsentrasjonene (Figur 18 og Figur 19). En økning i TOC-konsentrasjonene i vann-



Figur 18. Sammenheng mellom totalt organisk karbon (TOC) og polisykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) i vannprøver tatt i Store Lungegårdsvann i perioden fra 12.januar til 30. mars 1999.



Figur 19. Sammenheng mellom totalt organisk karbon (TOC) og kvikksølv (Hg) i vannprøver tatt i Store Lungegårdsvann i perioden fra 12. januar til 30. mars 1999.

massene innenfor siltskjørtet kan forventes å forekomme etter at stein er dumpet på gammel sjøbunn hvor det organiske innholdet er høyt. Analysene av sedimentene i dumpingsområdet har tidligere vist seg å ha et høyt innhold av både PAH og Hg, og disse stoffene er normalt bundet relativt sterkt til partikler. Når konsentrasjonene av både TOC, PAH og Hg i vannmassene forhøyes samtidig, kan en forklaring være at stein er blitt dumpet på forurenset sjøbunn som så er blitt virvlet opp. Stor avrenning fra land kan også ha forårsaket økt tilførsel av organiske partikler forurenset med PAH og Hg.

Generelt kan det konkluderes med at målingene av PCB, PAH og kvikksølv (Hg) i vannmassene viste relativt lave konsentrasjoner både inne i selve dumpingsområdet og utenfor gjennom hele måleperioden.

I dypvannet i Store Lungegårdsvann var det en økning av partikkelmengden i løpet av måleperioden. Dette må sees i sammenheng med at det skjedde en dypvannsutsiftning i januar som ga tilførsel av klart dypvann. Etter hvert har dette vannet blitt tilført partikler både naturlig via avrenning fra nedslagsfeltet og nedsynking av døde algeceller og gjennom en tilførsel av partikler som stammer fra steindumping.

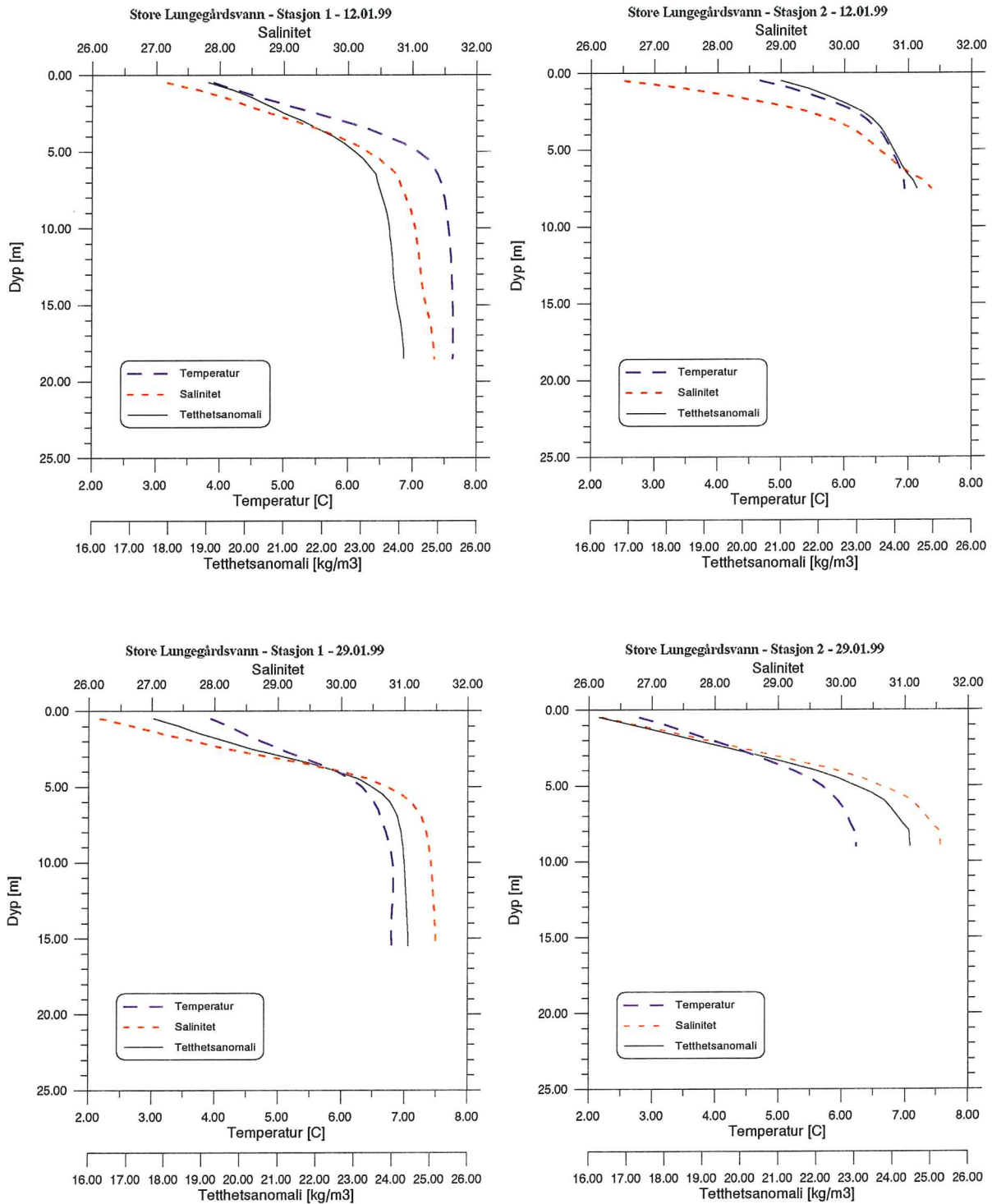
Transmisjonsmålingene viste at et forskriftsmessig montert siltskjørt rundt dumpingsområdet virket svært dempende spesielt på spredningen av steinpartikler. En liten andel av disse partiklene lakk likevel ut, og partikkeltettheten i vannet som strømmet ut fra Store Lungegårdsvann, var korrelert med dumpingsaktiviteten slik at de laveste partikkelkonsentrasjonene ble observert tidlig i uken, dvs. etter at det hadde vært stans i steindumping. Organiske partikler med liten synkehastighet ble også tilbakeholdt av siltskjørtet så lenge dette var forskriftsmessig montert.

