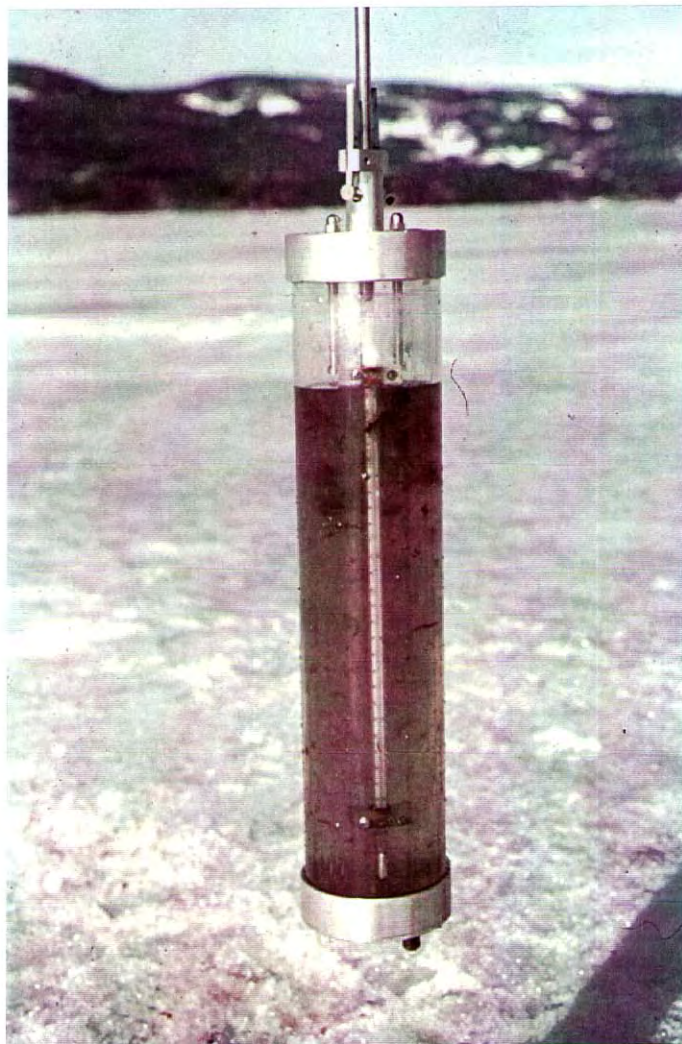


Steinsfjorden –
Toksinproduserende
blågrønnalger

Observasjoner 1997



Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 1
4890 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5008 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-NIVA A/S

9015 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

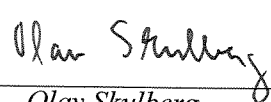
Tittel Steinsfjorden - Toksinproduserende blågrønnalger. Observasjoner 1997.	Løpenr. (for bestilling) 3901-98	Dato 15.07.1998
	Prosjektnr. Undernr. O-97129	Sider Pris 43
Forfatter(e) Olav Skulberg	Fagområde Hydrobiologi	Distribusjon
	Geografisk område Buskerud	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Fylkesmannen i Buskerud, Miljøvernavdelingen.	Oppdragsreferanse
---	-------------------

Sammendrag

En toksinproduserende populasjon av *Planktothrix* spp. (blågrønnalger) utviklet seg i Steinsfjorden, Buskerud, i 1997. Tre arter preget samfunnet: *P. mougeotii*, *P. prolifica* og *P. cf. rubescens*. Forekomsten i juli-august var størst i omlag 11 m dyp av innsjøen (metalimnion). Biotester og kjemiske analyser viste at flere cyanotoksiner ble dannet i Steinsfjorden. *P. prolifica* – som ble gitt navnet purpurtråd – var den kvantitativt fremtredende blågrønnalgen med produksjon av desmethyl 3-microcystin-RR, microcystin-LR og anatoxin-a. Biologisk og spredningsmessig er det nær sammenheng i utviklingen av *Planktothrix*-samfunnet i Tyrifjordens forskjellige avsnitt, hvor Steinsfjorden er oppdningsreservoar.

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Blågrønnalger (cyanobakterier) 2. Cyanotoksiner 3. <i>Planktothrix</i> 4. Masseutvikling 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Cyanophytes (Cyanobacteria) 2. Cyanotoxins 3. <i>Planktothrix</i> 4. Mass development
---	--


Olav Skulberg
Prosjektleder

ISBN 82-577-3488-8


Dag Berge
Forskningsjef

O-97129

STEINSFJORDEN

**Undersøkelse av toksinproduserende
blågrønnalger. Observasjoner 1997**

Oslo, 15. juli 1998

Olav Skulberg

Forord

Toksinproduserende blågrønnalger (cyanobakterier) er gjenstand for økende oppmerksomhet i sammenheng med forvaltning av innsjøer og vannhygiene. I de fleste tilfeller dreier det seg om problemer med blågrønnalger som danner vannblomst i overflatevann (f.eks. *Anabaena*, *Aphanizomenon* og *Microcystis*). Imidlertid er det også en annen gruppe av blågrønnalger som kan lage oppblomstringer nær temperaturspranget i innsjøer. Hit hører bl.a. arter av slekten *Planktothrix* som er dominerende i planktonet i Steinsfjorden. De omfatter fysiologiske raser med notorisk produksjon av cyanotoksiner. Da det er beskjedent med kunnskap om disse organismene og deres toksiner er det fremkommet behov for spesielle undersøkelser av forholdene i Steinsfjorden.

Gjennom flere år har det vært et nært samarbeid mellom Statens institutt for folkehelse, Norges veterinærhøgskole og Norsk institutt for vannforskning om studiet av blågrønnalger med toksinproduksjon. Slekten *Planktothrix* har inngått som en viktig organismegruppe i denne forskningsvirksomheten.

Undersøkelsene som ble påbegynt i 1997 med overvåking av blågrønnalgeutviklingen i Steinsfjorden ble organisert av Fylkesmannen i Buskerud, med Miljøvernavdelingen som oppdragsgiver. Hole kommune og Ringerike kommune har deltatt i planleggingen, bistått med tilrettelegging og hjelp med feltarbeidet. Spesielt skal nevnes Næringsmiddeltilsynet for Ringeriksregionen som har gjennomført forbehandlingen av prøver til vurdering av badevannskvalitet under sommersesongen.

Norsk institutt for vannforskning retter takk til våre samarbeidspartnere for positiv medvirkning i gjennomføringen av oppgavene i 1997.

Oslo, 15. juli 1998

Olav Skulberg

Innhold

Sammendrag	6
Summary	8
1. Formål	9
2. Problembeskrivelse	10
3. Oppgaver og gjennomføring	11
3.1 Metoder og fremgangsmåter	11
3.2 Prøvetaking og analyser	11
3.3 Rapportering	11
4. Innsjøen og forekomst av blågrønnalger	13
4.1 Noen holdepunkter om Steinsfjorden	13
4.2 Blågrønnalgevegetasjon	15
5. Biologiske utviklingsforløp 1997	17
5.1 Hydrografiske forhold	17
5.2 Blågrønnalger i planktonet	21
6. Cyanotoksiner i Steinsfjorden	28
7. Etterord	30
8. Datasamling for 1997	31
9. Henvisninger	42

Figuroversikt

Figur 1.	Kartskisser av Steinsfjorden og Tyrifjorden.	14
Figur 2.	Vanntemperatur. Observasjoner juli-september 1997.	18
Figur 3.	Lysforhold. Observasjoner juli-september 1997.	19
Figur 4.	Oksygenkonsentrasjon. Observasjoner juli-september 1997.	20
Figur 5.	Populasjonen av <i>Planktothrix</i> spp. registrert ved målinger av klorofyll a, 1. juli 1997.	23
Figur 6.	Temperaturlagdelingen i Steinsfjorden. Observasjoner juli-august 1997.	24
Figur 7.	Vertikal fordeling av <i>Planktothrix</i> spp. registrert ved målinger av klorofyll a. Observasjoner juli-august 1997.	25
Figur 8.	Påvisning av populasjoner av <i>Planktothrix</i> spp. på ulike stasjoner i Steinsfjorden. Observasjoner av klorofyll a ved prøvetaking 20. august 1997.	26

Sammendrag

- Som oppdrag for Fylkesmannen i Buskerud, Miljøvernavdelingen, ble det i 1997 foretatt en undersøkelse av blågrønnalger i Steinsfjorden for å få kunnskap om fremveksten av arter/populasjoner med toksinproduserende stammer. Hole kommune og Ringerike kommune medvirket i planleggingen og tilretteleggingen av feltarbeidet. Norges veterinærhøgskole og Statens institutt for folkehelse har samarbeidet med Norsk institutt for vannforskning i undersøkelsen av cyanotoksinene det gjelder.
- En masseforekomst av blågrønnalger ble registrert i Steinsfjorden vinteren/våren 1997. Det viste seg å være en toksinproduserende populasjon av *Planktothrix* som utviklet seg. Steinsfjordens store naturverdi, innsjøens allsidige bruk og omfattende rekreasjonsmessige betydning gjør det nødvendig å ha løpende tilgang til kunnskap om forekomsten av toksinproduserende mikroorganismer.
- Det ble i vegetasjonsperioden 1997 foretatt hydrografiske og hydrobiologiske observasjoner i Steinsfjorden for å undersøke utviklingen av toksinproduserende blågrønnalger og bedømme den rådende biologiske vannkvalitet i Steinsfjorden. En datasamling med de fremkomne resultater er utarbeidet til rapporten.
- Ukentlige situasjonsbeskrivelser ble laget i perioden juli-september. Løpende informasjon om forholdene i Steinsfjorden ble gitt til Fylkesmannen i Buskerud, Miljøvernavdelingen, Hole kommune og Ringerike kommune.
- Den stedegne populasjon av *Planktothrix* er i sommerhalvåret knyttet til temperatursprangsjiktet i innsjøen. Flere arter av *Planktothrix* har fysiologiske stammer med produksjon av cyanotoksiner. De utførte biotester for karakterisering av akutt toksisitet viser at såvel hepatotoksiner (microcystiner) som nevrotoksiner (anatoksiner) blir dannet av organismer i *Planktothrix*-gruppen.
- Sommeren 1997 var spesielt varm på Østlandet, og dette preget også forholdene i Steinsfjorden. Artene *Anabaena lemmermannii* og *Planktothrix* spp. var de fremtredende blågrønnalger i planktonet. *Anabaena* var knyttet til innsjøens overflatevannlag, mens *Planktothrix* hadde størst utvikling i området for temperaturspranglaget. Ut fra forekomsten av blågrønnalger på badeplassene Slettøya, Høyenhallstranda, Grantopp og Åsatangen ble vannkvaliteten i rekreasjonsmessig sammenheng ukentlig bedømt.
- Populasjonen av *Planktothrix* spp. var i juli og august 1997 etablert i dybdeintervallet 8-16 m under overflaten med størst forekomst i omlag 11 m dyp (dvs. med tyngdepunkt i metalimnion). Under partialsirkulasjonen og fullsirkulasjonen om høsten skjedde en innblanding av *Planktothrix*-populasjonen i hele Steinsfjordens vannmasser.
- Samfunnet av *Planktothrix* spp. i Steinsfjorden i 1997 var preget av artene *P. mougeotii*, *P. prolifica* og *P. rubescens* var. Gjennom perioden juli – september var arten *P. prolifica* den kvantitativt fremtredende blågrønnalgen. Steinsfjordalgen ble gitt det norske navnet *purpurtråd*. Denne arten har ikke tidligere vært undersøkt med hensyn til toksikologiske egenskaper.
- Det var nær sammenheng mellom utviklingen av *Planktothrix*-samfunnet i Steinsfjorden og i de tilgrensende deler av innsjøsystemet i Tyrifjorden.

- De utførte undersøkelsene basert på biotester med mus og kjemiske analyser viste at populasjonen med *Planktothrix prolifica* i Steinsfjorden produserte cyanotoksiner med hepatotoksiske og nevrotoksiske virkninger. Positiv påvisning ble gjort av cyanotoksinene desmethyl 3-microcystin-RR, microcystin-LR og anatoxin-a. Det var også indikasjoner på tilstedeværelse av andre cyanotoksiner.
- Arten *Planktothrix prolifica* – purpurtråd – dannet i første rekke forbindelsen desmethyl 3-microcystin-RR. Dette cyanotoksinet ble derfor valgt ut til vurdering av mulig toksinakkumulering i fisk i Steinsfjorden (Underdal et al. 1998a).
- Erfaringene fra undersøkelsen i 1997 viser at det metodiske grunnlaget for analyser av cyanotoksiner trenger å bli utbygget og forbedret.
- De hydrobiologiske undersøkelser som er under utførelse i 1998 bør videreføres med siktepunkt på å foreta en toksikologisk risikovurdering og å utvikle en forvaltningsmessig strategi for praktisk håndtering av blågrønnalgeproblemer i Steinsfjorden/Tyrifjorden.

Summary

Title: Lake Steinsfjord. Survey of toxinproducing cyanophytes (cyanobacteria).

Year: 1997

Author: Olav Skulberg

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3488-8.

The Lake Steinsfjord, Buskerud, Norway, is a prominent recreational lake and a habitat of rich biodiversity. A mass development of a toxinproducing population of *Planktothrix* spp. took place in the late winter 1997. Three species were identified: *P. mougeotii*, *P. prolifica* and *P. cf. rubescens*. The dominating species during 1997 was *P. prolifica*, developing a stable summer population in the metalimnic zone of the thermally stratified lake. Biotests and chemical analysis proved that the cyanotoxins desmethyl 3-microcystin-RR, microcystin-LR and anatoxin-a were produced by the cyanophytes in the Lake Steinsfjord. The continued research work is aiming at a health risk assessment.

