

# Er eutrofieringen i våre store innsjøer reversibel?

Av Dag Hongve

Dag Hongve er cand. real. med limnologi hovedfag i 1972. Nå vitenskapelig assistent ved Avdeling for limnologi, Universitetet i Oslo.

*Innledning til kollokvium i  
Norsk Forening for Vassdragspleie  
og Vannhygiene 11. oktober 1977.*

I forbindelse med de tiltak som nå settes i gang for å forbedre tilstanden i enkelte av våre største innsjøer, er det ett spørsmål som er av vesentlig betydning: Er den eutrofiering som har foregått i de senere år en reversibel prosess i den forstand at innsjøene kan komme tilbake til sitt opprinnelige oligotrofe nivå, eller vil primærproduksjonen holde seg på det nåværende høye nivå uavhengig av tiltak som reduserer belastningen fra nedbørsfeltene.

Spørsmålet er aktualisert i forbindelse med de tiltak som er under planlegging og utførelse for Tyrifjorden og Mjøsa, men de prosesser som virker både under eutrofieringen og dens eventuelle reversering er i prinsippet de samme i de fleste innsjøer uansett størrelse. Jeg vil derfor forsøke å besvare spørsmålet ved å trekke fram en del generell viten om emnet, og til slutt ta opp de forhold som er spesielle for de aktuelle innsjøene.

Det første vi må ha klart er hva eutro-

fiering skyldes. Kjensmo har (i dette nr.) redegjort for hva som menes med naturlig og påtvunget eutrofiering. Det er ingen tvil om at vi for våre store innsjøer står overfor typiske tilfeller påtvunget eutrofiering. Eldre data viser at disse innsjøene for få tiår siden var av typisk oligotrof natur. Den økte planktonproduksjonen er et svar på at mange stoffer som planktonalgene trenger nå tilføres i større mengder enn tidligere.

Første betingelse for at eutrofieringen skal kunne reverseres er at tilførselen av næringsstoffer kan kontrolleres. De må kunne reduseres til et så lavt nivå at den stadige tilførselen i seg selv ikke kan opprettholde en stor og uønsket biomasse..

For de fleste stoffer er dette ikke mulig, og fosfor kommer derfor i en nøkkelposisjon fordi det enten er, eller med letthet kan gjøres til en minimumsfaktor. Et avtak i konsentrasjon vil i så fall bety et nær proposjonalt avtak i produsert biomasse. I naturen holdes fosfor tilbake fra vassdragene på grunn av dets tendens til å danne uløselige komplekser med geokjemisk dominerende

elementer som jern, kalsium og aluminium. Ved å utnytte denne egenskapen i renseanlegg, blir fosfor det lettest kontrollerbare plantenæringsstoff. Det er også det eneste næringsstoff som i så høy grad lar seg kontrollere. Det finnes ikke i gassform, det tilføres bare i liten grad med nedbør og det utløses ikke naturlig i større konsentrasjoner fra nedbørsfeltet. Dette i motsetning til hva tilfellet er for f.eks. nitrogen, karbon og silisium. Spørsmålet om kontroll av fosfor blir i siste instans et spørsmål om politisk vilje til å prioritere denne oppgaven.

Neste betingelse for at tilstanden i innsjøene skal bedres, er at de næringsaltene, spesielt fosfor, som er tilført i eutrofieringsfasen, med tida vil forsvinne fra den interne stoffsyklusen i innsjøene. Ofte støter en på en utviklingsmodell for innsjøer som utgis for å være generell og som innebærer at når eutrofe tilstander først er inntrådt, vil de vare ved så lenge innsjøen eksisterer. Etter denne modellen starter innsjøen med en oligotrof periode som kan være mer eller mindre langvarig. Produktiviteten øker deretter i en periode etter et sigmoid forløp for så å stabilisere seg på et konstant eutroft nivå. Forklaringen på denne utviklingsmodellen er at innsjøen til å begynne med akkumulerer næringsstoffer. Hvis primærproduksjonen så av en eller annen grunn øker, fører dette til økt oksygenforbruk, endret miljø i dypvannet, frigivelse av akkumulerte næringsstoffer og i neste omgang enda høyere primærproduksjon. Etter en tids akselererende utvikling stiller systemet seg etter hvert inn på et nytt konstant, men nå eutroft produksjonsnivå. Ut fra denne utviklingsmodellen vil enhver eutrofiering, uansett om den er naturlig eller påtvunget lede til den samme irreversible tilstandsforandring.

