

NIVA årbok 1973, trykt 1974  
Haldenvassdraget.

## OBSERVASJONER AV ENDRINGER I ORGANISMESAMFUNN OG BIOLOGISK PRODUKSJON I FORSØKSRESIPIENTER

*Av avdelingsjef, cand.real. Olav M. Skulberg*

Hensikten med de fleste rens tiltak for avløpsvann er å hindre at vannkvaliteten i resipienten blir dårligere. Det mest logiske grunnlag for valg av rens metode vil følgelig være å vurdere effektiviteten ut fra målbare biologiske forhold i resipienten. I dag blir dette gjort bare i beskjeden utstrekning. Det skyldes i første rekke at våre kunnskaper om de biologiske virkninger av forurensinger ikke har økt i samme grad som forurensingsproblemene. Ved bedømmelse av virkningen av en rens metode kan det derfor lett bli til at vi bruker parametre som har liten betydning for resipienten. Dette er en vanskelighet vi må avfinne oss med inntil vi har fått nødvendig biologisk kunnskap. På lengre sikt må imidlertid målet være at både bedømmelse av effektiviteten av et enkelt rens anlegg og sammenlikning mellom ulike rens anlegg kan bygge på målbare biologiske størrelser. Instituttet arbeider med denne målsetting.

For å få innsikt i biologiske virkninger av forurensinger, kan man foreta direkte undersøkelser av resipienter (elver, innsjøer og fjorder). Dette blir tildels gjort i stor utstrekning. Imidlertid er forholdene i vannforekomstene som tjener som resipienter, meget kompliserte og varierende. Både kjemiske og fysiske faktorer i vannmassene varierer på et måte som ofte gjør det nesten umulig å binde sammen årsak og virkning. I forsøksresipienter er det mulig å ha forutsetninger som er bedre definert. Det er da mulig å måle virkningene av variasjoner av bestemte parametre når forsøksbetingelsene ellers holdes konstant.

Bruk av forsøksresipienter gjør det mulig å gjennomføre observasjoner som ikke er tilgjengelig på annen måte. Forsøksoppstillinger kan brukes til å få samtidige observasjoner av organismesamfunn og variasjoner i vannmassenes egenskaper, meteorologiske forhold og årstider. Det kan utføres forsøk med forskjellige påvirkninger av vannmassene under dels kontrollerbare betingelser (f.eks. vannutsiftning og vannhastighet), og dels målbare forhold (temperatur, kjemiske og fysiske faktorer). Slike forsøksresipienter gir oss mulighet til å måle sammenhengen mellom ulike påvirkninger og utviklingen i vegetasjon og fauna. De er et hjelpemiddel ved beskrivelse av tilstandene i resipienten (vannkvalitet – organismesamfunn), og til etablering av kriterier for bedømmelse av tilstandsendringer i resipienter (parametre for monitoring). Hydrodynamiske forutsetninger for observasjonene kan defineres i forsøksoppstillingene.

Formålet med bruk av forsøksresipienter kan sammenfattes slik:

1. Det kan gjennomføres systematiske eksperimentelle undersøkelser av forurensingsvirkninger av ubehandlet avløpsvann og avløpsvann rens et ved forskjellige metoder. Resultatene kan belyse hva som kan oppnås av beskyttelse mot forurensinger med ulike rens tiltak. (Se NIVAs årbok 1972, s. 45–51.)
2. Resultatene vil bidra til forståelse av hvordan de ulike miljøfaktorer virker sammen og påvirkes av rens tekniske tiltak. En primær oppgave er å finne sammenhengen mellom

- belastningenes art og størrelse og de biologiske virkninger i resipienten.
3. Det trengs biologiske kriterier som kan benyttes ved valg av renseprosesser og rensingsgrad. Det kan utvikles biologiske kontrollenheter til observasjon av virkningsgrad av renseanlegg overfor den aktuelle resipientvanntype.
  4. Hjelpemiddel ved overvåking og kontroll av resipienttilstander.

I samarbeid med Haldenvassdragets Vassdragsforbund har instituttet tatt i bruk forsøksrenner oppstilt på stasjoner ved Haldenvassdraget som hjelpemiddel ved overvåking og kontroll av vassdragstilstanden.