1. Formål

Hovedhensikten med prosjektet er å foreta et løpende tilsyn med forekomsten av blågrønnalger i Steinsfjorden for å få kunnskap om fremvekst av arter/populasjoner med toksinproduserende stammer. Resultatene skal bl.a. kunne bidra til:

- å bedømme den rådende biologiske vannkvalitet med hensyn til forskjellige bruksformål av Steinsfjorden.
- å forberede forholdsregler og informasjon som kan tas i bruk ved episoder med masseutvikling av blågrønnalger.

2. Problembeskrivelse

Overvåkingsundersøkelsen av Steinsfjorden i 1996 førte til observasjonsresultater som indikerte forandringer i artssammensetning og mengdemessig utvikling av blågrønnalger i innsjøen. Det var behov for å bedømme utviklingen og konsekvenser for vannkvalitet i sammenheng med Steinsfjordens ulike anvendelser og forvaltning.

En masseforekomst av blågrønnalger ble registrert i Steinsfjorden vinteren/våren 1997. Ved isløsningen ble f.eks. ansamlinger av blågrønnalger observert drivende i overflatevannet flere steder i innsjøen. Som et ledd i forskningssamarbeidet mellom Norsk institutt for vannforskning, Norges veterinærhøgskole og Statens institutt for folkehelse knyttet til cyanotoksiner i norske vannforekomster, ble materiale fra Steinsfjorden innsamlet til undersøkelse. Det viste seg at organismene som dannet masseforekomst tilhørte formkretsen *Planktothrix*, og at populasjonen var dominert av en toksinproduserende type.

I oppdrag for Fylkesmannen i Buskerud, Miljøvernavdelingen, og i samarbeid med miljøvernetatene i Hole kommune og Ringerike kommune ble det i 1997 innledet undersøkelser av blågrønnalgeutviklingen i Steinsfjorden. Prøvetakingen, som ble foretatt i juli, bekreftet bl.a. at det var en toksinproduserende populasjon av *Planktothrix* som utviklet seg i Steinsfjorden.

Steinsfjorden har et spesielt blågrønnalgesamfunn dominert av røde former av slekten *Planktothrix* (Skulberg 1964). Dette er organismer som kan danne masseforekomst også under relativt næringsfattige miljøbetingelser. De er samtidig kjent for å omfatte fysiologiske raser med notorisk produksjon av cyanotoksiner. Ved masseutvikling av organismer med slike egenskaper vil det kunne oppstå helseisriko forbundet med bruk av vannet og biologiske produkter fra innsjøen. Samtidig kan organismelivet i innsjøen også bli negativt påvirket (WHO 1998).

Steinsfjordens store naturverdi, dens allsidige bruk og omfattende rekreasjonsmessige betydning gjør det nødvendig for forvaltningsmyndighetene å ha løpende tilgang til kunnskap om forekomsten av toksinproduserende mikroorganismer i innsjøen. Slik kunnskap er bl.a. en forutsetning for å kunne sikre helsemessig trygghet/trivsel for brukerne av innsjøen, og for å gjøre riktige praktiske disposisjoner.

3. Oppgaver og gjennomføring

3.1 Metoder og fremgangsmåter

Undersøkelsen i 1997 tok praktisk utgangspunkt i observasjoner og prøvetaking i Steinsfjorden. Dette arbeidet ble foretatt etter rutinemessig opplegg og med standard fremgangsmåte (Vennerød 1984, NIVA 1993). Det ble i felt gjort målinger av fysiske faktorer (temperatur, siktedyp, oksygenkonsentrasjon og lys) og innsamlet prøver til kjemiske og biologiske analyser. Laboratoriebearbeiding av prøvene begynte umiddelbart etter innsamling med måling av turbiditet, pH og filtrering for bestemmelse av seston (Skulberg 1978a). Vannprøvene ble transportert til NIVAs laboratorier i Oslo for analysing. Metodene som ble anvendt var de vanlige for undersøkelser av kjemisk og biologisk vannkvalitet (NIVA 1993). Identifikasjon og kvalitative undersøkelser av alger ble foretatt med optisk mikroskop.

Når det gjelder biotester for bestemmelse av akutt toksisitet, ble disse utført ved Institutt for farmakologi, mikrobiologi og næringsmiddelhygiene, Norges veterinærhøgskole. Metodene som ble benyttet er tidligere beskrevet (Berg et al. 1987).

3.2 Prøvetaking og analyser

Prøvetakingen var konsentrert om hovedstasjonen i det dypeste området av innsjøen. Det praktiske feltarbeidet ble gjort i samarbeid mellom Norsk institutt for vannforskning og Hole kommune og Ringerike kommune.

Månedlige tokter ble gjennomført av NIVA for intensivundersøkelse av hydrobiologiske forhold i Steinsfjordens dypeste område. Det ble foretatt feltobservasjoner og registreringer av limnologisk viktige miljøfaktorer. Biologisk materiale til mikroskopisk analyse, organismeisolering og kulturforsøk ble innsamlet.

Fjorten-daglige prøvetakinger ble gjennomført i utvalgte perioder for å følge utviklingen til blågrønnalgene. Dette arbeidet omfattet innsamling av en vannprøve fra overflate (dyp 10 cm), og en blandprøve fra 0-6 m dyp (slangeprøvetaker). Samtidig ble temperaturen målt og siktedyp registrert med Secchiskive. Planktonprøve ble innsamlet med håvtrekk (planteplankton-håv, 25 µm). Materialet ble transportert til NIVAs laboratorier for bearbeidelse.

Laboratoriebestemmelsene omfattet analyse av klorofyll, turbiditet, farge, fosfor- og nitrogenforbindelser, tørrvekt og gløderest (NIVA 1993). Det biologiske materialet ble spesielt undersøkt med hensyn til forekomst av blågrønnalger. Kulturstudier, biotester og toksinanalyser ble utført for klarlegging av arter og innhold av cyanotoksiner (Skulberg 1996). Bestemmelser av cyanotoksiner ble utført i samarbeid med Norges veterinærhøgskole og Statens institutt for folkehelse.

Næringsmiddeltilsynet for Ringeriksregionen og miljøvernetaten i Ringerike kommune og Hole kommune samarbeidet også om prøvetaking og forbehandling av prøver knyttet til undersøkelse av badevannskvalitet (sestonprøve).

3.3 Rapportering

Det ble i 1997 gitt løpende informasjon til Fylkesmannen i Buskerud, Miljøvernnavdelingen, Hole kommune og Ringerike kommune om resultater fra feltobservasjonene og laboratorieanalysene.

Ukentlige situasjonsbeskrivelser ble utarbeidet i perioden juli-september. Hensikten med dette var bl.a. å gi aktuelle underlag for forvaltningsmyndighetenes vurderinger av vannhygieniske forhold knyttet til drikkevann og badevann i Steinsfjorden.

Vitenskapelig betydningsfulle resultater er under bearbeiding for publisering i faglitteratur (WHO 1998).

4. Innsjøen og forekomst av blågrønnalger

4.1 Noen holdepunkter om Steinsfjorden

Steinsfjorden - sammen med Tyrifjorden - hører til de best undersøkte innsjøene i Norge (Braarud et al. 1928, Strøm 1930, 1932, Baardseth 1943, Skulberg 1964, Holtan 1967, Skogheim 1975, Skulberg 1978b, Berge 1983a).

Noen morfometriske og hydrologiske data er sammenstilt i Tabell 1. Steinsfjorden er en grunn innsjø med middeldyp ca 10 m. Avrenningen fra nedbørfeltet er liten og tilsvarer ca 1 m³/s. Vannmassenes oppholdstid er beregnet til 4,6 år. Steinsfjorden er forbundet med Holsfjorden via Kroksundet ved Sundvollen (Figur 1).

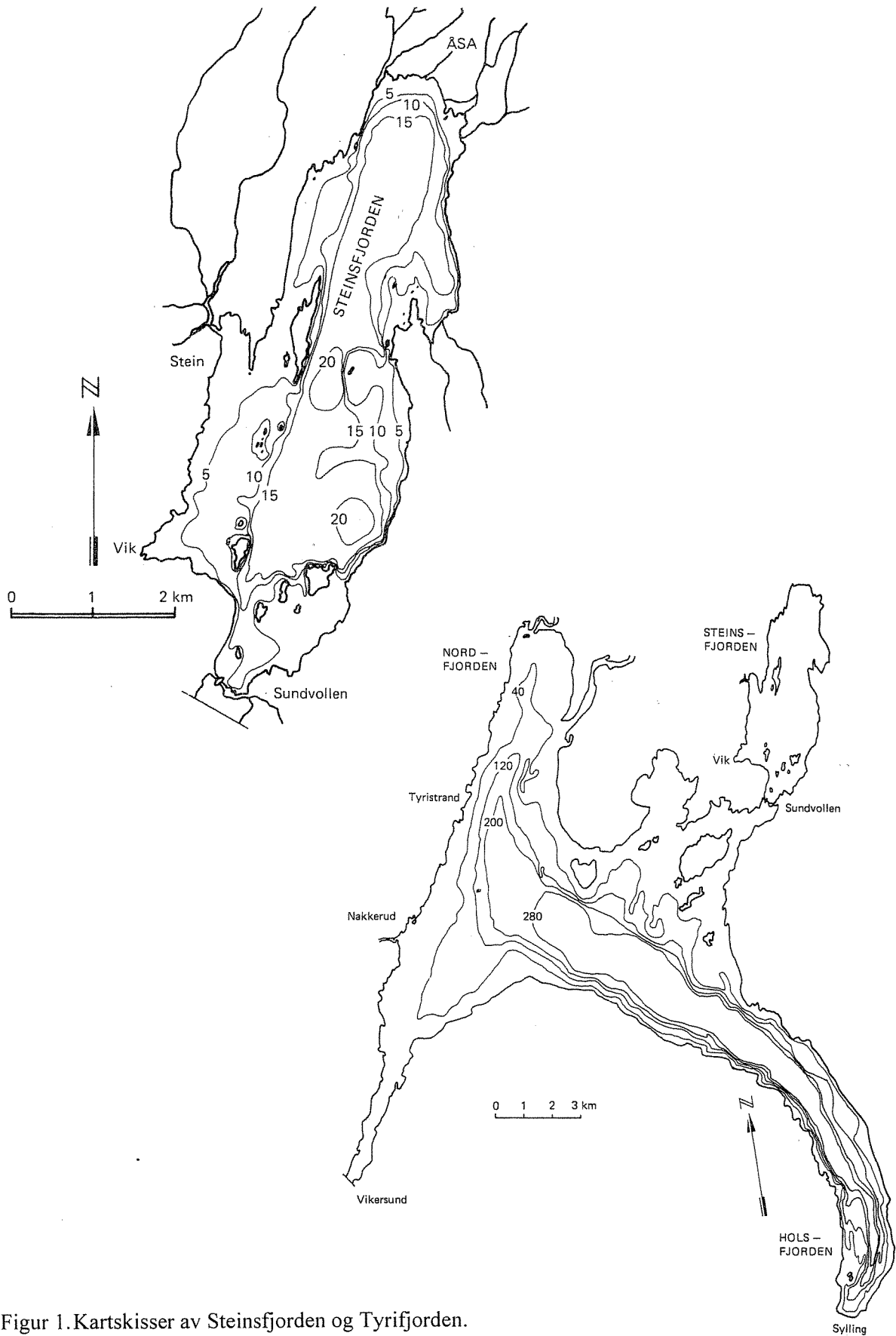
Tabell 1. Steinsfjorden. Noen geografiske forhold.¹⁾

Høyde over havet	m	63
Areal nedbørfelt	km ²	63,7
Areal innsjø, uten øyer	km ²	13,9
Areal øyer	km ²	0,52
Største lengde	km	7,9
Største bredde	km	2,6
Største dyp	m	24
Midlere dyp	m	10,2
Vannstandsvariasjoner	m	1-2
Volum	m ³	142x10 ⁶
Midlere avløp	m ³ /s	1
Årlig avløp	m ³	31,5x10 ⁶
Teoretisk oppholdstid	år	4,6

¹⁾ Data: Berge 1983b

De geologiske forholdene i nedbørfeltet til Steinsfjorden - 63,7 km² - er i stor utstrekning bestemmende for vannmassenes hydrokjemiske egenskaper. Kambrosiluriske bergarter er fremtredende i vestlige deler, til dels dekket av marine leiravsetninger. De østlige deler av nedbørfeltet utgjør også kambrosiluriske bergarter, men de er eldre og dekket av devonsk sandstein avsatt i ferskvann. Vannmassene i Steinsfjorden har et tilsvarende høyt ioneinnhold, med konduktivitet i området 86-92 µS/cm (20°C). Bikarbonat utgjør ca 67% av anionene, og kalsium henholdsvis 68% av kationene. Forholdet innebærer en relativ god bufferkapasitet (pH 6,5-9,0 i sommerhalvåret). Noen hydrokjemiske data er sammenstilt i Tabell 2.

Steinsfjorden har utpregede sirkulasjonsperioder vår og høst. Dette medfører at oksygenvinnet i stagnasjonsperiodene motvirkes effektivt.



Figur 1. Kartskisser av Steinsfjorden og Tyrifjorden.

Tabell 2. Steinsfjorden. Hydrokjemiske forhold¹⁾.

