TA-1788/2001

Overvåking av miljøforholdene i Sørfjorden

Oksygen og siktedyp i 1999-2000

TA-1788/2001
Prosjektnr.: 800309
ISBN 82-577-3985-5

Norsk institutt for vannforskning

RAPPORT

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

Tittel	Løpenr. (for bestilling)	Dato
Overvåking av miljøforholdene i Sørfjorden. Oksygen og siktedyp i 1999-2000	4350-2001	18.4 2001
	Prosjektnr. Undernr. 800309	Sider Pris 26
Forfatter(e) Jarle Molvær	Fagområde Oseanografi	Distribusjon
	Geografisk område Hordaland	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e)	Oppdragsreferanse
Statens forurensningstilsyn, Oslo. (Overvåkingsrapport nr. 816/01. TA-nr. 1788/2001)	

Sammendrag

Utgangspunktet for overvåkingen av oksygenforholdene i Sørfjordens indre del i 2000 var å registrere virkningene av reduserte utslipp av oksygenforbrukende stoffer fra Odda Smelteverk. Disse tiltakene ble forsinket og vil først tre i kraft i 2001. I praksis ble overvåkingen både i 1999 og i 2000 derfor en mer generell registrering av tilstanden, og ikke rettet direkte mot virkning av utslippsreduksjoner. Tidligere års overvåking har vist at oksygenforholdene i Sørfjordens indre del varierer svært mye med tiden, og dette karakteriserte også tilstanden i 1999-2000. Periodevis var det svært dårlige oksygenforhold fra Havnebassenget og ut mot Digraneset, dvs. over en strekning på 10-15 km. Konsentrasjonene var så lave at fisk vil trekke bort fra den vannmassen dette gjelder og andre marine organismer som ikke kommer unna kan dø. Det er en nær sammenheng mellom høy konsentrasjon av nitrogen og lav konsentrasjon av oksygen, noe som stemmer med at smelteverkets utslipp av nitrogen er hovedårsaken til oksygenproblemene. Siktedypet er målt i forbindelse med hver prøvetaking. Antall målinger er lavt, men resultatene tyder på en vannkvalitet som innfrir kravet til egnet badevann.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Sørfjorden	1. Sørfjord
2. Overvåking	2. Monitoring
3. Vannkvalitet	3. Water quality
4. Oksygen	4. Oxygen

Prosjektleder Forskningsleder Forskningssjef

ISBN 82-577-3985-5

Forord

Et overvåkingsprogram som NIVA i tidsrommet 1995-98 utførte for Odda kommune dokumenterte at på strekningen Oddas havnebasseng – Digraneset var det ofte perioder med meget dårlige oksygenforhold. Det ble også klart at Odda smelteverk sitt utslipp av dicykalk var en hovedårsak til oksygenproblemene.

Fra 1.1 2000 ble det lokale overvåkingsprogrammet tatt opp i Statlig program for forurensningsovervåking som administreres av Statens forurensningstilsyn.

Den foreliggende rapporten presenterer resultater fra lokal overvåking i 1999 og den statlige overvåkingen i 2000. I 2000 tok overvåkingen sikte på å registrere virkningen av planlagte utslippsreduksjoner fra Odda smelteverk, men på grunn av tekniske problemer vil disse først bli effektive i 2001. I stedet ble en vanlig overvåking gjennomført. Rapporten blir derfor en forholdsvis kortfattet beskrivelse av tilstanden i 1999-2000.

Alex Stewart Environmental Services A/S, Odda, gjennomførte feltarbeidet og vi takker spesielt Amund Måge og Arild Moe for godt samarbeid. Næringsmiddeltilsynet for Indre Hardanger har utført de vannhygieniske analysene.

Ved NIVA har fagassistent Unni Efraimsen hatt ansvaret for tilrettelegging av de hydrofysiske og vannkjemiske dataene, mens Jarle Molvær har vært prosjektleder.

Oslo, 18.4 2001

Jarle Molvær

Innhold

Sammendrag **8**

Summary **9**

1. Innledning **10**
1.1 Topografi 10
1.2 Bakgrunn og formål med overvåkingen 11

2. Beskrivelse av feltarbeid og metoder **12**

3. Resultater **13**
3.1 Vannføring i Opo 13
3.2 Temperatur og saltholdighet 13
3.3 Oksygenforholdene 15
3.4 Nitrogen i vannmassen 18
3.5 Siktedyp 19

4. Sammenfattende vurdering **20**

5. Litteratur **21**

Vedlegg A. Måle og analysemetoder **22**

Vedlegg B. Data **23**

Sammendrag

Utgangspunktet for overvåkingen av oksygenforholdene i Sørfjordens indre del i 2000 var å registrere virkningene av reduserte utslipp av oksygenforbrukende stoffer fra Odda Smelteverk. Disse tiltakene ble forsinket pga. tekniske vanskeligheter og vil først tre i kraft i 2001. Høsten 2000 kan utslippene periodevis kan ha vært økt i forbindelse med ubygging og utprøving av renseanlegget. I praksis ble overvåkingen både i 1999 og i 2000 derfor en mer generell registrering av tilstanden, og ikke rettet direkte mot virkning av utslippsreduksjoner.

Som følge av varierende vannutskiftning (tilførsel av oksygen) og kanskje også varierende mengder tilført oksygenforbrukende materiale, har tidligere års overvåking vist at oksygenforholdene i Sørfjordens indre del varierer svært mye med tiden. Dette karakteriserte også tilstanden i 1999-2000, og i hovedsak sees det samme bildet som tidligere år:

- Periodevis svært dårlige oksygenforhold fra Havnebassenget og ut mot Digraneset, dvs. over en strekning på 10-15 km. Konsentrasjonene var da så lave at fisk vil trekke bort fra den vannmassen det gjelder og de fleste andre marine organismer som ikke kommer unna kan dø. Det er imidlertid viktig å være klar over at denne beskrivelsen ikke gjelder hele vannmassen fra overflata til bunn, men et vannlag på 30-50 m tykkelse.
- En nær sammenheng mellom høy konsentrasjon av nitrogen og lav konsentrasjon av oksygen, noe som stemmer med at smelteverkets utslipp av nitrogen er hovedårsaken til problemene. Imidlertid skal ikke glemmes at der er flere andre kilder som tilfører Sørfjordens indre del oksygenforbrukende materiale – om enn i mindre grad enn smelteverket: Opo, kommunalt avløpsvann, utslipp fra Norzink og Tinfos Titan & Iron KS samt nedbrytning av planteplankton i fjorden.

Fellesferien hos smelteverket i 2000 falt sammen med en periode med dårlige oksygenforhold. Dette kan synes overraskende, men hovedårsaken kan være en periode med liten vannutskiftning. Dette har vi imidlertid ikke datagrunnlag for å bedømme med noen sikkerhet.

På tilsvarende vis var oksygenforholdene relativt gode høsten 2000 som var en periode da vannutskiftningen/oksygentilførselen kan ha vært god.

Siktedypet er målt i forbindelse med hver prøvetaking. Antallet er i minste laget for en formell klassifisering i forhold til egnethet for bading, men tyder på et siktedyp som innfrir kravet til egnet badevann.

Summary

Title: Monitoring of environmental conditions in the Sørfjord. Oxygen and secchi-depth in 1999-2000.
Year: 2001
Author: Jarle Molvær
Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3985-5

The main purpose for monitoring of the oxygen in 2000 was to detect effects from reduced discharges from Odda Smelteverk. However, due to technical problems the discharges of oxygenconsuming substances will not be significantly reduced until 2001.

Mainly due to varying water exchange the oxygen concentrations in the inner part of Sørfjord show large variations with time. In 2000 the situation was characterised by:

- Periodically critical oxygen conditions in a water body 30-50 m deep, from the harbour and 10-15 km northwards. During periods of high water exchange the oxygen conditions were good.
- A high correlation between high nitrogen concentration and low oxygen concentration shows that the nitrogen-enriched discharge from Odda Smelteverk is the main cause to the oxygen problems. However, contributions of organic matter and nutrients from the Opo River, municipal sewage and other industrial effluents will also increase the oxygen consumption in the fjord.

The measurements of secchi depth were too few for a proper classification, but indicate a water quality that is well suitable for bathing.

