

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

Blindern

0-28/76

BIOLOGISK RESIRKULERING I VANN

Bruk av biologiske systemer for
resirkulering av plantenærings-
stoffer i avløpsvann - styrt
eutrofiering.

13. april 1978

Saksbehandler: Ivar Haugen

Medarbeider: Olav Skulberg

Instituttetsjef: Kjell Baalsrud

ISBN 82-577-0056-8

"We cannot command nature except by obeying her."

Francis Bacon, *Novum Organum*, 1620.

FORORD

I naturen er biologisk resirkulering en fundamental prosess. Enhver påvirkning som forårsaker at den naturlige resirkuleringen stopper opp eller går i uønsket retning gir en forurensningstilstand.

I denne utredningen brukes betegnelsen biologisk resirkulering om arbeidet med å løse vannforurensningsproblemer ved styrt tilbakeføring av næringsstoffer i naturlige kretsløp uten at uønskete virkninger gjør seg gjeldende, og at overskuddet av visse stoffer - f.eks. fosfor- og nitrogenforbindelser - benyttes til produksjon av organismer som kan høstes. Bestrebelsene går ut på å bringe viktige forurensningskilder under kontroll og å utnytte de ressursene disse kildene innebærer. Kjennskap til biologiske resirkuleringsprosesser gir mulighet til å styre utviklingen i resipienter i ønsket retning.

Den bestående renseteknologien som er utviklet for å løse vannforurensningsproblemene, er basert på å redusere påvirkningselementene. Erfaringer viser at til tross for en avansert renseteknologi står vi fortsatt overfor omsegripende vannforurensning med uheldige konsekvenser for vannkvalitet og ødeleggelse av biologiske ressurser.

Mot en slik bakgrunn er det spørsmålene reiser seg om å gå andre veier i bestrebelsene med å få vannforurensning under kontroll. Den forståelsen vi nå har om sammenheng mellom det levende og miljøet det utfolder seg i, er et hovedresultat av biologisk forskning. Denne innsikten er det mulig å legge til grunn i behandlingen av forurensningsproblemene og i arbeidet med å verne vannforekomstene og ressursene de rommer. Behandlingen av avfallsproblemene bør i stor utstrekning

kobles med utvikling og nyttiggjøring av biologisk produksjon i elver, innsjøer og fjorder og i tilpassede dyrkningsinnretninger, - biologisk resirkulering. Ved en slik behandling av avfallsproblemet søker en å fremme naturlige resirkuleringsprosesser. Dette gjøres ved å utnytte naturens evne til å ta imot og omsette stoffer som kan medføre vannforurensning. Det foreliggende kunnskapsgrunnlaget gjør at det nå er modent for å begynne realisering av slike fremgangsmåter.

Utredningen er laget etter initiativ fra Prosjektkomiteén for rensing av avløpsvann (PRA) og utført med bevilgning fra Miljøverndepartementet. Rapporten gir en første oversikt over erfaringer med aktuelle fremgangsmåter, og redegjør for de mulighetene som foreligger i Norge til å anvende biologiske systemer for resirkulering av plantenæringsstoffer i avløpsvann. Rapporten er ment å gi grunnlag for innledende forskningsvirksomhet på dette feltet, samt å åpne for kontakt mellom ulike forskningsmiljøer for å sikre et fruktbart, tverrfaglig arbeid.

Det er mange som har hjulpet til ved fremføringen av denne saken. Vi vil uttrykke vår beste takk til alle. Professor Gjert Knutsen - Universitetet i Bergen, professor Arne Jensen - Universitetet i Trondheim og professor Harald Hvidsten - Norges landbrukshøgskole har vært med i drøftelser av prosjektet.

En spesiell takk rettes til cand.med.vet. Ivar Hellesnes, Norges veterinærhøgskole og cand.real. Mikal Heldal, Universitetet i Bergen, som har levert underlag til deler av rapporten.

Blindern, 5. januar 1978

Ivar Haugen

Olav Skulberg

INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side
FORORD	2
1. INNLEDNING	7
2. ERFARINGSGRUNNLAG	11
2.1 Bakgrunn	11
2.2 Organismegrupper som kan anvendes til resirkuleringsformål	11
2.3 Resirkulering i resipienter	30
3. HYGIENISKE ASPEKTER	35
3.1 Generelt	35
3.2 Norske forhold	36
3.3 Vurdering	46
4. MULIGHETER OG BEGRENSNINGER I NORGE	47
4.1 Utgangspunkt	47
4.2 Potensiale	48
4.3 Forutsetninger for biologisk produksjon	49
4.4 Økonomi	53
5. OPPSUMMERING	56
5.1 Perspektiv	56
5.2 Mål og muligheter	57
5.3 Produksjon og høsting av organismer på ulike trofiske nivåer	61
5.4 Sammenfattende konklusjon	63
6. LITTERATURHENVISNINGER	66
7. VEDLEGG	72
7.1 Bibliografi	72
7.2 Foreløpig liste over institusjoner som arbeider med problemer knyttet til biologisk resirkulering	83

FIGURFORTEGNELSE

Nr.		Side
1	Prinsippskisse for resirkulering av avfall	8
2	Prinsippskisse som viser effekter i resipienten ved ulike typer av utslipp	9
3	Prinsippskisse som viser løsning av eutrofieringsproblemet ved hjelp av biologisk resirkulering	9
4	Skjematisk fremstilling av biokjemiske prosesser i en oksydasjonsdam	12
5	Bakteriell nedbrytning av organisk stoff og omsetning av mineraliseringsproduktene ved hjelp av alger	16
6	Masseforekomst av <i>Cladophora glomerata</i> . Fra en eutrof vannforekomst i Sør-Norge	20
7	De lange sammenvevde trådene er karakteristiske for grønnalgen <i>Cladophora glomerata</i>	20
8	Rensing av avløpsvann ved hjelp av høyere planter i "kaskade"-anlegg	23
9	Mengden av N-Kjeldahl og total-P ved innløp og utløp av forsøksdam med <i>Scirpus lacustris</i> i juni, juli og august 1969	26
10	Gjennomsnittlig renseeffekt fra et <i>Scirpus</i> -anlegg som funksjon av oppholdstiden	26
11	<i>Elodea canadensis</i> (Vasspest) Jarenvannet på Hadeland	32
12	Organisk seston som tørrstoff under oppblomstringer med <i>Anabaena flos-aquae</i> og <i>Oscillatoria agardhii</i> i Gjersjøen i 1969	33
13	Prinsippskisse av høstingens betydning for fjerning av fosforforbindelser fra vannmassene	33
14	Reiseaktivitet med fly på feriereiser fra Norge til utlandet	38
15	Antall meldte isolater av salmonellainfeksjoner hos mennesker i Norge	40
16	Antall besetninger smittet med salmonellose i Norge	40
17	Invasjon av båndormlarver hos storfe i Norge	43
18	Prinsipiell fremstilling av biologisk respons ved økende belastning av avløpsvann. Figuren viser at bruttoprimærproduksjonen øker med økende belastning av næringssalter. Samtidig skjer det en kvalitativ endring i sammensetningen av algesamfunnene	52

Nr.		Side
19	Algevekst i vann fra innsjøer med ulike innhold av næringssalter	52
20	Skjematisk oversikt over sammenhengen mellom nødvendige forskningsaktiviteter for å finne fram til egnede biologiske systemer for resirkulering av plantenæringsstoffer i avløpsvann	59
21	Biologisk aktivitet i akvakultursystemer med styrt produksjon	62

TABELLFORTEGNELSE

Nr.		Side
1	Reduksjon i BOD ved hjelp av bakterie/alge-system (BOD-verdier ved ulike rensetrinn og produksjon av bakterie- og algeceller)	13
2	Mengden av salter i næringsløsning benyttet ved forsøk med fjerning av næringssalter fra avløpsvann	17
3	Vekst og næringssaltreduksjon ved ulike tilsetninger av svinegjødsel	18
4	Noen arter høyere planter fra næringsrike vannforekomster og våtmarker	22
5	Resultat ved rensing av avløpsvann gjennom <i>Scirpus</i> -dammer	25
6	Kommersiell fiskeproduksjon i israelske fiskedammer som funksjon av ulik gjødsling	30
7	Biomasse av høyere planter i ulike vannforekomster, målt som tørrstoff og beregnet P-innhold	30
8	Vasspest (<i>Elodea canadensis</i>) - forhold mellom biomasse og uorganiske stoffer	31
9	Algebiomasse i noen norske vannforekomster	31
10	Oversikt over noen hygienisk viktige smittestoffer i kommunalt avløpsvann	39
11	Serologisk eller bakteriologisk påviste tilfeller av ulike sykdommer i den norske befolkningen	41
12	Tungmetallinnhold i kloakkvann til renseanlegg i Oslo	44
13	Forekomst av sporelementer i slam fra renseanlegg i Oslo-området	44
14	Forekomst av stabile organiske klorforbindelser i slam fra Bekkelaget kloakkrenseanlegg i Oslo	45
15	Salgsverdi av ulike produkter dyrket i kloakkvann	54
16	En sammenligning av investerings- og driftsutgifter for rensing av kloakkvann basert på resirkulering og aktiv slambehandling	55

1. INNLEDNING

Prosjektets målsetting har vært å redegjøre for hvordan biologiske systemer kan anvendes til å resirkulere næringssalter i avløpsvann som et supplement og alternativ til eksisterende rensemetoder.

Hensikten med arbeidet har vært å gi svar på og belyse følgende spørsmål:

- Hvilke muligheter for resirkulering av plantenæringsstoffer i vann foreligger?
- Hva er hittil oppnådd i andre land på dette feltet?
- Hva er mulighetene, begrensningene og potensialet i Norge med hensyn til resirkulering av plantenæringsstoffer i avløpsvann?
- Hva vil økonomien i en slik avfallsbehandling være sammenliknet med konvensjonell renseteknologi?

Skal grunnleggende tilbakeføringsproblemer for avfall løses, må også produksjon i akvatiske biosystemer tas i bruk. I norsk sammenheng er dette særlig aktuelt på grunn av ugunstig forhold mellom befolkningsmengde og produktivt landareal. To oppgaver står i forgrunnen: å bringe forurensningskilder under kontroll, og å utnytte de ressursene som disse kildene innebærer.

Med resirkulering forstår man at "...avfallet enten inngår i naturens kretsløp på en slik måte at det ikke oppstår skadelige forurensninger eller at det får en teknologisk anvendelse" (NOU 1973:51, p.11), fig. 1.

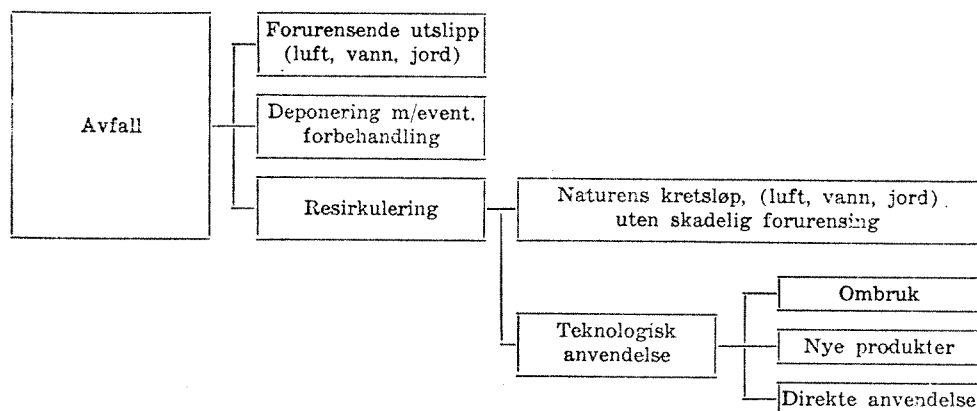


Fig. 1. Prinsippskisse for resirkulering av avfall (etter NOU 1973:51)

I biologisk resirkulering bør prinsippet være et både - og: *Under kontrollerte betingelser føres næringsstoffene tilbake i naturens kretsløp, enten i naturlige systemer eller i tilpassede dyrkningsenheter. Avløpsvann som er biologisk egnet, renses og nye produkter (biomasse) dannes, som så kan nyttiggjøres.*

Det kan utvikles grunnlag for en styrt eutrofiering og en teknologisk anvendelse av biosystemer. Forskjellige organismer - høyere planter, alger (planktoniske og fastsittende), bakterier og dyr av mange grupper (fisk, bunndyr og plankton) - kan inngå i slike systemer. Høstingen av

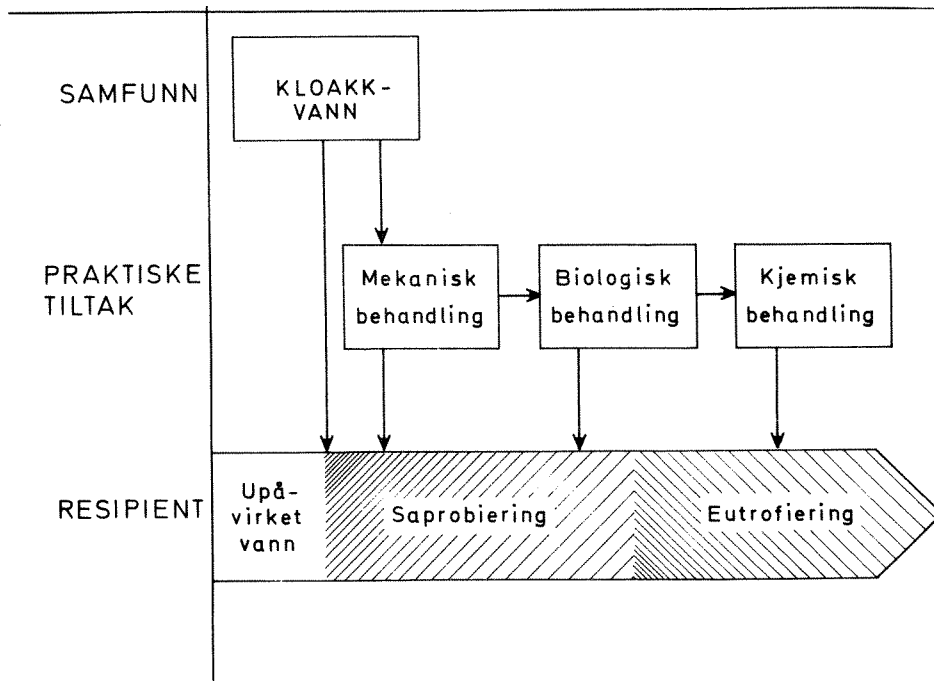


Fig. 2. Prinsippsskisse som viser effekter i resipienten ved ulike typer av utslipp

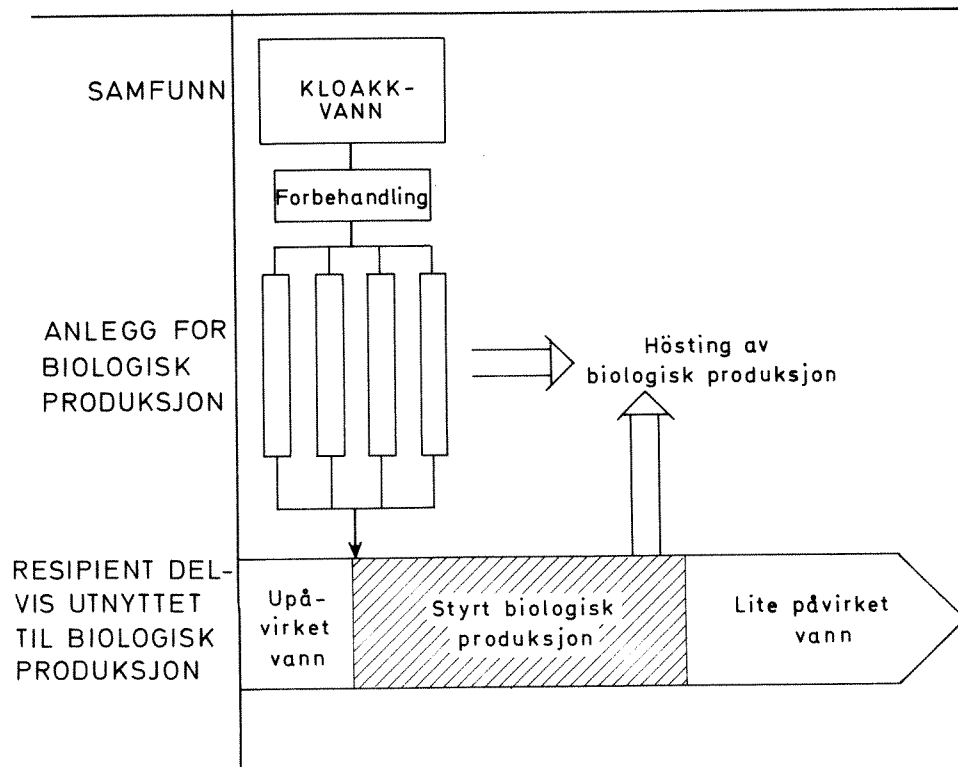


Fig. 3. Prinsippsskisse som viser løsning av eutrofieringsproblemet ved hjelp av biologisk resirkulering.

biomassen må foregå etter forskjellige metoder, avhengig av organisme-type og om man arbeider med naturlige systemer eller kunstig avgrensede dyrkingsenheter. En forenklet prinsippskisse som viser nåværende forsøk på løsning av eutrofieringsproblemet og ulike effekter i resipienten avhengig av utslippstype, er fremstilt i figur 2. I figur 3 er fremstilt hvordan eutrofieringsproblemet prinsipielt kan løses ved biologisk resirkulering.

Utredningen baserer seg på litteraturstudier, studiereiser og samtaler og korrespondanse med norske og utenlandske forskere og institusjoner.

Siktemålet har vært å avklare hvorvidt biologisk resirkulering av næringssalter er en hensiktsmessig metode i arbeidet med å få kontroll med eutrofieringen av våre vannforekomster, samt eventuelt anbefale tiltak som bør iverksettes.

Utredningen er ment som en første orientering og innledning til forskningsvirksomhet på dette feltet.

2. ERFARINGSGRUNNLAG

2.1 Bakgrunn

Det er utført mye og til dels omfattende forskningsvirksomhet i flere land på dette området.

Forskningen har flere målsettinger, men felles er at man ved hjelp av kontrollert dyrking i vann med høsting av produksjon forsøker å hindre forurensning av vannforekomster. Akvakultur, eller produksjon i vann er dermed tatt i bruk som et verktøy til å beskytte mot forurensninger i elver, innsjøer og fjorder.

Ulike typer organismer er anvendt, og ulike systemer. I det følgende gis en orienterende oversikt over disse.

2.2 Organismegrupper som kan anvendes til resirkuleringsformål

Organismegruppene kan deles inn i tre hovedgrupper: primærprodusenter (planter), som utnytter solenergi, næringssalter og CO₂ til oppbygging av organiske forbindelser under produksjon av oksygen, og konsumenter (dyr), som under forbruk av oksygen beiter på primærprodusentene eller lever som rovdyr. Plantene kan ved fotosyntese-aktivitet bygge opp komplekse organiske forbindelser fra enkle uorganiske byggestener. De er derfor et nødvendig ledd i en eventuell resirkuleringsprosess hvor man ønsker å binde næringssalter.

I naturens selvrensingsprosesser inngår også destruenter (bakterier, sopp, protozoer). Deres oppgave er å bryte ned organisk stoff og frigjøre CO₂, nitrogenforbindelser, ortofosfat og organiske og uorganiske forbindelser som så kan utnyttes av primærprodusentene. Denne mineraliseringsprosessen er et viktig element i biologisk resirkulering, og sammenhengen mellom destruentene og primærprodusentene er i prinsippet fremstilt i fig. 4 (Curds og Hawkes 1975).

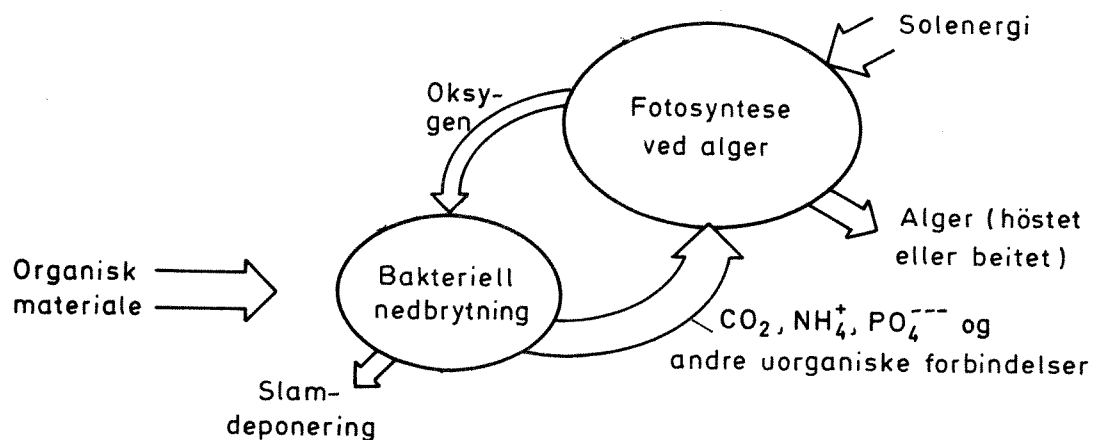


Fig. 4. Skjematisk fremstilling av biokjemiske prosesser i en oksydasjonsdam (etter Curds og Hawkes 1975)

Fotosyntetiserende bakterier er i den senere tiden tatt i bruk i renses- teknisk sammenheng. Metoden er ennå lite kjent, og bare i Japan - hvor metoden er utviklet (Kobayashi 1972) - er et anlegg i drift i pilot- skala. Dette anlegget kombinerer bakteriell omsetning av organisk stoff (heterotrofe og autotrofe bakterier) og omsetning av nærings- salter i algedammer. Produksjonen høstes og utnyttes som fôr til dyr og som gjødsel i landbruket. Metoden rapporteres å være særlig verdi- full til rensing av industriutslipp med høy BOD, tabell 1 (etter Kobay- ashi 1973).

Tabell 1. Reduksjon i BOD ved hjelp av bakterie/alge-system.
(BOD-verdier ved ulike rensetrinn og produksjon av bakterie- og algeceller).

Industri- utslipp	Organisk materiale	Etter omsetning 1	Etter omsetning 2	Fotosyntetiske bakterier ($g \cdot l^{-1}$)	Alger ($g \cdot l^{-1}$)
Stivelse	>10.000	600~1000	50~100	1~5,0	0,2~1,0
Ullvare	5000~10.000	200~500	50~100	1~3,0	0,2~1,0
Næringsmiddel	2000~5000	100~400	20~50	0,5~1,0	0,1~0,5
Farmasøytisk	2000~5000	500~800	20~80	0,8~3,0	0,3~1,0

Også Crofts (1971) rapporterer at fotosyntetiserende bakterier er anvendbare i resirkuleringssystemer. Dersom naturlig lysenergi er tilgjengelig vil det sannsynligvis være mest hensiktsmessig med et aerobt bakterie-alge system, mens det under lysbegrensende betingelser sannsynligvis vil være en fordel å utnytte en anaerob prosess med fotosyntetiserende bakterier.

I Tyskland er det innledet forskningsvirksomhet for å avklare mulighetene med slike systemer i renseteknisk sammenheng (Soeder pers.medd.).

Blågrønnalger er mikroorganismer med stor tilpasningsevne. Representanter for denne gruppen finnes i alle miljøer, vandige og terrestriske, marine og limniske, arktiske og tropiske områder. Enkelte arter er tilpasset så høye temperaturer som $60-70^{\circ}C$ (Christensen 1962) og er ofte enerådende ved bredden av varme kilder. Andre arter er tilpasset spesielle miljøer med pH omkring 11-12 og med ekstremt høyt saltinnhold. En del av disse algene er karakterisert ved et høyt proteininnhold, 60-70%, og er av den grunn særlig verdifulle. Enkelte steder på jorden, som f.eks. i Tchad-området i Afrika, er blågrønnalger en viktig proteinkilde.

Disse algenes høye proteininnhold har vært utgangspunktet for en dyrking i stor skala til fôr, i første rekke i tilknytning til fiskeoppdrett. I Mexico (FAO 1976) dyrkes *Spirulina platensis* i tekniske anlegg for dette formålet. Produksjonen i 1975 var ett tonn (tørrvekt) pr. døgn og er i 1977-78 planlagt økt til 5-7 tonn blågrønnalger (tørrvekt) pr. døgn. Algemassen av *Spirulina* inneholder ca. 70% protein. Algen høstes fra vannmiljøet ved hjelp av flokkulering med aluminium, flotasjon med luft, skumming og avvanning. Sluttproduktet inneholder en del aluminium, men dette er av liten praktisk betydning, da fôret benyttes til oppdrett av karpfisk. Også til laksefisk vil slikt fôr være anvendbart (Gjedrem, pers. medd.). Det er ikke kjent at blågrønnalger er utnyttet til praktisk rensing av avløpsvann, men forsøk i laboratorieskala er utført (Sekoulow 1972).

