

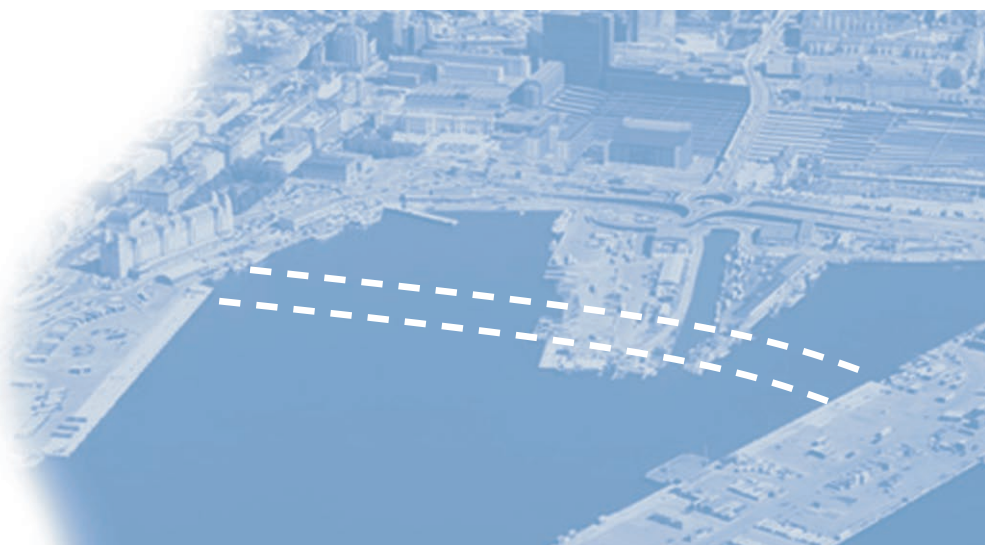
# FORUNDERSØKELSE

## til overvåking av mudringsarbeider i samband med bygging av senketunnel i Bjørvika/Bispevika: VANNKVALITET

### Bjørvikaprojektet

E18 mellom Festningstunnelen og Ekebergtunnelen

desember 2004




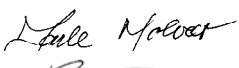
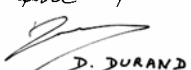
Statens vegvesen



OPPDRAGSGIVER / CLIENT



**Statens vegvesen**

PROSJEKT <b>Bjørvikprosjektet</b> <b>E18 mellom Festningstunnelen og Ekeberg tunnelen</b> <b>Byggeplan</b>	PROSJ. NR.  7777
TITTEL/TITLE  <b>FORUNDERSØKELSE TIL OVERVÅKING AV MUDRINGSARBEIDER I SAMBAND MED BYGGING AV SENKETUNNEL I BJØRVIKA/BISPEVIKA: VANNKVALITET</b>	RAPPORT NR. 0-VK-204
	REVISJON 0
	DATO / DATE 20.12 2004
UTFØRT AV / WORK CARRIED OUT BY  Jan Magnusson                      Norsk institutt for vannforskning	SIGN. 
KONTROLLERT AV / CHECKED BY Jarle Molvær  Dominique Durand                      Norsk institutt for vannforskning	SIGN.   D. DURAND
GODKJENT AV / APPROVED BY Per Meaas                      Dr.Ing. A.Aas-Jakobsen A.S	SIGN.

**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  
5005 Bergen  
Telefon (47) 55 30 22 50  
Telefax (47) 55 30 22 51

**Akvaplan-niva**

9296 Tromsø  
Telefon (47) 77 75 03 00  
Telefax (47) 77 75 03 01

Tittel <b>Forundersøkelse til overvåking av mudringsarbeider i forbindelse med bygging av senketunnel i Bjørvika/Bispevika: Vannkvalitet</b>	Løpenr. (for bestilling) 4929-2004	Dato 20.12.2004
	Prosjektnr. Undernr. 23253	Sider Pris 26
Forfatter(e) Jan Magnusson	Fagområde Oseanografi	Distribusjon Fri
	Geografisk område Oslo	Trykket NIVA

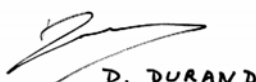
Oppdragsgiver(e) Statens vegvesen, Region øst, Bjørvika-prosjektet.	Oppdragsreferanse Turid Winther-Larsen
--	---

<p>Sammendrag</p> <p>Rapporten presenterer observasjoner av temperatur, saltholdighet, turbiditet, totalt suspendert materiale og oksygen i Oslo havneområde, særlig i tidsrommet 2003-2004. Datamaterialet dokumenterer tilstanden i området og vil gi grunnlag for en overvåking av spredning av forurensede partikler i anleggsperioden, og kan brukes som sammenligningsgrunnlag for undersøkelser av vannkvaliteten etter at utbyggingen er ferdig.</p> <p>For turbiditet er foreslått en aksjonsgrense på 5 FTU ved overvåking i anleggsperioden. Denne verdien gjelder generelt for alt anleggsarbeid som kan forårsake spredning av forurensede partikler i Bjørvika og i Bispevika.</p>
--

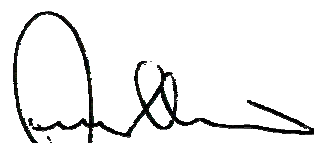
<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Vannkvalitet</li> <li>2. Partikler</li> <li>3. Mudring</li> <li>4. Oslo Havn</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Water quality</li> <li>2. Particles</li> <li>3. Dredging</li> <li>4. Oslo harbour</li> </ol>
--	---



Prosjektleder



Forskningsleder



Forskningsdirektør

Forundersøkelse til overvåking av  
mudringsarbeider i forbindelse med  
bygging av senketunnel i  
Bjørvika/Bispevika

## Forord

Statens vegvesen region Øst planlegger å bygge vegtunnel gjennom Bjørvika og Bispevika i indre Oslo havn. I den forbindelse har NIVA tidligere foretatt vurderinger av effekter av ulike utbyggingsalternativer på vannsirkulasjon, vannkvalitet og livsmønster for laks og sjø-ørret omkring Akerselvas munningsområde og i Akerselva (bl.a. Schaanning et al., 2000 og Molvær et al., 2002).

Denne rapporten gir en beskrivelse av vannkvaliteten i området før starten av tunnelprosjektet. Formålet er dels å gi grunnlag for en overvåking av vannkvaliteten i området i prosjektperioden og dels å gi grunnlag for en ny vurdering av vannkvaliteten etter av tunnelprosjektet er avsluttet.

Jan Magnusson, NIVA, har ledet dette delprosjektet og har utført vurderinger og beregninger av vannkvaliteten.

Kontaktperson hos Aas-Jakobsen AS har vært Hans-Petter Kristiansen, som takkes for konstruktive innspill til prosjektet.

Vi vil takke Vann – og avløpsetaten i Oslo ved T. Wold for observasjonene fra Akerselva.

Oslo, 20.12.2004

*Jarle Molvær*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>6</b>
<b>2. Gjennomføring</b>	<b>6</b>
<b>3. Resultater.</b>	<b>8</b>
3.1 Observasjoner.	8
3.2 Statistisk beskrivelse av tilstanden	11
3.3 Sammenligning av de ulike stasjonene i området.	16
3.4 Turbiditet og partikler.	20
3.5 Oksygenforhold.	23
<b>4. Grenseverdier og kriterier for turbiditet.</b>	<b>25</b>
4.1 Tiltak ved overskridelser av grenseverdier.	25
4.2 Forslag til kriterier.	26
<b>5. Litteratur.</b>	<b>26</b>

---

## Sammendrag

For å dokumentere dagens tilstand i Bjørvika/Bispevika er det fra høsten 2003 til våren 2004 foretatt observasjoner av temperatur, saltholdighet, turbiditet, klorofyllfluorescens, totalt suspendert materiale og oksygen på 14 tokt (ca 2 ganger pr. måned). Disse observasjonene er sammenstilt med tidligere observasjoner fra området (data fra bl.a. overvåkingsprogrammet for indre Oslofjord), spesielt stasjonen i Bjørvika. Vurderingene er derfor i hovedsak gjort på grunnlag av data fra tidsrommet 2000-2004. Fra Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten (VAV) er observasjoner av bl.a. turbiditeten i Akerselva stilt til rådighet.

Forskjellen mellom siktedyp på hovedstasjonen ved Kavringen og stasjonen ved Hovedøya (sommerobservasjoner fra 2000-2004) var omtrent 0.3 meter, mens forskjellen mellom Kavringen og Bjørvika var ca. 0.5 – 1.4 meter. Bedømt etter Statens forurensningstilsyns klassifiseringssystem for miljøtilstand i fjorder var tilstanden i Bjørvika i tidsrommet 2000-2004 i hovedsak dårlig - bedømt ut fra siktedypet om sommeren, unntatt sommeren 2002 da tilstanden var meget dårlig. Tilstanden bedømt ut fra oksygenkonsentrasjonen er normalt meget god eller god, men kan bli mindre god eller dårlig i korte perioder. Det er ikke lokale forhold i Bjørvika som er årsaken til slike perioder med dårlige oksygenforhold, men det er oksygenfattige vannmasser fra nærliggende områder (for eksempel Bekkelagsbassenget) som løftes opp og strømmer inn i havneområdet når det skjer vannutskiftninger.

I observasjonsperioden foregikk det anleggsarbeid i Bjørvika (Operabygget). Anleggsområdet var lukket med en siltduk for å hindre spredning av partikler og miljøgifter. På et av toktene ble det observert at deler av siltduken var delvis under vann og det var en spredning av partikler ut av området. Samtidig var turbiditeten i Akerselva relativt høy. Siktedypet var ekstremt lavt i Bjørvika (0.9 meter) og turbiditeten høy, men også de andre nærliggende stasjonene i området (for eksempel Bispevika) var klart påvirket av lekkasjen fra anleggsområdet. Kun stasjonen nord Hovedøya var upåvirket.

Inkludert disse episodene, var turbiditeten i overflatevann fra Akerselva og Bjørvika i ca. 90 % av tiden lavere enn 5 FTU. Årsaken til at turbiditeten stiger over 5 FTU er vanligvis at Akerselva har økt turbiditet, lekkasje fra anleggsarbeider, oppvirvling fra fartøy, planktonoppblomstringer og ekstreme vær-situasjoner. Ut fra observasjonene vil riktig valg av referansestasjon under anleggsarbeider i Bjørvika og Bispevika være området rett nord Hovedøya, for eksempel en brygge på nordsiden av øya.

Ettersom normalsituasjonen for turbiditet i området er betydelig mindre enn 5 FTU, anbefales at dette brukes som en aksjonsgrense ved framtidig overvåking. En overskridelse av denne grensen i mer en 3 timer bør utløse en nærmere undersøkelse av årsaken til overskridelsen (lekkasje, høy turbiditet i Akerselva, ekstra stor båttrafikk i området, planteplanktonoppblomstringer etc.) Er årsaken en lekkasje eller andre uhell bør mengden av partikler som ble spredt anslås ved observasjoner i området (turbiditet) samt vannanalyser på totalt suspendert materiale (TSM) og utvalgte miljøgifter. Observasjonene fra 2003/2004 viser god korrelasjon mellom turbiditet og TSM, men at de kan variere litt avhengig av hvilke partikler som dominerer i vannmassen. Når området med forhøyet turbiditet som følge av lekkasjen er bestemt, kan mengden partikler beregnes. Det kan også taes en del vannanalyser av miljøgifter som korreleres til TSM og på grunnlag av dette kan mengden miljøgifter beregnes.

Aksjonsgrensen kan gjelde for hele vannsøylen. Normalt vil turbiditeten være lavere ved bunnen enn ved overflaten ettersom Akerselvas innflytelse er liten her. Imidlertid vil en påvirkning av betydning gi samme utslag som i overflatevannet, men årsaken til denne begrenses til oppvirvling fra fartøy og den generelle situasjonen i fjorden.

## 1. Innledning

Statens vegvesen Oslo planlegger bygging av en senketunnel for E18 i Bjørvika/Bispevika i Oslo havnebasseng. Man regner med at anleggsarbeidet kan påvirke vannkvaliteten i området (ved mudring etc.). Derved er det nødvendig med bakgrunnsinformasjon på enkelte parametere for at overvåkingen av anleggsarbeidene kan gjennomføres ut fra enkle kriterier og med metoder som sikrer at konsekvenser av eventuelle uhell kan bedømmes.

Formålet med dette prosjektet var å

- dokumentere tilstanden i området
- utarbeide referanseverdier for overvåking under anleggsperioden
- framskaffe et datamateriale som gir grunnlag for en sammenligning mellom tilstanden før og etter gjennomføringen av tunnelprosjektet.

