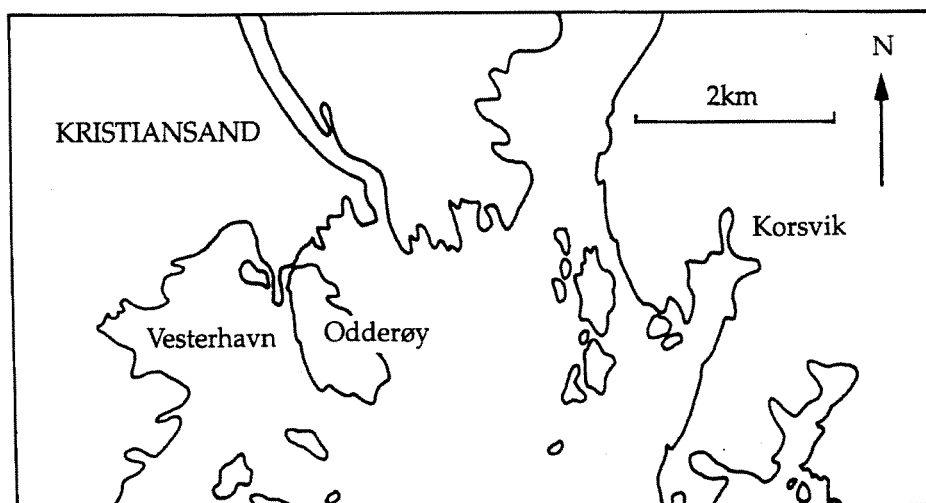


O-93118

Utslipp fra treforedlingsindustri til Kristiansandsfjorden

Rapport 2

Sedimentering av partikler og undersøkelser av bunnfauna



NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Prosjektnr.:	Undernr.:
O-93118	
Løpenr.:	Begr. distrib.:
3255	

Hovedkontor	Sørlandsavdelingen	Østlandsavdelingen	Vestlandsavdelingen	Akvaplan-NIVA A/S
Postboks 173, Kjelsås	Televeien 1	Rute 866	Thormøhlensgt 55	Søndre Tollbugate 3
0411 Oslo	4890 Grimstad	2312 Ottestad	5008 Bergen	9000 Tromsø
Telefon (47) 22 18 51 00	Telefon (47) 37 04 30 33	Telefon (47) 62 57 64 00	Telefon (47) 55 32 56 40	Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 22 18 52 00	Telefax (47) 37 04 45 13	Telefax (47) 62 57 66 53	Telefax (47) 55 32 88 33	Telefax (47) 77 68 05 09

Rapportens tittel: Utslipp fra treforedlingsindustri til Kristiansandsfjorden. Rapport 2. Sedimentering av partikler og undersøkelser av bunnfauna.	Dato:	Trykket:
	19.5.1995	NIVA 1995
Forfatter(e): Eivind Oug Aud Helland	Faggruppe:	
	Marinøkologi	
	Geografisk område:	
	Kristiansand	
	Antall sider:	Opplag:
	37	70
Oppdragsgiver: Kristiansand kommune	Oppdragsg. ref.:	

Ekstrakt:

I arbeidet for å bedre vannkvaliteten i Otra blir det bygget en avskjærende ledning som skal føre forurenset avløpsvann fra treforedlingsindustrien på Vennesla til Kristiansandsfjorden. Utslippet vil skje på dypt vann i Østerhavn sør for Otrås munning, og slik at avløpsvannet innlagres under fjordens overflatelag. Foreliggende rapport belyser hvordan partikulært materiale i avløpsvannet vil oppføre seg i sjøvann, og gir beskrivelser av bunnfauna i resipienten. Partikkelforsøkene viser at partiklene holder seg i suspensjon over flere dager. Det var lav avsetning og heller ingen tegn til at partiklene flyter opp. Ved innblanding av avløpsvann i fjordens vannmasser vil partikkelkonsentrasjonene være lave og trolig nær bakgrunn etter få timer. Bunnfaunaen i Østerhavn og dypområdet av Kristiansandsfjorden var artsrik og hadde normal diversitet, men i Østerhavn var det noe påvirkning av organiske tilførsler. Sammenlignet med undersøkelser i 1983 kan det synes som om forholdene i Østerhavn var blitt bedre. Det innlagrede avløpsvannet vil ikke forventes å ha negative effekter på bunnområdene i fjorden.

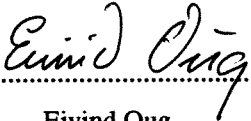
4 emneord, norske

1. Treforedlingsindustri
2. Sedimentering av partikler
3. Bløtbunnsfauna
4. Kristiansandsfjorden

4 emneord, engelske

1. Wood processing industry
2. Sedimentation of particles
3. Soft bottom fauna
4. Kristiansandsfjord

Prosjektleder


.....
Eivind Oug

For administrasjonen


.....
Torgeir Bakke

ISBN-82-577-2767-9

Norsk institutt for vannforskning

O-93118

Utslipp fra treforedlingsindustri til Kristiansandsfjorden

Rapport 2

Sedimentering av partikler og undersøkelser av bunnfauna

Grimstad 19. mai 1995

Prosjektleder: Eivind Oug

Medarbeidere: Aud Helland
Tone Jacobsen
Frank Kjellberg
Bodil Ekstrøm
Pirkko Rygg
Brage Rygg
Kai Sørensen

Forord

I arbeidet for å bedre vannkvaliteten i nedre del av Otra blir det lagt en ledning fra Vennesla til Kristiansandsfjorden. Ledningen skal føre avløpsvann fra Hunsfos Fabrikker, Norsk Wallboard og sigevann fra Støleheia fyllplass.

Utslipet vil bli lagt til 55-60 m dyp i Kristiansandsfjorden, sør for Otras munningsområde.

Etter henvendelse fra Kristiansand kommune har NIVA utarbeidet et program for undersøkelser i forbindelse med utslippet. Disse omfatter både hydrofysiske, vannkjemiske, sedimentkjemiske og biologiske forhold. Tilsammen skal undersøkelsene gi en forhånds vurdering av effekter og en forbeskrivelse av tilstanden i resipienten. Som del av programmet blir det også foretatt vurderinger av utslippssted, utslippsdyp og fortynning av avløpsvannet. Tilsagn til undersøkelsene ble gitt av Kristiansand kommune i brev av 19.5.1993.

Foreliggende rapport omtaler forsøk med sedimentering av partikulært materiale fra avløpsvannet og undersøkelser av bunnfauna i området som kan påvirkes av utslippet.

Forsøkene med partikkelsedimentering er utført av Aud Helland og Kai Sørensen.

Innsamling av bløtbunnsprøver ble foretatt av Tone Jacobsen og Frank Kjellberg. I opparbeidelsen av prøvene har Unni Efraimsen, Bodil Ekstrøm, Pirkko Rygg og Brage Rygg deltatt.

Miljøansvarlig Rolf Berntsen ved Hunsfos Fabrikker har bidratt med opplysninger om avløpsvannet og skaffet til veie materiale for sedimenteringsforsøkene. I Kristiansand kommune takkes miljøvernssjef Øystein Holvik og overing. Øystein Jørgensen for velvillig samarbeid.

Grimstad 19. mai 1995



Eivind Oug

Innholdsfortegnelse

Forord.....	2
Innholdsfortegnelse.....	3
1. Sammendrag.....	4
2. Innledning	6
2.1. Bakgrunn for undersøkelsene	6
2.2. Forurensningstilførsler	6
2.3. Tidligere undersøkelser.....	8
2.4. Formål	8
3. Sedimentering av partikulært materiale.....	9
3.1. Bakgrunn for undersøkelsene	9
3.2. Materiale og metoder.....	9
3.3. Resultater.....	11
3.4. Vurdering av resultatene.....	11
4. Bløtbunnsundersøkelser	14
4.1. Bakgrunn for undersøkelsene	14
4.2. Stasjonsvalg og metodikk	14
4.2.1. Valg av prøvetakingslokaliteter	14
4.2.2. Prøvetaking.....	14
4.2.3. Analysemetoder	15
4.2.4. Tallbehandling	15
4.3. Resultater.....	16
4.3.1. Prøvetaking.....	16
4.3.2. Bunnsedimenter	18
4.3.3. Bunnfauna	19
4.4. Vurdering av resultatene.....	25
5. Litteratur.....	26
6. Vedlegg.....	27
Vedlegg 1. Sedimentering av suspendert materiale	28
Vedlegg 2. Bunnfauna.....	29
Vedlegg 3. Tallbehandling.....	35

1. Sammendrag

For å bedre vannkvaliteten i Otra blir det bygget en avskjærende ledning som skal føre forurenset avløpsvann fra treforedlingsindustrien på Vennesla (Hunsfos Fabrikker, Norsk Wallboard) og senere rensset sigevann fra Støleheia fyllplass til Kristiansandsfjorden. Utslippet vil skje på dypt vann (ca. 55 m) i Østerhavn sør for Otras munning. Utslippet skal arrangeres slik at avløpsvannet innlagres i fjordens dypere vannlag. Fjordens overflatelag skal ikke bli påvirket av utslippene, samtidig som det ikke skal være fare for negative virkninger i fjordens dypområder.

Undersøkelsene i Kristiansandsfjorden i forbindelse med Otra-ledningen tar opp spørsmål omkring lokalisering av utslippet, teknisk arrangement og miljømessige forhold i resipienten. Foreliggende rapport vurderer sedimentering av partikulært materiale som avløpsvannet vil inneholde og gir beskrivelser av bunnfauna i området som kan influeres av utslippet.

Hensikten med sedimenteringsforsøkene var å undersøke hvordan materialet oppfører seg når det blir sluppet ut i sjøvann. Forsøkene ble gjennomført i laboratoriet. Avløpsvann fra bedriften ble fortynnet med sjøvann og overført til høye plexiglass-sylindere. Fortynningene (34 x og 85 x) var basert på beregningene av innlagring og fortynning av avløpsvannet. Utsynkning av partikler ble observert over faste tidsintervaller i ett døgn, og etter tre og syv døgn. Mengde partikler i vannet ble uttrykt som vannets turbiditet.

I det fortynnede avløpsvannet var bidraget av partikler fra bedriften i samme størrelsesorden som det naturlige innholdet av partikler i sjøvann. I forsøket ble det ikke målt noen nedgang i vannets partikkelinnhold over de første 30 timer, men ved start ble det observert noen få større fibre som raskt sedimenterte. Først etter tre døgn var det tydelig nedgang i turbiditeten. Forsøkene tyder derfor på at det ikke vil bli noen vesentlig avsetning av partikler fra avløpsvannet. I fjorden vil det fortynnede avløpsvannet bre seg utover og fortynnes videre. Trolig vil partikkelkonsentrasjonene i blandingsvannmassen være nær bakgrunn etter 1-3 timer, et tidsrom hvor avløpsvannet vil kunne forflytte seg 100-300 m. Undersøkelsene tyder derfor på at partiklene i avløpsvannet ikke vil kunne påvirke vannmassene i fjorden utover helt lokalt ved utslippet. Det er heller ikke noe som indikerer at partikulært materiale kan flyte opp og trenge gjennom til overflaten.

Undersøkelsene av bløtbunnsfauna gir en beskrivelse av dagens miljøtilstand i området som eventuelt kan påvirkes av utslippene. Prøvetakingen omfattet en stasjon nær det planlagte utslippsstedet i Østerhavn, to stasjoner i nærliggende områder og en stasjon i dypbassenget i Kristiansandsfjorden. En delprøve av sediment ble analysert for innhold av finsediment (< 0.063 mm), organisk karbon (TOC) og nitrogen (TN). Tre av stasjonene er tidligere prøvetatt under basisundersøkelsen i 1983. Undersøkelsene danner grunnlag for en fremtidig overvåking av mulige effekter av utslippet.

I Østerhavn var det noe påvirkning av organiske tilførsler. I bunnsedimentene var det planterester fra land og lukt av hydrogensulfid, men faunaen var artsrik og hadde normal diversitet. Ved det planlagte utslippsstedet var det et tydelig innslag av arter som ofte opptrer i organisk belastede miljøer, men generelt indikerte faunaen at forholdene må betraktes som gode. Utenfor Østerhavn var det normale bunnsedimenter og normalt artsrik bunnfauna. Her var det bare små endringer i faunaen siden undersøkelsene i 1983.

Sammenlignet med basisundersøkelsen i 1983 kan det synes som om forholdene i Østerhavn var blitt bedre. Dette kan skyldes lavere tilførsler av organisk materiale fra land. Over samme tidsrom har det vært registrert en tydelig nedgang i elvetransporten av enkelte komponenter (tot N, tot P), mens det har vært store variasjoner i konsentrasjonene av organisk stoff. Utslippene av organisk stoff (KOF) og suspendert materiale fra Hunfos Fabrikker er allikevel vesentlig redusert siden midt på 70-tallet.

Det innlagrede avløpsvannet vil ikke forventes å ha negative effekter på bunnområdene i fjorden. Forsøkene med partikler og beregninger av oksygenforbruk tyder ikke på at blandingsvannmassen av fortynnet avløpsvann vil ha vesentlig nedsatt vannkvalitet.

