

# Kan vi redde våre eutrofierte innsjøer med innsjøinterne tiltak?

Av Dag Berge

Dag Berge er seniorforsker ved NIVA

*Innlegg på fagtreff i Vannforeningen 16. oktober 2006*

## Konkluderende sammendrag

*"Svaret er nei, ikke alene - innsjøinterne tiltak mot eutrofiering kan på mange måter sammenliknes med å tette et tak ved å sette en bøtte under"*

Årsaken til eutrofieringen er alltid ekstern, dvs. hendelser i nedbørfeltet. Som regel dreier det seg om økning i tilførsler av næringssalter, fremfor alt fosfor, fra jordbruk eller befolkning, og i noen tilfeller fra industri. I en del spesialtilfeller har eutrofiering skjedd som følge av vannkraftregulering ved at høyereliggende "rent forynningsvann" er overført til et magasin i et annet vassdrag. Innsjøene i det opprinnelige vassdraget får da mindre fortykning og forurensningen blir mer konsentrert. Tiltakene må først og fremst konsentreres om årsakene til eutrofieringen (fosfortilførsler og forynningsvann) for å få varig bedring. Innsjøinterne tiltak kan bare i relativt beskjeden grad bedre på situasjonen

utover dette. I innsjøer der ekstern fosfortilførsel ikke lar seg redusere i tilstrekkelig grad innenfor de tiltak som det finnes hjemler for å gjennomføre, kan interne tiltak være aktuelt for å holde situasjonen på et noe bedre nivå enn man ellers ville ha greidd. I innsjøer som har vært overbelastet i lang tid og hvor det har bygget seg opp næringsrike sedimenter, kan bedringen, selv etter tilstrekkelig reduksjon av eksterne tilførsler, ta lang tid pga. av at det lekker ut fosfor fra sedimentene. Her kan innsjøinterne tiltak være med på å påskynde bedringen.

## Innledning

Årsaken til eutrofieringen er alltid ekstern, dvs. hendelser i nedbørfeltet. Som regel dreier det seg om økning i tilførsler av næringssalter, fremfor alt fosfor, fra jordbruk eller befolkning, og i noen tilfeller fra industri. I en del spesialtilfeller har eutrofiering skjedd som følge av vannkraftregulering ved at høyereliggende "rent forynnings-

vann” er overført til et magasin i et annet vassdrag. Innsjøene i det opprinnelige vassdraget får da mindre fortynning og forurensningen blir mer konsentrert.

I mange tilfeller oppnår man ikke så god tilstand i innsjøene som man ønsker ved å redusere de eksterne fosfortilførslene. Som regel kommer dette av at man ikke greier å redusere tilførslene nok. Dette kan være mangler på hjemler for å redusere landbruksforurensning, eller i bymessige tettsteder med gamle og uoversiktlige kloakksystemer kan det nærmest være umulig å avkloakkere i nødvendig grad. Fravær av bedring etter avlastning kan også komme av at det gjennom mange år med sterk overbelastning, har bygget seg opp tykke lag av næringsrike sedimenter. Disse kan lekke fosfor ut til vannmassene i flere tiår etter ekstern avlastning er foretatt.

Disse erkjennelser har medført at det har vokst frem, ofte konsentrert i perioder, en interessant forskning på alternative metoder for å bedre vannkvaliteten i eutrofierte innsjøer. I Norge har disse metodene ofte blitt kalt ”innsjøinterne” tiltak med en fellesbetegnelse, selv om noen av tiltakene ikke er direkte interne. En kan heller si at det dreier seg om andre tiltak enn det å redusere de eksterne tilførsler av næringsstoffer.

## De ulike tiltakstyper

De ulike metoder er gitt i stikkordsform i nedenstående liste:

1. Fortynning og økt gjennomstrømning med renere vann
  2. Heving av vannstanden
  3. Lede eventuelle utslipp ut på dypt vann i hypolimnion
  4. Direkte kjemisk felling i innsjøen
  5. Uttapping av næringsrikt bunnvann
  6. Hypolimnion lufting
  7. Destratifisering
  8. Fjerning av forurensede sedimenter
  9. Kjemisk oksidasjon av forurensede sedimenter
  10. Behandling med herbicider
  11. Bruk av bygghalm
  12. Biomanipulering - Reduksjon av mengden planktonspisende fisk, enten ved utfisking eller ved å sette ut en egnet rovfisk
  13. Høsting av vegetasjon
  14. Utsetting av plantespisende fisk (mot vannplanter)
  15. Tildekking av sedimentet
- Ikke på langt nær alle de ovennevnte tiltakene vil være aktuelle å benytte i enhver innsjø, men ofte vil det være effektivt å sette inn flere tiltak samtidig. Det er derfor alltid nødvendig å gjøre en utredning av hvilke tiltak som er aktuelle for en gitt innsjø. Er for eksempel gjengroing med høyere vegetasjon problemet, må man vurdere andre tiltak enn om det er intern gjødsling som er problemet. Alt for ofte settes det i gang tiltak uten noen objektiv forundersøkelse. For ca 20 år siden hadde den tiltakstypen som kalles biomanipulering en voldsom popularitet. Mange forskere hadde en nesten ”religiøs” overbevisning om at dette kunne løse de fleste eutrofi-problemer. I dag er biomanipulering nærmest ikke i bruk lenger.

## Kort gjennomgang av de ulike tiltak

### Hydrologiske tiltak

Dette omfatter:

- Øke vanngjennomstrømningen med renere vann
- Heving av vannstanden

Økning av vanngjennomstrømningen gjøres gjerne ved å overføre vann fra sidevassdrag. Det er viktig at vannet som tilføres er renere enn vannkvaliteten i den innsjøen som skal fortynnes. I dag er det bare aktuelt å ta inn vann fra vassdrag som renner inn i samme vassdrag lengre nede, slik at det ikke blir fare for å overføre uønskede arter fra et vassdrag til et annet. For eksemplet for Bjørkelangen ble det beregnet (Berge 2004) at fosforkonsentrasjonen ville i innsjøen kunne reduseres med 30% om Setten fikk avløp til Bjørkelangen i stedet for til Hølandselva (utløpselva til Bjørkelangen) lenger nede i vassdraget.

