

Cyanobakterier i Kolbotnvann og Hersjøen, Akershus fylke: Slektene *Anabaena*, *Aphanizomenon* og *Planktothrix*

FAUN RAPPORT 017-2018 | 2018 | Fiske- og vassdragsforvaltning | Trond Stabell



Kolofon

Tittel

Cyanobakterier i Kolbotnvann og Hersjøen, Akershus fylke: Slektene *Anabaena*, *Aphanizomenon* og *Planktothrix*

Rapportnummer

017-2018

Forfatter

Trond Stabell

Årstall

2018

ISBN

978-82-8389-020-4

Tilgjengelighet

Fritt

Oppdragsgiver

Oppegård kommune / Vannområde Hurdal/Vorma

Prosjektansvarlig oppdragsgiver

Randi Aamodt / Helge B. Pedersen

Prosjektleder i Faun

Trond Stabell

Kvalitetssikret av

Helge Kiland

Emneord

Cyanobakterier, oppblomstringer, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Planktothrix*

Antall sider

25

Foto forside:

Kolbotnvann (venstre kolonne)

Hersjøen (høyre kolonne)

Foto: Faun Naturforvaltning AS, unntatt øvre til høyre: Helge B. Pedersen

Sammendrag

Vi har gått gjennom forekomsten av cyanobakteriene *Anabaena*, *Aphanizomenon* og *Planktothrix* i Kolbotnvann i perioden 1996 – 2017 og i Hersjøen i 2016 og 2017. Sesongmessige mønstre og perioder med oppblomstringer har blitt benyttet som utgangspunkt for å diskutere vekst- og tapsfaktorer, og formeringsstrategier hos disse cyanobakteriene. Dette har gitt oss bakgrunnsinformasjon til å vurdere deres konkurransevne mot øvrig planteplankton under ulike forhold.

Anabaena ser ut til å inneholde typiske sommer-arter. *Aphanizomenon* har oftest maksimal forekomst på høsten, mens forekomsten av *Planktothrix* er størst på høsten eller våren.

Aphanizomenon hadde store oppblomstringer i Kolbotnvann både i 2016 og 2017, men aldri tidligere i perioden 1996 – 2015. Det betyr at den trolig har lagt grunnlaget for oppblomstringer også i de kommende årene. Siden både *Anabaena* og *Planktothrix* allerede tidvis har oppblomstringer i innsjøen, forventer vi, med nok en art som kan skape slike, at frekvensen av masseforekomst av cyanobakterier vil øke i Kolbotnvann. Den eneste måten å bekjempe dette på er å redusere tilførselen av næringsalter til innsjøen.

I Hersjøen har vi av disse cyanobakteriene bare registrert oppblomstring av *Anabaena*. *Aphanizomenon* ble registrert ved en prøvetaking i 2017, mens *Planktothrix* ikke ble observert i de frie vannmassene verken i 2016 eller 2017. *Aphanizomenon* bør det holdes øye med, men per i dag er det liten grunn til å tro at den kan danne store forekomster i innsjøen. Risikoen for oppblomstringer av *Planktothrix* vurderer vi også som lav. I Hersjøen er det først og fremst *Anabaena* som kan skape problemer. Dersom ikke tilførselen av næringsalter til innsjøen reduseres, forventer vi at denne i enkelte år vil ha betydelige oppblomstringer. Disse vil normalt finne sted på sommeren eller sensommeren.

Forord

I 2016 analyserte Faun Naturforvaltning prøver av planteplankton både fra Kolbotnvann i Oppegård kommune og i Hersjøen i Ullensaker kommune. I begge innsjøene ble det registrert potensielt toksinproduserende cyanobakterier.

For sesongen 2017 ble det besluttet å gjennomføre et program med hyppigere prøvetaking enn en gang per måned, som er den standardiserte frekvensen for slike prøver. Dette håpte vi ville gi innsikt i hvordan utviklingen fram mot en oppblomstring forløp, vi ville få sikrere informasjon om når toppen på oppblomstringen ble nådd, og hvor høy biomassen var på dette tidspunktet.

I tillegg ville et slikt prøvetakingsprogram gi mulighet til å gi befolkningen rask og oppdatert informasjon om situasjonen i innsjøene. Det ble etablert rutiner for prøvetaking, for rask analyse av prøvene, kommunikasjon mellom involverte parter, og for under hvilke forhold det skulle tas vannprøver for måling av toksinet microcystin.

Resultatene fra 2017 skulle sees sammen med tidligere resultater fra innsjøene, og ende opp i en rapport hvor vi skulle vurdere faren for oppblomstringer fra ulike typer av cyanobakterier i disse innsjøene.

I Kolbotnvann har en del av prøvene blitt tatt i prøvetakingsprogrammet til PURA. Tor Bergan fra Ski kommune, og ansatte fra teknisk etat i Oppegård har bidratt i dette arbeidet. De øvrige

prøvene har blitt samlet inn av Randi Aamodt fra Oppegård kommune.

I Hersjøen har en del av prøvene blitt samlet inn i det pågående overvåkingsprogrammet for innsjøen. Dette er initiert av Vannområdet Hurdalsvassdraget/Vorma (Huvo) ved Helge B. Pedersen, mens Norconsult AS har vært ansvarlige for gjennomføringen. Innsamling av de øvrige prøvene har blitt organisert og koordinert av Helge B. Pedersen. Anette Åkerstrøm (Ullensaker kommune), Tom Sundar (kommuneoverlege) og Bjørn Hagen (miljørettet helsevern Øvre Romerike) har også bidratt i prøvetakingen fra Hersjøen.

En spesiell takk til Randi Aamodt i Oppegård kommune og Helge B. Pedersen hos Huvo. Uten deres innsats ville ikke dette prosjektet latt seg gjennomføre. Faun Naturforvaltning ønsker også å takke alle andre som har vært involvert.



Trond Stabell

Fyresdal, 26.04.2018

Innhold

Forord	3
1 Innledning.....	5
2 Metodikk.....	5
2.1 Feltarbeid og analyse.....	5
2.2 Lokalteter.....	6
3 Planteplankton i innsjøer	6
3.1 Konkurransen	6
3.2 Sesongsuksesjon	7
3.3 Typisk suksesjonsmønster, næringsfattige innsjøer.....	8
3.4 Typisk suksesjonsmønster, næringsrike innsjøer.....	9
3.5 Cyanobakterier i innsjøer	9
4 Trådformete cyanobakterier i Kolbotnvann og Hersjøen	10
4.1 <i>Anabaena</i>	10
4.2 <i>Aphanizomenon</i>	13
4.3 <i>Planktothrix</i>	15
5 Hva kan vi forvente framover av oppblomstringer av cyanobakterier i Kolbotnvann og Hersjøen? ..	19
5.1 Vår oppblomstringer	19
5.2 Oppblomstringer på sommeren	20
5.3 Høst oppblomstringer	21
6 Oppsummering.....	23
7 Referanser.....	24

1 Innledning

Den gruppen av bakterier som vi i dag gjerne kaller cyanobakterier, ble tidligere betegnet som blågrønnalger. Rent praktisk var det en ganske god betegnelse. De har ofte en blå-grønn farge og de driver fotosyntese. Funksjonelt sett er de dermed som andre grupper av alger. En viktig forskjell er imidlertid at cellene mangler cellekjerne, og dermed er prokaryote, mens alle alger har cellekjerne og er eucaryote. Betegnelsen «alge» blir altså ikke riktig. Dette er i stedet *bakterier*. Betegnelsen blågrønnbakterier blir derfor også benyttet, men de seneste årene ser det ut som den mer internasjonalt gjenkjennelige betegnelsen *cyanobakterier* er blitt den vanligste å bruke også i Norge.

Denne organismegruppen er over 3 milliarder år gammel, og de var trolig avgjørende for utviklingen av en oksygenholdig atmosfære rundt Jorda. Den etter hvert anerkjente endosymbioseteorien hevder at kloroplastene til alger og planter stammer fra cyanobakterier. Dette er i dag en av de største og viktigste gruppene av bakterier vi har, med ca. 3000 arter (Nabout et al. 2013) og som stort sett finnes overalt. De er inndelt i to hovedgrupper, hvor den ene utgjøres av encellede, men ofte kolonidannende former, og flercellede former der enkeltcellene danner celletråder (såkalte *trichomer*). Disse kan igjen opptre enkeltvis eller i kolonier.

Også i innsjøer er det et rikt utvalg av cyanobakterier, hvor vi finner alt fra kolonier som kan være synlige med det blotte øyet til enkeltstående celler på under 1 µm. Det er kjent at mange arter i ferskvann kan produsere toksiner, hvorav de viktigste er microcystiner som kan gi leverskader, og anatoksiner og BMAA (beta-N-methylamino-alanine) som kan gi nerveskader¹.

I tillegg har flere cyanobakterier evnen til å danne masseforekomster. Dette kan direkte eller indirekte ha negativ innvirkning på andre organismer i innsjøen, og det vil redusere bruks- og rekreasjonsverdien til den. Det er også under slike oppblomstringer at konsentrasjonen av

toksiner kan bli så høy at de kan representere en helsemessig risiko.

I forvaltningen av innsjøer får derfor cyanobakterier mye oppmerksomhet, og det er fokus på tiltak som kan hindre slike store oppblomstringer.

De slektene av cyanobakterier som oftest danner oppblomstringer i norske innsjøer er *Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon* og *Planktothrix*.

I denne rapporten har vi et spesielt fokus på forekomsten av cyanobakterier i innsjøene Kolbotnvann i Opegård kommune og Hersjøen i Ullensaker kommune, begge i Akershus fylke. Hos *Microcystis* finner vi et stort antall små celler som befinner seg i en mer eller mindre regulær, gelatinøs matriks. Denne slekten ser ikke ut til å være særlig vanlig i noen av innsjøene, og har ikke blitt registrert med store forekomster. De tre andre slektene; *Anabaena*, *Aphanizomenon* og *Planktothrix*, er alle trådformete. Det har blitt registrert oppblomstringer av en eller flere av disse i både Kolbotnvann og Hersjøen, og dette er derfor de slektene vi tar for oss i denne rapporten.

2 Metodikk

2.1 Feltarbeid og analyse

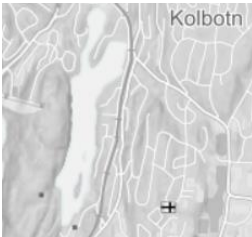
Det ble i 2017 tatt en prøve hver måned i perioden mai – oktober som blandprøve fra de øvre vannmassene ved innsjøenes dypeste punkt. Supplerende prøver ble tatt med teleskopstang fra land. Punkt for prøvetaking ble valgt slik at det var mulig å komme ut i godt blandede vannmasser. Også disse prøvene antas derfor å ha vært representative for innsjøen som helhet.


Prøver for planktoniske cyanobakterier ble samlet på 60 – 100 ml plastflasker og konserverte med 0,5 -1 ml (ca. 1 %) Lugols løsning. Et volum på 3 – 10 ml ble sedimentert ved bruk av Utermöhls metode (se f.eks. Tikkanen 1992).