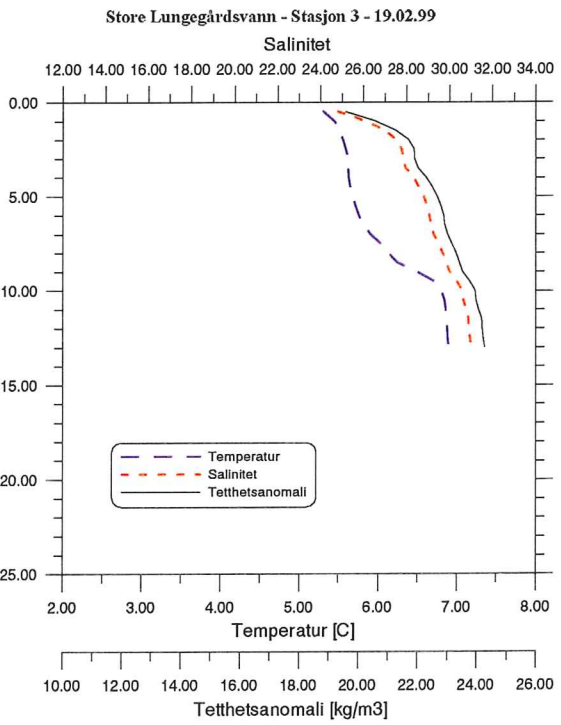
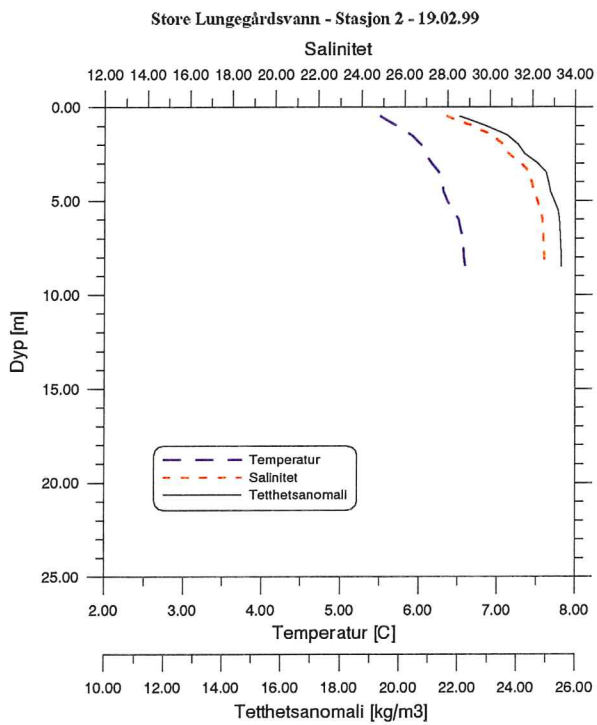
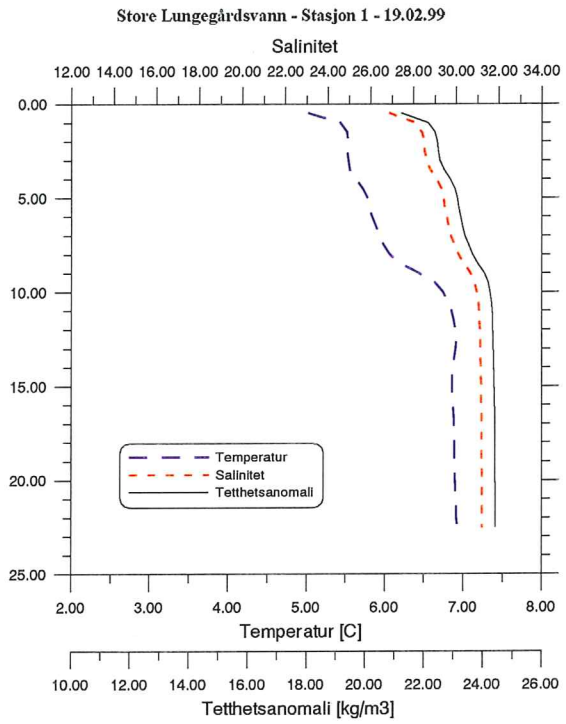
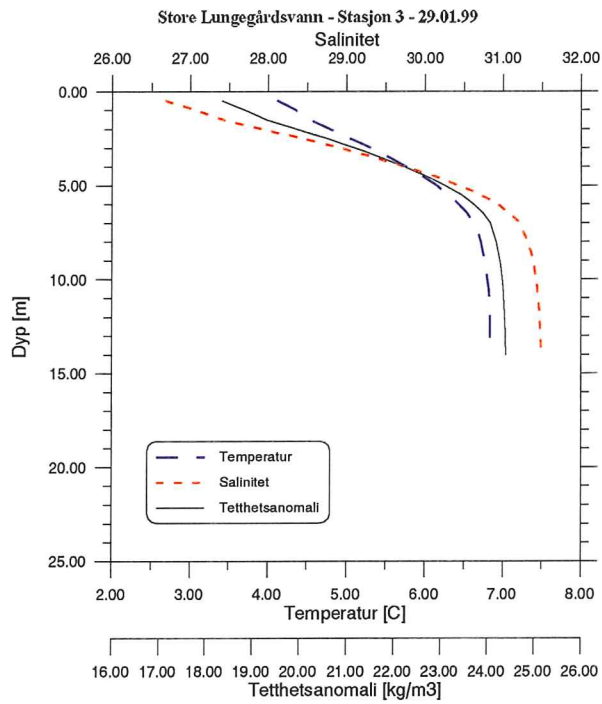
5. Litteratur

