

Benthosalger og moser som metallindikatorer

Av Jon Knutzen

Jon Knutzen er cand.real. fra 1967 med hovedfag marin-biologi. Han er for tiden permittert fra stillingen som leder av fjordseksjonen på Norsk institutt for vannforskning.

Behovet for overvåking av metallforekomsten i aquatiske miljøer skyldes at forhøyede konsentrasjoner kan medføre skade på organismer og forøvrig berøre viktige brukerinteresser. Økte konsentrasjoner i spiselige arter kan medføre en hygienisk risiko og forårsake innskrenkede muligheter for rekreasjon og næringsutøvelse (f.eks. skjellsanking, fiske, kultivering av spiselige organismer).

De mange diffuse kilder har allerede ledet til forhøyede metallkonsentrasjoner i deler av hydrosfæren (bl.a. i isbreer og i vann, organismer og sedimenter i kystnære områder). Frigjøring av bly ved bensinforbrenning er kanskje det beste eksempel, men en rekke årsaker ligger bak langtransport av bly, kvikksølv, kadmium og andre metaller. Bortsett fra tilfellet kvikksølv, er det vanskelig å ha noen bestemt formening om konsekvensene av en slik snikforurensning med metaller. Det er imidlertid påkrevet å følge utviklingen.

Å bruke metallinnholdet i organismer som mål for metallbelastningsgraden må av følgende grunner antas å være fordelaktig fremfor direkte metallanalyse av vannprøver:

— Metallkonsentrasjonene i vann er ofte lave og viser store variasjoner med tiden grunnet svingninger i bl.a. tilførsel, strøm, vannføring, vannutskiftning o.a.

Organismenes oppkonsentrering gjør analysene enklere og lagringsevnen utjevner svingningene i vannets metallinnhold slik at analysenes antall kan reduseres.

- Metallinnholdet i organismer reflekterer forekomsten av de tilstandsformer som er tilgjengelige for planter og dyr, og som de oftest også er mest ømfintlige for. Ved vannanalyser er det derimot vanskelig å definere og sonde mellom de mange forskjellige tilstandsformene.
- Ofte er man primært interessert i organismens metallinnhold, ikke vannets. Dette gjelder f.eks. organismer som utnyttes til mat eller utgjøre et ledd i næringskjeder som ender med mennesker eller sårbare arter.

Metallindikatorer brukes således for følgende formål:

- Karakterisering av vannforekomster mht. metallbelastning, herunder utvikling over tid og jevnføring mellom forskjellige vannforekomster.
- Bedømmelse av risiko for giftvirkning og/eller oppkonsentrering til uønskede høye nivåer i organismer.

Både dyr og planter kan brukes, men bare et mindre antall arter egner seg. Følgende krav bør oppfylles av indikatorartene:

- Så vidt mulig enkel sammenheng mellom metallkonsentrasjonen i organismen og «midlere» nivå i omgivelsene, dvs. integrasjon over tid av varierende konsentrasjoner i vannet.
- Representative for lokaliteten, det vil som regel si fastsittende eller lite bevegelig.
- Hyppig forekomst og vid utbredelse. I norske marine områder tilsier dette bl.a. en betydelig brakkvannstoleranse.
- Enkle å identifisere og samle inn.
- Så vidt mulig kjent mht. metalloptak, lagring og utskillelse i relasjon til metallpåvirkningens art og naturlige faktorer (klimatiske variasjoner, voksested, vekst, alder, ernæring, fysiologisk tilstand, individuelle variasjoner).
- Høy toleranse overfor metallbelastning (helst også hardfør under laboratoriebetingelser).
- Høy konsentrasjonsfaktor i relasjon til omgivelsenes metallinnhold (Konsentrasjonsfaktor er forholdet mellom konsentrasjon i organisme og vann).

Ofte vil det også være en fordel om arten utnyttes til mat eller inngår i hovednæringskjeder fram til mennesket eller andre ømfintlige arter.

