

Bunnfaunaundersøkelser kan avsløre en fjords forurensningstilstand og ømfintlighet overfor belastningsendringer

Av Brage Rygg

Brage Rygg er cand.real, og ansatt som forsker på NIVA.

Bruk og vern av fjordene våre krever viten om deres tilstand

Tåler fjorden mer eller er den overbelastet allerede? Trenges det vernetiltak eller kan økt belastning tillates? Hvor mye vil avlastningstiltak forbedre tilstanden?

Planleggere, brukere og forvaltere vil gjenkjenne disse viktige spørsmålene. Fjorden selv må gi svarene. Vår oppgave er å spørre fjorden på riktig måte. Vi må spørre i form av undersøkelser som gir mest mulig utsagnskraftige resultater.

Sammendrag

Et områdes forurensningstilstand må vesentlig bedømmes ved forurensningenes eller inngrepenes biologiske virkninger direkte. Det er som regel ikke mulig å slutte seg til konsekvensene av belastninger og belastningsendringer bare på grunnlag av kjemiske og fysiske undersøkelser. Tilstanden er derfor ikke tilfredsstillende beskrevet før biologiske undersøkelser er foretatt. De vil gi beskjed om områdets forurensningsgrad og ømfintlighet overfor økt belastning. I bruksmålsettingen for mange vannforekomster heter det at naturmiljø og de biologiske systemer skal bevares upåvirket. Beskrivelser av organisme-samfunn vil således være en viktig del av grunnlaget for beslutninger om tiltak og fjordbruk. Det arbeides stadig med å få

fram metoder som kan gi utsagnskraftigere resultater. Innenfor undersøkelser av marin *bløtbunnfauna* har en nådd langt med dette. De er særlig godt egnet for å få fastslått hvordan miljøforholdene er på sedimentbunn i de dypere vannlag.

En bløtbunnfaunaundersøkelse kan synes ressurskrevende. Den er likevel rimelig sammenlignet med mange andre undersøkelsetyper fordi det som regel er nok med én prøveinnsamling for å få en representativ beskrivelse av tilstanden. Det skjer ingen betydelige sesongfluktuasjoner hos bunnfaunaen, og fordi mange av dyra er langlivete gjenspeiler faunaen tilstanden flere år bakover i tida. Gjentatt prøvetaking er aktuelt når det skjer belastningsendringer eller ved mistanke om akkumulerende forurensningspåvirkning.

Hva som skjer med faunaen når forurensningspåvirkningen øker

Forurensningspåvirkninger og andre forstyrrelser fører til endringer 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 miljøforholdene på bunnen. Forverring av bunnfaunaens miljø fører ofte til at artsmangfoldet blir lavere. Artssammen-

setningen forandres og mange ømfintlige arter blir borte. Noen tolerante arter kan øke i mengde. Ved ekstreme forhold, f.eks. råtten bunnvann, utrykkes faunaen.

Studier av bløtbunnfauna inngår nå i de fleste resipientundersøkelser, og har vist seg å gi gode beskrivelser av forurensningenes virkninger og influensområde (Gray og Mirza 1979; Pearson og Rosenberg 1978; Pearson et al. 1983; Rygg 1984 a, b; Rygg og Skei 1984). Innenfor bl.a. Statlig program for forurensningsovervåking er det gjort undersøkelser av bløtbunnfauna i en rekke norske fjorder med forskjellig forurensningsgrad, slik at det nå foreligger et stort erfaringsmateriale.

I det følgende er det vist eksempler på metoder som vi bruker for å avsløre unormale trekk i faunasamfunnet og hva de kan fortelle oss om forholdene på fjordbunnen.

Artsmangfold (diversitet)

Høyt artsantall i forhold til det samlede antall dyr i prøven betyr høyt artsmangfold.

Høyt artsmangfold henger bl.a. sammen med gunstige miljøforhold for faunaen. Organisk belastning og fysiske og kjemiske stressfaktorer kan føre til at opportunistiske arter øker sine individantall og blir dominerende i samfunnet, mens mange ømfintlige arter slås ut. Resultatet er at artsmangfoldet blir lavere.

