



RF – Rogalandforskning. <http://www.rf.no>

Øyvind F. Tvedten

**Langtidsovervåking av to resipienter i
Rogaland
Resultater fra 1999 og 2000**

Rapport RF – 2001/037

Prosjektets tittel: Langtidsovervåking av to marine resipienter i Rogaland
Oppdragsgiver(e): Fylkesmannen i Rogaland, IVAR og Haugesund kommune

ISBN: 82-490-00095-1

RF - Rogalandforskning er sertifisert etter et kvalitetssystem basert på NS - EN ISO 9001

Forord

Undersøkelsen er gjennomført på oppdrag fra Fylkesmannen i Rogaland, som har fått økonomisk støtte til prosjektet fra IVAR og Haugesund kommune. Resultatene fra undersøkelsen skal etter hvert danne et grunnlag til å vurdere eventuelle endringer i miljøforholdene.

En rekke personer har vært med på prøveinnsamlingene. Alle takkes for god hjelp og flott innsats. Fra Haugesund kommune har "Lassa" Tønnesen, Jarle Haukås og Knut H. Lid vært feltarbeidere og Veslemøy Eriksen og Øyvind Tvedten fra RF. I Åmøyfjorden har Petter Sværen fra Lunds vågen Naturskole vært båtfører de fleste gangene. I tillegg vil vi takke kapteinene Kjerand Bjørnsen (M/S Føyka) og Børge Jonassen (M/S Diann).

Lars Petter Myhre hos Fylkesmannens miljøvern avdeling har vært kontaktperson hos oppdragsgiver, samt Harald Helgesen fra Haugesund kommune og Henrik Wold fra IVAR.

Asbjørn Bergheim har vært kvalitetssikrer.

Jeg ønsker også å takke Åshild Finnestad (RF) for skanning av kart, samt RF-Miljølab for analyser.

Stavanger, 19.02.01

Øyvind Tvedten, prosjektleder

Innhold

FORORD	I
SAMMENDRAG	III
1 INNLEDNING	1
2 MATERIALE OG METODER	2
2.1 Områdebeskrivelse	2
2.2 Program og gjennomføring	2
2.3 STFs klassifisering av miljøkvalitet	10
3 RESULTATER OG DISKUSJON	12
3.1 Hydrografi og vannkjemi	12
3.2 Sedimentanalyser.....	20
4 LITTERATUR.....	23
5 VEDLEGGSOVERSIKT	24

Sammendrag

Fylkesmannen i Rogaland tok i 1998 initiativ til å få satt i gang en langtidsovervåking av noen sentrale resipienter i Rogaland. Undersøkelsen vil være meget nyttig i forbindelse med forvaltning og bruk av resipientene og de nærliggende områder. Åmøyfjorden og Karmsundet ble valgt som undersøkelsesområder. Resultatene fra undersøkelsen skal etter hvert danne et grunnlag til å vurdere eventuelle endringer i miljøforholdene, dersom de følges opp med nye innsamlinger. Rapporten presenterer resultater fra prøveinnsamlingen fra desember 1999 til og med november 2000. Prøvene omfatter sedimenter (bunndyr, kornstørrelse, TOC, TN, metaller, PAH og PCB) og vann (næringssalter, klorofyll, siktedyp, oksygeninnhold og hydrografi). Bunnprøvene ble samlet i desember 1999 og vannprøvene ved 10 tidspunkt i 1999 og 2000. Det samme antall prøver ble samlet på begge stedene.

Resultatene oppsummeres;

- **Karmsundet**

Prøvestedet ble plassert nord for Karmsundbroen, hvor det var 75 m dypt. Vannsøylen var moderat eller lite lagdelt i store deler av måleperioden. Når det var lagdeling (sprangsjikt) fantes dette rundt 10 m dyp.

Målingene av næringssalt viste at overflatevannet hadde moderate eller lave verdier når det gjaldt totalnitrogen, og høyere nitratinnhold i forhold til SFT's grenseverdier. Vannprøvene ble karakterisert som *meget god* med hensyn til totalnitrogen, og *god* eller *mindre god* når det gjelder nitrat. De fleste prøvene ble karakterisert som *mindre god* med hensyn til fosforforbindelser, det var bare vinterverdiene for fosfat som fikk tilstand *god* (lå på grensen til *mindre god*).

Det var normale algemengder og siktedyp. Oksygeninnholdet i bunnvannet var meget tilfredsstillende, og tyder på god bunnvannutskiftning og/eller moderat oksygenforbruk.

Generelt (og overfladisk vurdert) er næringssaltinnholdet på nivå med det som er funnet de siste årene i dette området.

Bunnen var lite forurenset av metaller og bare to metaller (bly og kadmium) ble funnet i høyere konsentrasjoner enn SFT's grenseverdi for uforurenset sediment. Det var imidlertid høyere innhold av tjærestoffer og organisk materiale, og sedimentet fikk tilstand *sterkt forurenset* og *meget dårlig* med hensyn til disse parametrene. PCB ble funnet i litt forhøyet konsentrasjon (tilstand *moderat forurenset*). Det var forholdsvis mange (57) arter i bunndyrprøvene, men det var likevel tegn til at faunaen var påvirket av miljøgifter og/eller organisk belastning. Ut fra artsmangfoldet fikk stasjonen tilstand: *mindre god*.

- **Åmøyfjorden**

Prøvetakingsstasjonen lå langt ute i Åmøyfjorden i overgangen til Byfjorden. Vanddyppet var 134 m. Vannsøylen var moderat eller lite lagdelt i store deler av måleperioden. Når det var lagdeling (sprangsjikt) fantes dette rundt 10 m dyp. Hydrografidata viste en normal tidsutvikling for våre fjorder, men det var høy overflatetemperatur om høsten.

Målingene av næringssalt viste at overflatevannet hadde moderate eller lave verdier når det gjelder nitrogenforbindelser. Det var noe høyere konsentrasjoner av fosforforbindelser i forhold til SFT's grenseverdier. De fleste vannprøvene ble karakterisert som *meget god* eller *god* med hensyn til nitrogen, og *god* når det gjaldt fosfor. Det var normale mengder og siktedyp. Oksygeninnholdet i bunnvannet var meget tilfredsstillende, og tyder på god bunnvannutskifting og moderat oksygenforbruk. I 1996 ble det antydnet at Åmøyfjorden hadde perioder med lavt oksygeninnhold i bunnvannet, men det ble ikke funnet lavt oksygeninnhold i 1999/2000.

I forhold til målingene som ble gjort i 0-2 m dyp om sommeren 1995 ble det i denne undersøkelsen funnet markert høyere innhold av fosforforbindelser og nitrat. Totalnitrogeninnholdet var derimot litt lavere.

På stasjonen i Åmøyfjorden bestod bunnen av grå-grønt mudder med litt skjellrester. Det organiske innholdet tilsvarte miljøtilstand *god*. Bunnen var ikke forurenset av metall eller PCB og det var bare innholdet av PAH, forbindelsen benzo (a) pyren og TOC som var høyere enn beste tilstandsklassifisering. Generelt var innholdet av miljøgifter lavere enn det som ble funnet i 1995.

1 Innledning

Fylkesmannen i Rogaland tok i 1998 initiativ til å få satt i gang en langtidsovervåking av noen sentrale resipienter i Rogaland. En slik undersøkelse ville være meget nyttig i forbindelse med forvaltning og bruk av resipientene og nærliggende områder. De mest aktuelle problemstillingene er endringer i næringssaltinnhold (trofiutvikling) og organisk belastning som følge av kloakkutslipp, fiskeoppdrett og andre kilder. I tillegg var det interessant å undersøke innholdet av miljøgifter i resipientene og mulige effekter som dette har på dyre- og planteliv. Åmøyfjorden og Karmsundet ble pekt ut som undersøkelsesområder. I begge områder er det gjort en del undersøkelser tidligere. Fylkesmannen søkte økonomisk støtte til prosjektet fra blant annet IVAR og flere aktuelle kommuner. Denne undersøkelsen er hovedsakelig finansiert av IVAR og Haugesund kommune.

Det har tatt over ett år siden planene startet til prøveinnsamlingen kom i gang. I hovedsak fordi det var vanskelig å få finansiert undersøkelsen. Planen er at undersøkelsene skal pågå årlig eller med få års mellomrom slik at datamaterialet økes etter hvert. Resultatene vil øke i verdi etter hvert som årene går, og det blir flere prøveserier. Denne rapporten presenterer resultatene fra prøver som er samlet fra desember 1999 til og med november 2000. Det er ikke gjort noen grundig gjennomgang og tolkning av resultatene i denne prøveperioden. Dette skal gjøres når det er gjort flere innsamlinger og dataomfanget er større, samt at budsjettet tilpasses en grundigere rapportering.

RF ble bedt om å lage et prosjektforslag med kostnader for en langtidsundersøkelse. Bakgrunnsinformasjon til en slik plan vil være erfaring og resultater fra tidligere undersøkelser (se referanser i blant annet Myhrvold *m. fl.* 1997a) i disse områdene og ulike norske standarder og retningslinjer (NS 9420, NS 9422, NS 9423, Molvær *m. fl.* 1997). Overvåkningsprogrammet bør helst foregå hvert år, men innhold og hyppighet kan variere ettersom finansieringen må ordnes hvert år. Det vil også være muligheter for endringer i innhold etterhvert som faglige vurderinger gjør dette hensiktsmessig. Det ble etter hvert laget flere versjoner av prosjektforslagene og denne undersøkelsen blir gjort i henhold til RFs prosjektforslag 97683 versjon 3 (Karmsundet) og 97930 versjon 1 (Åmøyfjorden)

RF har lang erfaring og god kompetanse innen denne type undersøkelser. I 1995 ble RF sertifisert etter kvalitetstandarden ISO-9001. RF Miljølab (som utfører de fleste analyser) er akkreditert etter EN 45001 for en rekke analysemetoder av vann, slam og sedimenter og i 1999 ble RF akkreditert til prøvetaking av marin bløtbunn og opparbeidelse av bunndyrsprøver.

2 Materiale og metoder

2.1 Områdebeskrivelse

Karmsundet

I sør munner Karmsundet ut i Boknafjorden. Det er ingen terskler i denne retningen og vanddypet er 2-300 m. Nordover er Karmsundet mye smalere og grunnere og det er mange holmer og skjær. Vanlig vanddyp er 50 m og grunnere. Under Karmsundbroen er det en terskel på ca. 20 m. De største utslippene til resipienten skjer i området fra Kopervik og nordover. I denne delen er resipienten nokså sterkt forurensset av ulike miljøgifter og organisk materiale. Prøvestasjonen i denne undersøkelsen (Stasjon Ka 11) er plassert nord for broen over til Karmøy (Figur 1). Området som stasjonen ligger i er undersøkt i 1978 (Skei *m.fl.* 1978), 1989 (Knutzen *m.fl.* 1989) og 1997 (Myhrvold *m.fl.* 1997b). Se også oversikt i Myhrvold *m. fl.* 1997a.