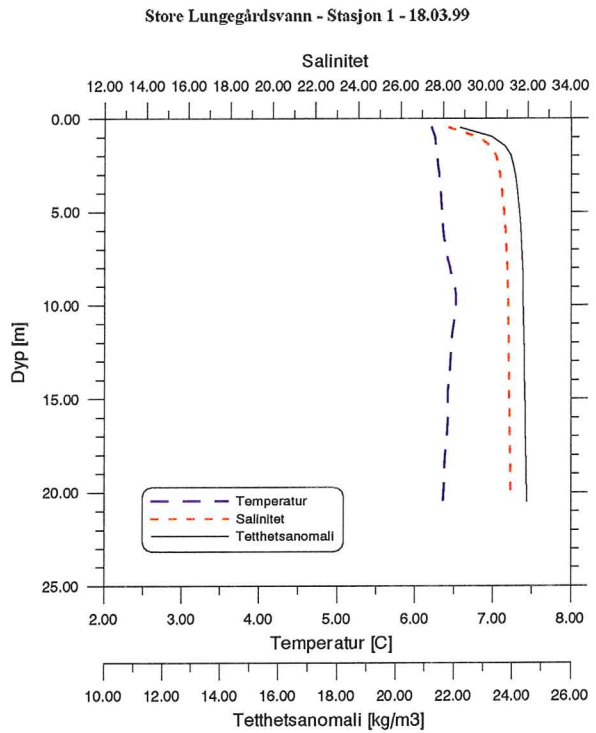
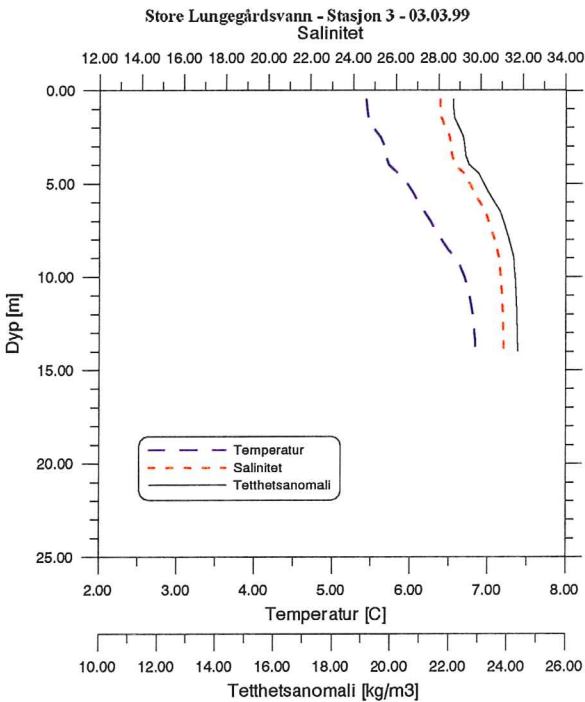
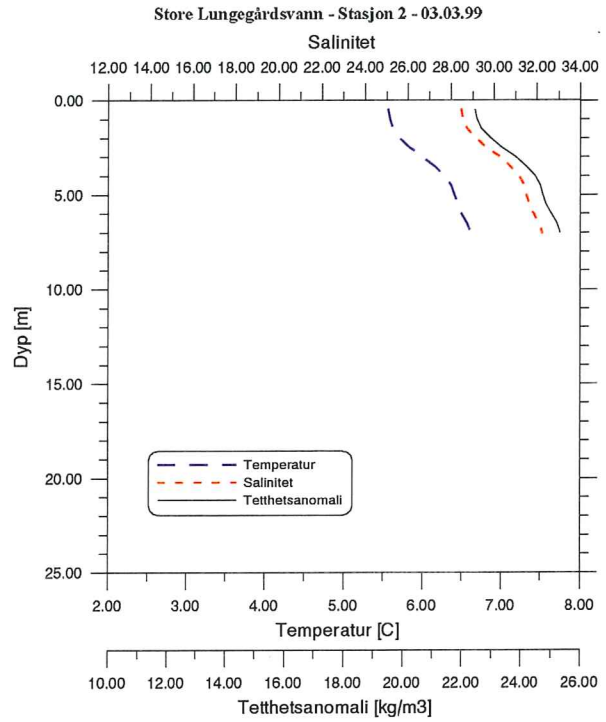
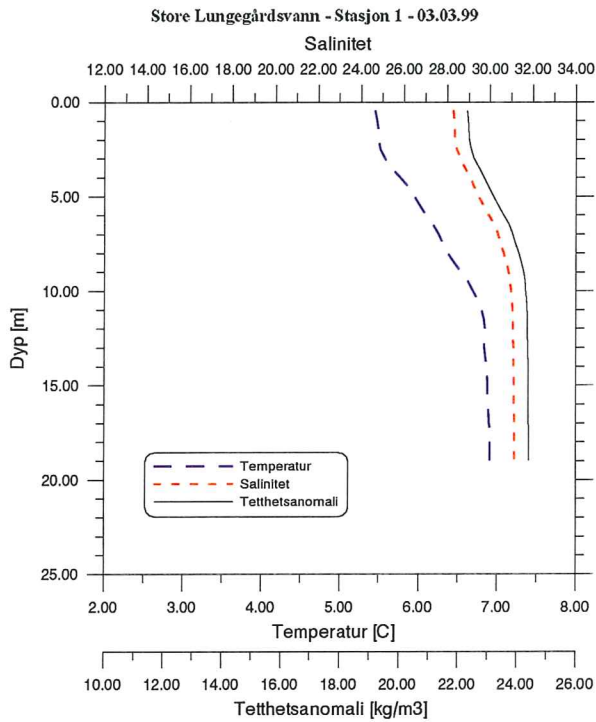
- Baumgartner, D.J., Frick, W.E. and Roberts, P.J.W., 1994. Dilution models for effluent discharges (Third Edition). Center for Exposure Assessment Modeling. US.EPA, Environmental Research Laboratory. Athens, Georgia. 189 pp.
- Botnen, H.B., A. Aadnesen & P.J. Johannesen. 1995. Partikkelkonsentrasjon i Store Lungegårdsvann under utlegging av sprengstein. IFM-rapport 2, 1995. 13 s.
- Bækken, T. 1994. Trafikkforurensset snø i Oslo. NIVA-rapport l.nr. 3131. 60 s.
- Johnsen, T.M., B. Bjerkgeng, J. Molvær & E. Nygaard. 1998. Miljøvurderinger av utfylling av sprengstein i Store Lungegårdsvann. NIVA-rapport l.nr. 3927-98. 46 s.
- Klungesøyr, J., K. Westrheim, S. Vilhelmsen, A. Goksøyr, H.E. Larsen, J. Beyer & K. Helgesen. 1990. "Mercantile Marica"-forliset utenfor Sognefjorden 1989. Havforskningen BKO 9001.
- Molvær, J., J. Knutzen, J. Magnusson, B. Rygg, J. Skei & J. Sørensen. 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Veiledning. SFT-rapport TA-1467/1997, 36 s.
- Sea-Bird Electronics, Inc, Bellevue Washington, USA, 1997. SeaCat SBE 19-03, Conductivity, Temperature Depth recorder. Operating Manual.
- Skei, J., J. Knutzen & J. Klungesøyr. 1994. Miljøundersøkelser i Bergen havneområde og Byfjorden 1993. NIVA-rapport l.nr. 3018. 88 s.