Surhetsgrad	pH	6,9-9,0
Konduktivitet	µS/cm (20°C)	86-92
Farge	mg Pt/l	10
Turbiditet	FTU	0,6-1,4
Kalsium	mg Ca/l	12-13
Magnesium	mg Mg/l	1,6
Natrium	mg Na/l	4,0
Kalium	mg K/l	0,7
Bikarbonat	mekv/l	0,61
Sulfat	mg SO ₄ /l	9,0
Klorid	mg Cl/l	4,0
Nitrat	µg N/l	0-150
Total nitrogen	µg N/l	200-300
Total fosfor	µg P/l	8-13
Silisium	mg SiO ₂ /l	1,2-2,3

1) Data: Berge 1983b.

4.2 Blågrønnalgevegetasjon

Algeplanktonet i Steinsfjorden er behandlet i flere undersøkelser (Berge 1983a, Berge 1983b). Når det gjelder blågrønnalger, er det særlig arter av ordnede Oscillatoriales og Nostocales som er de kvantitativt mest betydningsfulle (Tabell 3). Flere av disse artene kan ha stammer med produksjon av cyanotoksiner (Skulberg et al. 1993).

Tabell 3. Systematisk oversikt over planktiske blågrønnalger i Steinsfjorden.

Organismer (eldre navnebruk)	Botanisk nomenklatur (Skulberg et al. 1993)
<i>Gomphosphaeria lacustris</i>	<i>Snowella lacustris</i> (Chod.) Kom. et Hind.
<i>Gomphosphaeria naegeliana</i>	<i>Woronichinia naegeliana</i> (Unger) Elenk.
<i>Anabaena circinalis</i>	<i>Anabaena circinalis</i> Rabenhorst
<i>Anabaena curva</i>	<i>Anabaena curva</i> Hill
<i>Anabaena flos-aquae</i>	<i>Anabaena lemmermannii</i> P. Richt.
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (L.) Ralfs
<i>Oscillatoria agardhii/rubescens-</i> <i>gruppen</i>	<i>Planktothrix agardhii</i> (Gom.) Anagn. et Kom. <i>Planktothrix mougeotii</i> (Bory ex Gom.) Anagn. et Kom. <i>Planktothrix prolifica</i> (Gom.) Anagn. et Kom. <i>Planktothrix rubescens</i> var. (DC. ex Gom.) Anagn. et Kom.

Et spesielt forhold i Steinsfjorden er den stedege populasjonen av blågrønnalgeslekten *Planktothrix* (Skulberg 1964, 1980; Skulberg & Skulberg 1985). Den har i sommerhalvåret vekstrik utvikling i vannmassene knyttet til temperatursprangsjiktet i innsjøen. Det er denne populasjonen som bl.a. omfatter toksinproduserende stammer. Utviklingen gjennom året er også spesiell for *Planktothrix* ved

at den største biomassen i Steinsfjorden gjerne observeres seinhøstes og i tidlig vinter. Populasjonen har aktiv fotosyntese under vinterisen, og den danner utgangsbestand for utviklingen i etterfølgende vegetasjonsperiode. Fysiologiske og økologiske egenskaper ved *Planktothrix* (Skulberg 1978b) innebærer divergerende reaksjoner på voksestedfaktorer sammenliknet med andre blågrønnalger i Steinsfjordens plankton. Samtidig er *Planktothrix* den kvantitativt mest betydningsfulle i innsjøen.

Flere arter av slekten *Planktothrix* (*Oscillatoria agardhii/rubescens*-gruppen, Skulberg & Skulberg 1985) har fysiologiske stammer med produksjon av cyanotoksiner (Skulberg 1996). Biotester utført for karakterisering av akutt toksisitet viser at så vel hepatotoksiner (microcystiner, Harada 1996) som nevrotoksiner (anatoksiner, Carmichael & Gorham 1978) kan dannes av organismer i *Planktothrix*-gruppen. Dette gjelder også for populasjonen i Steinsfjorden (Underdal et al. 1998a).

5. Biologiske utviklingsforløp 1997

5.1 Hydrografiske forhold

De fremtredende hydrografiske forhold i Steinsfjorden er vel beskrevet i tidligere rapporter og publikasjoner (Strøm 1930, Holtan 1967, Skogheim 1975, Berge 1983a). Det vil derfor i det følgende bare bli omtalt utvalgte miljøfaktorer i 1997 med viktig bakgrunnsinformasjon til forståelsen av blågrønnalgefenomenene som ble studert. I første rekke gjelder det temperatur, lys og oksygen.

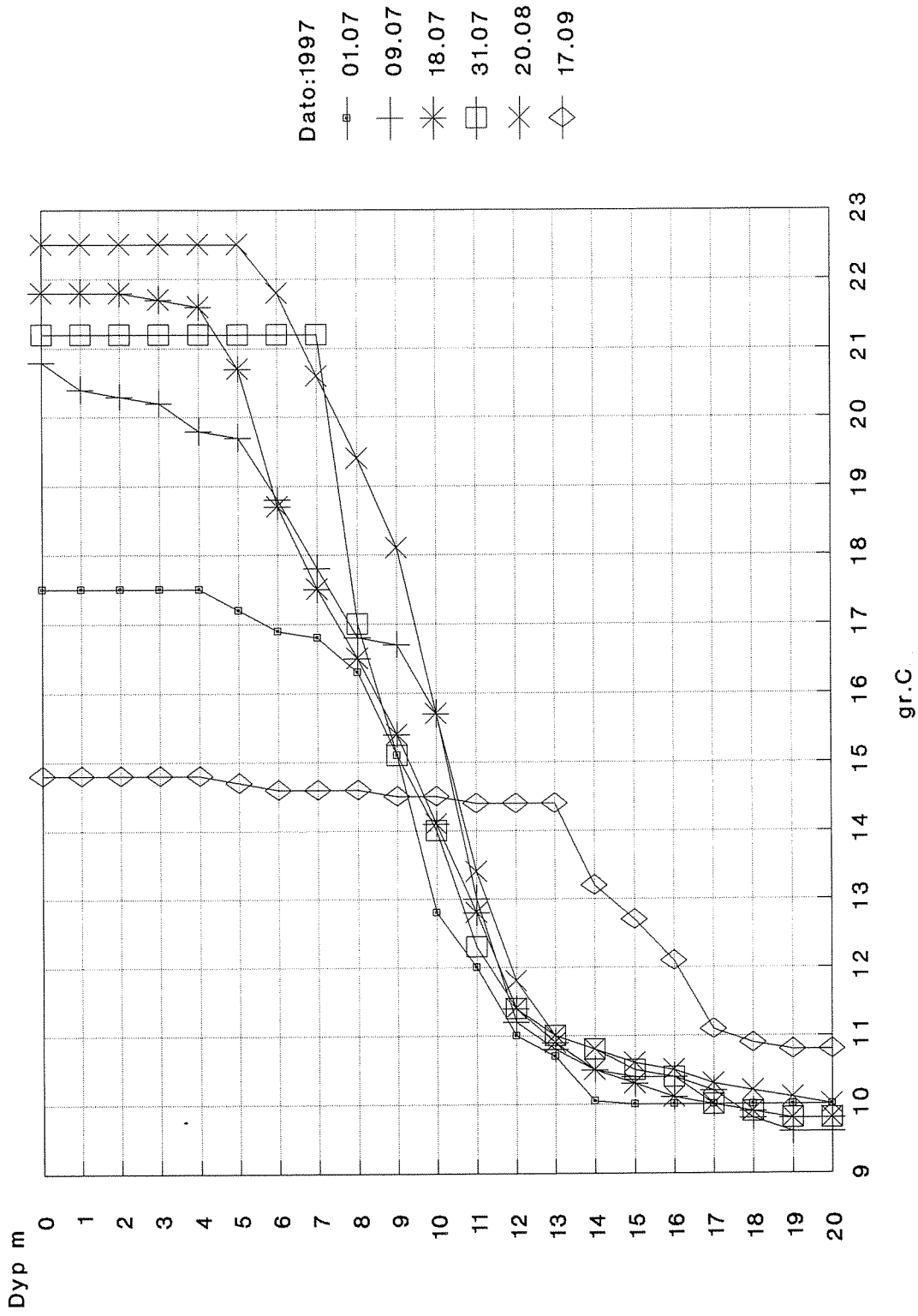
Temperaturgang. Sommeren 1997 var den varmeste på Østlandet siden Det norske meteorologiske institutt begynte målingene i 1837. Steinsfjorden ble i deler av vegetasjonsperioden preget av dette. Gjennom juli og august var f.eks. vanntemperaturen i overflatelaget (epilimnion) vedvarende høyere enn 20°C.

Da observasjonene begynte i Steinsfjorden 1. juli 1997 var det etablert en markert sjiktning av vannmassene (FIGUR 2). Et forholdsvis varmt overflatelag strakte seg ned til ca 8 m dyp. Her begynte et temperaturspranglag (metalimnion) som rakk ned til ca 14 m dyp. Et forholdsvis kjølig dypvannssjikt (hypolimnion) utgjorde vannmassene over bunnen av innsjøen. Denne temperaturbetingede lagdelingen av vannmassene – som er en av forutsetningene for opprettholdelsen av det aktuelle blågrønnalgesamfunnet i Steinsfjorden – holdt seg relativt stabilt frem til september. Avkjøling av overflatevannet medførte deretter en gradvis fordypning av epilimnions utstrekning (partialsirkulasjon). Ved observasjonen 17. september var f.eks. vannmassene ned til ca 14 m dyp tatt med i omrøringen av innsjøvannet. Med videre avkjøling kom hele vannvolumet i Steinsfjorden i sirkulasjon. Vanntemperaturen var da ca 16 °C. Høstfullsirkulasjonen ble innledet og varte frem til isleggingen.

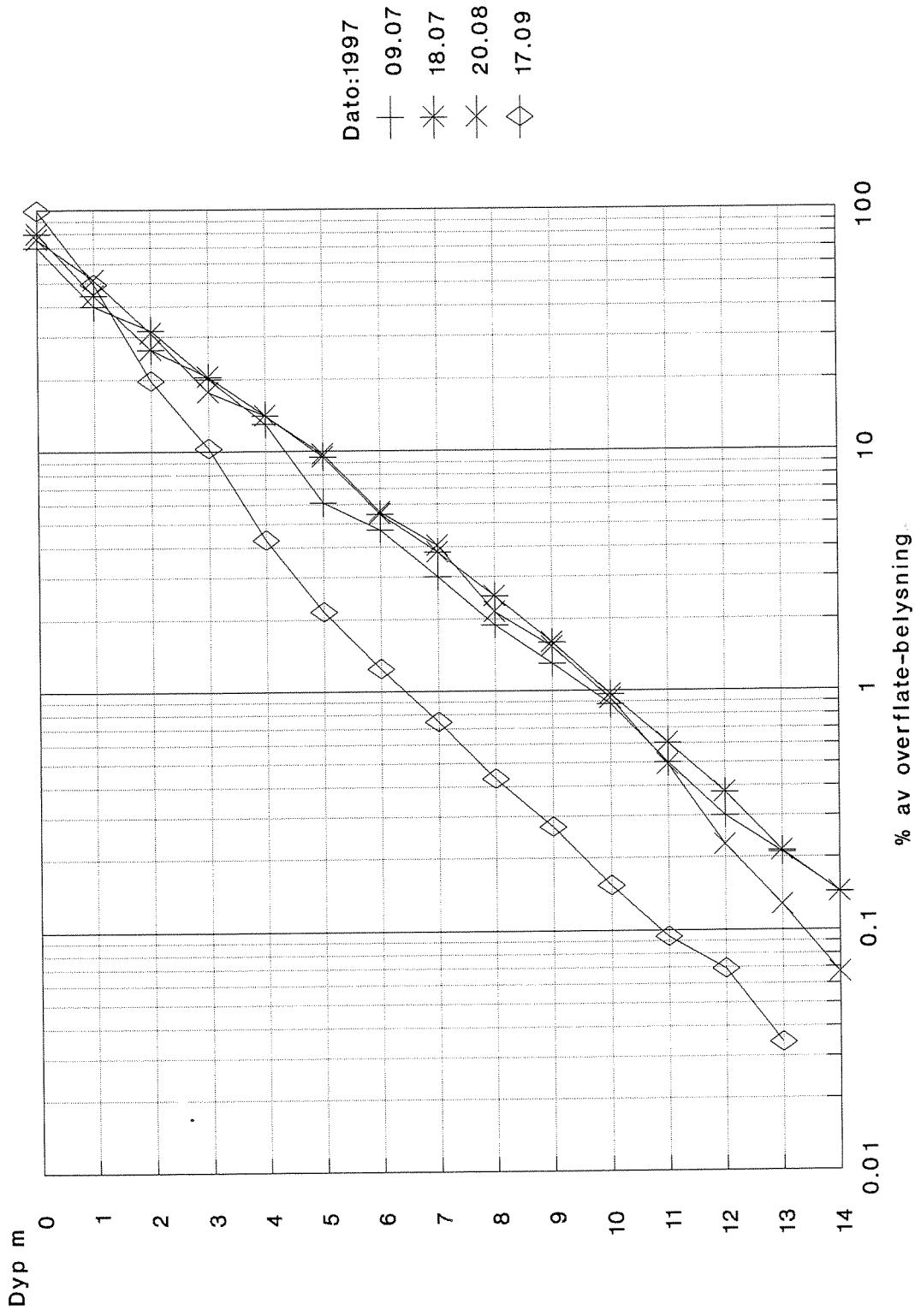
Lys. Steinsfjorden er preget av et forholdsvis klart vann (Holtan 1967). Dette medfører gode lysklimatiske betingelser ned til relativt stort dyp for fotosyntetiske organismer. Blågrønnalgene omfatter en gruppe mikroorganismer som er spesialisert på utnyttelse av lave lysintensiteter. Dette skyldes bl.a. utvikling av lyshøstende pigmenter (phycobiliner, karotenoider) som kan absorbere bølgelengdene av lysspekteret ut over området for klorofyll (Klavness & Skulberg 1982). Det røde fargestoffet phycoerythrin i f.eks. *Planktothrix* absorberer lys i den midlere del av det synlige spektrum, noe som gjør det mulig for denne blågrønnalgen å utføre fotosyntese i det dempede lyset som rekker ned mot bunnområdet av Steinsfjorden. Det er også innholdet av phycoerythrin som er en av forutsetningene for populasjonens overvintring i Steinsfjorden med aktiv fotosyntese (Skulberg 1978).