2. Innledning

2.1. Bakgrunn for undersøkelsene

Otra har i flere tiår vært preget av utslipp fra treforedlingsindustri. De betydeligste utslippene kommer fra industrien på Vennesla, spesielt Hunsfos Fabrikker. Utslippene består i hovedsak av oksygenforbrukende organiske stoffer, suspendert stoff og syre. Den mest iøynefallende virkning i elva er blakking av vannet, ubehagelig lukt og begroing av sopp på elvebunnen. Lav pH i avløpet bidrar til giftvirkninger på fisk og bunndyr. Også i Kristiansandsfjorden er det lukt og virkninger av partikler fra elvevannet.

I arbeidet for å bedre vannkvaliteten i Otra bygges en ledning som skal føre forurenset avløpsvann fra Vennesla til Kristiansandsfjorden. I tillegg til avløpsvann fra Hunsfos Fabrikker skal ledningen føre avløpsvann fra Norsk Wallboard og senere rensset sigevann fra Støleheia søppelfyllplass når denne kommer i drift. Ledningen får en indre diameter på 655 mm og dimensjoneres for en vannmengde på 350 l/s.

Utslipet vil skje i Østerhavn sør for Galgeberggtangen (Figur 1). Arbeidet med legging av ledningen startet høsten 1993 med planlagt ferdigstilling i juni 1995.

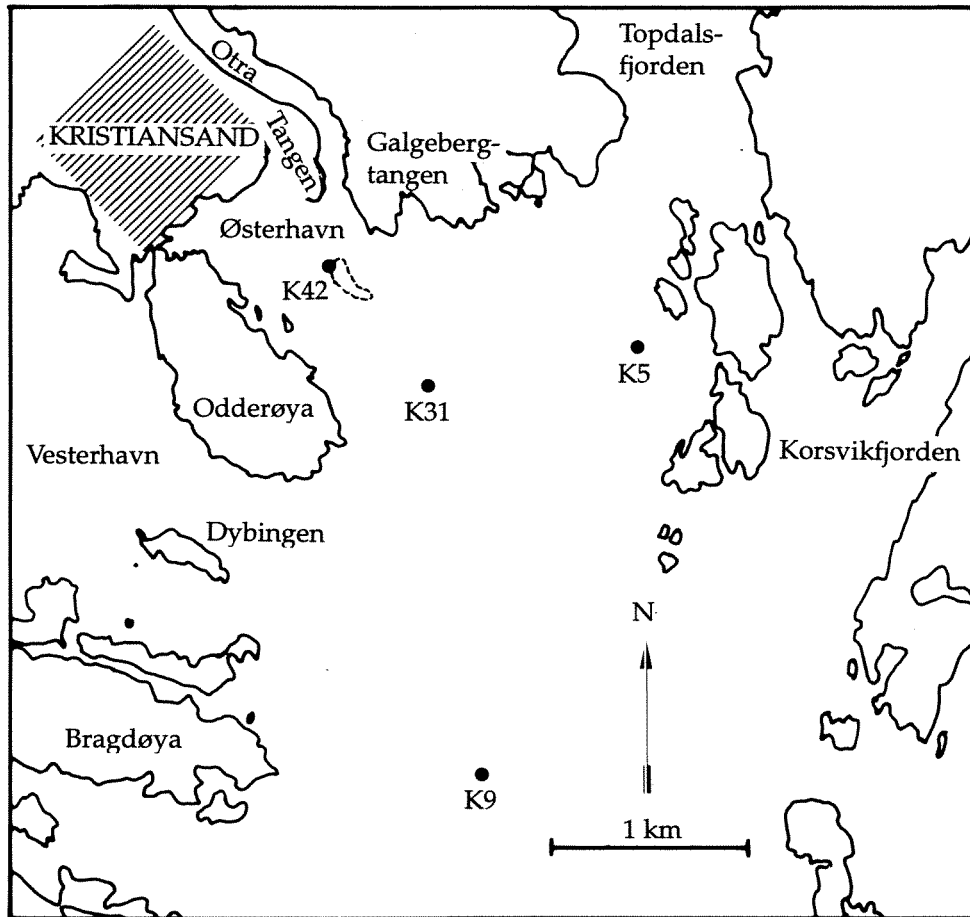
Ved overføring til Kristiansandsfjorden skal utslippet arrangeres slik at avløpsvannet innlagres i fjordens dypvann. Fjordens overflatelag skal ikke bli påvirket av utslippene, slik at i forhold til dagens situasjon vil overflatelaget bli renere. Det er også en forutsetning at det er tilstrekkelig utskiftning av dypvannet til at ikke negative virkninger i fjordens dypområder oppstår.

2.2. Forurensningstilførsler

Utslippene fra Hunsfos Fabrikker kommer fra bedriftens tømmerrenseri, cellulosefabrikk, tremassefabrikk og papirfabrikk. En oversikt over utslippene er gitt i bedriftens utslippstillatelse av 17.2. 1992. Hovedutslippene fra bedriften er suspendert stoff (fiber) og oksygenforbrukende stoffer i avløpsvannet. Bedriften er inne i en periode hvor utslippsmengdene reduseres. I henhold til utslippstillatelsen skal utslippet av suspendert stoff pr. 31.12.94 ikke overstige 1.3 tonn pr. døgn regnet som månedsmiddel og kjemisk oksygenforbruk (KOF) ikke overstige 42 tonn pr. døgn fra 30.6.94. I utslippene vil det også inngå lukt og smaksstoffer fra kondensat. I 1993 opphørte all bruk av klorholdige blekekjemikalier.

Utslippene fra Norsk Wallboard er mindre enn 10 tonn KOF pr. døgn. Sigevann fra den nye avfallsplassen på Støleheia vil bli tilkopleet senere.

Tilførslene av kommunalt avløpsvann til Kristiansandsfjorden er blitt betydelig redusert over den siste tiden. Et større utslipp i Østerhavn syd for Tangen (36 000 p.e.) ble sanert høsten 1993 og avløpsvannet overført til Odderøya renseanlegg. Det er etter dette ingen større tilførsler av forurensninger til Østerhavn-området utover det som tilføres med elvevannet.



Figur 1. Kart over undersøkelsesområdet i Kristiansandsfjorden. Anbefalt sted for utslipp av avløpsvannet er markert med stipling (etter Molvær 1994). Lokalteter for innhenting av bunnprøver i fjorden er også vist.

2.3. Tidligere undersøkelser

Kristiansandsfjorden er tidligere undersøkt en rekke ganger. Undersøkelsene omfatter både bløtbunns- og hardbunnsamfunn, hydrografi, miljøgifter mm. Den viktigste undersøkelsen (basisundersøkelse) ble gjennomført i 1982-84 under *Statlig program for forurensningsovervåking*. Hovedresultatene er sammenfattet av Molvær (1986). Undersøkelsene av bløtbunnsfauna (Rygg 1985) er spesielt relevante i forbindelse med foreliggende undersøkelser.

Kristiansandsfjorden er tidligere vurdert som resipient for utslipp fra treforedlingsindustri. Utslipp via ledning til fjordens dypere vannlag ble da utredet som et alternativ, og det ble påpekt at dette vil gi klare forbedringer for fjordens overflatevann i tillegg til avlastningen i elva (Molvær et al.1989).

2.4. Formål

Undersøkelsene i forbindelse med Otra-ledningen tar både opp spørsmål omkring lokalisering av utslippet (sted, dyp), teknisk arrangement og miljømessige forhold i resipienten. Nevnt i stikkords form skal undersøkelsene:

- være veiledende for valg av utslippssted og utslippsarrangement
- kontrollere for virkninger av avløpsvannet umiddelbart etter at utslippet er etablert
- danne grunnlag for en fremtidig overvåking av mulige effekter av utslippet.

Foreliggende rapport tar opp to fagelementer. I første del vurderes hvordan det partikulære materialet i avløpsvannet vil oppføre seg i fjorden. I andre del rapporteres resultatene fra bløtbunnsundersøkelser i det aktuelle fjordområdet. Disse undersøkelsene gir en beskrivelse av dagens miljøtilstand og gir grunnlag for en fremtidig overvåking av mulige effekter av utslippet.

Den første rapporten fra undersøkelsene (Rapport 1: Molvær 1994) beskriver vannmassene ved utslippsstedet og gir beregninger for innlagringsdyp og fortykning. Det er også gjort beregninger av det forventede oksygeninnhold i det innlagrede avløpsvannet. Disse undersøkelsene, sammen med partikkelforsøkene i denne rapporten, er veiledende for valg av utslippsarrangement og utslippssted. Undersøkelsene gir også informasjon om mulig spredning av forurensninger i Kristiansandsfjorden.

3. Sedimentering av partikulært materiale

3.1. Bakgrunn for undersøkelsene

Utslipet fra Hunsfos fabrikker inneholder partikulært materiale. Partiklene er små og med liten egenvekt og kan holde seg svevende i vannet i lang tid. Hvor lenge de holder seg i vannet er avhengig av partiklenes egenskaper (egenvekt, størrelse, form) samt vannets temperatur, saltholdighet og bevegelse (turbulens, strøm). Partiklenes flyteevne og oppholdstid i vannet vil ha avgjørende betydning for hvilke vannmasser de fanges opp i og hvordan de transporteres omkring i resipienten. Spørsmålene kompliseres ved at mange typer partikler kan klumpe seg sammen (flokkulere) i sjøvann og derved oppføre seg på en annen måte enn i ferskvann.

Forsøkene med partikler i avløpsvannet er gjennomført i laboratoriet. Målet med forsøkene har vært å beskrive hvordan det partikulære materialet i avløpsvannet oppfører seg når det blir sluppet ut i sjøvann. Undersøkelsene inngår sammen med beregningene av fortykning og strøm (Molvær 1994) i grunnlaget for valg av utslippsted og utslippsarrangement i fjorden.

3.2. Materiale og metoder

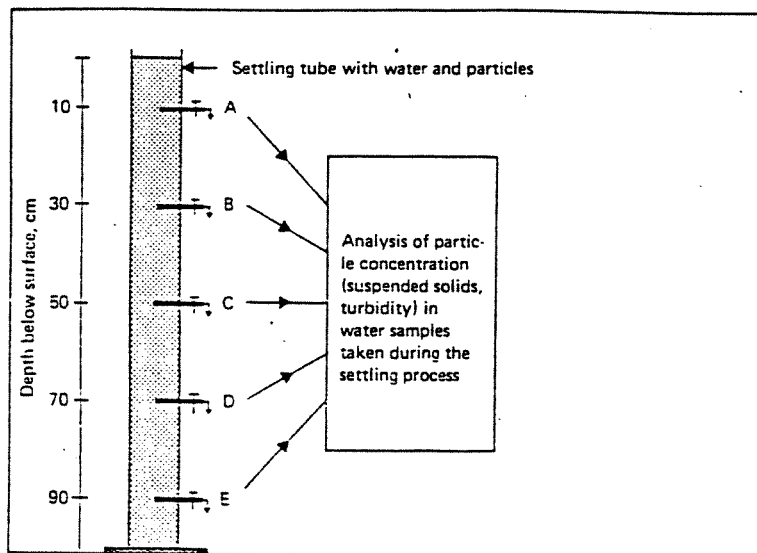
Til forsøket ble det benyttet avløpsvann fra Hunsfos fabrikker. Fabrikken har tre forskjellige utslippssteder. Avløpet som går til fjorden er en blanding av tre utlipp i følgende forhold:

1. Blekeritrinn	15.000 m ³ /døgn
2. Gjenvinningstrinn	3.000 m ³ /døgn
3. Sedimentasjonsbasseng	40.000 m ³ /døgn

Til forsøket ble det laget en blanding, en stamløsning, etter dette forholdet. Stamløsningen ble fortyknet til et volum på 30 l med filtrert sjøvann (filtrert vha. vakuum gjennom GFF-glassfiberfilter) fra 40 m i Oslofjorden (Solbergstrand). Dette vannet har en saltholdighet på ca. 33 ‰. Fortykningene var basert på de utførte innlagingsberegningene (Molvær 1994) og ble valgt til henholdsvis 34 og 85 ganger. Dette er nær ytterpunktene av den beregnede gjennomsnittlige fortykningen ved innlagring av avløpsvannet i Kristiansandsfjorden (dvs. senterfortyning x 1.7). Den maksimale senterfortyningen ble registrert mellom 4 og 5 m vanddyp.

Det fortyknede avløpsvannet ble overført til plexiglass-sylindre som var 110 cm høye og hadde en indre diameter på 18.9 cm (Figur 2). På siden av rørene var det montert tynne metallrør forlenget med plastslanger og klemmer for uttak av vannprøver. Uttakene var montert i forskjellige høyder. Til dette forsøket ble det tatt ut prøver fra henholdsvis 10, 30, 50, 70 og 90 cm under vannoverflaten.

For å få en homogen løsning ble vannet rørt om i 20 min. ved hjelp av en mekanisk rører før første uttak. Prøver á 50 ml ble tappet av etter 0, 0.17, 0.5, 2, 6, 9, 15, 24 og 30 timer.



Figur 2. Skisse av plexiglass-sylinder benyttet ved sedimenteringsforsøket

Mengde partikler i vannet ble uttrykt som turbiditet. Turbiditeten (TURB) ble målt med et Hach turbidimeter (Modell 2100A) etter norsk standard og verdiene uttrykt i FTU enheter (Formazin - Turbidity Unit). TURB er et uttrykk for partiklens evne til å spre hvitt lys, og denne optiske størrelsen vil påvirkes av partiklens størrelse og innholdet av organisk og uorganisk materiale. Metodens presisjon ble bestemt på et antall prøver ($n=9$) fra 50 cm dyp for begge fortynninger som ga en spredning på 0.05 FTU (1 standardavvik).