Hvis man hevet sommervannstanden i Bjørkelangen 1 m, noe man har anledning til i reguleringskonsesjonen (Berge 2004), ble det beregnet at fosforkonsentrasjonen i sommerhalvåret ville gå ned med 3 %, altså en nærmest uinteressant liten effekt. For Bergsvannet i Eidsfoss i Vestfold, som er regulert 6 m, ble det beregnet (Berge 1990) at ved å holde innsjøen på HRV (høyeste regulerte vannstand) om sommeren ville algemengden bli 13 % lavere enn om vannstanden ble holdt nær LRV slik som tidligere praksis var. Innsjøen har de senere

årene blitt holdt nær HRV om sommeren og algemengden er betydelig lavere (kfr. Berge 2006).

### Lede kloakkutslipp ut på dypt vann

Den positive effekten av dette ble vist av Schindler et al (1980) i Experimental Lakes Area i Kanada. Tanken er da at fosforet ikke skal komme opp i den belyste sone og gi algevekst. Fosforet vil i stor grad sedimentere og bindes til sedimentene. Ved flere norske turisthotell ble dette benyttet med hell (Sandvatn og Bolkesjø ved Blefjell) se Berge (1984) og Brettum (1992). Tiltaket har en betydelig eutrofireduserende effekt i dype sjøer, mens i grunne sjøer har det liten effekt.

Problemet er at dypvannet blir rikt på koliforme bakterier, noe som blir et problem hvis man skal benytte innsjøen som drikkevann. Da tar man jo helst vann fra dypet.

### Kjemisk felling direkte i innsjøen

Særlig fra USA har man mange eksempler på bruk av fellingskjemikalier som aluminiumsulfat og jernklorid direkte i innsjøer for å felle fosfor og alger (samme prosess som i renseanlegg). Ved bruk av for eksempel aluminiumsulfat er formålet foruten å felle fosfor, og dermed redusere fosforinnholdet i vannmassene, også å dekke til sedimentene, for derigjennom å hindre utlekking av fosfor fra disse. Aluminiumsfelling er spesielt egnet for å hindre utlekking som skyldes oksygenvinn i dypvannet.

Resultatene fra USA er høyst variable og det pekes på at innsjøene samtidig må avlastes i nødvendig

grad, samt at innsjøene ikke må være for vindeksponert slik at bunnslammet kan forstyrres ved resuspensjon.

I Norge er dette tiltaket lite benyttet. Langevannet i Lørenskog ble behandlet med aluminiumsulfat, men etter tilsetning av 30 tonn, ble det observert omfattende fiskedød, og forsøket ble stoppet. Fellingen er relativt følsom for pH og må foregå mellom pH 6 og 7,5. Fellingsreaksjonen forbruker alkalitet og virker forsurende. Ved høye pH verdier dannes  $Al(OH)_4$  som da er giftig for fisk. Under pH ca 5,5 blir aluminium igjen giftig for fisk.

Midtsommers er pH ofte høy, slik at det kan oppstå giftige aluminiumsformer. En eventuell felling må foregå umiddelbart etter vårsirkulasjonen og vårfloppen før de høye pH-verdiene har oppstått som følge av høy algeproduksjon. Erfaringer viser at behandling må foretas 2-3 ganger i løpet av sommeren. Tiltaket egner seg best for vanttper med høy alkalitet. I norske innsjøer med lav alkalitet vil det lett kunne bli problemer som følge av at man ikke greier å holde pH i det ufarlige området.

#### Uttapping av næringsrikt bunnvann

Under stagnasjonsperiodene vinter og sommer skjer det ofte en oppkonsentrering av løst fosfor i hypolimnion. Det er av dette fosforet bringes opp til det algeproduserende vannlag i sirkulasjonsperiodene vår og høst. Våroppblomstringen og høstoppblomstringen av alger skyldes oftest dette fenomenet. Tanken er at om man tapper ut bunnvann via en hevert i stedet for å la overflatevannet renne ut

av innsjøen, så vil man forhindre dette. Tiltaket har vært prøvd i Norge i Langsæ ved Arendal ved at bunnvannet tappes ut med hevert. Innsjøen unngår å bli sjiktet og algemengden blir noe lavere enn de åra hvor dypvann ikke tappes (Kaste og Kleiven 1998). Et av problemene ved metoden er at man får eutrofiering i elven nedenfor i stedet. Det krever at man har en stor elv å slippe det næringsrike bunnvannet ut i.

#### Hypolimnion lufting

Dette er et av de mest populære tiltakene som brukes hyppig rundt om i verden. Det finnes en lang rekke kommersielle luftemaskiner å få kjøpt. Noen er enkle kompressorer der luft eller oksygen blåses ned og ut i vannet via dyser. Andre mer sofistikerte har en hurtiggående propell som slår i stykker luft eller oksygenet til ørsmå bobler. De små boblene gir vannet en hvit farge, omtrent som melk. Disse små boblene har en kraftig oksiderende effekt, noe som gir oksygen til dypvannet, samt at det oksiderer jern som igjen feller ut fosforet.

Lufting fører ofte til at innsjøene delvis sirkulerer, dvs. at deler av det næringsrike bunnvannet bringes opp til overflaten vha. de oppstigende boblene. Etter hvert har man blitt flinkere til å dosere luft og oksygen riktig, slik at man ikke får noe særlig overskudd av bobler som river med seg næringsrikt vann til overflaten.

Hypolimnion har vært benyttet i Kolbotnvatn i Oppedgård kommune og i Langevatn i Lørenskog kommune (Oredalen et al 2001, Holtan og

Nicholls 1987). Her har det har en god og livgivende effekt på hypolimnion, bl.a. ved å få en rik bunnfauna tilbake i det tidligere oksygenfrie og livløse området, men noen stor effekt på å redusere algeveksten i overflate-lagene, har tiltaket ikke gitt. Problemet har vært at det man har vunnet ved felling av fosfor, har blitt oppveid av at boblene har revet med seg næringsrikt vann opp i overflate-lagene. Man må bli flinkere til å unngå dette siste problemet om tiltaket skal få god effekt.