Åmøyfjorden

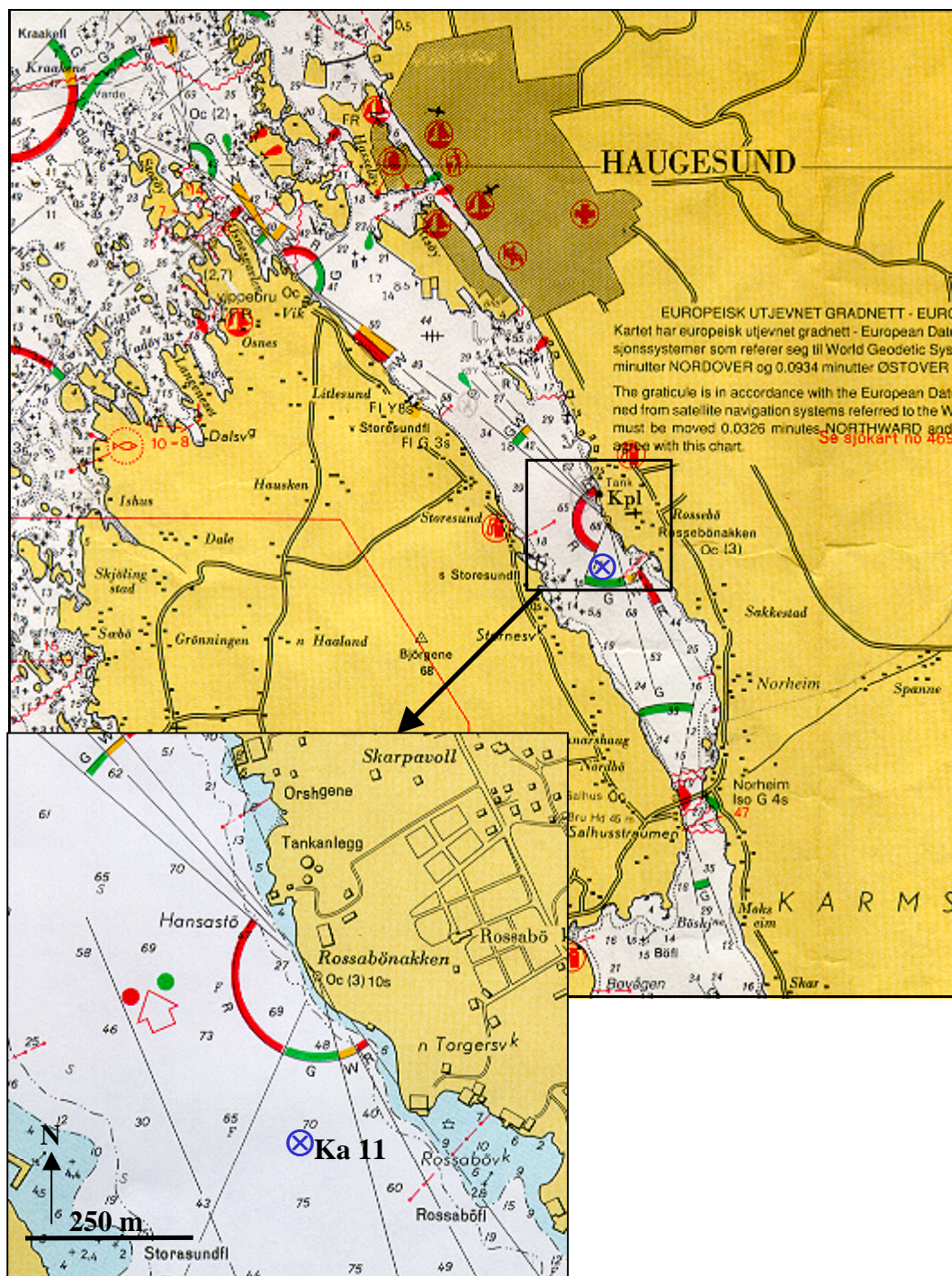
Åmøyfjorden er avgrenset av Bru, Åmøy, Hundvåg og Tungenes. Maksimaldypet er ca. 134 m (iflg. sjøkart 16), og det er ingen grunne terskler ut mot Byfjorden og Boknafjorden i vest. I øst er det mye mer øyer og holmer og smale sund og den dypeste kanalen er på ca. 54 m. Myhrvold *m. fl.* (1997a) konkluderer med at Åmøyfjorden var fra litt til moderat påvirket av ulike forurensningskilder. Den var frem til 1992 en hovedresipient for kloakk fra Stavanger. Prøvestasjonen (Stasjon Åm 1, se Figur 2) i denne undersøkelsen ble plassert så nært som mulig der det tidligere var tatt prøver. Området som stasjonen ligger i er blant annet undersøkt i 1977 (Johannessen 1977), 1984 (Dahle 1984), 1985 (Bokn *m.fl.* 1986) og 1995 (Bokn *m.fl.* 1996), se også oversikt i Myhrvold *m. fl.* (1997a).

2.2 Program og gjennomføring

Undersøkelsen omfatter analyser av vann- og bunnprøver. Det ble tatt vannprøver ved 10 tidspunkt og bunnprøver en gang (desember). De samme stedene ble benyttet til bunn- og vannprøver. Den første prøveinnsamlingen ble gjort i desember 1999 og den siste i november 2000. Vannprøveinnsamlingen ble vanligvis gjort fra en liten åpen plastbåt i Karmsundet og en litt større båt i Åmøyfjorden. Bunnprøven ble samlet fra M/S Føyka i Karmsundet og M/S Diann i Åmøyfjorden. Tabell 1 gir en oversikt over vannprøveinnsamlingen og Tabell 2 over bunnprøvene.

Høsten 1999 ble RF-Miljølab akkreditert til å ta prøver av marin bløtbunn. Dette betyr at feltarbeidet og opparbeidingen av faunaprøvene og sedimentprøvene til kjemiske analyser gjøres i tråd med de norske standardene NS 9420, NS 9422, NS 9423.

Analyse av næringssalter gir kunnskap om områdets næringstilførsel og eutrofitilstand (nivå av næringssalt). Målingene konsentreres om de parametrene og tidspunktene (vinter/sommer) som danner grunnlag for SFTs klassifiseringssystem av miljøkvalitet. Målinger av klorofyll, siktedyp, oksygeninnhold i bunnvann og bunnundersøkelser er *effektparametre* mens målinger av næringssalter gir eventuelle årsaker til tilstanden. Nivået av total nitrogen og – fosfor gir et bilde av det totale næringsinnholdet, mens nitrat og fosfat viser hva som er lettest tilgjengelig for algevekst.



Figur 1. Kart over deler av Karmsundet (utsnitt fra sjøkart nr. 17 og 469) med prøvestasjonen Ka 11 markert ⊗.



Figur 2. Kart over Åmøyfjorden (utsnitt fra sjøkart nr. 16, målestokk 1:50 000) med prøvestasjonen Åm 1 markert ⊗.

Oksygeninnholdet i vannet er avgjørende for utbredelsen av bunndyr og nedbrytnings-hastigheten av organisk materiale. I områder med stagnerende vannmasser og/eller stor organisk tilførsel kan oksygeninnholdet bli lavt eller brukes helt opp. Da dør dyrelivet ut og nedbrytningen av organisk materiale blir sterkt redusert.

Analyse av bløtbunnsamfunn er vanlig i marine miljøundersøkelser og kan gi mye informasjon om miljøforholdene og oksygeninnhold i bunnvannet. Faunaen i fjordbunnen er i hovedsak lite mobil og kan derfor betraktes som et "speil" på den forurensningsbelastning området har vært utsatt for, og representerer ikke bare et øyeblikksbilde. Det finnes mye kunnskap om dyrene sin utbredelse og respons på forurensning samt lavt oksygeninnhold.

Innholdet av miljøgifter i sjøbunnen er spesielt undersøkt med tanke på endringer av innholdet over tid. Avtagende tilførsel vil føre til avtagende nivå i sjøbunnen. Generelt er det vanskelig å se effekter av mange av miljøgiftene på bunndyrssamfunn, så lenge innholdet av miljøgifter er moderat eller lavt. Noen miljøgifter gir imidlertid effekter på dyr og planter i meget lave konsentrasjoner.

2.2.1 Vannsøyle

Målinger av temperatur, saltholdighet og oksygen i Åmøyfjorden ble gjort med en Hydrolab Datasonde[®]3 Multiprobe logger frem til august. Sonden har etter fabrikantens spesifikasjoner følgende nøyaktighet: temperatur $\pm 0,15$ °C, saltholdighet $\pm 0,2$ og oksygeninnhold $\pm 0,2$ mg/l. Deretter ble det brukt en YSI 6820 sonde, som etter fabrikantens spesifikasjoner har følgende nøyaktighet: temperatur $\pm 0,15$ °C, saltholdighet $\pm 0,1$ (eller 1%), oksygeninnhold $\pm 0,2$ mg/l (for prøver 0-20 mg/l) og dyp 0,12 cm (for dyp 0-61m). Bare saltholdighet og oksygeninnhold ble kalibrert før prøveinnsamlingen. Sonden hang i kabel og ble brukt fra overflaten og ned til ca 45 m (Hydrolab) og ca 60 m (YSI). Data ble lagret (minst) for hver 5. meter. I rapporten er saltholdighet oppgitt som "Practical Salinity UNIT, PSU" med symbolet S, dette tilsvarer promille (‰) som ble brukt tidligere (se eventuelt vedlegg i Molvær *m.fl.* 1997). I Karmsundet ble sonde (Hydrolab) brukt på de tre første innsamlingene og i juli, og YSI sonden fra august av. I mai og juni ble saltholdigheten analysert med en WTW måler på RF-Miljølab, i vannprøver fra 0, 2, 5, 10 m dyp og 2 og 10 m over bunn. Det viste seg dessverre å være feil med temperaturkompenseringen i Hydrolabsonden, slik at saltholdighetsmålingene i en gitt vannprøve varierte med temperaturen (øker med lavere temp.). Da vi ble klar over problemet ble det forsøkt unngått ved å kalibrere sonden i kaldt vann (nærmere aktuell sjøtemperatur).

Vannprøvene (næringssalter overflatevann, oksygen i bunnvann) ble samlet fra 0, 2, 5 og 10 m dyp og 2 og 10 m over bunn med en Niskin vannhenter. Klorofyll *a* ble tatt som blandprøve av vann fra 0, 2, og 5 m dyp, en prøve på hver stasjon ved hver innsamling. Oksygeninnholdet i bunnvannet fra hver stasjon ble analysert med Winklers metode. Vannprøvene ble oppbevart i kjølebagg og satt i kjølerom ved ankomst RF-Miljølab inntil videre analyse eller behandling.