¹ Folkehelseinstituttet:
<https://www.fhi.no/nettpub/smittevernveilederen/sykdommer-a-a/cyanobakterier-blagronnalger-forgif/>

2.2 Lokalteter

Det ble tatt prøver fra disse to lokalitetene:

	Lokalitet:	Kolbotnvann
	UTM 32:	600950, 6630850
	Kommune:	Oppegård
	Areal:	0,292 km ²
	Vannmiljø	005-27937
	Vann-nett	005-5537-L
	Vannstype	8

	Lokalitet:	Hersjøen
	UTM 32:	619495, 6678144
	Kommune:	Ullensaker
	Areal:	0,643 km ²
	Vannmiljø	002-37952
	Vann-nett	002-4158-L
	Vannstype	10

3 Planteplankton i innsjøer

3.1 Konkurransen

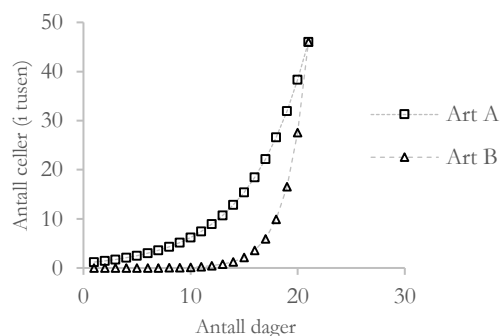
Vekstraten til en alge som lever i de frie vannmassene i en innsjø vil påvirkes av faktorer som temperatur, lys og tilgang på næringssalter, mens tapsraten vil avhenge av faktorer som turbulens, blandingsdyp og beiting fra dyreplankton. Differansen mellom vekst- og tapsrate gir netto vekstrate. Det er trolig ikke vanskelig å forestille seg at denne med så mange påvirkningsfaktorer kan skifte nærmest fra time til time. I en prøve av planteplankton finner vi som regel et stort antall arter. Dette skyldes nettopp at de konkurrerer langs så mange akser, og at konkurranseforholdene stadig endrer seg. Det vil være vanskelig for en enkelt art å dominere helt, fordi det krever at den over tid bevarer høyere netto vekstrate enn alle de andre artene. Likevel skjer dette av og til.

Det er i prinsippet tre mulige måter å utkonkurrere andre arter på:

1. Startkonsentrasjonen er høyere
2. Veksthastigheten er høyere
3. Tapsraten er lavere

Det er vel kjent at elementet fosfor i de fleste tilfeller er den begrensende faktoren for veksten til planteplankton. Ved celledeling tar algene opp blant annet fosfor fra vannet. Dersom denne veksten er rask, vil opptaket kunne være større enn tilførselen. I så fall vil fosforkonsentrasjonen i vannet avta. Dette er grunnen til at en algeoppblomstring alltid vil kulminere. På et tidspunkt vil tilgangen på næring være mindre enn det som kreves for en ytterligere deling, med den konsekvensen at populasjonen kollapse. Fra starten av en oppblomstring til vi når denne fasen tar det sjelden mer enn noen uker.

Dersom vi tenker oss en situasjon hvor to arter konkurrerer om å utnytte den næringen som er i systemet, kan arten med lavest netto veksthastighet likevel vinne, dersom den har en større populasjon når konkurransen starter. Dette har vi forsøkt å illustrere under (fig. 1). Der tenker vi oss artene har eksponentiell vekst, at art A har en vekstrate på 0,2, altså 20% økning per dag, og at forholdet mellom art A og art B er 1000:1 ved start. For at art B skal ha like høy forekomst som art A etter tre uker, krever det at den har en vekstrate på 0,67 per dag, altså over tre ganger høyere enn art A.



Figur 1. Ved start er forholdet mellom art A og art B 1000:1. A vokser med en rate på 0,2 d⁻¹, B med en rate på 0,67 d⁻¹.

Små arter har gjerne høyere vekstrater enn store, men til gjengjeld er de vanligvis mer utsatt for beiting fra dyreplankton. For tap på grunn av sedimentasjon kan forholdet være motsatt, men store arter med evne til egenbevegelse (f.eks. fureflagellater) eller oppdriftskontroll (enkelte cyanobakterier) kan motvirke at de synker ut av blandingsjiktet. Det er altså et komplekst samspill av en rekke faktorer som avgjør hvilke

arter som til enhver tid kommer ut med høyest netto vekstrate.

Dersom vi ser på gjennomsnittet av et stort antall innsjøer, tegner det seg likevel noen mønstre, selv når vi ser på ulike klasser av alger. Det finnes mange ulike forslag til inndeling av alger, men i gjennomgangen av typiske suksjonsmønstre (neste avsnitt) har vi benyttet de tradisjonelle norske betegnelsene (grønnalger, kiselalger osv.)

3.2 Sesongsuksesjon

Vinter

I vinterperioden er både vanntemperatur og lysinnstråling lav, noe som fører til at veksthastigheten til planteplankton er svært lav.

Mange innsjøer er islagt. Dersom det i tillegg er et lag med snø på isen kan lystilførselen under isen være tilnærmet null. Vannmassene vil da ligge helt i ro, og det tilføres ikke oksygen hverken fra fotosynteseaktivitet eller fra atmosfæren.

Organisk materiale som gjennom forrige sesong har sunket ned til bunnen vil i løpet av vinteren brytes ned. Denne prosessen krever oksygen og frigjør næringssalter. Dersom det ikke tilføres oksygen til bunnvannet, og det er en kombinasjon av mye organisk materiale og en lang isleggingsperiode, kan alt oksygen i vannmassene like over sedimentoverflaten forbrukes. Dette gir *reduserende forhold*, som drastisk øker løseligheten til fosforholdige salter. Under slike forhold vil vi ved målinger registrere en svært høy konsentrasjon av fosfat i bunnvannet.

Vår

Etter isgang vil vannmassene varmes opp. Så lenge temperaturen er lav skal det lite vindpåvirkning til for å blande vannmassene. Innsjøen er inne i en periode med *fullsirkulasjon*. Planktonalger er svært små, og selv om lysinnstrålingen kan være sterk, vil lysforholdene for en enkelt algecelle likevel være dårlige, særlig i dypere innsjøer. Dette fordi algecellen bare i en kort periode er nær overflaten. Næringssalter som gjennom vinteren er frigjort i bunnvannet blandes nå inn i vannmassene pga. sirkulasjonen. Næringsforholdene er derfor gjerne gode, mens vanntemperaturen fortsatt er lav.

Under slike betingelser med lite lys, lav vanntemperatur og relativt høy konsentrasjon av bl.a. fosfor, er det vanligvis arter innenfor gruppen av kiselalger som vokser raskest. Disse vil da dominere samfunnet av planteplankton, og svært ofte danne det vi kaller en *vårøppblomstring*.

Vannets tetthet avtar med økende temperatur, men *forskjellen* i tetthet pr. grad øker etter hvert som temperaturen stiger. Det betyr at det er mye større tetthetsforskjell på vannmasser med en temperatur på f.eks. 19 °C og 20 °C enn det er mellom vannmasser på henholdsvis 4 °C og 5 °C. Med økende vanntemperatur skal det dermed stadig mer energi til for å få vannmassene til å fullsirkulere. Selv i vindeksponerte innsjøer lar dette seg ikke lenger gjøre når temperaturen stiger opp mot 10 °C. Innsjøen blir da termisk sjiktet, og det vil nå bare være de øverste meterne av vannmassene som sirkulerer. Vi kan gjerne definere dette som overgangen til *sommerperioden*.

Sommer

I denne perioden vil både lysinnstråling og vanntemperatur være høy, og med permanent sjiktete vannmasser har vi nå fysisk sett en svært stabil periode. Vårøppblomstringen av planteplankton har kollapset som et resultat av at alt av tilgjengelige næringssalter er brukt opp, pga. økt beitetrykk fra dyreplankton som nå også har rukket å vokse opp, eller pga. temperatursjiktningen som gir økt tap via sedimentasjon ut av blandingssonen. For kiselalger er det gjerne en kombinasjon av disse faktorene som er årsak til at populasjonen bryter sammen. Mesteparten av fosforet i vannet er nå bundet opp i biomassen av planteplanktonet, og trekkes dermed ut av de øvre vannmassene når disse algene dør og synker ut av blandingsjiktet.

Like etter at vannmassene sjiktes får vi derfor gjerne en fase hvor det er lite alger og hvor vannet er mye klarere enn ellers. Dette fenomenet er såpass vanlig at vi gjerne kaller det for *klarvannsfasen*. Vanligvis vil denne inntreffe en eller gang i løpet av juni.

Nå går vi inn i den perioden som kanskje er den mest interessante. På grunn av den termiske sjiktningen vil tilførsler av næringssalter fra sedimentene, såkalte *interne kilder*, være svært begrenset. Skal biomassen av planteplankton nå

øke igjen, vil det kreve tilførsel av næringsalter utenifra, altså *ekstern tilførsel* fra bekker, elver og diffus avrenning.

Det er dermed utviklingen av planktonsamfunnet gjennom sommerperioden som gir oss best innsikt i omfanget av eksterne tilførsler av næringsalter til innsjøen. Dersom slike tilførsler er veldig begrenset, vil biomassen av planteplankton holde seg lav. Tilføres derimot store mengder næringsalter vil forekomsten av alger øke raskt, siden lys- og temperaturforholdene er gode.

I en situasjon med gode lysforhold, høy vanntemperatur og god tilgang på næringsalter vil det ofte være en eller flere arter av grønnalger som dominerer samfunnet av planteplankton. Disse artene er imidlertid nokså bra føde for dyreplankton, og denne beitingen bidrar ofte til å holde den totale algebiomassen på et akseptabelt nivå.

En del cyanobakterier, noen fureflagellater, nåleflagellaten *Gonyostomum semen*, og enkelte andre arter omtales gjerne som problemarter. Fellestrekket for disse artene er at de er store og dermed lite beitebare for dyreplankton. Selv om de vokser langsomt, kan de derfor ha tilnærmet eksponentiell vekst. Hvis forholdene ligger til rette, og vekstsesongen er lang nok, kan en eller noen ganger flere av dem overta dominansen i samfunnet av planteplankton. På grunn av den lave veksthastigheten, skjer dette vanligvis på sensommeren eller høsten.

Hvis arter av denne typen først er tilstede, kan totalbiomassen bli mye høyere enn normalt. Uten særlige tap kan de bare fortsette å vokse til de har utnyttet alt av fosfor i vannmassene. Til slutt vil praktisk talt alt fosfor være bygget inn i algecellene, og svært lite er tilgjengelig for ytterligere vekst. På et tidspunkt vil det ikke være nok næringsalter til en ytterligere deling, og hele populasjonen kollapser.

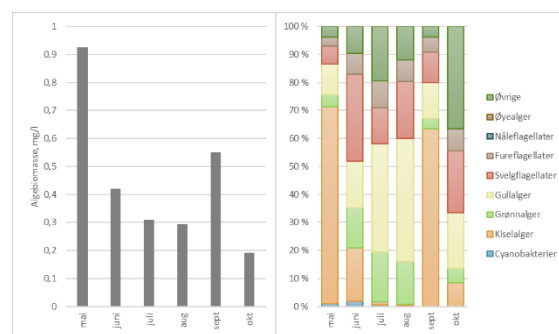
En del cyanobakterier har gassblærer i cellene, og når de dør kan de i første omgang heller flyte opp enn å synke til bunns. Algeoppblomstringen blir da veldig synlig ved at det dannes klumper av alger eller et malingsliknende belegg i overflaten.

Høst

Utover høsten blir lysforholdene igjen dårlige. Vanntemperaturen avtar inntil vannmassene på nytt fullsirkulerer. Organisk materiale som har sunket ut fra blandingssjiktet i løpet av sommeren, har blitt nedbrutt i dypet på samme måte som i vinterperioden. Fullsirkulasjonen på høsten vil derfor på nytt frakte næringsalter inn i vannmassene, og vi kan få en type oppblomstring som vi hadde på våren. Ofte vil det være samme art som dominerer her som under våroppblomstringen, men denne *høstoppblomstringen* er typisk noe mindre. Deretter vil forekomsten av planteplankton avta pga. stadig dårligere lysforhold.

3.3 Typisk suksesjonsmønster, næringsfattige innsjøer.

- Ved å bruke standard månedlig prøvetakingsfrekvens er det umulig å vite hvor nær toppen man treffer i vår- og høstoppblomstringen. Ofte vil vi derfor ikke registrere noen topp der. I eksempelet under ser vi hvordan det kan se ut dersom prøvetakingen skjer i nærheten av en slik topp (fig 2, venstre del). Maksimal biomasse på høsten påtreffes ofte i siste halvdel av september eller første halvdel av oktober.
- Dominans av kiselalger under vår- og høstoppblomstring (fig. 2, høyre del). Ellers et godt sammensatt samfunn, gjerne med små, lett beitebare arter.

