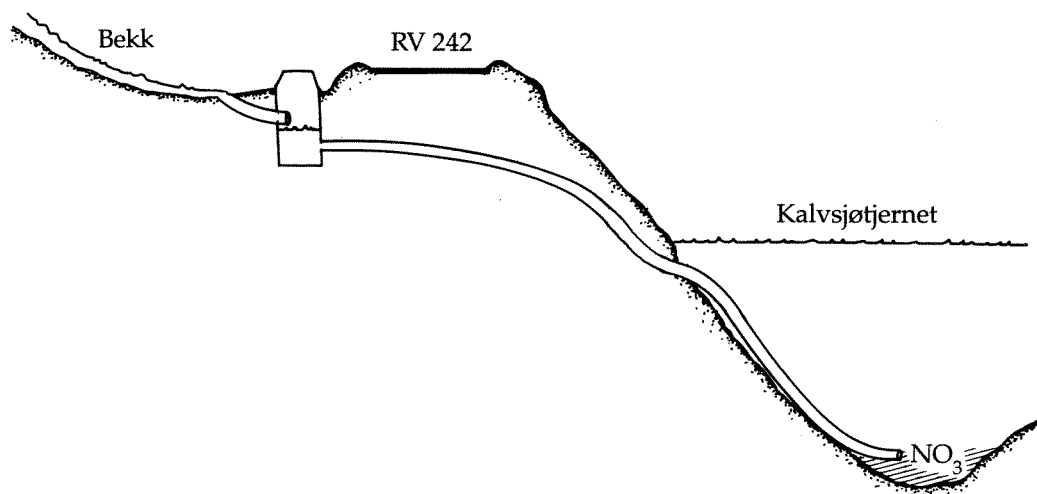


O-92098

Vurdering av nitratbehandling  
av bunnslammet som restaureringstiltak for

## Kalvsjøtjernet i Lunner



# NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Prosjektnr.: 92098	Undernr.:
Løpenr.: 3049	Begr. distrib.: FRI

<b>Hovedkontor</b> Postboks 173, Kjelsås 0411 Oslo Telefon (47) 22 18 51 00 Telefax (47) 22 18 52 00	<b>Sørlandsavdelingen</b> Televeien 1 4890 Grimstad Telefon (47) 37 04 30 33 Telefax (47) 37 04 45 13	<b>Østlandsavdelingen</b> Rute 866 2312 Ottestad Telefon (47) 62 57 64 00 Telefax (47) 62 57 66 53	<b>Vestlandsavdelingen</b> Thornøhlensgt 55 5008 Bergen Telefon (47) 55 32 56 40 Telefax (47) 55 32 88 33	<b>Akvaplan-NIVA A/S</b> Søndre Tollbugate 3 9000 Tromsø Telefon (47) 77 68 52 80 Telefax (47) 77 68 05 09
--	---	--	---	--

Rapportens tittel: Vurdering av nitratbehandling av bunnslammet i Kalvsjøtjernet i Lunner	Dato: 14.4.94	Trykket: NIVA 1994
	Faggruppe: VASSDRAG	
Forfatter(e): Bjørn Faafeng	Geografisk område: OPPLAND	
	Antall sider: 24	Opplag: 55

Oppdragsgiver: Lunner kommune	Oppdragsg. ref.:
----------------------------------	------------------

## Ekstrakt:

Dypvannssedimentene i Kalvsjøen blir oksidert etter tilsetning av nitratløsning og kan derved bedre binde fosfater. Derved reduseres også den "indre gjødsling" av innsjøen. Eksperimenter med sedimentprøver fra innsjøen indikerer at nitrattilsetning kan være et effektivt og rimelig tiltak for å bedre vannkvaliteten i innsjøen. Det understrekes at tiltaket bare vil være effektivt etter konvensjonell oppsamling og rensing av avløpsvannet fra et antall boliger som i dag har direkte utslipp til innsjøen.

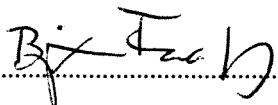
4 emneord, norske

1. eutrofiering
2. blågrønnalger
3. innsjørestaurering
4. nitrattilsetning

4 emneord, engelske

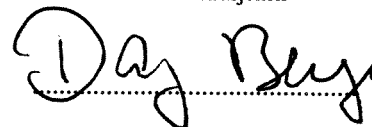
1. eutrophication
2. Cyanobacteria
3. lake restoration
4. nitrate addition

Prosjektleder



.....Bjørn Faafeng.....

For administrasjonen



.....Dag Berge.....

ISBN-82-577-2508-0

Norsk institutt for vannforskning

O-92098

Vurdering av  
nitratbehandling av bunnslammet  
som restaureringstiltak  
for Kalvsjøtjernet i Lunner

dato: 18.3.94

Prosjektleder:

Bjørn Faafeng

For administrasjonen:

Dag Berge

## FORORD

NIVA gjennomførte i 1993 en innledende undersøkelse av Kalvsjøtjernet i Lunner kommune for å vurdere innsjøens tilstand og foreslå restaureringstiltak. Lunner kommune var spesielt opptatt av å finne ut om bunnslammet (sedimentene) kunne spille en vesentlig rolle som fosforkilde til innsjøen, i tillegg til de forurensningskilderen kjenner til fra bebyggelse og landbruk. Disse forholdene ble diskutert og bekreftet i NIVAs rapport av 16. september 1993 (Faafeng og Skulberg 1993). Det ble i denne rapporten også foreslått forskjellige tiltak for restaurering av innsjøen, bl.a. nitratbehandling av sedimentet.

Lunner kommune ba NIVA i brev av 5. oktober 1993 om å utføre laboratorie-eksperimenter for å fastslå om nitratbehandling kunne være en effektiv metode for å hindre "indre gjødsling" av Kalvsjøtjernet. Rapport fra eksperimentet skulle foreligge 1. mars 1994.

NIVA har i forbindelse med et annet prosjekt foretatt målinger av vannkvaliteten i Kalvsjøtjernet 8 ganger i løpet av 1993. Disse dataene er vederlagsfritt stilt til disposisjon for presentasjon i denne rapporten (kapittel 3.1).

Miljøvernleder Jan Reistad har vært Lunner kommunes kontaktperson for dette prosjektet.

Bjørn Faafeng har gjennomført eksperimentene og har skrevet denne rapporten.

# INNHold

	side
Forord	1
Innhold	2
1. KONKLUSJONER	3
2. INNLEDNING	5
2.1 Tidligere undersøkelser	5
2.2 Mål	5
2.3 Gjennomføring av eksperiment med sedimenter	5
2.4 Gjennomføring av analyser av Kalvsjøtjernet i 1993/94	7
3 RESULTATER	8
3.1 Stabilisering av sedimenter	8
3.1.1 Eksperimenter med sedimentprøver	8
3.1.2 Anbefalte tiltak	9
3.1.2.1 Nitrattilsetning	9
3.1.2.2 Dykking av bekk	10
3.1.2.3 Virkninger på nedenforliggende vassdrag	11
3.1.2.4 Alternative tiltak	12
3.2 Målinger i Kalvsjøtjernet i 1993/94	13
3.2.1 Temperatur og oksygen	13
3.2.2 Fosfor og nitrogen	14
3.2.3 Siktedyb og planteplankton	17
LITTERATUR	20
VEDLEGG	21

## 1. KONKLUSJONER

### **Vannkvalitet**

NIVAs målinger i Kalvsjøtjernet i 1993 viser tydelig at innsjøen er sterkt belastet med forurensning av plantenæringsstoffer (fosfor og nitrogen). Økte fosforkonsentrasjoner har resultert i kraftige oppblomstringer av alger, i enkelte år tildels svært giftige former. Vannkvaliteten må betegnes som "dårlig" til "meget dårlig" ifølge SFTs Vannkvalitetskriterier. Oksygeninnholdet i dypvannet forbrukes raskt under isen pga. det høye innholdet av alger og løste organiske forbindelser fra nedbørfeltet. Oksygenkonsentrasjonen under isen er så lav at det kan være kritisk for fiskebestanden. Fosforet som synker til bunns i innsjøen bindes til sedimentet (bunnslammet) så lenge det er oksygen til stede. Når oksygen forbrukes fullstendig, som i dypvannet i Kalvsjøtjernet, vil fosfatet effektivt løses ut av sedimentet og bringes opp mot overflaten når vannmassene blandes om våren og høsten. Dette fenomenet kalles "indre gjødning" bidrar sterkt til opprettholdelse av den dårlige vannkvaliteten.

### **Eksperimenter med nitrattilsetning**

Det ble utført enkle eksperimenter med sedimentprøver fra 25 meters dyp i vestre basseng av Kalvsjøtjernet. Til tross for usikkerhet i tolkning av eksperimentene fordi svært kort tid sto til disposisjon, synes nitrattilsetning å gi en viss oksidasjon av dypvannssedimentene i Kalvsjøtjernet. Etter vel én måneds eksponering av sedimentprøver ved 22 °C ble sedimentoverflatene noe oksidert, med "rust"-utfelling (oksiderte jernforbindelser). Fosfatinnholdet i vannet over nitrattilsetning var også mye lavere (20 mgPO<sub>4</sub>-P/m<sup>3</sup>) enn over ubehandlet sediment (880 mgPO<sub>4</sub>-P/m<sup>3</sup>). Dette viser at nitrattilsetning kan virke som forutsatt ved å bidra til å binde fosfat til de oksiderte jernforbindelsene i overflatesedimentene. Nitrattilsetning må gjentas over et antall år for å gi vedvarende effekt. Vi vurderer derfor tiltaket som gunstig spesielt i kombinasjon med andre restaureringstiltak.

