

Eutrofieringsproblemer og restaureringstiltak

Av cand. real. Hans Holtan

Artikkelen innbefatter utdrag av ing. W. Ripl's foredrag i Norsk Forening for Vassdragspleie og Vannhygiene, 6. nov. 1972, om restaurering av innsjøer.

Den industrielle utvikling, nåtidens bosetningsmønster og levestandard samt de moderne driftsmåter i jordbruket medfører blant annet at våre vannforekomster i stadig større grad utsettes for forurensningsbelastning. Selv om utviklingen av tekniske hjelpemidler for begrensnig av avløpsproblemene stadig gjør landevinninger, har det hittil likevel ikke i vesentlig grad lyktes å hindre at vannforekomster bukker under for forurensningsbelastning. Det synes derfor nødvendig å arbeide planmessig for å finne fram til tiltak som på en mer effektiv måte enn hittil kan motvirke at forurensningsproblemene tar overhånd. Jo lenger man venter med å sette i verk effektive mottiltak, desto vanskeligere blir det å reparere de skader som er oppstått, og dessuten vil det medføre langt større omkostninger.

Det finnes mange typer forurensningsstoffer, og følgelig arter forurensningsvirkningene seg på forskjellige måter. Vanligvis deler man forurensningsstoffene i følgende fire hovedgrupper:

1. *Plantenæringsstoffer eller gjødselsstoffer* — fremmer plante- og algevekst.
2. *Organiske stoffer* — danner grobunn for bl. a. bakterier og sopp.
3. *Toksiske stoffer* virker giftig på vannorganismer, deriblant fisk.
4. *Sykdomsfremkallende bakterier og virus.*

Den forurensningsvirkning som kanskje er mest iøynefallende, er den såkalte eutrofiutviklingen — utvikling mot produktive innsjøer (algeblomst) — som har sin årsak i tilførsler av plantenæringsstoffer, i første rekke fosfor- og nitrogenforbindelser.

Selv om eutrofieringsutviklingen i en innsjø ifølge en rekke forskere kan arte seg som en naturlig modningsprosess (i geologiske tidsskala), er det den tradisjonelle brukspraksis,

nemlig bruken av innsjøer som resipienter for kloakk- og annet avløpsvann, som er årsak til den raske eutrofiutviklingen man i våre dager er vitne til. De tradisjonelle rensetiltak (mekaniske- og biologiske renseanlegg) har øyensynlig ikke i vesentlig grad hindret denne utvikling. I den senere tid har man begynt å ta i bruk mer avanserte rensemetoder, bl. a. kjemisk felling som tar sikte på å fjerne fosfor. I hvilken grad slike anlegg vil sinke eller stoppe eutrofiutviklingen, er avhengig av flere faktorer, bl. a. hvilken eller hvilke komponenter som er minimumsfaktor for algevekst.

Resultatene fra forsøks- og eksperimentanlegg av denne type gir grunn til optimisme, men selvsagt bare i de tilfeller fosfor er begrensende faktor for algevekst. Metoden har vært i bruk i relativt kort tid, og man har derfor ennå for få holdepunkter for i hvilken grad den har sinket eutrofiutviklingen av innsjøer.

I Sveits har kjemisk felling av avløpsvann vært gjennomført i stor skala i en 10-års periode, og bl. a. Zürichsee er på denne måte avlastet med hensyn til fosfortilførsler. Selv om innsjøen fortsatt er eutrof, synes produksjonen av planktonalger å ha gått tilbake i de senere år (8).

Imidlertid må felling av avløpsvann bare betraktes å ha forebyggende virkning, og metoden vil neppe i vesentlig grad bedre forholdene i innsjøer som allerede er sterkt eutrofierte. Dette har sammenheng med at bunnsedimentene i slike lokaliteter er sterkt anrikt med næringssalter, deriblant fosfor som til sine tider når

produksjonssonen (overflaten). Innsjøen er altså på denne måten selvforsynt med gjødselsstoffer. Dessuten vil heller ikke disse avanserte anlegg fjerne alle forurensningskomponenter, heller ikke alt fosfor, og normalt skal det en liten næringssaltstimulans (i dette tilfelle fosfor) til for å holde produksjonen i gang i en allerede eutrofiert innsjø.

