

# Forsøk med flertrinns biologiske systemer for resirkulering av plantenæringsstoffer

Av Torsten Källqvist og Arne Erlandsen

Torsten Källqvist og Arne Erlandsen er begge ansatt som forskere på Norsk Institutt for Vannforskning.

## BAKGRUNN

Fjerning av plantenæringsstoffer i avløpssvann blir foretatt for å redusere eutrofieringseffekter i resipientene. At de samme næringsstoffene som blir brukt for å øke avkastningen på dyrket mark er uønsket i våre vassdrag og fjorder, skyldes at en for høy belastning av plantenæringsstoffer kan føre til en så høy produksjon av organisk stoff at resipientens selvrensingskapasitet overskrides. Hvis derimot næringsinnholdet i kloakkvann kunne omsettes i kontrollert produksjon av organisk stoff på land eller i vann, ville man kunne redusere de ulemper som kloakkvann forårsaker i resipientene, samtidig som man får et nyttbart produkt i form av f.eks. protein eller bioenergi.

I den senere tid har man begynt å tenke mer i retning av å utnytte det produksjenspotensiale som utslipp av plantenæringsstoffer i vann representerer. Dette kan skje ved biologiske inngrep direkte i resipientene med hensikt å styre produksjonen inn i næringskjeder som gir et sluttprodukt som er interessant, f.eks. kommersielt omsettbare fisk.

Muligheten for styring av produksjonen i naturlige økosystemer er imidlertid begrensede. Lettere er det å opprette kunstige systemer med en biologisk struktur som er egnet for effektiv omsetning av plantenæringsstoffer til høstbar biomasse. Forsøk med algedammer for fjerning av næring-

salter fra avløpssvann ble startet i USA allerede på 50-tallet (Oswald et al. 1957). Størst praktisk betydning har anlegg av denne typen fått i Israel, hvor det er foretatt omfattende forskning for å optimalisere algedammer for behandling av kloakkvann i aride områder. (Shelef et al. 1978). Forsøk med ekstensive algedammer for fjerning av næringssalter er også blitt gjort i Danmark (Nyholm et al. 1978).

Renseeffekten m.h.t. plantenæringsstoffer i en algedam henger nøye sammen med produktiviteten. Algene er primærprodusenter, d.v.s. de har evnen til å produsere organisk stoff fra uorganiske forbindelser med lys som energikilde. Prosessen kalles fotosyntese og kan forenklet beskrives slik:



I tillegg til karbondioksyd og vann må imidlertid algene ha en rekke andre elementer for å bygge opp cellematerialet. Nitrogen inngår f.eks. i proteiner og fosfor i arvestoffer og som energilager. Disse og andre plantenæringsstoffer tas opp fra det omgivende vannet. Hvis man vil oppnå et effektivt opptak av disse stoffene må man altså etterstreve en så høy produksjon av alger som mulig.

I naturlige akvatiske økosystemer er produksjonen ofte begrenset av tilgangen på næringsstoffer. I en næringsrik algedam

derimot er det tilgangen på lys og karbon-dioksyd ( $\text{CO}_2$ ) som er avgjørende. Ved utformingen av algedammer må man ta hensyn til dette. Selv om algene er mer effektive enn andre planter til å utnytte sollyset, blir mindre enn 5% av energien omsatt til kjemisk energi ved fotosyntesen. I tette algekulturer svekkes lyset raskt med dyppet. For å utnytte den naturlige innstrålingen mest mulig må derfor algedammene være grunne og ha stort overflateareal. Høy turbulens i vannet bidrar også til en effektiv utnyttelse av lyset.

