

Næringsssalter og planktonvekst i Oslofjorden

Av E. Paasche og S. R. Erga

E. Paasche er professor i marin biologi ved Universitetet i Oslo. S. R. Erga har vært prosjektlønnet forsker ved samme universitet, men arbeider nå i næringslivet.

1. Styres fjordplanktonet av fosfor eller av nitrogen?

For noen år siden var det en debatt, bl.a. i Norsk Vannforening, om nytten av å fjerne fosfor fra kloakkutslipp til fjorder. Det ble hevdet særlig av universitetsforskere at man ikke uten videre kan vente at veksten av planteplankton i en fjord avtar i samme grad som fosforen holdes tilbake på land.

Selv om debatten har stilnet av, er argumentene fortsatt de samme. Det er stort sett enighet blant forskerne om at det er tilgjengeligheten av nitrogen som styrer planktonproduksjonen i havet. I ferskvann derimot er det oftest fosfor som har denne rollen. I kystvann og fjorder er det mere komplisert. Ferskvann og saltvann blandes i ulike forhold, og den relative tilgjengeligheten av de to næringsstoffene påvirkes også av vannmassenes berøring med bunn-sedimenter, og selvsagt av tekniske tiltak som omlegging av utslipp og rensing av avløpsvann. I et innlegg i dette tidsskrift (Paasche 1983) ble en del av disse forhold diskutert. Der ble det også påpekt at man i undersøkelser av de mest forurensnings-belastede fjordene her i landet, som Oslofjorden, i liten grad har gjort bruk av tester for næringsmangel som har vært utviklet av planktonforskere i andre sammenhenger.

2. Utprøving av nye metoder

Et initiativ fra Fagrådet for vann- og avløpsteknisk samarbeid i indre Oslofjord førte til at universitetsforskerne fikk anledning til å gå mere i dybden med disse tingene. Det ble satt i gang et forskningsprosjekt ved Biologisk institutt, Universitetet i Oslo, som fikk tittelen «Metodestudier for bestemmelse av begrensende nærings salt i fjorder». Foruten av Fagrådet er prosjektet støttet av Norges teknisk-naturvitenskapelige forskningsråd og av Statens forurensningstilsyn.

Fremgangsmåten i prosjektarbeidet er i prinsippet enkel nok. Vi har valgt et sett med kjemiske og biologiske tester som til sammen bør gi svar på spørsmålet om hvilket av de to stoffene, fosfor eller nitrogen, som begrenser veksten av fjordplanktonet. Det er den veien man må gå hvis man ikke har mulighet til å lage et fullstendig nærings saltbudsjett for den fjord man vil undersøke. Å bruke slike kjemiske tester er ikke noe nytt. I den internasjonale faglitteraturen er en lang rekke av dem beskrevet. Det nye her ligger i kombinasjonen av tester.

3. Prosjektrapport

Fra prosjektet er det gjort ferdig en rapport (Paasche, Erga og Brukkbak 1987). I den står det beskrivelser av testene med tilhørende litteraturreferanser. Der er

også en redegjørelse for hvordan de er utprøvet i indre Oslofjord gjennom vekstsesongen i året 1986. Det ble utført omkring 5000 analyser av kjemiske og biologiske forhold i det øverste produktive sjiktet. Sammen med resultater av eksperimenter gir disse et godt bilde av planktonalgens vekstbetingelser.

Rapporten er et bidrag til vurderingen av forurensningssituasjonen i Oslofjorden, samtidig som den sier en del om sterke og svake sider ved de metodene som er brukt. Den inneholder også et avsnitt om selve begrepet næringsstoffbegrensning. De viktigste punktene i rapporten gjengis i det som følger.

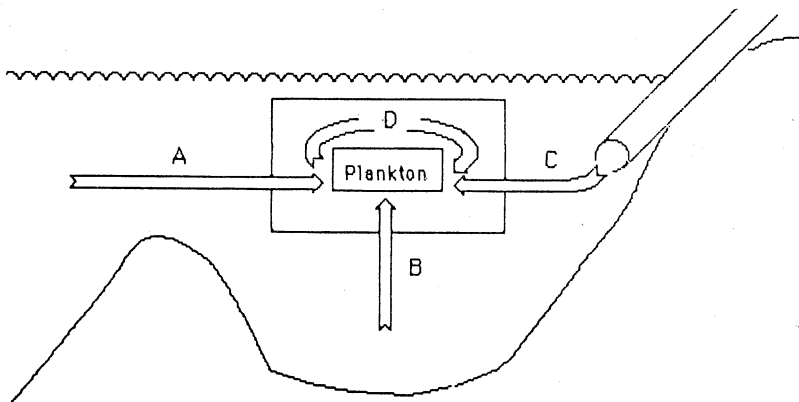
4. Begrepet «begrensning»