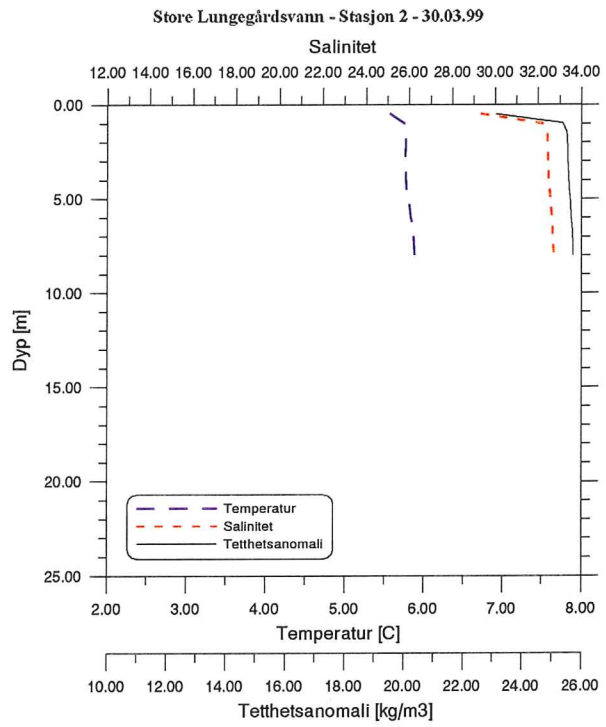
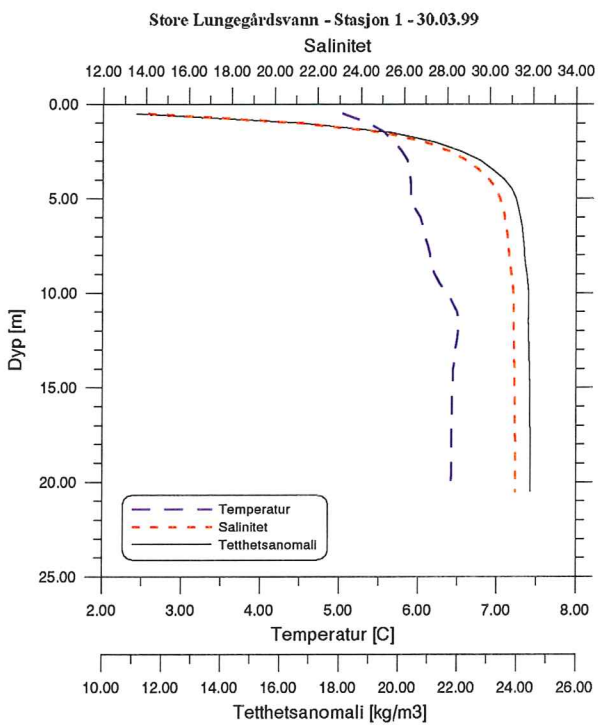
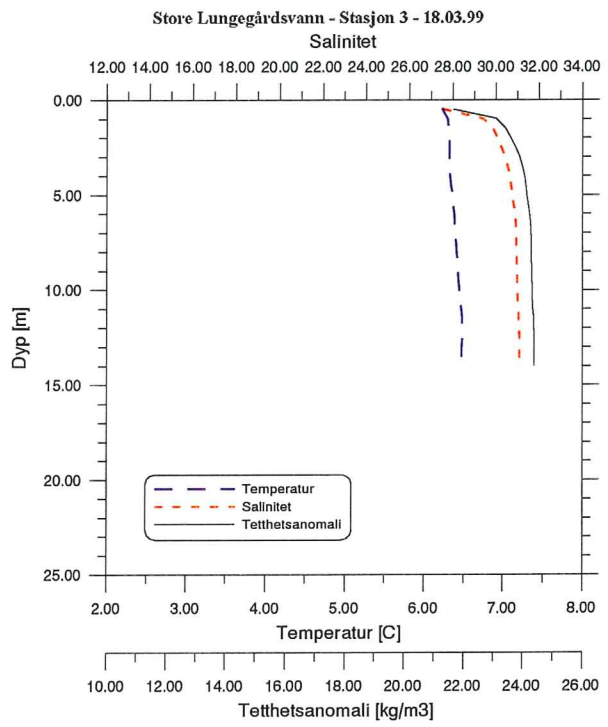
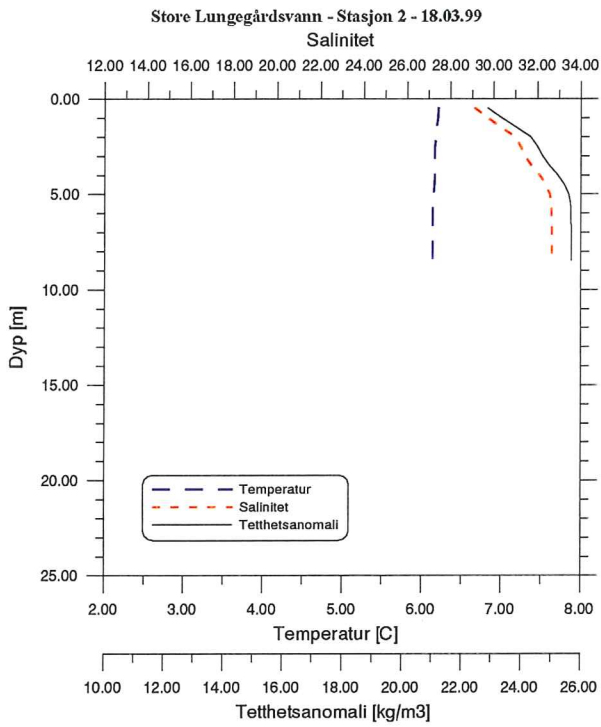
Vedlegg A.

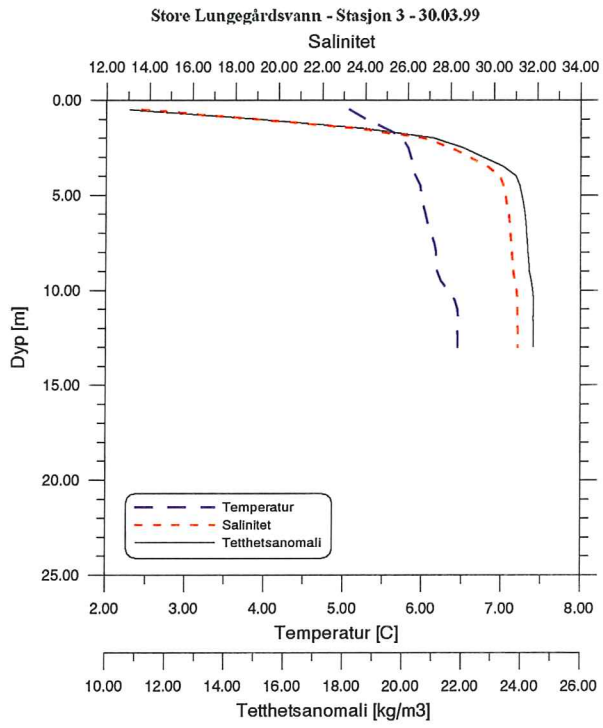
Profiler av salinitet, temperatur og tetthetsanomali (tetthet - 1000 kg/m³) fra samtlige målinger i perioden januar-mars 1999 i Store Lungegårdsvann innenfor (Stasjon 3) og utenfor siltskjørt (Stasjon 1) og i Damsgårdsundet (Stasjon 2).











