

OR-1795

O-83046

Bunnfaunaundersøkelser i TVEDESTRANDSFJORDEN



NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

Hovedkontor
Postboks 333
0314 Oslo 3
Telefon (02)23 52 80

Sørlandsavdelingen
Grooseveien 36
4890 Grimstad
Telefon (041)43 033

Østlandsavdelingen
Rute 866
2312 Ottestad
Telefon (065)76 752

Vestlandsavdelingen
Breiviken 2
5035 Bergen - Sandviken
Telefon (05)25 53 20

Prosjektnr.:	0-83046
Undernummer:	
Løpenummer:	1795
Begrenset distribusjon:	Fri

Rapportens tittel: BUNNFAUNAUNDERSØKELSER I TVEDESTRANDSFJORDEN	Dato: 05.10.85
	Prosjektnummer: 0-83046
Forfatter (e): RYGG, BRAGE WIKANDER, PER BIE	Faggruppe: HYDROØKOLOGI
	Geografisk område: AUST-AGDER
	Antall sider (inkl. bilag): 33

Oppdragsgiver: TVEDESTRAND KOMMUNE	Oppdragsg. ref. (evt. NTNF-nr.):
---------------------------------------	----------------------------------

Ekstrakt: Rapporten bygger på prøvetaking i nov. 1983 og des. 1984. De dypere deler av Tvedestrandsfjorden ut til Sagesund viste en ekstremt utarmet fauna og til dels døde bunnområder. Stasjonen utenfor Sagesund hadde også et lavt artsmangfold. Situasjonen i fjorden er relatert til stagnerende dypvannmasser p.g.a. terskler, store deponier av sagflis samt utledning av urensset spillvann på grunt vann fra Tvedestrand by.

4 emneord, norske:
1. Tvedestrandsfjorden
2. Bløtbunnsfauna
3. Kommunale utslipp
4. Overvåkning

4 emneord, engelske:
1. Tvedestrand Fjord
2. Soft bottom fauna
3. Municipal sewage
4. Monitoring

Prosjektleder:

Per Bie Wikander

For administrasjonen:

Jan M. Høy

ISBN 82-577-0990-1

0-83046

BUNNFAUNAUNDERSØKELSER I TVEDESTRANDSFJORDEN

Grimstad, 05.10.85

Prosjektleder: Per Bie Wikander

Forfattere: Brage Rygg

Per Bie Wikander

F O R O R D

I forbindelse med behandling av utslippstillatelse for Tvedestrand kommune har forvaltningen stilt krav om innsamling av miljødata fra fjorden. Datatilfanget skulle gi et bedre beslutningsgrunnlag for å vurdere de miljøtekniske tiltak som mest hensiktsmessig burde iverksettes i forbindelse med samling og utslipp av avløpsvannet.

I lokalpolitiske fora har det dessuten blitt uttrykt et sterkt ønske om en mer omfattende resipientundersøkelse.

Under forhandlinger med Tvedestrand kommune og forurensningsmyndigheten (Fylkesmannen) ble det enighet om at prosjektet skulle deles mellom Statens Biologiske Stasjon Flødevigen (SBSF) og NIVA. SBSF skulle forestå den hydrografiske prøvetakingen, mens NIVA skulle forestå bunnprøvetaking og analyse av bløtbunnsamfunnet.

20. oktober 1982 kom en henvendelse fra Fylkesmannen i Aust-Agder om å utarbeide programforslag med budsjett. Saken ble behandlet i Tvedestrand kommunestyre 10. februar 1983.

For benthos-delens vedkommende ble det ansett for tilstrekkelig med en prøvetakningsrunde pr. år, med et behov for tre årsserier for å fange opp eventuelle utviklingstendenser. Prøvetakingen ble utført fra F/B "NUEN" av Tvedestrand. Første gang i november 1983, andre gang desember 1984.

Det innsamlede materiale har blitt identifisert av dels cand. real. Øystein Stokland, Rogalandsforskning, dels cand. real. Brage Rygg, NIVA, dels ved lokalavdelingen.

Grimstad, 5. oktober 1985

Per Bie Wikander

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side
FORORD	1
KONKLUSJONER OG SAMMENDRAG	3
<u>Formål</u>	3
<u>Sammendrag</u>	3
<u>Konklusjoner</u>	4
INNLEDNING	7
<u>Områdebeskrivelse</u>	8
<u>Bakgrunn og formål for undersøkelsen</u>	10
MATERIALE OG METODER	11
RESULTATER OG DISKUSJON	13
Faunaens artssammensetning	13
Likhet i fauna fra stasjon til stasjon og gruppering av innbyrdes like prøver	16
Artsmangfold	19
Log-normalfordeling av individantall blant arter	22
Sedimentene	27
LITTERATUR	31

KONKLUSJONER OG SAMMENDRAG

Formål.

Tvedestrand kommune har fått midlertidig utslippstillatelse for kommunalt avløpsvann tilsvarende 4000 p.e. Midlertidigheten gjelder frem til 01.01. 1989 med krav om rensing via maskinrenset rist med 10 mm lysåpning.

Avløpsvannet skal ledes ut på ca 50 m dyp utenfor Bertnes. Forurensningsforvaltningen har følt det slik at for å kunne ta stilling til fremtidig rensing etter midlertidighetens utløp, må det samles inne mer omfattende data fra fjorden enn de som foreligger inntil nå (kun hydrografi). På denne bakgrunn har NIVA Sørlandsavdelingen blitt forespurt, sammen med Statens Biologiske Stasjon Flødevigen (SBSF) om å forestå denne datainnsamling. Arbeidet er blitt organisert på den måte at NIVA Sørlandsavdelingen har foretatt bunnfaunaundersøkelser, mens SBSF har undersøkt hydrografi og plankton.

Undersøkelsene har pågått siden senhøsten 1983 og skal pågå minimum i 3 år.

Foreliggende rapport omhandler bunnfaunaundersøkelsene i 1983 og 1984.

Sammendrag.

Bunnprøvetakingen ble foretatt med en prøvetaking pr år, ultimo november 1983 og ultimo desember 1984. Med unntak av indre havn og bukta ved Østerå, ble stasjonene lagt i de dypeste bassengene langs fjordens dypål (se fig. 1). Utenfor Tvedestrandsfjordens munning ble det valgt en referansestasjon på 70 m dyp. Gjennomsnittsdypet for stasjonene i selve fjorden er 63,5 m med en spredning fra 52 til 85 m.

Prøvetakingen ble foretatt med 0,1 m² Petersen bunngrabb.

Det ble tatt 5 replikater pr. stasjon, hvorav samtlige er blitt opparbeidet. Prøvene ble vasket gjennom perforerte stålplate-sikter med maskevidde på 5.0 og 1.0 mm. Prøvene ble fiksert i etanol.

På hver stasjon ble det tatt en delprøve av sediment som er oppbevart dypfrosset for eventuell senere analyse med hensyn på TOC etc.

På fjordens dypeste stasjon (st. 3) ble det i tillegg til prøvetaking som beskrevet også tatt en sedimentkjerne for inspeksjon av lagdeling, samt datering.

De faunistiske data ble bearbeidet med hensyn på Hurlberts diversitetskurver og Shannon Wiener's diversitetsindeks i tillegg til klase- og kjedeanalyser, samt log-normal-plott. Det er også foretatt en inndeling av forurensningstolerante og forurensningsømfientlige arter på de ulike stasjonene.

Konklusjoner.

Miljøet på de ulike stasjonene skal oppsummeres i det følgende:

St. 1 Tvedestrand indre havn 9 m dyp.

I 1983 fantes kun mematoder plus børstemarken *Capitella Capitata*. Disse er forurensningstolerante og opportunistiske. Shannon Wieners indeks for artsmangfold: 0.6 dvs. meget lav. I 1984 var stasjonen død. Sedimentet var fin sand, svart mudder og finstoff fra kloakk, sterkt stinkende.

St. 2. Bukten ved Østerå 25 m dyp.

Kun to arter funnet i 1983: Børstemarkene *Heteromastus hili-formis* og *polydora* sp. Dette tilsier organisk overbelastning av området.

Shannon Wiener's indeks for artsmangfold 1.7, som er lavt. I 1984 var stasjonen død. Sedimentet besto av fin sand og store mengder sagflis og var sterkt sulfidholdig.

St. 3. Bjernevikhalsen 85 m dyp.

Stasjonen var død både i 1983 og 1984. Sedimentet besto av silt, fin sand og et sterkt innslag av sagflis. Sedimentet besto av i betydelig grad sulfidholdig.

St. 4. Sør for Sagesund 57 m dyp.

I 1983 var stasjonen død. I 1984 ble det påvist en art (krepsdyr) *Diastylis rathkei*. Dette var antagelig en tilfeldig gjest. Sedimentet var mørk grå silt med et sterkere innslag av sulfider i 1984 sammenlignet med 1983. Innholdet av sagflis var lite, men til stede.

St. 5. Nesbukta 52 m dyp.

Her ble det for første gang påvist en fauna med et mer normalt artsmangfold, samt arter som ansees for å være ømfintlig for forurensningsbelastning, f.eks. muslingene *Abra nitida* og *Mysella bidentata* m.fl., slangesjernen *Amphiura chiajei* mm.

Shannon Wiener's indeks for artsmangfold ble i 1983 beregnet til 2,9 og i 1984 til 3,3, altså en tilsynelatende forbedring. Sedimentet var grå silt, lik normalt fjordsediment.

St. 6. Bota 60 m dyp.