I innsjøer og hav som ikke er ekstremt næringsrike fra naturens side eller på grunn av kloakkbelastning, er planktonproduksjonen mindre enn den kunne vært hvis plantenæringsstoffene nitrogen og fosfor hadde vært i overskudd. Der er en *systemisk begrensning*: mengden næringsstoff (nitrogen eller fosfor) i omløp i systemet

setter en grense for den samlede mengden av plankton, både planter (alger) og dyr, som kan være tilstede.

En nitrogen- eller fosforbegrensning på systemnivå må holdes klart ut fra en akutt mangel som fører til at algenes vekst hemmes. I dette siste tilfelle har man å gjøre med en *fysiologisk begrensning*. I laboratoriet lar slik begrensning seg fremkalle ved å sultefore planktonalge-kulturer med ett av næringsstoffene. Begrensningen gir seg til kjenne ved symptomer som er lette å påvise med enkel kjemisk-biologisk teknikk. Men i det naturlige miljøet er en slik fysiologisk begrensning vanligvis ikke sterkt utviklet. Grunnen er at systemet for det meste pendler rundt en likevekt der planktonalgens næringsstoffforbruk balanseres av tilførsler ved fysiske transporter i vannmassene (Fig. 1, pilene A, B og C) eller ved biologisk resirkulering ved dyr som ernærer seg av algene (pil D).

Det er den systemiske begrensningen som er av interesse for forvaltningen av fjorder. Tester for fysiologisk begrensning er interessante i den grad de kan avgjøre hvilket næringsstoff som er systemisk begrensende.



Figur 1. Forsyningsveier for næringsstoffer til planteplanktonet. A: ved horisontale strømmer. B: ved innblanding av dybvann. C: fra land. D: ved gjendannelse fra planktondyr.

5. Tester for påvisning av næringsbegrensning

Felles for testene som vi har brukt er at de bygger på alge-fysiologiske kjensgjerninger som er godt dokumentert i faglitteraturen. I rapporten (Paasche, Erga og Brukbak 1987) gjøres det rede for hvorfor de ble valgt. Det vil føre for langt å beskrive detaljene her, og vi skal bare gi en ganske kort oversikt.

Ved mangel på det ene eller det andre næringsstoffet, nitrogen eller fosfor, skjer der en forskyvning av algenes innhold av de samme grunnstoffene som kan fastslås ved kjemisk analyse av planktonet. Videre vil algecellene ved fosformangel utvikle et enzym, alkalisk fosfatase, som er lett å påvise i tester der planktonprøver tilsettes et kunstig enzymsubstrat med et lett målbart spaltingsprodukt. Ved nitrogenmangel øker omsetningen av karboksylsyrer i cellene hvis de igjen får adgang til nitrogen, og dette kan lett måles som opptak av kullsyre (i mørke, for å hindre fotosyntesen) i planktonprøver som har fått et tilskudd av ammoniumklorid i forveien. Næringsmangel vil også føre til en økning av algenes evne å ta til seg næringssaltene hvis disse gjøres tilgjengelig. Dette utnyttes i tester der man setter et isotopmerket næringssalt til planktonet og måler opp-takshastigheten for isotopen. I denne undersøkelser har vi brukt ammonium og nitrat merket med den tunge nitrogenisotopen ^{15}N for å se etter nitrogenbegrensning.

Siden man må regne med at klart utviklet fysiologisk begrensning heller er en unntagelse enn en regel, har vi utført våre målinger ikke bare i planktonprøver tatt rett fra fjorden, men også i vann som var pumpet ombord og ble oppbevart i en beholder gjennom et døgn. I denne beholderen var planktonalgene avskåret fra til-