Stasjonen nedstrøms Bjørkelangen (Fosser i Høland), Akershus, ble opprettet 15. januar 1973. Hensikten med observasjonene har i første rekke vært å beskrive korttidspåvirkningen av vassdraget i sammenheng med utslipp av forurensinger. Forsøksrenner ble oppstilt på denne stasjonen og på en stasjon nedstrøms Rødenesjøen (Ørje i Marker), Østfold. Begge stasjoner har vært i drift sommeren 1973 med observasjoner av vannkvalitet og endringer av organismesamfunn.

Høsten 1973 ble tilsvarende stasjoner opprettet i sammenheng med vassdragsundersøkelser i Otra. Dette er gjort i samarbeid med Vassdragsrådet for Nedre Otra, Vest-Agder.

Figuren viser stasjonen ved Ørje i Marker, Haldenvassdraget.

O.M.S.



Fig. 1. viser stasjonen ved Ørje i Marker, Haldenvassdraget.

*Av fil.kand. Sven Torsten Källquist*

Ved å bruke innsjøer, elver og fjorder som resipienter for kloakkvann, utsetter man disse for en forurensningsbelastning som kan få uheldige virkninger.

Kommunalt kloakkvann inneholder meget organisk stoff, som når det blir sluppet ut i en resipient, blir brutt ned av mikroorganismer til uorganiske forbindelser. Ved denne nedbrytning forbrukes oksygen som fins løst i vannet. Ved denne nedbrytningsprosess og direkte med kloakkvannet tilføres planteneringsstoffer til resipienten. Dette fører til økt produksjon av alger og planter i vannet og langs strendene. Denne utvikling blir kalt eutrofiering. Effekten av gjødslingen kan ofte ses som masseoppblomstring av alger om sommeren i innsjøer og fjorder. Produksjonen av alger og høyere planter representerer en autotrof prosess, dvs. organisk materiale blir bygd opp av uorganiske bestanddeler. Energien til dette tar de fotosyntetiserende organismene fra lys som absorberes i spesielle pigmenter (klorofyll). Det organiske materialet som produseres på denne måten, blir likesom det som tilføres direkte via kloakkvannet, brutt ned av heterotrofe organismer under forbruk av oksygen. Man pleier derfor å skille mellom tilført organisk stoff fra kloakkvannet og produsert organisk stoff i resipienten som følge av næringsstofftilførsler.

Nedbrytningen av det organiske materialet i resipientene foregår for den største del i dypvannet. I dype innsjøer og i fjorder hvor det dannes en stabil sjiktning av vannmassene på grunn av temperatur- eller saltholdighetsforskjeller mellom overflatelag og dyplag, er dypvannet peri-

odevis avskåret fra oksygentilførsler utenfra. Hvis store mengder organisk materiale blir tilført, kan derfor sedimentene og dypvannet bli frie for oksygen (anaerobe). Om vinteren virker isdekket på en tilsvarende måte som sperre for oksygentilførsel fra atmosfæren, og oksygenmangel kan da oppstå i hele vannmassen.

#### *Rensemetoder for kloakkvann*

For å begrense forurensningseffektene i resipientene av kloakkvann er det konstruert forskjellige typer kloakkrensaneanlegg. De prosesser som er i bruk i dag, kan inndeles i tre kategorier:

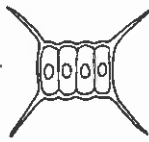
- Mekanisk rensing
- Biologisk rensing
- Kjemisk rensing

Den mekaniske rensingen innebærer en sedimentering, som reduserer kloakkvannets innhold av partikulært materiale. Derved reduseres innholdet av organisk materiale en del, men reduksjonen av nitrogen- og fosforinnholdet er liten.

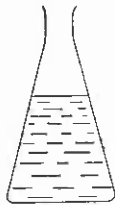
Ved den biologiske rensingen utnyttes mikrobiologiske prosesser for å fjerne en del av de partikulære og oppløste organiske stoffene. På denne måten reduseres oksygenforbruket i resipienten, men mesteparten av nitrogen- og fosforforbindelsene blir ikke fjernet, men tilføres resipienten for en stor del som nitrat og fosfat.

Den kjemiske rensingen kan enten gjøres direkte etter mekanisk rensing (sekundærfelling), samtidig med den biologiske (simultanfelling) eller etter den biologiske rensing (etterfelling). De kjemikalier som settes til, er enten et

SCRB-  
desmes?