Totalt suspendert materiale (TSM) ble bestemt gravimetrisk ved bruk av Nucleopore-filter ($0.4 \mu\text{m}$). Filtrene ble tørket i eksikator i 24 timer og veiet på en Sartorius mikrovekt med en av-ioniserende partikkelkilde.

3.3. Resultater

Total suspendert materiale (TSM) i fortynningsvannet ble beregnet ved starten av forsøket. Dette ga for de to valgte fortynningene:

- * 34 x fortynning - 3.4 mg suspendert materiale / l sjøvann
- * 85 x fortynning - 1.7 mg suspendert materiale / l sjøvann.

I følge Hunsfos fabrikker inneholdt vann fra de tre utslippene følgende mengder med suspendert partikulært materiale:

1. Blekeritrinn	33.4 mg/l
2. Gjenvinningstrinn	0.4 mg/l
3. Sedimentasjonsbasseng	30.8 mg/l

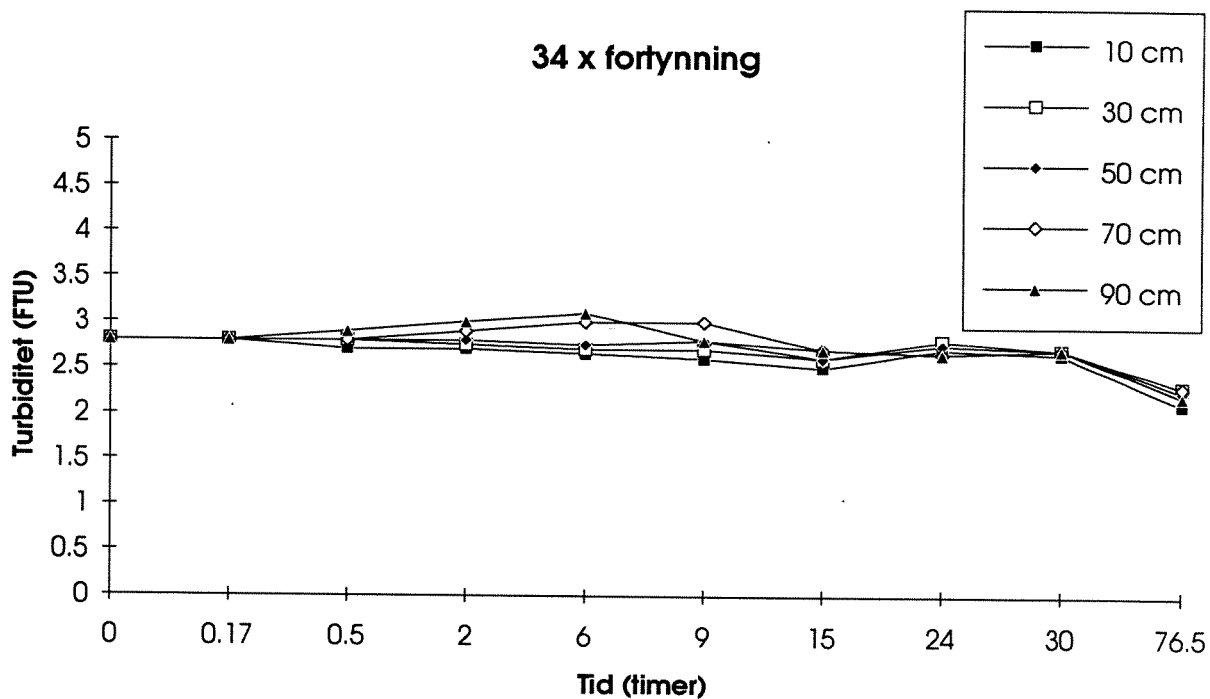
Med utgangspunkt i Hunsfos-målingene skulle forsøket ved 34 x fortynning inneholde 0.88 mg suspendert materiale / l sjøvann. Hunsfos målinger av suspendert materiale ble imidlertid utført på 70 µm filter. Dette vil holde tilbake betydelig mindre partikler enn nucleoporfiltrene som ble benyttet i forsøkene i laboratoriet. Dette er årsaken til at NIVA og Hunsfos opererer med forskjellige tall. NIVA benytter filter med 0.4 µm porevidde som standard fordi det som passerer et slikt filter, er per definisjon i løsning, dvs ikke partikler.

Etter omrøring av fortynningsvannet kunne man observere noen få større enkeltfibre svevende i vannet. En omrøring vil begunstige en eventuell flokkulering hvis partiklene i avløpsvannet har denne egenskapen. Etter 2 - 3 timer hadde disse relativt store partiklene sedimentert. Sedimenterings-forløpet er vist i Figur 3 og Figur 4. Figurene viser at det ikke ble målt noen sedimentasjon i løpet av 30 timer. Dette må bety at de relativt store fibrene som ble observert, utgjør en ubetydelig del av totalen og derfor ikke gir utslag på turbiditetsmålingene. Først etter tre døgn (76 t) var det tydelig nedgang i turbiditeten, men etter en uke var det ingen ytterligere nedgang. Detaljerte resultater fra forsøkene er gitt i Vedlegg 1.

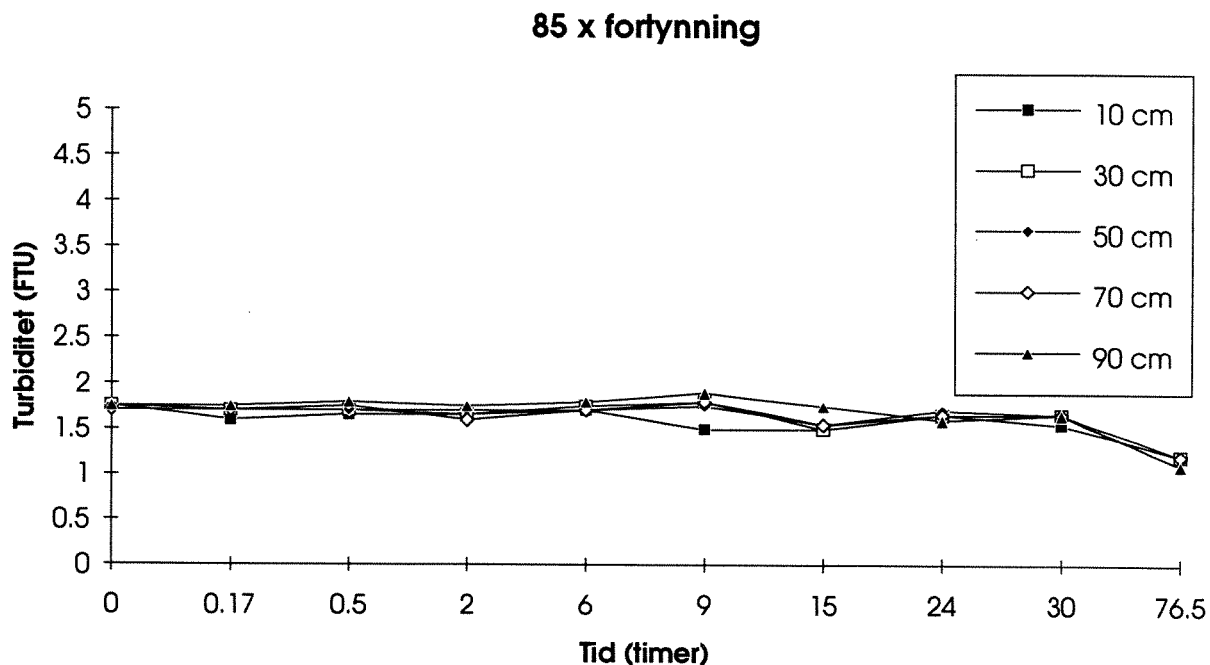
Sambandet mellom turbiditet og suspendert materiale ble bestemt på noen prøver. Dette er vist i Figur 5 ved stiplede linje. Den heltrukne linjen i figuren viser sambandet mellom totalt suspendert materiale (TSM) og turbiditet på et større tallmateriale (700 prøver) fra marine, brakkvanns- og noen ferskvannslokaliteter (fra Sørensen et al. 1993). Det suspenderte materialet (TSM) i utslippet er sannsynligvis av en annen karakter enn det materialet som utgjør hoveddelen i Sørensen et al. (1993). Dette sees ved at materialet i utslippet har en relativt større lys-spredning (turbiditet) i forhold til mengden. Den større lys-spredningen kan skyldes at materialet i utslippet består av fibre eller lignende.

3.4. Vurdering av resultatene

Basert på innlagingsberegningene utført av Molvær (1994) vil den gjennomsnittlige fortynningen av avløpsvannet ved innlagring (primærfortynningen) oftest være mellom 34 x og 85 x. Dette vil gi et bidrag av partikler fra avløpsvannet på 1.7-3.4 mg suspendert materiale / l. Normalt har sjøvann et partikkelinnhold på 1-2 mg / l. Utslippet vil derfor gi et ekstra bidrag av partikler i samme størrelsesorden som det naturlige innholdet av partikler i blandingsvannmassen idet innlagring finner sted.



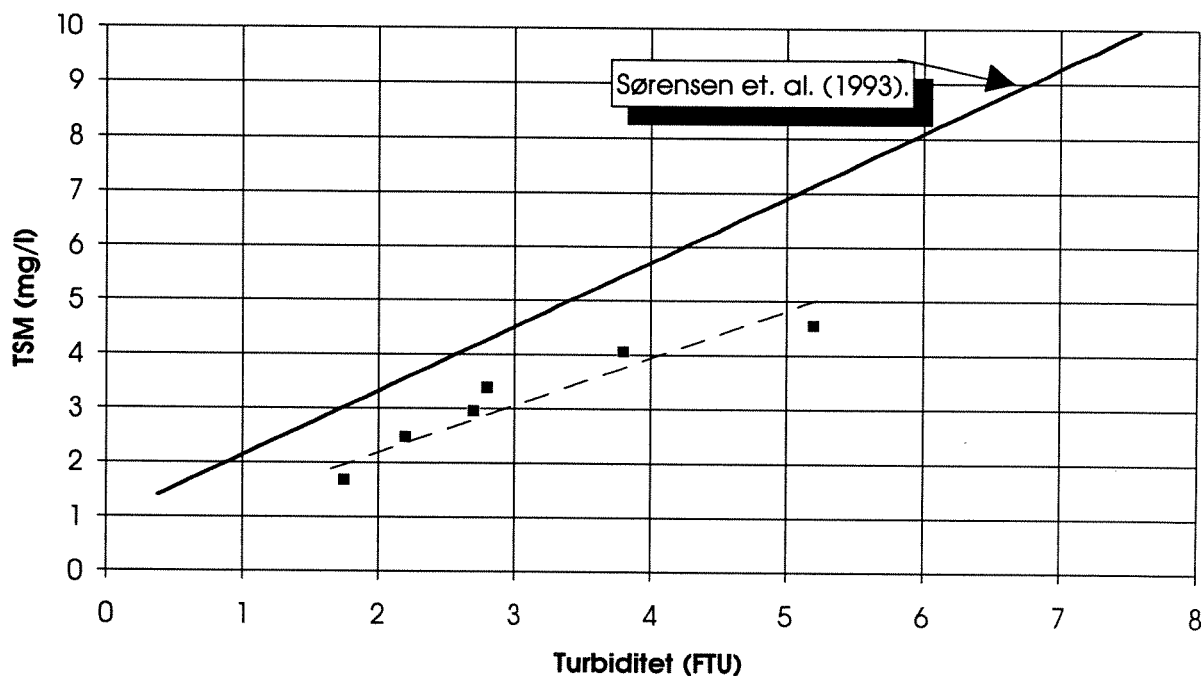
Figur 3. Sedimenteringsforløpet av partikler i avløpsvann fra Hunsfos (34 x fortytning) som funksjon av turbiditet og tid.



Figur 4. Sedimenteringsforløpet av partikler i avløpsvann fra Hunsfos (85 x fortytning) som funksjon av turbiditet og tid.

Vannmassen av fortynnet avløpsvann vil bre seg horisontalt utover i fjorden og fortynnes videre. Partikkelkonsentrasjonen vil derfor avta raskt og er trolig nær bakgrunn etter anslagsvis 1-3 timer (Molvær, pers med). Strømmålingene i Østerhavn viste gjennomgående lave strømhastigheter i innlagringsdypet med mer enn 90 % av registreringene < 5 cm/s (Molvær 1994). Med bakgrunn i disse målingene vil det fortynnede avløpsvannet forflytte seg 100-300 m på 1-3 timer, varierende med strømhastighet. Forsøkene tyder derfor på at partikkeltilførslene ikke vil ha særlige virkninger utover helt lokalt på vannmassene i fjorden. Siden forsøkene viste at partiklene, selv i rolig vann, holder seg i suspensjon lenge (> 30 t), ventes det heller ingen vesentlig sedimentering som kunne ha påvirket forholdene på bunnen i sedimenteringsområder.