### Destratifisering

Destratifisering er mer eller mindre det samme som lufting. Det vil si at man benytter kompressorer for å slippe luftbobler ut i dypvannet, som når de stiger opp bringer innsjøen til å sirkulere. Tiltaket er særlig egnet i Norge for å sørge for at det skjer skikkelig vårsirkulasjon hvert år i innsjøer som har lett for å stå over denne pga av vindbeskyttet beliggenhet. Dette har vært gjort i Kolbotnvannet gjennom mange år, ved at man har hatt en boblegardin som har "hjulpet til" i vårsirkulasjon. Man får da felt ut fosforet som er frigitt under vinterstagnasjonen. Midtsommers er det for stor stabilitet i vannmassene til at det er praktisk mulig å få store innsjøer til å sirkulere.

### Fjerning av forurensede sedimenter (mudring)

Hvis en sjiktet innsjø har vært overbelastet med næringssalter i lang tid vil det bygges opp et næringsrikt og organisk slam på bunnen av innsjøen. Det organiske innholdet i slammet vil

forbruke oksygen i stagnasjons-periodene sommer og vinter, jern reduseres fra 3 verdig til 2 verdig, og bindingsevnen til fosfor avtar, og fosfat lekker ut til det overliggende vannet. Selv etter at en innsjø er avlastet i tilstrekkelig grad, kan et slikt forurenset sediment hindre særlig bedring av forholdene i flere titalls år.

Et effektivt, men kostbart tiltak er å fjerne sedimentet ved mudring. Dette er av kostnadmessige hensyn ikke benyttet ved noen norsk innsjø. I Sverige derimot er noen innsjøer mudret, og det mest kjente eksemplet er Trummen i 1970-årene. Trummen er 1 km<sup>2</sup>, altså en nokså liten innsjø. Innsjøen ble avlastet for kommunalt avløp allerede i 1960, men pga indre gjødsling forble innsjøen hypereutrof med Tot-P konsentrasjoner opp imot 1 mg P/l, høye algemengder, og pH-verdier over 10 midtsommers. I 1969, 10 år etter avlastningen, var den indre gjødslingen midt i produksjons-sesongen ca 60 ganger større enn den eksterne tilførselen av fosfor (Pettersen og Wallsten 1990), og det ble satt i gang mudring.

Effekten av mudringen ble svært god med bl.a. en reduksjon av Tot-P på 90 % og betydelige reduksjoner av algebiomasse og økning i siktedyp.

Flere innsjøer er siden blitt mudret som restaureringstiltak, men aktiviteten er nå sterkt redusert på grunn av store kostnader. Hovedsakelig er tiltaket benyttet i små innsjøer. Kostnadene i de svenske mudringstiltakene har ligget på mellom 250 000-850 000 kr per hektar mudderflate (Bratli 1992). Det er ikke bare dyrt å ta opp slammet, men man må ha et

sted å gjøre av det. Det krever store arealer for å kunne foreta en forsvarlig avvanning.

### Kjemisk oksidasjon av forurensede sedimenter

Denne metoden ble først beskrevet av Wilhelm Ripl (1976). Metoden er egnet der man har anaerobe sedimenter med stort oksygenforbruk, for eksempel i stratifiserte innsjøer som har vært overbelastet med kloakk i lang tid. Metoden går ut på å sette til nitrat til sedimentet for derigjennom både bryte ned det organiske materiale, samt å oksidere jernet i sedimentet slik at dette binder fosforet.

Det er gjerne kalsiumnitrat man benytter. Norsk Hydro (Hydro Chemicals) selger dette produktet under navnet Limnox. Man benytter en harv der det er en slange i hver harvetinne. Væsken pumpes ned i overflatesedimentet mens harven trekkes bortover sedimentoverflaten. Denitrifikasjonsbakterier denitrifiserer nitraten til  $N_2$  under forbruk av organisk materiale. Overskudd av oksygen i nitraten oksiderer jern som binder fosfat. Man kan få samme effekten med kalksalpeter som er langt billigere enn Limnox (kalsium nitrat).

Metoden er ganske effektiv, men selve nedharvingen av nitraten er plundrete og arbeidskrevende. Nitraten kan leveres pelletert som i kunstgjødsel, men den er svært vannløselig og alt vil løses i epilimnion om det spres på overflaten. Her er det uønsket som næringssalt. Hvis nitraten kunne leveres som pellets, men med en mye lavere løselighet, slik at det kunne synke til bunns før

det løses, vil produktet være mye mer anvendelig. I Kolbotnvannet er det satt til nitrat i hypolimnion i en årrekke for å bringe oksygen ned i dypvannet, for dermed å redusere utlekking av fosfor fra sedimentet (Oredalen et al 2001).

### Bruk av algicider (herbicider)

I dag bruker man i Norge algicider i fontener (Algen Stop, trolig et kobberpreparat), og i svømmebasseng (klor). I innsjøer har kobber ikke vært benyttet i Norge ennå. Ute i verden har det imidlertid vært benyttet i nær 100 år i drikkevannsreservoarer, særlig i USA og i Australia. Kobbersulfat er det mest benyttede stoff. Kobber er ekstremt giftig for alger, men lite giftige for dyr og mennesker. Mens for eksempel blågrønnalger dør ved konsentrasjoner av kobber på 10-20  $\mu\text{g Cu/l}$  sier drikkevannsnormen at det er trygt å drikke vann med opptil 50  $\mu\text{g Cu/l}$ . I naturen er det sjelden å finne vann med mer enn 2-3  $\mu\text{g Cu/l}$ .

Problemet med kobbersulfat er at det også virker som et fellingskjemikalie. Det forsvinner relativt raskt til sedimentet, og tar algene med seg. US EPA (USAs forurensningstilsyn) har etter hvert blitt restriktive med bruk av kobbersulfat, fordi det etter lang tids bruk har ført til opphopning av kobber i sedimentet, noe som kan føre til stress for bunndyrene (insektslarver, marker, etc).