Blågrønnalgenes fysiologiske egenskaper og deres økologiske tilpassningsmuligheter gjør dem til en særlig interessant organismegruppe i sammenheng med bruk til resirkuleringsformål.

Planktonalgene er de primærprodusentene i vann som foreløpig er mest benyttet til produksjon av protein og til rensing av avløpsvann. Planktonalger anvendes til flere formål, - til rensing av avløpsvann, etterrensing av avløpsvann (polering), produksjon av encelle-protein og som et første ledd i akvakultursystemer.

I Danmark har Vandkvalitetsinstituttet vurdert bruk av algedammer til næringssaltfjerning i avløpsvann og har i den anledning gjort en litteraturstudie (Nyholm 1976). Rapporten omtaler utførlig hvordan algedammer kan utnyttes til ulike formål, videre drift og styring av algedammer, ulike damtyper, metoder for høsting av planktonalgene fra vannmiljøet og utnyttelse av algebiomassen.

Usikkerheten ved å utnytte planktonalger til rensing av avløpsvann knytter seg bl.a. til effektiviteten. Ett problem er hvor store næringssaltmengder man kan regne med å fjerne, og hvor stor produksjon av biomasse dette samtidig vil gi. Det er sparsomt med erfaringsgrunnlag for

primærproduksjon i akvakultur på nordlige breddegrader. Fra Tyskland, hvor man har arbeidet med storkulturer av planktonalger i lengre tid, har man resultater av interesse i denne sammenhengen.

Soeder rapporterer en gjennomsnittlig produksjon på 12,5 g alger/m² og døgn målt som tørrstoff (TS) for perioden mars-oktober. I sommermånedene vil produksjonen kunne være 20-30 g alger TS/m² og døgn. Til sammenlikning kan nevnes at produksjonen i Israel maksimalt når opp i 40-60 g TS/m² og døgn (Heldal 1976).

Disse tallene refererer seg til store kulturer på friland med sollys som eneste energikilde. Soeder (pers. medd.) opplyser at under optimale betingelser, vil man ved dyrking i avløpsvann kunne oppnå en produksjon på 2-300 g TS/m² og døgn. Under disse forutsetningene kan man gjøre følgende beregninger for et døgn:

$$\begin{aligned} 1 \text{ pe} &= 2,5 \text{ g P} \\ 1000 \text{ pe} &= 2,5 \text{ kg P} \end{aligned}$$

Hvis vi forutsetter at 2-300 g TS/m² tilsvarer omtrent 2.5 g P/m², så forbrukes 2,5 kg P/da. Dvs. at 1000 pe P kan bindes pr. dekar vannareal.

Forutsetningen for disse beregningene er optimal produksjon gjennom hele vekstperioden.

Ved Woods Hole Oceanographic Institution (Haugen og Nielsen 1974) har Ryther og medarbeidere et pilotprosjekt hvor de rensrer kloakk fra 3.000 personer ved hjelp av integrerte akvariesystemer (Ryther et al. 1973). Planktonalgene blir i dette tilfellet dyrket i store sirkulære bassenger med kontinuerlig overløp der algene føres over i nye akvarier og utnyttes som mat for østers. På Rhode Island, USA, utnyttet kjølevannet fra et varmekraftverk ved Northport til oppdrett av østers. Planktonalger dyrkes her som fôr til østersproduksjonen (Sea Technology 1975). I Dortmund, Tyskland, hvor det arbeides med planktonalger for fremstilling av protein, er man også begynt å se på mulighetene til å utnytte planktonalger til fjerning av næringssalter fra avløpsvann (Heldal 1976).

Det vil være mulig å bruke både ferskvannsalger og marine arter. Kommersiell utnytting av marine planktonalger er på verdensbasis mer anvendt sammenlignet med ferskvannsalger. Dersom planktonalger nyttes til fjerning av næringssalter fra avløpsvann for deretter å bli brukt som fôr, er det viktig at man velger arter som er særlig egnet som mat til dyr. Forsøk har vist at den faste celleveggen hos visse grønnalger f.eks. er ufordøyelig hos karpefisk (Soeder 1974).

Det mest benyttede systemet hvor alger utnyttes til rensing av avløpsvann, er algedammer. I slike dammer utnyttes symbiosen mellom bakterier og alger (Nyholm 1976, McGriff 1971).

I NOU. 1973:51 behandles dette forholdet i sammenheng med produksjon av encelleproteiner: "En av de beste næringssubstrater for produksjon av encelleproteiner fra alger er husholdningskloakk. De organiske forbindelser i kloakken må imidlertid først bli brutt ned til mer lavmolekylære forbindelser av bakterier for at de skal komme algene til gode." (l.c. s. 65).

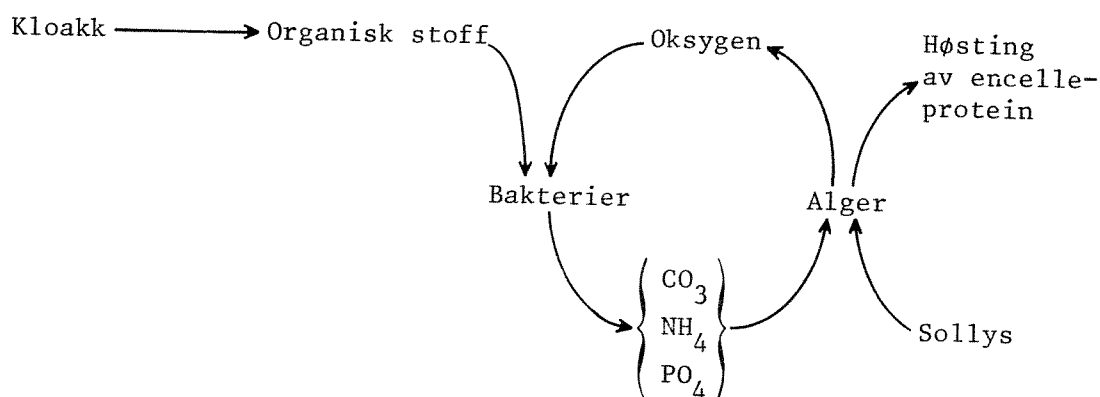


Fig. 5. Bakteriell nedbrytning av organisk stoff og omsetning av mineraliseringsproduktene ved hjelp av alger.

Algene forsyner bakteriene med det oksygenet de trenger for å kunne mineralisere de organiske forbindelsene til CO_2 , NH_4 , PO_4 og H_2O , som algene så ved hjelp av solenergi igjen kan utnytte til produksjon, fig. 5. Som rensesprosess vil slike systemer kunne være meget effektive. Det rapporteres om nitrogenfjerning opp til 92 %, reduksjon i BOD på 97 % og i COD på 87 %, mens PO_4 ble redusert med 74 % (McGriff 1971). Fjerningsgraden kan styres ved regulering av algenes vekstbetingelser.

I Belgia er det utført laboratorieundersøkelser og praktiske forsøk med forskjellige planktonalger for å resirkulere næringssaltinnholdet i svinegjødsel. Intensivt husdyrhold, særlig av griser, forårsaker problemer på grunn av stor gjødselproduksjon. Forskning for å løse dette problemet er iverksatt i flere land. Formålet med prosjektet i Belgia har vært å redusere næringssaltkonsentrasjonen i avløpsvann så mye at direkte utslipp til vassdrag er akseptabelt (De Pauw et al. 1976).

Tre ulike typer planktoniske grønnalger (*Scenedesmus acutus*, *Chlorella vulgaris* og *Coelastrum proboscideum*) ble benyttet i forsøkene. Det er gjort forsøk både under laboratoriebetingelser og i utendørs anlegg. Næringssaltinnholdet varierte som verdiene i tabell 2 viser.

Tabell 2. Mengden av salter i næringsløsning benyttet ved forsøk med fjerning av næringssalter fra avløpsvann.
(Etter De Pauw et al. 1976).

	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$ mg l^{-1}	$\text{NO}_2^- - \text{N}$ mg l^{-1}	$\text{NO}_3^- - \text{N}$ mg l^{-1}	Orto-P mg l^{-1}	Tot.sol.P mg l^{-1}
Max	1710	846	792	388	450
Min	31	0	0,1	8,8	17,2

Forsøk som ble utført i medium tilsatt henholdsvis 10% og 50% svinegjødsel viste en reduksjon i nitrogeninnholdet på omkring 80% og i fosforinnholdet på mer enn 90%.

Tilsvarende forsøk med ufortynnet svinegjødning viste en reduksjon på mer enn 95% for uorganisk nitrogen og mellom 96 og 97% for uorganisk fosfor, med en sluttkonsentrasjon på under $0.1 \text{ mg NH}_4 - \text{N} \cdot \text{l}^{-1}$ og mindre enn $3 \text{ mg PO}_4 - \text{P} \cdot \text{l}^{-1}$, tabell 3.

Særlig ved utslipp til marine resipienter vil næringssaltreduksjon ved hjelp av biologiske systemer være egnet. Dette fordi slike systemer også fjerner store mengder nitrogen, noe som er viktig når det gjelder å kontrollere eutrofieringen i kystfarvann (Goldman et al. 1973, Prince 1974, Ryther and Dunstan 1971 og Skulberg 1970b).

Det er planktoniske alger som er mest forsøkt i sammenheng med praktisk kloakkvannsbehandling, som oftest kombinert med produksjon av protein. Forsøkene, som er utført såvel i laboratorieskala som i anlegg for praktisk utprøving, viser at de er svært effektive til å fjerne nærings-saltene fra vannmassen. Praktiske vanskeligheter ved å benytte planktoniske alger er de relativt store omkostningene ved høstingen. Disse omkostningene kan foreløpig bare unngås dersom planktonalgene direkte utnyttes som fôr til andre organismer, f.eks. østers eller blåskjell. (Ryther et al. 1973, Neil 1976).

Tabell 3. Vekst og næringssaltreduksjon ved ulike tilsetninger av svinegjødning. Forsøk med ulike algearter (Etter de Pauw et al. 1976).

% gjødning i medium	n · 10 ⁶ celler. pr. ml	Tørrvekt mg · l ⁻¹	pH		Ammonium N (mg N · l ⁻¹)				Orto-fosfat (mg P l ⁻¹)			
			start	slutt	start	slutt	△	% red.	start	slutt	△	% red.
Testalge: <u>Scenedesmus acutus</u>												
50 %	27	2960	7.90	7.51	124.62	0.10	124.52	99.9	27.32	1.72	25.60	93.7
75 %	30	3780	7.90	7.59	186.93	0.10	186.83	99.9	40.98	2.39	38.59	94.2
100 %	33	3820	7.90	7.62	249.22	0.08	249.14	99.9	54.65	2.58	52.07	95.3
Testalge: <u>Chlorella vulgaris</u>												
50 %	90	2700	8.42	7.35	124.62	0.07	124.55	99.9	27.32	1.04	26.28	96.2
75 %	128	3100	8.22	7.70	186.93	0.07	186.86	99.9	40.98	2.43	38.55	94.1
100 %	156	3150	8.20	7.40	249.22	0.05	249.17	99.9	54.65	2.47	52.18	95.5
Testalge: <u>Coelastrum proboscideum</u>												
50 %		3280	7.80	7.29	124.63	0.14	124.48	99.9	27.32	1.19	26.13	95.6
75 %		3730	7.85	7.32	186.93	0.10	186.83	99.9	40.98	1.65	39.43	96.0
100 %		3900	7.95	7.41	249.22	0.05	249.17	99.9	54.65	1.71	52.94	96.9

Fastsittende eller bentiske alger til formålsrettet fjerning av næringsalter i avløpsvann er foreløpig lite brukt. Fra litteraturen kjennes forskningsprosjekt hvor slike organismer er utnyttet til dette formålet (Ryther et al. 1973, Prince 1974, Lapointe et al. 1976). Prosjektet til Ryther et al. vil bli nærmere omtalt under integrerte akvakultursystemer (side 27).

Imidlertid er storskala-dyrking av høyere fastsittende alger i rivende utvikling. Av den totale avkastningen i akvakultur er mer enn 16% (vekt) alger. Det ventes en årlig økning i algedyrkingen med ca. 10% årlig inntil dagens produksjon er tredoblet (FAO 1976). I Japan er dyrking av høyere bentiske alger den største akvakultur-industrien. Stor kompetanse er ervervet i dyrking av såvel rødalger som brunalger og grønnalger.

Prince (1974) har utført forsøk med en rødalge (*Chondrus crispus*), en brunalge (*Fucus vesiculosus*) og en grønnalge (*Enteromorpha linza*) for å undersøke bentiske algers evne til å fjerne næringsalter fra avløpsvann. Algene var effektive til å fjerne nitrogen fra avløpsvannet, og veksten av algene under forsøket var like god enten nitrogenet ble gitt i form av ammonium eller nitrat. Lapointe (1976) hevder at tilveksten hos bentiske alger dyrket i avløpsvann er like stor som tilveksten ved massekultur av planktonalger eller landbruksprodukter som sukkerør og ris.

Det er ikke tvil om at flere arter av bentiske alger vil kunne utnyttes til å resirkulere næringsalter i avløpsvann. I Norge ville produksjonen fra slike kulturer kunne utnyttes industrielt dersom visse arter innenfor brun- eller rødalgene kunne utnyttes. Særlig aktuelle vil arter innen brunalgeslekten *Laminaria* og rødalger som *Gigartina stellata*, *Chondrus crispus*, *Gelidium* sp., *Ahnfeltia plicata*, *Furcellaria fastigiata*, *Gracillaria verrucosa*, *Porphyra* sp. og *Rhodymenia palmata* være. Dette er alger som dyrkes i ulike områder av verden (Canada, Japan, Kina, India, Hawaii) i første rekke til industriell fremstilling av ulike fortykningsmidler (agar og agaroider), men også til mat (Neish 1976, FAO 1976).

Disse organismene har også spesielle egenskaper med hensyn til å akkumulere tungmetaller, radionuclider og giftige organiske forbindelser. Det vil derfor være viktig å få avklart i hvilken grad disse organismene kan anvendes også til andre renseformål enn omsetning av næringsalter.



Figur 6. Masseforekomst av *Cladophora glomerata*.
Fra en eutrof vannforekomst i Sør-Norge
(Foto: O. Skulberg).



Figur 7. De lange, sammenvevde trådene er karakteris-
tiske for grønnalgen *Cladophora glomerata*
(Foto: O. Skulberg).

Marine alger kan dyrkes i resipienter såvel som i bassenger på land. I Canada benyttes "greenhouses" til dyrking av carragheen-alger til industriformål (Neish pers.medd.).

Det er økende erkjennelse av at det er nitrogen som er begrensende faktor for vekst i kystfarvann (Prince 1974, Ryther and Dunstan 1971). For utslipp av avløpsvann til marine systemer er det derfor nødvendig å fjerne nitrogen dersom eutrofiering skal unngås (Prince 1974). I Norge er imidlertid minst halvparten av eksisterende og potensielle problemområder preget av ferskvannspåvirkning med saltholdigheter mindre enn 15-20 o/oo. I slike områder vil det sannsynligvis også være nødvendig å fjerne fosfor (Baalsrud 1967, Skulberg 1970).

Også i ferskvann kan det opptre store mengder med fastsittende alger. Det er da i alt overveiende grad grønnalger, fig. 6 og 7.

Høyere planter har en rekke arter med vanlig forekomst i innsjøer, elver og brakkvannsområder og peker seg ut med interessante egenskaper i sammenheng med resirkulering av plantenæringsstoffer i avløpsvann. Disse plantene representerer et viktig næringsgrunnlag for mange dyrearter og viser at det ligger muligheter tilstede for utnyttelse av dem til fôrmidler (Skulberg 1974). Anvendelsen av vannplanter til fôr og mat har vekslet gjennom tidene i de ulike deler av landet (Høeg 1974).

Høyere vannplanter spiller ofte en vesentlig rolle for selvrensingsprosessene i elver og innsjøer. Vannforekomstene mottar en betydelig mengde organiske og uorganiske stoffer som belastning fra mange forurensningskilder. En reduksjon av slike forurensninger gjennom prosesser knyttet til vassdragenes litoralsoner utgjør en viktig del av selvrensningsforløpet. Vegetasjonen av høyere planter har en vesentlig betydning i denne sammenhengen. Høyere planter utgjør et mekanisk og biologisk filter og utnytter stoffer i forurensningene i sin metabolisme. Strukturen av begroingssamfunnene og deres biomasse forklarer den til dels store rensekapasiteten som observeres (Merezhko 1973). I resipientområder med betydelig belastning blir den biologiske mineraliseringen av forurensningene intensivert i bestandene av høyere planter. Denne mineraliseringsprosessen øker med tiltakende frodighet i forekomsten av høyere planter (Seidel 1966, Rørslett et al. 1976).

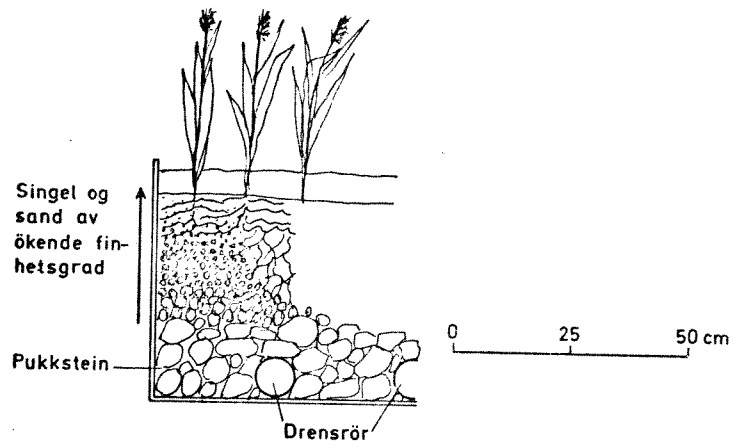
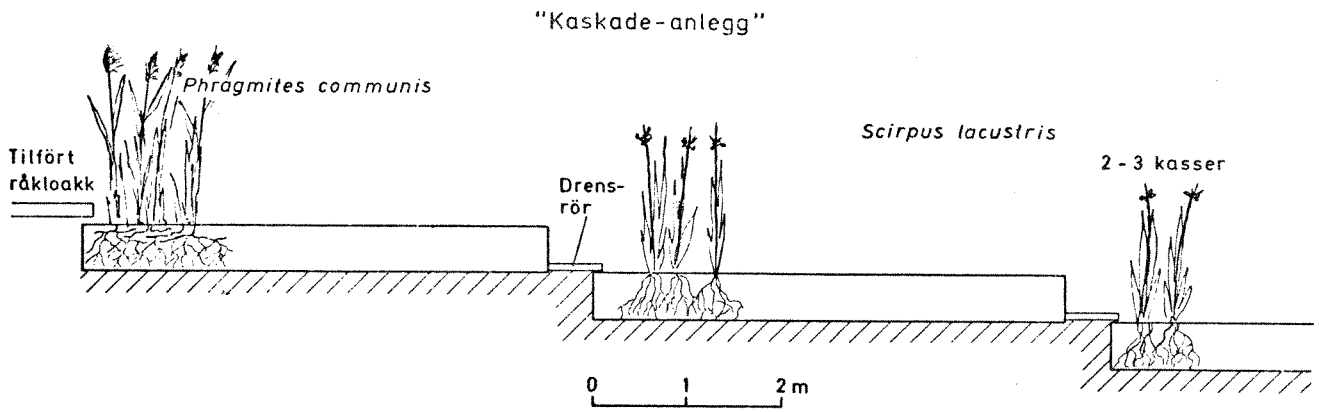
Flere arter av høyere planter har vært benyttet i halvteknisk og teknisk skala for behandling og rensing av avløpsvann. Velkjente eksempler er

Eichornia crassipes, *Alternanthera philoxeroides* og *Scirpus lacustris* (Schulthorpe 1971). Noen vanlige arter i norsk vegetasjon som har interesse, er nevnt i tabell 4. Dette er arter som er knyttet til næringsrike lokaliteter med høy produksjon og rik stoffomsetning.

Tabell 4. Noen arter høyere planter fra næringsrike vannforekomster og våtmarker.

Art	Norske navn	Hovedsakelig utbredelse
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	Vassgro	Østlandet, spredt på Vestlandet
<i>Elodea canadensis</i>	Vasspest	Spredt på Østlandet
<i>Equisetum fluviatile</i>	Elvesnelle	Vanlig i hele landet
<i>Glyceria maxima</i>	Elvekonge	Spredt på Østlandet
<i>Iris pseudacorus</i>	Sverdlilje	Kyststrøk i Sør-Norge
<i>Juncus effusus</i>	Lyssiv	Kyststrøk nord til Sømna
<i>Lemna minor</i>	Vanlig andmat	Østlandet, spredt i kyststrøk nord til Dønnes
<i>Mentha aquatica</i>	Vassmynte	Kyststrøk i Sør-Norge
<i>Phragmites communis</i>	Takrør	Østlandet og i kyststrøk til Troms
<i>Potamogeton natans</i>	Vanlig tjønnaks	Vanlig nord til Lofoten
<i>Scirpus lacustris</i>	Sjøsvaks	Østlandet og kyststrøk til Nordland
<i>Sparganium ramosum</i>	Kjempe-piggknopp	Østlandet, spredt i kyststrøk nord til Dønnes
<i>Typha latifolia</i>	Brei dunkjevle	Østlandet

I Tyskland er det gjort undersøkelser av effekten av høyere planter ved filtrering av avløpsvannet gjennom rotmasse (Heldal 1976). Det ble benyttet kasser, 50 cm høye og med areal på 1 x 2 m. I bunnen av kassene var det drenerør dekket med kult. På kultlaget var det bygd opp med singel og grus/sand med økende finhetsgrad oppover i kassen, fig. 8. Topplaget besto av fin sand som var tilplantet med ulike vannplanter. Avløpsvannet ble ledet inn over planterøttene og dernest ut fra bunnen og over i neste kasse. Flere kasser var plassert etter hverandre med høydeforskjell.



Snitt av kassefront

Fig. 8. Rensing av avløpsvann ved hjelp av høyere planter i "kaskade"-anlegg.

Effekten av slike systemer er vesentlig undersøkt på følgende områder:

- Nedbryting og omsetning av toksiske stoffer, f.eks. fenol, fenolderivater, cyanid etc.
- Reduksjon av patogene organismer (bakterier, parasitter)
- Mineralisering og slamreduksjon

Noen eksempler på oppnådde resultater kan omtales (Heldal 1976). Omsetning av fenol er effektiv i konsentrasjoner på opp til 100 mg/l. I dette konsentrasjonsområdet ligger plantenes skadelighetsgrense. Under optimale betingelser omsettes inntil 8 mg fenol pr. 100 g friskvekt planter i løpet av et døgn.

En rekke forsøk har vist at filtrering av avløpsvann gjennom rotmasse i tette bestander av *Spartina townsendii* i betydelig grad fjerner ulike patogene organismer. Forsøk med tarmbakterier (f.eks. *Escherichia coli*) viste en reduksjon på 60-90% i løpet av to timer (Seidel 1964).

Høyere planter kan effektivt medvirke i mineralisering av slam med forskjellig opprinnelse. Det er gjort undersøkelser og praktiske utprøvinger med *Scirpus lacustris* og *Phragmites communis*. Forsøk i Rhinområdet har gitt som resultat at *Phragmites communis* på virkningsfull måte bidrar til å omdanne slam til jord (Seidel 1974). De høyere plantenetransporterer oksygen ned i sedimentene, og gjennom prosesser knyttet til populasjoner av mikroorganismer på røttene mineraliseres organisk stoff.

I Nederland er det i flere år gjort forsøk med rensing av kloakkvann fra store camping-plasser ved hjelp av *Scirpus lacustris*. Pilotforsøk med anlegg på areal av størrelsesorden 1 ha ble startet opp i 1969 (De Jong 1975).

Rensingen baserer seg på to prosesser:

For det første vil noe avløpsvann (ca. 9 mm/døgn i 1969) infiltreres i grunnen under *Scirpus*-anlegget. Prøver tatt 1-2 m ned i grunnen viste ingen økning i BOD, COD eller fosfor-innhold sammenliknet med referanseprøver, mens det var en svak økning i ammoniuminnholdet. Ut fra dette konkluderer de Jong (1975) at det avløpsvannet som infiltreres blir rensert meget effektivt i det øverste laget.