Fordi ulike arter i varierende grad oppfyller disse krav og er relevante for undersøkelsenes formål, kan det være behov for mer enn en indikator for samme område. Siden dyr og planter til dels har forskjellige opptaks- og bindingsmekanismer, og dyr stort sett har bedre evne til regulering av opptaket og til utskillelse av metallene, vil analyse på dyr og planter ofte gi opplysninger som utfyller hverandre.

Det er alminnelig akseptert at det i marine områder er det større tangarter og bløtdyr, deriblant muslinger, som er de best eg-

nede indikatorer. I ferskvann har man bl.a. benyttet moser og alger.

I Norge har metallindikatorer særlig vært benyttet i saltvann, der man har hovedtyngden av utslipp fra smelteverk og kjemisk industri. Det foreligger også et betydelig erfaringsmateriale fra slike undersøkelser i forskjellige fjorder.

Marine benthosalger

Grisetang (*Ascophyllum nodosum*) og blæretang (*Fucus vesiculosus*) er blant de norske arter som best tilfredsstiller ovennevnte krav til indikatorarter. Det er av særlig betydning at begge arter er relativt brakkvannstolerante (blæretang mest). En annen fordel er at i hvert fall unge planter, eller plantenes yngre deler, som oftest lar seg aldersbestemme i felt. Om nødvendig kan man bruke andre brunalger, f.eks. sagtang (*Fucus serratus*) og gjelvtang (*Fucus distichus* ssp. *edentatus*) eller vanlig forekommende grønnalger (*Ulva lactuca*, *Enteromorpha* sp., *Cladophora* sp.).

Alger som metallindikatorer er behandlet i en rekke vitenskapelige arbeider. For den følgende fremstilling av muligheter og begrensninger henvises til fyldigere redegjørelser og litteraturreferanser hos bl.a. Haug et al. (1974), Myklestad & al. (1976, upubl.), Philips (1977), NIVA 1976, 1977), Melhuus & al. (1978).

Stort sett gjenspeiler algenes metallinnhold belastningen med løste komponenter, mens innflytelsen fra ulike former for partikulært bundet metall må antas å være av relativt underordnet betydning. Betydningen av chelaterende substanser er lite undersøkt.

Opptaksmekanismen synes å være en enkel diffusjon, midlertidig binding til inter-

cellulære polysakkarider (ionebytte) og deretter transport gjennom cellemembranen og fastere binding til proteiner eller andre stoffer inne i cellene. Opptaket synes lite eller ikke regulerbart (mulig unntak for mangan i blæretang) og bindingen nærmest irreversibel (i hvert fall lang halveringstid). Det relativt sparsomme antall undersøkelser over sammenheng mellom opptakshastighet og metallkonsentrasjon i vannet indikerer tilnærmet proporsjonalitet over lang tid og et bredt konsentrasjonsintervall.

For bruken av tang som metallindikatorer må man likevel være oppmerksom på en rekke forhold som har betydning både for prøvetaking og tolking av resultatene. Dette kan være noe forskjellig fra art til art, og for ulike metaller, men følgende faktorer må nevnes:

- Metallkonsentrasjonen øker vanligvis med alderen. Det vil si at konsentrasjonen kan være forskjellig i individer av ulik alder og også i ulike deler av planten (som regel lavest i spissen, høyest i stilken eller nær basis). Dette gjelder først og fremst flerårige arter (grisetang, blæretang o.a.)
- Sesongvariasjoner. Dette er delvis påvist og antas primært å ha sammenheng med ulik veksthastighet over året. Kort uttrykt kan algene få høyere konsentrasjoner om våren enn om høsten fordi metalloptaket fortsetter med omtrent samme hastighet, mens veksten er minimal om vinteren. (Vår og sommerveksten virker «fortynnende» på metallkonsentrasjonen).
- Voksenivå i fjærebeltet (mulig innflytelse av forskjellig neddykningstid og lagdeling i vannmassen). Resultatene av undersøkelser går i delvis motsatt retning, og effekten er neppe særlig stor hvis den ikke slår ut på algenes vekst.
- Data fra forskjellige arter kan først sammenlignes når man har tilstrekkelig kunnskap om deres respektive konsentrasjonsfaktorer.
- Individuelle variasjoner innen samme art. Dette kan særlig skyldes ulik fordeling mellom mengden av nytt og gammelt vev — f.eks. som følge av beiting.
- Interferens fra andre metaller. Hvis det er konkurranse om bindingssteder, kan særlig høy konsentrasjon av et metall lede til at andre metaller bindes i mindre grad enn ellers. Forholdet er utilstrekkelig utforsket, men gjelder sannsynligvis mest ved ekstreme belastninger.
- Vekstpåvirkende faktorer (lys, saltholdighet, temperatur, giftstoffer o.a.) Ved nedsttelse av veksten vil konsentrasjonen kunne bli høyere enn normalt i vev av en bestemt alder. Dødt vev kan ha andre egenskaper med hensyn til opptak og utskillelse.

Alle disse forhold gjør at det selvfølgelig ikke er noen enkel omregningsfaktor fra midlere metallkonsentrasjon i vannmiljøet (hvis man kunne angi den) og algenes metallinnhold. Bare fortsatt forskning, sammen med omhyggelighet ved prøvetaking og observasjon av miljøfaktorer, vil kunne redusere usikkerheten og innsnevre intervallet for det som kan betegnes normalkonsentrasjoner.

For blæretangs og grisetangs vedkommende kan man angi nedenstående intervaller for «normalkonsentrasjonene» av ulike metaller.

	BLÆRETANG mg/kg tørrvekt	GRISÉTANG mg/kg tørrvekt
Jern	30 — 500 (700)	50 — 500 (1100)
Mangan	10 — 100 (200)	10 — 50 (100)
Sink	30 — 100 (150)	30 — 100 (250)
Bly	< 1 — 5 (10)	< 1 — 5 (10)
Kobber	< 0.1 — 3	< 0.1 — 1.5
Nikkel	< 2 — 10 (45)	< 2 — 10 (30)
Krom	0.1 — 5 (10)	< 0.1 — 2.5

Parentesverdiene angir maksimalnivået for konsentrasjoner i området uten bestemte punktkilder.

Fra et overvåkings synspunkt er den store normalvariasjonen et lite tilfredsstillende utgangspunkt, særlig med henblikk på mulighetene for å følge forløpet av en eventuell snikforurensning.

Eksakte relasjoner mellom ulike miljøfaktorer og algenes metallinnhold kan bare finnes eksperimentelt. Imidlertid er relevansen av resultatene noe usikker fordi det store antall faktorkombinasjoner i naturen ikke lar seg simulere ved eksperimentene. Derfor kan bredt anlagt feltundersøkelser være nødvendig for å gi supplerende informasjoner.

Betingelsen for at feltundersøkelser skal gi noe utover det man allerede vet, er at man får kontroll over, eller kvantifisert best mulig de faktorer som spiller en rolle for variasjonene. Momenter i denne forbindelse er:

— For enkelte flerårige arter lar seg nevnt alderen seg ofte bestemme ut fra ytre trekk (eks.: grisestang, blæretang). For arter med en veldefinert vekstsesong eller vekstrytme, lar seg alderen til hele planter eller deler seg anslå relativt eksakt ut fra feltobservasjoner. Plantenes

alder bør følgelig angis sammen med analyseresultatene.

- Flerårige alger bør samles inn tidlig på våren før vekstsesongen begynner. Ettårige arter eller de deler av plantene som vokser ut hvert år, samles på slutten av vekstsesongen.
- Arter fra fjæra bør fortrinnsvis samles inn fra midtre del av sitt vertikale utbredelsesområde.