RF har stått for all prøveinnsamling i Åmøyfjorden. Personell fra RF var med på de tre første innsamlingene i Karmsundet for å lære tre av Haugesunds kommunes ansatte å

samle vannprøver. Deretter ble prøvene samlet av de tre fra kommunen i mai og juni og prøveflaskene ble sendt med overnattapakke (i kjølebag) til RF-Miljølab. Fra juli og ut året ble prøvene tatt i samarbeid mellom kommunen og RF, eller bare RF. Det ble ført en kort feltjournal ved hver innsamling.

Tabell 1. Antall prøver fra hver stasjon innsamlet i 1999 og 2000. Prøvene til næringsalter ble tatt på 0, 2, 5 og 10 m dyp. Oksygenprøvene ble tatt 2 og 10 m over bunn.

Parameter / dato Karmsundet	21.12	17.01	14.02	09.05	05.06	19.06	04.07	14.08	10.10	07.11
/ dato Åmøyfjorden	20.12	25.01	15.02	08.05	07.06	19.06	06.07	16.08	16.10	13.11
Total fosfor	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Fosfat	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Total nitrogen	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Nitrat	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Siktedyp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Klorofyll <i>a</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Saltholdighet*	-	-	-	6	6	6	-	-	-	-
Sonde (hydrografi)*	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Oksygenmålinger, bunnvann	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

* I Karmsundet ble sonde brukt på syv av innsamlingene. I Åmøyfjorden ble sonde brukt ved alle innsamlingene.

2.2.2 Bunn

På hver stasjon ble det tatt fire sedimentprøver med en 0,1 m² van Veen grabb til faunaanalyser og sedimentet ble beskrevet visuelt. Det ble analysert partikkelstørrelse, organisk innhold (glødetap og som TOC) samt nitrogen (TN) i sedimentprøvene fra de øverste 1-2 cm i alle grabbprøvene. I tillegg ble det laget en blandprøve (ca. en spiseskje fra hvert hugg) på hver stasjon, som ble analysert med hensyn på metaller, PAH og PCB.

Tabell 2. Stasjonsopplysninger, innsamlingsomfang og sedimentbeskrivelse på de to stasjonene 20. og 21. desember 1999. Posisjonene er notert fra båtens GPS (DGPS i Åmøyfjorden) og dypene fra båtens ekkolodd (opprinnelig målt i favner). Full grabb tar 19 liter sediment.

Stasjon Dato	Posisjon (WGS-84)	Dyp (m)	Fyllingsgrad i grabb (prøvevolum i liter)	Prøve	Kommentarer
Åm 1 20.12	59°00,840'N 05°41,170'Ø	124	1. hugg, 19 2. hugg, 19 3. hugg, 19 4. hugg, 19	Fire grabbprøver til bunnfauna, kornfordeling, glødetap, TOC og TN. En blandprøve fra de fire huggene til PAH og PCB og metaller.	Grå-grønt mudder med litt leire. Litt skjellrester. Levende skjell og børstemark.
Ka 11 21.12	59°23,466'N 05°17,073'Ø	77	1. hugg, 13 2. hugg, 17 3. hugg, 12 4. hugg, 11	Fire grabbprøver til bunnfauna, kornfordeling, glødetap, TOC og TN. En blandprøve fra de fire huggene til PAH og PCB og metaller.	Grå-grønt sediment. Skjellsand med mye mudder. Mørkt/svart under sedimentoverflaten, en del slagg og småstein. Markert til sterk H ₂ S-lukt. Børstemark sett. Grabben litt åpen i 3. hugg.

2.2.3 Analyser

2.2.3.1 *Næringsalter*

Analysene ble foretatt ved RF-Miljølab. Totalfosfor: NS 4725 3/84, fosfat: NS 4724 2/84, totalnitrogen: NS 4743 2/93, nitrat + nitritt: NS 4745 2/91 og oksygen NS-ISO 5813 1/93. I overflatesjøvann med tilfredsstillende oksygeninnhold er det normalt ubetydelige mengder nitritt. I rapporten kan resultatene fra nitrat + nitritt analysen omtales som nitrat.

2.2.3.2 *Klorofyll*

Analysene ble foretatt ved RF-Miljølab etter en intern RF metode. Vannprøvene ble filtrert og klorofyll *a* i algene på filteret ble løst med acetone-DMSO og målt/beregnet ved hjelp av absorbanse ved ulike bølgelengder (RF metode RF/2.1-221).

2.2.3.3 *Saltholdighet*

Prøvene ble analysert ved RF-Miljølab med en WTW konduktivitet/saltholdighetsmåler etter en intern RF metode. Nøyaktighet ca. 0,1 S.

2.2.3.4 *Siktedyp*

Siktedyp er et enkelt mål på klarheten til vannet og gir et relativt bilde av algebiomassen. En Secchi skive (hvit, 25 cm) ble senket ned til den var ute av syne, og deretter trukket opp igjen. Snittverdien av dypet hvor skiven forsvant og kom til syne igjen ble notert som siktedypet.

2.2.3.5 *Partikkelstørrelse og organisk innhold (glødetap)*

Analysene ble foretatt ved RF-Miljølab etter intern metode (ikke akkreditert) basert på Buchanan (1984). Sedimentet ble tørket over natten ved 105 °C. 20-30 gr prøve ble veid inn og tilsatt 100 ml 6 % hydrogenperoksid (H₂O₂) for å fjerne organisk karbon. Neste trinn bestod i å tilsette 250 ml vann og 10 ml Natrium hexametafosfat (NaPO₃)₆. Deretter ble prøven splittet i to fraksjoner ved våtsikting (0,063 mm). Den grove fraksjonen (> 63 µm = 0,063 mm) ble analysert ved tørrsikting etter at prøven var tørket over natten ved 105 °C. Det tørre sedimentet ble overført til en siktserie med følgende åpninger; 4, 2, 1, 0,5, 0,25, 0,125, og 0,063 mm og kjørt i ristemaskin i 10 minutter. Materialet som ble liggende igjen på de ulike siktene ble veid til nærmeste 0,01 gram. Andel partikler (vekten) som var mindre enn 0,063 mm ble bestemt ved å trekke summen av vekten til de andre partikkelstørrelsene (> 0,063 mm) fra utgangsvekten til prøven og korrigert for organisk innhold (glødetapsprosent).

Mengden organisk materiale i sedimentet ble analysert som glødetap (vektreduksjon), etter gløding ved 550 °C i minimum 2 timer (NS 4764). På forhånd ble prøven tørket ved 105 °C og det ble innveid ca. 5 gr.

2.2.3.6 *Totalt organisk karbon og total nitrogen*

Sedimentprøvene ble frosset og sendt fra RF-Miljølab til analyse ved NIVAs laboratorium i Oslo. Analysene ble gjort etter forbrenning ved 1800 °C. NIVA metode G6 (akkreditert).

2.2.3.7 *Metaller*

Analysene ble foretatt ved RF. Sedimentprøvene til metallanalysene ble oppsluttet i henhold til Norsk Standard 4770. Prøvene ble tørket ved 50 °C til konstant vekt og ble deretter knust og homogenisert i en agarmorter og siktet gjennom en 0,5 mm nylon sikt. Videre analyser ble utført av fraksjonen av partikler mindre enn 0,5 mm.

Metallene ble ekstrahert ved at 1 gram av fraksjonen ble tilsatt 10 ml 7 M salpetersyre. Prøvene ble deretter overført til en autoklav med konstant temperatur på 120 °C i 30 minutter. Etter avkjøling ble prøvene fortynnet med destillert vann til 50 ml.

Prøvene ble analysert for følgende metaller: krom (Cr), nikkel (Ni), kobber (Cu), sink (Zn), kadmium (Cd), bly (Pb) og kvikksølv (Hg). Metallene ble, med unntak av kvikksølv, analysert i en ICP-MS med indium (In) som intern standard. For kvikksølv ble det benyttet kalddamp-atomabsorpsjon (CV-AAS) med et automatisk injeksjonssystem (FIMS) fra Perkin-Elmer.

Kvalitetskontroll

Kvalitetssikringen omfattet alle faser av analysen inkludert oppslutning av referansemateriale, oppslutning av blanker og oppslutning av replikater. Som referansemateriale ble det valgt MESS-1 og BEST-1. MESS-1 har ingen sertifiserte verdier for kvikksølv, mens BEST-1 bare har sertifiserte verdier for kvikksølv. Resultatene fra referansematerialet gav resultater som er normale i henhold til Norsk Standard.

2.2.3.8 *PAH og PCB*

Sedimentprøvene ble frosset og sendt fra RF-Miljølab til analyse ved Miljø-Kjemis laboratorium i Oslo. Metodene er beskrevet i Vedlegg. PAH: Polysykliske aromatiske hydrokarboner (tjærestoffer). PCB: Polyklorerte bifenylar.

2.2.3.9 *Bunnfauna*

Antallet av arter og individer er primære resultater i bunnfaunaundersøkelser. Ettersom antallet arter og individer i upåvirkede marine sedimenter kan være høyt og derfor vanskelig å få oversikt over, er det hensiktsmessig å sammenfatte informasjonen ved bruk av ulike beregningsmetoder og grafiske fremstillinger.

Ved å redusere datasett med mange variable (her vil hver bunndyrart representere en variabel) til enklere tall eller figurer, vil det på grunn av de enkelte metoders svakheter være fare for at vesentlig informasjon går tapt. Metodene har ulike fordeler og ulemper, og det er derfor vanlig å benytte flere utfyllende og til dels overlappende metoder. I denne undersøkelsen er analysene utført ved hjelp av beregninger og figurfremstillinger som er anbefalt og vanlig brukt i tilsvarende resipientundersøkelser.

Taksonomiske grupper (art og slekt) som er tatt med i de videre analysene, er tatt med ut fra følgende kriterier:

- Artene lever i bunnsedimentet
- Artene er samlet kvantitativt med grabben
- Individene holdes tilbake på sikt med maskevidde 1 mm

- Individene er identifisert til art, slekt eller familie. Unntaket er fåbørstemarken (*Oligochaetae*) og slimormer (*Nemertea*), disse er bare bestemt til gruppe, men er likevel tatt med i analysene.

Dette medfører at grupper som rundmakk samt kolonidannende arter som hydrozoer og svamper ikke er tatt med i analysene. Krepssdyr uten tilknytning til sedimentet er også utelatt fra de videre analyser.

2.2.3.10 Mål på diversitet

Diversitet blir beregnet ut fra antall arter og fordeling av individene på artene i prøven. Med høyt antall arter og jevn individ fordeling mellom artene, vil prøven ha høy diversitet. Diversitet er beregnet som Shannon-Wieners diversitetsindeks (H') (Shannon & Weaver 1963), jevnhet (Pielou 1966), samt diversitetskurver (Hurlbert 1971).