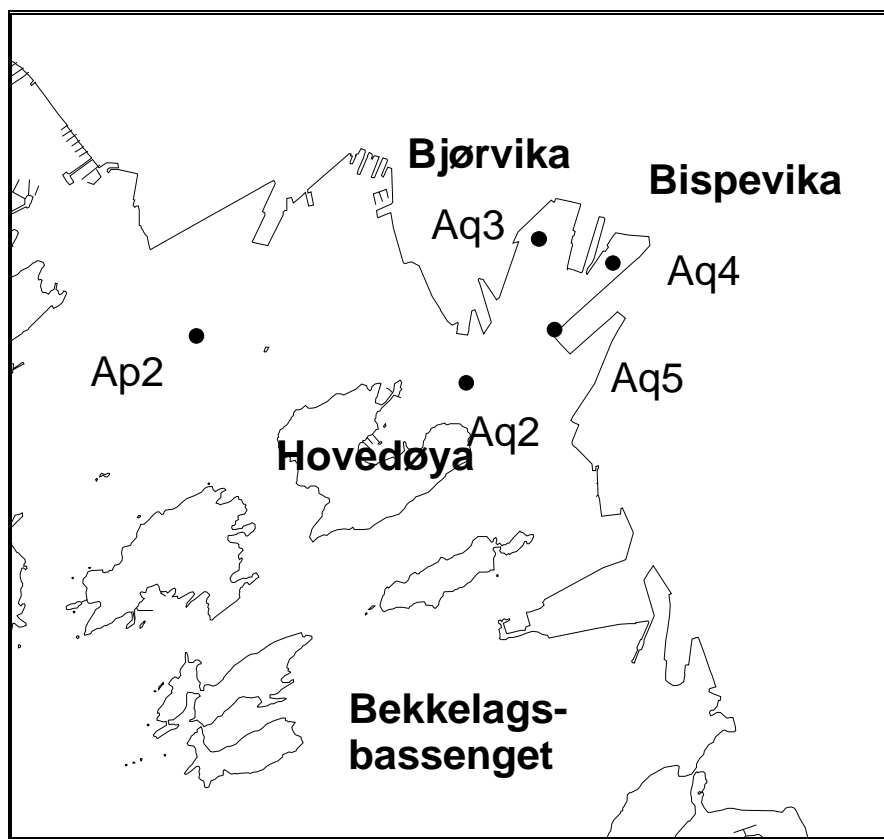
## 2. Gjennomføring

I 2003-2004 ble det gjennomført undersøkelser på 5 stasjoner i Oslo havnebasseng for å dekke tidspunkter (spesielt vinterhalvåret) hvor det var lite data fra tidligere (**Figur 1**). Det ble tatt observasjoner som vist i **Tabell 1**.

**Tabell 1.** Stasjoner og observasjoner i 2003-2004. På Seacat - instrumentet er det sensorer som registrerer temperatur, saltholdighet, turbiditet og klorofyllfluorescens i intervall på ca. 0.5 m mens det senkes nedover i vannsøylen.

Stasjon	STD (Seacat)	Siktedyp	Turbiditets- og TSM-analyser	Oksygen-analyse
Ap2	X	X		
Aq2	X	X	1, 4 og 8 m dyp	
Aq3	X	X	1, 4 og 8 m	4 og 7-8 m
Aq4	X	X	1, 4 og 6 m	6 m
Aq5	X	X	1, 4 og 8 m	





**Figur 1.** Stasjoner i Havneområdet i 2003-2004. Stasjonen Ap 2 er en del av overvåkingsprogrammet for indre Oslofjord. Stasjonene Aq 2 og Aq 3 inngår også, men er sammen med Aq 5 og Aq 4 tatt til spesielle tider for dette prosjektet.

For kontinuerlige registreringer av temperatur, saltholdighet, klorofyllfluorescens og turbiditet fra overflata og ned mot bunn ble det brukt en CTD (SEACAT, SEABIRD). Turbiditets- og fluorescenssensorene var av merket Seapoint. Turbiditeten måler lys som spres av partikler i vannmassen. Lysspredningen måles ved en bølgelengde på 860 nm. Sensoren er kalibrert mot en standard kalibreringsløsning. Turbiditeten angis i FTU (Formazine Turbidity Unit). Med vannhentere ble det tatt prøver for analyse på NIVAs laboratorium av turbiditet, TSM (totalt suspendert materiale) og oksygen (modifisert Winkler). Alle analysene er akkrediterte. Siktedyp ble observert med den tradisjonelle sikteskiven. Vannanalyser av turbiditet ble gjennomført som kvalitetskontroll av turbiditetssensoren og TSM for å få et bilde av partikkelmengden. Observasjoner og analyser fremgår av **Figur 1** og toktdatoer av **Tabell 2**.

**Tabell 2.** Gjennomførte tokter i 2003 og 2004.

Toktdatoer 2003	Toktdatoer 2004
23.9, 15.10, 31.10, 14.11, 26.11 og 18.12	7.1, 21.1, 2.2, 26.2, 11.3, 29.3, 15.4 og 29.4

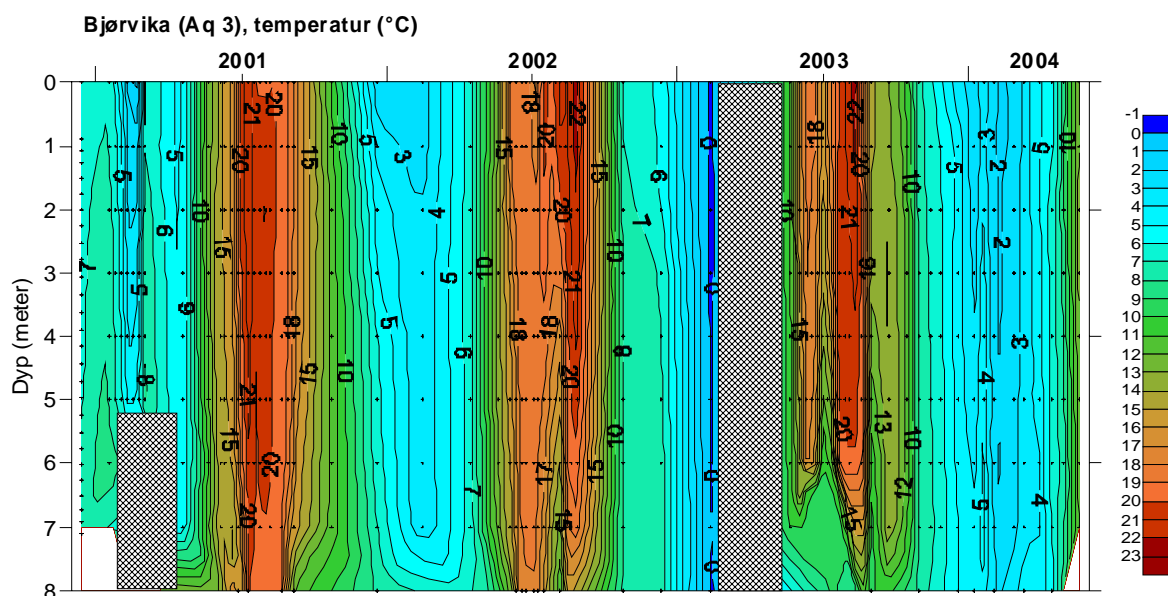
I tillegg til disse observasjoner er det benyttet observasjoner fra ulike andre prosjekt, spesielt overvåkingsprogrammet for indre Oslofjord i tidsrommet 2000-2003. De målingene er utført med samme instrumenter og analysemetodikk som i dette prosjektet.

## 3. Resultater.

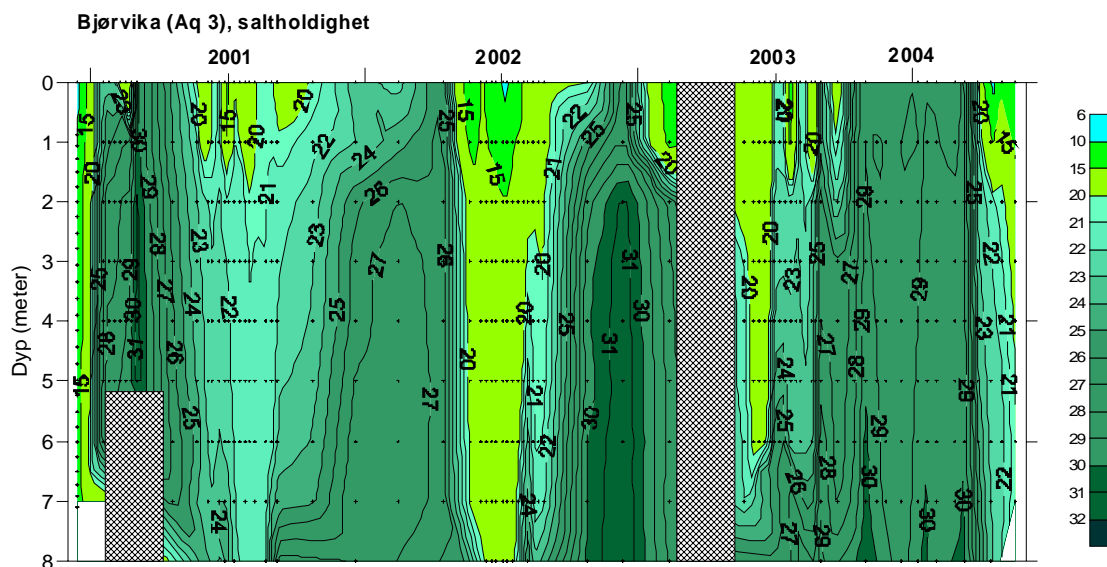
### 3.1 Observasjoner.

Det foreligger mest observasjoner fra Bjørvika-stasjonen (Aq 3). **Figur 2** til **Figur 6** viser henholdsvis temperatur, saltholdighet, klorofyllfluorescens og turbiditet fra desember 2000 til april 2004. Observasjonene fra 2000-2003 er bl.a. fra overvåkingsprogrammet for indre Oslofjord.

Temperatur og saltholdighet (**Figur 2-Figur 3**) i Bjørvika og havneområdet følger generelt de hydrografiske variasjonene i indre Oslofjord. Det er bare i selve overflaten (ned til ca. 1 meters dyp) at Akerselva normalt influerer på saltholdigheten, unntatt ved meget stor vannføring i elva. Temperaturen følger i store trekk variasjonene i fjorden og er til stor grad klimaavhengig. Laveste temperatur ble observert vinteren 2003 (ca.-0.5 °C). Saltholdigheten er vanligvis høyest på vinteren og lavest på sommeren. I desember 2000 var saltholdigheten i Bjørvika ekstremt lav for årstiden etter lengre tids intens nedbør som resulterte i lav saltholdighet i hele indre Oslofjord. Vannet var brunfarget og turbiditeten høy.

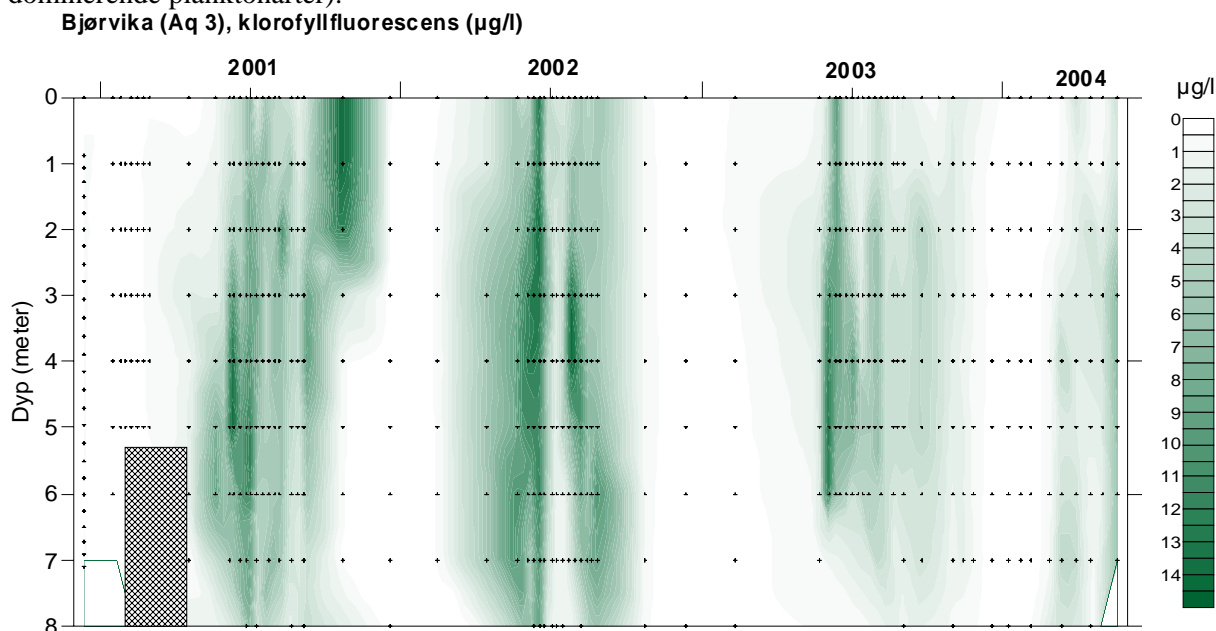


**Figur 2.** Temperaturen i Bjørvika desember 2000 til mai 2004. Punkter i figuren representerer tidspunkt og dyp for prøvetaking. Temperaturskalan er vist til høyre i figuren. (Et skravert felt nederst til venstre viser manglende observasjoner).

