



IPM-Rapport

Nr 2, 2012

FAKTORER SOM PÅVIRKER OPPBLOMSTRING AV CYANOBAKTERIER I ÅRUNGEN – EN RISIKOVURDERING

**Aleksandra T. Romarheim†, Thomas Rohrlack, Johnny
Kristiansen, Pål Brettum, Tore Krogstad og Gunnhild Riise**

**Institutt for plante- og miljøvitenskap,
Ås-UMB, ISSN 0805-7214**



Forside: Algeoppblomstring i Årungen 2006 (Foto G.Riise)

Institutt for plante-og miljøvitenskap

Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB)

Postboks 5003, 1432 Ås Telefon: 64 96 56 00 - Ås
Telefax: 64 96 56 01

Rapportens tittel og forfattere:

FAKTORER SOM PÅVIRKER OPPBLOMSTRING AV CYANOBAKTERIER I ÅRUNGEN EN RISIKOVURDERING

Aleksandra T. Romarheim†, Thomas Rohrlack, Johnny Kristiansen, Pål Brettum, Tore Krogstad og Gunnhild Riise

Rapport nr. : 2/2012

ISSN nr.: 0805-7214

Distribusjon: Åpen

Dato: 8. oktober 2012

Faggruppe:

*Hydrologi og limnologi.

*Jord.

Geografisk område:

Norge

Antall sider (inkl. bilag): 24

Oppdragsgivers ref.:

Oppdragsgiver: PURA og Fylkesmannen i Oslo og Akershus

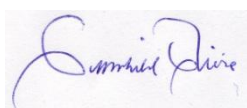
Sammendrag:

I vekstperioden 2011 (juni-september) er det foretatt feltundersøkelser i Årungen for å identifisere viktige faktorer som påvirker forekomst og vekst av cyanobakterier, og for å klarlegge eventuelle sammenhenger mellom cyanobakterier i Årungen og Årungselva/Bunnefjorden. Kontinuerlige registreringer av temperatur, oksygen, klorofyll a og ledningsevne på 1 m dyp, samt vertikale prøveserier av sentrale variable hver 14. dag viser store variasjoner gjennom vekstperioden. Gjeldene værforhold har stor innvirkning på lagdeling og sirkulasjonsforhold i innsjøen, som igjen innvirker på omsetning av næringsstoffer og primærproduksjonen. Sommeren 2011 var svært nedbørrik med stor avrenning fra omliggende landbruksområder. Dette har bidratt til større tilførsler av næringsstoffer enn for normalperioden (1961-1990). Mot slutten av vekstsesongen 2011 var det oksygenfrie forhold i dypere deler av innsjøen. Dette resulterte i frigivelse av fosfor fra sedimentene. Noe som kan innvirke på veksten av cyanobakterier, som dominerer algesamfunnet i denne perioden. Bruk av oksygenmetning og pH som indikatorer på grad av fotosynteseaktivitet, tilsier at temperaturen har en overordnet rolle for primærproduksjonen i øvre vannmasser hvor det er liten lysbegrensing. For vekstperioder med mindre avrenning, kan næringsstoffer i større grad være begrensende. En sammenligning av fytoplankton dynamikken i Årungen og transport av phycocyanin i Årungselva for 2011 viser en veldig god sammenheng. Dette støtter opp om Årungen som en potensiell kilde for cyanobakterier i Bunnefjorden med påfølgende problemer. Stabile værforhold

med lite vind øker faren for akkumulering av cyanobakterier i overflaten av vannmassene og for transport av cyanobakterier ut i Bunnefjorden. Under spesielle værforhold kan hele cyanobakteriesamfunnet flyte opp til overflaten i løpet av få timer, og store mengder av biomassen kan transporteres til Bunnefjorden. Ekstremhendelser er observert i juli og august 2008, august 2009 og august 2011. Det er vanskelig å forutse disse hendelsene, og fortsatt sensorovervåking anbefales. Rapporten omfatter også forslag til videre forskning.

Emneord, norske

1. Cyanobakterier
2. Primærproduksjon
3. Værforhold
4. Risikovurdering



Gunnhild Riise
Professor

Emneord, engelske

1. Cyanobacteria
2. Primary production
3. Weather conditions
4. Risk assessment



Thomas Rohrlack
Professor

Faktorer som påvirker oppblostring av cyanobakterier i Årungen – en risikovurdering

Innledning:

Anrikning av næringsstoffer i innsjøer medfører økt primærproduksjon, hvor stor biomasse av planteplankton, og spesielt blågrønnbakterier (cyanobakterier), kan danne algeblomst under visse miljøbetingelser. Karakteristisk for cyanobakteriene, er et stort antall økostrategier som letter tilpasning til ulike miljøforhold. Algeblomst bidrar til endring og funksjon av det akvatiske økosystemet og reduserer den estetiske og praktiske bruksverdien av vannforekomsten.

Cyanobakterier kan danne toksiner som utgjør en risiko for mennesker og dyr, og kan akkumulere i levende organismer. Microcystin er det mest undersøkte toksinet, et toksin som er funnet i cyanobakterien *Microcystis*, derav navnet. Senere er microcystin også funnet i andre arter av cyanobakterier. Microcystin er sykliske peptider (heptatoksiner) som kan forårsake akutt leverskade og fremme dannelsen av svulster. Dannelsen av toksiner har blitt sett i sammenheng med tilstedeværelse av toksinproduserende cyanobakterier, total algebiomasse samt innvirkning av ulike miljøfaktorer. Imidlertid er de primære utløsende faktorene fremdeles ukjent.

Til tross for reduserte tilførsler av fosfor de senere tiår, er Årungen fremdeles en næringsrik innsjø med stor algebiomasse under vekstperioden. Innsjøen er vindeksponert, og avhengig av vindretning skjer det en akkumulering av planteplankton i strandnære områder, gjerne i sør eller i nordvestre deler av innsjøen. Cyanobakterier dominerer planteplanktonsamfunnet fra juli til september og i enkelte år dannes microcystin. Med tanke på at Årungen er en viktig lokalitet for rekreasjon, fritidsfiske og roing, er det viktig å forstå hva som regulerer veksten og toksinproduksjonen til cyanobakteriene. Innsjøen Årungen drenerer ut i Bunnefjorden via Årungselva. Bunnefjorden har tidvis problemer med oppblomstring av cyanobakterier, og eventuelle årsakssammenheng mellom cyanobakterier i Årungen og Bunnefjorden er viktig å klarlegge.

Sentrale problemstillinger i prosjektet var å:

Identifisere viktige faktorer som innvirker på forekomst og vekst hos cyanobakterier i Årungen.

Klarlegge eventuelle sammenhenger mellom cyanobakterier i Årungen og Årungenelva/Bunnefjorden.

Vurdere hvilke faktorer som påvirker toksinproduksjonen i cyanobakteriene (varighet, stamme/genotype, andre toksiner enn microcystin).

Hva er et "worst-case scenario" for giftige cyanobakterier?

Material og metoder:

Årungen er en dynamisk innsjø hvor klimaforhold (nedbør, temperatur og vindforhold) har stor innvirkning på sirkulasjonsforhold og tilførsler av næringsstoffer og partikler til innsjøen. Dette er forhold som i stor grad vil påvirke forekomst og vekst hos cyanobakterier. I dette prosjektet har vi gjennomført feltstudier i vekstsesongen 2011 for å vurdere hvilke faktorer som påvirker algebiomassen målt som klorofyll a og suksesjonen av ulike alger inklusiv cyanobakterier. Videre er det foretatt sammenligning med datamateriale fra tidligere år.

Transport av cyanobakterier fra Årungen til Bunnefjorden er avhengig av vær og kan variere betydelig over tid. For å overvåke transporten nøyaktig er derfor nødvendig å bruke en sensor som måler mengden av cyanobakteriene direkte og kontinuerlig. NIVA har installert og driftet en slik sensor i Årungselva fra juni 2011 til oktober 2011. Det ble benyttet en YSI 6600 multiprobe med sensorer for turbiditet, phycocyanin fluorescence, et mål for mengden av blågrønnalger i vannet, og temperatur. Instrumentet var tilkoblet en OMC-datalogger som initierer måling hver time for alle parametere og kommuniserer med NIVAs datamottak over mobiltelefonnettet (GPRS). På NIVA lagres målingene i en Oracle-database med sikker backup. Alle resultater ble lagt ut på nettet (www.aquamonitor.no, brukernavn: Årungselva, passord: Årungselva). Ved overskridelse av en gitt grenseverdi av phycocyanin, var det planlagt å sette i gang et utvidet program i Bunnefjorden for å kunne vurdere badevannskvalitet.

