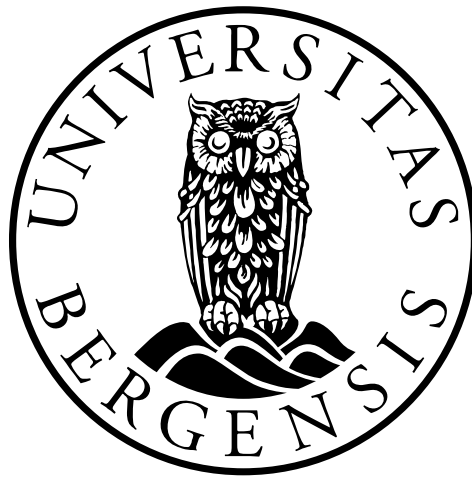


Artssuksesjon av planteplankton i Raunefjorden våren 2010

*Reguleringsmekanismer og
elementsammensetning ved røntgenfluorescens*

Stig Bjarte Haugen



Masteroppgave i biologi - mikrobiologi

Institutt for biologi
Det matematisk- naturvitenskaplige fakultet

UNIVERSITETET I BERGEN

3. oktober 2011

2011

Artssuksesjon av planteplankton i Raunefjorden våren 2010

Reguleringsmekanismer og elementsammensetning ved røntgenfluorescens

Stig Bjarte Haugen

Universitetet i Bergen

II

Sammendrag

Denne studien av artssuksesjon og reguleringsmekanismer er satt sammen av to deler. Den ene delen består av et tokt til Svinøysnittet, mens den andre er en serie av prøvetakinger og målinger i Raunefjorden i Hordaland. Hovedfokuset på studien er rettet mot Raunefjorden, mens toktet på Svinøysnittet ble gjort for å studere vannmassene som finnes i og utenfor kysten. Den norske kyststrømmen og Atlanterhavsstrømmen forflytter vann som befinner seg utenfor kysten av Norge nordover. Disse vannmassene er i dynamisk utveksling med vannet i fjordsystemene og bidrar til endringer i saltholdighet og temperatur, samt tilførsel av løste næringssalter og utveksling av plankton. Undersøkelsen av vannmassene ved Svinøysnittet kunne derfor gi indikasjon på den fysiske, kjemiske og biologiske sammensetningen av vannet som tidligere hadde befunnet seg ved kysten utenfor Raunefjorden.

Artssukesesjon av planteplankton (fytoplankton) og reguleringsmekanismer i Raunefjorden ble studert i perioden fra 16. februar til 29. juni 2010. Ved hjelp av skanning-elektronmikroskopi ble tilstedeværelse og relative antall av oppblomstrende-, bakgrunns- og følgearter på 5 og 50 meters dyp dokumentert. Det ble også tatt prøver til elektronmikroskopi fra dypet i Norskehavet. Fra vannprøver tatt i Raunefjorden og på Svinøysnittet ble det målt klorofyll *a* og løste næringssalt, og CTD-data fra begge steder ble benyttet til å studere de hydrografiske forholdene og fluorescensen i vannsøylen. I Raunefjorden ble det i tillegg kvantifisert partikkelbundet karbon, nitrogen, fosfor, kalsium og silisium i vannprøver ved bruk av røntgenfluorescens. I denne sammenhengen var dette en uprøvd metode. Analyse av røntgenfluorescens fra filtrene gav gode resultater for partikkelbundet karbon, nitrogen, kalsium og silisium, men metoden gav forhøyede verdier av fosfor.

I løpet av våren og sommeren 2010 forekom oppblomstringer av *Skeletonema marinoi*, *Pseudo-nitzschia* spp., *Emiliana huxleyi* og *Ceratium longipes*. Ny næringstilførsel i form av vindindusert oppstrømning sammen med stratifisering og dannelse av pyknokliner la til rette for oppblomstringene, mens de ble begrenset eller terminert på grunn av konkurranse fra andre arter, mangel på nitrat og silikat (diatomeer) og beiting. Vindindusert tilførsel av næringsrikt vann fra kysten antas å være en av de viktigste faktorene som påvirker suksesjonsmønsteret og fjordens totale primærproduksjon.

Takk til

Først og fremst ønsker jeg å rette en stor takk til min hovedveileder, Svein Rune Erga, som har bidratt med uvurderlig hjelp og støtte under arbeidet med oppgaven, og som har fulgt opp og oppmuntret de utallige ganger arbeidet ikke har gått fullt så bra. En stor takk rettes også til biveileder Mikal Heldal.

Videre vil jeg takke Svein Nordland for hjelp med utregning av XRF-data, Børge Hamre for starthjelp med Matlab, Jorun Karin Egge for metodisk hjelp til klorofyll *a*-analyse og Havforskningsinstituttet som lot meg bruke deres verdier for næringssalt og klorofyll fra Svinøysnittet. Takk til Knut Tomas Holden Sørli som med godt humør førte Aurelia ut på Raunefjorden i all slags vær når vannprøvene og CTD-målingene skulle tas, og til alle andre ved Marinbiologisk stasjon på Espegrend for mange trivelige dager med feltarbeid. Videre vil jeg takke Kjell Arild Orvik for at jeg fikk bli med på tokt til Svinøysnittet og stasjon M, og alle om bord på Håkon Mosby som gjorde toktet til en positiv og hyggelig opplevelse.

En stor takk rettes også til Egil Severin Erichsen og Irene Heggstad ved Elektronmikroskopisk felleslaboratorium for at jeg fikk benytte mikroskopene langt utover kontortid, og for mange artige diskusjoner og god støtte.

Jeg vil også takke studieseksjonen ved Institutt for biologi, og især Oddfrid T. Kårstad Førland, for tålmodighet med alle de gangene jeg på kort varsel har måttet reise på oppdrag til utlandet.

Takk til Forsvaret ved Bergenhus Heimevernsdistrikt 09 og NSE ISAF / CIS TG, som har vært mine arbeidsgivere i studietiden og vist forståelse når jeg har måttet prioritere studier foran arbeid. Jeg vil også takke mine kollegaer for støtte og oppmuntring og for å ivareta mine arbeidsoppgaver og ansvar når jeg ikke har kunnet være til stede.

Og sist men ikke minst, en stor takk rettes til alle ansatte og studenter i forskningsgruppene for marin mikrobiologi og biodiversitet for et trivelig og positivt miljø.

Forord

“By the means of Telescopes, there is nothing so far distant but may be represented to our view; and by the help of Microscopes, there is nothing so small as to escape our inquiry; hence there is a new visible World discovered to the understanding. By this means the Heavens are open'd and a vast number of new Stars and new Motions, and new Productions appear in them, to which all the ancient Astronomers were utterly strangers. By this the Earth it self, which lyes so neer to us, under our feet, shews quite a new thing to us, and in every little particle of its matter, we now behold almost as great a variety of Creatures, as we were able before to reckon up in the whole Universe itself.”

Robert Hooke (Hooke 1665)

Mennesket er tilbøyelige til å se ting i sin egen målestokk med seg selv i senter. Vi har lettere for å forstå det som eksisterer i centimeter og meter, eller timer og minutter, enn størrelser og tidsrom som er enten for store eller for små til at vi klarer å relatere oss selv til dem. I et samfunn preget av stadig mer avansert teknologi og struktur, har vi i blant lett for å skyve naturen til side og glemme at vi er en del av et ømfintlig samspill mellom alle levende organismer og miljøet vi lever i. I dette samspillet er noen av organismene så små at det må brukes mikroskop for å se dem, og bare en brøkdel av disse er kjent for mennesker. Men like fullt er de så tallmessige at det bare i en håndfull jord kan finnes milliarder av dem (Pace 1997) og årlige oppblomstringer av plankton i havet kan bli så massive at de er synlige fra verdensrommet (Smyth, Tyrrell et al. 2004). Selv organismer som finnes i slike enorme antall og utbredelser er følsomme for miljømessige forandringer. Som en del av et sårbart økosystem er det viktig at vi mennesker ser fremover med kunnskap og respekt, og at vi høster og forvalter ressurser på en måte som opprettholder miljø og artsmangfold også for tidene som kommer.

Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon	1
1.1	Oppdagelsen av mikrobielle livsformer	1
1.2	Betydningen av marine mikroorganismer	2
1.3	Fytoplankton	2
1.4	Suksesjon og sekvens	4
1.5	Utveksling av vannmasser mellom kyst og fjord	4
1.6	Tidligere arbeid	5
1.7	Formål med studien	6
2	Material og metoder	8
2.1	Prøvetakingssted	8
2.1.1	Svinøysnittet	9
2.1.2	Raunefjorden	10
2.2	Prøvetaking	11
2.2.1	Raunefjorden	11
2.2.2	Svinøysnittet	12
2.3	Hydrografi og fluorescens	12
2.4	Siktedyp	13
2.5	Vind	13
2.6	Næringssalt	13
2.7	Klorofyll <i>a</i>	13
2.8	Partikkelbundne elementer	15
2.9	Statistiske begrep	17
2.10	Elektronmikroskopi	18
2.11	Dataanalyse	19
2.12	Kart	19
3	Resultater	20
3.1	Svinøysnittet	20
3.1.1	Hydrografi og fluorescens	20
3.1.2	Næringssalt	27
3.1.3	Klorofyll <i>a</i>	30
3.1.4	Planktonsammensetning	31

3.2	Raunefjorden	33
3.2.1	Hydrografi og fluorescens	33
3.2.2	Siktedyp	44
3.2.3	Vindretning og styrke	44
3.2.4	Næringssalt	45
3.2.5	Klorofyll <i>a</i>	51
3.2.6	Partikkelbundne elementer	55
3.2.7	Planktonsammensetning	62
4	Diskusjon	67
4.1	Karakterisering av vannmasser	67
4.1.1	Svinøysnittet	67
4.1.2	Raunefjorden	69
4.2	Nedsynking av biologiske partikler fra fytoplankton til dyphavet	69
4.3	Vannutskiftning	71
4.3.1	Vannutskiftning mellom kyst og fjord	71
4.3.2	Vannutskiftning i Raunefjorden	71
4.3.3	Vannutskiftningens rolle for næringstilførsel	74
4.3.4	Forholdet mellom løste næringssalt på Svinøysnittet og i Raunefjorden	75
4.3.5	Forhold mellom partikkelbundet karbon, nitrogen, silisium i Raunefjorden	78
4.4	Suksesjon i Raunefjorden våren 2010	80
4.4.1	Oppblomstrende arter senvinter til sommer 2010	80
4.4.2	Bakgrunns- og følgearter	83
4.4.3	Sporer	86
4.4.4	Stabilitet og energitilgang som styrende faktorer for våroppblomstringen	86
4.4.5	Hydrografiske forhold og næringstilgang som regulator for artssuksesjonen ...	87
4.4.6	Direkte påvirkning fra hydrografiske forhold	91
4.4.7	Andre faktorer som kan påvirke suksesjonen av fytoplankton	92
4.5	Feilkilder	94
4.6	Oppsummering og konklusjoner	96
	Referanser	98

1 Introduksjon

1.1 Oppdagelsen av mikrobielle livsformer

Allerede før vår tidsregning ble det spekulert i om det kunne eksistere levende skapninger som var for små til at de kunne sees med øyet. Den lærde romeren Marcus Terentius Varro (116 – 27 f.Kr.) anbefalte at en måtte være varsom ved valg av sted dersom en skulle bygge nær myrer. Det kunne på slike plasser finnes små, usynlige skapninger som fløt i luften og som kunne komme inn i kroppen via munn og nese og forårsake alvorlig sykdom (Wesselingh 2008). Selv om det ble fremmet mange hypoteser om mikroorganismers eksistens, ble ikke disse oppdaget og beskrevet før i årene mellom 1665 og 1683. Oppdagelsen av mikrobielt liv og dets detaljer ble gjort av Robert Hooke og Antoni van Leeuwenhoek, som begge var medlemmer av “The Royal Society of London for the Improvement of Natural Knowledge.” Oppdagelsene ble gjort mulig ved bruk av enkle mikroskoper, en teknologi som ikke hadde vært tilgjengelig tidligere.

Robert Hooke utgav i 1665 boken *Micrographia* som inneholdt illustrasjoner av en rekke objekter. Deriblant en tegning av muggsopp som ble den første publiserte illustrasjonen av en mikroorganisme. Den første oppdagelsen av bakterier ble gjort av Antoni van Leeuwenhoek, en klesforhandler fra byen Delft i Nederland. For å kontrollere kvaliteten på tøy, produserte han små linser som han monterte på plater av messing, gull eller sølv. Ved å feste objektene som skulle undersøkes på en skrue eller nål, kunne han ved hjelp av disse enkle mikroskopene studere objektet med mer enn 250 gangers forstørrelse og oppløsning på inntil 1 μm . Han avslørte derimot aldri teknikken om hvordan han lagde mikroskopene. Den 24. april 1676 undersøkte Leeuwenhoek en prøve med vann iblandet pepper som hadde stått i tre uker. I vannet så han mengder av det han beskrev som “animalcules” eller “små åler” som i realiteten var bakterier. Han begynte å lete etter disse på flere steder, og beskrev en rekke skapninger som sannsynligvis var både forskjellige bakterier og protozoer. Hooke og Leeuwenhoek ble de første som studerte en kompleks verden av mikroorganismer som tidligere var for liten til at dens eksistens var kjent (Porter 1976; Gest 2004; Fara 2009).

Teknologien har blitt sterkt forbedret i de mer enn 300 årene som har gått siden Hooke og Leeuwenhoeks gjorde sine oppdagelser og la grunnlaget for mikrobiologi som ett av biologiens fagområder. Lysmikroskopet har blitt sterkt forbedret og nye metoder som blant annet fluorescens- og elektronmikroskopi har kommet til. Disse direkte

observasjonsmetodene har sammen med indirekte metoder som for eksempel in vivo fluorescens, flow cytometri og genetiske analyser åpnet for mulighetene til å se på mikroorganismene i både større detalj og i en større helhet. Dette gir oss muligheten til å studere alt fra små fysiologiske detaljer til det mikrobielle samfunnet i de store oseanografiske systemene som ligger til grunn for primærproduksjonen i havet.

1.2 Betydningen av marine mikroorganismer

Alt fra mennesker og dyr til en rekke heterotrofe mikroorganismer er enten direkte eller indirekte avhengig av primærprodusentene, som utgjør det første leddet i næringskjeden. Hoveddelen av primærprodusentene benytter solenergi ved hjelp av fotosyntese til å re arrangere atomene i karbondioksid og vann sammen med uorganiske næringsalter for å syntetisere energirike organiske forbindelser. Den resterende og mye mindre andelen av primærprodusentene er kjemolitotrofe og benytter uorganiske molekyler til å drive primærproduksjon (Sherr og Sherr 1988). I tørrvekt utgjør den globale primærproduksjonen årlig ca. 224×10^9 tonn biomasse, og av disse kommer 59 % av biomassen fra terrestriere systemer mens de resterende 41 % er produsert i akvatiske økosystemer (Pauly og Christensen 1995). Størsteparten av den akvatiske primærproduksjonen foregår i åpent hav og da i hovedsak av marine, encellede autotrofe organismer som fytoplankton og cyanobakterier. Ved kystlinjen bidrar også makroalger til en andel av produksjonen (Duarte og Cebrian 1996). Marint fytoplankton utgjør mindre enn 1 % av jordens fotosyntetiske biomasse (Simon, Cras et al. 2009), men står likevel for mer enn 40 % av primærproduksjonen. På grunn av det store bidraget fytoplankton har til primærproduksjon og fiksering av CO₂, er det viktig å søke kunnskap og forståelse om dens økologi og fysiologi. Men det er også viktig å forstå hav- og fjordsystemene og dynamikken som legger til rette for den store mengden liv som finnes både i dypet og ved overflaten.

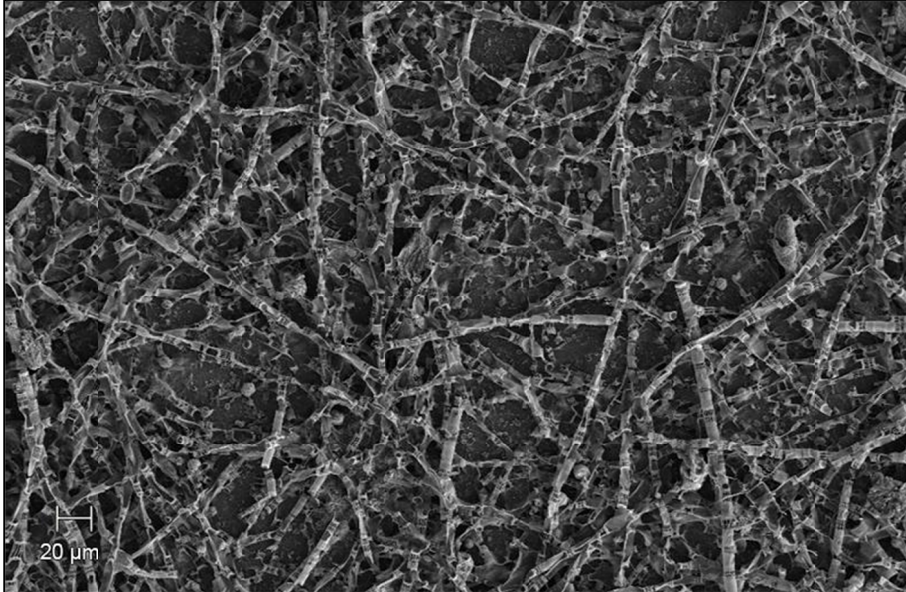
1.3 Fytoplankton

Uttrykket plankton stammer fra gresk og kan oversettes som vandrer eller omflakkende (Harris 1986). Uttrykket kommer av at denne gruppen utgjøres av de organismer som flyter i vannmasser som for eksempel hav, innsjøer eller elver og som er mer eller mindre ute av stand til å overkomme vannets bevegelser i form av strøm og tidevann (Thronsen, Tangen et al. 2007) (Figur 1.2). Fyto stammer også fra gresk og betyr plante (Simon, Cras et al. 2009).

Derav betegnelsen planteplankton som gjerne brukes om gruppen. Uttrykket planteplankton medfører ikke fullstendig riktighet da det hersker usikkerhet over hvilke organismer som kan inkluderes i denne gruppen eller ikke. I tillegg er noe fytoplankton er prokaryot og kan defineres som bakterier, mens andre har karakteristikk fra dyreriket eller innehar ingen planktonisk levemåte (Harris 1986).

Fytoplankton er eukaryote eller prokaryote organismer som i hovedsak finnes i størrelsesorden mellom 0,4 til 200 μm . De er encellede organismer, men det finnes en rekke arter som danner kolonier av varierende størrelse. I form av kolonier kan fytoplankton i enkelte tilfeller være synlig for bare øyet (Thronsen, Tangen et al. 2007). I og med at de er fotoautotrofe organismer og får energi ved fotosyntese, lever fytoplankton i hovedsak i den eufotiske sonen som utgjør den vertikale sonen i vannet hvor sollyset er tilstrekkelig til at de kan drive fotosyntese. I helt klart vann dreier dette seg om de øverste 200 meterne av vannsøylen (Simon, Cras et al. 2009). Fytoplankton deles tradisjonelt sett ofte inn i hovedgrupper som består av dinoflagellatene (Dinophyceae), diatomeene (Bacillariophyceae) og coccolithophoridene (Coccolithophyceae). I tillegg benyttes en fjerde samlegruppe for de resterende artene (Thronsen, Tangen et al. 2007).

Våroppblomstring av plankton er et naturlig fenomen som oppstår når de riktige betingelsene som lys, stabilitet og næring er til stede. Våroppblomstringen er den mest omfattende i omfang og biomasse, men også lokale og isolerte oppblomstringer kan forekomme (Thronsen, Tangen et al. 2007). I oppblomstringsperioden konkurrerer planteplanktonsamfunnet om næringssalt og lys, samtidig som det utsettes for beiting av zooplankton. Når næringen er oppbrukt og blir begrensende eller beitingen overgår veksten, går de store mengdene av plankton tilbake og oppblomstringen tar slutt. Dersom næring på nytt tilføres, kan videre oppblomstringer forekomme utover våren og sommeren. Figur 1.1 er eksempel på et typisk bilde fra perioden med oppblomstring av *Skeletonema marinoi* i Raunefjorden mellom 4. mai og 1. juni 2010. I norske kystområder domineres våroppblomstringen i størst grad av diatomeer. Men når temperaturen i vannet stiger, blomstrer også gjerne coccolithophorider og dinoflagellater opp (Hasle, Tangen et al. 1984). I en oppblomstringssituasjon vil gjerne sammensetningen av artssamfunnet variere over tid, og dette gjør seg gjeldende i form av en suksesjon.



Figur 1.1 Bilde fra elektronmikroskop som viser oppblomstringen av *Skeletonema marinoi* i Raunefjorden 25. mai 2010.

1.4 Suksesjon og sekvens

Suksesjon er den forandring som over tid forekommer i planktonsamfunnet i en definert vannmasse. Dersom prøver blir tatt på samme geografiske sted over tid, vil forflytning og sirkulasjon i vannmassene føre til at det fra gang til gang er forskjellige vannmasser som blir observert. Forandringer av artssammensetningen i en slik situasjon kan med riktighet betegnes som en sekvens av populasjoner (Gran og Braarud 1935), men i den senere tid har suksesjon i stor grad blitt brukt som uttrykk for begge tilfeller.

1.5 Utveksling av vannmasser mellom kyst og fjord

Den norske kyststrømmen har sitt utspring ved Øresund hvor den dannes av tilløp med ferskvann i Østersjøen. Kyststrømmen følger nordover langs kysten av Norge og blandes underveis med vannmasser fra Nordsjøen og Atlanterhavet. Strømmen transporterer vannmasser med lav saltholdighet fra Østersjøen, Nordsjøen og kysten av Norge til Barentshavet, og er på den måten en av de største kildene til ferskvann i Arktis. Hastigheten på Kyststrømmens transport av vannmasser er typisk mellom 20 og 50 cm s⁻¹, men den kan i blant komme opp i over 100 cm s⁻¹ (Sætre 2007).

Ettersom fytoplankton i hovedsak er fotoautotrofe, er de avhengige av de løste næringssaltene nitrat og fosfat samt en rekke andre sporstoffer for å vokse (Harris 1986). Diatomeene trenger i tillegg til nitrat og fosfat også silikat for å bygge silisiumstrukturene i celleveggene deres (Hildebrand, Martin-Jezequel et al. 2000). I fjordsystemene er forbruket av næringsalter høyt, og dette fører til at vannmassene i Kyststrømmen har høyere næringsinnhold enn fjordvannet (Erga og Heimdal 1984). Utenfor Kyststrømmen, i de atlantiske vannmassene, finnes vann med enda større mengde næringsalter (Rey, Aure et al. 2007). For at fytoplankton skal kunne vokse, er tilstedeværelsen av løste næringsalter, lys, riktig temperatur og stabilitet en nødvendighet (Sverdrup 1953). I fjordsystemene kommer den nødvendige stabiliteten og stratifiseringen sammen med lyset tidlig på våren og initierer den første oppblomstringen av plankton (Sverdrup 1953). Den videre veksten av fytoplankton er deretter avhengig av tilførsel på næringsalter fra dypereliggende vannmasser eller regenerering av næringsstoffer fra nedbryting av biologisk materiale. Når vind blåser parallelt med kysten fra nord til sør, vil vindkraften sammen med Corioliskraften føre til at vann presses ut fra kysten og at dypereliggende vannmasser strømmer til som erstatning (Sætre 2007). Dette gjør at vann strømmer over terskeldypet og inn i fjordbassenget, og denne oppstrømningen fra dypet tilfører planktonet i fjordsystemet næring for videre vekst og oppblomstringer. På samme tid vil overflatelaget i fjordsystemet bli presset ut av fjorden og inn i omliggende vannmasser, og på den måten bidra med økning av planktonsamfunnet i og utenfor kystvannmassene. Denne transporten av plankton mellom systemene går sannsynligvis begge veier, både fra fjord til kyst og kyst til fjord.

1.6 Tidligere arbeid

Arbeidet med å kartlegge og forklare mekanismer for vekst og oppblomstring av fytoplankton har pågått i lang tid. Haakon Hasberg Gran og Trygve Braarud publiserte i 1935 et arbeide der de studerte hydrografi og næringsbetingelser for planktonsamfunnet i Bay of Fundy og Gulf of Maine (Gran og Braarud 1935). De konkluderte med at både lys, tilførsel av næringsalter og stabilitet i vannsøylen var faktorer som påvirket populasjonen av fytoplankton. Konseptet med kritisk dyp ble formulert av Harald Ulrik Sverdrup i 1953. Han viste i sitt arbeid at dypet av det blandede overflatelaget måtte være grunnere enn det kritiske dypet for at en populasjon i dette blandede laget skulle kunne øke (Sverdrup 1953). Braarud beskrev i en serie av studier av Hardangerfjorden effekten utskiftning av vannmasser i fjorden hadde på fytoplankton og

fordeling av fosfat (Braarud 1975). Oppstrømning ved kysten og påfølgende utskiftning av dypvann i Byfjorden ble på grunnlag av tidligere publiserte resultater av Erik Linde (Linde 1970) satt i sammenheng med nordlig vind langs kysten av Hans B. Helles (Helle 1978). Denne vinddrevne utskiftningen av vannmasser med tilførsel av næringsalter fra kystvannet ble av Svein Rune Erga og Berit Riddervold Heimdal vist å ha innvirkning på fytoplanktonsamfunnet både i Korsfjorden (Erga og Heimdal 1984) og i Boknafjorden (Erga 1989) samt i Masfjorden av Dag Aksnes, Jan Aure et. al. (Aksnes, Aure et al. 1989).

1.7 Formål med studien

Formålet med denne studien er å følge vekst og artssammensetning av fytoplankton i Raunefjorden i perioden fra senvinter til sommer 2010 i forhold til fysiske og kjemiske faktorer. Dette gjøres ved å undersøke hvordan vekst av plankton blir påvirket av tilførselen av de løste næringsaltene nitrat, fosfat og silikat, samt hvordan nordlig vind parallelt med kysten fører til oppstrømning som frakter disse næringsstoffene fra dyptliggende kystvann og inn i fjordsystemet. Studien undersøker også hvilken rolle hydrografi og stratifisering av vannsøylen har for vekst av plankton i fjorden.

Undersøkelsene blir gjort ved å måle hydrografi og fluorescens ved hjelp av CTD, og løste næringsalter og biomasse i form av klorofyll *a*. I tillegg benyttes røntgenfluorescens for å måle partikkelbundne elementer og skanning-elektronmikroskopi til å studere planktonsamfunnet i detalj.

I og med at vannmassene i fjordsystemet ikke er statiske, omhandler studien i realiteten en sekvens av planktonsamfunnet i fjorden. Som tilpasning til lignende studier blir den videre omtalt som suksesjon.

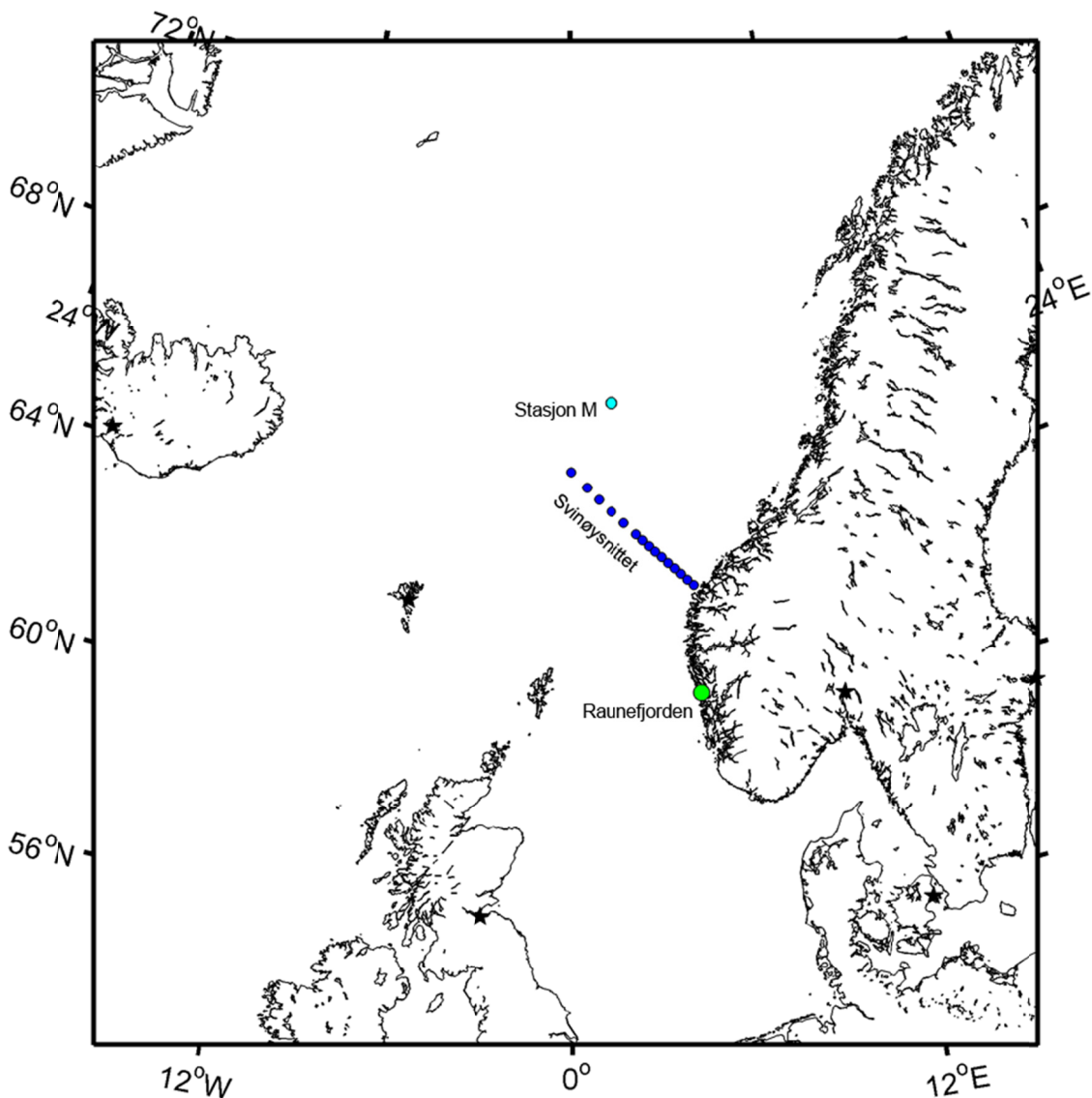


Figur 1.2 Bilde fra elektronmikroskop av *Ceratium longipes* (t.v.), *Dinophysis acuminata* (midt), *Protoperidinium depressum* (t.h.) og en kjede av *Pseudo-nitzschia* sp. (nederst) på en bakgrunn av mindre plankton og rester. Vannprøven er tatt i Raunefjorden våren 2010.

2 Material og metoder

2.1 Prøvetakningssted

Det ble i denne studien utført prøvetakning og målinger på to steder: på Svinøysnittet som går ut i Norskehavet og i Raunefjorden ved Skogsvågen. I tillegg ble det samtidig med Svinøysnittet foretatt en enkeltstående måling ved stasjon M (MIKE) som også ligger i Norskehavet (Figur 2.1).



Figur 2.1 Kartet viser posisjoner for prøvetakning: Raunefjorden (grønn), Svinøysnittet (blå) og stasjon M (lys blå).

2.1.1 Svinøysnittet

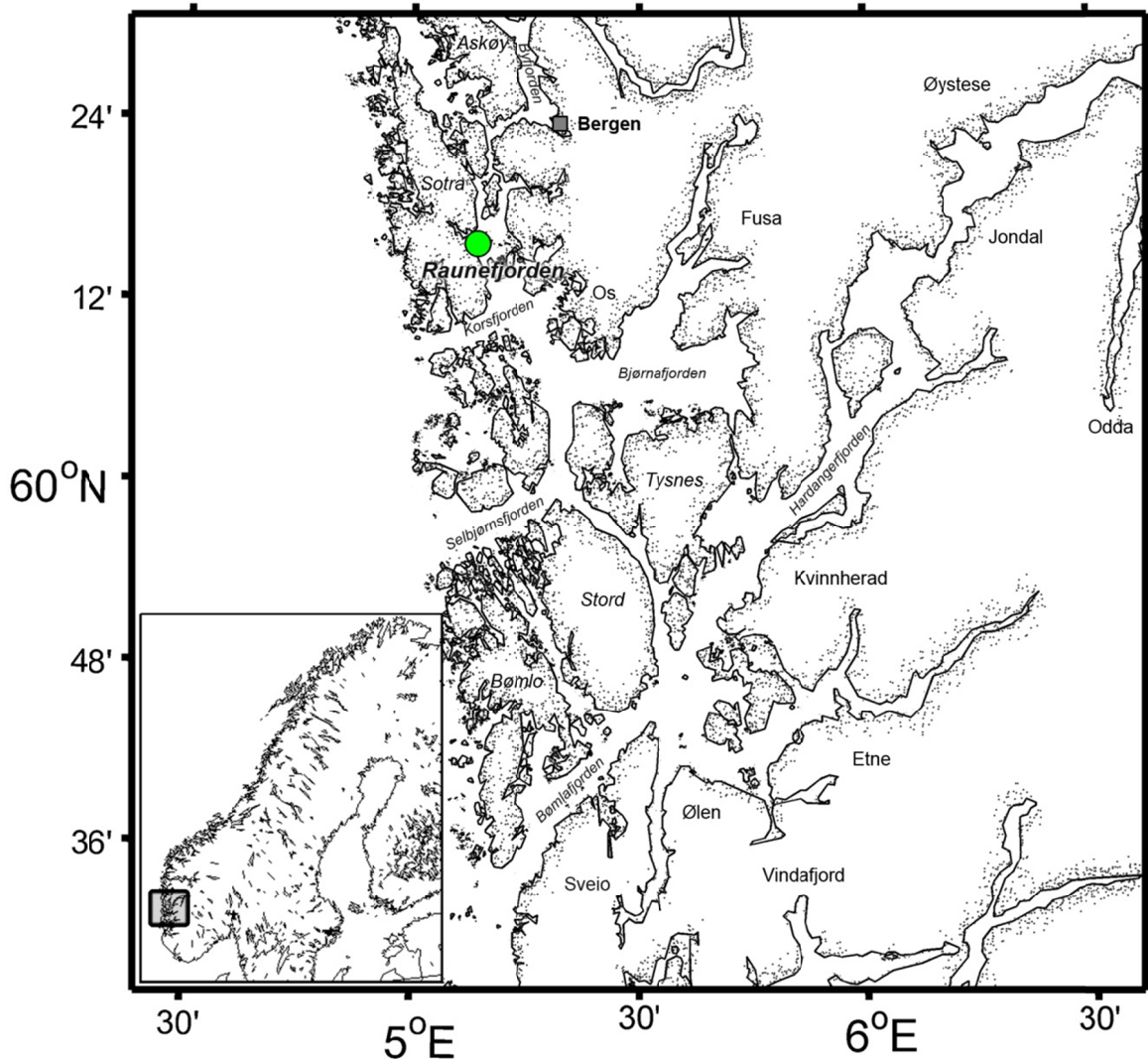
Svinøysnittet er et lengdesnitt som starter ved Svinøya i Herøy kommune i Møre og Romsdal, og som strekker seg 370 kilometer mot nordvest i Norskehavet (Figur 2.1). Snittet starter i Kyststrømmen nord for Stadlandet og går gjennom Den norske atlantehavsstrømmen. Dette er årsaken til at de første stasjonene er i kystvann og de ytterste befinner seg i atlantisk vann. Tabell 2.1 angir stasjoner på snittet det ble tatt prøver eller gjort målinger fra.

Tabell 2.1 Tabellen viser posisjon (WGS84), sonardyp (m) og distanse fra Svinøy fyr (km) for stasjonene langs Svinøysnittet det ble hentet vannprøver eller foretatt målinger fra.

<i>Stasjon</i>	<i>Posisjon</i>	<i>Sonardyp</i>	<i>Distanse fra Svinøy fyr</i>
1	N62°22,03 Ø005°12,10	158	5,58
2	N62°29,07 Ø004°56,57	196	24,21
3	N62°36,17 Ø004°41,26	186	42,75
4	N62°43,28 Ø004°26,20	183	61,12
6	N62°50,32 Ø004°10,48	615	79,75
8	N62°57,40 Ø003°55,21	824	98,13
9	N63°04,40 Ø003°39,61	968	116,56
10	N63°11,33 Ø003°23,87	1006	134,95
11	N63°18,55 Ø003°08,12	1070	153,69
12	N63°25,54 Ø002°52,30	1185	172,13
13	N63°39,80 Ø002°20,49	1433	209,35
14	N63°53,79 Ø001°47,77	1790	246,6
15	N64°08,09 Ø001°15,87	2408	283,62
16	N64°22,16 Ø000°43,81	2521	320,28
17	N64°41,24 V000°00,16	2710	368,34

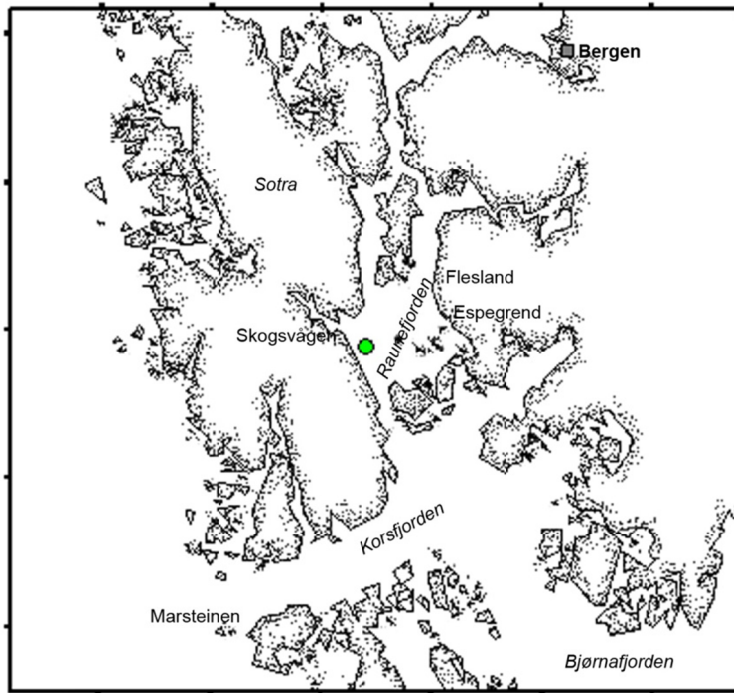
2.1.2 Raunefjorden

Raunefjorden er en fjord, eller et bredt sund, som går mellom Sotra i vest og Bergenshalvøyen i øst (Figur 2.2). Fjorden er ca. 15 km lang, og strekker seg fra Korsfjorden og Lerøyosen ved Lerøy og Bjelkarøy i sør til Byfjorden i nord. I den nordre delen blir fjorden delt i to av øyene Bjorøy og Tysøy. Raunefjorden har terskeldyp på ca. 114 meter ved Lerøy i sør og ca. 90 meter i nord. Størst dyp er på ca. 240 meter i vest nær Skogsvågen på Sotra. Via Korsfjorden har Raunefjorden forbindelse med kysten ved Marsteinen fyr i sørvest. I sørøst er det forbindelse med Bjørnafjorden, samt med Hardangerfjorden i sør gjennom Langenuen som går mellom Stord og Tysnes.



Figur 2.2 Kartet viser Raunefjorden og dens forbindelse med kysten og andre fjordsystemer. Prøvetakingssted i Raunefjorden er angitt med grønn markør.

Prøvetakning i Raunefjorden ble gjort nær Skogsvågen i vest (N60°15,587, Ø005°08,448) (Figur 2.3). Prøvetakningsstedet ble valgt med tanke på at det er ved eller i nærheten av fjordens dypeste punkt, samt beliggenhet i praktisk rekkevidde fra Marinbiologisk stasjon Espegrend hvor Universitetet i Bergens fartøy Aurelia er stasjonert og driftes fra.



Figur 2.3 Kartutsnittet viser prøvetakningssted i Raunefjorden angitt med grønn markør.

2.2 Prøvetaking

2.2.1 Raunefjorden

Samtlige sjøvannsprøver brukt i de forskjellige analysene ble tatt ved Skogsvågen på vestsiden av Raunefjorden ved hjelp av fartøyet Aurelia. Prøvetakningsstedet ble for hver prøvetakningsdag verifisert ved hjelp av GPS.