For å bedømme lysforholdene i Steinsfjorden i vegetasjonsperioden 1997 ble det foretatt målinger. Den grafiske fremstilling i FIGUR 3 gjengir noen resultater. Kurvene beskriver den vertikale lysvekningen i perioden da *Planktothrix*-populasjonen var lokalisert i dypområdet av Steinsfjorden. Svekingen er angitt i prosent av lysintensiteten ved 0 m (overflate), og det er benyttet en logaritmisk skala. Målingene viser bl.a. at det ved ca 10 m dyp i juli og august var omlag 1% av lysintensiteten som ble målt i overflaten. Erfaring tilsier at dette kan regnes for nedre grense for området med aktiv fotosyntese (eufotisk sone).

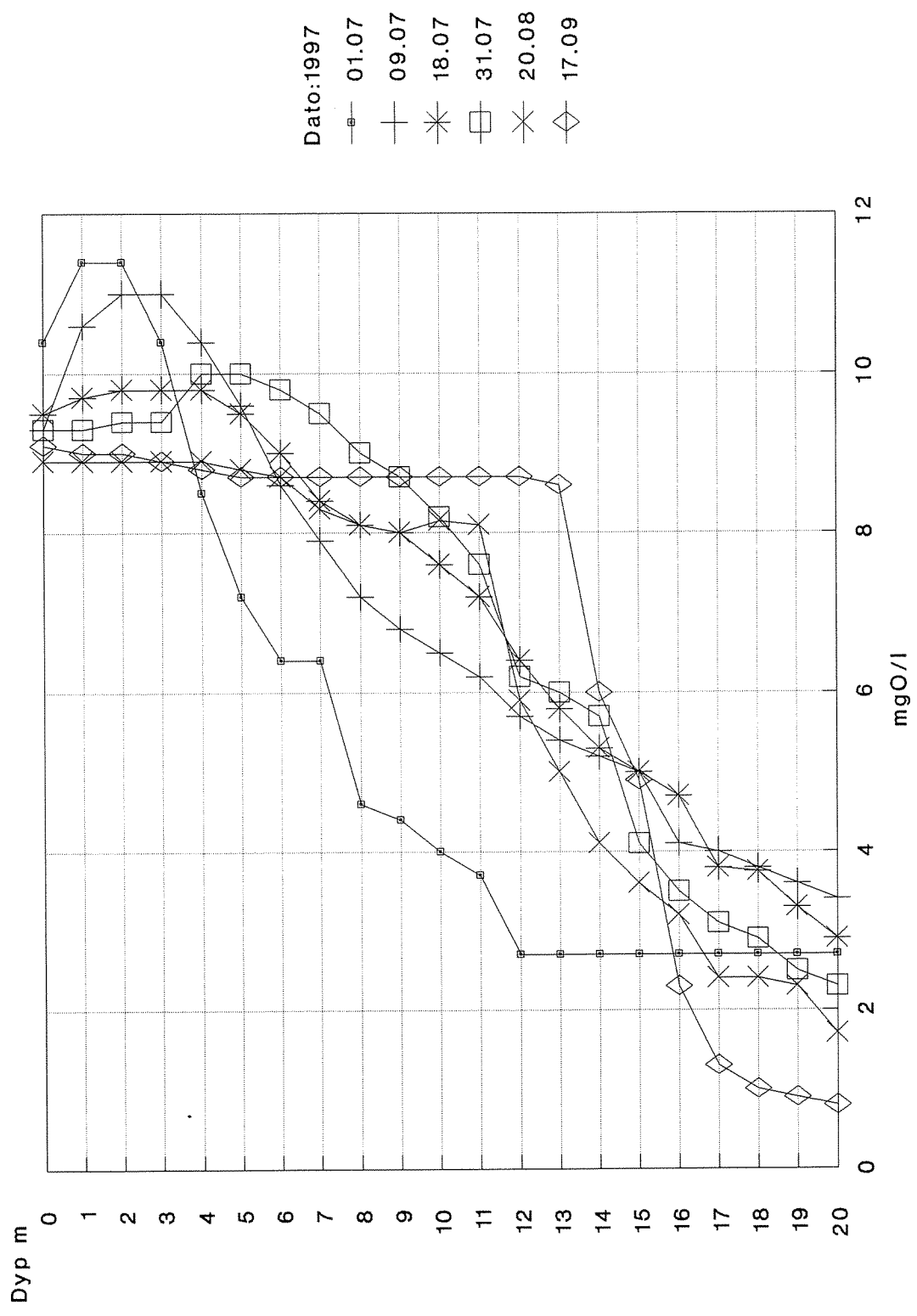
Oksygen. Oksygenforholdene i Steinsfjorden gir vesentlige holdepunkter om biologiske prosesser i vannmassene. Resultatene av målingene som ble foretatt i vegetasjonsperioden av oksygenkonsentrasjonen er grafisk fremstilt i FIGUR 4. Det aktuelle innhold av oksygen i vannet er bestemt av samspillet mellom flere miljøfaktorer i innsjøen. Vannmassenes lagdeling gjenspeiles f.eks.



Figur 2. Vanntemperatur. Observasjoner juli-september 1997.



Figur 3. Lysforhold. Observasjoner juli-september 1997.



Figur 4. Oksygenkonsentrasjon. Observasjoner juli-september 1997.

tydelig i kurveforløpet. Mens det i overflatevannlaget er rikelig oksygen til stede (>8 mg O/l), er det raskt avtakende verdier i temperaturspranglaget, og i bunnvannlaget er oksygenkonsentrasjonene små (i september < 1 mg O/l).

5.2 Blågrønnalger i planktonet

I 1997 var det blågrønnalgene *Anabaena lemmermannii* og *Planktothrix* spp. som var fremtredende i planktonet i Steinsfjorden. Disse artene representerer ulike typer med hensyn til sine økologiske strategier. *Anabaena lemmermannii* er knyttet til innsjøens overflatevannlag (epilimnion) og kan danne masseforekomst der. Blågrønnalgene i gruppen *Planktothrix* spp. - med relativt stor forekomst i Steinsfjorden - er derimot knyttet til området for temperaturspranglaget (metalimnion), hvor deres populasjonsmaksimum er lokalisert i sommerhalvåret.

Det generelle mønsteret for utviklingen av blågrønnalger i Steinsfjorden gjenspeiles også i observasjonene fra 1997. Forholdet demonstreres bl.a. i resultatene av den mikroskopiske bearbeiding av sestonfiltrene (Skulberg 1978) som fremkom ved prøvetaking på noen utvalgte badeplasser og hovedstasjonen i Steinsfjorden. Resultatene er sammenstilt i TABELL 4 som kommenteres i det følgende.

Anabaena lemmermannii

Forekomsten av to arter i slekten *Anabaena* ble kvantifisert ved bearbeidingen av sestonfiltrene. Da *A. circinalis* hadde beskjeden mengdemessig betydning, vil bare *A. lemmermannii* få oppmerksomhet her. Gjennomgående var det små konsentrasjoner av denne blågrønnalgen på de undersøkte lokalitetene. De høyeste verdiene ble registrert tidlig i juli, som f.eks. 1980 kolonier per liter ved Grantopp 14.07.1997. Populasjonen gikk tilbake i mengdemessig betydning mot ettersommeren. Det kan nevnes at konsentrasjonene av *A. lemmermannii* var lavere ved hovedstasjonen i Steinsfjorden sammenliknet med på badeplassen. Dette forteller om en tendens til oppflytting av blågrønnalgekoloniene og anrikning i grunne strandområder som følge av vannbevegelser. Forholdet trenger oppmerksomhet i sammenheng med rekreasjonsmessig bruk av vannet, da *A. lemmermannii* i mange tilfeller kan være toksinproduserende (Skulberg 1996).

Planktothrix spp.

Når det gjelder *Planktothrix* spp., viser resultatene i TABELL 4 at det er relativt ensartede forhold i forekomst på de fire lokalitetene med badeplasser samt på hovedstasjonen. Dette henger sammen med utviklingsmønsteret i Steinsfjorden til denne blågrønnalgepopulasjonen gjennom året. I tidsrommet da *Planktothrix* spp. er knyttet til dypvannmassene av innsjøen – juli og august – er det lave verdier for konsentrasjon i overflatevannlaget (i 1997, 20-890 trichomer *Planktothrix* per liter vann). Så snart partialsirkulasjonen av vannmassene tar til om høsten, vil det skje en transport av blågrønnalgene opp til overflatevannlaget. Dette fant sted i slutten av august i 1997, og verdier på inntil 34000 trichomer per liter vann ble registrert. Under høstfullsirkulasjonen foregikk en ytterligere innblanding av populasjonen med *Planktothrix* spp. i hele vannvolumet av Steinsfjorden. Populasjonen hadde positiv tilvekst gjennom høstmånedene, hadde overvintring, og dannet utgangsbestand for vegetasjonsperioden 1998.

TABELL 4 Bearbeiding av sestonfiltere – Steinsfjorden 1997.
Antall kolonier av *Anabaena* og trichomer av *Planktothrix* per liter.

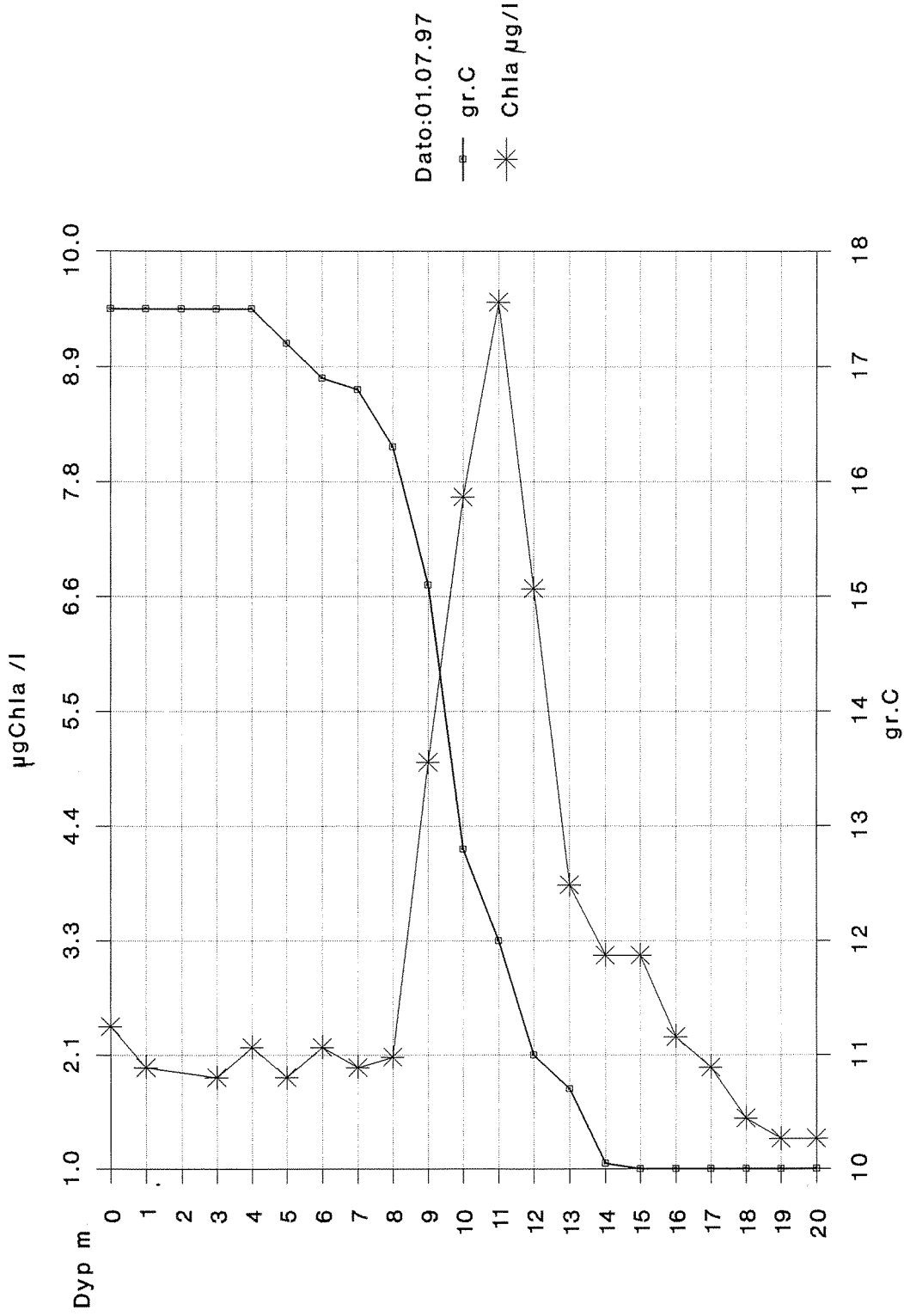
Lokalitet	Sletteya											
	Dato	14.07	21.07	28.07	04.08	11.08	18.08	25.08	01.09	08.09	15.09	22.09
<i>Planktothrix</i> spp.		80	40	30	590	890	300	810	5040	34000	40600	31500
<i>Anabaena lemmermannii</i>		20	10	50	60	60	<10	30	20	20	<10	30
<i>Anabaena circinalis</i>		<10	10	<10	10	<10	<10	10	<10	10	<10	<10