### **Anbefalte tiltak**

#### Forurensningshindrende tiltak

NIVAs måleprogram i 1993 viser at reduksjon av de eksterne tilførselene av fosfor og organisk stoff er avgjørende for å kunne bedre vannkvaliteten i Kalvsjøtjernet. Fra to tilløpsbekker på sørsida av Kalvsjøtjernet tilføres innsjøen også betydelige mengder tarmbakterier fra urensset avløpsvann fra boliger. Dette indikerer at vannet, i hvert fall i deler av innsjøen, kan ha tvilsom hygienisk kvalitet. Andre tilløp til innsjøen er ikke undersøkt.

For å bedre vannkvaliteten i Kalvsjøtjernet bør derfor, som diskutert i en tidligere rapport, avløpsvannet fra husholdninger fra flest mulig av boligene i innsjøens nærhet samles opp og renses, fortrinnsvis ved én av følgende metoder i prioritert rekkefølge:

- tilkobling til kommunale avløpsnett
- rensing av avløpsvannet i minirensesanlegg
- infiltrasjon i løsmasser der forholdene ligger godt til rette for det.

God husholdning med plantenæringsstoffene i jordbruket i innsjøens nedbørfelt vil også ha stor

betydning for vannkvaliteten i Kalvsjøtjernet. Her skal spesielt nevnes: optimal dosering og spredning av gjødsel (gjødseplanlegging), erosjonshindrende tiltak og beskyttelsessoner mellom landbruksarealer og vassdraget.

Inntil disse tiltakene har ført til vesentlig lavere fosforbelastning på Kalvsjøtjernet, vil øvrige tiltak ha begrenset verdi.

### Innsjørestaurering

Økt oksygenkonsentrasjon i dypvannet gjennom hele året, er nøkkelen til å redusere den indre gjødsling i Kalvsjøtjernet.

En bekk sørvest for innsjøen drenerer ca. 60% av innsjøens nedbørfelt og vannkvaliteten er tidligere vist å være ganske god. Denne bekken tilfører alene omtrent halvparten av innsjøens vannvolum i løpet av et år. Vannets teoretiske oppholdstid i innsjøen er anslått til vel ett år. Denne bekken fører så store mengder vann av ganske god kvalitet at den kan bidra til å oksygenere og fortynne/spyle ut dypvannet i det vestre bassenget. Middelerdien av 6 målinger i 1992 var 12 mg total-P/m<sup>3</sup>. mens middelerdien i overflatevannet i tjernet i 1993 var vel 40 mg total-P/m<sup>3</sup>.

Vi vil anbefale å strekke en plastledning fra punktet der denne bekken krysser riksveien og lede vannet ned til det dypeste området i det vestre bassenget. Det tilførte vannet vil bidra til økt oksygentilførsel og større ustabilitet i vannmassene og derved dypere sirkulasjon og bedre naturlig oksygenering av vannmassene. For å unngå oppblanding av fosfat rikt bunnvann til de øvre vannmasser i algenes vekstsesong bør fortynningen/utspylingen begrenses til høst, vinter og vår (15. september - 1. mai).

Ved å anlegge en kum ved Kalvsjøtjernet der plastledningen ledes ut i vannet kan en på en enkel og rimelig måte få mulighet til å dosere nitrat-kjemikalier på ønsket tidspunkt og koble bekken til dypvannsledningen når dette er ønskelig. Med erfaring fra faglitteraturen og fra NIVAs restaureringsprosjekt i Kolbotnvannet i Oppegård, anbefaler vi å dosere kalksalpeter eller Nutriox tilsvarende inntil 60 gN/m<sup>2</sup> like etter isgang (1-2 uker etter) i Kalvsjøtjernet. Første år anbefales ca 1/3 av denne mengden for å kunne se effekten av første års tilsetning. Dette tilsvarer tilsetning av vel 4 tonn nitrogen pr. år. Videre nitrattilsetning avpasses etter nitratforbruket det foregående året og gjentas hver vår inntil sedimentet er tilstrekkelig stabilisert.

Etter at Lunner kommune har loddet opp (dybdemålt) innsjøen kan en vurdere om også det østre bassenget bør nitratbehandles. NIVA vil kunne bistå kommunen med råd og veiledning ved gjennomføringen av tiltaket.

## 2. INNLEDNING

### 2.1 Tidligere undersøkelser

Innsjøen er tidligere undersøkt av ANØ i 1988 og 1989 og resultatene er rapportert i deres rapporter nr. 42/89 (Espvik 1989) og 36/90 (Espvik og Nicholls 1990). Rapportene viser at innsjøen har forhøyet konsentrasjon av fosfor og at dette fører til høy algeproduksjon på sensommeren og oksygenvinn i dypvannet. ANØ har også tatt enkelte stikkprøver i en av tilløpsbekkene til Kalvsjøtjernet og konstaterte høye konsentrasjoner med fosfor og tarmbakterier. NIVAs undersøkelse i 1992 bekreftet ANØs konklusjoner og ga et mer detaljert bilde av situasjonen (Faafeng og Skulberg 1993). NIVA foreslo forurensningbegrensende tiltak og flere alternative restaureringstiltak for å øke oksygenkonsentrasjonen i bunnvannet og redusere den "indre gjødslingen" (fosfatlekkasje fra sedimentet).

### 2.2 Mål

*Målet for denne undersøkelsen er å studere om tilsetning av nitrat til vannet like over bunnslammet (sedimentet) vil bidra til rask oksidasjon av øvre sjikt av sediment og derved redusere oksygenforbruket og lekkasjen av fosfat til innsjøen.*

### 2.3 Gjennomføring av eksperiment med sedimenter

Det var begrenset tid til disposisjon, så det var nødvendig å utføre dette eksperimentet på en forenklet måte. I praksis var det bare mulig å la eksperimentet gå i vel én måned pga. de vanskelige isforholdene før jul 1993.

#### *Temperatur*

Prosesser i innsjøers sedimenter og dypvann foregår normalt ganske langsomt fordi temperaturen i slike miljøer er ganske lav. Om vinteren er temperaturen like over sedimentet i dype, vindbeskyttede innsjøer som Kalvsjøtjernet bare ca. 4 °C (se figur 3.1). De prosesser en ønsker å studere vil under slike forhold trenge et antall år for eventuelt å gi den ønskete virkning. Siden disse eksperimentene måtte gi et svar i løpet av få måneder, måtte temperaturen under forsøket økes. Generelt vil mikrobiologiske prosesser fordoble reaksjons-hastigheten ved økning av temperaturen på 10 °C. Forsøkene ble utført ved 22 °C, slik at en kan regne med at resultatet tilsvarer omtrent 4 ganger raskere prosesser enn i innsjøen. Likevel ble dette en svært kort testperiode og utsagnskraften bak resultatene er derfor noe begrenset.

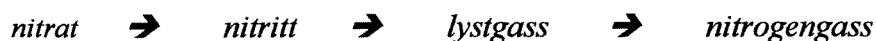
#### *Kjemiske analyser*

Forsøkene måtte gjennomføres inntil få dager før rapporten skulle foreligge. Derved var det ikke tid til å gjennomføre et kjemisk analyseprogram som kunne gi mer nøyaktig informasjon pga. lang leveringstid på kjemilaboratoriet. Det ble derfor brukt forenklet analysemetodikk ved nitratanalyser som kunne gi resultatene direkte (Hach DR2000 spektrofotometer), og redox-målinger med platina/kalomelelektroder (Radiometer).



### Bakgrunn for eksperimentet

Tilsats av nitrat til forurensede innsjøsedimenter har bidratt til rask nedbrytning av organiske forbindelser slik at oksygenforbruket er vesentlig redusert. Derved forhindres også fosfatlekkasje til vannfasen. Metoden kalles "Riplox-metoden", oppkalt etter professor Wilhelm Rippl som lanserte den (Ripl 1976, Rippl og medarb. 1979). Metoden er omtalt på norsk i Faafeng (1993). Det tilsatte nitrat forsvinner ved disse mikrobielle prosessene som nitrogengass. Nitrogengassen utveksles med atmosfæren slik at nitrogenbelastningen på innsjøen ideelt sett ikke øker:



Tilsetning av nitrat stimulerer nedbrytning (mineralisering) og derved "stabilisering" av sedimentet. Prosessen kan føre til frigjøring av bundet fosfat i de første årene med sterk nedbrytning av organisk materiale, men dette motvirkes normalt av binding til jern( $\text{Fe}^{+++}$ )hydroksid-komplekser som dannes ved oksidering av  $\text{Fe}^{++}$ -forbindelser (Tiren og Pettersson 1985). Nettoeffekten blir oftest redusert fosfatkonsentrasjon i vannet.

I den opprinnelige versjonen av metoden (Riplox) pumpes nitratløsningen ned i sedimentet vha. en spesialkonstruert harv fra en flåte som slepes på kryss og tvers av innsjøen vha. wire og vinsjer. Metoden er svært kostbar, og den har derfor ikke vært brukt i Norge. En variant der nitrat holdig vann pumpes ned like over sedimentet har vært brukt i Kolbotnvatnet i Oppegård (Erlandsen og medarb. 1988). Denne varianten er mindre effektiv, slik at prosessene tar lengre tid, men anleggs- og driftskostnadene er også vesentlig lavere.