Vekstsesongen 2011 (juni-september):

Vertikale prøveserier er tatt fra dypeste punkt i Årungen (figur 1) hver 14. dag og analysert for fysiske og kjemiske variable, samt klorofyll a som et mål på planteplankton biomasse. Analysene er gjennomført i samsvar med norsk standard. Videre er planteplankton-sammensetning bestemt.

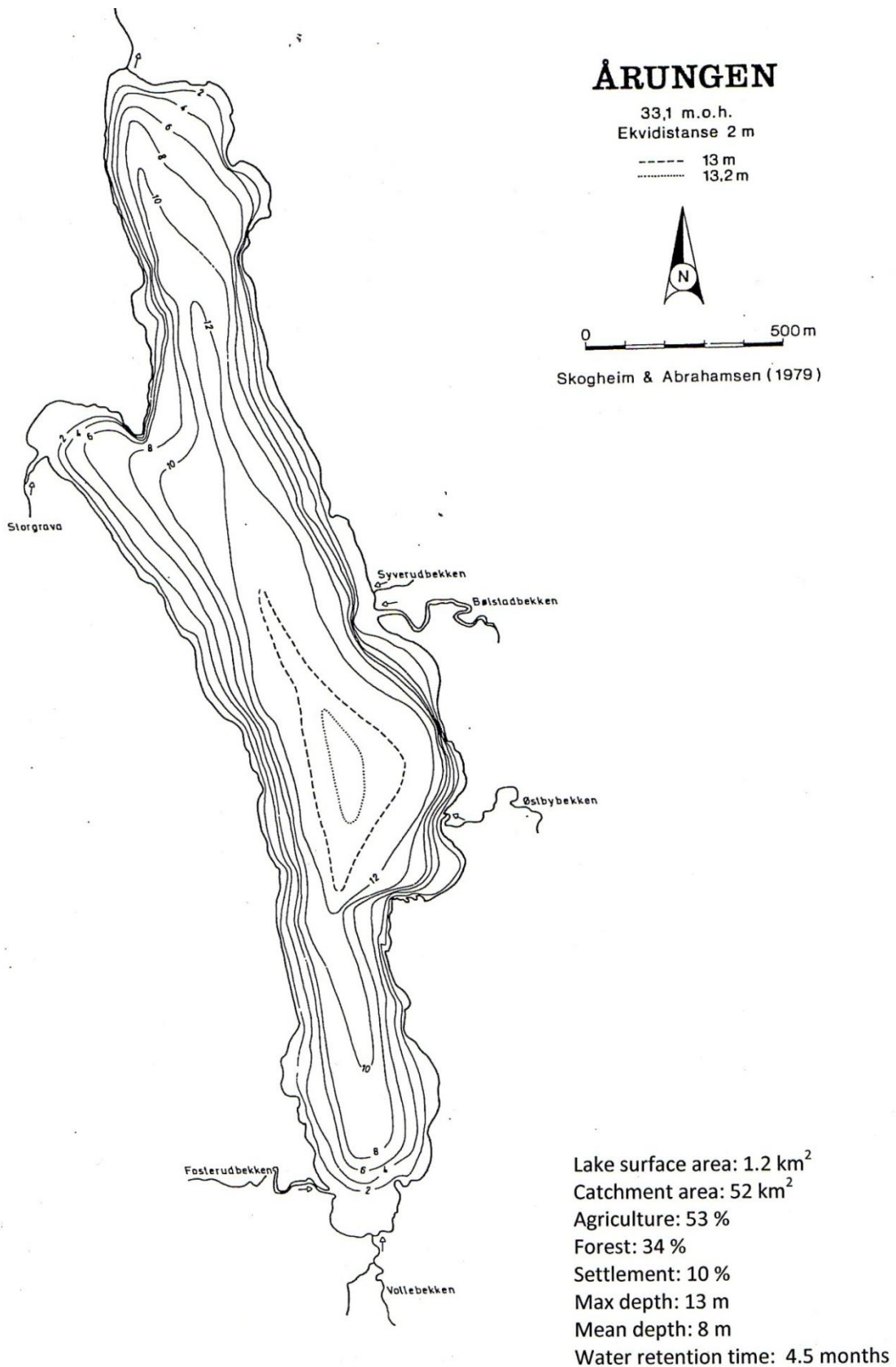
YSI multiprobe sensorer med kontinuerlig in-situ registrering av temperatur, oksygen, pH, ledningsevne, temperatur og klorofyll a er plassert på hovedstasjonen i Årungen (1 m). Målingene for klorofyll a er sammenlignet med resultater fra sensoren i Årungselva.

Sammenligning med datamateriale fra tidligere år:

Resultater fra vekstsesongen i 2011 er sammenlignet med tidligere år i forhold til planteplanktonbiomasse og utvikling av cyanobakterier for å klarlegge faktorer som er viktig for vekst av cyanobakterier og dannelse av cyanotoksiner.

Kvalitative og kvantitative PCR analyser er tidligere gjort på NIVA for å bestemme toksinproduksjon og ulike genotyper av cyanobakterier

For en grundigere analyse av Årungen dynamikk med hensyn til utvikling av cyanobakterier, viser vi til PhD avhandlingen "Disentangling the effect of physical and chemical factors on phytoplankton dynamics in a highly eutrophic and turbid lake" Romarheim (2012).



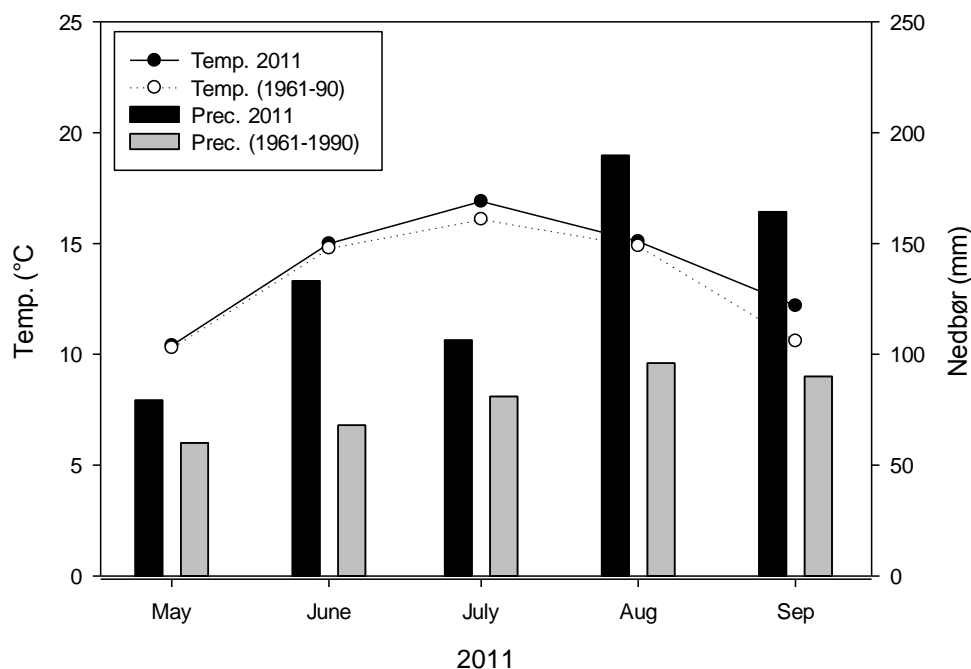
Figur 1. Dybdekart over Årungen (Skogheim og Abrahamsen, 1979)

Resultater:

Værforhold vekstsesongen 2011:

Vekstperioden 2011 var svært nedbørrik med verdier lang over "normalen" for perioden 1961-1990 (figur 2). Både juni og august mottok nesten dobbelt så mye nedbør som normalperioden, og de andre månedene mottok også mer nedbør enn "normalt". Stor avrenning bidrar til større tilførsler av næringsstoffer fra nedbørsfeltet og reduserer vannets oppholdstid og den biogeokjemiske omsetningen av stoffer i innsjøen sammenlignet med et "gjennomsnittsår". Temperaturforholdene på månedsbasis var tilnærmet "normale".