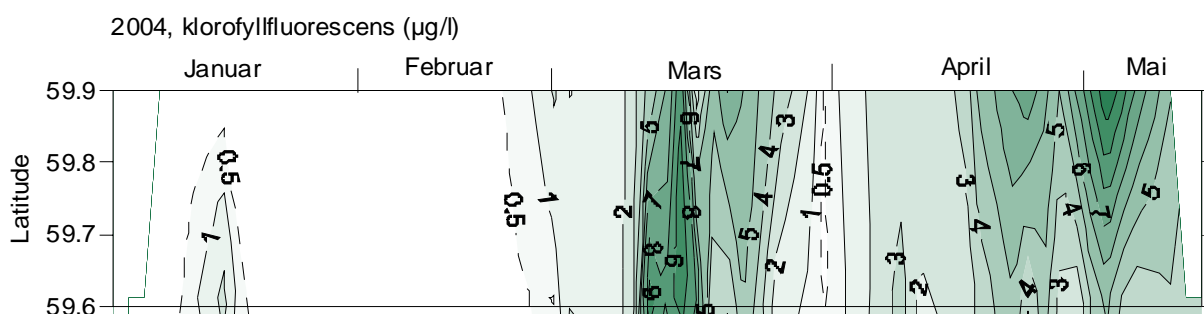


**Figur 3.** Saltholdighet i Bjørvika desember 2000 til mai 2004. Punkter i figuren representerer tidspunkt og dyp for prøvetaking. Saltholdighetskalaen er vist til høyre i figuren. (Et skravert felt nederst til venstre viser manglende observasjoner).

Planteplanktonbiomassen (her observert som klorofyllfluorescens, **Figur 4**) er normalt størst under våroppblomstringen som kan starte i slutten av februar og begynnelsen av mars, avhengig av bl.a. lysforhold. Våroppblomstringen fremtrer ikke like klart alle år bl.a. som følge av lav observasjonsfrekvens. **Figur 5** viser daglige observasjoner fra indre Oslofjord fra NIVAs automatiske overvåkingssystem ombord på Color Festival. Starten av våroppblomstringen i februar/mars er her tydelig. Øvrige deler av året er planteplanktonbiomassen som størst om sommeren og høsten. Stor planteplanktonkonsentrasjon påvirker sikten i vannet og kan gi høy turbiditet (avhengig av dominerende planktonarter).



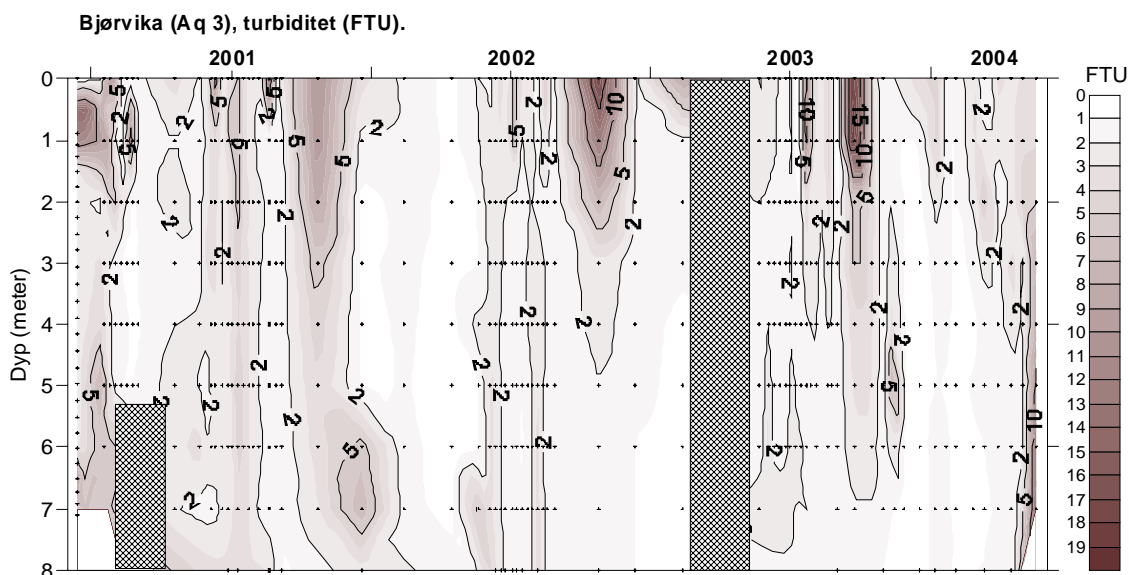
**Figur 4.** Klorofyllfluorescens (indirekte mål på planteplanktonbiomasse) i Bjørvika desember 2000 til mai 2004. Punkter i figuren representerer tidspunkt og dyp for prøvetaking. Skalaen er vist til høyre i figuren. (Et skravert felt nederst til venstre viser manglende observasjoner).



**Figur 5.** Klorofyllfluorescens på 3.5 meters dyp i indre Oslofjord observert med sensorer på fergen "Color Festival" i tidsrommet januar - mai 2004.

**Figur 6** viser turbiditeten på stasjon Aq 3 i Bjørvika. Her sees ekstremisituasjonen i desember 2000, da hele fjorden var "brun". Øvrige observasjoner av høy turbiditet sammenfaller i tid med stor nedbør og skyldtes høy turbiditet i Akerselva, med enkelte unntak. Med høy turbiditet menes i denne sammenheng verdier over 3 FTU. Turbiditeten i Bjørvika er normalt litt høyere enn for eksempel i Vestfjorden, hvor den store deler av året ligger under 1 FTU.

Mudringsarbeider i Bjørvika for operabygget startet i februar/mars 2003. Den 23.9.2003 var siltduken som skulle forhindre spredning av partikler delvis nedsunken under overflaten og siktedypet på Bjørvikastasjonen var 0.9 meter og vannet var grått. Til sammenligning var siktedypet 1.5 m i Akerselva og ved Hovedøya (Aq2) 4 m. Både visuelt og ut fra observasjonen var det klart at det var en kombinasjon av stor nedbør (Akerselva) og lekkasje fra mudringen som forårsaket spredningen av partikler og det lave siktedypet Bjørvika.



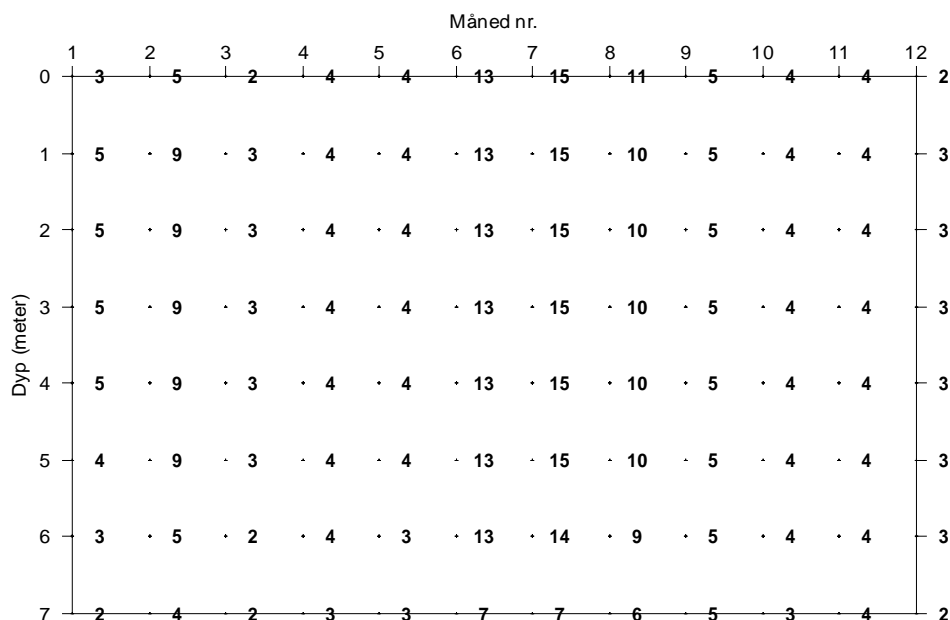
**Figur 6.** Turbiditet (FTU) i Bjørvika desember 2000 til mai 2004. Punkter i figuren representerer tid for prøvetaking. Punkter i figuren representerer tidspunkt og dyp for prøvetaking. Turbiditetskalaen er vist til høyre i figuren.

### 3.2 Statistisk beskrivelse av tilstanden

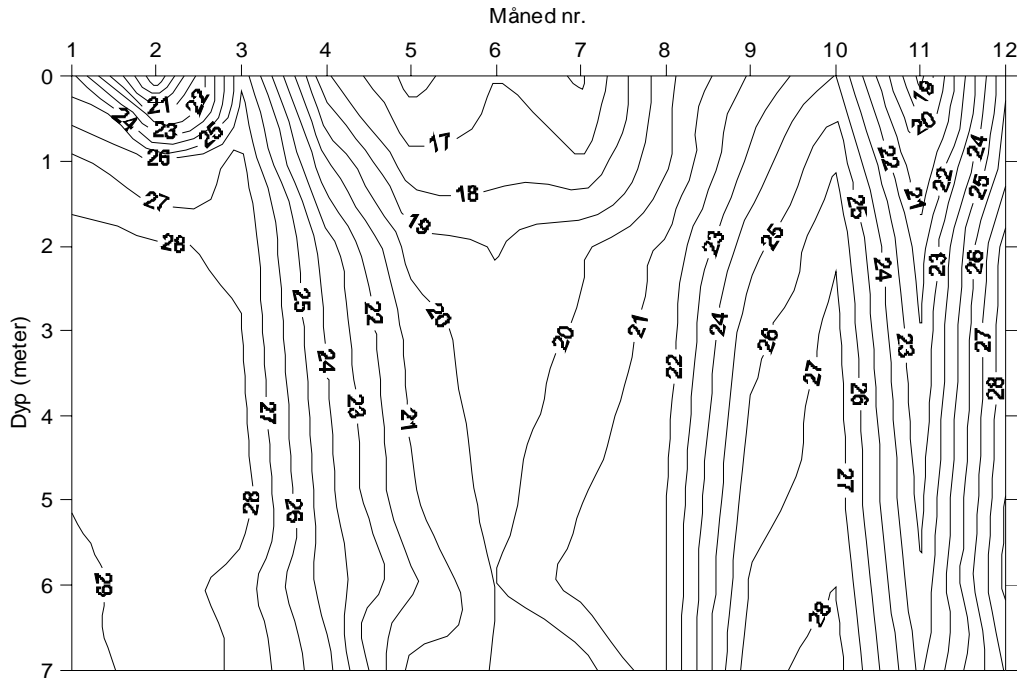
De fleste observasjonene er gjort i Bjørvika (stasjon Aq 3) og data fra 2000-2004 er brukt for å beregne månedlige gjennomsnittsverdier. **Figur 7** viser hvor mange observasjoner som foreligger pr. måned, dvs. hvilket datamateriale månedsmidlene baserer seg på. At det ikke er tatt like mange observasjoner på alle dyp (spesielt i overflaten eller nær bunn) skyldtes interferens med bunn eller dårlig kvalitet i enkelobservasjoner (spikes). Dette betyr at enkelte data (for eksempel juni observasjonene av saltholdighet i **Figur 8** med lavere saltholdighet nær bunn enn på 6 meters dyp) synes urealistiske, men er således en "statistisk" effekt.

**Figur 8** viser at saltholdigheten er lavest om sommeren og høyest om vinteren, med enkelte unntak for overflaten hvor intens nedbør slår igjennom. Turbiditeten (**Figur 9**) er normalt mindre en 3-4 verdier over dette skylles spesielle forhold. Noen ganger er også årsaken til høy turbiditet (dvs. over 3 FTU) store mengder planteplankton (klorofyllfluorescens, **Figur 10**), men **Figur 11** viser at det nødvendigvis ikke alltid er tilfellet. For å skille mellom ulike faktorer er det nødvendig å ha observasjoner av turbiditet og klorofyllfluorescens fra Akerselva og stasjoner i og utenfor området i tillegg til temperatur og saltholdighet. Kombinert med informasjon om nedbør, vannføring og vind er det mulig å komme frem til årsaken til forhøyede turbiditetsverdier. I denne sammenheng kan nevnes at NIVA daglig registrerer temperatur, saltholdighet, turbiditet og fluorescens i Oslofjord/Skagerrak i overflatevann gjennom automatiske observasjoner fra Color Festival som regelmessig går mellom Oslo og Hirtshals (Magnusson, 2004).