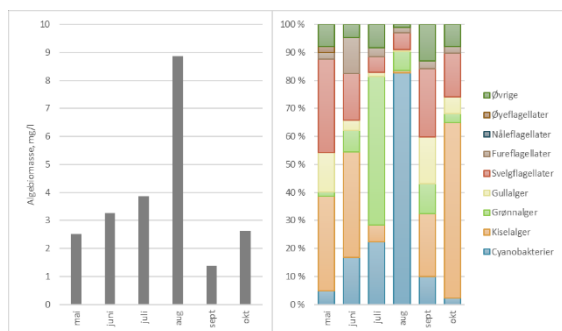


Figur 2. Eksempel på et typisk suksesjonsmønster av planteplankton i en næringsfattig innsjø

- Gullalger utgjør ofte en stor andel av totalbiomassen.
- Maksimal biomasse er sjelden over 1 mg/L, og den er alltid lav i sommerperioden.

3.4 Typisk suksesjonsmønster, næringsrike innsjøer.

- Mest sannsynlig har det vært en våroppblomstring, men her har i tilfelle planktonprøven blitt tatt i forkant eller i etterkant av oppblomstringen (fig. 3, venstre del).
- Grønnalger dominerer i juli. Langsomtvoksende cyanobakterier med små tap («problemalge») bygger seg opp (fig. 3, høyre del).
- Stor oppblomstring av cyanobakterie i august. Her vet vi heller ikke hvor nær biomassetoppen vi treffer. Uten denne problemalgen i systemet ville mest sannsynlig dominansen til grønnalgene ha fortsatt, men da uten en slik kraftig topp i august.
- Etter kollaps av en oppblomstring trekkes næringsalter ut av systemet, og vi får en periode med mye mindre alger. I dette eksempelet skjer det i september.



Figur 3. Eksempel på et typisk suksesjonsmønster av planteplankton i en næringsrik innsjø. Merk at skalering på y-aksen er annerledes enn i figur 2.

3.5 Cyanobakterier i innsjøer

I det foregående avsnittet så vi at den relative forekomsten av cyanobakterier er størst i næringsrike innsjøer, og at de vanligst utgjør en stor del av den totale biomassen av planteplanktonet på sensommeren eller høsten. De vekst- og overlevelsesstrategiene vi vanligvis

finner hos cyanobakterier gjør altså at de hevder seg best i konkurransen mot andre grupper av planteplankton i denne delen av sesongen.

Hvilke strategier er så dette?

I gruppen av planteplankton som vi kaller cyanobakterier finnes et stort antall arter og hver av disse vil ha ulike preferanser. Dersom vi maler med litt bredere pensel er det imidlertid mulig å finne noen trekk som kan sies å være av mer generell karakter.

Mange arter har gassblærer i cellene, noe som gjør at de kan regulere sin egen oppdrift. For ulike arter er det funnet at de kan ha en vertikal bevegelse på hele 0,2 – 2,8 meter per time (Reynolds 1972, Ganf 1975, Paerl & Ustach 1982). Dette kan representere en stor fordel ved at de kan posisjonere seg i områder med gode lys- eller næringsforhold, og sedimentasjonstap kan forhindres mer eller mindre fullstendig. Fordelen vil imidlertid være størst i perioder hvor vannmassene er stabile og rolige, og generelt ser cyanobakterier ut til å ha sterk preferanse for slike forhold. Kraftig vind, hurtige endringer i temperatur eller i vannets ionesammensetning har ofte vist seg å være tilstrekkelig til å avbryte oppblomstringer av cyanobakterier (Paerl 1988).

Mange cyanobakterier som er vanlige i norske innsjøer danner store kolonier. Dette kan være i form av lange filamenter («tråder»), som f.eks. hos *Anabaena*, *Aphanizomenon* eller *Planktothrix*, eller som mer kuleformete kolonier som vi f.eks finner i slektene *Microcystis* eller *Aphanocapsa*. Størrelsen i seg selv kan gjøre at disse artene i liten grad beites av ellers effektive algespisere som hoppekreps (Copepoda) eller vannlopper (Cladocera). Andre grupper av dyreplankton, som hjuldyr og ciliater ser ut til å like gjerne spise cyanobakterier som andre grupper av planteplankton (Paerl 1988), men i innsjøer utøver disse gruppene vanligvis et mye mindre beitetrykk på planteplankton enn copepoder og cladocerer. Tap pga. beiting vil derfor ofte være mye lavere for cyanobakterier enn for de fleste andre grupper av planteplankton.

I konkurranse med andre arter av planteplankton ser vi at cyanobakterier kan ha et stort fortrinn ved at både tap pga. sedimentasjon og pga. beiting kan holdes svært lave. Imidlertid er deres konkurransevne mye dårligere når det gjelder vekstfaktorer. Arter i slekten *Planktothrix* ser ut til

å ha en maksimal vekstrate på 0,4 - 0,5 per dag (Bonilla et al 2012, Rohrlack et al 2015), som er i samme størrelsesorden som en liten grønnalge som *Chlorella* kan vokse *per time* (Filali et al 2011).

Det finnes noen typer av cyanobakterier som er vanlige i næringsfattige innsjøer, f.eks. *Merismopedia*, men generelt ser vi at den relative forekomsten til denne gruppen øker når vi beveger oss fra oligotrofe til eutrofe forhold. Dette indikerer at cyanobakterier som gruppe heller ikke hevder seg særlig godt i konkurransen om næringsalter. Er tilgangen på fosfor liten, er det tydeligvis andre grupper av planteplankton som klarer å opprettholde høyere netto vekstrate enn det cyanobakteriene klarer.

Dersom vi setter alt dette sammen; lave tapsrater, lav maksimal veksthastighet, høy sensitivitet for raske fysisk-kjemiske endringer og et relativt sett høyt behov for næringsalter for å oppnå positiv netto vekst, forklarer dette det generelle bildet vi ser av forekomsten til cyanobakterier som illustrert i figur 2 og 3.

Som nevnt vil miljøkrav variere fra art til art. Etter å ha sett på når og hvor vi normalt finner cyanobakterier i norske innsjøer, skal vi nå gå mer spesifikt inn på de tre vanligste slektene av trådformete cyanobakterier. Da vil vi raskt se at bildet som er skissert her blir mer nyansert.

4 Trådformete cyanobakterier i Kolbotnvann og Hersjøen

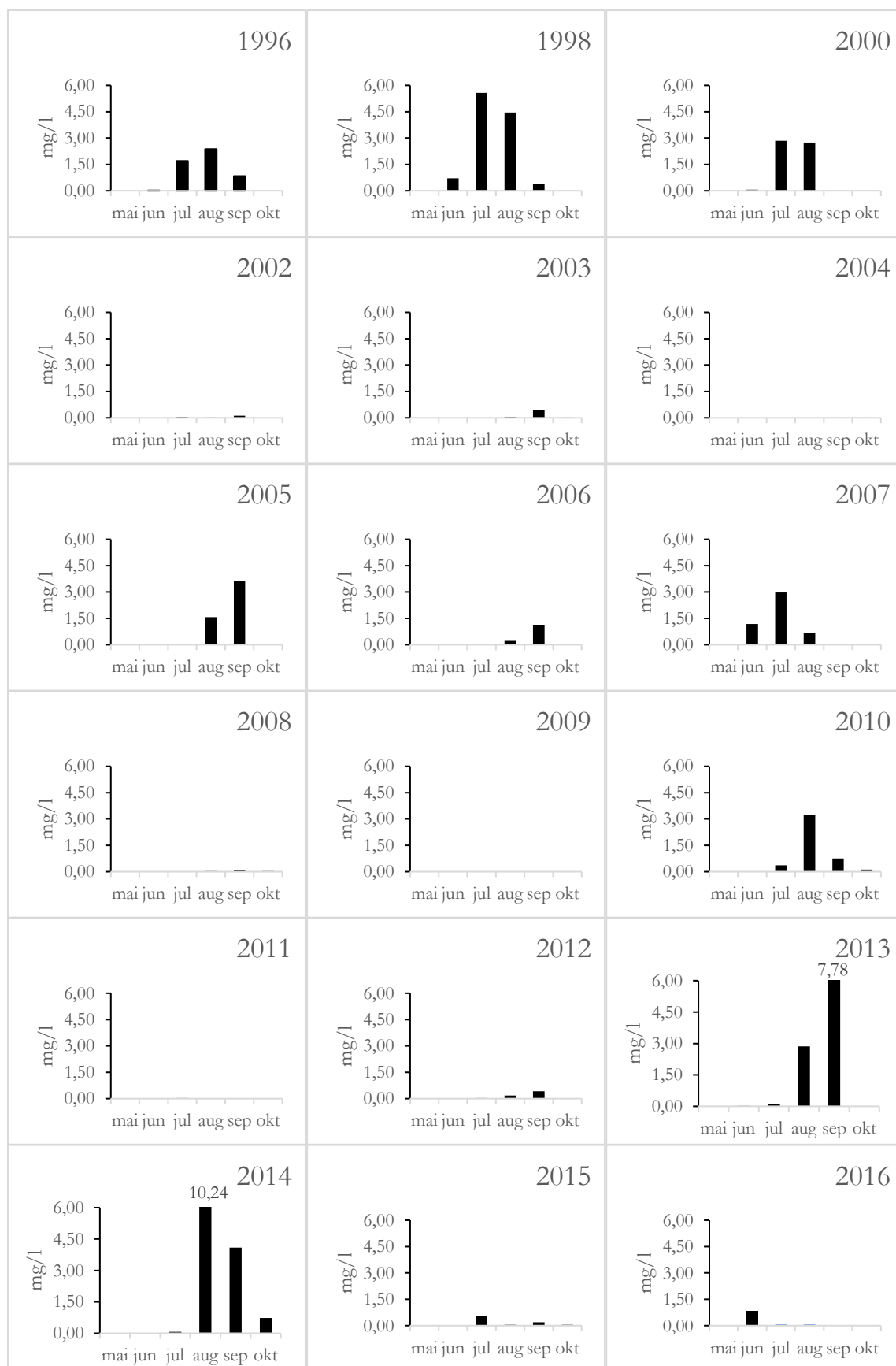
4.1 *Anabaena*

Denne slekten har blitt foreslått splittet opp (Komárek 2013), slik at mange av de vanligste artene nå omtales som *Dolicospermum*. Vi har valgt å følge John, Whitton & Brook (2001) hvor slekten *Anabaena* fortsatt holdes samlet.

Artsbestemmelse av cyanobakterier er generelt vanskelig, og det er også tilfellet innenfor denne slekten. Feilbestemmelser, eller uenighet om artsinndeling, kan gjøre det vanskelig å finne tydelige preferanser for enkeltarter. Vi foretrekker derfor å se om vi kan finne fellestrekk på slektsnivå.

Dette er en stor slekt som kjennetegnes ved at de danner tråder uten noen forgreining. Enkeltcellene er sfæriske til ellipsoide, slik at trådene får et karakteristisk «perlekjede»-utseende. I trådene dannes enkelte spesialiserte celler som kalles heterocyster hvor det kan foregå nitrogenfiksering (se fig. 7 og 20). Det betyr at disse artene ikke er avhengig av opptak av nitrogenforbindelser som ammonium og nitrat fra vannet, men kan forsyne seg selv med nitrogen. Når betingelsene blir dårligere dannes også hvilesporer, eller *akineteter*. Disse kan spire til nye vegetative celler dersom vekstbetingelsene igjen ligger til rette for det.