En liten innsjø er på kort sikt en langt svakere resipient enn en stor. Derfor er da også en rekke mindre innsjøer i tettbygde områder som har vært (eller er) benyttet som resipienter i dag, sterkt eutrofierte. Men det viser seg at også store innsjøer relativt raskt kan utvikle seg mot produktive tilstander når de benyttes som resipienter for avløpsvann. Som eksempler på dette kan nevnes de store innsjøer i Nord-Amerika, Bodensjøen, Vierwaldstättersjøen, Hjälmaren, Väneren osv., og fra vårt eget land Mjøsa, Tyrifjorden m. fl. som nå begynner å vise tydelige tegn på at en eutrofierende utvikling er i gang.

Med utgangspunkt i at de renseanlegg som hittil har vært i bruk ikke har hindret en eutrofierende utvikling, samt at også mer avanserte renseanlegg bare må betraktes som forebyggende tiltak, er det i flere tilfeller i den senere tid bygget avskjærende avløpsledninger rundt vannforekomster for å samle opp avløpsvannet for derpå å lede det ut av nedbørfeltet for vedkommende vannforekomst. Dette vil i realiteten være langt mer effektivt enn et hvilket som helst rensetiltak, da avskjæringen samler opp alle forurensningskompo-

nenter som kan tenkes å ha betydning i denne sammenheng.

Lake Washington ved Seattle på Vestkysten av Amerika ble fra 1941 til 1963 i stadig økende grad benyttet som resipient for avløpsvann fra biologisk renseanlegg (3). I løpet av denne tid øket f. eks. det midlere fosforinnhold fra ca. 17 μg P/l til over 70 μg P/l i 1962—1963. Algeveksten (biomassen) som kan illustreres ved vannets innhold av klorofyll, øket i det nevnte tidsrom fra ca. 2 μg /l til ca. 40 μg /l (juli—august). Siktedypet som om sommeren 1950 var ca. 4 m, var i 1963 bare 1 m.

I perioden 1963 til 1968 ble innsjøen litt etter litt avlastet, og siden februar 1968 er den ikke blitt brukt som resipient. Avløpsvannet er samlet og ført ut av nedbørfeltet.

Dette tiltak har ført til at de kjemiske og biologiske forhold i innsjøen er blitt vesentlig bedre. Det midlere fosforinnhold er nå ca. 20 μg /l, klorofyllinnholdet er ca. 8 μg /l, og siktedypet i de siste produksjonsperioder har vært ca. 4 m. Artssammensetningen både for planteplanktonet og dyreplanktonet er imidlertid vesentlig endret i forhold til hva det var før innsjøen ble tatt i bruk som resipient.

Et annet eksempel på en innsjø som er blitt avlastet etter at den i mange år er blitt brukt som resipient både for kommunalt og industrielt avløpsvann, er innsjøen Norrviken i nærheten av Stockholm (1). I 1969, da avløpsvannet ble avledet, hadde innsjøen en utpreget eutrofierende status. I de påfølgende år har forholdene i innsjøen i visse henseender forbedret seg. Det totale nitrogeninnhold

har avtatt fra 5—6 mg/l til 2—3 mg/l, og i 1970 ble nitrogeninnholdet ansett for å være den begrensende faktor for algevekst. Fosforkonsentrasjonen har avtatt svakt — fra 300—400 μg P/l til 200—300 μg P/l. Planteplanktonets biomasse var mye mindre i 1970 enn i tidligere år, men primærproduksjonen var dette år større enn i 1961/1962. I løpet av 1970 ble det sedimentert ca. 3,1 g/m² fosfor, mens det i samme tidsperiode ble frigjort 2,7 g/m² fra sedimentene. Sedimentasjon og frigivelse av fosfor fra bunn-sedimentene oppveier omtrent hverandre. Dette betyr at den midlere fosforkonsentrasjonen i innsjøen vil bli minst like høy som i tilløpene, som fortsatt er betydelig forurenset. Forskerne konkluderer med at en ytterligere minskning av planktonproduksjonen i innsjøen derfor er avhengig av i hvilken grad man kan redusere fosforkonsentrasjonen i tilløpene.