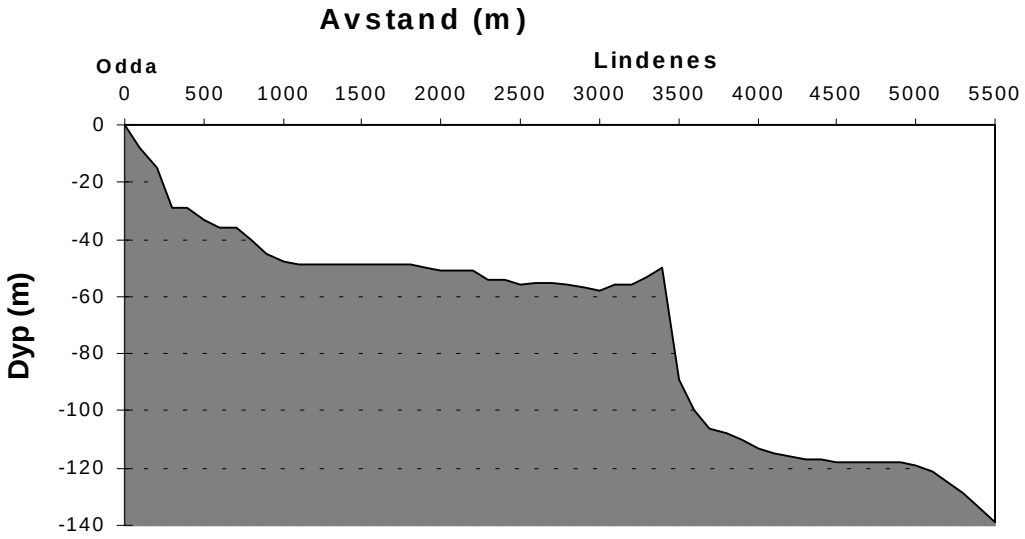
1. Innledning

1.1 Topografi

Sørfjorden er ca. 38 km lang, rett og relativt smal (**Figur 1**). Denne studien er konsentrert om de innerste 10 km av fjorden (**Figur 1**, høyre del). Innenfor Lindenes er fjorden relativt grunn, med omkring 40-45 m dyp i havnebassenget og økende til omkring 60 m dyp ved Lindenes. Videre utover øker dypet raskt og når 200 m litt nord for Tyssedal (**Figur 2**) og 300 m dyp litt nord for Digranes. Mellom Digranes og Børve er et langstrakt område der fjorden har sitt største dyp på 385-387 m.



Figur 1. Sørfjorden. På figurens høyre side er vist stasjoner for vannkjemiske prøver i 1999-2000.



Figur 2. Langsgående bunnprofil fra Odda til Tyssedal. Indre del av Sørfjorden har ingen terskel av betydning som kan hindre vannutskiftningen.

1.2 Bakgrunn og formål med overvåkingen

Overvåking av oksygenforholdene i Sørfjordens indre del i tidsrommet 1995-99 sannsynliggjorde at Odda Smelteverks utslipp av nitrogenholdig dicykalk til Havnebassenget er hovedårsaken til det store oksygenforbruket og de periodevis kritiske oksygenforholdene.

For vår-sommer 2000 var det planlagt vesentlige utslippsreduksjoner for Odda Smelteverk, og man ventet at dette skulle føre til en bedring av oksygenforholdene. *Hovedformålet med overvåkingen i 2000 var dermed å registrere utviklingen av oksygenforholdene i Sørfjordens indre del ved reduserte utslipp av nitrogen og dicykalk fra Odda Smelteverk.*
Utover høsten 2000 viste det seg imidlertid at tekniske problemer medførte at utslippsreduksjonene ved smelteverket ble vesentlig forsinket og til slutt forskjøvet til 2001. Årets program ble derfor i hovedsak en fortsettelse av overvåkingen i 1999.

I forbindelse med installering av nytt renseanlegg hos Odda Smelteverk gav Statens forurensningstilsyn i juli 2000 og senere i oktober 2000 bedriften tillatelse til – om nødvendig - å øke nitrogenutslippet til 4 tonn/døgn (som ukemiddel) mot tidligere 2.4 tonn/døgn. Tillatelsen gjaldt fram til 30.11 2000. Videre hadde smelteverket driftsstans i tidsrommet 10.7-7.8 2000. Resultatene av overvåkingen sommer og høst 2000 bør sees i forhold til dette.

2. Beskrivelse av feltarbeid og metoder

Oksygenproblemene strekker seg 10-15 km utover i fjorden, men har sin opprinnelse i området Havnebassenget – Lindenes der også problemene er størst. Undersøkelsene i 2000 ble derfor konsentrert om strekningen Havnebassenget – Tyssedal, men med rom for 1-2 prøveserier ut til Digraneset når utviklingen ble slik at man trengte opplysninger om forholdene på denne strekningen.

Stasjonene er vist på **Figur 1** og er de samme som ble anvendt i tidsrommet 1995-98. Hovedstasjoner er Havnebassenget og Lindenes, men fra 2000 ble også Tyssedal en hovedstasjon. I 1999 ble det to ganger (august og oktober) tatt prøver ved Digraneset.

Vannkjemiske parametre, prøvedyp og øvrige observasjoner.
I alt vesentlig var programmet for de 3 stasjonene som vist i **Tabell 1**

Tabell 1. Stasjoner, parametre og måledyp i 2000.

Stasjoner	Parametre og måledyp				
	Oksygen	Total nitrogen (nitrat, ammonium)	Temperatur og saltholdighet	Siktedyp	Vind, vær, bølgehøyde
Havnebassenget	0.5, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40 m	0.5, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40 m	0.5, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40 m	Måles hver gang	Observeres hver gang
Lindenes	0.5, 10, 20, 30, 40, 45, 50, 55, 60, 70, 80 m	0.5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 m	0.5, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40,50, 60, 70, 80 m	Måles hver gang	Observeres hver gang
Tyssedal	0.5, 10, 15, 20, 25, 30, 40,50, 60, 70, 80 m		0.5, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40,50, 60, 70, 80 m	Måles hver gang	Observeres hver gang

Hovedparameterne er oksygen, temperatur og saltholdighet. Total nitrogen ble analysert på de fleste prøver sammen med oksygeninnholdet. I tillegg ble en del prøver analysert for ammonium og nitrat. Oksygenanalysene ble gjort av Alex Stewart Environmental Services A/S, Odda, mens nitrogenanalysene ble gjort ved NIVAs laboratorium i Oslo. For en mer detaljert beskrivelse av metodikken henvises til Vedlegg A.

Temperatur og saltholdighet ble målt med sonde. I 40 m ble en saltprøve tappet på en 250 ml flaske for senere presisjonsanalyse, og eventuell korrigering av de mindre nøyaktige sonde-målingene (se også Vedlegg A). Det ble tatt 5 prøveserier i 1999 og 5 i 2000 (**Tabell 2**). I august og oktober 1999 ble det tatt prøver ved Tyssedal og ved Digraneset.

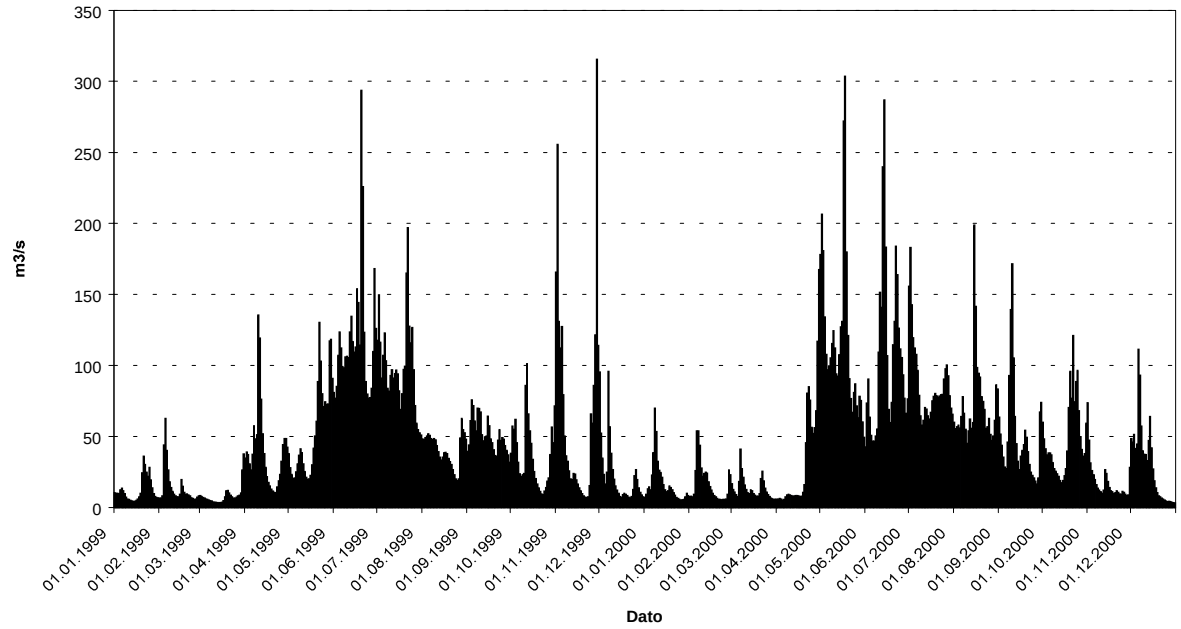
Tabell 2. Tidspunkt for prøver i 1999 og 2000.