Man har derfor gått over til kjelaterte kobberforbindelser, der Cutrine Plus (fra Applied Biochemists, Milwaukee, WI 53022) er det mest benyttede. Dette preparatet har den fordelen at kobberet ikke

sedimenterer ut så fort, noe som gjør at virkningstiden blir lenger, og man trenger mye lavere konsentrasjoner for at algene skal reduseres.

I Akersvannet ved Tønsberg, tidligere reserve drikkevannskilde for Vestfold Interkommunale Vannverk (VIV), ble det søkt Statens Institutt for Folkehelse, samt SFT, om tillatelse til å benytte kobberpreparater for å bekjempe oppblomstringer av giftige blågrønnalger, som var et stort problem i drikkevannsforsyningen. Man fikk tillatelse til å benytte Cutrine, men man ønsket primært å benytte kobbersulfat da dette var mye billigere. Dette fikk man imidlertid ikke tillatelse til å benytte. Bruk av kobbersulfat i Akersvannet ble beregnet til 125 000 kr per år, Cutrine opp imot det dobbelte.

VIV bestemte seg da for å bygge ut Eikeren i tillegg til Farris, slik at trygg reserveforsyning kunne garanteres, og å fase ut Akersvannet.

De norske myndighetene er skeptiske til å benytte pesticider i vann, selv om vi benytter det hyppig på maten vi spiser (plantevernmidler). Grunnen til at man fikk tillatelse i Akersvannet var at man hadde et prekært problem mht drikkevannsforsyning, og algene gjorde vannet mye giftigere enn kobberet som skulle brukes til å bekjempe dem. I tillegg til at algene i Akersvannet var svært giftige, var det så mye alger at nesten alt rentvannet gikk med til å spyle filterne. Dvs. man fikk nærmest ikke produsert drikkevann.

### Bruk av bygghalm

En metode som har fått mye fokus de

senere år når det gjelder bekjemping av algevekst i dammer og mindre innsjøer, er bruk av halm fra bygg (cf. Lembi 2002). Metoden ble utviklet i England tidlig i 1990 årene hvor den etter hvert er nokså mye benyttet også i større reservoarer og kanaler. Nøyaktig hvordan metoden virker, vet man ikke. Man antar at når sopp bryter ned bygghalm i vann, lekker det ut stoffer i vannet som hemmer algevekst. De aktive kjemiske stoffene er ikke identifisert, men man antar at det kan være oksiderte polyphenoler eller peroksider. Det er heller ikke klart om det er stoffer som lekker ut fra halmen, eller om det er metabolske produkter som skilles ut av soppen. Det er heller ikke klart hvorfor bygg gir mye bedre resultater enn andre kornslag. Aktiviteten til bygghalmen dreper ikke eksisterende alger, men den hindrer nye alger å utvikle seg. Det tar dessuten noe tid, avhengig av temperatur, før nedbrytningen har kommet så langt at algeveksthemmende stoffer skilles ut. Tiden varierer fra 1-2 uker ved 20 °C til 6 uker ved temperaturer lavere enn 10 °C.

Center for Aquatic Plant Management, England, har kommet lengst med teknikk for bruk av bygghalm. De anbefaler at man legger ut halm allerede i slutten av april for å hindre algevekst. Man trenger i snitt ca 220 pund halm per acre, noe som tilsvarer ca 25 kg per mål med normalt tørr halm tatt fra halmballer. Halmen må pakkes løst og bøyes opp på 1-2 m dyp, slik at ikke noe syns fra overflaten, samt at de algehemmende stoffene lekker ut til de algeprodu-



serende øvre vannlag. Man må ha halmen mer løst pakket enn i halmballer, slik at man kan ikke legge ut halmballer direkte. Man kan enten lage løst pakkede vedsekker med halm, eller man kan lage lengre pølser ved bruk av for eksempel en juletre-pakker. Halmsekkene flyter når den legges ut, men vil etter hvert synke. Man bør derfor legge isoporbiter med jevne mellomrom i halmpølsa.

For eksempel for en innsjø som Bjørkelangen ville man trenge ca 85 tonn halm i året for å få full effekt. Dette høres ut til å være en uoverkommelig stor mengde, men fra landbrukshold er dette regnet for absolutt overkommelig. Det er mest benyttet til dammer og småvatn opp til 100 mål.

NIVA anser at metoden ikke kan brukes i hele innsjøer, men muligens at den kan benyttes i mindre områder av innsjøer. Metoden ble forsøkt i en bukt i Rødnessjøen i Haldenvassdraget (Berge in prep) i 2005 for å se om metoden kunne benyttes til for eksempel å holde badeplasser fri for blågrønnalger. Bukten ble avstengt med en plastduk med dybde 4,5 m. Dvs dypvannet kunne skiftes ut, mens blågrønnalgene som ofte er i overflatelagene skulle forhindres i å komme inn, samt at de algeveksthemmende halmekstraktene skulle forhindre dem i å vokse opp. Det ble lagt ut sekker med halm i foreskrevne mengde innenfor duken. Prøver av alger og næringssalter ble tatt utenfor og innenfor gjennom hele vekstsesongen. Det ble ikke observert nevneverdig forskjell i algemengden innenfor og utenfor duken. Nå var det

imidlertid ikke så mye blågrønnalger i Haldenvassdraget dette året. Metoden egner seg best til dammer og kanaler.

### Bio-manipulering

Dette tiltaket, som har fått et slikt litt mystisk navn, går stort sett ut på å redusere mengden planktonspisende fisk, enten ved utfisking, eller ved å sette ut en egnet rovfisk.

Når en innsjø eutrofieres blir vannet grumsete. Rovfisk som gjedde og abbor ser dårligere og blir mindre effektive jegere. Karpesfisk øker i antall og fiskefaunaen blir ofte dominert av småvokste eksemplarer av karpesfisk. Disse spiser opp dyreplanktonet. Når dyreplanktonet er borte, er det lite beiting på planteplanktonet, og dermed blir det mye alger. Utviklingen i fiskesamfunnet ved en eutrofiering er med å forsterke selve eutrofieringen.