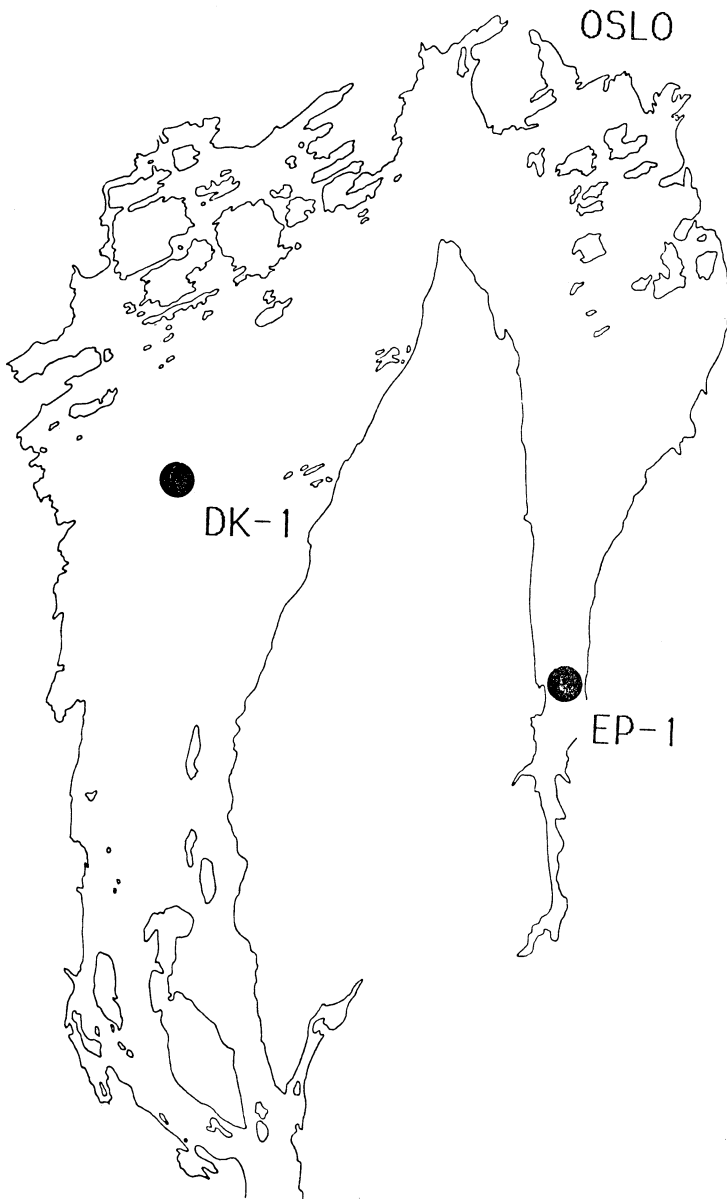
førsler av næring ved fysisk blanding (pilene A—C i Fig. 1). Under planktonalgenes fortsatte vekst i dette avstengte vannet ville næringsbegrensningen bli mere akutt, og de fysiologiske symptomene klarere utviklet. Ved flere anledninger slo dette allikevel ikke til. Vi tolker dette som at planktonet da var i en fase der næringssalt-utskillelse fra planktondyr (Fig. 1, pil D) oppveiet forbruk hos algene.

Testene har forskjellig utsagnskraft, delvis avhengig av årstid, og må settes sammen til en slags samlet diagnose, som vist nedenfor for Oslofjorden. Men en slik diagnose alene sier ikke nok om planteplanktonets ernæringssituasjon i den fjorden man undersøker. Testresultatene må tolkes mot en bakgrunn av opplysninger om hydrografi, næringssaltkonsentrasjoner og planktonbestandenes størrelse og arts-sammensetning.

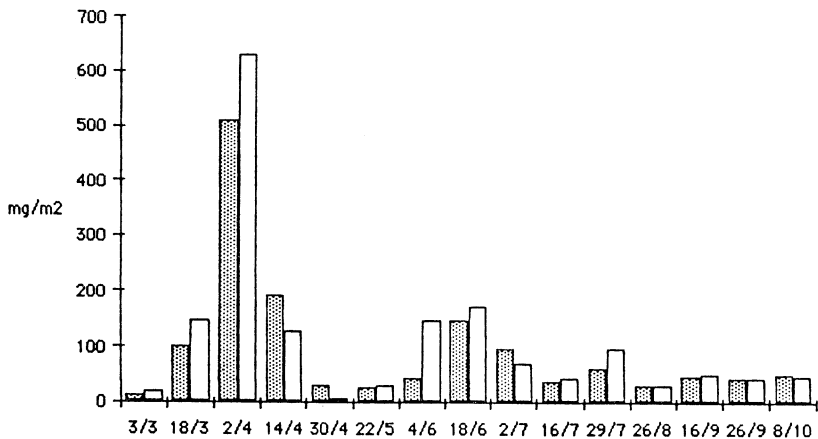
6. Planktonutviklingen i Oslofjorden i 1986