Noe av materialet i det fortynnede avløpsvannet besto av synlige fibre, men målingene indikerte at dette utgjorde en liten del. Fibrene sedimenterte i løpet av noen timer. Dette tyder på at i fjorden vil noe materiale kunne avsettes på bunnen i området nær ved utslippet. På den annen side var det ikke tegn til at noe materiale fløt opp. Det er derfor ikke noe som tyder på at materialet fra avløpsvannet vil kunne trenge gjennom til overflaten i fjorden.



Figur 5. Sammenhengen mellom turbiditet (FTU) og totalt suspendert materiale (TSM). Heltrukken linje gir en generell sammenheng basert på 700 prøver fra ulike vannforekomster (fra Sørensen et al. 1993). Stiplet linje gir resultater fra foreliggende undersøkelse.

4. Bløtbunnsundersøkelser

4.1. Bakgrunn for undersøkelsene

Undersøkelser av naturlig forekommende bunnlevende organismer gir et godt grunnlag for å beskrive tilstand og overvåke utviklingstendenser i et sjøområde. Alle arter stiller bestemte krav til miljøet, de vil enten overleve eller gå til grunne, og dersom miljøet endrer seg vil nye arter komme til. Best informasjon får man ved å betrakte den totale sammensetningen av arter ('samfunn') i undersøkelsesområdet. Under normale og gode miljøforhold vil mange arter finne livsbetingelser, og samfunnet preges av høy artsrikhet. Ved forurensning eller andre miljøforstyrrelser avtar artsrikheten, men arter klarer seg, kan finnes i store mengder. Samfunnenes sammensetning sammen med kjennskap til de enkelte artenes miljøkrav gir derfor grunnlag for å karakterisere tilstanden i et område.

Utslipet fra Otra-ledningen vil spre seg ut i de dypere vannlagene i Østerhavnen og kan videre bli transportert til hovedfjorden utenfor Odderøya. Undersøkelsene av bløtbunnsfauna i dette området gir en beskrivelse av dagens miljøtilstand og vil danne basis for en fremtidig overvåking av mulige effekter av utslippet. Dette gir mulighet for å kontrollere at ikke negative virkninger oppstår i området som blir berørt av innlagret avløpsvann.

Prøvetakingen ble gjort i 1993 sammen med undersøkelser knyttet til renseanleggene på Odderøya og i Korsvikfjorden (Oug et al. 1994). Disse undersøkelsene blir sett i sammenheng og gir tilsammen en beskrivelse av tilstanden i et større område av Kristiansandsfjorden.

4.2. Stasjonsvalg og metodikk

4.2.1. Valg av prøvetakingslokaliteter

Det ble tatt bløtbunnsprøver på fire stasjoner (Figur 1). Den innerste stasjonen i Østerhavn (K42) er plassert nær det planlagte utslippstedet. Stasjonene K5 og K31 er plassert i nærliggende områder som kan tenkes å bli påvirket. Stasjon K9 ligger i hovedfjorden noe lenger fra utslippet. Stasjonene K5, K9 og K31 er tidligere prøvetatt i forbindelse med basisundersøkelsen av Kristiansandsfjorden i 1983 (Rygg 1985).

Samtidig med prøvetakingen på de fire stasjonene ble det tatt prøver på ytterligere fire stasjoner ved Odderøya, Dybingen og i Korsvikfjorden. Disse er rapportert i forbindelse med overvåking av utslipp fra renseanleggene (Oug et al. 1994). Enkelte av resultatene er gjengitt også i denne rapporten samtidig som resultatene gir et viktig grunnlag for sammenligninger. Nøyaktige kartkoordinater for alle stasjonene er gitt i Vedleggstabell 2.1.

4.2.2. Prøvetaking

Prøvetakingen ble foretatt 7. juni 1993 fra fartøyet 'Stril Explorer'. Prøvene ble tatt med en 0.1 m² 'van Veen' type bunngrabb. På hver stasjon ble det tatt fire parallelle grabbhugg. Under prøvetakingen ble

det gjort en visuell beskrivelse av bunnsedimentet og det ble kontrollert for innhold av hydrogensulfid (H_2S).

Fra ett grabbhugg på hver stasjon ble det tatt en liten delprøve av overflatesedimentet til analyse av kornfordeling (sedimentfraksjon $< 63 \mu m$) og organisk innhold (TOC, TN).

4.2.3. Analysemetoder

Sedimentfraksjonen $< 63 \mu m$ ble bestemt ved våtsikting. Organisk innhold, som totalt organisk karbon (TOC) og totalt nitrogen (TN), ble analysert ved en elementanalysator etter at uorganiske karbonater var fjernet med saltsyre.

For fauna ble grabbhuggene slått sammen, vasket på 5 og 1 mm sikter og siktematerialet konservert i 4 % nøytralisert formaldehydløsning. Ved opparbeidingen av faunaprøvene ble dyrene sortert fra siktematerialet, identifisert og telt.

4.2.4. Tallbehandling

Tallbehandlingen er foretatt på grunnlag av artslistene og de enkelte artenes individtall i prøvene. For hver enkelt prøve (stasjon) er det beregnet *artsmangfold*. Sammenligninger mellom stasjonene og til tidligere prøver er foretatt med såkalte '*multivariate*' analyser. Disse analysene gir en beskrivelse av forskjeller og likheter i faunaens sammensetning mellom prøvene, som igjen gir et grunnlag for å tolke eventuelle forandringer.

Utfyllende beskrivelser av metodene og formler for benyttede indekser er gitt i Vedlegg 3

Artsmangfold

Det er benyttet to mål for å uttrykke artsmangfold. Målene gir en enkeltverdi (indeks) eller beskriver en funksjon for den enkelte stasjon.

Shannon-Wiener indeks (H'). H' er en indeks som øker i tallverdi ved økende antall arter og når individene er jevnt fordelt mellom artene. Normalt artsmangfold, som gjenspeiler gode miljøforhold, representeres ved verdier > 3.1 (SFT 1993). Indeksens minimumsverdi er null.

Hurlbert's funksjon. Dette er et grafisk mål for artsmangfold hvor antall arter plottes som en kurve mot antall individer. Grovt sett vil lavt artsmangfold (få arter) vises ved flate liggende kurver, mens høyt artsmangfold gir kurver som stiger bratt i diagrammet. Rygg (1984) har utarbeidet et standarddiagram for inndeling av kurvene i klasser basert på undersøkelser i en rekke norske fjorder. Tolkning basert på denne funksjonen kan derfor settes i en større sammenheng. I denne undersøkelsen er endepunktene for kurvene (ikke selve kurvene) plottet i dette diagrammet.

Fra Hurlberts funksjon er det også beregnet en indeks, $E(S_{100})$, som gir forventet antall arter ved 100 individer. Ved gode forhold skal indeksverdien (antall arter) overstige 18.5 (SFT 1993).

Likhet mellom prøver - 'multivariate' analyser

Analysene for faunalikhet er foretatt ved 'clusteranalyse' og 'MDS-ordinasjon'. I begge analysene fremstilles et diagram som illustrerer graden av likhet mellom prøvene. I clusteranalysen fremstilles dette i et hierarkisk system hvor prøvene knyttes sammen i grupper fra de som er mest like til de som viser størst forskjell. I MDS-ordinasjon representeres prøvene ved punkter i et koordinatsystem på en slik måte at innbyrdes avstand mellom punktene representerer graden av likhet (jo større avstand, jo mindre likhet).

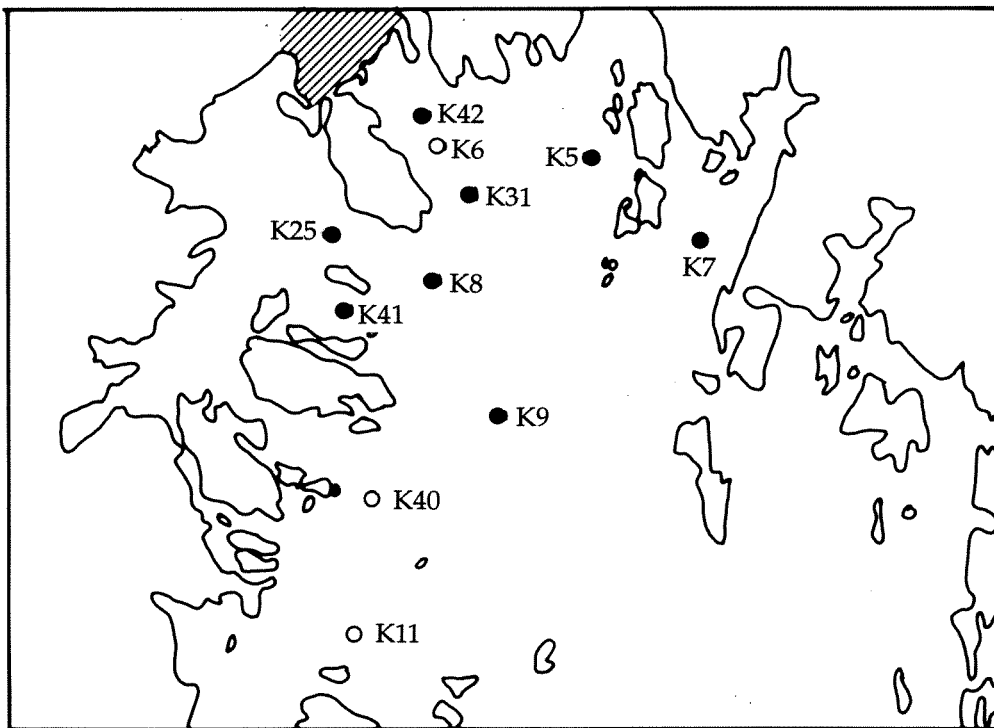
Alle verdier er dobbel rot-transformert før analysene.

Beregningene er utført i programpakken PRIMER, utgitt av Plymouth Marine Laboratory, England.

4.3. Resultater

4.3.1. Prøvetaking

Tabell 1 gir en sammenfatning av alle stasjoner som ble innsamlet i juni 1993. Stasjonenes beliggenhet er vist på kart i Figur 1 og Figur 6. På stasjonene i Østerhavn (K42, K31) var det mye planterester og



Figur 6. Prøvetaking for bløtbunnsfauna i Kristiansandsfjorden. Stasjoner prøvetatt i 1993 (•) og stasjoner prøvetatt tidligere år (o) som brukes for sammenligninger i foreliggende undersøkelse.

Tabell 1. Prøvetaking i Kristiansandsfjorden 7. juni 1993: Stasjoner, dyp, fyllingsgrad i grabbprøvene og beskrivelse av bunnsedimentet.

Stasjon	Dyp (m)	Fyllingsgrad	H ₂ S	Sedimentbeskrivelse
K 5	50	3/4	-	Gråbrun silt og leire med tynt, brunt topplag (0.5 - 1 cm). Litt planterester, slangestjerner, sjømus og børstemark
K 7	70-74	1/1 *	-	Gråbrun silt og leire med enkelte småstein. Brunt topplag. Slangestjerner, skjellrester og algerester.
K 8	135	1/1	-	Brungrå sandholdig silt og leire. Noe slagg (koksbitar). Skjellrester og børstemark.
K 9	195	1/1 *	-	Gråbrun fin silt og leire. Børstemark og skjellrester, slimål.
K 25	65	3/4	-	Mørk grå til sort sand med grus og småstein. Brunt topplag. Endel slagg, muslingskall og noe algerester.
K 31	162	1/1	+	Grå silt og leire med brunt topplag. Noe skjellrester, død tare og andre planterester. Lukt av H ₂ S i enkelte prøver.
K 41	27	3/4	-	Grå til mørk grå silt og leire med noe sand og småstein. Tynt brunt topplag (0.5 - 1 cm). Slangestjerner og muslingskall.
K 42 **	55-62	1/1	+	Grå til gråsvart fin sand og leire med noe småstein. Brunt topplag. Endel variasjon mellom prøvene, mye plantefiber i to prøver, noe svart sediment og lukt av H ₂ S.

* For tungt vektet grabb. Tildels overfylte prøver, noe finmateriale kan være tapt.

** Stasjonen betegnet K6 ved prøvetakingen (Oug et al. 1994)

lukt av hydrogensulfid i sedimentet. Ved Lyngøy (K5) og på de dype stasjonene i hovedfjorden (K8, K9) var det friskt normalt bunnsediment.

4.3.2. Bunnsedimenter

På stasjon K42 utenfor munningen av Otra var sedimentet synlig påvirket av tilførsler fra land. Det var ikke særlig høye verdier for organisk materiale (< 2 %), men nokså høyt forholdstall mellom karbon og nitrogen. Dette er typisk for sedimenter i elveutløp hvor det avsettes plantemateriale fra land.

På de dypeste stasjonene (St. K9, K31) var sedimentet svært finkornet (Tabell 2). Det organiske materialet utgjorde 2-3 % organisk karbon, som er normalt for et finkornet fjordsediment. Også forholdet mellom karbon og nitrogen (C/N-forholdet) var normalt, men det var litt høyere verdier på den innerste stasjonen.

På st. K5 var det omtrent like meget finmateriale som på K42 utenfor elvemunningen. Det var lavt organisk innhold og normalt forholdstall mellom karbon og nitrogen. Det kan ikke vises til noen påvirkning av tilførsler fra land på stasjonen.