Denne sistnevnte varianten ble foreslått vurdert i den innledende rapporten om Kalvsjøtjernet (Faafeng og Skulberg 1993), men den kjemiske sammensetningen av sedimentet vil bestemme effektiviteten av metoden. Dette forholdet skulle forsøkes avklart med dette prosjektet.

### Prøveinnsamling og forsøksoppsett

Det ble samlet inn ialt 6 sedimentprøver fra det vestre bassenget i Kalvsjøtjernet den 19.1.94 (pga. mildt vær på forvinteren var isen ikke sikker før ved juletid). Prøvene ble tatt fra 25 meters dyp. Det foreligger ikke dybdekart for Kalvsjøtjernet, men vi antar at disse prøvene skal være representative for de dypeste områdene i det vestre bassenget.

Sedimentene luktet  $\text{H}_2\text{S}$  og de øverste ca. 15 cm var svarte og hadde geleaktig konsistens. Dette er karakteristisk for sedimenter fra vedvarende oksygenfritt miljø. Disse 15 cm representerer derfor sedimentasjon fra den perioden da innsjøen var mer eller mindre kontinuerlig stagnert, dvs. at bunnvannet ikke har blitt "luftet ut" hver vår og høst. Under 15 cm var sedimentet mørk gråbrunt. Under transporten til NIVA ble det frigjort endel gass fra sedimentet, antakelig hovedsaklig metan, men også noe nitrogen og  $\text{CO}_2$ .

Det ble også observert et ca. 2 cm tykt lag med alger på sedimentoverflaten. Algene var friskt grønne og var trolig overvintrende *Oscillatoria* fra oppblomstringen den foregående høst. Dette er ikke uvanlig strategi for denne typer alger, og gir dem stor konkurransemessig fordel neste vår når omblanding av vannet gir dem anledning til å etablere seg i ganske høy konsentrasjon umiddelbart etter isgang.

Ekperimentet ble satt opp med tre forskjellige forsøksbetingelser:

- 2 prøver uten tilsetninger,
- 2 prøver tilsatt nitrat
- 2 prøver tilsatt nitrat og jern (3-verdig).

Nitrat ble tilsatt i form av kalsiumnitrat:  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , mens treverdig jern ble tilsatt som jernklorid :  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Doseringen tilsvarte henholdvis 60 g nitrogen/m<sup>2</sup> og 20 g jern /m<sup>2</sup>. Nitratdoseringen tilsvare det som ble brukt i en liten skotsk innsjø i 1983 (Foy 1986). Sedimentene sto mørkt ved romtemperatur (22 °C) fra 20.1.94 til 23.2.94, ialt 34 døgn.

#### **2.4 Gjennomføring av analyser av Kalvsjøtjernet i 1994**

I forbindelse med et forskningsprosjekt om giftproduserende blågrønnalger finansiert av NIVA ble det samlet inn prøver fra Kalvsjøtjernet ialt 8 ganger i løpet av sommersesongen 1993. Innsamling og parameterutvalg følger samme program som den "Landsomfattende trofiundersøkelsen av norske innsjøer" (Faafeng og medarb. 1991). Disse dataene stilles til disposisjon for denne rapporten om Kalvsjøtjernet. Analysene av dyreplankton var ikke ferdig idet denne rapporten gikk i trykken, men kan stilles til disposisjon for Lunner kommune når de er ferdig analysert, om ønskelig.

## 3 RESULTATER

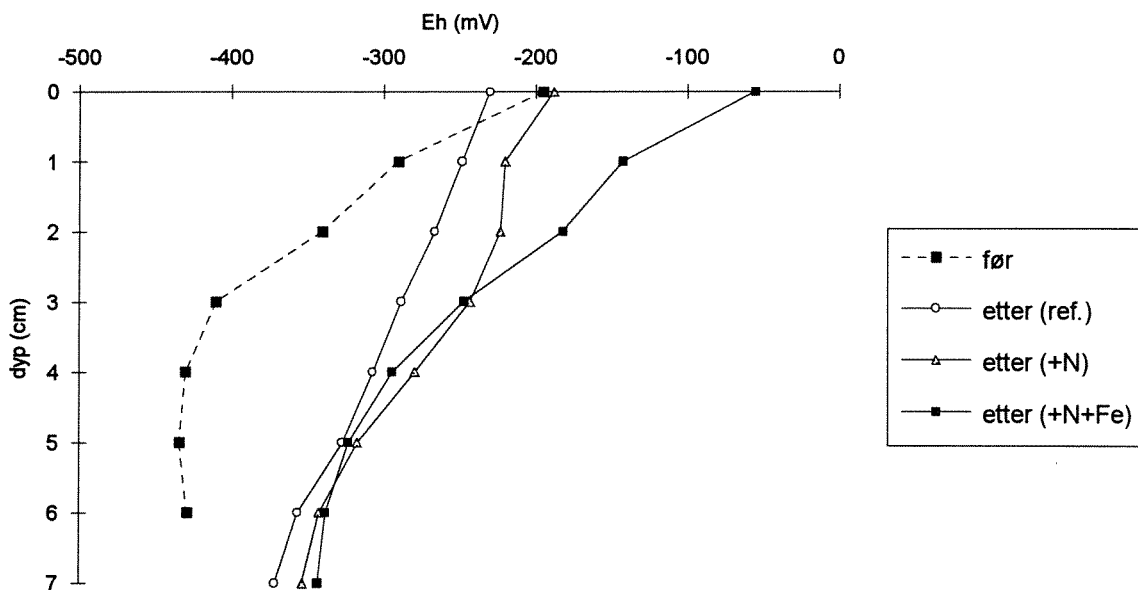
### 3.1 Stabilisering av sedimenter

#### 3.1.1 Eksperimenter med sedimentprøver

Redox-potensialet ( $E_h$ ) gir et mål for hvor kjemisk redusert sedimentet er. Potensialet måles med en platinaelektrode som stikkes gradvis nedover i sedimentet og kalibreres mot en elektrode med fast potensial (kalomelektrode). Resultatet angis i millivolt (mV). Lavere verdier (mer negative) angir mer reduserte forhold. Når sediment eller vann har rikelig oppløst oksygen vil  $E_h$ -verdien ligge på ca +500 mV. Dersom oksygen-konsentrasjonen reduseres til nær 0, faller  $E_h$  raskt. Reduksjon og oksidasjon av jernforbindelser ( $Fe^{2+} \leftrightarrow Fe^{3+}$ ) er av de mest aktive i redoks-reaksjoner og bidrar sterkt til at  $E_h$  kan falle betydelig under 0 i oksygenfrie miljøer (Kjensmo 1970).

Redox-potensialet ble målt i de 7 øverste cm av sedimentprøvene like etter prøvetaking og etter at prøver var blitt eksponert ca. én måned under forskjellige forsøksbetingelser. Resultatene er vist i figur 3.1. Fra ca 3 cm dyp og nedover var den ubehandlede sedimentsøylen sterkt redusert med  $E_h$ -verdier under -400 mV.

Etter eksponering hadde de laveste verdiene i dypere deler av sedimentet økt noe, trolig fordi akrylrørene og korkene som ble brukt ikke er 100% gasstette. De tre parallelle behandlingene ga imidlertid ganske like resultater. Samtlige verdier var lavere enn 0 mV. Rørene *uten* tilsetninger og *med* tilsetning kun av nitratløsning var ganske like, mens røret som i tillegg var tilsatt oksyderte jernforbindelser ( $FeCl_3$ ) hadde høyere  $E_h$ -verdier i de øverste 2-3 cm.



Figur 3.1 Redox-potensial i sedimentprøver fra vestre basseng før og etter tilsetning av kalsiumnitrat (+N) og jern(III)klorid (+Fe)

Konsentrasjonen av nitrat i vannet over sedimentet ble redusert til ca. 10% av det som ble tilsatt (tabell 3.1). Dette indikerer at denitrifikasjons-prosessen i sedimentet gikk forholdsvis raskt i eksperimentperioden, men at dette likevel ikke var tilstrekkelig til å oksidere sedimentoverflaten fullstendig.

Tabell 3.1 Fosfat- og nitratkonsentrasjoner i vannet over sedimentet etter eksponering i 34 døgn

	ingen tilsetning	+N	+N +Fe
Fosfat (mgP/m <sup>3</sup> )	880	20	-
Nitrat (mgN/m <sup>3</sup> )	110	23000	38000

- ikke målt

Ved vurdering av resultatene må en ta i betraktning at forsøket gikk over svært kort tid. Til tross for at temperaturen var betydelig høyere enn i det miljøet en ønsker å simulere, er effektene vurdert ut fra redoks-endringene tilsynelatende beskjedne, mens altså mye av nitrattet ble redusert. Om en antar at disse reaksjonene tilsvarer det en kan vente å finne i Kalvsjøtjernets sedimenter over ca. 4 måneder synes kanskje ikke nitrattilsetning å være en rask og effektiv restaureringsmetode. Sedimentene i Kalvsjøtjernet er imidlertid så redusert og har så høyt innhold av organisk stoff at en må vente at nedbrytningsprosessene vil ta endel tid.

Effekten av nitrattilsetning kan vurderes bedre om en ser på endringer i fosfatkonsentrasjonen som fortsatt er løst i vannet over sedimentet etter nitrattilsetning. Dette er en mer følsom indikasjon på effekter av nitrattilsetning enn redoks-potensialet er, og her ble det registrert ganske store effekter (tabell 3.1). Uten tilsetning av nitrat var fosfatkonsentrasjonen svært høy: 880 mgPO<sub>4</sub>-P/m<sup>3</sup> og sammenliknbar med analyser av bunnvannet i mars 1993. Etter en måneds eksponering med nitrat var fosfatkonsentrasjonen redusert til 20 mgPO<sub>4</sub>-P/m<sup>3</sup>. Dette er en sterk indikasjon på at nitratbehandling vil ha en betydelig positiv effekt.