1999	2000
22.7	27.6
24.8	25.7
21.9	5.9
18.10	11.10
16.11	7.11

3. Resultater

3.1 Vannføring i Opo

Den indre delen av Sørfjorden får i hovedsak sin tilførsel av ferskvann fra Opo. **Figur 3** viser døgnmidler av vannføringen i tidsrommet 1.1.99-31.12.00. Variasjonene er store og raske, med 315 m^3/s som høyeste, 3 m^3/s som laveste og 49 m^3/s som gjennomsnittlig vannføring.



Figur 3. Vannføring i Opo i tidsrommet 1.1.99 – 31.12.00 (døgnmidler)

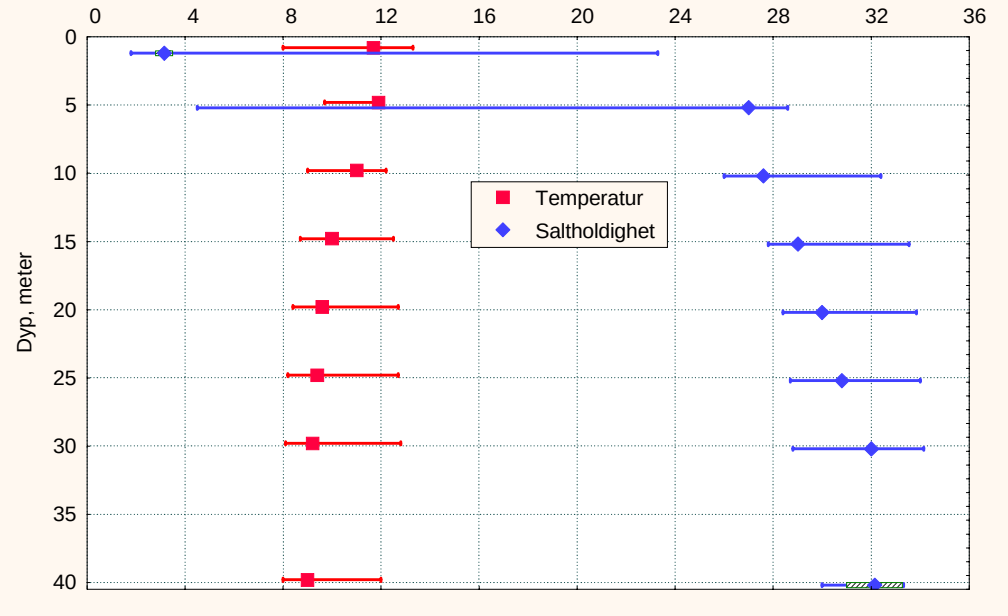
3.2 Temperatur og saltholdighet

I Havnebassenget kan vannmassene inndeles i 2 lag:

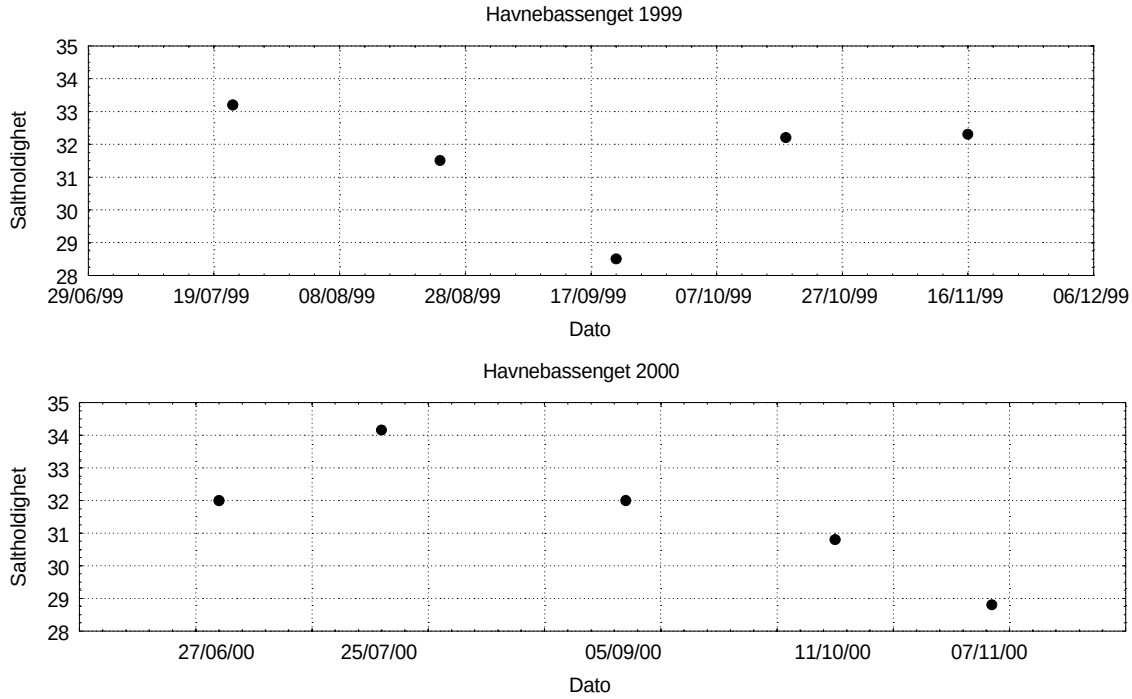
- Brakkvannslaget eller overflatelaget, som består av en blanding av ferskvann og sjøvann. Tykkelse og saltholdighet varierer mye pga. store variasjoner i Opo's vannføring (**Figur 4**, og jfr. **Figur 3**), men oftest er tykkelsen omkring 3 m og saltholdigheten 3-5.
- Sjøvannslaget ligger under brakkvannslaget og helt til bunnen. Saltholdigheten øker med dypet 0g kan nå opp til ca. 34.

Figur 5 viser målinger av saltholdighet i 30 m dyp i Havnebassenget. Man ser store variasjoner, dels som følge av klima (lufttemperatur og nedbør/avrenning fra land) og dels som følge av vannutveksling med vannmasser lenger nord i Sørfjorden og i selve Hardangerfjorden. Tidsintervallene mellom målingene (4-6 uker) gjør at variasjoner på kortere skala enn dette ikke vises, men i 1999 foregikk en gradvis utskiftning av mindre salt vann i sjøvannslaget fram til september. Deretter kom en innstrømming av saltere vann til midten av oktober og deretter synes vannutskiftningen å ha avtatt.

I 2000 var utviklingen annerledes, med innstrømming av salt vann i juni og juli og deretter en vedvarende utskiftning med mindre salt vann utover høsten. Tilstanden i august har vi ikke data for.



Figur 4. Vertikalprofil for saltholdighet og temperatur i Havnebassenget i 2000. I hvert måledyp vises median, maksimum og minimum.



Figur 5. Havnebassenget. Måling av saltholdighet i 30 m dyp i 1999 (øverst) og 2000 (nederst). Økning eller reduksjon i saltholdighet tyder på utskiftning av vann.

3.3 Oksygenforholdene

Oksygenkonsentrasjonen ved Lindenes og i Havnebassengets dypere vannlag er til enhver tid et resultat av balansen mellom:

1. *oksygentilførsel*, i hovedsak gjennom tilførsel av oksygenrikt sjøvann fra Sørfjordens nordre deler.
2. *oksygenforbruk*, i hovedsak fra nedbrytning av organisk materiale tilført via direkte utslipp, nedsynkende planteplankton samt kjemisk oksygenforbruk.

Denne balansen vil variere over tid. Typisk for mange norske fjorder er relativt dårlige oksygenforhold over en periode i løpet av sommer-høst som følge av stort oksygenforbruk pga. nedbrytning av organisk materiale og relativt liten oksygentilførsel - og gode oksygenforhold i vinterhalvåret.