Alger  
(eksempel)



Innsjøvann  
(eksempel)

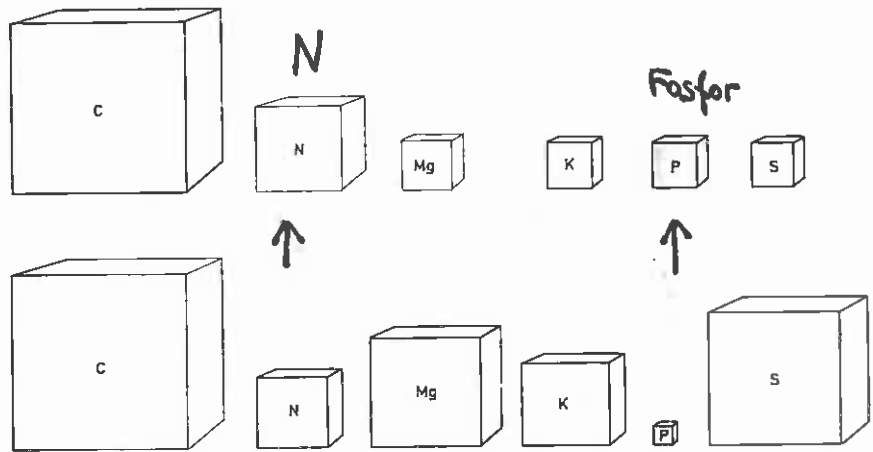


Fig. 1. Innhold av plantenæringsstoffer i vann og alger.

aluminiumssalt, et jernsalt eller kalk. Disse stoffene gir utfellinger i vannet. De utfelte fnokkene har evnen til å absorbere oppløste stoffer, både organiske og uorganiske. Utfellingene fjernes, f.eks. ved sedimentering, før vannet går til resipienten. Den kjemiske rensingen gir en kraftig reduksjon av fosforinnholdet i kloakkvannet.

### Plantenæringsstoffer

Til oppbygging av cellemateriale trenger algene næringsstoffer som fins oppløst i vannet. De viktigste elementer ved produksjon av organisk cellemateriale er oppført i tabell 1, hvor det også er angitt fra hvilke forbindelser disse grunnstoffene blir tatt opp.

Tabell 1. De kvantitativt viktigste elementene i algecellene.

Grunnstoff	Kjemisk betegnelse	Tas opp fra
Karbon	C	Kullsyre, bikarbonat
Oksygen	O	Kullsyre, bikarbonat
Hydrogen	H	Vann
Nitrogen	N	Nitrat, ammonium
Magnesium	Mg	Magnesiumioner
Kalium	K	Kaliumioner
Fosfor	P	Fosfat
Svovel	S	Sulfat

I fig. 1 er mengdeforholdet mellom noen av disse stoffene i alger sammenliknet med mengdeforholdet i en næringsfattig innsjø. Hvis man tar utgangspunkt i samme mengde karbon, dvs. gjør boksene for karbon i figuren like store, blir boksene som representerer magnesium, kalium og svovel meget større for innsjøvannet enn for algerne. Dette innebærer at disse stoffene foreligger i overskudd i forhold til algens behov. To av boksene, nitrogen og fosfor, er mindre i vannet enn i algene, hvilket betyr at disse stoffene er i underskudd. Spesielt stort under-



Femsjøen i Haldenvassdraget, en av de undersøkt ferskvannsresipientene.

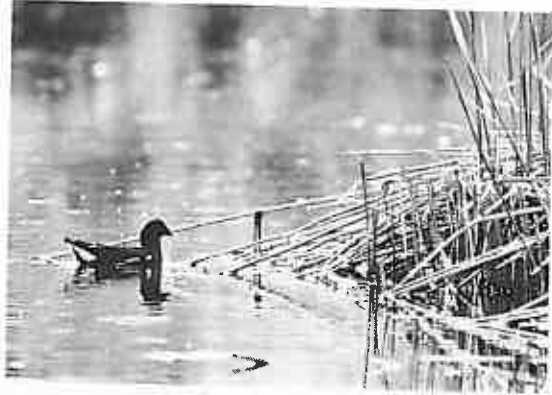
skudd er det på fosfor. Ved produksjon av alger i denne innsjøen vil altså fosfor bli brukt opp mens det fortsatt er overskudd av de andre stoffene. Man kan da si at fosfor er begrensende næringsstoff for algevekst. Dette er et vanlig forhold i ferskvann selv om også andre stoffer enn de som er tatt opp her, virker inn på algenes vekst. Enkelte grupper av alger har også spesielle næringskrav, som f.eks. kiselalgen som trenger silikat til sine skall.