FARFIELD CALCULATION (based on Brooks, 1960, see guide)

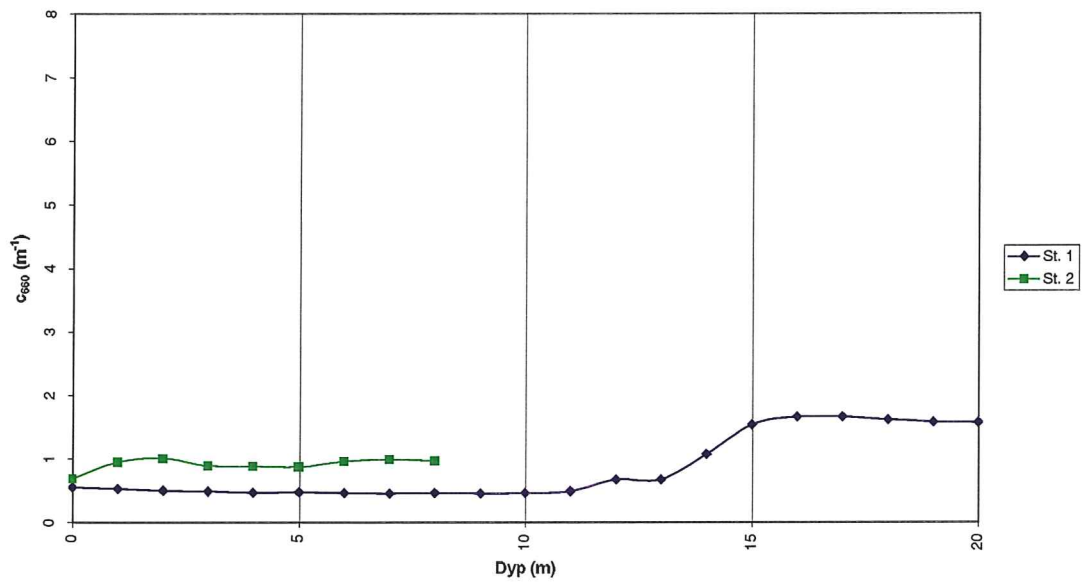
Farfield dispersion based on wastefield width of 40.00m

--4/3 Power Law--			--Const Eddy Diff--		distance m	time		
conc	dilution	width m	conc	dilution		width m	sec	hrs
2.27	1.58	61.6	2.35	1.48	56.6	100	1630	0.45
1.93	2.15	86.8	2.14	1.75	69.6	200	3290	0.91
1.71	2.83	115	2.00	2.01	80.5	300	4960	1.4
1.56	3.57	145	1.90	2.23	90.1	400	6630	1.8
1.46	4.37	178	1.82	2.44	98.8	500	8290	2.3
1.38	5.23	212	1.76	2.64	107	600	9960	2.8
1.33	6.13	249	1.71	2.82	114	700	11600	3.2
1.28	7.09	288	1.67	2.99	121	800	13300	3.7
1.25	8.08	328	1.63	3.15	128	900	15000	4.2
1.22	9.12	371	1.61	3.30	134	1000	16600	4.6
1.20	10.2	415	1.58	3.45	140	1100	18300	5.1
1.18	11.3	460	1.56	3.59	146	1200	20000	5.5

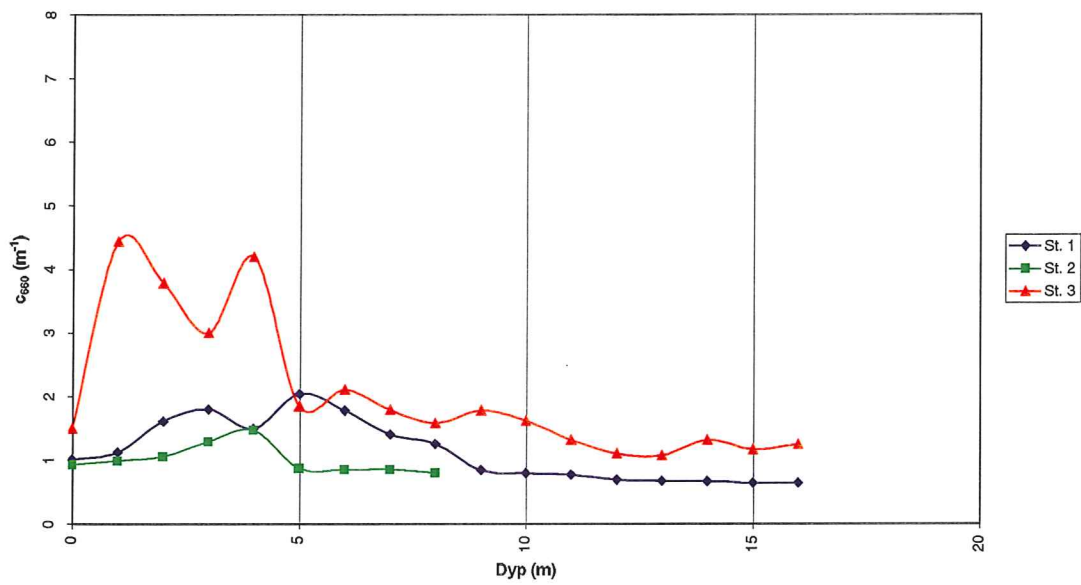
Vedlegg C.

Transmisjonsmålinger for perioden januar-mars 1999.