Ved høy algeproduksjon forbrukes karbon fra karbonsyresystemet raskere enn tilførselen fra atmosfæren ved diffusjon av  $\text{CO}_2$  gjennom vannoverflaten foregår. Dette kan registreres ved at pH-verdien stiger. I næringsrike algedammer må karbondioksydtilførselen stimuleres for å unngå karbonbegrensning. Lufting, helst med  $\text{CO}_2$ -beriket luft er den mest praktiske løsningen, og bidrar også til å skape turbulens i kulturen. I algedammer for behandling av avløpsvann som inneholder organisk stoff, vil imidlertid  $\text{CO}_2$  som produseres ved mikrobiell nedbrytning av organisk stoff redusere behovet for ekstra tilskudd av  $\text{CO}_2$ .

Av det som er sagt fremgår, at den potensielle produktiviteten i et utendørs algedyrkingsanlegg i praksis blir begrenset av den naturlige lysinnstrålingen. Goldman (1979 b) har beregnet den øvre grensen for algeproduksjon til 30—60 g tørrvekt/ $\text{m}^2$ /døgn. Resultater fra masse-dyrkingsanlegg har vist at det er mulig å oppnå en stabil produksjon av 20—25 g/ $\text{m}^2$ /døgn under gunstige betingelser (Goldman 1979 a). I mixotrofe anlegg, hvor algene også tilføres energi i form av organisk stoff (f.eks. acetat) har man oppnådd over 50 g tørrstoff/ $\text{m}^2$ /døgn.

De fleste dyrkingsanlegg er blitt drevet under tropiske eller subtropiske forhold, men forsøk er også gjort bl.a. i Tyskland. På høyere breddegrader som i Norge vil produksjonspotensialet variere sterkt gjennom året, og under de minst gunstige månedene være ubetydelige. Den høye innstrålingen om sommeren skulle imidlertid gjøre det mulig å oppnå en algeproduksjon av samme størrelse som i tropiske områder, men forsøk i stor skala som viser dette har til nå ikke blitt utført.

Med optimalt utformede algedammer, er det i prinsippet mulig å oppnå en i det nærmeste fullstendig fjerning av oppløste nitrogen og fosforforbindelser. (de la Noüe et al. 1983). Samtidig får man et produkt, algebiomassen, som har et proteininnhold på mellom 40 og 70% avhengig av algetype. Men — problemet er høstingen. For å få en effektiv reduksjon av fosfor og nitrogenbelastningen i resipienten må algene separeres fra vannfasen. Mulige tekniske løsninger for separasjon er f.eks. sentrifugering eller filtrering, men dette er komplisert og (særlig sentrifugering) energikrevende og derfor neppe realistiske alternativ med tanke på de store vannvolum det er tale om i et rensesanlegg.

Flokkulering fulgt av flotasjon eller sedimentering etter tilsetning av kjemikalier er mindre kostbart, men har den ulempen at produktet, algebiomassen, blir mindre verdifull fordi den blir kontaminert med fellings-kjemikaliene.

Et alternativ til teknisk separasjon av algene er å introdusere andre organismer som beiter på algene. I ferskvann er det planktoniske krepser, som er det viktigste gresserne av planktonalger. Ved å la vannet fra en algedam passere en dam med plante-ispisende zooplankton (f.eks. vannlopper, *Daphnia*), kan man få en effektiv fjerning av alger. Samtidig får man produksjon av

ny biomasse i form av 1—5 mm store krepsdyr, som er lette å høste ved siling, og som har et stort potensiale som i fiskeoppdrettanlegg. (Erlandsen & Källqvist in press). Men — det er naturligvis et men også her — som alltid ved overføring av energi i en næringskjede, går en stor del av energien tapt som respirasjon, og en tilsvarende del av de næringsalter som er inkorporert i algene blir igjen frigjort. Den reduksjon av næringsalter man kan oppnå i et to-trinns alge/zooplanktonanlegg er altså bestemt av avkastningen i zooplankton-dammen. På grunn av respirasjonstapet kan man regne med at denne blir ca. 10% av produksjonen i algedammen.