Lokalitet	Høyenhallstranda											
	Dato	14.07	21.07	28.07	04.08	11.08	18.08	25.08	01.09	08.09	15.09	22.09
<i>Planktothrix</i> spp.		60	40	20	30	120	<10	310	1070	6200	18500	16300
<i>Anabaena lemmermannii</i>		280	910	20	10	20	80	320	20	<10	20	<10
<i>Anabaena circinalis</i>		<10	<10	<10	10	10	<10	20	10	<10	<10	<10

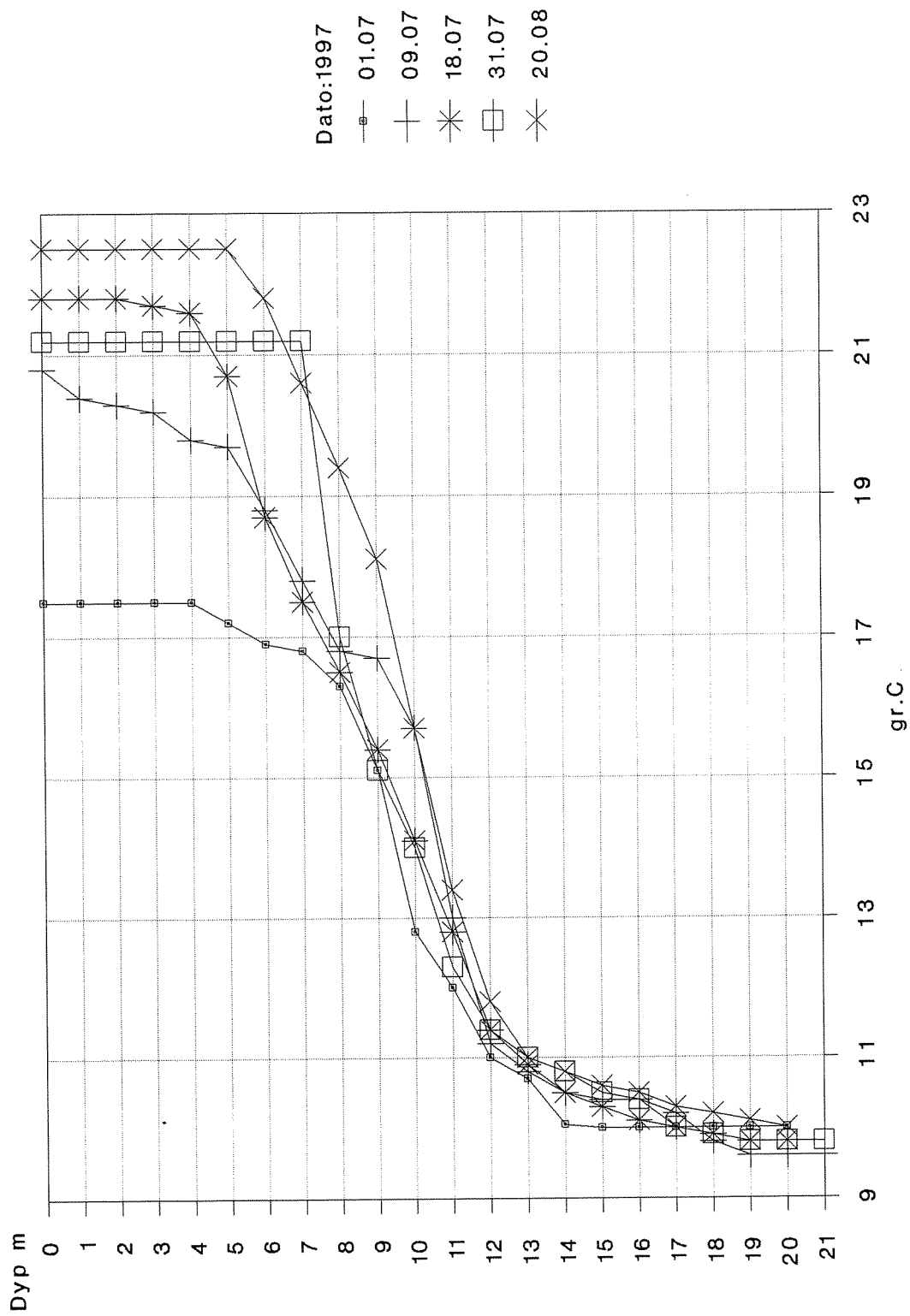
Lokalitet	Grantopp											
	Dato	14.07	21.07	28.07	04.08	11.08	18.08	25.08	01.09	08.09	15.09	22.09
<i>Planktothrix</i> spp.		30	20	20	180	30	<10	150	2220	10000	19800	35300
<i>Anabaena lemmermannii</i>		1980	180	60	320	620	160	10	120	40	40	10
<i>Anabaena circinalis</i>		<10	10	10	20	10	50	30	10	<10	<10	<10

Lokalitet	Åsatangen											
	Dato	14.07	21.07	28.07	04.08	11.08	18.08	25.08	01.09	08.09	15.09	22.09
<i>Planktothrix</i> spp.		60	60	10	20	60	40	450	2790	18000	16700	47500
<i>Anabaena lemmermannii</i>		50	550	550	30	420	150	50	250	20	30	70
<i>Anabaena circinalis</i>		<10	<10	<10	30	20	40	<10	10	10	<10	20

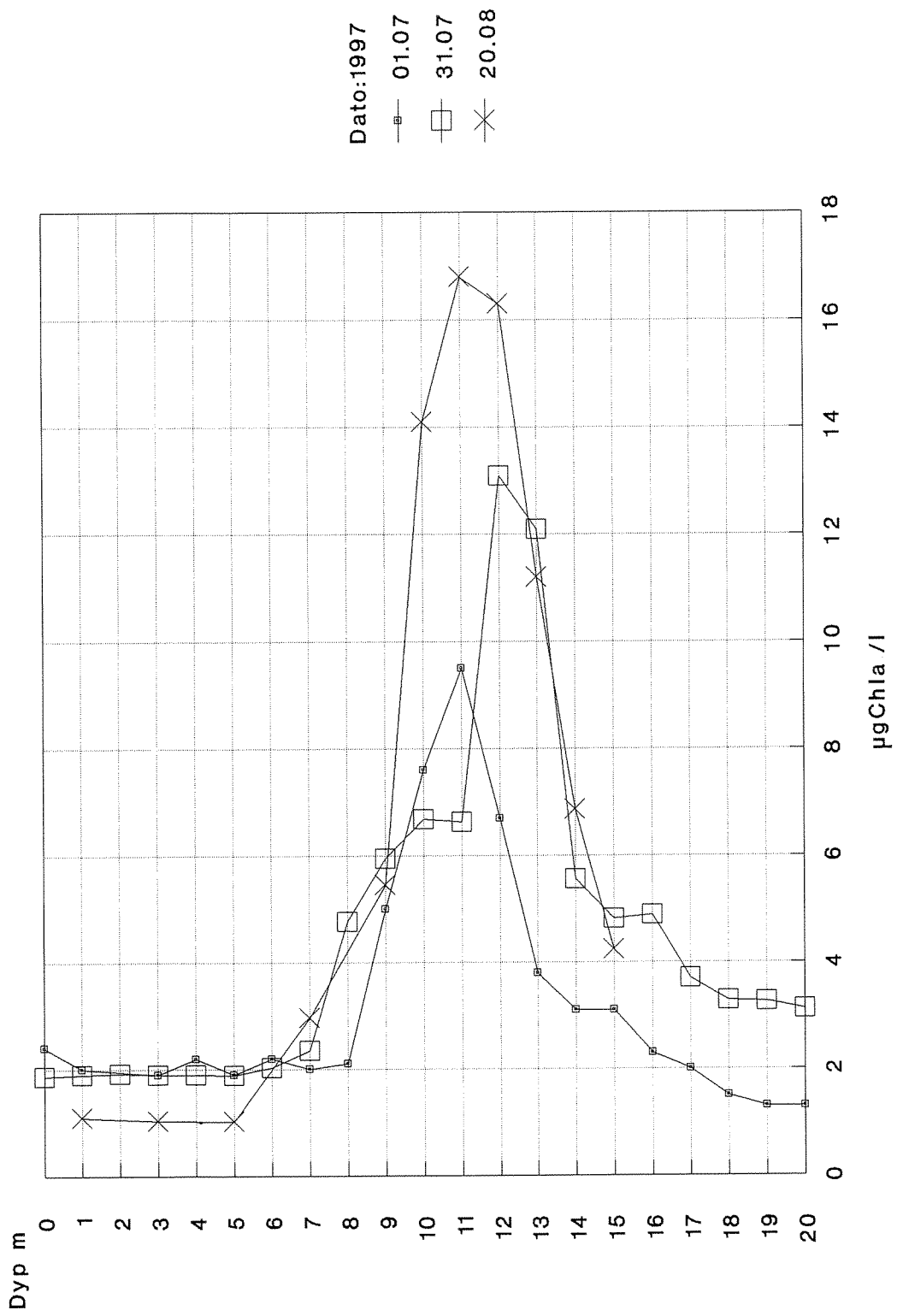
Lokalitet	Hovedstasjon, overflateprøve						Hovedstasjon, blandprøve						
	Dato	14.07	28.07	11.08	25.08	08.09	22.09	14.07	28.07	11.08	25.08	08.09	22.09
<i>Planktothrix</i> spp.		120	20	220	1050	27000	30000	80	20	400	1760	17000	37000
<i>Anabaena lemmermannii</i>		50	50	100	50	<10	30	20	20	80	50	<10	10
<i>Anabaena circinalis</i>		<10	<10	<10	20	<10	<10	<10	<10	10	20	<10	<10



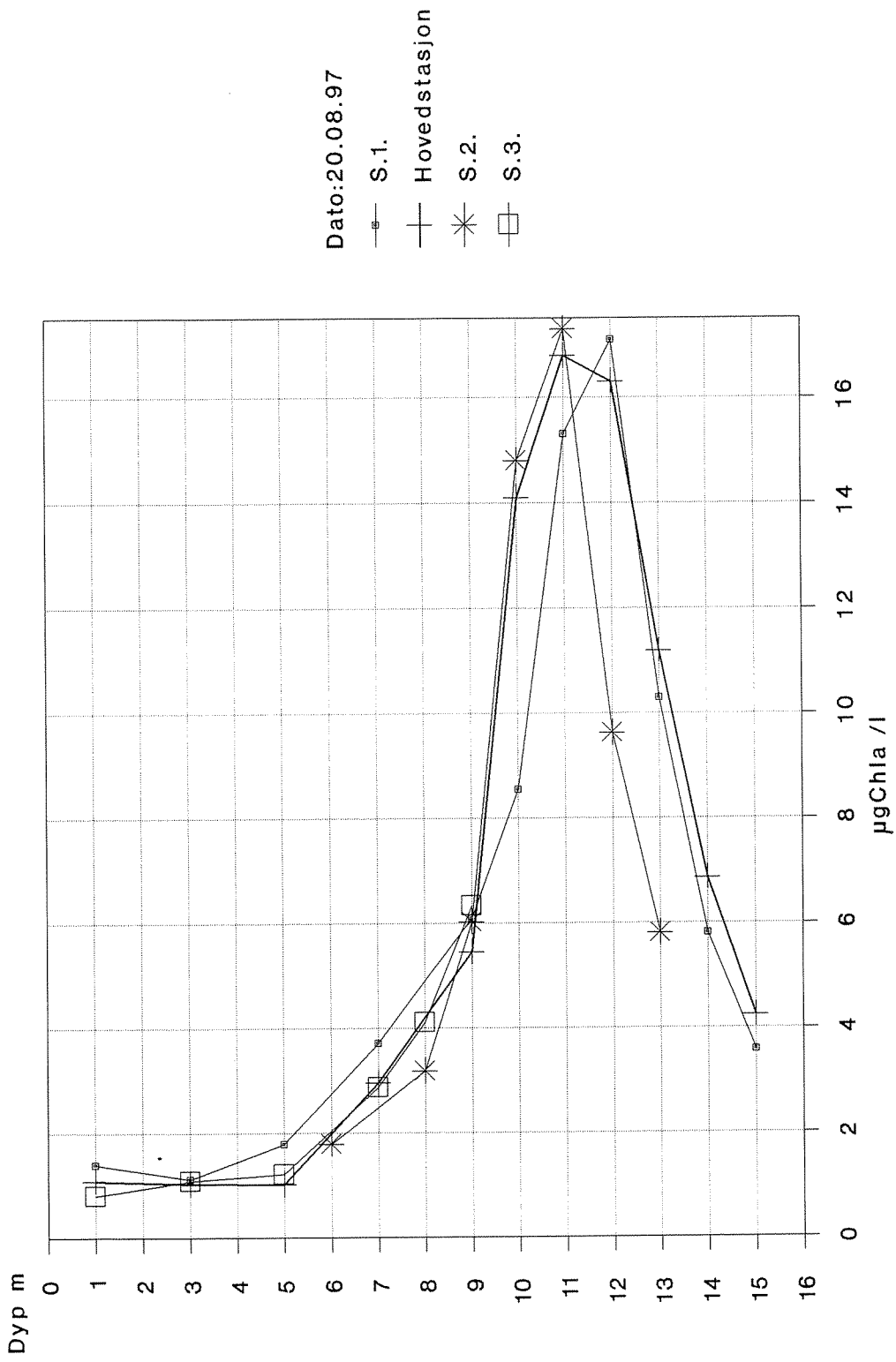
Figur 5. Populasjonen av *Planktothrix* spp. registrert ved målinger av klorofyll a, 1. juli 1997.