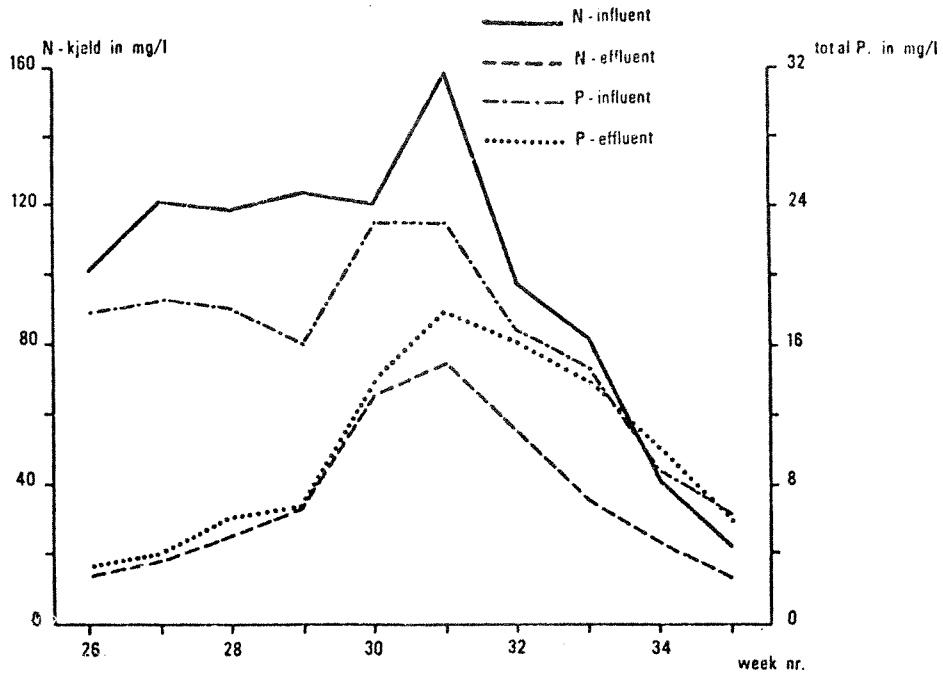
For det andre vil næringssaltene i det avløpsvannet som renner gjennom *Scirpus*-anlegget bli effektivt fjernet ved hjelp av mikroorganismer og *Scirpus*-plantene. Endel organisk stoff vil sedimentere og blir fjernet fra anlegget en gang pr. år.

Noen resultater som viser virkningen av rensesystemet, kan omtales. I tabell 5 er reduksjon i BOD, COD og fekale bakterier (MPN - most probable number) angitt ved passering av avløpsvannet gjennom bestander av *Scirpus lacustris*.

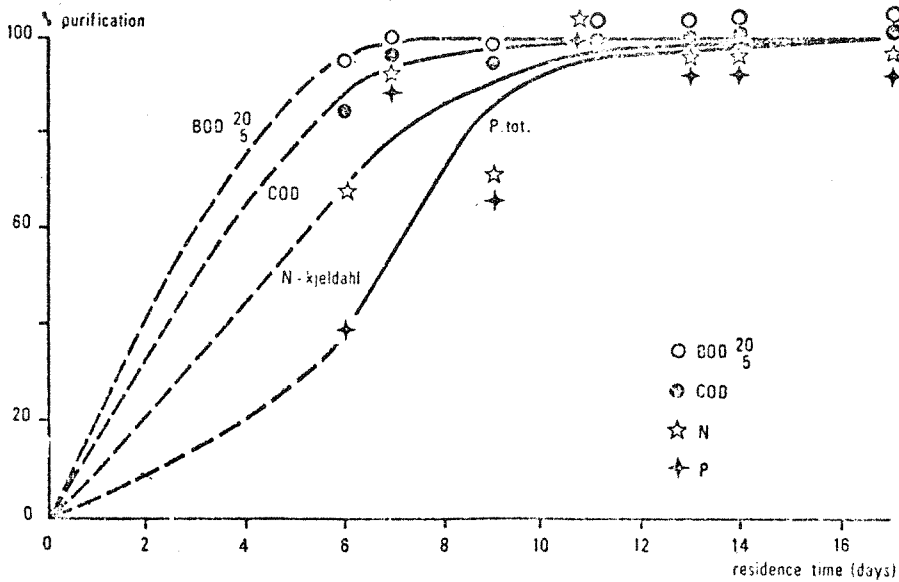
Tabell 5. Resultat ved rensing av avløpsvann gjennom *Scirpus*-dammer.

BOD₅²⁰ og COD i mg/l. Bakteriologiske resultater i MPN/ml.
(etter De Jong 1975).

mg/l \ Uke nr.	26	28	30	32	34	uke gj.snitt 26-34
BOD ₅ ²⁰ innløp	285	331	347	276	127	257
utløp	12	8	18	17	7	11
COD innløp	661	734	900	590	285	530
utløp	48	54	94	83	66	70
MPN/ml innløp	43x10 ⁴	40x10 ⁴	38x10 ⁴	52x10 ⁴	41x10 ⁴	36x10 ⁴
utløp	1	64	2670	8	14	313



Figur 9. Mengden av N-Kjeldahl og total-P ved innløp og utløp av forsøksdam med *Scirpus lacustris* i juni, juli og august 1969. (Etter De Jong 1975).



Figur 10. Gjennomsnittlig renseeffekt fra et *Scirpus*-anlegg som funksjon av oppholdstiden. (Etter De Jong 1975).

Erfaringene fra bruk av *Scirpus*-dammer viser at en betydelig fjerning av fosfor- og nitrogenforbindelser blir oppnådd. I figur 9 er det gjengitt en grafisk fremstilling av variasjoner i konsentrasjoner av disse stoffene i innløp og utløp til en *Scirpus*-dam i vegetasjonsperioden. Avløpsvannets oppholdstid i slike systemer er avgjørende for renseeffekten. Resultater av målinger av renseeffekt som funksjon av oppholdstid er gjengitt i figur 10.

I Tyskland er en rekke patenter på metoder for rensing av avløpsvann ved hjelp av høyere planter tatt ut eller anmeldt. Det gjelder eksempelvis fjerning av klorfenoler fra avløpsvann, fjerning av cyanid fra avløpsvann fra stålverk, omsetning av slam fra kjerneforskningsanlegg, rensing av farget vann fra kunststoffargerier og fjerning av olje og giftstoffer i avløpsvann fra stofftrykkerier (Heldal 1976).

I U.S.A. er det under gjennomføring tildels omfattende undersøkelser for å avklare bruken av høyere planter for å fjerne forurensninger og til produksjon av energi og mat (EPA 1974). Det er spesielt i nærområdene til byer og industristrøk at disse biologiske systemene vil være hensiktsmessige alternativer til behandling av utslipp som inneholder giftige substanser og kloakkvann (Wolverton et al. 1976). Lovende resultater med fjerning av giftstoffer og plantenæringsstoffer er oppnådd av The National Aeronautics and Space Administration - National Space Technology Laboratories i City of Bay St. Louis, Mississippi. Artene som er benyttet i rensesystemet er *Eichornia crassipes* og *Alternanthera philoxeroides*.

Integrerte akvakultursystemer er systemer hvor ulike organismer utnyttes sammen til rensing av avløpsvann. Mest kjent er pilotforsøket på Woods Hole Oceanographic Institution i USA, hvor man i flere år har rensert kloakk fra 3000 personer i et integrert system av planktonalger, østers, fjæremark og bentosalger (Ryther et al. 1973). Senere er det også tatt i bruk slike anlegg i Michigan og Long Island (Small 1975). Disse anleggene er delvis større enn Woods Hole-anlegget og basert på ferskvann og dermed andre organismer.

I Woods Hole-anlegget blandes avløpsvannet i startfasen med sjøvann. Naturlige planktonalgepopulasjoner nyttes til opptak av næringssaltene i første fase av rensingen. Algene overføres deretter til nye akvarier

14

hvor de tjener som fôr for østers. Dermed unngås problemet med å fjerne algene fra avløpsvannet på teknisk måte. Østersen gir imidlertid ifra seg ekskresjonsprodukter, delvis partikulære som sedimenter, og delvis oppløste (f.eks. ammonium) som konsentreres i avløpsvannet. De faste partiklene tjener som mat for fjæremark som er etablert på bunnen av østersakvariene. Ammoniumforbindelsene tas hånd om av rødalger i et etterfølgende akvarium. Effluenten inneholder mindre næringsalter enn det sjøvannet som brukes til innblanding i avløpsvannet.

Det arbeides også med kombinasjonen husdyrhold - algeproduksjon - fiskeoppdrett i forskjellige land, f.eks. Tsjekkoslovakia, Ungarn, Polen, Tyskland (Woynarowich 1976). Resultatene viser at proteinavkastningen pr. arealenhet kan dobles ved en slik kombinasjon. Det er beregnet at dersom man f.eks. kombinerer fiskeoppdrett med oppdrett av ender, kan 4-6% av andegjødselen via omsetning i næringskjedene tas ut i form av fisk. Dessuten vil 3-4% av fordøyelig protein i andefôret kunne fås fra vannmassen i form av forskjellige insekter og planter. Utbyttet er hovedsakelig et utslag av endenes gjødsling av vannmassen. Effekten øker med økende temperatur. I Taiwan-provinsen i Kina er den gjennomsnittlige årsproduksjonen av fisk i "fisk-and"-systemet omkring 3500 kg/ha (Ling 1971).

Oppdrett av kyllinger og griser i kombinasjon med fiskeoppdrett er også eksempler på integrerte akvakultursystemer hvor dyrenes gjødsel utnyttes til å øke avkastningen av fisk (Woynarowich 1976). I Ungarn kan 30-60 tonn gjødsel omsettes pr. ha i løpet av 100 dager, noe som medfører at under de klimatiske forholdene i Ungarn kan gjødsel fra 15-25 griser omsettes pr. ha fiskedammer hvert år. Produksjonstiden i Ungarn er omkring 150 dager, og avkastningen er ca. 500-800 kg fisk pr. ha når husdyrgjødsel utnyttes til å stimulere produksjonen.

Bruk av avløpsvann til å øke avkastningen av fisk medfører imidlertid problemer. Kort kan nevnes: Vanskeligheter med å opprettholde et tilfredsstillende oksygeninnhold i vannet, nærvær av giftstoffer i avløpsvannet, utvikling av uakseptabel lukt og smak hos fisken, nærvær av parasitter og sykdommer, ulike hygieniske problemer og problemer med

utilfredstillende kvalitet på effluenten fra fiskedammene. Selv om produktet kvalitetsmessig er bra, viser erfaringen at det er vanskelig å få folk til å akseptere produktet (Allen and Hephher 1976).

Med disse forbehold er det likevel ikke tvil om at avløpsvann kan øke avkastningen i fiskedammer betraktelig. Hephher og Schroeder (1975) har gjort forsøk med bruk av flytende kugjødsel i Israel og fått et utbytte av fisk på 4900 kg/ha pr. år. Vaas (1948) rapporterer tilsvarende tall fra et forsøk utført i Indonesia, hvor avløpsvannet fra en stor septiktank ble fortynnet med elvevann i forholdet 1:3. Avkastningen var i dette tilfellet 4000 kg pr. ha pr. år, uten at man fóret fisken direkte.

Til sammenlikning kan nevnes at avkastningen i "velpleide ørretdammer under naturlig oppdrett" i tysk damkultur maksimalt beregnes til 100-200 kg/ha pr. år (Sømme 1944). I oppdemte dammer i Asker har man oppnådd maksimalt 170 kg/ha (l.c. s. 429). Haugatjønn ved Røros, 700 m o.h. er et interessant eksempel i denne sammenhengen. I årene 1905-12 var produksjonen gjennomsnittlig 250 kg/ha (Huitfeldt-Kaas 1934, Grytbakk 1971). I de senere årene har produksjonen av fisk avtatt som følge av for stor næringsbelastning. Avkastningen pr. hektar er likevel 5-10 ganger større i Haugatjønn enn i de fleste norske innsjøer (Grytbakk 1971 og Aussen 1973).

Hephher og Schroeder (1975) har vist at avkastningen av fisk er større ved gjødsling med naturlig gjødsel enn med kunstgjødsel, tabell 6.

Tabell 6. Kommersiell fiskeproduksjon i israelske fiskedammer som funksjon av ulik gjødsling.
(Etter Hepher and Schroeder, 1975).

	Næringsgrunnlag					
	NH ₄ ⁺ og PO ₄ ⁻⁻⁻		Avløpsvann			Kugjødsel (+ ammonium- fosfat)
Dam areal (ha)	1,4	2,2	0,7			2,0
Avkastning (kg/ha/8 mnd.)	4.700	4.700	8.000	8.600	8.100	7.500
kg fôr/kg produsert fisk	1,8	1,6	0,9	1,0	0,8	1,1

2.3 Resirkulering i resipienter

I naturen er biologisk resirkulering en fundamental prosess. Nærings-salter som tilflyter vannforekomster omsettes og bindes i biomasse. Noe av produksjonen går ut av systemet, mens resten nedbrytes og omsettes på ny i resipienten.

I eutrofe (naturlige eller påvirkede) vannforekomster er produksjonen relativt høy, noe som betyr at betydelige mengder P bindes i form av biomasse.

Det foreligger få observasjoner om produksjon i norske vannforekomster, men gjennom målinger av biomasse er det fremskaffet et grunnlag til en vurdering også av produksjonsforholdene i vannforekomster (tabell 7, 8 og 9).

Tabell 7. Biomasse av høyere planter i ulike vannforekomster, målt som tørrstoff (Rørslett et al. 1976) og beregnet P-innhold.

Lokalitet	Biomasse g t.v./m ²	Beregnet P-innhold g/m ²
Østensjøvann	900	9
Nitelva	300-700	3-7
Nordsjø	3.600	36
Gjersrudtjernet	600	6
Hjälmaren (Sverige)	2.400	24

Tallene gir uttrykk for den gjennomsnittlige årsproduksjonen av høyere planter. Bare de delene av planten som står over bunnen, er tatt med; rotsystemet er ikke inkludert. Anslagene er derfor noe lave. De gir heller ikke uttrykk for den produksjonen som skjer ved at den høyere vegetasjonen tjener som underlag for mikroorganismer.

Elodea canadensis (vasspest) er en produktiv plante som skaper store problemer i enkelte vassdrag (Fig. 11). Tabell 8 og 9 viser forekomsten av ulike planter i noen vannforekomster og deres evne til å binde uorganiske stoffer.

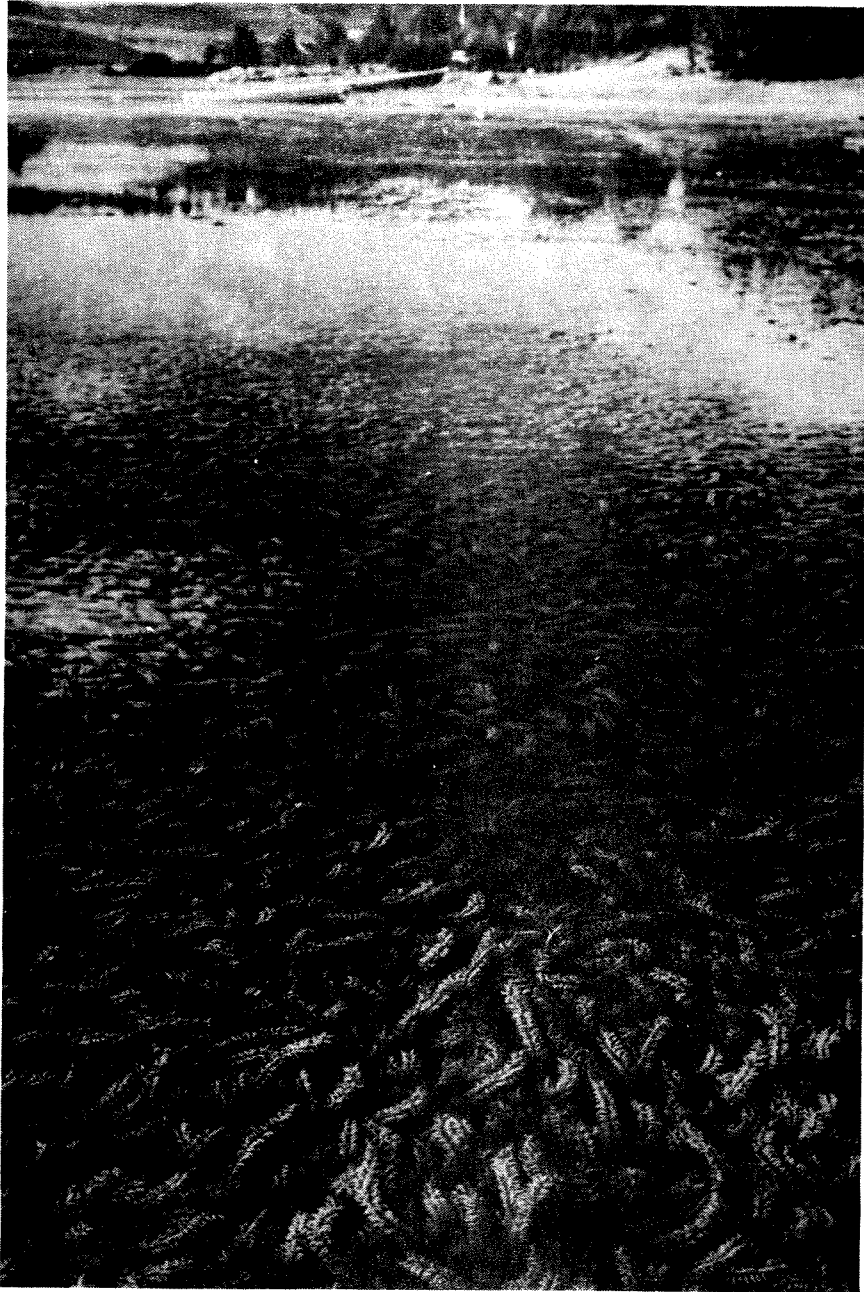
Tabell 8. Vasspest (*Elodea canadensis*) - forhold mellom biomasse og uorganiske stoffer (Rørslett, in prep.).

Lokalitet	Dato for prøvetaking	Biomasse g t.v./m ²	mg/g tørrvekt						
			Aske	Ca	K	N	S	T	Fe
Randsfjord, Røykenvik	20.9.76	145	281	14,3	28,8	35,2	3,0	5,8	12,4
" Kosvik	21.9.76	340	264	14,2	28,0	48,5	3,4	12,7	10,3
Jarenavatn	21.9.76	236	239	55,2	38,6	43,0	4,2	6,4	1,6
Gjennomsnitt		240	261	28	32	44	4	8	8

Tabell 9. Algebiomasse i noen norske vannforekomster.

Lokalitet	Biomasse g t.v./m ²	Beregnet P-innhold g/m ²	Referanse
Haratunelva	21	0,21	NIVA upublisert
Hølandselva	7,6	0,07	" "
Surna	100	1,00	" "
Imsa	34	0,34	Skulberg og
Glåma v/Atna	48	0,48	Kotai 1977

Fra Gjersjøen (2,7 km²) i Akershus fylke er det eksempler på primærproduksjon som viser at biomassen av blågrønnalger i en viss periode økte fra 60-160 tonn i løpet av 3 uker, målt som tørrstoff (Skulberg 1971). I vegetasjonsperioden 1969 ble denne utviklingen fulgt med vektbestemmelse av seston (substans som kan filtreres fra vannet). Figur 12 fremstiller resultatene av disse bestemmelsene. *Anabaena flos-aquae* hadde masseforekomst i innsjøen i løpet av juli. Deretter fulgte en oppblomstring av *Oscillatoria agardhii* som hadde to maksima gjennom høstmånedene fremtil islegging.



Figur *Elodea canadensis* (Vasspest). Jarevannet
på Hadeland (Foto: B. Rørslett).

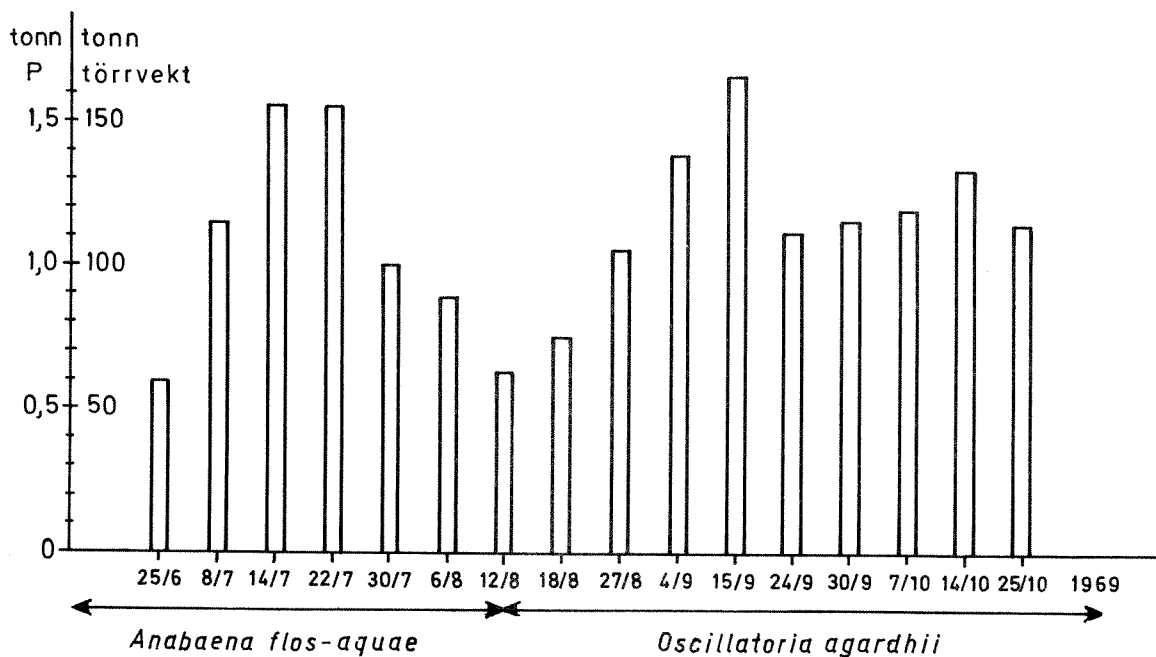


Fig. 12. Organisk seston som tørrstoff under oppblomstringer med *Anabaena flos-aquae* og *Oscillatoria agardhii* i Gjersjøen (2,7 km²) i 1969. (Etter Skulberg 1971).

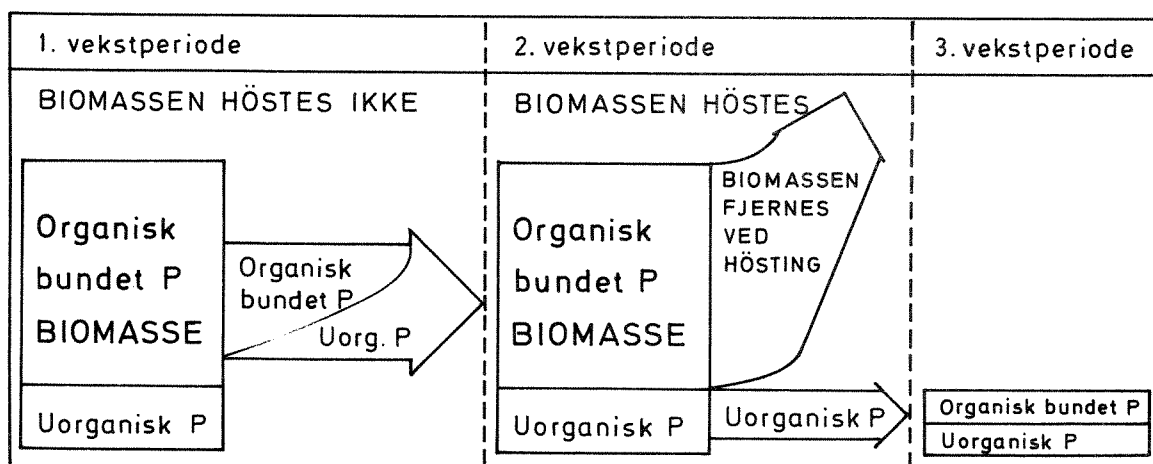


Fig. 13. Prinsippskisse av høstingens betydning for fjerning av fosforforbindelser fra vannmassene (Forklaring, se tekst).

Naturlige prosesser vil imidlertid nedbryte organisk stoff og frigjøre næringssalter til vannmassene igjen. Dersom næringssaltene skal fjernes fra vannmassene, er det derfor nødvendig at biomassen, hvor næringssaltene er bundet, blir fjernet ved høsting.

Høsting av produsert biomasse vil derfor være et viktig ledd i arbeidet med å styre produksjonen i en vannforekomst. Fig.13 viser en forenklet fremstilling av høstingens betydning når det gjelder å fjerne fosfor fra vannmassene. Uorganisk fosfor som tilføres resipienten vil primært bindes i plantemasse. Dersom ikke denne fjernes, vil noe gå ut av resipienten og bli overført til nye vannmasser, eller plantemassen går over i annen biomasse (dyreplankton, bunndyr, fisk) eller mineraliseres.