Vannprøver ble hentet ved hjelp av standard vannhenter og hydraulisk vinsj. Riktig dyp ble funnet ved hjelp av vinsjens telleverk som målte vaierlengde. Telleverket ble i forkant av hver prøvetakning nullstilt i forhold til vannflaten. Da vannhenteren var på riktig dyp, ble et slipplodd ført ned langs vaieren som utløste vannhenterens lukningsmekanismer i topp og bunn. Sjøvannsprøven ble overført fra vannhenteren til en plastbeholder som i forkant ble skylt to ganger med sjøvann fra prøven. Sjøvannsprøvene ble umiddelbart transportert til

Biologisk institutt ved Universitet i Bergen for videre behandling. Det ble tilstrebet at sjøvannsprøvene ble skjermet for direkte sollys eller andre lyskilder under transport, eller mens det ble tatt andre målinger. Prøvene ble hver dag tatt i tidsrommet mellom klokken 10:00 og 12:00. Variasjonen i prøvetakingstidspunkt kom av at fartøyet på samme tid ble benyttet til andre oppdrag.

2.2.2 Svinøysnippet

Prøvetakning på Svinøysnippet ble tatt ved hjelp av fartøyet Håkon Mosby som drives av Havforskningsinstituttet. Fartøyet var utstyrt med vinsj som gav mulighet for signaloverføring via vaier. Målinger og prøvetakning ble gjort ved hjelp av karusell med påmonterte vannhenter og CTD-sonde. Vannhenterne baserte seg på samme prinsipp som benyttes på Aurelia ved Espegrend, men utløses i stedet elektronisk fra overflaten. Korrekt dybde for prøvetaking ble gitt fra vinsjens elektroniske telleverk. Dette telleverket ble på samme måte som for prøvetakningen i Raunefjorden nullstilt ved havoverflaten. Dybden ble samtidig verifisert ved hjelp av dataoverføring fra CTD-sondens trykksensor. Prøver og målinger fra Svinøysnippet ble tatt fortløpende og det er av den grunn stor variasjon på hvilken tid på døgnet disse ble tatt.

2.3 Hydrografi og fluorescens

Temperatur, konduktivitet og dyp i Raunefjorden ble målt ved bruk av kalibrert SAIV/CTD. CTD-sonden ble senket ned til 100 meters dyp i en hastighet av ca. $0,3 \text{ m s}^{-1}$ ved hjelp av vinsjen på fartøyet Aurelia. På Håkon Mosby, som ble benyttet for målinger på Svinøysnippet, ble målingene utført ved bruk av Seabird CTD SBE 911pluss og registrert direkte ved hjelp av dataoverføring gjennom vire. Data ble verifisert umiddelbart etter prøvetakning samt redigert i etterkant. Med redigering menes at kun data fra nedsenkningen av sonden ble brukt til videre analyse. Fluorescens ble på samme tid målt ved hjelp av CTD-sondenes Seapoint Chlorophyll Fluorometer. Fluorometeret bruker eksitasjonsbølgelengde på 470 nm og måler emisjon på 685 nm. Prøvevolumet på 340 mm^3 var åpent for omliggende sjøvann, og sirkulasjonen av sjøvann under nedsenkningen gav derfor en kontinuerlig måling gjennom vannsøylen.

Emisjon mellom 683 og 685 nanometer er karakteristisk for klorofyll *a* (Cowles, Desiderio et al. 1993) og kunne derfor brukes til å gi en kvantitativ verdi for in vivo klorofyll *a* i fytoplankton i de målte vannmassene (Gordon 1979; Gregor og Marsalek 2004).

2.4 Siktedyp

Siktedyp ble målt ved å senke en Secchi-skive festet til line med lengdemarkører ned i vannet på prøvestedet. Secchi-skiven er en hvit plate på 25 cm meter som benyttes til å avgjøre transparensen til sjøvann ved å visuelt observere reflektert lys fra platen (Tyler 1968). Avlesning av lengdemarkører på linen ble gjort fra punktet linen berørte vannflaten når skiven var på størst synlige dyp. Det ble tilstrebet å gjennomføre avlesning på fartøyets skyggeside, men på grunn av avdrift lot ikke dette alltid seg gjennomføre. Siktedyp ble ikke utført under alle prøvetakninger siden bølgehøyde sammen med reflektert lys fra vannoverflaten i blant gjorde avlesning umulig.

2.5 Vind

Vinddata fra Flesland ble hentet fra Meteorologisk institutts vær- og klimadatabase “eKlima” på Internett. Data ble sortert i Microsoft Excel og deretter eksportert til Matlab som ble benyttet til å fremstille data grafisk som vektorer for vindstyrke- og retning.

2.6 Nærings salt

Vannprøver fra Raunefjorden for de løste nærings saltene nitrat, nitritt, fosfat (ortofosfat) og silikat ble prefiltrert gjennom Anodisc med porestørrelse på 0,2 μm og deretter fryst ned i kjemisk inerte plastflasker. Analyse av vannprøvene ble utført av Havforskningsinstituttet ved bruk av metode tilpasset AutoAnalyzer fra Chemlab Instruments (Strickland og Parsons 1972).

2.7 Klorofyll *a*

Før oppmåling av prøvemateriale ble beholderne med sjøvannsprøver vendt flere ganger for å sikre et homogent prøvevolum. Volum ble bestemt ut i fra siktedyp og tetthet av fytoplankton observert ved hjelp av in situ fluorescensmålinger fra CTD. Ved svært tynne prøver ble inntil

500 mL prøvevolum benyttet, men for de fleste prøver var filtreringsvolumet 100 mL. Filteroppsats av glass var forbundet til vakuumpumpen via silikonslanger. For hvert prøvedyp ble det gjort tre parallelle filtreringer på GF/F med 0,7 µm porestørrelse. Etter filtrering ble filtrene enten brettet i to og pakket inn aluminiumsfolie eller rullet inn i Cellstar plastrør med kork. Det ble benyttet to forskjellige innpakninger fordi noe av filtreringen ble utført ved Marinbiologisk stasjon ved Espevrend der det var begrenset nedfrysingskapasitet. Filtrene ble oppbevart kontinuerlig nedfrost frem til analysering. Under oppbevaringsperioden ble filtrene beskyttet mot eventuell lyspåvirkning ved hjelp av aluminiumsfolie. Enkelte av filtrene ble oppbevart i inntil 2 måneder før analyse, men lang oppbevaringstid gav ikke signifikant forskjell mellom paralleller av samme prøve analysert på ulike tidspunkt.

Analyse av klorofyll *a* ble utført ved bruk av 90 % aceton løsemiddel og 10 % saltsyre (HCl) til korrigering av phaeopigmenter (Parsons, Maita et al. 1984) på 10-AU Fluorometer produsert av Turner Designs. I forkant av analyse ble prøvene tatt ut av fryseskap og direkte tilsatt 10 mL 90 % aceton. Prøvene ble deretter oppbevart innpakket i aluminiumsfolie i kjøleskap (5 °C) i 19 – 24 timer frem til neste dag. Stativene med rør og filter ble deretter vendt 3 ganger for å blande prøvene, før prøvematerialet ble overført prøvemateriale til en glasskvyette. Etter avlesning ble 2 dråper 10 % HCl tilsatt, og prøven ble avlest på ny. To blankprøver ble avlest i forkant av hver serie med prøver. Det ble tilstrebet å skjerme prøvene for lys mens analysering pågikk.

Konsentrasjon av klorofyll *a* ble gitt av formlene (Parsons, Maita et al. 1984):

$$\mu\text{g klorofyll } a \text{ mL}^{-1} = \frac{r}{r-1} \times (R_b - R_a) \frac{v}{V}$$

R_a = avlesning etter tilsatt HCl

R_b = avlesning før tilsetning av HCl

v = volum ekstrahert (10 mL)

V = volum filtrert

r = syrefaktor (1,94)

Syrefaktoren r ble gitt av J. K. Egge og varierer med kalibrering av fluorometeret.

2.8 Partikkelbundne elementer

Kvalitativ og kvantitativ analyse av grunnstoffene karbon, nitrogen, kalsium, fosfat og jern i partikler på filter ble utført ved å måle karakteristisk stråling av røntgenfluorescens (XRF).

Røntgenstråler er elektromagnetisk stråling på lik linje med synlig lys. Men der synlig lys har bølgelengde mellom 380 til 750 nm, har røntgenstråling bølgelengde mellom 0,01 til 12 nm. Energi er relatert til elektromagnetiske bølger ved formelen (Lifshin 1999):

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

h = Plancks konstant

ν = frekvens

c = lysets hastighet i vakuum

λ = bølgelengde

som gir (Lifshin 1999; Schlotz og Uhlig 2006):

$$E (keV) \approx \frac{1,24}{\lambda (nm)}$$

Røntgenstrålenes korte bølgelengde gir strålingen høyere fotonenergi. Dette gjør at strålingen får ioniserende egenskaper dersom fotonene har høyere energi enn det som skal til for å rive elektroner løs fra sine orbitaler i atomet. Røntgenstråler har energi mellom 0,11 og 100 keV, i motsetning til synlig lys der fotonene har energi mellom 0,0017 og 0,0033 keV (Schlotz og Uhlig 2006). Når et atom har mistet et elektron fra de innerste orbitalene (K- eller L), går det inn i en svært ustabil energitilstand. Elektroner fra høyere orbitaler rearrangeres umiddelbart for å dekke tapet av elektronet som mangler nær kjernen. Energien fra denne prosessen emitteres i form av et foton som enten gir sekundærfluorescens som kan detekteres, eller blir absorbert av et elektron i valensorbitalen på grunn av Auger-effekten (Lifshin 1999). Energien og derav bølgelengden til det fluorescerende fotonet avgjøres av energiforskjellen mellom orbitalen elektronet kom fra og orbitalen det falt til. Dette avhenger igjen av antallet protoner i atomets kjerne (Schlotz og Uhlig 2006). Etersom hvert grunnstoff blir definert av antall protoner i kjernen, blir den fluorescerende røntgenstrålingen karakteristisk for elementsammensetningen i prøven (Schlotz og Uhlig 2006).

Vannprøver tatt for røntgenfluorescens ble bearbeidet umiddelbart etter prøvetakning for å redusere risikoen for at partikler skulle gå i oppløsning og i så måte passere gjennom filterne eller endre kjemisk sammensetning. Sjøvann ble målt opp ved hjelp av målekolbe og filtrert volum ble basert på tettheten av plankton observert på filtre med samme prøvemateriale til bruk i analyse av klorofyll og til elektronmikroskopi. For å unngå re absorbering av sekundær fluorescens ble det tilstrebet at filtrene etter filtrering ikke skulle inneholde mer enn ett lag med celler. I forkant av hver oppmåling ble beholdere med sjøvannsprøver blandet for å sikre at prøvematerialet var homogent. Til filtrering ble det benyttet filteroppsats av glass forbundet med vakuumpumpe via silikonslanger. Etter filtrering ble filtrene lagt til lufttørring før de ble oppbevart i Millipore Pertri Slides frem til analysetidspunkt. Blankfiltre ble behandlet på samme måte som filtre med prøvemateriale. Men sjøvannet som ble benyttet i blankfiltreringen var på dobbelt prefiltrert først gjennom Anodisc med 0,2 µm porestørrelse og videre med 0,02 µm porestørrelse.

Analyse av filtrene ble utført ved hjelp av instrumentet S4 PIONEER produsert av Bruker AXS. Filtrene ble overført fra Petri Slides til prøvekoppe av metall ved hjelp av pinsett for å unngå eventuell forurensning. Filtrene ble i størst mulig grad plassert i midten av koppen for å unngå at filterets rand uten prøvemateriale skulle bli regnet med i analyseresultatene. Tre parallelle filtre for hver filtertype og dyp ble analysert. I tillegg ble tre blankfiltre av hver filtertype analysert for beregning av filterets bidrag til sekundærfluorescens. På grunn av filtrenes elementsammensetning ble fire forskjellige filtertyper tatt i bruk: GF/F, Polycarbonat, Anodisc og Teflon. Det ble tilstrebet å benytte filtre som gav lavest sekundærfluorescens og best resultater for gitt grunnstoff (Tabell 2.2).

Tabell 2.2 Tabellen viser hvilke filtre som ble benyttet til filtrering av vann for gitt grunnstoff.

<i>Filtertype</i>	<i>Porestørrelse</i>	<i>Diameter</i>	<i>Grunnstoff</i>
GF/F	0,7 µm	47 mm	karbon, nitrogen
Polycarbonat	0,6 µm	47 mm	silisium, kalsium
Teflon	0,45 µm	47 mm	fosfor

Utregning av elementsammensetning i prøvene basert på analysedata fra Bruker AXS PIONEER 4 ble gjort ved hjelp av Microsoft Excel-script og kalibreringsfil laget av Svein Nordal. Her ble verdier for blankfiltre og varierende prøvevolum tatt i betraktning.

2.9 Statistiske begrep

Middelverdi

Middelverdi betegnes ofte som aritmetisk middelverdi og angir sentraltendens eller beliggenhet for en samling observasjoner. Middelverdi ble beregnet for alle målinger med røntgenfluorescens og klorofyll *a*.

Dersom x_1, x_2, \dots, x_n er observasjoner i en populasjon eller et utvalg av totalt n observasjoner, beregnes middelverdien av observasjonene, \bar{x} , ved formelen (Burtis, Tietz et al. 2001):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x$$

Standardavvik

Standardavviket er et statistisk mål som forteller hvor stor spredningen av verdiene i en populasjon er rundt middelverdien, og defineres som kvadratroten av variansen.

Standardavviket (SD) angis ved formelen (Burtis, Tietz et al. 2001):

$$SD = \sqrt{\frac{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}{n - 1}}$$

Konfidensintervall

Konfidensintervallet for middelverdien er et intervall hvor en med spesifisert sannsynlighet vil fange den sanne populasjonsmiddelverdien. Et 95 % konfidensintervall ble beregnet for verdiene som hadde tre eller flere målinger. Dette konfidensintervallet angir med sannsynlighet på 0,95 den sanne verdien for klorofyll *a* i den angitte målingen.

$1 - \alpha$ 100 % konfidensintervall for μ når σ er ukjent angis ved formelen (Frisvold og Moe 2004):

$$\bar{x} - t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

\bar{x} = middelværdi

μ = populasjonsmiddelværdi

s = utvalgsstandardavvik

$t_{\alpha/2}$ = t-verdi med $n - 1$ frihetsgrader og et haleareal av størrelse $\alpha/2$ til høyre.

2.10 Elektronmikroskopi

Arts- og familiebestemmelse av plankton til stede i vannprøver ble gjort ved hjelp av skanning-elektronmikroskop (SEM) for lettere å kunne skille de forskjellige artene fra hverandre, samt for å kunne registrere de minste cellene og partiklene. Elektronmikroskopi ble også valgt fremfor lysmikroskopi på grunn av elektronmikroskopets høyere oppløsning (Langvad 2006) og enklere mulighet til å arkivere prøvene for eventuell videre analyse. Til arts- og familiebestemmelse ble i hovedsak JEOL SCM 6400 benyttet. Mens det til billedtakning i tillegg til JEOL SCM 6400 ble benyttet ZEISS Supra 55VP som har fordelsmessig oppløsning og bildekvalitet. Begge mikroskopene tilhører Det matematiske naturvitenskapelige fakultet og er lokalisert på Elektronmikroskopisk felleslaboratorium ved Universitetet i Bergen.

Preparater for elektronmikroskopi ble tatt fra samme sjøvannsprøver som øvrige analyser. Beholdere med sjøvannsprøver ble vendt gjentatte ganger for å sikre at prøvene var homogene. Deretter ble sjøvann til filtrering oppmålt ved hjelp av målesylinder. Prøvevolum ble variert i forhold til prøvens tetthet, og dette ble korrigert for under mikroskopering. Sjøvannsprøver ble deretter overført til filtreringssats av glass forbundet med vakuumpumpe via silikonslanger. Filter som ble benyttet til elektronmikroskopi var polykarbonat membranfilter med 0,6 μm porestørrelse. Etter filtrering ble filtrene lagt til lufttørring før de ble oppbevart i Cellstar-plastrør med kork inntil videre preparering.

I forkant av mikroskopering ble filtrene beskåret og montert på aluminiumsnagler ved hjelp av dobbeltsidig elektrisk ledende karbonteip. For å unngå at høyspenning skulle bygge seg opp i prøvene, og som en kilde til sekundærelektroner, ble prøvene dekket med et lag av metall på mellom 20 til 30 nm tykkelse ved hjelp av sputter coating. Til dette ble en legering

av gull og palladium brukt. Aluminiumsnagler med prøver ble plassert inn i et kammer som ble evakuert til nær vakuum og deretter fylt med argongass. Dette ble gjentatt flere ganger for å sikre at nær alle vann- og oksygenmolekyler som kunne ødelegge overflaten på prøvene var fjernet. Deretter ble kammeret med vakuum tilført en jevn strøm av argon og satt under høyspenning. Høyspenningen ioniserte argon til Ar^+ og e^- som igjen slo løs gull- og palladiumatomer. Metallatomene ble sendt i tilfeldige retninger fra kollisjoner med ioner i kammeret; og de som festet seg til prøvematerialet ble på den måten lagt i et jevnt lag som dekket mikroformasjoner i prøvematerialet (Bozzola og Russell 1999).

Hver prøve ble mikroskopert på minimum tre ulike forstørrelser: 3500-, 1200- og 250 gangers forstørrelse. Forstørrelser utover dette ble benyttet ved behov. Observert fytoplankton ble for hver prøve notert i tilhørende arts- eller slektsgruppe gradert i en relativ skala i forhold til antall celler, størrelse og volum filtrert prøve. Fytoplankton ble slekts- og artsbestemt i henhold til: Holmes, Crawford et al. 1982; Young, Geisen et al. 2003; Sarno, Kooistra et al. 2005 og Throndsen, Tangen et al. 2007.

2.11 Dataanalyse

Hydrografidata fra CTD ble avlest og lagret som tekstdokument ved hjelp av programmet MiniSoft SD200W fra SAIV A/S. Data ble deretter sortert i Microsoft Excel og alle verdier med unntak fra nedsenkningen av CTD-sonden ble fjernet. Videre ble data eksportert til standard tekstdokument for bruk i beregning av isoplot i MathWorks Matlab. Andre grafiske datafremstillinger enn isoplot og vektordiagram ble fremstilt ved hjelp av Microsoft Excel.

2.12 Kart

Alle kart brukt i prosjektet ble generert fra vektorer ved hjelp av Matlab og tilleggsverktøyene i M_Map versjon 1.4e. Vektordata som ble brukt var Shorelines versjon 1.5 utgitt av National Geophysical Data Center (NGDC) under USAs handelsdepartement og National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA). Kartene ble etterbehandlet i Adobe Photoshop CS5.

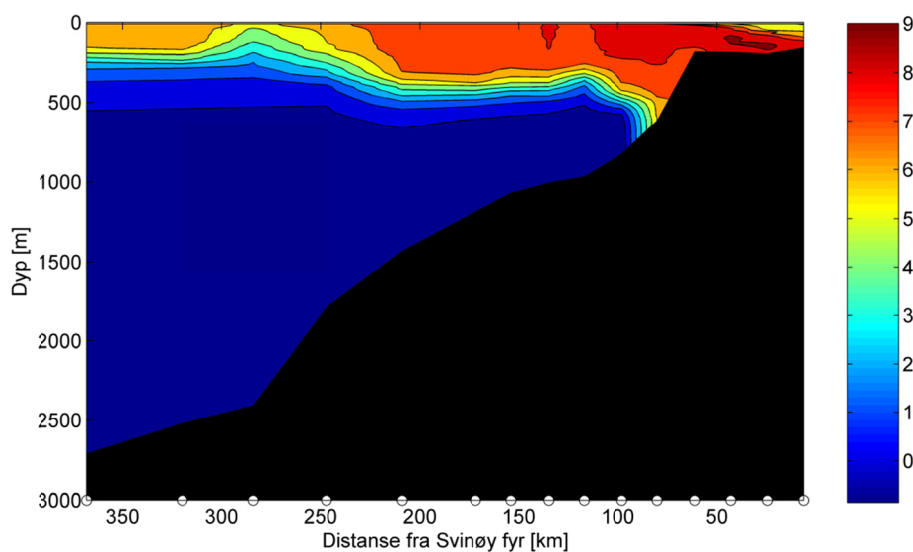
3 Resultater

3.1 Svinøysnittet

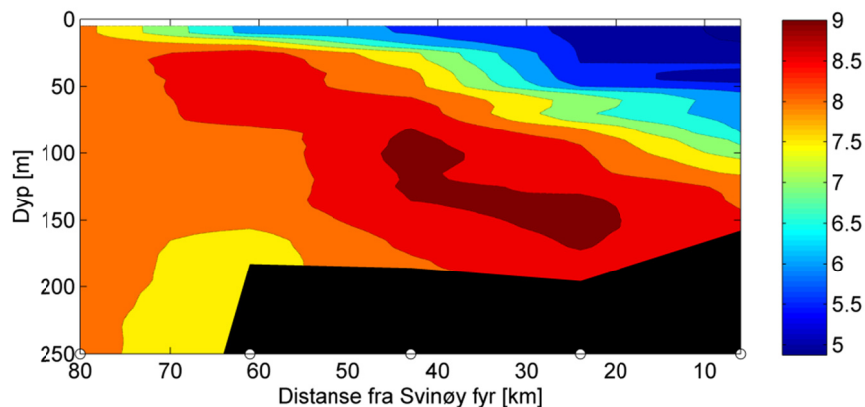
3.1.1 Hydrografi og fluorescens

Temperatur

Vanntemperaturen langs Svinøysnittet var betydelig høyere i de øvre 500 meterne av vannsøylen enn i dypet (Figur 3.1). Vannet mellom stasjon 6 til stasjon 11, fra 80 til 154 km fra Svinøy fyr, hadde i prøvetakingstidspunktet høyeste overflatetemperatur (målt på 5 meters dyp) langs snittet. I området mellom disse stasjonene hadde vann nær overflaten temperatur mellom 7,9 og 8,4 °C. Det varmeste vannet på opptil 9,2 °C befant seg i området mellom stasjon 2 og stasjon 4 (fra 24 til 61 km fra Svinøy fyr). Den varme vannmassen fantes på dyp mellom 80 til 180 meter under et kaldere lag av vann med temperatur fra 4,9 til 5,5 °C. Her var vann nær overflaten nedkjølt av kald luft fra land (Figur 3.1 og 3.2). I dypet fra 800 til 2800 meter var vanntemperaturen stabil fra -0,4 til -0,9 °C langs hele snittet, med laveste temperatur nær havbunnen. Ved stasjon 15, 284 km fra Svinøy fyr, når denne kalde vannmassen høyere opp i vannsøylen.



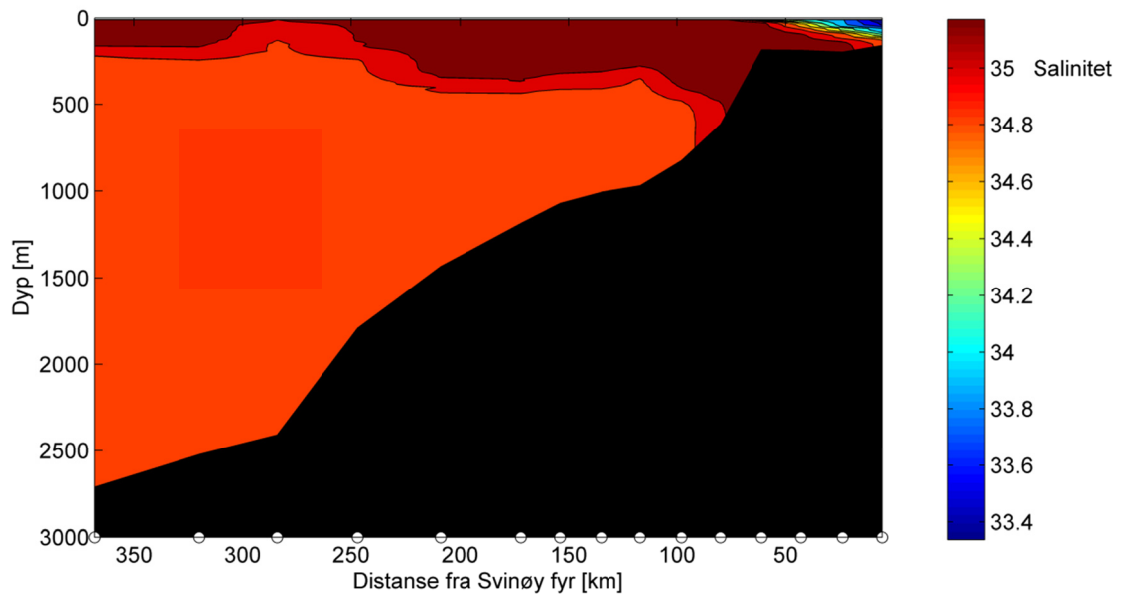
Figur 3.1 Isoplot av temperatur (°C) i vannmassene langs Svinøysnittet i perioden 25. til 27. februar 2010. Havbunnen er tegnet inn som svart felt. Figurens X-akse angir distanse fra Svinøy fyr (km) med avmerkede stasjoner.



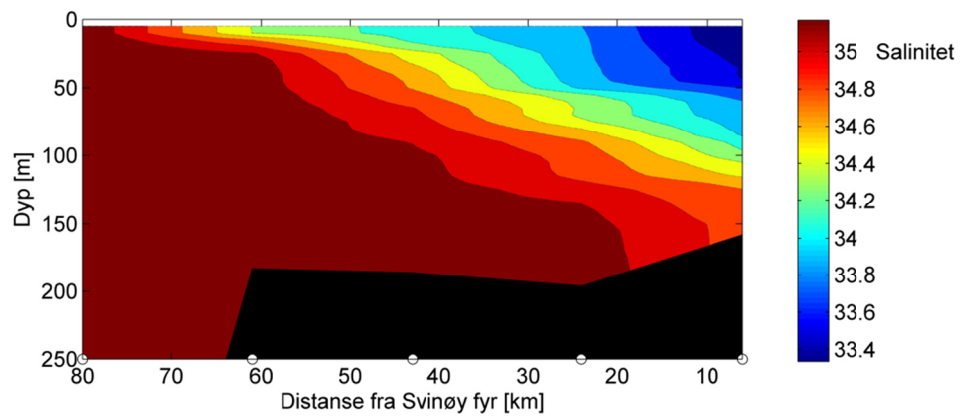
Figur 3.2 Utsnitt av Figur 3.1 fra stasjon 6 til 1. Isoplottet viser temperatur (°C) i vannmassene langs Svinøysnittet 25. februar 2010. Havbunnen er tegnet inn som svart felt. Figurens X-akse angir distanse fra Svinøy fyr (km) med avmerkede stasjoner.

Salinitet

Det mest saltholdige vannet befant seg i hovedsak i de 500 øverste meterne av vannmassene. Dette var med unntak av de fire mest kystnære stasjonene hvor det lå et felt av mindre saltholdig vann med salinitet fra 33,3 nær overflaten til 34,5 dypere ned (Figur 3.3 og 3.4). På stasjon 1, 6 km fra Svinøy fyr, gikk dette feltet helt ned til 110 meters dyp, mens det på stasjon 4, 61 km fra Svinøy fyr, kun befant seg i de 10 øverste meterne av vannsøylen. Under de mindre salte vannmassene nær land og ved overflaten utenfor stasjon 4, fantes det mest saltholdige vannet langs snittet med salinitet opp til 35,4; mens vannmassene i dypet hadde en saltholdighet like over og under 34,9 (Figur 3.3). Ved stasjon 15, 284 km fra Svinøy fyr og videre ut snittet, rakk det saltholdige dypvannet høyere opp mot overflaten enn lengre inne mot land.



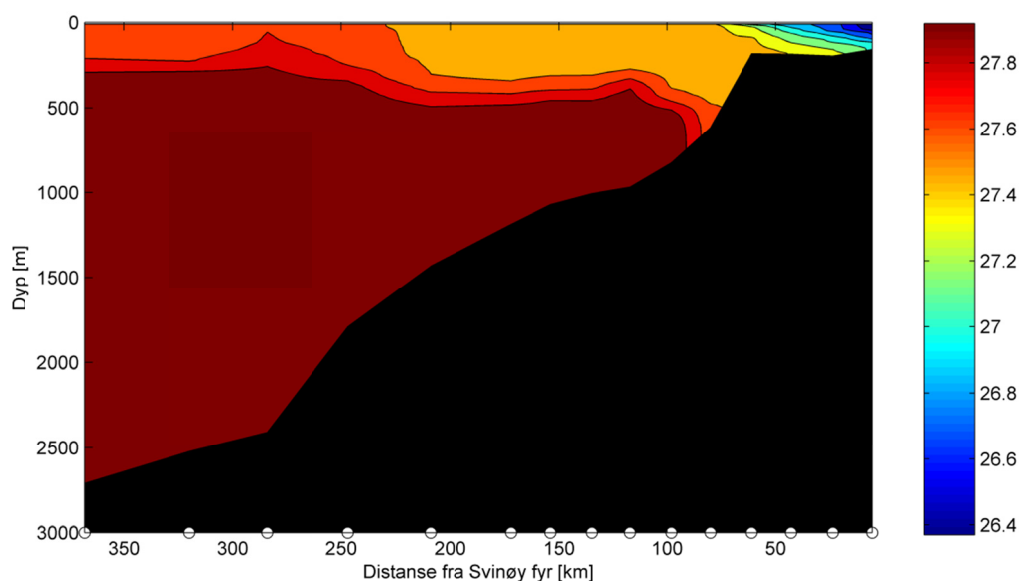
Figur 3.3 Isoplot av salinitet i vannmassene langs Svinøysnittet i perioden 25. til 27. februar 2010. Havbunnen er tegnet inn som svart felt. Figurens X-akse angir distanse fra Svinøy fyr (km) med avmerkede stasjoner.



Figur 3.4 Utsnitt av Figur 3.3 fra stasjon 6 til 1. Isoplottet viser salinitet i vannmassene langs Svinøysnittet 25. februar 2010. Havbunnen er tegnet inn som svart felt. Figurens X-akse angir distanse fra Svinøy fyr (km) med avmerkede stasjoner.

Tetthet

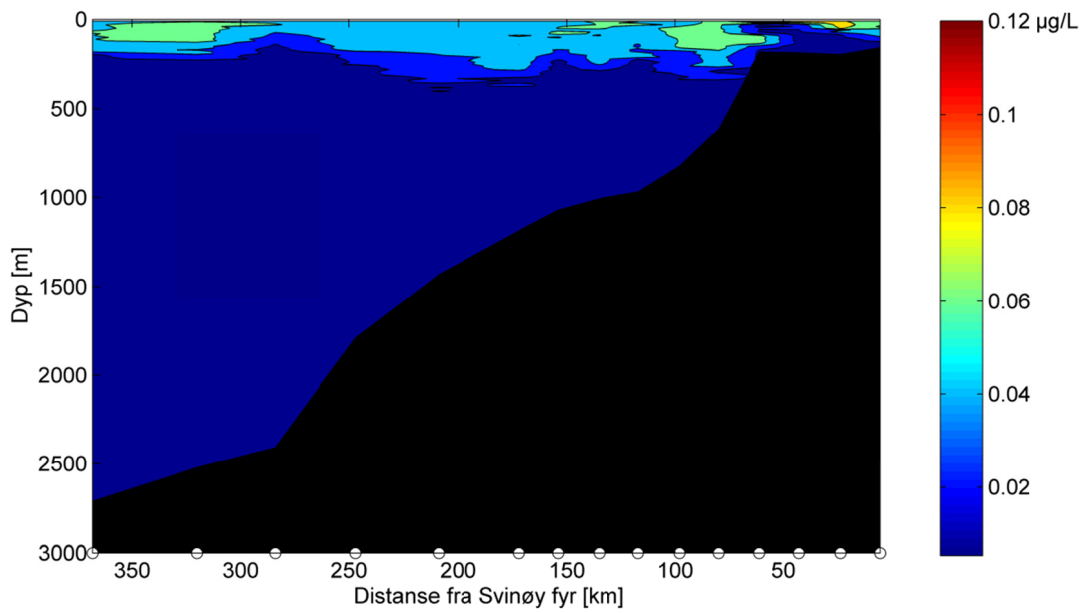
Figur 3.5 av tettheten til vannmassene langs Svinøysnittet viser en kileformet vannmasse fra stasjon 1 til stasjon 4 (61 km fra Svinøy fyr) med lavere tetthet enn ellers på snittet. Utenfor og til dels under denne vannmassen befant det seg et horisontalt felt på rundt 27,5 av middels tetthet i forhold til de øvrige vannmassene. Mellom stasjon 13 og 14 (ca. 230 km fra Svinøy fyr) økte tettheten på dette feltet. I dypet under vannmassene med lavere tetthet hadde vannet en stabilt høy tetthet på mellom 28,01 og 28,07.



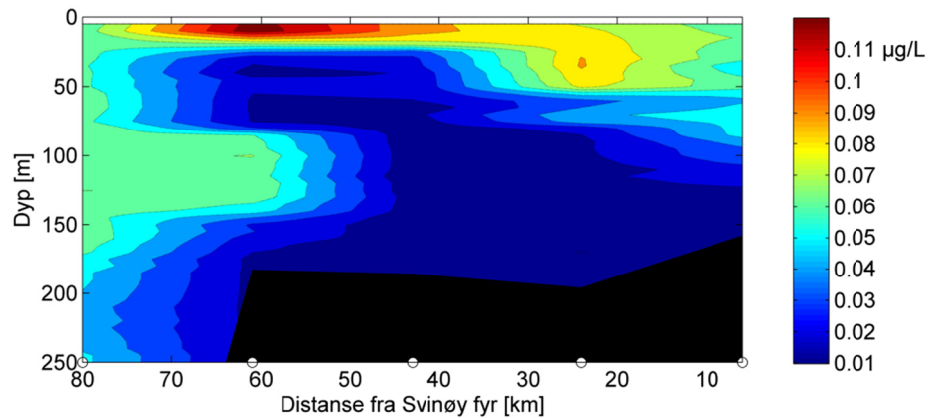
Figur 3.5 Isoplot av tetthet (σ_t) av vannmassene langs Svinøysnittet i perioden 25. til 27. februar 2010. Havbunnen er tegnet inn som svart felt. Figurens X-akse angir distanse fra Svinøy fyr (km) med avmerkede stasjoner.

Fluorescens

Det ble på alle stasjoner på Svinøysnittet funnet høyere verdier for fluorescens i de 300 øvre meterne av vannmassene enn i dyphavet der fluorescensen lå nær den nedre deteksjonsgrensen til måleutstyret (Figur 3.6). Høyest verdier ble funnet i de øverste 20 meterne 61 kilometer fra Svinøy fyr, på stasjon 4, og inn mot kysten (Figur 3.7). Det ble i tillegg til høy fluorescens blant de kystnære stasjonene, også observert forhøyede verdier mellom 80 og 98 kilometer fra Svinøy fyr (mellom stasjon 6 og 8) og mellom 284 og 368 kilometer fra Svinøy (mellom stasjon 15 og 17) (Figur 3.6).

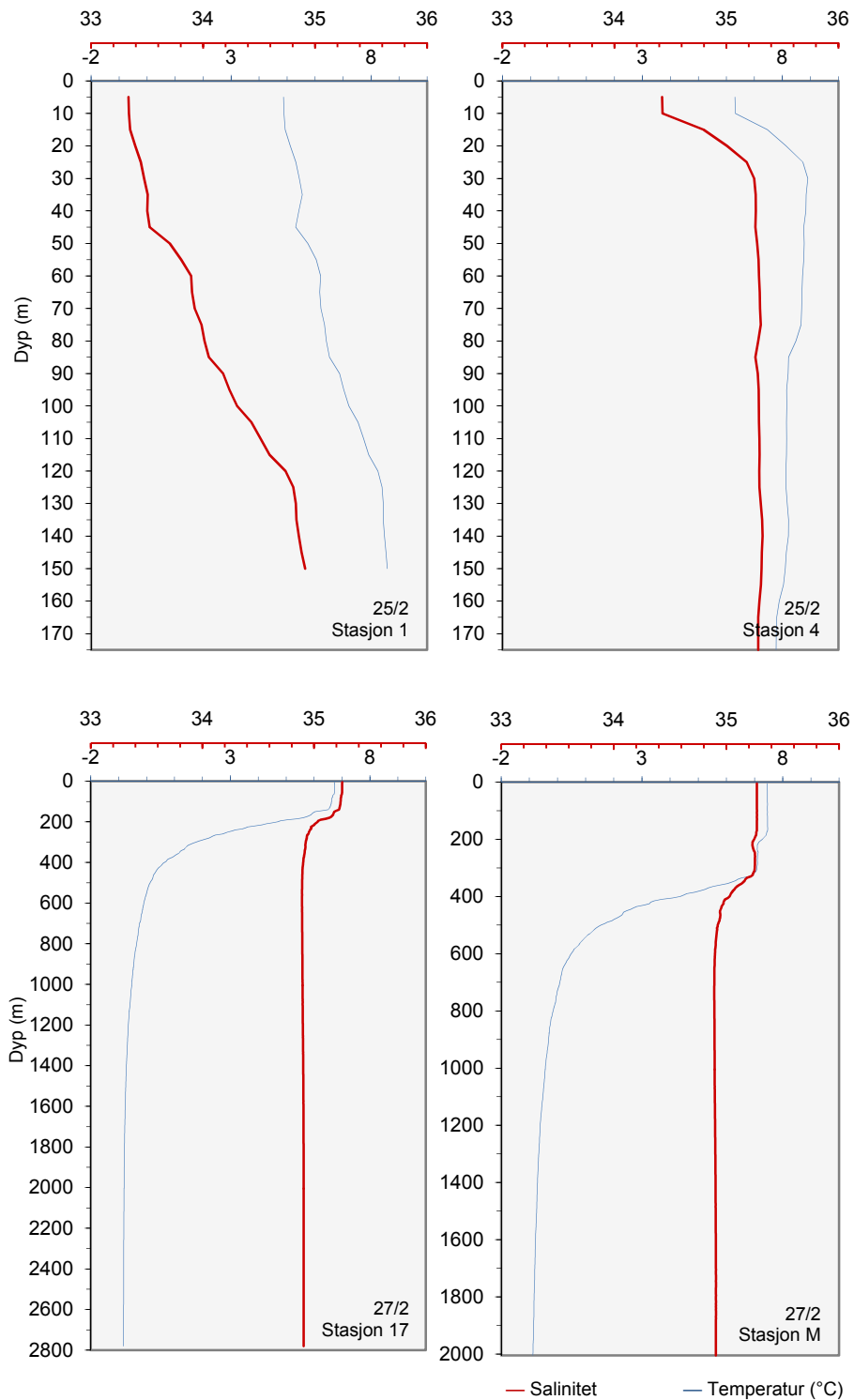


Figur 3.6 Isoplot av in vivo fluorescens angitt ved μg klorofyll a L^{-1} i vannmassene langs Svinøysnittet i perioden 25. til 27. februar 2010. Havbunnen er tegnet inn som svart felt. Figurens X-akse angir distanse fra Svinøy fyr (km) med avmerkede stasjoner.