Hvis en høygradig reduksjon av plantenæringsstoffer er ønsket, må et nytt trinn med fotosyntetiserende planter koples inn etter zooplanktondammen. Praktiske forsøk med slike tre-trinns biologiske anlegg har vært gjort i både ferskvann og sjøvann. Mest kjent er et marint anlegg som ble utviklet ved Woods Hole i USA. (Ryther et al. 1972). Her ble biologisk rensed avløpsvann blandet med sjøvann i en algedam. Fra algedammen passerte vannet over bedder med muslinger som filtrerte ut algene fra vannfasen. De frigjort næringsstoffene ble til sist fjernet i en dam med makroalger. Vannet som forlot anlegget hadde lavere næringsinnhold enn resipienten.

Mange vil kanskje hevde at biologiske anlegg med tre eller flere trinn med ulike organismer er altfor kompliserte for praktisk bruk som renselanlegg, men det skyldes nok i stor grad mangel på tradisjon og kunnskap når det gjelder dyrking i vann. Den oppblomstring av aktiviteter innenfor akvakulturnæringen som nå foregår, kan komme til å endre på det forholdet. De produkter som slike anlegg kan frembringe,

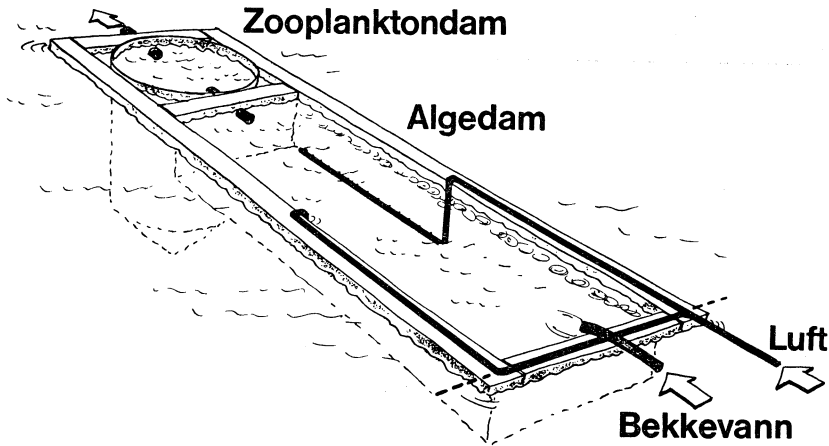
kan også vise seg å bli interessante bl.a. i akvakultursammenheng, f.eks. som startfor i fiskeoppdrett.

## BIODAM-ANLEGGET I KOLBOTNVATN

De første forsøkene i Norge med flertrinns biologiske systemer for rensing av avløpsvann etter de prinsipper som er beskrevet er blitt utført i et forsøksanlegg i Kolbotnvatn. Anlegget ble bygget i 1984 og har vært i drift i 1 1/2 sesong. Det består av tre parallelle linjer av algedammer og zooplanktondammer av plastduk ute i selve innsjøen. (Se fig. 1). Algedammene har et overflateareal på 60 m<sup>2</sup> hver og er 1,5 m dype. Zooplanktondammene er runde, 5 m i diameter, og ca. 4 m dype. Vann fra en kloakkforurenset bekk blir pumpet opp til et overløpskar, og fordelt til de tre algedammene. Vannføringen har vært variert fra 5—20 m<sup>3</sup>/døgn (oppholdstid 18 til 4,5 døgn i algedammene). Algedammene tilføres luft fra en kompressor via perforerte plastrør langs med bunnen.

Vannet fra algedammen renner videre til zooplanktondammene gjennom plastrør ca. 0,5 m under overflaten. Zooplanktondammen luftes svakt med diffusorer ved ene siden for å unngå sjiktning og oksygenmangel. I utløpet fra zooplanktondammene er det montert en klaffventil som skal forhindre at fisk svømmer inn fra Kolbotnvatn.