Det er et utvilsomt behov for etablering av en nasjonal referanse mht. metallnivået i norske fjorder og kystfarvann. B.a. er det påkrevet med et slikt materiale som sammenligningsgrunnlag ved overvåking av en rekke industriutslipp (smelteverk, gruveoppredningsverk, kjemisk industri o.a.). Sannsynligvis bør både muslinger (blåskjell) og alger brukes som indikatorer da de reflekterer noe forskjelligartet metallbelastning. For algenes vedkommende bør inn-satsen konsentreres om grisestang og blæretang, men det kan også være nødvendig å ta med enkelte andre arter som kan dominere under litt forskjellige forhold (f.eks. tarmgrønnske, sjøsalat og sagtang).

Materialet bør samlet i god avstand fra kjente punktkilder og på steder som er representative for bredest mulig spredning mht. saltholdighetsmiljøet. Blant lokalite-

tene bør være noen som er preget av humusholdig ferskvann. Om mulig bør lokalitetene også kunne grupperes på en skala for veksthastighet hos algene. Ulike deler av landet bør være representert, likeledes lokaliteter som skiller seg markert fra hverandre hva angår tidevannsforskjell. Sannsynligvis bør undersøkelsen alt i alt omfatte ca. 150 stasjoner for å gi en noenlunde dekning av forskjellige miljøer.

Moser og fastsittende alger i ferskvann

I ferskvannsforkomster har man dels benyttet metallnivået i fastsittende, trådformede alger, dels moser som integrerende mål for belastningen. For nærmere redegjørelser og litteraturreferanser vises til Whittton (1978). De algene som har vært benyttet omfatter representanter for rødalgeselektene *Lemanea* og grøntalgeselektene *Cladophora* og *Spirogyra*. De to førstnevnte er ikke blant de mest vanlige i norske vassdrag, og for alle slektene gjelder det at artssystematikken kan være vanskelig. Det er bl.a. på denne bakgrunn at det for Norges vedkommende vurderes som mest aktuelt å bruke moser som metallindikatorer. I enkelte tilfeller vil det imidlertid kunne være ønskelig eller nødvendig å bruke alger.

Moser tilfredsstiller på flere vis de krav til indikatorarter som er nevnt innledningsvis. På basis av erfaringer fra andre land (se bl.a. Empain, 1976a, b og Glooschenko og Capobianco, 1978), kan særlig nevnes:

- Integrasjon av et bredtvariasjonsområde for vannets innhold av den tilgjengelige metallfraksjoner.
- Høy akkumuleringsevne
- Flerårige planter med grønne deler året rundt.

— Enkelte relativt lett kjennlige arter som er svært utbredt over hele landet (særlig representanter for slektene *Hygrohypnum* og *Fontinalis* (elvmose) og dessuten *Sphagnum*.

Erfaringene fra norske vannforekomster er foreløpig forholdsvis sparsomme, men metodikken er under innkjøring på NIVA (L. Lingsten, pers. medd).

På samme måte som i saltvann er det behov for å etablere en nasjonal «Baseline» for metallnivåer og -belastning. Konsentrasjonene av metaller i norske ferskvannsforkomster er i stor grad ukjent, særlig med hensyn til de metallformene som er tilgjengelige for opptak, mest aktive i relasjon til giftvirkninger og utgangspunkt for eventuell akkumulering i næringskjeder.

Norge har en rekke gruveavløp som det er aktuelt å overvåke på denne måten. Mobilisering av kvikksølv og giftige tilstandsformer av aluminium ved forurening begynner å avdekkes som muligens betydelige problemfelter. Bruk av metallindikatorer har i det hele et stort potensiale i relasjon til diffus belastning via forurenset nedbør og tørravsetninger.