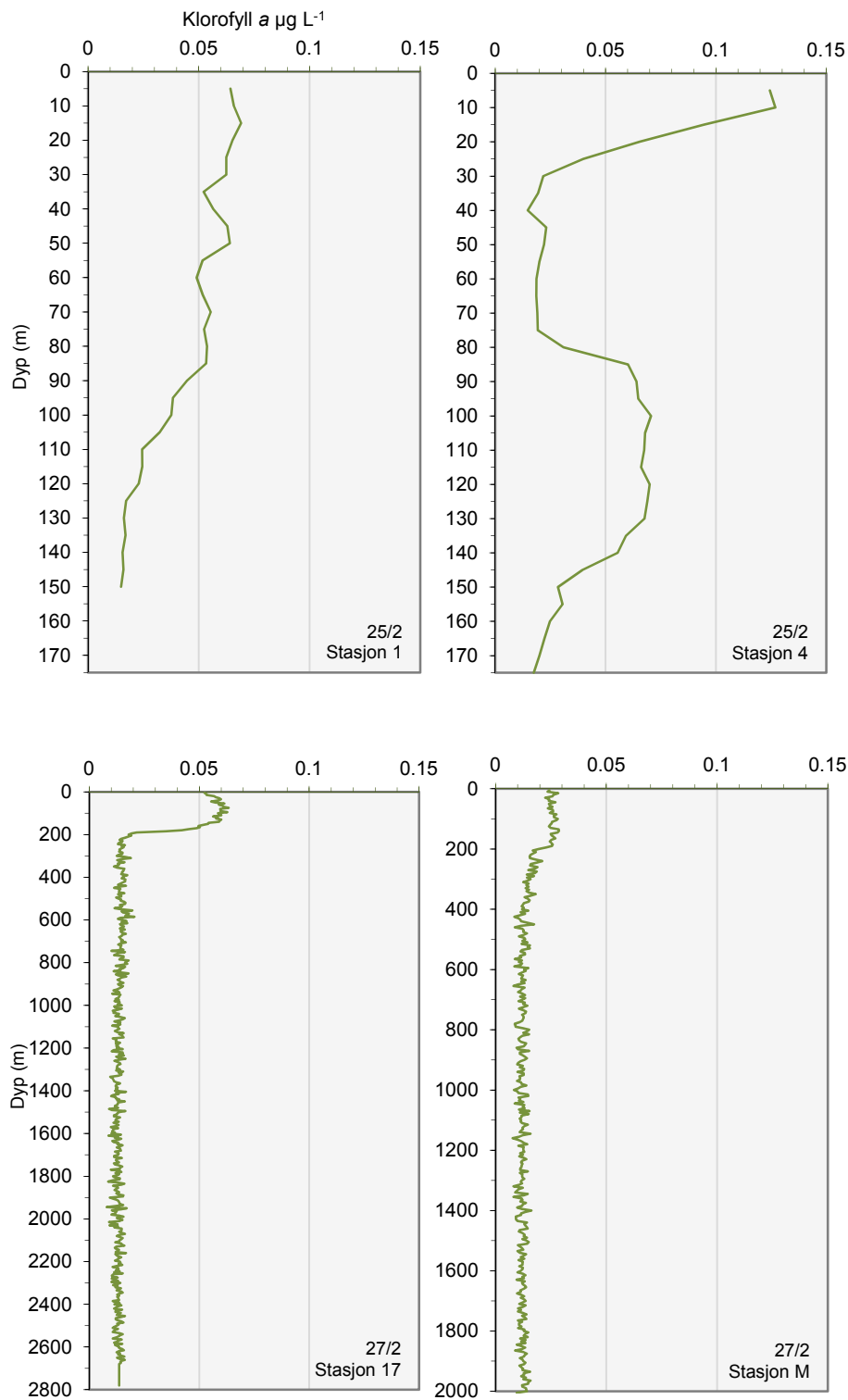


Figur 3.7 Utsnitt av Figur 3.5 fra stasjon 6 til 1. Isoplottet viser in vivo fluorescens angitt ved μg klorofyll a L^{-1} i vannmassene langs Svinøysnittet 25. februar 2010. Havbunnen er tegnet inn som svart felt. Figurens X-akse angir distanse fra Svinøy fyr (km) med avmerkede stasjoner.

Vertikalprofiler for temperatur, salinitet og klorofyll *a*



Figur 3.8 Vertikalprofiler for temperatur (blå linje) og salinitet (rød linje) på stasjon 1 (6 km), 4 (61 km) og 17 (368 km) samt på stasjon M.



Figur 3.9 Vertikalprofiler for in vivo fluorescens (μg klorofyll *a* L⁻¹) på stasjon 1 (6 km), 4 (61 km) og 17 (368 km) samt på stasjon M.

På stasjon 1, 6 kilometer fra Svinøy fyr, var vannmassene noenlunde gjennomblandet ned til 120 meters dyp hvor det fantes en svak haloklin. På stasjon 4, 61 kilometer fra Svinøy, var

vannmassene gjennomblandet ned til 125 meters dyp, der det oppstod en kraftig økning i salinitet og temperatur som forårsaket et sprannglag som befant seg på mellom 10 og 25 meters dyp. På stasjon 17 var vannmassene gjennomblandet ned til ca. 150 meter. Vannmassene på stasjon M hadde likhetstrekk med stasjon 17, men på stasjon M lå sprannglaget på ca. 330 meters dyp. Nedkjøling nær land medførte at vanntemperaturen nær overflaten på stasjon 1 og 4 var lavere enn i dypet, i motsetning til hva som ble observert for stasjonene 17 og M (Figur 3.8).

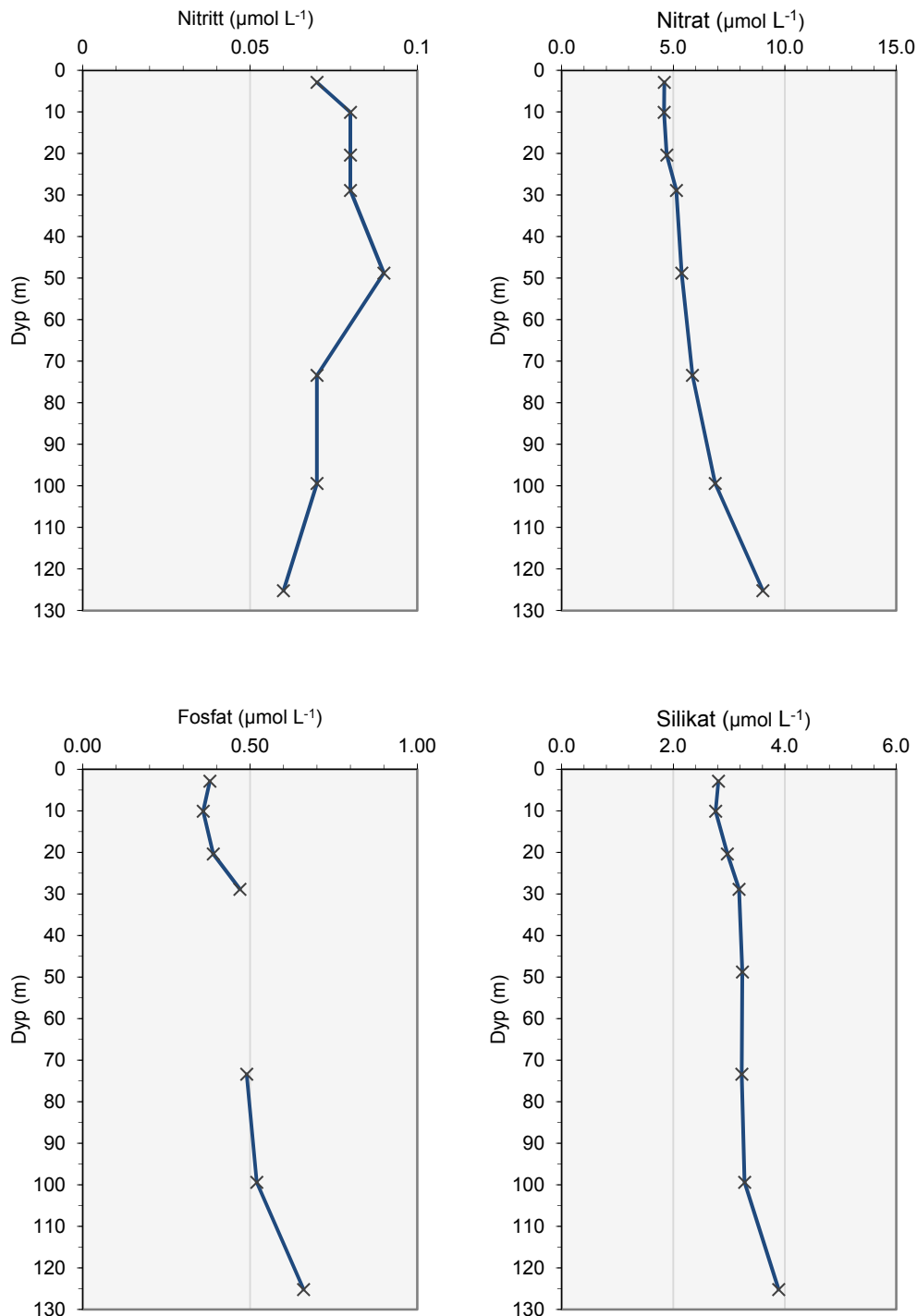
Fra figur 3.9, som viser vertikalprofiler for fluorescens på utvalgte stasjoner, kommer det frem at fluorescens fra klorofyll *a* var til stede på samtlige av stasjonene. På stasjon 1 vises høyest fluorescens, $0,07 \mu\text{g klorofyll } a \text{ L}^{-1}$, i de øvre vannmassene, men fluorescensen avtok gradvis med økende dyp. Stasjon 4 hadde høyest fluorescens blant alle stasjoner på snittet, med $0,13 \mu\text{g klorofyll } a \text{ L}^{-1}$ ned til og med 10 meters dyp. Fra 10 og ned til 30 meter avtok fluorescensen brått, hvor den ble liggende på lave verdier med unntak av området fra 75 til 150 meters dyp. På stasjon 17 var fluorescensen jevn mellom $0,05$ til $0,06 \mu\text{g klorofyll } a \text{ L}^{-1}$ ned til ca. 200 meters dyp der den brått avtok for så å ligge jevnt videre ned til havbunnen. Stasjon M hadde samme mønster som stasjon 17, men med lavere fluorescensverdier i de øverste 200 meterne av vannsøylen. In vivo fluorescens ble ikke justert i henhold til målte verdier av klorofyll *a*, og er i så måte å anse kun som en relativ skala.

3.1.2 Næringssalt

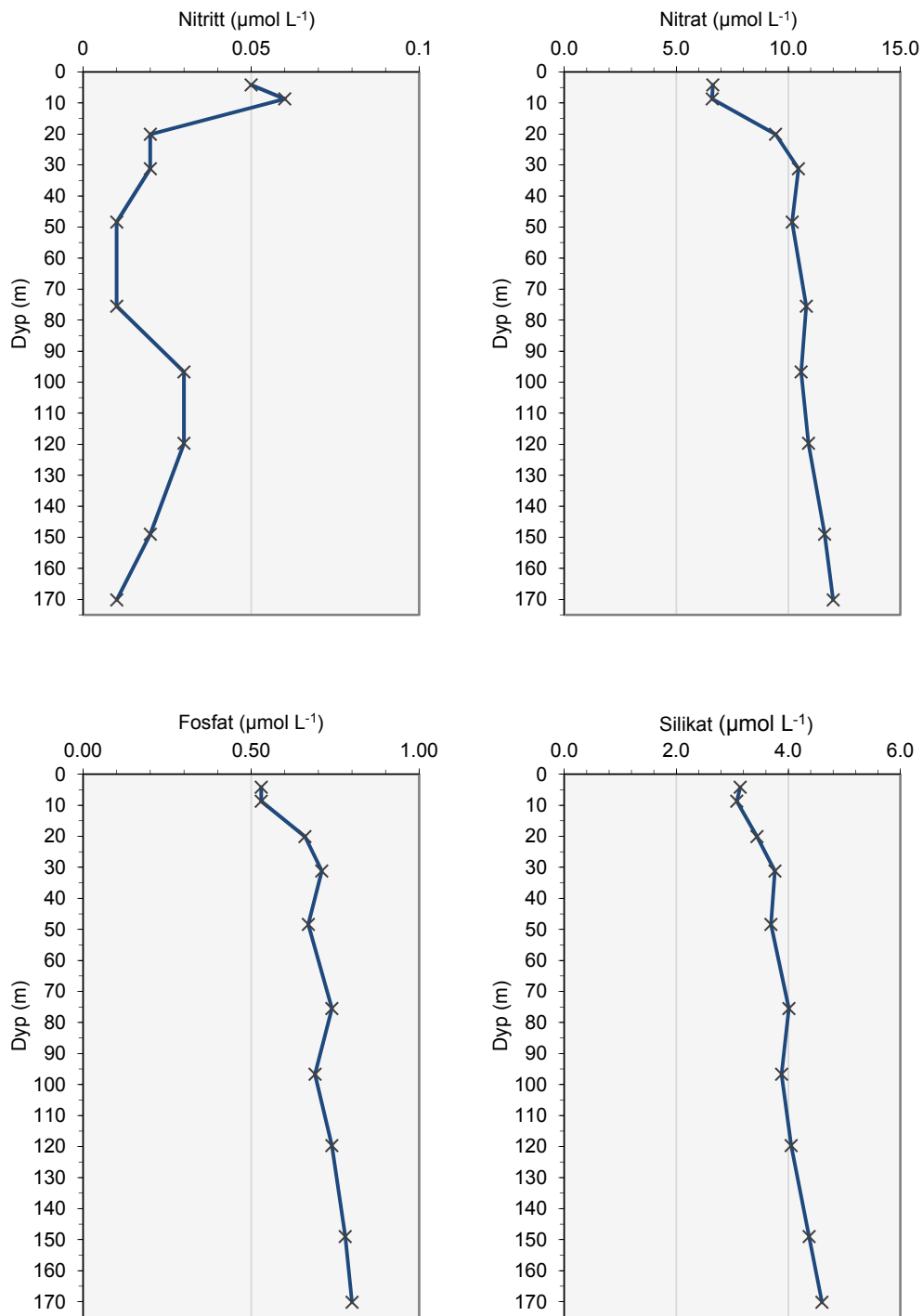
For stasjon 1, 6 km fra Svinøy fyr, viser figur 3.10 med unntak av for fosfat, jevne verdier for næringssalter fra overflaten og ned til stasjonens dypeste prøvetakningspunkt på 125 meter. Nitrat var på 3 meters dyp til stede i en konsentrasjon på $4,6 \mu\text{mol L}^{-1}$ og økte gradvis til $9,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ på 125 meters dyp. Silikat fantes i en svakt lavere konsentrasjon på gjennomsnittlig $2,9 \mu\text{mol L}^{-1}$ i de øverste 20 meterne enn på mellom 29 og 99 meters dyp, og økte fra 99 meter til $3,9 \mu\text{mol L}^{-1}$ på største prøvedyp på 130 meter. Fosfat fantes i de øverste 20 meterne av vannsøylen i en noe lavere konsentrasjon (gjennomsnittlig $0,38 \mu\text{mol L}^{-1}$) enn i resten av vannsøylen, der fosfat fantes på rundt $0,5 \mu\text{mol L}^{-1}$. Fra 99 til 125 meters dyp økte konsentrasjonen til $0,66 \mu\text{mol L}^{-1}$.

Ved stasjon 4, 61 kilometer fra Svinøy fyr, var forbruket av næringssalter i den øvre delen av vannsøylen høyere (Figur 3.11). På 4 meter var det $6,6 \mu\text{mol L}^{-1}$ nitrat og $0,53 \mu\text{mol L}^{-1}$ fosfat, mens det på 31 meters dyp var $10,5 \mu\text{mol L}^{-1}$ nitrat og $0,71 \mu\text{mol L}^{-1}$ fosfat til stede. Konsentrasjonen av silikat var på $3,1 \mu\text{mol L}^{-1}$ på 4 meters dyp. Ved 31 meters dyp var

silikatkonsentrasjonen $3,8 \mu\text{mol L}^{-1}$ hvor den gradvis økte til $4,6 \mu\text{mol L}^{-1}$ på 170 meters dyp. Nitritt viste en motsatt kurve som de øvrige næringssaltene, der konsentrasjonen var høyest i de øvre 9 meterne av vannsøylen samt mellom 97 og 120 meter.



Figur 3.10 Vertikalfordeling av næringssalter i vannsøylen ved stasjon 1, 6 kilometer fra Svinøy fyr, 25. februar 2010.

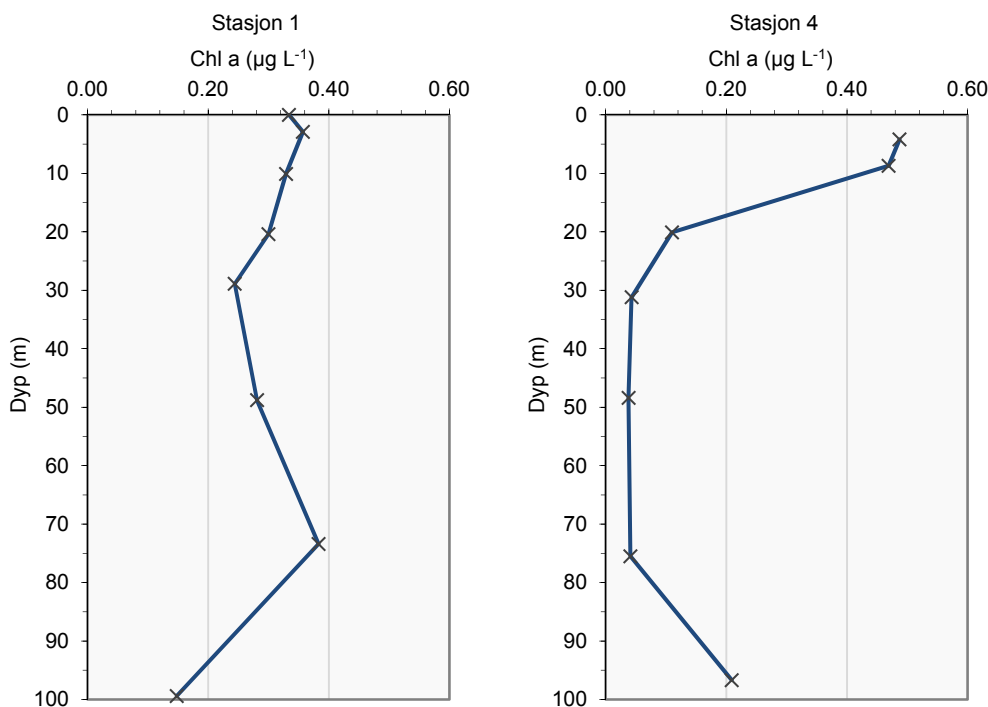


Figur 3.11 Vertikalfordeling av næringsalter ved stasjon 4, 61 kilometer fra Svinøy fyr, 25. februar 2010.

3.1.3 Klorofyll *a*

Vannsøylen ved stasjon 1, 6 km fra Svinøy fyr, viste svakt høyere verdier for klorofyll *a* nær overflaten enn for de underliggende 29 meterne. Ved overflaten ble det målt 0,33 $\mu\text{g L}^{-1}$ klorofyll *a* og dette ble redusert på 29 meters dyp til 0,24 $\mu\text{g L}^{-1}$. Fra 30 meters dyp steg klorofyll *a*-konsentrasjonen i vannet ned til 73 meter der konsentrasjonen var 0,38 $\mu\text{g L}^{-1}$, som er den høyest målte verdien for klorofyll *a* på stasjon 1, før den igjen sank til 0,15 $\mu\text{g L}^{-1}$ på 99 meters dyp. Ved stasjon 4, 61 kilometer fra Svinøy fyr, var klorofyllkonsentrasjonen i gjennomsnitt 0,48 $\mu\text{g L}^{-1}$ ned til og med 9 meters dyp, hvor den så gradvis sank til 0,04 $\mu\text{g L}^{-1}$ og forble stabil mellom 31 og 76 meters dyp. På 97 meters dyp hadde konsentrasjonen økt til 0,21 $\mu\text{g klorofyll } a \text{ L}^{-1}$ (Figur 3.12).

På stasjon 17 ble det kun foretatt én måling klorofyll *a* i overflaten der konsentrasjonen var 0,22 $\mu\text{g klorofyll } a \text{ L}^{-1}$.



Figur 3.12 Vertikalfordeling av klorofyll *a* ($\mu\text{g L}^{-1}$) ved stasjon 1 (6 km fra Svinøy fyr) og stasjon 4 (61 km fra Svinøy fyr), 25. februar 2010.

3.1.4 Planktonsammensetning

5 og 50 meters dyp, stasjon 1, 4, 17 og M

De utvalgte stasjonene 1, 4 og 17 samt stasjon M hadde et variert sammensatt samfunn av fytoplankton. Derimot var det ingen arter som dominerte i større grad, og det var stor spredning mellom cellene. Det var flere funn av celler og størst artsdiversitet i vannprøver tatt på 5 meter enn på 50 meters dyp, men de arter som totalt sett fantes i størst antall gikk i hovedsak igjen på begge dyp. På grunnlag av antall celler ble det funnet flest av *Arcocellulus cornucervis*, *Emiliana huxleyi*, *Phaeocystis pouchetii* samt en rekke forskjellige krageflagellater (Choanoflagellida). *P. pouchetii* ble i hovedsak funnet i vannprøver tatt lengst fra kysten, og på stasjon 17 og M var den dominerende art. Det var ikke noe vesentlig forskjell i antall av *P. pouchetii* mellom 5 og 50 meter. På samtlige stasjoner ble det også observert *Thalassiosira sp.*, *Coronosphaera mediterrana* og *Dictyocha speculum*, men i lavere antall en overnevnte arter (Tabell 3.1).

2000 meters dyp, stasjon M

På stasjon M ble det på 2000 meters dyp stort sett funnet en del løse coccolitter fra *Emiliana huxleyi*. Disse var i varierende forfatning fra å være nesten hele til å være mer eller mindre oppløst eller knuste. Noe mindre rester av diatomeer ble også funnet, samt noen fekalpellets og en hvilespore av *Chaetoceros sp.* Det ble ikke funnet hele celler på dette dypet.

RESULTATER

Tabell 3.1 Sammensetning av fytoplankton basert på skanning-elektronmikroskopi av prøver fra 5 og 50 meters dyp på stasjonene 1, 4 og 17 (6, 61 og 368 km fra Svinøy fyr) samt på 5, 50 og 2000 meters dyp på stasjon M. Prøvene er hentet i tidsrommet 25. til 27. februar 2010. Art eller klasse angis i tabellen ved hjelp av relativ skala fra 1 til 5 basert på antall og relativ celledørrelse der 1 representerer lavest forekomster.

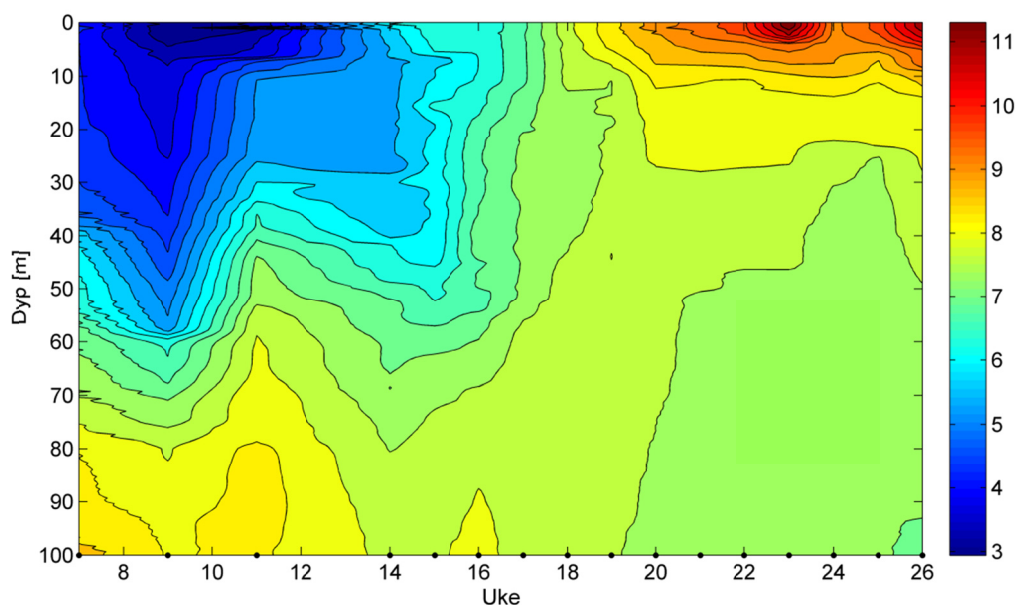
Stasjon	1		4		17		M		
Klasse / Art Dyp	5m	50m	5m	50m	5m	50m	5m	50m	2000m
Bacillariophyceae - Diatomophyceae									
<i>Arcocellulus cornucervis</i>	1	1	1		1	1	1	1	
<i>Chaetoceros atlanticus</i>						1			
<i>Chaetoceros densus</i>	1								
<i>Chaetoceros didymus</i>					1				
<i>Cocconeis</i> sp.	1	1							
<i>Ditylum brightwellii</i>				1					
<i>Minidiscus trioculatus</i>	1								
<i>Navicula</i> sp.			1						
<i>Nitzschia longissima</i>			1						
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	1	1	1				1	1	
<i>Rhaponeis amphiceros</i>					1	1			
<i>Rhizosolenia hebetata</i>					1				
<i>Skeletonema marinoi</i>	1		1						1
<i>Thalassionema</i> sp.	1		1		1				
<i>Thalassiosira</i> sp.	1	1	1	1	1	1			1
Choanoflagellida									
<i>Acanthocorbis campanula</i>	1		1						
<i>Bicosta minor</i>						1	1		
<i>Bicosta spinifera</i>				1					
<i>Calliantha simplex</i>		1	1	1					
<i>Callicantha natans</i>	1				1				
<i>Diaphanoeca sphaerica</i>			1		1	1	1	1	
<i>Parvicorbicula socialis</i>	1								
<i>Parvicorbicula quadricostata</i>									1
<i>Platypleura infundibuliformis</i>		1							
Chrysophyceae									
<i>Meringosphaera mediterranea</i>		1	1						
Coccolithophyceae - Prymnesiophyceae									
<i>Acanthoica quattrosipina</i>	1								
<i>Algiosphaera robusta</i>	1	1	1		1	1			1
<i>Calciopappus</i> sp.						1			
<i>Coronosphaera mediterranea</i>	1		1	1	1	1			1
<i>Emiliana huxleyi</i>	1	1	2	1	1	1	1	1	1
<i>Papposphaera</i> sp.			1	1					1
<i>Phaeocystis pouchetii</i>			1		2	2	1	1	
<i>Syracosphaera borealis</i>									
Dictyochophyceae									
<i>Dictyocha speculum</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	
Dinophyceae									
<i>Ceratium fusus</i>					1				1

3.2 Raunefjorden

3.2.1 Hydrografi og fluorescens

Temperatur

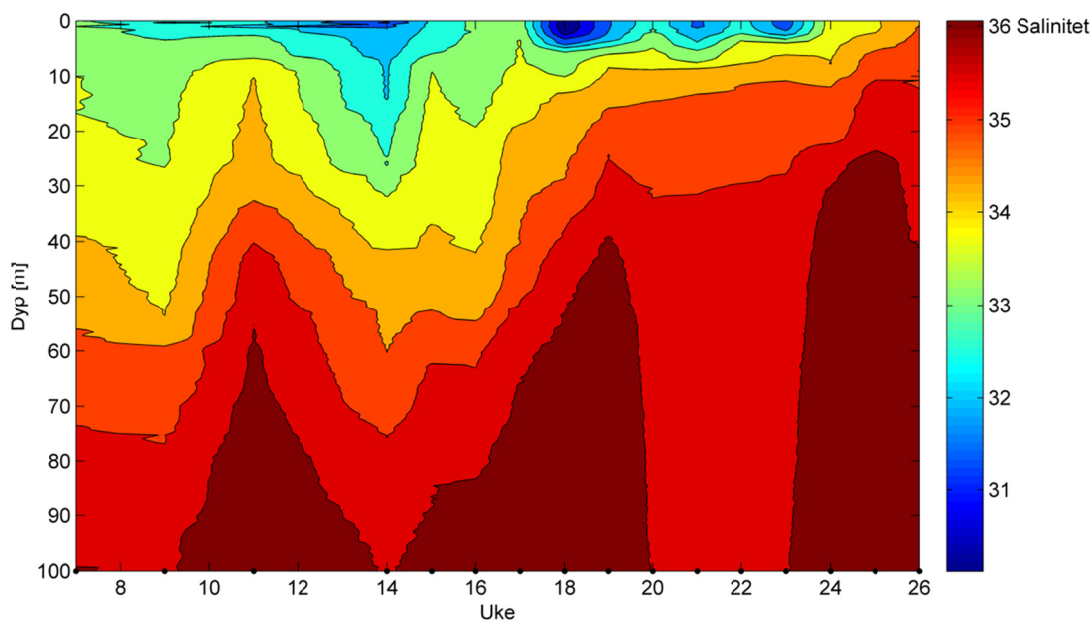
I uke 7 (16. februar 2010) fantes det ned til ca. 40 meters dyp en kald vannmasse i Raunefjorden med temperatur fra 4,3 C° i overflaten til 5,7 C° på 40 meters dyp (Figur 3.13). Lengre ned i vannsøylen økte temperaturen gradvis til 9,0 C° på 100 meters dyp. I uke 9 (2. mars) var det en nedstrømning av kalde vannmasser i fjorden som forskjøv temperaturgradienten nedover. Frem mot uke 11 (15. mars) hadde denne snudd, og en oppstrømning brakte varmere vannmasser opp til ca. 25 meters dyp før disse massene igjen sank mot uke 14 (30. mars). Etter uke 14 startet en massiv oppstrømning som fraktet de varmere vannmassene fra dypet helt opp til overflaten. Fra uke 11 til 14 økte vanntemperaturen i overflaten fra 3,3 C° til 6,2 C° enten fra tilførsel på temperert vann fra dypet eller oppvarming fra solen. Fra uke 18 var vanntemperaturen nær overflaten høyere enn i dypet grunnet soloppvarming av overflatelaget.



Figur 3.13 Vanntemperatur (C°) i Raunefjorden fra overflaten og ned til 100 meters dyp fordelt på ukenummer (2010). Markører langs X-aksen viser prøvetakingstidspunkt.

Salinitet

Med unntak av perioden uke 24 til 26, var det store forskjeller i salinitet mellom de øvre vannmassene og vannmassene på større dyp (Figur 3.14). I uke 7 (16. februar 2010) hadde vannet i overflaten salinitet på 33,1 mens det 100 meters dyp hadde salinitet på 36,1. Fra uke 9 (2. mars) til uke 11 (15. mars) var det en oppstrømning av salt vann fra dypet, men denne snudde og gikk over i en nedstrømning mot uke 14 (8. april). Fra uke 14 startet en langvarig oppstrømning av salt vann fra dypet og som i uke 23 (8. juni) rakk helt opp til overflaten.



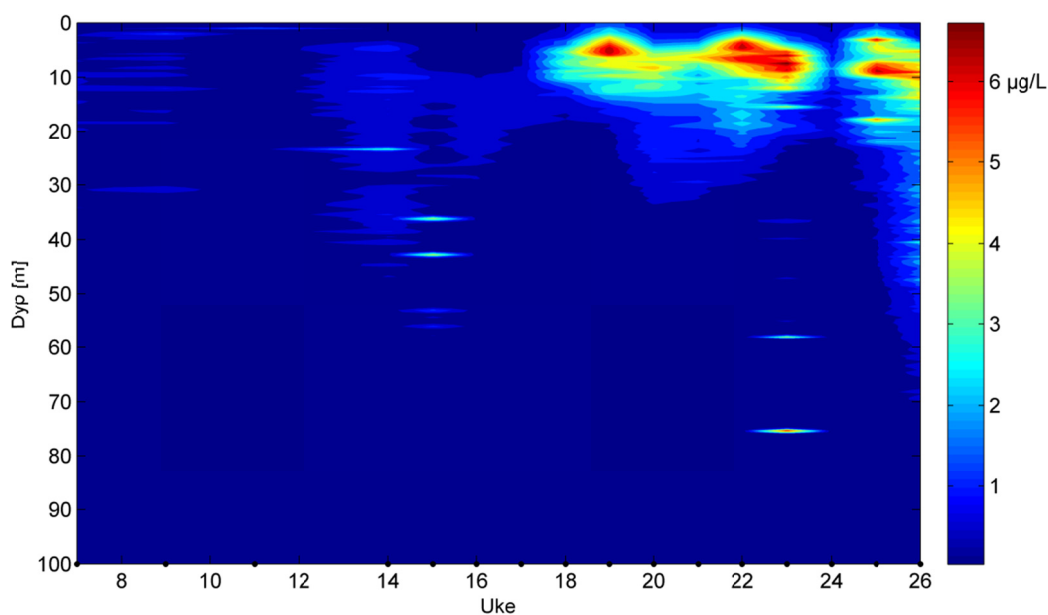
Figur 3.14 Salinitet i Raunefjorden fra overflaten og ned til 100 meters dyp fordelt på ukenummer (2010). Markører langs X-aksen viser prøvetakingstidspunkt.

Fluorescens

I perioden fra uke 7 (16. februar 2010) til og med uke 9 (2. mars) var det fra overflaten og ned til like under 30 meters dyp fluorescens på mellom 0,4 og 0,7 μg klorofyll a L^{-1} . Det forekom derimot en økning i ovennevnte periode på 1,7 μg klorofyll a L^{-1} på 2 meters dyp i uke 9 (Figur 3.15). I uke 11 (15. mars 2010) var det, bortsett fra svake verdier nær overflaten, lite fluorescens over metodens bakgrunnsnivå i vannmassene. I uke 14 (8. april) økte fluorescensen, og et vertikalt felt fra 4 til 50 meters dyp med fluorescens på opptil 3,6 μg klorofyll a L^{-1} oppstod. I uke 15 (15. april) hadde dette feltet brutt sammen, men uken etter (20. april) ble det dannet et nytt felt mellom 10 og 28 meters dyp. Fra uke 17 (27. april)

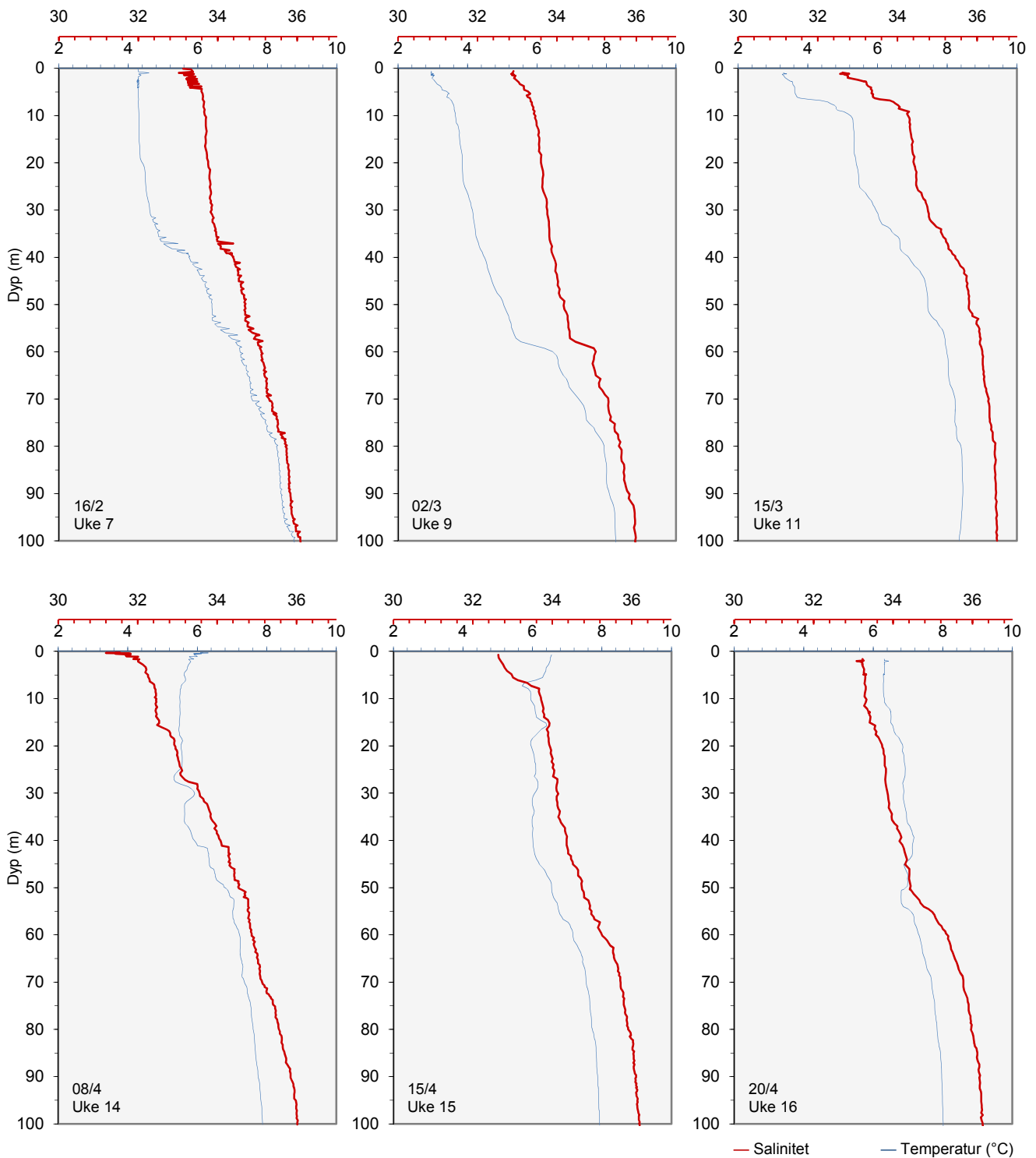
begynte fluorescensen i de øverste 20 meterne å øke kraftig. Mellom uke 17 og uke 23 fantes det to fluorescensmaksimum: 3,5 μg klorofyll a L^{-1} på 5,4 meters dyp i uke 18 (4. mai) og 7,7 μg klorofyll a L^{-1} på 7,1 meters dyp i uke 23 (8. juni). Dette er for øvrig de høyeste verdiene av in vivo fluorescens som ble målt.

I uke 24 (15. juni) hadde feltet med høy fluorescens blitt borte, og det ble den uken målt generelt lite fluorescens i fjorden. I uke 25 (22. juni) økte derimot fluorescensen igjen og to dyp med fluorescensmaksimum hadde oppstått: 6,7 μg klorofyll a L^{-1} på 3,1 meters dyp og 5,2 μg klorofyll a L^{-1} på 17,8 meter. I uke 26 (29. juni) sank fluorescensen nær overflaten noe og var på 5,5 μg klorofyll a L^{-1} på 9 meters dyp. Derimot hadde dette feltet med fluorescens strukket seg helt ned til 69,5 meters dyp. In vivo fluorescens ble som på Svinøysnittet ikke justert i henhold til målte verdier av klorofyll a , og er i så måte å anse kun som en relativ skala.



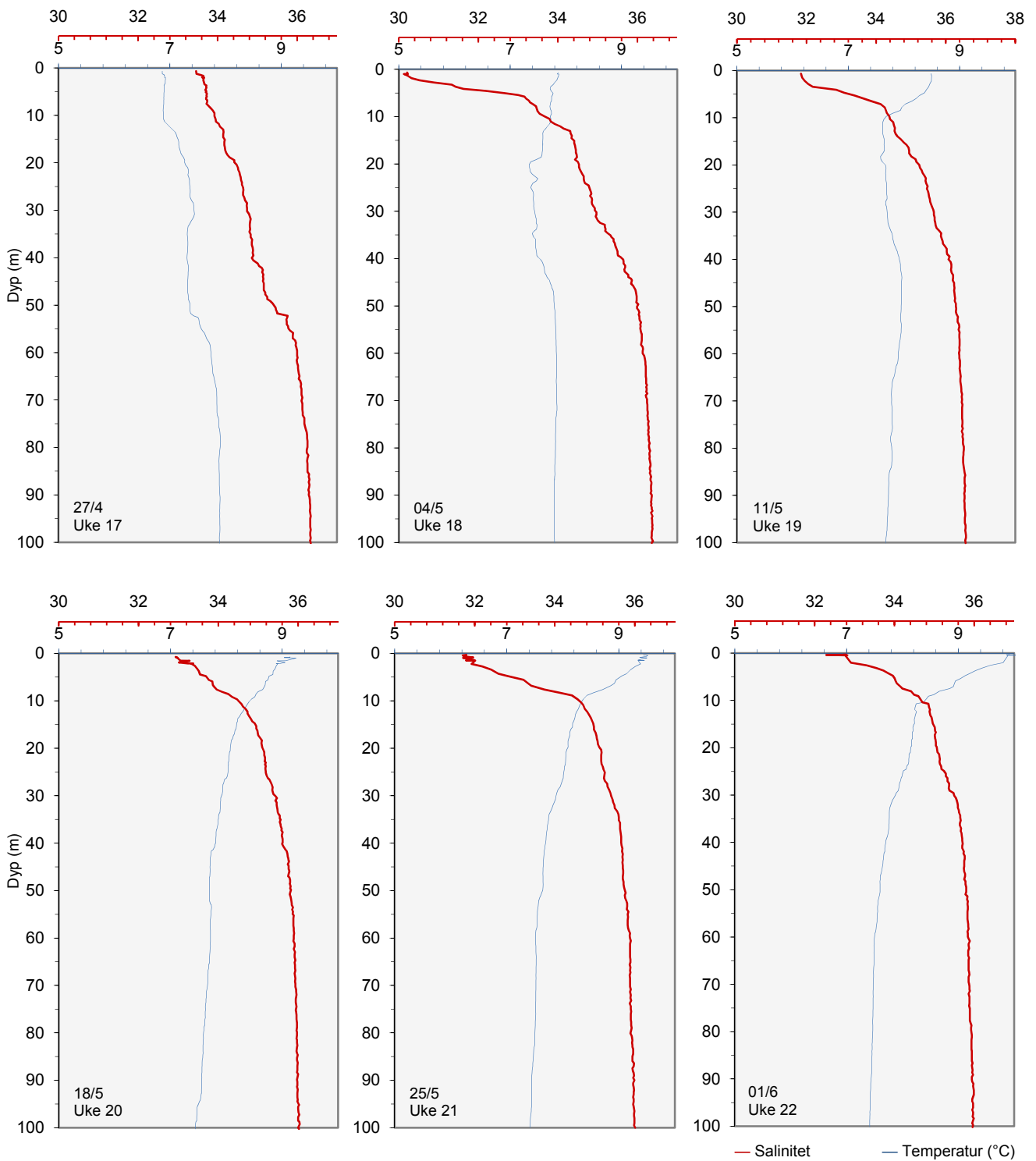
Figur 3.15 Isoplot av in vivo fluorescens i Raunefjorden angitt ved μg klorofyll a L^{-1} fra overflaten og ned til 100 meters dyp, fordelt på ukenummer (2010). Markører langs X-aksen viser prøvetakingstidspunkt.