Den første sesongen ble dammene podet med henholdsvis grønnalger (*Scenedesmus*) og dafnier (*D. magna*, *D. pulex* og *D. longispina*). I algedammene har etter hvert flere arter etablert seg, men bortsett fra om våren, når kiselalger har blomstret opp, er det grønnalger, særlig *Scenedesmus*, *Dichtyosphaerium* og *Micractinium* som har



Figur 1. En av de tre biodamlinjene i Kolbotnvatn, som består av en 1.5 m dyp algedam og en 4 m dyp zooplanktondam. Dammene er laget av plastduk og henger fritt i vannet.

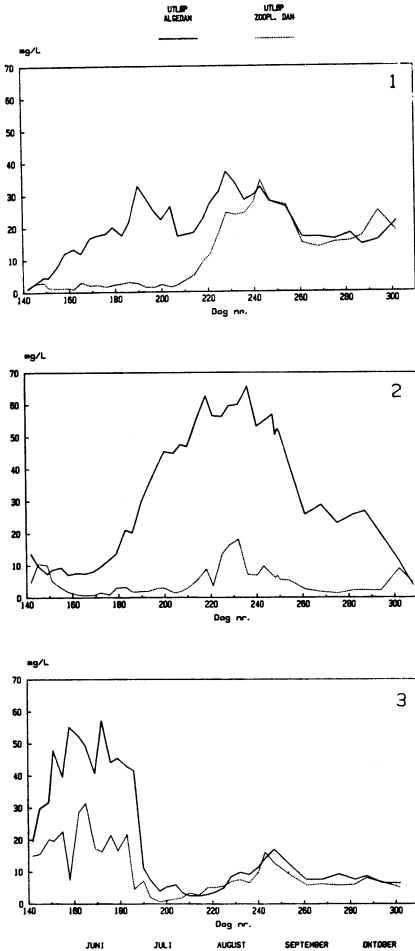
dominert. I zooplanktondammene er det *Daphnia magna*, den største av de introduserte artene, som trives best. Det andre året ble poding ikke foretatt, men dafniene overvintrer som hvileegg, som sørger for effektiv selvetablering like etter isløsningen. Oppblomstringen av kiselalger skjer også i løpet av en uke etter at isen har gått opp og vanntilførselen er startet.

De biologiske systemene vil som regel holde seg når de først er etablert, men noen episoder fra sesongen 1984 viste at de ikke er usårbare, og at utviklingen i parallelle linjer kan bli svært forskjellig. Fig. 2, viser utviklingen av algebiomasse i utløpet fra algedammene (A) og zooplanktondammene (Z) i de tre linjene i 1984. Oppholdstiden i A1 og A2 var 18 døgn frem til uke 29, og deretter 4,5 døgn. I A3 var oppholdstiden hele tiden ca. 9 døgn. Til tross for de identiske ytre forutsetningene i A1 og A2, var produksjonen største delen av sesongen høyere i A2. Den lave algetettheten i A2 i begynnelsen av juni skyldes at det tok tid for grønnalgene

å etablere seg etter at kiselalger hadde dominert tidligere på året (Ikke med i figuren).

I den tredje algedammen (A3) forsvant algene så og si totalt i løpet av noen dager, og bestanden tok seg aldri opp igjen til tross for forsøk med poding fra dammen inntil (A2). Forholdene rundt sammenbruddet av algepopulasjonen tyder på at algene ble rammet av virus. I perioder bygget det seg også opp tildels store bestander av zooplankton i algedammene, med redusert algeproduksjon som følge. Det kan derfor være behov for å kontrollere zooplanktonbestanden i algedammene ved introduksjon av planktonspisende fisk, som foreslått av Nyholm et al. (1978). Utsetting av brasme ble prøvd med godt resultat i 1985.