Vi har gjort våre målinger først og fremst på to stasjoner, DK-1 i Vestfjorden og EP-1 i Bunnefjorden (Fig. 2). Fig. 3 viser årsforløpet i planktonutviklingen, fremstilt som mengden klorofyll under én kvadratmeter havflate. Klorofyll gir et godt mål for mengden av plantemateriale som står i vannsøylen. I Oslofjorden er der to topper i planktonproduksjonen, én i mars—april og én i juni. Dette går igjen hvert år. Senere på sommeren, når der har utviklet seg en stabil sjiktning med ca. 5—10 meter brakkvann øverst, er planktonmengdene mindre og forholdsvis konstante.

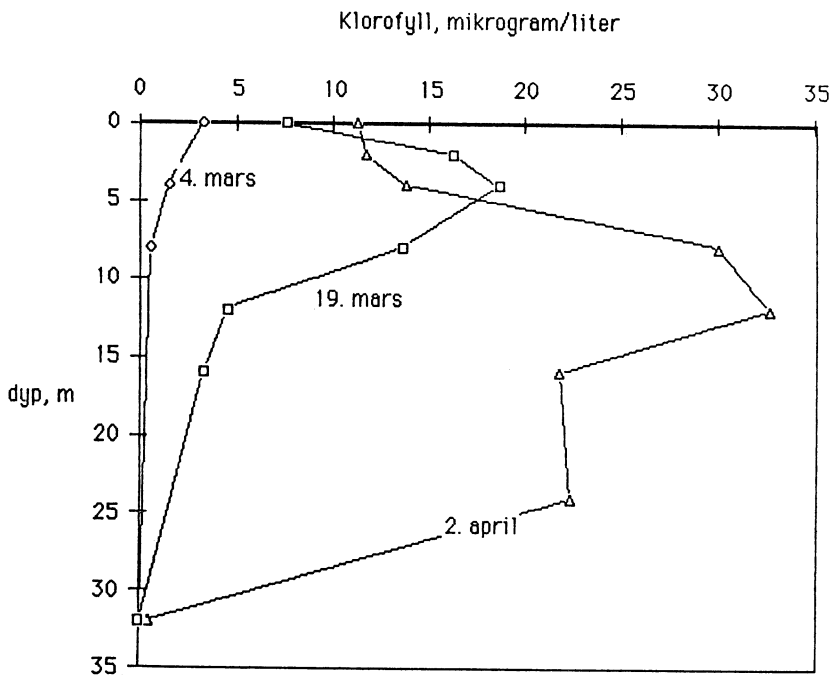
Fra mars til oktober er planktonet alltid i vekst, samtidig som en del av det hele tiden synker ut av det belyste (produktive) sjiktet. Vi har ikke gjort spesielle målinger av disse prosessene i 1986. Men fordelin-



Figur 2. Prøvetakingsstasjonene i Vestfjorden (DK-1) og Bunnefjorden (EP-1).



Figur 3. Endringer i planteplanktonmengdene, uttrykt som milligram klorofyll «a» pr. kvadratmeter havflate, i Vestfjorden (grå søyler) og i Bunnefjorden (hvite søyler) gjennom 1986.