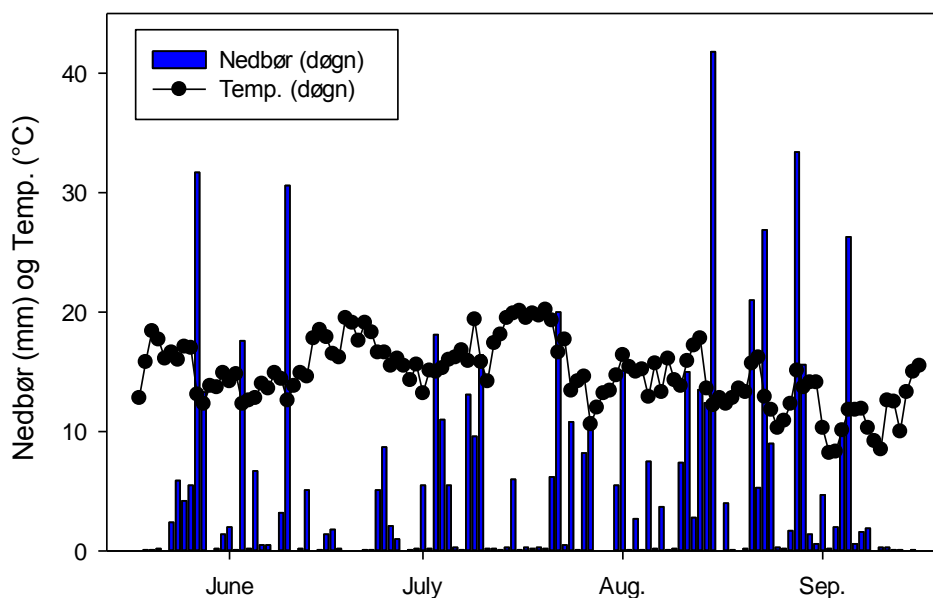
Månedlig temperatur og nedbør



Figur 2. Månedlig temperatur (°C) og nedbør (mm) på Ås i perioden mai –september 2011 (<http://www.umb.no/fagklim>).

Døgnmidler for både nedbør og temperatur viser imidlertid at det er relativt store variasjoner innenfor perioden (figur 3). Spesielt juni og slutten av august/september var preget av intensive nedbørsepisoder med mer enn 30 mm nedbør per døgn. Videre var det kun kortere perioder uten nedbør innenfor hele vekstperioden. Selv om temperaturen på månedsbasis var tilnærmet "normal", var det stor spredning i verdiene med minimums- og maksimumsverdier på henholdsvis 8.2 og 20.2 °C. Spesielt er det verdt å legge merke til perioden 28. juli – 4. august som viste stabilt høye temperaturer, og som ble etterfulgt av et raskt temperaturfall.

Værforhold Ås



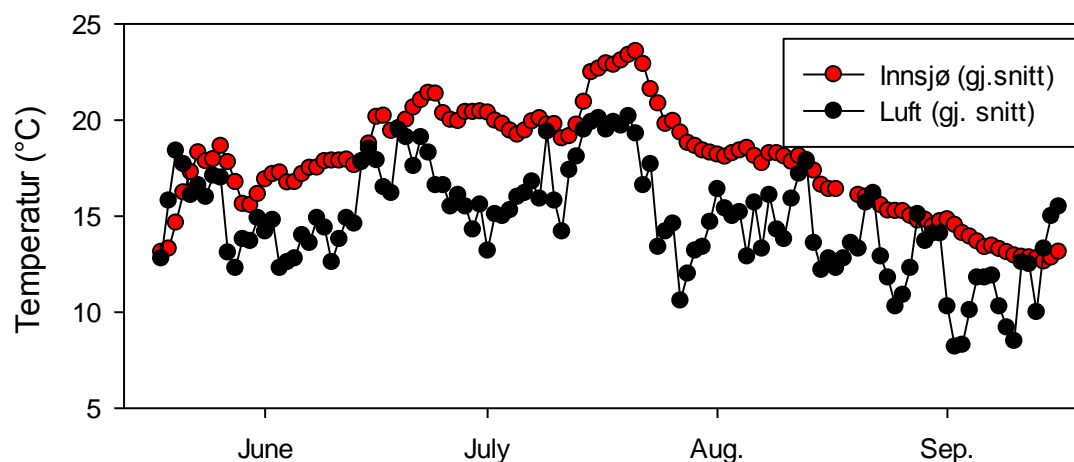
Figur 3. Nedbør og temperatur på døgnbasis i perioden juni – september 2011 på Ås (<http://www.umb.no/fagklim>).

Døgnobservasjoner på 1 m dyp:

På grunnlag av temperaturmålinger gjort hver time på 1 meters dyp, er det beregnet døgnmidler (figur 4). Temperaturen på 1 meters dyp følger i stor grad lufttemperaturen, men viser mindre svingninger og vanntemperaturen ligger enten likt eller noe over lufttemperaturen. Innsjøen akkumulerer følgelig varme i denne perioden. Den høyeste vanntemperaturen ble registrert 4. august med et døgnmiddel på 23.6 °C. Perioden 28. juli-7. august viste generelt stabilt høye temperaturverdier på over 20 °C. Etter denne perioden var det først et raskt fall i vanntemperaturen som senere ble etterfulgt av et gradvis avtak. Minimumsverdien for hele perioden ble registrert 28. september med 12.6 °C.



Temperatur - Innsjø (1 m) og luft

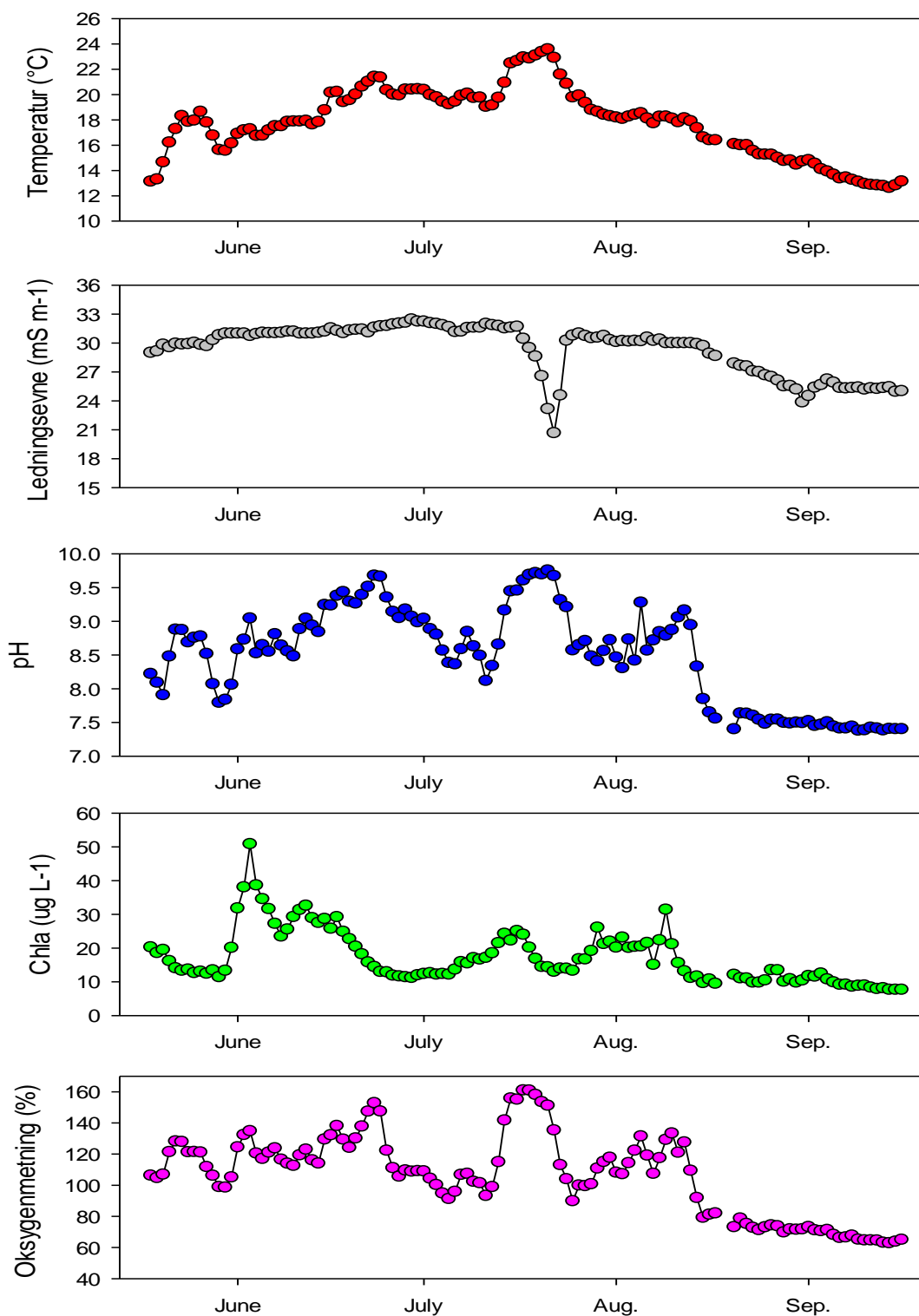


Figur 4. Temperatur (°C) på døgnbasis i Årungen ved 1 meter dyp (YSI-multielement sonde 650 MDS tilkoblet en OMC 045 GPRS logger) og i luft i 2011 (<http://www.umb.no/fagklim>)