#### Ekperimentelle undersøkelser av næringsforhold

Ved utslipp av kloakkvann i en resipient hvor fosfor kan ventes å være det begrensende næringsstoff, vil en kjemisk rensing som gir en god fosfatfjerning, minke eutrofieringsvirkningene av utslippet. I mange tilfelle er det imidlertid vanskelig å bedømme hvordan vekstforholdene for alger er, bare ut fra kjemiske analyser av resipientvannet. Vekstforsøk med alger i kultur, såkalte algetester, er derfor et viktig hjelpemiddel ved undersøkelse av vannets vekstegenskaper. Ved disse testene kan man studere effekten av tilsetning av enkelte næringsstoffer eller f.eks. kloakkvann.

Ved NIVA er det utviklet et rutineopplegg for slike algetester. I korthet går metoden ut på at vannprøven blir filtrert og podet med en liten mengde encellede testalger i en glasskolbe. Kulturen blir plassert i rom med konstant temperatur og belysning. Celleantallet blir bestemt ved laglige tellinger med en elektronisk partikkelteller. Testen avsluttes når algene har sluttet å vokse. Celleutbyttet i kulturen er et mål på vannets vekstpotensial.

Algetester er brukt for å studere virkningene av forskjellige typer rensert kloakkvann på algeveksten i ulike resipienter. I oktober 1972 ble et innsamlet vann fra 6 vannforekomster for en lik test. Av disse var tre ferskvannsresipienter: Østensjøvatn, Øgderen og Femsjø og tre sjøannsresipienter, stasjonene Brenntangen, Furum og Larkollen i Oslofjorden. Noen kjemiske data for disse vanntypene er satt opp i tabell



Østensjøvatn i Oslo er en næringsrik innsjø. I de kraftige takrørbeltene rundt sjøen finner man fugler som er typiske for eutrofe vatn. Her er en sivhøne på vei med materiale til redet.

Østensjøvatnet i Oslo er en meget næringsrik innsjø, forurenset av kloakkvannutslipp. Konsentrasjonene av fosfor- og nitrogenforbindelser er høye, og det store innholdet av oppløste salter gir en høy elektrolytisk ledningsevne. Øgderen og Femsjøen, som tilhører Haldenvassdraget, er betydelig næringsfattigere, men de er ikke upåvirket av forurensninger. Nitrogeninnholdet er forholdsvis høyt, noe som kan ha sin forklaring i jordbruksaktiviteten i nedbørfeltene. Fosforkonsentrasjonene i disse to vatnene er allikevel lave.

De tre stasjonene i Oslofjorden viser et synkende nitrogen- og fosforinnhold utover i fjorden fra Brenntangen i Drøbaksundet ut til Larkollen utenfor Moss. Dette gjenspeiler den generelle forurensningssituasjonen i Oslofjorden, hvor de største forurensningstilførslene fins i den indre delen av fjorden. I forhold til Femsjøen og Øgderen er nitrogeninnholdet i Oslofjorden lavt, mens fosforkonsentrasjonene er høyere.

Kloakkvann til forsøkene ble tatt fra NIVAs forsøksrenseanlegg på Kjeller. Her blir det samme kloakkvannet rensert etter forskjellige metoder. Mekanisk, biologisk og kjemisk rensert kloakkvann ble brukt til algetestene.

Kloakkvann og resipientvann ble blandet til en konsentrasjon på 5% kloakkvann og podet med testalger. Disse var *Selenastrum capricornu-*