Shannon-Wiener indeksen beregnes som:

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \log_2 p_i$$

Hvor $p_i = n_i / N$, s = totalt antall arter, n_i = antall individer av i 'te art og N = totalt antall individer.

De beregnede verdiene sammenlignes med *grenseverdier* gitt av SFT (Molvær *m.fl.* 1997).

Jevnhet (J) er et mål på hvor jevnt individene er fordelt mellom artene. Verdiene ligger mellom 0 og 1. Verdien vil gå mot 0 om de fleste individene tilhører en art, mens den vil være 1 om alle artene er representert med like mange individer. Ved maksimal diversitet, vil alle artene være representert med like mange individer, det vil si at $H' = \log_2 S = H_{max}$. Forholdet mellom observert (H') og maksimal diversitet (H_{max}), kan derfor sees som et mål på jevnhet (Magurran 1988). Jevnhet beregnes som:

$$J = \frac{H'}{\log_2 S} = \frac{H'}{H_{max}}$$

Et annet mål på artsrikdom er beregnet etter Hurlberts formel (Hurlbert 1971):

$$E(S_n) = \sum_{i=1}^s \left[1 - \frac{\binom{N - N_i}{n}}{\binom{N}{n}} \right]$$

hvor $E(S_n)$ = forventet antall arter i en delprøve av n tilfeldig valgte individer, N = totalt antall individer i prøven, S = totalt antall arter i prøven, og N_i = antall individer av art i .

Det regnes ut forventet antall arter ved 100 individer ($ES_{n=100}$), verdiene sammenlignes med *grenseverdier* gitt av SFT.

2.3 STFs klassifisering av miljøkvalitet

SFT har gitt ut en veiledning som kan brukes til å klassifisere miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann (Molvær *m. fl.* 1997). I veiledningen finnes en del bakgrunnsinformasjon og kommentarer til tabellene med måltall (grenseverdier) for ulike klasser av miljøkvalitet i vann, sedimenter og biologisk materiale. Det kreves en del bakgrunnskunnskap om miljøparametrene og det må ofte brukes skjønn for å kunne bestemme rett tilstandsklasse og å tolke resultatene. Nedenfor (Tabell 3, 4 og 5) har vi tatt med tabeller fra veiledningen som omtaler miljøparametre som er aktuelle for denne undersøkelsen. Virkninger av organiske stoffer karakteriseres blant annet ved hjelp av oksygen i dypvann og artsmangfold for bløtbunnsfauna.

Tabell 3. Klassifisering av tilstand for næringssalter, klorofyll a, og siktedyp i overflatelaget, samt oksygen i dypvannet ved saltholdighet over 20 (se Molvær *m. fl.* 1997).

Parametre		Tilstandsklasser				
		I Meget god	II God	III Mindre god	IV Dårlig	V Meget dårlig
Overflatelag Sommer (juni-august)	Total fosfor ($\mu\text{g P/l}$)*	<12	12-16	16-29	29-60	>60
	Fosfat-fosfor ($\mu\text{g P/l}$)*	<4	4-7	7-16	16-50	>50
	Total nitrogen ($\mu\text{g N/l}$)*	<250	250-330	330-500	500-800	>800
	Nitrat-nitrogen ($\mu\text{g N/l}$)*	<12	12-23	23-65	65-250	>250
	Ammonium-nitrogen ($\mu\text{g N/l}$)*	<19	19-50	50-200	200-325	>325
	Klorofyll a ($\mu\text{g /l}$) Siktedyp (m)	<2 >7,5	2-3,5 7,5-6	3,5-7 6-4,5	7-20 4,5-2,5	>20 <2,5
Overflatelag Vinter (desember- februar)	Total fosfor ($\mu\text{g P/l}$)*	<21	21-25	25-42	42-60	>60
	Fosfat-fosfor ($\mu\text{g P/l}$)*	<16	16-21	21-34	34-50	>50
	Total nitrogen ($\mu\text{g N/l}$)*	<295	295-380	380-560	560-800	>800
	Nitrat-nitrogen ($\mu\text{g N/l}$)*	<90	90-125	125-225	225-350	>350
	Ammonium-nitrogen ($\mu\text{g N/l}$)*	<33	33-75	75-155	155-325	>325
Dypvann	Oksygen (ml/l)**	>4,5	4,5-3,5	3,5-2,5	2,5-1,5	<1,5
	Oksygen (mg/l)**	>6,4	6,4-5	5-3,6	3,6-2,1	<2,1
	Oksygen metning (%) ***	>65	65-50	50-35	35-20	<20

* Omregningsfaktoren til mg-at/l er 1/31 for fosfor og 1/14 for nitrogen.

** Omregningsfaktoren mellom mg O₂/l og ml O₂/l er 1,42.

*** Oksygenmetningen er beregnet for saltholdighet 33 og temperatur 6° C.

Tabell 4. Klassifisering av tilstand ut fra innhold av metaller og klororganiske forbindelser i sedimenter (se Molvær *m. fl.* 1997).

Parametre		Tilstandsklasser				
		I Ubetydelig- Lite forurenset	II Moderat forurenset	III Markert forurenset	IV Sterkt forurenset	V Meget sterkt forurenset
Metaller m.m. i sedimenter (tørrvekt)	Arsen (mg As/kg)	<20	20-80	80-400	400-1000	>1000
	Bly (mg Pb/kg)	<30	30-120	120-600	600-1500	>1500
	Fluorid (mg F/kg)	<800	800-3000	3000-8000	8000-20000	>20000
	Kadmium (mg Cd/kg)	<0,25	0,25-1	1-5	5-10	>10
	Kobber (mg Cu/kg)	<35	35-150	150-700	700-1500	>1500
	Krom (mg Cr/kg)	<70	70-300	300-1500	1500-5000	>5000
	Kvikksølv (mg Hg/kg)	<0,15	0,15-0,6	0,6-3	3-5	>5
	Nikkel (mg Ni/kg)	<30	30-130	130-600	600-1500	>1500
	Sink (mg Zn/kg)	<150	150-700	700-3000	3000-10000	>10000
	Sølv (mg Ag/kg)	<0,3	0,3-1,3	1,3-5	5-10	>10
	TBT ¹⁾ (µg/kg)	<1	1-5	5-20	20-100	>100
	Organiske miljøgifter i sedimenter (tørrvekt)	∑PAH ²⁾ (µg/kg)	<300	300-2000	2000-6000	6000-20000
B(a)P ³⁾ (µg/kg)		<10	10-50	50-200	200-500	>500
HCB ⁴⁾ (µg/kg)		<0,5	0,5-2,5	2,5-10	10-50	>50
∑PCB ₇ ⁵⁾ (µg/kg)		<5	5-25	25-100	100-300	>300
EPOCl ⁶⁾ (µg/kg)		<100	100-500	500-2000	2000-15000	>15000
TE _{PCDF/D} ⁷⁾ (ng/kg)		<0,01	0,01-0,03	0,03-0,10	0,10-0,5	>0,5
∑ DDT ⁸⁾ (µg/kg)		<0,5	0,5-2,5	2,5-10	10-50	>50

- 1) TBT: Tributyltinn (antibegroingsmiddel i skipsmalning).
- 2) PAH: Polysykliske aromatiske hydrokarboner. Gruppe tjærestoffer der en del forbindelser er potensielt kreftfremkallende (KPAH), deriblant benzo(a)pyren (B(a)P). ∑PAH: sum av tri- til heksasykliske forbindelser bestemt ved gasskromatografi med glasskapillarkolonne. Inkluderer de 16 i EPA protokoll 8310 minus naftalen (disyklisk). Omfatter dessuten alle KPAH (gr. 2A og gr. 2B i IARC 1987).
- 3) Se under PAH.
- 4) HCB: Heksaklorbenzen.
- 5) PCB: Polyklorete bifenyler. Gruppe forbindelser (ulike kommersielle blandinger). ∑PCB₇ = sum av de 7 enkeltforbindelsene nr 28, 52, 101, 118, 138, 153 og 180. I den tidligere utgave av veiledningen er PCB angitt som total PCB ut fra likhet med kommersielle blandinger. Enkelte PCB har dioksinlignende egenskaper (se note 2 til tabell).
- 6) EPOCl: Ekstraherbart persistent organisk bundet klor.
- 7) Toksisitetsekvivalenter, se note 2 til tabell.
- 8) DDT: Diklordifenyltrikloretan. ∑ DDT betegner sum av DDT og nedbrytningsproduktene DDE og DDD.

Tabell 5. Klassifisering av tilstand for organisk innhold i sediment og bløtbunnsfauna (se Molvær *m. fl.* 1997).

Parametre		Tilstandsklasser				
		I Meget god	II God	III Mindre god	IV Dårlig	V Meget dårlig
Sediment	Organisk karbon (mg/g)	<20	20-27	27-34	34-41	>41
Artsmangfold for bløtbunnsfauna	Hurlberts indeks (ES _{n=100})	>26	26-18	18-11	11-6	<6
	Shannon-Wiener indeks (H)	>4	4-3	3-2	2-1	<1

3 Resultater og diskusjon

3.1 Hydrografi og vannkjemi

Innholdet av næringssalter brukes som et mål på om fjorden tilføres mye eller lite næringssalt. Innholdet av klorofyll *a* i overflateskiktet og oksygen i bunnvann er mer et mål på **effekter** av næringssalttilførselen. Mye klorofyll viser det er mye alger i vannet, og det tyder på høyt næringssaltinnhold/tilførsel. Lavt oksygeninnhold i bunnvannet viser at oksygenforbruket er stort, som følge av tilførsel av mye organisk materiale (alger, kloakk og lignende) til vannet, eller at det er dårlig bunnvannsutskiftning. Målingene av temperatur, saltholdighet (og oksygen) i vannsøylen brukes som støtteparametre ved tolkning av resultatene. Sonedataene er vist i Vedlegg 1 og resten av vannresultatene er vist i Vedlegg 2. Vi gjør oppmerksom på at linjene mellom punktene i figurene (plottene) ikke viser reelle verdier, men er tatt med for å lette lesingen av figurene.