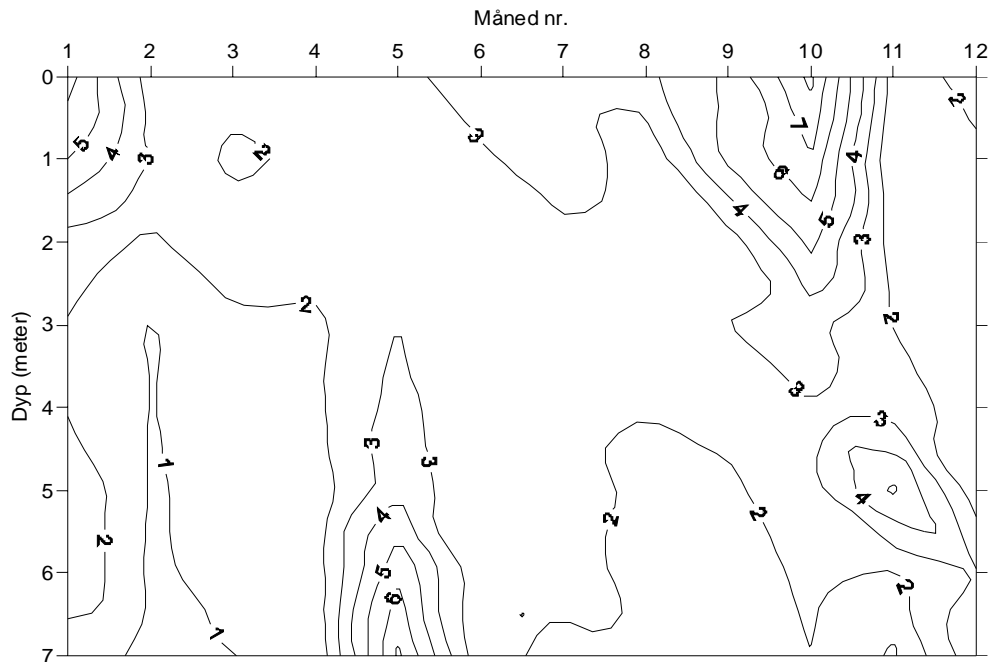
**Figur 12** og **Figur 13** viser observerte minimums- respektive maksimumsverdier. At minimumsverdiene varierer mellom 0.5 – 2 FTU viser at vannet i Bjørvika kan være relativt lite til moderat påvirket av partikler i alle årstider, mens maksimumsverdiene viser at vannmassen store deler av året har verdier som sjelden overstiger 4-5 (FTU) og at episoder med klar påvirkning slår kraftig ut.



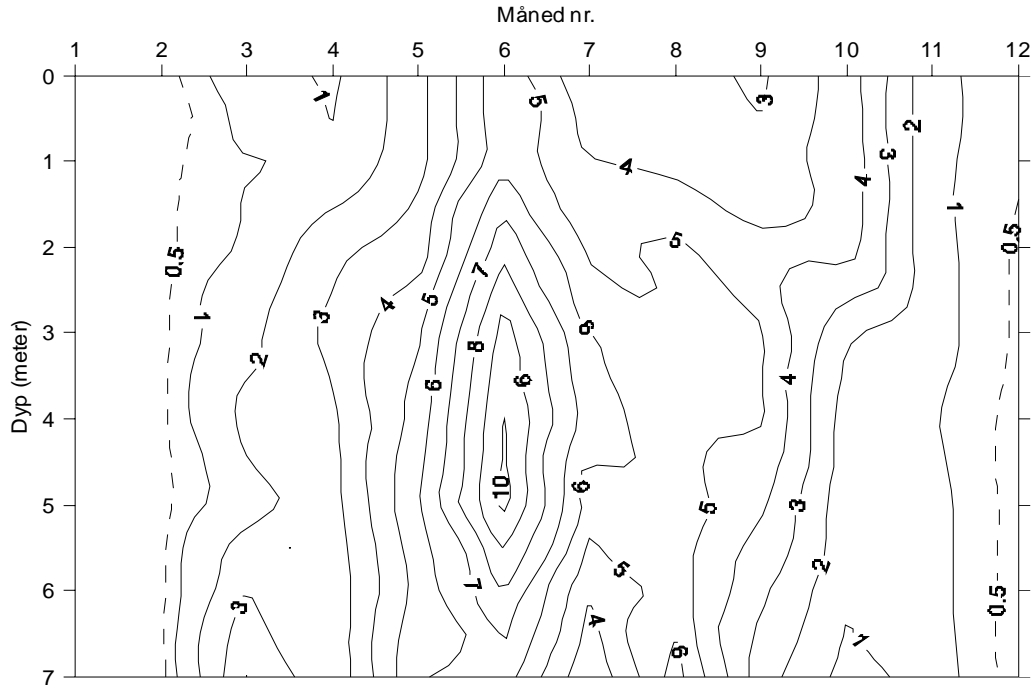
**Figur 7.** Bjørvika, stasjon Aq3. Antall observasjoner pr. måned og dyp i 2000-2004.



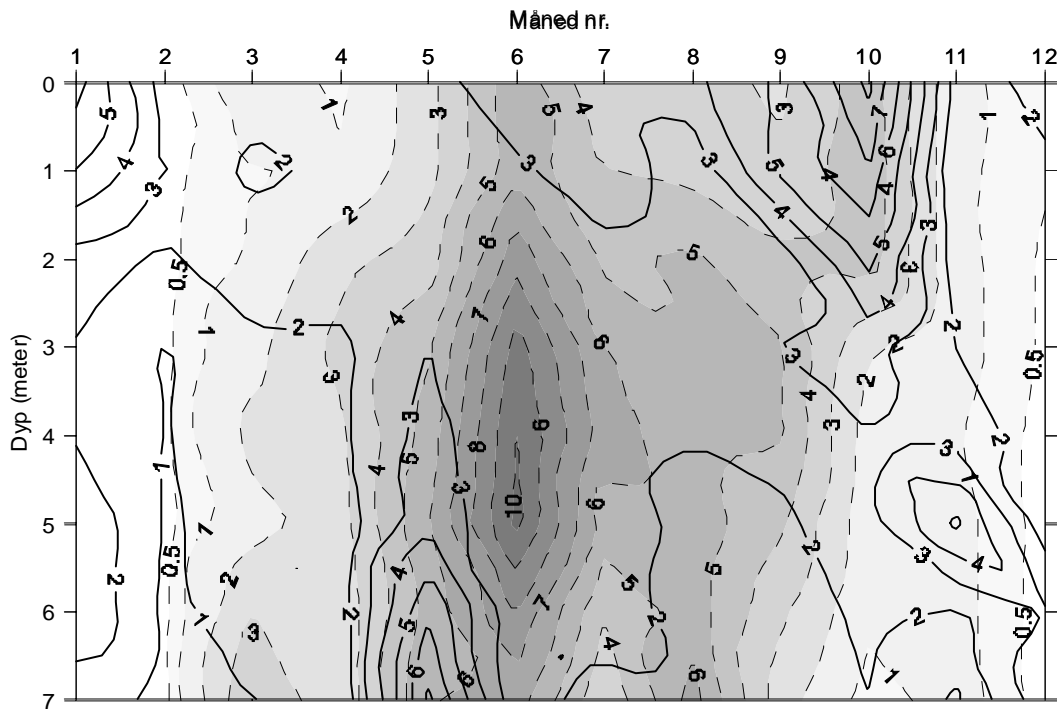
**Figur 8.** Bjørvika, stasjon Aq3. Saltholdighet (månedsmiddel) basert på observasjoner fra 2000-2004.



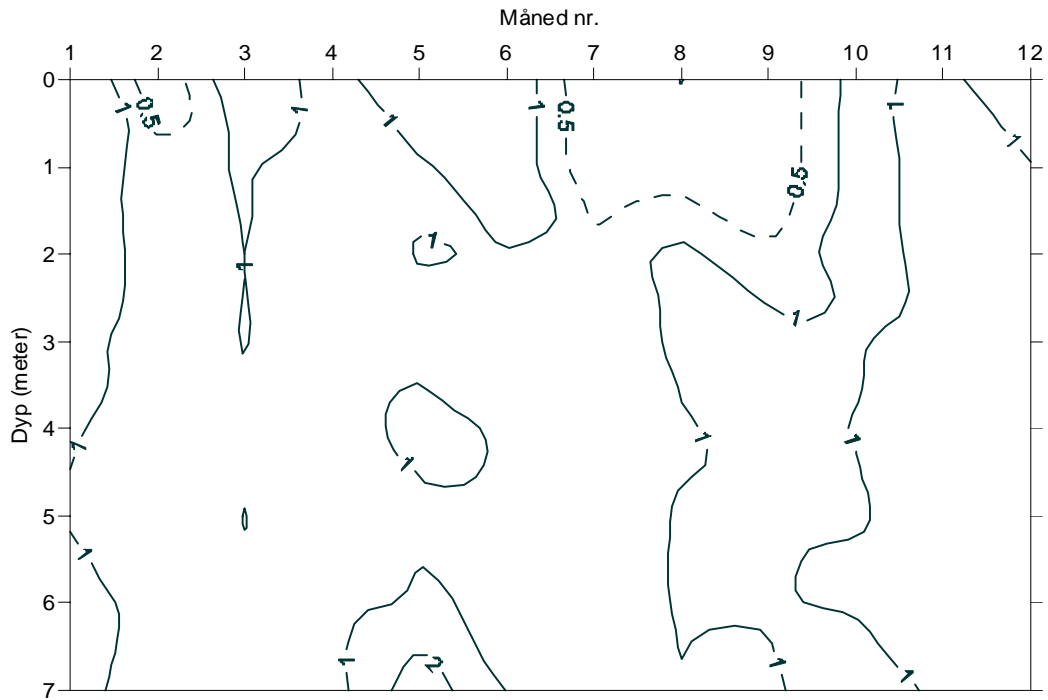
**Figur 9.** Bjørvika, stasjon Aq3. Månedsmiddel av turbiditet (FTU) basert på observasjoner fra desember 2000-august 2004.



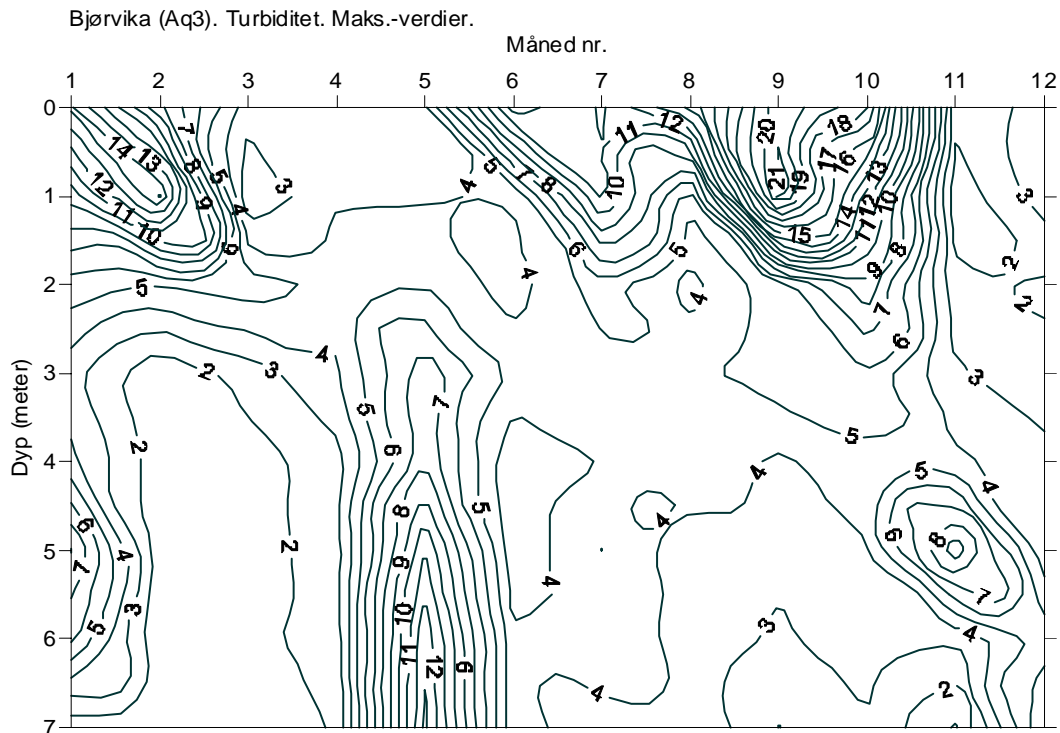
**Figur 10.** Bjørvika, stasjon Aq3. Månedsmiddel av klorofyll fluorescens ( $\mu\text{g/l}$ ) basert på observasjoner fra desember 2000 til august 2004.



**Figur 11.** Bjørvika, stasjon Aq3. Månedsmiddel av klorofyllfluorescens ( $\mu\text{g/l}$ ) og turbiditet (FTU). Klorofyll i stiplete og turbiditet heltrukne linjer.



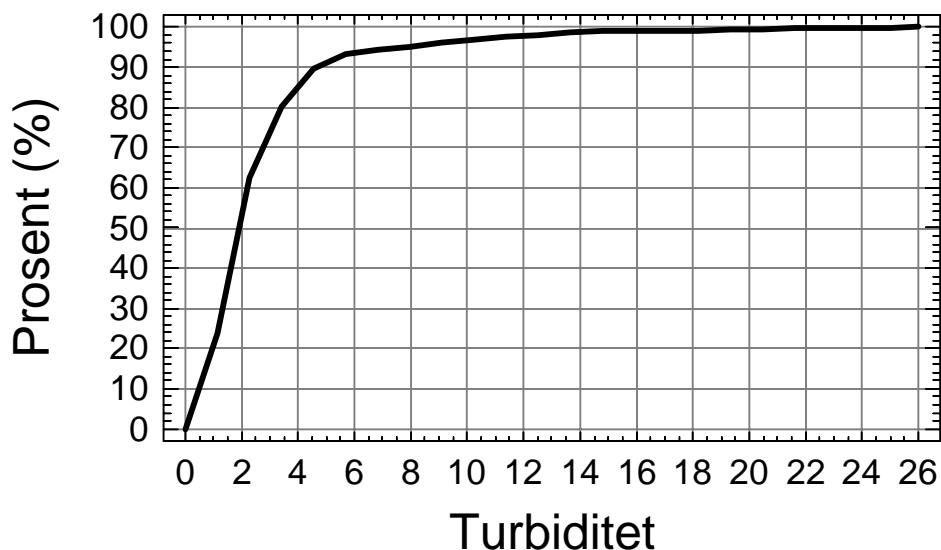
**Figur 12.** Bjørvika, stasjon Aq3. Turbiditet (FTU). Minimumsverdier.