For å øke effekten av nitrattilsetning bør det derfor foretas i kombinasjon med andre tiltak. Økt oksygentilførsel til dypvannet ved forskjellige andre restaureringstiltak kan bidra til oksidasjon av sedimentene og vil forsterke effekten av nitrattilsetning.

### 3.1.2 Anbefalte tiltak

#### 3.1.2.1 Nitrattilsetning

Det er viktig å ha et godt mål for Kalvsjøtjernets vannvolum for flere av de vurderingene som skal gjøres i forbindelse med restaurering av innsjøen. Siden det ikke foreligger et dybdekart, må vi her gjøre et grovt overslag. Innsjøen bør loddes opp og tallene justeres så snart isen går. Innsjøens areal er beregnet ved planimetrering av kommunalt kart 1:5000 til 0.237 km<sup>2</sup>, fordelt på de to bassengene ifølge tabell 3.2.

Tabell 3.2 Planimetrert innsjøareal fra kartverk 1:5000

	Areal (km <sup>2</sup> )
østre basseng	0.147
vestre basseng	0.100
Totalt	0.247

Dersom en antar at dypeste punkt i vestre basseng er mellom 25 og 30m og i østre basseng mellom 10 og 15m kan en anslå middeldypene i vestre og østre basseng til hhv. 15m og 5m. Dette er foreløpige gjetninger som bare kan tjene til å gi et grovt mål for innsjøens volum (tabell 3.3).

Tabell 3.3 Grove anslag for Kalvsjøtjernets middeldyp og volum

	midlere dyp (m)	volum (mill. m <sup>3</sup> )
østre basseng	5	0.735
vestre basseng	15	1.500
Totalt		2.235

Dette volumet er forøvrig sammenliknbart med det som er beregnet for Kolbotnvannet i Oppegård (3.1 mill. m<sup>3</sup>). Denne innsjøen er eneste norske innsjøen som er nitratbehandlet med den foreslåtte metode.

I eksperimentet som beskrevet i denne rapporten ble det tilsatt nitratløsning tilsvarende 60g N/m<sup>2</sup> sedimentoverflate, som anbefalt av Foy (1986) for en engelsk innsjø. Dersom en antar at det oksygenfrie sedimentet som trenger denne typen behandling utgjør anslagsvis 30% av innsjøens areal, dvs. 0.085 km<sup>2</sup> (8.5 ha), tilsvarer dette:

$$0.020 \text{ kg N/m}^2 * 85000 \text{ m}^2 = \underline{4250 \text{ kg N}}$$

Dersom en bruker kalksalpeter (14 vektprosent N), som er den billigste formen for nitrat som egner seg til formålet, tilsvarer det ca. 30 tonn pr. år. Første året bør en foreta en lavere dosering for å studere effekten av tiltaket. Vi anbefaler 10 tonn tilsatt umiddelbart etter vårsirkulasjonen, trolig tidlig i mai. Senere år tilsettes 20-30 tonn (evt. justert i hht. erfaringene fra foregående år, og justert for korrekte innsjøvolumer og sedimentarealer) hvert år inntil den ønskede stabilisering av sedimentene er oppnådd. Kalksalpeter danner en kald blanding med vann. Oppløsningen vil derfor bli så "tung" at den legger seg over de dypeste delene av innsjøen, som ønsket.

Hydrogas selger et nytt produkt som også kan være svært aktuelt: Nutriox. Dette produktet består av rent kalsiumnitrat og vil trolig være mer effektivt. Nutriox leveres normalt i en vandig løsning som leveres med tankbil. Dosering av væske må eventuelt fordeles over en viss tid, f.eks. en uke, for ikke å forstyrre innsjøens vertikale lagdeling. NIVA undersøker med Hydrogas Norge muligheter for leie av transportabel tank som kan stå igjen ved Kalvsjøtjernet for dosering. Det undersøkes også om dette produktet kan leveres som fast stoff i sekk og om prisforskjeller mellom dosering med Nutriox og kalksalpeter. NIVA vil holde Lunner kommune løpende orientert om resultatet av disse vurderingene.

Hvordan nitratløsningen best skal tilsettes bunnvannet i Kalvsjøtjernet totalt sett er avhengig av innsjøens dybdeforhold. Dersom de to bassengene er ganske dype med en grunn terskel imellom bør trolig hvert basseng behandles for seg. Lunner kommune har påtatt seg å lodde opp innsjøen.

### 3.1.2.2 Dykking av bekk

En bekk sørvest for innsjøen drenerer ca. 60% av innsjøens nedbørfelt og vannkvaliteten er tidligere vist å være ganske god (figur 1 i Faafeng og Skulberg 1993). Denne bekken kan alene fornye hele innsjøens volum i løpet av ca. et år, dersom innsjøen var helt tom for vann. Anslaget baserer seg på midlere avrenning i området på 17 l/sek/km<sup>2</sup> (NVE hydrologisk kart 1:500.000) og at arealet for bekkens nedbørfelt utgjør 2.05 km<sup>2</sup> av innsjøens totale nedbørfelt på 3.54 km<sup>2</sup>, dvs. ca 60%. Dette skulle tilsvare at bekken i et år med gjennomsnittlig nedbør tilfører:

$$0.017 \text{ m}^3/\text{sek}/\text{km}^2 * 2.05 \text{ km}^2 * 31,536,000 \text{ sek}/\text{år} = \underline{1,099,030 \text{ m}^3/\text{år}}$$

Dette tilsvarer rundt regnet halvparten av innsjøens totale vannvolum pr. år. Ut fra samme forutsetninger kan innsjøens teoretiske oppholdstid anslås til i overkant av ett år (årlig tilrenning ca. 1.9 mill. m<sup>3</sup>).

Denne bekken har så store mengder vann av ganske god kvalitet (middelverdi av 6 målinger i 1992 var 12 mg total-P/m<sup>3</sup>) at den kan bidra til effektivt å oksygenere og fortynne/spyle ut dypvannet i et vestre bassenget. En plastledning kan strekkes fra punktet der denne bekken krysser riksveien og ledes ned til det dypeste området i det vestre bassenget. Det tilførte vannet vil også bidra til større termisk ustabilitet i vannmassene og derved dypere sirkulasjon og bedre naturlig oksygenering av vannmassene. For å unngå oppblanding av fosfatrikt bunnvann til de øvre vannmasser i algenes vekstsesong bør fortynningen/utspylingen begrenses til høst, vinter og vår. I utgangspunktet anbefaler vi at bekken dykkes i perioden 15. september - 1. mai. Resten av året (sommerhalvåret) bør den renne som normalt.

Dykking av en bekk som ligger lengre øst på sørsida av tjernet er neppe aktuelt før vannkvaliteten er blitt vesentlig bedre. Imidlertid kan det være ønskelig å nitratbehandle også det østre innsjøbassenget.

### 3.1.2.3 Virkninger på nedenforliggende vassdrag

Forurensningen av nedenforliggende vassdrag vil neppe øke fordi den antatte effekten av tiltakene vil føre til at fosfatbindes mer effektivt i Kalvsjøtjernets sedimenter enn i dag. De mengder av fosfor som i dag transporteres ut av Kalvsjøtjernet skyldes dels dagens betydelige tilførsler fra nedbørfeltet og dels "indre gjødsling". De anbefalte tiltakene bør kunne føre til at konsentrasjonen av fosfor i Kalvsjøtjernet avtar ned mot et nivå i underkant av 20 mgP/m<sup>3</sup> i løpet av noen år (avhengig bl.a. av vannets reelle oppholdstid i Kalvsjøtjernet og fremdriften av kloakkingen av resten av nedbørdeltet), dvs. ca. en halvering av dagens nivå. På sikt bør fosfor-konsentrasjonen kunne reduseres til 10-15 mgP/m<sup>3</sup>. Dette vil hindre masse-oppløst av blågrønnalger. Tiltakene i Kalvsjøtjernet kan derfor også bli positive for vann-kvaliteten i øvrige deler av Vigga-vassdraget.

Tilsetning av nitratløsning til dypvannet vil heller ikke bidra til økt nitrogenforurensning nedstrøms Kalvsjøtjernet dersom metoden virker som forutsatt. All tilsatt nitrat vil reduseres til nitrogengass som avgis til atmosfæren. Tilsvarende tilsetninger av nitrat til Kolbotnvannet i Oppegård har ikke gitt økte nitrogenverdier i vannet. Det anbefales at tiltakene settes i verk gradvis slik at en kan se effektene på vannkvaliteten og styre doseringen av vann og kjemikalier etter dette.