Vertikalprofiler for temperatur og salinitet

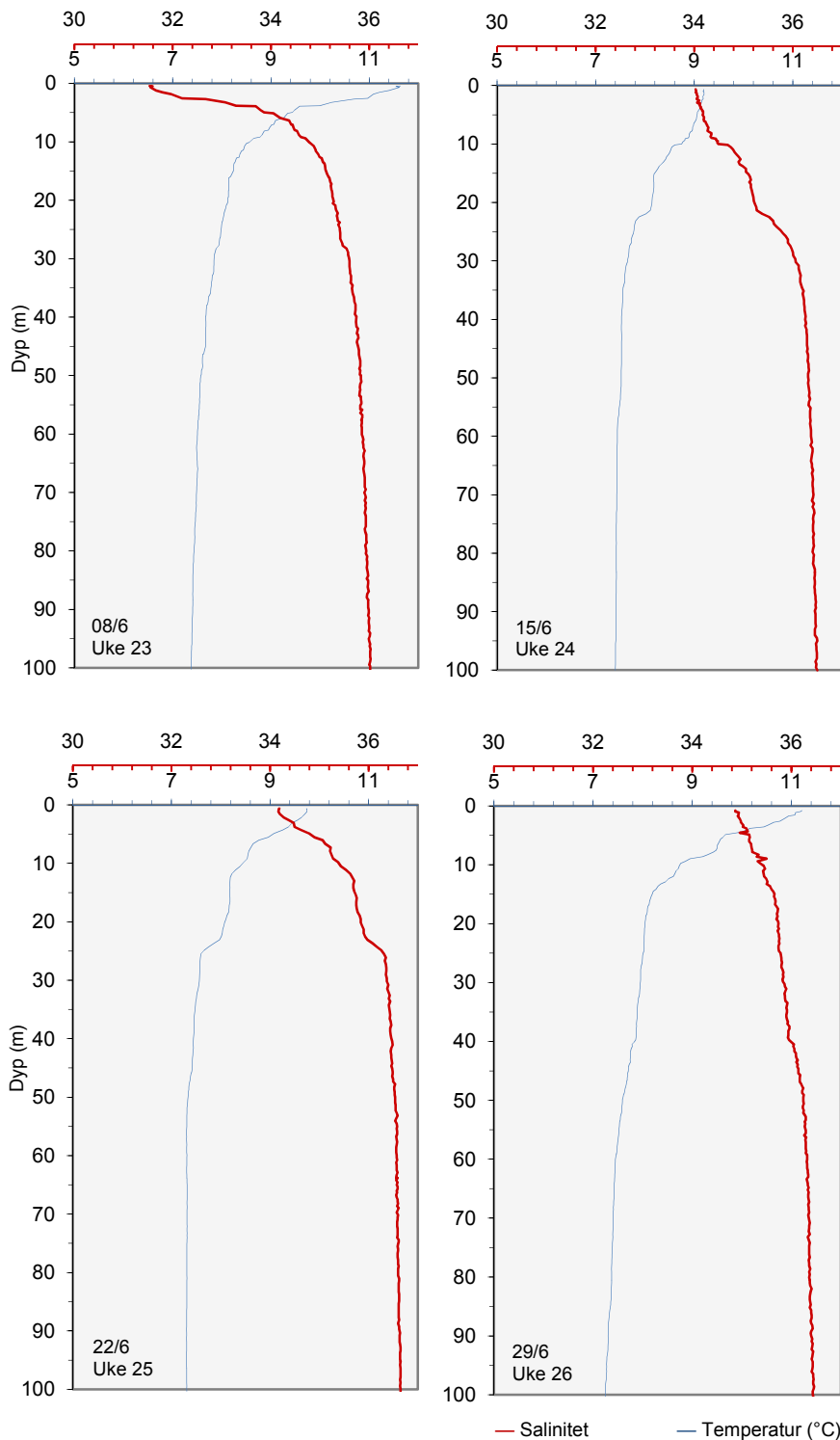


Figur 3.16 Vertikalprofiler for temperatur (blå linje) og salinitet (rød linje) i Raunefjorden i perioden fra uke 7 til uke 16, 2010.

RESULTATER



Figur 3.17 Vertikalprofiler for temperatur (blå linje) og salinitet (rød linje) i Raunefjorden fra uke 17 til uke 22, 2010.

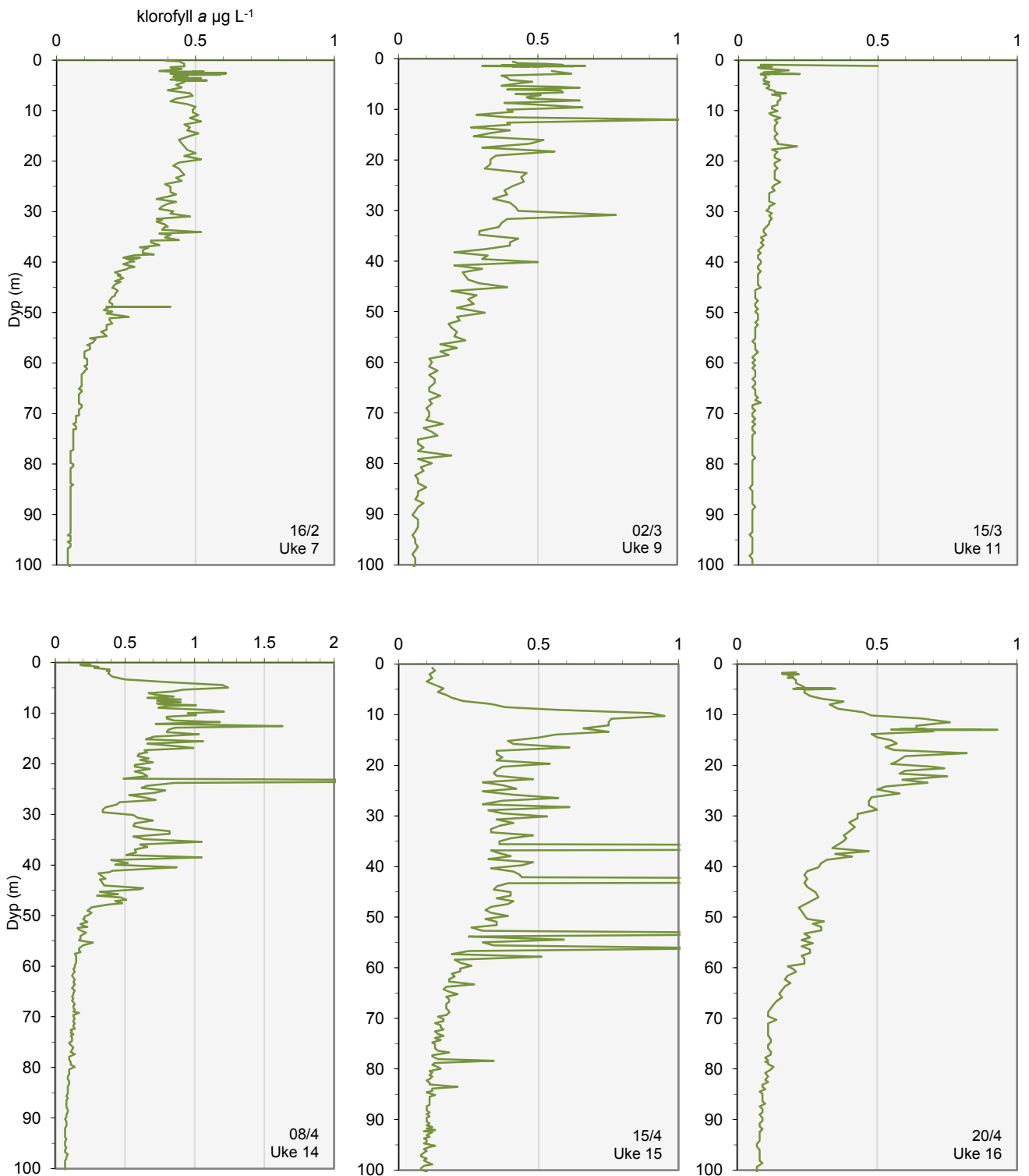


Figur 3.18 Vertikalprofiler for temperatur (blå linje) og salinitet (rød linje) i Raunefjorden fra uke 23 til uke 26.

I uke 7 (16. februar 2010) var vannmassene i Raunefjorden gjennomblandet ned til 37 meters dyp hvor det fantes et svakt spranglag (Figur 3.16). Situasjonen var mye lik også i uke 9 (2. mars 2010), men her var spranglaget noe kraftigere og lå på 57 meters dyp. I uke 11 (15.

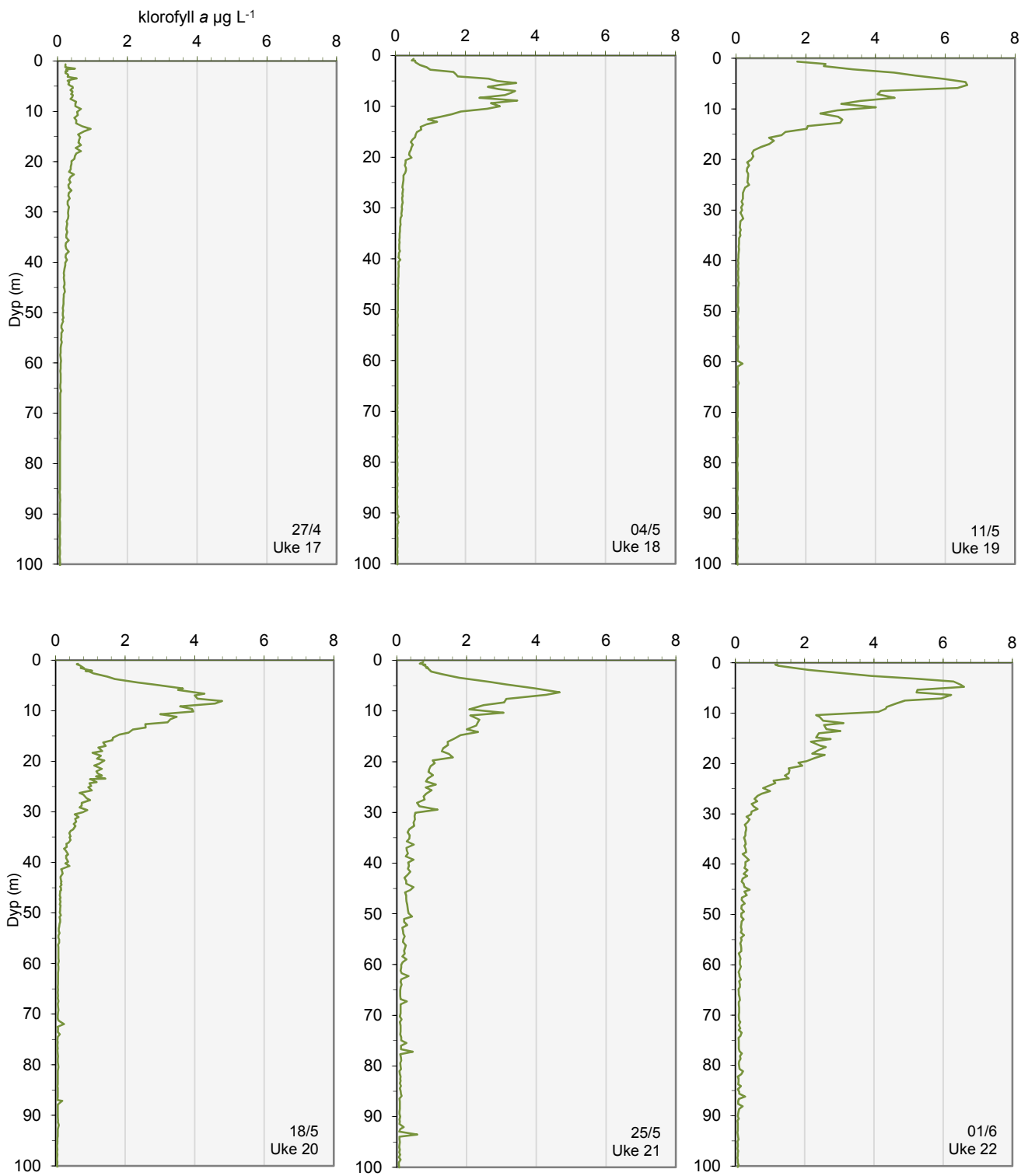
februar) var både temperaturen i overflaten 3,3 °C og saliniteten 32,6, noe som var lavere enn i foregående uker. På 6 meters dyp fantes en pyknoklin i form av kraftig økning i både temperatur og salinitet. Samtidig fantes også et svakere spranglag på 25 meters dyp. I uke 14 (8. april) og 15 (15. april) var det en økning i temperaturen i de øverste meterne nær overflaten, men overflatetemperaturen var fortsatt lavere enn temperaturen i dypet. Det var forholdsvis stabile forhold og en stabil vannsøyle i uke 15, 16 og 17 (14. til 27. april) (Figur 3.17) med unntak av et spranglag på 7 meters dyp i uke 15 og et svakere spranglag på 52 meters dyp i uke 17. I uke 18 (4. mai) var temperaturen i overflaten lik temperaturen i dypet, dette stod i motsetning til både ukene før, der temperaturen var lavere, og ukene etter hvor overflatetemperaturen var høyere. Dette markerte skillet mellom påvirkning fra kald luft om vinteren og solinnstråling om våren og sommeren. I uke 18 startet en periode med meget kraftig haloklin på 5 meters dyp. Med unntak av uke 20 (18. mai), var haloklinen til stede i området nær overflaten og ned til 10 meters dyp frem til uke 24 (15. juni) hvor haloklinens styrke avtok (Figur 3.18). Denne kraftige haloklinen førte til at det i den nevnte perioden har vært en meget høy stabilitet i vannmassene. I uke 24 fantes det et svakt spranglag på 22 meters dyp som lå over saltere vannmasser som forflyttet seg oppover i vannsøylen, inntil de i uke 26 (29. juni) rakk helt opp til overflaten. Denne uken forsvant haloklinen, men termoklinen tiltok i styrke.

Vertikalfordeling av in vivo fluorescens fra klorofyll a

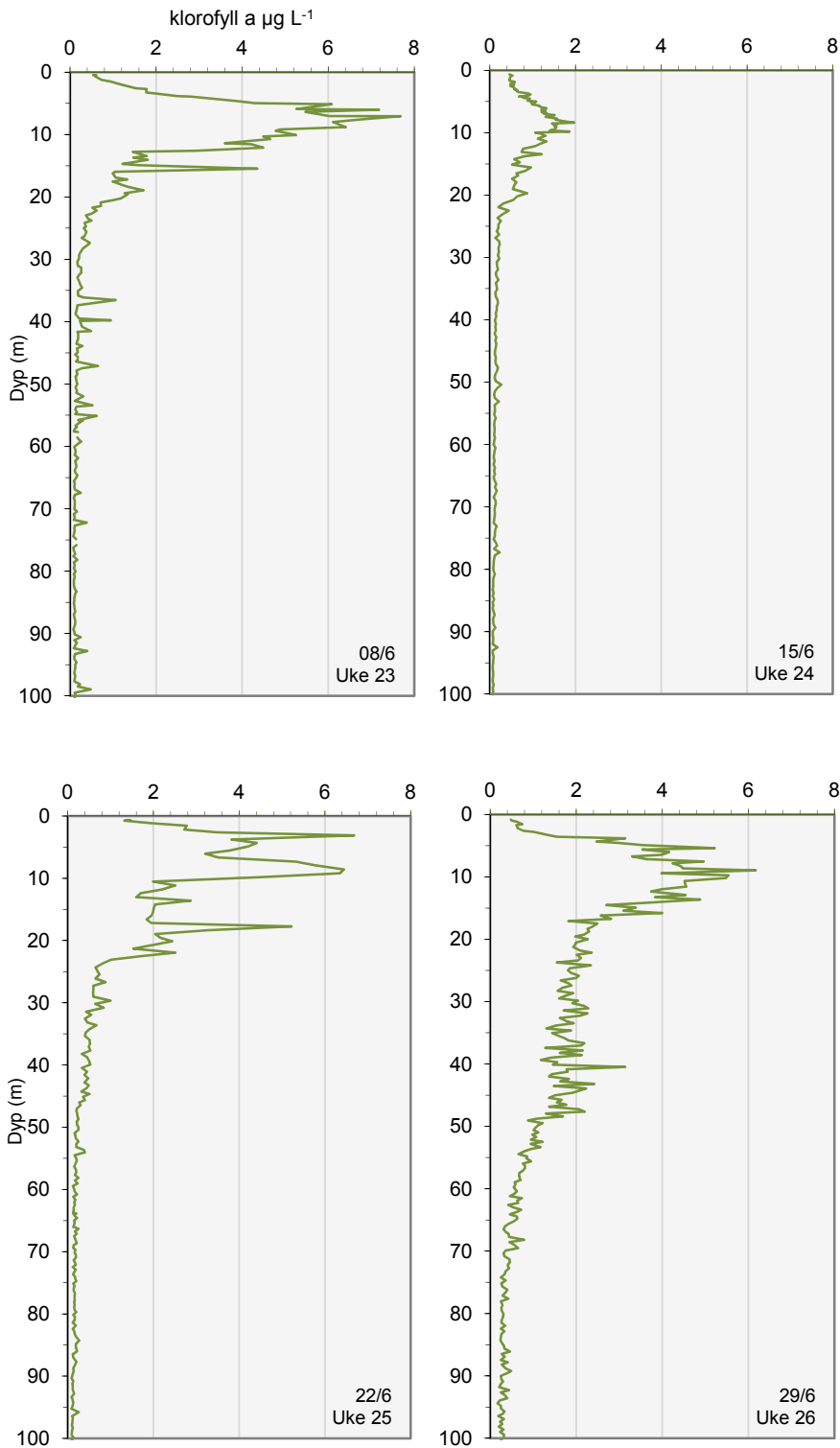


Figur 3.19 Vertikalprofiler av in vivo fluorescens (μg klorofyll a L^{-1}) i Raunefjorden i perioden fra uke 7 til uke 16, 2010.

RESULTATER



Figur 3.20 Vertikalprofiler av in vivo fluorescens (μg klorofyll *a* L^{-1}) i Raunefjorden fra uke 17 til uke 22, 2010.



Figur 3.21 Vertikalprofiler av in vivo fluorescens (μg klorofyll *a* L⁻¹) i Raunefjorden fra uke 23 til uke 26, 2010.

I uke 7 og 9 (16. februar og 2. mars 2010) var det høyest fluorescens i området mellom overflaten og ned til 40 meters dyp (fra 0,4 til 0,5 μg klorofyll *a* L⁻¹) (Figur 3.19). Fra 40 meters dyp avtok fluorescensen gradvis ned mot 70 meters dyp hvor den videre lå på nivå

som kan ansees som bakgrunnsfluorescens eller metodens nedre deteksjonsgrense. I uke 11 (15. mars) var fluorescensen svært lav og bare en marginal forhøyning over bakgrunnsfluorescens kunne sees i de øvre 40 meterne av vannsøylen. Denne uken skilte seg ut fra andre uker i måleperioden med klart laveste fluorescensverdier. Fra uke 14 (8. april) sees en økning i fluorescensen på 5 meters dyp på opptil $1,24 \mu\text{g klorofyll } a \text{ L}^{-1}$. Frem mot uke 15 (15. april) hadde fluorescensstoppen blitt redusert til $0,95 \mu\text{g L}^{-1}$ og forflyttet seg ned til 10 meters dyp. Til uke 16 hadde toppen sunket videre til $0,7 \mu\text{g L}^{-1}$ og forflyttet seg ytterligere ned til 13 meters dyp. I perioden fra uke 14 til uke 16 sees forhøyede fluorescensverdier forholdsvis dypt ned i vannsøylen. I uke 17 (Figur 3.20) var fluorescensen forholdsvis lav, men med en liten topp på 14 meters dyp. (Merk at skala på X-aksen i figur 3.21 går høyere skalaen på figur 3.19.) For uke 18 (4. mai) sees markant økende fluorescens mellom 5 og 10 meters dyp, og til uke 19 (11. mai) hadde det oppstått en fluorescensstopp på $6,6 \mu\text{g L}^{-1}$ på 5 meters dyp. Uke 20 (18. mai) og 21 (25. mai) hadde fluorescensen blitt redusert til $4,2 \mu\text{g klorofyll } a \text{ L}^{-1}$, men i uke 22 (1. juni) og 23 (8. juni) hadde fluorescensen igjen øket og var mellom 6 og $7 \mu\text{g L}^{-1}$. I uke 22 og i noe mindre grad i uke 21 og 23 sees et felt med fluorescens på opptil $2,7 \mu\text{g klorofyll } a \text{ L}^{-1}$ som lå like under den største toppen av fluorescens, og som strakk seg ned til ca. 25 meters dyp (Figur 3.21). Fra uke 23 til uke 24 (15. juni) hadde fluorescensen blitt redusert kraftig, fluorescensmaksimum var i perioden mellom disse ukene blitt redusert fra ca. 7 til $1,7 \mu\text{g L}^{-1}$. I uke 25 (22. juni) hadde fluorescensen igjen tatt seg opp med verdier opptil $6,7 \mu\text{g klorofyll } a \text{ L}^{-1}$ med maksimum på 9 meters dyp. Under det største feltet fantes det denne uken et felt med lavere fluorescens (like under $2 \mu\text{g L}^{-1}$) som strakk seg ned til 23 meters dyp. Dette feltet kunne også ses under fluorescensmaksimum i uke 26 (29. juni), men det hadde frem til denne uken økt i utstrekning ned til ca. 50 meters dyp.

3.2.2 Siktedyp

Størst siktedyp ble registrert i uke 11 og var på 25 meter (Tabell 3.2). Videre utover våren ble siktedypet i hovedtrekk redusert frem til grunneste registrerte dyp på 4 meter i uke 23. Med unntak av måling i uke 25 på 5,5 meter, økte siktedypet frem til siste måling i uke 26 som var på 10 meter.

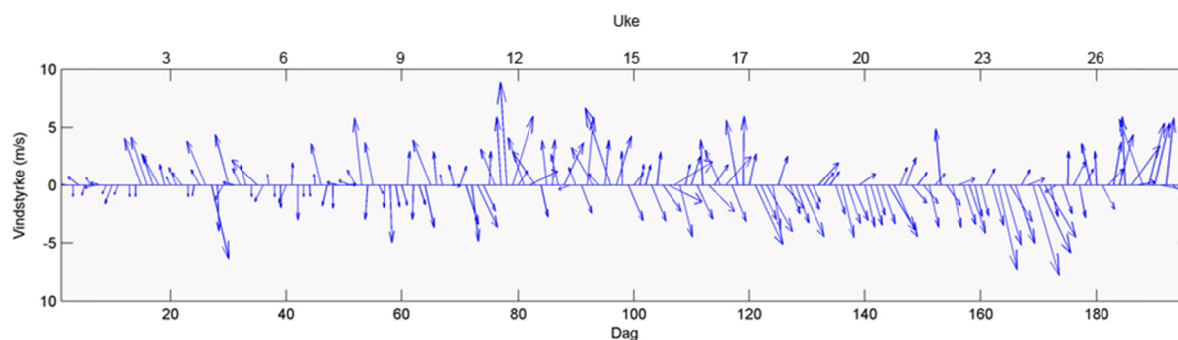
Tabell 3.2 Siktedyp i meter ved målestasjon i Raunefjorden. Manglende målinger er markert med “-”.

<i>Uke nr.</i>	<i>Dato</i>	<i>Siktedyp</i>
9	02.03.2010	-
11	15.03.2010	25
12	23.03.2010	-
13	30.03.2010	-
14	08.04.2010	12
15	14.04.2010	-
15	15.04.2010	17
16	20.04.2010	-
17	27.04.2010	11
18	04.05.2010	10
19	11.05.2010	5
20	18.05.2010	-
21	25.05.2010	7
22	01.06.2010	5
23	08.06.2010	4
24	15.06.2010	8,5
25	22.06.2010	5,5
26	29.06.2010	10

3.2.3 Vindretning og styrke

Figur 3.22 viser at 2010 ble innledet av en periode med svak og variabel vind frem til slutten av uke 2 (15. januar), der en periode med vind på opptil 5 m s^{-1} fra sør videre dominerte frem til første del av uke 4 (26. januar). Fra andre halvdel av uke 4 (27. januar) startet en periode der vinden varierte noe, men likevel hadde dominans av nordlig retning. Denne perioden varte ut uke 10 (15. mars). Fra uke 11 til uke 14 (16. mars til 8. april) dominerte relativt kraftig vind med sørlig retning. I perioden fra uke 15 og 16 var vinden variabel av retning, men med en svak dominans av vind fra nord før vinden snudde på sør i uke 16 og 17 (fra 24. til 30. april). Fra slutten av uke 17 (1. mai) til uke 25 (23. juni) dominerte nordlig vindretning nær fullstendig. Og i de siste to ukene (uke 24 og 25) av dette tidsrommet var vinden relativt kraftig med hastigheter opp mot $9,1 \text{ m s}^{-1}$ fra nord. Fra uke 25 (24. juni) hadde vinden snudd

på en sørlig komponent som varte ut måleperioden. Mot slutten av måleperioden var vinden fra sør relativt kraftig med gjennomsnitt på $5,2 \text{ m s}^{-1}$ over en uke.



Figur 3.22 Vindretning og styrke for første halvår av 2010 målt daglig på Flesland klokken 12:00. Pilene viser retningen vinden kommer fra mens pilenes lengde indikerer vindstyrke.

3.2.4 Nærings salt

Nitrat

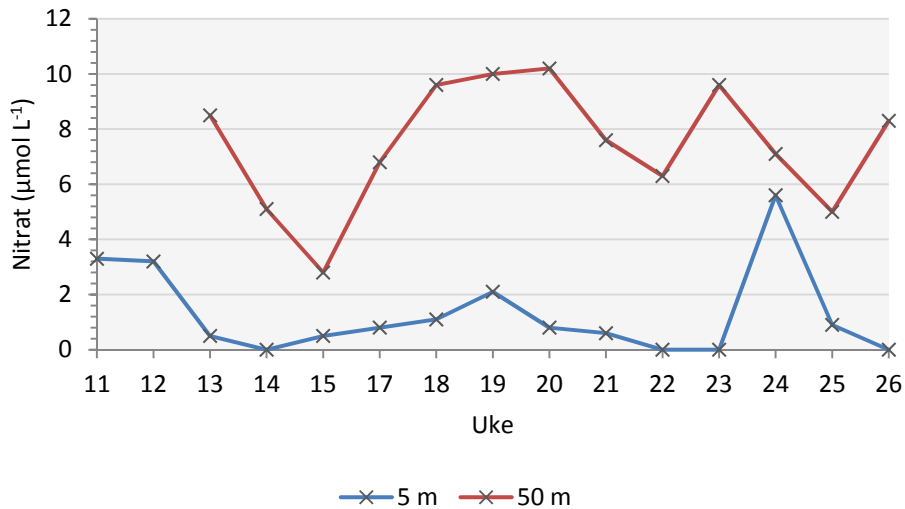
5 meters dyp

I uke 11 og 12 (fra 15. mars til 23. mars 2010) var innholdet av løst nitrat i vannet på 5 meters dyp mellom $3,3$ og $3,2 \mu\text{mol L}^{-1}$ mens det frem til uke 13 (30. mars) hadde sunket til $0,5 \mu\text{mol L}^{-1}$ og videre mot uke 14 (8. april) til mindre enn $0,5 \mu\text{mol L}^{-1}$ (Figur 3.23). Videre fra uke 14 økte nitratkonsentrasjonen i vannet gradvis til $2,1 \mu\text{mol L}^{-1}$ (11. mai), før nitratinnholdet igjen sank til under $0,5 \mu\text{mol L}^{-1}$ i uke 22 og 23 (1. og 8. juni). Fra uke 23 til uke 24 (15. juni) hadde konsentrasjonen av nitrat på 5 meters dyp steget kraftig til $5,6 \mu\text{mol L}^{-1}$, som var høyest nitratkonsentrasjon på 5 meters dyp i måleperioden. I uke 25 (22. juni) hadde konsentrasjonen sunket til $0,9 \mu\text{mol L}^{-1}$, og i uke 26 (29. juni) den mindre enn $0,5 \mu\text{mol L}^{-1}$. Merk at verdier lavere enn $0,5 \mu\text{mol L}^{-1}$ er under metodens deteksjonsgrense og betraktes som ikke tilstedeværelse av løst nitrat.

50 meters dyp

På 50 meters dyp startet målingene i uke 13 (30. mars 2010) på $8,5 \mu\text{mol L}^{-1}$. Videre sank konsentrasjonen til $2,8 \mu\text{mol L}^{-1}$ frem til uke 15 (15. april) hvor den deretter hadde en bratt økning til $9,6 \mu\text{mol L}^{-1}$ i uke 18 (4. mai). Fra uke 20 til 22 (18. mai til 1. juni) sank konsentrasjonen av nitrat ned til $6,3 \mu\text{mol L}^{-1}$ hvor den i uke 23 (8. juni) igjen steg til $9,6$

$\mu\text{mol L}^{-1}$. Frem til uke 25 (22. juni) sank konsentrasjonen ned til $5,0 \mu\text{mol L}^{-1}$, før den ved å vise motsatt trend som for 5 meters dyp økte til $8,3 \mu\text{mol L}^{-1}$ frem til uke 26 (29. juni).



Figur 3.23 Løst nitrat i Raunefjorden fra uke 11 til uke 26, 2010, på 5 m (blå linje) og 50 m dyp (rød linje).

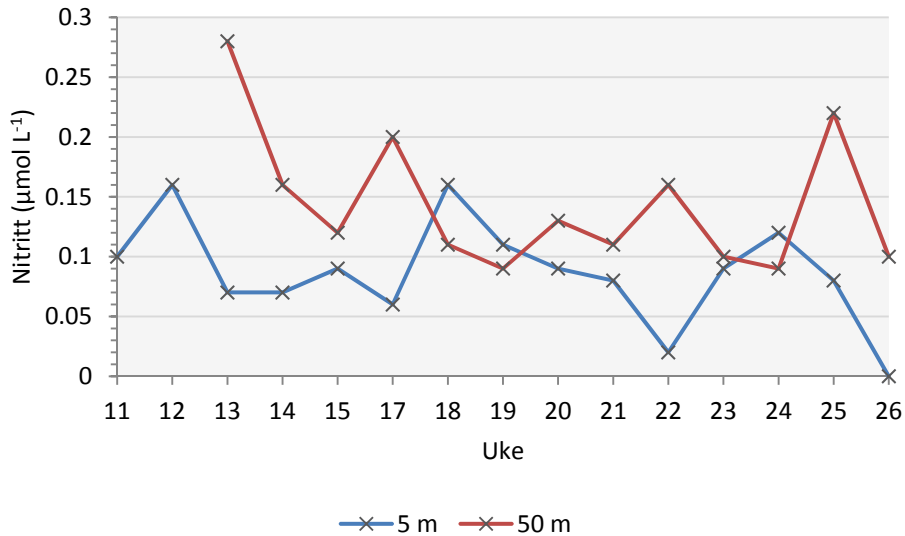
Nitritt

5 meters dyp

Måling av nitritt i vannmassene i Raunefjorden på 5 meters dyp startet i uke 11 (15. mars 2010) på $0,1 \mu\text{mol L}^{-1}$ (Figur 3.24). I perioden målinger ble foretatt var det tre topper med nitritt i vannet i henholdsvis uke 12 (23. mars), 18 (4. mai) og 24 (15. juni). I disse ukene var konsentrasjonen av nitritt på mellom $0,12$ og $0,16 \mu\text{mol L}^{-1}$. Konsentrasjonen av nitritt på 5 meters dyp var lavest i uke 17 (27. april), 22 (1. juni) og 26 (29. juni).

50 meters dyp

På 50 meters dyp startet målingene i uke 13 (30. mars 2010) med en konsentrasjon på $0,28 \mu\text{mol L}^{-1}$; dette var høyest målte konsentrasjon av nitritt i løpet av måleperioden. Videre sees to topper på $0,2 \mu\text{mol L}^{-1}$ i uke 17 (27. april) og $0,22 \mu\text{mol L}^{-1}$ i uke 25 (22. juni), samt en mindre topp på $0,16 \mu\text{mol L}^{-1}$ i uke 22 (1. juni).



Figur 3.24 Nitritt i Raunefjorden fra uke 11 til uke 26, 2010, på 5 m (blå linje) og 50 m dyp (rød linje).

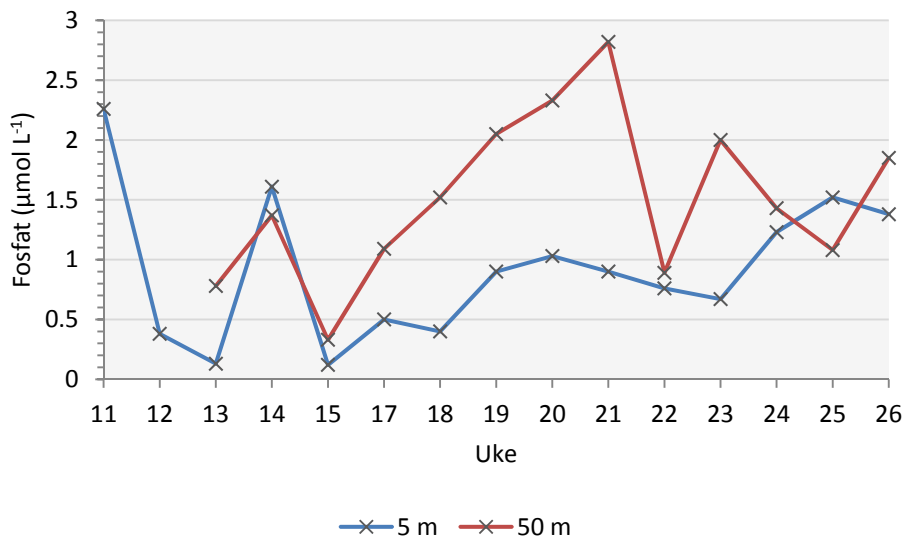
Fosfat

5 meters dyp

Som vist på figur 3.25, ble høyeste konsentrasjon av fosfat på 5 meters dyp målt til $2,26 \mu\text{mol L}^{-1}$ i uke 11 (15. mars 2010). Fra uke 11 til uke 13 (30. mars) sank konsentrasjonen til $0,13 \mu\text{mol L}^{-1}$ før den i uke 14 (8. april) hadde steget brått til $1,61 \mu\text{mol L}^{-1}$. Denne stigningen er forholdsvis lik på begge dyp. Videre til uke 15 (15. april) var fosfatkonsentrasjonen i vannet nede på $0,12 \mu\text{mol L}^{-1}$ som var nesten samme mengde som i uke 13, og klart lavest målte verdi i perioden. Fra uke 15 steg, med unntak av to fall i henholdsvis uke 18 (4. mai) og 23 (8. juni), fosfatinnholdet i vannet helt frem til uke 25 (22. juni) hvor konsentrasjonen var på $1,57 \mu\text{mol L}^{-1}$, før den i uke 26 (29. juni) hadde sunket til $1,38 \mu\text{mol L}^{-1}$.

50 meters dyp

På 50 meters dyp startet målingene av fosfat i vannet i uke 13 (30. mars 2010) og var da på $0,78 \mu\text{mol L}^{-1}$. Fosfatkonsentrasjonen steg derfra til uke 14 (8. april) til $1,37 \mu\text{mol L}^{-1}$ før fosfatinnholdet videre sank til $0,33 \mu\text{mol L}^{-1}$ i uke 15 (14. april). Denne toppen sammenfaller med målte verdier på 5 meters dyp. Fra uke 15 og frem til uke 21 (25. mai) forekom en kraftig økning av fosfat i Raunefjorden på opp til hele $2,82 \mu\text{mol L}^{-1}$, før fosfatinnholdet i uke 22 (1. juni) brått falt til $0,89 \mu\text{mol L}^{-1}$. I uke 23 (8. juni) sees en ny topp i fosfatkonsentrasjonen på $2,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ før verdiene sank til $1,08 \mu\text{mol L}^{-1}$ til uke 25 (22. juni). Frem mot siste måling gjort i uke 26 (29. juni) steg fosfatinnholdet til $1,85 \mu\text{mol L}^{-1}$.



Figur 3.25 Løst fosfat i Raunefjorden fra uke 11 til uke 26, 2010, på 5 m (blå linje) og 50 m dyp (rød linje).

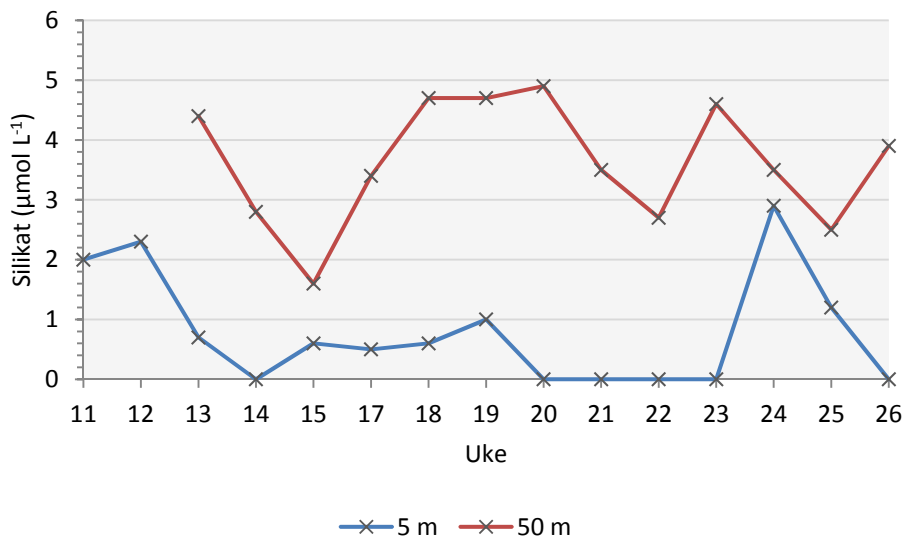
Silikat

5 meters dyp

Fra uke 11 (15. mars 2010) til uke 12 (23. mars) steg innholdet av løst silikat i vannet på 5 meters dyp fra 2,0 til 2,3 $\mu\text{mol L}^{-1}$ før det mot uke 14 (8. april) sank til under metodens deteksjonsgrense ($<0,5 \mu\text{mol L}^{-1}$) (Figur 3.26). Fra uke 15 (15. april) til uke 19 (11. mai) var silikatkonsentrasjonen i fjorden på mellom 0,5 og 1,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ før den mot uke 20 (18. mai 2010) sank til under 0,5 $\mu\text{mol L}^{-1}$. I hele perioden fra uke 20 til og med uke 23 (8. juni) var konsentrasjonen mindre enn 0,5 $\mu\text{mol L}^{-1}$ før den brått steg til 2,9 $\mu\text{mol L}^{-1}$ i uke 24 (15. juni). Dette var høyeste konsentrasjon av løst silikat på 5 meters dyp i hele perioden målingene ble foretatt. Fra uke 24 sank innholdet av silikat i vannet til mindre enn 0,5 $\mu\text{mol L}^{-1}$ i uke 26 (29. juni). Det ble registrert tilnærmet ingen tilstedeværelse av løst silikat på 5 meters dyp i Raunefjorden i ukene 14, 20, 21, 22, 23 og 26.