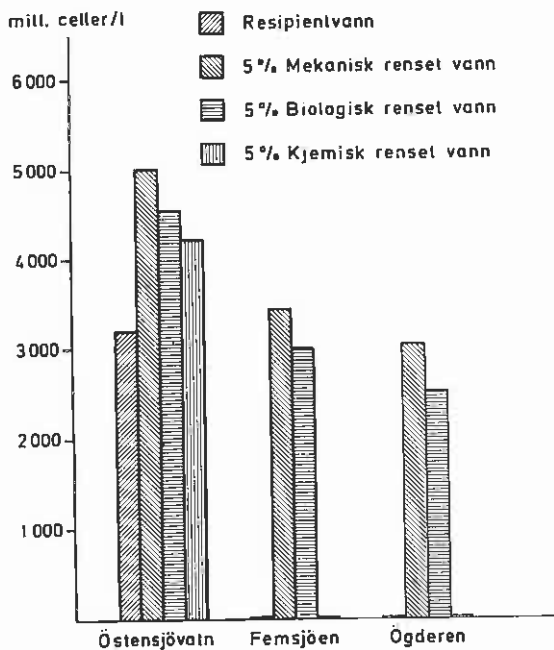


Fig. 2. Vekstpotensial uttrykt som celleutbytte av *Selenastrum capricornutum* i vann fra tre innsjøer tilsatt forskjellige typer rensel kloakkvann.

tum (ferskvann) og *Phaeodactylum tricornerutum* (sjøvann). Det ble også gjort algetester med tilsetning av fosfor og nitrogen til resipientvannene.

Forsøkene viste at vekstpotensialet var lavt i vann fra Femsjøen og Øgderen og meget høyt i Østensjøvatn (fig. 2). Tilsetning av mekanisk og biologisk rensel kloakkvann gav en kraftig økning av vekstpotensialet i vann fra alle innsjøene. I Femsjøen og Øgderen økte veksten meget lite ved tilsetning av kjemisk rensel kloakkvann, men i Østensjøvatn var økingen nesten like stor som ved tilsetning av biologisk rensel kloakkvann.

Blant sjøvannsresipientene var vekstpotensialet høyest i vann fra Brenntangen og lavest fra Larkollen (fig. 3). Alle typer kloakkvann resulterte i økt algevekst. Som i ferskvannsresipientene gav mekanisk rensing noe høyere vekstpotensial enn biologisk. Kjemisk rensel kloakkvann gav den laveste økingen.

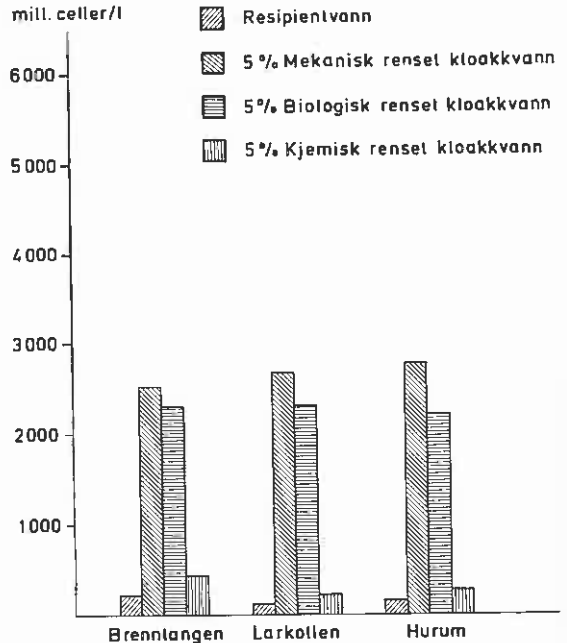


Fig. 3. Vekstpotensial uttrykt som celleutbytte av *Phaeodactylum tricornerutum* i vann fra Oslofjorden tilsatt forskjellige typer rensel kloakkvann.

Resultatene av dette forsøket kan forklares ved hjelp av de algetester der bare nitrogen og fosfor ble tilsatt resipientene. Disse viste nemlig at fosfor var begrensende næringsstoff i vann fra Øgderen og Femsjøen, mens nitrogen var begrensende i Østensjøvatn og de tre sjøvannsprøvene (fig. 4–5). Det var i disse nitrogenbegrensede vannprøvene at tilsetningen av kjemisk rensel kloakkvann gav størst øking av vekstpotensialet. I de vatnene der fosfor var den begrensende næringsstoff, Øgderen og Femsjøen hadde det kjemisk rensede kloakkvann meget liten vekststimulerende effekt. Dette viser at det er den effektive reduksjonen av fosforinnholdet i kloakkvannet ved kjemisk rensing som gir lavest algeproduksjon i resipientene.