Denne modellen for innsjøenes utvikling stammer fra Hutchinson og Wollack's undersøkelse av sedimentene i Linsley Pond (Hutchinson og Wollack 1940). I en avhandling om det trofiskdynamiske aspekt i økologien viste Lindeman (1942) at tilsvarende utviklingsmønstre var funnet i flere innsjøer. Det disse forfatterne var klar over, og også presiserte i sine avhandlinger, var at den eutrofe fase ikke er en såkalt trofisk likevekt, som kan vare uten eksterne tilførsler. Derimot er det en tilstandlikevekt som avhenger av følgende faktorer: Ekstern tilførsel og avrenning, fotosyntetisk produktivitet, sedimentasjon og regenerering av næringsalter fra sedimentene. For de innsjøer som hadde fulgt dette utviklingsmønsteret, kunne en slutte at den eksterne tilførselen en gang hadde økt, og at den siden hadde holdt seg på et rikeligere nivå.

Uten eksterne tilførsler kan et høyt organisk produksjonsnivå ikke opprettholdes i lengre tid i noen normal innsjø. Dette kan illustreres ved hjelp av enkle limnologiske prinsipper, og vi kan igjen ta for oss fosforomsetningen: Opprettholdelse av det høye produksjonsnivået uten ekstern tilførsel må bety at regenereringen av fosfor hele tida er like stor som forbruket. Dette kan vanskelig tenkes. Det normale i alle innsjøer er at sedimentasjonen av fosfor dominerer. Bare periodevis og under spesielle fysiske og kjemiske forhold kan frigivelse dominere. Generelt kan det også sies at jo mer fosfor som er i vannmassene, jo rikere på fosfor er de sedimentene som dannes.

En nylig utført eksperimentell undersøkelse der en innsjø ble kunstig eutrofiert med tilførsel av nitrogen og fosfor over 6 år, har vist at de tilførte næringsalter for en stor del ble bundet i sedimentet, og for fosfors vedkommende

kunne ingen frigivelse påvises, verken under aerobe eller anaerobe forhold. (Schindler & al. 1977).

Etter at en svært rikelig tilførsel er stanset, kan imidlertid konsentrasjonen i vannet og frigivelse av tidligere sedimentert fosfor i en periode være så stor at den kan opprettholde en stor algebiomasse. Men etter hvert som vannmassene skiftes ut, vil fosfor mistes fra systemet, og sedimentene vil med tida kunne tappes for de tilgjengelige fosforreserver (Ahlgrn 1977). Ved aldring av sedimentet vil diagenetiske prosesser kunne overføre løselige fosforfraksjoner til stabile forbindelser som lagres i sedimentet.

Ved studier av innsjøenes forhistorie gjennom analyser av sedimentene (paleolimnologi) har man etter hvert fått mange eksempler på at innsjøer som tidligere har vært eutrofe med tida har utviklet seg i oligotrof retning som følge av redusert næringstilførsel. Oftest skyldes dette klimavariasjoner og utvaskning av næringssalter fra nedbørsfeltet. Oligotrofieringen kan spores ved endret kjemisk sammensetning av sedimentene og på grunnlag av de mikrofossiler som er bevart.