Tanken er at ved å redusere mengden av planktonspisende fisk skal man få mer beiting på algene, og altså mindre alger.

I utprøvingen av metoden på 1980-tallet fjernet man gjerne all fisken ved bruk av fiskegiften rotenon. Man fikk da ofte gode resultater det første og andre året etter behandlingen. Fisken kom imidlertid fort tilbake i mange vann. Da man normalt ønsket fisk i vannene, har man gått over til styrt utfisking eller utsetting av rovfisk. I det følgende går det kort gjennom bio-manipuleringsforsøk som er utført i Norge.

### *Mosvatnet i Stavanger*

Mosvatnet er en liten grunn innsjø beliggende inne i byområdet i



Stavanger. Den er avlastet fra kloakk så langt det har vært mulig. Likevel var ikke vannkvaliteten tilfredsstillende i 1980-årene. Det var store mengder og problemer med blågrønnalgeoppblomstringer. Innsjøen hadde på dette tidspunktet store bestander av planktonspisende fisk.

For å bedre innsjøens selvrensningsevne ble all fisk drept i 1987 ved hjelp av rotenon. Dette strakstiltaket ga grunnlag for en stor bestand av algespisende dyreplankton. Vannet klarnet opp de første årene etter tiltaket, men etter hvert ble fosforkonsentrasjonen omtrent som før. Høyere vegetasjon ekspanderte kraftig de første årene og dekket snart hele innsjøbunnen. I dag har vegetasjonen gått noe tilbake. Innsjøens økologiske tilstand må karakteriseres som ustabil. Enkelte år er vannet klart og fint det meste av sommeren, mens andre år er oppblomstringer av blågrønnalger. I 2001 var det kraftig vekst av trådformede alger, mer eller mindre overalt i sjøen, på vegetasjonen, på bunnen, og langs strendene. Man har oppnådd at vannkvaliteten de fleste år stort sett er bra i badesesongen, men fra midten av august kan det være like mye blågrønnalger som før. Det typiske mønsteret er: Mye alger om våren – lite midtsommers, og mye på ettersommeren og høsten igjen. Om ettersommeren og høsten er det gjerne oppblomstring av blågrønnalger, se Molversmyr (2002).

#### *Utfisking av lagesild i Frøylandsvatnet på Jæren*

Frøylandsvatnet er en eutrofiert innsjø beliggende i Time og Klepp kom-

muner på Jæren, i Rogaland. Innsjøen er sterkt påvirket av jordbruk og bebyggelse. Innsjøens areal er 4,95 km<sup>2</sup>, middeldypet er 5,3 m.

Fra 1989 til 1991 ble det foretatt utfiske av planktonspisende fisk i Frøylandsvatnet. I alt ble det tatt opp 34 tonn, ca 85 % lagesild og resten sik. Fra overvåkningsresultatene kan man se at det var en bedring i siktedypet og annen vannkvalitet de 2-3 første årene etter tiltaket, men tilstanden har senere falt tilbake til det gamle dårlige nivået. Med hensyn til mengde og fosfor ligger innsjøen fremdeles i klasse IV (dårlig) til V (meget dårlig), se Berge (2002).

Utfisking gav ikke noen varig bedring i Frøylandsvatnet.

#### *Akersvatnet ved Tønsberg*

Akersvatnet ligger i Sem og Stokke kommuner ved Tønsberg. Innsjøen er sterkt eutrof og påvirket av hovedsakelig landbruk, dernest avløp fra bebyggelse.

Vannkvaliteten er overvåket tilbake til 1985, om enn med litt forskjellige metoder (Eggestad og Bratli 1997). De første årene ble det tatt prøver fra råvannsinntaket på 8-9 m. Etter å ha undersøkt et materiale med målinger for hver meter i vannsøylen (Skulberg 1998), viser det seg at en prøve på 8-9 m gir en klar underestimerting i forhold til en blandprøve fra 0-6 m. Dette skyldes at algene, som stort sett finnes i de øvre vannlag (epilimnion) der det finnes nok lys, binder svært mye av næringssaltene i organisk form sommerstid. De første årsmidlene vil derfor være underestimerte. Fra 1992 er det brukt samme

metode, dvs. blandprøver fra produksjonssjiktet.

I Akersvannet ble det satt ut gjørs i 1976, opprinnelig for å få en interessant sportsfisk i vannet i tillegg til abbor og gjedde. Det tok mange år før gjørsen dannet nevneverdige bestander. I midten av 1980 åra ble det foretatt et prøvefiske av P. Pethon ved Zoologisk museum i forbindelse med vannbruksplanarbeidet (se Berge 1986). Gjørs utgjorde da ca 1 % av fangstene. Rundt 1988-90 tok bestanden av gjørs seg kraftig opp, og Akersvannet begynte å bli kjent i sportsfiskekretser for å ha spesielt stor gjørs. I 1993 ble det igjen foretatt et prøvefiske (Grande og medarb. 1994) og nå utgjorde gjørs ca 35 % av fangstene. Vannet i Akersvannet fra 1989-93 klarnet opp på forsommeren og holdt seg rimelig klart fram til midten av august da igjen blågrønnalgen slo til utover høsten. Men vannet var rimelig bra i bade- og fiskesesongen, noe man anså som en fordel. Men man hadde store mengder fritt ortofosfat i vannmassene, noe som er svært uvanlig i innsjøer. Det er da store muligheter for at en eller annen oportunistisk alge kan slå til. I 1993 ble det allerede fra april-mai av en fullstendig dominans av den store fureflagellaten *Ceratium hirundinella*. Denne spises heller ikke av dyreplanktonet. Det holdt seg hele sommeren, og ble først sent utpå høsten avløst av blågrønnalger. I 1995 midtsommers hadde *Ceratium* brukt opp alt nitraten i vannmassen og populasjonen kollapset. Dette resulterte i oksygensvinn og massiv død av stor fisk. Det ble tatt opp mer enn 5 tonn død storgjørs, og en ukjent mengde

gjedde (kfr. Fjeld og medarb. 1995, 1996). Utpå ettersommeren tok blågrønnalgen over.