For å ytterligere bekrefte dette ble det etter 15 døgn satt til 60 µg fosfor pr. liter i de kulturene med resipient- og kloakkvann. I de kulturene hvor fosfor var begrensende, begynte da algene påny å vokse. I vann fra Femsjøen

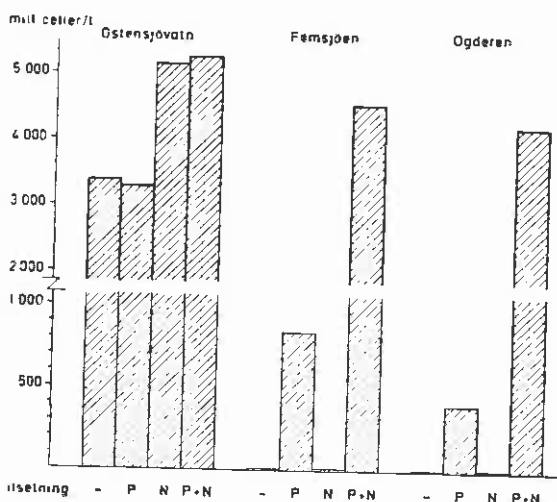


Fig. 4. Celleutbytte i kulturer av *Selenastrum capricornutum* etter tilsetning av forskjellige plantenæringsstoffer til vannprøver fra de tre ferskvannsresipientene.

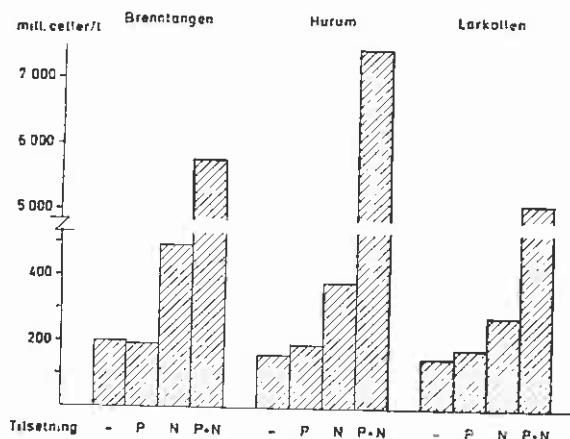
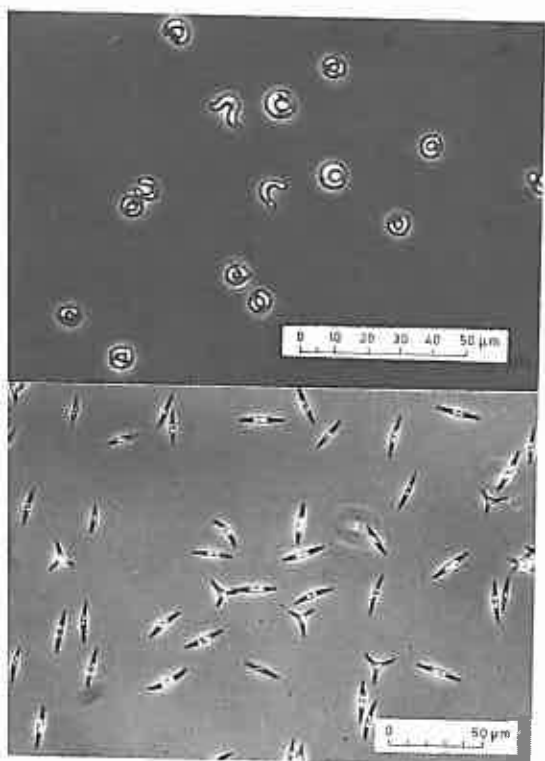


Fig. 5. Celleutbytte av kulturer av *Phaeodactylum tri-cornutum* etter tilsetning av forskjellige plantenæringsstoffer til vannprøver fra Oslofjorden.



Ønnsalgen *Selenastrum capricornutum* og kiselalgen *Pseudo-nitzschia* ble brukt som testalger.

*Ogderen* (fig. 6) skjedde dette dels i det rene resipientvannet og dels hvor 5% kjemisk rensed kloakkvann var tilsatt. I vann fra Østensjøvatn gav fosfortilsetningen ingen øking i noen av kulturene. Fosforinnholdet var her så høyt i resipientvannet at det ikke ble begrensende selv etter tilsetning av 5% kjemisk rensed kloakkvann (fig. 7). I sjøvannsresipientene var fosfor som tidligere nevnt, ikke begrensende. I kulturene med 5% kjemisk rensed kloakkvann gav imidlertid fosfortilsetningen økt vekst av alger (fig. 8). Ved tilsetning av det kjemisk rensede kloakkvannet hadde altså sjøvannet skiftet over fra nitrogenbegrensning til fosforbegrensning. I et slikt nitrogenbegrenset resipientvann vil man ved små konsentrasjoner av innblandet kloakkvann komme under det punkt hvor skiftet til fosforbegrensning skjer, og algeveksten vil i stedet bli bestemt av kloakkvannets nitrogeninnhold. Kjemisk rensing av kloakkvannet vil da ikke lønne seg om fortyningen i resipienten er så god at konsentrasjonen av kloakkvann raskt kommer under det punkt hvor fosfor blir begrensende.