Disse og en rekke andre eksempler har vist at forutsetningen for at slike tiltak (avskjærende kloakkledning) skal lykkes, i hvert fall på kort sikt, er avhengig av i hvilken utstrekning man har klart å avlaste innsjøen for avløpsvann, men flere faktorer, bl. a. innsjøens form og morfometriske data, innsjøens størrelse i forhold til nedbørfeltet o. l., spiller også en rolle.

Gjersjøen i Akershus har i lengre tid vært brukt som resipient for kommunalt avløpsvann — i de senere år fra 10 000—15 000 mennesker (4). På grunn av dette har innsjøen siden 50-årene utviklet seg fra en oligotrof (næringsfattig) innsjø til en utpreget eutrof (næringsrik) lokalitet med anaerobe tilstander i dyplagene. I januar

1972 ble det satt i drift et renseanlegg hvortil kloakkvannet fra den nevnte befolkningsmengde blir samlet. Avløpet fra renseanlegget blir ført ut av Gjersjøens nedbørfelt. Resultatet av dette tiltak har ført til at konsentrasjonene av næringssalter i tilløpene har avtatt radikalt, men likevel er de fortsatt relativt sterkt belastet. Utviklingen i Gjersjøen blir fulgt opp kontinuerlig med fysisk-kjemiske og biologiske undersøkelser, men det er ennå for tidlig å si noe om og i hvilken grad tiltaket har hatt virkning på forurensningstilstanden i innsjøen.

I de senere år har enkelte forskere beskjeftiget seg med spørsmålet om det ved tekniske eller andre tiltak er mulig å restaurere innsjøer som har vært overbelastet med avløpsvann eller forurensninger. Behovet for innsjørestaurering er spesielt stort i tettbygde områder hvor sterkt forurensete innsjøer er til sjenanse for bebyggelsen og for utøvelse av rekreasjonsaktiviteter. Restaureringsmetodikken befinner seg ennå hovedsakelig på et utviklingsstadium, og det er derfor på nåværende tidspunkt vanskelig å bedømme hvilken betydning slike tiltak vil få i fremtiden (2, 5, 6, 7).

Før man kan gå i gang med et restaureringstiltak, må følgende to hovedbetingelser være oppfylt:

1. Innsjøen må være skjermet for ytterligere forurensningstilførsler.
2. Det må foreligge et tilstrekkelig observasjonsmateriale for å kunne bedømme hvilke tiltak som bør settes i verk, samt for å kunne

bedømme i hvilken grad tiltaket bidrar til en forbedring av forholdene i innsjøen.

Restaurering av en sterkt forurenset vannforekomst kan skje på flere måter:

1. Ved å fjerne høyere vannvegetasjon og bunnsedimenter.
2. Ved tilsetning av kjemikalier som binder næringssalter og minsker vannets innhold av slike stoffer.
3. Ved tilsetning av f. eks. toksiske stoffer som kan hindre produksjon av planteplankton.
4. Ved lufting eller tilførsel av oksygen.
5. Ved å tilføre rent vann fra andre kilder.

Man diskuterer nå også bruk av biologiske metoder som f. eks. organismer som livnærer seg av planter og detritus (bunnsлам).

Alle disse metoder er nå under utprøving, enten enkeltvis eller i kombinasjon. Det er først og fremst i Sverige, Tyskland, Sveits og USA man i dag er sterkest opptatt med disse problemer.

Fjerning av bunnsлам.