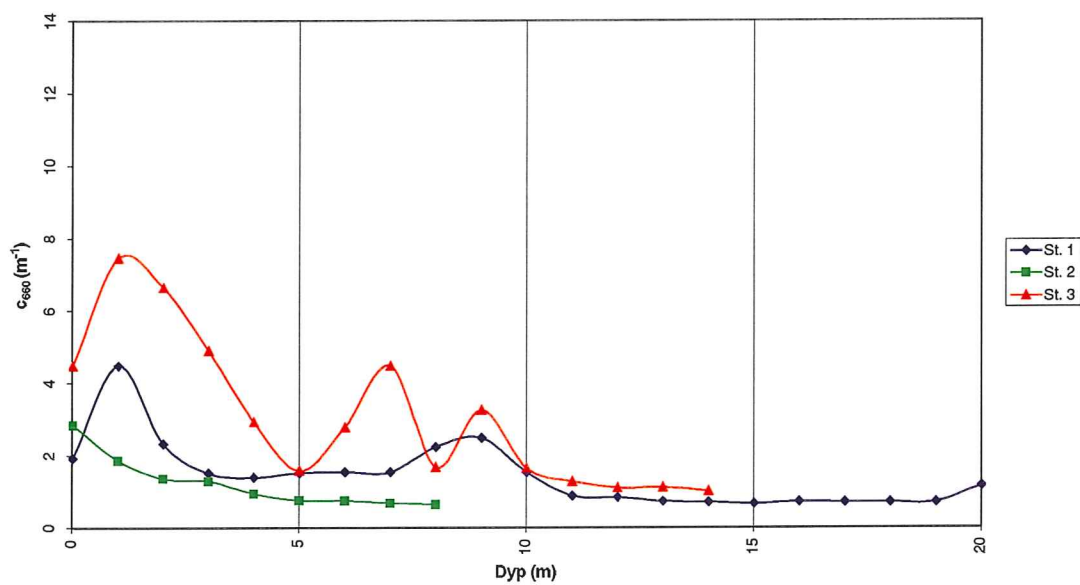
Transmisjon - 12.01.99



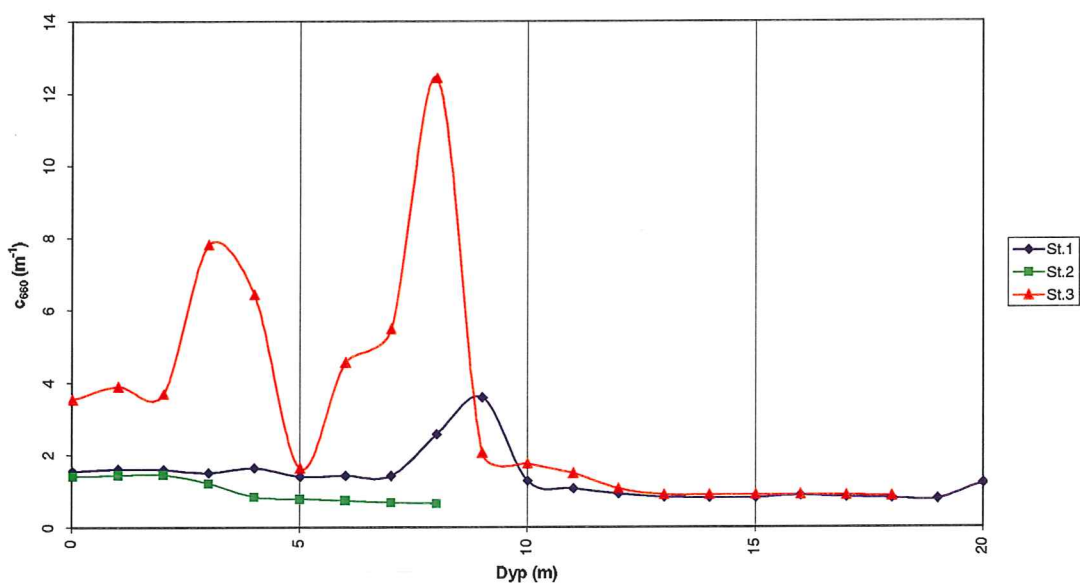
Transmisjon - 29.01.99



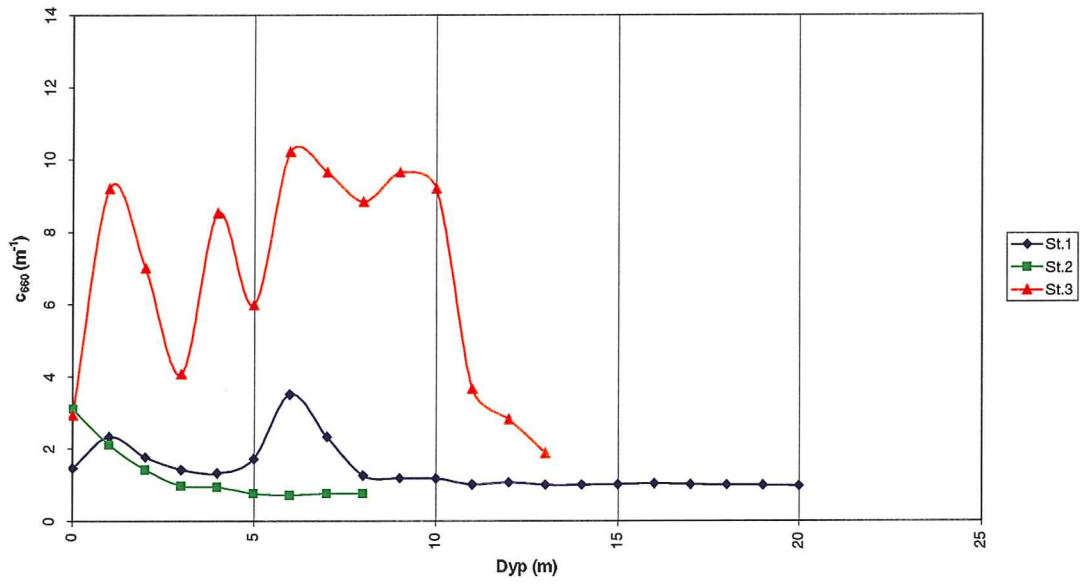
Transmisjon - 19.02.99



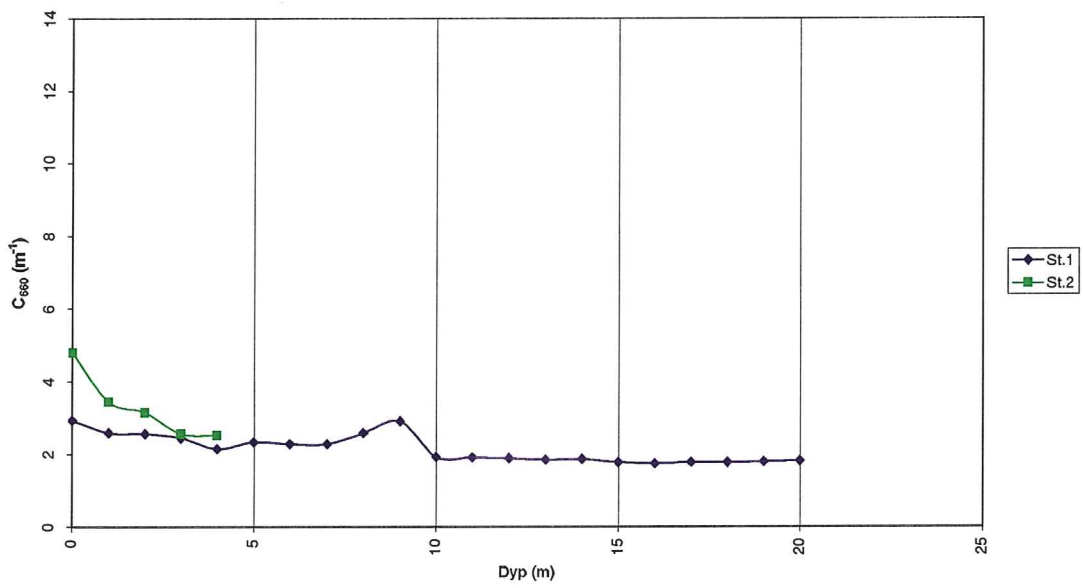
Transmisjon 03.03.99



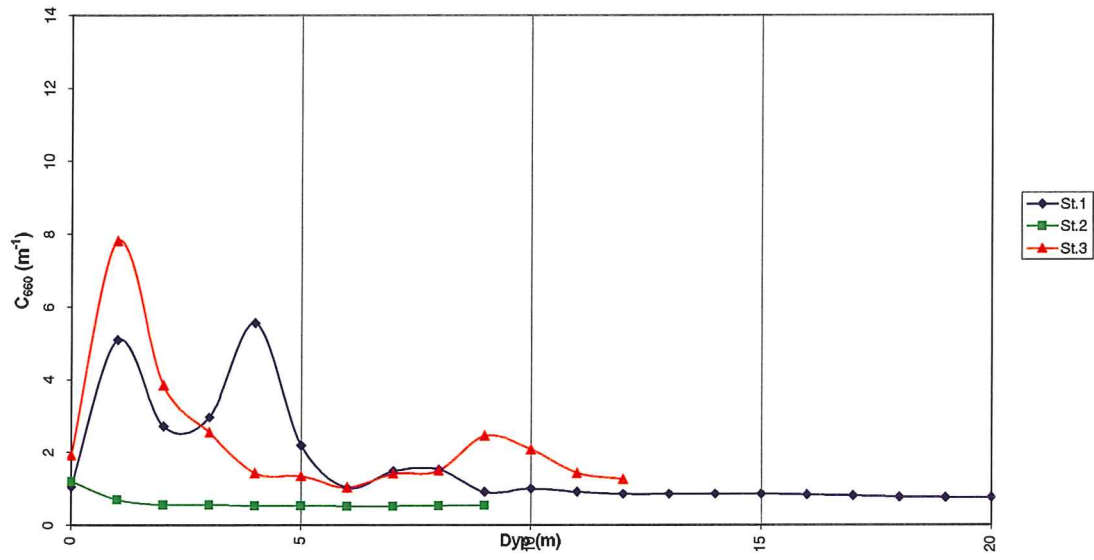
Transmisjon 18.03.99



Transmisjon 26.03.99



Transmisjon 30.03.99