Artsmangfoldet er definert som artsantall som funksjon av individantall og kan framstilles som en kurve i et diagram med individantallet langs x-aksen og artsantallet langs y-aksen. Individantallet i prøven øker i takt med prøvens størrelse, mens artsantallet ikke øker i samme grad. Høyt artsmangfold gir brattere kurve enn lavt artsmangfold. Vi bruker en logaritmisk x-akse for å få en god framstilling.

Som grunnlag for utregningene brukes individantallene til alle enkeltartene i prøven (Hurlbert 1971).

Klassifisering av artsmangfoldet etter et system foreslått av Rygg (1984 b) for å gradere tilstand er vist i Fig. 1. I dette klassifiseringssystemet er artsmangfoldspekteret inndelt i fem klasser for å lette den visuelle tolkningen av resultatene: høyt, normalt, moderat, lavt og svært lavt artsmangfold. Grenselinjene mellom klassene er gitt en fasong som ligger nær opp til de fleste observerte kurvene i den delen av spekteret, og er rent empirisk basert.

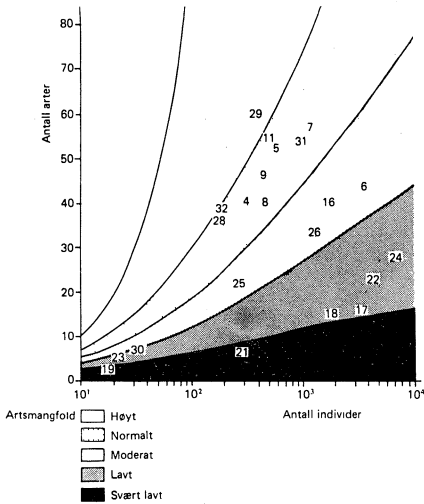
For å få ett enkelt tall for artsmangfold, kan det forventede artsantallet ved et bestemt individantall, f.eks. 100 individer, regnes ut. Artsantallet i prøver med forskjellig størrelse (individantall) kan da sammenlignes.

Ved normale forhold er forventet artsantall blant 100 individer over 18,5. Verdier mellom 12 og 18,5 er klassifisert som moderat, mellom 7 og 12 som lavt, og under 7 som svært lavt artsmangfold (jfr. Fig. 1). Artsmangfoldindeksen er gitt benevnelsen ES ($n=100$) (expected species number among 100 individuals). Frekvensfordeling av ES ($n=100$) verdier blant 193 stasjoner er vist i Fig. 2.

Forurensningsindeks basert på faunaens artssammensetning

Arter som påvirkes av forurensninger kan brukes som indikatorarter ved bedømmelse av forurensningsgrad, men det forutsetter kjennskap til hvilke arter som blir sjeldnere eller forsvinner ved økende forurensning, og hvilke som tåler forurensning.

På grunnlag av klassifisering av 100 vanlige bløtbunnfaunaarter etter ømfintlighet er det utarbeidet en ny indeks for



Figur 1.

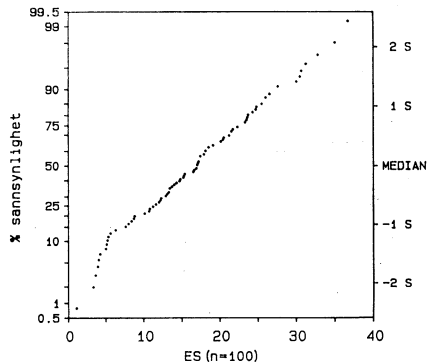
På grunnlag av resultater fra en rekke fjorder med forskjellig forurensningsgrad er det laget et klassifiseringsystem som viser sammenhengen mellom individantall (N) og artsantall (S) ved forskjellig artsmangfold. Moderat, lavt og svært lavt artsmangfold kan tyde på forurensningsvirkninger. Figuren viser et eksempel fra Kristiansandsfjorden. Lavest artsmangfold ble funnet på stasjon 17-24, som ligger i et område som er kraftig forurenset av utslipp fra industri.