50 meters dyp

Innholdet av løst silikat i vannet på 50 meters dyp var i uke 13 (30. mars 2010) 4,4 $\mu\text{mol L}^{-1}$ og sank derfra til 1,6 $\mu\text{mol L}^{-1}$ i uke 15 (15. april). Til uke 18 (4. mai) hadde konsentrasjonen av silikat i vannet steget til 4,7 $\mu\text{mol L}^{-1}$ der konsentrasjonen holdt seg i stor grad jevn frem til uke 20 (18. mai) hvor den sank fra 4,9 til 2,7 $\mu\text{mol L}^{-1}$ i uke 22 (1. juni). Fra uke 22 til uke 23 (8. juni) sees en ny økning til 4,6 $\mu\text{mol L}^{-1}$ som følges av en reduksjon til 2,5 $\mu\text{mol L}^{-1}$ i uke 25 (22. juni). I uke 26 (29. juni), som er siste måling, sees en økning til 3,9 $\mu\text{mol L}^{-1}$.



Figur 3.26 Løst silikat i Raunefjorden fra uke 11 til uke 26, 2010, på 5 m (blå linje) og 50 m dyp (rød linje).

Vertikalfordeling av nærings salt uke 15

Nitritt

På 2 meters dyp ble innholdet av nitritt i vannet målt til å være $0,05 \mu\text{mol L}^{-1}$. Videre nedover i vannsøylen finnes det to vertikale områder med forhøyede verdier. Det grunneste ligger mellom 2 og 20 meter og har en maksimalverdi på $0,12 \mu\text{mol L}^{-1}$ på 15 meter. På 60 meters dyp finnes en topp på $0,15 \mu\text{mol L}^{-1}$.

Nitrat

På 2 meters dyp var innholdet av nitrat i vannet lavere enn metodens deteksjonsgrense ($<0,5 \mu\text{mol L}^{-1}$). Nedover i vannsøylen økte innholdet av nitrat gradvis, men med brattest økning de første 50 meterne. På 200 meters dyp ble det målt $6,8 \mu\text{mol nitrat L}^{-1}$.

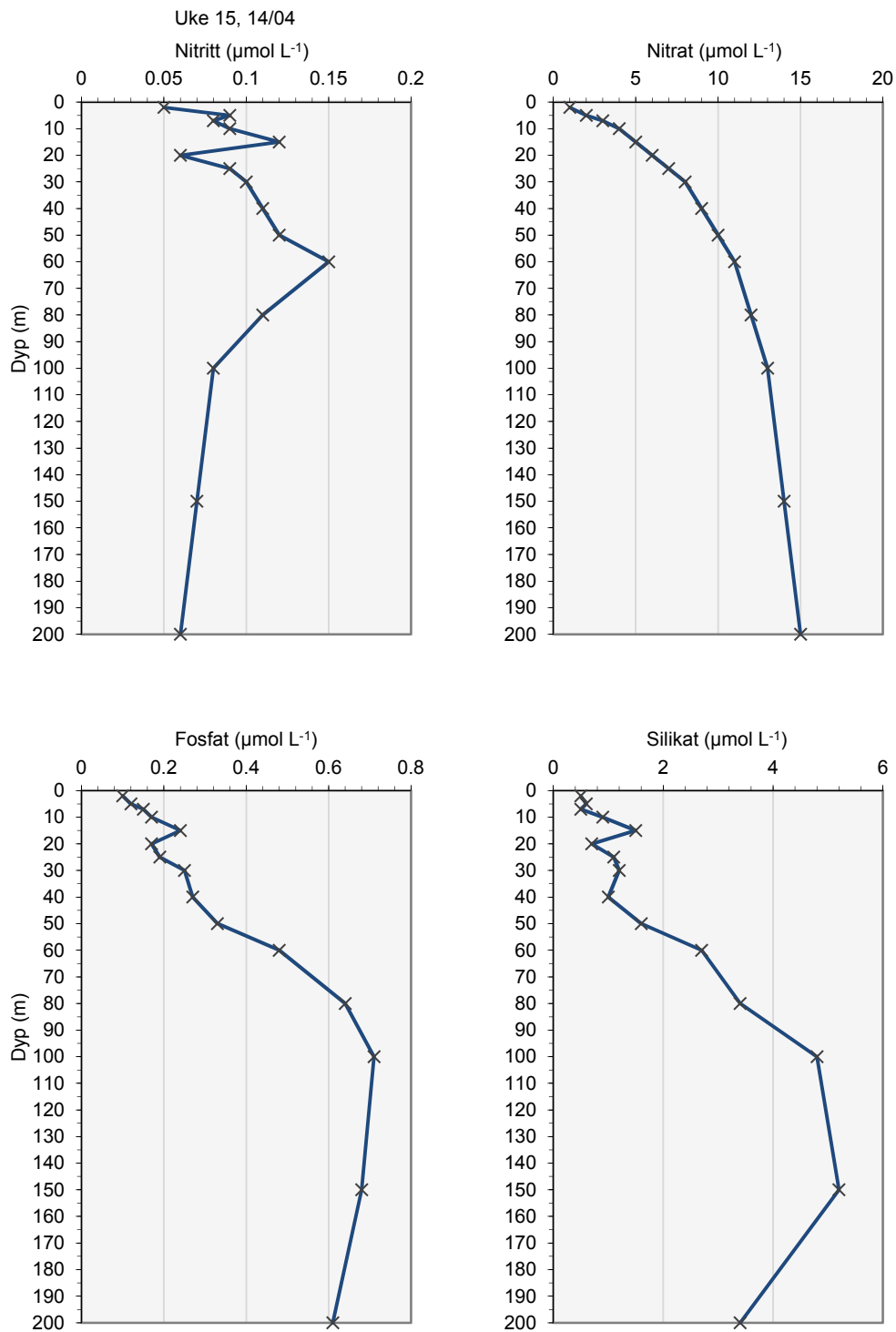
Fosfat

Fosfat ble på 2 meters dyp målt til å være $0,1 \mu\text{mol L}^{-1}$. Med unntak av på 20 og 25 meters dyp, økte konsentrasjonen av løst fosfat med dypet ned til 100 meter. Fra 100 meters dyp sank konsentrasjonen igjen fra $0,71 \mu\text{mol L}^{-1}$ til $0,61 \mu\text{mol L}^{-1}$ på 200 meters dyp.

Silikat

Løst silikat har en relativ lik fordelingskurve gjennom vannsøylen som fosfat. I overflatelaget var konsentrasjonen av silikat mellom $0,5$ og $0,6 \mu\text{mol L}^{-1}$. Ned til 15 meters dyp økte innholdet av silikat til en topp på $1,5 \mu\text{mol L}^{-1}$ før det derfra ble redusert til $0,7 \mu\text{mol L}^{-1}$ på 20

meters dyp. Fra 40 til 100 meters dyp sees en kraftig økning av silikat i vannet, og denne økningen fortsatte til $5,2 \mu\text{mol L}^{-1}$ på 150 meters dyp. Derfra avtok konsentrasjonen av silikat med dypet og ble målt til $3,4 \mu\text{mol L}^{-1}$ på 200 meter.



Figur 3.27 Vertikalfordeling av nitrat, nitritt, fosfat og silikat i Raunefjorden 14. april 2010.

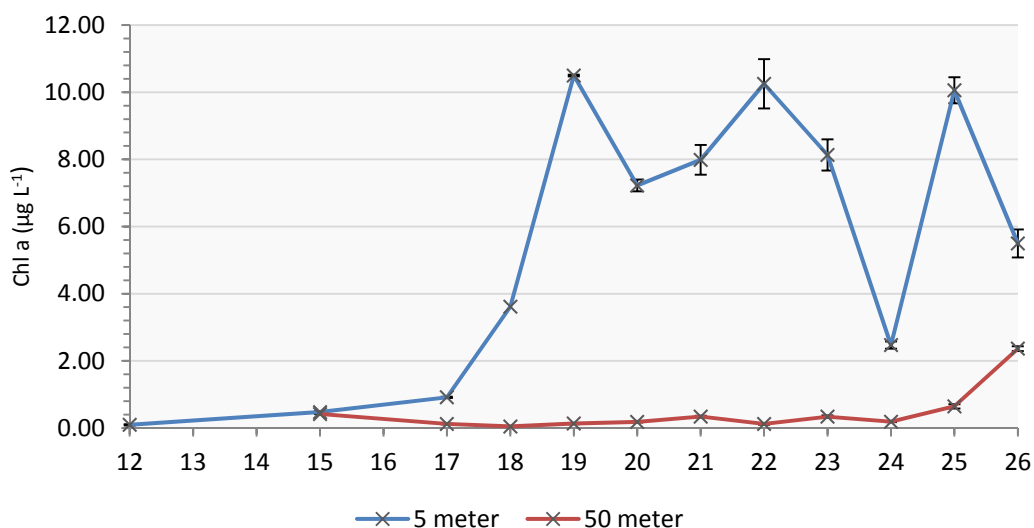
3.2.5 Klorofyll *a*

5 meters dyp

I uke 12 (23. mars 2010) ble mengde klorofyll *a* i Raunefjorden målt til å være $0,10 \mu\text{g L}^{-1}$ på 5 meters dyp (Figur 3.28). Frem mot uke 17 (27. april) hadde klorofyll *a* jevn økning til $0,91 \mu\text{g L}^{-1}$. Og fra uke 17 til uke 19 (11. mai) var det en kraftig økning til $10,50 \mu\text{g L}^{-1}$ som er høyeste verdi for klorofyll *a* i Raunefjorden i perioden fra senvinter til sommer 2010. Fra uke 19 sank klorofyll noe og var på $7,22 \mu\text{g L}^{-1}$ i uke 20 (18. mai). I uke 22 oppstod en ny topp på $10,25 \mu\text{g L}^{-1}$, men frem til uke 24 (15. juni) sank mengden klorofyll *a* kraftig og ble målt til $2,47 \mu\text{g L}^{-1}$. Uke 25 (22. juni) var mengde klorofyll i vannet $10,06 \mu\text{g L}^{-1}$, og dette ble den tredje toppen av klorofyll som ble observert på 5 meters dyp i løpet av perioden målingene ble foretatt. Fra uke 25 til uke 26 hadde klorofyll *a* sunket til $5,50 \mu\text{g L}^{-1}$.

50 meters dyp

På 50 meters dyp startet målingene i uke 15 og viste $0,42 \mu\text{g klorofyll } a \text{ L}^{-1}$, dette er noenlunde samme verdi som på 5 meters dyp på samme tidspunkt. Fra uke 17 (27. april 2010) til 24 (15. juni) var mengde klorofyll *a* på 50 meters dyp lave, men det ble målt svakt forhøyede verdier på $0,34 \mu\text{g L}^{-1}$ uke 21 (25. mai) og 23 (8. juni). I uke 25 (22. juni) hadde mengde klorofyll *a* økt til $0,65 \mu\text{g L}^{-1}$, og i uke 26 (29. juni) ytterligere til $2,36 \mu\text{g L}^{-1}$. Den siste uken i måleperioden viste klorofyllverdier for 5- og 50 meters dyp motsatt trend.

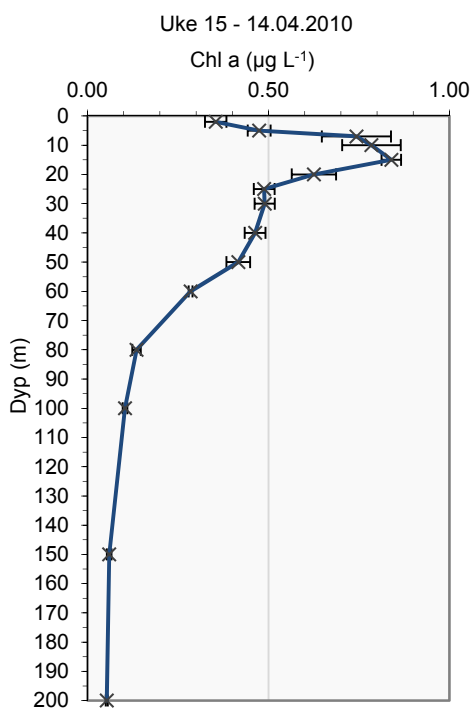


Figur 3.28 Klorofyll *a* på 5 (blå linje) og 50 (rød linje) meters dyp i Raunefjorden fordelt på ukenummer (2010). Feilfelt angir 95 % konfidensintervall av målt verdi.

Vertikalfordeling av klorofyll *a*

Uke 15

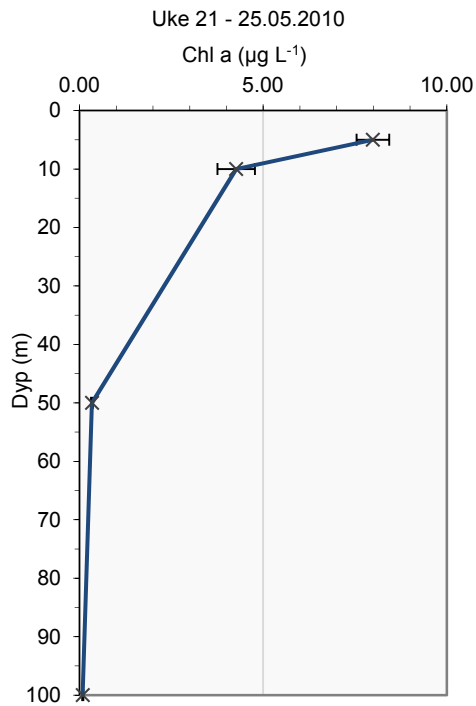
I uke 15, 14. april 2010, ble det på 2 meters dyp målt $0,35 \mu\text{g klorofyll } a \text{ L}^{-1}$ (Figur 3.29). Videre til 7 meters dyp var det en stor økning til $0,74 \mu\text{g L}^{-1}$ med klorofylltopp på $0,84 \mu\text{g L}^{-1}$ på 15 meters dyp. Videre nedover i vannsøylen ble klorofyll *a* redusert til $0,49 \mu\text{g L}^{-1}$ på 25 meters dyp hvor det i hovedsak var jevnt videre ned til 50 meters dyp. Fra 50 til 80 meters dyp sank konsentrasjonen av klorofyll *a* til $0,14 \mu\text{g L}^{-1}$ og mer gradvis til $0,05 \mu\text{g L}^{-1}$ på 200 meters dyp.



Figur 3.29 Vertikalfordeling av klorofyll *a* i Raunefjorden uke 15, 14. april 2010. Feilfelt angir 95 % konfidensintervall av målt verdi.

Uke 21

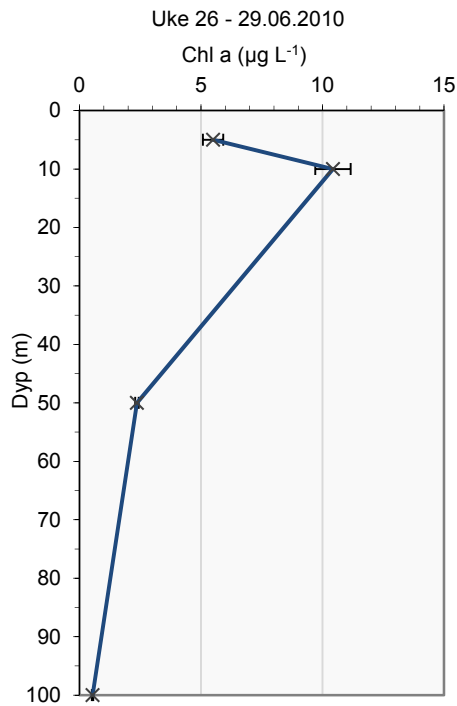
I uke 21 (Figur 3.30), 25. mai 2010, var mengde klorofyll *a* høyest på 5 meters dyp der den ble målt til $7,99 \mu\text{g L}^{-1}$. På 10 meters dyp var mengde klorofyll *a* nesten halvert til $4,27 \mu\text{g L}^{-1}$ mens det på 50 meters dyp var $0,34 \mu\text{g klorofyll } a \text{ L}^{-1}$. På 100 meters dyp fantes det $0,09 \mu\text{g klorofyll } a \text{ L}^{-1}$.



Figur 3.30 Vertikalfordeling av klorofyll *a* i Raunefjorden uke 21, 25. mai 2010. Feilfelt angir 95 % konfidensintervall av målt verdi.

Uke 26

I uke 26 (Figur 3.31), 29. juni 2010, var det mer klorofyll *a* på 10 meters dyp ($10,43 \mu\text{g L}^{-1}$) enn på 5 meters dyp ($5,50 \mu\text{g L}^{-1}$). På 50 meters dyp var mengde klorofyll *a* $2,36 \mu\text{g L}^{-1}$, som var forholdsvis høyt i forhold til foregående målinger. På 100 meters dyp var mengde klorofyll *a* $0,54 \mu\text{g L}^{-1}$, som også er høyere enn på tilsvarende dyp i tidligere målinger.



Figur 3.31 Vertikalfordeling av klorofyll *a* i Raunefjorden uke 26, 29. juni 2010. Feilfelt angir 95 % konfidensintervall av målt verdi.

3.2.6 Partikkelbundne elementer

Karbon

5 meters dyp

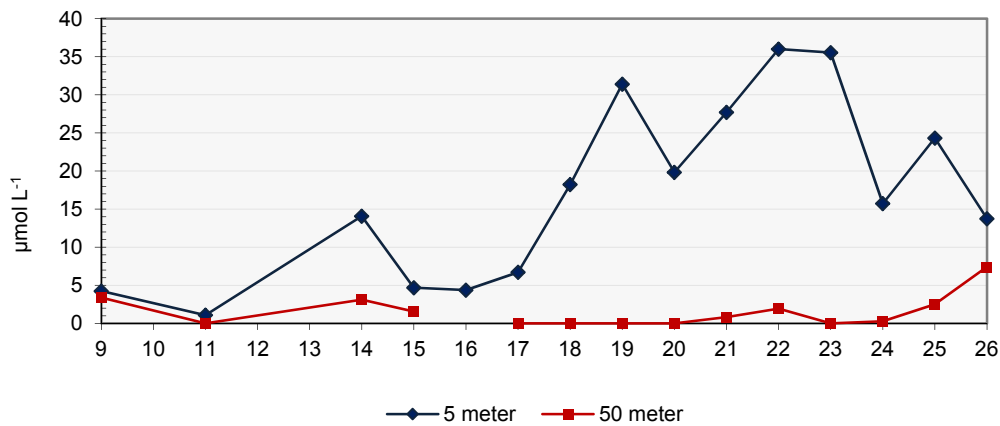
I både uke 9 og 11 (2. og 15. mars 2010) var mengden partikulært karbon i stor grad lik både på 5 og 50 meters dyp, med bare rundt $1 \mu\text{mol L}^{-1}$ høyere verdier på 5 enn på 50 meter (Figur 3.32). I uke 9 var det $4,25 \mu\text{mol L}^{-1}$ partikkelbundet karbon til stede på 5 meters dyp, og frem til uke 11 hadde verdiene sunket til $1,09 \mu\text{mol L}^{-1}$. I uke 14 (8. april) hadde det oppstått en liten topp på $14,08 \mu\text{mol L}^{-1}$, før verdien sank til rundt $4,5 \mu\text{mol L}^{-1}$ i uke 15 og forble relativt lav til og med uke 17 (27. april). I perioden fra uke 17 til 19 (11. mai) forekom det en brå økning i mengde partikulært karbon i fjorden, og ble i uke 19 målt til $31,41 \mu\text{mol L}^{-1}$ før det ble redusert til $19,83 \mu\text{mol L}^{-1}$ frem til uke 20 (18. mai). Fra uke 20 økte mengde karbon på nytt og var på sitt høyeste med $36,01 \mu\text{mol L}^{-1}$ i uke 22 (1. juni) hvor det ble værende på nesten samme nivå også i uke 23 (8. juni). Fra uke 23 til uke 24 (15. juni) sank karboninnholdet i vannet til $15,72 \mu\text{mol L}^{-1}$ før det kom en ny økning til $24,33 \mu\text{mol L}^{-1}$ i uke 25 (22. juni). Fra uke 25 til uke 26 (29. juni) hadde mengde partikulært karbon blitt redusert til $13,75 \mu\text{mol L}^{-1}$.

50 meters dyp

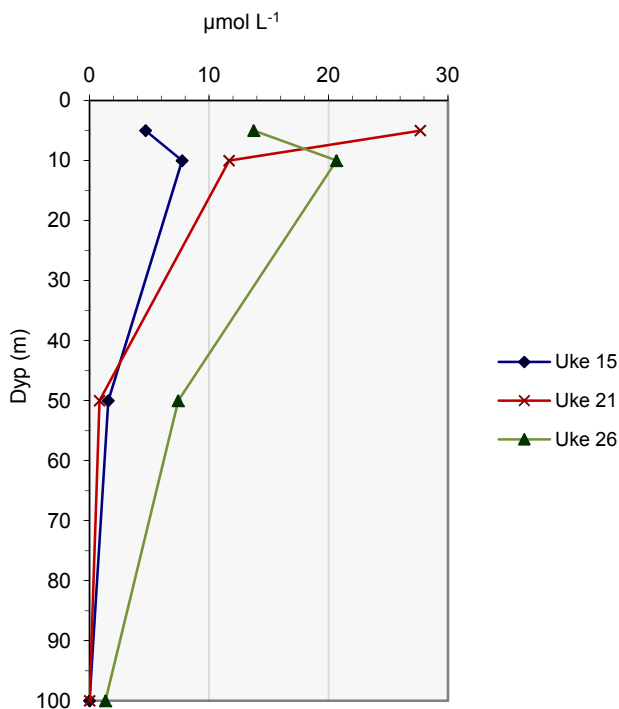
På 50 meters dyp var verdiene for partikulært karbon lave, og i lengre perioder $0 \mu\text{mol L}^{-1}$. I tillegg til målingen i uke 9, var det to svake forhøyninger i mengde partikulært karbon i uke 14 (8. april 2010) på $3,13 \mu\text{mol L}^{-1}$ og uke 22 (1. juni 2010) på $1,94 \mu\text{mol L}^{-1}$. Alle disse forhøyningene samsvarer i tid med forhøyninger av karbon på 5 meters dyp. På slutten av måleperioden, fra uke 24 (15. juni 2010) til uke 26 (29. juni 2010), var det en økning i partikulært karbon fra $0,29$ til $7,41 \mu\text{mol L}^{-1}$. Denne økningen i karbon på 50 meters dyp stod i motsetning til reduksjonen på 5 meter.

Vertikalfordeling

Figur 3.33 over vertikalfordeling av partikulært karbon i uke 15 (14. april 2010), 21 (25. mai 2010) og 26 (29. juni 2010) viser at størsteparten av karbonet fantes over 50 meters dyp. Med unntak av for uke 21, var det mindre karbon på 5 meter enn på 10 meters dyp. På 50 meters dyp var det i uke 15 og 21 under $1 \mu\text{mol karbon L}^{-1}$, og på 100 meters dyp $0 \mu\text{mol L}^{-1}$. I uke 26 var det hele $7,41 \mu\text{mol karbon L}^{-1}$ på 50 meter og $1,32 \mu\text{mol L}^{-1}$ på 100 meters dyp.



Figur 3.32 Partikkelbundet karbon (>0,7 µm) målt på 5 (blå linje) og 50 m (rød linje) dyp i Raunefjorden. X-aksen angir ukenummer i 2010.



Figur 3.33 Vertikalfordeling av partikkelbundet karbon (>0,7 µm) målt uke 15 (14. april 2010), uke 21 (25. mai 2010) og uke 26 (29. juni) i Raunefjorden.

Nitrogen

5 meters dyp

Figur 3.34 over partikkelbundet nitrogen i Raunefjorden viser at det i uke 9 (2. mars 2010) var 0,60 µmol nitrogen L⁻¹ i vannet på både 5 og 50 meters dyp. Videre til uke 11 (15. mars) var

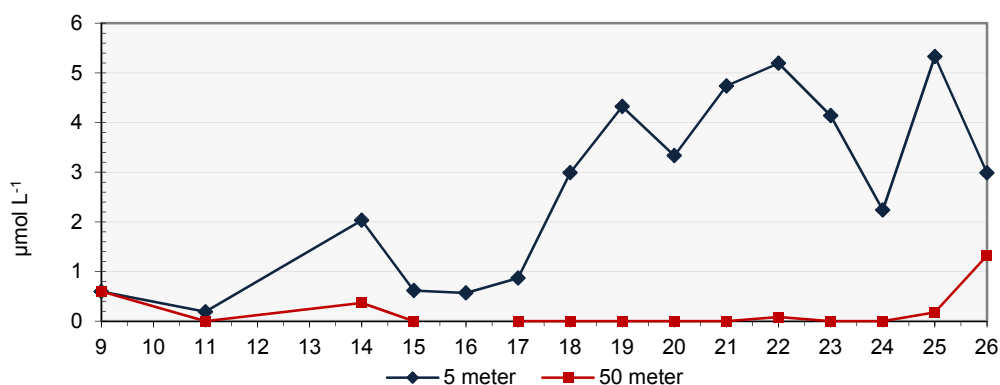
mengde partikulært bundet nitrogen på 5 meters dyp sunket til $0,19 \mu\text{mol L}^{-1}$ mens det på 50 meters dyp ikke kunne måles noe tilstedeværelse av partikulært nitrogen. Uke 14 (8. april) hadde partikulært nitrogen steget til $2,03 \mu\text{mol L}^{-1}$ og utgjorde en topp i forhold til foregående uker. Fra uke 14 til 15 hadde mengde nitrogen sunket til $0,61 \mu\text{mol L}^{-1}$ hvor det var nokså likt frem til og med uke 17 (27. april). Fra uke 17 økte mengde nitrogen til en ny topp på $4,32 \mu\text{mol L}^{-1}$ i uke 19 (18. mai). Denne falt litt tilbake i uke 20 ($3,33 \mu\text{mol L}^{-1}$), men økte derfra til en topp på $5,19 \mu\text{mol L}^{-1}$ i uke 22 (1. juni). Frem mot uke 24 (15. juni) sank verdiene for partikulært nitrogen på ny og var på $2,24 \mu\text{mol L}^{-1}$, som var laveste verdi etter uke 18. Høyeste verdier av partikkelbundet nitrogen ble målt i uke 25 (22. juni) til $5,33 \mu\text{mol L}^{-1}$, før verdiene deretter sank til $2,99 \mu\text{mol L}^{-1}$ i uke 26 (29. juni).

50 meters dyp

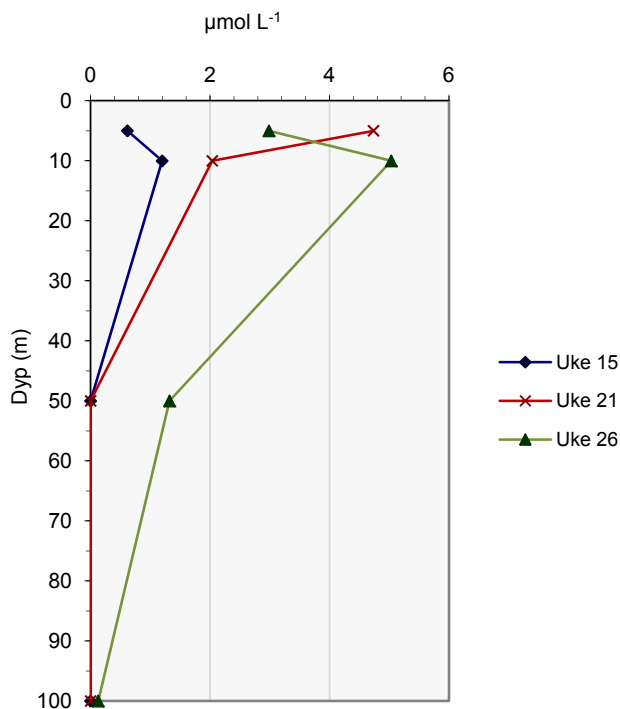
På 50 meters dyp var det i uke 9 (2. mars) samme mengde partikkelbundet nitrogen på 50 meters dyp som på 5 meter ($0,60 \mu\text{mol L}^{-1}$). Med unntak av svært lave verdier i uke 14 ($0,37 \mu\text{mol L}^{-1}$) og 22 ($0,08 \mu\text{mol L}^{-1}$), ble det ikke funnet noe partikulært nitrogen i vannet fra uke 11 (15. mars) til og med uke 24 (15. juni). Fra uke 24 til uke 26 (29. juni 2010) økte mengde nitrogen fra $0 \mu\text{mol L}^{-1}$ til $1,32 \mu\text{mol L}^{-1}$. Økningen av nitrogen på 50 meters dyp i uke 25 og 26 stod i motsetning til den samtidige reduksjonen på 5 meters dyp.

Vertikalfordeling

På 50 og 100 meters dyp ble det i uke 15 (14. april 2010) og 21 (25. mai 2010) ikke funnet noe partikulært nitrogen (Figur 3.35). Derimot var det i uke 26 (29. juni 2010) $1,32 \mu\text{mol nitrogen L}^{-1}$ på 50 meters dyp og $0,13 \mu\text{mol L}^{-1}$ på 100 meters dyp.



Figur 3.34 Partikkelbundet nitrogen ($>0,7 \mu\text{m}$) målt på 5 (blå linje) og 50 m (rød linje) dyp i Raunefjorden. X-aksen angir ukenummer, 2010.



Figur 3.35 Vertikalfordeling av partikkelbundet nitrogen (>0,7 µm) målt uke 15 (14. april 2010), uke 21 (25. mai 2010) og uke 26 (29. juni) i Raunefjorden.

Fosfor

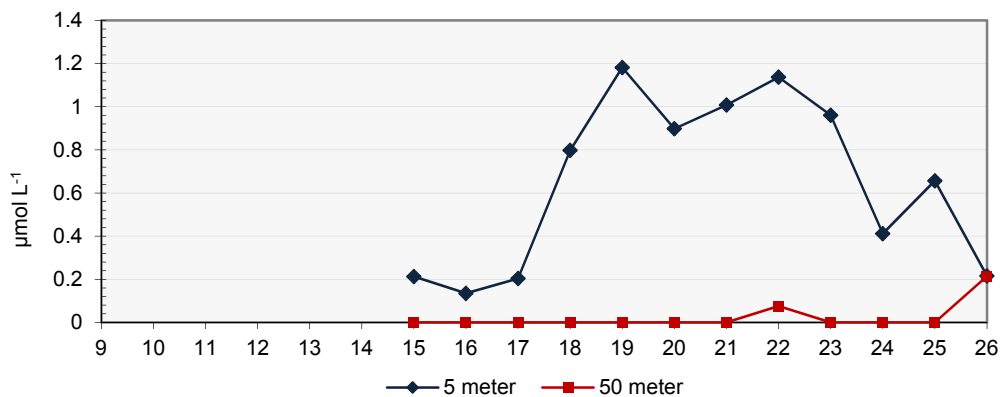
5 meters dyp

Første måling av partikkelbundet fosfor ble gjort i uke 15 (14. april 2010) og var på 0,21 µmol L⁻¹ (Figur 3.36). Frem mot uke 16 (20. april) sank mengde fosfor noe, før det fra uke 16 til uke 19 (11. mai) økte til 1,18 µmol L⁻¹, som var høyeste verdi i måleperioden. Til uke 20 (18. mai) hadde mengde fosfor sunket til 0,90 µmol L⁻¹ før det økte til en ny topp på 1,14 µmol L⁻¹ i uke 22 (1. juni). Fra uke 22 til 24 (15. juni) sank mengden partikulært fosfor i Raunefjorden brått til 0,41 µmol L⁻¹. Tredje og siste økning i mengde fosfor var i uke 25 (22. juni) på 0,66 µmol L⁻¹ hvor det deretter sank ytterligere til 0,22 µmol L⁻¹ i uke 26 (29. juni).

50 meters dyp

På 50 meters dyp ble det ikke funnet partikulært fosfor over metodens sensitivitet før i uke 22 (1. juni 2010) hvor det fantes 0,08 µmol fosfor L⁻¹ bundet i partikler i vannet. Denne økningen var på samme tidspunkt som en topp av fosfor ble målt på 5 meters dyp. Fra uke 23 (8. juni) til uke 25 (22. juni) ble det heller ikke funnet noe fosfor på dette dypet, men i uke 26 (29.

juni) hadde mengde fosfor økt til $0,21 \mu\text{mol L}^{-1}$, som var nesten tilsvarende som for 5 meters dyp.



Figur 3.36 Partikkelbundet fosfor ($>0,45 \mu\text{m}$) målt på 5 (blå linje) og 50 m (rød linje) dyp i Raunefjorden. X-aksen angir ukenummer, 2010.

Silisium

5 meters dyp

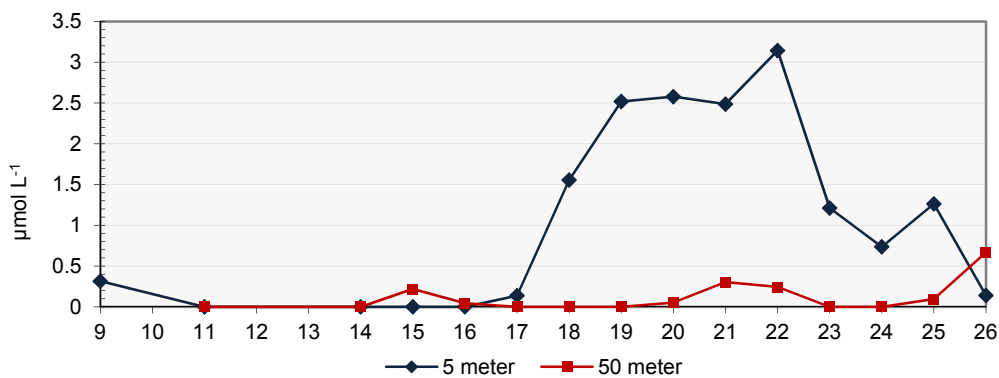
Første måling av partikkelbundet silisium på 5 meters dyp, som var i uke 9 (2. mars 2010), viste $0,32 \mu\text{mol L}^{-1}$ (Figur 3.37). Fra uke 11 (15. mars) til og med uke 16 (20. april) ble det ikke funnet noe partikulært silisium på dette dypet. Men fra uke 16 til uke 19 (11. mai) steg mengden brått til rundt $2,5 \mu\text{mol L}^{-1}$ der den forble til og med uke 21 (25. mai). I uke 22 (1. juni) hadde mengde partikulært silisium steget ytterligere til $3,14 \mu\text{mol L}^{-1}$, og dette var den høyeste mengden partikkelbundet silisium som ble funnet i Raunefjorden. Fra uke 22 sank mengden brått til $0,74 \mu\text{mol L}^{-1}$ i uke 24 (15. juni) før den steg til en ny og mye lavere topp på $1,26 \mu\text{mol L}^{-1}$ i uke 25 (22. juni). Derfra sank mengden ytterligere til $0,14 \mu\text{mol L}^{-1}$ i uke 26 (29. juni).

50 meters dyp

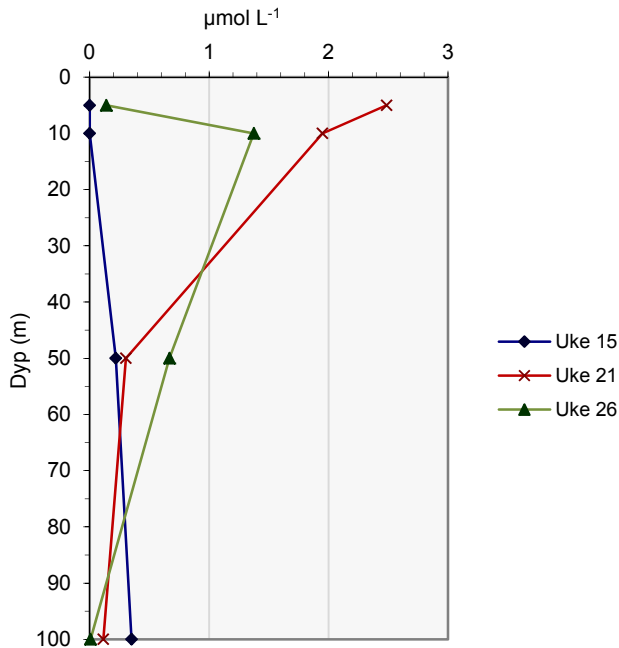
På 50 meters dyp var verdiene for partikkelbundet silisium jevnt over lave i hele måleperioden. I uke 15 (15. april 2010) hadde mengde silisium steget fra $0,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ til $0,22 \mu\text{mol L}^{-1}$ og i uke 20 (15. mai) var det en svak økning av silisium som steg til $0,30 \mu\text{mol L}^{-1}$ i uke 21 (25. mai) før det i uke 23 (8. juni) igjen ble målt $0,0 \mu\text{mol silisium L}^{-1}$. Fra uke 24 (15. juni) til uke 26 (19. juni) oppstod en mer markant økning i partikulært silisium. I uke 26 ble det målt $0,67 \mu\text{mol silisium L}^{-1}$ på 50 meters dyp som var en betydelig større mengde enn på 5 meters dyp.

Vertikalfordeling

Fra figur 3.38, som viser vertikalfordeling av partikkelbundet silisium, ser en at for uke 21 (25. mai 2010) og 26 (29. juni 2010) sank mengde partikulært silisium i vannet med dypet mens det for uke 15 (15. april 2010) økte. I uke 15 var det 0,0 $\mu\text{mol silisium L}^{-1}$ på 5 og 10 meters dyp, mens det på 50 m var 0,22 $\mu\text{mol L}^{-1}$ og på 100 m 0,35 $\mu\text{mol silisium L}^{-1}$. I uke 26 var det stor forskjell på 5 og 10 meters dyp. På 5 meter var det 0,14 $\mu\text{mol L}^{-1}$ og på 10 meter 1,37 $\mu\text{mol silisium L}^{-1}$. På 50 meters dyp var det 0,67 $\mu\text{mol silisium L}^{-1}$, som er relativt mye. Men på 100 meter var det bare 0,011 $\mu\text{mol L}^{-1}$, som var mindre enn i uke 15 og 21.



Figur 3.37 Partikkelbundet silisium ($>0,6 \mu\text{m}$) målt på 5 (blå linje) og 50 m (rød linje) dyp i Raunefjorden. X-aksen angir ukenummer, 2010.



Figur 3.38 Vertikalfordeling av partikkelbundet silisium ($>0,6 \mu\text{m}$) målt uke 15 (14. april 2010), uke 21 (25. mai 2010) og uke 26 (29. juni) i Raunefjorden.