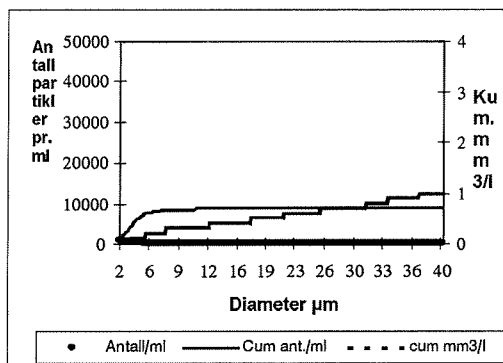


Vedlegg D.

Resultater av partikkelanalyser.

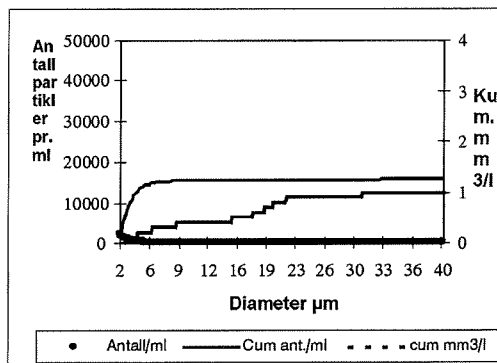
St. 1. 1 m. 12.01.99.

Antall/l: 9,3 mill/l Volum: 1,02 mm³/l



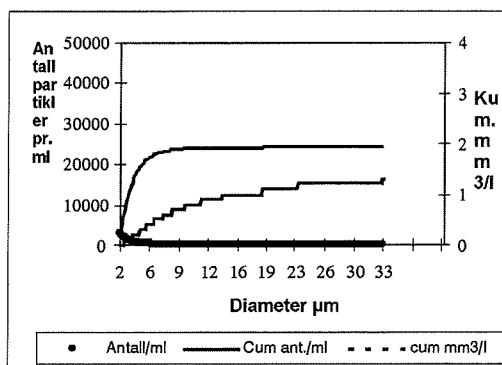
St. 1. 1 m. 29.01.99.

Antall/l: 16,5 mill/l Volum: 1,04 mm³/l



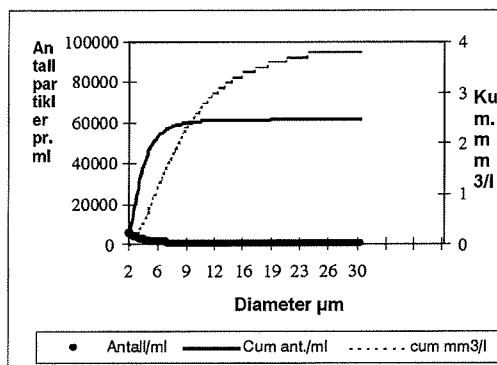
St. 1. 1 m. 03.03.99.