Figur 6. Temperaturlagdelingen i Steinsfjorden. Observasjoner juli-august 1997.



Figur 7. Vertikal fordeling av *Planktothrix* spp. registrert ved målinger av klorofyll a. Observasjoner juli-august 1997.



Figur 8. Påvisning av populasjonen av *Planktothrix* spp. på ulike stasjoner i Steinsfjorden. Observasjoner av klorofyll a ved prøvetaking 20. august 1997.

Ved prøvetakingen på hovedstasjonen i Steinsfjorden 1. juli 1997 var populasjonen av *Planktothrix* spp. vel etablert i dybdeintervallet 8-16 m under overflaten. I FIGUR 5 er dette grafisk vist med observasjonene av temperatur og bestemmelsene av klorofyll a konsentrasjonene i vannmassene. Det fremgår at *Planktothrix* spp. populasjonen hadde sin største forekomst i omlag 11 m dyp, dvs. med tyngepunkt i metalimnion.

Temperaturlagdelingen i Steinsfjorden holdt seg relativt stabil gjennom juli og august 1997 (FIGUR 6). Det samme gjaldt den vertikale beliggenhet av *Planktothrix* spp. populasjonen (FIGUR 7). Imidlertid fant det sted en betydelig tilvekst av populasjonen, noe som fremgår av de økende verdiene for klorofyll a i tidsrommet fra 1. juli til 20. august 1997.

Ved prøvetakingen 20. august ble det også tatt prøver på tre stasjoner i tillegg til på hovedstasjonen. Disse tre stasjonene lå med betydelig avstand fra hverandre i Steinsfjordens hovedbasseng. På alle fire stasjonene ble det i store trekk registrert de samme resultater for vertikal fordeling og mengdemessig forekomst av *Planktothrix* spp. (FIGUR 8). Dette tilsier at *Planktothrix* spp. samfunnet i sommerhalvåret er utviklet i metalimnion over hele Steinsfjorden.

Det ble foretatt spredte prøvetakinger på ettersommeren i innsjøavsnittet mellom Steinsfjorden og Holsfjorden (Kroksund-arkipelet). Resultatene viste forekomst av *Planktothrix* spp. i hele innsjøsystemet, med avtakende konsentrasjon fra Steinsfjorden mot Holsfjorden. Steinsfjorden utgjør et oppdningsreservoar for *Planktothrix* spp. populasjonen.

6. Cyanotoksiner i Steinsfjorden

Samfunnet av *Planktothrix* spp. i Steinsfjorden i 1997 var preget av artene *P. mougeotii*, *P. prolifica* og *P. rubescens* var. (se Tabell 3). Gjennom perioden juli – september var arten *P. prolifica* den kvantitativt fremtredende blågrønnalgen. Det er denne arten som nå er gitt det norske navnet *purpurtråd*.

Arter av slekten *Planktothrix* (Skulberg & Skulberg 1985) kan ha stammer med produksjon av cyanotoksiner. Best studert er toksindannelsen til *P. agardhii* (Østensvik et al. 1981, Berg & Søli 1985, Meriluoto et al. 1989, Chorus 1997). Også *P. rubescens* er påvist med toksinproduserende stammer i norske innsjøer (Skulberg 1996). Når det gjelder *P. prolifica* har denne arten ikke tidligere vært undersøkt når det gjelder toksikologiske egenskaper. Dette innebærer at forskningsvirksomheten med *P. prolifica* i Steinsfjorden er et nybrottsarbeid i relevant sammenheng. Heller ikke *P. mougeotii* har vært inngående studert med hensyn til produksjon av cyanotoksiner, men denne arten får ikke egen oppmerksomhet ved denne undersøkelsen.

Spesielle arter av blågrønnalger kan produsere toksiner med giftvirkning på bl.a. dyr og mennesker (Skulberg 1988). De kjemiske stoffene det dreier seg om - sekundære stoffskifteprodukter - betegnes cyanotoksiner.

Noen systematisk begrunnet nomenklatur for cyanotoksiner er fremdeles ikke utarbeidet. Stoffene blir til dels angitt med navn etter organismen som produserer stoffene. Bare noen få av stoffene er hittil blitt kjemisk identifisert og toksikologisk studert. Det er imidlertid klarlagt at de kjemiske forbindelsene det gjelder, fordeler seg hovedsakelig mellom de to stoffgruppene: *alkaloider* (heterocykliske, nitrogenholdige baser med utpreget fysiologisk virkning på nervesystemet, f.eks. anatoksin-a) og *polypeptider* (sammenkoblede aminosyrer til lange kjeder eller ringer, f.eks. heptapolypeptidet microcystin). Men også andre giftvirkende stoffer – som tilhører ulike kjemiske grupper – blir dannet av blågrønnalger, og er under forskningsmessig behandling (f.eks. stoffer med protrauert toksisk virkning).

Basert på toksikologiske observasjoner kan cyanotoksinene deles inn i tre hovedgrupper, henholdsvis hepatotoksiner, nevrotoksiner og toksiner med protrauert toksisk virkning.

Hepatotoksiner er polypeptider, bygget opp av aminosyrer i en syklisk struktur, med molekylvekter i området 900-1100 dalton. Flere arter av blågrønnalger produserer disse toksinene under gitte betingelser. Aktuelle organismer av denne typen i Steinsfjorden er bl.a. arter i slektene *Anabaena* og *Planktothrix*. Som et samlenavn på de kjemiske stoffene det dreier seg om, blir betegnelsen microcystiner benyttet. Den akutte toksisiteten - uttrykt som LD₅₀ ved intraperitoneal injeksjon (i.p. injeksjon i bukhulen) - varierer fra 30 til 1200 µg/kg kroppsvekt. Microcystinene har stor organspesifisitet, idet 75-90% av toksinene kan gjenfinnes i leveren kort tid etter intraperitoneal injeksjon. Det patologisk-anatomiske bildet er entydig, med stor blodfylt lever og uttalte levernekroser.

Nevrotoksiner er av alkaloidnatur og blir dannet av flere arter, f.eks. *Anabaena lemmermannii* og *Planktothrix* spp. LD₅₀ for anatoksin-a er angitt å være 200 µg/kg kroppsvekt. De akutte symptomene er dramatiske, med raskt innsettende eksitasjoner/kramper og død innen 5-10 minutter etter intraperitoneal injeksjon. Nevrotoksiner blokkerer bl.a. impulsoverføringen i synapsene (forbindelsen mellom nevroner i nervesystemet).

Cyanotoksiner med protrauert toksisk virkning. Dette omfatter stoffer som hittil i svært liten grad er kjemisk karakterisert. Den toksiske virkningen er forsinket, og forsøksdyrene (mus) dør etter intraperitoneal injeksjon, gjerne innen 24 timer uten spesifikke symptomer, bortsett fra generell slapphet. Det kan ikke iakttas noen makroskopiske patologisk-anatomiske forandringer. Forskning utført ved Norges veterinærhøgskole har vist at dette toksinet/toksinkomplekset gir histologiske forandringer både i lever-, nyre- og lungevev (Underdal et al. 1998b).

De utførte undersøkelser av populasjonen av *Planktothrix* spp. i Steinsfjorden – basert på biotester og kjemiske analyser – har vist at både hepatotoksiner og nevrotoksiner blir dannet av organismene det gjelder. Positiv påvisning er hittil gjort av cyanotoksinene desmethyl 3-microcystin-RR, microcystin-LR og anatoxin-a. Knyttet til *P. prolifica* - blågrønnalgen med størst mengdemessig forekomst sommeren 1997 – var i første rekke desmethyl 3-microcystin-RR av praktisk betydning. Det var derfor dette cyanotoksinet ble valgt ut for undersøkelsen av mulig toksinakkumulering i fisk i Steinsfjorden (Underdal et al. 1998a).

7. Etterord

Erfaringene som foreligger fra de foretatte undersøkelser i 1997 av toksinproduserende blågrønnalger i Steinsfjorden gir noen refleksjoner som trenger faglig og administrativ oppmerksomhet:

- Det er et sammensatt samfunn av blågrønnalger med flere toksinproduserende stammer som utvikler seg i Steinsfjorden.
- Foruten de tre påviste cyanotoksiner som er nevnt i rapporten, er det klare indikasjoner på også tilstedeværelse av andre toksiner.
- Det er en nær sammenheng - biologisk og spredningsmessig - mellom utviklingen av *Planktothrix*-samfunnet i Tyrifjordens forskjellige avsnitt (Steinsfjorden, Kroksunddelen, Holsfjorden), med Steinsfjorden som oppodningsreservoar.
- Det metodiske grunnlaget for biotester og kjemiske analyser av cyanotoksiner trenger å bli betydelig utbygget og forbedret.
- De utførte undersøkelsene i Steinsfjorden 1997 og 1998 bør videreføres med siktepunkt på å foreta en toksikologisk risikovurdering og å utvikle en forvaltningsmessig strategi for praktisk håndtering av blågrønnalgeproblemene i Steinsfjorden/Tyrifjorden.

8. Datasamling for 1997

Innsjøtokter til hovedstasjonen ble utført:

1. juli	20. august
9. juli	17. september
18. juli	25. november
31. juli	

Steinsfjord. NIVA-tokter 1997.

Hovedstasjon. 01.07.97. Siktedyp: 7.0m																			
Dyp m	Temp. gr.C.	Oksygen. mgO/l	%metn.	Surhgr pH	Kond mS/m 25grC	Farge mgP/l	Turb FTU	TP µgP/l	TN µgN/l	NO3 µgN/l	N-N µgN/l	Vn	TN/TP	Klor.a. µgChl/l	Org.m. mg/l	Ca mgCa/l	Mg mgMg/l	Fe µgFe/l	Cl mgCl/l
0	17,5	10,4	109	7,8	11,1	8,5	0,5	9	255	4	251	98	28	2,4	1,3	16	2	19	5,1
1	17,5	11,4	119	7,9	11,1	8,8	0,6	10	250	2	248	99	25	2,0	1,4				
2	17,5	11,4	119	7,9	11,0	9,2	0,6	7	250	<1	250	100	36		1,5	16	2	18	5,0
3	17,5	10,4	109	7,9	11,1	7,9	0,5	9	240	<1	240	100	27	1,9	1,6				
4	17,5	8,5	89	7,9	11,1	9,0	0,5	10	230	<1	230	100	23	2,2	1,6	16	2	20	5,1
5	17,2	7,2	75	7,9	11,2	8,8	0,6	9	315	<1	315	100	35	1,9	1,5				
6	16,9	6,4	66	7,9	11,2	9,2	0,6	8	235	<1	235	100	29	2,2	1,5	16	2	20	5,1
7	16,8	6,4	66	7,9	11,1	9,2	0,5	8	250	<1	250	100	31	2,0	1,2				
8	16,3	4,6	47	7,9	11,2	9,0	0,6	6	220	<1	220	100	37	2,1	1,1	16	2	23	5,1
9	15,1	4,4	44	7,8	10,4	10,8	0,7	9	250	35	215	86	28	5,0	1,1				
10	12,8	4,0	38	7,8	9,9	12,1	0,8	10	280	53	227	81	28	7,6	1,4	14	2	21	4,5
11	12,0	3,7	34	7,8	11,1	12,7	1,1	11	250	2	248	99	23	9,5	1,9				
12	11,0	2,7	25	7,7	11,2	9,6	0,9	10	235	13	222	94	24	6,7	1,6	16	2	16	5,1
13	10,7	2,7	24	7,6	11,4	8,8	0,6							3,8	1,3				
14	10,1	2,7	24	7,6	11,5	8,3	0,6	12	305	35	270	89	25	3,1	1,2	16	2	15	5,4
15	10,0	2,7	24	7,5	11,6	7,7	0,5							3,1	1,3				
16	10,0	2,7	24	7,6	11,5	7,7	0,6	8	280	43	237	85	35	2,3	1,0	16	2	18	0,1
17	10,0	2,7	24	7,4	11,5	7,7	0,6							2,0	1,1				
18	10,0	2,7	24	7,5	11,6	7,5	0,4	8	305	48	257	84	38	1,5	1,0	16	2	21	5,3
19	10,0	2,7	24	7,4	11,6	7,9	0,6							1,3	1,1				
20	10,0	2,7	24	7,5	11,6	12,7	0,6	11	315	58	257	82	29	1,3	1,1	16	2	33	5,3
20				7,4	11,6		17,0	47	395	62	333	84	8		0,9	16	2	784	5,3