Sammenlignet med basisundersøkelsen i 1983 var karbonverdiene omtrent like på stasjon K5 og K9. I 1983 ble det funnet ganske høyt organisk innhold på stasjon K6 (125 m) som lå mellom K31 og K42. Dette kan tyde på at Østerhavn var tyngre påvirket av utslipp og tilførsler fra land i 1983, men det er også mulig at K6 ble tatt i et lokalt sedimentasjonsområde. Alle stasjoner hadde lavere forholdstall mellom karbon og nitrogen enn i 1983. Dette tyder også på en redusert påvirkning av tilførsler fra land. Sedimentundersøkelsene i 1983 viste at normale verdier for Kristiansandsfjorden var i intervallet 9-13, med unntak for de lokalt belastede områdene som hadde høyere C/N-forhold. Verdier fra 10-15 indikerer at materialet i moderat grad tilføres ved avrenning fra land.

Tabell 2. Data for bunnsedimentene i Kristiansandsfjorden 1993. Resultater fra basisundersøkelsen i 1983 (Næs 1985) er vist for sammenligning.

Stasjon	1993				1983		
	< 63 µm %	TOC mg/g	TN mg/g	C/N- forhold	TOC mg/g	TN mg/g	C/N- forhold
K 5	68.3	9.0	1.1	8.2	9.0	0.8	11.6
K 9	99.1	23.5	2.8	8.4	28.0	2.4	11.8
K 31	96.2	28.6	2.9	9.9	-	-	-
K 42	65.1	17.1	1.2	14.3	-	-	-
K 6	-	-	-	-	44.0	2.9	15.1

4.3.3. Bunnfauna

Tabell 3 gir en oversikt over artstall, individtall og beregnede verdier for artsmangfold for stasjonene. Verdiene for undersøkelsen i 1983 er tatt med for sammenligning. Tabell 4 viser tettheter for de viktigste artene i prøvene. Fullstendige artslistene er gitt i Vedleggstabell 2.2.

Det var normale arts- og individtall i alle prøvene. Artsmangfoldet var normalt til høyt. På de to dype stasjonene, K9 og K31, var det svært nær samme artstall som i 1983, mens individtallet på K31 var lavere enn i 1983. Alle stasjonene hadde en normalt sammensatt fauna med overvekt av børstemark. Stasjon K42 ved Otrås munning hadde et markert innslag av arter som ofte opptrer i organisk belastede miljøer (f.eks. *Chaetozone*, *Macrochaeta*, *oligochaeta*, *Thyasira*). Faunaen på denne stasjonen indikerer en påvirkning fra organiske tilførsler, men sterk er den ikke. På alle stasjonene faller artsmangfoldet inn i tilstandsklasse I (God) SFTs klassifiseringssystem (SFT 1993).

Tabell 3. *Prøveareal, antall arter, individtall og individtettheter på stasjonene. Diversitetsindekser: H' = Shannon-Wiener indeks (\log_2), $E(S_{100})$ = Hurlberts funksjon. Resultater fra basisundersøkelsen i 1983 er vist for sammenligning (Rygg 1985).*

Stasjon	Dyp m	Areal	Arter	Ind.	Ind/m ²	H'	ES ₍₁₀₀₎
1993							
K 5	50	0.4	74	764	1910	4.85	33.1
K 9	195	0.4	46	494	1235	3.87	23.2
K 31	162	0.4	53	621	1553	4.28	26.6
K 42	55-62	0.4	69	986	2465	4.87	33.9
1983							
K 5	51	0.4	53	532	1330	4.10	26.0
K 6	125	0.4	44	3499	8748	1.99	8.8
K 9	198	0.4	46	414	1035	4.05	24.7
K 31	150	0.4	56	968	2420	3.62	19.7

Tabell 4 Individtettheter (ind/m²) for de vanligste artene på stasjoner i Kristiansandsfjorden 1993. Alle arter med individtall > 10 ind/0.4 m² (= 25 ind/m²) på en eller flere stasjoner er tatt med.

	Ind/m ²	St. K 5	St. K 9	St. K 31	St. K 42
NEMERTINI (båndmark)					
Nemertini indet.		80	13	28	158
POLYCHAETA (mangebørstemark)					
<i>Ampharete</i> sp.	-	-	-	-	28
<i>Caulleriella</i> sp.	-	-	-	15	133
<i>Ceratocephale loveni</i>	-	35	5	-	-
<i>Chaetozone setosa</i>	78	28	83	118	
<i>Diplocirrus glaucus</i>	223	18	70	173	
<i>Euclymene</i> sp.	68	10	3	5	
<i>Glycera alba</i>	30	-	3	58	
<i>Glycera rouxii</i>	25	-	-	8	
<i>Goniada maculata</i>	30	-	-	40	
<i>Heteromastus filiformis</i>	83	345	83	63	
<i>Lumbrineris</i> sp.	43	3	-	3	
<i>Macrochaeta clavicornis</i>	-	-	-	258	
<i>Melinna cristata</i>	-	120	35	-	
<i>Paramphinome jeffreysii</i>	3	88	93	18	
<i>Paraonis gracilis</i>	58	23	-	-	
<i>Pholoe minuta</i>	43	3	-	53	
<i>Polyphysia crassa</i>	-	-	-	50	
<i>Prionospio malmgreni</i>	263	5	40	403	
<i>Prionospio multibranchiata</i>	18	5	25	-	
<i>Rhodine loveni</i>	-	25	-	-	
<i>Scalibregma inflatum</i>	5	-	-	50	
<i>Scolelepis</i> sp.	128	-	-	25	
<i>Sosane sulcata</i>	-	-	-	63	
<i>Terebellides stroemi</i>	28	38	40	3	
<i>Tharyx</i> sp.	-	25	3	-	
<i>Trichobranchus roseus</i>	30	3	15	-	
OLIGOCHAETA (fåbørstemark)					
Oligochaeta ind.	-	-	3	63	
GASTROPODA (snegl)					
<i>Lunatia alderi</i>	13	-	-	25	

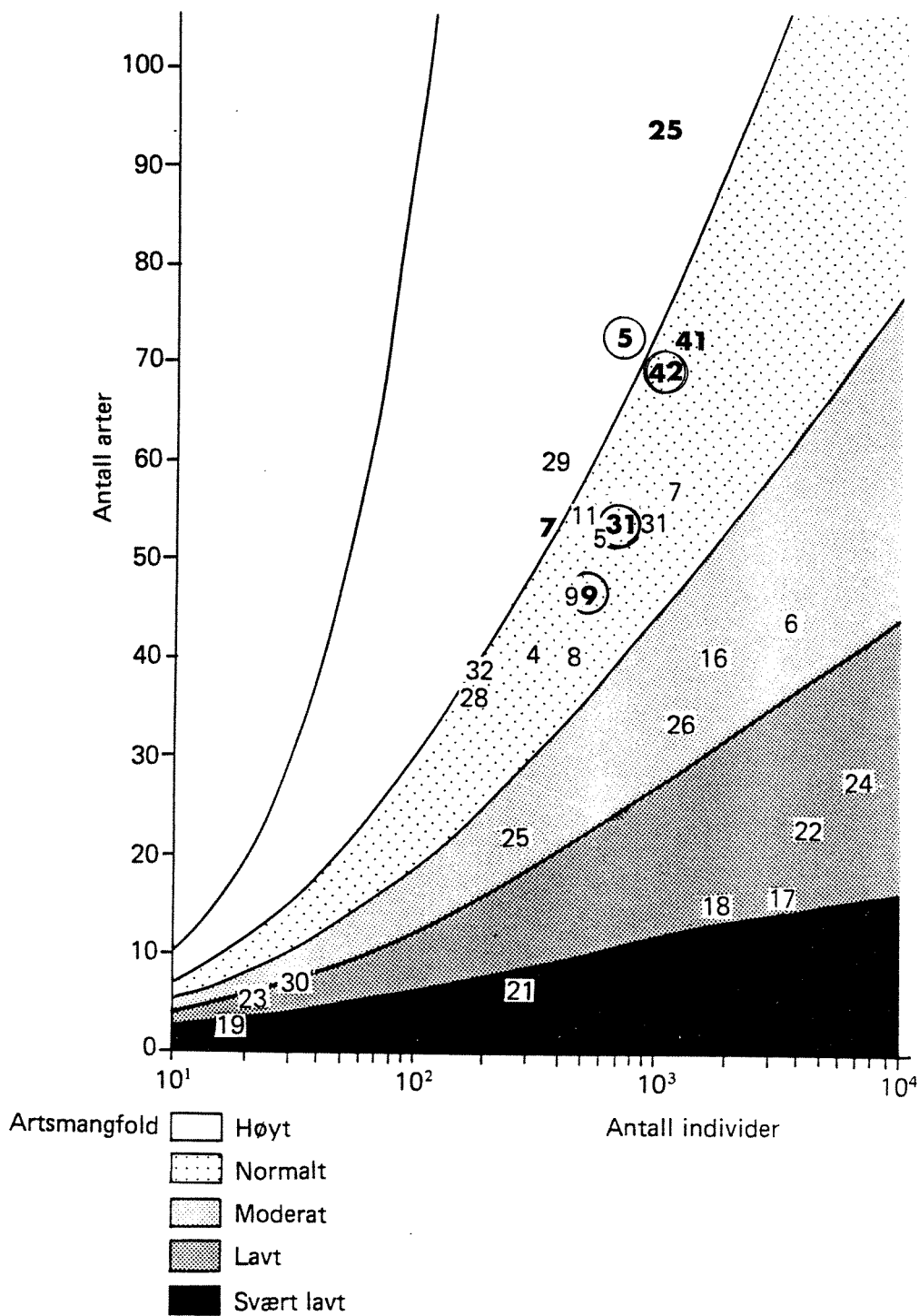
Tabell 4 forts.

BIVALVIA (muslinger)				
<i>Abra nitida</i>	135	85	230	-
<i>Mysella bidentata</i>	18	3	-	25
<i>Nuculoma tenuis</i>	28	163	263	-
<i>Thyasira flexuosa/sarsi</i>	115	3	65	85
<i>Thyasira equalis</i>	-	80	208	-
CRUSTACEA (krepsdyr)				
<i>Diastylis rostrata</i>	-	-	-	70
<i>Eriopisa elongata</i>	3	20	30	-
<i>Tryphosites longipes</i>	3	-	-	40
<i>Westwoodilla caecula</i>	13	-	-	48
ECHINODERMATA (pigghuder)				
<i>Amphiura chiajei</i>	65	-	-	-
<i>Amphiura filiformis</i>	-	-	5	25

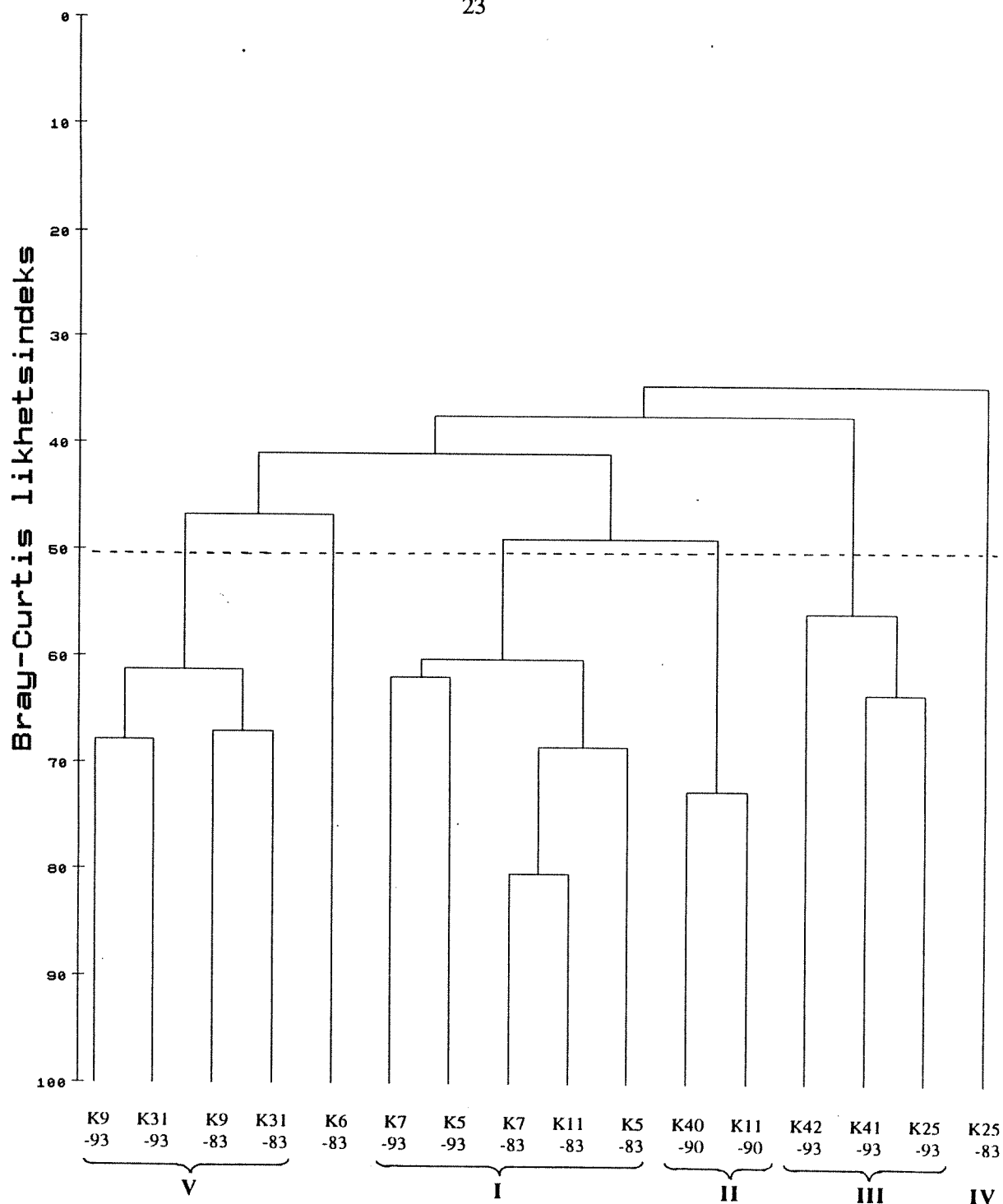
I Figur 7 er artsmangfoldet for stasjonene plottet inn på en figur etter Hurlberts funksjon. Figuren er hentet fra basisundersøkelsen i 1983 (Rygg 1985). Også de andre stasjonene som ble samlet i 1993 (Figur 6), er lagt inn på figuren. De små forandringene på de dype stasjonene fremkommer tydelig ved at stasjonspunktene plottes svært nær punktene fra 1983. Stasjon 5 hadde høyere artsrikhet enn hva som ble funnet i 1983, men forskjellen var ikke så stor som på stasjon K25 ved Odderøya.