Som grunnlag for bedømmelse av oksygenforholdene, viser **Tabell 2** klassifiseringsgrunnlaget i SFTs reviderte veiledning i klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann.

Tabell 2. Tilstandsklassifisering for oksygen (fra Molvær et al., 1997).

	Tilstandsklasser				
Parametre	**I Meget god**	**II God**	**III Mindre god**	**IV Dårlig**	**V Meget dårlig**
Oksygen (ml O_2/l)	>4.5	4.5-3.5	3.5-2.5	2.5-1.5	<1.5

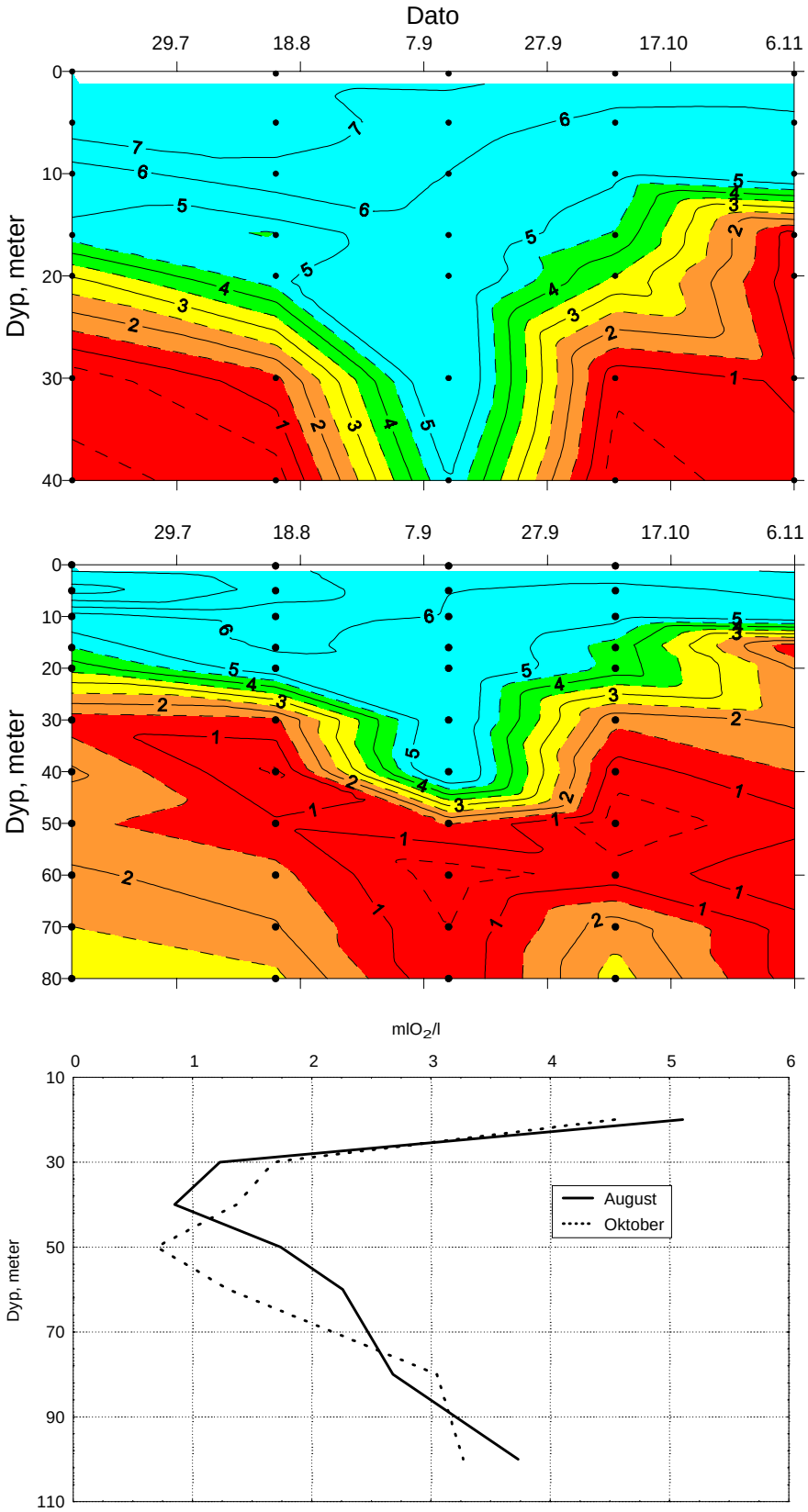
Figur 6 og **Figur 7** viser oksygenforholdene i henholdsvis Havnebassenget, Lindenes og Tyssedal i 1999 og 2000 i form av isopleter, der fargekoder er brukt for å vise forskjellige tilstandsklasser. Oksygenforholdene er bestemt av **oksygentilførselen** og **oksygenforbruket** som begge varierer i tid – trolig varierer oksygentilførselen svært mye pga. varierende vannutskiftning. Målingene gir ikke størrelsen av disse to faktorene, men sluttproduktet.

Målingene i 1999 viser i hovedsak et bilde som er kjent fra 1997 og 1998. I Havnebassenget var oksygenforholdene under ca. 25 m dyp oftest meget dårlig (klasse 5), men en vannutskiftning i slutten av august førte til en kort periode med gode forhold. Deretter skjedde en gradvis forverring og i begynnelsen av november var det meget dårlige forhold helt opp til 14-15 m dyp.

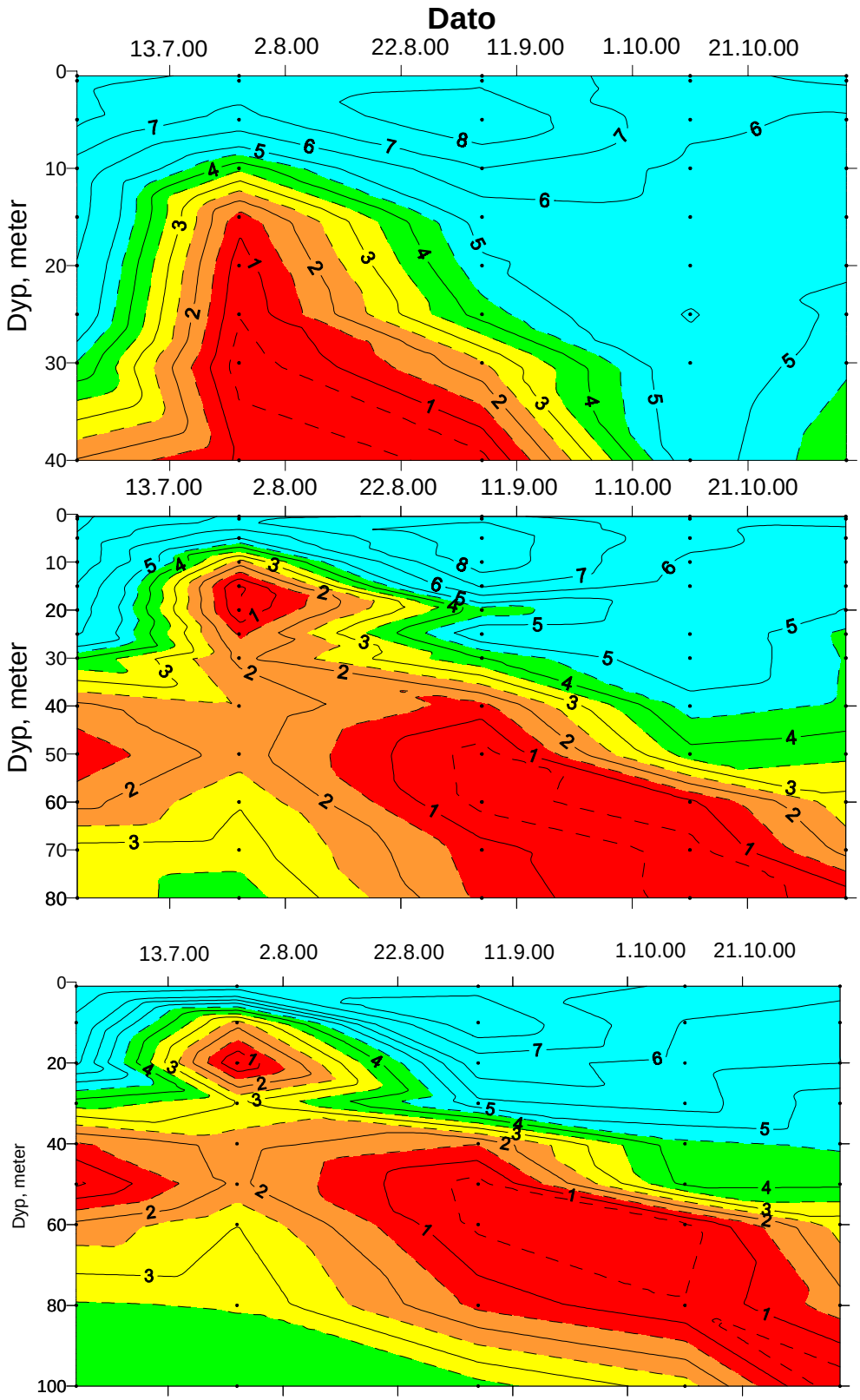
Ved Lindenes finner vi igjen oksygenproblemene, men noe dypere enn i Havnebassenget. Det kan kanskje beskrives ved at den oksygenfattige vannmassen i Havnebassenget fordeler seg nordover i fjorden samtidig som den synker noe dypere. Oksygenproblemene varierer med tiden, men omfatter hele vannmassen mellom 25-30 m og ca. 100 m dyp.