3.1.1 Kort om feltarbeidet, værforhold, observasjoner

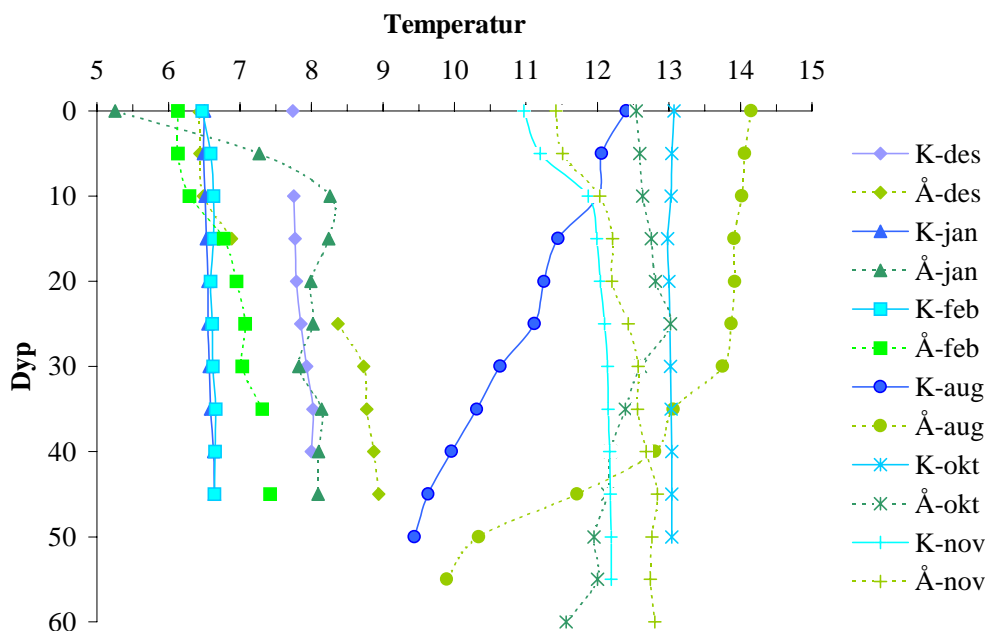
Stort sett har feltarbeidet gått greit. Været har vært tilfredsstillende for prøvetakingen og innsamlingene har med få unntak fulgt oppsatt plan.

Tabell 6. Kommentarer til feltarbeidet.

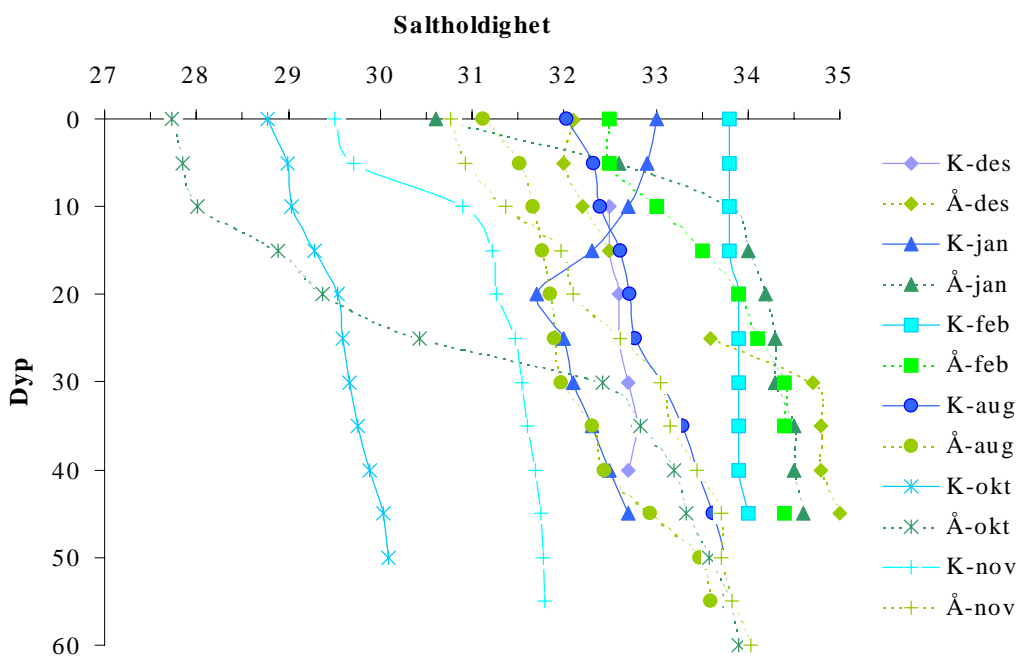
Dato	Sted	Kommentarer
20.12	Åmøyfj.	M/S Diann. Nordlig bris, sol. Bunn- og vannprøver
21.12	Karms.	M/S Føyka. Lettskyta bris, kaldt. Bunn-og vannprøver.
25.01	Åmøyfj.	Svak nord-vest bris. Skya.
17.01	Karms.	Nord-vest stiv kuling. En god del sjø. Overskyet
15.02	Åmøyfj.	Vestlig frisk bris. Stor avdrift. Bunnvannsprøvene tatt på ca 120 m dyp.
14.02	Karms.	Sør-østlig svak bris. Sol, kaldt. Svak nordlig strøm.
08.05	Åmøyfj.	Nord-vestlig bris, sol. Våroppblomstring godt i gang. Mye fint vær.
09.05	Karms.	Kjempe bra vær.
07.06	Åmøyfj.	Skya, stille. Oppblomstring av kalkalgen <i>Emiliana huxleyi</i> har vart i ca 14 dager.
05.06	Karms.	-
19.06	Åmøyfj.	Sol. Sørlig kuling. En del bølger, stor avdrift
19.06	Karms.	Lettskyet, sterk bris.
06.07	Åmøyfj.	Nord-vest bris. Skyet.
04.07	Karms.	Nordlig bris. Lettskyet. Nordgående strøm.
16.08	Åmøyfj.	Lett bris, sol/skya, varmt.
14.08	Karms.	Sør-østlig bris. Regn. Sterk sørgående strøm.
16.10	Åmøyfj.	Stille lettskyet.
10.10	Karms.	Sør-østlig frisk bris. Lettskyet/sol. Sterk sørgående strøm.
13.11	Åmøyfj.	Sørlig bris, opphold.
07.11	Karms.	Østlig frisk bris. Skyet, opphold. Lite strøm, fjære sjø.

3.1.2 Temperatur, saltholdighet og oksygen

I perioden desember til februar var overflatetemperaturen fra 5 til 8 °C. I fra august til november var temperaturen 11-14 °C (Figur 3). Det er tydelig at den milde høsten har ført til at sjøvannstemperaturen senhøstes er mye høyere i 2000 enn i 1999. Både høst og vinter er det perioder hvor det er jevn temperatur i de øverste 30-50 m av vannsøylen.



Figur 3. Noen temperaturer plottet mot dyp i Karmsundet (K) og Åmøyfjorden (Å) fra desember 2000 til november 2001.



Figur 4. Noen saltholdighetsdata plottet mot dyp i Karmsundet (K) og Åmøyfjorden (Å) fra desember 2000 til november 2001. Data frem til august er noe tvilsomme.

Saltholdigheten i overflaten var lavest i november og høyest i februar. Stasjonene veksler mellom å være mest ferskvannspåvirket i overflaten, men vanligvis er det lavest saltholdighet i Åmøyfjorden. Ut fra beliggenheten til stasjonene, og det en vet angående ferskvanntilførsel, ville en forvente at Åmøyfjorden var noe mer ferskvannspåvirket enn Karmsundet.

Oksygeninnholdet var tilfredsstillende høyt i vannsøylemålingene som ble gjort med sondene. Oksygeninnholdet i bunnvannet er diskutert i eget kapittel.

Målingene med sondene viser at det ofte er stor forskjell i vannkvalitet mellom de to stasjonene. Dette gjelder ikke bare i overflaten, men i hele vannsøylen ned til 40-60 m. Vannet er ofte nokså svakt sjiktet, men når det er et tydelig sprangsjikt (stor tetthetsforskjell) ligger dette på 10 m. Lite markert lagdeling fører til større mulighet for blanding av de øverste vannmassene, og det kan igjen føre til næringssalttilførsel til overflatevannet.

Resultatene fra hydrografimålingene viser at vannprøvene ned til 10 m representerer overflaten og at saltholdigheten er over 20. Det betyr at næringssaltprøvene er tatt i vannmasser som passer til klassifiseringssystemet (SFT) for overflatevann og saltholdigheter over 20.

3.1.3 Næringssalter

For å tolke næringssaltdataene og å inndele prøvene i SFTs klassifiseringssystem er det nødvendig å gjøre en del valg. SFT har gitt grenseverdier for prøver som er tatt om sommeren (juni-august) eller vinteren (desember-februar). Prøvene i denne undersøkelsen representerer ulike årstider, vanddyb og vannsjikt, men de fleste prøvene er samlet om vinteren eller sommeren. Vi har valgt å bruke alle næringssaltdataene (0, 2, 5 og 10 m) til å beregne gjennomsnittsinhold. Det viser seg at de stort sett er nokså jevne mellom ulike dyp selv om det av og til øker med økende dyp. Ut fra hydrografi-målingene kan en se at prøvene representerer overflatevann.

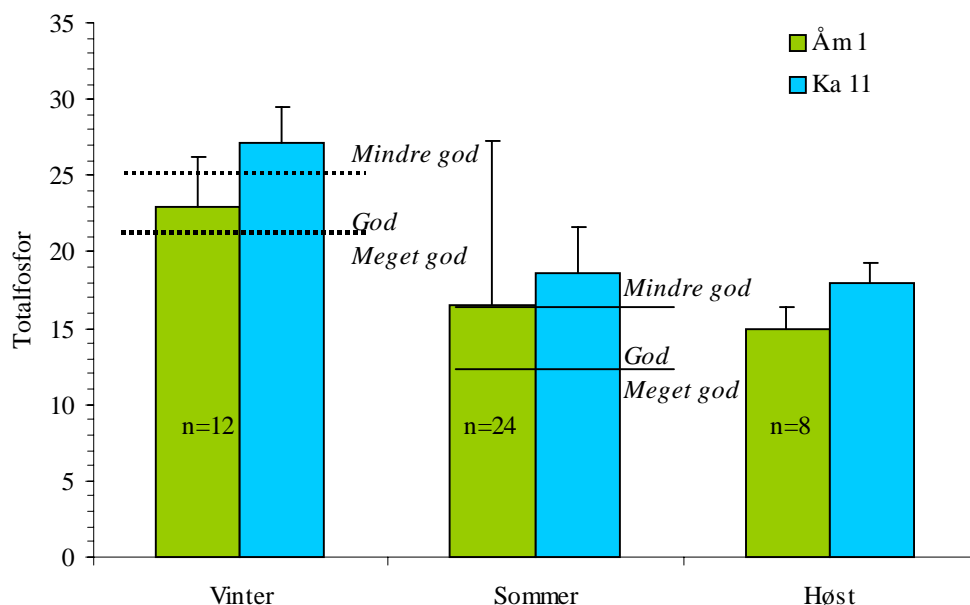
Vi har også valgt å stort sett holde SFTs inndeling av prøvene i årstider, men målingene fra mai har vi valgt å ta med i sommerperioden. Innholdet av næringssalter i mai var på nivå med de andre sommermålingene. Da ble det bare innsamlingen i oktober og november som ikke inngår i SFT klassifiseringen. Innholdet i oktoberprøvene ligner mest på sommerverdiene. Også for fosforforbindelsene i november er på nivå med sommerinnholdet, mens nitrogenforbindelsene i november er på nivå med vinterverdiene, og kunne dermed vært inkludert i tilstandsklassifiseringen for vinter. Målingene i oktober og november har vi satt opp i egne "høst-søyler" i figurene.