Kalsium

5 meters dyp

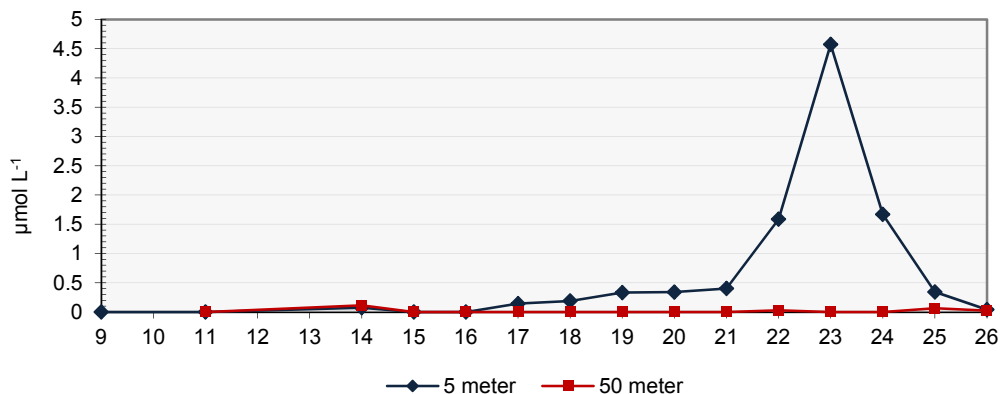
Mellom uke 9 (2. mars 2010) og uke 16 (20. april) ble det på 5 meters dyp bare funnet partikulært kalsium i uke 14 (8. april) og da i små mengder ($0,07 \mu\text{mol L}^{-1}$) (Figur 3.39). Fra uke 16 økte mengde partikulært kalsium til $0,40 \mu\text{mol L}^{-1}$ i uke 21 (25. mai). Videre steg mengde kalsium brått til $4,57 \mu\text{mol L}^{-1}$ i uke 23 (8. juni) før det sank like brått ned til $0,34 \mu\text{mol L}^{-1}$ i uke 25 (22. juni). I uke 26 (29. juni) ble det funnet kun $0,04 \mu\text{mol L}^{-1}$ partikkelbundet kalsium på 5 meters dyp.

50 meters dyp

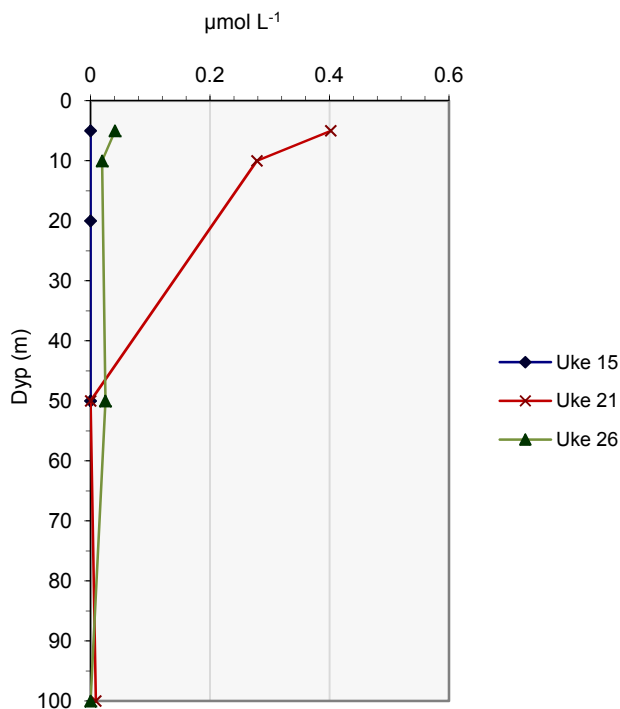
På 50 meters dyp var det bare i uke 14 (8. april 2010), 22 (1. juni), 25 (22. juni) og 26 (29. juni) det ble funnet partikulært kalsium i vannet, og da i svært små mengder ($<0,1 \mu\text{mol L}^{-1}$).

Vertikalfordeling

Det ble ikke funnet partikkelbundet kalsium i vannsøylen fra 5 til 100 meters dyp i uke 15 (15. april 2010) (Figur 3.40). I uke 21 (25. mai) var det $0,40 \mu\text{mol L}^{-1}$ på 5 meters dyp og $0,28 \mu\text{mol L}^{-1}$ på 10 meters dyp. På 50 meter ble det ikke funnet kalsium, men på 100 meters dyp ble det målt $0,01 \mu\text{mol L}^{-1}$. I uke 26 (29. juni) var det lave verdier av partikkelbundet kalsium nær overflaten med $0,04 \mu\text{mol L}^{-1}$ på 5 meter og $0,02 \mu\text{mol L}^{-1}$ på 10 meters dyp. Også på 50 meters dyp var det $0,02 \mu\text{mol kalsium L}^{-1}$. Det ble ikke funnet partikulært kalsium på 100 meters dyp i uke 26.



Figur 3.39 Partikkelbundet kalsium ($>0,6 \mu\text{m}$) målt på 5 (blå linje) og 50 m (rød linje) dyp i Raunefjorden. X-aksen angir ukenummer, 2010.



Figur 3.40 Vertikalfordeling av partikkelbundet kalsium (>0,6 µm) målt uke 15 (14. april 2010), uke 21 (25. mai 2010) og uke 26 (29. juni) i Raunefjorden.

3.2.7 Planktonsammensetning

Fra uke 9 til 26 ble det observert en bred artssammensetning i Raunefjorden med én kort og en lang og massiv oppblomstring av *Skeletonema marinoi*, en kort periode hvor *Emiliana huxleyi* dominerte samt en oppblomstring av *Pseudo-nitzschia* sp. i studiens siste uke. Basert på tabell 3.3 og observasjonslogg, kan senvinter, vår og tidlig sommer 2010 oppsummeres ukesvis:

Uke 9, 2. mars 2010

Fytoplanktonsammensetningen på 5 meters dyp i Raunefjorden var i uke 9 i hovedsak dominert av *Skeletonema marinoi* som fantes i antall tilsvarende en svak oppblomstring sammen noe *Chaetoceros* spp. Det var ellers få alger av mindre størrelser eller coccolitter til stede. Det ble funnet hvilesporer av *Chaetoceros* spp., men få av antall. På 50 meters dyp var det denne uken et sammensatt artsbilde med noe *Thalassionema* sp. og *Thalassiosira* spp., men ingen arter i dominans. Det ble funnet svært få av de mindre artene som *Emiliana huxleyi* og *Arcocellulus cornucervis*.

Uke 11, 15. mars 2010

I uke 11 var det på 5 og 50 meters dyp totalt sett lave mengder fytoplankton i vannet. Det ble funnet noen kjeder av *Thalassionema* sp. samt en del hus (lorica) fra krageflagellater. Derimot hadde mengden av små alger på 5 meters dyp økt i forhold til foregående uke. Det ble funnet en del *Emiliana huxleyi*, men *Arcocellulus cornucervis* var dominerende art. En del dinoflagellater bestående av forskjellige arter av *Ceratium* var også representert. Både på 5 og 50 meters dyp ble det funnet en del hus fra krageflagellater, men på 50 meters dyp var det ellers lite plankton til stede.

Uke 14, 8. april 2010

En del *Ceratium longipes* ble funnet på 5 meters dyp denne uken. I tillegg fantes det også en del *Arcocellulus cornucervis*. På 50 meters dyp fantes det enkelte *Arcocellulus cornucervis* og hus fra krageflagellater, men bortsett fra disse var det bare rester fra *Chaetoceros* spp. til stede.

Uke 15, 15. april 2010

På 5 meters dyp fantes det et bredt sammensatt samfunn av en rekke diatomeer, krageflagellater, coccolithophorider og dinoflagellater. En del *Arcocellulus cornucervis* og krageflagellater var til stede, uten at noen arter kan utpekes som dominerende. Det ble også funnet noen *Parafavella denticulata*. På 50 meters dyp var det en del rester og ødelagte celler samt noe fekalpellets. Ellers var det lite annet til stede.

Uke 16, 20. april 2010

På 5 meters dyp dominerte *Arcocellulus cornucervis* i antall. Men med cellediameter tatt i betraktning, var biomassen i stor grad likt fordelt mellom *Arcocellulus cornucervis*, *Emiliana huxleyi* og *Skeletonema marinoi*. En del dinoflagellater var representert. Av disse var det flest av *Ceratium longipes*. På 50 meters dyp var det i hovedsak et fåtall av spredte celler samt noen rester av diatomeer til stede.

Uke 17, 27. april 2010

Tallmessig dominerte *Arcocellulus cornucervis* på 5 meters dyp også denne uken. Men på grunn av *Arcocellulus cornucervis* sin relativt beskjedne størrelse, var det sannsynlig at *Chaetoceros brevis* og *Chaetoceros debilis* bidro til størsteparten av biomassen. Det var til stede en del *Ceratium longipes* også denne uken. På 50 meters dyp var det få hele celler, men det fantes en del rester av forskjellige diatomeer og *Emiliana huxleyi*.

Uke 18, 4. mai 2010

På 5 meters dyp var det en stor økning i antall *Skeletonema marinoi* og *Chaetoceros* sp. fra uke 17 til uke 18. Grunnen tettheten i prøven var det ikke mulig å artsbestemme den dominerende *Chaetoceros* sp. Det var ellers lite annet plankton i vannet. På 50 meters dyp ble det funnet litt rester av diatomeer og coccolitter fra *Emiliana huxleyi*. Ellers var det kun sporadiske celler til stede.

Uke 19, 11. mai 2010

Skeletonema sp. dominerte fullstendig på 5 meters dyp og var til stede i stort antall denne uken. På 50 meters dyp var det mye rester av *Skeletonema marinoi*, samt et stort artsmangfold fordelt på få celler.

Uke 20, 18. mai 2010

Det var også denne uken store mengder *Skeletonema marinoi* å finne på 5 meters dyp, men i mindre antall enn i uke 19. Det var også en del *Emiliana huxleyi* til stede. På 50 meters dyp var det denne uken en del *S. marinoi* i god forfatning, samt rester av *Chaetoceros* spp. Det var også en god del fekalpellets og coccolitter fra *E. huxleyi* i vannet.

Uke 21, 25. mai 2010

Det var mye *Skeletonema marinoi* og en del *Emiliana huxleyi* på 5 meters dyp, men det ble funnet svært få *Chaetoceros* spp. På 50 meters dyp ble det funnet mye *S. marinoi*, samt en god del forskjellige arter *Chaetoceros*. Det ble også funnet en god del forskjellige hvilesporer fra *Chaetoceros* spp.

Uke 22, 1. juni 2010

Denne uken var det svært mye *Skeletonema marinoi* samt en del *Emiliana huxleyi* til stede på 5 meters dyp. Også på 50 meters dyp var det en del *S. marinoi*, både i form av hele celler og som cellerester. Det ble funnet noe *Chaetoceros* spp. samt en god del hvilesporer fra disse.

Uke 23, 8. juni 2010

På 5 meters dyp var det denne uken mye *Emiliana huxleyi* og en del *Skeletonema marinoi* i Raunefjorden. Det var ellers svært få celler fra andre arter til stede. På 50 meters dyp fantes det en del *S. marinoi* i god forfatning og mye rester fra både *S. marinoi* og *E. huxleyi*. En del hvilesporer fra forskjellige arter av *Chaetoceros* var også til stede.

Uke 24, 15. juni 2010

Denne uken var det en hel del *Skeletonema marinoi*, *Chaetoceros* spp., *Emiliana huxleyi* og *Pseudo-nitzschia* sp. på 5 meters dyp. I tillegg til noen hvilesporer fra *Chaetoceros* spp. ble det også funnet mye coccolitter fra *E. huxleyi*; både løse i vannet og i en del fekalpellets som var å finne denne uken. På 50 meters dyp fantes det også hvilesporer fra *Chaetoceros* spp. samt mye coccolitter fra *E. huxleyi*, både som løse coccolitter og i fekalpellets.

Uke 25, 22. juni 2010

Noe *Skeletonema marinoi*, *Pseudo-nitzschia* sp. og *Chaetoceros* spp. til stede på 5 meters dyp. På 50 meters dyp fantes en del hvilesporer fra *Chaetoceros* spp., samt *Pseudo-nitzschia* sp. i samme antall som på 5 meters dyp.

Uke 26, 29. juni 2010

På 5 meters dyp var det noe *Skeletonema marinoi* og *Pseudo-nitzschia* sp. til stede. Det ble også funnet noen få, korte kjeder av forskjellige arter av *Chaetoceros*, men disse var i dårlig forfatning. På 50 meters dyp var det svært mye *Pseudo-nitzschia* sp., fulgt av en del *S. marinoi*. og *Thalassiosira* spp. Det ble også funnet noen hvilesporer fra *Chaetoceros* spp.

4 Diskusjon

4.1 Karakterisering av vannmasser

Overskudd av brakkvann som samles i Østersjøen danner ved Øresund en strøm av vann som forflytter seg via Kattegat inn i Skagerrak (Mangerud og Gulliksen 1975). Disse vannmassene med lav saltholdighet følger kysten av Norge nordover og tar opp ferskvann som renner av fra land underveis (Sætre 2007). Strømmen av vann fra Østersjøen og Norge blandes med nordsjø- og atlantisk vann, og danner i sin helhet Den norske kyststrømmen (Sætre 1999). Opprinnelsen fra den brakke Østersjøen og opptaket av ferskvann underveis fører til at kyststrømmen har lav salinitet der den starter, men øker i saltholdighet underveis og etter hvert som den i økende grad blandes med atlantehavsvann nord for Stad (Sætre 1973). På grunn av kyststrømmens relativt lave saltholdighet, kan kystvannet karakteriseres ved å ha salinitet mindre enn 34,7 og temperatur over 2 °C (Loeng 1991), mens de atlantiske vannmassene har salinitet på mer enn 35,0 (Helland-Hansen og Nansen 1909) og temperatur over 3 °C (Loeng 1991).

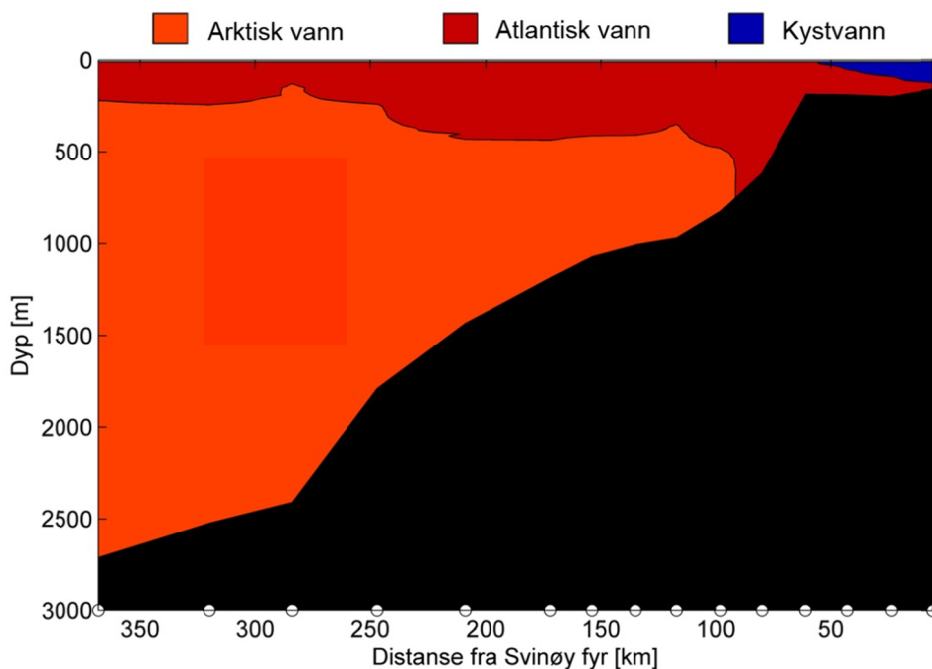
Utenfor og til dels under Den norske kyststrømmen går Den norske atlantehavsstrømmen. Denne strømmen frakter temperert og saltholdig atlantehavsvann fra det østlige Nord-Atlantehavet til Barentshavet og Polhavet. Atlanterhavsstrømmen er i realiteten to grener av Golfstrømmen der den ene kommer inn i Norskehavet nær østkysten av Island og den andre via Færøysrenna (Skagseth, Orvik et al. 2004; Skagseth og Orvik 2005). Den østlige grenen av Den norske atlantehavsstrømmen følger kontinentalskråningen og er sammen med Den norske kyststrømmen spesielt fremtredende på isoplottet av tettheten (σ_t) til vannmassene langs Svinøysnittet (Figur 3.5).

I tillegg til vannmasser bestående av kyst- og atlantisk vann, ble det også funnet arktisk vann i Norskehavet. Disse vannmassene karakteriseres ved å ha salinitet på mellom 34,3 og 34,8 og temperaturer under 0 °C (Loeng 1991).

4.1.1 Svinøysnittet

Svinøysnittet er et lengdesnitt som strekker seg fra Svinøy i Herøy kommune og 370 kilometer nordvest i Norskehavet. På grunnlag av overflatetemperatur mellom 5 til 8 °C og uttalt økning i salinitet med dypet, kunne stasjon 1 til 4 klassifiseres som kystnære. Stasjon 1

til 17 og M kunne klassifiseres som atlantiske stasjoner med overflatetemperatur i hovedsak mellom 2,5 og 7,5 °C og salinitet over 34,95 (Paasche og Rom 1962). Langs snittet ble det registrert tre vannmasser med forskjellig karakteristikk. Fra stasjon 1, 6 km fra Svinøy fyr, strakk det seg et kileformet felt med vannmasser av kystvann ut til 65 km fra Svinøy fyr. Dette feltet som danner Den norske kyststrømmen gikk ned til 120 meters dyp nær Svinøy, og mellom stasjon 4 og 6 var feltet bare til stede i overflatelaget. Under feltet med mindre saltholdighet, og langs overflaten fra 65 kilometer fra Svinøy fyr, fantes en masse med atlantisk vann som utgjorde Den norske atlantehavsstrømmen. Denne massen strakk seg helt ut til stasjon 17, nær 370 kilometer fra Svinøy fyr. Dette stemmer godt med kyststrømmens beskrivelse som en kileformet vannmasse med skrå møteflate mot det underliggende atlantiske vannet (Sætre, Aure et al. 1988). Under massen med atlantisk vann lå arktiske vannmasser med lavere saltholdighet enn det atlantiske vannet. På grunn av det arktiske vannets lave temperaturer og dermed større tetthet (Figur 3.5), kunne denne vannmassen ligge under det atlantiske vannet til tross for at det hadde lavere saltholdighet.



Figur 4.1 Isoplot basert på saltholdighet, tetthet og temperatur som viser de forskjellige vannmassene langs Svinøysnittet 25. februar 2010.

4.1.2 Raunefjorden

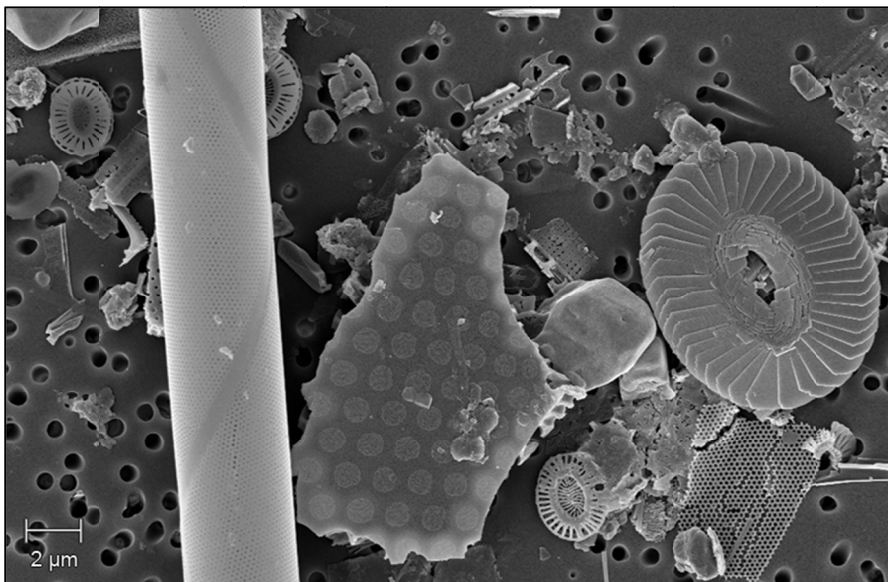
Vannmassene i Raunefjorden kan klassifiseres som overflatelag (0 til 3 meter), mellomlag (fra overflatelaget til terskeldyp på 114 meter) og dypvann som finnes i fjordbassenget under terskelen.

Figurene 3.14 og 3.15 viser at 2. mars 2010 bestod de øverste 55 meterne av mellomlaget i Raunefjorden av fjord- og kystvann med relativt lav saltholdighet og temperatur. Vannet i overflatelaget hadde lavt saltinnhold og lave temperaturer. Dette er typisk for fjordvann der nedbør og avrenning fra land fører til at vann med lavere saltholdighet og tetthet befinner seg over vannmasser med større saltholdighet. Under 55 meters dyp fantes vann som hadde langt høyere temperatur og saltholdighet enn vannmassene over. Dette var trolig vann med atlantisk opprinnelse som har blitt transportert inn i Raunefjorden.

4.2 Nedsynking av biologiske partikler fra fytoplankton til dyphavet

I løse vannmasser både på stasjon 17 på 2681 meter og stasjon M på 2000 meters dyp ble det funnet relativt store mengder hele coccolitter fra *Emiliania huxleyi* og *Coccolithus pelagicus* (Figur 4.2). I tillegg ble det også funnet en del rester av diatomeer og én enkel hviles pore fra *Chaetoceros* sp. Også andre studier har påvist store mengder coccolitter i dypet av Norskehavet (Samtleben og Bickert 1990), men disse ble i motsetning til i åpent vann funnet i feller. De aller fleste coccolittene og diatomerestene som ble funnet på Svinøysnittet opptrådte enkeltvis. Én enkel celle av *E. huxleyi* med intakte coccolitter ville brukt i overkant av 4 år på synke fra overflaten til 2000 meter (Eppley 1990), mens løse coccolitter ville brukt langt mer tid på å nå slike dyp. I Atlanterhavet forventes den kjemiske lysoklinen å ligge på mellom 4000 til 4500 meters dyp, likevel er det anslått at opptil 60 til 80 % av kalsiumkarbonatet som coccolittene er bygget opp av blir løst opp i de øvre 500 til 1000 meterne av havet (Milliman, Troy et al. 1999). Lignende situasjon gjelder for silikatstrukturer fra diatomeer, der mer enn halvparten antas å bli løst opp innenfor de øverste 100 meterne av eufotisk sone (Nelson, Treguer et al. 1995). Det er lite sannsynlig at rester fra coccolithophorider og til en viss grad diatomeer har sunket ned i fri tilstand, da det kan forventes at de har gått i oppløsning innen tiden det vil ta å nå slike dyp. Derimot vil coccolitter og diatomerester i aggregert form kunne forventes å ha en langt høyere nedsynknings hastighet. På både stasjon 17 og M ble det funnet fekalpellets på 50 meters dyp.

Det ble også funnet noen hele fekalpellets som inneholdt coccolitter og rester fra diatomeer på 2000 meters dyp ved stasjon M. Fekalpellets fra copepoder som har beitet på *Emiliana huxleyi* er vist å inneholde så mye som opptil 10^5 coccolitter eller $1 \mu\text{g CaCO}_3$ (Honjo 1976) og ha nedsynknings hastighet på mellom 80 til $150 \text{ m d\ddot{a}gn}^{-1}$ (Small, Fowler et al. 1979). Pelletenes store variasjon i størrelse og form vil påvirke nedsynknings hastigheten, men med lavest anslåtte hastighet vil det bare ta 25 dager for en pellet å nå 2000 meters dyp. Coccolitter blir stort sett ikke knust eller brutt ned når coccolithophorider blir spist av copepoder (Honjo 1976). Dette er tydelig på bilde av fekalpelletet fra Raunefjorden som inneholder hele coccolitter fra *E. huxleyi* og hvilesporer fra *Chaetoceros* sp. (Figur 4.11). Fekalpelletene er omsluttet av en membran, som inntil den er brutt ned, samler og beskytter coccolittene fra omgivelsene (Honjo 1976) og kan bidra til å forklare hvorfor det ble funnet rester av fytoplankton i god forfatning på store dyp.



Figur 4.2 Bilde tatt ved hjelp av skanning elektronmikroskop som viser rester fra *Emiliana huxleyi*, *Coccolithus pelagicus* og *Proboscia alata* samt rester fra andre diatomeer. Prøven på bildet er hentet fra 2681 meters dyp ved stasjon 17 på Svinøysnittet, 27. februar 2010.

4.3 Vannutskiftning

4.3.1 Vannutskiftning mellom kyst og fjord

Vind som blåser over en vannflate utøver mekanisk drag på de øverste 100 meterne av vannsøylen, det såkalte Ekman-laget. På grunn av jordens rotasjon, vil Corioliskraften medføre at vannet beveger seg omtrent 90° til høyre for vindens retning på den nordlige halvkule, og motsatt på den sørlige. Når vinden langs kystlinjen er nordlig, vil vindkraften presse vannet vestover, til høyre for vindkomponenten, og dermed blir vannet nær overflaten drevet ut fra kysten og erstattet med vann fra dypet. Dette salte dypvannet med høyere tetthet kan renne over fjordens terskel og erstatte dypvannet inne i fjordbassenget. På grunn av fortrenningen av vannmassene som allerede var til stede i fjordbassenget, forekommer en oppstrømning av dypvann til mellomlaget i fjorden. Som en konsekvens av dette strømmer overflatelaget dermed ut av fjorden og inn i kystvannmassene. Motsatt vil vind av sørlig retning føre til at overflatevann fra kysten presses inn i fjorden. Dette vil føre til en nedstrømning inne i fjorden som videre presser dypvannet i fjordbassenget over terskelen og ut i kystvannmassene (Sætre 2007). Selv korte perioder på 2 til 7 dager med vind langs kysten vil etter en forsinkelse på én til to dager gjøre seg gjeldende i form av innstrømming eller utstrømming over terskelen (Helle 1978).

Lokal vind i fjorden vil på samme måte som vind langs kysten påvirke vannet i fjorden i form av mekanisk drag. Men denne effekten reduseres med dypet, og lokale vinder vil i hovedsak kun blande den øverste delen av mellomlaget, mens bidraget til vannutskiftningen mellom fjord- og kystvann er ubetydelig (Sætre 2007).

4.3.2 Vannutskiftning i Raunefjorden

Da CTD-målingene av hydrografi i Raunefjorden startet 16. februar 2010 (uke 7), bestod de øverste 40 meterne av vannsøylen av fjordvann med relativt lav saltholdighet og lave temperaturer. Den lave saltholdigheten var et resultat av nedbør og avrenning fra land, mens den lave temperaturen kom av tilførsel på kaldt vann fra land og nedkjøling fra luften. Lengre ned i vannsøylen kunne det sees en vannmasse med høy saltholdighet og høye temperaturer. Denne vannmassen hadde sannsynlig opphav fra de atlantiske vannmassene som til en stadighet befinner seg under og vest for kyststrømmen. Frem til 2. mars 2010 i uke 9 hadde

det vært en svak nedstrømming av vann i Raunefjorden. Denne nedstrømmingen strakk seg fra overflatelaget og kunne sees gjennom det målte dypet av mellomlaget ved at vannmasser med lavere temperatur og saltholdighet hadde sunket til større dyp (Figur 3.13 og 3.14). I uke 8 var det to dager med kraftig sørlig vind (Figur 3.22); men da det også var en del nordlig vind i perioden før uke 9, forklarer vindindusert nedstrømning på kysten trolig ikke denne nedstrømmingen av vann inne i fjorden.

Oppstrømning i perioden 2. til 15. mars 2010

I perioden mellom uke 9 til uke 11 hadde det forekommet en oppstrømning av vann med høyere saltholdighet og temperatur. Denne oppstrømmingen fraktet vann med atlantisk opprinnelse opp til 34 meters dyp, og effekten av oppstrømmingen kunne sees helt opp til pyknoklinen på ca. 9 meters dyp. In vivo fluorescens for uke 11 viser svært lave verdier som tyder på at vannmassene var blitt utblandet (Figur 3.19). I perioden mellom målingene i uke 9 og 11 hadde det vært to perioder med nordlig vind, avløst av en periode med sørlig vind. Den siste perioden med nordlig vind, som hadde gjennomsnitt på 4 m s^{-1} , startet 12. mars 2010 og sluttet 15. mars 2010; samme dag som målinger for uke 11 ble utført. Oppstrømningen mellom 2. og 15. mars skyldes trolig denne perioden med nordavind.

Nedstrømning i perioden 15. mars til 8. april 2010

CTD-målingen utført i uke 14, 8. april 2010, viste at det hadde vært en kraftig nedstrømning av vannmasser i Raunefjorden (Figur 3.14). Det atlantiske vannet som i uke 11 befant seg på 34 meters dyp, var i uke 14 å finne på 64 meter. Sett bort i fra de øverste meterne hvor solen varmet opp overflatevannet, hadde vanntemperaturen blitt redusert gjennom hele vannsøylen. Vinden hadde med relativt stor styrke vært dominert av sørlig retning i hele perioden mellom uke 11 og 14 (Figur 3.22), og medfølgende nedstrømning generert av den sørlige vinden forårsaket at øvre kystvannmasser hadde strømt inn i Raunefjorden. Overflatelaget inne i fjorden fikk dermed overskudd på vann, og ble presset ned i mellomlaget. Nedstrømningen hadde videre fortrent det dypere fjordvannet som til slutt ble presset ut ved fjordens terskel.

Oppstrømning i perioden 20. april til 22. juni 2010

Fra uke 15 og 16 startet en større oppstrømning av salt vann i fjorden. Dette oppstrømmende vannet var i utgangspunktet varmere enn vannet nær overflaten, men fra 4. mai 2010 (uke 18) forårsaket solinnstrålingen at vannet i overflatelaget likevel ble varmere enn det vannet som ble fraktet til grunnere dyp av oppstrømningen fra fjordbassenget og vannmassene utenfra (Figur 3.17). Oppstrømningen strakk seg 11. mai 2010 (uke 19) opp til en sterk haloklin som

lå på 7 meters dyp, og på 18 meters dyp fantes det atlantisk vann med salinitet over 35 i Raunefjorden. Oppstrømningen vedvarte over tid, og 15. juni 2010 (uke 24) hadde den nådd helt opp til overflaten. Det oppstrømmende vannet hadde i stor grad fortrenget overflatevannet og skapt en homogen vannsøyle. In vivo fluorescens 15. juni 2010 viste en meget stor nedgang på fluorescens i forhold til foregående uker (Figur 3.21). Dette kan skyldes oppstrømningens fortrenkning av vannmasser i overflatelaget, og at fytoplankton i den fotiske sonen muligens var blitt fraktet bort med de fortrenkte vannmassene.

Den massive oppstrømningen av vann i Raunefjorden skyldes trolig en lang periode med nordlig vind ved kysten. Med unntak av to korte perioder i uke 16 og 17, var nordlig vind dominerende fra 9. april i uke 14 og helt frem til 24. juni i uke 25. Den lange perioden med nordlig vind kan ha forårsaket oppstrømningen i Raunefjorden ved at vinden skjøv vannmasser fra Ekman-laget ved kysten ut fra land, og at dypere vann av den grunn måtte strømme opp for å erstatte tapet. Under oppstrømningen nær kysten strømmet vann over terskelen til Raunefjorden og inn i fjordbassenget. Dette vannet erstattet fjordvannet gradvis høyere opp i vannsøylen, og rakk i uke 24 helt opp til overflaten (Figur 3.14). Raunefjordens øverste lag av vannmasser ble på samme tid fortrenget ut av fjorden og ført inn i de utenforliggende kystvannmassene.

Nedstrømning fra 22. juni 2010

CTD-måling gjort 29. juni 2010 (uke 26) viste at det hadde oppstått en nedstrømning siden 22. juni (Figur 3.13 og 3.14). De synkende vannmassene hadde ført varmere vann ned i vannsøylen, mens solinnstrålingen samtidig opprettholdt en termoklin på rundt 11 meters dyp. På samme tid hadde den sterke haloklinen som vedvarte gjennom hele oppstrømningsperioden blitt brutt, og det ble sett en større grad av gjennomblanding av vannsøylen (Figur 3.18). Nedstrømningen som hadde oppstått kan settes i sammenheng med at den foregående perioden med nordlig vind ble erstattet av sørlig vind 26. juni, og at innstrømningen av overflate- og mellomlagsvann fra kysten hadde ført til nedstrømning i Raunefjorden. Det er også mulig at stagning av den langvarige oppstrømningen av vann fra dypet kan ha ført til at vannmasser med større tetthet hadde begynt å synke. Vannsøylen var i uke 26 homogen, og in vivo fluorescens og klorofyll *a* viste i motsetning til foregående uker høyere verdier for klorofyll ned i vannsøylen, noe som tyder på en større grad av gjennomblanding av vannmassene (Figur 3.21 og 3.31).

4.3.3 Vannutskiftingens rolle for næringstilførsel

Vannmasser i fjorder har generelt lavere innhold av næringssalter enn vann i kyststrømmen og tilstøtende vannmasser (Erga og Heimdal 1984), der fordelingen av næringssaltene i stor grad er påvirket av regenerering i dypvannet (Harris 1986). Når nordlig vind fører dyptliggende vannmasser fra kysten inn i fjorden, tilføres fjordvannet næringsstoffer som er nødvendig for fjordens høye primærproduksjon.

Vannmassene langs Svinøysnittet, som går fra kysten gjennom Den norske kyststrømmen og Den norske atlantehavsstrømmen i Norskehavet, har likheter med vannet som blir tilført Raunefjorden når det strømmer inn over terskelen. Vannmassene som Kyststrømmen frakter med seg langs kysten av Norge, vil mest sannsynlig i økende grad utover våren og sommeren miste løste næringssalter på grunn av primærproduksjonen innad i strømmen. Dette var synlig på stasjon 1 og 4 (Figur 3.10 og 3.11), hvor vannmassene som kom sørfra og hadde lavere innhold av næringssalter øverst i vannsøylen. Målingene på Svinøysnittet i slutten av februar gav likevel en indikasjon på vannmassene som fantes utenfor Raunefjorden resten av året. Stasjon 1 på Svinøysnittet, 6 kilometer fra Svinøy fyr, ligger inne i kyststrømmen, og 25. februar 2010 fantes det kystvann til stede ned til rundt 150 meters dyp. På stasjon 4, 61 kilometer fra Svinøy fyr, rakk kystvannet kun ned til rundt 10 meters dyp, og under dette kystvannet fantes atlantehavsvann. Etter hvilket stadium av oppstrømningssituasjonen som er gjeldende, vil det i Raunefjorden trolig på de fleste tidspunkt finnes vannmasser med likhetstrekk fra stasjonene på Svinøysnittet.

I uke 15, hvor en oppstrømning hadde startet, ble det sett en økende mengde av nitrat, fosfat og silikat i Raunefjorden. Her viste vertikalfordelingen av næringssalter likhetstrekk på 100 meters dyp med tilsvarende målinger som ble gjort på Svinøysnittet i februar samme år (Figur 3.10 og 3.27). Fosfat og silikat fantes i Raunefjorden i størst konsentrasjon på mellom 100 og 150 meters dyp, men ble videre redusert i mengde ned til 200 meters dyp. Det er mulig denne reduksjonen av næringssalter fra 150 til 200 meters dyp kan skyldes sted og dyp de oppadstrømmende vannmassene stammet fra.

I tidsrommet fra begynnelsen av mars til slutten av juni 2010 var det to oppstrømminger og to nedstrømminger i Raunefjorden som trolig skyldes vindindusert vannutskifting. Denne vertikale transporten av vannmasser var reflektert i konsentrasjonen av næringssaltene nitrat, fosfat og silikat i fjorden. Fra uke 12 til 14 (15. mars til 8. april) forekom det en reduksjon av mengde løst nitrat og silikat i fjorden. I uke 14 var innholdet av både nitrat og silikat under

metodens deteksjonsgrense ($<0,5 \mu\text{mol L}^{-1}$) på 5 meters dyp, og viste synkende trend på 50 meter. Derimot var det en kraftig økning i mengde fosfat både på 5 og 50 meters dyp som ikke stod i samsvar med den samtidige reduksjonen av øvrige næringssalter. Siden ingen av de målte parameterne forklarer denne økningen av fosfat, kan det ikke utelukkes at den skyldes hurtig regenerering.

I uke 15 (14. april 2010) startet en massiv oppstrømming som varte til ut midten av juni. Denne oppstrømmingen tilførte store mengder næringssalt til fjorden, og fra uke 14 til uke 15 ble det sett en økning i nitrat og silikat 5 meters dyp mens næringssaltene fortsatt sank på 50 meters dyp (Figur 3.23 og 3.26). Denne reduksjonen kan skyldes at nedstrømmingen frem til uke 14 (8. april) hadde fraktet fytoplankton ned til større dyp, og som fortsatte å forbruke næringssalter. Dette støttes av vertikalprofil for in vivo fluorescens som viste høy fluorescens som strakk seg langt ned i vannsøylen (Figur 3.19). Fra uke 15 økte verdiene av både nitrat, fosfat og silikat i fjorden. Sett bort i fra forbruk, tilførtes Raunefjorden kontinuerlig næringssalter helt frem til uke 25 (22. juni) der den langvarige oppstrømmingen stagnerte eller ble avløst av en nedstrømning forårsaket av at nordavindsperioden opphørte (Figur 3.22). Fra uke 25 til uke 26 (29. juni) ble det sett en reduksjon av samtlige næringssalter på 5 meters dyp, mens det økte på 50 meters dyp. Denne økningen av næringssalter fra uke 25 til 26 kan skyldes at nedstrømmingen har gjort vannsøylen fra termoklinen på 11 meters dyp og nedover mer homogen, og at større grad av gjennomblanding kan ha tilført næring fra dypvannslaget i fjordbassenget (Figur 3.18).

4.3.4 Forholdet mellom løste næringssalt på Svinøysnittet og i Raunefjorden

Voksende marint fytoplankton har opptak av karbon (C), nitrogen (N) og fosfor (P) som er relativt konstant i alle verdens hav. Forholdstallet mellom C:N:P er i antall atom 106:16:1 (Redfield 1958) og blir gjerne kalt Redfield-Richards ratio. Dersom en legger til silisium, som er nødvendig for vekst av diatomeer, blir ratioen 106C:16N:15Si:1P (Harris 1986).

Størsteparten av de biologiske partiklene som produseres i den fotiske sonen synker med tiden ned i dypet av havet der de blir remineralisert. Regnet av biologiske partikler fra fotisk sone og ned i dypet fører til at konsentrasjonen av næringsstoffer øker etter hvert som vannmassene forflytter seg gjennom havbassengene (Libes 1992). Forholdet mellom de løste næringsstoffene karbon, nitrat, fosfat og silikat i dyphavet vil derfor forventes å være likt som

for biologisk bundne elementer i plankton (Redfield, Ketchum et al. 1963). Næringsstoffene blir på nytt gjort tilgjengelige for den fotiske sonen ved hjelp av den langsomme oppstrømningen fra den termohaline sirkulasjonen (Libes 1992), og er sammen med tilførsel fra elver og annen avrenning den største kilden til næringsstoffer i fjorder (Harris 1986). Ut i fra Redfield-Richards ratio burde en kunne forvente at N:P-forholdet i dypet skulle være 16:1. Tabell 4.1 viser at vannet på 170 meters dyp ved stasjon 4 på Svinøysnittet hadde en N:P-ratio på 15. I og med at marine vannmasser gjerne har lavere N:P-ratio enn ferskvann (Hecky og Kilham 1988), var N:P-forholdet nær forventet. Det er også vist at konsentrasjonen av nitrat i overflatenært vann i Atlanterhavet har en sør-nord variasjon med lave verdier i sør og høyere verdier i nord (Koeve 2001). Dette kan medføre variasjon i N:P-forhold mot forventede verdier i Redfield-Richards ratio etter hvor målingene er gjort eller hvor vannmassene stammer fra. På stasjon 1 og i de øverste 10 meterne av vannsøylen ved stasjon 4 var N:P-forholdet noe lavere enn for de dypere liggende vannmassene på stasjon 4. Dette skyldes sannsynligvis større forbruk av nitrogen enn fosfor av fytoplankton som vokser nær overflaten samt en mulig hurtigere regenerering av fosfor i overflatelaget. Svinøysnittet hadde i tillegg til det lave forholdet mellom nitrogen og fosfor et betydelig lavere silisium-fosfatforhold enn forventet fra Redfield-Richards ratio. Ettersom vannmassene ikke inneholdt nok diatomeer til å gi et så markant forhøyet forbruk, kan dette lave forholdstallet skyldes at vannmassene i Nord-Atlanterhavet inneholdt betydelig lavere mengde løst silikat enn ratioen tilsier. Dette kommer også frem av estimater for vannmassene vinterstid ved Biotrans-stasjonen (47 °N, 20 °V) (Koeve 2001), som hadde lignende ratioer for nitrogen-fosfor og silisium-nitrogen som Svinøysnittet hadde 25. februar 2010. I moderne tid har tilførselen av fosfor og til en viss grad nitrogen fra land til Nord-Atlanterhavet og Østersjøen økt, mens tilførselen av silisium via elver, som står for ca. 80 %, har forblitt den samme eller gått ned (Treguer, Nelson et al. 1995). Resultatet av den økte tilførselen av fosfat og nitrogen har blitt at forholdstallet mellom løst silikat-nitrat (Si:N) og silikat-fosfat (Si:P) er negativt relatert til folkevekst og økonomisk- og agrikulturell tetthet (Rabalais 2002).