faunasamfunnet (Rygg 1986). Denne artsindeksen er definert ved gjennomsnittet av ømfintlighetsgraden hos artene i prøven. Et faunasamfunn med mange ømfintlige arter til stede vil ha en høy artsindeksverdi og indikere gunstige miljøforhold. Lav artsindeksverdi vil tyde på overvekt av tolerante arter og forurensningspåvirkning.

Den enkelte arts ømfintlighet ble definert som den laveste artsmangfoldverdi blant de stasjonene hvor arten var funnet. Arbeidet baserte seg på artslister og be-

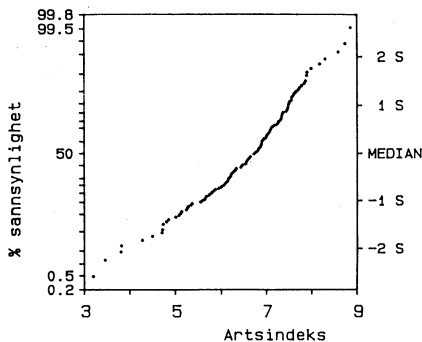
regnet artsmangfold for 193 stasjoner fra en rekke norske fjorder med varierende forurensningsgrad. Framgangsmåten bygget på en hypotese om at nedsatt artsmangfold alltid skyldes ugunstige miljøforhold. Arter som opptrer på lokaliteter med nedsatt artsmangfold kan derfor klassifiseres som tolerante overfor ugunstige miljøforhold. Omvendt er arter som mangler på slike lokaliteter ømfintlige.

En tilleggshypotese går ut på at ugunstige miljøforhold ikke alltid fører til nedsatt artsmangfold. Ugunstige miljøforhold forårsaker bortfall av ømfintlige arter, men hvis ingen av de gjenværende, tolerante artene blir dominerende i antall, kan artsmangfoldet fortsatt ha en høy verdi. Artsindeksen er derfor en viktig tilleggsparemeter som kan avdekke påvirkninger som



Figur 2.

Artsmangfold kan uttrykkes som forventet antall arter blant 100 tilfeldig utvalgte individer fra faunasamfunnet. Lavest mulige verdi er 1, høyest mulige 100. Diagrammet viser kumulativ frekvensfordeling (langs normalfordelingskala) av artsmangfoldverdier ES ($n=100$) blant 193 stasjoner fra fjorder med varierende forurensningsgrad. Verdiene lå stort sett lavere enn 40. Mediaverdien var 17,0. S = Standardavvik.



Figur 3.

Faunasamfunnets artsindeks er definert som middelveier av de enkelte artenes ømfintlighet overfor forurensninger. Diagrammet viser kumulativ frekvensfordeling (langs normalfordelingsskala) av artsindeksverdier blant 143 stasjoner i fjorder med varierende forurensningsgrad. Verdiene lå mellom 3 og 9. Medianen var 6,75. S = Standardavvik.

ikke kunne oppdages ved å se på artsmangfoldet alene.

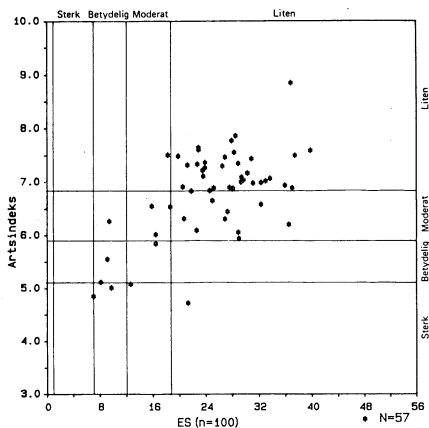
Ved hjelp av tabell over de klassifiserte artene og deres tilhørende ømfintlighetsverdier (Rygg 1986), kan artsindeksverdien for faunasamfunnet beregnes på grunnlag av artssammensetningen. Et større eller mindre antall av artene i en prøve vil være blant de 100 klassifiserte. Middelveier for disse artenes ømfintlighetsverdier kan så beregnes. Dette gir verdien for faunasamfunnets artsindeks. Frekvensfordeling av artsindeksverdier blant 143 stasjoner er vist i Fig. 3.