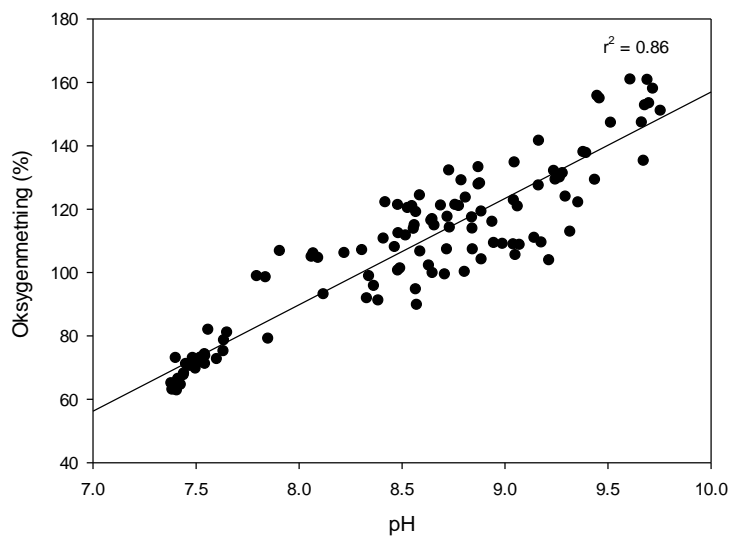
I tillegg til temperatur, er både ledningsevne, pH, klorofyll a og oksygen registrert kontinuerlig på 1 m dyp i Årungen (figur 5). Med unntak av ledningsevne, er det store svingninger på døgnbasis, noe som gjenspeiler at Årungen er en svært dynamisk innsjø. Variasjonene er i stor grad styrt av værforholdene. I tillegg til nedbør og temperatur har vind stor betydning for sirkulasjonsforhold og sjiktninger i Årungen som igjen innvirker på omsetning av næringsstoffer i innsjøen. Perioden med stabilt høye temperaturforhold i juli sammenfaller med et relativt stort fall i ledningsevne og relativt rolige vindforhold. Dette kan indikere en temporær sjiktning i øvre del av vannmassene (< 1 m), med et øvre lag med lavere tetthet sammenlignet med vannmassene under. En påfølgende periode med lavere temperaturer, og mer nedbør og vind bidrar til å blande vannmassene igjen og bryte den temporære sjiktningen.

Verdien for pH og oksygenmetning viser stor grad av sammenheng (figur 6 og 7), og uttrykker trolig perioder med høy primærproduksjon. I perioder med høy primærproduksjon bindes store mengder karbondioksid som bidrar til høyere pH verdier. Videre fører høy oksygenproduksjon til overmetning av oksygen. En viktig pådriver for økt primærproduksjon er temperatur. Dette viser den gode sammenhengen mellom pH og temperatur (figur 6). Noe som indikerer at primærproduksjonen i stor grad påvirkes av temperaturen i øvre del av vannmassene hvor det er tilstrekkelig med lys. Høye nedbørsmengder bidrar til stor avrenning og kontinuerlige tilførsler av næringsstoffer, slik at næringsstoffer ikke blir begrensende for vekst. Dette kan være en medvirkende årsak til den store innvirkningen av temperatur på primærproduksjonen.

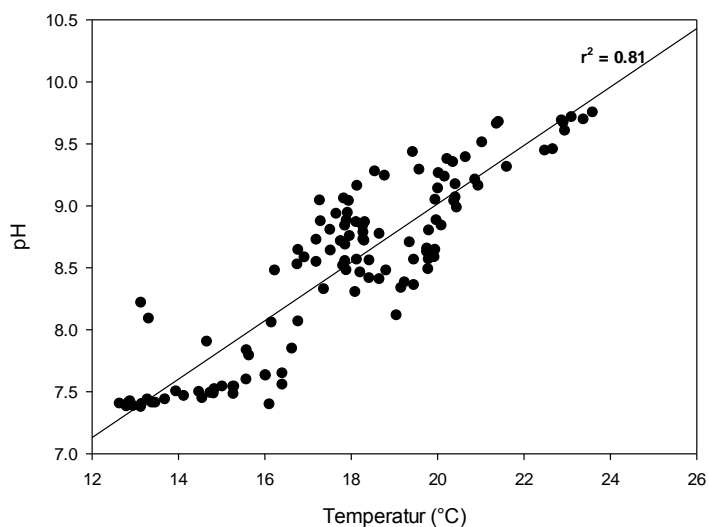
Årungen 2011 (1 m dyp)



Figur 5. Døgnmidler for temperatur (°C), ledningsevne (mS m⁻¹), pH, Chla (µg L⁻¹) og oksygenmetning (%) på 1 meters dyp i Årungen for perioden juni-september 2011. Målingene er utført med en YSI-multielement sonde 650 MDS tilkoblet en OMC 045 GPRS logger.



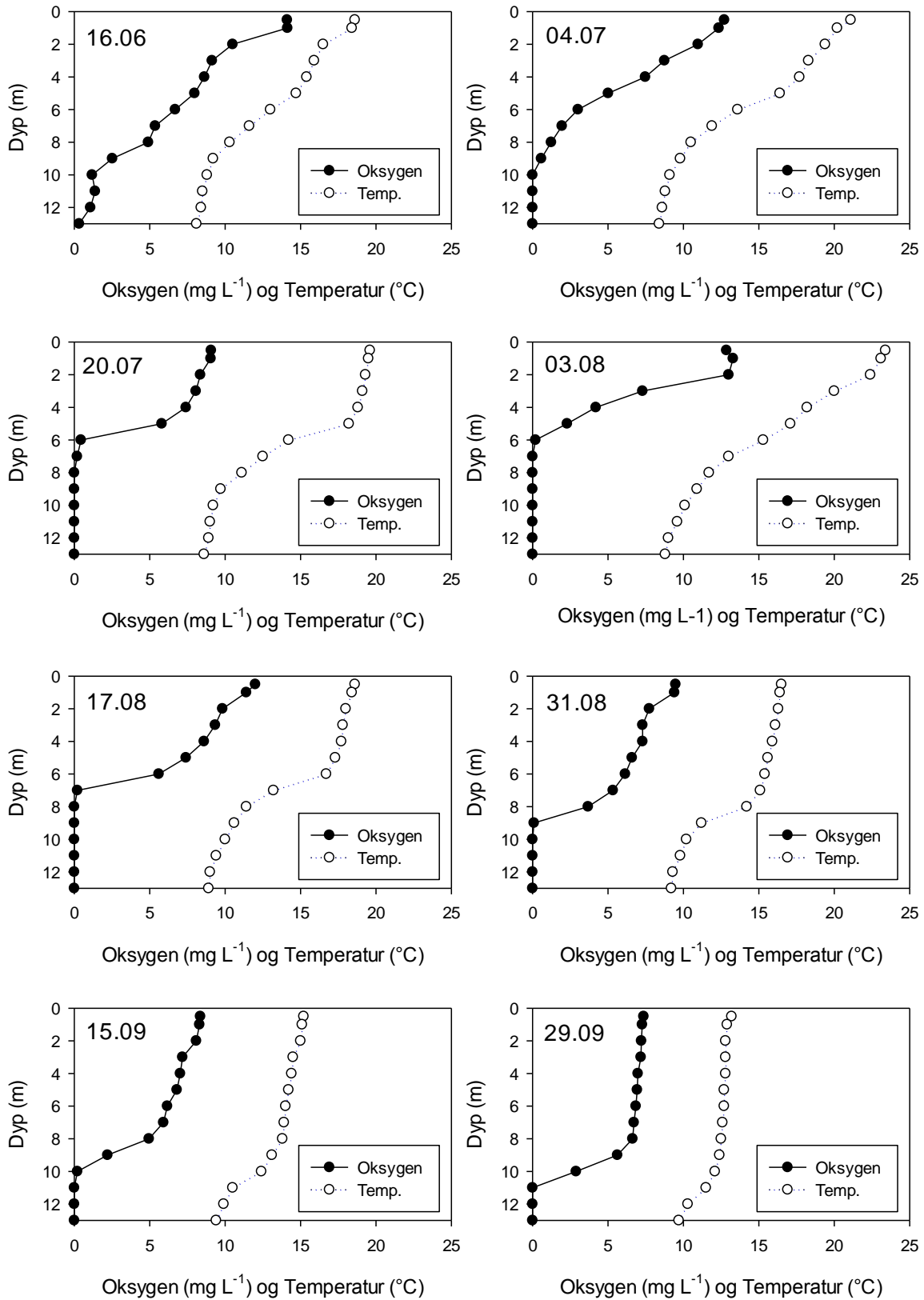
Figur 6. Sammenhengen mellom oksygenmetning (%) og pH i Årungen ved 1m dyp for perioden juni-september 2011. Målingene er basert på døgnmidler av timesverdier.