### 3.1.2.4 Alternative tiltak

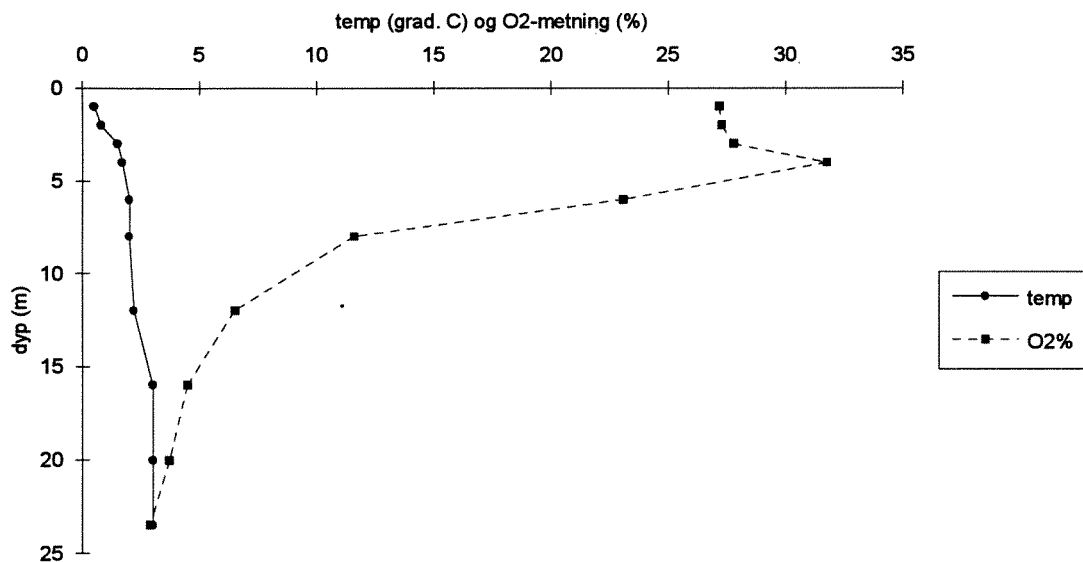
Dersom en prioriterer å oppnå raskere bedring i vannkvaliteten i Kalvsjøtjernet enn det metodene over vil gi, vil kostnadene lett kunne bli betydelig større, både for etablering og drift. Et aktuelt tiltak kan da være å bedre oksygenforholdene i dypvannet med mer effektive metoder:

- oksygenering vha. oksygeneringsutstyr (vannpumpe, kompressor, oksygentilsetning ol.) eller "bobleardin"
- hevert for avledning av forurenset og oksygenfattig bunnvann mot øst (Randsfjorden) evt. mot kommunalt renselanlegg
- Fjerning og behandling/deponering av øvre forurensete sedimentlag vil være et effektivt, men svært kostbart tiltak.

### 3.2. Målinger i Kalvsjøtjernet i 1993/94

#### 3.2.1 Temperatur og oksygen

Det ble målt temperatur og oksygenkonsentrasjon vha. en YSI-sonde (Yellow Springs Instruments) som ble ført gjennom et hull i isen og senket ned i det vestre bassenget av Kalvsjøtjernet i forbindelse med henting av sedimentprøver 19.1.94. Resultatene er vist under. Temperatursjiktningen var slik en kan vente å finne i en vintersituasjon, men oksygenkonsentrasjonen var svært lav, fra 25-30% metning i de øverste 5 meterene avtakende ned mot null under 10 meters dyp. Ved verdier mindre enn 5% metning vil de angitte oksygen-verdiene være ganske unøyaktige pga. svakheter ved målemetoden, og er trolig nær null i Kalvsjøtjernet.

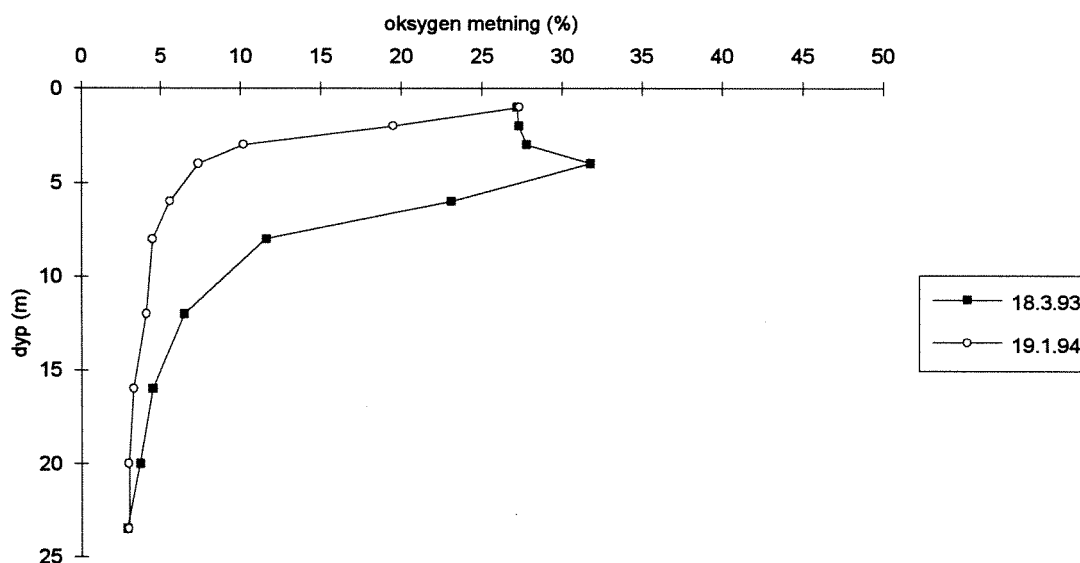


Figur 3.2 Temperatur og oksygenmetning under isen 19.1.94

Vinterobservasjonene fra 1993 og 1994 (figur 3.3) dokumenterer at oksygenreservene under isen langt på vei er brukt opp pga. overbelastningen av innsjøen med næringsstoffer og organisk stoff. Dette fører til stort oksygenforbruk i sedimentet, med lave oksygenkonsentrasjoner under isen. Både i mars 1993 og i januar 1994 hadde innsjøen bare ca 25% oksygenmetning like under isen, dvs. 25% av "normalt oksygeninnhold". I januar 1994 hadde vannet 5% metning på ca. 16 meters dyp, mens forholdene var noe bedre i mars 1993 med 5% metning på ca. 15 meters dyp. Forskjellene er imidlertid ganske små og skyldes trolig klimatiske forskjeller i periodene før islegging, tidspunkt for islegging ol.

Så lave oksygenkonsentrasjoner som ble målt under isen både i 1993 og 1994 vil i allefall kunne gi store problemer for overlevelse av fisk, spesielt laksefisk, gjennom vinteren. Fisken må i slike tilfeller søke nær utløpet av bekkene og helt oppunder isen for å få tilstrekkelig oksygen. Det er stor fare for massedød av fisk om vinteren i år med noe ugunstigere forhold enn det som har vært registrert de to siste vintrene, men vi er ikke kjent med episoder med fiskedød i Kalvsjøtjernet.





Figur 3.3 Oksygenmetning under isen 18.3.93 og 19.1.94

### 3.2.2 Fosfor og nitrogen

Fosforkonsentrasjonen i de øvre vannmasser i Kalvsjøtjernet viser tydelig at innsjøen er sterkt belastet med forurensninger. En gjennomsnittlig fosforkonsentrasjon i overkant av  $40 \text{ mgP/m}^3$  og klorofyllkonsentrasjon på vel  $20 \text{ mg/m}^3$  plasserer innsjøen blant de sterkt forurensede innsjøene. I følge SFTs Vannkvalitetskriterier (SFT 1992) har innsjøen en "dårlig" tilstand mhp. fosfor og en "meget dårlig" tilstand mhp klorofyll og nitrogen.

I vårsirkulasjonen var fosforkonsentrasjonen enda høyere enn utover våren og sommeren. Dette bekrefter at fosfatrikt bunnvann fra vinterperioden blir blandet opp i hele vannmassen foregående høst og tidlig om våren og gjøres tilgjengelig for algene i overflatelaget, med andre ord at innsjøen er utsatt for betydelig "indre gjødsling".

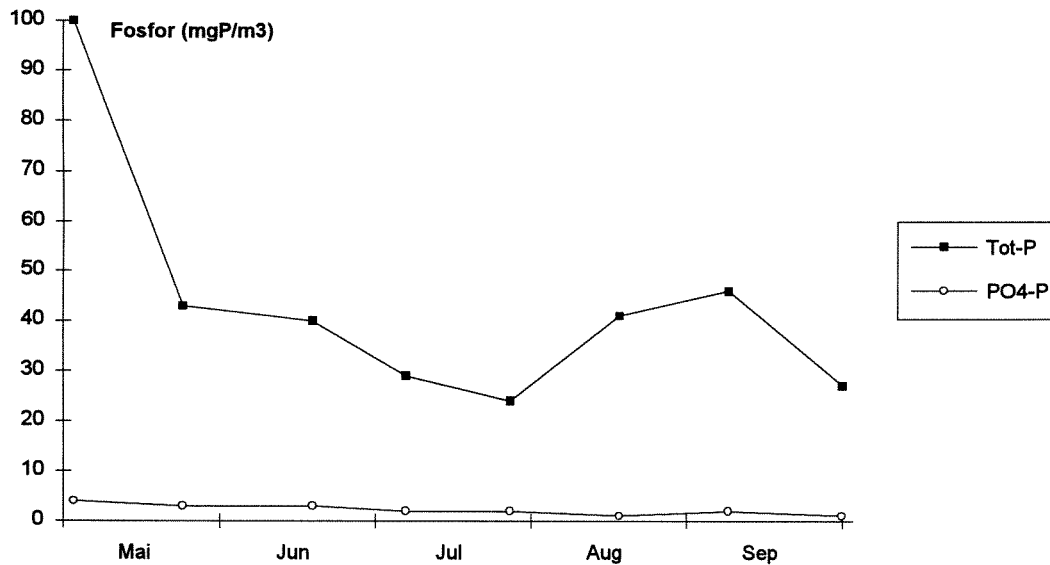
Fosforkonsentrasjonen avtok utover våren og sommeren 1993 fra  $100 \text{ mgP/m}^3$  like etter isgang til  $24 \text{ mgP/m}^3$  mot slutten av juli. Dette viser at en stor del av fosforet bindes i alger og andre partikler tidlig i sesongen og synker til bunns. Innsjøen virker altså som en effektiv "fosfor-felle". Derved blir mindre fosfor tilgjengelig for algene utover sommeren. Tilførslene fra nedbørfeltet var ikke store nok sommeren 1993 til å opprettholde høye fosfor-konsentrasjoner i overflatevannet. Dette kan være en indikasjon på at det er primært den "indre gjødslingen" som bidrar til fortsatt høy fosforkonsentrasjon i Kalvsjøtjernet. Mye av fosforet som synker til bunns blir tilgjengelig for ny algevekst senere ved at det frigjøres fra sedimentene og blandes opp i overflatevannet vår og høst. Som nevnt i den innledende rapporten (Faafeng og Skulberg 1993) bør fosforkonsentrasjonen i Kalvsjøtjernet reduseres til  $10\text{-}15 \text{ mgP/m}^3$  gjennom hele vekstsesongen for å hindre masseoppblomstring av alger.