Antall/l: 25,6 mill/l Volum: 1,25 mm³/l



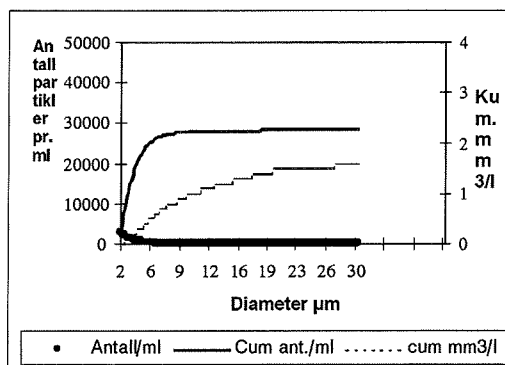
St. 1. 1 m. 18.03.99

Antall/l: 67,3 mill/l Volum: 3,9 mm³/l



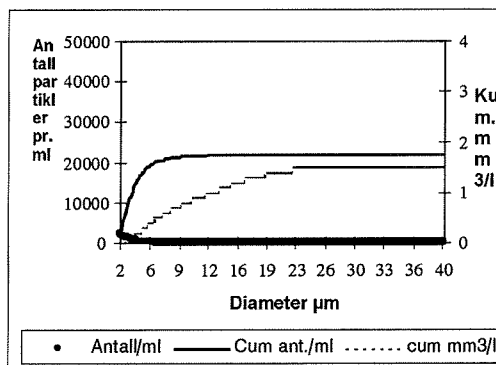
St. 1. 6 m. 18.03.99

Antall/l: 30,1 mill/l Volum: 1,6 mm³/l



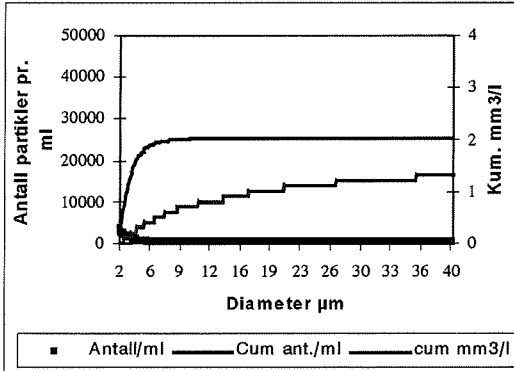
St. 1. 10 m. 18.03.99

Antall/l: 23,8 mill/l Volum: 1,55 mm³/l



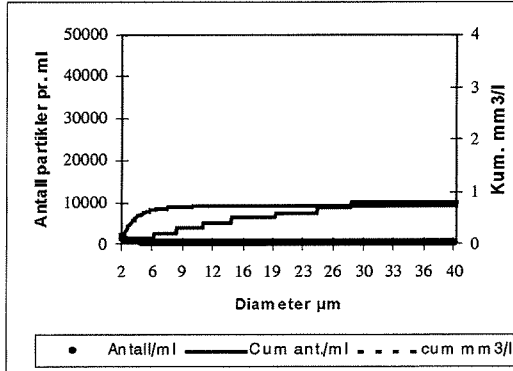
St. 1. 1 m. 30.03.99

Antall/l: 26,4 mill/l Volum: 1,32 mm³/l



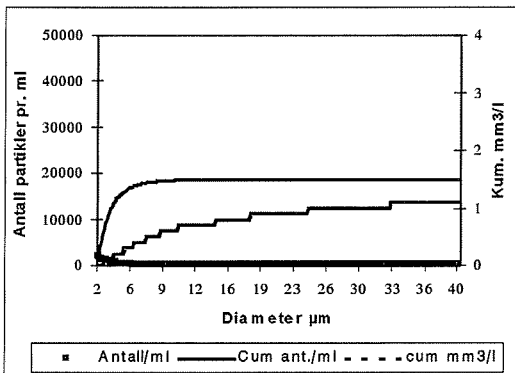
St. 2. 1 m. 29.01.99

Antall/l: 9,9 mill/l Volum: 0,84 mm³/l



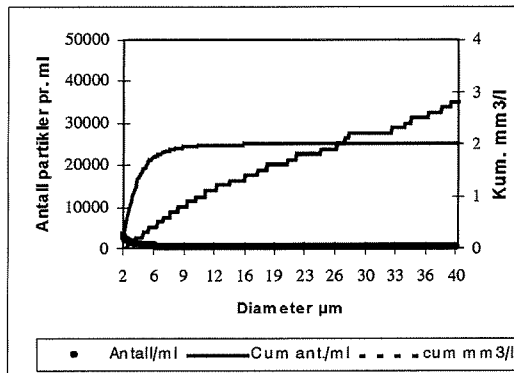
St. 2. 1 m. 03.03.99

Antall/l: 19,9 mill/l Volum: 1,13 mm³/l



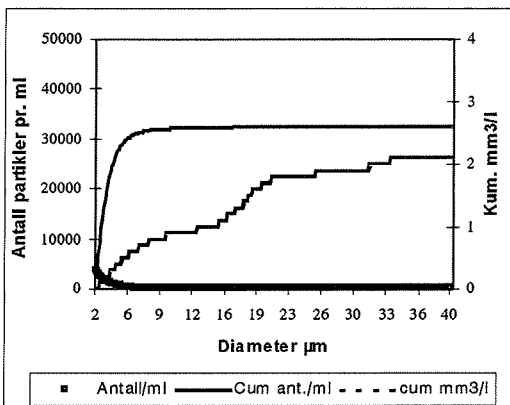
St. 2. 1 m. 30.03.99

Antall/l: 26,7 mill/l Volum: 2,91 mm³/l



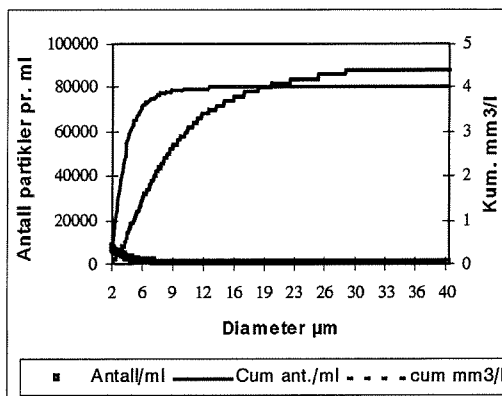
St. 3. 1 m. 29.01.99

Antall/l: 34,6 mill/l Volum: 2,09 mm³/l



St. 3. 1 m. 03.03.99

Antall/l: 89,1 mill/l Volum: 4,44 mm³/l

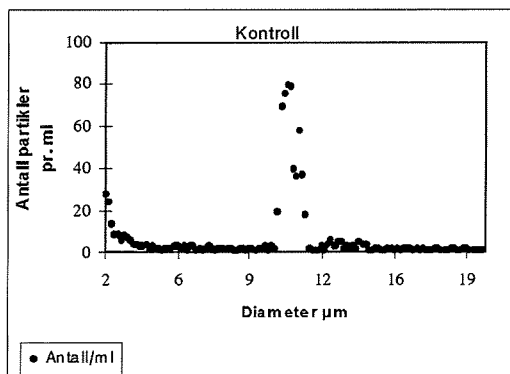
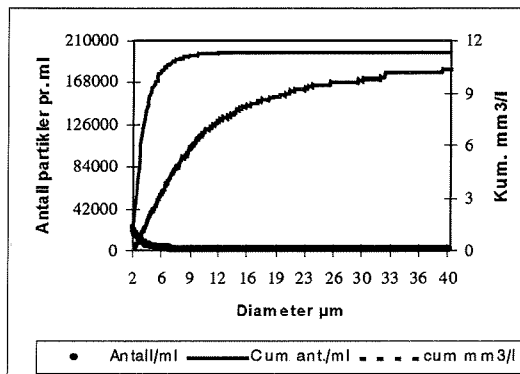


St. 3. 1 m. 30.03.99

Kontrolltelling med 10 µm DYNAL-kuler for kalibrering

Antall/l: 209,9 mill/l

Volum: 10,25 mm³/l



Vedlegg E.

Resultater av PCB-analyser.

Stasjon	St.1	St.2	St.1	St.2	St.3	St.1	St.2	St.3	St.1	St.2	St.2
Dato	12.01. 99	12.01. 99	19.02. 99	19.02. 99	19.02. 99	03.03. 99	03.03. 99	03.03. 99	30.03. 99	30.03. 99	30.03. 99
CB-28	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1
CB-52	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1
CB-101	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1
CB-105*	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1
CB-118	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1
CB-138	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1
CB-153	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1
CB-156*	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1
CB-180	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1
CB-209*	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1
Sum PCB ₇	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1
Sum PCB	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1
QCB	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05
HCHA	0,2	0,3	<0,1	0,2	0,2	<0,4	<0,4	<0,4	<0,2	<0,1	0,1
HCB	<0,1	0,1	<0,1	0,2	0,2	<0,2	<0,2	0,3	<0,05	<0,05	<0,05
HCHG	1,0	1,1	<0,1	1,1	1,1	0,8	0,9	0,9	0,6	0,6	0,7
OCS	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05
DDEPP	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1
TDEPP	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,6	<0,6	<0,6	<0,3	<0,3	<0,3