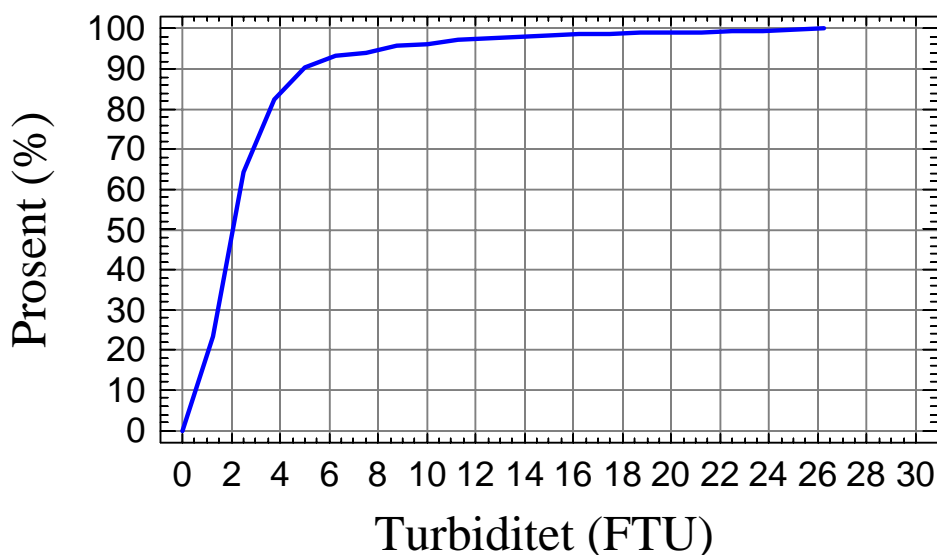
**Figur 13.** Bjørvika, stasjon Aq3. Turbiditet (FTU). Maksimumsverdier.



**Figur 14** viser relativ kumulativ frekvensfordeling av alle turbiditetsobservasjonene fra Aq 3 i Bjørvika, mens **Figur 15** viser observasjoner fra dyp mindre enn 5 meter. Det er ikke store forskjellen mellom figurene og de viser at i ca. 85-90 % av observasjonene er turbiditeten mindre enn 4-5 (FTU) og 50 % ligger under ca. 2 (FTU). Verdier over 4-5 FTU er dermed et varsel om at området har en overkonsentrasjon av partikler. Årsaken kan være både naturlig og forårsaket av mudring, men ved verdier over 5 FTU bør årsaken undersøkes nærmere.



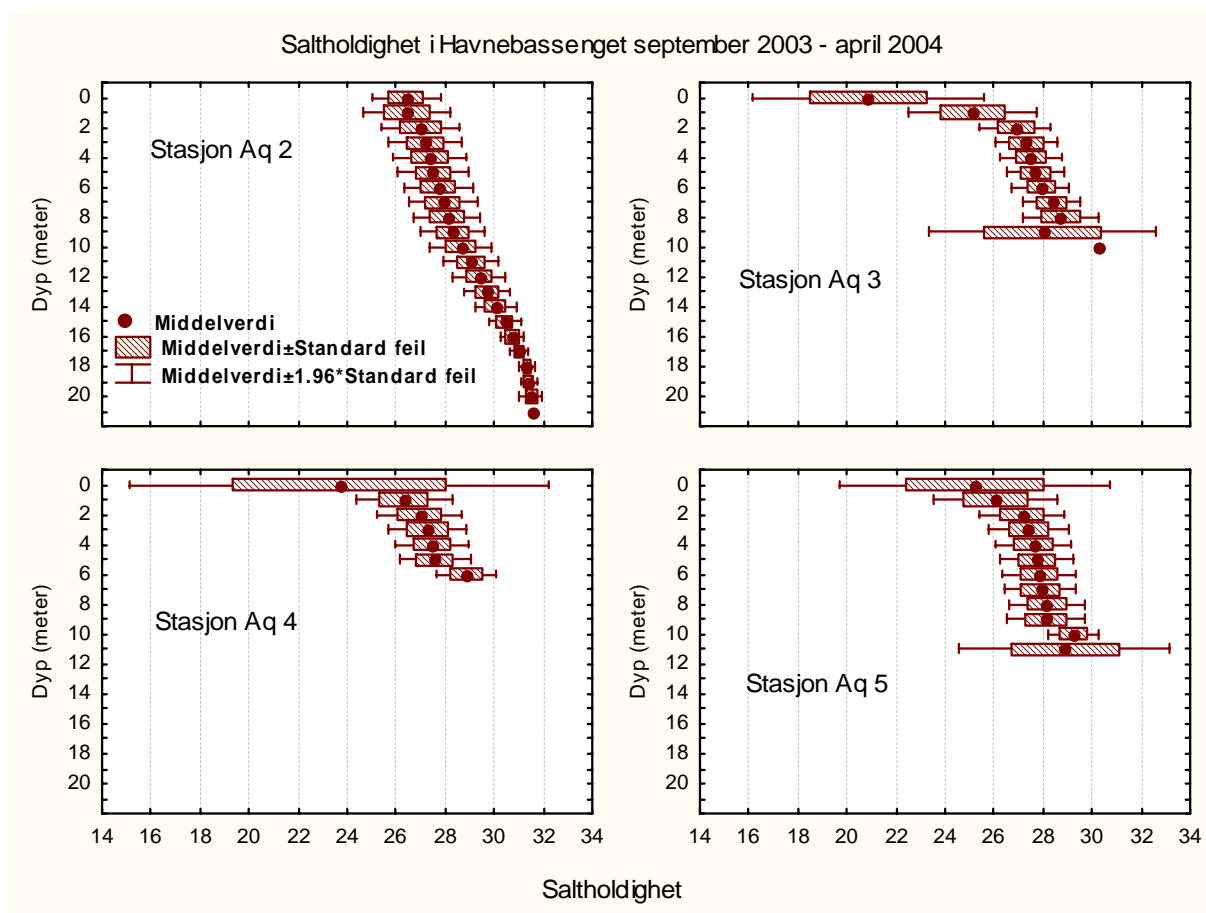
**Figur 14.** Bjørvika, stasjon Aq3. Kumulativ frekvens av alle turbiditetsobservasjoner (FTU).



**Figur 15.** Bjørvika, stasjon Aq3. Kumulativ frekvensfordeling av turbiditet av samtlige observasjoner fra overflatelaget (0-5 m dyp).

### 3.3 Sammenligning av de ulike stasjonene i området.

De ulike stasjonene er sammenlignet for perioden september 2003 til april 2004, da det ble tatt regelmessige observasjoner. Vann fra Akerselva gir lavere overflatesaltholdighet i Bjørvika (Aq 3, **Figur 16**). I Bispevika (Aq 4) var ikke påvirkningen fra Akerselva like stor. Ved Hovedøya (Aq2) var det liten påvirkning. Vannføringen i Akerselva var liten ved de fleste observasjonene, men enkelte tokt ble utført ved stor nedbør i området, hvilket avspeiles i den store variasjonen i overflatesaltholdigheten i Bjørvika og Bispevika. Det er imidlertid bare de øverste meterne som blir påvirket direkte av Akerselvas vann når det er svake vinder i området. Saltholdigheten på 2 meters dyp i Bjørvika (Aq 3) er omtrent den samme som på 2 meters dyp ved Hovedøya (Aq 2).



**Figur 16.** Saltholdighetsvariasjonen som funksjon av dyp på stasjoner i Havnebassenget. Figuren er basert på data fra september 2003 til april 2004 (ca. 2 observasjoner pr. måned).

Turbiditetsvariasjonen følger omtrent samme mønster som saltholdigheten, dvs. høyere turbiditet ved lavere saltholdighet (**Figur 17** og **Figur 19**). Høyest turbiditet ble observert i Bjørvika (Aq 3), men observasjonene inkluderer her også lekkasjeepisoder som følge av mudringsarbeider for operaen. Ved Hovedøya (Aq 2) er turbiditetsnivået lavest. Variasjonen er også høyest på alle dyp i Bjørvika og minst ved Hovedøya og den er betydelig mindre under overflaten på samtlige stasjoner sammenlignet med Bjørvika, noe som må være en følge av mudringsarbeidene i Bjørvika. Her kan imidlertid også en større båttrafikk være en årsak.

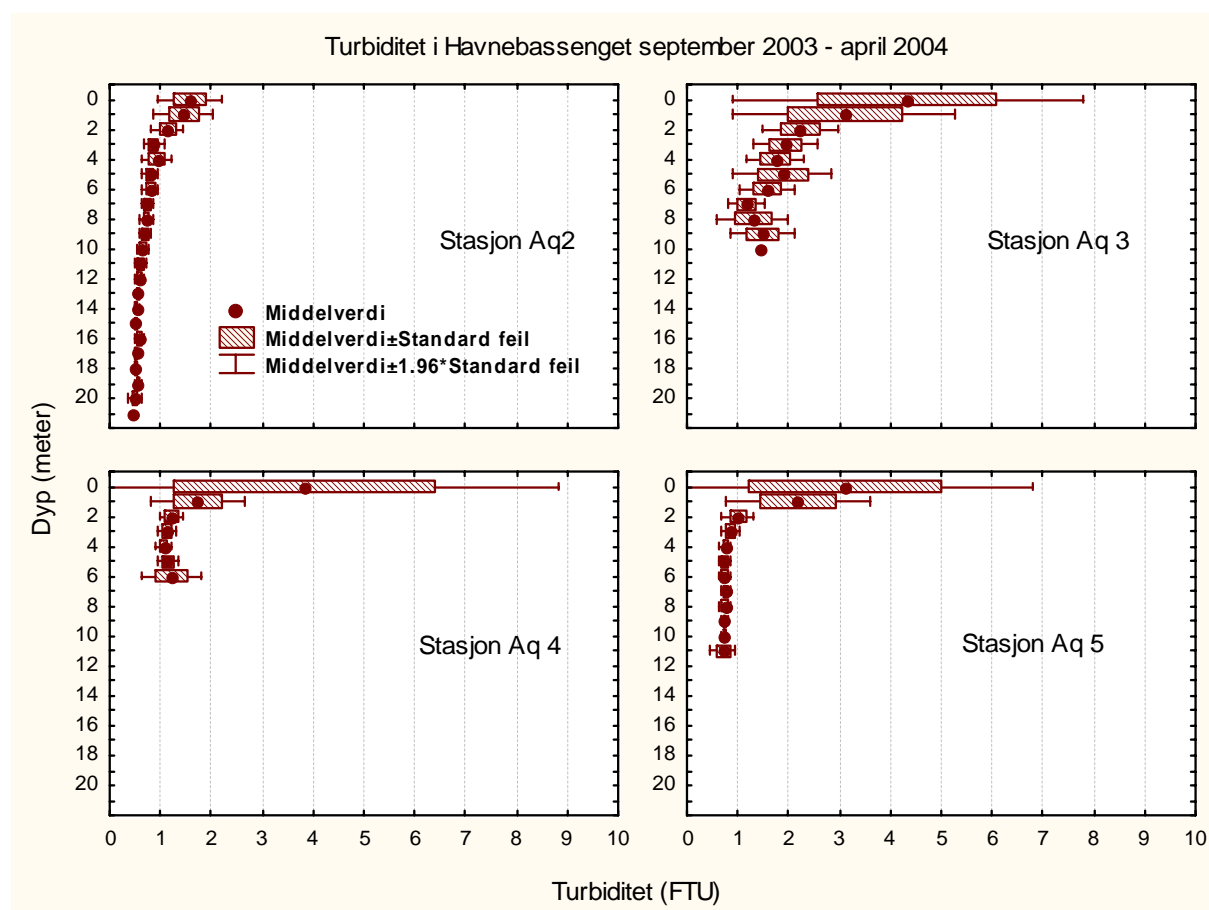
Klorofyllfluorescensen (**Figur 18**) er litt høyere ved Hovedøya (Aq 2) og ved stasjon Aq 5, stasjoner som hadde høyere overflatsaltholdighet og lavere turbiditet.

Ettersom lekkasjeepisoder og perioder med intens nedbør er inkludert i observasjonene blir turbiditeten i snitt 2-3 ggr høyere i Bjørvika enn ved Hovedøya.