Figur 7. Sammenhengen mellom pH og temperatur i Årungen ved 1m dyp for perioden juni-september 2011. Målingene er basert på døgnmidler av timesverdier.

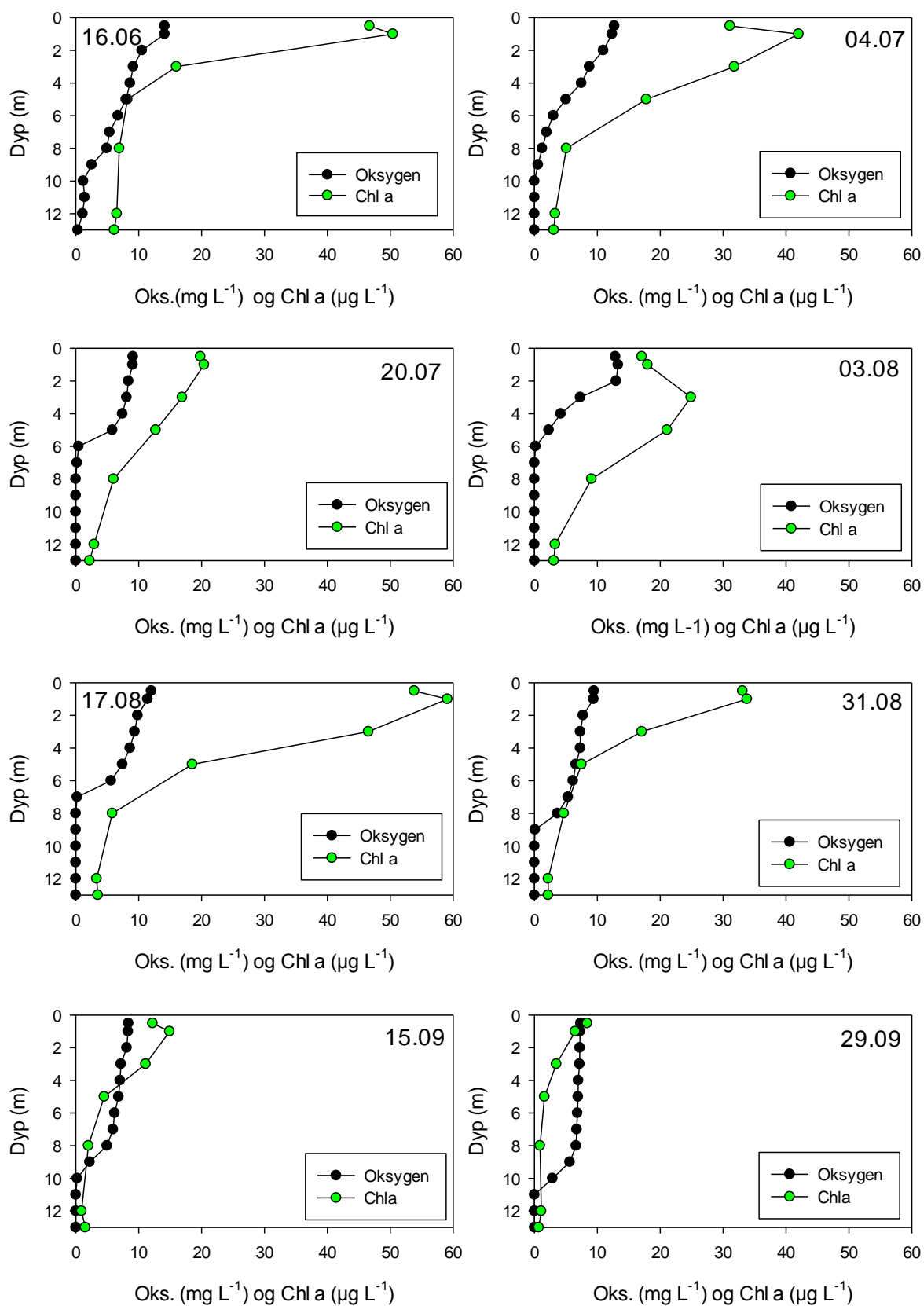
Registreringene av klorofyll med YSI sonden viser verdier fra ca $10\text{-}50 \mu\text{g L}^{-1}$ (figur 5). Høye klorofyllverdier samsvarer i en viss grad med en økning i oksygen og pH verdier, selv om det ikke er samsvar mellom størrelsen på klorofylltoppene og oksygen/pH toppene. Dette er et forhold som vil bli undersøkt videre.

Årungen juni-september 2011



Figur 8. Vertikal fordeling av oksygen og temperatur i perioden juni-september 2011 ved 8 ulike prøvetidspunkt.

Årungen juni-september 2011



Figur 9. Vertikal fordeling av oksygen og klorofyll a i perioden juni-september 2011 ved 8 ulike prøvetidspunkt.

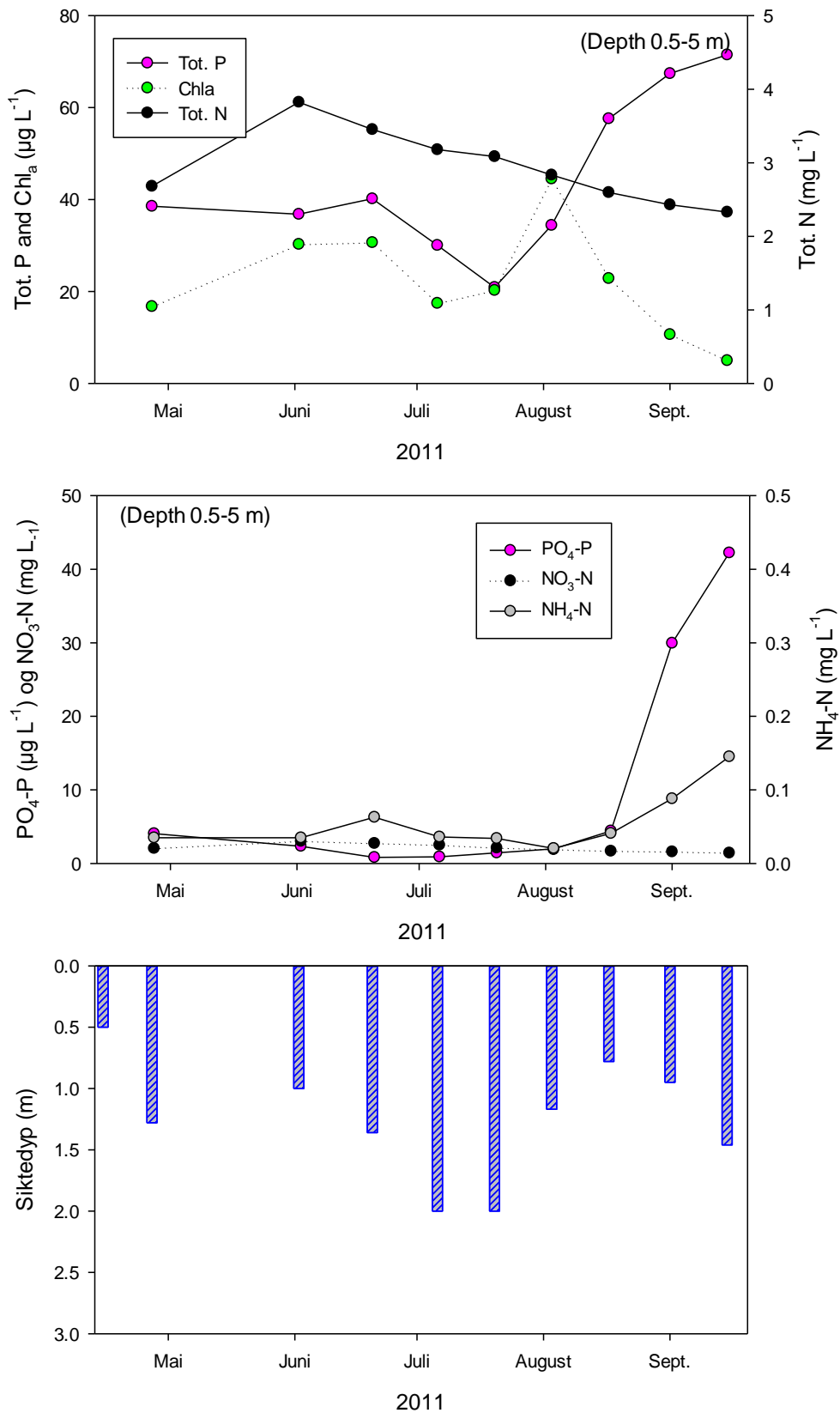
Vertikale variasjoner:

Sondene som er plassert på 1 m dyp gir data med høy oppløsning i et sjikt av innsjøen som gjennomgående viser høy produksjon, men viser ikke variasjoner med dypet. For å oppnå informasjon om dynamikk i hele vannmassene, er det nødvendig med vertikale målinger. Temperaturen fordeling med dypet er svært sentral for sjiktninger og sirkulasjonsforhold i innsjøen, som igjen innvirker på omsetning av næringsstoffer og primærproduksjonen (figur 8). Først i juli måned ble det utviklet en stabil temperatursjiktning med et skarpt sprangsjikt. På overgangen juli – august resulterte imidlertid høye lufttemperaturer i økt oppvarming av øvre vannmasser og et mindre utpreget sprangsjikt mellom øvre og nedre vannmasser. Senere i vekstperioden ble sprangsjiktet mer markant igjen, for så gradvis å ligge dypere og senere jevnes ut. Den vertikale fordelingen av oksygen følger i stor grad temperatursjiktningen med høye verdier i øvre vannmasser og lave til oksygenfrie forhold i bunnlaget. Videre er dypet på sprangsjiktet bestemmende for dypet hvor oksygenvinn opptrer. Klorofyllmålingene viser generelt de høyeste verdiene på 1 meters dyp, med unntak av varmeperioden i begynnelsen av august, hvor maksimumsverdier ble registrert på 3 m dyp (figur 9). Maksimumsverdiene var spesielt høye i medio juni og medio august. Mot slutten av sommerstagnasjonen hopper det seg opp mye dødt algemateriale på sedimentoverflata som gjerne resulterer i oksygenvinn og fare for lekkasje av fosfor fra innsjøsedimentene. Dette ser vi også for denne vekstperioden. Spesielt i august er fosfatverdiene høye i dypere vannmasser (se appendix). I denne perioden ligger sprangsjiktet dypere, og fosfor kan lettere komme opp i produktive lag og resultere i økt algevekst. Maksimumsverdier for klorofyll ble observert i august.

For å se på variasjoner i hele det produktive laget, er det beregnet gjennomsnittsverdier i sjiktet 0.5-5 m (0.5, 1.0, 3.0 og 5 m). Gjennomsnittsverdier for Tot. P viste, generelt, høye verdier, og lå rundt $40 \mu\text{g L}^{-1}$ fram til juli, for så å avta til ca $20 \mu\text{g L}^{-1}$ i begynnelsen av august, og så stige til $60 \mu\text{g L}^{-1}$ i september. I perioden medio juni til medio august var det et relativt godt samsvar mellom Tot. P og klorofyll a med et minimum for prøvedatoene 20. juli og 3. august, før verdiene stiger igjen 17. august. I følge disse målingene resulterte ikke varmeperioden i overgangen mellom juli og august i en momentan økning i biomasse, selv om fotosynteseaktiviteten var høy ved 1 meters dyp (figur 5). Målinger av siktedyp viser at lysforholdene var relativt gode, med ca 2 meters siktedyp på tidspunktene 20. juli og 3. august, noe som tilsier at algebiomassen var lavere enn ved de andre prøvedatoene i vekstperioden. Løst P i form av $\text{PO}_4\text{-P}$ viste lave verdier i det produktive laget helt til september, med verdier under $5 \mu\text{g L}^{-1}$ (figur 10). Verdiene var spesielt lave i juli med konsentrasjoner ned mot $1 \mu\text{g L}^{-1}$.

Tot. N viste høye verdier for hele perioder med et maksimum på nesten 4mg L^{-1} på prøvedatoen 16. juni. Selv om Tot. N viste et lite avtak utover perioden, var verdiene så høye at de langt fra kan være begrensende for algevekst. En stor andel av nitrogen var på

uorganisk form, hvor $\text{NO}_3\text{-N}$ utgjorde den største andelen og $\text{NH}_4\text{-N}$ holdt seg under 0.05 mg L^{-1} .



Figur 10. Variasjoner i Tot. P, Tot. N, klorofyll a, $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ og $\text{NH}_4\text{-N}$ i øvre del av vannmassene (gjennomsnitt av 0.5, 1, 3 og 5 m) gjennom vekstsesongen i 2011.

Transport av cyanobakterier fra Årungen til Bunnefjorden

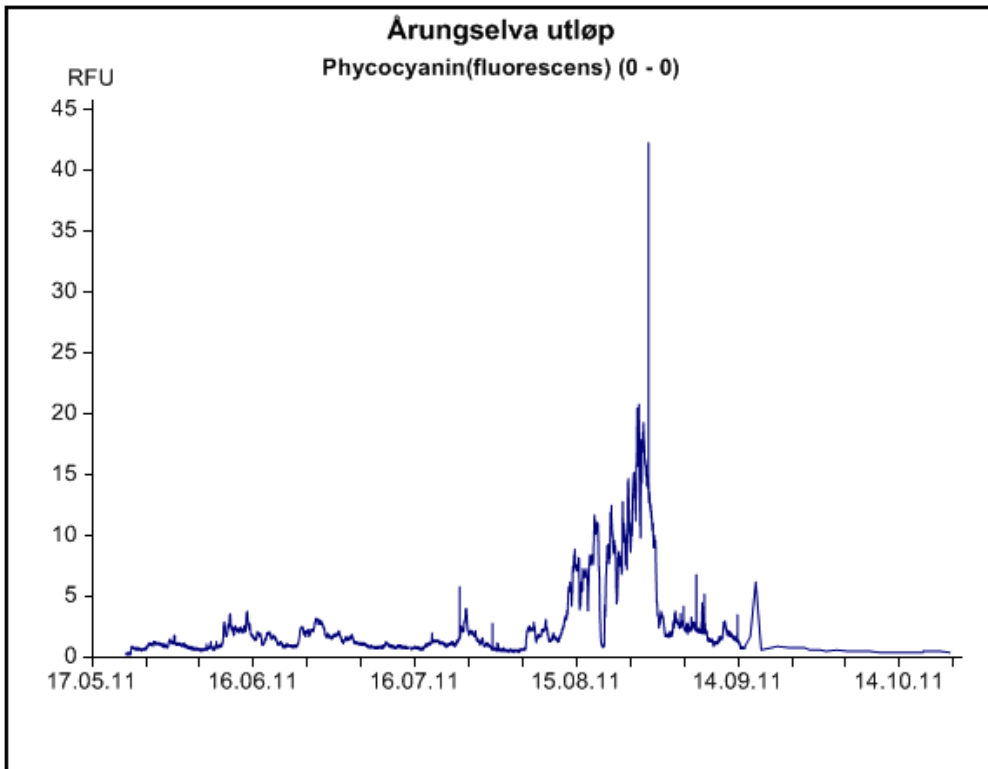
Masseutviklinger av giftproduserende cyanobakterier er et årlig fenomen i Årungen. Med hensyn til forekomsten av cyanobakterier og mengden av cyanotoksiner må Årungen betraktes som en av de innsjøene i Norge som trenger mest oppmerksomhet. Målinger som ble utført av Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA) i sommerperioden 2004-2007 viser at konsentrasjonen av cyanotoksiner kan overskride grenseverdien for badevann betydelig. Konsentrasjonen er høyest i den nordlige delen av innsjøen ved utløpet til Årungsella. Hver sommer transporteres det store mengder av cyanobakterier fra Årungen via Årungsella til Bunnefjorden. Inntil nylig er det antatt at cyanobakteriene dør ved kontakt med saltvann. Observasjoner i august 2007 viste derimot at cyanobakteriene overlever (figur 11) og kan spres i Bunnefjorden. Dette kan medføre en akkumulering av giftstoffer og en overskridelse av grenseverdien for badevann i Bunnefjorden.



Figur 11. Cyanobakterier i Årungen (venstre) og etter transport til Bunnefjorden (høyre). Kontakt med saltvann medfører dannelsen av store fnokker som raskt flyter opp (Kilde: NIVA).