Den førstnevnte metode er blitt anvendt i et restaureringstiltak av innsjøen Trummen i Växjö-området i Sverige. Innsjøen har en overflate på 1 km² og største dyp på 2 m. Inntil 1959 var innsjøen resipient for kommunalt avløpsvann og til dels industriavløpsvann. Innsjøen var på dette tidspunkt sterkt forurenset — en tilstand som fortsatte også etter at inn-

sjøen ble befridd for tilførsler av avløpsvann, bl. a. inntraff oksygenmangel og fiskedød vinterstid.

I tidsrommet mars 1968—juni 1970 ble det foretatt en preliminær undersøkelse av innsjøen. Den påfølgende hovedundersøkelse pågår ennå og er ventet avsluttet sommeren 1973, og oppfølgende studier skal gjennomføres i tidsrommet 1973—1980. I den tiden Trummen tjente som resipient, øket sedimenttilveksten med maksimalt 8 mm/år (mot tidligere 0,4 mm/år), og de upåvirkede brune sedimenter ble overlagret med løs kulturgytje med høyt innhold av bl. a. fosfor, bly, sink og kobber. Under de anaerobe forhold man hadde i disse sedimenter, ble det løst ut bl. a. fosfor og nitrogen som stimulerte algeveksten i innsjøen.

I 1970/1971 ble det gjennomført et omfattende mudringsarbeid, og de øverste 65 cm av det næringsstoffrike gytjelag (bunnslam) ble pumpet opp i et basseng. Avløpsvannet derfra ble behandlet med aluminiumsulfat og ført tilbake til innsjøen. Innsjøen reagerte momentant på dette tiltak. Oppblomstringen av blågrønnalger som tidligere hadde vært vanlig, uteble, og isteden fikk man rik grønnalgeflora. I 1969 var artsantallet 30, mens det i 1970 var 60. Biomassen avtok sterkt. Det totale fosforinnholdet avtok fra ca. 700 $\mu\text{g P/l}$ før inngrepet til ca. 100 $\mu\text{g P/l}$ etterpå, mens fosfatfosfor-konsentrasjonene avtok fra 70 $\mu\text{g P/l}$ til ca. 5 $\mu\text{g P/l}$. Registreringene hittil har vist en radikal omstilling fra en biologisk ubalansert og overgjødset innsjø til en vannforekomst med en mer stabil biologisk karakter.

Felling.

Forsøk med å minske vannets innhold av plantenæringsstoffer i sterkt forurensede, overgjødset vannsystem ved tilsetning av aluminiumsulfat, baserer seg på aluminiumets evne til å binde fosfater. Den dannede kompleksforbindelse, flokkes ut, synker til bunns og fosforet unndras der ved det biologiske kretsløp. Metoden forutsetter at fosforinnholdet bringes ned til et lavt nivå, slik at denne komponent blir begrensende for algeveksten. Man regner også med at aluminiumsflokkene skal ha en avskjermende effekt for transport av fosfor fra sedimentene til de frie vannmasser.

Flere innsjøer, både i Sverige og i Amerika, er blitt behandlet på denne måte, men foreløpig synes ikke forsøkene å ha gitt tilfredsstillende resultater. Selv om behandlingen umiddelbart førte til en forbedring, synes ikke disse tiltak å ha gitt den effekt på lang sikt som man hadde håpet på.

Lufting.

Den høye produksjon av organisk materiale i eutrofierte innsjøer medfører bl. a. et sterkt forbruk av oksygen ved at det organiske materiale synker til bunns og dekomponeres. I enkelte slike innsjøer kan hele vannmassen være fri for oksygen vinterstid. For å bøte på dette har man i lengre tid gjort forsøk med innblåsing av luft eller oksygen i slike vannforekomster. Resultatene har vært vekslende, avhengig av hvilken teknikk som har vært anvendt. Den metode som hittil synes å ha gitt de beste resultater, er en teknikk som er ut-