Bestanden av dafnier i zooplanktondammene ble meget tette (opp til 600 dyr/L eller mer enn 20 mg tørrvekt/L), så lenge det var god tilgang på alger, og de ikke var utsatt for predasjon. I Z1, hvor ca. 100 småfisk (laks og bekkerøye) ble satt



Figur 2. Utviklingen av algebiomasse i de tre linjene av algedammer (heltrukken linje) og zooplanktondammed (stiplet linje) fra mai til november 1984.

ut for å se hvordan disse kunne utnytte dafniene som for, ble predasjonen på zooplankton for stor, og dafniepopulasjonen ble raskt redusert. I figur 2 kan man se at dette resulterte i en økning av algetettheten i utløpet fra zooplanktondam-

men (Z1) i begynnelsen av august, til omtrent samme nivå som i algedammen. I zooplanktondammen Z3 løsnet ventilen som forhindrede fisk fra å svømme inn, og dette ble snart utnyttet av mort som kom inn fra Kolbotnvatn og uttryddet dafniene. I Z2, hvor fisk ikke var tilstede, var dafniebestanden høy så lenge algeproduksjonen var tilstrekkelig, og dafniene sørget for en effektiv nedbeiting av algene som ble tilført fra algedammen (se fig. 2).

Produksjonen av alger lar seg beregne fra målinger av algebiomassen i utløpet av algedammene multiplisert med vannføringen. Disse beregningene viser en netto døgnproduksjon av 10—20 g tørrvekt/m<sup>2</sup> i den mest produktive dammen (A2) fra slutten av juli til midten av september, når oppholdstiden var 4.8 døgn. Sammenlignet med hva som er oppnådd i andre massedyrkingsanlegg for alger er dette høye tall, med tanke på at utformingen av dammene ikke har vært helt optimal. Beregninger av fotosyntesen fra målinger av oksygenproduksjon tyder også på at primærproduksjonen ved fotosyntese har vært lavere enn den beregnede nettoproduksjonen. En del av forklaringen til dette er sannsynligvis at algene også vokser heterotroft med organisk stoff fra kloakkvannet som energikilde. Dette er påvist ved laboratorieforsøk med grønnalger, og også i lignende damanlegg for rensing av kloakkvann i Israel. (Abeliovich 1980). Et eksperiment med grønnalgen *Scenedesmus acuminatus* isolert fra algedammene i Kolbotnvatn, bekreftet også at denne algen kunne vokse heterotroft i mørke med glykose som energikilde.

Zooplanktonets evne til å filtrere ut algene fra vannet var meget god. I Z1 før fisk ble satt ut, og i Z2 nådde biomassen av zooplankton opp i 15—20 mg/L (totalt 0.8—1 kg tørrvekt i hele dammen). Daf-

niene klarte å konsumere 0.25—1 gang sin egen vekt av alger/døgn. Effektiviteten syntes å øke med økt vannføring slik at graden av algefjerning ble opprettholdt.

Dafnienes betydning for fjerning av alger går klart frem ved å sammenligne situasjonen i linje 1 før og etter at fisk ble satt ut i zooplanktondammen. Når dafniene ble spist av fisk, ble fjerningen av alger redusert fra 90 til 5%.

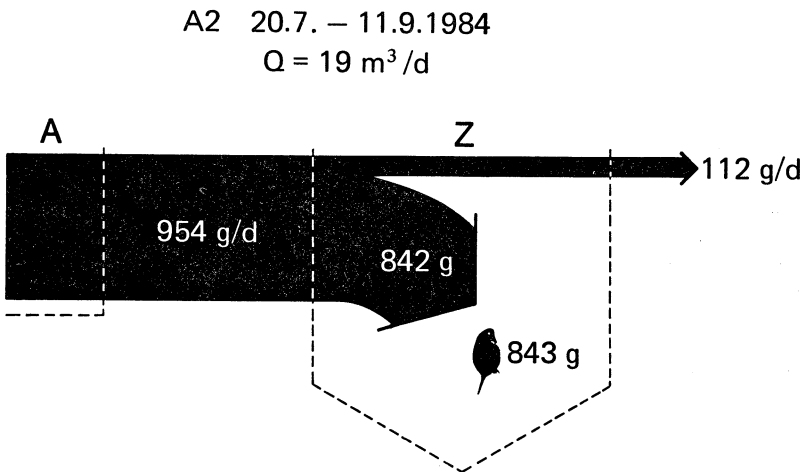
Figur 3 viser beiteeffektiviteten i linje 2 på grunnlag av gjennomsnittsverdier for algebiomasse i perioden 20.7—11.0 1984. Vannføringen i denne perioden var ca. 10 m<sup>3</sup>/døgn (oppholdstid 2.6 døgn). Av figuren går det frem at algene ble fjernet med en effektivitet av ca. 90%. At dette skyldes beiting og ikke sedimentering av algene viser målingene fra zooplanktondammene i perioder hvor dafnier ikke var tilstede.