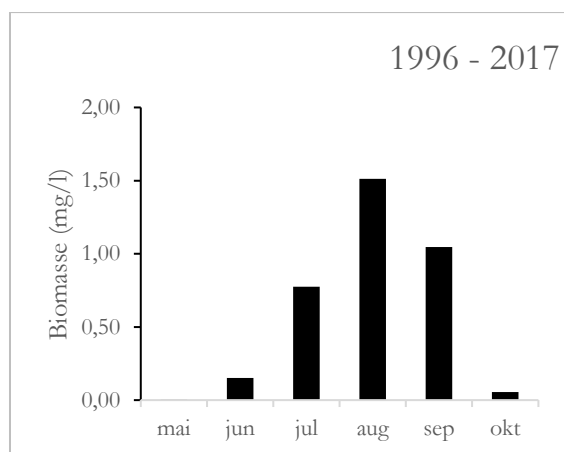
Forekomsten av *Anabaena* i Kolbotnvann i perioden 1996 – 2016 er vist i figur 4. Det er arter med «rette» kjeder som hele tiden har hatt høyest biomasse i denne innsjøen. Gjennom disse årene har det blitt registrert en del ulike arter av



Figur 4. Biomasse av *Anabaena* i Kolbotnvann i perioden 1996 – 2016. Data fra NIVA-rapporter fra samme tidsperiode.

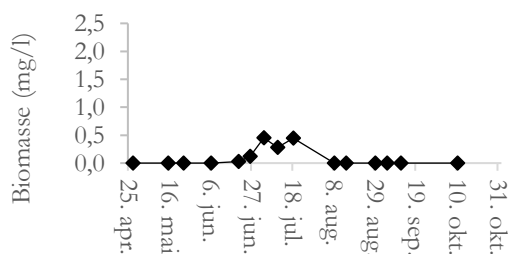
denne typen; *Anabaena planktonica*, *A. solitaria*, *A. danica* og *A. macrospora*. Ut fra bestemmelseslitteraturen er disse svært like hverandre, og ulike forskere kommer tidvis med forslag om samling eller oppsplitting av arter. Det er derfor ikke umulig at disse registreringene hele tiden har vært av samme art. Skulle det være flere ulike arter, ser de i alle fall ut til å ha et likt mønster med hensyn til forekomst gjennom vekstsesongen.

I Kolbotnvann har det siden 1996 i enkelte år vært stor forekomst av *Anabaena*, og da i all hovedsak på sommeren eller sensommeren. Dette ser vi enda tydeligere i figuren som viser den gjennomsnittlige biomassen av *Anabaena* gjennom vekstsesongen (fig 5).



Figur 5. Gjennomsnittlig biomasse gjennom vekstsesongen i perioden 1996 – 2017 for *Anabaena* i Kolbotnvann.

I 2017 ble det tatt langt flere prøver gjennom sesongen enn vanlig, noe som gjorde det mulig å få et godt inntrykk av biomasseutviklingen av cyanobakterier. Forekomsten av *Anabaena* var nokså beskjeden i Kolbotnvann i 2017, men igjen ser vi at det er i sommerperioden vi treffer på den (fig. 6).



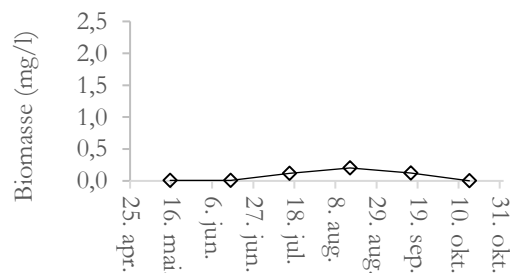
Figur 6. Biomasse av *Anabaena* i Kolbotnvann i 2017.

I Hersjøen har vi data kun fra 2016 og 2017. Det er opplagt en annen *Anabaena*-art vi påtreffer her enn i Kolbotnvann, mest sannsynlig *Anabaena flos-aqua*. Denne arten danner spiralformete tråder, som ofte vikles i hverandre (fig. 7). Disse koloniene kan bli så store at de kan sees som små, grønne partikler i vannet, ikke ulike pollenkorn.



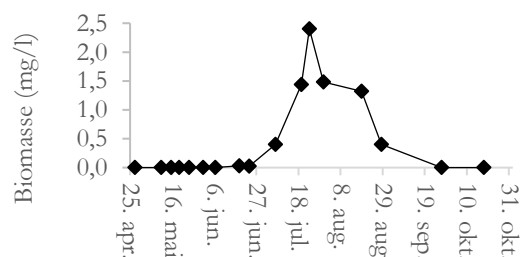
Figur 7. *Anabaena flos-aqua*, spiralformet. Brunfarge skyldes Lugol-fiksering. Foto: Birger Skjelbred, NIVA²

I 2016 var forekomsten av *Anabaena* i Hersjøen størst i juli og august, men den var likevel beskjeden gjennom hele sesongen (fig. 8).



Figur 8. Biomasse av *Anabaena* i Hersjøen i 2016.

På sommeren i 2017 hadde imidlertid denne arten en betydelig oppblomstring. I nøyaktig en måned, fra 23. juni til 23. juli, vokste *Anabaena* tilnærmet eksponentielt med en netto vekstrate på 0,16 per dag (fig. 9).



Figur 9. Biomasse av *Anabaena* i Hersjøen i 2017.

² Kilde: NordicMicroalgae.org
http://nordicmicroalgae.org/taxon/Dolichospermum%20flos-aqua?media_id=Dolichospermum%20flos-aqua_2.jpg

En netto daglig vekst på 16% over en så lang periode må sies å være høyt, og indikerer samtidig at tapsraten har vært meget lav.

Den sesongmessige forekomsten til *Anabaena* i Kolbotnvann og Hersjøen er i overensstemmelse med andre undersøkelser. Disse cyanobakteriene ser ut til å være typiske sommer-arter som foretrekker sjuktede vannmasser, høy temperatur og rolige forhold (Paerl 1988).

4.2 *Aphanizomenon*

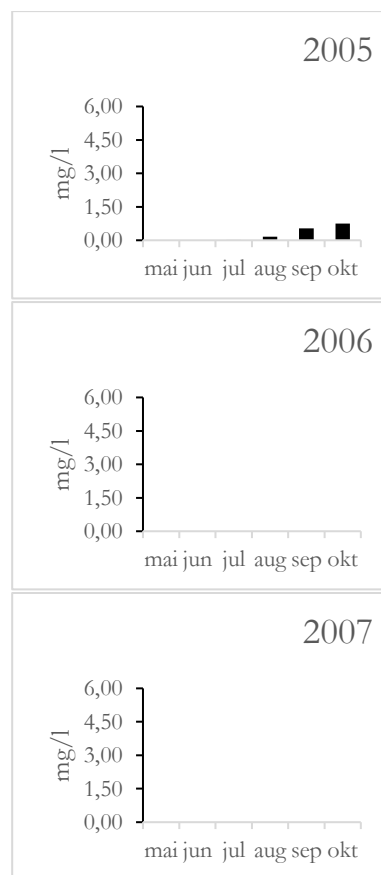
Aphanizomenon er nært beslektet med *Anabaena*, og disse ble i lang tid bare skilt fra hverandre ved at *Aphanizomenon* kan forekomme i store bunter (fig. 10), og ved at den ytterste cellen (apikalcellen) i trådene er forlenget hos *Aphanizomenon* (se fig. 14). Senere har molekylære data blitt benyttet for avgrensning av slekter og arter, men det er fortsatt betydelig usikkerhet i artsbestemmelse ut fra morfologiske trekk. En viktig grunn til dette er at cellenes form og utseende påvirkes av miljømessige faktorer, f.eks. førte fosformangel til en større grad av avsmalning mot enden av celletråder (John, Whitton & Brook 2001). De morfologisk mest åpenbare forskjellene mellom slektene er at *Aphanizomenon* har celler som generelt er smalere, og med et mye større lengde/bredde-forhold enn det de vanligste *Anabaena*-artene i våre innsjøer har. Dette gjør at cellene framstår vesentlig mer sylindrer-formet.



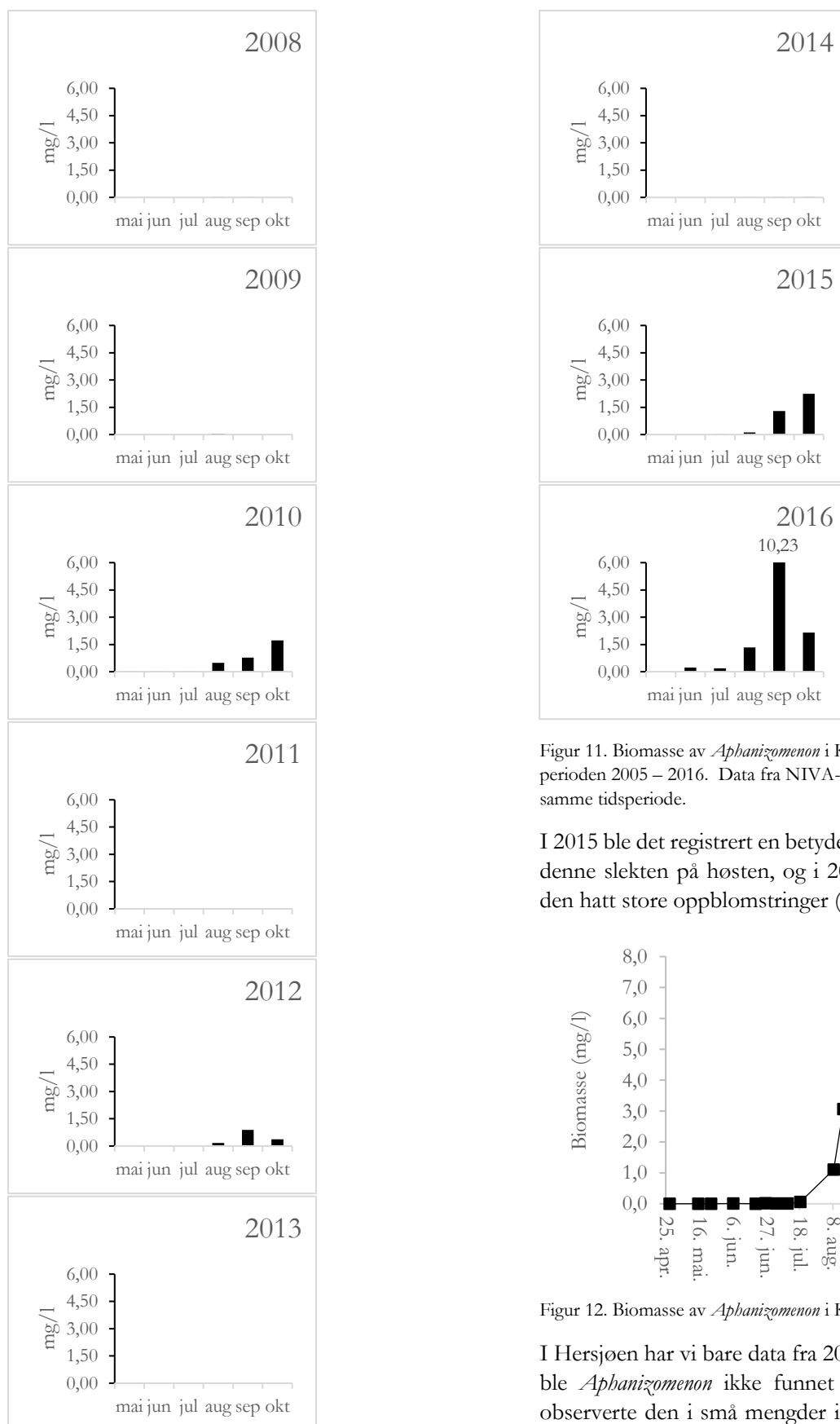
Figur 10. Bunter av *Aphanizomenon klebahnii* Foto: Birger Skjelbred, NIVA³

Vanskelighetene med sikker artsbestemmelse gjør at det ofte rapporteres *Aphanizomenon* sp., som forteller at vi ikke klarer å bestemme arten. Tidligere ble det stort sett bare skilt mellom to arter; *Aphanizomenon flos-aquae* og *A. gracile*. En oppsplitting av slekten gjør at arten *A. klebahnii* i de senere årene også har blitt rapportert fra norske innsjøer. Usikkerheten gjør at vi her behandler disse cyanobakteriene på slektsnivå.