viklet av firmaet Atlas-Copco. Metoden går ut på at man plasserer et luftningsaggregat «Limnox» på bunnen av innsjøen. Til dette aggregat tilføres pressluft som blandes med bunnvannet. Etter lufting føres det oksygenrike vannet ut i de dypere lag av innsjøen. Den termiske sjiktning blir derved ikke forstyrret. Metoden har vist seg å gi gode resultater hva oksygentilførsel angår. Dermed har man oppnådd å påskynde mineraliseringsprosessen i bunnslammet — under aerobe tilstander vil fosforet i liten grad løses ut — næringssalttilførselen fra bunnsedimentene til produksjonssonen blir altså forminsknet. Hvis tiltaket skal begrense algeveksten i en innsjø, er det nødvendig å avlaste innsjøen for fortatte tilførsler av forurensninger.

Biologiske metoder.

I mindre lokaliteter i utlandet (særlig Tyskland) har man i noen grad klart å redusere algeveksten ved utsetting av spesielle fiskearter — gresskarper. Det er imidlertid ennå uklart om i noen grad slike metoder vil være egnet under våre klimatiske forhold. Det foregår også eksperimenter med bruk av visse virusarter for å bekjempe algeoppblomstring i vannforekomster, men dette er tiltak som foreløpig er på forsøksstadiet og er derfor ikke å anbefale på nåværende tidspunkt.

KONKLUSJON

Som konklusjon på eutrofiprobmatikken må det fastslås: Til tross for iherdig innsats fra ingeniører og forskere verden over har det hittil i

liten grad vært mulig å hindre at eutrofiprobmatikkene stadig blir større og mer omfattende. Det synes derfor nødvendig at den praktiserende ingeniør og naturvitenskapsmann i en langt større grad enn hva som hittil har vært tilfelle, samarbeider om å løse disse problemer. Et raffinert renseanlegg har liten verdi hvis renseprosess og drift ikke tar tilstrekkelig hensyn til resipienten og den biologiske eller økologiske utvikling der.

Mulighetene for å bedre forholdene i en vannforekomst ved restaureringstiltak er alltid til stede, men som regel er dette meget kostbare inngrep, særlig når det gjelder større innsjøer. Skil slike tiltak lykkes, er det nødvendig at vannforekomster for fremtiden skjermes for forurensningstilførsler.

Det synes derfor å være langt bedre økonomi å foreta de nødvendige tiltak i tide, innføre forebyggende tiltak, slik at vannforekomstene ikke utvikler seg mot tilstander hvor restaureringstiltak er nødvendige. Dessuten er det lite trolig at restaureringstiltak vil kunne bringe innsjøer tilbake til det de en gang var — de vil sannsynligvis fortsatt være produktive, men på en mindre sjenerende måte.

LITTERATUR

1. Ahlgren, Ingemar: Changes in Lake Norrviken after sewage diversion. Verh. Internat. Verein Limnol. 18, Stuttgart, November 1972.
2. Bjørk, Svein: Restaurering av sjøar. Svensk Naturvetenskap 1971.

3. Edmondson, W. T.: The present condition of Lake Washington. Verh. Internat. Verein Limnol. 18, Stuttgart, November 1972.
4. Holtan, Hans: Gjersjøen. A eutrophic Lake in Norway. Verh. Internat. Verein Limnol. 18, Stuttgart, November 1972.
5. Ripl, Wilhelm: Probleme der See-restaurierung. «Wasser, Luft und Betrieb», 14 Jahrg. Nr. 12, Dez. 1970.
6. Ripl, Wilhelm: Die Regenerierung von Seen-Steuerung von Ökosystemen. Chemie - Inz. - Techn., 44 Jahrg. 1972/Nr. 20.
7. Statens (svensk) Naturvårdsverks årsbok 1971: Sjörestaurering.
8. Thomas, E. A.: Oligotrophierung des Zürichsees. Vierteljsschr., Naturf. Ges. Zürich 116, 1971.
9. Pierce, N. D.: Inland Lake Dredging Evaluation. Technical Bulletin Nr. 46. Department of Natural Resources Madison, Wisconsin 1970.