Produksjonen av dafnier er ikke blitt undersøkt, men høsting ble foretatt spora-

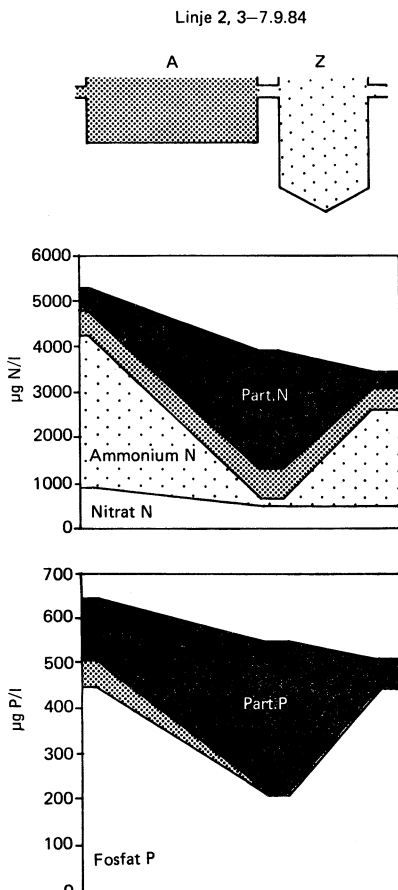
disk ved høving. I en periode i begynnelsen av september ble det i løpet av en uke høstet ca. 620 g tørrvekt uten at noen nedgang av bestanden kunne registreres. På grunnlag av dafnienes konsumsjon av alger på dene tiden kan den potensielle avkastningen av dafnier anslås til ca. 80 g tørrvekt/døgn (10% av algekonsumsjonen).

Beregninger av anleggets renseeffekt m.h.t. plantenæringsstoffer er gjort på grunnlag av analyser av fosfor og nitrogen som ble foretatt gjennom hele sesongen 1984. Figur 4 gir en fremstilling av fosfor- og nitrogenforbindelsene gjennom linje 2 som gjennomsnitt for en periode i begynnelsen av september da det ble foretatt daglige analyser. Prøvetakingen i bekken ble gjort med en proporsjonalprøvetaker for å få representative døgnblandprøver.

Konsentrasjonen av nitrogen (N) og fosfor (P)-forbindelser i bekken var i denne perioden 5.3 resp. 0.65 mg/L i



Figur 3. Materialstrøm gjennom zooplanktondammen Z2 i perioden 20.7 til 11.9 1984. Vannføring: 19 m<sup>3</sup>/døgn. Reduksjonen av algebiomasse i zooplanktondammen (88%) skyldes dafnienes beiteaktivitet.