Ved innsamlingen i oktober ble det i Åmøyfjorden tatt to ekstra vannprøver på 5 m dyp, en prøve ca 1 km mot Åmøy og en prøve ca 1 km mot Ulsnes. Dette ble gjort for på en enkel måte å se om det var store forskjeller innen et begrenset område, eller om stasjonen i Åmøyfjorden var representativ for et større område. Resultatene tyder ikke på at det var noen vesentlige forskjeller, men det understrekes at prøveomfanget var for lavt til at det kan kalles vitenskapelig begrunnet.

Totalfosfor

I Åmøyfjorden ligger både vinter og sommerverdiene for totalfosfor i tilstandsklasse II (Figur 5). Dette viser at det generelt var høyere innhold enn det SFT setter som grense for beste tilstandsklasse.

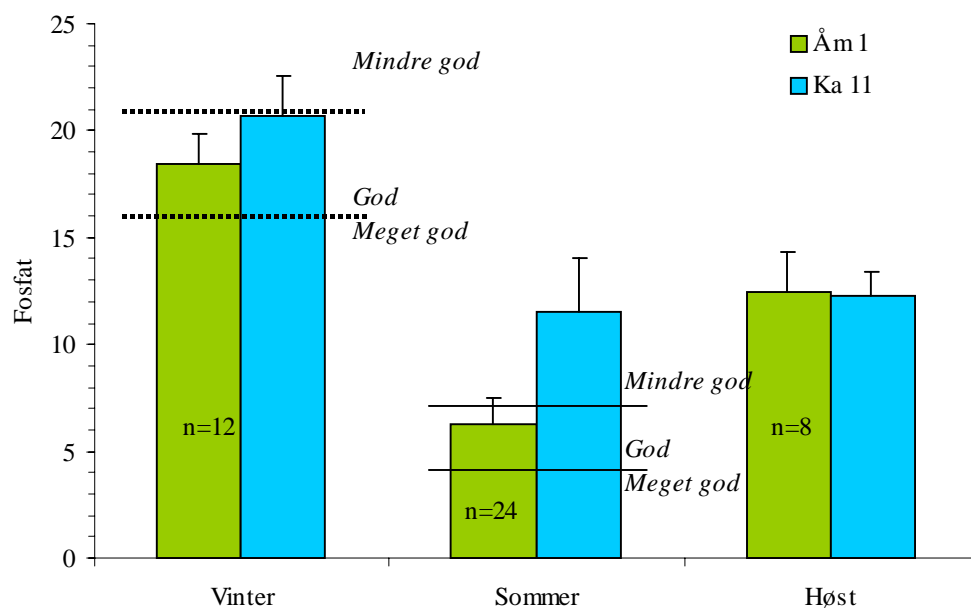
I Karmsundet var det høyere innhold enn i Åmøyfjorden og overflatevannet får tilstandsbenevnelse *mindre god*. Dette gjelder både sommer og vinter.



Figur 5. Gjennomsnittsinhold av totalfosfor ($\mu\text{g/l P}$) i overflatevann fra Karmsundet (Ka 11) og Åmøyfjorden (Åm 1). Prøvene er inndelt i vinter, sommer og høst. Antall prøver som inngår i gjennomsnittet (hver søyle) er vist med $n=$ og er likt for begge stasjoner. Vertikale streker viser standardavvik. Horisontale streker viser grenseverdier ifølge SFT veiledning 97:03. Det er ikke gitt verdier for høst eller vår. Meget høyt totalfosforinnhold i de to dypeste prøvene i Åmøyfjorden i juli ga stort standardavvik.

Fosfat

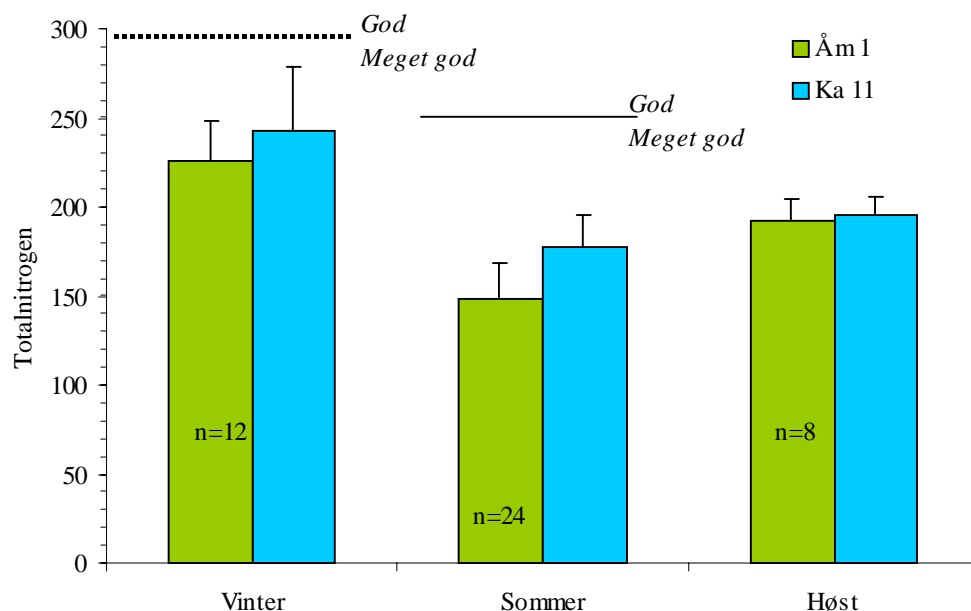
Overflatevannet i Åmøyfjorden fikk tilstand II, både sommer og vinter (Figur 6). Karmsundet hadde høyere innhold og fikk klasse II om vinteren og III om sommeren. Resultatene tyder på at begge områdene mottok mer fosfat enn det som raskt ble tatt opp og omsatt av algene.



Figur 6. Gjennomsnittsinhold av fosfat ($\mu\text{g/l P}$) i overflatevann fra Karmsundet (Ka 11) og Åmøyfjorden (Åm 1). Prøvene er inndelt i vinter, sommer og høst. Antall prøver som inngår i gjennomsnittet (hver søyle) er vist med $n=$ og er likt for begge stasjoner. Vertikale streker viser standardavvik. Horisontale streker viser grenseverdier ifølge SFT veiledning 97:03. Det er ikke gitt grenseverdier for høst eller vår.

Totalnitrogen

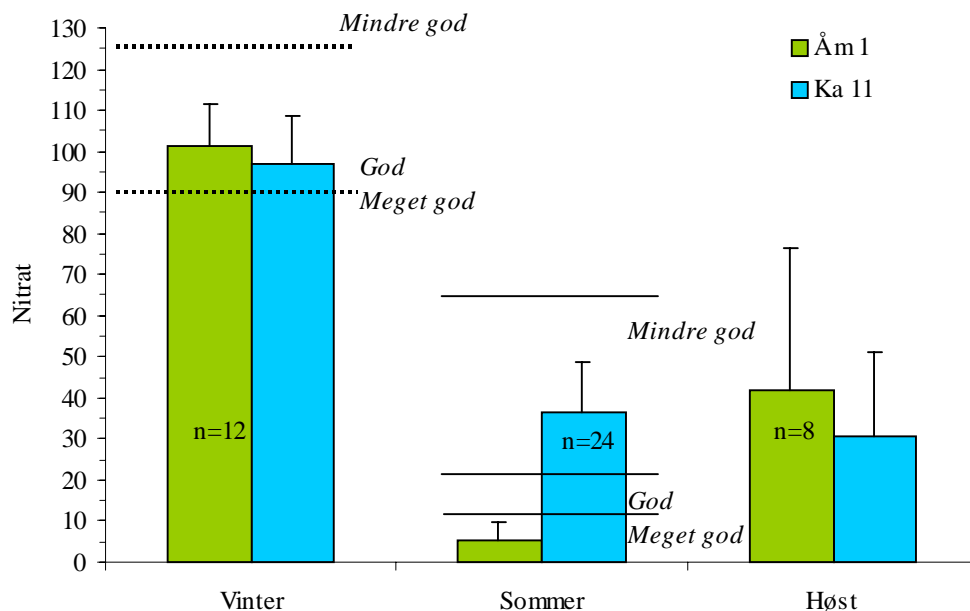
Begge fjordområdene hadde et totalnitrogeninnhold som var klart lavere enn SFT's grenseverdi mellom klasse I og II (Figur 7). Dette tyder på at den generelle nitrogentilførselen var forholdsvis moderat.



Figur 7. Gjennomsnittsinhold av totalnitrogen ($\mu\text{g/l N}$) i overflatevann fra Karmsundet (Ka 11) og Åmøyfjorden (Åm 1). Prøvene er inndelt i vinter, sommer og høst. Antall prøver som inngår i gjennomsnittet (hver søyle) er vist med $n=$ og er likt for begge stasjoner. Vertikale streker viser standardavvik. Horisontale streker viser grenseverdier ifølge SFT veiledning 97:03. Det er ikke gitt grenseverdier for høst eller vår.

Nitrat

Nitratinnholdet i Åmøyfjorden lå i tilstand I om sommeren og II om vinteren (Figur 8). Karmsundet fikk samme vinterklassifisering, og klasse III om sommeren. Resultatene tyder på at Karmsundet var mer påvirket av lokale nitrat kilder enn Åmøyfjorden.



Figur 8. Gjennomsnittsinhold av nitrat ($\mu\text{g/l N}$, nitrat + nitritt) i overflatevann fra Karmsundet (Ka 11) og Åmøyfjorden (Åm 1). Prøvene er inndelt i vinter, sommer og høst. Antall prøver som inngår i gjennomsnittet (hver søyle) er vist med $n=$ og er likt for begge stasjoner. Vertikale streker viser standardavvik. Horisontale streker viser grenseverdier ifølge SFT veiledning 97:03. Det er ikke gitt grenseverdier for høst eller vår.

Det er en betydelig reduksjon i innholdet av næringssalt (særlig fosfat og nitrat) fra vinter til sommer. Dette viser at algene i vannet bruker mye av de oppløste næringssaltene når det er vekstssesong. I begge fjordområdene er innholdet av totalnitrogen lavt, mens det er mye oppløste nitrogenforbindelser om sommeren i Karmsundet. Generelt er miljøtilstanden dårligere når det gjelder fosforforbindelsene enn nitrogenforbindelsene.