I dag er fortsatt miljøtilstanden i Akersvannet svært dårlig. Fortsatt er det et stort innslag av *Ceratium* på forsommeren, men blågrønnalger har kommet mer tilbake igjen, kfr. Berge (2002).

Akersvannet befinner seg på vippen mellom tilstandsklasse IV og V, og da nærmere V (meget dårlig vannkvalitet) i henhold til SFTs klassifiseringssystem. På bakgrunn av tall fra hele overvåkingsperioden ser det ut til å ha skjedd en økning i fosforkonsentrasjonen i innsjøen. Utviklingen i den resulterende algemengde er imidlertid uklar. Her kan ingen trend spores. Algemengden er jevnt over høy med enkelte høye topper. Med hensyn til konsentrasjon av total nitrogen er det heller ingen klar utvikling. Det var en nedgang fram mot 1996, mens det deretter har vært en økning igjen. Det så ut til å være en bedring av siktedypet i innsjøen fram mot 1997, mens det deretter har vært en reduksjon av sikten i vannet igjen.

Man kan ikke si at utsetting av Gjørs har vært noen redning for Akersvannet.

### *Helgetjern i Ørje*

I Helgetjern ble fisken drept med rotenon i 1984 og det var lave konsentrasjoner av alger de første 2-3 årene etterpå. Siktedypet økte kraftig. I 1988 hadde imidlertid mortbestanden tatt seg opp igjen til "gamle høyder" og algemengden var igjen høy med blant annet stort innhold av blågrønnalger (Faafeng og Brabrand

1990). Dette viser at tiltaket har relativt kort levetid og at behandlingen må gjentas hyppig, med bare få års mellomrom. Problemet med rotenonbehandling er at det svært lett er noen områder som giften ikke har nådd, slik at det er noe mort tilbake. Særlig hvis innsjøen er en del av et fiskeførende vassdrag kommer morten fort tilbake.

#### *Tunevannet i Sarpsborg*

Tunevannet er 2,4 km<sup>2</sup> stort og ligger i Sarpsborg kommune. Innsjøen er svært grunn. I Tunevannet har man gjort mye mht å redusere tilførsler av næringssalter fra nedbørfeltet. Innsjøen var fortsatt ikke bra, og man vurderte at det måtte foretas innsjøinterne tiltak for å påskynde bedringen.

Sarpsborg kommune tok kontakt med Seawind Sweden HB og fikk utarbeidet en utredning om forutsetninger og metoder for en restaurering av Tunevannet (Annadotter og Aagren 2002). Rapporten konkluderte med at tråling etter karpfisk ville være den enkleste metoden for å oppnå ytterligere bedring av miljøsituasjonen i sjøen. Fordelen med trål er at man kan sette ut igjen abbor og gjedde (rovfisk) etter hvert som man fisker.

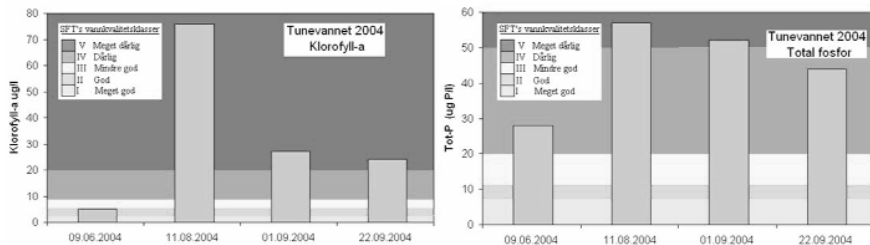
Utfiskingen i Tunevannet ble foretatt høsten 2002, samt vår og høst 2003. Det er ennå ikke levert rapport fra selve tiltaket, men denne er under utarbeidelse fra Aagren ved Seawind Sweden. Her gjengis noen nøkkeltall opplyst fra miljøvernrådgiver Bernt Henrik Hanssen i Sarpsborg kommune.

Fisket i Tunevannet ble foretatt av fiskere fra Onsøy ved hjelp av 2

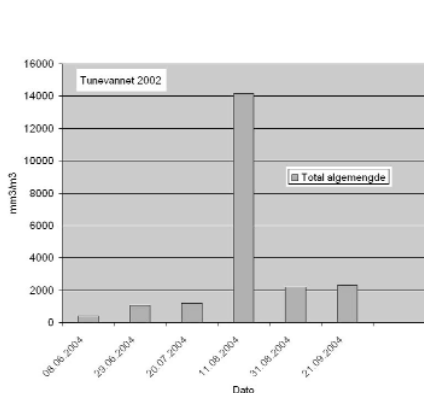
medbrakte båter på hhv 22 og 24 fot. Passende finmasket trål ble innkjøpt av Sarpsborg kommune (kr 55000). Fisket ble foretatt ved 3 aksjonsperioder, høsten 2002, vår 2003 og høst 2003. I alt ble det tatt opp 36,5 tonn (altså omtrent som i Frøylandsvannet), hvorav ca 25,5 tonn var mort. På bakgrunn av fallende CPUE (catch per unit effort) ble det beregnet at ca 80 % av bestanden av planktonspisende fisk var tatt opp. Gjedde og abbor ble satt ut igjen etter hvert. Gjedde over 6 kg ble ikke satt ut igjen da denne er kannibal og spiser også en del gjedde.

Overvåkingsresultatene fra 2003 (mens fisket fortsatt pågikk) viste en maksimal algemengde på ca 4 mg/l alger (våtvekt), mens det til sammenlikning var 8 mg/l året før (Knut Bjørndalen, Akerhus Fylkeskommune, pers medd). Begge år var det dominans av blågrønnalger. 4 mg/l er imidlertid fortsatt en høy verdi når det gjelder algemengde, og det ligger innenfor tidligere observerte år-til-år variasjoner i Tunevannet.