Det er viktig å merke seg at når det gjelder eutrofiering, så er det ikke bare økt produksjon av alger som er problemet, men det at algesamfunnene endrer karakter mot f.eks. masseoppblomstring av blågrønnalger (Provasoli 1969). Videre vil stor primærproduksjon også kunne gi oksygenproblemer i vannmassene når den nedbrytes, en prosess som forbruker oksygen.

Dette betyr at dersom vi med høsting av biologisk produksjon kan opprettholde egnede organismsamfunn, kan tilfredsstillende tilstander i resipienten realiseres også ved høy næringssalttilførsel. Høsting av ulike organismer (fisk, alger, høyere vegetasjon) vil være nødvendig.

Det er kjent at f.eks. fisk kan påvirke eutrofigraden i en vannforekomst, og høsting av fisk kan derfor være et hjelpemiddel til å etablere tilfredsstillende tilstander i en resipient. Dette har bl.a. sammenheng med fiskens evne til å påvirke en vannforekomsts stoffskifte (Langeland 1977). Høsting av primærprodusenter vil likevel sannsynligvis være det viktigste hjelpemiddel i denne sammenhengen.

3. HYGIENISKE ASPEKTER

3.1 Generelt

Erfaringer fra utlandet gjengitt i litteraturen viser at det er delte meninger om omfanget av de hygieniske problemene forbundet med resirkulering av næringssalter i avløpsvann.

Det er enighet om at det eksisterer et hygienisk problem, og i en rapport om "land application systems" fremgår det at kunnskapsomfanget om mulige negative helsemessige konsekvenser er utilfredsstillende (EPA 1975).

Janssen og Heyers¹ (1968) har funnet antistoffer mot flere patogene bakterier i serum hos fisk fra naturlige sjøområder infisert med kloakkvann. De tolker dette som bevis på at fisk som oppholder seg i resipienter som tilføres kloakk, kan bli infisert av patogene bakterier og reagere med immunreaksjoner.

Allen og Hepher (1976) viser til erfaringer med damfisk hvor kloakkvann benyttes for å stimulere produksjonen og hevder at sykdomsfrekvensen for fisk i slike systemer er små. Det er heller ikke kjent at fisk i damkultur lider under infeksjoner fra *Salmonella*, *Shigella* eller andre sykdomsfremkallende tarmbakterier (Janssen 1970, referert i Allen og Hepher 1976). Fisk fra kloakkinfiserte resipienter kan imidlertid være bærere av slike bakterier (Shewan 1962, referert i Allen og Hepher 1976), og følgelig potensielle smittebærere. Studier med laks oppdrettet i dammer med avløpsvann, viste at sykdomsfremkallende bakterier bare fantes i tarmkanalen (Allen, Busch og Morton 1976).

Med hensyn til virus er vår kunnskap om mulighetene for opphoping i fisk og overføring til mennesker liten (Sonstegard 1975).

Et generelt inntrykk fra litteraturen er at:

Hygieniske problemer ved bruk av avløpsvann til biologisk produksjon er reelle; dette gjelder særlig fisk.

Bruken av avløpsvann til biologisk produksjon krever at de hygieniske problemene kan tas hånd om på en tilfredsstillende måte.

Folks villighet til å akseptere produkter fra en slik produksjonsform fouterter bl.a. overbevisning om tilfredsstillende kvalitet ut fra hygieniske aspekter.

Janssen (1970) og Carpenter et al. (1974) viser til at eksisterende metoder med bestemmelse av totale coliforme bakterier er for dårlige til hygieniske vurderinger i denne sammenhengen. Metodene skiller ikke mellom bakterier av human eller animal opprinnelse og bør derfor suppleres med mer selektive bakteriologiske analyser.

3.2 Norske forhold

Dersom biologisk resirkulering skal tas i bruk i Norge med bl.a. det formålet at produksjonen skal høstes og utnytted, må de hygieniske problemene tas hånd om på en forsvarlig måte. De hygieniske aspektene ved bruk av biologiske systemer til rensing av avløpsvann under norske forhold er angitt nedenfor og bygger på en utredning av amanuensis Ivar Hellesnes ved Norges veterinærhøgskole.

Avløpsvann inneholder en rekke biotiske og abiotiske komponenter som kan ha helsemessig betydning for mennesker og dyr.

Avføring fra mennesker og dyr kan inneholde sykdomsfremkallende organismer. De fleste av disse har tarmen som sitt naturlige reservoar, og den vanligste spredningsmåten og smitteveien er via avføring. Spredningen kan skje enten direkte til andre mottagelige individer eller ved hjelp av insekter o.l. eller gjennom luft, vann, mat o.l. Behandlingen av kloakkvann og kloakkslam og forholdsregler mot forurensning av kloakk til næringsmidler, fôr og drikkevann er derfor vesentlig.

Når det gjelder infeksjons- og parasittære sykdommer, må den epidemiologiske situasjonen i Norge sies å være svært god. Det er andre lidelser enn disse som dominerer sykdomsbildet hos oss. Årsakene til dette er dels gode muligheter for behandling og dels en gjennomgripende forebyggende virksomhet. Til forebyggende virksomhet må også en god avløpsvannhygiene regnes.

Mengden av smittekim i kommunalt avløpsvann vil stort sett avspeile den epidemiologiske situasjonen i det distriktet som ledningsnettets dekker.

Forandringer i befolkningens levesett, f.eks. spisevaner og reiseaktivitet, kan imidlertid på sikt innvirke på den epidemiologiske situasjonen i landet. Selv om vi for tiden har en relativt gunstig epidemiologisk situasjon når det gjelder smittsomme sykdommer, kan det se ut til at dette er i ferd med å forandre seg. Visse bakterie-, virus- og parasittsykdommer har f.eks. i de siste årene vist en økende forekomst. Årsakene til dette er ikke kjent i detalj, men økende turisme og økende innslag i befolkningen av mennesker fra andre himmelstrøk antas å være de viktigste grunnene, figur 14.

Alle tiltak i samfunnet som kan ha betydning for de enkelte smittekims spredningsveger og overlevingssevne, vurderes nøye av helse- og veterinærmyndighetene. Som eksempel kan nevnes disponering av husdyrgjødsel og kloakkslam. I og med rasjonalisering i landbruket er nye driftsmåter innført. Eksempel på dette er overgangen fra lagring av gjødsel i fast tilstand til såkalt blautgjødsel, noe som har betydning ved spredning på landareal. Blautgjødsel har, i motsetning til fast gjødsel, liten evne til å drepe smittekim som blir tilført med avføringen, og dette medfører store vansker av hygienisk natur ved f.eks. tarminfeksjoner i besetningene. Det samme gjør seg gjeldende for kloakkslam. Det er et uttalt mål å resirkulere slammet. På denne måten tilbyr en imidlertid en ny spredningsveg for tilstedeværende smittekim, og dette vil kunne endre sykdomssituasjonen på litt sikt.

Den nylig utkomne "Hygienisk vurdering av kloakkslam. En vegledning til helserådene" fra Helsedirektoratet (1976) viser hvilken linje helsemyndighetene vil velge når det gjelder gjenbruk av kloakkprodukter. Som eksempel kan nevnes at anaerobt utgjæret slam fra Bekkelaget renseanlegg vanligvis ikke oppfyller betingelsene for disponering på jordbruksarealer når det gjelder innhold av bakterier av slekten *Salmonella*. Myndighetenes vurdering av produkter som er utviklet fra kloakkvann eller kloakkslam vil antagelig bli like restriktiv i fremtiden.

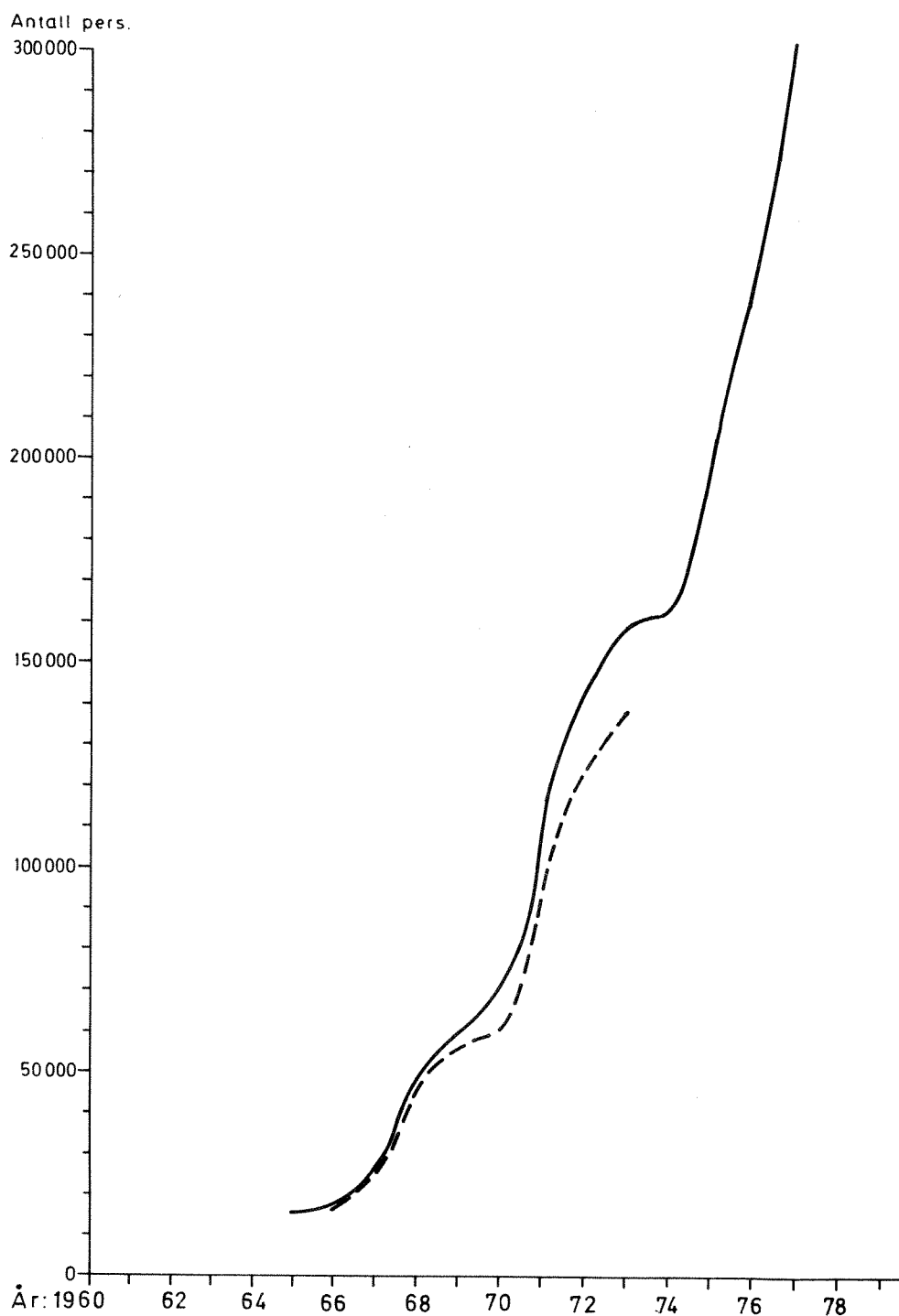


Fig. 14. Reiseaktivitet med fly på feriereiser fra Norge til utlandet (Ajournført etter Nygård 1973).

- Totalt antall passasjerer avreist fra norske flyplasser med inclusive tours (charterflyginger, turistreiser)
- - - Reise til land rundt Middelhavet

Tabell 10 gir en oversikt over hygienisk viktige smittestoffer i kommunalt avløpsvann.

Tabell 10. Oversikt over noen hygienisk viktige smittestoffer i kommunalt avløpsvann.

BAKTERIER

Salmonella typhi	-	
Salmonella paratyphi A og B	-	Tyfoid feber
Andre Salmonellaarter	-	Salmonelloser
Shigellaarter	-	Mage-tarmbetennelser (dysenteri)
Yersinia enterocolitica	-	Mage-tarmbetennelser

VIRA

Infeksiøst hepatittvirus A	-	Smittsom gulsott
Poliovirus	-	Poliomyelitt
Coxsackievirus B	-	Muskelsmerter, hjernehinnebetennelse
ECHO-virus (ulike typer)	-	Mage-tarmbetennelser

PARASITTER

Ascaris lumbricoides	-	Spolorm hos gris
Taenia saginata	-	Båndorm hos mennesker med storfe som mellomvert
Diphyllobotrium latum	-	Menneskets brede bendelorm med fisk som mellomvert
Trichuris trichuri	-	Piskeorm hos gris og mennesker
Giardia lamblia	-	Protozoo - mikroskopisk encellet parasitt som gir mage-tarmbetennelser hos dyr og mennesker

Denne listen over smittestoffer er langt fra fullstendig. Den omfatter bare kim som en umiddelbart kan slå fast er aktuelle under norske forhold, og som har fekal-oral smitteveg. I tillegg kan en rekke andre, ofte eksotiske organismer være årsak til alvorlig sykdom på mennesker. Det kan nevnes bakterien *Vibrio cholera* (kolera), parasittene *Schistosoma* sp., *Entamoeba histolytica* (amøbedysenteri) og *Taenia solium* (svinetintens bendelorm). Personer infisert med disse sykdommene kan tilføre kloakken smittestoff som vil kunne ha betydning for behandling og disponering av avløpsvannet og slammet.

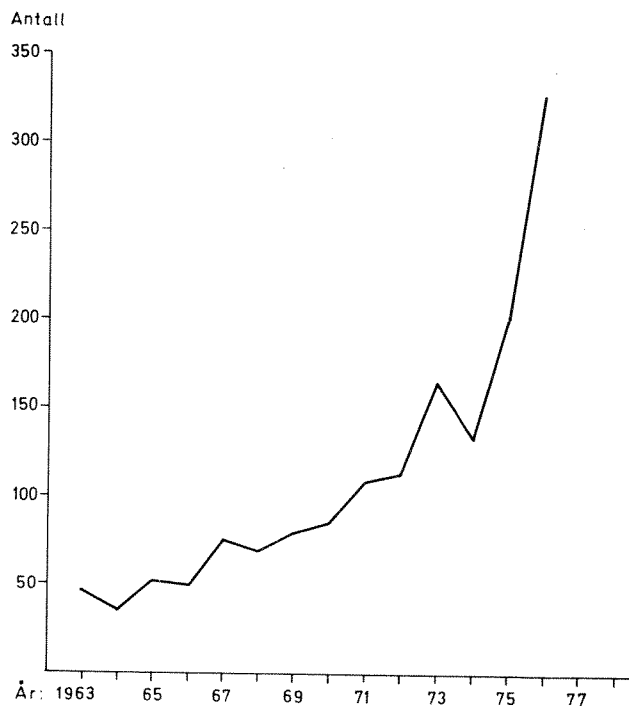


Fig. 15. Antall meldte isolater av salmonella-infeksjoner hos mennesker i Norge (Ajourført etter Nygård 1973).

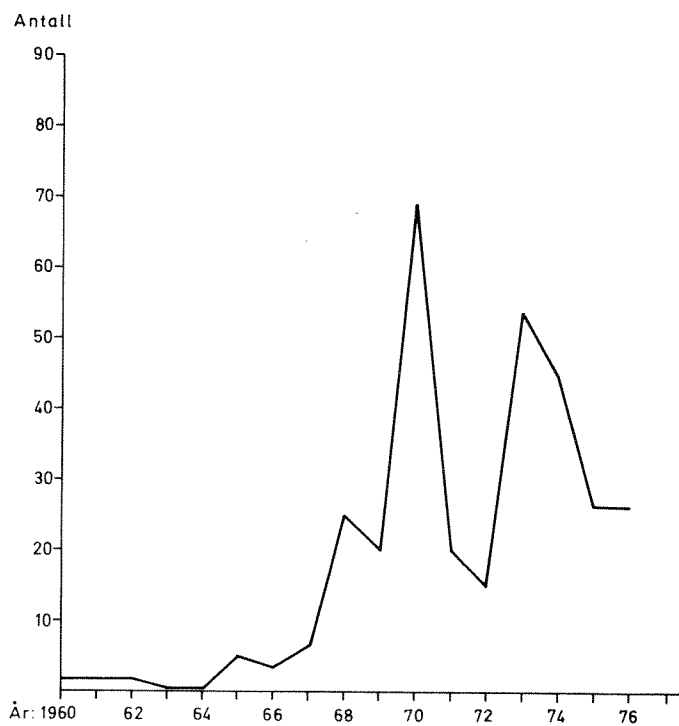


Fig. 16. Antall besetninger smittet med salmonellose i Norge (Ajourført etter Nygård 1973).

Forekomst av smittekim i den norske befolkningen som har betydning for kloakkvannshygienen er vist i tabell 11.

De ulike bakteriene har ulik patogenitet for mennesker, og den teoretiske mengde bakterier som trengs for å gi sykdom hos voksne, friske mennesker, varierer fra noen få kim til noen tusen kim avhengig av arten. Bakteriene *Salmonella* og *Shigella* har vist økende forekomst blant mennesker i Norge, figur 15.

Forekomster av *Salmonella*-infeksjoner hos husdyr i Norge har også vist en økende tendens. Størst har økningen vært hos storfe og pelsdyr, figur 16.

Yersinia gir, i likhet med de ovenfor nevnte bakteriene, primært en tarmbetennelse, men med mulighet for generell spredning til andre organer.

Tabell 11. Serologisk eller bakteriologisk påviste tilfeller av ulike sykdommer i den norske befolkningen.

(Tabellen er bygget på opplysninger fra overlege Lystad, Epidemiavdelingen, SIFF).

Ansvarlig mikrobe	Antall tilfeller						
	1965-1975	1972	1973	1974	1975	1976	1977 ^x
<i>Salmonella typhi</i>	31						
<i>Salmonella paratyphi</i> A	11						
<i>Salmonella paratyphi</i> B	89						
<i>Salmonella</i> , alle typer		113	165	134	202	327	234
<i>Shigella</i> , alle typer		16	21	30	166	50	
<i>Yersinia enterocolitica</i>					172		
Infeksiøst hepatittvirus A					200		
Poliovirus	ikke registrert de siste årene						
Coxsackie-virus B	er registrert						
ECHO-virus	er registrert						

^x Tallene for 1977 gjelder de tre første kvartalene.

Oversikten over registrerte tilfeller i tabell 11 ovenfor angir bare det som blir rapportert via de offentlige legene. I tillegg vet man at det for endel organismer gjør seg gjeldende et annet forhold av betydning for forekomsten i kloakkvann, nemlig smittekimenes tendens til å opptre i tarmen uten å gi merkbare symptomer. Dette gjelder særlig for *Salmonella*-gruppen og gjør at forekomsten i hvert fall av kim fra denne gruppen antakelig vil finnes betydelig oftere i kloakkvann enn det tabell 11 gir inntrykk av.

Praktisk talt alle sykdomskim med fekal-oral smittevei som er påvist i Norge vil, i hvert fall periodevis, kunne påvises i kommunalt avløpsvann. Systematiske registreringer er imidlertid ikke utført. Noen av de lokale helserådslaboratoriene er imidlertid i ferd med å innarbeide undersøkelser med hensyn til forekomst av *Salmonella*-bakterier som rutine.

Når det gjelder påvisning av *Salmonella*-bakterier i kloakkslam, har det i en tid pågått arbeid ved Institutt for næringsmiddelhygiene ved Norges veterinærhøgskole. Resultatene viser f.eks. at *Salmonella*-bakterier alltid lar seg påvise i 10 g prøver av etterbehandlet slam fra Skarpsno og Bekkelaget renseanlegg i Oslo (Bø 1976).

Visse mikrober (indikatorbakterier) har tilnærmet samme økologiske egenskaper som de patogene smittekimene som kan finnes i avføring. Indikatorbakteriene finnes alltid og i rikelige mengder i avføring. Påvisning av disse f.eks. i vann, indikerer tilførsel av avføring til vannet. De vanligst benyttede indikatorbakteriene er termostabile koliforme bakterier (*Escherichia coli*), sulfittreduserende klostridier (*Clostridium perfringens*) og fekale streptokokker (*Streptococcus fecalis*).

Når det gjelder forekomst av parasitter i avløpsvann og slam, er det foretatt en orienterende undersøkelse ved Avdeling for parasittologi, Norges veterinærhøgskole, (Bærum kommune, Kloakkplankontoret 1975). Prøvematerialet er hentet fra Bærum og Oslo, og resultatene viste at det bare ble funnet små mengder av parasittegg. De typene som ble påvist var slike som opptre sporadisk i befolkningen.

Fra 1970 har det også vært en økende tendens til flere båndormsmittete besetninger blant storfe. I de fleste tilfellene har de smittede besetningene beitet i områder med sterk turistaktivitet eller beitenes er blitt tilført kloakkinfisert drikkevann til dyrene (figur 17).

Antall
smittede
besetninger

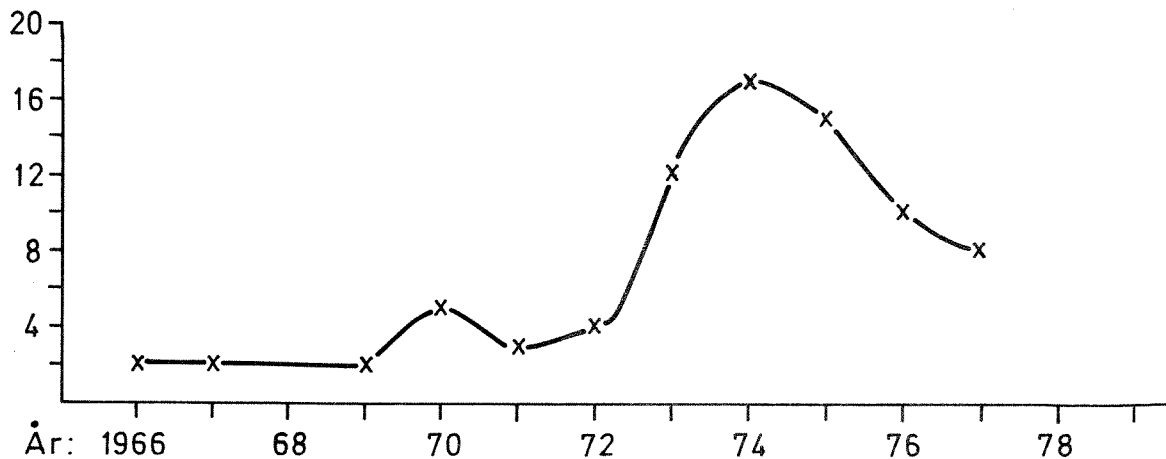


Fig. 17. Invasjon av båndormlarver hos storfe i Norge (Ajourført etter Nygård 1973).

Hygienisk viktige bioakkumulerende stoffer i kommunalt avløpsvann kan deles i to grupper, tungmetaller og organiske miljøgifter.

Tabellene 12 og 13 gir en oversikt over mengden av tungmetaller i kloakkslam fra Oslo-området.

Ifølge Helsedirektoratets "Hygienisk vurdering av kloakkslam. En vegledning til helserådene" (1976) heter det (s. 14): I "normalslam" bør innholdet av følgende tungmetaller ikke overstige disse grenser:

Kadmium	15 mg pr. kg tørrstoff
Bly	300 mg pr. kg tørrstoff
Kvikksølv	7 mg pr. kg tørrstoff

Det kan være aktuelt å vurdere grenser også for andre tungmetaller. Man må vurdere hvilke forurensningskilder man har i området".

Tabell 12. Tungmetallinnhold i kloakkvann til renseanlegg i Oslo.

Verdiene angir middel for 1. halvår 1975 og analysene er utført på månedsblandprøver. Verdier i ppm-mg/l (Etter Framstad 1976).

	Bekkelaget kloakkrenseanlegg		Skarpsno kloakkrenseanlegg	
	Råkloakk	Renset vann	Råkloakk	Renset vann
Kobber	0,60	0,21	0,16	<0,06
Sink	0,46	0,22	0,26	0,21
Kadmium	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Krom, tot.	0,27	0,08	<0,06	<0,05
Nikkel	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10

Tabell 13. Forekomst av sporelementer i slam fra renseanlegg i

Oslo-området. Verdier i ppm-mg/kg tørrstoff.

(Etter Melsom et al. 1974).

	Laveste verdi	Høyeste verdi	Renseanlegget som slammet med høyeste målte verdier er hentet fra
Kadmium	<5	39	Bekkelaget
Kobolt	<4	14	Festningen
Krom	60	2100	Bekkelaget
Kobber	340	1730	"
Kvikksølv	<5	15	Holmen
Mangan	190	530	Festningen
Molybden	<3	8	"
Arsen	<8	10	Løxa
Sølv	7	153	Stabekk
Nikkel	19	225	Bekkelaget
Bly	95	520	"
Tinn	15	255	Skarpsno
Sink	550	2350	Bekkelaget

Videre sier Helsedirektoratet (l.c. 1976) at "Undersøkelsen på forekomster av klorerte hydrokarboner - PCB, DDT, lindan o.a. - har hittil vist at disse forekommer i så små mengder at de vanligvis ikke vil volde problemer for disponering av slammet, med mindre man har spesielt forurensende industri i området".