Ved normale forhold ligger verdiene for artsindeksen på 6,85 eller høyere. Verdier mellom 5,90 og 6,85 kan klassifiseres som moderate, mellom 5,10 og 5,90 som lave, og under 5,10 som svært lave. Inndelingen er basert på erfaring og skjønn. Klassene

tilsvarer henholdsvis liten, moderat, betydelig og sterk forurensningspåvirkning (Fig. 4).

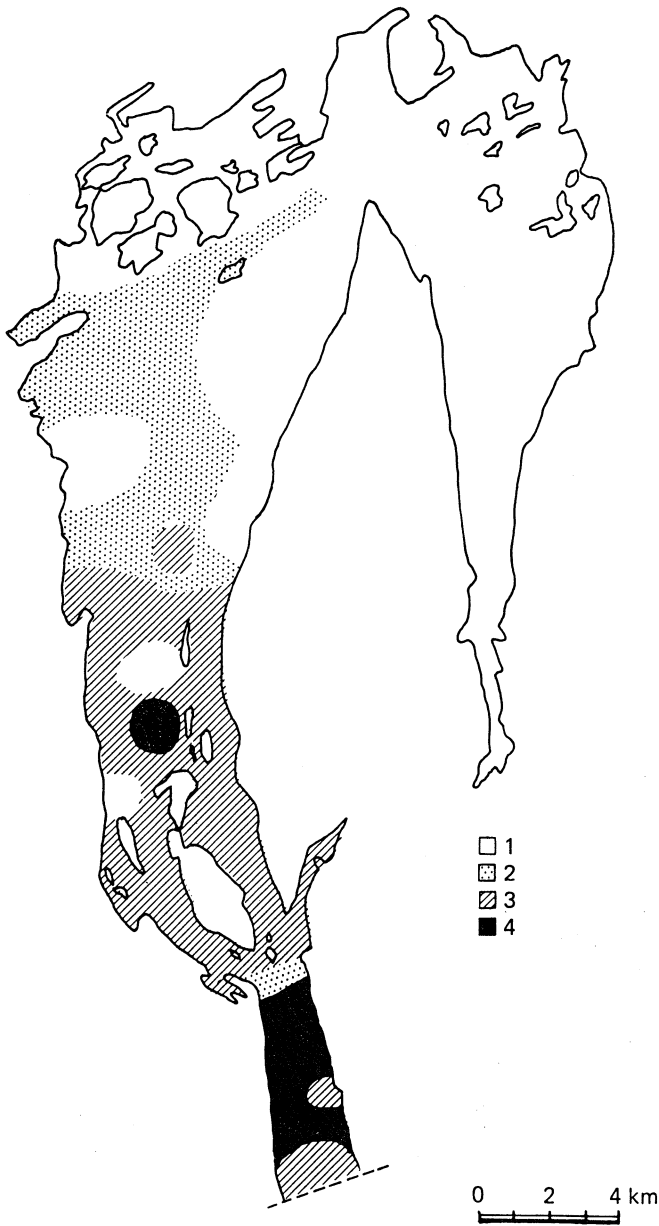
Som et eksempel er artsindeksen brukt for å klassifisere lokaliteter i Oslofjorden (Fig. 5), basert på artslister fra Mirza (1980).

For sammenligning vises Gray's (1979) klassifisering av forurensningsgraden i Oslofjorden basert på log-normalplotting (Fig. 6). De to metodene viste god overensstemmelse, men artsindeksen ga en bedre oppløsning mellom sørlige del av Vestfjorden og Drøbaksundet.