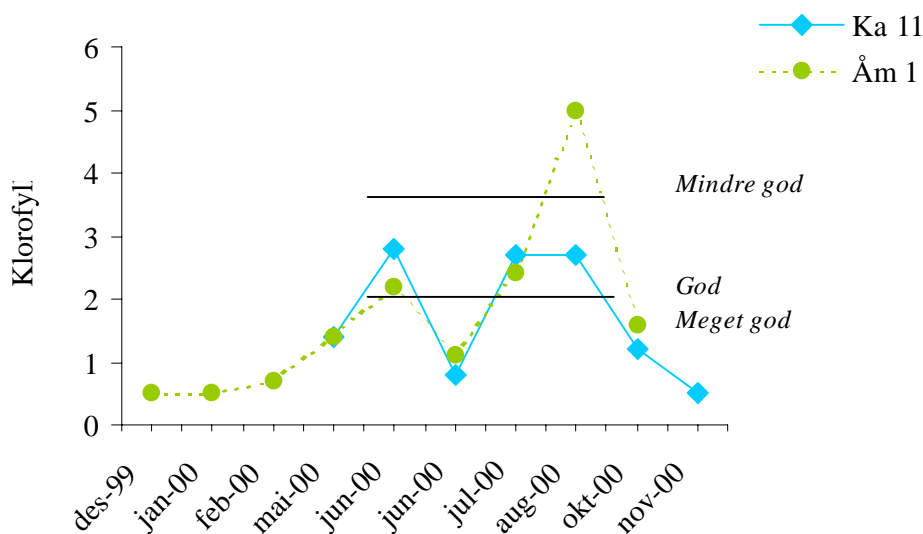
Forholdet mellom nitrogen og fosfor i planteplankton er 7:1 på vektbasis. En antar at plankton ønsker omtrent samme forhold i vannet for god vekst. N/P forholdet i denne undersøkelsen ligger rundt 10, når en ser på gjennomsnittet (Tot.N og Tot.P) for hele året. Det er noe høyere i Åmøyfjorden enn i Karmsundet, men ikke mye. Et N/P forhold på 10 tyder på at algeveksten er fosfatbegrenset. Ser en på de løste næringsstoffene nitrat og fosfat om sommeren er N/P forholdet på 2-3 i Karmsundet og rundt 1 i Åmøyfjorden. Dette tyder på nitrogenbegrensing i sommerhalvåret.

3.1.4 Klorofyll a og siktedyp

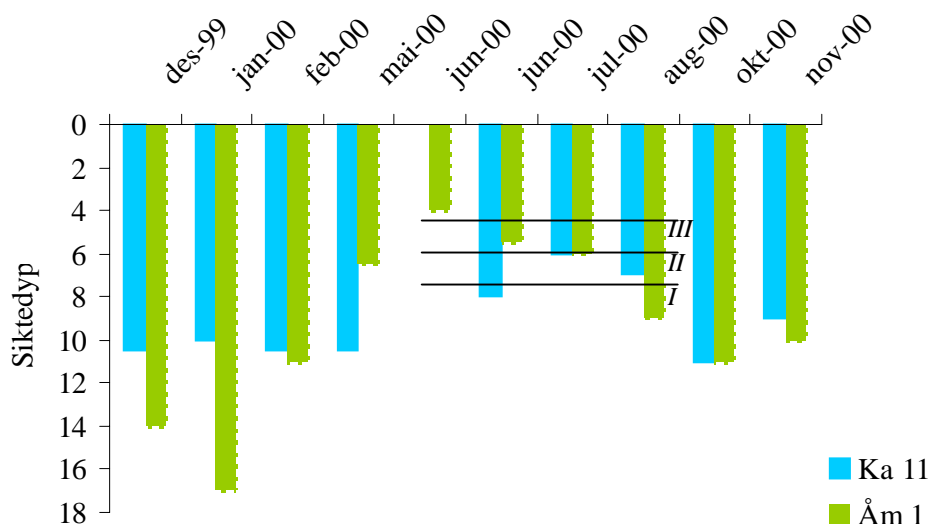
Klorofyllverdiene var lave i begynnelsen av prøveserien (Figur 9). Så var det en tydelig økning i mai og juni. Ved den andre målingen i juni var det lavt klorofyllinnhold og det

skyldes trolig at næringssaltene var brukt opp tidligere (lave verdier i begynnelsen av juni) og selv om de nå hadde økt igjen, hadde dette ikke gitt seg utslag i høy algebiomasse. Klorofyllnivået om sommeren ligger i tilstandsklasse I-III. Det er ikke noen systematiske forskjeller mellom stasjonene. Selv om Karmsundet generelt har mye høyere næringssaltinnhold, er det andre faktorer (enn de vi har målt) som er med å styrer algeproduksjonen.

Siktedypet (Figur 10) endret seg sammen med klorofyllnivået, og det tyder som ventet at algemengden påvirker sikten i vannet. I begynnelsen av juni var sikten dårlig. Imidlertid skyldes den dårlige sikten oppblomstring av en liten kalkalge (*Emilianaia huxleyi*) som helt normalt opptrer i høye konsentrasjoner i vestlandsfjorder om sommeren. Ved den neste innsamlingen hadde denne oppblomstringen kuliminert og utover høsten økte siktedypet igjen.



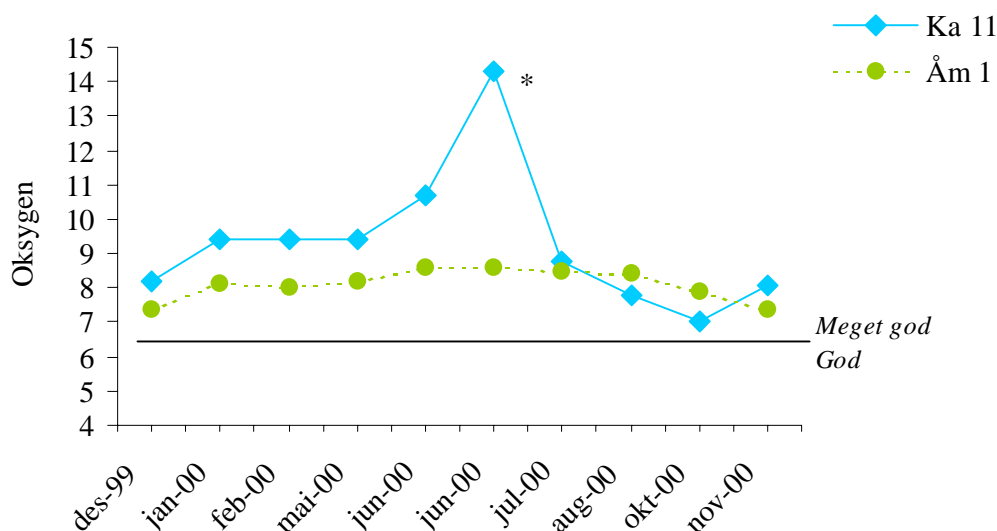
Figur 9. Klorofyllinnholdet ($\mu\text{g kl.f. } a/l$) i overflatevann fra Karmsundet (Ka 11) og Åmøyfjorden (Åm 1). Horisontale streker viser grenseverdier ifølge SFT veiledning 97:03. Det er ikke gitt grenseverdier for vinter, høst eller vår. Verdier under 0,5 er ikke med i figuren.



Figur 10. Siktedyp (m) i Karmsundet (Ka 11) og Åmøyfjorden (Åm 1). Horisontale streker viser grenseverdier ifølge SFT veiledning 97:03. Det er ikke gitt grenseverdier for vinter, høst eller vår. En verdi for Karmsundet juni mangler.

3.1.5 Oksygen i bunnvann

Analysene av vannet viste at det var tilfredsstillende oksygenforhold i begge områdene i hele perioden. Generelt var det meget små forskjeller i målingene fra 2 og 10 m over bunnen. Begge områdene har god vannutsiftning over bunnen, og fikk miljøtilstand *meget god* (Figur 11). I Karmsundet har det trolig at det har skjedd noe under prøvetaking (eller analyse) av vannprøvene i juni, 2 m over bunn, da disse to oksygenverdiene var uvanlig høye.



Figur 11. Oksygeninnhold (mg/l) i bunnvannet (2 m over bunn) i Karmsundet (Ka 11) og Åmøyfjorden (Åm 1). Horisontal strek markerer grenseverdi for SFT tilstandsklasser ut fra oksygenminimum i bunnvann. * målingen er trolig feil.

3.1.6 Kort oppsummering og konklusjon, vannprøver

3.1.6.1 Åmøyfjorden

Vannsoylen var moderat eller lite lagdelt i store deler av måleperioden. Når det var lagdeling (sprangsjikt), fantes dette rundt 10 m dyp. Hydrografidata viste en normal tidsutvikling for våre fjorder, men det var uvanlig høy overflatetemperatur om høsten.

Målingene av næringssalt viste at overflatevannet hadde moderate eller lave verdier når det gjaldt nitrogenforbindelser. Det var noe mer fosforforbindelser i forhold til SFT's grenseverdier. De fleste vannprøvene ble karakterisert som *meget god* eller *god* med hensyn til nitrogen, og *god* når det gjaldt fosfor. Det var normale mengder og siktedyp. Oksygeninnholdet i bunnvannet var meget tilfredsstillende, og tyder på god bunnvannutsiftning og moderat oksygenforbruk.

I forhold til målingene som ble gjort i 0-2 m dyp om sommeren 1995 (Bokn *m.fl.* 1996) ble det i denne undersøkelsen funnet markert høyere innhold av fosforforbindelser og nitrat. Totalnitrogeninnholdet var derimot litt lavere. I 1995 ble det funnet betydelig høyere (29) tot.N/tot.P -forhold mot 10 i denne undersøkelsen. Det var altså et større

overskudd av nitrogen i 1995. Dette viser også nytteverdien av å gjøre tidsserie-innsamlinger og at forholdene kan variere mye. I 1996 ble det antydnet at Åmøyfjorden hadde perioder med lavt oksygeninnhold i bunnvannet. Det ble ikke funnet lavt oksygeninnhold i 1999/2000.

3.1.6.2 Karmsundet

Vannsoylen var moderat eller lite lagdelt i store deler av måleperioden. Når det var lagdeling (sprangsjikt) fantes dette rundt 10 m dyp. Hydrografidata viste en normal tidsutvikling for våre fjorder, men det var uvanlig høy overflatetemperatur om høsten.

Målingene av nærings salt viste at overflatevannet har moderate eller lave verdier når det gjelder totalnitrogen, og høyere nitratinnhold i forhold til SFT's grenseverdier. Vannprøvene blir karakterisert som *meget god* med hensyn til totalnitrogen, og *god* eller *mindre god* når det gjelder nitrat. De fleste prøvene ble karakterisert som *mindre god* med hensyn til fosforforbindelser, det var bare vinterverdiene for fosfat som fikk tilstand *god* (lå på grensen til *mindre god*).

Det var normale algemengder og siktedyp. Oksygeninnholdet i bunnvannet var meget tilfredsstillende, og tyder på god bunnvannutskiftning og/eller moderat oksygenforbruk.

Generelt (og overfladisk vurdert) er nærings saltinnholdet på nivå med det som er funnet tidligere i dette området. Se Myhrvold *m.fl.* (1996) og Tvedten og Eriksen (1999).