Det pågår for tiden registreringsarbeid, og utslipp må konsesjonsbehandles av myndighetene. På litt sikt må en anta at mengdene av bioakkumulerende stoff i kloakkvann og slam vil bli redusert. Dette vil ha betydning for den hygieniske vurderingen av dette problemområdet. Tabell 14 gir en oversikt over forekomst av stabile organiske forbindelser i slam fra Bekkelaget kloakkrensning i Oslo.

Tabell 14. Forekomst av stabile organiske klorforbindelser i slam fra Bekkelaget kloakkrensning i Oslo. Verdier i ppm - mg/kg tørrstoff. (Etter Kveseth, in prep.) ^{x)}

	1972	1974
PCB middelvei	0,9	0,3
PCB variasjon	(0,3-1,3)	(0,05-0,4)
Organiske klorinsekticider	ikke påvist	ikke påvist
Ftalater	påvist	påvist

^{x)} Slammengden fra Bekkelaget kloakkrensning økte til omlag det tredobbelte i perioden.

3.3 Vurdering

Dersom problemene med de bioakkumulerende stoffene lar seg løse ved utslippsrestriksjoner, er det helsemessige problemet ved utnyttning av kloakkvann til produksjon knyttet til forekomsten av smittekim i avløpsvannet. Enten man baserer seg på biologisk resirkulering i naturlige systemer eller i kunstige dyrkingsenheter, vil avløpsvannet kunne forårsake en kontaminering av de produktene som skal høstes.

På bakgrunn av de relativt sett beskjedne forekomstene av både menneske- og dyrepatogene stoffer som forekommer under norske forhold, bør disse problemene med rimelighet kunne løses hos oss.

Det vil være viktig at såvel medisinsk som veterinærmedisinsk kompetanse kommer inn i bildet på et tidlig tidspunkt når det gjelder de hygieniske aspektene ved innføring av biologiske systemer for resirkulering av plantenæringsstoffer i avløpsvann.

4. MULIGHETER OG BEGRENSNINGER I NORGE

4.1 Utgangspunkt

Mulighetene for å resirkulere plantenæringsstoffer i Norge vil særlig være bestemt av to hovedfaktorer. For det første hvilket potensiale for plantevekst som ligger i utslipp av næringssalter til våre vannforekomster, dernest ulike organismers evne til å omsette plantenæringsstoffer under forskjellige økologiske betingelser i vårt land.

Begrensende faktorer vil være hygieniske problemer og hvordan disse kan løses, de naturgitte forutsetningene (som behandles i avsnitt 4.3) og kostnader for anlegg og drift av biologiske resirkuleringssystemer (avsnitt 4.4).

Furia (1976) har listet de viktigste mulighetene som biologisk resirkulering gir:

- Fjerning av uorganiske forbindelser (nitrater, fosfater, natrium, kalium, kalsium etc.).
- Nedbrytning av organiske giftstoffer som fenol.
- Nøytralisering av alkaliske og sure vannforekomster.
- Forbedring av kvaliteten på vann forurenset av utslipp fra næringsmiddelindustri.
- Tilførsel av oksygen til vannmassene ved hjelp av fotosynteseaktivitet.
- Tilførsel av oksygen til sedimenter og vannforekomster ved hjelp av oksygentransport ned gjennom planten.
- Gir gode livsvilkår for ulike organismer (krepsdyr, insekter og fisk) som også medvirker til å rense vannet.
- Reduksjon av avløpsvannets volum ved at planter tar opp vann og avgir det som gass til atmosfæren (transpirasjon).

- Mekanisk filtrering av oppløste stoffer gjennom plantenes rotsystem.
- Svekking og reduksjon av patogene bakterier.

Det vil i prinsippet ikke være noen praktisk øvre grense for størrelsen av anleggene, men de fleste slike anlegg som er i drift er beregnet for 100-3000 p.e. Et unntak er et anlegg i Michigan, USA, hvor de tar imot avløpsvann fra 40.000 personer.

4.2 Potensiale

Ulike organismer vil ha forskjellig evne til å omsette organisk stoff. Organismer med høy omsetningshastighet, som f.eks. fotosyntetiserende bakterier og encellede alger, vil være særlig effektive med hensyn til å fjerne næringssaltene fra vannmassen. Høyere vegetasjon vil være mindre effektiv, men vil ha andre fordeler, bl.a. ved at de er lettere å høste.

For å illustrere hva næringssaltinnholdet i kloakkvann kan gi av produksjon, vil 1 m³ kloakkvann med 4-7 gram P (kjemisk analyse av kloakkvann fra Kjellerholen, Romerike, NIVA) tilsvare en plantemasseproduksjon på 800-1400 gram tørrstoff pr. m³ avløpsvann. 1 kg tørrstoff fra en normal kloakk i Norge inneholder nok næringssalter til en produksjon på ca. 5 kg tørrstoff ved hjelp av alger (Stortingsmelding nr. 71 for 1972-73).

I Norge regner man med at hver person bidrar med 2,5 g fosfor (P) hvert døgn som ekskresjonsprodukter (St.melding nr. 71, 1972-73). I tillegg kommer avrenning fra jord- og skogbruk med henholdsvis ca. 50 kg og 7 kg fosfor pr. km² og år. Den samlede tilførsel av fosfor til norske vannforekomster er av størrelsesorden 5500 tonn fosfor pr. år.

Denne næringssaltmengden tilflyter i dag i stor grad våre vannforekomster. Endel fjernes ved renseanleggene og endel bindes i sedimentene. Men det øvrige gir opphav til produksjon i vannmassene, medfører eutrofiering og vanskeliggjør utnyttningen av vannressursene. Det er viktig å merke seg at en totaltilførsel av fosfor på omkring 5500 tonn i året bare er ca. 20% av

det som anvendes i jordbruket (Statistisk årbok 1976). Selve mengden skulle ikke gi store forurensningsproblemer, det er behandlingen av kloakkvannet som i første rekke forårsaker forurensningsvirkninger i våre vannforekomster.

For å illustrere hva denne næringssaltmengden kan bety i produksjonssammenheng, kan det forutsettes et P-innhold i primærprodusentene på 0,5% av tørrstoffet (Rørslett og Skulberg 1976).

Den årlige mengden av fosfor som tilføres norske vannforekomster, vil i så fall kunne gi en produksjon på mer enn 1 million tonn plantemasse (målt som tørrstoff). Dersom man sammenligner dette med produksjonen av f.eks. høy i Norge, så var ifølge Statistisk årbok (1976) den totale høyavling i 1975 ca. 2 millioner tonn.

Sammenligningen er bare ment som en illustrasjon av størrelsesordenen av det produksjonspotensialet som ligger i avløpsvannet. Det ville være uriktig å antyde at man på det nåværende tidspunkt ville være istand til å resirkulere denne mengden P i avløpsvannet. Nitrogen vil dessuten i de fleste tilfellene være begrensende faktor for vekst i kloakkvann (Cornwell et al. 1977).

4.3 Forutsetninger for biologisk produksjon

Vegetasjonsperioden i vannforekomster er lengre enn på land. Av de fysiske miljøfaktorene er lyset uten tvil viktigere for regulering av planteproduksjonen enn temperaturen. Dette kan en slutte blant annet av at algebiomassen kan øke under isen før temperaturen tar til å stige i vannet. Ifølge Lund (1964) og Talling (1971) er økende lysmengder om våren vanligvis en utløsende faktor for våroppblomstring av plankton, men dette forutsetter også tilstrekkelig tilgang på nødvendige næringsstoffer for algene.

Allerede i mars begynner våroppblomstringen i havet. Tidspunktet er avhengig av flere faktorer som utgangsbestand, temperatur og lystilgang. Når våroppblomstringen starter, er næring tilstede i overskudd. Produksjonen øker med tiltagende hastighet inntil næringssaltkonsentrasjonen er blitt så lav at den begrenser veksten.

Også i ferskvann vil vegetasjonsperioden være lengre enn på land. Under en undersøkelse av Glåma i 1967 ble det f.eks. i april observert begroing med stor biomasse av alger. Vanntemperaturen var omkring $+2^{\circ}\text{C}$ og vegetasjonen var preget av diatoméer, rødalger og grønnalger (Skulberg 1970a).

Begroingsalgen *Hydrurus foetidus* har masseforekomst på ettervinteren og våren (Skulberg og Kotai 1977), mens blågrønnalgen *Oscillatoria rubescens* var. hadde store bestander i Steinsfjorden i tidsrommet februar til april. Den var i denne perioden den dominerende planktonalgen (Skulberg 1977).

Høyere vannvegetasjon stopper normalt veksten senhøstes, og det som vi vanligvis betrakter som selve planten, råtner da bort.

Selv om de naturgitte forholdene i Norge er begrensende for vekst i deler av året, bør det understrekes at når vi har eutrofieringsproblemer i våre vassdrag, så er det fordi de naturgitte forholdene gir grunnlag for plantevekst. Det er dette forholdet som må utnyttes.

En viktig faktor for stimulering av planteplanktonproduksjonen i innsjøen er densjiktning av vannmassene som finner sted når temperaturen stiger utover våren. Sjiktningen medfører bl.a. at planktonorganismene begrenses til det øvre vannlaget, slik at bestandene ikke tynnes ut. Derved avgrenses produksjonen til overflaten. Næringssalttilgangen vil deretter være en dominerende faktor for produksjonen. Vekstfaktorer som temperatur og lys vil imidlertid også ha betydning for produksjonen.

Temperaturen er en av de miljøfaktorene som er best undersøkt i biologisk sammenheng. I alle produksjonssystemer inngår temperaturen som en avgjørende ytre faktor. Den bestemmer utbredelsen for en lang rekke arter, er avgjørende for utvikling av kjønnsprodukter og for forplantningstidspunkt, er bestemmende for utvikling og overleving av egg og larver, påvirker hastigheten til biokjemiske og fysiologiske prosesser som respirasjon, produksjon, vekst, elding og næringsopptak. Den har stor innflytelse på giftstoffers virkning.

På våre breddegrader vil temperaturen under deler av året være begrensende for vekst. Utnytting av varmeenergien i kjølevann og prosessvann vil derfor kunne være en viktig ressurs for en tilfredsstillende stoffomsetning i resirkuleringssammenheng. Avgrensede dyrkningsenheter vil også kunne øke temperaturen i overflatelaget på grunn av redusert horisontalbevegelse av vannmassene (Devik 1976).

Lys er en annen miljøfaktor som vil kunne bli begrensende for produksjonen i sammenheng med utnytting av primærprodusenter til å resirkulere næringssalter.

Plantene er avhengig av lys som energikilde til oppbygging av organiske forbindelser. Ulike arter vil ha ulikt krav til lysklimate. Valg av organismer, ikke bare med hensyn til gruppe, men også med hensyn til hvilke arter man velger å benytte, vil kunne spille en avgjørende rolle i denne sammenhengen.

Norges lange utstrekning i nord-sør-retningen bevirker også at lysklimaet er fundamentalt forskjellig nord og sør i landet, med vintermørke og midnattsol i nord. Det foreligger få sammenliknende observasjoner på utviklingen av f.eks. formeringsorganene hos samme art nord og sør i landet, men observasjoner tyder på at selv om utviklingen av formeringsorganene hos f.eks. alger starter senere i Nord- enn i Sør-Norge, så er utviklingshastigheten i sommermånedene større i Nord-Norge. Resultatet kan være at formeringsorganene blir ferdig utviklet på omtrent samme tidspunkt.

Det er viktig at bl.a. lysklimate og temperatur er tilpasset hverandre. Forsøk gjort i Tyskland med tette kulturer av alger viste at dersom temperaturen økte mens lyset var begrensende for vekst, ble produksjonen nedsett (Soeder, pers.medd.). Forsøket viser at det er viktig at de temperaturavhengige nedbrytende fysiologiske prosessene ikke går raskere enn organismens evne til å bygge opp organisk stoff ved hjelp av fotosynteseaktivitet.

Næringsmediets sammensetning vil også kunne virke begrensende for produksjonen. Dette gjelder ikke bare mengden av plantenæringsstoffer som fosfor og nitrogenforbindelser, men også tilgangen på mikroelementer (sporstoffer).

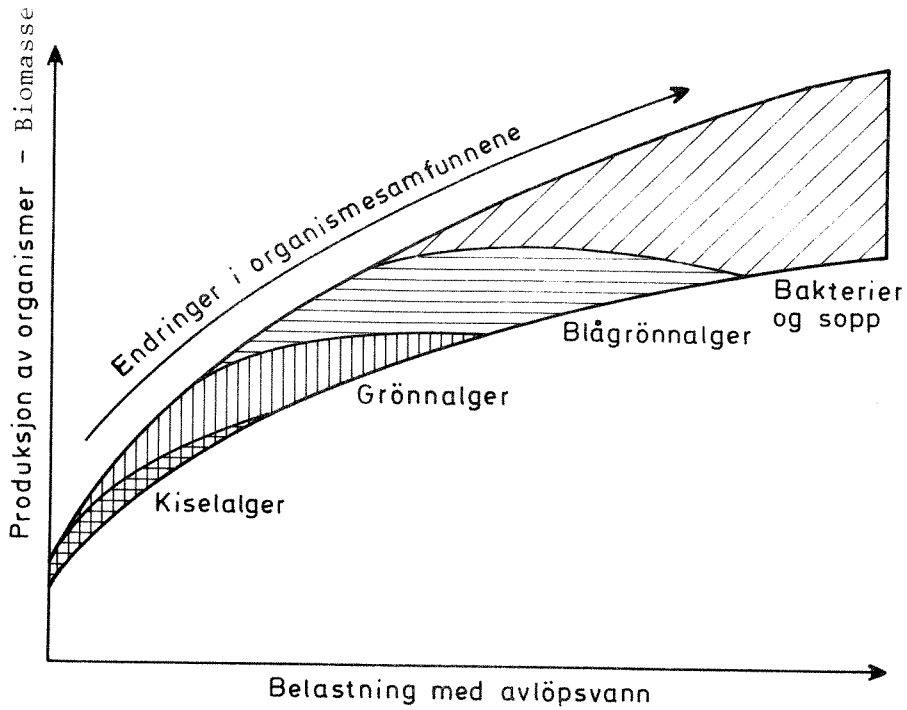


Fig. 18. Prinsipiell fremstilling av biologisk respons ved økende belastning av avløpsvann. Figuren viser at bruttoprimærproduksjon øker med økende belastning av næringsalter. Samtidig skjer det en kvalitativ endring i sammensetningen av algesamfunnene (Etter Traaen 1976).

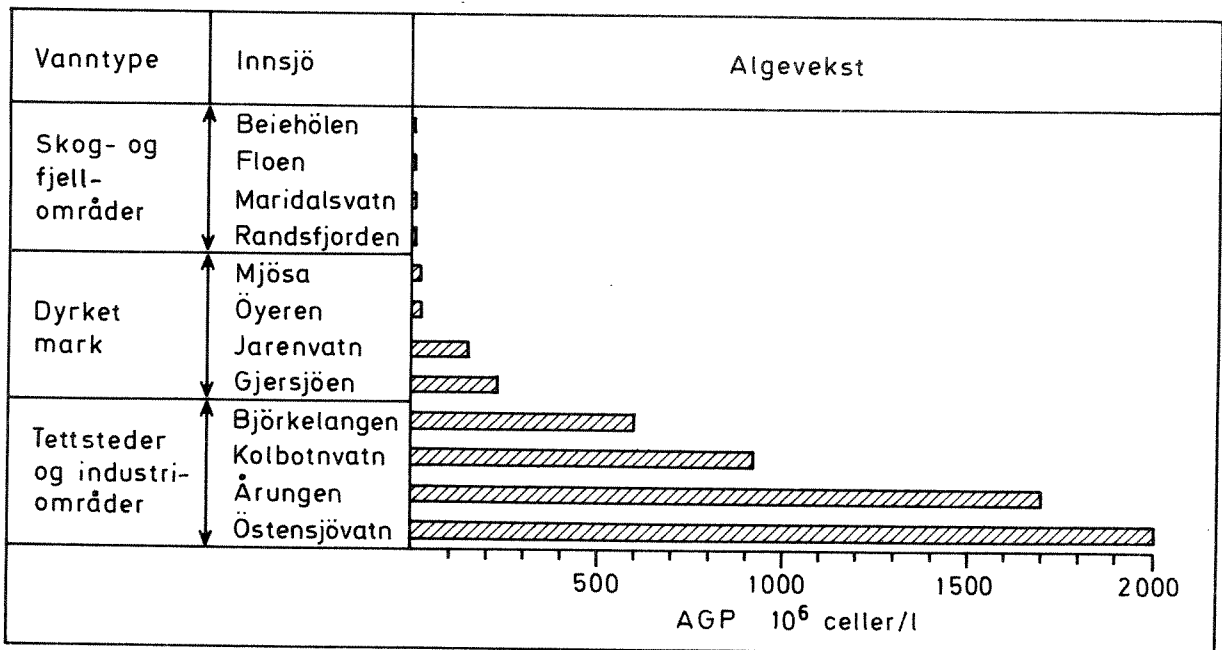


Fig. 19. Algevekst i vann fra innsjøer med ulike innhold av næringsalter (etter Skulberg 1977).

Forsøk utført ved NIVA (Traaen 1975) viste at brutto primærproduksjon i strømmende vann øker med økende innhold av næringssalter. Resultatene viste også at den kvalitative sammensetningen av algesamfunnene endret seg med økende næringssaltbelastning målt som $\mu\text{g P/l}$, figur 18.

Også i innsjøer er vannmassens innhold av næringssalter i stor grad avgjørende for algevekst. Fig. 19 (Skulberg 1977) viser algevekstpotensialet i vann fra innsjøer med ulike innhold av næringssalter. Øking av næringsinnholdet i innsjøer gir både kvalitative og kvantitative endringer. Algesamfunnene skifter med vannkvaliteten både når det gjelder artssammensetning og relativ mengdefordeling (Skulberg 1964, 1965 og 1968).

Resultatene viser at både den kvalitative og den kvantitative sammensetningen av avløpsvannet er bestemmende for produksjonen.

4.4 Økonomi

Økonomien i en avfallsbehandling basert på resirkulering av næringssalter er med det nåværende kunnskapsomfanget vanskelig å beregne. Flere faktorer som man i dag ikke har nok kunnskap om, vil virke inn.

For det første vil kostnadene ved å utnytte f.eks. resipienter for resirkuleringsformål sannsynligvis være forskjellig fra kostnadene ved å resirkulere næringssaltene i avgrensede dyrkningsenheter.

Dernest vil valg av organismer influere sterkt på kostnadene. Såvel utgiftene til høsting av den biologiske produksjonen som salgsværdien av produktet, vil avhenge av organismetypen. Høstingsutgifter vil bl.a. avhenge av hvorvidt man har med planktoniske organismer, fisk eller fastsittende, store planter å gjøre. Salgsværdien vil også være avhengig av hvordan organismen er sammensatt, f.eks. med hensyn til proteininnhold, og hvor effektivt førstoffer kan fordøyes av andre organismer.

Verdien ved økt beskyttelse av vannforekomstene er ikke kjent. Heller ikke verdien av at en avfallsbehandling basert på biologisk resirkulering vil kunne gi de menneskene som arbeider på dette feltet, en forståelse som gjør arbeidet meningsfylt. Dette vil også være en økonomisk gevinst for samfunnet. Dagens renseanlegg er lite effektive (Eikum 1977) og bidrar ikke tilstrekkelig til å sikre vannforekomstene.

Med disse forbeholdene er det likevel grunn til å anta at kostnadene ikke vil være større enn ved dagens rensetekniske tiltak. Sannsynligvis vil kostnadsnivået være lavere. Med utgangspunkt i litteraturstudier er det mulig å antyde en kostnadsramme for resirkulering av næringssalter i vann. Det er særlig omkostningene ved høsting av planktoniske alger fra vannfasen som har vært gjenstand for kostnadsvurderinger. Dette fordi slike organismer er effektive i en resirkuleringsprosess og begrensningen i anvendelsen av dem har vært knyttet til høstningskostnadene. Golueke and Oswald (1965) har foretatt en omfattende vurdering av slike kostnader. Kostnadene er avhengig av størrelsen på anlegget. For et anlegg i størrelsesorden $4000 \text{ m}^3/\text{døgn}$ er kostnadene til fjerning av algene ved flokkulering anslått til 14 \$ pr. 1000 m^3 . Økes anlegget til 40.000 m^3 pr. døgn, reduseres kostnadene til 9 \$ pr. 1000 m^3 . Det er gjort tilsvarende undersøkelser for et anlegg i California (Bare et al. 1975). De totale årlige omkostningene er i dette tilfellet angitt til 40.000 \$ for et anlegg med kapasitet 1 mgd (million gallon pr. dag) ($3785 \text{ m}^3/\text{døgn}$), dvs. 28 \$ pr. 1000 m^3 . I et 20-mgd anlegg reduseres kostnadene til 16,5 \$ pr. 1000 m^3 .

Nyholm (1976) har laget en forenklet oppstilling av beregningene. For et 1-mgd anlegg er kostnadene beregnet til totalt \$ 39.000 eller \$ 28 pr. 1000 m^3 .

Bare et al. (1975) konkluderer med at algefjerning ved koagulering og flotasjon ikke er billig, men at prosessen likevel gir en rimelig økonomi.

Neil (1976) har gjort en tentativ analyse av salgsværdien av ulike produksjon basert på resirkulering av næringssalter i dammer (tabell 15). Produksjonen (alger, andmat, dafnier og chironomide-larver) forutsettes anvendt til fôr med basispriser: Protein 14 c/lb, lipider 10 c/lb og karbohydrater 5 c/lb.

Tabell 15. Salgsverdi av ulike produkter dyrket i kloakkvann (etter Neil 1976).

Organisme	Pris (tørrvekt) pr. tonn
Scenedesmus sp. (grønnalge)	680 kr.
Lemna sp. (andmat)	500 "
Dafnia sp. (krepsdyr)	1250 "
Chironomide-larver	1250 "

I Nederland er det utarbeidet et system for å resirkulere avløpsvann fra campingplasser (se kapittel 2, s. 24). I dette tilfellet er kostnadene til et anlegg med aktiv slambehandling sammenliknet med kostnadene til et resirkuleringsanlegg basert på *Scirpus lacustris*. For begge anleggene er tilførselen av avløpsvann satt til 2000 personekvivalenter (pe) (1 personekvivalent tilsvarer 100 liter kloakkvann pr. dag, 54 g BOD₅²⁰ pr. dag, omkring 10 g N-Kjeldahl pr. dag og ca. 3,5 g P pr. dag). Beregningene viser at resirkuleringsanlegget er det langt billigste både i anlegg og drift (tabell 16).

Tabell 16. En sammenligning av investerings- og driftsutgifter for rensing av kloakkvann basert på resirkulering og aktiv slambehandling.
(De Jong 1976).

Resirkulering (<i>Scirpus lacustris</i>) 2000 pe	investering pr. pe	Dfl.	30,00 x)
	årlige kostnader pr. pe	Dfl.	4,50
Aktiv slam- behandling 2000 pe	investering pr. pe	Dfl.	183,00
	årlige kostnader pr. pe	Dfl.	18,50

x) 1 Dfl tilsvarer omkring 2 n.kr.

Det antas at høsting av produksjon i vannforekomster vil ha en positiv innvirkning på vannkvaliteten. Økonomien i denne høstingen er imidlertid ikke vurdert.

5. OPPSUMMERING

5.1 Perspektiv

Det biologiske kretsløpet består hovedsakelig av to delsystemer som betegnes henholdsvis den autotrofe og den heterotrofe delen.

Den autotrofe delen utgjøres først og fremst av planter som bygger opp organisk stoff gjennom fotosyntese og som på denne måten skaffer seg energi til sine livprosesser. Organismene som inngår i den heterotrofe delen (dyr, sopp og bakterier), bruker det organiske stoffet produsert i den autotrofe delen av systemet som energigrunnlag og næring.

En stadig sirkulasjon og omsetning av næringsstoffer mellom den autotrofe og den heterotrofe delen av systemet er en forutsetning for opprettholdelsen av liv.