Figur 3.4 viser også høyere konsentrasjoner av nitrogen om våren, med avtakende verdier utover sommeren. Avtaket skyldes primært opptak i alger og sedimentasjon og lavere tilførsler fra nedbørfeltet i sommermånedene. De gjennomsnittlige sesong-konsentrasjonene av nitrogen og fosfor er høyere enn det som er målt tidligere (tabell 3.4). Dette forklares i stor grad av at de spesielt høye konsentrasjonene kan registreres i mai måned like etter isgang, mens første målinger i 1988 og 1989 ble foretatt sent i juni.

Tabell 3.4. Gjennomsnittsverdier for 4 målinger fra 1 meters dyp i vekstsesongene i hhv. 1988 og 1989 (ANØ 1990) og 8 prøver fra 1993 (NIVA, upublisert).

år	total-P (mgP/m <sup>3</sup> )	total-N (mgN/m <sup>3</sup> )	klf-a (mg/m <sup>3</sup> )
1988	60.0	604	13.0
1989	27.5	430	9.5
1993	43.8	899	20.4

Lave fosfatverdier (nederst i figur 3.3) indikerer at algene i Kalvsjøtjernet stort sett er fosfor-begrenset, bortsett kanskje fra en periode på ettersommeren med lave nitratverdier (figur 3.4).

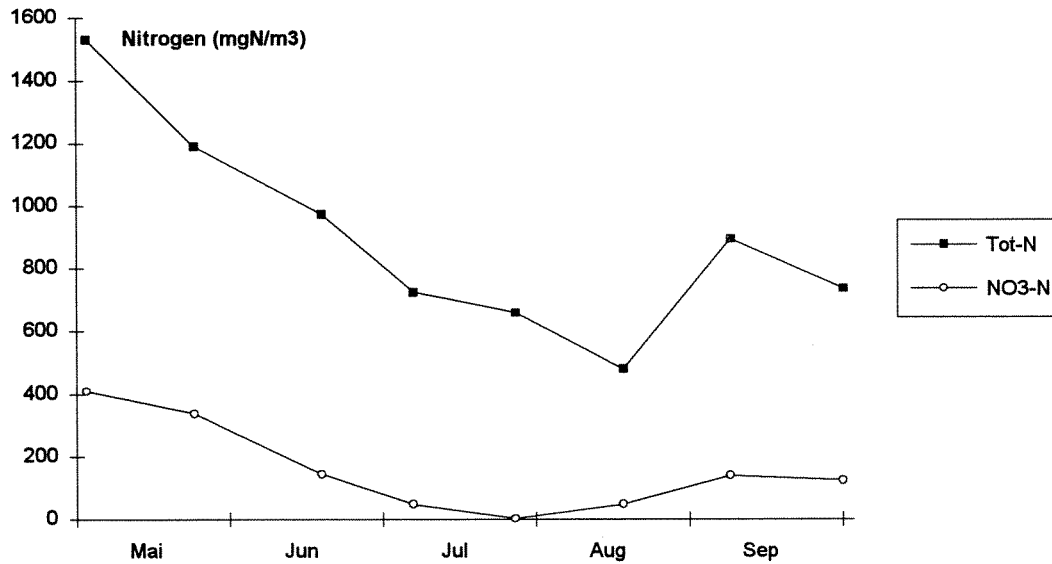


Figur 3.4 Målt fosfor-konsentrasjon i 1994

I forbindelse med henting av sedimentprøver i Kalvsjøtjernet 18. mars 1993, ble det også tatt et par vannprøver på forskjellige dyp i de to bassengene. Prøvene ble analysert på fosfor og resultatene er vist i tabell 3.5.

Tabell 3.5. Fosforkonsentrasjon på grunt og dypt vann i de to bassengene i Kalvsjøtjernet 18.3.93 (mg total-fosfor/m<sup>3</sup>).

	1 meter	10 meter	25 meter
vestre basseng	57	-	1400
østre basseng	67	113	-



Figur 3.5 Målt nitrogen-konsentrasjon i 1994

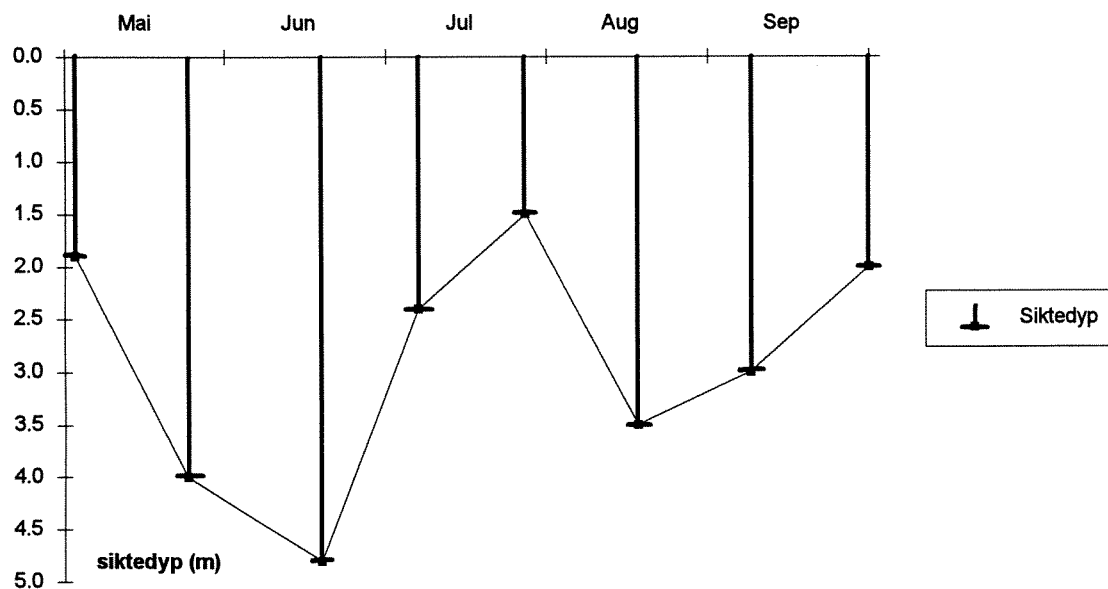
Dypvannsprøver fra januar 1994 viser svært høye verdier for nitrogen (trolig hovedsaklig ammonium) og ekstremt høye fosforverdier (hovedsaklig fosfat), se tabell 3.6. Dette er næringsstoffer som er tilført fra sedimentet gjennom vinteren og vil gi grunnlag for stor algeproduksjon utover sommeren.

Tabell 3.6 Fosfor- og nitrogenkonsentrasjoner samt konduktivitet på 20 og 23 meters dyp i vestre basseng 19. januar 1994.

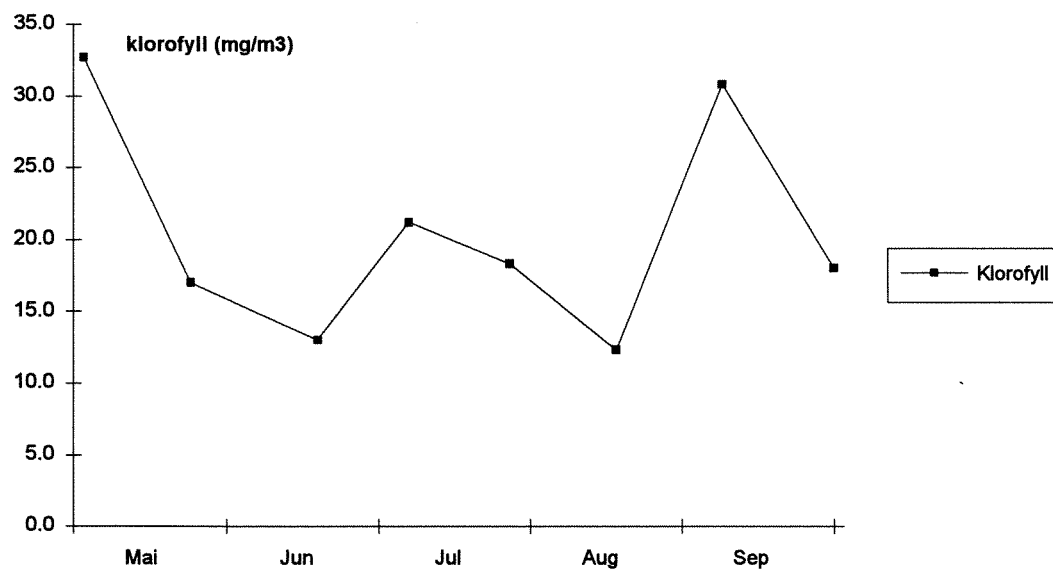
	<i>total-P (mgP/m<sup>3</sup>)</i>	<i>total-N (mgN/m<sup>3</sup>)</i>	<i>konduktivitet (mS/m)</i>
20m	1070	5550	35
23m	1200	6270	35.9