I første omgang bør det velges ut et mindre antall arter som antas å være brukbare til formålet. For mosenes vedkommende er det som nevnt arter av slektene *Hygrohypnum* og *Fontinalis* som peker seg ut, sannsynligvis også *Sphagnum* (i innsjøer). For algenes vedkommende er det vanskeligere, bl.a. på grunn av kravet til identifikasjon i felt og ofte blanding av flere arter på samme sted. Sannsynligvis er de mest aktuelt å satse på gruppen zygnemacéer (slektene *Spirogyra*, *Zygnema*, *Mougeotia*). Disse tilfredsstiller kravet til vid utbredelse og hyppig forekomst, og lar seg i hvert fall identifisere til slekt ved bruk av en sterk lupe.

- De nevnte organismer bør samles inn fra et mindre antall vannforekomster som bør omfatte i hvert fall følgende kategorier:
- Tilknyttet uberørte elver og innsjøer med forskjellig naturlig vannkvalitet, særlig hva angår humusinnhold, alkalitet/ledningsevne og pH.
 - Vassdrag belastet med gruveavrenning eller der man ellers har godt kjennskap til vannets metallinnhold (med henblikk på etablering av konsentrasjonsfaktorer).

LITTERATUR

- Empain, A.*, 1976a: Estimation de la pollution par métaux lourds dans la Somme par l'analyse des bryophytes aquatiques. *Bull. fr. Pisciculture* 260, 138-142.
- Empain, A.*, 1976b: Les bryophytes aquatiques utilisés comme traceurs de la contamination en métaux lourds des eaux douces. *Mém. Soc. r. Bot. Belg.* 7, 11: 141-156.
- Glooschenko, W. A.* og *Capobianco, J. A.*, 1978: Metal content of *Sphagnum* mosses from two Northern Canadian bog ecosystems. *Water, Air and Soil Pollution* 10: 215-220.
- Haug, A.*, *Melsom, S.* og *Omang, S.*, 1974: Estimation of heavy metal pollution in two Norwegian fjord areas by analysis of the brown alga *Ascophyllum nodosum*. *Environ. Pollut.* 7: 179-192.
- Melhuus, A.*, *Seip, K. L.*, *Seip, H. M.* and *S. Myklestad*, 1978: A preliminary study of the use of benthic algae as biological indicators of heavy metal pollution in Sørfjorden, Norway. *Environ. Pollut.* 15: 101-107.
- Myklestad, S.*, *Eide, I.* og *Melsom, S.*, 1976: *Flytting av Ascophyllum nodosum med høy — til lokalitet med relativ normal tungmetallbelastning.* Foreløpig rapport fra Institutt for marin biokjemi, Universitetet i Trondheim og Sentralinstitutt for industriell forskning, Oslo. (Upubl.)
- Norsk institutt for vannforskning*, 1976: Resipientundersøkelse av Saudafjorden. Observasjoner av hydrografi, sedimenter og biologiske forhold 10—13/9 1974. Oslo, 15/2 1976. 138 s. + vedlegg. (Saksbehandler J. Knutzen).
- Norsk institutt for vannforskning*, 1977: 0—111/170. Resipientundersøkelse av Nedre Skienselva, Frierfjorden og tiliggende fjordområder. Rapport nr. 6. Fremdriftsrapport fra de biologiske undersøkelsene mars 1974 — mai 1976. Oslo 12/9 1977, 234 s. (Forf.: T. Bokn, L. Kirkerud, K. Kvalvågnes, B. Rygg).
- Philips, D. J. H.*, 1977: The use of biological indicator organisms to monitor trace metal pollution in marine and estuarine environments — a review. *Environ. Pollut.* 13: 281—315.
- Whitton, B. A.*, 1978: Plants as indicator of river water quality. Kap. 5 i Final Proc. of Symp. on Biological Indicators of Water Quality. University of Newcastle upon Tyne. 12—15th. Sept. 1978. Vol. 1.