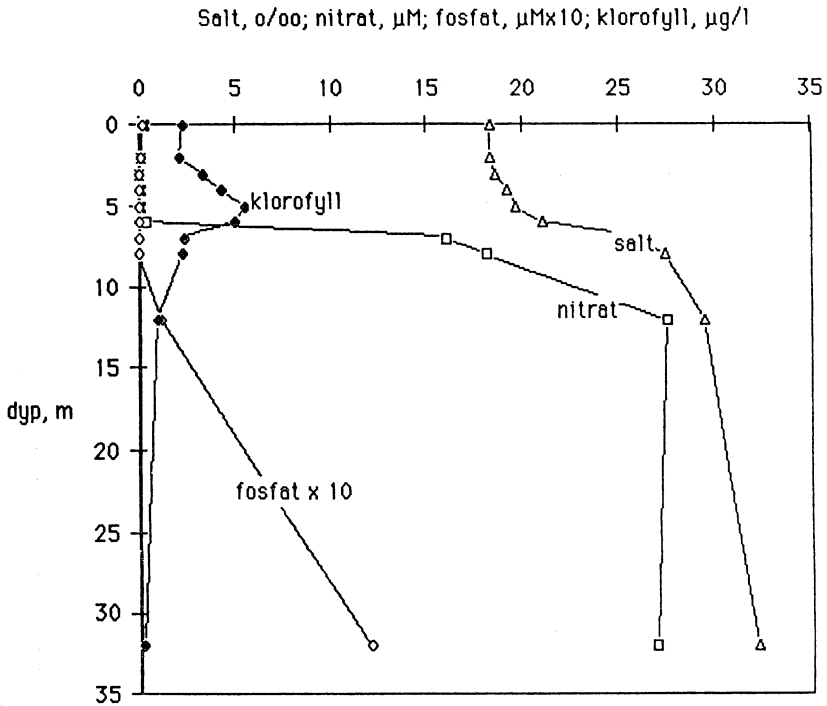


Figur 4. Vertikalfordelingen av planteplankton, uttrykt som klorofyll «a», i Bunnefjorden på tre datoer våren 1986.

gen av klorofyll i tre stadier av den første vårveksten viste at de veldigne mengdene plankton som ble produsert da tok veien mot dypet (Fig. 4).

I den sjiktede sommersituasjonen viste planteplanktonet en karakteristisk fordeling, som holdt seg gjennom hele juli og august (Fig. 5). Det meste av bestanden satt da i den øverste delen av sprangsjiktet (sjiktet der saltholdigheten øker raskt mot dypet). Som er vanlig om sommeren, var reservene av både fosfor (som fosfat) og nitrogen (som nitrat og ammonium) nær-

mest uttømt fra overflaten ned til toppen av sprangsjiktet. Men så kort vei som en meter nedenfor den største planktonkonsentrasjonen var tilgangen på nitrat god, mens man måtte ytterligere et par meter dypere for å finne målbare fosfatmengder (Fig. 5). Næringssaltkonsentrasjoner nær analytisk null er i seg selv ikke noe sikkert tegn på næringsmangel i planktonet, men ut fra denne karakteristiske forskjellen i dybdefordelingen av nitrat og fosfat ville man vente at fosforbegrensning var mest nærliggende.



Figur 5. Vertikal fordelingen av salt, nitrat, fosfat og planteplankton, som klorofyll «a», i Bunnefjorden 16. juli 1986. Fosfatkonsentrasjonene er multiplisert med en faktor lik 10.

7. Utprøving av testprogrammet i Oslofjorden

Fig. 6 viser en sterkt sammentrengt oversikt over resultatene av begrensningstestene. Det ble benyttet tilsammen 10 ulike kriterier (tester), hvorav 4 var spesifikke for fosforbegrensning og 6 for nitrogenbegrensning. I tillegg ble det tatt hensyn til konsentrasjonene av næringssalter. Våre målinger av disse viste at nitrogenbegrensning var mulig i april, og derefter fra slutten av juni til begynnelsen av september (Fig. 6). Mulighet for fosforbegrensning forelå på én dato i april, og igjen fra slutten av mai og sesongen ut.

Testenes utslag ble delvis gradert som sterke og svake (Fig. 6). Det var aldri mere enn 6 utslag samtidig. Ofte var det færre; dette var naturligvis særlig tilfelle når der bare forelå mulighet for begrensning av det ene av de to næringsstoffene.

På grunnlag av oppstillingen i Fig. 6 kan vi slutte at den svære algebstanden

som sank ut i mars—april (Fig. 4) var nitrogenbegrenset. Fosforbegrensning kunne vi fastslå særlig i sommermånedene, slik som ventet fra opplysningene om nærings-saltkonsentrasjonenes endringer gjennom sesongen (Fig. 6) og med dyppet (Fig. 5). Men ved én anledning, i slutten av juli, så vi klart en samtidig begrensning ved nitrogen og fosfor. Dette gir ingen grunn til å tvile på testene. Planteplanktonet inneholder en blanding av ulike arter som hver har sin egen ernæringsstrategi.