I registreringer av planteplankton fra Kolbotnvann i perioden 1996 til 2017, fant vi at denne slekten ble observert bare helt sporadisk i perioden fram til 2005. Den ble funnet i små mengder på høsten 1996 (5 – 45 µg/l) og 2003 (0,4 – 3,5 µg/l), men ellers er den ikke rapportert. Fra og med 2005 dukker den opp litt oftere, men igjen bare i svært små mengder. Unntakene var i 2010 og i 2012, hvor den i deler av sesongen utgjorde en ikke helt ubetydelig andel av samfunnet av planteplankton (fig 11).

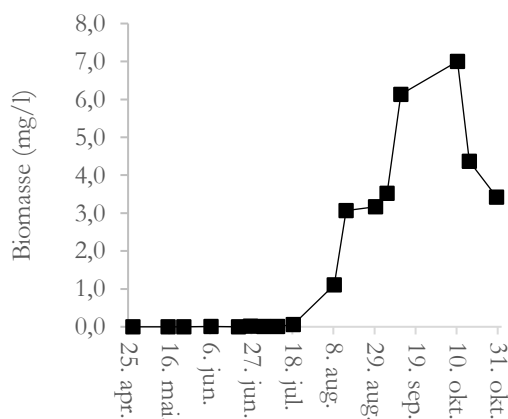


³ Kilde: NordicMicroalgae.org
<http://nordicmicroalgae.org/taxon/Aphanizomenon%20klebahnii>



Figur 11. Biomasse av *Aphanizomenon* i Kolbotnvann i perioden 2005 – 2016. Data fra NIVA-rapporter fra samme tidsperiode.

I 2015 ble det registrert en betydelig forekomst av denne slekten på høsten, og i 2016 og 2017 har den hatt store oppblomstringer (fig.11 og 12).

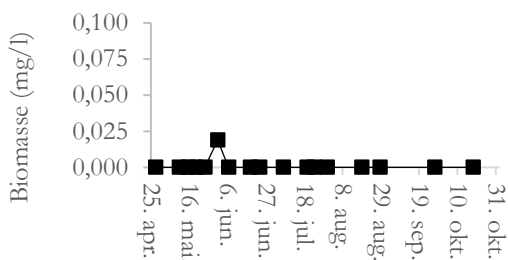


Figur 12. Biomasse av *Aphanizomenon* i Kolbotnvann i 2017.

I Hersjøen har vi bare data fra 2016 og 2017. Der ble *Aphanizomenon* ikke funnet i 2016, men vi observerte den i små mengder i slutten av mai i 2017 (fig.13).

Oppblomstringen av *Aphanizomenon* i 2017 i Kolbotnvann kom sent på året. I juni og første

halvdelen av juli ble den kun observert i svært små mengder.



Figur 13. Biomasse av *Aphanizomenon* i Hersjøen i 2017.

Vi mistenker at det i 2017 var to ulike arter av *Aphanizomenon*. Den så ut til å være på retur i andre halvdel av august, og da den begynte å øke igjen virket celletrådene noe kraftigere. Bredden på cellene økte med ca 0,2 μm , og de manglet de utstrakte, hyaline («tomme») endecellene (se bilde, fig. 14) som vi hadde observert i celletrådene på sommeren. Det er ikke usannsynlig at det var *Aphanizomenon flos-aquae* som ble registret på sommeren, mens det var *A. gracile* som sto for den kraftige oppblomstringen på høsten.

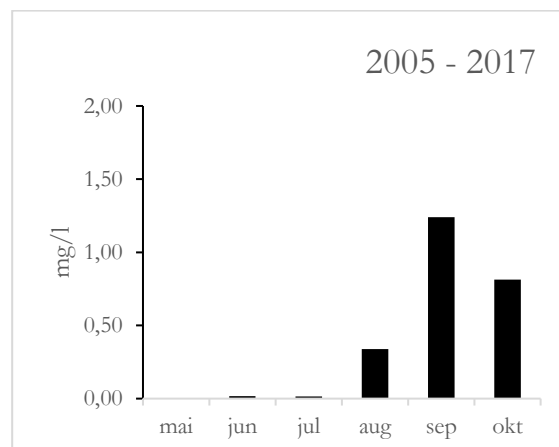


Figur 14. *Aphanizomenon klebahnii*, med utstrakt, hyalin endecelle. Foto: Birger Skjelbred, NIVA⁴

Sammenliknet med *Anabaena*, ser vi at forekomsten til *Aphanizomenon* er forskjøvet med omtrent en måned, og at den høyeste forekomsten normalt heller er på høsten enn på sommeren (fig. 15).

I et kontrollert konkurranse-eksperiment mellom *Anabaena* og *Aphanizomenon*, var det konsekvent *Anabaena* som vant. Over tid gikk forekomsten av *Aphanizomenon* mot null mens *Anabaena* ble enerådende (De Nobel et al. 1997). Siden slektene morfologisk sett er temmelig like, er de trolig utsatt for omtrent det samme beitetrykket fra dyreplankton, som gjør at disse resultatene trolig

er relevante også for en konkurranse ute i et naturlig miljø.



Figur 15. Gjennomsnittlig biomasse gjennom vekstsesongen i perioden 2005 – 2017 for *Aphanizomenon* i Kolbotnvann.

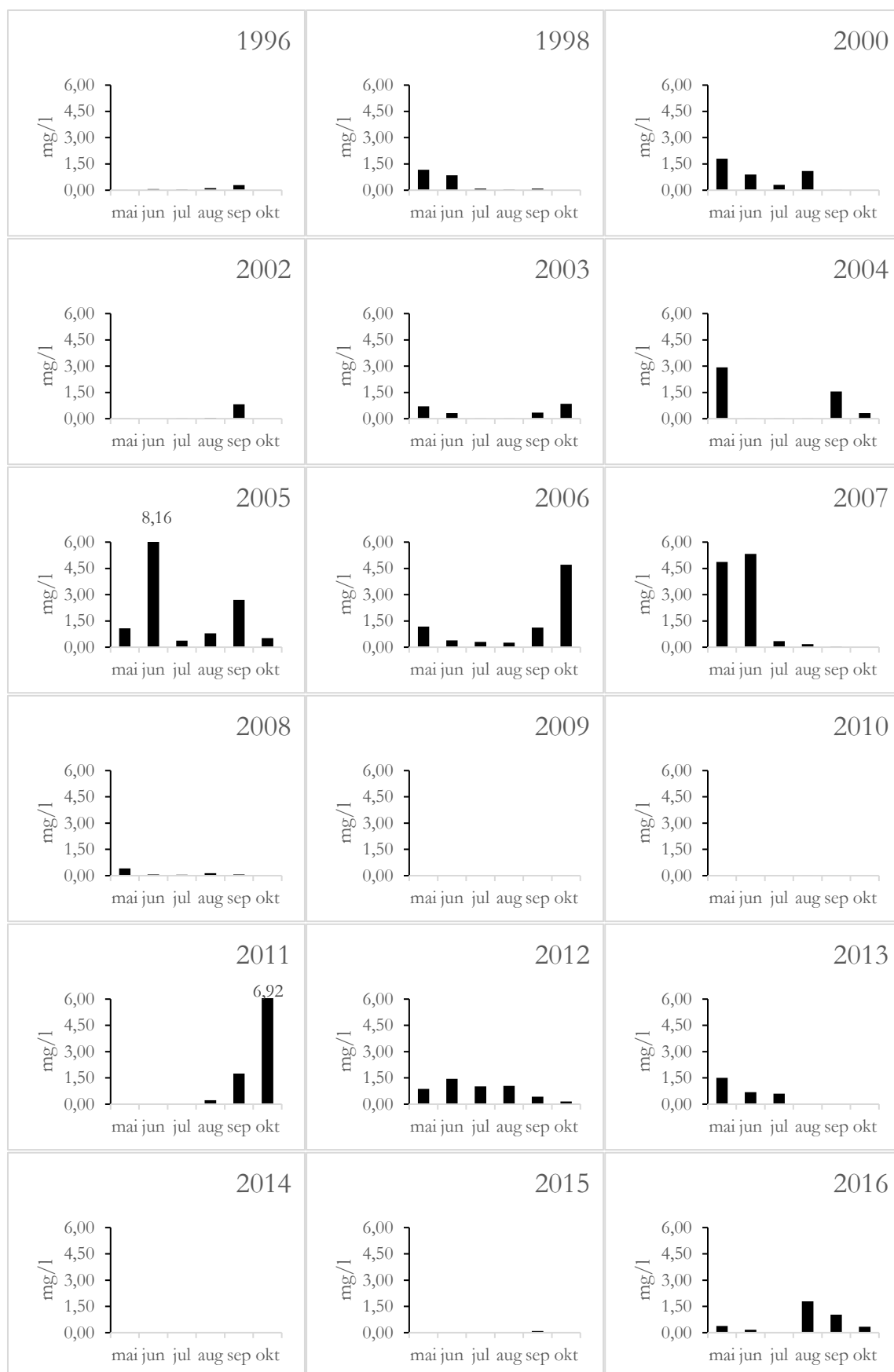
4.3 *Planktothrix*

I motsetning til *Anabaena* og *Aphanizomenon* finner vi gjerne *Planktothrix* i prøver gjennom hele sesongen. Dette er cyanobakterier med en vid temperatortoleranse, og det er observert høy biomasse av arter innen slekten i et spenn fra under 2 °C (Toporowska et al 2010) og opp til 29 °C i tropiske områder (Crossetti & Bicudo 2008). De gangene *Planktothrix* har større eller mindre oppblomstringer i Kolbotnvann, ser det utelukkende ut til å foregå på våren eller på høsten (fig. 16 og 17).

Planktothrix er en slekt av cyanobakterier i ordenen Oscillatoriales. Denne familien kjennetegnes ved at de mangler heterocyster og akineter. Arten i denne slekten danner uforgrenede «tråder» som hver består av et stort antall celler. Celledeling og dannelse av tverrgående cellevegger gjør at tråden forlenges. I enkelte tilfeller kan disse bli flere millimeter lange, mens bredden på trådene normalt bare er 5 – 10 μm (se fig. 18). Nye tråder dannes ved at korte biter, normalt 1-50 celler, brytes av fra de gamle. Disse fragmentene kalles *hormogonier*, som blir til vanlige celletråder etter hvert som cellene i hormogoniet deler seg.

I slekten *Planktothrix* forekommer celletrådene normalt enkeltvis, men i oppblomstringer kan de

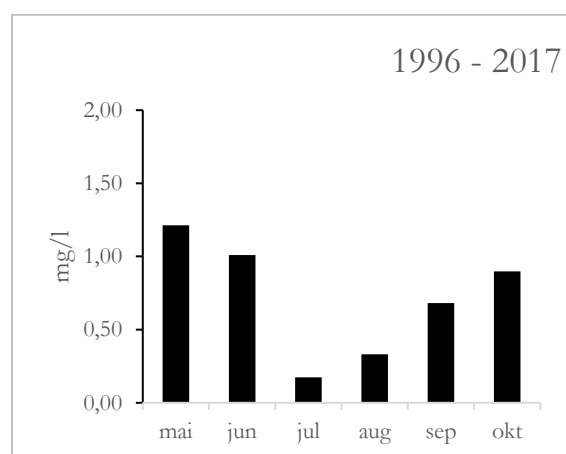
⁴ Kilde: NordicMicroalgae.org
http://nordicmicroalgae.org/taxon/Aphanizomenon%20klebahnii?media_id=Aphanizomenon%20klebahnii_2.jpg

Figur 16. Biomasse av *Planktothrix* i Kolbotnvann i perioden 1996 – 2016.

i større eller mindre grad klumpe seg sammen. Trådene flyter fritt i vannmassene og er rette eller bare svakt buet.