Figurene 8 og 9 viser analysene av faunaens sammensetning (clusteranalyse og MDS ordinasjon). Stasjonene er sammenlignet med et utvalg av stasjoner fra de tidligere undersøkelsene (1983 og 1990) og de andre stasjonene som ble innsamlet i 1993. Utvalget av stasjoner omfatter Østerhavnområdet (st. K5, K6, K7, K31 og K42), vestre fjordområder (K25, K11, K40 og K41) og dypområdene i hovedfjorden (K9) (Rygg 1985, Oug og Moy 1991, Oug et al. 1994). Beliggenheten av stasjonene er vist på kart i Figur 6.

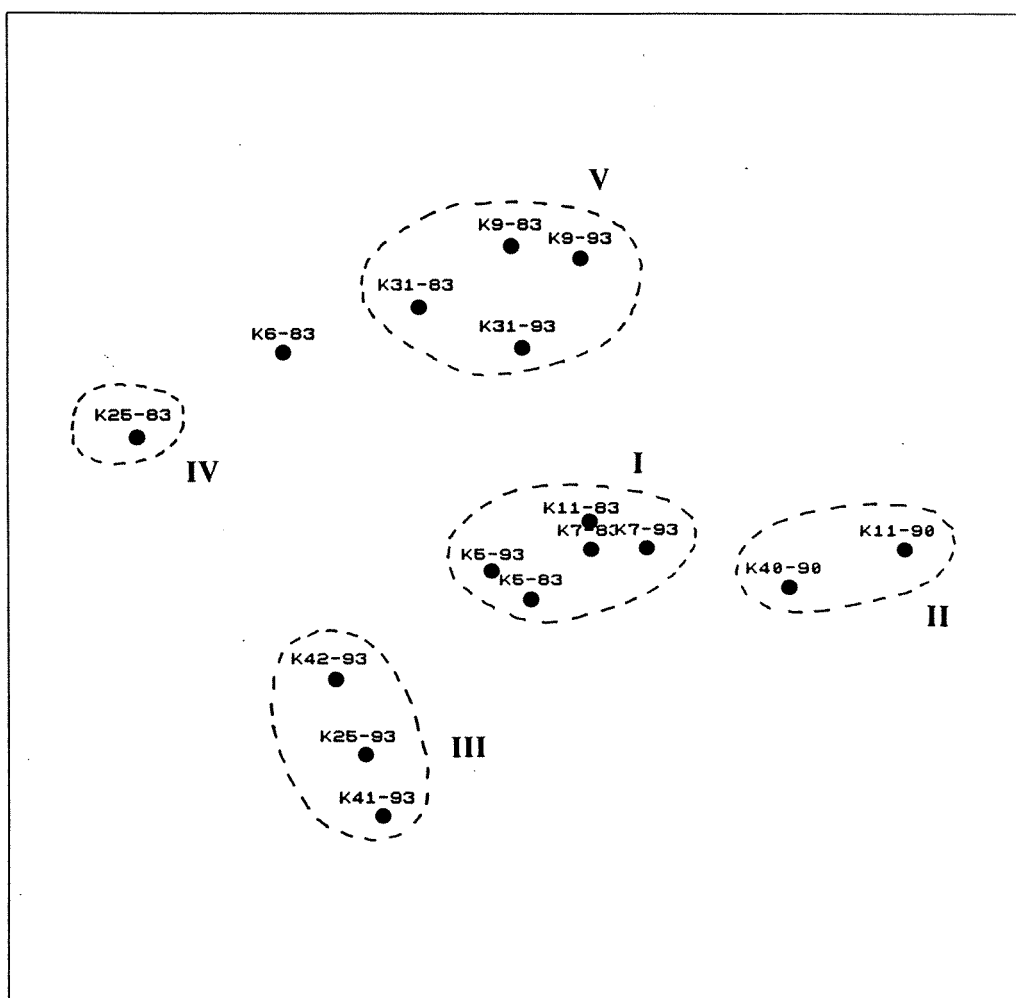
Clusteranalysen (Figur 8) viser at prøvene faller i klare grupper (ved et likhetsnivå på 50 %). De to dype stasjonene, K9 og K31, danner en klar gruppe sammen med prøvene fra 1983 (stasjonsgruppe V). Dette viser at det ikke har vært noen større forandringer i faunaens sammensetning i de dypeste områdene av fjorden, men det var allikevel en påvisbar forskjell mellom årene, vist ved at stasjonene innbyrdes grupperes etter år. Stasjon K5 og K42 faller i hver sin gruppe. K5 danner en gruppe sammen med stasjon K7 i Korsvikfjorden, som var omtrent like dyp (stasjonsgruppe I). Også i denne gruppen var det en innbyrdes gruppering etter år. Stasjon K42 grupperes sammen med stasjonene K25 og K41 fra ytterområdet av Vesterhavn. Begge disse stasjonene var noe organisk anrikt (Oug et al. 1994), men artssammensetningen var som for normale fjordlokalteter. Resultatet bekrefter påvirkningen av organiske tilførsler på stasjon K42, men at dette ikke hadde vesentlige følger for faunaen på lokaliteten.



Figur 7. Artsmangfold for bunnfaunaprøvene - forholdet mellom artsantall og individantall plottet i et generelt klassifiseringssystem basert på Hurlberts funksjon. Diagrammet er fra basisundersøkelsen av Kristiansandsfjorden i 1983 (Rygg 1985). Stasjoner fra 1983 er vist i tynn skrift, mens stasjoner innsamlet i 1993 er vist i fet skrift. Innringede stasjoner (5, 9, 31, 42) er fra foreliggende undersøkelse, mens øvrige stasjoner fra 1993 (7, 25, 41) er rapportert i Oug et al. (1994).



Figur 8. Likhetsanalyse (clusteranalyse) av bunnfaunaprøver fra Kristiansandsfjorden: stasjoner 1993 (K5, K7, K9, K25, K31, K41, K42) sammenlignet med et utvalg av tidligere innsamlede stasjoner. I diagrammet angir horisontale forbindelseslinjer graden av likhet mellom prøvene - jo lavere prøvene er forbundet, jo større likhet. For eksempel er det stor likhet mellom prøvene fra K7 og K11 i 1983. Graden av likhet (%) er vist på ordinaten. Identifiserte grupper innenfor et valgt likhetsnivå på 50 % er markert med romertall (I-V). Nummerering av gruppene følger numrene i en tilsvarende analyse i Oug et al. (1994). Lokalisering av stasjonene er vist på Figur 6. Alle arter med tetthet > 25 ind/m² på minst en stasjon, i alt 62 arter, er tatt med i analysen. Artutvalget er gitt i Vedleggstabell 2.3.



Figur 9. MDS ordinasjons-analyse av bunnsfaunaprøver fra Kristiansandsfjorden: stasjoner 1993 sammenlignet med et utvalg av tidligere innsamlede stasjoner. I diagrammet er prøvene angitt ved punkter som plottes slik at avstand mellom punktene representerer graden av forskjell mellom prøvene. Grupper av tett liggende punkter viser derfor innbyrdes like prøver. For sammenligning er stasjonsgruppene fra clusteranalysen (I-V; Fig. 8) inntegnet. Lokalisering av stasjonene er vist på Figur 6. Artsutvalget er det samme som ved clusteranalysen og er gitt i Vedleggstabell 2.3.

I analysen ble det også tatt med to stasjoner fra 1983, K6 og K25, som var moderat til betydelig påvirket av organiske tilførsler. Begge stasjonene faller utenfor hovedgruppene i analysen, men K6 viser likhet til de dypeste stasjonene i fjorden (gruppe V). Plasseringen av disse stasjonene er også et tegn på at stasjonene i foreliggende undersøkelse ikke var vesentlig belastet av tilførsler.

I hovedtrekkene viser MDS-analysen (Figur 9) det samme som clusteranalysen. Dette illustreres ved at stasjonsgruppene (I - V) passer godt inn i MDS-diagrammet. Analysen viser imidlertid noe finere detaljer for de enkelte stasjonene, f.eks. plasseres K31 mellom K9 og K6 (1983) som nok indikerer en svak påvirkning på K31. Analysen viser også tydelig at det bare har vært små endringer på K5 og K9 siden basisundersøkelsen i 1983.

4.4. Vurdering av resultatene

Undersøkelsene viser at det var noe påvirkning av organiske tilførsler i indre Østerhavn (st. K42, K31). I bunnsedimentene var det planterester fra land og lukt av hydrogensulfid, men faunaen indikerte at forholdene allikevel må betraktes som gode. Det er naturlig å finne påvirkning på bunnsedimentene ved utløpet av større vassdrag og elver. Utenfor Østerhavn (st. K5, K9) var det gode forhold. Resultatene samsvarer godt med resultatene for prøvene fra Korsvikfjorden og ved Odderøya som ble innsamlet samtidig (Oug et al. 1994).

Sammenlignet med basisundersøkelsen i 1983 kan det synes som om forholdene i Østerhavn er blitt bedre. Det er bemerkelsesverdig at forholdene på K6 i 1983 var klart dårligere enn på K42, som var plassert lenger inn mot elvemunningen. Dette kan skyldes svært lokale variasjoner, men gjenspeiler vel så trolig en generell bedring i resipienten. Det er også, sammen med nedgangen i C/N-forholdet på alle stasjonene, et signal om at tilførslene fra land har gått ned. Undersøkelsene i Otra viser imidlertid ikke entydige trender. Over samme tidsrom (1983-1993) har det vært en klar nedgang i transporten av total fosfor og total nitrogen, men det har vært store variasjoner i konsentrasjonene av organisk stoff målt som KOF. Siden midt på 70-tallet er utslippene fra Hunfos Fabrikker vesentlig redusert. Organismesamfunnene i elva kan tyde på en svak bedring i vannkvaliteten i de senere årene (Kaste et al. 1994).

De hydrografiske undersøkelsene i forbindelse med utslippet viser at avløpsvannet i de fleste tilfeller vil innlagres i 50-20 m dyp. Det vil da ha en fortykning (primærfortyning) på 20-80 x, en fortykning som deretter vil øke med tiden ettersom naturlige blandingsprosesser virker og blandingsvannet brer seg utover i fjorden. Fortynningen er tilstrekkelig til å sikre gode oksygenforhold i innlagringsvannet (Molvær 1994). Vannmassen vil ventelig forflytte seg uregelmessig under påvirkning fra skiftende vind og lufttrykk, men vil i perioden kunne bli transportert mot munningen av Topdalsfjorden (Molvær 1994). Det er tidligere vist at dypvannet i Kristiansandsfjorden vanligvis skiftes ut over 1-2 uker (Molvær et al. 1986). Det er derfor lite trolig at innlagret avløpsvann skal bli stående i fjorden over lengre tid.

Det innlagrede avløpsvannet vil ikke forventes å ha effekter på bunnfaunaen i fjorden. Forsøkene med partikkelsedimentering viste at partikkelmengdene ikke øker vesentlig utover det normale i sjøvann og at sedimentasjonen er lav. Oksygenforholdene vil være gode. Nedbrytningen av oksygenforbrukende materiale i avløpsvannet vil bare føre til en mindre senkning av oksygeninnholdet i blandingsvannet (Molvær 1994).