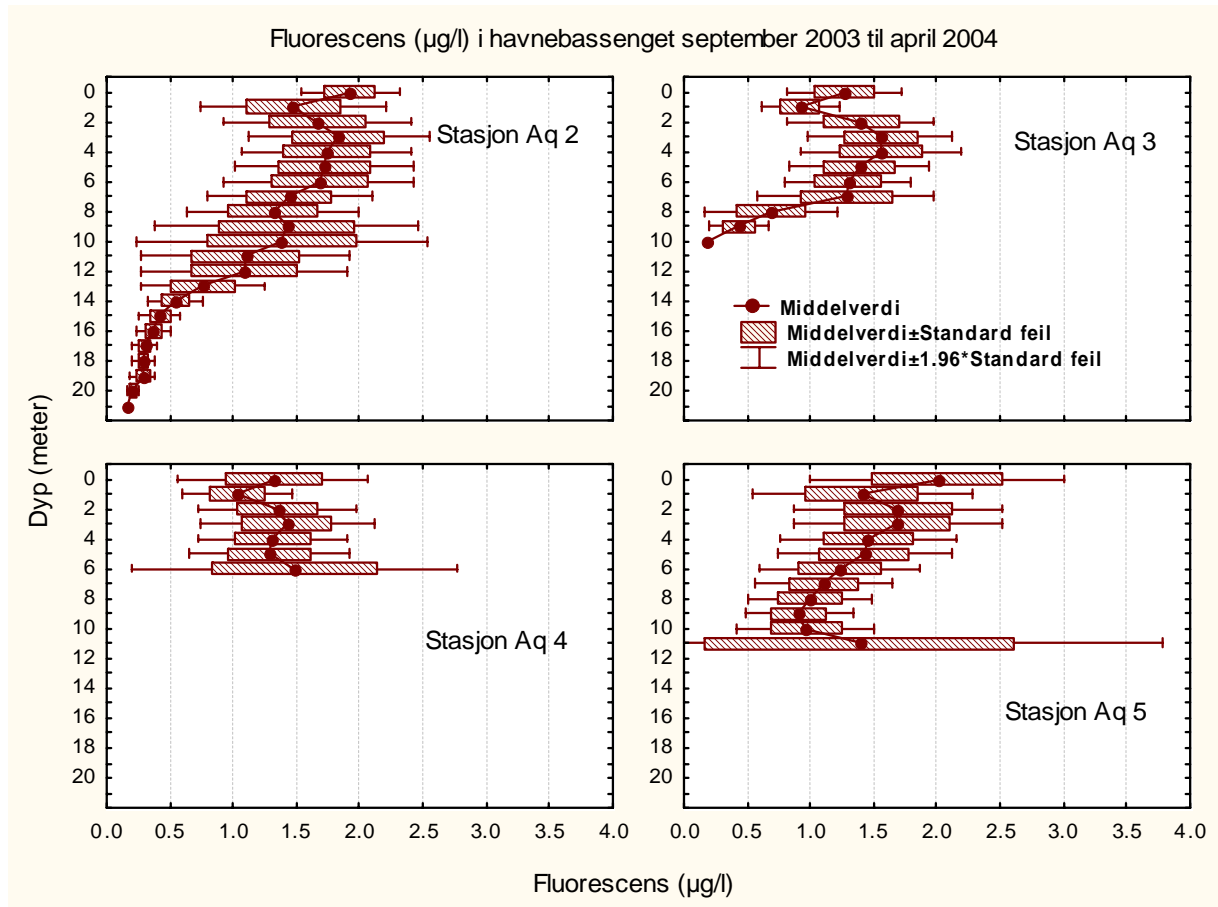
Normale verdier er turbiditet opp mot ca.2 (FTU) som stasjon Aq 2 ved Hovedøya viser. Akerselva vil i perioder bidra til noe høyere turbiditet, men stort sett vil verdier lavere enn 4-5 FTU ikke behøve bety noen ekstra tilførsel av partikler.

Observasjoner fra den 23.9.2003 (**Figur 19**) viser at også i de tilfeller når Akerselva har høy turbiditet kan ikke observasjonene i Bjørvika forklares med annet en lekkasje fra området innenfor siltduken ved operabygget. Dette gjelder også stasjonene i Bispevika (Aq 4) og Aq 5. Saltholdigheten er for høy til at en fortykning kan forklare slike høye turbiditetsverdier ut fra en blanding av vann fra Akerselva og dypereliggende vannmasser.

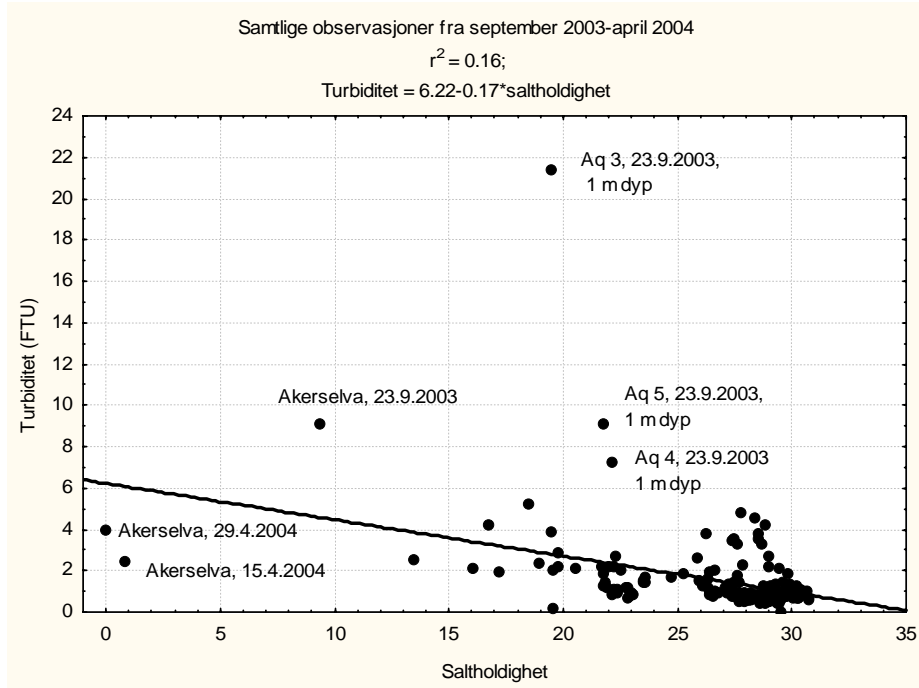
Akerselvas potensielle innflytelse fremgår av observerte konsentrasjoner på turbiditet i **Figur 20**. I ca. 85 % av året (tiden) er turbiditeten lavere enn 4 FTU. Maksimalt ble det målt over 30 FTU. I bare 10 % av året ble konsentrasjoner over 5 FTU observert. Dette støtter også under konklusjonen at observasjoner mindre enn 4-5 FTU i havneområdet ikke behøver å bety annet enn naturlige variasjoner, men at ved konsentrasjoner større enn 5 bør det foretas undersøkelser for å finne frem til årsaken.



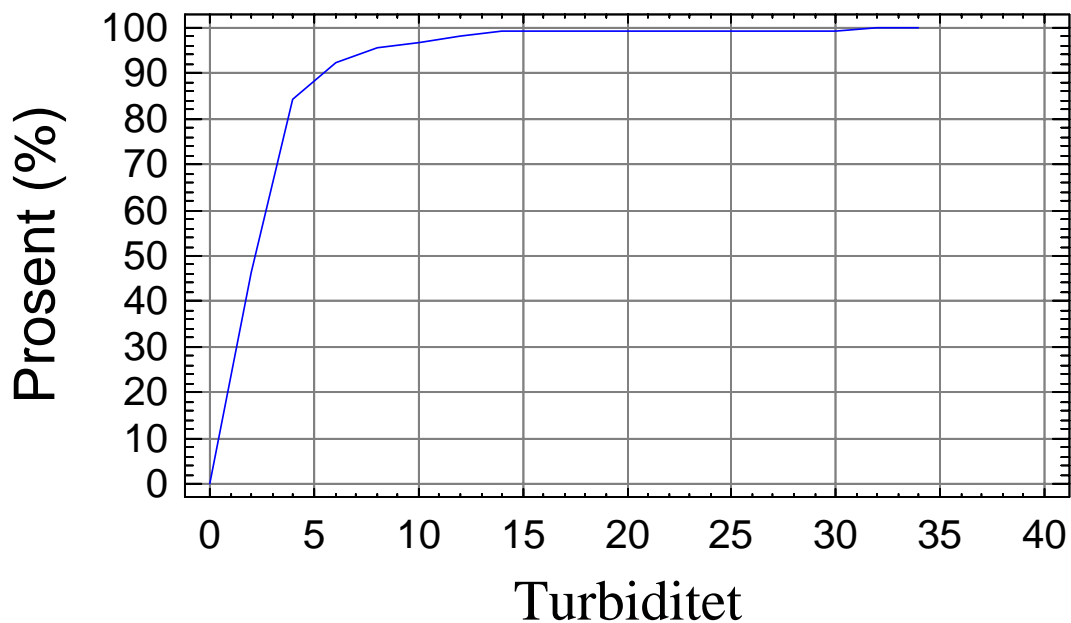
**Figur 17** Turbiditet (FTU) som funksjon av dyp på stasjoner i Havnebassenget. Figuren er basert basert på data fra september 2003 til april 2004 (ca. 2 observasjoner pr. måned).



**Figur 18.** Klorofyllfluorescens ( $\mu\text{g/l}$ ) som funksjon av dyp på stasjoner i Havnebassenget. Figuren er basert på data fra september 2003 til april 2004 (ca. 2 observasjoner pr. måned).



**Figur 19.** Turbiditet og saltholdighet. Figuren viser hvordan lekkasjen av partikler fra anleggsarbeidet ved Operaen den 23.9.2003 slår ut, på tross av høy turbiditet også i Akerselva denne dagen. Blanding av Akerselvas vann og ”upåvirket” sjøvann med lav turbiditet kan ikke forklare de høye verdiene som er markert med dato. Figuren viser observasjoner fra alle stasjonene og flere dyp, men bare de dyp og stasjoner som har høye turbiditetsverdier er markert, samt observasjonene fra Akerselva.



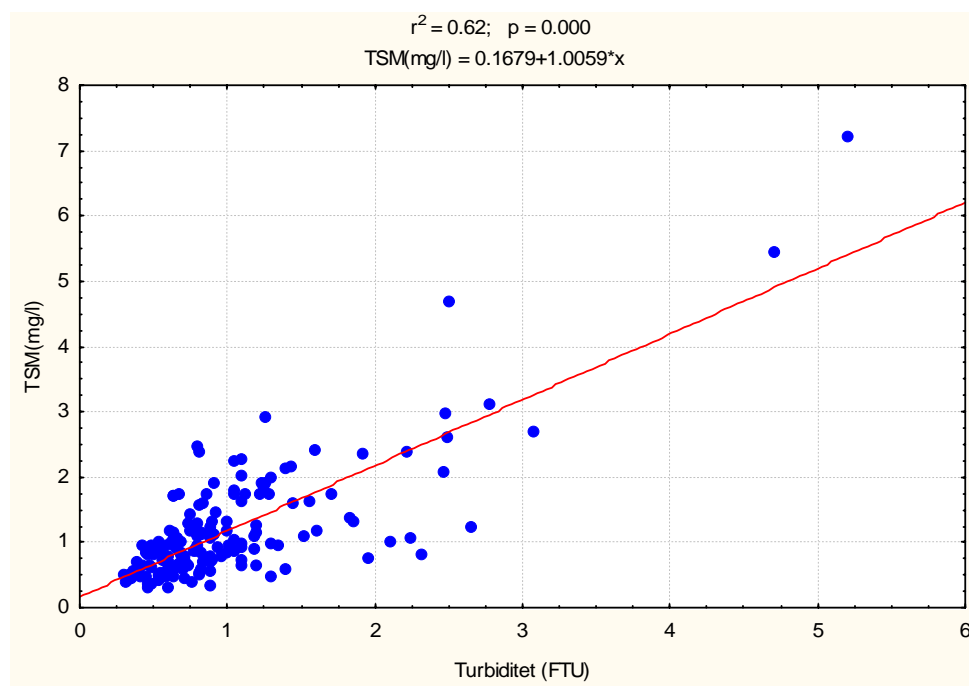
**Figur 20.** Kumulativ fordeling av turbiditet (FTU) i Akerselva, basert på ukeblandprøver fra 2000, 2001 og 2003. Om lag 88% av verdiene er under 5 FTU. Data fra Oslo Vann- og avløpsetat (VAV).