Her fantes også forurensningsømfintlige arter, bl.a. de samme som er nevnt under St. 5. Shannon Wiener's indeks for artsmangfold ble for 1983 beregnet til 3,5, mens den for 1984 var 2,6, altså tilsynelatende en forverring. Sedimentet var grå silt.

St. 7. V. for Gylteskjær 70 m dyp.

Her ble det påvist et karakteristisk innslag av den rørbyggende børstemarken *Spiochaetopterus typicus*, en art som kan overleve i områder med dårlige oksygenforhold, men også børstemarken *Maldane sarsi* som ansees forurensningsømfintlig. Indeksen for artsmangfold ble for 1983 beregnet til 2,5 og for 1984 til 1,7, altså en nedgang.

Sedimentet besto av mørk grå silt, som i 1984 hadde en svak lukt av sulfid.

For fire av stasjonene er det altså påvist en nedgang i artsmangfold fra 1983 til 1984 (St. 1, 2, 6 og 7). Økning ble påvist på en stasjon (St. 5). To stasjoner var døde eller praktisk talt døde både i 1983 og 1984 (St. 3 og 4).

Det er ikke grunnlag for å hevde at endringene i artsmangfold som ble påvist er signifikante (til å stole på). Mer sannsynlig er det kanhende at endringene reflekterer naturlige variasjoner i faunabildet (faunaen er ikke jevnt fordelt). Ikke desto mindre viser undersøkelsene en fjord som er sterkt organisk belastet, dels p.g.a. tilførsler, dels på grunn av stagnasjon i dypbassengene forårsaket av terskler. En medvirkende årsak til fjordens miljø er utvilsomt de tydeligvis store mengder sagflis som er deponert. Dateringen av sedimentkjernen fra Bjørnevikhalsen (St. 3) viste at deponiet av sagflis kan dateres tilbake til ca år 1700. Dette betyr at de tiltak man måtte treffe for å forbedre forurensningssituasjonen vil bli svekket av disse historisk sett gamle tilførsler som uten tvil vil bidra til å prege miljøet i de dypeste deler av den indre fjord i et stort antall år fremover.

Tilførsler for overflateavrenning og nedbør forøvrig, er ikke foretatt. Dette faller utenfor temaet for foreliggende rapport. I forbindelse med en analyse av fjordens nærings saltbudsjett, er det imidlertid viktig at også dette arbeidet blir gjort.

INNLEDNING

Organismesamfunnet på bløt bunn (som vi som oftest finner i fjorder) er sammensatt av en lang rekke arter som ernærer seg av det organiske materiale som produseres i vannmassen.

Fordelen med bunnundersøkelser ligger fremfor alt i det forhold at de aller fleste organismene er gravende eller fastsittende og kan derfor ikke unnslippe dersom miljøet blir dårlig. Arter går enten til grunne eller overlever. De fleste artene er flerårige, hvorav noen oppnår høy alder, samtidig som de har bestemte krav til miljøet. Hvilke arter som fins, artenes innbyrdes mengde og individtettheten bestemmes i stor grad av faktorer som: næringstilgang, sedimentets beskaffenhet, type av sedimenterende organisk materiale, oksygeninnholdet over og under sedimentoverflaten, temperatur, miljøgifter, nedslamming og andre forstyrrelser.

Normale, balanserte samfunn opptrer når stabile, naturgitte betingelser rå, og fysiske og kjemiske faktorer (f.eks. oksygenkonsentrasjon, saltholdighet, grumsing) ikke er ekstreme. Forurensningspåvirkninger og andre forstyrrelser med kort tidsskala kan føre til avvikende arts- og individsammensetning i faunasamfunnet. Fordi marine bløtbunnsamfunn normalt er artsrike og likeartede over store områder, er det lett å oppdage uregelmessigheter i dem. Derfor er de velegnet som indikatorsamfunn ved bedømmelse av forurensningstype og -grad.

I de senere årene er det utviklet statistiske bearbeidelsesmetoder som produserer utsagnskraftige grafiske fremstillinger når det gjelder graden av miljøforstyrrelse (Pearson, T.H., J. Gray, P. J. Johannessen 1983, Rygg 1984).

Det er disse metoder som er anvendt i den foreliggende rapport.

Områdebeskrivelse

Tvedestrandsfjorden skjærer seg inn i landmassivet i nordlig retning og er ca 8 km lang i luftlinje. Fjordens forløp er imidlertid kroket, med flere sidefjorder, f.eks. farvannene på innsiden av Borøya og Tverdalsøya, Østeråbukta m.fl.

Fjorden har tre hovedbasseng og tre terskler med minkende terskeldyp innover. Den innerste terskelen ligger ved Furøy på 17 m dyp. Den midterste ligger nord for Saltnes og har et dyp på 24 m. Dypeste terskel ligger nær fjordens munning på ca 40 m dyp. Fjordens dypeste basseng ligger innenfor innerste terskel. Største dyp 87 m er like ved St. 1 Bjørnevikhalsen (fig. 1). Midterste basseng er 55 m dypt og det ytterste har et største dyp på 58 m.

Den eksisterende avløpssituasjon i Tvedestrand i dag går ut på urensset utslipp under kai inne i havnen (fig. 1). Utslippet tilsvarer idag ca. 4 000 p.e. Fremtidig skal avløpet ledes til Bertnes (fig. 1) og ut på ca 50 m dyp.

Det er tidligere samlet inn en del data fra Tvedestrandsfjorden. All informasjon omfatter hydrografiske data (Dannevig 1971, Danielsen 1978, 1979, 1981 og Dahl, Dahl & Danielsen 1984, 1985). Rapportene viser en fjord som det meste av året har en streng lagdeling og hvor dypvannet kan ha oksygensvikt over lengre perioder. Imidlertid viste Dahl, Dahl & Danielsen (1985), at oksygenforholdene, relativt sett, var bedre i 1984 enn tidligere.

Ferskvannstilførslene til Tvedestrandsfjorden er ikke store og hovedsakelig representert ved elva fra Østeråvann og bekken fra Fjærekjenn som renner gjennom Tvedestrand sentrum. Nedslagsfeltet til fjorden er således lite og naturlige tilførsler fra land må ansees som mindre betydelige, men beregninger på disse bør foretas.

Bebyggelsen er konsentrert innerst i fjorden representert ved Tvedestrand by. To mindre tettsteder ligger lenger ute i fjorden: Sagesund og Bota (fig. 1).

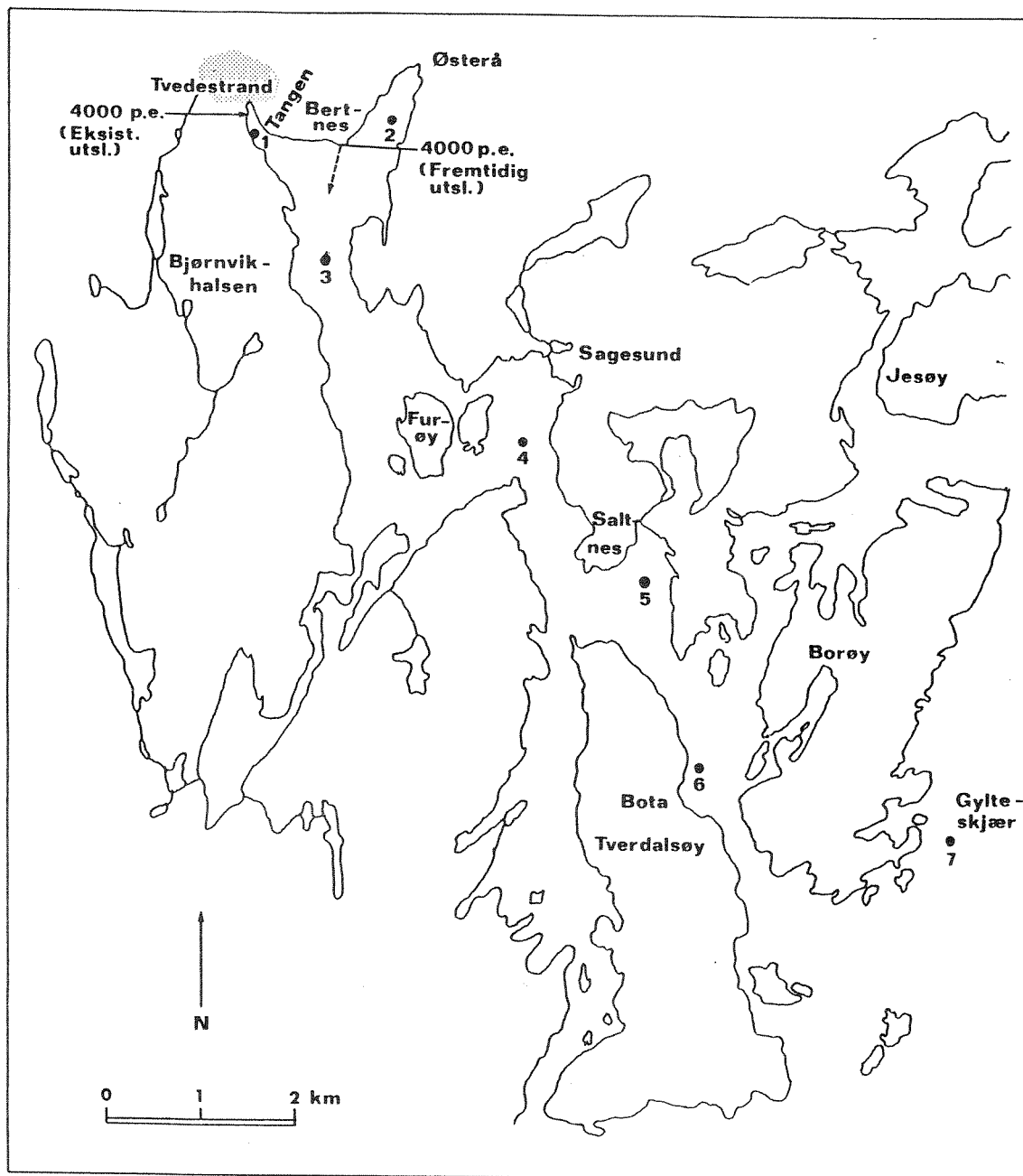


Fig. 1. Prøvetakingsstasjonenes beliggenhet.