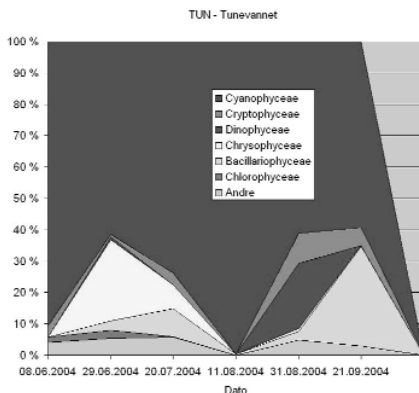
Det er først i år 2004 at man kan vente full effekt av tiltaket, og overvåkingsresultatene fra dette året er fremstilt i Fig 1-3. Resultatene må kunne sies å være nokså skuffende. Blågrønnalgetoppen var høyere enn noen gang, og hele sommeren var det fullstendig dominans av blågrønnalger. Det at man har fisket ut den planktonspisende fisken har gitt mye dyreplankton. Dette har imidlertid spist opp de "gode algene" slik at blågrønnalgene har fått fritt spillerom. For fosfor og klorofyll var verdiene oppe i SFTs dårligste vannkvalitetsklasse.



Figur 1. Tunevannet 2004. Algemengde som klorofyll-a, samt total fosfor i produksjons-sjiktet. Sammenholdt med SFTs vannkvalitetskriterier



Figur 2. Totalt algevolum i Tunevannet 2004



Figur 3. Den prosentvise sammensetningen av algesamfunnet i Tunevannet i 2004

Erfaringen fra Tunevannet så langt kan tyde på at det er vanskelig å få god effekt av fisketiltak i et så eutroft vann som Tunevannet. Dette bekreftes også av resultatene fra de andre eutrofe vannene gjennomgått i de ovenstående avsnitt. Det er klart at man er skuffet over resultatene fra Tunevannet i 2004. Man skal imidlertid ikke avskrive tiltaket helt ennå. Det er nå i tillegg satt ut gjørs i innsjøen som vil kunne foreta "vedlikeholdsfiskingen" fremover (miljøvernrådgiver Bernt Henrik Hansen pers medd).

### Utsetting av gjørs i Gjersjøen i Akershus

Gjersjøen er drikkevann for Oppegård og Ski kommuner. I 1960-årene forverret vannkvaliteten seg dramatisk som følge av kloakktilførsler. Det var jevnlig oppblomstring av blågrønnalger og oksygenvinn i dypvannet. Helt siden begynnelsen av 1970-årene har det mer eller mindre kontinuerlig vært gjennomført store tiltak for å redusere kloakktilførselen til innsjøen. Tilstanden i innsjøen er nå blitt mye bedre. Også i Gjersjøen så man at innsjøen "gjorde motstand" mot å

bedre seg etter avlastning. I eutrofieringsperioden av innsjøen hadde det utviklet seg en stor populasjon av planktonisk småmørt. For å redusere mortbestanden og dermed påskynde bedringen av sjøen, ble det satt ut gjørs i 1982. Resultatet ble at den planktoniske mortbestanden ble raskt redusert til ca 20 % av hva den hadde vært, og vannet klarnet opp (Faafeng og Løvik 1986).

I og med at Gjersjøen har vært under stadig bedring som følge av reduserte næringssalttilførsler, er det litt vanskelig å vurdere hvilke tiltak som skyldes hva. Men det faktum at mortbestanden ble desimert med ca 80 % i løpet av få år etter utsettingen, samtidig med at biomasseandelen av den dominerende blågrønnalgen *Oscillatoria* sp ble redusert fra 60 % til 10 %, indikerer at gjørsutsettingen hadde reell effekt.

#### *Konkluderende bemerkning om biomanipulering*

Resultatene fra Gjersjøen illustrerer godt den moderne oppfatningen av hva man kan oppnå gjennom biomanipulering, nemlig at den eksterne belastningen må være redusert nærmest til det nivå hvor sjøen kan greie seg selv. Biomanipulering kan da øke selvrensningen i sjøen slik at bedringen mot stabile forhold går fortere.

### **Tiltak mot gjengroing med høyere vegetasjon**

Ved moderat eutrofiering i grunne vann skjer det ofte en akselerert gjengroing med vannplanter, som takrør, siv og tjønnaks, med mer. Det er særlig fem tiltak som benyttes

1. Høsting av vegetasjon
2. Utsetting av grasskarpe
3. Tildekking av sedimentet
4. Periodevis tørrlegging
5. Bruk av herbicider

I Norge er det særlig tiltak 1 og 3 som benyttes, selv om 4 jo benyttes med utilsiktet effekt i de mange reguleringsmagasinene i Norge. I disse er det imidlertid ikke eutrofieringsproblemer og det er en ulempe for fiskeproduksjon og erosjon at strandvegetasjonen blir borte.

Gjentatt høsting av strandvegetasjon fører til at veksten avtar. Dette tror man har sammenheng med at sedimentet blir utarmet på nærings-salter. Vannplantene er nemlig flinke til å ta vare på nærings-saltene de bruker ved at disse trekkes tilbake i røttene før plantene råtnet ned om høsten. En stor del av neste års vekst baseres på nærings-salter lagret i røttene. Ved å høste plantene i den mest frodige perioden, i slutten av juli, vil man tappe plantebestanden for næring (Chen og Barko 1988).

Tildekking med geotekstiler (fiberduk) er en ny teknikk først utprøvd i Norge i 1987-90 av (Berge 1987). Nylig har metoden blitt benyttet til å åpne opp en gjengrodd elv, Børselva i Ballangen (Aanes 2002). Metoden virker for mange vannplanter, men har liten effekt på f.eks vasspest. Vasspest-røttene fester seg i dukmaterialet og er i stand til å utnytte næring som siver gjennom duken.

Metoden virker fint på starr, sjø-sivaks, takrør og vanlig tjønnaks.