Ved Tyssedal ble det i 1999 tatt to prøveserier som klart viser hvordan den oksygenfattige vannmassen bredte seg ut nordover i fjorden. I august 1999 ble det således målt 1.9 mlO_2/l i 40 m dyp ved Digraneset og i oktober 1999 ble det målt 1.9 mlO_2/l i 40-60 m dyp (klasse 4, Dårlig) som viser at oksygenproblemene nådde 10-15 km nordover fjorden.

I 2000 er igjen hovedtrekkene de samme. I Havnebassenget opptrådte de dårligste forholdene i 2. halvdel av juli for så gradvis å bli bedre helt fram til midten av oktober. Som nevnt under kap. 3.2 kan dette skyldes en vedvarende tilførsel av nytt vann i denne perioden. I november ble tilstanden dårligere, men det er ikke grunnlag for å avgjøre om årsaken var liten vannutskiftning eller økt oksygenforbruk. Ved Lindenes og Tyssedal opptrer samme bildet og det mest slående er hvordan den oksygenfattige vannmassen (klasse 5!) vedvarer og gradvis forflytter seg dypere.



Figur 6. Oksygenmålinger i 1999. Havnebassenget (øverst), Lindenes (midten) og Tyssedal (nederst).

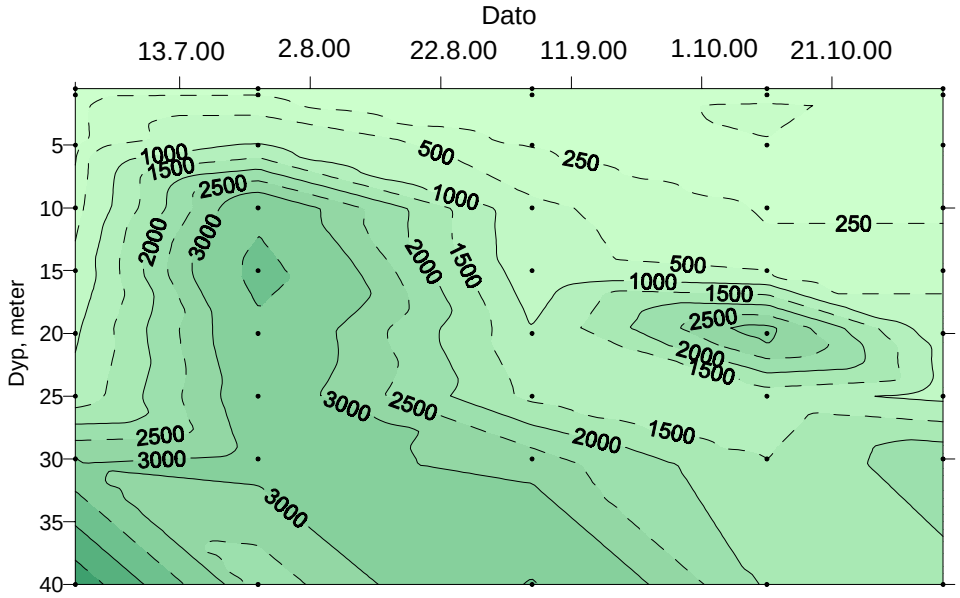


Figur 7. Oksygenmålinger i 2000. Havnebassenget (øverst), Lindenes (midten) og Tyssedal (nederst).

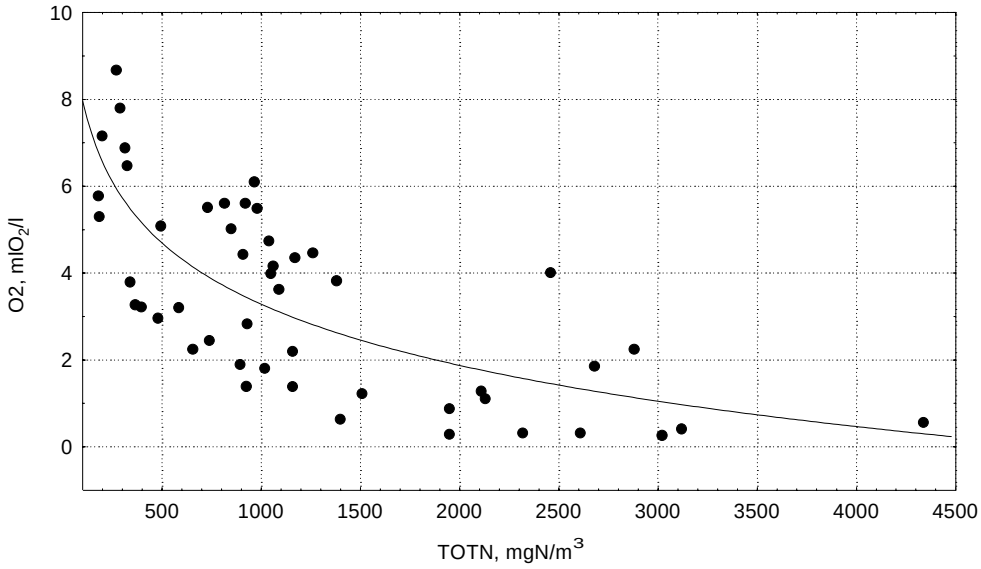
3.4 Nitrogen i vannmassen

Undersøkelser har vist at Odda Smelteverks utslipp av nitrogenholdig dicykalk bidrar til et meget stort oksygenforbruk (Schaanning 1999). Det meste av nitrogenet foreligger som vannløselig dicyandiamid og man har konkludert at dette delvis nedbrytes til ammonium som deretter oksyderes til nitrat. Fordi mengden av dicykalk er så stor blir dette oksygenforbruket også stort.

Det er tidligere påvist en nær samvariasjon mellom høye konsentrasjoner av nitrogen i vannmassen og tilsvarende lave konsentrasjoner av oksygen (Aure et al. 1997, Molvær 1998). For 2000 sees i hovedsak det samme, jfr. spesielt ekstremt høy nitrogenkonsentrasjon og lav oksygenkonsentrasjon i havnebassenget i slutten av juli (**Figur 7** og **Figur 8**). Ved Lindenes sees en tilsvarende sammenheng (**Figur 9**).



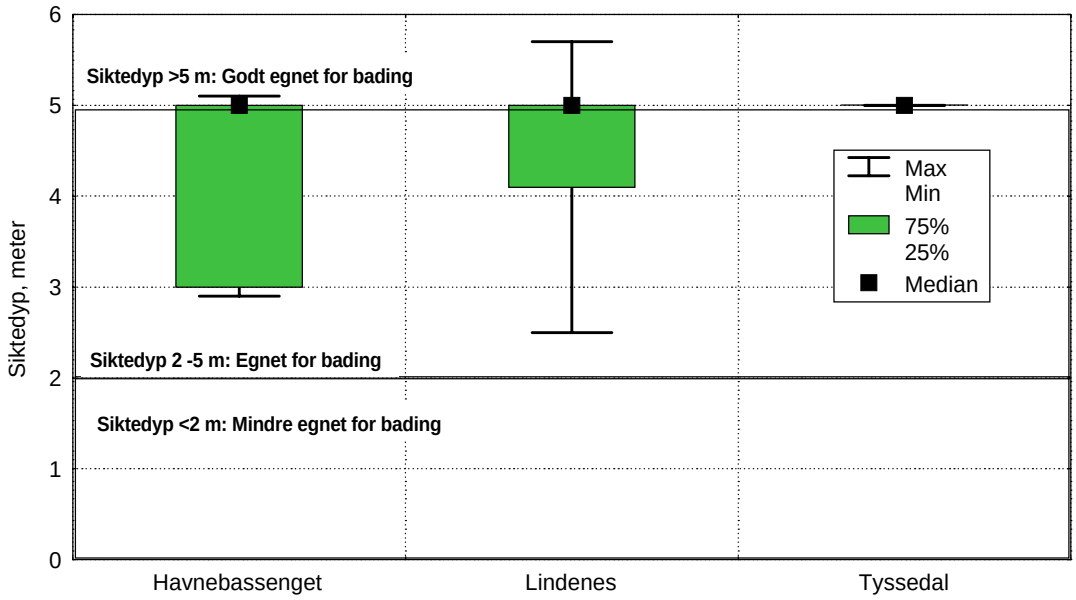
Figur 8. Total nitrogen (µgN/l) i Havnebassenget juni-oktober 2000. Konsentrasjoner over 1000 µgN/l er uvanlig høyt.