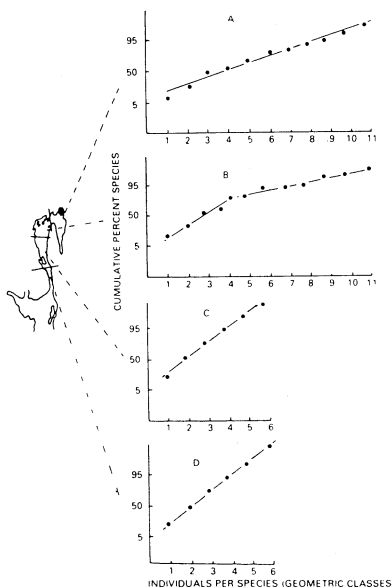


Figur 4.

Tilstanden i bløtbunnfaunasamfunn kan klassifiseres ved samfunnets artsmangfold og artsindeks. Figuren viser plott for 57 stasjoner i et diagram for klassifisering av påvirkningsgrad. De store rektangelet oppe til høyre representerer normal tilstand uten forurensningspåvirkninger. Det framgår at lave verdier av artsmangfold og lave verdier av artsindeks opptrer sammen. Ved høyere artsmangfold er ikke sammenhengen like god. På enkelte av stasjonene med normalt artsmangfold viste artsindeksen ned-satt verdi.



Figur 5. Klassifisering av faunaens tilstand i Oslofjorden ved hjelp av artsindeksen viser en konsistent gradient fra sterk påvirkning i store deler av indre fjord, betydelig i nordlige del av Vestfjorden, moderat i sørlige del, og liten eller ingen påvirkning sør for Drøbakterskelen. 1 — sterk; 2 — betydelig; 3 — moderat; 4 — liten eller ingen påvirkning.



Figur 6.

Forurensningsgradient i Oslofjorden illustrert ved log-normalplott av individantall pr. art mot kumulativ prosent av artene.

(fra Gray 1979).

- A — Bunnefjorden forurenset;
- B — begynnende forurensningspåvirkning;
- C — ikke forurenset;
- D — ikke forurenset.

Kombinering av artsmangfold og artsindeks til en tilstandsindeks

Ved å kombinere artsmangfold og artsindeks kan påvirkningsgraden eller tilstanden uttrykkes ved ett tall, som vi kaller

tilstandsindeks (TI). Dette kan være fordelaktig i tilfeller da det er behov for enklest mulige utsagn. Et eksempel er rangering av et stort antall lokaliteter i en egnethetsvurdering for plassering av fiskeoppdrettsanlegg på Sørlandet (Wikander, rapport under utarbeidelse).

Nedre grense for normalverdiene for artsmangfold (ES) og artsindeks (AI) ble ovenfor fastslått til henholdsvis 18,5 og 6,85. Ved å dividere observerte verdier med disse tallene, framkommer koeffisienter som angir størrelse av avviket. Koeffisient 1,0 angir grenseverdi mellom upåvirket og påvirket. Hvis vi ønsker at også tilstandsindeksen skal få verdien 1,0, blir formelen:

$$TI = \left(\frac{ES}{18,5} + \frac{AI}{6,85} \right) 0,5$$

Vi har da gitt ES og AI lik vekt. ES har et 3 ganger så stort standardavvik som AI, regnet i prosent av medianverdien (jfr. Fig. 2 og 3). Et avvik hos ES er derfor mindre signifikant enn tilsvarende avvik hos AI. Avvik hos ES må derfor gis bare 1/3 vekt. Formelen blir da:

$$TI = \left(\frac{AI}{6,85} + \frac{18,5 + 1/3(ES - 18,5)}{18,5} \right) 0,5$$

eller

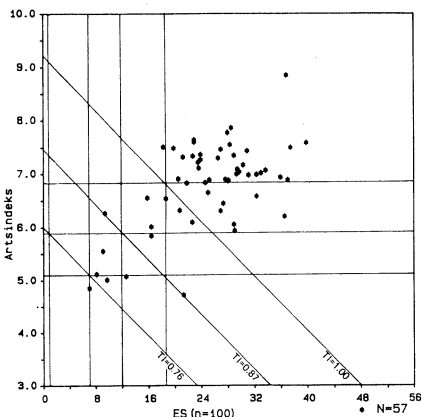
$$TI = 0.073 AI + 0.009 ES + 0.333$$

Ved å sette inn klassifiseringsverdiene for AI og ES i formelen framkommer de korresponderende verdiene for TI:

<i>Påvirkningsgrad</i>	<i>AI</i>	<i>ES</i>	<i>TI</i>
Liten (ikke påvisbar)	> 6,85	> 18,5	> 1,00
Moderat	5,90—6,85	12,0—18,5	0,87—1,00
Betydelig	5,10—5,90	7,0—12,0	0,76—0,87
Sterk	< 5,10	< 7,0	< 0,76

Tilstandsindeksens grenseverdier mellom lite, moderat, betydelig og sterkt påvirket faunasamfunn kan tegnes inn som diagonale linjer i klassifiseringsdiagrammet, hvor også stasjonenes arts mangfold og artsindeksverdier plottes inn (Fig. 7). Stasjonenes status med hensyn til både arts mangfold, artsindeks og tilstandsindeks kan da leses ut direkte.

Slike klassifiseringssystemer for biologiske samfunn høyner utsagnskraften i resipientvurderinger. De kan også inngå i miljøkvalitetskriterier med tanke på bruksområder og bruksplanlegging for vannforekomstene.



Figur 7.

Graden av forurensningsvirkning på bløtbunnfaunasamfunn kan klassifiseres ved en tilstandsindeks (TI) som kombinerer arts mangfold og artsindeks. På diagrammet er verdier for TI tegnet inn som diagonale linjer. TI øker fra verdier for sterk påvirkning (< 0,76) i nedre venstre felt, via verdier for betydelig og moderat, til verdier for liten påvirkning (> 1,00) i øvre høyre felt av diagrammet.

LITTERATURLISTE

- Gray, J. S. (1979). The development of a monitoring program for Norway's coastal marine fauna. *Ambio* 8: 176—179.
- 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.
- Hurlbert, S. N. (1971). The non-concept of species diversity. *Ecology* 53: 577—586.
- Mirza, F. B. (1980). The fauna of marine benthic sediments from the organically enriched Oslofjord, Norway. *Cand.scient.thesis. Universitetet i Oslo*, 130 s.

- Pearson, T. H., Gray, J. S., Johannessen, P. J. (1983). Objective selection of sensitive species indicative of pollution-induced change in benthic communities. 2. Data analysis. *Mar. Ecol. Prog. ser.* 12: 237—255.
- Pearson, T. H., Rosenberg, R. (1978). Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Mar. Biol. Ann. Rev.* 16: 299—311.
- Rygg, B. (1984 a). Bløtbunnfauna som indikatorsystem på miljøkvalitet i fjorder. Bruk av diversitetskurver til å beskrive faunasamfunn og anslå forurensningspåvirkning. Norsk institutt for vannforskning, Oslo. 80612, 39 s.
- Rygg, B. (1984 b). Bløtbunnfaunaundersøkelser. Et godt verktøy ved marine resipientvurderinger. Norsk institutt for vannforskning, Oslo. 80612, 29 s.
- Rygg, B. (1986). Bløtbunnfauna som indikatorsystem på miljøkvalitet i fjorder. En ny forurensningsindeks basert på artssammensetning. Norsk institutt for vannforskning, Oslo. 80612, 20 s.
- Rygg, B., Skei, J. (1984). Correlation between pollutant load and the diversity of marine soft-bottom fauna communities. In: *Proceedings of the International Workshop on Biological Testing of Effluents (and Related Receiving Waters)*. OECD/U.S. EPA/Environ. Canada: pp. 153—183.