Ut fra rapporteringer fra norske innsjøer, ser *Planktothrix agardhii*, *P. isothrix*, *P. prolifia* og *P. rubescens* å være de vanligste artene hos oss. Disse skilles fra hverandre ut fra cellebredde og farge på filamentene, men heller ikke i denne slekten er artsbestemmelse uproblematisk.

Arter i denne slekten er kjent for å kunne produsere toksiner, f.eks. har oppblomstringer av *P. agardhii* blitt vist å være nært koblet til høye konsentrasjoner av microcystin (Wiegand & Pflugmacher 2005).



Figur 17. Gjennomsnittlig biomasse gjennom vekstsesongen i perioden 1996 – 2017 for *Planktothrix* i Kolbotnvann.

I avsnitt 3.3 prøvde vi å oppsummere noen typiske karaktertrekk for cyanobakterier som gruppe. Et av disse var følsomhet for turbulens. *Planktothrix* representerer et unntak fra dette. I tillegg ser denne slekten ut til å vokse relativt sett godt ved lav lysintensitet. Den påtreffes derfor gjerne i næringsrike, men grunne og turbide innsjøer.

Evnen til oppdriftskontroll via gassblærer, kombinert med evnen til positiv vekst selv under dårlige lysforhold, gir *Planktothrix* en annen potensiell fordel også i innsjøer som om sommeren har en temperatursjiktning. I temperatursprangsjiktet, eller termoklinen, avtar temperaturen kraftig. Siden vannets tetthet øker når temperaturen avtar, gir dette også en tetthetsgradient. Det betyr at materiale som

synker ut fra blandingssjiktet (epilimnion) bremses opp i dette området. Vi kan dermed få en opphopning av organiske partikler, som ved økt beiteaktivitet fra dyreplankton og nedbrytning fra bakterier kan gi bedre tilgang på næringsalter enn i epilimnion.

Planktothrix finnes i relativt næringsfattige innsjøer som Gjersjøen og Steinsfjorden⁵, men det er først i mer næringsrike innsjøer den ser ut til å kunne dominere samfunnet av planteplankton. Den taper mest sannsynlig mot mange andre arter i konkurranse om fosfor når konsentrasjonen av dette elementet er lav. Under forhold med lite lys og gode næringsforhold, slik vi finner i termoklinen, vil det imidlertid være vesentlig færre konkurrenter. Kiselalger klarer seg også bra under slike forhold, men verken de eller de fleste andre grupper av planteplankton har oppdriftskontroll, og vil derfor ikke klare å bygge opp en populasjon i et avgrenset sjikt slik som *Planktothrix* kan.



Figur 18. *Planktothrix*-celletråder (trichomer) Foto: Irina Olenina, Helcom-Peg⁶

Gjennom sommeren og høsten 2017 målte vi klorofyll *a in situ* i vertikale serier med en sonde. Vi fikk da til dels vesentlig høyere målinger i termoklinen enn i epilimnion (data ikke vist). Dette kan også skyldes et høyere innhold av partikler, og vi tok ikke prøver som kunne bekrefte at det var et sjikt der med høy tetthet av *Planktothrix*. I Kolbotnvann i 2005 fikk imidlertid Rohrlack et al. (2015) et tilsvarende utslag i termoklinen. De målte da kraftig fluorescens fra *Planktothrix* på 6-8 meters dyp i juli og august.

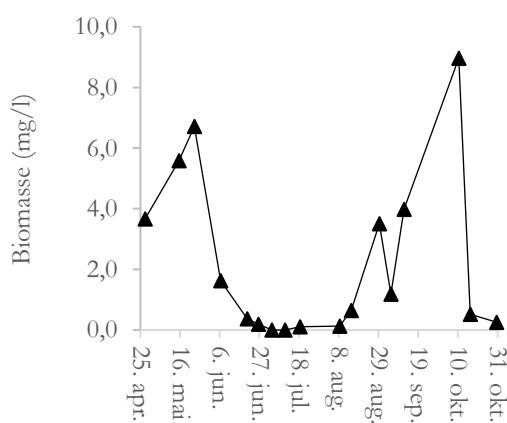
⁵ Data hentet fra Vannmiljø (<http://vannmiljo.miljodirektoratet.no>)

⁶ Kilde: NordicMicroalgae.org <http://nordicmicroalgae.org/taxon/Planktothrix%20agardhii>

En annen fordel *Planktothrix* kan ha ved å oppholde seg i termoklinen er redusert parasittisme fra algesopper (Chytridiomycota). Infeksjon av slike sopper kan representere en betydelig tapskilde for *Planktothrix* (Davis et al. 2003). En chytrid algesopp isolert fra Kolbotnvann infiserte opp mot 100% av filamenter av *Planktothrix* ved en temperatur på 21 °C, mens tilnærmet ingen ble infisert ved 9 °C (Rohrlack et al. 2015). I og med at temperaturen i termoklinen er mye lavere enn i epilimnion om sommeren, kan den gi beskyttelse mot slik parasittisme.

Utover høsten i 2017 økte innslaget av *Planktothrix* i epilimnion i Kolbotnvann igjen (fig. 19). Om dette skyldtes redusert temperatur og dermed redusert grad av parasittisme, en gradvis økning av fosforinnholdet utover sommeren, eller at celletråder fra termoklinen blandet seg inn i epilimnion etter hvert som termoklinen ble erodert vekk, er uvisst. Siden alle disse faktorene virker i samme retning kan det godt hende at det var en kombinasjon av dem som ga økt forekomst av *Planktothrix*.

Etter hvert som lysforholdene blir stadig dårligere, øker konkurransevnen til *Planktothrix*, og dens evne til tilnærmet eksponentiell vekst gjør da at den kan dominere i høstprøvene. Hvis det da er tilstrekkelig med næringssalter tilgjengelig, kan den danne store oppblomstringer, slik vi observerte i 2017 (fig. 19).



Figur 19. Biomasse av *Planktothrix* i Kolbotnvann i 2017.

I begynnelsen av oktober i 2017 hadde *Planktothrix* og *Aphanizomenon* oppblomstring i Kolbotnvann samtidig (se bilde, fig. 22). Dette må ha tømt ressursene av tilgjengelig fosfor fullstendig. I siste halvdel av oktober gikk

forekomsten av begge artene ned, men mens *Planktothrix* kollapset (fig. 19), hadde *Aphanizomenon* bare en ganske beskjeden nedgang (fig. 12). Det var tydelig at *Planktothrix* tapte i denne konkurransen etter hvert som tilgangen på fosfor ble stadig dårligere. Samtidig viser det at også *Aphanizomenon* har evne til å vokse bra under relativt dårlige lysforhold.

I Hersjøen ble ikke *Planktothrix* registrert på noe tidspunkt gjennom vekstsesongen, verken i 2016 eller i 2107. Hersjøen ser ut til å være en mer næringsrik innsjø enn f.eks. Gjersjøen, der vi nesten hvert år finner lave konsentrasjoner av *Planktothrix*. Hva kan så grunnen være til at denne cyanobakterien ikke ser ut til å trives i Hersjøen?

Dette har vi ikke noe klart svar på, men det er mulig å lage noen hypoteser.

- Kantorbekken renner fra Kolbotnvann til Gjersjøen, noe som vil tilføre *Planktothrix* til Gjersjøen når den forekommer i Kolbotnvann. Det er ikke sikkert at *Planktothrix* ville klart å opprettholde populasjoner i Gjersjøen uten denne tilførselen. I Hersjøen, som ikke har en slik ekstern kilde til celletråder av *Planktothrix*, kan dermed likevel næringstilgangen gjennomgående være for lav til å gi en netto positiv vekstrate for denne cyanobakterien.
- Kolbotnvann er en nokså klar innsjø, med fargetall normalt på ca. 15 mg Pt/l. Selv om den er næringsrik kan det derfor likevel nå en del lys ned til termoklinen. Imidlertid er Hersjøen enda klarere (fargetall: 4–7 mg Pt/l), så lysforholdene i termoklinen burde her være enda bedre. Hersjøen er imidlertid noe større. Den har også lengre *fetch* (ca. 1,8 km mot ca. 1,2 km i Kolbotnvann), som er den maksimale lengden vinden blåser over åpent vann, og kan hende er den noe mer eksponert. I så fall kan termoklinen presses dypere, slik at lysforholdene der likevel blir dårligere enn i Kolbotnvann.
- Dersom Hersjøen er mer vindutsatt enn Kolbotnvann vil ikke bare termoklinen presses dypere, men den blir også mindre skarp. Dermed blir tetthetsgradienten mindre og partikler som synker ut av epilimnion oppkonsentreres ikke like

effektivt. I tillegg er forekomsten av planteplankton i Hersjøen gjennomgående lavere enn i Kolbotnvann, slik at mengden organisk materiale som til enhver tid synker ut også er mindre. Da utvikles kanskje ikke den sonen med høyere grad av omsetning og nedbrytning, som er det som skal til for å gi de gunstige næringsforholdene for *Planktothrix*.

5 Hva kan vi forvente framover av oppblomstringer av cyanobakterier i Kolbotnvann og Hersjøen?

5.1 Vår oppblomstringer

Som nevnt i avsnitt 3.1 er det på våren en kombinasjon av lav temperatur, fullsirkulasjon og dermed dårlige lysforhold, men god tilgang på næringssalter. Samfunn av dyreplankton er dårlig utviklet og sedimentasjonstap er lavt for alle arter pga. omrøringen av vannmassene. Beiteresistans og oppdriftskontroll gir derfor ikke cyanobakteriene noe særlig fortrinn framfor andre grupper av planteplankton i denne perioden.

Det er vel kjent at det er kiselalger som vanligvis har evne til å vokse raskest under slike forhold. (Sommer 1988). Kiselalger trenger silisium til skallet de har rundt cellen, men konsentrasjonen av silisium er vanligvis såpass høy at det skal kraftige oppblomstringer til før dette elementet blir begrensende for veksten. I så fall vil også en stor del av fosforet i vannmassene også bli inkorporert i kiselalge-cellene. Hvis populasjonen kollapser trekker den med andre ord dette fosforet ut av vannmassene også, og etterlater liten mulighet for andre arter av planteplankton å blomstre opp.

I de aller fleste tilfeller er trolig det vi beskrev som strategi nr. 1 i avsnitt 3.1. den eneste måten cyanobakterier kan hevde seg i konkurransen med

kiselalger på; de må ha en vesentlig høyere utgangskonsentrasjon.

Både *Anabaena* og *Aphanizomenon* utvikler hvilesporer (akineter) når forholdene blir dårlige. I varmere strøk overvintrer arter fra disse slektene både i form av hvilesporer og vegetative celler (Sirés et al. 2015). I innsjøer som islegges er derimot konsentrasjonen av vegetative celler i vannmassene trolig ikke-eksisterende eller ekstremt lav om vinteren. Disse slektene er da avhengig av spiring av hvilesporene for å utvikle nye populasjoner. For *Anabaena flos-aquae* er det vist at dette i størst grad skjer ved temperaturer mellom 5 og 10 °C, men prosessen foregikk ikke i mørke. Fra spiring startet til det ble observert en populasjon av betydning i de frie vannmassene tok det ca. fem måneder (Kim et al. 2005). I islagte innsjøer er det normalt også et dekke med snø, som gjør at lysforholdene ved sedimentoverflaten er dårlige nesten helt fram til innsjøen er isfri. Bortsett fra i kystnære områder er det hos oss normalt ikke isgang før i løpet av april. Utgangskonsentrasjonen av *Anabaena* eller *Aphanizomenon* vil derfor være svært lav om våren, og de vil ikke ha mulighet til å konkurrere med kiselalgene på våren.

I 2017 så vi i Kolbotnvann at *Aphanizomenon* var i stand til å vokse godt på høsten. I innsjøer som ikke islegges, eller hvor isleggingsperioden er kort, ser vi ikke bort fra at vegetative celler fra denne slekten er i stand til å overleve vinteren, og dermed kan ha en stor nok utgangskonsentrasjon på våren til å kunne konkurrere med kiselalgene.