Figur 4.  
Fordelingen av nitrogen- og fosforforbindelser gjennom en biodamlinje (2) i september 1984.

gjennomsnitt. Mesteparten forelå i form av løste uorganiske forbindelser (nitrat, ammonium og fosfat). I algedammen skjer en svak nedgang i totalkonsentrasjonene (25% for N og 15% for P). En betydelig del av de oppløste næringsstoffene ble imidlertid innkorporert i algebiomassen (73% av N og 57% av P). I zooplank-

tondammen, hvor algebiomassen ble redusert ved høsting fra ca. 50 til 6 mg/L, ble mye av de assimilerte næringsstoffene igjen frigitt som fosfat og ammonium. Netto-rense-effekt i denne perioden var ca. 35% for nitrogen og 20% for fosfor. Den høyere renseprosenten for nitrogen skyldes sannsynligvis bakteriologisk denitrifisering.

Den kjemiske sammensetningen av biomassen som produseres i alge- og zooplanktondammene er interessant både når det gjelder mulighetene for å fjerne nærings-salter ved høsting av biomasse og mulighetene for å utnytte produktet f.eks. som for. I tabell 1 er det sammenstilt noen data for sammensetningen av alger fra A2 (dominert av grønnalgen *Scenedesmus acuminatus*) og dafnier (dominert av *Daphnia magna*) fra Z2 i september 1984. Innholdet av organisk karbon var 45% i begge organismetyperne, men algene hadde ellers høyere fosforinnhold og lavere nitrogeninnhold enn dafniene. Det forholdsvis høye fosforinnholdet er imidlertid sannsynligvis ikke representativt for algene. En sammenligning av algebiomasse og partikulært fosfor i algedammen over lengre tid tyder på at fosforinnholdet normalt er noe lavere.

Tabell 1.

Sammensetningen av alger fra A2 og zooplankton fra Z1 i september 1984.

	mg/100 mg tørrstoff	
	dafnier	alger
Karbon	45	45
Nitrogen	6.8	9.5
Fosfor	1.6	0.8
Klorofyll	0.94	—

Innholdet av proteiner oppgår til ca. 45% i alger og 45—60% i dafnier. En oversikt over ammoniosyresammensetningen er gitt av Erlandsen og Källqvist (in press).

## MULIGHETER OG BEGRENSNINGER FOR BRUK AV FLERTRINNS BIOLOGISKE ANLEGG I NORGE

Avgjørende for effektiviteten i assimilasjonen av næringsstoffer i en algedam er som nevnt netto produksjonen av alger. Algenes innhold av plantenæringsstoffer viser at ved en produksjon av 10 g alger/m<sup>2</sup>/døgn, som det ser ut å være mulig å oppnå i sommermånedene med et anlegg av den type som er brukt i Kolbotnvatn, vil algene assimilere ca. 0.7 g N og 0.1 g P/m<sup>2</sup>, døgn. Omvendt vil assimilering av 1 g P/døgn kreve et areal av 10 m<sup>2</sup>. Hvis man regner med at en personekvivalent fosfor = 2.5 g/døgn, må altså en algedam for behandling av kloakkvann ha en størrelse av ca. 25 m<sup>2</sup>/tilknyttet person.

Avkastningen av dafnier fra et alge/zooplanktonanlegg vil oppgå til minst 10% av netto algeproduksjon. En personekvivalent vil altså kunne resultere i ca. 25 g dafnier/døgn.

En ulempe med denne typen anlegg er naturligvis at funksjonstiden er begrenset til den isfri perioden, og effektiviteten bestemt av innstrålingen og dermed sterkt sesongavhengig. Allikevel er vestsesongen i vann betydelig lengre enn på land. Lav temperatur som våren er sannsynligvis ikke noe stort problem. Vårøppblomstringen av alger i innsjøer og fjorder, som skjer ved meget lave temperaturer, viser at lysforholdene er mer avgjørende enn temperaturen for algenes vekstmuligheter. Praktiske forsøk med dyrking av alger har også vist at effekten av en senking av temperaturen motvirkes av at alger med lavere temperaturkrav etablerer seg. (De Pauw et al. 1980). Man bør også ta i betraktning at

renseeffekten i en algedam er størst på den tiden av året, når behovet for beskyttelse av mange resipienter er størst.