Det siste spørsmålet blir så om den eutrofiering som følger av moderne menneskelig virksomhet skiller seg så mye fra den som kan følge av en naturlig økt næringstilførsel, at den likevel skulle kunne være irreversibel. Den antropogent påtvungne eutrofiering utmerker seg ved at den oftest utvikler seg svært raskt og kraftig, men ellers er prosessene stort sett de samme i begge tilfeller. Stoppes næringstilførselen, vil den eutrofe tilstanden bare kunne opprettholdes så lenge tilførselene fra de akkumulerte reserver er tilstrekkelige. Disse vil være utsatt for

hydraulisk fortykning og kjemisk binding og før eller siden ta slutt. Hvor lang tid dette vil ta avhenger av hvor mye som er akkumulert i en tilgjengelig form, og dessuten av hydrodynamiske og morfometriske forhold i bassenget.

Det finnes tilfelle der man har fått stoppet tilførselen og det har gått en årrekke uten at situasjonen har bedret seg. Dette kan føres tilbake til uløsbare næringsreserver som er så store at næringsstoffene hele tida finnes i overskuddskonsentrasjoner. Noen bedring vil da ikke skje føre ett eller flere stoffer kommer ned i begrensende mengder. Slike ekstremtilfeller kan finnes der urensset kloakk i store mengder i årrekker har gått ut i relativt små vannforekomster.

Store og dype innsjøer skiller seg ut ved at forholdet mellom sedimentoverflate og vannvolum er betydelig mindre enn i små sjøer. Konsentrasjonsøkningen på grunn av eventuelt friggitt fosfor blir derved mindre. De har også store dypområder hvor det ikke skjer noen primærproduksjon, slik at utnyttelsesgraden av næringssaltene blir liten. Det organiske materialet som produseres får lang oppholdstid i vannmassene, og vil i stor grad mineraliseres før det sedimenteres. Store vannvolum vil også inneholde store oksygenreserver slik at belastningen på overflateenhet av innsjøen kan være stor uten at oksygenet forbrukes.

Eutrofe tilstander i store innsjøer trenger derfor lengre tid for å medføre gjennomgripende forandringer i innsjømetabolismen enn i mindre og grunnere vannforekomster.

De store norske innsjøene som i de siste år har vist faretruende tegn på en uønsket eutrofiering, befinner seg ennå i en relativt gunstig situasjon med hensyn til reversibilitet. Dette er fordi eutro-

fieringsperioden har vært kortvarig og de har ennå ikke utviklet virkelig eutrofi, selv om det lokalt i innsjøene kan være områder hvor tilstanden er svært utilfredsstillende. Bortsett fra i enkelte utslippsområder er det heller ikke påvist endringer i sedimentenes sammensetning og ingen vesentlige forandringer i oksygenregimet.

Det ser derfor ut til at den eutrofieringsprosess som har skjedd både i Mjøsa og Tyrifjorden ennå vil være fullstendig reversibel. Fra det øyeblikk fosfortilførselen bringes ned i et akseptabelt nivå, vil

utviklingen gå i oligotrof retning. Hvor lang tid det vil ta å komme tilbake til den tilstanden som er ønskelig, kan ikke sies uten et mer detaljert kjennskap til hvordan vannmassene byttes ut som følge av gjennomstrømning, hvor mye tilgjengelig fosfor som er lagret og hvor fort det avgis. Sikkert er det imidlertid at jo lengre tid den forurensede perioden varer og jo mer næringssalter som tilføres, jo lengre tid vil det ta før vi får disse innsjøene tilbake til den tilstanden som vi ønsker at de skal ha.

#### L I T T E R A T U R :

- Ahlgren, I. 1977. Role of sediments in the process of recovery of a eutrophicated lake. s. 372—377 i Golterman, H. L. (red.) *Interactions between sediments and fresh water*. The Hague.
- Hutchinson, G. E. og Wollack, A. 1940. Studies on Connecticut lake sediments. II. Chemical analyses of a core from Linsley Pond, North Brandford. *Am. Jour. Sc.* 238: 493—517.
- Lindeman, R. L. 1942. The trophic-dynamic aspect of ecology. *Ecology* 23: 399—418.
- Schindler, D. W., Hesslein, R., Kipphut, G. 1977. Interactions between sediments and overlying waters in an experimentally eutrophied precambrian shield lake. s. 235—243 i Golterman, H. L. (red.) *Interactions between sediments and fresh water*. The Hague.