Bakgrunn og formål for undersøkelsen.

Behovet for omfattende data fra Tvedestrandsfjorden er påkrevet sett på bakgrunn av at Tvedestrand kommune søker fylkesmannen om utsettelse av bygging av renseanlegg, og ønsker i første omgang flytte hovedutslippet fra havneområdet til Tangen.

Det fremgikk på møte i Tvedestrand 13. juli 1982 mellom representanter for kommunen, fylkets utbyggingsavdeling og NIVA's sørlandsavdeling at forurensningsmyndigheten (Fylkesmannen) stilte krav om bedre innsikt i prosessene i fjorden for å kunne gi søknaden fra kommunen en seriøs behandling. I de lokalpolitiske fora har dessuten sterke ønsker kommet til uttrykk for å iverksette en mer omfattende resipientundersøkelse enn de som hittil er foretatt. På denne bakgrunn ble NIVA's sørlandsavdeling anmodet om å utarbeide et program- og kostnadsoverslag for en slik undersøkelse.

Det heter i den midlertidige utslippstillatelse gitt av Fylkesmannen i Aust-Agder den 21. februar 1983:

"Denne tillatelse er midlertidig og det skal gjennomføres undersøkelser av resipienten, Tvedestrandsfjorden, for å fastlegge eventuelt behov for rensetiltak. Kommunen har innhentet tilbud på undersøkelser fra Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA) og fra Statens Biologiske Stasjon, Flødevigen (SBSF). Utslippstillatelsen er betinget av at undersøkelser, i samsvar med hva som er tilbudt av de to institusjoner, blir gjennomført.

Undersøkelsene kan enten utføres av NIVA alene eller ved de to institusjoner i fellesskap. Undersøkelsen skal starte straks og pågå inntil tre år etter at utslippet på Bertenesnes er etablert.

Eventuelle reduksjoner i det årlige undersøkelsesprogram skal godkjennes av fylkesmannen."

Selv om hovedtemaet i foreliggende rapport er bunnfauna, så har avdelingen fått særskilt henvendelse fra oppdragsgiver om ønskeligheten av å vurdere de totale tilførsler til fjorden relatert til de kommunale utslipp - både m.h.t. næringsalter, organisk stoff og vannvolumer.

Det har videre blitt uttrykt sterk interesse for å utrede hvilke konsekvenser et dypvannsutslipp kan ha for vannutskiftingen i fjorden, dypere enn terskelnivå.

Erfaringer hittil har vist at etablering av dypvannsutslipp kan fremkalle terskeloverskyllinger som kan fornye dypvannet ned til utslippdypet (Se Johannessen 1972 ; Berge, Molvær et al. 1982) behandler grundigere ulike prinsipper og metoder for kunstig frembrakt dypvannsfornyelse i terskelfjorder og poller.

Disse problemstillingene er uten tvil interessante også når det gjelder Tvedestrandsfjorden, og bør bli gjenstand for nøyere beregninger. Det er dog viktig å være klar over at slike tiltak kan ha ugunstige effekter ved at råttent, eller svært næringsrikt dypvann dermed kan bringes til overflaten med luktulempere eller sterk algevekst tilfølge. Visse typer algevekst kan som kjent medføre store ulemper for skjell- og fiskeoppdrett.

Volum- og fortynningsberegninger, samt tidspunkt og hydrografisk situasjon må vurderes meget nøye i forbindelse med et slikt tiltak.

Og videre:

"Det skal fastsettes rensekrav for avløpet på bakgrunn av gjennomførte resipientundersøkelser. Slike rensekrav vil bli satt snarest mulig etter at undersøkelsene er avsluttet og senest innen 1.1.1989."

Foreliggende rapport omhandler resultater av bunnfaunaundersøkelsene i to på hverandre følgende år, nemlig november 1983 og desember 1984.

TVEDESTRANDSRAPPORT MATERIALE OG METODER

Prøvetakingen ble utført fra F/B "Nuen" av Tvedestrand om vinteren 1983 og 1984. Denne årstid ble valgt fordi det da er en lav aktivitet av planktoniske bunndyrlarver som søker mot bunnen. Massenedslag av slike larver kan gi fortolkningsmessige problemer under bearbeidelsen av materialet.

Prøvene ble tatt med en Petersen bunngrabb (fig. 2).

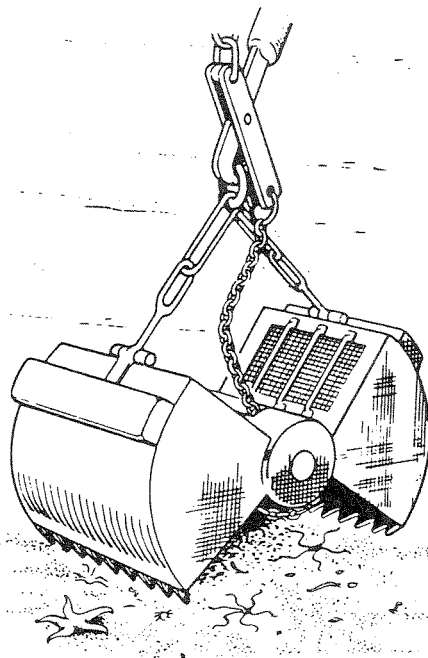


Fig. 2. Petersen bunngrabb.

En slik grabb hugger ut 0.1 m^2 av sjøbunnen og samler således et like stort areal hver gang. Dette muliggjør en direkte sammenligning mellom stasjonene, samt en kvantitativ bearbeidelse av data. Etter som organismer i bunnen ikke er jevnt fordelt, ble det tatt flere gjentatte grabbhugg pr. stasjon (rep-likater) for å fange opp variasjonen.

Stasjonsnettets som fremgår av fig 1. ble lagt langs fjordens dypål for å kunne beskrive en på forhånd antatt forurensningsgradient. Referansestasjonen ble lagt til området mellom Tvedestrandsfjordens munning og Hagefjorden - et område som med god grunn kunne antas å være upåvirket av utslippene.

Hver prøve ble vasket gjennom et sett med stålplatesikter med perforerte huller med henholdsvis 5,0 og 1,0 mm diameter. Sikterestene ble fiksert i etanol for senere mikroskopisk bearbeidelse i laboratoriet.

Når det gjelder den videre statistiske bearbeidelse av materialet, har vi funnet det mest hensiktsmessig å introdusere disse metodene under følgende kapittel: "RESULTATER OG DISKUSJON".

RESULTATER OG DISKUSJON

Faunaens artssammensetning

Hvilke arter som er vanlige på en lokalitet er bl.a. avhengig av miljøforholdene.

Tabell 1 viser artenes individantall i prøvene fra hver stasjon i 1983 og 1984. På stasjon 3 og 4 i 1983 og stasjon 1 og 3 i 1984 fantes det ikke dyr. Artsantall og samlet individantall er vist i tabell 2.

Basert på et stort materiale fra norske fjorder har Rygg (1985a) analysert hvilke arter som er forurensingstolerante og -ømfintlige. I det følgende er disse analyser lagt til grunn for vurderingene.

I 1983 dominerte børstemarken *Capitella capitata* og rundormer (Nematoda) på stasjon 1, mens de så godt som manglet på alle de andre stasjonene. Disse er forurensningstolerante og opportunistiske arter som kan øke kraftig i mengde ved sterk forurensning. Høye individantall av disse artene samtidig med mangel på andre arter kan tyde på at faunaen er på nippet til å utslettes helt. I 1984 fantes det ikke dyr på stasjon 1. På stasjon 2 i 1983 dominerte børstemarkene *Polydora* sp. og *Heteromastus filiformis*. Også disse er tolerante arter som, hvis de dominerer på en lokalitet, indikerer dårlige forhold.

I 1984 var 4 individer av *Heteromastus filiformis* de eneste dyr som ble funnet på stasjon 2. Stasjon 3 og 4 var døde i både 1983 og 1984, unntatt ett individ av krepsdyret *Diastylis rathkei* i 1984. På stasjon 5 var *Heteromastus filiformis* den vanligste arten, men også flere andre arter fantes i betydelig antall. Vanlige var muslingene *Thyasira sarsi/flexuosa*, *Abra nitida*, *Nuculoma tenuis*, *Corbula gibba* og *Mysella bidentata*, børstemarken *Lanassa venusta* (1983) og slangestjernen *Amphiura chiajei* (1984). På stasjon 6 og 7 var *Corbula gibba*, *Nuculoma tenuis*, *Thyasira sarsi/flexuosa* og børstemarkene *Maldane sarsi* og *Spiochaetopterus typicus* vanlige, samt *Heteromastus filiformis*, *Abra nitida* og *Mysella bidentata* (stasjon 6, 1983) og *Diastylis rathkei* (stasjon 7, 1983).