For å kunne bedømme dette må man imidlertid studere resipientvannets sammensetning over lengre tid da det ofte kan variere sterkt i løpet av året.

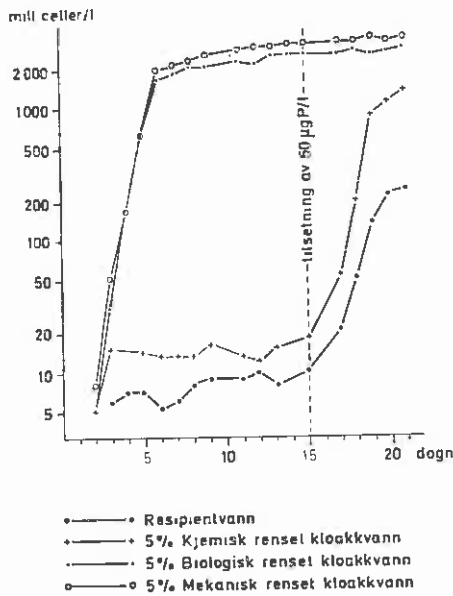


Fig. 6. Vekstkurver for kulturene av *Selenastrum capricornutum* i vann fra Øgderen.

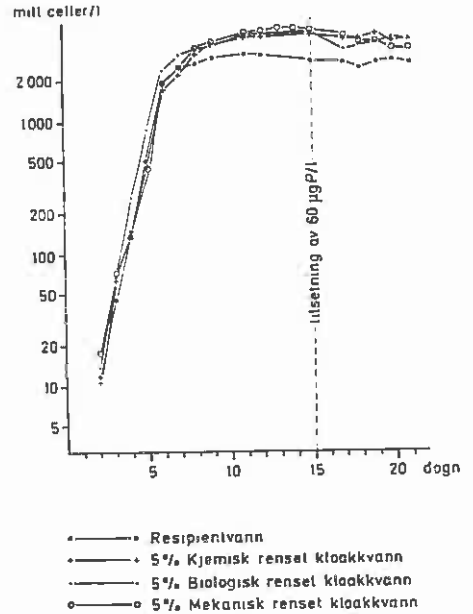


Fig. 7. Vekstkurver for kulturene av *Selenastrum capricornutum* i vann fra Østensjøvatn.

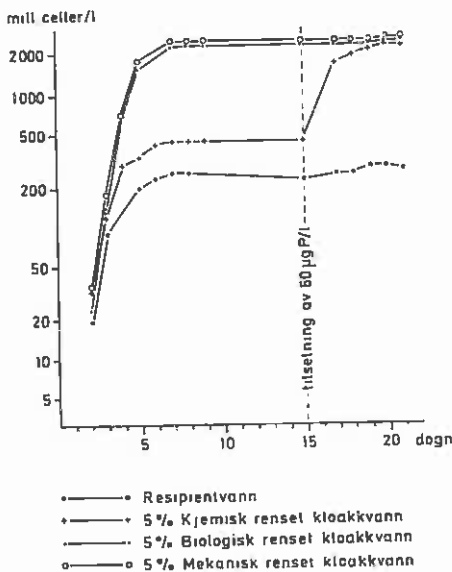


Fig. 8. Vekstkurver for kulturene av *Phaeodactylum tricoratum* i vann fra Brenntangen i Oslofjorden.