3.2 Sedimentanalyser

Beskrivelse av sedimentene under feltarbeidet er gitt i Tabell 2. Resultatene fra analysene er gitt i vedleggene og oppsummert i Tabell 7 og 8 nedenfor. I prøvene fra sjøbunnen ble det gjort analyse av kornstørrelse, innhold av nitrogen (TN), karbon (TOC), metaller, tjærestoffer (PAH), polyklorerte bifenyler (PCB) og bunndyr.

3.2.1 Åmøyfjorden

I Åmøyfjorden bestod bunnen av grå-grønt finkornet mudder (leire og silt) med litt skjellrester. Det organiske innholdet tilsvarte miljøtilstand *god*. Bunnen var ikke forurenset av metall eller PCB og det var bare innholdet av PAH, forbindelsen benzo (a) pyren og TOC som var høyere enn beste tilstandsklassifisering. Generelt var innholdet av miljøgifter lavere enn det som ble funnet i 1995.

Det ble funnet 65 arter og 2296 individer i de fire grabbprøvene fra Åmøyfjorden. Dette er et nokså høyt artsantall og viser at miljøforholdene er tilfredsstillende for et rikt dyreliv. Det var noen små rørbyggende børstemarkar (*Heteromastus filiformis* og *Polydora ciliata*) som var mest vanlige i prøvene. De er også vanlige å finne i andre fjordområder. *Polydora ciliata* kan i noen tilfeller indikere forurensede miljøforhold. Siden disse to artene hadde mer enn 60 % av individantallet, ble den beregnede diversiteten 3,1 og det er lavere enn beste SFT tilstandsklasse. Stasjonen fikk dermed SFT tilstand II (*god*).

Tabell 7. Resultater fra sedimentanalyser. Det er flere detaljer i vedleggene. Resultatene (pr kg tørrvekt) er inndelt i tilstandsklasser etter grenseverdier i SFT's veiledning. i.p. betyr ikke påvist.

Parameter	Åmøyfjorden	SFT
Arsen (mg As/kg)	2,20	I
Bly (mg Pb/kg)	18,5	I
Kadmium (mg Cd/kg)	0,06	I
Kobber (mg Cu/kg)	7,82	I
Krom (mg Cr/kg)	8,41	I
Kvikksølv (mg Hg/kg)	0,019	I
Nikkel (mg Ni/kg)	9,36	I
Sink (mg Zn/kg)	30,5	I
Sølv (mg Ag/kg)	0,16	I
ΣPAH(µg/kg)	500	II
B(a)P (µg/kg)	38	II
ΣPCB ₇ (µg/kg)	i.p.	I
TOCmg/kg	25	II
Bunndyr, diversitet (H')	3,11	II

3.2.2 Karmsundet

På stasjonen i Karmsundet var det skjellsand med mye mudder, og det var mørkt på farge under sedimentoverflaten. Den mørke fargen skyldes trolig sulfider, som er svarte, og indikerer at det var lite oksygen i sjøbunnen. Dette passer også godt med at det luktet hydrogensulfid (H₂S) av sedimentet. Lavt oksygeninnhold skyldes trolig stor tilførsel av organisk materiale. Det organiske innholdet tilsvarte miljøtilstand *meget dårlig*. Bly- og kadmiuminnholdet fikk tilstand II (*moderat forurenset*) de andre metallene var lavere enn grenseverdien for *ubetydelig-lite forurenset*. Et PCB-innhold på 8,5 µg/kg tilsvarende *moderat forurenset* i følge SFT klassifisering. PAH-innholdet var høyt og bunnen fikk tilstand IV, *sterkt forurenset* sammen med forbindelsen benzo (a) pyren. Forrige måling av miljøgifter i dette området ble gjort i 1989 (Knutzen *m.fl.* 1989). Generelt var det lavere innhold av miljøgifter i 1999 enn i 1989. Prøveantallet er likevel for lite til at dette kan vektlegges. Fremdeles er sjøbunnen forurenset.

Bunndyrene viser også tegn til å være utsatt for forurensning og organisk belastning. De to mest tallrike artene var mangebørstemarken *Tharyx marioni* og fåbørstemarken. Dette er arter som er tolerante overfor dårlige miljøforhold. Totalt ble det funnet 57 arter i prøvene og det er bra, og viser at det er mange arter som kan leve i sedimentet. I 1989 var det 44 arter i det samme området. På grunn av forholdsvis skjev fordeling av individene blant de 57 artene, ble jevnheten og diversiteten (arts mangfoldet) forholdsvis lav. Stasjonen fikk tildelt tilstandsklasse III (*mindre god*) basert på diversitet. Det var betydelig færre arter og individer i det fjerde grabbhugget i forhold til de andre prøvene fra stasjonen. Selv om prøvevolumet var minst i den siste grabbprøven, kan ikke dette forklare hele forskjellen. Trolig er det heller et utslag av at bunndyrene er flekkvis fordelt på sjøbunnen, og det fjerde hugget ble tatt en litt annen plass enn de tre første prøvene.

Tabell 8. Resultater fra sedimentanalyser. Det er flere detaljer i vedleggene. Resultatene (pr kg tørrvekt) er inndelt i tilstandsklasser etter grenseverdier i SFT's veiledning.

Parameter	Karmsundet	SFT
Arsen (mg As/kg)	5,16	I
Bly (mg Pb/kg)	49	II
Kadmium (mg Cd/kg)	0,43	II
Kobber (mg Cu/kg)	33,3	I
Krom (mg Cr/kg)	14,7	I
Kvikksølv (mg Hg/kg)	0,032	I
Nikkel (mg Ni/kg)	20,1	I
Sink (mg Zn/kg)	84,0	I
Sølv (mg Ag/kg)	0,24	I
ΣPAH(µg/kg)	6060	IV
B(a)P (µg/kg)	250	IV
ΣPCB ₇ (µg/kg)	8,5	II
TOC mg/kg	63	V
Bunndyr, diversitet (H')	2,86	III

3.2.3 Kort oppsummering og konklusjon, bunnprøver

Åmøyfjorden

Bunnen på stasjonen var lite forurenset av miljøgifter og det var et nokså rikt og naturlig dyreliv. Generelt var innholdet av miljøgifter noe lavere enn det som ble funnet i dette området i 1995.

Karmsundet

Bare to metaller ble funnet i høyere konsentrasjoner enn SFT grenseverdi for uforurenset sediment. Det var imidlertid høyere innhold av tjærestoffer og organisk materiale og sedimentet fikk tilstand IV og V med hensyn til disse parametrene. PCB ble funnet i litt forhøyet konsentrasjon. Det var forholdsvis mange (57) arter i bunndyrprøvene, men det var likevel tegn til at faunaen var påvirket av miljøgifter og/eller organisk belastning.

4 Litteratur

- Bokn, T., J. Molvær & B. Rygg 1986. Overvåking av Gandsfjorden, Riskafjorden og Byfjorden, Stavanger 1985. NIVA rapport O-84138.
- Bokn, T., T.M. Johnsen, J. Knutzen, E. Lømsland, F. Moy, K. Nygaard & B. Rygg 1996. Resipientundersøkelser 1995 i sjøområdene rundt Stavangerhalvøya. NIVA rapport 3493-96. 127 s + 3493A-96 (vedlegg).
- Buchanan, J. B. 1984. Sediment analysis. *Methods for the study of marine benthos*. N. A. Holme and A. D. Mc Intyre. Oxford, Blackwell Scientific Publications: 41-65.
- Dahle A.B. 1984. Resipientundersøkelser i fjordområdene rundt Jæren 1982 – 1984. RF-Rogalandforskning T 27/84.
- Hurlbert, S.H. 1971. The nonconcept of species diversity: A critique and alternative parameters. - *Ecology* 52:577-586.
- Johannessen, P.J. 1977. Resipientundersøkelse av fjordene rundt Stavanger og Sandnes med hovedvekten på bunnforhold og bunndyr. Institutt for marinbiologi 1977.
- Knutzen, J., K. Næs & B. Rygg 1989. *Tiltaksorientert overvåking av Karmsundet. Undersøkelse av sedimenter, bløtbunnsfauna og miljøgifter i organismer*. Overvåkingsrapport nr 371/89. NIVA rapport. Løpenr. 2284. 75 s.
- Magurran, A.E. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. - (red. - Croom Helm, London. 179.
- Molvær, J., J. Knutzen, J. Magnusson, B. Rygg, J. Skei & J. Sørensen 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. SFT Veiledning 97:03. Statens Forurensningstilsyn, TA-1467/1997, Oslo. 36 s.
- Myhrvold, A.U. 1996. Resipientundersøkelse i Karmsundet, Rogaland. Oppfølgende undersøkelse. RF-Rogalandforskning. RF-96/043. s.
- Myhrvold, A. U., O. I. Forsberg & Å. Molversmyr 1997a. Samlerapport for Rogaland 1996. Forurensningsundersøkelser i sjøområder, RF-Rogalandforskning. RF-96/245. 138 s.
- Myhrvold, A.U., Å. Molversmyr, A. Bergheim og V. Eriksen 1997b. *Kartlegging av tilstand og årsak til organisk forurensning i Karmsund*. - RF-97/199. Åpen rapport. -RF-Rogalandforskning. 34 s.
- NS 9420:1998. Retningslinjer for feltarbeid i forbindelse med miljøovervåking og -kartlegging. Norsk Standard 1998. 9 s.
- NS 9422:1998. Retningslinjer for sedimentprøvetaking i marine områder. Norsk Standard 1998. 11 s.
- NS 9423:1998 Retningslinjer for kvantitative analyser av sublitoral bløtbunnsfauna i marint miljø. Norsk Standard 1998. 16 s.
- Pielou, E. C. 1966. Species-diversity and pattern-diversity in the study of ecological succession. - *Journal of Theoretical Biology* 10: 370-383.
- Shannon, C. E. and W. Weaver 1963. *The mathematical theory of communication*, University of Illinois Press, Urbana.
- Skei, J., I. Haugen, S. A. Holmen, T. Kristoffersen & Ø. Tryland 1978. *Orienterende undersøkelse i Karmsundet. Hydrokjemiske, sedimentologiske og biologiske undersøkelser i juni 1977*. NIVA O-147/76. 58 s.
- Tvedten, Ø. F. & V. Eriksen 1999. Resipientundersøkelse i Karmsundet, 1999. Rogalandforskning. Rapport. RF-1999/265. 57 s.

5 Vedleggsoversikt

Vedlegg 1. Redigert utskrift av sondedata

Vedlegg 2. Redigert oppsatt næringssalt resultater, klorofyll a, siktedyp

Vedlegg 3. Sedimentanalyser, kornstørrelsesfordeling og glødetap

Vedlegg 4. Sedimentanalyser, TOC og TN

Vedlegg 5. Sedimentanalyser, metaller PCB og PAH

Vedlegg 6. Artsliste bunndyr

Vedlegg 7. Resultater fra bunndyrsanalyser