Rygg (1985a) klassifiserte *Thyasira sarsi* og *Corbula gibba* som forurensningstolerante arter, mens *Abra nitida*, *Nuculoma tenuis*, *Mysella bidentata*, *Amphiura chiajei* og *Maldane sarsi* ble klassifisert som ømfintlige overfor betydelig forurensning. Flere forurensningsømfintlige arter fantes på stasjon 5, men manglet på de andre stasjonene. Disse artene var børstemarkene *Brada villosa*, *Melinna cristata*, *Rhodine loveni* og *Synelmis klatti*, krepsdyret *Eudorella emarginata*, og sjøpølsen *Labidoplax buskii*.

Tabell 1. Komplette bløtbunnfaunaresultater fra Tvedestrandsfjorden 1983/1984. Tallene angir individantall av hvert taxon i prøvene.

Taxon:	Stasjon, år									
	TV 01 83	TV 02 83	TV 05 83	TV 06 83	TV 07 83	TV 02 84	TV 04 84	TV 05 84	TV 06 84	TV 07 84
Anthozoa										
EDWARDSIA SP	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
VIRGULARIA MIRABILIS (MUELLER)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Nemertinea										
NEMERTINEA INDET	0	0	5	3	0	0	0	0	0	0
Nematoda										
NEMATODA INDET	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sipunculida										
PHASCOLION STROMBI (MONTAGU 1804)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Priapulida										
PRIAPULUS CAUDATUS LAMARCK 1816	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Polychaeta										
BRADA VILLOSA (RATHKE 1843)	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
CAPITELLA CAPITATA (FABRICIUS 1780)	158	2	0	0	0	0	0	0	0	0
CHAETOZONE SETOSA MALMGREN 1867	0	1	5	1	0	0	0	0	0	0
DIPLOCIRRUS GLAUCUS (MALMGREN 1867)	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
DORVILLEIDAE INDET	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

(forts. neste side)

(forts. fra forrige side)

Stasjon, år

Taxon:	TV	TV	TV	TV	TV	TV	TV	TV	TV	TV
	01 83	02 83	05 83	06 83	07 83	02 84	04 84	05 84	06 84	07 84
GLYCERA SP	0	0	5	0	1	0	0	0	0	0
GONIADA SP	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0
HETEROMASTUS FILIFORMIS (CLAPAREDE 1864)	0	25	265	29	1	4	0	60	0	0
LANASSA VENUSTA (MALM 1874)	0	1	23	4	0	0	0	0	0	0
LUMBRINERIDAE INDET	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
MALDANE SARSI MALMGREN 1865	0	1	0	3	250	0	0	0	11	14
MELINNA CRISTATA (M.SARS 1851)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
MYRIOCHELE OCCULATA	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
OPHIODROMUS FLEXUOSUS (DELLE CHIAJE 1822)	0	0	5	3	14	0	0	0	0	0
PECTINARIA KORENI MALMGREN 1865	0	1	7	4	12	0	0	0	0	0
PECTINARIA SP	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
PHYLLODOCINAE INDET	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
POLYCIRRUS SP	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
POLYDORA SP	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0
POLYPHYSIA CRASSA (OERSTED 1843)	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0
RHODINE LOVENI MALMGREN 1865	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
SABELLIDAE INDET	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
SCALIBREGMA INFLATUM RATHKE 1843	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
SPIOCHAETOPTERUS TYPICUS M.SARS 1856	0	0	0	2	83	0	0	0	13	56
SYNELMIS KLATTI (FRIEDRICH 1950)	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
TERBELLMORPHA INDET	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
TROCOCHAETA MULTISETOSA (OERSTED 1843)	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0
Crustacea										
AMPELISCA TENUICORNIS LILJEBORG	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
DIASTYLIS RATHKEI KROEYER	0	0	4	3	108	0	1	0	0	0
EUDORELLA EMARGINATA KROEYER	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
LEUCON NASICA (KROEYER)	0	0	0	0	0	0	0	17	1	0
PAGURUS BERNHARDUS (L.)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

(forts. neste side)

Tabell 2. Individantall (N), artsantall (S) og artsmangfold i prøvene. $E(S_{n=100})$ er forventet artsantall pr. 100 individer; H er Shannon-Wieners diversitetsindeks.

	Stasjon													
	01	02	03	04	05	06	07	01	02	03	04	05	06	07
	83	83	83	83	83	83	83	84	84	84	84	84	84	84
Individantall (N)	184	73	0	0	536	169	610	0	4	0	1	188	49	98
Artsantall (S)	2	9	0	0	29	20	19	0	1	0	1	24	9	5
Artsmangfold, $E(S_{n=100})$	2,0	-	-	-	15,8	17,6	10,0	-	-	-	-	17,9	-	5,0
Artsmangfold, H'	0,6	1,7	-	-	2,9	3,5	2,5	-	-	-	-	3,3	2,6	1,7

$E(S_{n=100})$: Se fotnote til figur 5.

H : Diversitetsindeksen $H = \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$ (Shannon & Weaver 1963), hvor

P_i er andelen av art i av det totale individantall, s er artsantall.

Likhet i fauna fra stasjon til stasjon og gruppering av innbyrdes like prøver.

Det er beregnet innbyrdes likhet for alle par av prøver for begge år. Det er brukt en kvantitativ beregningsmåte som tar hensyn til de enkelte arters individantall som prosent av alle individer på stasjonen (Tabell 3).

Tabell 3. Likhetsverdier (PS) for alle par av prøver.

	2	5	6	7	2	5	6	7
	83	83	83	83	84	84	84	84
1-83	3	0	0	0	0	0	0	0
2-83		38	22	3	34	32	1	1
5-83			60	19	49	61	22	16
6-83				24	17	48	41	22
7-83					0	17	57	38
2-84						32	0	0
5-84							24	14
6-84								62

Likhetsverdien PS (percent similarity) regnes ut ved:

$$PS = \sum_{i=1}^S \min(P_{ai}, P_{bi})$$

(Renkonen, 1938), hvor P_{ai} er prosentandelen av art i av det totale individantall på stasjon a , P_{bi} er tilsvarende for stasjon b , og $\min(P_{ai}, P_{bi})$ er den minste av de to prosentandelene for art i . Ved total likhet er PS lik 100. Ved total ulikhet er den lik 0.

På grunnlag av likhetsverdiene for alle par av prøver er det foretatt en gruppering ved hjelp av s.k. (1) clusteranalyse og (2) lenkegruppering. Resultatet av clusteranalysen er framstilt som dendrogram på figur 3. Dendrogrammet skiller prøver som er forskjellige, og grupperer dermed også prøver som er innbyrdes mer like. Like prøver grupperes tidligst sammen i dendrogrammet, d.v.s. lengst til venstre. Skalaen viser en ulikhetsindeks, basert på likhetsverdiene. Ved en ulikhetsindeks på 0,75 som grupperingskriterium framtrer det 3 grupper, samt 2 enkeltprøver uten gruppetilhørighet. Gruppene er: (6-83), 5-84, 5-83), (2-84, 2-83), (7-84, 6-84), (4-84), (1-83). Stasjonene er således stort sett gruppert hver for seg, unntatt stasjon 6. Faunaen på stasjon 6 var i 1983 mest lik stasjon 5, i 1984 mest lik stasjon 7.

TVEDESTRANDSFJORDEN 1983-84

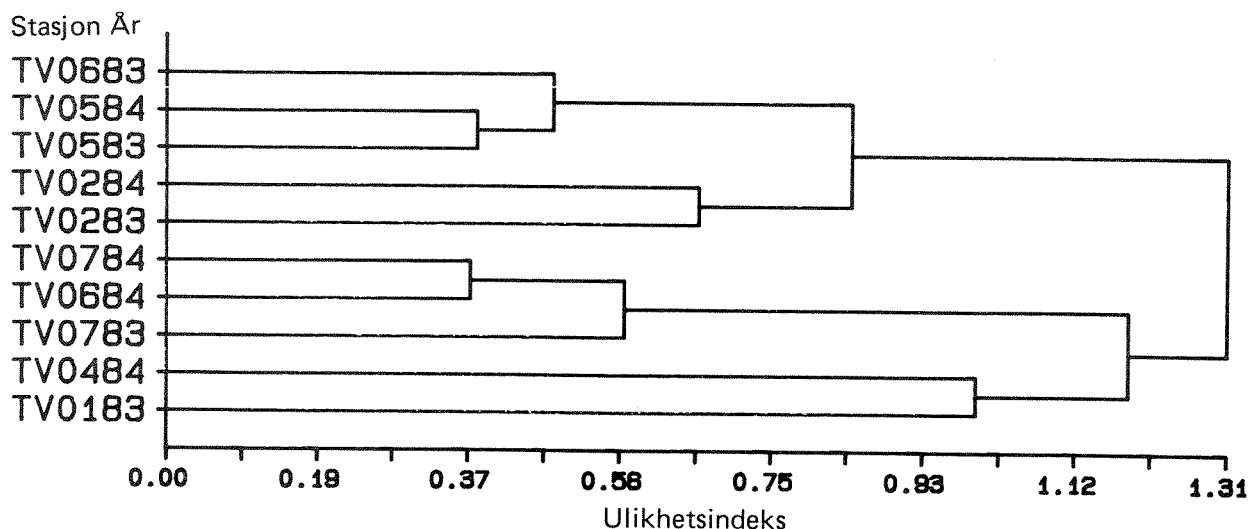


Fig. 3. Dendrogram som beskriver grupperinger av stasjoner basert på likhet i faunaen mellom stasjoner (se tabell 3). Like stasjoner grupperes tidligst sammen i dendrogrammet, dvs. lengst til venstre. Skalaen angir en ulikhetsindeks.