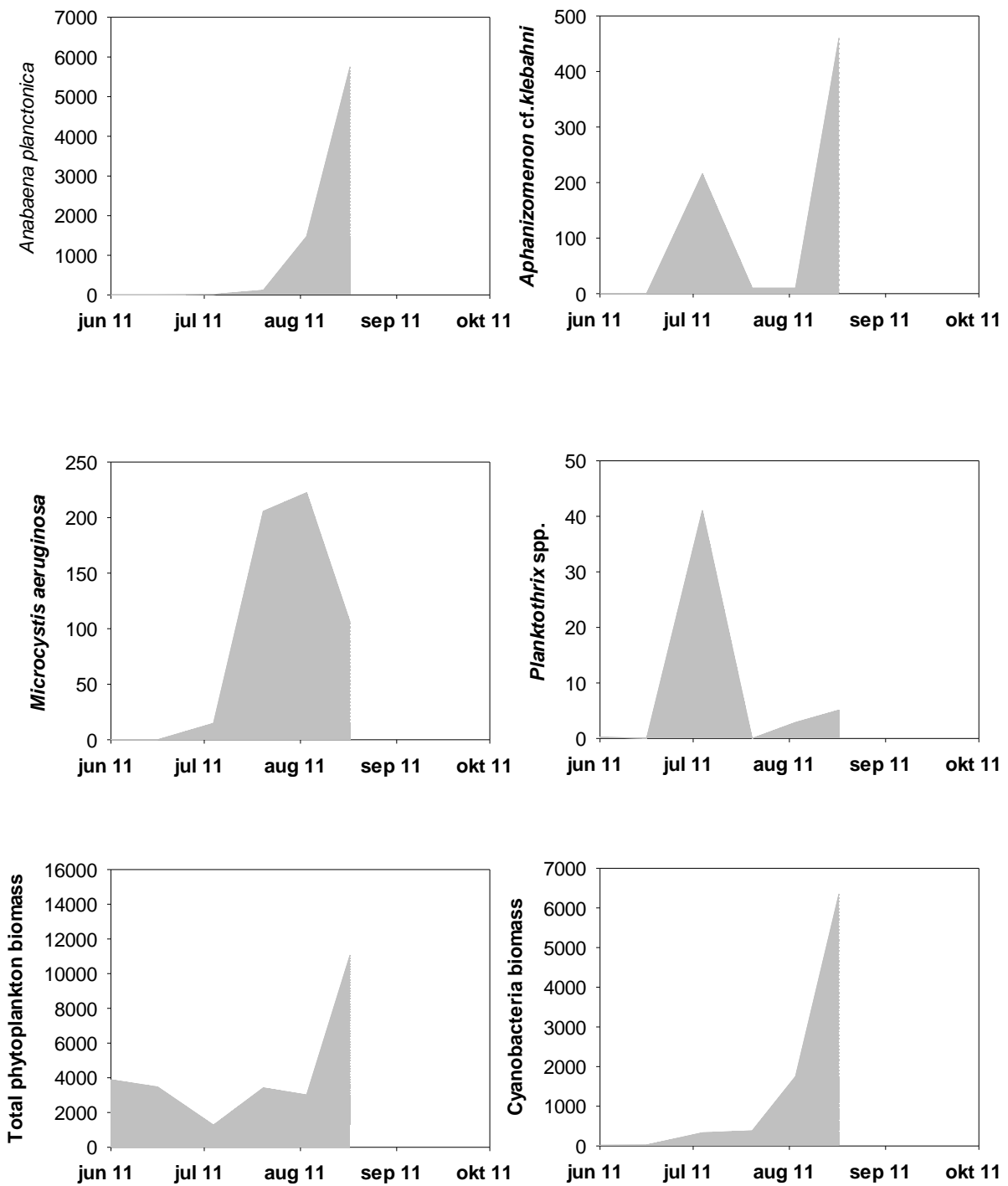
Situasjonen i 2011

Også i 2011 ble det observert høy biomasse av cyanobakterier mot slutten av vekstperioden i Årungen, og sensoren i Årungsella registrerte en forholdsvis kraftig transport til Bunnefjorden. Transporten var størst i siste delen av august og var påviselig til og med september (figur 12). I motsetningen til tidligere år var det relativt lave konsentrasjoner av *Microcystis*, cyanobakterien som produserer microcystin. Toksinproduksjonen var derfor trolig lav for denne perioden. I 2011 utgjorde transporten av cyanobakterier til Bunnefjorden derfor ikke et helseproblem, og NIVA slo derfor ikke "alarm". Utvidet program i Bunnefjorden ble heller ikke iverksatt.



Figur 12. Konsentrasjon av pigmentet phycocyanin i Årungsølv i 2011 (Kilde: NIVA).

En sammenligning av fytoplanktondynamikk i Årungen (figur 13) og transport av cyanobakterier via Årungsølv viser en nesten perfekt korrelasjon. Dette støtter forventningen om at faren for problemer i Bunnefjorden øker med mengden av cyanobakterier i Årungen.



Figur 13. Dynamikk av ulike blågrønnalgearter, mengden av blågrønnalger og fytoplankton i mg våtvekt m³ for sommeren 2011.

Konklusjoner etter 4 år med overvåking

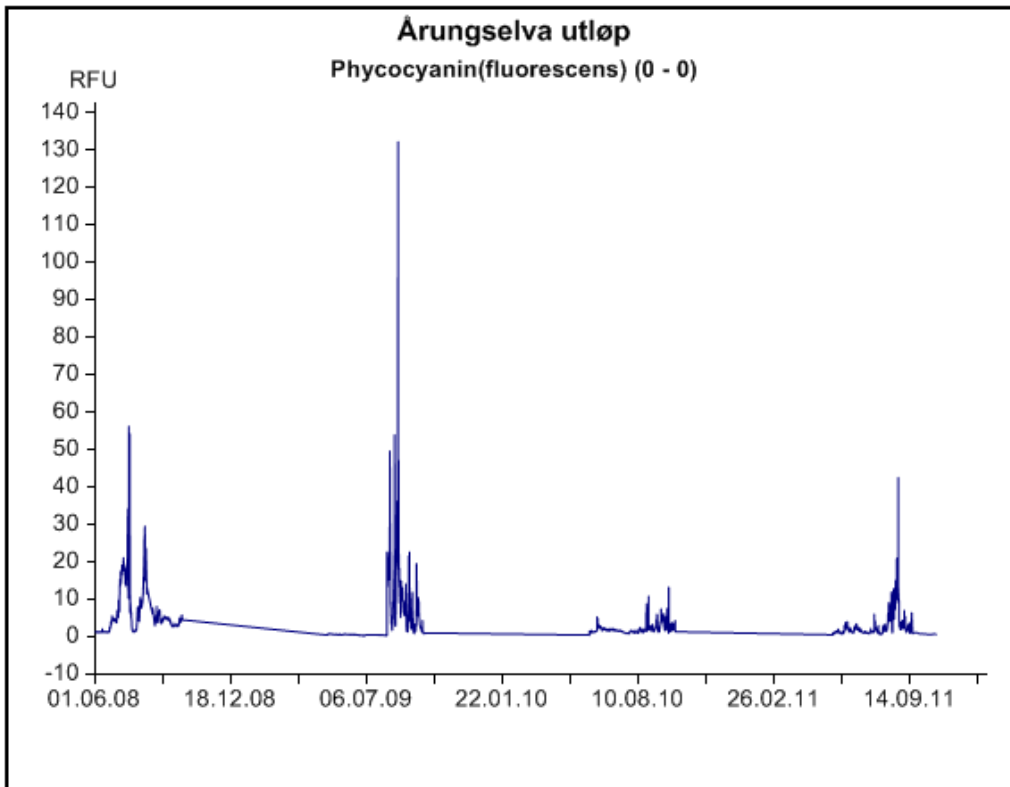
For å kunne vurdere risikoen for kraftig transport av cyanobakterier til Bunnefjorden må noen fysiologiske sammenhenger tas i betraktning. Noen cyanobakterier har, i motsetningen til de fleste fytoplanktonartene, evnen til å regulere dybdefordelingen sin med hjelp av gassfylte strukturer, såkalte gassvesikler. Gassvesiklene nedsetter vekten av cyanobakteriene

og gir oppdrift. Når cyanobakterier flyter opp, får de tilgang til mer lys. Dette øker den fotosyntetiske produksjonen av sukker. Dersom produksjonen overstiger forbruket, lagres sukkeret i cellene, noe som øker cellenes vekt. Etter hvert vil cellene begynne å synke igjen og dette vil fortsette inntil cellene har funnet det optimale dypet, hvor lystilbudet tillater en likevekt mellom produksjon og forbruk av sukker.

Mye tyder på at lys begrenser veksten av fytoplankton i Årungen og at denne begrensningen er størst i juli og august når cyanobakteriene blomstrer opp. I denne tidsperioden vil mangel på lys føre til kraftig oppdrift av cyanobakterier. Stabile værforhold med lite vind vil da øke faren for akkumulering av cyanobakterier i nærheten av overflaten og for transport av cyanobakterier til Bunnefjorden. Kraftig vind og regn motvirker denne utviklingen og samtidig forsterkes lysbegrensningen. Cyanobakteriene vil da prøve å øke oppdriften ved å produsere flere gassvesikler. I en slik situasjon vil en plutselig endring til varmt sommervær med lite vind føre til en såkalt "overshoot reaction", dvs. på grunn av for mange gassvesikler klarer algene ikke å kompensere oppdriften med produksjon av "ballast"-sukker. Hele cyanobakteriesamfunnet vil da flyte opp på overflaten av Årungen innen få timer og store mengder av biomasse vil transporteres til Bunnefjorden.