Hovedstasjon. 09.07.97. Siktedyp: 5.9m.					
Dyp m	Temp. gr.C.	Oksygen.		Kond mS/m 25grC	
		mgO/l	%metn.		
0	20,8	9,3	104	11,3	
1	20,4	10,6	118	11,3	
2	20,3	11,0	122	11,3	
3	20,2	11,0	122	11,3	
4	19,8	10,4	114	11,2	
5	19,7	9,6	105	11,1	
6	18,8	8,6	92	10,8	
7	17,8	7,9	83	11,1	
8	16,8	7,2	74	11,2	
9	16,7	6,8	70	11,2	
10	15,7	6,5	66	11,2	
11	13,0	6,2	59	11,6	
12	11,2	5,7	52	11,8	
13	10,8	5,4	49	11,8	
14	10,5	5,2	47	11,9	
15	10,4	5,0	45	11,9	
16	10,4	4,1	37	11,9	
17	10,2	4,0	36	11,9	
18	9,8	3,8	34	12,0	
19	9,6	3,6	32	12,0	
20	9,6	3,4	30	12,0	
21	9,6	3,4	30	12,0	

Hoved.st. 09.07.97. Lysforhold.					
Dyp m	S.D. m	µE/m2.sec		% av overfl.	
		Luft	Vann		
	5,9	3056	1000		
0		3044	700	23	
1		3200	400	13	
2		3200	318	10	
3		3200	200	6	
4		3230	130	4	
5		3250	61	2	
6		3240	47	1	
7		3250	30	0,9	
8		3240	19	0,6	
9		3230	13	0,4	
10		3220	9	0,3	
11		3200	5	0,2	
12		3200	3	0,1	
13		3190	2	0,07	
14		3200	1	0,05	
15		3200	1	0,03	

Hovedstasjon. 18.07.97. Siktedyp: 5.9m					
Dyp m	Temp. gr.C.	Oksygen. mgO/l	%methn.	Kond mS/m 25grC	
0	21,8	9,5	108	11,1	
1	21,8	9,7	111	11,1	
2	21,8	9,8	112	11,1	
3	21,7	9,8	111	11,1	
4	21,6	9,8	111	11,1	
5	20,7	9,5	106	11,0	
6	18,7	9,0	96	11,0	
7	17,5	8,4	88	11,0	
8	16,5	8,1	83	11,0	
9	15,4	8,0	80	11,1	
10	14,1	7,6	74	11,4	
11	12,8	7,2	68	11,6	
12	11,4	6,4	59	11,7	
13	10,9	5,8	52	11,8	
14	10,5	5,3	48	11,8	
15	10,3	5,0	45	11,9	
16	10,1	4,7	42	11,9	
17	10,0	3,8	34	11,9	
18	9,9	3,8	33	11,9	
19	9,8	3,3	29	11,9	
20	9,8	2,9	26	12,0	

Hoved.st. 18.07.97. Lysforhold.					
Dyp m	S.D. m	µE/m2.sec		% av overfl.	
		Luft	Vann		
	5,9	680	805		
0		640	510	80	
1		610	270	44	
2		586	155	26	
3		570	116	20	
4		570	80	14	
5		602	57	9	
6		1650	90	5	
7		500	19	4	
8		460	11	2	
9		445	7	2	
10		435	4	1	
11		430	3	0,60	
12		427	2	0,37	
13		422	0,9	0,21	
14		417	0,6	0,14	
15		414	0,3	0,07	

Hovedstasjon. 31.07.97. Siktedyp: 7,7m

Dyp m	Temp. gr.C. .	Oksygen. mgO/l	%metn.	Kond mS/m 25grC	Part. org.m. mg/l
0	21,2	9,3	105	10,8	0,9
1	21,2	9,3	105	10,8	0,9
2	21,2	9,4	106	10,8	0,8
3	21,2	9,4	106	10,8	0,5
4	21,2	10,0	113	10,8	0,6
5	21,2	10,0	113	10,8	1,0
6	21,2	9,8	110	10,8	0,3
7	21,2	9,5	107	10,8	0,6
8	17,0	9,0	93	10,9	1,0
9	15,1	8,7	87	11,1	1,3
10	14,0	8,2	80	11,3	1,3
11	12,3	7,6	71	11,5	1,7
12	11,4	6,2	57	11,6	2,0
13	11,0	6,0	54	11,7	1,8
14	10,8	5,7	51	11,7	0,9
15	10,5	4,1	37	11,7	1,2
16	10,4	3,5	31	11,7	1,1
17	10,0	3,1	27	11,8	1,0
18	9,9	2,9	26	11,9	1,2
19	9,8	2,5	22	11,9	0,8
20	9,8	2,3	20	12,0	1,0
21	9,8			12,0	

Hovedstasjon. 20.08.97. Maks.dyp: 20,1m Siktedyp: 7,6m

Dyp m	Temp. gr.C.	Oksygen.		Kond mS/m	Partikulert.		Klor.a. µgChl/l
		mgO/l	%metn.		Tørrv. mg/l	Gløder. mg/l	
0	22,5	8,9	103	10,0			
1	22,5	8,9	103	10,1	0,4	0,2	1,1
2	22,5	8,9	103	10,2			
3	22,5	8,9	103	10,2	0,3	0,0	1,0
4	22,5	8,9	103	10,2			
5	22,5	8,8	102	10,2	0,7	0,1	1,0
6	21,8	8,7	99	10,3			
7	20,6	8,3	92	10,3	0,6	0,0	3,0
8	19,4	8,1	88	10,3			
9	18,1	8,0	85	10,4	1,2	0,1	5,5
10	15,7	8,2	82	10,6	2,5	0,1	14,1
11	13,4	8,1	78	10,8	3,1	0,2	16,8
12	11,8	5,9	55	11,0	2,7	0,2	16,3
13	11,0	5,0	45	11,0	1,8	0,2	11,2
14	10,8	4,1	37	11,0	1,1	0,0	6,9
15	10,6	3,6	32	11,1	0,7	0,0	4,2
16	10,5	3,2	29	11,1			
17	10,3	2,4	21	11,1			
18	10,2	2,4	21	11,1			
19	10,1	2,3	20	11,2			
20	10,0	1,7	15	11,5			

Hoved.st. 20.08.97. Lysforhold.

Dyp m	S.D. m	µE/m2.sec		% av overf.
		Luft	Vann	
	7,6	1100	1800	
0		1036	783	76
1		950	487	51
2		950	294	31
3		926	163	18
4		890	125	14
5		909	88	10
6		1040	58	6
7		1090	44	4
8		1120	24	2
9		1108	17	2
10		1050	10	1
11		1020	5	0,49
12		1019	2	0,23
13		1024	1	0,13
14		1050	0,7	0,07

Stasjon 01. 20.08.97. Lysforhold.

Dyp m	S.D. m	$\mu E/m^2 \cdot sec$ Luft	Vann	% av overfl.
	7,9	1145	1320	
0		1178	825	70
1		1166	700	60
2		1160	500	43
3		1167	300	26
4		1181	180	15
5		1194	130	11
6		1198	100	8
7		1195	60	5
8		1188	39	3
9		1190	23,3	2
10		1200	12,5	1
11		1206	6,05	1
12		1207	2,25	0,19
13		1208	1,05	0,09
14		1205	0,56	0,05
15		1209	0,21	0,02
16		1200	0,05	0,00

Stasjon 01. 20.08.97. Ca.2200m N. for H.st.Maks. dyp:18,5m Siktedyp: 7,9m

Dyp m	Temp. gr.C.	Oksygen. mgO/l	%metn.	Kond mS/m	Partikulert.		Klor.a. $\mu gCh/l$
					Tørrv. mg/l	Gløder. mg/l	
0	23,2	9,1	107	10,1			
1	23,2	9,1	106	10,1	0,2	0,0	1,4
2	23,1	9,1	106	10,2			
3	23,0	9,0	105	10,2	0,3	0,0	0,3
4	23,0	9,0	105	10,2			1,1
5	22,0	9,0	103	10,2	0,4	0,0	0,4
6	21,5	8,9	101	10,3			1,8
7	21,0	8,8	99	10,2	0,8	0,1	0,7
8	19,5	8,4	92	10,3			3,7
9	16,9	8,0	83	10,5	1,1	0,1	1,0
10	15,5	8,2	82	10,6	1,5	0,0	1,5
11	13,5	8,0	77	10,8	2,6	0,2	2,4
12	12,6	7,0	66	10,9	2,6	0,2	2,4
13	11,4	4,8	44	11,0	1,5	0,0	1,5
14	10,8	4,2	38	11,1	0,9	0,2	0,7
15	10,5	3,0	27	11,2	1,0	0,2	0,8
16	10,2	2,0	18	11,2			3,6
17	10,1	1,8	16	11,2			
18	10,0	1,1	10	11,3			

Stasjon 02. 20.08.97. Lysforhold.

Dyp m	S.D. m	µE/m ² .sec		% av overfl.
		Luft	Vann	
0	6,8	1192	1917	100
1		1250	1250	65
2		1230	800	42
3		1239	526	29
4		1251	364	18
5		1252	231	13
6		1262	165	8
7		1300	110	5
8		1270	59	3
9		1270	37	2
10		1270	20	1
11		1268	11	0,35
12		1277	5	0,16
13		1270	2	0,09
14		1267	1	0,05
15		1274	0,67	0,02
		1276	0,31	

Stasjon 02. 20.08.97. Ca. 1400m S. for H.st.Maks. dyp: 17,3m Siktedy: 6,8m

Dyp m	Temp. gr.C.	Oksygen. mgO/l	%methn.	Kond mS/m	Partikulert.		Gløder. mg/l	org.m. mg/l	Klor.a. µgChl/l
					Tørrv. mg/l	Tørrv. mg/l			
0	23,5	9,0	106	10,1					
1	22,9	9,2	107	10,1					
2	22,6	9,2	106	10,2					
3	22,4	9,2	106	10,2					
4	22,4	9,2	106	10,3					
5	22,3	9,2	106	10,3					
6	22,0	9,1	104	10,3	0,7	0,0	0,7		1,78
7	21,2	8,8	99	10,4					
8	19,5	7,6	83	10,5	1,2	0,0	0,0	1,2	3,18
9	17,6	8,0	83	10,6	1,5	0,0	0,0	1,5	6,02
10	14,1	8,5	83	10,8	3,0	0,0	0,0	3,0	14,8
11	12,6	7,8	73	11,0	3,2	0,0	0,0	3,2	17,3
12	11,5	5,3	49	11,1	1,9	0,0	0,0	1,9	9,63
13	11,2	4,9	45	11,1	1,3	0,0	0,0	1,3	5,8
14	10,7	4,0	36	11,1	0,7	0,0	0,0	0,7	3,58
15	10,5	3,6	32	11,2					
16	10,3	2,8	25	11,2					
17	10,1	2,0	18	11,3					

Stasjon 03. 20.08.97. Ca.300m V. for H.st.Maks. dyp:10,5m Siktedyp: 7,6m

Dyp m	Temp. gr.C.	Oksygen.		Kond mS/m	Partikulert.			Klor.a. µgChl/l
		mgO/l	%metn.		Tørrv. mg/l	Gløder. mg/l	org.m. mg/l	
0	24,3	9,3	111	10,0				
1	23,2	9,2	108	10,1	0,5	0,0	0,5	0,81
2	22,9	9,2	107	10,1				
3	22,8	9,3	108	10,2	0,5	0,0	0,5	1,09
4	22,6	9,2	106	10,3				
5	22,5	9,2	106	10,3	0,7	0,0	0,7	1,22
6	22,2	9,0	103	10,3				
7	21,1	8,8	99	10,3	1,1	0,0	1,1	2,87
8	18,9	8,4	90	10,4	1,4	0,0	1,4	4,11
9	16,1	8,3	84	10,6	1,8	0,0	1,8	6,33
10	14,5	8,3	82	10,8				

Stasjon 03. 20.08.97. Lysforhold.