Gruppering etter lenkemetoden er framstilt på figur 4. Prøver innenfor hver lenke har større innbyrdes likhet enn prøver i adskilte lenker. Mellom lenkene er det større eller mindre grad av overlapping. I alt 4 grupper (lenker), samt 1 enkeltprøve uten gruppetilhørighet framkom ved å benytte en likhetsverdi på 30 eller mer (tabell 3) som kriterium for grupperingen. Resultatene av lenkegrupperingen samsvarer med resultatet av clusteranalysen. I tillegg avslørtes en gradvis forandring fra stasjon 2 via stasjon 5 og 6 til stasjon 7, slektskap mellom stasjon 2 og stasjon 5, og slektskap mellom 1983- og 1984-faunaen på stasjon 6.

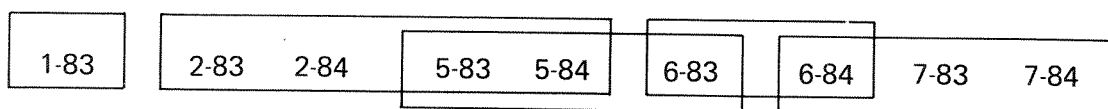


Fig. 4. Lenkegruppering av prøvene m.h.t. faunalikhet. Prøver innenfor hver lenke har større innbyrdes likhet ($PS > 30$) enn prøver i adskilte lenker ($PS < 30$).

Artsmangfold.

Høyt arts mangfold (diversitet) henger bl.a. sammen med normale miljøforhold. Organisk belastning og fysiske og kjemiske stressfaktorer fører til at opportunistiske arter øker sine individantall og blir dominerende i samfunnet, mens mer ømfintlige arter slås ut. Resultatet er at arts mangfoldet blir lavere.

Arts mangfoldet er definert som artsantall som funksjon av individantall og kan fremstilles som en kurve i et diagram med individantallet langs x-aksen og artsantallet langs y-aksen (figur 5). Individantallet i prøvene øker i takt med prøvestørrelsen, mens artsantallet ikke øker i samme grad. Stigningen på kurven avtar derfor etter hvert som individantallet øker. Høyt artsantall i forhold til individantall betyr høyt arts mangfold. Dette gir brattere kurve enn lavt arts mangfold. Vi bruker en logaritmisk x-akse for å få en god fremstilling av kurven.

Klassifisering av arts mangfoldet etter et system foreslått av Rygg (1984) for å gradere forurensningspåvirkning er vist i figur 6.

En annen vanlig brukt indeks for å uttrykke arts mangfoldet er Shannon-Wieners diversitetsindeks (H).

Kurvene er beregnet ved:

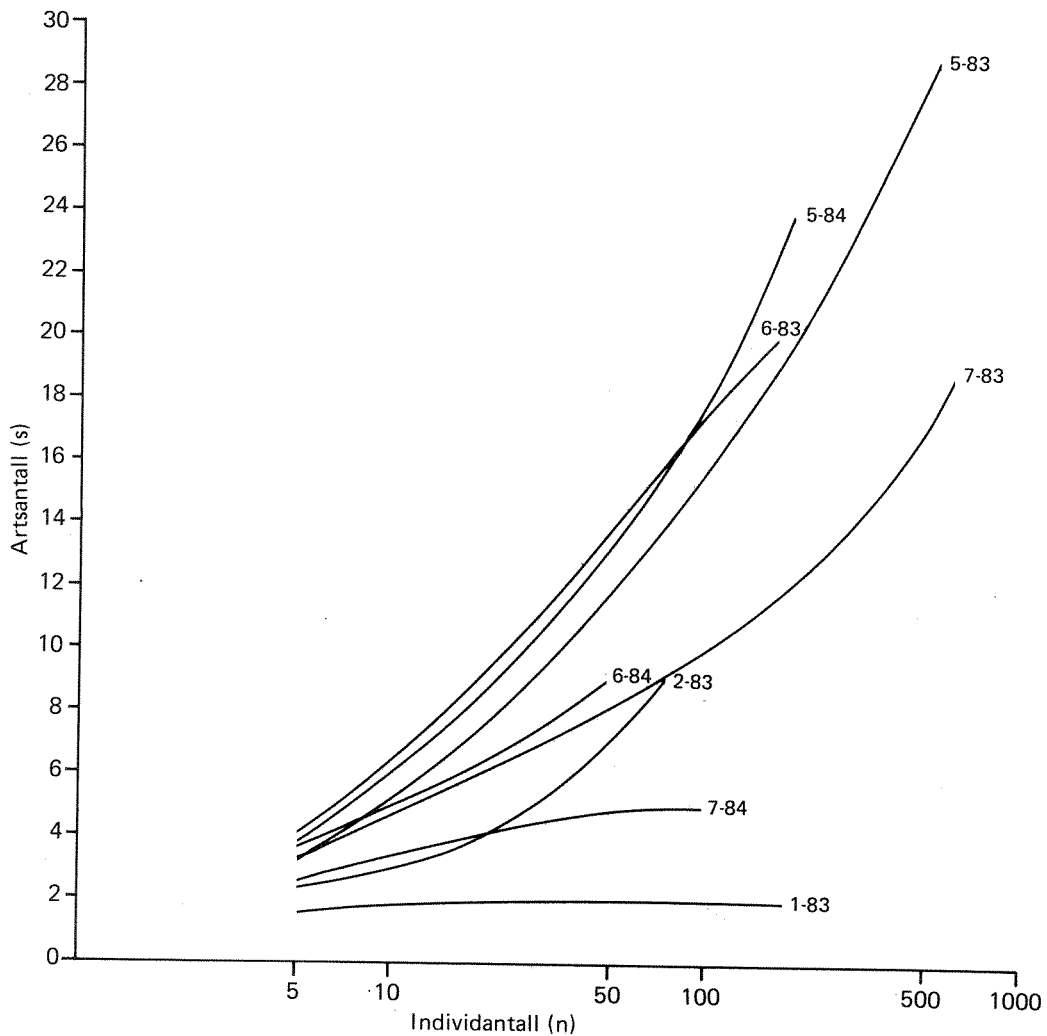
$$E(S_n) = \sum_i \left[1 - \frac{\binom{N - N_i}{n}}{\binom{N}{n}} \right] \quad (\text{Hurlbert 1971})$$

N_i = individtall av i-te art

N = det samlede individantall i Prøven

$E(S_n)$ = Det forventede antall arter i en delprøve på n individer fra en prøve som inneholder N individer, S arter og N_i individer av i-te art.

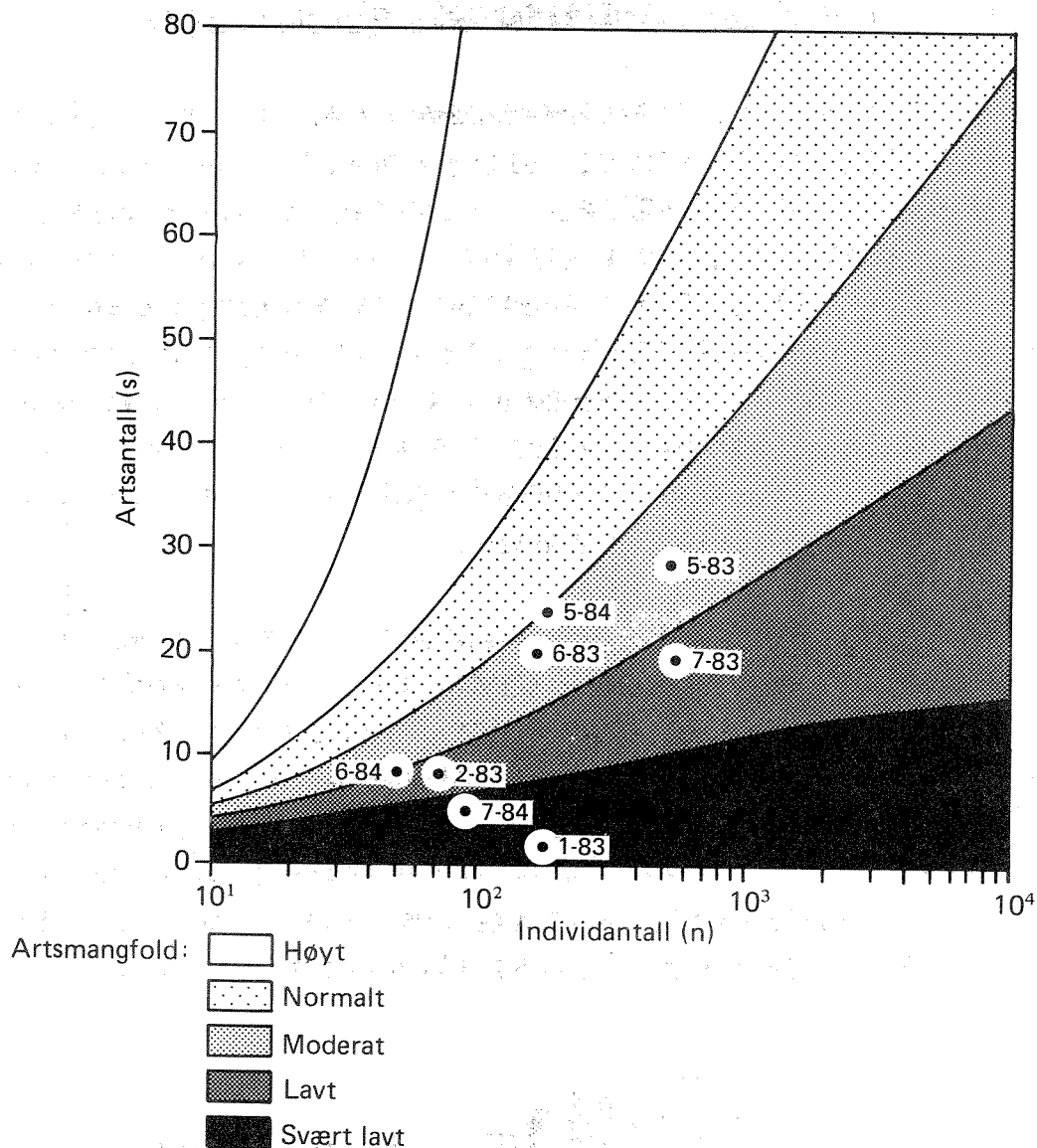
$E(S_n)$ kan beregnes for alle prøvestørrelser hvor $n < N$. Diversiteten vil da framstå som en kurve. Kurven beskriver artsantallet som funksjon av individantallet.