Resultatene fra sensoren i Årungsaelva støtter disse teoretiske betraktningene. Transport av cyanobakterier fra Årungen til Bunnefjorden skjer i juli-september når konsentrasjon i Årungen er høyest. Mengden som transporteres avhenger av værforhold og kan variere kraftig fra time til time. Ekstremhendelser ble observert i juli og august 2008, august 2009 og august 2011, ofte sent på ettermiddagen etter en endring i værforholdene (figur14).

Er det mulig å forutse tidspunktet for kraftig transport av cyanobakterier fra Årungen til Bunnefjorden? Spørsmålet må besvares med både ja og nei. Som sagt er sannsynligheten for ekstremhendelser størst i juli og august, når cyanobakterier med gassvesikler (særlig Anabaena, Aphanizomenon, Microcystis) blomstrer opp. Faren er stor i perioder med stabile værforhold og lite vind. Kraftig lysbegrensning pga. værforhold, høy konsentrasjon av erosjonspartikler i vannet og/eller høy algekonsentrasjon øker faren for kraftig transport av cyanobakterier til Bunnefjorden ytterligere. Likevel er det umulig å forutse det konkrete tidspunktet når transporten truer vannkvalitet i Bunnefjorden. Det anbefales derfor å fortsette sensorovervåkingen i Årungsaelva.



Figur 14. Konsentrasjon av pigmentet phycocyanin i Årungselta i 2008-2011 (Kilde: NIVA).

Konklusjon:

Årungen er en svært dynamisk innsjø med hensyn til lagdeling og sirkulasjonsforhold, som i stor grad er styrt av gjeldene værforhold. Vekstperioden 2011 var svært nedbørrik med større eksterne tilførsler av næringsstoffer enn for ett "normalår".

Stabil lagdeling mot slutten av vekstperioden resulterte i reduserende forhold og intern frigjøring av fosfor fra innsjøsedimentene.

Maksimale klorofyllnivåer ble registrert medio juni og medio august.

Cyanobakteriedynamikken i Årungen viser god sammenheng med transport av phycocyanin i Årungselta for 2011, og indikerer at Årungen er en potensiell kilde for cyanobakterier i Bunnefjorden.

Stabile værforhold med lite vind øker faren for akkumulering av cyanobakterier i overflaten av vannmassene og for transport av cyanobakterier ut i Bunnefjorden.

Ekstremnivåer av cyanopigmentet phycocyanin er observert i juli og august 2008, august 2009 og august 2011. Det er vanskelig å forutse episoder med høye nivåer, og fortsatt sensorovervåking anbefales

Videre arbeid i Årungen

Årungen er en svært dynamisk innsjø. For å skjønne hvordan ulike prosesser henger sammen, samt innsjøens økologiske respons på endringer, er det nødvendig å undersøke variasjoner både med tid og med ulike dyp i innsjøen. Slike data vil bl.a. gi informasjon om hvordan ulike værforhold/klima innvirker på vannkvaliteten – forhold som er svært viktig for å vurdere effekten av tiltak.

Nedenfor er det skissert noen ideer til videre arbeid.

1. Fortsatt in-situ observasjoner av temperatur, oksygen, pH, ledningsevne og klorofyll , ved hjelp av en YSI multiprobe, på hovedstasjonen i Årungen (1 m dyp).

Gjeldende rapport viser at temperatur (samholdt med pH og oksygen) har stor innvirkning på vekstforholdene i Årungen, såfremt ikke andre faktorer er begrensende for vekst. Cyanobakterier vokser langsomt og høye temperaturer virker sterkt fremmede på veksten. Sammenstilling av data fra flere vekstperioder vil gi viktig informasjon om årlige variasjoner i vekst, og bør testes opp imot tilførselsmodeller som er under utvikling i regi av PURA.

2. Observasjoner av vannkvalitet ved ulike dyp.

Temperatursjiktningen er styrende for innsjøens lagdeling og for utveksling av næringsstoffer mellom dypere og øvre lag av innsjøen. Stabile og skarpe temperatursjiktninger fremmer oksygenfrie forhold mot bunnen og frigivelse av fosfor fra sedimentene. Under slike forhold vil interne fosforkilder gi et viktig bidrag til fosforbudsjettet for innsjøen.

3. Forurensningstransport og vannbalanse

Bakgrunn:

Ethvert tiltak, har en kostnad. For å sikre at effekten av tiltaket står i forhold til kostnadene, er det nødvendig med transportberegninger som kvantifiserer forurensningsbidraget fra ulike kilder i et vassdrag. Slike beregninger forutsetter vannbalanse modellering som valideres mot målinger av vannføring og konsentrasjonen i utvalgte tilførselsbekker. Uten målinger vil alltid slike beregninger være beheftet med usikkerhet.

Det har blitt utarbeidet tilførselsbudsjett for Årungen tidligere (Gunnarsson, 2006; Askildsrud, 2010). Responsen til de ulike tilløpsbekkene ble kalibrert mot Skuterudfeltet hvor det er kontinuerlige målinger av vannføring, næringsstoffer, partikler med mer. Gunnarsson (2006) beregnet bl.a. retensjonen av suspendert stoff og partikulært bundet fosfor i Årungen, men disse beregningene er beheftet med usikkerhet (Askildsrud, 2010).

Problemstilling:

Tidsserier for vannproporsjonal prøvetaking oppstrøms i vassdraget (Skuterud) foreligger fra nittitallet og fram til dags dato. Senere er det startet tilsvarende prøvetaking i utløpet av

Årungen. Videre er det tilgjengelig informasjon om retensjon av stoffer i innsjøsedimentene (Gunnarsson, 2006, Riise et al. 2010) og vannkjemiske målinger er studert gjennom en årrekke. Vassdraget er derfor velegnet for vannbalansestudier basert på data som fanger opp prosesser på ulik skala: Hvordan kan vannbalansen simuleres med objektorientert programvare? Hvilken rolle spiller de ulike vannmagasinene inn på nedbørs-avløpsprosessene? Hvilken rolle spiller retensjon og nedbrytning (forbruk) av næringstoff i de ulike transportleddene i vassdraget (jordprofilet/drensrør/grøfter/bekker/innsjøer)? Hva er usikkerheten i disse prosessene i tid? Hvor stor er variasjonen fra delnedbørfelt til delnedbørfelt?

Skjematisk prosjektbeskrivelse:

Basert på kjent kunnskap vil vi starte prosjektet med å implementere ENKI plattformen på et computersystem for modellering av den romlig fordelte vannbalansen i nedbørsfeltet. Vi foreslår videre å bruke tilgjengelig informasjon fra offentlige etater og forskningsinstitutter for å beregne gjennomsnittlig konsentrasjon for en eller to utvalgte stoffer (f.eks kalium og nitrogen). Beregnet gjennomsnittsverdier sammenlignes med de observasjonene vi har tilgjengelige fra tidligere prosjekt (se ovenfor). Avvik mellom observerte og beregnede verdier vil gi en indikasjon om denne metodikken også lar seg gjennomføre for andre vannforekomster i Norge. Det er særs viktig å kvantifisere usikkerheten i slike beregninger. Hensikten er å bruke ressursene på en slik måte at usikkerheten begrenses mest mulig. Før slike beregninger er gjennomført, risikerer man å iverksette tiltak som har minimal effekt i forhold til ressursbruken.

Referanser:

Askilsrud, H. 2010. Nutrient input to Lake Årungen – Assessment of data availability to run the MyLake modell. Masteroppgave, Universitetet for miljø- og biovitenskap.

Gunnarsson, J.O. 2006. Massebalansestudier i innsjøen Årungen. Masteroppgave, Universitetet for miljø- og biovitenskap, Ås, Norge

Riise, G., Krogstad, T., Blakar, I., Gjengedal, E., Haaland, S., Kristiansen, J., Naas, K., Reierstad, Å.T., Romarheim, A.T., Rutsinda, J. og Zambon, S.B. 2010. Akkumulering av næringsstoffer og spormetaller i Årungens sedimenter – sedimentenes betydning som fosforkilde. Universitetet for miljø- og biovitenskap, IPM-Rapport 2. ISBN 82-483-0061-7

Appendiks: Vertikal fordeling av løst fosfor (PO₄-P) i Årungen i vekstperioden 2011.

Årungen juni-september 2011