Det biologiske kretsløpet består av mange delkretsløp. Det som utenfra betraktet kan betegnes som stoff- og energikretsløpet, er resultatet av en mosaikk av enkeltprosesser gjennomført ved aktivitet til organismer på ulike nivåer i systemet. De forskjellige populasjonene varierer i størrelse regulert av kjemisk-fysiske faktorer og gjensidige avhengighetsforhold. Så lenge de kjemisk-fysiske faktorene i en vannforekomst er uendret er de enkelte populasjonene og systemene som helhet i en tilstand av balanse som blir betegnet biologisk likevekt. Naturlige fluktuasjoner i fysisk-kjemiske faktorer forårsaker naturlige variasjoner i de biologiske forholdene. Bare sjelden forårsaker slike variasjoner drastiske endringer i resipienten. Gjennom vår avfallsdisponering endrer vi imidlertid også kjemisk-fysiske faktorer. Når disse endringene er store nok til på en uheldig måte å forandre produktionsforholdene i resipienten, oppstår miljøpåvirkninger som vi registrerer som forurensningsfenomener.

Når vi skal behandle forurensningsproblemen, bør vi gjøre dette ut fra forståelsen av problemenes biologiske sammenheng. Det er dette som ligger i formuleringen økologisk avfallsdisponering. Bestrebelsene går ut på å føre avfallsproduktene fra menneskelig virksomhet tilbake til omgivelsene på en måte som ikke skader det biologiske kretsløpet.

Formulert for vannforekomstene vil det si å ikke belaste resipienten mer enn resipientens selvrensningsevne gir anledning til. Ut over dette må kultursystemer tas i bruk for å bringe overskudd av stoffer - som f.eks. fosfor og nitrogen - under kontroll ved planmessig dyrking av organismer. Dette muliggjør en gjenvinning av verdifulle bestanddeler i avfall og utvikling av høyverdige førstoffer.

En slik behandling av forurensningsproblemene medfører at man ikke ødelegger forhold i vannforekomstene som det er ønskelig å opprettholde. Fremgangsmåten er vitenskapelig logisk; men selv om det er mulig å trekke opp retningslinjer for en økologisk avfallsdisponering, er det et langt skritt frem til å kunne praktisere den i sammenheng med løsningen av våre forurensningsproblemer.

Det er i dette perspektivet resirkulering av plantenæringsstoffer i avløpsvann ved bruk av biologiske systemer står. Gjennom tilbakeføring av avfallsstoffer i naturlige kretsløp eller akvakultur kan begrensning av forurensningsvirkninger oppnås og det kan bli en nyttiggjøring av biologisk produksjon. Men bruk av biologiske systemer for resirkuleringsformål er ikke noen snarvei til løsning av forurensningsproblemene knyttet til vann. Det er mange problemer som krever avklaring og mange fremgangsmåter som må utprøves. De aktuelle systemene vil ha begrensninger av ulik karakter og omfang. Utgangspunktet for arbeidet kan være at bestående renseteknologi tilpasses slik at det blir samsvar mellom resipientens selvrensningsevne og tilført næringsbelastning. Samtidig må det utvikles mer selvstendige biologiske systemer som kan føre fram til bruk av resipientens organismeliv til en styrt eutrofiering.

5.2 Mål og muligheter

Problemstillingen er i utgangspunktet biologisk. For å finne fram til løsninger vil det imidlertid være nødvendig også med bistand fra annen anvendt forskning. Den samfunnsmessige brukbarheten av ulike løsninger må vurderes ved hjelp av samfunnsvitenskapelig kompetanse. Forskningsområdet er derfor stort.

Ved organisering og gjennomføring av et forskningsopplegg er det nødvendig å ta hensyn til disse forholdene.

Det blir viktig å samle kreftene på utvalgte oppgaver og innhente forskningsresultater fra andre land. De forskningsoppgavene som det i første rekke bør tas sikte på, er slike som av geografiske og klimatiske årsaker er spesielle for landet vårt.

Ved forskningsmiljøene i Norge foreligger det betydelig fagkompetanse som kan inngå i arbeidet. Dette gir et godt utgangspunkt for fruktbar forskningsvirksomhet. Vel koordinerte forskningsprosjekter om biologiske resirkuleringssystemer for plantenæringsstoffer i avløpsvann skulle derfor ha de nødvendige forutsetningene for å oppnå vellykkete resultater.

Med bakgrunn i den foreliggende utredningen blir følgende mål for forskningsinnsatsen stilt opp:

- Forbedre kunnskapene om vannforekomstenes evne til å omsette næringssalter under ulike naturgitte forhold.
- Anvende denne kunnskapen til å utvikle biologiske resirkulerings-systemer som forurensningsbegrensende tiltak, og til nyttiggjøring av plantenæringsstoffer og produksjon i vann.
- Gjennom forsøk med slike systemer å utvikle kunnskap til å styre produksjonen i vannforekomster (resipienter).

I samsvar med dette må det velges ut flere ulike lokaliteter (innsjøer, elver og fjorder) som må bli gjenstand for et inngående studium med den målsetting å karakterisere deres evne til å omsette næringssalter. Resultatene av disse undersøkelsene må bekreftes og utdypes ved forsøk i laboratorium og i felt.

Erfaringene fra dette arbeidet anvendes deretter til å styre utviklingen i resipienten. Dette vil i praksis innebære at nåværende tiltak for å begrense forurensning av vannforekomster effektiviseres til å møte resipientens krav, og at det, hvor det er mulig og nødvendig, bygges anlegg for styrt biologisk produksjon.

Et viktig moment i dette arbeidet vil være å avklare produksjonspotensialet i landets næringsrike vannforekomster gjennom høstingsforsøk i eutrofe vann- og våtmarksområder.

PROBLEM

ANGREPSMÅTE

GJENNOMFØRING

LØSNING

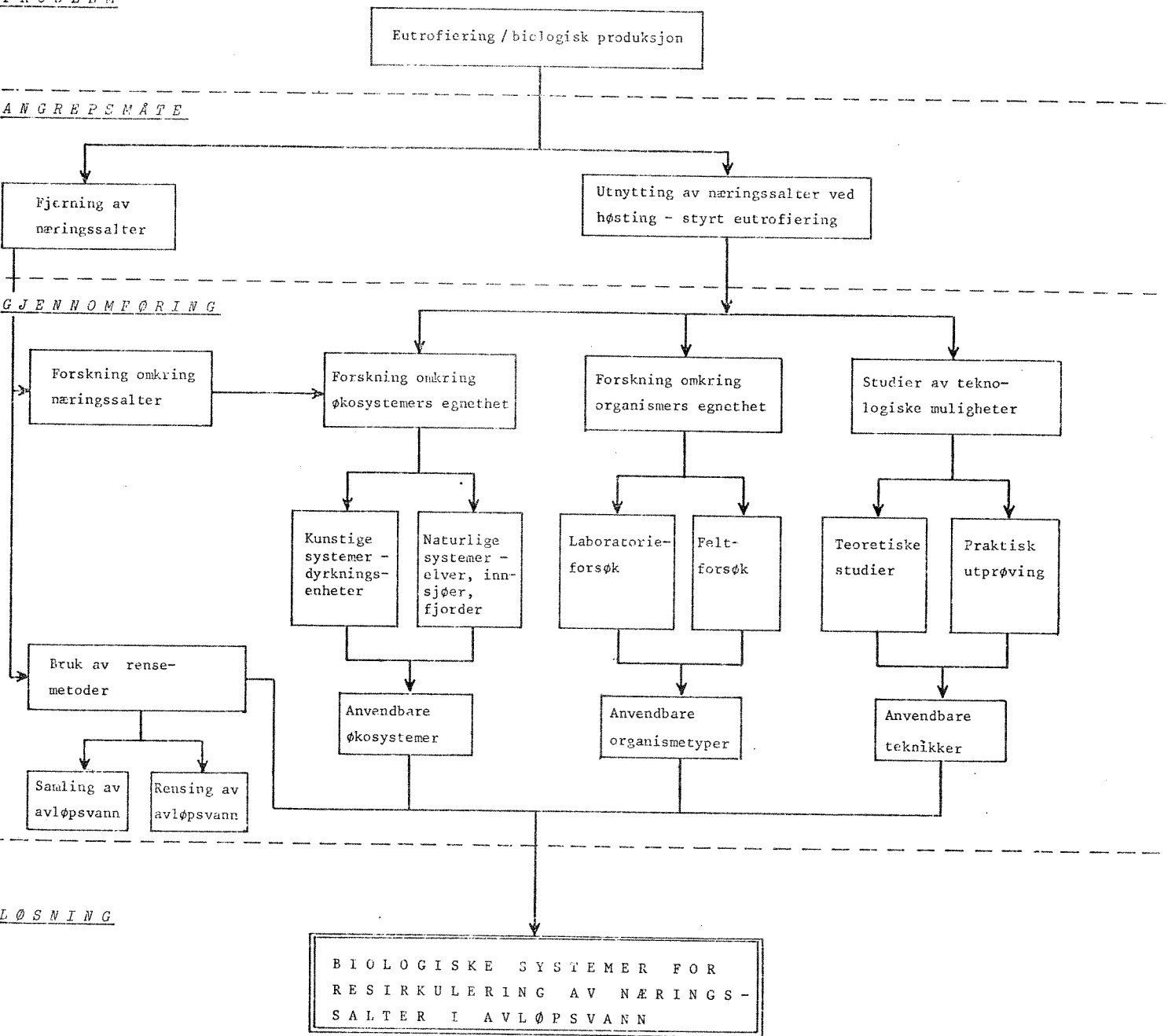


Fig. 20. Skjematisk oversikt over sammenhengen mellom nødvendige forskningsaktiviteter for å finne fram til egnede biologiske systemer for resirkulering av plantenæringsstoffer i avløpsvann.

Som figur 20 viser er det mange forskningsfelter som kan bidra til å løse problemer ved biologisk resirkulering. Fra flere vassdrag og fjorder foreligger det en betydelig datamengde. Vurderingene av disse data er imidlertid ikke foretatt ut fra problemstillingen biologisk resirkulering. Det vil derfor være nødvendig å vurdere resultatene på ny og eventuelt supplere foreliggende materiale med data fra nye undersøkelser

Både med hensyn til valg av organismer og dyrkningsenheter vil lokale forutsetninger og type avløpsvann være bestemmende. Forholdene varierer mye i de enkelte landsdeler og biologiske systemer for resirkulering vil måtte tilpasses dette. Det er samtidig en styrke at det er mulig å utvikle anlegg som kan tilpasses det spesielle tilfelle. Utvalget av organismer som kan benyttes spenner over en stor skala av voksebetingelser både når det gjelder ferskvann, brakkvann og saltvann.

Det er lite sannsynlig at et biologisk rensesystem basert på én organismetype vil kunne virke tilfredsstillende. De systemene som synes å ha noe for seg, er integrerte akvakultursystemer hvor rensingen foregår gjennom flere trofiske nivåer. Unntak fra dette kan være utnyttningen av *Scirpus lacustris* eller tilsvarende vannplanter. Men også her er det i realiteten et fler-artsystem. En vesentlig effekt forårsakes av mikroorganismer av ulike slag knyttet til *S. lacustris*-assosiasjonen.

Såvel marine systemer som ferskvannssystemer bør tas i bruk. Hvilke systemer man bør velge vil være avhengig av lokale forhold og utslippstype. Det er generelt sett to typer av utslipp som gjør seg gjeldende. Den ene typen er punktutslipp, som ytrer seg som et veldefinert utslipp i ett punkt, ofte fra et renseanlegg. Den andre typen utslipp er de diffuse eller spredte utslippene. For disse utslippene synes rensing ved resirkulering gjennom biologiske systemer å være eneste løsning.

5.3 Produksjon og høsting av organismer på ulike trofiske nivåer

Både med utgangspunkt i naturvitenskapelig teori og praktiske erfaringer er det riktig å satse på bruk av biologiske systemer for resirkulering av plantenæringsstoffer i avløpsvann. Det er dokumentert i eksperimentelle undersøkelser og i pilotanlegg at biologiske systemer kan anvendes til effektiv rensing av avløpsvann og kontrollert produksjon av verdifull biomasse. Det fremgår imidlertid også at denne teknologien bare er i sin første, prøvende periode når det gjelder reell anvendelse i samfunnsmessig sammenheng. Ut over faglige problemer er det et kompleks av spørsmål som må løses angående økonomiske, politiske og administrative begrensninger for en utvikling etter slike linjer (NOU 1973:51).

Fremgangsmåtene omfatter både bruk av akvakultursystemer og styrt produksjon i selve resipienten. Nødvendig ressursanvendelse vil bl.a. være:

- vannvolum
- vanntype (ferskvann, saltvann)
- kulturområde (gruntvannsområde, frie vannmasser)
- organismeutvalg (planter, dyr)
- mineralnæringsstoffer
- energi (sollys, annen energi)
- kapital
- arbeidsinnsats

Både ressursbruk og produksjonsform vil være avhengig av geografiske forutsetninger og den avkastningen som tilsiktes.

Det er flere steder gjort undersøkelser om organismesamfunn med arter fra saltvann, brakkvann og ferskvann kan brukes til slike resirkuleringsformål (Ryther et al. 1972). Prinsippet som anvendes, er en styrt produksjon gjennom delvis selveterende organismesamfunn og delvis monokulturer av utvalgte arter (fig. 21). Fremgangsmåten representerer oppbygging av næringskjeder under kontrollerte betingelser. Fordelen med å bruke akvakultursystemer med flere arter er stor, viktig er bl.a. at en betydelig driftssikkerhet og produksjonseffektivitet kan oppnås (Huguenin and Ryther 1974). Verdifull produksjon i slike systemer kan omfatte planter og dyr til forstoffer eller videreforedling. Som eksempel kan nevnes forsøkssystemer i Tyskland med produksjon av

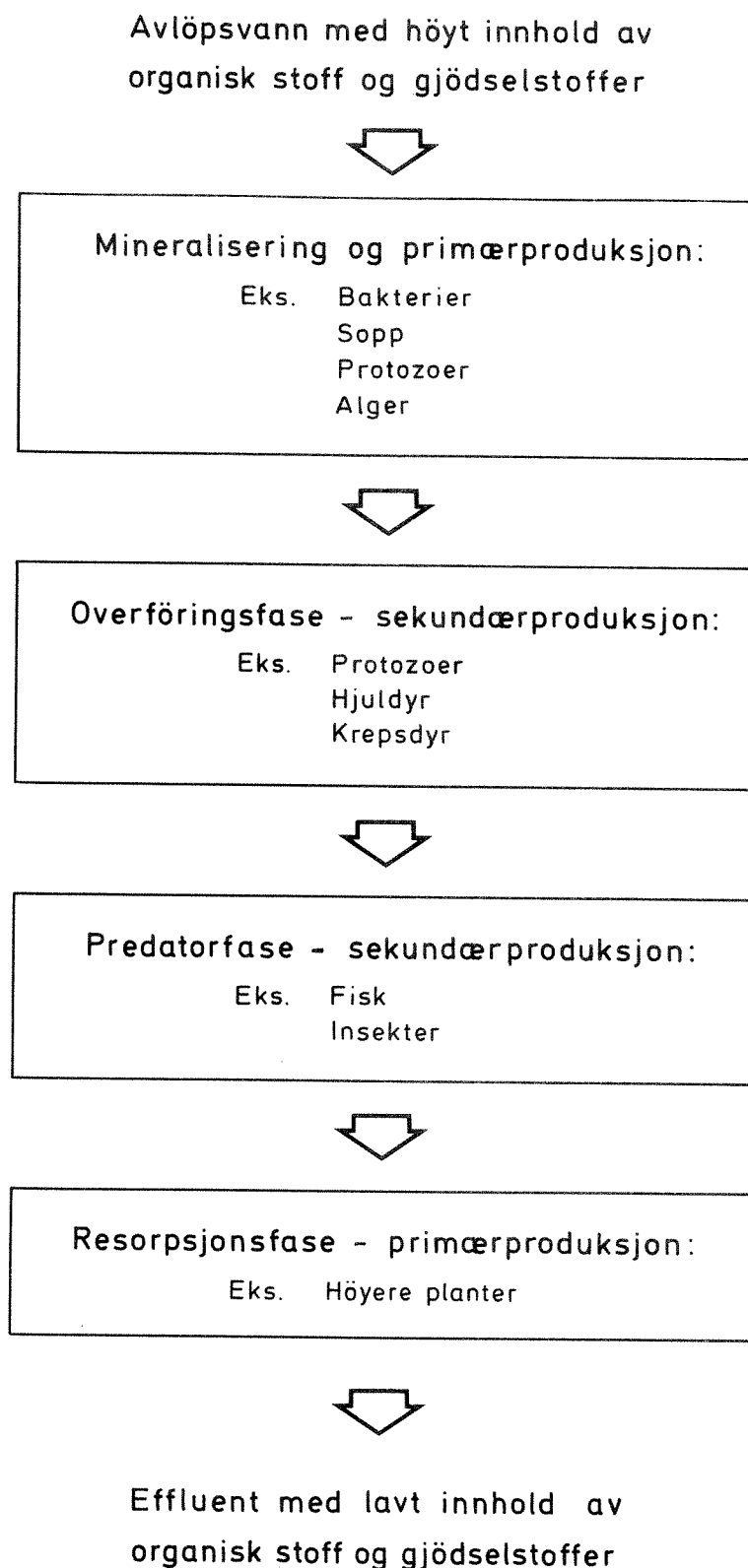


Fig.21 Biologisk aktivitet i akvakultursystemer med styrt produksjon

andmat (*Lemna minor*) som ble benyttet til oppforing av griser. Det var mulig å oppnå et årlig utbytte av andmat på omlag 16000 kg/hektar fra tre innhøstninger i vegetasjonsperioden. Plantemateriale av *Lemna*-arter er særlig verdifullt som fôr på grunn av høyt proteininnhold og lite fiberstoffer (Schulz 1972).

Styrt produksjon i elver, innsjøer og fjorder er den mest kompliserte metoden til kontrollert resirkulering av plantenæringsstoffer, men vil kanskje bli den viktigste løsningen av tilbakeføringsproblemet i fremtiden. Det er nedlagt et stort forskningsarbeid for å få forståelse og kunnskap om produksjonssystemene i vannforekomstene. Fremdeles er det imidlertid bare en første, hovedsakelig innsikt som er oppnådd (Golterman 1975). For å kunne styre produksjonen i en naturlig resipient vil det være nødvendig med en betydelig økning i forståelsen av omsetning og dynamikk i de komplekse økosystemene som vannforekomstene representerer (Likens 1972). Dette forhindrer ikke at det vil være verdifulle kunnskaper som kan fremkomme av forskningsvirksomhet knyttet til systematisk høsting av primærprodusenter og andre organismer i naturlige populasjoner (Langeland 1977). Erfaring fra slike undersøkelser vil være nødvendige forutsetninger for å komme videre mot en styrt eutrofiering og nyttiggjøring av høstbar produksjon i vannforekomstene.

Bruk av biologiske produksjonssystemer i vann til resirkuleringsformål bør utvikles parallelt med bruk av tilsvarende terrestriske systemer (Skaarer 1976). Det er flere steder innledet forskningsarbeid for å finne fram til egnede kombinasjoner av akvatiske og terrestriske organismer til å beskytte vannforekomstene mot eutrofiering og kunne nyttiggjøre produksjonspotensialet i plantenæringsstoffene (Woodwell et al. 1974, Hunt et al. 1976).

5.4 Sammenfattende konklusjon

Utredningen har hatt som siktemål å gi svar på og belyse følgende spørsmål:

- Hvilke muligheter for resirkulering av plantenæringsstoffer i vann foreligger?

- Hva er hittil oppnådd i andre land på dette feltet?
- Hva er mulighetene, begrensningene og potensialet i Norge med hensyn til resirkulering av plantenæringsstoffer i avløpsvann?
- Hva vil kostnadene være ved en slik avfallsbehandling sammenlignet med konvensjonell renseteknologi?
- Hvordan bør eventuelt videre arbeid organiseres og hva bør gjøres?

Som en kortfattet konklusjon på disse spørsmålene kan det slås fast at:

- Mulighetene for kontrollert resirkulering av plantenæringsstoffer i vann foreligger. Erfaringer som er innvunnet i andre land på dette feltet, viser at det er realistisk å anta at anvendelse av biologiske resirkuleringssystemer er praktisk gjennomførbart.
- Selv om det i Norge er naturgitte begrensninger for vekst i deler av året, vil det være mulig å anvende biologiske resirkulerings-systemer hos oss. For regulering av planteveksten er lyset viktigere enn temperaturen. For norske forhold er dette en fordel.

Det er rimelig å anta at hygieniske problemer kan løses under norske forhold.

- Økonomien i en avfallsbehandling basert på biologisk resirkulering, er vanskelig å anslå. For mange ukjente faktorer gjør seg gjeldende, bl.a. verdien av økt beskyttelse av vannforekomstene og produkter som høstes. Det synes rimelig å anta at kostnadene ikke blir større enn ved konvensjonell rensing.
- Utviklingsarbeid og forskning på biologisk resirkulering bør gjennomføres. På grunn av forskningsfeltets størrelse og tverrfaglighet bør ulike forskningsmiljøer engasjeres i arbeidet. For å utarbeide et forskningsprogram for årene fremover vil det være nødvendig med innsats fra flere forskningsmiljøer.

Det bør så snart som mulig settes i gang praktiske forsøk for å utprøve brukbarheten av enkle biologiske resirkuleringssystemer under norske forhold:

- Organismers egnethet. Forsøk med utvalgte primærprodusenter må utføres. Organismer som forener hurtig vekst, høyt proteinutbytte og ingen toksisitet bør fortrinnsvis velges. Deres egenskaper og produksjonspotensiale under forskjellige dyrkingsbetingelser må prøves ut.
- Høstingsforsøk. Disse må gjennomføres både i sammenheng med kunstige anlegg for resirkulering og i egnede, mindre lokaliteter av sterkt eutrofierte innsjøer og elver. Organismer på ulike trofiske nivå må inngå.
- Utprøving av dyrkningsenheter. Dette bør planlegges og gjennomføres i liten skala. Det er viktig å få erfaring om brukbarheten, av forskjellige utforminger og deres muligheter til forsøksvirksomhet.

Diffuse tilførsler medfører i dag et stort vannforurensningsproblem, og avløpsvann fra fritidsområder (campingplasser etc.) tilføres resipienter delvis ukontrollert. Biologisk resirkulering vil kunne være særlig egnet til å få dette under kontroll. Kunnskap om virkningsgrad, produktivitet, hygieniske problemer og praktiske begrensninger må innvinnes.

6. LITTERATURHENVISNINGER

- Allen, G.H., Busch, R. og Morton, A.: Preliminary bacteriological experiences with waste-water fertilized marine fish ponds, Humboldt Bay, northern California. FAO Technical Conference on Aquaculture. Kyoto, Japan 1976.
- Allen, E.H. and Hopher, B.: Recycling of wastes through aquaculture and constraints to wider application. FAO Technical Conference on Aquaculture, Kyoto, Japan 1976.
- Bacon, F.: *Novum Organum*, London 1620.
- Baalsrud, K.: Oslofjorden og dens forurensningsproblemer; undersøkelsen 1962-1965. *Vann*, vol 2, No 4. 1967.
- Bare, W.F.R., Jones, N.B. and Middlebrooks, E.J.: Algae Removal Using dissolved Air Flotation. *Jour. Water Poll. Control Fed.* 47 1975. 153-163.
- Bærum kommune, Kloakkplankontoret: Rapport om undersøkelse på forekomst av belastede komponenter i slam, 1975.
- Bø, G.: Bakteriologisk undersøkning av kloakkslam frå Skarpsno og Bekkelaget rensesstasjon. Rapport fra NVH, under publisering.
- Carpenter, R.L. et al. The evaluation of microbial pathogens in sewage and sewage-grown fish. EPA - 660/2-74-041. 1974.
- Christensen, T.: Botanik. Bind II Systematisk botanik, nr. 2, Alger. København 1962.
- Cornwell, D., Zoltek, J., Patrinely, C., Furman, T. and Kim, J.: Nutrient removal by water hyacinths. *Journal Water Pollution Control Federation*, Vol. 49, No. 1, 57-65, 1977.
- Crofts, A.R.: The potential of bacterial photosynthesis in recycling of human wastes. *Proc. R. Soc. Lond. B.* 179, 209-219, 1971
- Curds, C.R. and Hawkes, H.A.: *Ecological Aspects of Used-water treatment. Vol. 1. The Organisms and their Ecology.* Acad. Press, 1975.
- Devik, O.: *Harvesting Polluted Waters. Waste Heat and Nutrient-Loaded effluents in the Aquaculture.* Plenum Press, New York, 1976.
- Eikum, A.S.: Driftserfaringer fra kloakkrensaneanlegg i Norge. *Vann* nr. 3, 1977.
- EPA: Evaluation for land application systems. Technical Bulletin. EPA - 430/9-75-001. MCD-07, Mars 1975.
- FAO: FAO Technical Conference on Aquaculture, Kyoto, Japan, 1976.
- Framstad, K.: Hygieniske forhold i avløpsvann. *Miljøhygiene*, NVH 1974.
- Furia, E.W.: Biological Alternatives in Perspective: More than Academic Curiosities. "Biological Control of Water Pollution", Editors J. Tombier and R.W. Person Jr., University of Pennsylvania Press, 1976.