Dyp m	S.D. m	µE/m2.sec			% av overfl.
		Luft	Vann		
	7,6	1100	1020		
0		1120	896		80
1		1125	600		53
2		1141	350		31
3		1130	200		18
4		1130	177		16
5		1128	133		12
6		1124	80		7
7		1120	44		4
8		1120	30		3
9		1124	19		2
10		1120	7		1

Hovedstasjon. 17.09.97. Siktedyp: 4,0m

Dyp m	Temp. gr.C.	Oksygen. mgO/l	%methn.	Kond mS/m 25grC	TP µgP/l	TN µgN/l	NO3 µgN/l	N-N µgN/l	Vn	TN/TP	Klor.a. µgCh/l	Part. org.m. mg/l	Jern µgFe/l
0	14,8	9,1	90	11,2							6	0,6	
1	14,8	9,0	89	11,2	9	245	8	237	97	27	5	0,6	36
2	14,8	9,0	89	11,2							6	0,7	
3	14,8	8,9	88	11,2	8	250	13	237	95	31	5	1,0	36
4	14,8	8,8	87	11,2							6	0,7	
5	14,7	8,7	86	11,2	10	250	6	244	98	25	6	0,9	34
6	14,6	8,7	86	11,2							5	0,9	
7	14,6	8,7	86	11,2	9	335	13	322	96	37	6	1,0	36
8	14,6	8,7	86	11,2							6	0,9	
9	14,5	8,7	85	11,2	11	230	8	222	97	21	6	0,9	32
10	14,5	8,7	85	11,2							5	0,9	
11	14,4	8,7	85	11,2	8	265	8	257	97	33	5	0,9	30
12	14,4	8,7	85	11,2							6	0,8	
13	14,4	8,6	84	11,2	11	220	17	203	92	20	5	0,7	24
14	13,2	6,0	57	11,4	9	295	61	234	79	33	3	1,3	38
15	12,7	4,9	46	11,5	10	320	97	223	70	32	2	1,0	40
16	12,1	2,3	21	11,7	12	370	126	244	66	31	2	1,0	48
17	11,1	1,3	12	11,9							2	1,0	
18	10,9	1,0	9	11,9	17	415	126	289	70	24	1	1,0	82
19	10,8	0,9	8	12,0							2	1,0	73
20	10,8	0,8	7	12,0	16	475	145	330	69	30	1	0,9	49

Hovedstasjon. 25.11.97. Siktedyp: 7,5m

Dyp m	Temp. gr.C.	Oksygen. mgO/l	%methn.	Kond mS/m 25grC	Partikulert.		org.m. mg/l
					Tørrv. mg/l	Gløder. mg/l	
0	4,2	12,5	96	10,2	0,3	0,0	0,3
1	4,3	12,5	96	10,2	0,6	0,1	0,5
2	4,3	12,5	96	10,2	0,7	0,1	0,6
3	4,3	12,4	95	10,2	0,6	0,0	0,6
4	4,3	12,4	95	10,2	0,6	0,0	0,6
5	4,3	12,4	95	10,2	0,6	0,0	0,6
6	4,3	12,3	95	10,2	0,6	0,0	0,6
7	4,3	12,3	95	10,3	0,6	0,1	0,5
8	4,3	12,3	95	10,3	0,7	0,1	0,6
9	4,3	12,3	95	10,3	0,6	0,1	0,5
10	4,3	12,3	95	10,3	0,6	0,1	0,5
11	4,3	12,3	95	10,3	0,4	0,1	0,3
12	4,3	12,2	94	10,3	0,7	0,1	0,5
13	4,3	12,2	94	10,3	0,6	0,1	0,4
14	4,3	12,2	94	10,3	0,6	0,2	0,4
15	4,3	12,2	94	10,3	0,6	0,1	0,4
16	4,3	12,2	94	10,3	0,7	0,1	0,6
17	4,3	12,2	94	10,3	0,7	0,2	0,5
18	4,3	12,1	93	10,3	0,6	0,2	0,4
19	4,3	12,1	93	10,3	0,6	0,2	0,4
20	4,5	12,0	92	14,0	6,5	5,5	1,0

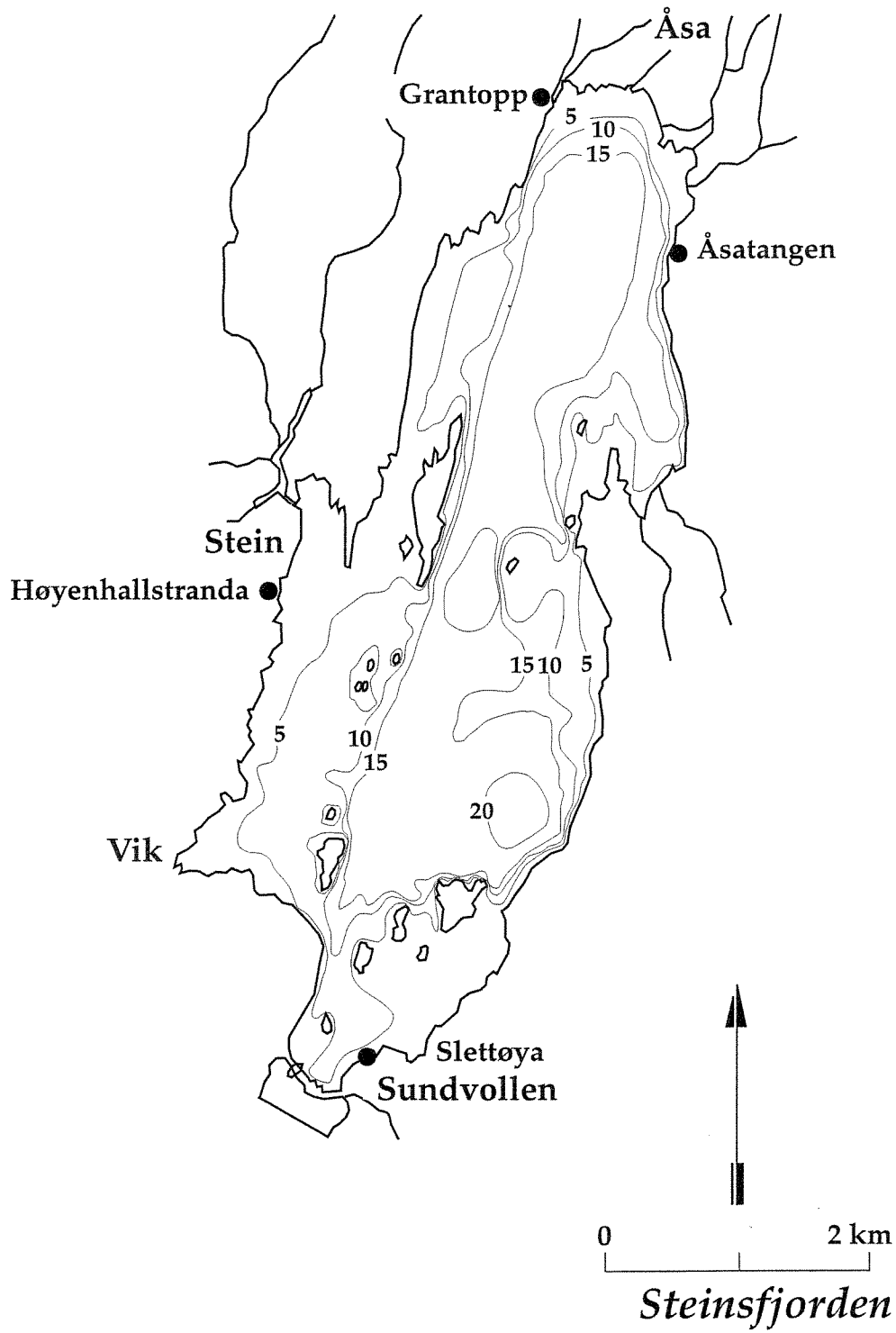
Hovedst.25.11.97. Lysforhold.

Dyp m	S.D. m	µE/m2.sec		% av overfl.
		Luft	Vann	
	7,5	67,9	86,3	
0		69,8	47,3	68
1		71,0	30,2	43
2		71,9	16,1	22
3		72,4	12,2	17
4		73,5	9,1	12
5		74,0	6,6	9
6		74,4	4,8	6
7		74,5	3,3	4
8		74,6	2,4	3
9		74,7	1,7	2
10		75,1	1,2	2
11		75,2	0,9	1
12		75,8	0,6	0,8
13		76,1	0,4	0,6
14		76,4	0,3	0,4
15		76,9	0,2	0,3
16		77,5	0,2	0,2
17		78,3	0,1	0,1

9. Henvisninger

- Berg, K. & Søli, N.E. 1985. Toxicity studies with the blue-green alga *Oscillatoria agardhii* from two eutrophic Norwegian lakes. *Acta vet.scand.* 26: 363-373.
- Berg, K., Carmichael, W.W., Skulberg, O.M., Benestad, Chr. & Underdal, B. 1987. Investigation of a toxic water bloom of *Microcystis aeruginosa* (CYANOPHYCEAE) in Lake Akersvatn, Norway. *Hydrobiologia* 144:97-103.
- Berge, D. (red.) 1983b. Tyrifjorden. Tyrifjordundersøkelsen – sammenfattende sluttrapport. Tyrifjordutvalget, Fylkeshuset, Drammen.
- Berge, D. 1983a. Overvåkingsundersøkelse i Tyrifjorden og Steinsfjorden 1982. Norsk institutt for vannforskning, Oslo. ISBN 82-577-0728-7. 47 pp.
- Braarud, T., Føyn, B. & Gran, H.H. 1928. Biologische Untersuchungen in einigen Seen des östlichen Norwegens August/September 1927. Avh. Norske Videnskaps-Akademi, Oslo. I Matem., Naturvid.Kl. 1928(2). 37 pp.
- Baardseth, E. 1943. A study of the vegetation of Steinsfjord, Ringerike. *Nytt Mag. Naturv.* 83 : 9-47.
- Carmichael, W.W. & Gorham, P.R. 1978. Anatoxins from clones of *Anabaena flos-aquae* isolated from lakes in western Canada. *Mitt.Internat.Verein.Limnol.* 21 : 285-295.
- Chorus, I. 1997. Toxische Cyanobakterien in deutschen Gewässern. Verbreitung, Kontrollfaktoren und ökologische Bedeutung. Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Umweltbundesamtes. Berlin. 166 pp.
- Harada, K.-J. 1996. Chemistry and detection of microcystins. In: *Toxic Microcystis*. (eds. M.F. Watanabe, K.-J. Harada, W.W. Carmichael & H. Fujiki), pp. 103-148. CRC press, Boca Raton.
- Holtan, H. 1967. Beskrivelser og undersøkelser av vannforekomster. Mjøsa. Hurdalsjøen. Øyeren. Randsfjorden. Tyrifjorden. Norsjø. Vannforsyning og avløpsforhold i østlandsfylkene. Utredning for Østlandskomiteén 1967. Norsk institutt for vannforskning, Oslo. 194 pp.
- Klavness, D. & Skulberg, O.M. 1982. The major pigment composition of different strains of *Oscillatoria* (CYANOPHYTA) recorded in vivo by modified Shibata technique. *Nordic Journal of Botany* 2(1):91-95.
- Meriluoto, J.A.O., Sandström, A., Eriksson, J.E., Remaud, G., Grey Craig, A. & Chattopadhyaya, J. 1989. Structure and toxicity of a peptide hepatotoxin from the cyanobacterium *Oscillatoria agardhii*. *Toxicon* 27: 1021-1034.
- Norsk institutt for vannforskning 1993. Anvendelse og prinsipp for de kjemiske analysemetodene som benyttes ved NIVA. ISBN 82-577-2360-6.

-
- Skogheim, O. 1975. Steinsfjorden. En undersøkelse av hydrografi, sedimenter, fytoplankton og primærproduksjon i 1972-73. Hovedfagsoppgave i limnologi ved Universitetet i Oslo. 148 pp.
- Skulberg, O.M. 1964. Algal problems related to the eutrophication of European water supplies. In: Algae and Man (ed. D.F. Jackson), pp. 262-299. Plenum Press, New York.
- Skulberg, O.M. 1978a. Sestonobservasjoner ved vassdragsundersøkelser. *Fauna* 31: 48-54.
- Skulberg, O.M. 1978b. Some observations on red-coloured species of *Oscillatoria* (CYANOPHYCEAE) in nutrient-enriched lakes of southern Norway. *Verh.Internat.Verein. Limnol.* 20:776-787.
- Skulberg, O.M. 1980. Blue-green algae in Lake Mjøsa and other Norwegian lakes. *Progress in Water Technology* 21(2):121-141.
- Skulberg, O.M. & Skulberg, R. 1985. Planktic species of *Oscillatoria* (CYANOPHYCEAE) from Norway – characterization and classification. *Arch.Hydrobiol. Suppl.* 71(1/2):157-174.
- Skulberg, O.M. 1988. Blågrønnalger – vannkvalitet. Toksiner. Lukt- og smaksstoffer. Nitrogenbinding. Rapport O-87006. Norsk institutt for vannforskning, Oslo. 121 pp.
- Skulberg, O.M. 1996. Toxins produced by cyanophytes in Norwegian inland waters – health and environment. In: Chemical data as a basis of geomedical investigations (ed. J. Låg), pp. 197-216. The Norwegian Academy of Science and Letters, Oslo.
- Skulberg, O.M., Carmichael, W.W., Codd, G.A. & Skulberg, R. 1993. Taxonomy of Toxic Cyanophyceae (Cyanobacteria). In: Algal Toxins in Seafood and Drinking Water (ed. I.R. Falconer), Chapter 9, pp. 145-164. Academic Press Ltd., London.
- Strøm, K. 1930. Limnological observations on Norwegian lakes. *Arch. Hydrobiol.* 21 : 97-124.
- Strøm, K.M. 1932. Tyrifjord. A limnological study. *Norske Vid.Ak., Oslo. Skrifter. I Mat., Nat. Kl.* 1932(3). 84 pp.
- Underdal, B., Hormazabal, V., Skulberg, O.M., Østensvik, Ø. & Aune, T. 1998a. Cyanotoksiner og fisk – toksinproduserende blågrønnalger i Steinsfjorden. Rapport. Norges veterinærhøgskole og Norsk institutt for vannforskning, Oslo, 26. juni 1998. 18 pp.
- Underdal, B., Nordstoga, K. & Skulberg, O.M. 1998b. Protracted toxic effects caused by metabolites of *Aphanizomenon flos-aquae* (Cyanophyceae). Publikasjon – under utarbeidelse.
- Vennerød, K. (red.) 1984. Vassdragsundersøkelser. En metodebok i limnologi. Universitetsforlaget, Oslo. 283 pp.
- World Health Organization 1998. Toxic Cyanobacteria in Water. Chapter 2. Cyanobacteria in the environment. In press.
- Østensvik, Ø., Skulberg, O.M. & Søli, N.E. 1981. Toxicity studies with blue-green algae from Norwegian inland waters. In: The water environment: Algae toxins and health (ed. W.W. Carmichael), pp. 315-324. Plenum Press, New York.
-



Norsk institutt for vannforskning

Postboks 173 Kjelsås
0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00
Telefax: 22 18 52 00

Ved bestilling av rapporten,
oppgi løpenummer 3901-98

ISBN 82-577- 3488-8