Figur 5. Kurver for artsantall som funksjon av individantall (artsmangfold).

I tabell 2 er artsmangfoldet i de aktuelle prøvene, uttrykt både ved forventet artsantall pr. 100 individer, og ved indeksen H, vist.

Materiale fra en rekke fjordområder i Norge har vist at diversiteten uttrykt som antall arter pr. 100 individer vanligvis ligger på 20-30 på lokaliteter uten betydelig forurensningsbelastning eller andre spesielle forhold. Færre enn 10 arter pr. 100 individer tyder på dårlige forhold. Mellom 10 og 20 arter pr. 100 individer er også en forholdsvis lav diversitet, og er vanlig å finne på f-eks- organisk belastede lokaliteter. Flere



Figur 6. Plotting av artsantall mot individantall i et generelt klassifiseringssystem (Rygg, 1984) for arts- mangfold i bløtbunnfaunasamfunn.

enn 30 arter pr. 100 individer er en uvanlig høy diversitet. Ovenstående gjelder prøvetaking med Petersen grabb og bearbeidet etter frasiling med porestørrelse 1 mm.

Moderat arts- mangfold ble funnet i prøvene fra stasjon 5 og 6 i 1983 og stasjon 5 i 1984. Svært lavt arts- mangfold viste prøvene fra stasjon 1 i 1983 og stasjon 7 i 1984. Arts- mangfoldet kunne ikke bestemmes for stasjon 2 og 4 i 1984 på grunn av for få dyr. Bare 1 art fantes i hver av prøvene.

Log normal-fordeling av individantall blandt arter.

Ved prøvetaking av et organismsamfunn er det vanlig at man identifiserer alle artene og teller dem. Man kan sortere de ulike artene i mengdegrupper etter en såkalt geometrisk mengdeskala (se tabell 4). Ved plotting av disse data i et aksekors hvor de geometriske klasser er angitt på x-aksen og antall arter innenfor de ulike klasser på y-aksen, vil det, når prøvestørrelsen er tilstrekkelig, fremkomme en kurve som er tilnærmet normalfordelt (klokkekurve). Etter som x-aksen i virkeligheten er en logaritmisk skala (når geometriske klasser) kalles en slik kurve for en log-normal-fordeling.

Ved de prøvestørrelser som er vanlige ved resipientundersøkelser vil imidlertid ikke hele normalfordelingen fremkomme til høyre for y-aksen, men bare en del av den. Dersom man øker prøvestørrelsen til det uendelige (omfattende hele samfunnet) vil også hele klokkekurven fremkomme. Dette betyr i praksis at i et totalt organismsamfunn er det få arter som er meget sjeldne og få arter som er meget tallrike. De fleste ligger "midt på treet." Dette forhold er forsøkt illustrert i Fig. 7.

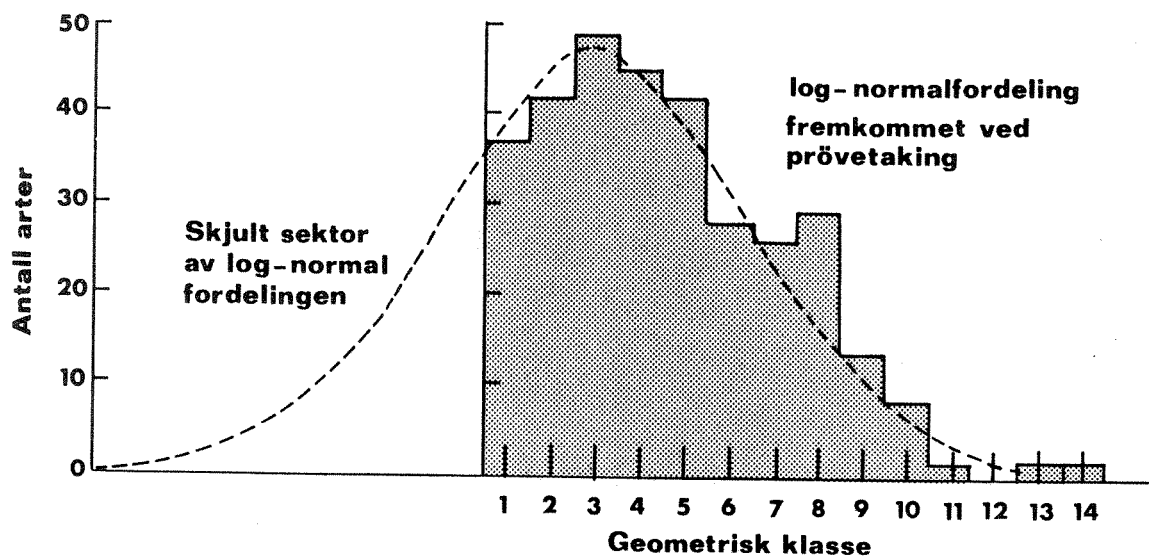


Fig. 7. Forholdet mellom log-normal-fordelingskurven og innsamlet/ikke-innsamlet materiale (etter Krebs 1978).

I stabile og artsrike organismsamfunn observeres som regel en tilnærmet log-normal frekvensfordeling av individantall blant artene. Avvik fra log-normalfordeling kan tyde på forandringer i samfunnet, f.eks. som følge av forurensningspåvirkning. Avvik fra den log-normale fordeling kan oppdages ved plotting på normalfordelingspapir, av den kumulative prosent av antall arter (ordnet etter stigende individantall) mot logaritmen (eller geometrisk klasse) av individantall pr art. Gray og Mirza (1979) påviste avvik i flere forurensede områder, og foreslo å benytte metoden til å registrere biologiske forandringer forårsaket av forurensninger. Ved moderat organisk belastning viste dataene knekk i det ellers rettlinjete, log-normale plottet. Dette forklares ved at de artene som best kan utnytte de forandrete forholdene, blir mer tallrike (Gray og Mirza 1979; Gray og Pearson 1982). Forutsatt at de vanligere artene, i gjennomsnitt, kan tolerere eller utnytte forurensningen bedre enn de sjeldnere artene kan, vil dette føre til knekk i log-normalen (Ugland og Gray 1982). Som nevnt kan frekvensfordelingen også framstilles ved å plote antall arter pr geometrisk klasse av antall individer, mot geometrisk klasse. Det vil normalt gi en jevnt avtakende kurve. Ved avvik fra log-normal fordeling opptrer det ekstra topper i plottet utover langs x-aksen (Gray 1982).

For at metoden skal være pålitelig, kreves det artsrike og store prøver (Gray og Mirza 1979). Ved små og artsfattige prøver kan det opptre tilfældige avvik som ikke er signifikante. Det er derfor nødvendig å bruke et kritisk skjønn ved tolkningen av log-normale plot, og eventuelt utelukke små prøver fra analysen. Rygg (1985b) valgte 16 arter som minimum for at prøven skulle inngå i log-normal analyse. Bare 4 av prøvene fra Tvedestrandundersøkelsen oppfyller dette kravet (tabell 2).

Enkelte forfattere (Shaw et al. 1983; Platt og Lambshead 1985) har forkastet log-normal metoden.

Log-normale plot av dataene fra Tvedestrandsfjorden er vist på figur 8-9, både i kumulativ prosent og som antall arter innenfor de ulike geometriske klasser. Bare resultatene fra stasjon 5, 6 og 7 i 1983 og stasjon 7 i 1984 er tatt med.