## Litteraturreferanser

- Annadotter, H. og R. Aagren 2002: Utredning av förutsätningar och metoder för en restaurering av Tunevannet i Østfold fylke., Rapport fra Seawind Sweden HB, 24 sider.
- Berge, D. 1980: Overvåking av Eikerenvassdraget. Resultater fra 1979. NIVA-rapport Lnr. 1198: 22 sider.
- Berge, D. 1986. Bruksplan for Akersvannet. Bakgrunnsundersøkelser og forslag til tiltak. NIVA-rapport Lnr. 1878, 107 sider.
- Berge, D. 1987: Vegetasjonskontroll i vann ved tildekking., NIVA-rapport Lnr 2066, 19 sider.
- Berge, D. 1989: Vasspest – problem og ressurs. Sammenfattende slutt-rapport fra vasspestprosjektene. Spesial rapport fra Norsk institutt for vannforskning – Miljøverndepartementet: 32 sider.
- Berge, D. 1990: Konsekvensvurdering av senkingen av Hillestadvannet, Haugestadvannet og Vikevannet i 1989, samt vurderinger for fastsettelse av vannstand i Bergsvannet., NIVA-rapport Lnr 2422: 30 sider
- Berge, D. 2002. Beregning av akseptabel fosfortilførsel til innsjøene Bjørkelangen, Skullerudsjøen og Rødnessjøen i Haldenvassdraget., NIVA-rapport Lnr. 4557: 11 sider.
- Berge, D. 2004: Innsjøinterne og hydrologiske tiltak i Bjørkelangensjøen. Delutredning i forbindelse med forenklet tiltaksanalyse for Haldenvassdraget., NIVA-rapport Lnr 4926: 41 sider.
- Berge, D. 2006: Overvåking av eutrofisituasjonen i Eikerenvassdragets innsjøer i 2005., NIVA-rapport 5207: 45 sider.
- Berge, D., 1984: Resipientundersøkelse i Sandvatn på Blefjell 1983. Effekt av 18 års utslipp av urensset kloakk til dypvannet, behov for rensing - valg av resipient., NIVA-Rapport Lnr 1593: 31 sider
- Berge, D., S. Vandsemb, og M. Beckmann, 2002. JOVÅ - Overvåking av jordbrukspåvirkede innsjøer 2000. Tiltaksgjennomføring, vannkvalitetstilstand og -utvikling. NIVA-rapport Lnr 4470 2002., 94 sider.
- Bratli, J. L. 1992: Tiltaksanalyse for Frøylandsvannet. Delrapport 3: Problemanalyse, metodegrunnlag, innsjøinterne tiltak og alternative tiltakspakker. NIVA-rapport Lnr. 2776, 35 sider.
- Brettum, P. 1992: Undersøkelser av vannkvaliteten i Bolkesjø (Bokke) 1991 og en vurdering av resipientkapasiteten., NIVA-rapport 2716: 40 sider.
- Chen, R.L., and J.W. Barko 1988. Effects of freshwater macrophytes on sediment chemistry., J. Freshw. Ecol. 14 (3): 279-289.

- Eggestad, H.O., og J.L. Bratli 1997. Tiltaksorientert overvåking av Grimestadbekken og Akersvannet – Årsrapport 1996. Rapport fra Fylkesmannen i Vestfold nr 3/97, 50 sider + vedlegg.
- Erlandsen, A.H.; Brettum, P.; Løvik, J.E.; Markanger, Stig; Källqvist, Torsten 1988: Kolbotnvatnet Sammenstilling av resultater fra perioden 1984-1987., NIVA-rapport Lnr 2161, 118 sider.
- Fjeld, E., D. Berge, O. Skulberg og J.E. Løvik 1996. Økologiske forhold i Akersvannet. NIVA-rapport Lnr. 3494-96, 32 sider.
- Fjeld, E., D. Berge, og O. Skulberg, 1995. Episodisk fiskedød i Akersvannet, august 1995., NIVA-rapport 3343-95, 21 sider.
- Faafeng, B. and Brabrand, Å. 1990: Biomanipulation of a small , urban lake – removal fo fish exclude blue-green blooms., Verh. Internat. Verein. Limnol. 24: 597-602.
- Faafeng, B., og J.E. Løvik 1986: Overvåking av Gjersjøen – Akershus. Rutineundersøkelser i 1985. NIVA-rapport Lnr 1860, 49 sider.
- Grande, M., S. Andersen and D. Berge 1994: Effects of pesticides on fish. Norw. J. Agr. Sci. Suppl. No. 13: 195-209.
- Holtan, H., Nicholls, M. (ANØ) 1987. Lufting av Langvatn i Lørenskog kommune. Sammenstilling av tidligere undersøkelser samt rapport fra arbeidet i 1986., NIVA-rapport FR-516: 37 sider.
- Kaste, Ø., Kleiven, E. 1998: Barbuvasdraget i Aust-Agder. Vannkvalitetsundersøkelse 1995-1997 og resultater fra prøvefiske., NIVA-rapport 3855, 47 sider.
- Lembi, C.A. 2002. Aquatic plant management. Barley straw for algae control. <http://www.agcom.purdue.edu/AgCom/Pubs>
- Molversmyr, Å. 2002: Overvåkingen av Mosvatnet 2001., Rapport fra Rogalandsforskning RF-2002/082, 18 sider.
- Oredalen, T.J., Faafeng, B., Brettum, P. , Fjeld, E., Løvik, J.E. 2001. Overvåking av Kolbotnvannet med tilløpsbekker 2000., NIVA-rapport 4428: 44 sider
- Petterson, K., og M. Wallsten 1990: Sjørestaurering i Sverige, metoder och resultat. Naturvårdsverket rapport 3817, 57 sider.
- Ripl, W. 1976: Biochemical oxidation of polluted lake sediments with nitrate – a new restoration method., Ambio 5: 132-135



Schindler, D. W., T. Rusczyński and E. J. Fee 1980: Hypolimnion injection of nutrient effluents as a method for reducing eutrophication., *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37: 320-327.

Skulberg, O.M. 1998. Akersvannet 1997. NIVA-rapport 3785/98., 20 sider + vedlegg.

Aanes, K. J. 2002: Børselvprosjektet. Rapport nr 8. Sluttrapport for delprosjektet: Minstevannføring og begroingsproblematikk i Børselvvassdraget., NIVA-rapport 4560, 51 sider