Figur 9. Oksygen og total nitrogen i 10-80 m dyp ved Lindenes i 2000. Korrelasjonskoeffisient: 0.74.

3.5 Siktedyp

I forbindelse med prøvetakingene er også siktedyp målt. Antall målinger for en formell bedømmelse av siktedypet i forhold til bading, vannsport osv. i sommerhalvåret er i minste laget, men de tre vannkvalitetsklassene er likevel vist i **Figur 10** (etter Statens helsetilsyn, 1994). Merk imidlertid at antall målinger ved Tyssedal er mindre enn for Havnebassenget og Lindenes.



Figur 10. Statistikk over målinger av siktedyp i Havnebassenget, Lindenes og Tyssedal i juni-september 1999-2000. Egnethet mht. bading og rekreasjon (vannsport, lek i strandkanten osv.) er også vist i figuren.

Medianen for siktedypet var ca. 5 m ved alle tre stasjonene, men med minimum den 22.7.99 da det i Havnebassenget og ved Lindenes ble målt henholdsvis 3-2.5 m. Ferskvannstilførselen til fjorden var relativt stor, og vannføringen i Opo var 197 m^3/s etter å ha økt fra ca. 80 m^3/s den 18.7.99. Målingen gir imidlertid ikke grunnlag for å avgjøre om det var ferskvann med stort innhold av partikler eller om det var en oppblomstring av planteplankton som gjorde vannet uklart.

4. Sammenfattende vurdering

Utgangspunktet for overvåkingen av oksygenforholdene i Sørfjordens indre del i 2000 var å registrere virkningene av reduserte utslipp av oksygenforbrukende stoffer fra Odda Smelteverk. På grunn av tekniske vanskeligheter ble disse tiltakene forsinket og til slutt forskjøvet 2001 - samtidig som utslippene periodevis kan ha vært økt høsten 2000. I praksis ble overvåkingen både i 1999 og i 2000 derfor en mer generell registrering av tilstanden, og ikke rettet direkte mot virkning av utslippsreduksjoner.

Som følge av varierende vannutskiftning (tilførsel av oksygen) og kanskje også varierende mengder av oksygenforbrukende materiale har tidligere års overvåking vist at oksygenforholdene i Sørfjordens indre del varierer mye med tiden. Dette karakteriserte også tilstanden i 1999-2000, og i hovedsak sees det samme bildet som tidligere år:

- Periodevis var det svært dårlige oksygenforhold fra Havnebassenget og ut mot Digraneset, dvs. over en strekning på 10-15 km. Konsentrasjonene var da så lave at fisk vil trekke bort fra den vannmassen det gjelder og de fleste andre marine organismer som ikke kommer unna vil dø. Det er imidlertid viktig å være klar over at denne beskrivelsen ikke gjelder hele vannmassen fra overflata til bunn, men et vannlag på inntil 30-50 m tykkelse.
- Man finner en nær sammenheng mellom høy konsentrasjon av nitrogen og lav konsentrasjon av oksygen, noe som stemmer med at smelteverkets utslipp av nitrogen er hovedårsaken til problemene. Imidlertid skal ikke glemmes at der er flere andre kilder som tilfører Sørfjordens indre del oksygenforbrukende materiale – om enn i mindre grad enn smelteverket: Opo, kommunalt avløpsvann, utslipp fra Norzink og Tinfos Titan & Iron KS samt nedbrytning av planteplankton i fjorden.

Fellesferien hos smelteverket i 2000 falt sammen med en periode med dårlige oksygenforhold. Dette kan synes overraskende, men hovedårsaken kan være en periode med liten vannutskiftning. Dette har vi imidlertid ikke datagrunnlag for å bedømme med noen sikkerhet.

På tilsvarende vis var oksygenforholdene relativt gode høsten 2000 som var en periode da vannutskiftningen/oksygentilførselen kan ha vært god. Uten spesifikke målinger av vannutskiftningen mellom prøvetakingene vil man ikke kunne gjøre mer konkrete vurderinger av oksygentilførselen.

Siktedypet er målt i forbindelse med hver prøvetaking. Antallet er i minste laget for en formell klassifisering i forhold til egnethet for bading og andre friluftsaktiviteter på og ved sjøen, men tyder klart på et siktedyp som innfrir kravet til egnet badevann (**Figur 10**).

5. Litteratur

Aure, J., Føyn, L. og Pettersen, R., 1997. Miljøundersøkelser i norske fjorder 1975-96. Sørfjorden - Hardanger (1991-96). Fisken og Havet nr. 12 -1997. 24 sider.

Molvær, J., 1998. Sørfjorden. Overvåking av oksygenforholdene i juli-desember 1997. NIVA-rapport nr. 3775-98. Oslo. 32 sider.

Molvær, J., Knutzen, J., Magnusson, J., Rygg, B., Skei, J. og Sørensen, J., 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Statens forurensningstilsyn. Veiledning 97:03. 36 sider.

Schaanning, M.T., 1999. Oksygenforbruk i tilknytning til utslipp av filterkake fra Odda Smelteverk AS. Fase 1 – nitrogenforbindelser i sedimenter og porevann. NIVA-rapport nr. 3999-99. Oslo. 22 sider.

Statens helsetilsyn, 1994. Vannkvalitetsnormer for friluftsbad. Friluftsbad - badevann. Rundskriv IK-21/94 med vedlegg.

Vedlegg A. Måle og analysemetoder

Siktedyp:
Siktedypet er målt som det dyp hvor en hvit skive med ca. 25 cm diameter forsvinner av syne fra overflaten. Vannkikkert er ikke brukt.

Temperatur:
Er målt ved bruk av en Electronic Switchgear sonde, som ved regelmessig kalibrering og kontroll av data forventes å gi en nøyaktighet på ± 0.1 ºC.

Saltholdighet:
Er i hovedsak målt ved bruk av en Electronic Switchgear sonde, som ved regelmessig kalibrering og kontroll av data forventes å gi en nøyaktighet på ±0.1. Til kalibrering og kontroll av målingene ble for hver prøveserie tatt vannprøver fra 0 m og 20 m dyp. For disse ble saltholdigheten bestemt med laboratoriesalinometer (nøyaktighet ± 0.002), og resultatene er brukt til korrigering av sonde-målingene.

Oksygen:
Modifisert Winkler-metode.

Total nitrogen:
Intern metode, basert på Norsk Standard 4743

Ammonium:
Norsk Standard, NS 4746. Modifisert gjennom automatisering av bestemmelsen.