### 3.4 Turbiditet og partikler.

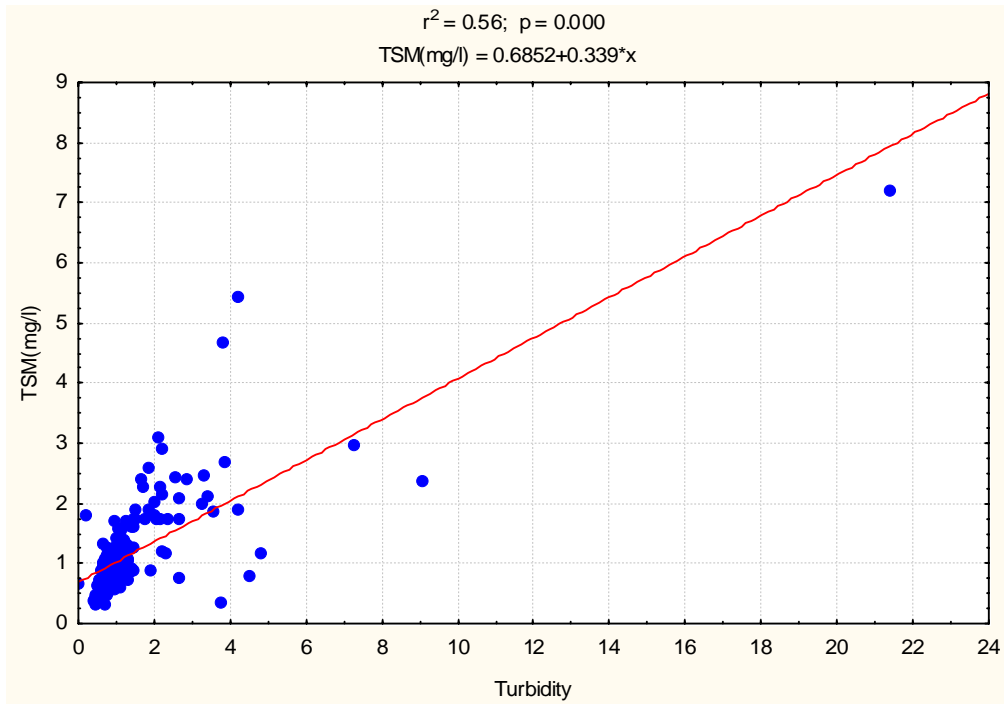
Turbiditet er en dimensjonsløs parameter og ikke et direkte mål på mengden partikler. Det ble derfor foretatt analyser på vann av både turbiditet og TSM (totalt suspendert materiale). **Figur 21** og **Figur 22** viser korrelasjonen mellom turbiditet og TSM målt på vannprøver fra 4, 6 og 7-8 meters dyp, samt TSM sammenlignet med observasjoner fra CTD. Det er relativt bra sammenheng mellom både sensorobservasjonene og vannanalysene. Ca. 62 % av variasjonen kan forklares ut fra regresjonslinjen for vannanalyser og 56 % for CTD-sensoren. Imidlertid er det, som figurene viser, forskjeller mellom observasjoner in situ og vannprøveobservasjoner av turbiditet. Det er derfor nødvendig med analyser av turbiditet på vannprøver når en vil sammenligne TSM og turbiditet.

Ved en lekkasje eller uventet spredning av partikler kan mengden måles ved bruk av CTD med turbiditetssensor. Imidlertid forutsetter dette at bakgrunnsnivået kan estimeres. Som fremgår av **Figur 22** er det også en del punkter med store avvik og nærmere analyse har avslørt at sammenhengen mellom TSM og turbiditet varierer mellom ulike tokter, sannsynligvis som følge av varierende egenskaper på partiklene sett i relasjon til turbiditeten. Det anbefales derfor at ved lekkasjer som kan oppstå bør en også samle inn vann til analyser av TSM og turbiditet, hvis en ønsker å beregne størrelsen av lekkasjen.

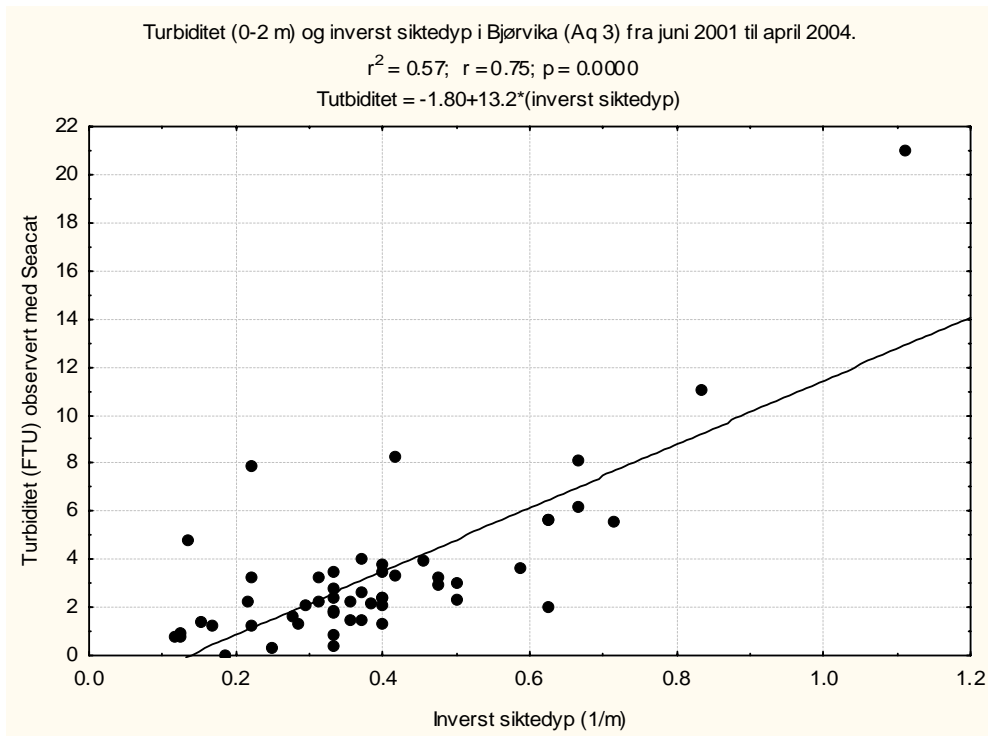
**Figur 23** viser at man får et grovt inntrykk av turbiditeten i overflatelaget ved å bruke en sikteskive. Dette kan være en enkel metode for å bedømme mengden av partikler i dette laget. Den høyeste turbiditetsverdien representerer lekkasjetilfellet i september 2003. Siktedypsobservasjoner er presentert i **Figur 24** og **Figur 25**. Under lekkasjen den 23.9.2003 skiller siktedypet i Bjørvika (Aq 3) og Bispevika (Aq 4) klart fra siktedypet ved Hovedøya (Aq 2). Men det ikke uvanlig med god samvariasjon mellom siktedypene også når de er dårlige, noe som således kan henføres til variasjoner i fjorden og ikke lokale arbeider. Lekkasjen fra mudringsarbeidet i september 2003 fremgår også i **Figur 25**, hvor relativt få observasjoner fra denne måneden gir stort gjennomslag for det meget dårlige siktedypet denne dagen.



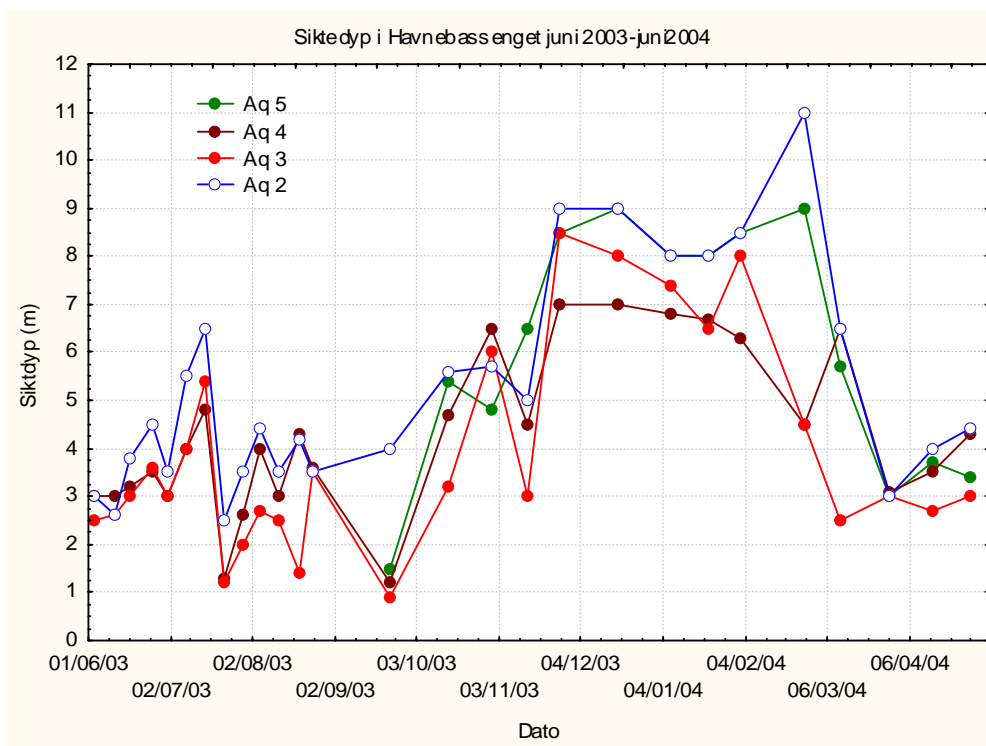
**Figur 21.** Laboratorieanalyser av turbiditet og TSM på vann fra 1, 4, 6 og 7-8 meters dyp i havnebassenget september 2003 til april 2004.



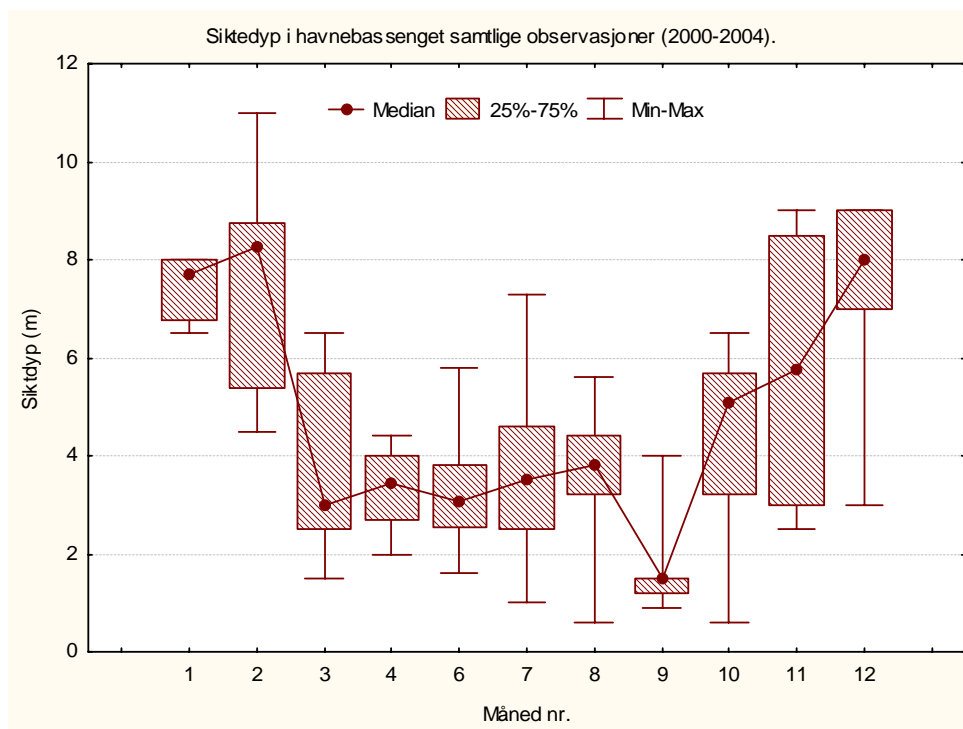
**Figur 22.** Vannanalyser av TSM og turbiditet målt med sensor på Seacat CTD. Observasjoner fra september 2003 til april 2004.



**Figur 23.** Turbiditet i 0-2 meters dyp (middelerdi) og inverst siktedyp i Bjørvika.



Figur 24. Siktedyp i Havnebassenget juni 2003 til april 2004.

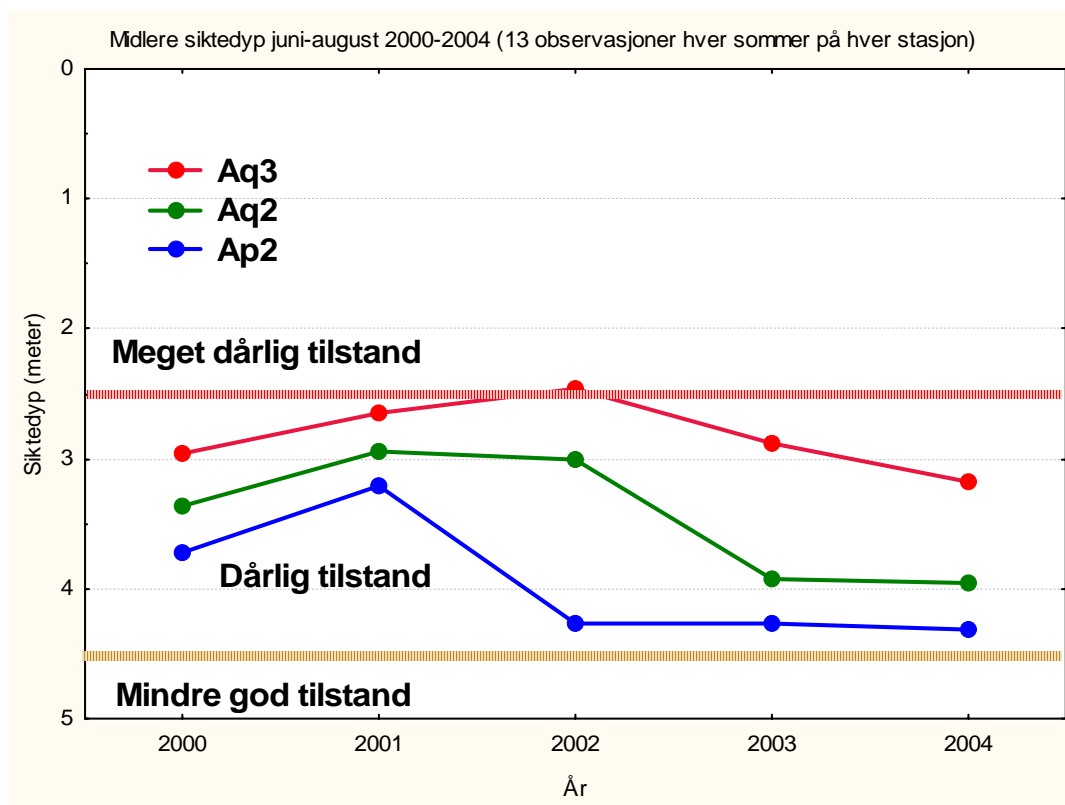


Figur 25. Siktedypet i Havnebassenget pr. måned basert på samtlige observasjoner fra 2000 – 2004 (alle stasjoner). Merk at sommermånedene er sterkt overrepresentert i antall observasjoner.