Resultatene fra anlegget i Kolbotnvatn bekrefter at renseeffekten m.h.t. nærings-salter i et to-trinnsanlegg med alger og zooplankton er begrenset fordi en stor del av de av algene assimilerende næringsstoffene frigjøres ved ekskresjon fra zooplankton. Hvis en høy renseeffekt er påkrevet, bør enten algene høstes direkte, eller enda et rensetrinn med fastsittende alger, eller høyere planer innføres etter zooplanktondammen.

## KONKLUSJONER

De viktigste foreløpige konklusjonene etter en hel sesongs drift av forsøksanlegget i Kolbotnvatn er:

Det er mulig å etablere og opprettholde biologiske systemer for effektiv primærproduksjon og beiting av alger i utendørs fullskala-anlegg i Norge.

I luftede algedammer er det mulig å oppnå en produksjon av ca. 10 g tørrvekt/døgn om sommeren.

I zooplanktondammer med en oppholdstid på 2.5—4 døgn kan algebiomassen reduseres med 90%.

Reduksjonen av næringssalter er begrenset (20 resp. 35% for P og N) i et alge/zooplanktonanlegg. For å oppnå bedre renseeffekt kan algene høstes direkte, eller et tredje trinn med planter innføres.

Et rensesanlegg for behandling av kloakkvann i algedammer har et arealbehov på ca. 25 m<sup>2</sup>/tilknyttet personekvivalent.



## REFERENSER

- Abeliovich, A. 1980: Factors limiting algal growth in high-rate oxidation ponds. In Shelef, G. and Soeder, C. J. (eds.): *Algal Biomass production and use*. Elsevier, Amsterdam, New York, Oxford. pp 205—215.
- de la Noge, J., Picard, G. A., Cloutier-Mantha, L. and Kirouac, C. (1983): Two-step biological treatment of wastewaters. Animal waste treatment and utilization. Proceedings of International symposium on Biogas, Microalge & Livestock Wastes. Council for Agricultural Planning and Development, Taiwan.
- De Pauw, N., Verlet, H. and De Leenheer Jr. 1980: Heated and unheated outdoor cultures of marine algae with animal manure. In Shelef, G. and Soeder, C. J. (eds.): *Algal Biomass production and use*. Elsevier, Amsterdam, New York, Oxford. pp. 315—342.
- Erlandsen, A. and Källqvist, T. (in press): Utnyttelse av avløpsvann i styrt biologisk produksjon. Tjugoförsta Nordiska symposiet om vattenforskning. NORDFORSK, Miljøvårdsserien.
- Goldman, J. C. (1979 a): Outdoor algal mass cultures. I. Applications. *Water Research* 13. pp 1—19.
- Goldman, J. C. (1979 b): Outdoor algal mass cultures. II. Photosynthetic yield limitations. *Water Research* 13. pp. 119—136.
- Oswald, W. J., Gotaas, H. B., Golueke, C. G. and Kellen, W. R. (1957): Algae in wastewater treatment. *Sewage ind. wastes* 29, pp. 437—457.
- Nyholm, N., Sørensen, P. E., Olrik, K. and Pedersen, S. D. (1978): Restoration of lake Naksov Indrefjord, Denmark, using algal ponds to remove nutrients from inflowing river water. *Prog. Wat. Tech.* 10, Nos 5/6, pp. 881—892.
- Ryther, J. H., Dunstan, W. H., Tenore, K. R. and Huguenin, J. E. (1972): Controlled eutrophication — increasing food production from the sea by recycling human wastes. *Bioscience* 22, 144—152.
- Shelef, G. Moraine, R., Berner, T. Levi, A. and Oron, G. (1978): Solar energy conservation via algal wastewater treatment and protein production. In Proc. Fourth International Cong. Photosynthesis. Eds: Hall, D. O., Coombs, J. and Goodwin, T. W. The Biochemical Society London. pp. 657—675.