Tabell 4.1 Forholdet mellom nitrogen/fosfor og silisium/fosfor i antall atomer på stasjon 1 (6 km fra Svinøy fyr) og 4 (61 km fra Svinøy fyr) på Svinøysnittet 25. februar 2010.

<i>Stasjon</i>	<i>Dyp</i>	<i>N:P</i>	<i>Si:P</i>
1	2,9	12,1	7,4
1	10,1	12,8	7,7
1	20,4	12,1	7,6
1	99,4	13,2	6,3
1	125,2	13,7	5,9
4	4,2	12,5	5,9
4	8,7	12,5	5,8
4	20,1	14,3	5,2
4	96,7	15,3	5,6
4	119,7	14,7	5,5
4	170,2	15	5,8

I uke 15 startet en oppstrømning av dypere vannmasser i Raunefjorden. På dette tidspunktet var N:P-ratioen 15,4 og Si:P-ratioen 7,6 på 150 meters dyp. På 200 meters dyp var N:P 11,1 og Si:P 5,6. Dette kan tyde på ulik opprinnelse av vannmassene på de to dypene. Det er mulig vannmassene på 150 meters dyp var blitt tilført fjordbassenget ved oppstrømninger tidligere på året, mens vannmassene på 200 meters dyp nylig hadde strømmet inn over terskelen.

Dersom dette er tilfelle, kan noe av næringssaltene allerede ha blitt brukt opp før vannmassene kom inn i fjorden.

Dersom forholdet mellom næringssaltene i de dypere vannmassene på stasjon 4 på Svinøysnittet våren 2010 benyttes som estimat over vannmassene som tilføres Raunefjorden ved oppstrømning, vil vannet som tilføres ha lite nitrat og silikat i forhold til fosfat allerede når det fraktes inn i fjorden. I og med at Raunefjorden i motsetning til vannmassene ved stasjon 4 på Svinøysnittet har direkte tilførsel av vann fra land, er det derimot mulig at fjorden i perioder tilføres næringsstoffer fra land i et annet forhold enn i vannmassene som tilføres fra kysten. Næringsgrunlaget for vekst av fytoplankton kan derfor antas å være av større kompleksitet og vil i utgangspunktet ikke være ensbetydende med innholdet av løste næringsstoff i Kyststrømmen og dens tilstøtende vannmasser. Ved en næringsbegrensning i fjorden vil derimot tilførsel av næringsstoffer utenfra kunne legge grunnlaget for videre vekst eller oppblomstring av andre arter.

Tabell 4.2 viser at det var generelt lavere forhold mellom nitrogen-fosfor og silisium-fosfor på 5 meters dyp enn 50 meters dyp i Raunefjorden våren 2010. Dette kan skyldes større forbruk i øvre vannmasser enn i dypet, samt større grad av gjennomblending av vannmassene på 50 enn

på 5 meters dyp. Det er ut i fra forholdstallene i tabell 4.2 mulig å anta at nitrat (<16) og silikat (<15) i større grad enn fosfat var begrensende næringssalter i Raunefjorden senvinter til sommer 2010.

I uke 14 var det lavere forholdstall mellom N:P og Si:P på 50 meters dyp i forhold til foregående og påfølgende uker. Dette skyldes trolig at nedstrømningen i samme periode hadde forflyttet vann med lavt næringshold fra den øvre delen av vannmassene ned til 50 meter eller dypere.

Tabell 4.2 Forholdet mellom nitrogen-fosfor og silisium-fosfor i antall atomer på 5 og 50 meters dyp i Raunefjorden. Manglende data er merket med “-”.

<i>Uke nr.</i>	<i>5 m</i>		<i>50 m</i>	
	<i>N:P</i>	<i>Si:P</i>	<i>N:P</i>	<i>Si:P</i>
11	1,5	0,9	-	-
12	8,4	6,1	-	-
13	3,8	5,4	10,9	5,6
14	0,0	0,0	3,7	2,0
15	4,2	5,0	8,5	4,8
17	1,6	1,0	6,2	3,1
18	2,8	1,5	6,3	3,1
19	2,3	1,1	4,9	2,3
20	0,8	0,0	4,4	2,1
21	0,7	0,0	2,7	1,2
22	0,0	0,0	7,1	3,0
23	0,0	0,0	4,8	2,3
24	4,6	2,4	5,0	2,4
25	0,6	0,8	4,6	2,3
26	0,0	0,0	4,5	2,1

4.3.5 Forhold mellom partikkelbundet karbon, nitrogen, silisium i Raunefjorden

Som nevnt i punkt 4.3.4, forventes forholdet mellom karbon (C), nitrogen (N) og fosfor (P) i voksende fytoplankton å være 106C:16N:1P (Redfield 1958), og for diatomeer 106C:16N:15Si:1P (Harris 1986). Forholdstallet for partikkelbunde elementer i Raunefjorden gav urealistisk høye verdier for fosfor og lave verdier for både karbon, nitrogen og silisium. Dette kan skyldes metodisk feil, som støttes ved at høye verdier for fosfor også ble observert i upubliserte resultater fra samme metode av Svein Norland og Mikal Heldal på Institutt for biologi ved Universitetet i Bergen. Verdier for fosfor ble derfor utelatt, og forholdstallene ble

i stedet utregnet med 106 atomer for karbon som utgangspunkt.

Tabell 4.3 viser at selv i perioder med stor grad av ujevnhet i tilgangen på de forskjellige næringssaltene, opprettholdt fortsatt planktonsamfunnet en sammensetning av nitrogen og karbon nær Redfield-Richards ratio. Dette er også vist i lignende undersøkelser gjort ved Narragansett Bay (Hecky og Kilham 1988). Også forholdet mellom silisium og karbon viste tegn til å ligge nær Redfield-Richards ratio under perioder med liten eller ujevn tilgang på næring. Men dette kom ikke like tydelig frem siden planktonsamfunnet i fjorden som forventet var mikset og aldri fullstendig dominert av diatomeer alene.

Forholdstallet mellom silisium og karbon var størst i uke 20, mens mengde partikulært silisium var klart høyest i uke 22 (Figur 3.37). Oppblomstringen av *Emiliana huxleyi* fra uke 21 til 25 var årsaken til denne økningen i partikkelbundet karbon uten noen samtidig økning av partikulært silisium. På 50 meters dyp var forholdstallene stort sett lave eller null grunnet liten eller ingen vekst av plankton på dette dypet. Unntaket for dette var i uke 26, der en nedstrømning hadde fraktet plankton til større dyp (punkt 4.4.3)

I uke 21 var forholdstallet mellom karbon og silisium på 50 meters dyp høy, mens forholdet mellom karbon og nitrogen var null. En mulig forklaring på dette kan være at beiting på diatomeer har forårsaket at rester av diatomeenes skall har sunket ned, mens resten av cellen har blitt fordøyd. Dette støttes av at det ble funnet eleverte antall av *Parafavella denticulata* og noe *Stenosemella ventricosa* på prøver til elektronmikroskopi denne uken. Se også punkt 4.4.7 om beiting.

Tabell 4.3 Forholdet mellom partikkelbundet nitrogen-karbon og silisium-karbon i antall atomer 5 og 50 meters dyp i Raunefjorden. Manglende data er merket med “-”.

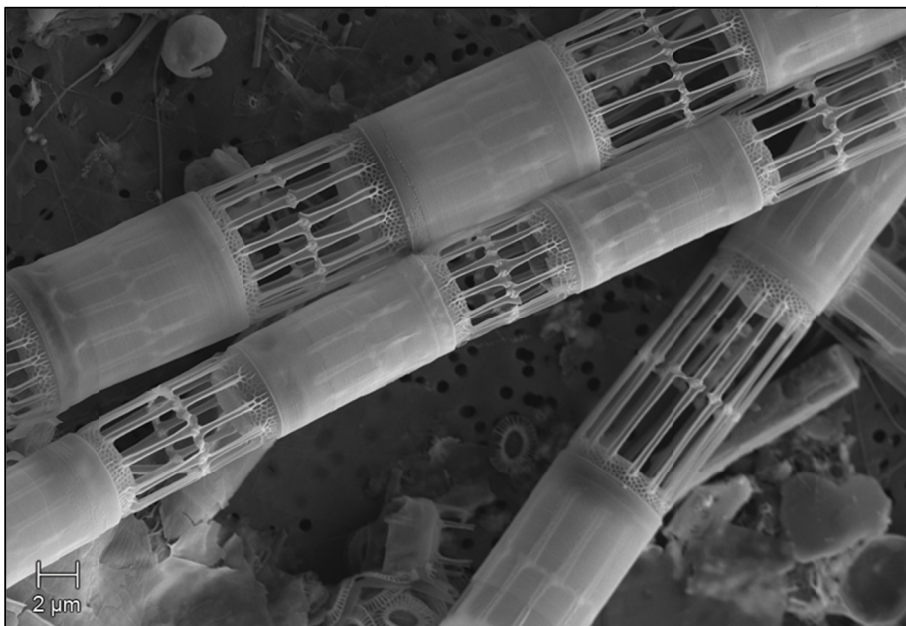
<i>Dyp</i> <i>Uke nr.</i>	<i>5 m</i>		<i>50 m</i>	
	<i>C:N</i>	<i>C:Si</i>	<i>C:N</i>	<i>C:Si</i>
15	14,0	0,0	0,0	0,0
16	13,8	0,0	-	0,0
17	13,7	1,1	0,0	0,0
18	17,4	9,5	0,0	0,0
19	14,6	9,9	0,0	0,0
20	17,8	11,7	0,0	0,0
21	18,1	10,4	0,0	18,5
22	15,3	9,6	4,6	3,7
23	12,3	4,8	0,0	0,0
24	15,1	4,9	0,0	0,0
25	23,2	5,0	7,6	0,4
26	23,0	0,5	18,9	13,8

4.4 Suksesjon i Raunefjorden våren 2010

4.4.1 Oppblomstrende arter senvinter til sommer 2010

***Skeletonema marinoi* (Bacillariophyceae) (Figur 4.3)**

Første prøvetakning til artsidentifikasjon ved bruk av skanning-elektronmikroskopi ble gjort 2. mars 2010 (uke 9). Denne viste at det pågikk en oppblomstring av *Skeletonema marinoi* (Sarno, Kooistra et al. 2005; Zingone, Percopo et al. 2005; Sarno, Kooistra et al. 2007) i Raunefjorden, som ut i fra kurven for in vivo fluorescens i hovedsak befant seg i de 35 øverste meterne av vannsøylen. Mens den vertikale fordelingen av fluorescens av celler fra rester av oppblomstringen strakk seg helt ned til spranglaget på like over 60 meters dyp (Figur 3.16 og 3.19). Sammen med *Skeletonema marinoi* fantes det også noe *Chaetoceros* spp., men disse var i langt mindre antall. Det er imidlertid sannsynlig at denne oppblomstringen startet tidligere enn registrert, ettersom profilene for in vivo fluorescens stort sett var like for både uke 7 og uke 9. Oppblomstringen var tatt slutt innen 15. mars (uke 11).



Figur 4.3 Kjeder av *Skeletonema marinoi*.

***Ceratium longipes* (Dinophyceae) (Figur 4.4)**

8. april 2010 (uke 14) ble det registrert økning i partikulært karbon (Figur 3.32) og nitrogen (Figur 3.34) på 5 meters dyp, som kom av en mild oppblomstring av *Ceratium longipes* som gradvis avtok før den tok helt slutt i uke 17. In vivo fluorescens viste for uke 14 en

fluorescenstopp på 5 meters dyp som bekrefter at økningen i partikulært karbon og nitrogen skyldtes tilstedeværelse av fytoplankton med klorofyll (Figur 3.19). Både på grunn av sin beskjedne størrelse og at det ikke ble funnet noe partikulært silisium denne uken (Figur 3.37), er det usannsynlig at *Arcocellulus cornucervis* var hovedbidragsyter til oppblomstringen. I løpet av våren 2010 var det høyest totale antallet av *Ceratium* spp. tilstede i Raunefjorden i uke 14, uten at dette dreide seg om mengder tilsvarende det som ble observert under senere oppblomstringer av diatomeer. Da diatomeene, som ofte har mindre cellevolum enn dinoflagellatene, var til stede i langt større antall. I uke 15 var *Protoperidinium steinii* til stede i svakt eleverte mengder. Siden denne er vist å være blant de få artene av *Protoperidinium* som er kjent for å beite på *Ceratium* spp. (Naustvoll, Olseng et al. 2002), kan det ikke utelukkes at den har bidratt til å holde antallet av *Ceratium longipes* nede.



Figur 4.4 *Ceratium longipes*.

***Skeletonema marinoi* og *Chaetoceros* sp. (Bacillariophyceae)**

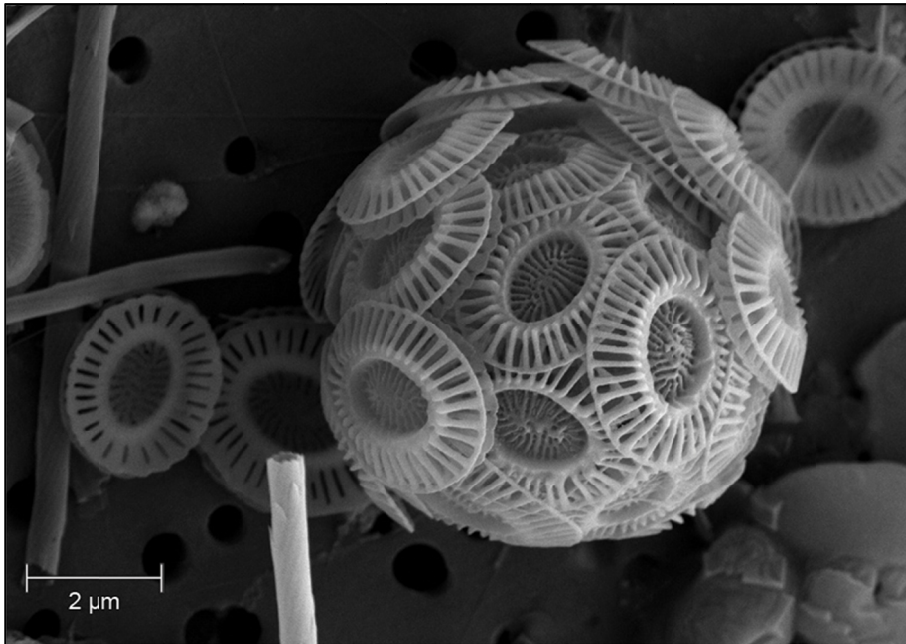
4. mai 2010 (uke 18) startet en samtidig oppblomstring av *Chaetoceros* sp. og *Skeletonema marinoi* på 5 meters dyp. Grunnet stor tetthet av fytoplankton på filtrene, var det ikke mulig å foreta en sikker artsbestemmelse av *Chaetoceros*. Den oppblomstrende arten ble derfor henvist til som *Chaetoceros* sp.

Innen 11. mai 2010 (uke 19) hadde oppblomstringen av *Chaetoceros* sp. tatt slutt, men antall og mengde *S. marinoi* var økt ytterligere. Oppblomstringen av *S. marinoi* var størst 1. juni

(uke 22), men innen 8. juni (uke 23) hadde antallet sunket til mengder svakt elevert i forhold til observasjoner gjort før oppblomstringen.

***Emiliana huxleyi* (Coccolithophyceae) (Figur 4.5)**

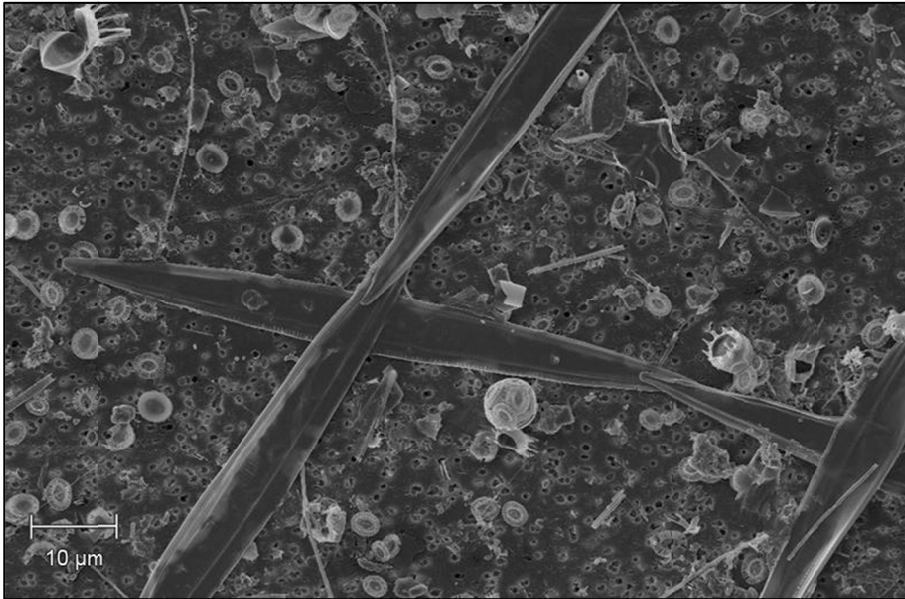
8. juni 2010 (uke 23) var det en kortvarig, men stor oppblomstring av *Emiliana huxleyi* på 5 meters dyp. Økningen av *E. huxleyi* ble registrert 1. juni (uke 22), og allerede 15. juni (uke 24) var antallet redusert til under oppblomstringsnivå.



Figur 4.5 *Emiliana huxleyi* med løse coccolitter i bakgrunnen.

***Pseudo-nitzschia* sp. (Bacillariophyceae) (Figur 4.6)**

15. juni 2010 (uke 24) hadde antallet *Pseudo-nitzschia* sp. økt på 5 meters dyp, og 22. juni (uke 25) hadde den spredt seg ned mot 50 meters dyp, der den i dette dybdeintervallet var i oppblomstring 29. juni (uke 26). Da dette var siste tidspunkt for måling og prøvetakning, er det uvisst i hvilken grad oppblomstringen utartet seg videre.

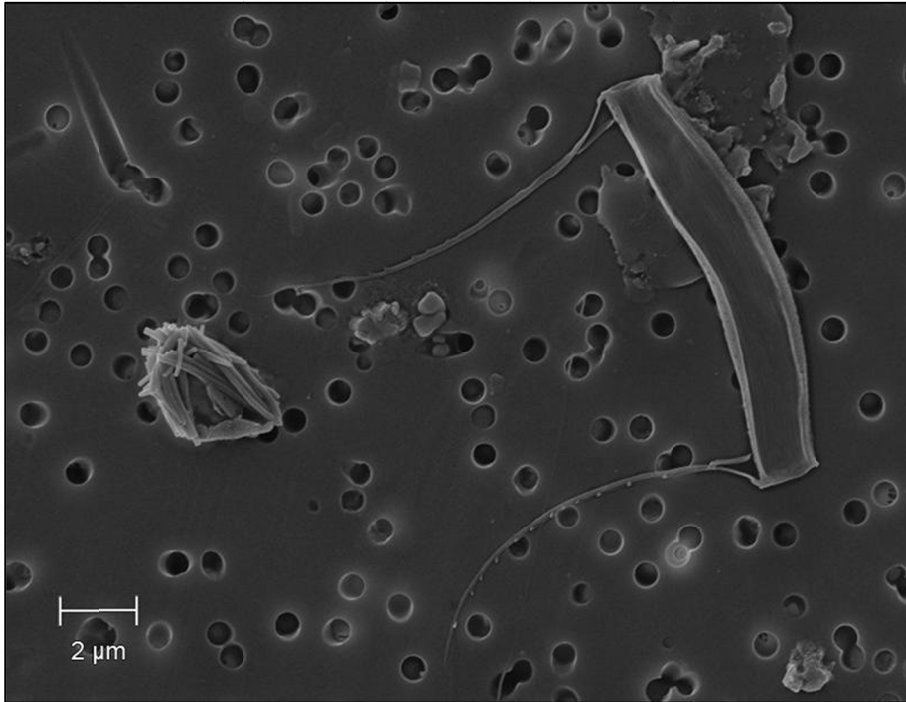


Figur 4.6 Kjeder av *Pseudo-nitzschia* sp. samt én enkel *Emiliana huxleyi* og løse coccolitter.

4.4.2 Bakgrunns- og følgearter

***Arcocellulus cornucervis* (Bacillariophyceae) (Figur 4.7)**

Diatomeen *Arcocellulus cornucervis* ble funnet på alle prøvetakingstidspunkt og dyp, med unntak av uke 20 og 23 på 5 meter og uke 26 på 50 meters dyp. Dette er likevel ikke ensbetydende med at *A. cornucervis* ikke var til stede. På grunn av at diatomeen er relativt liten og bare mellom 1,2 og 13 μm i apikalaksen (Thronsen, Tangen et al. 2007), er det sannsynlig at den var til stede på alle tidspunkt, men at den ikke ble sett grunnet tettheten av annet fyttoplankton. *A. cornucervis* fantes på de aller fleste tidspunkt i noenlunde jevnt antall, dette med unntak av perioden 20. til 27. april (uke 16 og 17) hvor forekomsten var betydelig elevert. At den var til stede sannsynligvis til en hver tid, kan bety at arten på grunn av sin begrensede størrelse, ikke konkurrerer om løste næringsstoffer på samme måte som mange øvrige arter fyttoplankton. Det kan også tyde på at *A. cornucervis* i motsetning til en rekke andre diatomeer ikke er opportunistisk ved økende tilgang på næringsstoffer.



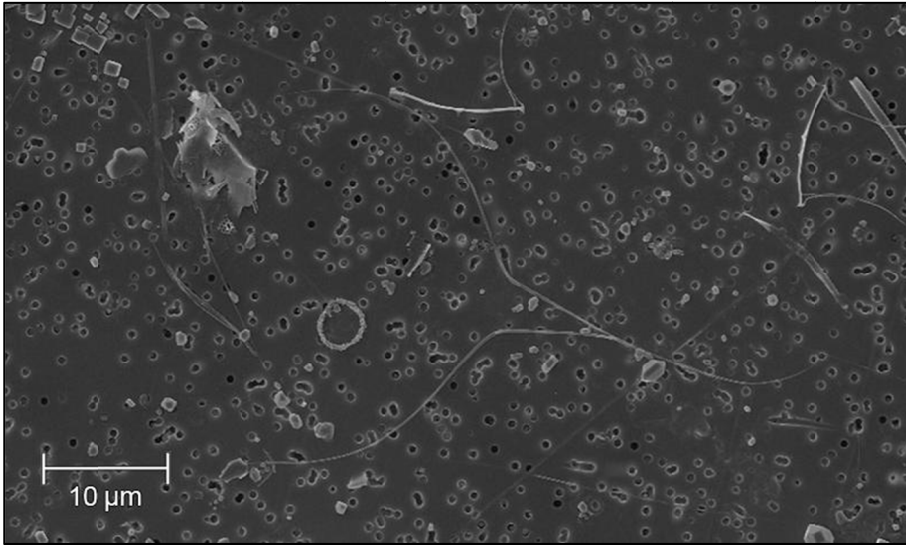
Figur 4.7 *Arcocellulus cornucervis*.

***Emiliana huxleyi* (Coccolithophyceae)**

Emiliana huxleyi var til stede de fleste prøvetakingstidspunkt- og dyp senvinter til sommer 2010, men i størst antall mellom 25. mai og 15. juni på 5 meter. Dette tyder på at *E. huxleyi* er til stede i de aller fleste vannmasser året rundt, og er tilgjengelig for å blomstre opp i stort antall når de riktige forutsetningene er til stede.

Krageflagellater (Choanoflagellida) (Figur 4.8)

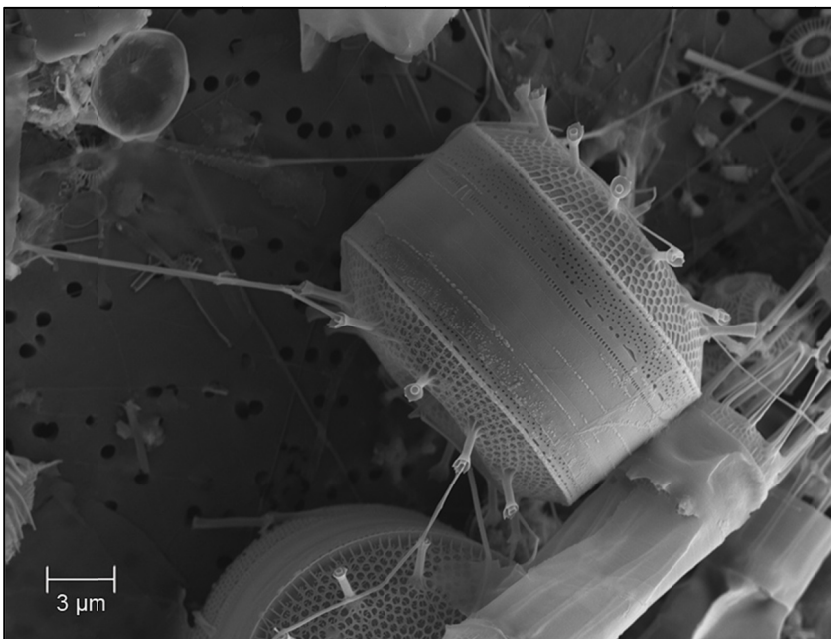
Det ble funnet jevnt mye krageflagellater av *Acanthacorbis* spp., *Bicosta* spp. og *Calliacantha* spp. i Raunefjorden og på Svinøysnippet, og det er sannsynlig at disse til en hver tid er til stede i vannmassene i fjorden og Norskehavet. Det ble derimot kun funnet silikathus (lorica) (Leadbeater 1989; Preisig 1994) av krageflagellater, og aldri hele celler. Cellene ble antageligvis ødelagt under filtrering i forkant av elektronmikroskoperingen. *Calliacantha natans* finnes primært i åpent kystvann og Norskehavet (Thronsen, Tangen et al. 2007), og kan ha blitt introdusert til Raunefjorden under oppstrømninger blant annet i uke 11.



Figur 4.8 Lorica fra *Bicosta minor*.

***Thalassiosira* spp. (Bacillariophyceae) (Figur 4.9)**

En rekke forskjellige arter av *Thalassiosira* var til stede under størsteparten av våren og sommeren 2010. Derimot var slekten, med unntak av på 50 meters dyp 29. juni (uke 26), aldri i utpreget antall. *Thalassiosira* spp. er i andre studier funnet til å være blant de mest sensitive diatomeene ovenfor nitrogenstress (Waite, Bienfang et al. 1992), og det lave N:P-forholdet i Raunefjorden (Tabell 4.2) kan derfor ha vært i disfavør for denne slekten.



Figur 4.9 Sentrisk diatome, sannsynligvis av arten *Thalassiosira nordenskiöldii*.

4.4.3 Sporer

Utover hele prøvetakningsperioden fra vinter til sommer 2010 ble det funnet hvilesporer fra forskjellige arter av *Chaetoceros*. Det var derimot flest hvilesporer fra disse til stede i perioden fra og med uke 20 til uke 23, hvor det samtidig var svært lite løst nitrat og silikat i vannet. Dette kan tyde på at *Chaetoceros* spp. har større tendenser til å danne hvilesporer i perioder der det er lite silikat og nitrat tilgjengelig. Dette stemmer overens med lignende studier som har vist at diatomeen danner sporer og synker ned når tilgangen på næring har nådd et minimum (Gran og Braarud 1935). Siden *Chaetoceros* spp. var til stede i lave til moderate antall gjennom hele perioden av målingene, kunne det verken bekreftes eller avkreftes om den dannet hvilesporer mot slutten av vekstperioden eller ikke.

4.4.4 Stabilitet og energitilgang som styrende faktorer for våroppblomstringen

Der det finnes levende organismer vil det alltid forekomme et forbruk organiske forbindelser. For at vekst av fytoplankton skal kunne forekomme, må produksjon i form av fotosyntese være høyere enn forbruk ved respirasjon. Fotosyntesen avtar logaritmisk med økende dyp på grunn av svekkelsen av lysintensiteten etter hvert som lyset passerer gjennom vannet. Respirasjonen er derimot uavhengig med dypet. Dette er forutsatt at fordelingen av plankton i vannsøylen er homogen (Sverdrup 1953). Siden fotosyntesen er avhengig av lysenergi, vil produksjon i en algepopulasjon ikke kunne overgå destruksjon ved respirasjon dersom gjennomblandingen av vannsøylen går under det såkalte kritiske dyp. Dette er den nedre grensen for et vannsjikt som er så tykt at den totale fotosyntesen i vannsøylen ovenfor oppveies av den totale respirasjonen i samme vannsøyle (Paasche 1991). En oppblomstring av fytoplankton kan derfor ikke oppstå med mindre gjennomblandingen av vannet som inneholder populasjonen er grunnere enn det kritiske dypet. Dypet der fotosyntetisk produksjon balanseres med fytoplanktons tap i form av respirasjon i løpet av ett døgn, betegnes som kompensasjonsdypet. Dette dypet utgjør bunnen av den eufotiske sonen, som er den delen av vannsøylen som støtter netto primærproduksjon (Falkowski og Raven 2007). Kompensasjonsdypet avhenger av lysinnstråling på overflaten, transparensen til vannet, temperaturen og de biologiske egenskapene til den aktuelle arten (Gran og Braarud 1935). Stratifisering og påfølgende stabilisering av vannsøylen som legger til rette for oppblomstring kan forekomme ved enten: oppvarming av overflatelaget som medfører dannelse av en

termoklin, avrenning av ferskvann med lavere tetthet fra land, innstrømming av vannmasser med større tetthet eller effekter av lokal batymetri (Townsend og Spinrad 1986). Det bør tas i betraktning at modellen med kritisk dyp ikke tar hensyn til eventuell beiting fra heterotrofe organismer eller fototaksi i en blandet vannsøyle med lav turbulens.

Første prøvetakning til artsidentifikasjon ved hjelp av elektronmikroskopi ble foretatt 2. mars 2010 (uke 9). Denne viste at det pågikk en oppblomstring av *Skeletonema marinoi*, men fluorescensmålinger (Figur 3.19, uke 7) antyder at oppblomstringen var pågående allerede 16. februar (uke 7). I uke 7 og 9 forekom det en nedstrømming av vannmasser i Raunefjorden, men likevel var vannmassene i en viss grad stratifisert. I uke 7 var vannsøylen gjennomblandet ned til omtrent 40 meters dyp, og i uke 9 hadde blandingsdypet på grunn av nedstrømmingen senket seg til like over 60 meter (Figur 3.16, uke 7 og 9). Det ble ikke gjennomført måling av siktedyp eller løste næringssalter under denne oppblomstringen, men det kan antas at tilgang på lys og næring var representativ for den generelle vintertilstanden til vannmassene i fjorden. Det er sannsynlig at oppblomstringen kom som følge av stratifiseringen som begrenset blandingsdypet, og i forbindelse med økende solinnstråling og lite konkurranse om næringssalter. I og med at *Skeletonema costatum sensu lato*, herunder *Skeletonema marinoi* (Sarno, Kooistra et al. 2005), er en artsgruppe som krever lite lys for å drive fotosyntese, er det ikke usannsynlig at det var nok lys gjennom blandingsdypet til at diatomeen kunne blomstre opp (Falkowski og Owens 1978; Eilertsen og Degerlund 2010). Neste måling og prøvetakning som ble gjort 15. mars 2010 (uke 11), viste at *S. marinoi* var gått tilbake til et lavt bakgrunnsnivå selv om det hadde oppstått et spranglag på 5 meters dyp. Tilbakegangen kan skyldes fortrengning av overflatelaget fra oppstrømmende vannmasser (se punkt 4.4.6) eller beiting (4.4.7).

4.4.5 Hydrografiske forhold og næringstilgang som regulator for artssuksesjonen

Tredje og største planktonoppblomstring våren 2010 ble observert 4. mai (uke 18) ved en samtidig økning av *Skeletonema marinoi* og *Chaetoceros* sp. Denne oppblomstringen startet midt i en langvarig periode med oppstrømmende vannmasser indusert av nordlig vind. I følge egen logg var uken foregående for denne prøvetakningen preget av store mengder av nedbør. Tilførsel av ferskvann til overflatelaget i form av nedbør og avrenning fra land hadde i tillegg til oppstrømmende vannmasser med høy saltholdighet nedenfra skapt en meget kraftig

haloklin på ca. 12 meters dyp (Figur 3.17, uke 18) som ikke har vært til stede i foregående uker. I uke 14 og 15 var det svært lite løste næringsalter tilgjengelig i den eufotiske sonen. I tillegg til gjennomblending av vannmassene ned til 50 meters dyp, forårsaket den lave næringstilgangen at forholdene for en oppblomstring ikke var til stede før i uke 18.

Oppstrømningen som startet rundt 20. april (uke 16) førte vannmasser med høy saltholdighet og næringsinnhold opp i eufotisk sone (Figur 3.23, 3.25 og 3.26) og fremmet dermed vekst av fytoplankton. Da haloklinen oppstod i uke 18 og stabiliserte den øverste delen av vannsøylen, forekom en kraftig økning i klorofyll *a* (Figur 3.28). Den samme økningen kom også frem som en samtidig økning i partikulært nitrogen og fosfor (Figur 3.34 og 3.36), samt partikulært silisium (Figur 3.37). Dette bekrefter at diatomeer, som har celleskjelett av silikat, stod for størsteparten av økningen i biomasse (Allen, Brown et al. 2005). Under oppstrømningen tilførtes løste næringsalter jevnt til den eufotiske sonen. Og siden biomassen enda ikke hadde økt til ekstreme mengder, var næringsforbruket noenlunde jevnt med tilførselen. Denne tilførselen av næring la til rette for at både *Chaetoceros* sp. og *Skeletonema marinoi* kunne vokse på samme tid. Men i et planktonsamfunn som består av forskjellige arter, likt det som fantes i Raunefjorden uke 18, kan enkelte av disse artene bli begrenset selv om det i utgangspunktet er tilstrekkelig næring til stede. Noe av årsaken kan være at høyere vekstrate for en art kan gi pre dominans som favoriserer denne i forhold til andre. Eller at forskjellige arter har ulik respons på variasjon mellom forskjellige elementer i næringstilførselen (Sakshaug og Olsen 1986). Som følge av den kraftige økningen av biomasse fra og med uke 18, begynte forbruket av næring å overgå tilførselen fra dypet (Tabell 4.2). I og med at *Skeletonema* spp. er mindre sensitiv for lavere og ujevn tilførsel av nitrat enn *Chaetoceros* spp. (Turpin og Harrison 1979; Waite, Bienfang et al. 1992), kan det antas at *Skeletonema marinoi* som et resultat av dette fikk et fortrinn som gjorde at den voks ytterligere og påvirket næringsgrunnlaget til *Chaetoceros* spp. i negativ retning. Dette førte til at *Chaetoceros* spp. allerede i uke 19 var redusert til et bakgrunnsnivå tilsvarende ukene før oppstrømningen.

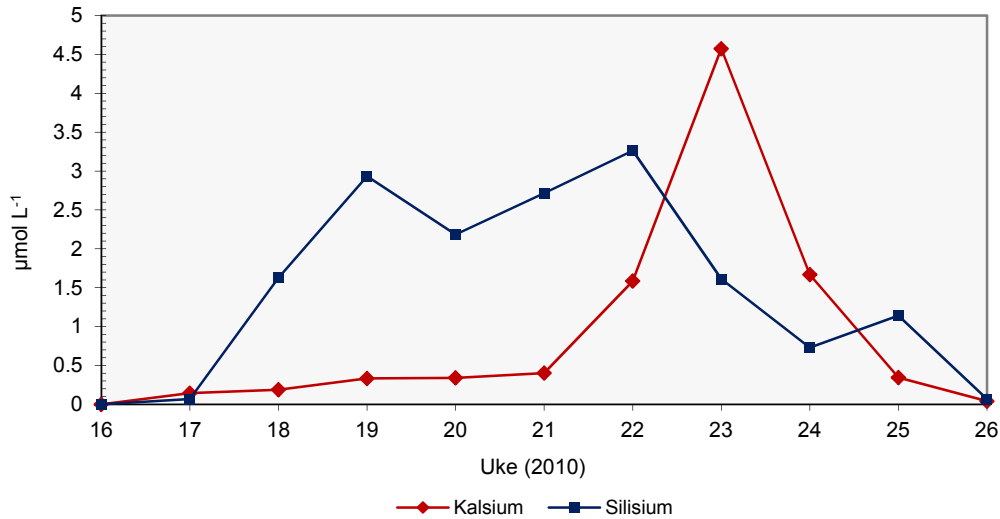
Emiliania huxleyi er i stand til å utkonkurrere *Skeletonema marinoi* under forhold med lav solinnstråling og lite tilgang på nitrogen (Eppley, Rogers et al. 1969), og kan etter en periode oppnå tallmessig dominans over diatomeer dersom det er lite løst silikat i vannmassene (Egge og Aksnes 1992). Høye temperaturer (rundt 10 °C) bidrar også til å favorisere veksten av *E. huxleyi* (Paasche 2001; Hutchins, Feng et al. 2008). Dette kommer tydelig frem av utviklingen i Raunefjorden da det i perioden fra 18. mai til 1. juni (uke 20 til 22) var en nedgang eller

stagnasjon i tilførselen på løste næringsstoffer fra dypet og vannmassene utenfor fjorden, og solen hadde varmet opp vannet nær overflaten til ca. 9 °C (Figur 3.13). Den pågående oppblomstringen av *Skeletonema marinoi* ble fra uke 20 begrenset av tilgangen på silikat (Figur 3.26), og i uke 22 var også alt løst nitrat i vannet forbrukt (Figur 3.23). Fra uke 20 var det en økning i antall av *Emiliana huxleyi* i fjorden, som sannsynligvis kom både av den samtidige økningen i vanntemperatur og som en opportunistisk respons på reduserte vekstvilkår for *S. marinoi* og andre diatomeer da alt silikat var oppbrukt og det i tillegg var lite tilgjengelig nitrat i vannmassene. 8. juni (uke 23) hadde *E. huxleyi* blomstret opp og fantes i stort antall, mens *S. marinoi* var sterkt redusert og fantes i et betydelig mindre antall enn foregående uker. Samtidig med den kraftige nedgangen av *S. marinoi*, var det lite *Chaetoceros* spp. og andre diatomeer til stede. Det kan være interessant å merke seg at oppblomstringene av diatomeer nær overflaten våren 2010 samtidig har medført en økning av disse på 50 meters dyp, mens *E. huxleyi* har forekommet i mer eller mindre konstant antall på 50 meters dyp, uavhengig av økning eller oppblomstring av denne nær overflaten.

15. juni (uke 24) hadde den langvarige oppstrømningen på ny tilført næringsalter til overflatelaget. Den påfølgende økningen av nitrat til ca. 6 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (Figur 3.23) og silikat til 3 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (Figur 3.26) på 5 meters dyp, har tilsynelatende favorisert diatomeer. Disse hadde på grunnlag av tilførsel på silikat på nytt begynt å vokse i en variert artssammensetning, og gjorde seg gjeldende i form av en klorofylltopp i uke 25, mens oppblomstringen av *Emiliana huxleyi* samtidig var gått tilbake. Dette stemmer overens med studier som har vist at diatomeer gjerne vil dominere planktonsamfunnet dersom silikat er tilgjengelig i mer enn 2 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (Eppley, Rogers et al. 1969; Egge og Aksnes 1992). På en annen side antyder den langvarige oppblomstringen av *Skeletonema marinoi* i mai 2010 at enkelte arter av diatomeer likevel kan være vedholdende under forhold med lite tilgang på silikat. Det er heller ikke usannsynlig at beiting kan ha vært en medvirkende årsak for tilbakegangen av *E. huxleyi*. Fekalpellet avbildet i figur 4.11 inneholder blant annet en mengde coccolitter som viser at *E. huxleyi* er ettertraktet som næring for zooplankton.