Vannkvaliteten i havneområdet (stasjon Ap 2 ved Kavringen, figur 1) har blitt betydelig bedre siden de store rensetiltakene er blitt gjennomført. Siden 1970-tallet har siktedypet sommerstid blitt fordoblet –



fra gjennomsnittlig ca. 2.2 meter (1973-82) til ca. 4.0 m (1991-2001), dvs. fra meget dårlig tilstand til dårlig tilstand, bedømt etter SFTs klassifiseringssystem for fjorder (Molvær m.fl., 1997 og Magnusson m.fl., 2004). Siktedypet i selve Bjørvika er i dag dårlig (**Figur 26**), og i 2002 var det meget dårlig. Forskjellen i midlere siktedyp mellom Bjørvika (Aq3) og Kavringen (Ap 2) er ca. 0.5 til 1.8 meter, Det er mindre forskjell mellom Aq2 og Ap2 (ca. 0.3 meter), unntatt i 2002 (ca. 1 meter).

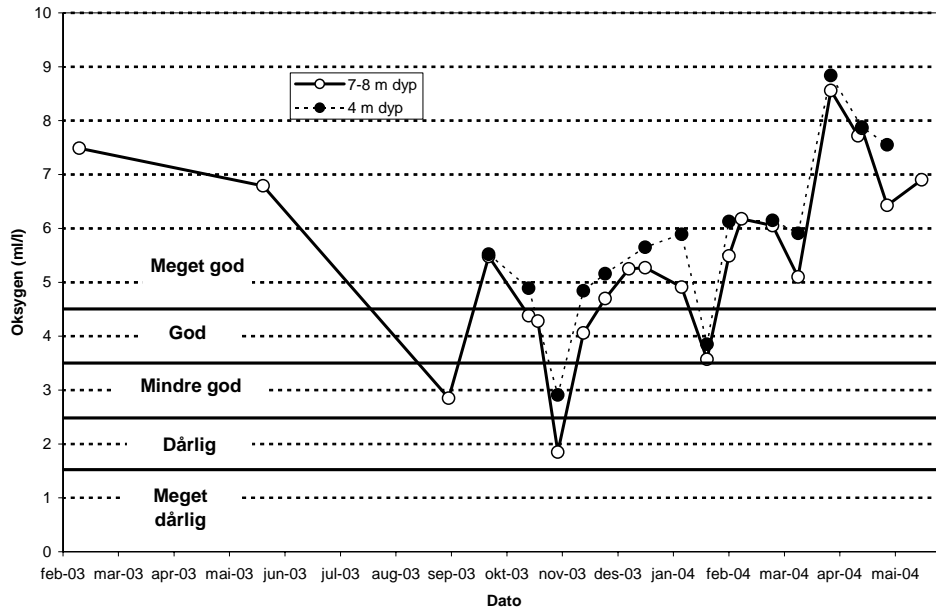


**Figur 26.** Midlere siktedyp i juni til august 2000-2004 på stasjonene Ap2, Aq2 og Aq3 i Havnebassenget. SFT's tilstandsklasser er markert med prikkede linjer.

### 3.5 Oksygenforhold.

**Figur 27** viser at oksygenforholdene i Bjørvika og Bispevika normalt er gode eller meget gode i henhold til Statens forurensnings klassifiseringssystem for miljøkvalitet i fjorder (Molvær m.fl., 1997). Imidlertid er det tidligere observert fiskedød i området i forbindelse med vannfornyelser, dvs. når dypere vann med lavere oksygenkonsentrasjon løftes opp mot overflaten og forholdene blir for dårlige for fisk. Det er relativt sjelden at forholdene blir så dårlige at de forårsaker fiskedød. Lave oksygenverdier er også observert fra Bjørvika i enkelte tilfeller (Molvær m.fl., 2002).

Høsten 2003 ble det observert lave oksygenkonsentrasjoner i slutten av oktober (31.10). Det var lave oksygenkonsentrasjoner på 12-30 meters dyp i Bekkelagsbassenget den 20.10 med en saltholdighet som var omtrent den samme som ble målt i Bjørvika den 30.10. **Figur 3** viser en økning i saltholdigheten som tyder på at det var vann med lavere oksygenkonsentrasjon som ble transportert inn i Bjørvika fra nærliggende områder. Dette viser sammen med tidligere observasjoner (Molvær m.fl., 2002) at oksygenforholdene i området vanligvis er meget gode eller gode, men at i høstmånedene (september – desember) kan verdiene bli meget lave som følge av tilførsler av oksygenfattige vannmasser fra nærliggende områder.



**Figur 27.** Oksygenkonsentrasjonen i Bjørvika (Aq 3) på 4 og 7-8 meters dyp i 2003-2004. Grenser for tilstandsklasser etter Statens forurensningstilsyn sitt klassifiseringssystem for miljøkvalitet i fjorder (Molvær m.fl., 1997) er lagt inn.

## 4. Grenseverdier og kriterier for turbiditet.

Turbiditet er et indirekte mål på forekomsten av partikler i vannmassen og er enkelt å måle. Derfor er turbiditet vanlig å bruke som overvåkingsparameter for spredning av forurensete partikler. Det finnes ikke noen offisielle akseptkriterier for øket turbiditet forårsaket av mudringsarbeider. Tidligere har Statens forurensningstilsyn ofte brukt en generell grense på 15 FTU så lenge bakgrunnsverdien ikke overstiger 5 (FTU). Hvis bakgrunnsverdien fra et område som er upåvirket av anleggsarbeid er større enn 5, lages et nytt akseptkriterie som tilsvarer 3xbakgrunnsverdien.

Disse akseptkriteriene vil fungere mindre godt sett i forhold til hva som er normalt for Bjørvika, Bispevika og havneområdet utenfor. I Bispevika var turbiditeten mindre enn 5 FTU i 90 % av våre observasjoner (**Figur 14**, **Figur 15** og **Figur 20**). Når verdiene overstiger 5 FTU bør årsaken undersøkes. Det kan for eksempel være en påvirkning fra Akerselva, en generelt større tilførsel av partikler til fjorden (flomepisoder) eller en oppblomstring av planteplankton. Eksemplet fra lekkasjen den 23.9 viser hvordan de "gamle" kriteriene hadde fungert. På referansestasjonen (Aq 4) ble målt 7 FTU og akseptkriteriet blir  $3 \cdot 7 = 21$  (FTU), dvs. omtrent det som ble målt på Aq 3. Imidlertid var også Aq 4 påvirket av lekkasjen. Et annet forhold er at det er vanskelig å begrunne en akseptgrense som vil tillate spredning av partikler i konsentrasjoner på 15-20 mg/l uten at situasjonen blir vurdert.

Verdier over 5 FTU vil kunne være en praktisk og god aksjonsgrense som skal føre til at man vurderer situasjonen. Overflatelekkasjer som skyldes feil på siltduker kan rettes omgående. Hvis det derimot er lekkasjer ved bunn må disse lokaliseres og det kan bli vanskeligere. En mulighet er å gjennomføre turbiditetsmålinger langs siltduken mellom overflate og bunn for å lokalisere lekkasjen.

Båter trafikkerer området kan virvle opp sedimenter, og det vil være behov for å utelukke observasjoner fra slike kortvarige hendelser. Ved undersøkelser i 1994 (Magnusson, 1995), ble det observert at ca. 40 % av oppvirvlede miljøgifter sedimenterte etter ca. 20 minutter, men at vel 10 % av miljøgiftene fortsatt var igjen i vannmassen etter tre timer. Ut fra dette kan et turbiditetsmaksimum med en halvtimes varighet indikere oppvirvling fra fartøy, men en vedvarende verdi over akseptgrensen sannsynliggjør lekkasje. Stor båttrafikk kan komplisere situasjonen, men ettersom Oslo Havnevesen har full logg på fartøysbevegelser i området vil opplysninger kunne innhentes derfra.

Aksjonsgrensen kan gjelde for hele vannsøylen. Normalt vil turbiditeten være lavere ved bunn enn ved overflaten ettersom Akerselvas innflytelse er liten her. Imidlertid vil en påvirkning av betydning gi samme utslag som i overflatevannet, men årsaken til denne begrenses til oppvirvling fra fartøy og den generelle situasjonen i fjorden.

### 4.1 Tiltak ved overskridelser av grenseverdier.

En større lekkasje kan føre til en midlertidig stopp i arbeidet. For en vurdering av konsekvensene av lekkasjen vil det være nyttig å få beregnet hvor mye partikler (e.g. mengde miljøgifter) som tilføres området utenfor siltdukene. Dette kan gjøres ved å foreta turbiditetsobservasjoner i området på flere stasjoner (inklusive temperatur og saltholdighet), ta enkelte vannprøver for å analysere på TSM (og turbiditet) og ut fra korrelasjonen mellom turbiditet og TSM beregne totale partikkelmengden i området. Ved å trekke fra bakgrunnsverdier vil mengden tilførte partikler kunne beregnes. Det bør observeres at det ikke er tilstrekkelig å bare observere turbiditet med sensorer. Disse må kontrolleres med vannprøveanalyser, spesielt når det observeres verdier over akseptkriteriet.

I tillegg utføres analyser av ulike miljøgifter fra samme vannprøver som analyseres på TSM. Er antall prøver tilstrekkelig stort kan det være mulig å anslå hvor mye miljøgifter som ble tilført området.

## 4.2 Forslag til kriterier.

Med erfaring fra observasjonene gjennomført i 2003/2004 vil det i en overvåking nær mudringsarbeidene kunne settes en øvre grense på 5 FTU (i mer enn 3 timer), under hvilken en kan utgå fra at variasjoner mellom 1- 5 FTU skyldtes naturlige variasjoner. Når det blir observert turbiditet over 5 FTU bør det foretaes undersøkelser for å forklare forholdene (lekkasjer fra arbeidene, høy turbiditet i Akerselva, planteplanktonoppblomstringer etc.).

Hvis det viser seg å være lekkasjer bør det foretaes en måling av mengden partikler som finnes i området. Er det en større lekkasje bør det også tas prøver av enkelte sentrale miljøgifter (samtidig med TSM og turbiditetsanalyser på samme vann) for å kunne estimere lekkasjens størrelse.

Referansestasjonen for området bør bli nær stasjon Aq2, da det viser seg at stasjon Aq5 (tiltenkt som referansestasjon) var klart påvirket av lekkasjen i september 2003. Referansestasjonen kan plasseres nærmere Hovedøya (nær stasjon Aq 2), eventuelt på en brygge der.

## 5. Litteratur.

Magnusson, J. (1995). Vurdering av effekt av propellstrøm på sedimenter i Oslo havn. NIVA-rapport nr. 3218.

Magnusson, J. (2004). Ferger kan brukes til mye rart. Vann nr 3. Årg 39.

Magnusson, J., Andersen, T., Amundsen, R., Berge J.A., Gjøsæter, J., Holt, T.F., Hylland, K., Johnsen, T., Lømsland, E.R., Paulsen, Ø. (2004). Overvåking av forurensningsituasjonen i indre Oslofjord 2003. Norsk institutt for vannforskning. Rapport nr. 4845-2004.

Molvær, J., Knutzen, J., Magnusson, J., Rygg, B., Skei, J., Sørensen, J. (1997). Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Veiledning 97:03. Statens forurensningstilsyn.

Molvær, J., Muniz, I.P., Magnusson, J. (2002). E18 mellom Festningstunnelen og Ekeberg tunnelen. Detalj- og reguleringsplan, etappe 1. Vannkvalitet og hensyn til naturmiljøet. Vedlegg til reguleringsplan. Rapport nr 5. NIVA, NINA-NIKU og Aas-Jakobsen. NIVA-rapport nr. 4485.

Schaanning, M.T., Bjerkeng, B., Magnusson, J. og Sundfjord, A. (2000). E18 mellom Festningstunnelen og Ekeberg tunnelen. Tiltak for å sikre vannkvalitet etter utbygging av E18 i senketunnel gjennom Bjørvika og Bispevika. NIVA-rapport nr. 4250-2000. 35 sider.