### 3.2.3 Siktedyp og planteplankton

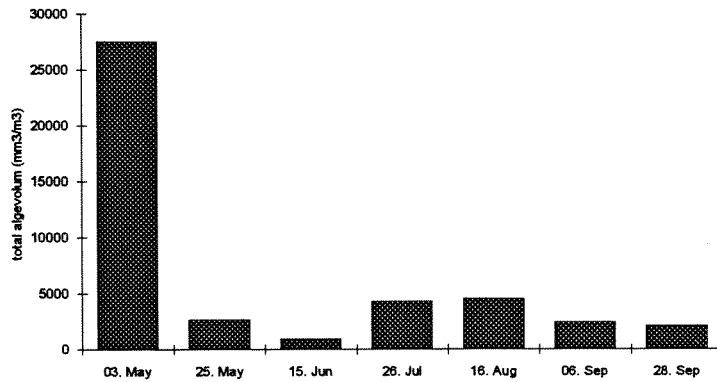
Siktedypet fra 8 prøveinnsamlinger i 1993 er vist ifigur 3.6. Bortsett fra én måling tidlig i september gir siktedypet en indikasjon på konsentrasjonen alger (klorofyll, figur 3.6); se samvariasjonen mellom kurvene i figurene 3.6 og 3.7. Gjennomsnittlig siktedyp i vekstsesongen 1993 var 2.9 m.



Figur 3.6 Målt siktedyp i 1994



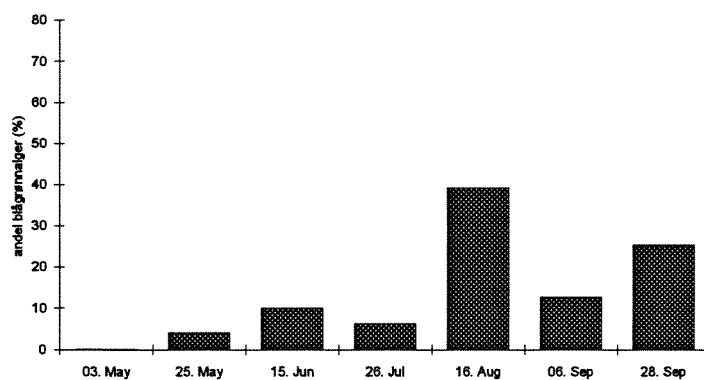
Figur 3.7 Målt klorofyll-konsentrasjon i 1994



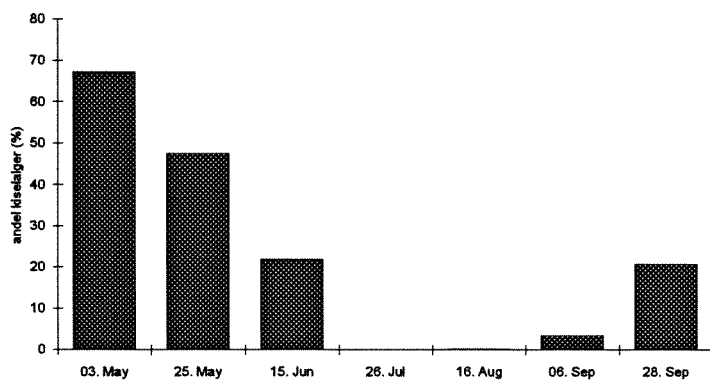
Figur 3.8 Total algebiomasse (mm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) i Kalvsjøtjernet 1993.

Gjennomsnittlig algebiomasse av de 8 prøvene i 1993 var 6357 mm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>, som definitivt plasserer Kalvsjøtjernet blant de eutrofe, eller næringsrike, innsjøene. Gjennomsnittsverdien påvirkes mye av den massive oppblomstringen av en liten kiselalge *Stephanodiscus*, like etter at isen smeltet. Slike oppblomstringer "mister" en ofte ved færre prøvetakinger pr. sesong. Gjennomsnittsverdien for de 7 resterende datoene var 2830 mm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>, som fortsatt er langt over grenseverdien for eutrofe innsjøer på 1500 mm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>, ifølge en landsomfattende innsjøundersøkelse (Faafeng og medarb. 1991).

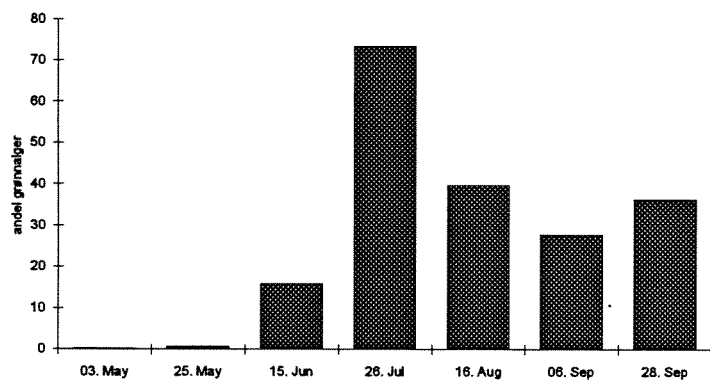
*Stephanodiscus hantzchii* v. *pusillus* har også masseoppblomstringer tidlig om våren f.eks. i Kolbotnvannet i Oppegård og Søylandsvatnet på Jæren som begge er sterkt forurenset av fosfor og nitrogen. Begge disse innsjøene har høye fosfor-konsentrasjoner om våren. Artssammensetningen forøvrig (se vedlegg) er karakteristisk for næringsrike (forurensete) innsjøer. Dette bekreftes også av den prosentvise fordeling av de forskjellige algegruppene i Kalvsjøtjernet (se figurene under). Usystematiske observasjoner fra tidligere år viser at det kan forekomme større oppblomstringer av blågrønnalger om høsten enn i 1993. Det er observert sterkt giftproduserende oppblomstringer av *Oscillatoria (Planktothrix) agardhii* bl.a. i 1991 (se Faafeng og Skulberg 1993), men det ble ikke undersøkt om denne arten var giftproduserende også i 1993.



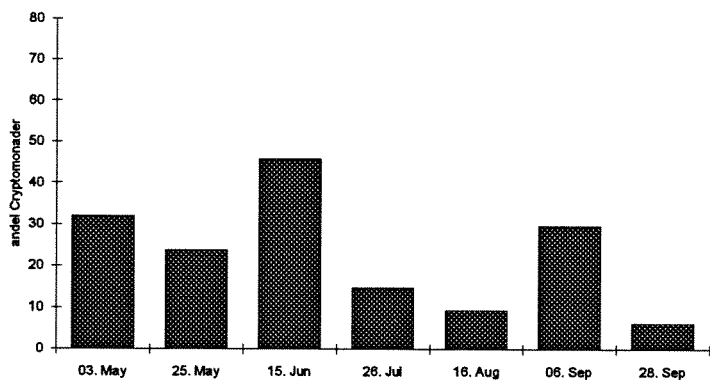
Figur 3.9 Andel blågrønnalger i 1993



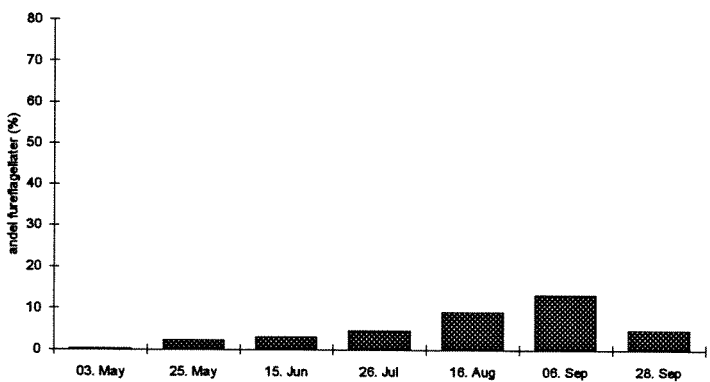
Figur 3.10 Andel kiselalger 1993



Figur 3.11 Andel grønnalger 1993



Figur 3.12 Andel cryptomonader 1993



Figur 3.13 Andel fureflagellater 1993

## LITTERATUR

- Boström, B., J.M.Andersen, S.Fleischer og M.Jansson 1988. Exchange of phosphorus across the sediment-water interface. *Hydrobiologia* 170: 229-244.
- Erlandsen, A.H., P.Brettum, J.E.Løvik, S.Markager og S.T.Källqvist 1988. Kolbotnvannet. Sammenstilling av resultater fra perioden 1984-87. NIVA-rapport l.nr. 2161. 118s.
- Faafeng, B. 1993. Restaureringsstrategi for eutrofierte innsjøer. NIVA-rapport l.nr. 2857. 73s.
- Faafeng, B., D.Hessen og P.Brettum 1991. Eutrofiering av innsjøer i Norge. Generelt om eutrofiering og resultater fra en landsomfattende undersøkelse i 1988 og 1989. SFT rapport nr. 497/92, TA 814/1992. 36 s.
- Faafeng, B. og O.M.Skulberg 1993. Innledende undersøkelser av Kalvsjøtjernet i Lunner 1992. NIVA-rapport l.nr. 2946. 23s.
- Foy, R.H. 1986. Suppression of phosphorus release from lake sediments by the addition of nitrate. *WAT. Res.* 20(11): 1345-1351.
- Kjensmo, J. 1970. The redox potentials in small oligo and meromictic lakes. *Nordic Hydrol.* 1: 56-65.
- NVE 1987. Avrenningskart for Norge. 1:500.000. Hydrologisk avd., NVE.
- SFT 1992. Klassifisering av vannkvalitet i ferskvann. Kortversjon. Statens Forurensningstilsyn TA-905/1992, 32s.
- Ripl, W. 1976. Biochemical oxidation of polluted lake sediments with nitrate - a new lake restoration method. *Ambio* 5: 132-135.
- Ripl, W., L.Leonardsson, G.Lindmark, G.Andersson og G.Cronberg 1979. Optimering av reningsverk/recipient-system. *Vatten* 35: 96
- Tiren, T. og K.Pettersson 1985. The influence of nitrate on the phosphorus flux to and from oxygen depleted lake sediments. *Hydrobiologia* 120: 207-223.