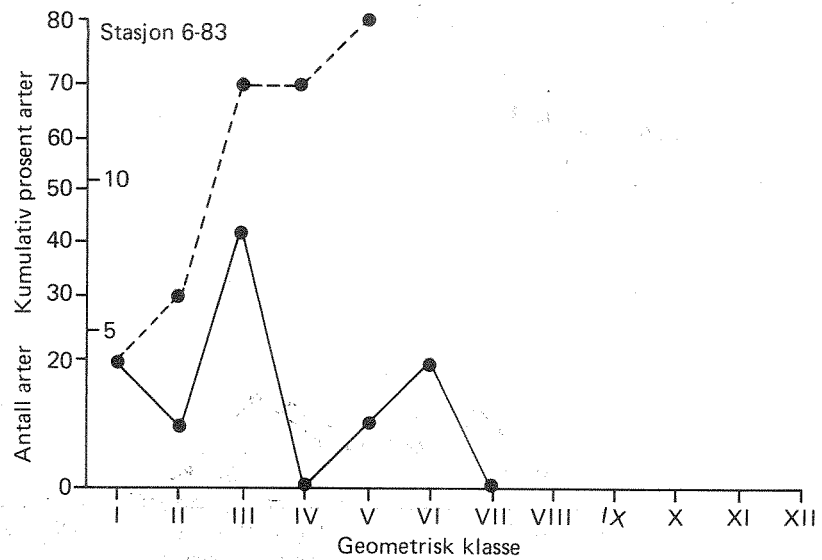
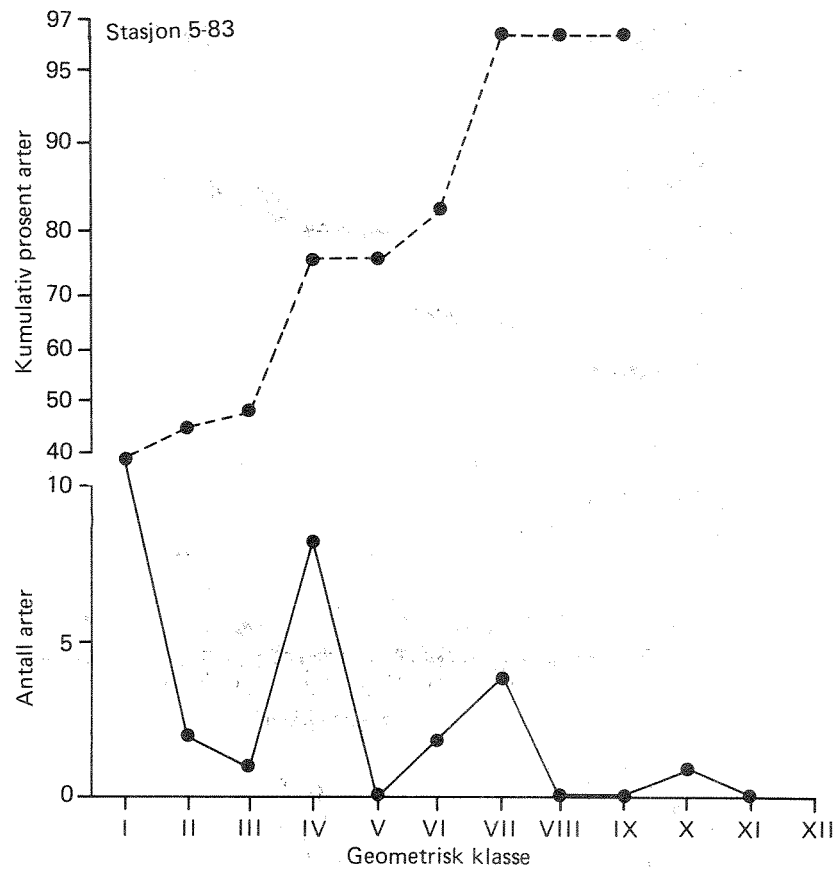
De andre prøvene var for små eller artsfattige til at log-normal

testen ville være relevant eller gi noen informasjon utover det som de andre databehandlingsmetodene ga. Eksempel på omregning av individtallene til geometriske klasser er gitt i tabell 4.

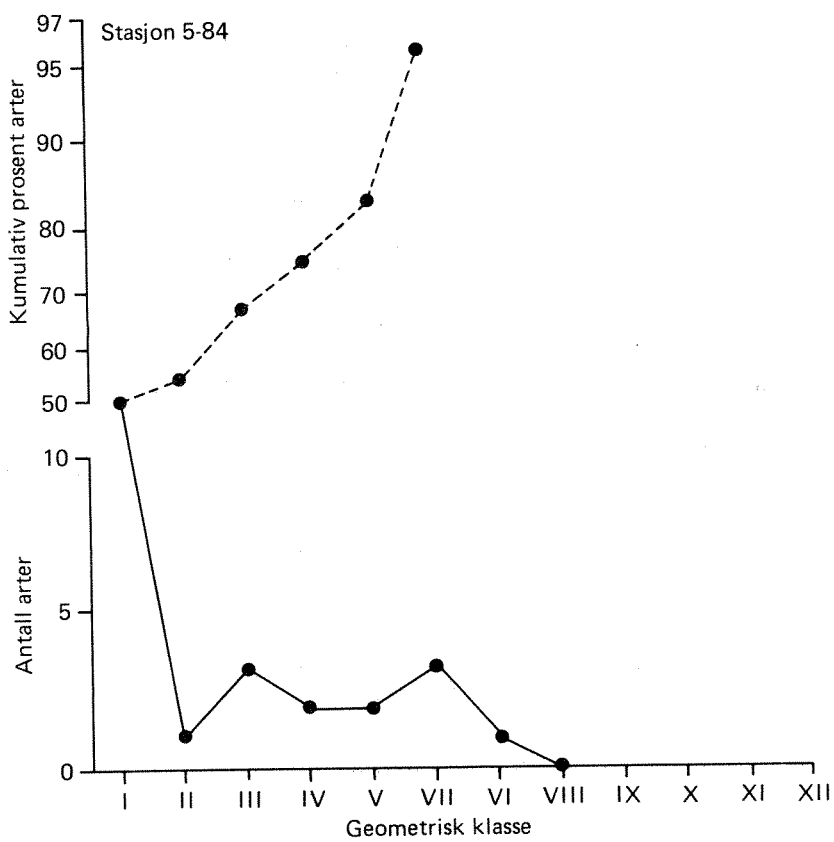
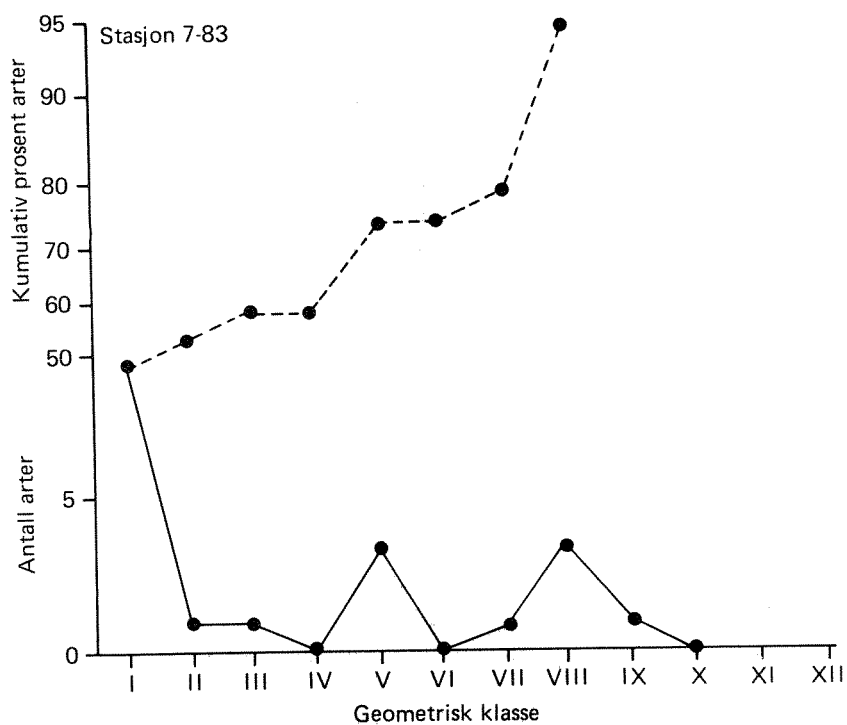
Tabell 4. Omregning av individantall til geometrisk klasse og frekvensfordeling av artene med hensyn til individantall - eksempel - stasjon 5, 1983.

Individantall	Geometrisk klasse	Antall arter	Kumulativt ant.arter	Kumulativ % arter
1	I	11	11	38
2	II	2	13	45
3-4	III	1	14	48
5-8	IV	8	22	76
9-16	V	0	22	76
17-32	VI	2	24	83
33-64	VII	4	28	96,6
65-128	VIII	0	28	96,6
129-256	IX	0	28	96,6
257-512	X	1	29	100

Det kunne ikke bekreftes konsistente knekk i de kumulative plottene (figur 8) av den typen som er vist av f.eks. Gray og Pearson (1982). Det opptrådte topper i artsantallet innenfor klassene V til X (figur 9). Dette viser en mer eller mindre høy grad av dominans av visse arter i faunasamfunnet, og samsvarer med resultatene fra artsmangfoldanalysen, som viste lavere artsmangfold enn normalt i alle prøvene (figur 6).



Figur 8. Antall arter pr. geometrisk klasse av antall individer, og log-normale plot, av dataene fra stasjon 5-1983 og 6-1983.



Figur 9. Antall arter pr. geometrisk klasse, og log-normale plot, av dataene fra stasjon 7-1983 og 5-1984.

Det kan virke overraskende at St. 7 omtales som sterkt forstyrret eller forurenset i denne sammenheng. Som det er blitt nevnt innledningsvis er St. 7 referansestasjonen som skulle angi forholdene slik de er upåvirket av utslippene fra Tvedestrand by. Forklaringen er at St. 7 er beliggende i et naturlig sedimentasjonsbasseng i en fordypning av bunnen hvor vannbevegelsene er meget små og som derfor tillater sedimentering av organiske partikler fra vannsøylen over. Fenomenet er vel kjent fra andre områder som ikke er direkte påvirket av utslipp fra tettsteder og bysamfunn. Slike områder må karakteriseres som forurenset eller forstyrret, men altså ikke nødvendigvis av direkte kloakkutslipp e.l. Stasjonen ble valgt ut på grunnlag av rent kartmessig vurdering. Konklusjonen må bli at St. 7 ikke egner seg som referansestasjon.