Figur 4.10 viser indirekte tilstedeværelse av diatomeer eller rester av disse på 5 meters dyp i Raunefjorden ved partikkelbundet silisium, som utgjør den viktigste komponenten i deres cellevegg (Hildebrand, Martin-Jezequel et al. 2000). Figuren viser også coccolithophorider (i Raunefjorden hovedsakelig *Emiliana huxleyi*) og til en viss grad løse coccolitter ved

partikkelbundet kalsium, som i form av kalsiumkarbonat utgjør coccolittene i dens eksterne coccolithosfere (Westbroek, Dejong et al. 1984).



Figur 4.10 Partikkelbundet kalsium (rød linje) og silisium (blå linje) på 5 m dyp i Raunefjorden vist på samme tegneområdet.

Den 29. juni (uke 26) var det nedgang i klorofyll *a* (Figur 3.28) og partikkelbundne elementer på 5 meters dyp, mens det samtidig var økning på 50 meter. Stigningen i mengde partikulært silisium på 50 meters dyp indikerte at det i hovedsak var diatomeer som stod for økningen i biomasse (Figur 3.37 og 4.10). Dette ble bekreftet av resultatene fra elektronmikroskopi, som viste at det var store mengder av *Pseudo-nitzschia* spp. fulgt av *Skeletonema marinoi* og en rekke forskjellige arter av *Chaetoceros* til stede på 50 meters dyp (Tabell 3.3). Nedgangen i biomasse på 5 meters dyp kan skyldes at de løste næringssaltene, med unntak av fosfat, var brukt opp, og at vekstgrunnlaget for fytoplankton dermed opphørte. Økningen i biomasse på 50 meters dyp kan derimot ikke alene skyldes en fortsatt tilgang på næringsalter, da næringstilgangen også var lik i uke 22 og 23, uten at det resulterte i en lignende økning i biomasse.

Pseudo-nitzschia sp. viser større sannsynlighet for å blomstre opp i tilfeller med eutrofiering eller perioder med stor tilgang på næringsalter (Parsons, Dortch et al. 2002), samt i næringsrike oppstrømningsområder (Abrantes og Moita 1999). Den er også vist å kunne vokse i dypere lag enn andre diatomeer ettersom den foretrekker mer saltholdige vannmasser (Caroppo, Congestri et al. 2005), men i den aktuelle uken for oppblomstring var

saltholdigheten i Raunefjorden uvanlig høy helt opp til overflaten. En forklaring på at denne diatomeoppblomstringen forekom dypere enn tidligere oppblomstringer, kan være at *Pseudo-nitzschia* sp. har konkurransefortrinn i tilfeller med svakt lys, slik forholdene sannsynligvis var lengre nede i vannsøylen (Pan, Rao et al. 1996; Mos 2001). I løpet av størsteparten av perioden fra senvinter til sommer 2010, har tilgangen på næringssalter under overflatelaget som tidligere nevnt vært stor, uten at det har forekommet en tilsvarende oppblomstring av *Pseudo-nitzschia* sp. Det er derfor sannsynlig at kombinasjonen av gunstig næringstilgang og konkurransefortrinn i svakt lys, sammen med fysisk påvirkning fra vannmassene, er årsaken til økningen av biomasse i dypere liggende vannmasser.

4.4.6 Direkte påvirkning fra hydrografiske forhold

Som nevnt i punkt 4.3.1, vil perioder med nordlig vind føre vannmasser med høy saltholdighet inn i fjordbassenget og gi en vertikal oppstrømning av vann i fjorden. Motsatt vil sørlig vind føre til at vannmasser i overflaten presses ned i dypet. I oppstrømningsperioden som ble registrert 15. mars 2010, fortrengte vannmasser fra fjordbassenget det overflatenære vannet som inneholdt en mild oppblomstring av *Skeletonema marinoi*. Figur 3.16 viser at haloklinen mellom uke 9 og uke 11 steg fra 60 til 8 meters dyp. I samme periode forekom en dramatisk reduksjon av fluorescens gjennom hele vannsøylen (Figur 3.19). Det er ikke usannsynlig at oppstrømningen var medvirkende årsak til at oppblomstringen av *S. marinoi* tok slutt innen uke 11.

I motsetning til å frakte plankton ut av fjorden slik en oppstrømning gjør, vil en nedstrømning føre plankton fra overflaten og ned i dypere vannmasser. Dette kommer frem av vertikalprofil av in vivo fluorescens både i uke 14, 15 og 16 fra nedstrømningen mellom 15. mars og 18. april (Figur 3.19), samt i uke 26 fra nedstrømningen rundt 29. juni (Figur 3.15 og 3.21). Transporten av plankton nedover i vannsøylen er trolig to-delt ved at synkende vannmasser frakter med seg plankton, samtidig som destabilisering av vannsøylen og mindre grad av stratifisering muliggjør transport av plankton ned i dypet. Det siste vil trolig være mest uttalt i perioder med turbulens dannet av lokale vinder.

Nedstrømningen i uke 26 (29. juni) kan ha bidratt til å gi *Pseudo-nitzschia* spp. konkurransefortrinn, og på den måten lagt til rette for oppblomstringen mellom 5 og 50 meters dyp (punkt 4.4.5). Derimot var det denne uken mye biomasse i form av klorofyll *a* til stede i den øverste delen av vannsøylen (Figur 3.31), som kan ha bidratt til å absorbere det

meste av lyset før det har nådd 50 meters dyp. Ved å ta utgangspunkt i tabell over lysinnstråling utarbeidet av S. R. Erga (Erga 1989) og gjennomsnittlig svekkingskoeffisient fra 0 til 50 meter på 0,15 (som tilsvarer kraftig en lyssvekking) sammen med Lambert-Beers lov om absorbans (Huisman, Arrayas et al. 2002), kan det antas at lysintensiteten på 50 meters dyp var $0,55 \mu\text{mol fotoner m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ eller lavere. Denne intensiteten er trolig for lav til å støtte fotosyntese i fytoplankton (Dower, Lucas et al. 1996). Og *Pseudo-nitzschia* spp. til stede på 50 meters dyp har sannsynligvis i stedet for å blomstre opp på dette dypet, blitt ført ned av synkende vannmasser fra grunnere dyp der den hadde bedre forutsetninger for å vokse. Dette kan bidra til å forklare hvorfor det i uke 26 var mer klorofyll *a* og partikulært nitrogen og karbon på 5 meters dyp enn på 50 meter (Figur 3.31, 3.33 og 3.35), samtidig som det var mer partikulært silisium og flere celler på 50 meters dyp (Figur 3.37 og Tabell 3.3). Årsaken til dette kan være at en større andel av cellene som ble funnet på 50 meters dyp var døde og i ferd med å bli brutt ned, men at silikatstrukturene til cellene fortsatt var intakte og gav utslag i karakteristisk røntgenfluorescens for silisium.

4.4.7 Andre faktorer som kan påvirke suksesjonen av fytoplankton

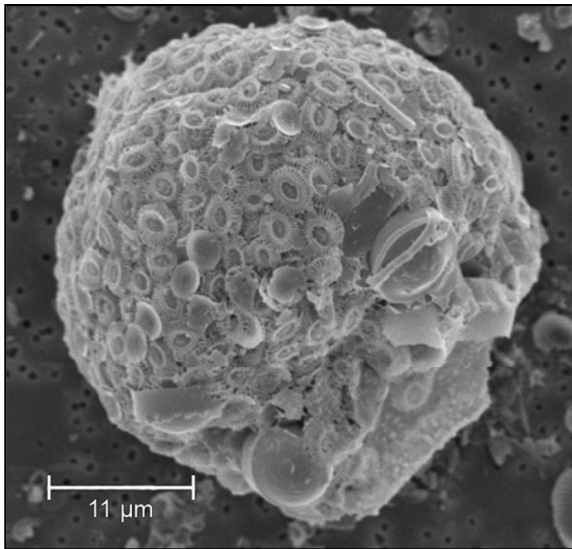
Bakterier og virus

Under og etter oppblomstringer av fytoplankton oppstår gjerne en økning av heterotrofe bakterier i vannmasser som videre blir etterfulgt av en økning i virus. Samspillet mellom plankton, bakterier og virus antas å ha en sammenheng med sirkulasjonen av organisk karbon i havet (Larsen, Flaten et al. 2004). Virus antas også å ha en rolle i lysering av blant annet *Emiliana huxleyi*, og kan stå for mellom 25 og 100 % av celledøden av disse dersom oppblomstringen avtar uten at det er begrensninger på næringsstoffer (Bratbak, Egge et al. 1993). Det ble i dette prosjektet ikke gjennomført undersøkelser som kunne påvist bakterier eller virus i vannet. Påvirkning disse kan ha hatt på suksesjonen av fytoplankton i Raunefjorden er derfor uviss, men sannsynligvis til stede.

Beiting

Mikrozooplankton og til en viss grad copepoder er kjent for å beite på fytoplankton, men copepodene har i større grad enn beiting indirekte påvirkning på fytoplanktonsamfunnet i form av selektiv beiting på mikrozooplankton. I mesokosmosforsøk er mikrozooplankton vist å kunne stå for opptil 65 til 80 % daglig tap av den oppblomstrende bestanden av *Skeletonema marinoi* og *Emiliana huxleyi* (Gismervik, Nejstgaard et al. 1997). I perioden hvor *S. marinoi*

og *E. huxleyi* blomstret opp i Raunefjorden (uke 18 til 23), var det i større grad enn tidligere på våren mikrozooplankton og fekalpellets (Figur 4.10) til stede i prøvene. Antallet av disse kan ha vært høyere enn registrert da det var vanskelig å skille ut partikler som fantes i mindretall på filtre med svært høy tetthet av oppblomstrende arter. I perioden med oppblomstring var spesielt tintinniden *Parafavella denticulata* (Cordeiro og Sassi 1997) (Figur 4.12) til stede i elevert antall. Heterotrofe protozoer som for eksempel *P. denticulata* antas å spille en rolle i energioverføringen til høyere trofisk nivå (Sherr, Rassoulzadegan et al. 1989), og de følger gjerne oppblomstringer av fytoplankton (Nielson og Kiorboe 1994). Det vil være naturlig å gå ut i fra at disse sammen med copepoder har hatt innvirkning på fytoplanktonsuksesjonen i Raunefjorden.

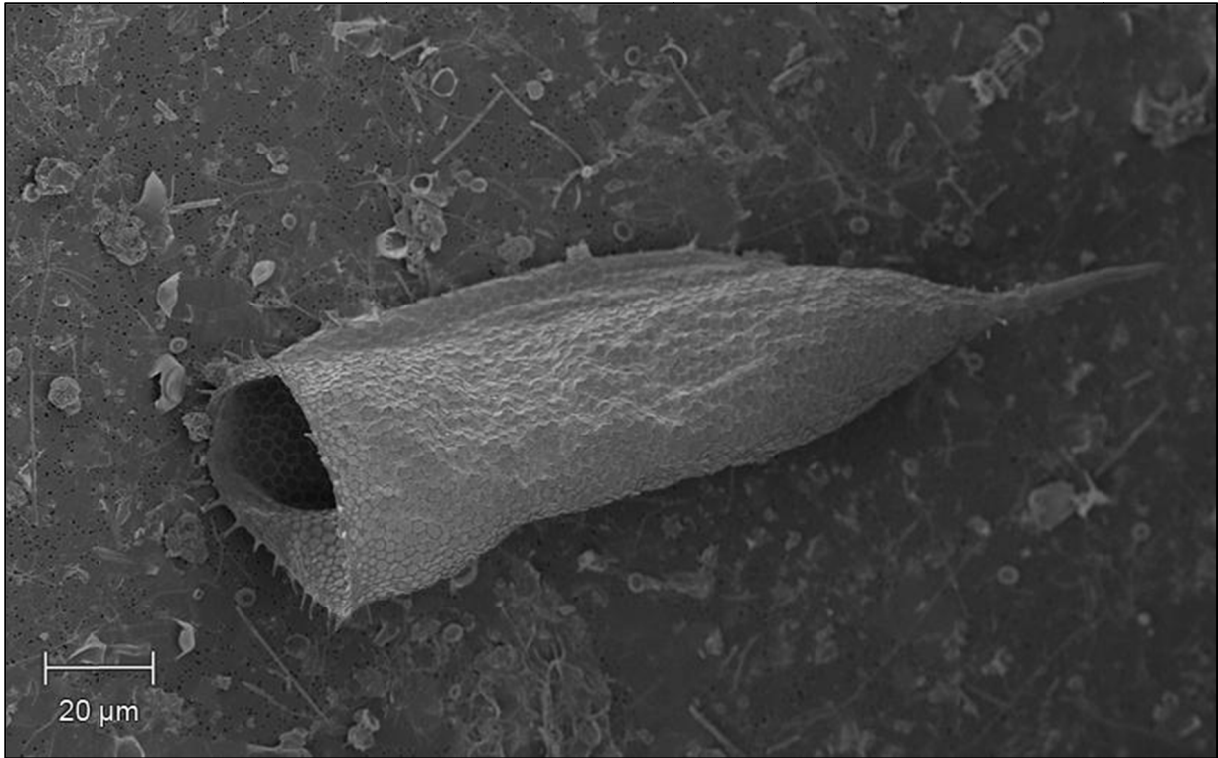


Figur 4.11 Fekalpellet hovedsakelig bestående av coccolitter fra *Emiliana huxleyi* og hvilesporer av *Chaetoceros* sp.

Innførsel av arter fra kysten

En av de mest tallrike krageflagellatene som ble observert i Raunefjorden våren 2010 var *Calliacantha natans*. Denne finnes i hovedsak i åpent kystvann og i Norskehavet (Thronsen, Tangen et al. 2007), og ble i tillegg til i Raunefjorden også funnet på stasjon 1 og 17 på 5 meters dyp på Svinøysnippet. I Raunefjorden ble den funnet i størst antall i uke 11 og de påfølgende to ukene, og kan ha blitt ført inn i fjorden fra vannmassene utenfor under oppstrømmingen i uke 11. Bortsett fra krageflagellatene, som stort sett finnes i åpent kystvann, ble det ikke funnet fremmede eller uvanlige arter som med sannsynlighet kunne ha blitt fraktet inn i fjorden fra andre vannmasser. Men det er naturlig å anta at det har pågått en

stadig utveksling av plankton mellom fjord- og kystvann i forbindelse med den vindinduserte vanntransporten.



Figur 4.12 Lorica fra tintinniden *Parafavella denticulata*.

4.5 Feilkilder

Salinitet

Det ble i etterkant av målinger i Raunefjorden funnet en sprekk i SAIV/CTD-sonden som ble benyttet. Denne skaden kan på grunn av økning i trykk når den ble senket ned ha ført til uriktige målinger for blant annet salinitet, som hadde uvanlig høye verdier. All hydrografidata for Raunefjorden fra større dyp enn 100 meter er derfor utelatt i resultatene. I denne studien var derimot de relative verdiene i flere tilfeller mer betydningsfulle enn de absolutte.

Klorofyll a

Filtre for måling av klorofyll *a* ble fryst ned umiddelbart etter filtrering. I fryseskapet ble de skjermet for lyspåvirkning og ikke tint opp før de skulle klargjøres for analyse. Analysene ble utført i tre separate omganger, og av den grunn ble enkelte av filtrene liggende nedfryst i

inntil to måneder før de ble analysert. For å oppnå størst mulig nøyaktighet bør filtrere analyseres så snart som mulig etter prøvetakning. Men det ble ikke funnet forskjeller utover normal variasjon på parallelle filtre fra samme dyp og dato som var analysert med én måneds mellomrom. Det utelukkes likevel ikke at en viss nedbrytning av klorofyll *a* kan ha forekommet.

Elektronmikroskopi

Under filtrering av prøver til elektronmikroskopi ble det forsøkt å tilpasse volumet slik at prøvene verken ble for tette eller for tynne. Under oppblomstringer av fytoplankton var celledettheten så stor at dette lot seg vanskelig gjøre. Filtrere ble derfor ofte belagt med flere lag plankton. Den høye tettheten på filtrere i oppblomstringsperiodene gjorde det vanskelig å oppdage de små artene som for eksempel *Arcocellulus cornucervis* eller krageflagellater, og tettheten på filtrere kan ha ført til en underrapportering av slike.

Filtreringen av vannprøver ved hjelp av vakuumpumpe førte til at det ble utøvet et forholdsvis stort vanntrykk på det plankton som lå på filteret. Dette førte til at celler som ikke hadde en fast og robust struktur ble ødelagt og ført gjennom filteret. Det ble sjelden funnet arter som ikke har celledskelett eller ytre struktur av silikat eller kalsitt, og av de som ble funnet var samtlige kollapset og vanskelige å identifisere. Dette har sannsynligvis ført til at arter som i realiteten var til stede ikke ble observert. Den til tider ekstreme tettheten av plankton forårsaket også at det ikke lot seg gjøre å kvantifisere cellene. Å sentrifugere ned et mindre prøvevolum i stedet for filtrering ville sannsynligvis gjort det lettere å få et reelt bilde av planktonsamfunnet.

Røntgenfluorescens

Målinger av partikkelbundne grunnstoff gav troverdige verdier for karbon, nitrogen, silisium og kalsium. Derimot ble verdiene for fosfor svært høye i forhold til hva som kunne forventes. Naturligvis kan det ikke utelukkes at det fantes mye fosfor bundet i partikler i vannet, men upubliserte resultater fra Svein Norland og Mikal Heldal fra andre vannprøver viste samme trend. Sannsynligheten er derfor stor for at det dreier seg om falsk høye verdier fra metodisk feil. Trolig har løse fosfationer ved adsorpsjon blitt bundet til filteret og gitt falsk fluorescens. I og med at dobbeltfiltrert sjøvann ble benyttet til blankfiltrering for kalibrering, kan mye av de løse ionene i vannet allerede ha blitt adsorbent da vannet gikk gjennom blankfiltrere. På den måten kan blankfiltrere ha unngått å få tilsvarende høye verdier for fosfat.

Det ble tilstrebet å oppnå ett lag med plankton på filtrere ved å justere volumet av vann. Dette

lot seg vanskelig gjøre i perioder med oppblomstringer. På filter med stor celletetthet er sannsynligheten til stede for at de underliggende cellene har blitt skjermet for røntgenstråling, eller at karakteristisk stråling har blitt absorbert av filtratet eller filteret i seg selv. Absorpsjon av stråling kan ha gitt falsk lave verdier.

4.6 Oppsummering og konklusjoner

Ytre påvirkning

Våren 2010 var preget av en langvarig oppstrømningsperiode som 15. juni rakk helt opp til overflaten og erstattet alt vannet i Raunefjorden. Studien viste at nordlig vind ved kysten spilte en viktig rolle som styrende mekanisme for suksesjon i fjordsystemet ved å indusere transport av vannmasser over terskeldypet. Når vinden forble vedvarende i korte eller lengre perioder, resulterte den påfølgende oppstrømningen i at saltholdig og næringsrikt vann ble fraktet opp fra fjordbassenget. Dette vannet supplerte den eufotiske sonen med løste næringsalter til ny produksjon i større grad enn remineralisering la til rette for regenerert. Den høye saltholdigheten i det oppstrømmende vannet bidro på samme tid til å danne halokliner som stabiliserte vannsøylen. Motsatt førte sørlig vind til nedstrømning i fjorden, som fraktet næringsfattig vann nedover i dypet samtidig som den svekket eksisterende pyknokliner og økte gjennomblandingen i vannsøylen. Den vertikale transporten av vannmasser i nedstrømningsperiodene forflyttet på samme tid biomasse fysisk nedover i vannsøylen og økte fluorescensen på større dyp.

Næringsalter

Av løste næringsalter i fjorden var nitrat begrensende mens det i størsteparten av perioden målingene ble utført var tilstrekkelige mengder eller overskudd på fosfat. For diatomeer var stort sett silikat det mest begrensende næringsaltet. Tilførsel av løste næringsalter og konkurranse mellom artene var de mest fremtredende faktorene som kontrollerte suksesjonen i fjorden.

Partikkelbundne grunnstoff

Måling av partikkelbundne grunnstoff på filtre fra sjøvannsprøver ved hjelp av karakteristisk røntgenfluorescens gav utslag i økning av partikulært silisium når diatomeer var til stede. På samme måte gav oppblomstring av coccolithophoriden *Emiliana huxleyi* stort utslag på partikulært kalsium. Partikulært kalsium og silisium kan derfor benyttes til å påvise den

generelle tilstedeværelsen og, til en viss grad, mengden av diatomeer og coccolithophorider i vannmassene.

Røntgenfluorescens

Røntgenfluorescens av partikulært karbon, kalsium, nitrogen og silisium på filtre viste god nok kvalitet til å kunne benyttes kvantitativt. For fosfor gav derimot røntgenfluorescens urealistisk høye verdier, og kan på den måten som metoden ble brukt, kun benyttes som relativ mengde til sammenligning med andre elementer.

Elektronmikroskopi

Analyse av filtre fra vannprøver ved hjelp av skanning-elektronmikroskopi viste seg å være tidkrevende, men metoden gjorde det mulig å identifisere og artsbestemme de arter som ville vært for små til å se i detalj ved bruk av vanlig lysmikroskop. I tillegg til standarddypene på 5 og 50 meter, ble det også tatt prøver til elektronmikroskopi fra større dyp på de ytterste stasjonene av Svinøysnittet. I disse prøvene ble det funnet relativt mye rester fra coccolithophorider og diatomeer. Disse var sannsynligvis fraktet ned i dypet i fekalpellets fra zooplankton.

Oppblomstrende arter i Raunefjorden våren 2010 var diatomeene *Skeletonema marinoi* og *Pseudo-nitzschia* sp, coccolithophoriden *Emiliana huxleyi* og til en viss grad dinoflagellaten *Ceratium longipes*. *Chaetoceros* spp. startet å blomstre opp i uke 18, men ble utkonkurrert av *S. marinoi*. Med kun få unntak var diatomeen *Arcocellulus cornucervis* en bakgrunnsart som var til stede under hele perioden prøvetakningen pågikk. Den fantes i størst antall når det var lite annet fytoplankton til stede i vannet, og når vannsøylen var lite stratifisert. En rekke forskjellige krageflagellater var også til stede som bakgrunn i størsteparten av perioden. Av disse var *Bicosta spinifera* og *Bicosta minor* mest fremtredende. I motsetning til oppblomstringer av annet fytoplankton, der mengden økte på begge prøvetakingsdyp, var *Emiliana huxleyi* til stede i likt antall på 50 meters dyp hele perioden, uavhengig av oppblomstring eller antall celler på 5 meter.

Referanser

- Abrantes, F. og M. T. Moita (1999). "Water column and recent sediment data on diatoms and coccolithophorids, off Portugal, confirm sediment record of upwelling events (vol 22, pg 67, 1999)." Oceanologica Acta **22**(3): 318-336.
- Aksnes, D. L., J. Aure, et al. (1989). "Significance of Advection for the Carrying Capacities of Fjord Populations." Marine Ecology-Progress Series **50**(3): 263-274.
- Allen, J. T., L. Brown, et al. (2005). "Diatom carbon export enhanced by silicate upwelling in the northeast Atlantic." Nature **437**(7059): 728-732.
- Bozzola, J. J. og L. D. Russell (1999). Electron microscopy : principles and techniques for biologists. Sudbury, Mass., Jones and Bartlett.
- Braarud, T. (1975). "The natural history of the Hardangerfjord. 12. The late summer water exchange in 1956, its effect upon phytoplankton and phosphate distribution, and the introduction of an offshore population into the fjord in June, 1956." Sarsia **58**: 9-30.
- Bratbak, G., J. K. Egge, et al. (1993). "Viral Mortality of the Marine Alga *Emiliana-Huxleyi* (Haptophyceae) and Termination of Algal Blooms." Marine Ecology-Progress Series **93**(1-2): 39-48.
- Burtis, C. A., N. W. Tietz, et al. (2001). Tietz fundamentals of clinical chemistry. Philadelphia, Saunders.
- Caroppo, C., R. Congestri, et al. (2005). "On the presence of *Pseudo-nitzschia calliantha* Lundholm, Moestrup et Hasle and *Pseudo-nitzschia delicatissima* (Cleve) Heiden in the Southern Adriatic Sea (Mediterranean Sea, Italy)." Journal of Plankton Research **27**(8): 763-774.
- Cordeiro, T. A. og R. Sassi (1997). "Tintinnina (Ciliophora, Protista) of the North Sea during the spring of 1986." Helgoländer Meeresuntersuchungen **7**(2): 155-172.
- Cowles, T. J., R. A. Desiderio, et al. (1993). "In situ characterization of phytoplankton from of fluorescence emission spectra." Marine Biology **115**: 217-222.
- Dower, K. M., M. I. Lucas, et al. (1996). "Phytoplankton biomass, P-I relationships and primary production in the Weddell Sea, Antarctica, during the austral autumn." Polar Biology **16**(1): 41-52.
- Duarte, C. M. og J. Cebrian (1996). "The fate of marine autotrophic production." Limnology and Oceanography **41**(8): 1758-1766.
- Egge, J. K. og D. L. Aksnes (1992). "Silicate as regulating nutrient in phytoplankton competition." Marine Ecology-Progress Series **83**: 281-289.
- Eilertsen, H. C. og M. Degerlund (2010). "Phytoplankton and light during the northern high-latitude winter." Journal of Plankton Research **32**(6): 899-912.
- Eppley, R. W. (1990). "Sinking Rates of Ocean Phytoplankton - a Citation Classic Commentary on Sinking Rates of Marine-Phytoplankton Measured with a Fluorometer, by Eppley, R. W., Holmes, R. W., and Strickland, J. D. H." Current Contents/Agriculture Biology & Environmental Sciences(5): 18-18.
- Eppley, R. W., J. N. Rogers, et al. (1969). "Half-Saturation Constants for Uptake of Nitrate and Ammonium by Marine Phytoplankton." Limnology and Oceanography **14**(6): 912-&.
- Erga, S. R. (1989). "Ecological-Studies on the Phytoplankton of Boknafjorden, Western Norway .1. The Effect of Water Exchange Processes and Environmental-Factors on Temporal and Vertical Variability of Biomass." Sarsia **74**(3): 161-176.
- Erga, S. R. (1989). "Ecological-Studies on the Phytoplankton of Boknafjorden, Western Norway .2. Environmental-Control of Photosynthesis." Journal of Plankton Research **11**(4): 785-812.

- Erga, S. R. og B. R. Heimdal (1984). "Ecological-Studies on the Phytoplankton of Korsfjorden, Western Norway - the Dynamics of a Spring Bloom Seen in Relation to Hydrographical Conditions and Light Regime." Journal of Plankton Research **6**(1): 67-90.
- Falkowski, P. G. og T. G. Owens (1978). "Effects of Light Intensity on Photosynthesis and Dark Respiration in Six Species of Marine Phytoplankton." Marine Biology **45**(4): 289-295.
- Falkowski, P. G. og J. A. Raven (2007). Aquatic photosynthesis. Princeton, N.J., Princeton University Press.
- Fara, P. (2009). "A microscopic reality tale." Nature **459**(7247): 642-644.
- Frisvold, F. og J. G. Moe (2004). Statistikk for ingeniører. Bergen, Fagbokforl.
- Gest, H. (2004). "The discovery of microorganisms by Robert Hooke and Antoni Van Leeuwenhoek, fellows of the Royal Society." Notes and Records of the Royal Society of London **58**(2): 187-201.
- Gismervik, I., J. C. Nejstgaard, et al. (1997). "Feeding and reproduction by *Calanus finmarchicus*, and microzooplankton grazing during mesocosm blooms of diatoms and the coccolithophore *Emiliana huxleyi*." Marine Ecology-Progress Series **147**(1-3): 197-217.
- Gordon, H. R. (1979). "Diffuse Reflectance of the Ocean - Theory of Its Augmentation by Chlorophyll-a Fluorescence at 685-Nm." Applied Optics **18**(8): 1161-1166.
- Gran, H. H. og T. Braarud (1935). A quantitative study of the phytoplankton in the Bay of Fundy and the Gulf of Maine : (including observations on hydrography, chemistry and turbidity). Toronto, Woods Hole Oceanographic Institution.
- Gregor, J. og B. Marsalek (2004). "Freshwater phytoplankton quantification by chlorophyll alpha: a comparative study of in vitro, in vivo and in situ methods." Water Research **38**(3): 517-522.
- Harris, G. P. (1986). Phytoplankton ecology : structure, function and fluctuation. London, Chapman and Hall.
- Hasle, G. R., K. Tangen, et al. (1984). Laboratoriekurs i marint planteplankton - Artskunnskap. Oslo, Avdeling for marin botanikk, Biologisk institutt. Universitetet i Oslo.
- Hecky, R. E. og P. Kilham (1988). "Nutrient Limitation of Phytoplankton in Fresh-Water and Marine Environments - a Review of Recent-Evidence on the Effects of Enrichment." Limnology and Oceanography **33**(4): 796-822.
- Helland-Hansen, B. og F. Nansen (1909). The Norwegian sea : its physical oceanography based upon Norwegian researches 1900-1904. Kristiania, Det Mallingske bogtrykkeri.
- Helle, H. B. (1978). Summer replacement of deep water in Byfjord, Western Norway: Mass exchange across the sill induced by coastal upwelling. Hydrodynamics of Estuaries and Fjords. J. C. J. Nihoul. Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company: 441-464.
- Hildebrand, M., V. Martin-Jezequel, et al. (2000). "Silicon metabolism in diatoms: Implications for growth." Journal of Phycology **36**(5): 821-840.
- Holmes, R. W., R. M. Crawford, et al. (1982). "Variability in the Structure of the Genus *Cocconeis* Ehr (Bacillariophyta) with Special Reference to the *Cingulum*." Phycologia **21**(3): 370-381.
- Honjo, S. (1976). "Coccoliths - Production, Transportation and Sedimentation." Marine Micropaleontology **1**(1): 65-79.
- Hooke, R. (1665). Micrographia : some physiological descriptions of minute bodies made by magnifying glasses with observations and inquiries thereupon. London, Printers to the Royal Society.

- Huisman, J., M. Arrayas, et al. (2002). "How do sinking Phytoplankton species manage to persist?" American Naturalist **159**(3): 245-254.
- Hutchins, D. A., Y. Feng, et al. (2008). "Interactive effects of increased pCO₂, temperature and irradiance on the marine coccolithophore *Emiliana huxleyi* (Prymnesiophyceae)." European Journal of Phycology **43**(1): 87-98.
- Koeve, W. (2001). "Wintertime nutrients in the North Atlantic - New approaches and implications for new production estimates." Marine Chemistry **74**(4): 245-260.
- Langvad, F. (2006). Innføring i Elektronmikroskopi for Biologer. Bergen, Institutt for biologi, Universitetet i Bergen.
- Larsen, A., G. A. F. Flaten, et al. (2004). "Spring phytoplankton bloom dynamics in Norwegian coastal waters: Microbial community succession and diversity." Limnology and Oceanography **49**(1): 180-190.
- Leadbeater, B. S. C. (1989). "Lorica Production in Choanoflagellates - a Model System for Investigating the Mechanics, Controls and Dynamics of Secretion." Journal of Protozoology **36**(4): 373-378.
- Libes, S. M. (1992). An introduction to marine biogeochemistry. New York, Wiley.
- Lifshin, E. (1999). X-ray characterization of materials. Weinheim, Wiley-VCH.
- Linde, E. (1970). Hydrography of the Byfjord. Bergen, University of Bergen.
- Loeng, H. (1991). "Features of the Physical Oceanographic Conditions of the Barents Sea." Polar Research **10**(1): 5-18.
- Mangerud, J. og S. Gulliksen (1975). "Apparent Radiocarbon Ages of Recent Marine Shells from Norway, Spitsbergen, and Arctic Canada." Quaternary Research **5**(2): 263-273.
- Milliman, J. D., P. J. Troy, et al. (1999). "Biologically mediated dissolution of calcium carbonate above the chemical lysocline?" Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers **46**(10): 1653-1669.
- Mos, L. (2001). "Domoic acid: a fascinating marine toxin." Environmental Toxicology and Pharmacology **9**(3): 79-85.
- Naustvoll, L. J., C. D. Olseng, et al. (2002). "Grazing by the heterotrophic dinoflagellate *Protoperidinium steinii* on a *Ceratium* bloom." Marine Ecology-Progress Series **225**: 161-167.
- Nelson, D. M., P. Treguer, et al. (1995). "Production and Dissolution of Biogenic Silica in the Ocean - Revised Global Estimates, Comparison with Regional Data and Relationship to Biogenic Sedimentation." Global Biogeochemical Cycles **9**(3): 359-372.
- Nielson, T. G. og T. Kiorboe (1994). "Regulation of Zooplankton Biomass and Production in a Temperate, Coastal Ecosystem .2. Ciliates (Vol 39, Pg 513, 1994)." Limnology and Oceanography **39**(6): 1423-1423.
- Paasche, E. (1991). Forelesninger i marin biologi, botanisk del. Oslo, Universitetet i Oslo.
- Paasche, E. (2001). "A review of the coccolithophorid *Emiliana huxleyi* (Prymnesiophyceae), with particular reference to growth, coccolith formation, and calcification-photosynthesis interactions." Phycologia **40**(6): 503-529.
- Paasche, E. og A.-M. Rom (1962). "On the Phytoplankton Vegetation of the Norwegian Sea in May 1958." Nytt Magasin for Botanikk **9**: 33-60.
- Pace, N. R. (1997). "A molecular view of microbial diversity and the biosphere." Science **276**(5313): 734-740.
- Pan, Y. L., D. V. S. Rao, et al. (1996). "Acclimation to low light intensity in photosynthesis and growth of *Pseudo-nitzschia multiseries* Hasle, a neurotoxic diatom." Journal of Plankton Research **18**(8): 1427-1438.
- Parsons, M. L., Q. Dortch, et al. (2002). "Sedimentological evidence of an increase in *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyceae) abundance in response to coastal eutrophication." Limnology and Oceanography **47**(2): 551-558.

- Parsons, T. R., Y. Maita, et al. (1984). A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Oxford, Pergamon Press.
- Pauly, D. og V. Christensen (1995). "Primary Production Required to Sustain Global Fisheries." Nature **374**(6519): 255-257.
- Porter, J. R. (1976). "Vanleeuwenhoek, a - Tercentenary of His Discovery of Bacteria." Bacteriological Reviews **40**(2): 260-269.
- Preisig, H. R. (1994). "Siliceous Structures and Silicification in Flagellated Protists." Protoplasma **181**(1-4): 29-42.
- Rabalais, N. N. (2002). "Nitrogen in aquatic ecosystems." Ambio **31**(2): 102-112.
- Redfield, A. C. (1958). "The Biological Control of Chemical Factors in the Environment." American Scientist **46**(3): 205-221.
- Redfield, A. C., B. H. Ketchum, et al. (1963). The influence of organisms on the composition of seawater. The sea. M. N. Hill. New York, Interscience. **2**: 51.
- Rey, F., J. Aure, et al. (2007). Temporal and spatial distribution of nutrients. The Norwegian Coastal Current - Oceanography and Climate. R. Sætre. Trondheim, Tapir Academic Press.
- Sakshaug, E. og Y. Olsen (1986). "Nutrient Status of Phytoplankton Blooms in Norwegian Waters and Algal Strategies for Nutrient Competition." Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences **43**(2): 389-396.
- Samtleben, C. og T. Bickert (1990). "Coccoliths in Sediment Traps from the Norwegian Sea." Marine Micropaleontology **16**(1-2): 39-64.
- Sarno, D., W. H. C. F. Kooistra, et al. (2007). "Diversity in the genus *Skeletonema* (Bacillariophyceae): III. Phylogenetic position and morphological variability of *Skeletonema costatum* and *Skeletonema grevillei*, with the description of *Skeletonema ardens* sp nov." Journal of Phycology **43**(1): 156-170.
- Sarno, D., W. H. C. F. Kooistra, et al. (2005). "Diversity in the genus *Skeletonema* (Bacillariophyceae). II. An assessment of the taxonomy of *S. costatum*-like species with the description of four new species." Journal of Phycology **41**(1): 151-176.
- Schlotz, R. og S. Uhlig (2006). Introduction to X-ray Fluorescence Analysis (XRF). Karlsruhe, Bruker AXS GmbH.
- Sherr, E. og B. Sherr (1988). "Role of Microbes in Pelagic Food Webs - a Revised Concept." Limnology and Oceanography **33**(5): 1225-1227.
- Sherr, E. B., F. Rassoulzadegan, et al. (1989). "Bacterivory by Pelagic Choreotrichous Ciliates in Coastal Waters of the Nw Mediterranean-Sea." Marine Ecology-Progress Series **55**(2-3): 235-240.
- Simon, N., A. L. Cras, et al. (2009). "Diversity and evolution of marine phytoplankton." Comptes Rendus Biologies **332**(2-3): 159-170.
- Skagseth, O. og K. A. Orvik (2005). "Heat flux variations in the eastern Norwegian Atlantic Current toward the Arctic from moored instruments, 1995-2005." Geophysical Research Letters **32**(14).
- Skagseth, Ø., K. A. Orvik, et al. (2004). "Coherent variability of the Norwegian Atlantic Slope Current derived from TOPEX//ERS altimeter data." Geophysical Research Letters **31**: 1-4.
- Small, L. F., S. W. Fowler, et al. (1979). "Sinking Rates of Natural Copepod Fecal Pellets." Marine Biology **51**(3): 233-241.
- Smyth, T. J., T. Tyrrell, et al. (2004). "Time series of coccolithophore activity in the Barents Sea, from twenty years of satellite imagery." Geophysical Research Letters **31**(11).
- Strickland, J. D. H. og T. R. Parsons (1972). A practical handbook of seawater analysis. Ottawa, Fisheries Research Board of Canada.

- Sverdrup, H. U. (1953). "On Conditions for the Vernal Blooming of Phytoplankton." J. Cons. int. Explor. Mer **18**: 287-295.
- Sætre, R. (1973). Temperatur- og saltholdighetsnormaler for overflatelaget i norske kystfarvann.
- Sætre, R. (1999). "Features of the central Norwegian shelf circulation." Continental Shelf Research **19**(14): 1809-1831.
- Sætre, R. (2007). Introduction. The Norwegian Coastal Current - Oceanography and Climate. R. Sætre. Trondheim, Tapir Academic Press.
- Sætre, R. (2007). The Norwegian coastal current : oceanography and climate. Trondheim, Tapir Academic Press : Institute of Marine Research.
- Sætre, R. (2007). Short-term variability and small-scale features. The Norwegian Coastal Current - Oceanography and Climate. R. Sætre. Trondheim, Tapir Academic Press.
- Sætre, R., J. Aure, et al. (1988). "Wind Effects on the Lateral Extension of the Norwegian Coastal Water." Continental Shelf Research **8**(3): 239-&.
- Thronsen, J., K. Tangen, et al. (2007). Phytoplankton of Norwegian coastal waters. Oslo, Almater forl.
- Townsend, D. W. og R. W. Spinrad (1986). "Early Spring Phytoplankton Blooms in the Gulf of Maine." Continental Shelf Research **6**(4): 515-529.
- Treguer, P., D. M. Nelson, et al. (1995). "The Silica Balance in the World Ocean - a Reestimate." Science **268**(5209): 375-379.
- Turpin, D. H. og P. J. Harrison (1979). "Limiting Nutrient Patchiness and Its Role in Phytoplankton Ecology." Journal of Experimental Marine Biology and Ecology **39**(2): 151-166.
- Tyler, J. E. (1968). "Secchi Disc." Limnology and Oceanography **13**(1): 1-&.
- Waite, A., P. K. Bienfang, et al. (1992). "Spring Bloom Sedimentation in a Sub-Arctic Ecosystem .I. Nutrient Sensitivity." Marine Biology **114**(1): 119-129.
- Wesselingh, R. (2008). "From Milites Medici to Army Medics – A two thousand year tradition of military medicine." Journal of Military and Veterans' Health **16**(4): 36-38.
- Westbroek, P., E. W. Dejong, et al. (1984). "Mechanism of Calcification in the Marine Alga *Emiliana-Huxleyi*." Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences **304**(1121): 435-&.
- Young, J., M. Geisen, et al. (2003). A guide to extant coccolithophore taxonomy. Bremerhaven, International Nannoplankton Association.
- Zingone, A., I. Percopo, et al. (2005). "Diversity in the genus *Skeletonema* (Bacillariophyceae). I. A reexamination of the type material of s. *Costatum* with the description of s. *Grevillei* sp Nov." Journal of Phycology **41**(1): 140-150.