- Goldman, J.C. and Ryther, J.H.: Nutrient Transformations in Mass Cultures of Marine Algae. *J.Env.Eng.Div.* 101 EE3, 352, 1973.
- Golterman, H.L.: *Physiological limnology*. Amsterdam 1975.
- Golueke, C.G. og Oswald, W.J.: An algal Regenerative System for Single-Family Farms and Villages. *IRCWD News*, No. 10/11, Oct. 1976.
- Grytbakk, A.: Haugatjern i Brekken. Observasjoner fra 1958-1965. Norsk institutt for vannforskning B-4/69. Blindern 1971.
- Haugen, I. og Nilsen, G.: Undersøkelser av vann- og forurensningsproblemer ved kjernekraftverk. O-177/70. Norsk institutt for vannforskning, juni 1973.
- Heldal 1976: Reiserapport fra studiereise til Tyskland 16. - 20. august 1976. NIVA, Blindern 1976.
- Hepher, B. & Schroeder, G.L.: Wastewater utilization in Israeli aquaculture. In The international conference on the renovation and recycling of wastewater through aquatic and terrestrial systems, edited by F. D'Itri, Bellagio, Italy 16. - 21. juli 1975. In press.
- Huguenin, J. and Ryther, J.: Experiences with a marine aquaculture-tertiary sewage treatment complex. In wastewater use in production of food and fiber, 377-386, EPA - 660/2 - 74 - 041, Washington, June 1974.
- Huitfeldt-Kaas, H.: Haugatjernet. *Stangfiskeren* 1934.
- Hunt, P.G. and Lee, C.R.: Land treatment of wastewater by overland flow for improved water quality. in: *Biological control of water pollution*, edited by Joachim Tourbier and Robert W. Pierson, University of Pennsylvania Press 1976.
- Höeg, O.A.: Planter og tradisjon, Norges almenvitenskapelige forskningsråd, Oslo 1974.
- Janssen, W.A.: Fish as potential vectors of human bacterial diseases. *Spec. Publ. Am. Fish. Soc.*, Vol 5: 284-90. 1970.
- Janssen, W.A. and Heyers, C.D.: Fish: Serologic Evidence of Infection with Human Pathogens. *Science*, Vol 159, 547-548, 1968.
- de Jong, J.: Bulrush and Reed Ponds. Purification of sewage with the aid of ponds with bulrushes or reeds. *Int. Conf. on Biological Water-quality Improvement Alternatives* 3-5. March 1975.
- Kobayashi, M.: Utilization of photosynthetic Bacteria *Proc. IV. IFS: Ferment. Technol. Today*, 527-531, 1972.
- Kobayashi, M. and Tchan, Y.T.: Treatment of industrial waste solutions and production of useful bi-products using a photosynthetic bacterial method. *Water Research Pergamin Press*, Vol. 7, 1219-1224, 1973.

- Kveseth, N.: Analyse av kloakkslam fra Bekkelaget med henblikk på stabile organiske klorforbindelser ved hjelp av gasskromatografi i 1972 og 1974. Rapport fra NVH, under publisering.
- Langeland, A.: Beskatning av fiskepopulasjoner - tiltak for regulering av økologisk likevekt i innsjøer. Trondheim 8. februar 1977.
- Lapointe, B.E., Lavergne, D.W. Goldman, J.C. and Ryther, J.H.: The mass outdoor culture of macroscopic marine algae. *Algaculture*, 8(1), 1976.
- Likens, G.E.: Nutrients and eutrophication: The limiting-nutrient controversy. The American Society of Limnology and Oceanography. Special Symposia, Volum 1, 1-328, 1972.
- Ling, S.W.: Travel Report. Visit to Taiwan and Hong Kong. Rome, FAO, FID/71/R7: 11 p. 1971.
- Lund, J.W.G.: Primary production and periodicity of phytoplankton. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 15. 1964.
- McGriff, Jr. E.C. & McKinney, R.E.: Activated algae: A nutrient removal process. Water & Sewage Works, November 1971.
- Melsom, S., Underdal, B. og Lunde, G.: Bestemmelse av sporelementer i kloakkslam ved hjelp av røntgenfluorescensanalyse II. SI-publ. KA-2, 1974.
- Merezhko, A.I.: Role of higher aquatic plants in the self-purification of lakes and streams. *Hydrobiological Journal*, number 4, 103-109, 1973.
- Neil, S.H.: The harvest of biological production as a means of improving effluents from sewage lagoons. Research Report No. 38. Ministry of Supply and Services. Canada 1976.
- Neish, I.C.: Developments in algae and seaweed culture. A progress Report. *The Commercial Fish Farmer*. Vol. 2, No. 5, 1976.
- NOU 1973: 51. Resirkulering og avfallsbehandling. Oversikt over resirkulering og avfallsbehandling i Norge i dag. Miljøverndepartementet.
- Nygård, J.J.: Hygiensike sider ved avfallsdeponering. NIVAs årbok 1973. Oslo 1974.
- Nyholm, Niels: Anvendelse af algedamme til næringssaltfjernelse. Litteraturredigert, Vandkvalitetsinstituttet, Danmark. 1976.
- De Pauw, N., Bruggeman, E. and Persoone, G.: Research on the tertiary treatment of swine waste by mass culturing of algae. Int.symp. on "Experimental use of algal cultures in limnology" Sandefjord, 26. - 28. oct. 1976.
- Provasoli, L.: Algal Nutrition and Eutrophication. In: Eutrophication: Causes, consequences, correctives. Proc. Symp. Univ. Wisconsin. June 11-15th 1967. Washington D.C. 1969.
- Ryther, J.H. and Dunstan, W.M.: Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in the coastal marine environment. *Science* 171, pp. 1008-1013. 1971.

- Ryther, J.H., Dunstan, W.M., Tenore, K.R. and Huguenin, J.E.: Controlled eutrophication - increasing food production from the sea by recycling human wastes. *Bio-Science*, Vol. 22, No. 3, 144-153, 1972.
- Ryther, J.H., Tenore, K.R., Goldman, J.C., Corewin, N., Huguenin, J.E., Gifford, C.E. and Vaughn, J.M.: The use of flowing biological systems in aquaculture, sewage treatment, pollution assay and food-chain studies. Progress report NSF - RANN GI -32140. January 1, 1973 - December 31, 1973.
- Sculthorpe, C.C.: The biology of aquatic vascular plants. Edward Arnold Ltd., London 1971.
- Schulz, B.: Wasserlinsen. Die neue Brehm-Bücherei, Wittenberg Lutherstadt, 1972.
- Sea Technology: Heated Water From Power Plant Put To Good Use By Oyster Farm. February 1975.
- Seidel, K.: Abbau von *Bacterium coli* durch höhere Wasserpflanzen. Die Naturwissenschaften 51. Jahrg. H. 16, s. 395, 1964.
- Seidel, K.: Reinigung von Gewässern durch höhere Pflanzen. Die Naturwissenschaften 53. Jahrg., H.12, 289-297, 1966.
- Seidel, K.: Überraschende Möglichkeiten der Nutzung Höherer Wasserpflanzen. Mitteilungen aus der Max-Planck-Gesellschaft H.6, 479-494, 1974.
- Sekoulov, Ivan: Die Phosphorelimination mit Hilfe von kontinuierlich belichteten Blaualgen. Forschungs- und Entwicklungsinstitut für Industrie- und Siedlungswasserwirtschaft sowie Abfallwirtschaft e.V. in Stuttgart - München, 1972.
- Shewan, J.M.: Food poisoning by fish and fishery products. "Fish as food", ed. G. Borgstrøm, Vol 2. Nutrition, sanitation and utilization. New York, Academic Press, 443-466, 1962.
- Skulberg, O.: Algal problems related to the eutrophication of European water supplies, and a bioassay method to assess fertilizing influences of pollution inland waters. *Algae and Man*, New York, 1964.
- Skulberg, O.: Vannblomstdannende blågrønnalger i Norge og deres betydning ved studiet av vannforekomstenes kulturpåvirkning. Nord. Jordbrugsforsk., 180-190. 1965.
- Skulberg, O.: Studies on the eutrophication of some Norwegian inland waters. Mitt. Internat. Verein. Limnol. 14. 187-201, 1968.
- Skulberg, O.: Glåma i Østerdalen. Påvirkninger av biologiske forhold. Vann, No 4. 1-4, 1970a.
- Skulberg, O.: The importance of algal cultures for the assessment of the eutrophication of the Oslofjord. *Helgoländer wiss. Meeresuntres.* Vol. 20. 1970b.

- Skulberg, O.: Eutrofiering og biologiske forandringer i noen østnorske vannforekomster. "Forurensning og biologisk miljøvern", ed. I. Mysterud. Universitetsforlaget, 1971.
- Skulberg, O.: Some observation on red-coloured species of *Oscillatoria* (Cyanophyceae) in nutrient-enriched lakes of southern Norway. SIL XX Congress. Copenhagen 7. - 14. August 1977.
- Skulberg, O. og Kotai, J.: Utredning om begroingsforhold og vannkvalitet for Østerdalsskjønnet. Vassdragsstrekningen fra Stai til samløpet med Rena. Undersøkelse i vegetasjonsperioden 1977. NIVA 0-130/76. Blindern, 1977.
- Skulberg, O.: Vegetabilske førmidler - akvakultur. Momenter om bruk av alger og høyere planter. Norges landbruksvitenskapelige forskningsråd. Muligheter for å erstatte animalske førmidler i akvakultur, 24-30, Oslo 1974.
- Skaarer, N.: Bruk av resorpsjon som mottaker av avløpsvann. PRA-prosjekt 3.5 - Infiltrasjon av avløpsvann og slam. Norges Landbrukshøgskole, desember 1976.
- Small, M.M.: Brookhaven's Two Sewage Treatment System. Compost Science, Vol. 16, No. 5 1975.
- Sonstegard, R.A.: The Relationship between environmental factors and viruses in the inductions of fish tumors. "The International Conference on the Renovation and Recycling of wastewater through aquatic and terrestrial systems ", ed. F.D'Itri. Bellagio, Italia 1975. Michigan State University, Institute of Water Research.
- Statistisk årbok 1976: Statistisk sentralbyrå. Oslo 1976.
- Soeder, Carl J.: The Technical Production of Microalgae and its prospects in Marine Aquaculture. NATO Workshop, Bergen 1974.
- Sømme, J.D.: Ørretboka. Ørretfiske, ferskvannsfiske, fiskekultur. Jacob Dybwads forlag, Oslo 1944.
- Talling, J.F.: The underwater light elimate as a controlling factor in the production ecology of freshwater phytoplankton. Mitt.Internat.Verein. Limnol. 19. 1971.
- Toms, I.P., Owens, M., Hall, J.A. and Mindenhall, M.J.: Observations on the performance of polishing Lagoons at a Large Regional Works. Wat.Pollut. Control, 383-401, 1975.
- Traaen, T.A.: Renneforsøk og laboratorieundersøkelser til belysning av ulike kloakkrennemethoders virkning på biologiske forhold i resipienter. Undersøkelser i 1974. NIVA 1975.
- Traaen, T.S.: Vassdragsbiologi. Virkninger av rensetekniske tiltak. PRA 13. Oslo 1976.

Vaas, K.F.: Notes on fresh water fish culture in domestic sewage in the tropics. Landbou (Batavia), 20: 331-348, 1948.

Wolverton, B.C., Barlow, R.M. and McDonald, R.C.: Application of vascular aquatic plants for pollution removal, energi and food production in a biological system. In "Biological control of water pollution" edited by Joachim Tourbien and Robert W. Pierson Jr., University of Pennsylvania Press 1976.

Woodwell, G., Ballard, J., Clinton, J., Small, M. and Pecan, E.: An experiment in the eutrophication of terrestrial ecosystems with sewage: Evidence of nitrification in a late successional forest. In Wastewater use in production of food and fiber, 215-228, EPA - 660/2 - 74 - 041, Washington, June 1974.

Woynarovich, E.: The feasibility of combining animal husbandry with fish farming, with special reference to duck and pig production. FAO Technical conference on Aquaculture. Kyoto, Japan 1976.

7. VEDLEGG

7.1 Bibliografi

- Al-Layla, M.A. and Middlebrooks, E.J.: Effect of Temperature on algal Removal from Waste-water Stabilization Ponds by Alum Coagulation. Water Res. 9 1975. 873-879.
- Allen, G.H., Busch, R. og Morton, A.: Preliminary bacteriological experiences with waste-water-fertilized marine fish ponds, Humboldt Bay, northern California. FAO Technical Conference on Aquaculture. Kyoto, Japan 1976.
- Allen, E.H. and Hopher, B.: Recycling of wastes through aquaculture and constraints to wider application. FAO Technical Conference on Aquaculture, Kyoto, Japan 1976.
- Arvin, E. og Dahi, E.: Desinfektion Inden For Teknisk Hygiejne. Problemstilling, Tekniske Muligheder og Forskningsbehov. Laboratoriet for teknisk hygiejne. Danmarks Tekn. Højskole 1974.
- Baalsrud, K.: Oslofjorden og dens forurensningsproblemer; undersøkelsen 1962-1965. Vann, Vol. 2, No 4. 1967.
- Balmér, Peter: Landsplan for bruken av vannressursene. Arbeidsrapport nr. 1. Kostnader for tiltak i byer og tettsteder, spredt boligbygging, fritidsbebyggelse, m.v. Miljøverndepartementet. NIVA 1975.
- Balmér, P., Glomnes, J., Lindholm, O. and Saltveit, N.: Management of urban runoff and wastewater in the Oslofjord area. Nordic Hydrological Conference 1976.
- Bare, W.F.R., Jones, N.B. and Middlebrooks, E.J.: Algae Removal Using dissolved Air Flotation. Jour. Water Poll. Control Fed. 47 1975. 153-163.
- Benschel, J.H.: Shoreland corridor regulations to protect lakes. In Eutrophication: Causes, Consequences, Correctives. National Academy of Sciences. Washington 1969.
- Bentley, M.: Commercial hydroponics. Johannesburg 1959.
- Berg, G.: Microbiology - detection, occurrence and removal of viruses. J. Water Poll. Contr. Fed. 48, 1410-1416, 1976.
- Buras, N.: Concentration of enteric viruses in wastewater and effluent: A two year survey. Water Research, 10, 295-298, 1976.
- Bærum kommune, Kloakkplankontoret: Rapport om undersøkelse på forekomst av belastede komponenter i slam, 1975.
- Bø, G.: Bakteriologisk undersøkning av kloakkslam frå Skarpsno og Bekkelaget rensstasjon. Rapport fra NVH, under publisering.
- Caldwell Connell Engineers: Algae Harvesting from Sewage. Environmental Study report, 1. dept. of Environment Housing and Community Development. Bureau of Environmental Studies. Canberra 1976.

- Carlson, L. og Falk, J.: Urban hydrologi.
Chalmers tekniske højskole, VA-teknik Publikation B 76: 6, 1976.
- Carpenter, R.L. et al. The evaluation of microbial pathogens in sewage and sewage-grown fish. EPA - 660/2-74-041. 1974.
- Christensen, T.: Botanik. Bind II Systematisk botanik, nr. 2, Alger. København 1962.
- Cornwell, D., Zoltek, J., Patrinely, C., Furman, T. and Kim, J.: Nutrient removal by water hyacinther. Journal Water Pollution Control Federation, Vol. 49, No. 1, 57-65, 1977.
- Crofts, A.R.: The potential of bacterial photosynthesis in recycling of human wastes. Proc. R. Soc. Lond. B. 179, 209-219, 1971.
- Culley, D.D. jr., Epps, E.A.: Use of duckweed for waste treatment and animal feed. J. Wat. Poll. Contr. Fed. 45 (2), 337-347, 1973.
- Curds, C.R. and Hawkes, H.A.: Ecological Aspects of Used-water treatment. Vol. 1. The Organisms and their Ecology. Acad. Press, 1975.
- Davis, J.A. & J. Jacknow: Heavy metals in wastewater in three urban areas. J. Water Poll. Contr. Fed. 47, 2292-2297, 1975.
- Devik, O.: Harvesting Polluted Waters. Waste Heat and Nutrient Loaded effluents in the Aquaculture. Plenum Press, New York, 1976.
- Dinges, R.: The availability of *Daphnia* for water quality improvement and as an animal food source. In "Wastewater use in production of food and fiber", 142-161, EPA - 660/2 - 74 - 041, Washington, June 1974.
- D'Itri, F.M.: Wastewater renovation and rene through aquatic and terrestrial systems. Proc. of "The International Conference on the Renovation and Rense of Wastewater through Aquatic and Terrestrial Systems". Villa Serbelloni, Bellagio, Italy, July 16.-21., 1975. In press.
- Dryden, F.D. et al.: Renovated Waste Water Creates Recreational Lake Ev. Sci. Technol. 2, 268-278, 1968
- Eikum, A.S.: Driftserfaringer fra Kloakkrenseanlegg i Norge. Vann, nr. 3, 1977.
- EPA: Evaluation for land application systems. Technical Bulletin. EPA - 430/9-75-001. MCD-07, Mars 1975.
- Esashi, Y. Shibasaki, T. and Saito, K.: Flowering responses of *Lemna Perpusilla* and *Lemna gibba* in relation to nitrate concentration in the culture medium. Plant Cell Physiol. 13(4), 623-631, 1972.
- FAO: Report of the FAO Technical Conference on Aquaculture. Kyoto, Japan, 26. May - 2. June 1976.
- Farstad, L.: Encelleprotein i relasjon til dagens proteinsituasjon. I: Resirkulering og avfallsbehandling, NOU 1973: 51, 52-68.
- Farstad, L., Underdal, B. og Næss, B.: Microbial, enzymological and nutritional aspects of preservation of different single-cell proteins by ionizing radiation. In press.

- Folkman, Y., Wachs, A.M.: Removal of algae from Stabilization Pond Effluents by Lime Treatment. *Water Res.* 7, 419, 1973.
- Forstner, M.J.: Parasitologische Probleme bei der Beseitigung von Abwasser, Abwasserschlämmen und abfällen landwirtschaftlicher Nutztiere. *Tierärztliche Praxis* 1, 119-126, 1973.
- Framstad, K.: Hygieniske forhold i avløpsvann. *Miljøhygiene*, NVH 1974.
- Friedman, A., Peaks, D. and Nichols, R.: Algae separation from oxidation pond effluents. *J.Wat.Poll.Contr.Fed.* 49, (1), 111-119, 1977.
- Furia, E.W.: "Biological Alternatives in Perspective: More than Academic Curiosities. Biological Control of Water Pollution", Editors J. Tombier and R.W. Person Jr., University of Pennsylvania Press 1976.
- Gerba, C.P. and Schaiberger, G.E.: Effect of particulates on virus survival in seawater. *J.Wat.Poll. Contr. Fed.* 47, (1), 93-103.
- Goldman, J.C. and Ryther, J.H.: Nutrient Transformations in Mass Cultures of Marine Algae. *J.Env.Eng. Div.* 101 EE3, 352, 1973.
- Goldman, J.C., Tenore, K.R. and Stanley, H.I.: Inorganic nitrogen removal in a combined tertiary treatment - Marine aquaculture system. II Algal bioassays. *Wat.Res.* 8, 55-59, 1974.
- Golterman, H.L.: *Physiological limnology*. Amsterdam 1975.
- Golueke, C.G. et al.: Harvesting and Processing Sewage-Grown Planktonic Algae. *Jour. Water Poll. Control Fed.* 37, 471, 1965.
- Golueke, C.G., Oswald, W.J. and Gotaas, H.B.: *Animal Food Production From Waste Waters*.
- Golueke, C.G. og Oswald, W.J.: An algal Regenerative System for Single-Family Farms and Villages. *IRCWD News*, No.10/11, Oct. 1976.
- Gotaas, H.B., Oswald, W.J. and Ludwig, H.F.: Photosynthetic Reclamation of Organic Wastes. *The Scientific Monthly* 79 No. 6, 1954.
- Grunnet, K.: *Salmonella in sewage and receiving waters*. Diss. Institute of Hygiene, University of Århus, 1975.
- Grytbakk, A.: *Haugatjern i Brekken. Observasjoner fra 1958-1965*. Norsk institutt for vannforskning. B-4/69. Blindern 1971.
- Harrison, R.M., Perry, R. & Wellings, R.A.: Polynuclear aromatic hydrocarbons in raw, portable and waste waters. *Water Research*, 9, 331-346, 1975.
- Haugen, I. og Nilsen, G.: *Undersøkelser av vann- og forurensningsproblemer ved kjernekraftverk. O-177/70*. Norsk institutt for vannforskning, juni 1973.

- Haugen, I. og Nilsen, G.: Referat fra reise til USA for å besøke institusjoner som arbeider med biologiske problemer i forbindelse med kjernekraftverk 24. mars - 10. april 1974. O-177/70. NIVA Blindern 5. juni 1974.
- Haugen, I. og Skulberg, O.: Bruk av biologiske systemer for resirkulering av plantenæringsstoffer i avløpsvann - Styrt eutrofiering. Prosjektforslag til PRA-komiteen fra NIVA 28/8-75.
- Haugen, I. og Skulberg, O.: Bruk av biologiske systemer for resirkulering av plantenæringsstoffer i avløpsvann - styrt eutrofiering. O-28/76. Fremdriftsrapport. Blindern 24. september 1976.
- Heldal 1976: Reiserapport fra studiereise til Tyskland 16. - 20. august 1976. NIVA, Blindern 1976.
- Helsedirektoratet, Hygienekontoret: Hygienisk vurdering av kloakkslam. En vegledning til helserådene, 1976.
- Hemens, J., and Mason, M.H.: Sewage Nutrient Removal by a Shallow Algal Stream. *Wat.Res.* 2, 277-287, 1968.
- Hepher, B. & Schroeder, G.L.: Wastewater utilization in Israeli aquaculture. In The international conference on the renovation and recycling of wastewater through aquatic and terrestrial systems, edited by F. D'Itri, Bellagio, Italy 16. - 21. juli 1975. In press.
- Hintz, H.F., Heitman, H. Jr., Weir, W.C., Torell, D.T. and Meyer, J.H.: Nutritive Value of Algae Grown on Sewage. *Journ.Animal Sci.* 25 675, 1966.
- Hodgson, G.L.: Effects of temperature on the growth and development of *Lemna minor* under conditions of natural daylight. *Annals of Botany* 34 (135), 365-381, 1970.
- Huguenin, J. and Ryther, J.: Experiences with a marine aquaculture-tertiary sewage treatment complex. In wastewater use in production of food and fiber, 377-386, EPA - 660/2 - 74 - 041, Washington, June 1974.
- Huitfeldt-Kaas, H.: Haugatjernet. Stangfiskeren 1934.
- Hunken, K.-H., K.-H., Sekoulov, I.D. and Bardtke, D.: Tertiary Treatment of Biologically treated Waste Water by Means of an Algal Filter. *Wat.Res.Perg.Press* 5, 453-457, 1971.
- Hunt, P.G. and Lee, C.R.: Land treatment of wastewater by overland flow for improved water quality. in: Biological control of water pollution, edited by Joachim Tourbier and Robert W. Pierson, University of Pennsylvania Press, 1976.
- Höeg, O.A.: Planter og tradisjon, Norges almenvitenskapelige forskningsråd, Oslo 1974.
- Janssen, W.A.: Fish as potential vectors of human bacterial diseases. *Spec. Publ. Am. Fish. Soc.*, Vol 5: 284-90. 1970.
- Janssen, W.A. og Meyers, C.D.: Fish: Serologic Evidence of Infection with Human Pathogens. *Science*, Vol 159, 547-548, 1968.