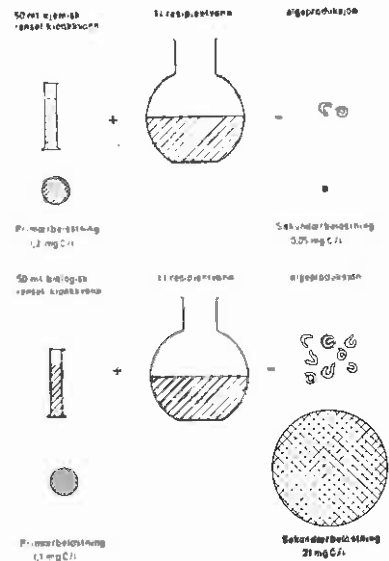


Fig. 9. Forholdet mellom primær- og sekundærbelastning av organisk stoff ved innblanding av kjemisk og biologisk rensel kloakkvann i en ferskvannresipi (Øgderen). Sekundærbelastningen er beregnet ut celleutbyttet av *Selenastrum capricornutum* i kultur med kloakkvannstilsetning.



Tabell 2. Kjemiske data for resipientene.

	Fosfat	Total fosfor	Nitrat	Total nitrogen	Elektrolytisk ledningsevne
	$\mu\text{g P/l}$	$\mu\text{g P/l}$	$\mu\text{g N/l}$	$\mu\text{g N/l}$	$\mu\text{S/cm}$
Østensjøvatn	290	350	580	1900	215
Femsjøen	2	6	380	540	50
Øgderen	4	7	210	370	61
Brenntangen	14	20	80	180	
Hurum	10	13	60	180	
Larkollen	7	11	50	145	

Økingen i produsert algemengde som følge av tilsetningen av kloakkvann til resipienten er et mål på den sekundære organiske belastning som kloakkvannet er årsak til. En sammenlikning av den sekundære belastningen ved innblanding av biologisk og kjemisk rensset kloakkvann i resipienten Øgderen viser at med biologisk rensset kloakkvann blir den produserte mengde organisk carbon ca. 20 ganger større enn kloakkvannets opprinnelige innhold (fig. 8). For kjemisk rensset kloakkvann er forholdet omvendt, og den sekundære belastning er langt mindre enn den primære.

Bruken av algetester for undersøkelse av kloakkvannets eutrofieringsvirkning har vist at i esipienter med lavt fosforinnhold er kjemisk

rensing av kloakkvannet den mest effektive metode for å begrense eutrofiering. De fleste ferskvannsforekomster i Norge tilhører denne kategori. I enkelte ferskvannsresipienter og i sjøvannsresipienter kan den ukontrollerbare tilførsel av fosforforbindelser være så stor at kjemisk rensing ikke vil være en gunstig løsning. Når det gjelder stimulering av algevekst, er forskjellene mellom mekanisk og biologisk rensing små fordi reduksjonen av innholdet av plantenæringsstoffer ved begge metoder er lav.

S.T.K.

#### LITTERATURLISTE

1. Traaen, T. m/fl.: *Fremdriftsrapport for 1972 PRA-forsøksanlegget, Kjeller*. NIVA, 0-40/71-H, mars 1973.
2. Traaen, T. m/fl.: *Rennforsøk og laboratorieundersøkelser til belysning av ulike kloakkrensemetoders virkning på biologiske forhold i resipienter. Undersøkelser i 1973*. NIVA, 0-40/71-H, 1974.
3. Løfgren, M.: *Algekultur-test på kemisk rensset avloppsvatten*. NIVA, A2-04, 1974.
4. Källqvist, S.T.: *Algal Assay Procedure (bottle test) at the Norwegian Institute for Water Research. Proceedings from a nordic symposium, Oslo, 25.-26. October, 1972*. NORDFORSK Secretariat of environmental sciences publicaton 1973:2.
5. Skulberg, O.M.: *Algal problems related to the eutrophication of European water supplies, and a bio-assay method to assess fertilizing influences of pollution on inland waters*. *Algae and Man*, New York, pp. 262-299, 1964.



gene blir telt med en elektronisk partikkel teller.

6. Skulberg, O.M.: *The importance of algal cultures for assessment of the eutrophication of the Oslofjord*. Helgoländer Wiss. Meeresunters. 20, pp. 111-125, 1970.
7. Miller, W.E. & Maloney, T.E.: *Effects of secondary and tertiary wastewater effluents on algal growth in a lake-river system*. Journal Water Pollution Control Federation 43, No. 12, pp. 2361-2365, 1971.
8. Schindler, D.W.: *Carbon, nitrogen and phosphorus and the eutrophication of freshwater lakes*. Journal Physiology, 7, pp. 321-329, 1971.
9. Ryther, J.H. & Dunstan, W.M.: *Nitrogen, phosphorus and eutrophication of the coastal marine environment*. Science Vol. 171, pp. 1008-1013, 1971.