Termotolerante koliforme bakterier:
Analysert etter Norsk Standard 4792

Vedlegg B. Data

St_kode	Dato	Dyp	Temperatur	Saltholdighet	O2	Totn	NH4N
1	22.07.1999	0	11	7.4	7.6		
1	22.07.1999	5	10.7	27	7.7		
1	22.07.1999	10	8.6	28.4	5.5		
1	22.07.1999	16	8.2	30.2	4.8		
1	22.07.1999	20	8.3	31	3		
1	22.07.1999	30	8.3	33.2	0.2		
1	22.07.1999	40	8.2	33.75	0.7		
1	17.08.1999	1					
1	24.08.1999	0.2	12.4	4	7.26		
1	24.08.1999	5	12.3	14.5	7.66		
1	24.08.1999	10	10	28.5	6.69		
1	24.08.1999	16	8.9	29.8	4.42		
1	24.08.1999	20	8.6	30.5	4.91		
1	24.08.1999	30	8.5	31.5	1.34		
1	24.08.1999	40	8.6	33.37	0.21		
1	21.09.1999	0.2	10.4	1.6	7.34		
1	21.09.1999	1					
1	21.09.1999	5	12.8	26.2	6.36		
1	21.09.1999	10	12.8	27.6	5.98		
1	21.09.1999	16	12.1	28	5.69		
1	21.09.1999	20	12	28.1	5.88		
1	21.09.1999	30	11.6	28.5	6.04		
1	21.09.1999	40	10.2	29.1	5.02		
1	18.10.1999	0.2	10.4	10.8	6.57		
1	18.10.1999	5	14.3	25.8	5.75		
1	18.10.1999	10	12.8	28.5	5.14		
1	18.10.1999	16	10.9	29.3	4.45		
1	18.10.1999	20	9.7	30	3.49		
1	18.10.1999	30	8.5	32.2	0.64		
1	18.10.1999	40	8.3	32.95	0.16		
1	16.11.1999	0.2	8.4	15	7		
1	16.11.1999	5	11	25.6	5.71		
1	16.11.1999	10	11.4	28.5	5.85		
1	16.11.1999	16	8.6	31.5	0.7		
1	16.11.1999	20	8.4	31.5	0.66		
1	16.11.1999	30	8.3	32.3	1.08		
1	16.11.1999	40	8.4	32	0.84		
1	27.06.2000	0.5	9	1.8	8.42	180	4
1	27.06.2000	1	9	2	8.14	185	7
1	27.06.2000	5	9.7	4.5	8.27	205	5
1	27.06.2000	10	9.8	26	6.52	345	95
1	27.06.2000	15	9.1	29	6.39	640	133
1	27.06.2000	20	9	30	5.94	940	182
1	27.06.2000	25	9	30.8	5.66	1140	199
1	27.06.2000	30	8.9	32	4.47	3070	370
1	27.06.2000	40	8.8	33.32	1.96	6700	770
1	25.07.2000	0.5	13.3	2.7	7.71	185	3
1	25.07.2000	1	13.1	2.8	7.44	195	7
1	25.07.2000	5	10.8	28.6	6.71	950	148
1	25.07.2000	10	9	32.4	3.61	3700	700

1	25.07.2000	15	8.7	33.55	1.17	4400	720
1	25.07.2000	20	8.4	33.85	0.72	3720	530
1	25.07.2000	25	8.2	34	0.52	3480	450
1	25.07.2000	30	8.1	34.15	0.21	3220	290
1	25.07.2000	40	8		0.96	2170	146
1	05.09.2000	0.5	11.7	2.5	7.81	175	0
1	05.09.2000	1	11.7	3.5	7.74	165	0
1	05.09.2000	5	11.9	20	9.05	225	0
1	05.09.2000	10	11	30	6.99	560	0
1	05.09.2000	15	10	30.4	5.31	615	0
1	05.09.2000	20	9.6	31	4.89	1050	0
1	05.09.2000	25	9.4	31.4	4.25	1370	0
1	05.09.2000	30	9.2	32	2.39	2740	0
1	05.09.2000	40	9	33.28	0.31	4060	0
1	11.10.2000	0.5	11.7	19.1	6.26	175	21
1	11.10.2000	1	11.7	23.3	6.54	265	41
1	11.10.2000	5	11.9	27	6.24		
1	11.10.2000	10	11	27.6	5.76	225	79
1	11.10.2000	15	10	28	5.67	325	79
1	11.10.2000	20	9.6	30	5.46	3400	430
1	11.10.2000	25	9.4	30.6	6.08	1180	212
1	11.10.2000	30	9.2	30.8	5.62	1510	275
1	11.10.2000	40	9	31	5.41	1930	290
1	07.11.2000	0.5	8	8.4	7.69	225	14
1	07.11.2000	1	8.5	10.5	6.96	220	14
1	07.11.2000	5	12	27.2	5.81	205	11
1	07.11.2000	10	12.2	27.5	5.5	225	19
1	07.11.2000	15	12.5	27.8	5.33	325	40
1	07.11.2000	20	12.7	28.4	5.12	800	83
1	07.11.2000	25	12.7	28.7	4.77	870	143
1	07.11.2000	30	12.8	28.8	4.59	2420	370
1	07.11.2000	40	12	30	4.07	1740	340
2	22.07.1999	0	11	8.1	7.5		
2	22.07.1999	5	11.6	25	9.5		
2	22.07.1999	10	8.8	28.9	5.5		
2	22.07.1999	16	8.2	30.2	4.5		
2	22.07.1999	20	8.3	31	3.7		
2	22.07.1999	30	8.3	33.3	1.2		
2	22.07.1999	40	8.1	33.5	2.1		
2	22.07.1999	50	8	33.6	1.6		
2	22.07.1999	60	7.9	33.7	2.1		
2	22.07.1999	70	7.8	33.9	2.5		
2	22.07.1999	80	7.8	34.2	3		
2	17.08.1999	1					
2	24.08.1999	0.2	12.2	4.5	7.24		
2	24.08.1999	5	12	14.5	7.68		
2	24.08.1999	10	10	28.5	6.2		
2	24.08.1999	16	8.7	30	6.13		
2	24.08.1999	20	8.4	30.5	5.49		
2	24.08.1999	30	8.5	31.8	1.36		
2	24.08.1999	40	8.5	32.95	0.42		
2	24.08.1999	50	8.2	33.5	1.08		
2	24.08.1999	60	8.1	33.8	1.67		
2	24.08.1999	70	8	34.05	2.05		
2	24.08.1999	80	7.9	34.5	2.63		

2	21.09.1999	0.2	11	6.6	7.05		
2	21.09.1999	1					
2	21.09.1999	5	12.8	26.5	6.01		
2	21.09.1999	10	13.2	28	5.9		
2	21.09.1999	16	14.3	28.4	5.69		
2	21.09.1999	20	14	28.5	5.83		
2	21.09.1999	30	13	28.5	5.74		
2	21.09.1999	40	10	29.6	6.05		
2	21.09.1999	50	9.2	30	1.49		
2	21.09.1999	60	9	30	0.21		
2	21.09.1999	70	8.6	33.15	0.49		
2	21.09.1999	80	8.4	33.4	0.52		
2	18.10.1999	0.2	10.6	9.5	6.95		
2	18.10.1999	5	14.3	25.8	5.59		
2	18.10.1999	10	12.9	28.5	5.21		
2	18.10.1999	16	10.9	29.3	4.26		
2	18.10.1999	20	9.6	30	4.35		
2	18.10.1999	30	8.4	32	1.62		
2	18.10.1999	40	8.2	33.05	0.73		
2	18.10.1999	50	8.2	33.55	0.13		
2	18.10.1999	60	8.1	33.95	0.7		
2	18.10.1999	70	8	34.25	2.32		
2	18.10.1999	80	7.8	34.6	2.73		
2	16.11.1999	0.2	8.4	15	7.28		
2	16.11.1999	5	10.7	25	6.24		
2	16.11.1999	10	11.5	28.6	5.54		
2	16.11.1999	16	9	31.6	1.01		
2	16.11.1999	20	8.6	31.9	2.02		
2	16.11.1999	30	8.3	32.4	2.09		
2	16.11.1999	40	8.2	32.7	1.5		
2	16.11.1999	50	8.2	32.9	0.8		
2	16.11.1999	60	8	33.15	1.46		
2	16.11.1999	70	8.2	33.45	0.77		
2	16.11.1999	80	8.2	33.7	0.77		
2	27.06.2000	0.5	9.3	3	8.14	235	3
2	27.06.2000	1	9.3	3	8.28	190	3
2	27.06.2000	5	9.7	4	7.86	180	3
2	27.06.2000	10	10.2	24.5	7.79	290	38
2	27.06.2000	15	9.3	28.5	6.88	315	72
2	27.06.2000	20	9	29.2	6.46	325	68
2	27.06.2000	25	8.9	29.9	6.1	965	162
2	27.06.2000	30	9	30.7	4	2460	340
2	27.06.2000	40	8.9	30.9	1.85	2680	370
2	27.06.2000	50	9	32.6	1.1	2130	260
2	27.06.2000	60	8.8	32.8	1.8	1020	68
2	27.06.2000	70	8.3	33.93	3.2	585	3
2	27.06.2000	80	8	34.52	3.21	395	3
2	25.07.2000	0.5	13.3	2.9	6.82	210	7
2	25.07.2000	1	13.1	3	7.16	205	7
2	25.07.2000	5	9.9	28.8	5.03	1770	290
2	25.07.2000	10	8.8	32.4	2.24	2880	610
2	25.07.2000	15	8.5	33.7	0.41	3120	510
2	25.07.2000	20	8.4	33.95	0.55	4340	58
2	25.07.2000	25	8.2	34.1	1.38	1160	17
2	25.07.2000	30	8.1	34.2	1.89	895	3