5. Litteratur

- Kaste, Ø., K.J. Aanes og E.-A. Lindstrøm 1994. Otra 1993. Tiltaksorientert overvåkning og konsekvensundersøkelse av industriutslipp. Statlig prog. forurensningsovervåk. 576/94. SFT/NIVA. Oslo.
- Molvær, J. 1986. Basisundersøkelse av Kristiansandsfjorden 1982-84. Delrapport 6. Konklusjoner. Statlig prog. forurensningsovervåk. 237/86. SFT/NIVA. Oslo. 36 s.
- Molvær, J., 1994. Utslipp fra treforedlingsindustri til Kristiansandsfjorden. Rapport 1. Utslippsted og fortynning. NIVA rapport nr. 3028. 29 s.
- Molvær, J., H.I. Solheim og T. Källqvist 1986. Basisundersøkelse av Kristiansandsfjorden. Delrapport V. Vannutskiftning og vannkvalitet. Statlig prog. forurensningsovervåk. nr. 260/86. SFT/NIVA. Oslo. 78 s.
- Molvær, J., S.T. Källqvist og T.S. Traaen 1989. Resipientvurdering av Otra og Kristiansandsfjorden for utslipp fra treforedlingsindustri. NIVA rapport nr. 2218. 42 s.
- Næs, K. 1985. Basisundersøkelse av Kristiansandsfjorden. Delrapport 2. Metaller i vannmassene, metaller og organiske miljøgifter i sedimentene, 1983. Statlig prog. forurensningsovervåk. nr. 193/85. SFT/NIVA. 62 s.
- Oug, E. og F. Moy 1991. Overvåking av Kristiansandsfjorden 1990. Hardbunnsorganismer og bløtbunnsfauna ved Bredalsholmen og i Fiskåbukta. NIVA rapport 2651. Grimstad/Oslo. 40 s.
- Oug, E., T. Jacobsen og F. Moy 1994. Overvåking av Kristiansandsfjorden 1992-93. Hardbunnsorganismer og bløtbunnsfauna ved Odderøya, i Vesterhavn og i Korsvikfjorden. NIVA rapport nr. 3075. 60 s.
- Rygg, B. 1984. Bløtbunnsfaunaundersøkelser. Et godt verktøy ved marine resipientvurderinger. NIVA rapport F.481, OF-80612 II. Oslo.
- Rygg, B. 1985. Basisundersøkelse av Kristiansandsfjorden. Delrapport I. Bløtbunnsfaunaundersøkelser 1983. Statlig prog. forurensningsovervåk. nr. 176/85. SFT/NIVA (rapport nr. 1711). Oslo. 60 s.
- SFT 1993. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Virkninger av organiske stoffer. SFT-Veiledning nr. 93:05. SFT Oslo. 16 s.
- Sørensen, K., E. Aas, B. Faafeng og T. Lindell 1993. Fjernmåling av vannkvalitet. Videreutvikling av optisk satellittfjernmåling som metode for overvåkning av vannkvalitet. NIVA rapport 2860.

6. Vedlegg

1. Sedimentering av suspendert materiale

2. Bunnfauna

3. Tallbehandling

Vedlegg 1. Sedimentering av suspendert materiale

Måling av turbiditet (FTU) i vann fra sedimentasjonssylinder

	Timer fra start					Fredag	Fre\Lør	Lørdag	Lørdag	Mandag	Fredag
	0	0,17	0,5	2	6	9	KI 0100 15	KI 1000 24	KI 1600 30	KI 1430 76,5	KI 1100 168
Fortynning 34x											
10 cm	2,80	2,80	2,70	2,70	2,65	2,60	2,50	2,70	2,65	2,10	1,30
30 cm	2,80	2,80	2,80	2,75	2,70	2,70	2,60	2,80	2,70	2,30	1,80
50 cm	2,80	2,80	2,80	2,80	2,75	2,80	2,60	2,75	2,70	2,25	1,25
70 cm	2,80	2,80	2,80	2,90	3,00	3,00	2,70	2,65	2,70	2,30	1,30
90 cm	2,80	2,80	2,90	3,00	3,10	2,80	2,70	2,65	2,70	2,20	1,30
Fortynning 85x											
10 cm	1,75	1,60	1,65	1,65	1,70	1,50	1,50	1,65	1,55	1,20	1,00
30 cm	1,75	1,70	1,70	1,65	1,75	1,80	1,50	1,65	1,65	1,20	0,80
50 cm	1,75	1,70	1,70	1,70	1,70	1,75	1,55	1,70	1,65	1,20	1,50
70 cm	1,70	1,70	1,75	1,60	1,70	1,80	1,55	1,65	1,65	1,20	1,75
90 cm	1,75	1,75	1,80	1,75	1,80	1,90	1,75	1,60	1,65	1,10	1,10

Vedlegg 2. Bunnfauna

*Vedleggstabell 2.1. Posisjoner for prøvetakingen i
Kristiansandsfjorden 7. juni 1993*

Stasjon	Dyp	Posisjon
K 5	50	58° 08.14' N, 8° 02.65' E
K 7	70-74	58° 07.65' N, 8° 03.59' E
K 8	135	58° 07.58' N, 8° 00.94' E
K 9	195	58° 06.85' N, 8° 01.77' E
K 25	65	58° 07.72' N, 8° 00.03' E
K 31	162	58° 07.99' N, 8° 01.58' E
K 41	27	58° 07.40' N, 8° 00.28' E
K 42**	55-62	58° 08.33' N, 8° 01.23' E

** Stasjonen benevt K6 ved prøvetakingen, og i Oug et al. (1994)

Vedleggstabell 2.2. Fullstendige resultater for bunnfaunaprøvene. Tallene angir antall individer pr. 0.4 m².

		K 5	K 9	K 31	K 42
ANTHOZOA	Edwardsiidae indet	2	0	0	9
NEMERTINEA	Nemertinea indet	32	5	11	63
POLYCHAETA	Amaeana trilobata (M.Sars 1863)	3	2	0	0
	Ampharete sp	0	0	0	11
	Amphicteis gunneri (M.Sars 1835)	0	0	0	1
	Anobothrus gracilis (Malmgren 1865)	0	4	4	0
	Aphrodita aculeata Linne 1758	0	0	1	3
	Apistobranchus tullbergi (Theel 1879)	2	0	3	0
	Brada sp	0	0	0	2
	Capitella capitata (Fabricius 1780)	2	0	1	0
	Caulleriella cf. zetlandica (McIntosh 1911)	0	0	0	1
	Caulleriella sp	0	0	6	53
	Ceratocephale loveni Malmgren 1867	0	14	2	0
	Chaetozone setosa Malmgren 1867	31	11	33	47
	Chone sp	0	0	0	8
	Cossura longocirrata Webster & Benedict 1887	1	0	0	0
	Diplocirrus glaucus (Malmgren 1867)	89	7	28	69
	Drilonereis filum (Claparede 1868)	1	0	0	0
	Eclysippe vanelli (Fauvel 1936)	1	0	1	0
	Enipo kinbergi Malmgren 1865	1	0	0	0
	Eteone sp	1	0	0	6
	Euclymene sp	27	4	1	2
	Glycera alba (O.F.Mueller 1776)	12	0	1	23
	Glycera cf. rouxii Audouin & Milne Edwards	0	0	4	0
	Glycera rouxii Audouin & Milne Edwards 1833	10	0	0	3
	Glycinde nordmanni (Malmgren 1865)	0	0	3	7
	Goniada maculata Oersted 1843	12	0	0	16
	Gyptis rosea (Malm 1874)	0	1	3	0
	Harmothoe sp	5	1	1	4
	Heteromastus filiformis (Claparede 1864)	33	138	33	25
	Laonice cirrata (M.Sars 1851)	0	0	0	3
	Leanira tetragona (Oersted 1844)	0	5	2	0
	Lumbrineris sp	17	1	0	1
	Lysilla loveni Malmgren 1865	1	0	0	0
	Macrochaeta clavicornis (Sars 1835)	0	0	0	103
	Magelona alleni Wilson 1958	1	0	0	0
	Magelona minuta Eliason 1962	8	0	1	0
	Maldanidae indet	1	0	0	0
	Melinna cristata (M.Sars 1851)	0	48	14	0
	Myriochele oculata Zaks 1922	0	3	2	0
	Nephtys hombergii Savigny 1818	0	0	0	4
	Nephtys incisa Malmgren 1865	7	0	0	0
	Nephtys paradoxa Malm 1874	0	1	3	0
	Ophelina acuminata Oersted 1843	0	0	0	2
	Ophelina sp	1	0	0	0
	Ophiodromus flexuosus (Delle Chiaje 1822)	4	0	1	4
	Orbinia norvegica (M.Sars 1872)	0	0	1	0
	Owenia fusiformis Delle Chiaje 1841	0	0	0	2

	<i>Paramphinome jeffreysii</i> (McIntosh 1868)	1	35	37	7
	<i>Paramphitrite tetrabranchiata</i> Holthe 1976	8	0	0	3
	<i>Paraonis gracilis</i> (Tauber 1879)	23	9	0	0
	<i>Paraonis lyra</i> (Southern 1914)	4	0	3	0
	<i>Pectinaria auricoma</i> (O.F.Mueller 1776)	1	0	0	4
	<i>Pholoe minuta</i> (Fabricius 1780)	17	1	0	21
	<i>Phyllodoce groenlandica</i> (Oersted 1842)	1	0	1	9
	Phyllococidae indet	1	0	0	2
	<i>Pista cristata</i> (O.F.Mueller 1776)	0	1	8	5
	<i>Polycirrus plumosus</i> (Wollebaek 1912)	2	0	0	5
	<i>Polydora</i> cf. <i>socialis</i> (Schmarda 1861)	2	0	0	6
	<i>Polyphysia crassa</i> (Oersted 1843)	0	0	0	20
	<i>Prionospio cirrifera</i> Wiren 1883	2	0	0	1
	<i>Prionospio malmgreni</i> Claparede 1868	105	2	16	161
	<i>Prionospio multiobranchiata</i> Berkeley 1927	7	2	10	0
	<i>Proclea graffii</i> (Langerhans 1884)	0	1	0	0
	<i>Rhodine loveni</i> Malmgren 1865	0	10	0	0
	<i>Rhodine</i> sp	0	0	6	0
	<i>Scalibregma inflatum</i> Rathke 1843	2	0	0	20
	<i>Scionella lornensis</i> Pearson 1969	1	0	0	0
	<i>Scolecopsis</i> sp	51	0	0	10
	<i>Scoloplos armiger</i> (O.F.Mueller 1776)	1	0	0	9
	<i>Sosane sulcata</i> Malmgren 1865	0	0	0	25
	<i>Spiophanes bombyx</i> (Claparede 1870)	0	0	0	3
	<i>Spiophanes kroeyeri</i> Grube 1860	7	2	2	3
	<i>Synelmis klatti</i> (Friedrich 1950)	0	0	1	0
	<i>Terebellides stroemi</i> M.Sars 1835	11	15	16	1
	<i>Tharyx</i> sp	0	10	1	0
	<i>Trichobranchus roseus</i> (Malm 1874)	12	1	6	0
OLIGOCHAETA	Oligochaeta indet	0	0	1	25
PROSOBRANCHIA	<i>Epitonium clathratulum</i> (Kanmacher)	0	0	0	1
	<i>Hydrobia minuta</i>	1	0	0	0
	<i>Lunatia alderi</i> (Forbes)	5	0	0	10
	<i>Lunatia</i> sp	0	0	1	0
OPISTHOBRANCHIA	<i>Philine scabra</i> (O.F.Mueller 1776)	2	0	0	2
	<i>Philine</i> sp	0	0	0	1
CAUDOFOVEATA	Caudofoveata indet	1	1	6	0
BIVALVIA	<i>Abra nitida</i> (Mueller 1789)	54	34	92	0
	<i>Corbula gibba</i> (Olivi 1792)	5	0	0	3
	<i>Montacuta</i> sp	5	0	9	5
	<i>Mysella bidentata</i> (Montagu 1803)	7	1	0	10
	<i>Nucula sulcata</i> (Bronn 1831)	3	1	3	0
	<i>Nucula tumidula</i> (Malm)	1	2	0	0
	<i>Nuculoma corticata</i> (Moeller)	0	1	0	0
	<i>Nuculoma tenuis</i> (Montagu)	11	65	105	0
	<i>Parvicardium minimum</i> (Philippi 1836)	3	0	0	0
	<i>Thracia</i> sp	3	0	0	0
	<i>Thyasira</i> cf. [<i>flexuosa</i> (Montagu)/ <i>sarsi</i> (Philippi)]	46	1	26	34
	<i>Thyasira croulinensis</i> (Jeffreys)	2	0	0	0
	<i>Thyasira equalis</i> (Verrill & Bush)	0	32	83	0
	<i>Yoldiella lucida</i> (Loven 1846)	0	1	0	0
	<i>Yoldiella tomlini</i> Winckworth 1932	0	0	1	0
OSTRACODA	<i>Asterope mariae</i> (Baird)	0	0	1	1
	<i>Concheocia borealis</i> G.O.Sars	0	1	0	0
CUMACEA	<i>Diastylis cornuta</i> Boeck	0	0	0	5
	<i>Diastylis rostrata</i> Sars	0	0	0	28
	<i>Diastylodes biplicata</i> G.O.Sars	2	0	0	0
	<i>Diastylodes serrata</i> (Sars 1865)	0	3	0	0
	<i>Eudorella emarginata</i> Kroeyer	0	3	1	0