## Vedlegg tabeller



## Kalvsjøtjernet

Dato	Blandprøvedyp
03/05/93	4
24/05/93	8
15/06/93	8
06/07/93	5
26/07/93	3
16/08/93	4
06/09/93	6
28/09/93	4

Dato	Tot-P	PO4-P	Tot-N	NO3-N	Farge	Turbiditet	Klorofyll	TOC/GFF
03/05/93	100	4	1530	410	22.4	3.3	32.7	3520
24/05/93	43	3	1190	340	18.4	1.6	17.0	1840
18/06/93	40	3	975	145	19.9	1.8	13.0	1470
06/07/93	29	2	725	47	17.3	2.4	21.2	2720
26/07/93	24	2	660	2	16.7	3.6	18.3	2060
16/08/93	41	1	480	47	21.0	2.8	12.3	2410
06/09/93	46	2	895	140	23.5	2.5	30.8	1920
28/09/93	27	1	738	125	23.0	2.6	18.0	1910
gj.snitt	43.8	2.3	899	157	20.3	2.6	20.4	2231
median	40.5	2.0	817	133	20.5	2.6	18.2	1990
minimum	24.0	1.0	480	2	16.7	1.6	12.3	1470
maksimum	100.0	4.0	1530	410	23.5	3.6	32.7	3520

Dato	Siktedyp	farge	Merknader
03/05/93	1.9	gulig brun	
24/05/93	4.0	brunlig gul	
18/06/93	4.8	grønnlig gul	
06/07/93	2.4	grønn	
26/07/93	1.5	grønn	
16/08/93	3.5	grønn	
06/09/93	3.0	brunlig gul	H <sub>2</sub> S-lukt av blandprøve 0-6m!
28/09/93	2.0	gullig brun	
gj.snitt	2.9		
median	2.7		
minimum	1.5		
maksimum	4.8		

*Vannkjemiske analyseresultater fra 1 meters dyp i Kalvsjøtjernet 1988 og 1989 (ANØ 1989 og 1990)*

dato	siktedyp (m)	total-P (mgP/m <sup>3</sup> )	total-N (mgN/m <sup>3</sup> )	NO <sub>3</sub> -N (mgN/m <sup>3</sup> )	klf-a (mg/m <sup>3</sup> )
<b>1988</b>					
20.6	2.6	32	750	170	14.6
13.7	0.9	47	610	-	13.9
3.8	1.5	133	500	10	12.1
24.8	1.6	27	555	50	11.2
<b>1989</b>					
20.6	1.7	28	480	15	3.3
12.7	2.4	24	420	10	6.0
1.8	2.2	35	420	2	16.8
22.8	2.1	23	400	5	11.9

## Kvantitative planteplankton analyser: K a l v s j ø t j e r n

Dato ⇒	930503	930525	930615	930726	930816	930906	930928
Gruppe	Volum	Volum	Volum	Volum	Volum	Volum	Volum
<b>Arter</b>							
<b>Cyanophyceae</b> (blågrønner)							
Anabaena solitaria f. planctonica				30.82	4.69		
Planktothrix agardhii	25.60	110.40	92.40	227.60	1759.60	307.60	535.30
Snowella lacustris			0.40	11.80	11.80	5.30	
<b>Sum</b>	25.60	110.40	92.80	270.22	1776.09	312.90	535.30
<b>Chlorophyceae</b> (grønner)							
Botryococcus braunii						2.40	
Carteria sp. (l=6-7)						3.31	
Chodatella ciliata			2.65	143.10	50.09	39.75	47.70
Coelastrum asteroideum		0.96					
Coelastrum microporum							15.37
Coelastrum reticulatum	4.00						
Cosmarium depressum			0.96	0.80	2.00	1.60	12.00
Elakatothrix gelatinosa (genevensis)				2.65	1.06		
Elakatothrix viridis						1.86	1.19
Gyromitus cordiformis							2.78
Koliella sp.			0.53				
Micractinium pusillum		5.51					
Monoraphidium dybowskii				15.64	13.52		
Monoraphidium komarkovae	2.12		0.66				
Oocystis parva			0.53	1248.15	36.44	4.64	
Pediastrum boryanum		1.20	3.60	8.40			1.20
Scenedesmus armatus			5.30	5.30	0.12	1.59	2.39
Scenedesmus ecornis			4.77	7.42	1.33		10.60
Scenedesmus quadricauda			4.24				
Scenedesmus sp. (Sc.bicellularis ?)		2.12	29.68	0.53			
Sphaerocystis Schroeteri					0.29	0.58	
Staurastrum gracile							6.00
Staurastrum paradoxum			1.50	3.00	1.80	2.10	3.00
Tetraedron minimum		9.54	91.82	1696.00	1688.05	624.87	662.24
Ubest.cocc.gr.alge (Chlorella sp.?)					1.99		
<b>Sum</b>	6.12	19.33	146.25	3130.99	1796.67	682.70	764.47
<b>Chrysophyceae</b> (gullalger)							
Chrysochromulina parva		495.02	3.26		24.90		
Craspedomonader					0.80	0.69	1.03
Mallomonas spp.							20.14
Ochromonas sp. (d=3.5-4)	13.45	12.59	2.43	4.58	2.58	3.72	8.01
Små chrysomonader (<7)	26.87	24.80	6.68	5.51	3.82	6.55	22.39
Store chrysomonader (>7)	27.56	27.56	3.45	20.67	27.56	20.67	39.62
Uroglena americana				0.30	40.23	275.49	38.43
<b>Sum</b>	67.88	559.98	15.82	31.07	99.87	307.12	129.62
<b>Bacillariophyceae</b> (kiselalger)							
Asterionella formosa		4.18	5.83				0.90
Diatoma elongata					0.20		
Fragilaria crotonensis		1.10	2.20		3.30	84.70	437.25
Navicula sp.	2.00						
Nitzschia sp. (l=40-50)	1.86		0.93				
Stephanodiscus hantzchii v. pusillum	18469.44	1238.88	182.32				
Synedra sp. (l=30-40)	15.58	15.58	3.34				
Synedra sp. (l=40-70)	3.71	14.84	6.49				0.93
Synedra ulna	14.40						
<b>Sum</b>	18506.99	1274.58	201.11		3.50	84.70	439.08
<b>Cryptophyceae</b>							
Cryptomonas curvata	1166.00	337.28	232.10	30.00	13.00	46.80	22.00
Cryptomonas erosa	1971.60	14.84	44.52	130.38	89.04	219.42	38.16
Cryptomonas erosa v. reflexa (Cr.refl.?)	2336.24	82.68	50.35	106.00	140.98	137.80	5.30
Cryptomonas marssonii	372.06	12.72	3.71		4.24	6.89	3.45
Cryptomonas spp. (l=24-28)	2729.50	9.50	47.70	298.13	106.00	307.40	53.00
Katablepharis ovalis	8.48	26.71		1.91	1.91	0.95	4.29
Rhodomonas lacustris (+v.nannoplanctica)	209.88	154.81	42.67	32.30	60.95	7.95	2.78
Rhodomonas lens	2.39						
Ubest.cryptomonade (Chroomonas sp.?)				31.01	6.89	5.17	2.25
<b>Sum</b>	8796.15	638.55	421.05	629.72	423.01	732.38	131.23
<b>Dinophyceae</b> (fureflagellater)							
Ceratium hirundinella			6.00	198.00	294.00	282.00	60.00
Gymnodinium cf. lacustre				1.06			
Gymnodinium helveticum	66.00	54.00	6.00		108.00	46.80	
Peridinium cinctum	7.00	7.00					40.00
Peridinium palustre			16.00				
Peridinium umbonatum					13.92	1.16	
<b>Sum</b>	73.00	61.00	28.00	199.06	415.92	329.96	100.00
<b>My-alger</b>							
My-alger	37.95	20.56	13.57	10.18	17.60	15.48	13.46
<b>Totalsum</b>	27513.68	2684.39	918.58	4271.23	4532.66	2465.23	2113.16

---

**NIVA**



**Norsk institutt for vannforskning**

Postboks 173 Kjelsås, 0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00 Fax: 22 18 52 00

ISBN 82-577-2508-0