- Jenkins, S.H. (ed.), Proceedings of the 6th International Conference held in Jerusalem. Adv. in Water Poll. Res. 1972.
- de Jong, J.: Bulrush and Reed Ponds. Purification of sewage with the aid of ponds with bulrushes or reeds. Int. Conf. on Biological Waterquality Improvement Alternatives 3-5. March 1975.
- Kobayashi, M. and Nakanishi, H.: Construction of a Purification Plant for Polluted Water Using Photosynthetic Bacteria. J. Ferment. Technol., Vol. 49, No. 9, 817-825, 1971.
- Kobayashi, M.: Utilization of photosynthetic Bacteria Proc. IV. IFS: . Ferment. Technol. Today, 527-531, 1972.
- Kobayashi, M. and Tchan, Y.T.: Treatment of industrial waste solutions and production of useful bi-products using a photosynthetic bacterial method. Water Research Pergamon Press, Vol. 7, 1219-1224, 1973.
- Kok, T.: Die Reiniging van afvalwater van een kampeerterrein met behulp van een biezenveld. H_2O 7, nr. 24, 537-543, 1974.
- Kotai, J.: Referat fra studiereise i Ungarn 1976. Norsk institutt for vannforskning.
- Krongaard Kristensen, K.: Vandhygiejne, foreliggende viden og forskningsbehov. Rapport til Vandkvalitetsinstituttet, ATV. 293 s. Danmark 1974.
- Kveseth, N.: Analyse av kloakkslam fra Bekkelaget med henblikk på stabile organiske klorforbindelser ved hjelp av gasskromatografi i 1972 og 1974. Rapport fra NVH, under publisering.
- Lance, Clarence J.: Fate of nitrogen in sewage effluent. Journ. of the Irrigation and Drainage Div. ASCE, 101, 131-144, 1975.
- Langeland, A.: Beskatning av fiskepopulasjoner - tiltak for regulering av økologisk likevekt i innsjøer. Trondheim 8. februar 1977.
- Lapointe, B.E., Lavergne, D.W., Goldman, J.C. and Ryther, J.H.: The mass outdoor culture of macroscopic marine algae. Aquaculture, 8(1), 1976.
- Likens, G.E.: Nutrients and eutrophication: The limiting-nutrient controversy. The American Society of Limnology and Oceanography. Special Symposia, Volum 1, 1-328, 1972
- Ling, S.W.: Travel Report. Visit to Taiwan and Hong Kong. Rome, FAO, FID/71/R7: 11 p. 1971.
- Lund, J.W.G.: Primary production and periodicity of phytoplankton. Verh. Internat. Verein. Limnol. 15, 1964.
- Lunde, E.: Report on a working group on bacteriological and virological examination of water. Water Research, 10, 177-178, 1976.
- McGriff, Jr. E.C. and McKinney, R.E.: Activated algae: A nutrient removal process. Water & Sewage Works, November 1971.

- McGriff, Jr.E.C. and McKinney, R.E.: The removal of nutrient and organics by Activated Algae. *Water Res.* 6, 1155-1164, 1972.
- Melsom, S., Underdal, B., og Lunde, G.: Bestemmelse av sporelementer i kloakkslam ved hjelp av røntgenfluorescensanalyse II. SI-publ. KA-2, 1974.
- Merezhko, A.I.: Role of higher aquatic plants in the self-purification of lakes and streams. *Hydrobiological Journal*, number 4, 103-109, 1973.
- Middlebrooks, E.J., Porcella, D.B., Gearheart, R.A., Marshall, G.R., Reynolds, J.H., Grenney, W.J.: Techniques for Algae Removal from Waste Water Stabilization Ponds. *Jour. Wat. Pollut. Control Fed.* 46, 2676, 1974.
- Miljøhygiene, Kompendium ved Veterinærhygienisk Forenings kurs, 1976, red. I. Hellesnes.
- Neil, S.H.: The harvest of biological production as a means of improving effluents from sewage lagoons. Research Report No. 38. Ministry of Supply and Services. Canada 1976.
- Neish, I.C.: Developments in algae and seaweed culture. A progress Report. *The Commercial Fish Farmer*. Vol. 2, No. 5, 1976.
- Nilsen, G.: Opplegg for studium av eksperimentelle organismesamfunn på Solbergstranda. Internt notat. NIVA 1976.
- NOU 1973: 51. Resirkulering og avfallsbehandling. Oversikt over resirkulering og avfallsbehandling i Norge i dag. Miljøverndepartementet.
- NOU 1976: 47: Norges offentlige utredninger. Miljøvernpolitikken. Funksjonsfordeling og administrasjonsordninger. Universitetsforlaget.
- Nyholm, Niels. Anvendelse af algedamme til næringssaltfjernelse. Litteraturredport, Vandkvalitetsinstituttet, Danmark 1976.
- Nyholm, N. og Sørensen, P.E.: Miljøprosjekter, 4: Forsøg med algedamme ved Nakskov Indrefjord. Utført av Vandkvalitetsinstituttet, ATV for miljøstyrelsen i Danmark. København April 1977.
- Nygård J.J.: Hygieniske sider ved avfallsdeponering. NIVAs årbok 1975. Oslo 1974.
- Næss, B. & Slagsvold, P.: The nutritive value for growing pigs of single cell protein produced from sulphite spent liquor. *Acta vet. scand.* 14, 1973.
- Organiska miljögifter i vatten. 12. nordiska symposiet om vattenforskning, Visby 1976, Diverse innlegg.
- Palfi, A.B.: Virus content of sewage in different seasons in Hungary. *Acta microbiol. Acad. Sci. hung.*, 18, 231-237, 1971.

- Parker, D.S. and Uhte, W.R.: Technique for Algae Removal from Oxidation Ponds. Discussion. Jour. Water Poll. Contr. Fed. 47 (9), 1975. 2330.
- Parkhurst, J.D.: Advances in water Pollution Research Vol. 2. Proceedings Third Internat. Conf. Munich 1966. Proceedings Internat. Conf. Jerusalem 1972.
- Patil, H.S., Dodakundi, G.B. and Rodgi, S.S.: Succession in Zoo- and Phytoplankton in a Sewage Stabilization Pond. Hydrobiologia 47, 253-264, 1975.
- De Pauw, N., Bruggeman, E. and Persoone, G.: Research on the tertiary treatment of Swine waste by mass culturing of algae. Int. symp. on "Experimental use of algal cultures in limnology" Sandefjord, 26. - 28. oct. 1976.
- Pillay, T.V.R.: State of Aquaculture. The commercial Fish Farmer & Aquaculture News, 2 No. 5. 1976.
- Provasoli, L.: Algal Nutrition and Eutrophication. In: Eutrophication: Causes, consequences, correctives. Proc. Symp. Univ. Wisconsin. June 11-15th 1967. Washington D.C. 1969.
- Reasoner, D.J.: Microbiology - detection of bacterial pathogens and their occurrence. J. Water Poll. Contr. Fed. 48, 1397-1409, 1976.
- Ryther, J.H., Dunstan, W.M., Tenore, K.R. and Huguenin, J.E.: Controlled eutrophication - increasing food production from the sea by recycling human wastes. Bio-Science, Vol. 22, No. 3, 144-153, 1972.
- Ryther J.H. and Dunstan, W.M.: Nitrogen, phosphorous, and eutrophication in the coastal marine environment. Science 171, pp. 1008-1013, 1971,
- Ryther, K.R., Tenore, K.R., Goldman, J.C., Corwin, N., Huguening, J.E., Gifford, C.E. and Vaughn, J.M.: The use of flowing biological systems in aquaculture, sewage treatment, pollution assay and food-chain studies. Progress report NSF-RANN GI-32140. January 1, 1973 - December 31, 1973.
- Rørslett, B. og Skulberg, O.: Vegetasjonsundersøkelse i Østensjøvatn, Oslo kommune 1974-1975. Norsk institutt for vannforskning, Blindern, 10. mai 1976.
- Sculthorpe, C.C.: The biology of aquatic vascular plants. Edward Arnold Ltd., London 1971.
- Schroeder, G.L.: Some effects of Stocking Fish in Waste Treatment Ponds. Water Res. 9, 591-593, 1975.
- Schulz, B.: Wasserlinsen. Die neue Brehm- Bücherei. Wittenberg Lutherstadt, 1962.
- Sea Technology: Heated water from power plant put to good use by oysterfarm. February 1975.
- Seidel, K.: Abwässerreinigung auf biologischer Grundlage (II). Brochüre zur 25 Discussionstagung des Forschungskreises der Ernährungsindustrie.
- Seidel, K.: Die Flechtbinse, ein wertvolles Futtermittel. Der Fischwirt nr. 12, 1954.
- Seidel, K.: *Scirpus* Kulturen. Arch. F. Hydrobiol. 56, 1/2 1959.

- Seidel, K.: Abbau von *Bacterium coli* durch höhere Wasserpflanzen. Die Naturwissenschaften 51. Jahrg. H. 16, s. 395, 1964.
- Seidel, K.: Phenol-abbau im Wasser durch *Scirpus lacustris* L. während einer Versuchsdauer von 31 Monaten. Die Naturwissenschaften 52 s. 398, 1965.
- Seidel, K., Kickuth, R.: Excretion von Phenol in der Phyllosphaere von *Scirpus lacustris* L. Die Naturwissenschaften 52, s. 517, 1965.
- Seidel, K.: Reinigung von Gewässern durch höhere Pflanzen. Die Naturwissenschaften 53. Jahrg., H.12, 289-297, 1966.
- Seidel, K.: Zur bakteriziden Wirkung höherer Pflanzen. Die Naturwissenschaften 56, 642-643, 1969.
- Seidel, K.: Physiologische Leistung von *Alisma plantago* L. Die Naturwissenschaften 58, s. 151, 1971.
- Seidel, K.: Macrophytes As Functional Elements In The Environment Of Man. Hydrobiologia t. 12, 121-130. Bucuresti 1971.
- Seidel, K.: Exsudat-Effekt der Rhizothamnen von *Alnus glutinosa* Gaertner. Die Naturwissenschaften 59, 366-367, 1972.
- Seidel, K.: Zu Biologie und Gewässer - Reinigungsvermögen von *Iris pseudacorus* L. Die Naturwissenschaften, 60 Jahrg., H.3, 158, 1973.
- Seidel, K.: Leitung höherer Wasserpflanzen unter heutigen extremen Umweltbedingungen. Verh. Internat. Verein. Limnol. 18, 1395-1405, 1973.
- Seidel, K.: Reinigung von Industrie-Abwässern durch *Juncus maritimus* Lamark. Die Naturwissenschaften 60, 158-159, 1973.
- Seidel, K.: Zur Revitalisierung von Röhrichtbeständen. Die Naturwissenschaften 61, 688-689, 1974.
- Seidel, K.: Überraschende Möglichkeiten der Nutzung Höherer Wasserpflanzen. Mitteilungen aus der Max-Planck-Gesellschaft H.6, 479-494, 1974.
- Seidel, K.: Eliminierung von Pentachlorphenol durch Pflanzen aus Gewässern. Die Naturwissenschaften 61, 81, 1974.
- Seidel, K.: *Schoenoplectus lacustris* (L) Palla zur Reinigung von Gewässern. Die Naturwissenschaften 61. Jahrg. H. s. 81, 1974.
- Seidel, K.: Allelopathie und Sukzession bei *Typha angustifolia* L. Die Naturwissenschaften 62, 351, 1975.
- Seidel, K.: Kurzer Arbeitsbericht aus den Jahren 1960-1975. Teil II: Mikrobiologische Untersuchungen. Unpubliziert manuskript.
- Seidel, K. & al.: Enzymatische Wirkung von Wurzelausscheidungen bei der Ausfällung von Rum-Abwässern. Die Naturwissenschaften 62, 300, 1975.

- Seidel, K.: Über die Selbstreinigung Natürlicher Gewässer. Die Naturwissenschaften 63. Jahrg., 286-291, 1976.
- Seidel, K.: Macrophytes and Water Purification. Biological Control of Water Pollution. Univ. of Pennsylvania 1976.
- Sekoulov, Ivan: Die Phosphorelimination mit Hilfe von kontinuierlich belichteten Blaualgen. Forschungs- und Entwicklungsinstitut für Industrie- und Siedlungswasserwirtschaft sowie Abfallwirtschaft e.V. in Stuttgart - München 1972.
- Shephard, M.R.N.: The role of sewage treatment in the control of human helminthiasis. Helminthol. Abstr. ser. A, 40, 1-16, 1971.
- Shewan, J.M.: Food poisoning by fish and fishery products. "Fish as food", ed. G. Borgström, Vol 2. Nutrition, sanitation and utilization. New York, Academic Press, 443-466, 1962.
- Skulberg, O.M.: Vegetabiliske føremidler - akvakultur. Momenter om bruk av alger og høyere planter. Norges landbruksvitenskapelige forskningsråd, Muligheter for å erstatte animalske føremidler i akvakultur, 24-30, Oslo 1974.
- Skulberg, O.: Algal problems related to the eutrophication of European water supplies, and a bio-assay method to assess fertilizing influences of pollution on inland water. Algae and Man, New York, 1964.
- Skulberg, O.: Vannblomstdannende blågrønnalger i Norge og deres betydning ved studiet av vannforekomstenes kulturpåvirkning. Nord. Jordbrugsforsk., 47, 1965.
- Skulberg, O.: Studies on the eutrophication of some Norwegian inland waters. Mitt. Internat. Verein. Limnol. 14, 1968.
- Skulberg, O.: Glåma i Østerdalen - Påvirkninger av biologiske forhold. Vann No. 4, 1970a.
- Skulberg, O.: Importance of algal cultures for the assessment of the eutrophication of the Oslofjord. Helgoländer wiss. Meeresunters. Vol. 20, 1970b.
- Skulberg, O.: Eutrofiering og biologiske forandringer i noen østnorske vannforekomster. "Forurensning og biologisk miljøvern", ed. I. Mysterud. Universitetsforlaget, 1971.
- Skulberg, O.: Some observations on red-coloured species of *Oscillatoria* (Cyanophyceae) in nutrient-enriched lakes of southern Norway. SIL XX Congress. Copenhagen 7. - 14. august 1977.
- Skulberg, O. og Kotai, J.: Utredning om begroingsforhold og vannkvalitet, for Østerdalsskjønnet. Vassdragsstrekningen fra Stai til samløp Rena. Undersøkelse i vegetasjonsperioden 1977. NIVA O-130/76. Blindern. 1977.

- Skaarer, N.: Bruk av resorpsjon som mottaker av avløpsvann. PRA-prosjekt 3.5 - Infiltrasjon av avløpsvann og slam. Norges Landbrukshøgskole, desember 1976.
- Small, M.M.: Brookhaven's Two Sewage Treatment System. *Compost Science*, Vol. 16, No. 5 1975.
- Songer, J.G., Smith R.F. & Trieff, N.M.: Sewage treatment by controlled eutrophication: Bacterial study. *Appl. Microbiol.*, 28, 359-361, 1974.
- Sonstegard, R.A.: The Relationship between environmental factors and viruses in the inductions of fish tumors. "The International Conference on the Renovation and Recycling of wastewater through aquatic and terrestrial systems," ed. F.D' Itri. Bellagio, Italia 1975. Michigan State University, Institute of Water Research.
- Stake, E.: Högre vegetation i ett lite vattendrag. *Grundförbättring*, 24. nr. 1, 31-33, 1971.
- Statistisk årbok 1976. Statistisk sentralbyrå. Oslo 1976.
- Stengel, Eberhard: Anlagentypen und Verfahren der Technischen Algenmassenproduktion. *Ber. Dtsch. Bot. Ges.* Bd. 83, H.11, 589-606, 1970.
- Stortingsmelding nr. 71 for 1972-73: Spesialanalyse 1. Forurensninger. Langtidsprogrammet 1974-1977. Finansdepartementet.
- Stortingsmelding nr. 44, 1975-76: Tiltak mot forurensninger. Miljøverndepartementet.
- Svensson, G.: Mål for overvannsteknologi. Norske sivilingeniørers forening. *Overvannsteknologi*, 21. - 23. mars 1977.
- Soeder, Carl J.: The Technical Production of Microalgae and its prospects in Marine Aquaculture. NATO Workshop, Bergen 1974.
- Sømme, J.D.: Ørretboka. Ørretfiske, ferskvannsfiske, fiskekultur. Jacob Dybwads forlag, Oslo 1944.
- Toms, I.P., Owens, M., Hall, J.A. and Mindenhall, M.J.: Observations on the performance of polishing lagoons at a large Regional Works. *Wat. Pollut. Control*, 383-401, 1975.
- Traaen, T.S.: Renneforsøk og laboratorieundersøkelser til belysning av ulike kloakkrennemethoders virkning på biologiske forhold i resipienter. *Undersøkelser i 1974*. NIVA 1975.
- Traaen, T.S.: Vassdragsbiologi. Virkninger av rensetekniske tiltak. PRA 13. 1976.
- Unz, R.F.: Microbiology of waste treatment. *J. Water Poll. Contr. Fed.* 48, 1367-1377, 1976.

- U.S. Environmental Protection Agency: Wastewater use in production of food and fiber. Environmental Protection Technology Series. EPA - 660/2 - 74 - 041, Washington, June 1974.
- Vaas, K.F.: Notes on fresh water fish culture in domestic sewage in the tropics. Landbou (Batavia), 20: 331-348, 1948.
- Van Vuuren, L.R. and van Düren, S.A.: Removal of Algae from Waste Water Maturation Pond Effluent. J. Water Poll. Control Fed. 37, 1256-1262, 1965.
- Wolverton, B.C., Barlow, R.M. and McDonald, R.C.: Application of vascular aquatic plants for pollution removal, energi, and food production in a biological system. In "Biological control of water pollution" edited by Joachim Tourbien and Robert W. Pierson Jr., University of Pennsylvania Press 1976.
- Woodwell, G., Ballard, J, Clinton, J., Small, M. and Pecan, E.: An experiment in the eutrophication of terrestrial ecosystems with sewage: Evidence of nitrification in a late successional forest. In Wastewater use in production of food and fiber, 215-228, EPA - 660/2 - 74 - 041, Washington, June 1974.
- Woynarovich, E.: The feasibility of combining animal husbandry with fish farming, with special reference to duck and pig production. FAO Technical conference on Aquaculture. Kyoto, Japan 1976.

7.2 Foreløpig liste over institusjoner som arbeider med problemer knyttet til biologisk resirkulering

EUROPA

Forschungs- und Entwicklungsinstitut für Industrie - und Siedlungswasserwirtschaft sowie Abfallwirtschaft.

Stuttgart. West Germany.

Max Planck-Institut für Zuchtungsforschung, Limnologische Arbeitsgruppe.

Krefeld-Hülserberg. West Germany.

Gesellschaft für Strahlen - und Umweltforschung mbH, München.

Abteilung für Algenforschung und Algentechnologie.

Dortmund. West Germany.

Bundesforschungsanstalt für Fischerei.

Akrenburg/Holstein. West Germany.

Physiologisch-chemisches Institut der Universität Rostock.

Rostock. East Germany.

Karl-Marx-Universität, Zoologisches Institut.

Leipzig. East Germany.

State University of Ghent. Laboratory for biological research in environmental pollution.

Ghent. Belgium.

Laboratory for Biological Research of Environmental Pollution.

Jozef Planteaustraat 22, Ghent. Belgium.

Centre Belge D'Étude et de Documentation des Eaux.
Liege. Belgium.

Limnological Institute.
Nieuwersluis. The Netherlands.

The National Sewice for the IJsselmeerpolders.
Zuiderwagenplein 2, Leystad.
The Netherlands.

Vandkvalitetsinstituttet.
Agern allé 11, Hørsholm.
Denmark.

Aarhus Universitet. Botanisk Institut.
Aarhus. Denmark.

University of Dundee.
Department of Biological Sciences.
Dundee. United Kingdom.

University of Aston.
Department of Biology.
Gosla Green, Birmingham. United Kingdom.

University of Bristol.
Department of Biochemistry, Medical School.
Bristol. United Kingdom.

Marine Biological Association of the UK.
Citade Hill, Plymouth. United Kingdom.

Freshwater Biological Association. Windermere Laboratroy.
The Ferry House, Ambleside, Westmorland.
United Kingdom.

Water Pollution Research Laboratory.
Stevenage. United Kingdom.

University of Ulster.
School of Biological & Environmental Studies.
Coleraine. County Londonderry
Northern Ireland.

Biologia-EURATOM.
Ispra (Varese). Italy.

Instituto di Ricerca sulle Acque.
Brugherio, Milano. Italy.

Arbeitsgemeinschaft Donanforschung.
Kaisermühlen, Wien. Austria.

Institut National d'Hygiene CERBOM.
Nice. France.

Charles University of Prague.
Department of Botany.
Prague. Czechoslovakia.

Department of Water Technology.
Prague. Czechoslovakia.

Algological laboratory of the ČSAV
Dukelská 145, Trebň. Czechoslovakia.

University of Leningrad. Biological Institute.
Leningrad. U.S.S.R.

Kirov Institute of Agriculture.

Kirov. U.S.S.R.

Institute of microbiology, USSR Academy of Sciences.

Moscow. U.S.S.R.

Norwegian Institute for Water Research.

Norwegian Council for Scientific and Industrial Research.

Blindern, Oslo 3. Norway.

Agricultural University of Norway.

Ås-NLH. Norway.

Lunds Universitet, Limnologiska institutionen.

Fabriksg. 2, Lund. Sweden.

Uppsala Universitet, Limnologiska institutionen.

Norbyv. 20, Uppsala. Sweden.

ASIA

University of Tokyo. Inst. of Applied Microbiology.

Tokyo. Japan.

The Tokugawa Institute for Biological Research.

Tokyo. Japan.

Kyoto University. Department of Agricultural Chemistry.

Kyoto. Japan.

Tokyo Kyoiker University. Botanical Institute,

Faculty of Science. Tokyo. Japan.

Fish and Aquaculture Research Station.

Dor, D.N. Hof-Hacarmel. Israel.

Hebrew University. Environmental Health Laboratory.

Hadassah Medical School. Jerusalem. Israel.

Sanitary Engineering Laboratories.

Technion, Israel Institute of Technology.

Haifa. Israel.

AFRIKA

National Institute for Water Research.

South African Council for Scientific and Industrial Research.

Pretoria. South Africa.

AUSTRALIA

Department of Environment Housing and Community Development.

Bureau of Environmental Studies.

Lombard House Allara Street.

Couberra City.

Bolivar Laboratories.

Engineering Water Supply Department.

Private Bag. Salisbury.

Metropolitan Water Sewerage and Drainage Board.

Cnr Pitt and Bathurst Streets

Sydney, New South Wales.

National Capital Development Commission.

220 Northbourne Avenue.

Braddon. Australian Capital Territory.

State Rivers and Water Supply Commission.
590 Orrong Road. Armadale.
Victoria.

Australian Water Resources Council.
Department of Natural Resources.
Post Office Box 5, Canberra City.
Australian Capital Territory.

NORD AMERIKA

Fisheries Research Board of Canada.
Freshwater Institute, Winnipeg. Manitoba.
Canada.

Canada Centre of Inland Waters.
Burlington, Ontario. Canada.

Ontario Ministry of the Environment.
Pollution control Branch, Ontario. Canada.

Water Pollution Control Directorate.
Environmental Protection Service.
Ottawa, Ontario. Canada.

University of Illinois, Hydrosystems Laboratory.
Urbana. Illinois. U.S.A.

Utah State University, College of Engineering.
Logan, Utah. U.S.A.

Environmental Protection Agency,
Eutrophication and Lake Restoration Branch,
Pacific NW Environmental Research Laboratory.
Corvallis, Oregon. U.S.A.

Woods Hole Oceanographic Institution.

Woods Hole.

Massachusetts. U.S.A.

Environmental Protection Agency.

Washington. U.S.A.

University of Delaware, College of Marine Studies.

Newark, Delaware. U.S.A.

Mississippi State University, State College.

Mississippi. U.S.A.

Syracuse University, Department of Civil Engineering.

Syracuse, New York. U.S.A.

Indiana University, Department of Botany.

Bloomington, Indiana. U.S.A.

University of California, Sanitary Engineering Research Laboratory.

Berkely, California. U.S.A.

Bowling Green State University, Department of Biology.

Bowling Green, Ohio. U.S.A.

Humboldt State University,

Fisheries Department School of Natural Resources.

Arcata, California. U.S.A.

University of Kansas.

Lawrence, Kansas. U.S.A.

Brookhaven National Laboratory.

Upton, L.I., New York. U.S.A.

Bulf Coastal Fisheries Center, National Marine Fisheries Service.

4700 Avenue V, Galveston, Texas. U.S.A.

Illinois Natural History Survey.
Rt. 1, Kinmundy, Illinois. U.S.A.

University of Florida.
Earle B. Phelps Laboratory for Bioenvironmental engineering research.
College of engineering.
Gainesville, Florida. U.S.A.

University of Washington. Department of Zoology.
Seattle, Washington. U.S.A.

University of Wisconsin, Water chemistry laboratory.
Madison, Wisconsin. U.S.A.

Universidad Nacional Autónoma de México.
Instituto de Biología, Departamento de Botánica.
México.

SØR AMERIKA

Dirección General de Recursos Naturales.
Laboratorio de Hidrobiología, Casilla de Correo No 58,
Santa Fé. Argentina.

Instituto Nacional de Limnología.
Santo Tomé, Santa Fé. Argentina.

Laboratorio Algológico Rawson.
Rawson, Chubut. Argentina.

Laboratorio de Biología Marinha de São Sebastião.
Caixa Postal 11.230, São Paulo. Brazil.

Universidade de São Paulo.
Instituto de Biologia Marinha.
Cidade Universitária, São Paulo. Brazil.

Secretaria da Agricultura de São Paulo, Departamento da Produção Animal,
Divisão de Caca E Pesca, Seccao de Hidrobiologia.
Av Francisco Matarazzo 455, São Paulo. Brazil.

IVH/KEN