8. Oslofjordens tilstand

I forvaltningen av fjorden har to sider ved planteplanktonproduksjonen krav på oppmerksomhet. Det gjelder på den ene siden overflatesjiktets kvalitet, på den annen side belastningen på oksygenet i dypvannet når synkende planktonmasser går i forråtnelse der. Baalsrud, Lystad og Vråle (1986) har nylig laget kvantitative beregninger over næringssaltutslippenes be-

Måned:	F	M	M	A	A	A	M	J	J	J	J	J	A	S	S	O
N-begr. mulig:				—————									—————			
P-begr. mulig:				—————									—————			
N-tester, klare:				4	1								2			
N-tester, antydn.:				1	1				3	1	1	2	2			
P-tester, klare:					2			2	2	1	1	2	2	2	1	1
P-tester, antydn.:							2	1						1		1
N-begrensning:				••••	••••				••••			••••	••••			
P-begrensning:				••••	••••		••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••	••••

Figur 6. Oversikt over testresultatene. De horisontale tykke strekene i øvre del angir når konsentrasjonene av nitrogensalter henholdsvis fosfat var så lave at næringsbegrensning var mulig. Tallene nedenfor gir antall tester som klart eller antydningvis gav beskjed om nitrogen- henholdsvis fosforbegrensning på hver dato. Ut fra dette er graden og arten av fysiologisk nitrogen- eller fosforbegrensning angitt nederst. Mørkt grått: sterk begrensning. Lyst grått: svak begrensning. Hvitt: ingen begrensning.

tydning i disse to sammenhenger, og en kortere oversikt er gitt av Baalsrud (1987) i dette tidsskrift.

Baalsrud og medarbeidere viser at dypvannets oksygen i fremtiden kanskje vil påvirkes mindre av utsynkning av plankton fra overflaten enn av direkte tilførsler av ammonium og organisk stoff fra renseverkene. Slik sett er det nå ikke fullt så presserende som for få år siden å holde rede på næringsgrunlaget for planktonveksten. Men det er tenkelig at videre undersøkelser vil vise at utsynkende plankton i noen faser likevel bidrar med en stor post på oksygenbudsjettet. Det kan gjelde om våren. I en lang periode er vannet da usjiktet, og algene bruker næringsalter som ikke er tilført direkte fra land, men som bringes opp fra dypet ved vertikalsirkulasjon (Fig. 1, pil B). Våre målinger viser at nitrogenet da kan begrense veksten.

Om sommeren formerer algene seg raskt på grunn av høy temperatur og sterkt lys. Samtidig er det trolig slik at det produserte organiske materialet da raskere brytes ned igjen, og at dette skjer ved biologiske prosesser i det øverste vannsjiktet. I slike situasjoner vil utsagnskraften av tester for næ-

ringsbegrensning kunne svekkes på grunn av hurtig resirkulering av både fosfor og nitrogen (Fig. 1, pil D). I det videre forskningsarbeidet vil vi forsøke å belyse dette nærmere.

Et kjærkomment resultat av de store investeringene på avløpssektoren er at vannet aller nærmest overflaten om sommeren ser bedre ut nå enn rundt 1980 (Baalsrud 1987). Vår undersøkelse motsier ikke dette, og våre testresultater tyder på at kontroll av fosfortilførslene i nivåer ovenfor sprangsjiktet har vært, og er, en riktig politikk. Situasjonen er allikevel ikke helt enkel. Hvis vannet i de øverste 2—4 meters dyp nå er klarere, så er vekstforholdene for algene med dette blitt bedre på et litt større dyp av 4—8 meter. Her kan man, ifølge våre målinger, vente å finne tre ganger mere plankton enn høyere oppe, og dette planktonet mottar nok lys gjennom det klare vannet ovenfor til å dra nytte av det kjempemessige lageret av næringsalter som har sin øvre grense i sprangsjiktet. Igjen møter vi en komplisert situasjon der sammenhengen mellom gjødsling, planktonvekst, synking og oksygenforbruk ikke er lett å overskue.

HENVISNINGER

- Baalsrud, K. 1987. Oslofjordens forurensningsproblem i perspektiv. Vann 1—87, side 2—13.
- Baalsrud, K., Lystad, J. og Vråle, L. 1986. Vurdering av Oslofjorden. NIVA, VRF-rapport O-86166. 94 sider.
- Paasche, E., 1983. Planktonveksten i fjorder: styres den av nitrogen eller av fosfor? Vann 3—83, side 306—310.
- Paasche, E., Erga, S. R. og Brukbak, S. 1987. Nitrogen, fosfor og planktonvekst. En metodeundersøkelse i Oslofjorden 1986. Biologisk institutt, Universitetet i Oslo. 86 sider.