Av disse tre slektene av cyanobakterier vi omtaler i denne rapporten, er det bare *Planktothrix* som på regulær basis har oppblomstringer tidlig på våren i norske innsjøer. Dette slekten danner ikke hvilesporer og må overleve vinteren i form av vegetative celler, noe de kan klare pga. evnen til å vokse selv under svært dårlige lysforhold, og ved lave temperaturer (se avsnitt 4.3).

I Kolbotnvann har vi observert store oppblomstringer av *Planktothrix* på våren i 2005, 2007 og 2017, men den har hatt en betydelig forekomst også i flere andre år (f.eks. 2000, 2004, 2012 og 2013) (fig. 16). Mange av disse årene har det samtidig vært stor forekomst av kiselalger⁷, særlig fra slektene *Asterionella*, *Fragillaria* og

⁷ se NIVA-rapporter får årene 1996 – 2015

Diatoma. Tilsynelatende er det altså hard konkurranse mellom disse, hvor *Planktothrix* vil starte med høyest populasjon, mens kiselalgene trolig stadig tar innpå pga. høyere veksthastighet.

Hva er det så som gjør at *Planktothrix* enkelte år har oppblomstringer på våren, mens den andre år er mer eller mindre fraværende?

Dette har vi ikke noe entydig svar på. Det er mange faktorer som påvirker vekst og tap hos disse organismene, og samtidig vokser de fort sammenliknet med større organismer. Det komplekse samspillet av faktorer som lys, temperatur, næringsforhold, beiting, parasittisme, sedimentasjon, og helt sikkert en del andre (f.eks. spormetaller), gjør det svært vanskelig å forutsi hva som vil skje, eller med sikkerhet påpeke hvilken eller hvilke faktorer som er avgjørende for at *Planktothrix* blomstrer opp på denne tiden av året.

Ut fra registreringer av *Planktothrix* i Kolbotnvann fra 1996 og fram til i dag, kan det likevel se ut til at stor forekomst på våren skjer når den har hatt betydelig forekomst foregående høst. Dette ser vi f.eks. tydelig fra 2006 til 2007, og til dels fra 2016 til 2017. I de årene hvor forekomsten av *Planktothrix* har vært svært lav på våren, har den heller ikke vært til stede i særlig grad på høsten året før (fig. 16). Dette styrker oppfatningen om at den er nødt til å starte vekstsesongen med en mye større populasjon enn konkurrerende kiselalger, og at dette utgangspunktet til en viss grad er avhengig av populasjonsstørrelsen ved slutten av forrige sesong.

Selv *Planktothrix* må ha noe lys for å oppnå positiv vekst, men denne grensen ser ut til å ligge lavere enn $10 \mu\text{mol fotoner m}^{-2} \text{sek}^{-1}$ (Davis et al. 2003, Bonilla et al. 2011). En naturlig hypotese vil likevel være at sjansene for en vår oppblomstring øker dersom isleggingsperioden på vinteren er kort, eller kanskje enda viktigere; at perioden med snødekt is er kort. I så fall kan den korte vinteren i 2016 ha bidratt til oppblomstringen våren 2017. Vi har imidlertid ikke informasjon om hvor lang perioden med snødekt is var f.eks. vinteren 2006/2007, hvor det også ble registrert en oppblomstring tidlig på våren. Denne vinteren (2017/2018) har vært lang og snørrik, så hvis det er hold i denne hypotesen burde vi ikke se en

oppblomstring av *Planktothrix* våren 2018. Da har det i tilfelle vært for mørkt for lenge selv for denne svaktlysadapterte cyanobakterien.

Hersjøen ligger relativt langt fra kysten med et typisk innlandsklima. Normaltemperaturen i januar og februar er her $-7 \text{ }^\circ\text{C}$, mens den f.eks. er ca. $-4 \text{ }^\circ\text{C}$ i Oslo⁸. I de fleste år kan vi altså forvente en lang isleggingsperiode. Både i 2016 og 2017 var det på våren en oppblomstring av kiselalgen *Fragillaria*. *Planktothrix* har ikke blitt registrert i innsjøen i det hele tatt disse to årene, og per i dag ser vi ingen fare for oppblomstring fra denne cyanobakterien. *Aphanizomenon* ser ut til å være en sjelden slekt i Hersjøen, og *Anabaena* (trolig *Anabaena flos-aquae*) vil ikke tidsnok oppnå en populasjonsstørrelse på våren til å gjøre den i stand til å konkurrere med kiselalgene som finnes der

I nærmeste framtid må vi fortsatt regne med at *Planktothrix* i enkelte år har oppblomstring på våren i Kolbotnvann. Nå som *Aphanizomenon* ser ut til å ha etablert seg skikkelig i innsjøen, ser vi ikke bort fra at den i år med milde vintre og kort isleggingsperiode kan være i stand til å utvikle masseforekomster også på våren.

I Hersjøen er det per i dag liten grunn til å tro at cyanobakterier fra noen av disse slektene vil ha mulighet til å danne oppblomstringer på våren.

5.2 Oppblomstringer på sommeren

2006 var et veldig interessant år i Kolbotnvann. Her ser vi tydelig hvordan værforholdene kan virke inn på suksesjonsmønsteret til planteplanktonet. Værstatistikken til yr.no viser at middeltemperaturen på Østlandet i mars det året lå $4,1 \text{ }^\circ\text{C}$ lavere enn normaltemperaturen, og er den kaldeste mars måned siden årtusenskiftet. I april var det også kaldt med middeltemperatur på $-0,1 \text{ }^\circ\text{C}$. Bare i 2001 og 2012 har det siden 2000 vært kaldere denne måneden.

NIVA gjorde sine første målinger denne sesongen 6. april, og da var innsjøen fortsatt islagt. På Blindern i Oslo forvant den siste snøen 14. april. Vi vet ikke nøyaktig når vannet ble isfritt, men med de lave temperaturene i april skjedde dette trolig nære månedsskiftet til mai. I

⁸ Data hentet fra yr.no

begynnelsen av mai slo værtypen helt om og vi fikk sommervarme. I perioden 4. mai – 11. mai var temperaturen midt på dagen over 18 °C alle dagene, med et gjennomsnitt på 21,2 °C. Da NIVA gjorde nye målinger 22. mai var det bare 10% oksygenmetning nær bunnen av innsjøen, og den hadde utviklet en tydelig temperatursjiktning allerede på 2 meters dyp. Disse resultatene indikerer at oppvarmingen etter isgang gikk så fort at innsjøen ikke rakk å fullsirkulere. Konsentrasjonen av totalt fosfor ble på dette tidspunkt målt til over 50 µg/l.

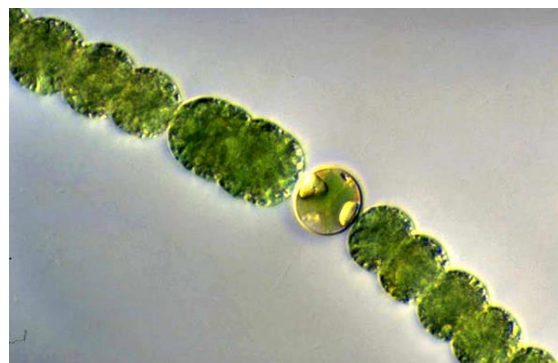
Forekomsten av kiselalger var relativt høy i mai, men pga. den raske sjiktningen vil de ha mistet det konkurransefortrinnet de vanligvis har på denne tiden av året, hvor det normalt er lav vanntemperatur og fullsirkulasjon. Så tidlig på sesongen er samfunnet av dyreplankton dårlig utviklet, så beitetrykket mot planteplankton er lavt. *Planktobrix* hadde en ikke ubetydelig forekomst på ca 1 mg/l på dette tidspunkt, men denne var bare på ca 0,2 mg/l i april, så utgangskonsentrasjonen ved sesongstart var ikke særlig høy. Under disse forholdene, hvor verken kiselalger eller cyanobakterier hadde optimale forhold, var det for første og eneste gang i dette materialet fra 1996 – 2017 en grønnalge som var i stand til å utnytte de gode næringsforhold. Den kolonidannende arten *Eudorina elegans* fikk en kraftig oppblomstring og oppnådde en biomasse i mai på over 13 mg/l.

Under normale omstendigheter vil vi få en våroppblomstring, som så kollapser, synker ut og samtidig trekker med seg fosfor ut av vannmassene. Siden innsjøen omtrent samtidig utvikler en temperatursjiktning, vil dette fosforet ikke bli tilført vannmassene igjen før tidligst ved neste høstsirkulasjon. I månedsskiftet mai/juni eller litt ute i juni får vi derfor ofte en klarvannsfase, som beskrevet i avsnitt 3.2. For å kunne understøtte en ny oppblomstring må fosforinnholdet bygge seg opp igjen, noe som stort sett bare kan skje via eksterne tilførsler av næringsalter til innsjøen.

Grønnalger vokser gjennomgående fortere enn cyanobakterier når lys- og temperaturforholdene er gode. Siden cyanobakterier ofte har lavere

tapsrater, kan imidlertid disse utgjøre en stadig større andel av planteplanktonet utover sommeren. *Planktobrix* har trolig for langsom veksthastighet til å hevde seg i denne perioden. Dersom spiring av akineter fra *Anabaena* har startet tidlig nok, kan arter fra denne slekten utvikle stor forekomst allerede i juli, slik vi så i Hersjøen i 2017. Andre betingelser kan gi en fordel til *Aphanizomenon*, men siden denne slekten vanligvis ser ut til å tape i konkurransen med *Anabaena* (De Nobel et al. 1997), er det mer sannsynlig å få en oppblomstring av denne dersom *Anabaena* ikke har slått til, eller at den får en masseforekomst senere på høsten dersom det fortsatt er tilstrekkelig med næringsalter i vannmassene til å understøtte dette.

Selv om fosfor nesten alltid er begrensende næringsstoff for veksten til planteplankton, kan det i næringsrike innsjøer i enkelte tilfeller oppstå nitrogenbegrensning. Det vil i så fall favorisere slekter som *Anabaena* og *Aphanizomenon*, som har heterocyster og er i stand til å fikser elementært nitrogen (N₂) (fig. 20).



Figur 20. *Anabaena* sp. med heterocyste⁹.

5.3 Høstopplomstringer

Dette er den perioden av året hvor sannsynligheten for oppblomstringer fra cyanobakterier trolig er størst. De vokser langsomt, men tilnærmet eksponentielt gjennom sommeren, og kan nå den fasen med bratt økning i forekomst en gang på sensommeren eller høsten.

Et kjennetegn ved næringsrike innsjøer, er at tilførselen av næringsalter fra nedbørfeltet langt

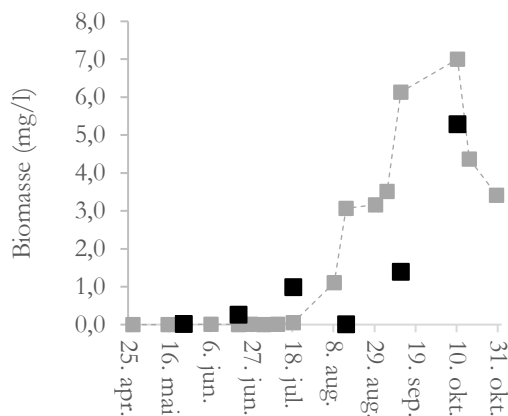
⁹ Kilde: PhycoKey, University of New Hampshire
<http://cfb.unh.edu/phycokey/phycokey.htm>

overgår naturlig bakgrunnstilførsel. Om sommeren er vannmassene termisk sjiktet i våre innsjøer, unntatt i de som er veldig grunne. Den øvre delen som sirkulerer, epilimnion, strekker seg normalt ikke mer enn noen meter nedover. Dersom det tilføres næringssalter til innsjøen gjennom sommeren fordeler disse seg altså i et langt mindre vannvolum enn det innsjøen har totalt. Dette er en av grunnene til at vi i slike innsjøer ofte ser at fosforkonsentrasjonen øker i epilimnion utover sommeren, særlig dersom det ikke er noen større algeoppblomstringer om sommeren som trekker med seg fosfor ut av vannmassene.