Sedimentene

Det er hittil ikke foretatt kornfordelingsanalyser av sedimentet, ei heller glødetap og C og N-analyser. Dypfryste sedimentprøver er imidlertid oppbevart i fall det vil vise seg å være av interesse å supplere undersøkelsen med slike data.

I tabell 6 gis en karakteristikk av sedimentene basert på en visuell vurdering.

Følgende kan trekkes ut av tabell 6: Sedimentene i indre del av Tvedestrandsfjorden er i betydelig grad preget av sagflis (særlig Østeråbukta og Bjørnevikhalsen) samtidig som de er tydelig preget av sulfider (som virker ekskluderende på de fleste faunaelementer). Først ute ved Sagesund er innslaget av sagflis så beskjedent at dette ikke kan tas med som karakteriserende for sedimentet, men selv så langt ute var sedimentet preget av sulfider. Det er først ute ved Saltnes og Bota at man kan tale om tilsynelatende uforstyrrede fjordsedimenter. På referansestasjonen kommer det igjen et mørkere, mer organisk belastet sediment som luktet sulfid i 1984.

Organiske partikler fra kloakk etc. tærer på oksygeninnholdet i stagnerende vannmasser. Dette gjør også sagflisen, selv om

Tabell 6. Karakteristikk av sedimentene i Tvedestrandsfjorden. Symboler: -: ikke tegn til sulfid. (+) svak lukt av sulfid. +: svart sulfidholdig sediment til stede. ++: sulfidholdig sediment dominerer. +++: svart stinkende gytje.

St. nr.	Lokalitet	Dyp m	Sedimentkarakteristikk			
			1983	1984	1983	1984
1	Indre havn	9	Fin sand. Finstoff fra kloakk	Svart mudder. toalettpapir	+++	+++
2	Østeråbukta	25	Fin sand, sagflis	som i 1983	++	++
3	Bjørnevikhalsen	85	Mørk grå silt, sagflis	"	++	++
4	S. for Sagesund	57	Mørk grå silt	"	+	++
5	Nesbukta	52	Grå silt	"	-	-
6	Bota	60	Grå silt	"	-	-
7	V. for Gylteskjær	70	Mørk grå silt	"	-	(+)

om denne er tyngre nedbrytbar enn førstnevnte forurensning. Sagflisen kan derfor ha stor betydning for miljøet i fjordens dypere lag.

For å få et inntrykk av sagflislagets mektighet ble det tatt en sedimentpropp (corer) på St. 3, Bjørnevikhalsen. Proppen hadde et meget karakteristisk utseende: De øverste ca 40 cm besto av mørk grå silt med et tydelig innslag av sagflis. Under dette laget endret sedimentet brått karakter og gikk over til en kalkholdig fin sand. Det var tydelig at sedimenteringsmiljøet i indre deler av Tvedestrandsfjorden på et gitt tidspunkt hadde blitt radikalt forandret. Ulike nivåer av proppen ble datert ved hjelp av radioaktivt bly. Overgangen mellom de to sedimentlagene daterer seg tilbake til ca år 1700. (se fig. 10).

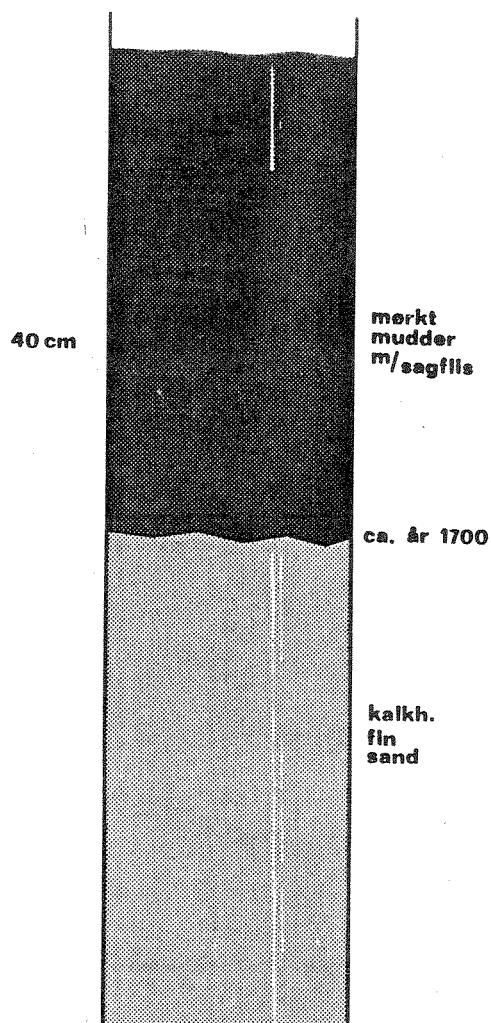


Fig. 10. Skisse av sedimentpropp fra Bjørnevikhalsen som viser to distinkt forskjellige sedimentlag.

Fra andre kilder er det kjent at trelastindustrien på Sørlandet tok seg opp først helt mot slutten av 1600-tallet. Det kan derfor ikke utelukkes at den organiske belastning på fjordsystemet satte inn for meget lenge siden og som, kombinert med en serie terskler har bidradd sterkt til å prege fjordens dypvannsmiljø slik det er idag.

LITTERATUR

- Berge, F.S., Molvær, J., Nilsen, G., Thendrup, A. 1982. Fjordforbedring. Tiltak for å bedre oksygenforholdene i poller og terskelfjorder. Norsk institutt for vannforskning, Oslo, 81046/Norges hydrodynamiske laboratorier, Trondheim, 282077.
- Dahl, E., Dahl, F. E., & Danielsen, D.S. 1984. Resipientundersøkelser i Tvedestrandsfjorden 1983. Flødevigen meldinger 5, 1984: 1-45.
- Dahl, E., Dahl, F. E., & Danielsen, D. S. 1985. Resipientundersøkelser i Tvedestrandsfjorden 1984, Flødevigen meldinger 4, 1985: 1-80.
- Danielsen, D.S. 1978. Rapport angående resipientundersøkelser i Risør/Tvedestrandsområdet 1976-77. Rapport fra Statens Biologiske Stasjon Flødevigen mai 1978. 48 pp.
- Danielsen, D. S. 1979. Rapport angående resipientundersøkelser i Risør/Tvedestrandsområdet i 1978. Rapport fra Statens Biologiske Stasjon Flødevigen oktober 1979. 46 pp.
- Danielsen, D. S. 1981. Rapport angående resipientundersøkelser i Risør/Tvedestrandsområdet i 1979. Rapport fra Statens Biologiske Stasjon Flødevigen juni 1981. 43 pp.
- Dannevig, G. 1971. Resipientundersøkelser på Skagerakkysten. Delrapport for Tvedestrandsområdet. Rapport fra Statens Biologiske Stasjon Flødevigen 27. februar 1971. 3 pp.
- Gray, J. S. (1982). Effects of pollutants on marine ecosystems. Neth. J. Sea Res. 16: 424-443.
- Gray, J. S., Mirza, F. B. (1979). A possible method for the detection of pollution-induced disturbance on marine benthic communities. Mar. Pollut. Bull. 10: 142-146.

- Gray, J. S., Pearson, T. H. (1982). Objective selection of sensitive species indicative of pollution-induced change in benthic communities. I. Comparative methodology. Mar. Ecol. Prog. Ser. 9: 111-119.
- Hurlbert, S.N. (1971). The non-concept of species diversity. Ecology 53: 577-586.
- Johannessen, P.J. (1972). Undersøkelser i Nordåsvannet 1969-70. Hydrografi, planktoniske kopepoder, og en kort oversikt over meduser og ctenophorer. Hovedoppgave i marinbiologi. Biologisk stasjon, Universitetet i Bergen.
- Krebs, C. J. 1978. Ecology. The experimental analysis of Distribution and Abundance. Second Ed. Harper & Son, Publ. 678 pp.
- Pearson, T. M., Gray, J. & Johannessen, P. J., 1983. Objective selection of sensitive species indicative of pollution-induced changes in benthic communities. 2. Data analyses. Mar. Ecol. Prog. Ser. 12: 237-255
- Platt, H. M. & Lamshead, P. J. D. (1985). Neutral model analysis of patterns of marine benthic species diversity. Mar. Ecol. Prog. Ser. 24: 75-81.
- Renkonen, O. (1938). Statistisch-ökologische Untersuchungen über die terrestrische Käferwelt der finnischen Bruchmoore. An Zool. Soc. Zol. -Bot. Fenn. Vanamo 6: 1-231.
- Rygg, B. (1984). Bløtbunnfaunaundersøkelser. Et godt verktøy ved marine resipientvurderinger. Norsk Institutt for Vannforskning, Oslo. 80612, 29 s.
- Rygg, B. (1985a). Sammenheng mellom forurensningsgrad og forekomst av utvalgte arter av marin bløtbunnfauna. Bruk av indikatorarter ved vurdering av forurensningstilstand. Statlig program for forurensningsovervåking, rapport 184/85. SFT/NIVA, Oslo, 36 s.

Rygg, B. (1985b). Heavy-metal pollution and log-normal distribution of individuals among species in benthic communities. Mar. Pollut. Bull. (in prep.).

Shannon, C. E., Weaver, W. (1963). The Mathematical Theory of Communication. University Illinois Press, Urbana, 117 pp.

Shaw, K. M., Lamshead, P. J. D. & Platt, H. M. (1983) Detection of pollution-induced disturbance in marine benthic assemblages with special reference to nematodes. Mar. Ecol. Prog. Ser. 11: 195-202.

Ugland, K. I., Gray, J. S. (1982). Log-normal distributions and the concept of community equilibrium. Oikos 39: 171-178.