2	25.07.2000	40	8	34.3	2.44	740	3
2	25.07.2000	50	8	34.4	2.24	655	3
2	25.07.2000	60	7.9	34.5	2.96	480	3
2	25.07.2000	70	7.8	34.6	3.27	365	3
2	25.07.2000	80	7.8	34.75	3.79	340	3
2	05.09.2000	0.5	11.6	4	7.18	165	0
2	05.09.2000	1	11.1	6.4	7.9	150	0
2	05.09.2000	5	11.7	22.7	8.69	205	0
2	05.09.2000	10	11.3	30	8.67	270	0
2	05.09.2000	15	10.2	30.6	7.15	200	0
2	05.09.2000	20	9.7	31	4.16	1060	0
2	05.09.2000	25	9.4	31.5	5.51	730	0
2	05.09.2000	30	9.2	31.8	3.98	1050	0
2	05.09.2000	40	8.8	32.84	1.28	2110	0
2	05.09.2000	50	8.6	33.6	0.26	3020	0
2	05.09.2000	60	8.3	34.15	0.31	2610	0
2	05.09.2000	70	8.1	34.48	1.22	1510	0
2	05.09.2000	80	8	34.96	1.39	925	0
2	11.10.2000	0.5	11.6	19.1	6.33	175	17
2	11.10.2000	1	12	20.1	6.26	175	21
2	11.10.2000	5	13	27.2	6.36	144	8
2	11.10.2000	10	13.1	28	5.77	180	30
2	11.10.2000	15	12.8	29.1	5.48	980	176
2	11.10.2000	20	12.3	30.3		790	160
2	11.10.2000	25	12.3	30.7	5.6	815	148
2	11.10.2000	30	11.7	30.7	5.6	920	160
2	11.10.2000	40	10.7	31.5	4.73	1040	175
2	11.10.2000	50	9.5	32	3.82	1380	147
2	11.10.2000	60	9	32.65	0.87	1950	53
2	11.10.2000	70	8.9	33.35	0.31	2320	180
2	11.10.2000	80	8.8	33.85	0.28	1950	110
2	07.11.2000	0.5	8.4	18.5	6.68	200	9
2	07.11.2000	1	8.6	18.3	6.47	365	160
2	07.11.2000	5	11.8	27	5.33	180	3
2	07.11.2000	10	12	27.4	5.29	185	10
2	07.11.2000	15	12.1	27.4	5.08	495	37
2	07.11.2000	20	12.1	27.5	5.01	850	86
2	07.11.2000	25	12.3	27.8	4.35	1170	232
2	07.11.2000	30	12.5	28	4.46	1260	252
2	07.11.2000	40	12.8	29	4.42	910	149
2	07.11.2000	50	12.6	30.5	3.62	1090	106
2	07.11.2000	60	11.7	31	2.82	930	3
2	07.11.2000	70	10.6	31.5	2.19	1160	3
2	07.11.2000	80	9.2	32.65	0.63	1400	3
Digra	24.08.1999	20	8.7	30.4	6.35		
Digra	24.08.1999	30	8.2	32	2.95		
Digra	24.08.1999	40	8.2	33.28	1.9		
Digra	24.08.1999	50	8.1	33.73	2.67		
Digra	24.08.1999	60	8.1	34.08	2.93		
Digra	24.08.1999	80	8	34.6	2.84		
Digra	24.08.1999	100		34.75	3.36		
Digra	18.10.1999	20	9.4	30	4.6		
Digra	18.10.1999	30	8.2	31.9	2.64		
Digra	18.10.1999	40	8	32.85	1.91		
Digra	18.10.1999	50	8.1	33.45	1.91		

Digra	18.10.1999	60	8	33.85	1.94		
Digra	18.10.1999	80	7.8	34.3	2.83		
Digra	18.10.1999	100	7.8	34.4	3.52		
Tysse	24.08.1999	20	8.4	30.5	5.11		
Tysse	24.08.1999	30	8.4	31.9	1.23		
Tysse	24.08.1999	40	8.3	33	0.85		
Tysse	24.08.1999	50	8.2	33.55	1.74		
Tysse	24.08.1999	60	8.1	33.85	2.26		
Tysse	24.08.1999	80	8	34.4	2.68		
Tysse	24.08.1999	100		34.55	3.73		
Tysse	18.10.1999	20	9.6	30.1	4.54		
Tysse	18.10.1999	30	8.3	32	1.68		
Tysse	18.10.1999	40	8.1	33	1.37		
Tysse	18.10.1999	50	8.2	33.55	0.7		
Tysse	18.10.1999	60	8.1	34	1.3		
Tysse	18.10.1999	80	7.8	34.5	3.05		
Tysse	18.10.1999	100	8.2	34.55	3.27		
Tyssedal	27.06.2000	1	10.6	4.8	7.96	175	3
Tyssedal	27.06.2000	10	10	26	6.64	330	73
Tyssedal	27.06.2000	20	9	29.7	6.13	300	65
Tyssedal	27.06.2000	30	9	31	3.75	2110	300
Tyssedal	27.06.2000	40	8.6	33.2	1.4	1870	203
Tyssedal	27.06.2000	50	8.1	34.18	0.38	1710	157
Tyssedal	27.06.2000	60	7.9	34.58	2.13	880	28
Tyssedal	27.06.2000	80	7.9	34.75	3.56	355	3
Tyssedal	27.06.2000	100			3.81	305	3
Tyssedal	25.07.2000	1	13.5	3.4	7.47	190	3
Tyssedal	25.07.2000	10	9.7	33	2.2	2330	530
Tyssedal	25.07.2000	20	8.8	34.25	0.45	1820	121
Tyssedal	25.07.2000	30	8.5	34.3	3.03	545	3
Tyssedal	25.07.2000	40	8.2	34.35	2.2	720	3
Tyssedal	25.07.2000	50	8	34.45	2.1	670	3
Tyssedal	25.07.2000	60	7.9	34.5	3	455	3
Tyssedal	25.07.2000	80	7.8	34.75	3.48	320	3
Tyssedal	25.07.2000	100	7.7	34.75	3.68	305	3
Tyssedal	05.09.2000	1	11.3	4.7	7.66	190	0
Tyssedal	05.09.2000	10	11.5	29.8	8.99	205	0
Tyssedal	05.09.2000	20	10	31	6.38	290	0
Tyssedal	05.09.2000	30	9.3	31.8	5.38	445	0
Tyssedal	05.09.2000	40	9	32.66	1.51	1400	0
Tyssedal	05.09.2000	50	8.7	33.5	0.29	2570	0
Tyssedal	05.09.2000	60	8.3	34	0.38	2280	0
Tyssedal	05.09.2000	80	8	34.45	1.36	990	0
Tyssedal	05.09.2000	100	9.3		3.69	360	0
Tyssedal	11.10.2000	1	12.7	20.1	6.85	170	16
Tyssedal	11.10.2000	10	13.1	28.5	5.92	220	43
Tyssedal	11.10.2000	20	12.5	30.5	5.67	455	92
Tyssedal	11.10.2000	30	12	31.1	5.77	330	62
Tyssedal	11.10.2000	40	10.6	31.3	4.37	995	103
Tyssedal	11.10.2000	50	9.6	32.05	4.14	1040	77
Tyssedal	11.10.2000	60	9	32.65	0.33	2060	102
Tyssedal	11.10.2000	80	8.6	33.85	0.52	1820	91
Tyssedal	11.10.2000	100	8.5	34.4	2.74	1060	21
Tyssedal	07.11.2000	1	10.8	24.8	6.33	185	6
Tyssedal	07.11.2000	10	12	27.5	5.5	170	6

Tyssedal	07.11.2000	20	12.3	28	5.5	355	31
Tyssedal	07.11.2000	30	12.9	29.5	4.7	695	165
Tyssedal	07.11.2000	40	12.8	30.4	4.59	695	107
Tyssedal	07.11.2000	50	12.2	31.1	4.11	650	24
Tyssedal	07.11.2000	60	11.2	31.5	2.71	940	3
Tyssedal	07.11.2000	80	9.4	32.6	1.78	1080	3
Tyssedal	07.11.2000	100	9.4	34	0.1	1490	23