Oppblomstringer av *Anabaena* ser sjelden ut til å komme tidligere enn i juli. Tidspunktet for når den oppnår maksimal forekomst kan imidlertid godt være senere, men sjelden så sent som i oktober. Dette er trolig avhengig av værforholdene, f.eks. er det lett å tenke seg at en kjølig forsommer og en varm sensommer kan forskyve en biomassetopp for *Anabaena* til høstperioden.

Aphanizomenon har i løpet av 2016 og 2017 bare blitt observert en gang i Hersjøen, og da med lav forekomst. Dette er imidlertid ingen garanti for at det ikke kan oppstå problemer med denne arten senere. I perioden 1996 – 2005 ble denne bare sporadisk registrert også i Kolbotnvann, selv om Kolbotnvann i den perioden var langt mer næringsrik enn Hersjøen er i dag.

For å opprettholde en bestand av *Aphanizomenon* i Gjersjøen, er det godt mulig at den er avhengig av «innpodingen» fra Kolbotnvann. I figur 21 er biomassen til *Aphanizomenon* i Kolbotnvann i 2017 markert svakt i bakgrunnen, mens den i Gjersjøen er markert med svarte firkanter. Det må bemerkes at biomassen i Gjersjøen er multiplisert med 10 i denne figuren, men forekomsten av *Aphanizomenon* var i midten av juli faktisk høyere her enn i Kolbotnvann. Utover høsten oppnådde den en såpass høy biomasse som 0,5 mg/l. I en stor innsjø som Gjersjøen kan ikke alle disse cellene ha blitt tilført via en liten bekk fra Kolbotnvann, noe som betyr at *Aphanizomenon* må ha vokst aktivt også her.



Figur 21. Biomasse av *Aphanizomenon* i Kolbotnvann (grå markør) og Gjersjøen (svart markør). Fot Gjersjøen viser figuren biomassen x 10.

Gjersjøen er en mer næringsfattig innsjø enn Hersjøen, og dermed gir ikke dagens trofegrad i Hersjøen noen trygghet for at denne cyanobakterien ikke skal dukke opp der. På kort sikt er det imidlertid lav risiko for at den skal utvikle masseforekomster.

En paleolimnologisk undersøkelse av Hersjøen viste at pigmenter fra cyanobakterier praktisk talt var ikke-eksisterende før på slutten av 50-tallet. Da de først dukket opp ble de imidlertid funnet i alle nyere prøver (1960-2016) (Rohrlack og Haaland 2017). Dette samsvarer med observasjonene av *Aphanizomenon* i Kolbotnvann. Trolig var 2005 og 2010 avgjørende år. Det var de første sesongene hvor denne arten hadde en forekomst av litt betydning (fig. 11). I 2015 hadde den en liten oppblomstring på høsten, mens den har hatt masseforekomster de to siste årene.

Dersom forholdene i ett eneste år er så gunstige at disse cyanobakteriene oppnår en høy forekomst, ser det ut til å være nok til at de etablerer seg. Etter dette er de trolig veldig vanskelig å bli kvitt igjen. Dette er ikke overraskende for arter som har en reproduksjonsstrategi som involverer hvilesporer, slik vi finner hos *Anabaena* og *Aphanizomenon*. Disse hvilesporer er svært hardføre, og kan være i stand til å spire igjen selv etter å ha ligget flere år i sedimentene. Dersom det finnes et betydelig «lager» av slike hvilesporer øker muligheten for at arten blomstrer på nytt. Dette regner vi med er en viktig, kanskje avgjørende, grunn til at det har vært store oppblomstringer av *Aphanizomenon* i Kolbotnvann de siste to årene. (fig. 11 og 15).

Planktothrix kan gjennom sommeren oppholde seg i termoklinen i Kolbotnvann gjennom sommeren (se avsnitt 4.3). Når høsten kommer vil den derfor kunne ha en stor utgangskonsentrasjon, og alltid representere en fare for å utvikle masseforekomst. I Hersjøen er det i dag lav risiko for at *Planktothrix* skal skape oppblomstringer.



Figur 22. Kolbotnvann 10/10-17. Samtidig oppblomstring av *Aphanizomenon* og *Planktothrix*.

6 Oppsummering

I perioden 1996 – 2015 har det i enkelte år i Kolbotnvann vært store oppblomstringer av *Anabaena* på sommeren eller av *Planktothrix* på høsten eller våren. Dersom tilførselen av næringssalter også framover er på samme nivå som i dag, må vi forvente at vi i enkelte år fortsatt vil se kraftige oppblomstringer av disse. De siste to årene har vi også observert masseforekomster av *Aphanizomenon* på høsten. Dermed vil vi nå ha en høy tetthet av hvilesporer også fra denne arten i sedimentene. Ulempen med å få enda en art i systemet som har evne til oppblomstringer, er at slike da vil komme hyppigere. Jo flere slike arter som finnes, jo større er sjansen for at forholdene ligger vel til rette for minst en av dem. Sammenliknet med tidligere år vil vi derfor anta at frekvensen av oppblomstringer fra cyanobakterier vil øke.

Den eneste måten å hindre slike oppblomstringer på vil være å redusere tilgangen på næringssalter. Disse cyanobakteriene vil da trolig ikke forsvinne fra planktonet, men situasjonen kan bli mer som i Gjersjøen, hvor de er tilstede og tidvis kan danne betydelige populasjoner, men potensialet for store oppblomstringer er ikke lenger til stede.

Fosforinnholdet i Hersjøen er på samme nivå som i Kolbotnvann¹⁰. Ut fra de resultatene vi har fått i 2016 og 2017 ser det imidlertid ut til at forekomsten av planteplankton normalt er mye lavere. En mulig årsak til denne forskjellen kan være at en større andel av fosforet i Kolbotnvann er tilgjengelig for algevekst enn i Hersjøen. Med en gjennomsnittlig konsentrasjon av total fosfor i Hersjøen på ca. 20 µg/l, må det uansett være fare for at det enkelte år kan oppstå kraftige oppblomstringer av planteplankton. Slekten *Anabaena* er vel etablert i innsjøen, og vil trolig være den cyanobakterien som også i nærmeste framtid vil representere den største risikoen for oppblomstringer. Tidsmessig vil derfor faren for oppblomstring av cyanobakterier i Hersjøen være størst på sommeren eller sensommeren.

Planktothrix ser i dag ikke ut til å representere noen fare i Hersjøen. Med tanke på utviklingen vi har sett de siste 20 årene i Kolbotnvann, er derimot *Aphanizomenon* en slekt som ikke skal avskrives. Skulle den et år klare å danne en større populasjon, kan den få et fotfeste i innsjøen på samme måte som den har gjort i Kolbotnvannet. I så fall vil faren for store høstoppblomstringer av cyanobakterier øke også i Hersjøen.

Innsjøer med risiko for oppblomstring av cyanobakterier bør overvåkes. På grunn av den eksponentielle veksten kan forholdene se helt fine ut en dag, mens innsjøen er helt grønn noen dager senere. Tradisjonell prøvetaking en gang per måned vil derfor ikke være særlig hensiktsmessig for å følge en slik oppblomstring.

Vi anbefaler prøvetaking ca. annenhver uke fra begynnelsen av juli. Prøvene må analyseres raskt, slik at prøvetakingsfrekvens kan justeres etter resultatene. Med en gang det registreres en økning av cyanobakterier i prøven er det fordelaktig med ukentlig prøvetaking. Ved høy forekomst av potensielt giftproduserende arter bør det tas ut vannprøver for analyse av microcystin eller eventuelt andre toksiner. Oppblomstringer kan forekomme også på andre tider av året. Dersom det observeres en fargeforandring av innsjøen bør samme type program igangsettes.

¹⁰ Data hentet fra Vannmiljø (<http://vannmiljo.miljodirektoratet.no>)

7 Referanser

- Bonilla S, Aubriot L, Soares MC, González-Piana M, Fabre A, Huszar VL, Lüring M, Antoniadis D, Padišák J & Kruk C (2012). What drives the distribution of the bloom-forming cyanobacteria *Planktothrix agardhii* and *Cylindrospermopsis raciborskii*? FEMS Microbiol Ecol. 79(3): 594-607.
- Crossetti LO & Bicudo CEDM (2008) Adaptations in phytoplankton life strategies to imposed change in a shallow urban tropical eutrophic reservoir, Garcas Reservoir, over 8 years. Hydrobiologia 614: 91-105
- Davis PA, Dent M, Parker J, Reynolds CS & Walsby AE (2003). The annual cycle of growth rate and biomass change in *Planktothrix* spp. in Blelham Tarn, English Lake District. Freshwat. Biol.: 10 April 2003 <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2003.01055.x>
- De Nobel WT, Huisman J, Snoep JL & Mur LR (1997). Competition for phosphorus between the nitrogen-fixing cyanobacteria *Anabaena* and *Aphanizomenon*. FEMS Microbiol. Ecol. 24: 259-267
- Filali R, Tebbani S, Dumur D, Diop S, Isambert A, Pareau D & Lopes F (2011). Estimation of *Chlorella vulgaris* growth rate in a continuous photobioreactor. IFAC Proceedings Volumes 44 (1): 6230-6235
- Ganf GG (1975). Photosynthetic production and irradiance-photosynthesis relationships of the phytoplankton from a shallow equatorial lake (Lake George, Uganda). Oecologia 18: 165-183.
- Rohrlack T & Haaland S (2017). Paleolimnologisk undersøkelse av Hersjøen (002-4158-L). MINA fagrapport 39.
- John DM, Whitton BA & Brook AJ (2001). The Freshwater Algal Flora of the British Isles: An Identification Guide to Freshwater and Terrestrial Algae. Second edition. Cambridge University Press.
- Komárek J (2013). Cyanoprokaryota. 3. Teil / 3rd part: Heterocytous Genera. Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 19/3. Springer Verlag.
- Kim BH, Lee WS, Kim YO, Lee HO & Han MS. (2005). Relationship between akinete germination and vegetative population of *Anabaena flos-aquae* (Nostocales, Cyanobacteria) in Seokchon reservoir (Seoul, Korea). Archiv für Hydrobiologie. 163. 49-64. 10.1127/0003-9136/2005/0163-0049.
- Nabout JC, da Silva Rocha B, Melo Carneiro F & Leite Sant'Anna C (2013). How many species of Cyanobacteria are there? Using a discovery curve to predict the species number. Biodiversity and Conservation 22 (12): 2907-2918
- Paerl HW (1988). Growth and reproductive strategies of freshwater blue-green algae (cyanobacteria). I: Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton (Sandgren, C. D., editor), 261-315. Cambridge University Press
- Paerl HW & Ustach jf 1982. Blue-green algal scums: An explanation for their occurrence during freshwater blooms. Limnol. Oceanogr. 21: 212-217.
- Reynolds CS (1972). Growth, gas vacuolation and buoyancy in a natural population of a planktonic blue-green alga. Freshwat. Biol.: 87-106
- Rohrlack T, Haande S, Molversmyr Å & Kyle M (2015). Environmental Conditions Determine the Course and Outcome of Phytoplankton Chytridiomycosis. PLoS ONE, desember 2015. DOI: 10.1371/journal.pone.0145559.
- Sommer U (1988). Growth and survival strategies of planktonic diatoms. I: Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton (Sandgren, C. D., editor), 227-260. Cambridge University Press
- Tikkanen T & Willén T (1992). Växtp planktonflora. Naturvårdsverket.

- Toporowska M, Paulik-Skowronska B, Krupa D & Kornijów R (2010). Winter versus summer blooming of phytoplankton in a shallow lake: effect of hypertrophic conditions. *Pol J Ecol* 58:3-12
- Wiegand C & Pflugmacher S (2005). Ecotoxicological effects of selected cyanobacterial secondary metabolites: a short review. *Toxicol Appl Pharmacol* 203: 201 – 218.