	<i>Eudorella truncatula</i> Sp.Bate	2	0	0	1
ISOPODA	<i>Eurycope cornuta</i> G.O.Sars	0	1	0	0
AMPHIPODA	<i>Ampelisca macrocephala</i> Liljeborg	1	0	0	0
	<i>Ampelisca tenuicornis</i> Lilljeborg	2	0	0	8
	<i>Bathymedon longimanus</i> (Boeck)	0	1	0	0
	<i>Cheirocratus sundewalli</i> (Rathke)	0	0	0	1
	<i>Eriopisa elongata</i> Bruzelius	1	8	12	0
	<i>Harpinia cf. pectinata</i> G.O.Sars	4	0	0	0
	<i>Phtisica marina</i> Slabber	0	0	0	1
	<i>Synchelidium haplocheles</i> (Grube)	0	1	0	0
	<i>Tryphosites longipes</i> (Bate & Westwood 1861)	1	0	0	16
	<i>Westwoodilla caecula</i> (Sp.Bate)	5	0	0	19
DECAPODA	<i>Callianassa tyrrhena</i> Pentagna	1	0	0	0
	<i>Calocaris macandreae</i> Bell 1846	0	2	6	0
	<i>Ebalia tuberosa</i> (Pennant)	0	0	0	2
SIPUNCULIDA	<i>Sipunculida</i> indet	1	0	0	0
PRIAPULIDA	<i>Priapulul caudatus</i> Lamarck 1816	0	0	0	1
OPHIUROIDEA	<i>Amphiura chiajei</i> Forbes	26	0	0	0
	<i>Amphiura filiformis</i> (O.F.Mueller)	0	0	2	10
ECHINOIDEA	<i>Brissopsis lyrifera</i> (Forbes)	4	1	3	0
	<i>Echinocardium cordatum</i> (Pennant)	0	0	0	8
	<i>Echinocardium flavescens</i> (O.F.Mueller)	0	0	2	0
HOLOTHUROIDEA	<i>Cucumaria elongata</i> Dueben & Koren	0	0	0	1
	<i>Labidoplax buski</i> (McIntosh)	1	0	0	6
<hr/>					
	Artstall	74	46	53	69
	Individtall	764	494	621	986
	H	4,86	3,87	4,28	4,87
	ES100	33,05	23,21	26,56	33,85
<hr/>					

Vedleggstabell 2.3. Artsutvalg for multivariatanalysene. Samlet individtall for artene er vist
Utvalget omfatter 16 stasjoner (1983: K5, K6, K7, K9, K11, K25, K31; 1990: K11, K40; 1993: K5, K7, K9, K25, K31, K41, K42), hver på 0.4 m².

Taxon	Sum ind.
Edwardsia spp.	73
Turbellaria indet	21
Nemertinea indet	530
Paramphinome jeffreysii (McIntosh 1868)	206
Pholoe sp	64
Typosyllis cornuta (Rathke 1843)	15
Ceratocephale loveni Malmgren 1867	26
Glycera alba (O.F.Mueller 1776)	81
Glycera rouxii Audouin & Milne Edwards 1833	62
Goniada maculata Oersted 1843	103
Lumbrineris scopa Fauchald 1974	69
Lumbrineris sp	32
Phylo norvegica (M.Sars 1872)	22
Scoloplos armiger (O.F.Mueller 1776)	681
Apistobranchnus tullbergi (Theel 1879)	35
Paraonis gracilis (Tauber 1879)	133
Prionospio cirrifera Wren 1883	34
Prionospio malmgreni Claparede 1868	583
Prionospio multiobranchiata Berkeley 1927	26
Scolecopsis spp	92
Spiophanes kroeyeri Grube 1860	59
Cauleriella sp	82
Chaetozone setosa Malmgren 1867	791
Macrochaeta clavicornis (Sars 1835)	103
Tharyx sp	97
Diplocirrus glaucus (Malmgren 1867)	347
Polyphysia crassa (Oersted 1843)	91
Scalibregma inflatum Rathke 1843	92
Heteromastus filiformis (Claparede 1864)	1105
Euclymene sp	76
Rhodine gracillior Tauber 1879	21
Rhodine loveni Malmgren 1865	30
Myriochele oculata Zaks 1922	255
Owenia fusiformis Delle Chiaje 1841	26
Ampharete sp	17
Melinna cristata (M.Sars 1851)	213
Samythella vanelli (Fauvel 1936)	22
Sosane sulcata Malmgren 1865	31
Lanassa venusta (Malm 1874)	11
Pista cristata (O.F.Mueller 1776)	64
Streblosoma intestinalis M.Sars 1872	40
Terebellides stroemi M.Sars 1835	106
Trichobranchnus roseus (Malm 1874)	63
Oligochaeta indet	1999
Lunatia alderi (Forbes)	22
Nucula sulcata (Bronn 1831)	59
Nuculoma tenuis (Montagu)	286
Thyasira equalis (Verrill & Bush)	124
Thyasira sarsi/flexuosa	1090
Montacuta tenella Loven	29
Mysella bidentata (Montagu 1803)	23
Abra nitida (Mueller 1789)	296
Corbula gibba (Olivi 1792)	136
Leucon pallidus G.O.Sars	28

Diastylis rostrata Sars	28
Tryphosites longipes (Bate & Westwood 1861)	17
Ampelisca tenuicornis Lilljeborg	37
Eriopisa elongata Bruzelius	67
Westwoodilla caecula (Sp.Bate)	43
Amphiura chiajei Forbes	188
Amphiura filiformis (O.F.Mueller)	524
Labidoplax buski (McIntosh)	52

Sammensl tte taxa:

Edwardsia spp.	Edwardsia cf. danica E. cf. longicornis E. tuberculata E. ind.
Pholoe sp.	Pholoe minuta Pholoe sp.
Typosyllis cornuta	Langerhansia cornuta Typosyllis cornuta
Glycera rouxii	Glycera rouxii G. cf. rouxii
Phylo norvegica	Orbinia norvegica Phylo norvegica
Scolelepis spp.	Scolelepis foliosus S. sp. S. tridentata
Chaetozone setosa	Chaetozone setosa C. sp.
Tharyx sp.	Tharyx cf. mcintoshi T. marioni T. sp.
Euclymene sp.	Euclymene praetermissa E. sp Euclymeninae ind.
Ampharete sp.	Ampharete lindstroemi A. sp.
Lunatia alderi	Lunatia alderi L. sp.
Nuculoma tenuis	Ennucula tenuis Nuculoma tenuis
Thyasira sarsi/flexuosa	Thyasira cf. flexuosa T. cf. sarsi T. flexuosa T. sarsi
Montacuta tenella	Montacuta tenella M. cf. tenella

Vedlegg 3. Tallbehandling

Artsmangfold

Artsmangfold (diversitet) er et begrep som søker å uttrykke struktur og mangfold i samfunn av arter. Jo flere arter det finnes i samfunnet og jo jevnere individfordelingen mellom artene er, jo høyere er diversiteten. Mål for diversitet beregnes ved relasjoner mellom antall arter og antall individer for artene. Målene tar ikke hensyn til hvilke arter som finnes, men opererer utelukkende på tallmessige forhold.

Høy diversitet preger samfunn som finnes i stabile og upåvirkede miljøer. Ved enkelte former for forurensning, spesielt organisk overbelastning, reduseres antallet arter samtidig som individmengden av tolerante arter kan øke kraftig. Dette kommer til uttrykk ved lavere verdier for diversitetsmålene. Bruk av diversitetsmål må betraktes som standard ved miljøundersøkelser.

Shannon-Wiener indeks

Indeksens verdi beregnes ved formelen:

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

der $p_i (= n_i/N)$ er den relative andel av art i av totalt individtall (N) i prøven og s er antall arter. Indeksen tar verdier fra null (bare en art tilstede) til 5-6 for svært artrike samfunn. Verdier $> 3-4$ indikerer gode forhold. Grenseverdier benyttet av NIVA i ulike undersøkelser er gitt i tabellen nedenfor. Tilstandsklasser i SFT's klassifiseringssystem (SFT 1993) er også vist.

H' log 2	Betegnelse	SFT klassifikasjon	
< 0.8	-	V	Meget dårlig
0.8 - 1.3	Svært lavt	IV	Dårlig
1.3 - 2.1	Lavt	III	Nokså dårlig
2.1 - 3.1	Moderat	II	Mindre god
3.1 - 4.3	Normalt	I	God
4.3 - 4.8	Høyt	-	-
> 4.8	Svært høyt	-	-

Indeksverdien er en funksjon både av artstall og av individfordelingen mellom artene i samfunnet. For et gitt antall arter tar indeksen maksimumsverdi ($= \log_2 s$) når alle har samme individtall. Dette kan brukes til å beregne en indeks for jevnhet (Pielou's jevnhet) ved å sette

$$J = H' / \log_2 s$$

J tar verdier fra 0 (bare en art tilstede) til 1 (alle arter har samme individtall).

Hurlbert rarefaction funksjon

Dette er en metode hvor diversiteten uttrykkes grafisk som en funksjon mellom antall arter og antall individer. Med utgangspunkt i totaltallet arter og individer i en prøve beregnes hvor mange arter man ville vente å finne i delprøver med færre individer. Forventet artsantall plottes så (ordinat) mot individantall (absisse). Diversiteten vises derved ved kurvens form og plassering i diagrammet, høy diversitet gir kurver som stiger bratt. Teoretisk sett er diversiteten ved dette uavhengig av prøvestørrelse. Beregningene bygger på sannsynlighetsregning og utføres etter formelen:

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

der $E(s)$ er forventet antall arter i en delprøve på n individer, og hele prøven består av N individer, s arter og N_i individer av hver art. Rygg (1984) har utarbeidet et standarddiagram for klassifisering av diversitet basert på funksjonen. I dette diagrammet plottes normalt bare endepunktene for diversitetskurvene (dvs. antall arter mot antall individer).

Fra funksjonen kan det beregnes forventet antall arter ved et gitt individtall, et mål som kan brukes som en diversitetsindeks. Standard er å gi antall arter ved 100 individer ($E(s_{100})$). Ved gode forhold overstiger indeksverdien 20 og ved svært høy diversitet overstiger verdien 40. I SFT's klassifiserings-system er verdien 18.5 satt som grense for tilstandsklasse I (god).

Likhetsanalyser (multivariate metoder)

Likhetsanalysene søker å gi en fremstilling av forskjeller og likheter i faunaens sammensetning mellom et sett av prøver eller lokaliteter. Ved dette kan det avgjøres om noen prøver/lokaliteter skiller seg særlig ut eller om det opptrer mønstre i geografisk fordeling og tid. Slike avvik eller mønstre kan i neste omgang sammenholdes med kjente miljøforhold. Generelt inndeles analysene i hovedgruppene clusteranalyser (klassifikasjon) og ordinasjon.

Clusteranalyser

I clusteranalysene ordnes prøvene i grupper (clustre) etter graden av innbyrdes likhet. De vanligste analysene illustrerer dette i et hierarkisk oppbygd diagram (dendrogram), begynnende med prøvene med størst innbyrdes likhet.

Matematisk forløper beregningene i to trinn: først beregnes likhet mellom alle prøver/stasjoner tatt to og to ved bruk av et matematisk mål for likhet (similaritetsindeks), dernest konstrueres dendrogrammet på basis av de beregnede likhetsverdiene.

I analysene som her benyttes beregnes likheten mellom prøvene etter 'Bray-Curtis' likhetsmål (ofte også benevnt Czekanowski's indeks):

$$BC_{p,q} = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^s |x_{pi} - x_{qi}|}{\sum_{i=1}^s (x_{pi} + x_{qi})} \right)$$

hvor x_{pi} er mengdeverdien for art i på prøve p og x_{qi} er mengdeverdien for art i på prøve q, og s er totalt antall arter. Indeksens verdiområde varierer fra 1 (identiske prøver) til 0 (helt ulike prøver, dvs. ingen felles arter).

I de fleste tilfeller må verdiene transformeres før beregningene. Vanligst benyttet er rot-, dobbel rot-, eller logaritme-transformering. Transformeringen reduserer den relative effekten av høye verdier (f. eks. høye individtall på enkeltprøver) og sikrer en logisk balanse mellom dominerende og individfattige arter i prøvene.

Dendrogrammet fremstilles etter prinsippet 'group average sorting' hvor likheten mellom to grupper beregnes ut fra gjennomsnittsverdien av likheten mellom prøvene som inngår i gruppene.

Ordinasjon

I ordinasjonsanalysene framstilles prøvene som punkter i et rettinklet koordinatsystem. Avstanden mellom punkter i diagrammet representerer graden av likhet mellom prøvene, eller egentlig ulikhet, slik at tett liggende punkter viser svært like prøver.

I denne rapporten er det benyttet en form av ordinasjonsanalyser kalt MDS ('Multidimensional scaling'). Denne analysen tar utgangspunkt i den samme beregning av likhet mellom prøvene som i clusteranalysen ('Bray-Curtis indeks'), men bruker dette som grunnlag for å plote prøvepunktene i koordinatsystemet. Analysen søker ut (ved iterasjoner) den punktkonfigurasjon hvor avstandene mellom punktene gir best mulig tilpasning til de beregnede likhetsverdiene mellom prøvene.

Plottet kan fremstilles i to eller flere dimensjoner. Tilpasningen til datasettet er best i de fler-dimensjonale løsningene, men det er vanlig å bare gi den to-dimensjonale løsningen som er enkel å fremstille grafisk. Hvor god tilpasningen er, måles ved en egen indeks, en såkalt stress-faktor. Denne skal ha en verdi som helst ikke overstiger 0.1. På grunn av slektskapet mellom clusteranalysen og MDS-analysen er det vanlig å sammenholde plottene mot hverandre.



Norsk institutt for vannforskning

Postboks 173 Kjelsås, 0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00 Fax: 22 18 52 00

ISBN 82-577-2767-9