

### 3.12.4 EFFEK TAR AV AUKA UTSLEPP AV NÆRINGSSALT FRÅ FISKEOPPDRETT

Matematiske modellar kan vere nyttige verktøy for å få informasjon om effektar av auka næringsutslepp frå akvakultur. Artikkelen viser nokre av resultatane frå forsøker der den avanserte, tredimensjonale matematiske modellen NORWECOM vart brukt for Hardangerfjorden. Forsøka viste at utsleppa berre førte til ein liten auke i konsentrasjonen av planteplankton i fjorden. Sjølv med eit utslepp på ti gonger samanlikna med det det var i 2003, gav modellen berre ein gjennomsnittleg auke i konsentrasjonen på rundt 5.2%. Det som hadde størst effekt på planteplanktonveksten var lokaliseringa av anlegga i fjorden.

Mette Eknes

mette.eknes@imr.no

Akvakultur er ei næring i sterk vekst, og i 2006 var eksportverdien frå havbruk for første gong større enn for den tradisjonelle fiskerinæringa. Oppdrettsanlegg som produserer 500 tonn laks i året, slepp ut omtrent like mykje næringsstoff som ein tettstad på 5 000 til 7 500 menneske.

#### Planteplankton – havets gras

Næringsstoffa frå fiskeoppdrettsindustrien blir tilført i form av nitrogen og fosfor, og når tilgangen på desse aukar, aukar òg algeveksten i havet.

Planktonalgar, eller planteplankton, er grunnlaget for alt liv i havet og blir derfor ofte kalla havets gras. Grovt sett kan dei delast inn i to grupper:

1) Dei som sjølve er i stand til å flytta på seg, og 2) dei som er totalt prisgitt straumane i havet. Mellom dei sistnemnde finn ein kiselalgane, som utgjer den største gruppa innan planktonsamfunnet. Dei har karakteristiske, ytre skal danna ved hjelp av kisel og opptrer ofte i kjedar (Figur 3.12.4.5). For desse er det tilgangen på kisel, som set grenser for veksten. Sjølv om dei er mest avhengige av kisel, treng dei sjølvsagt òg nitrogen og fosfor, men tilgang på store mengder av desse stoffa hjelper ikkje på veksten deira dersom det ikkje finst nok kisel i området. Ein seier derfor at kiselalgane er kiselbegrensa.

Flagellatar er eit fellesnamn på dei fleste andre planteplanktonartane i havet, og desse er nitrogenbegrensa. Det vil seie

at veksten deira er avhengig av tilgangen på nitrogen. Denne typen planktonalgar er dominerte av artar med svømmetrådar (flagellar) som gjer dei i stand til å symje nokre få meter per døger (vertikalt). Sidan det er nitrogen og fosfor som blir sleppt ut frå fiskeoppdrettsnæringa, er det grunn til å tru at det er innan flagellatgruppa veksten av planteplankton blir størst.

#### Hardangerfjorden som modellområde

For å studere kva som skjer med konsentrasjonen av planteplankton generelt og flagellatar spesielt, når utsleppa frå fiskeoppdrettsanlegga i Hardangerfjordområdet auka (Figur 3.12.4.2), vart «The Norwegian Ecosystem Model (NORWECOM)» teke i bruk. Dette er ein avansert tredimensjonal matematisk modell som reknar ut forholda for både strau og planteplankton i eit område.

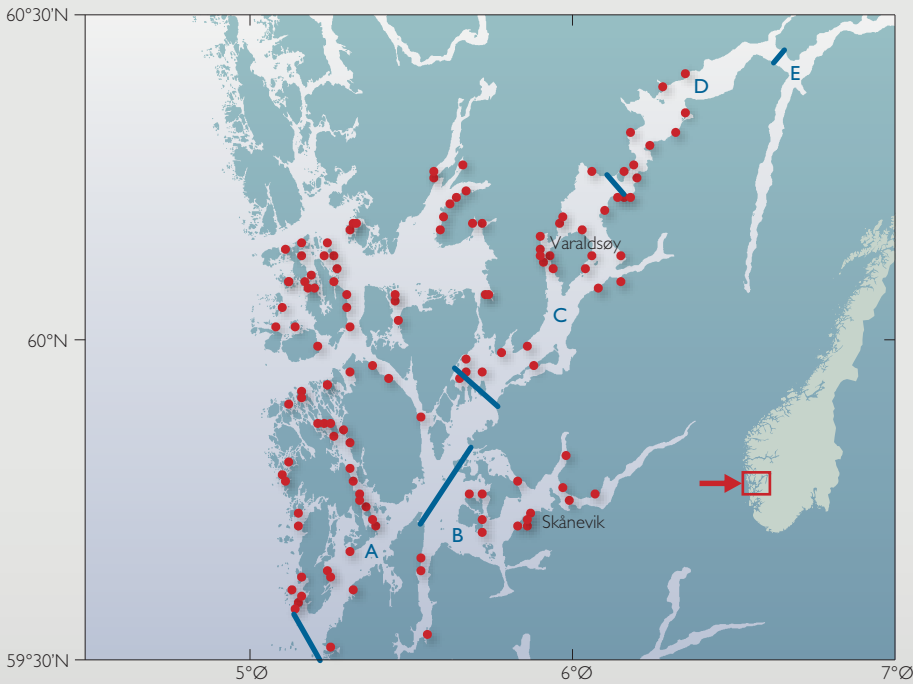
Når ein slik modell blir brukt, inneber det at området ein studerer blir delt opp i mange små ruter, (her: 115 x 238 stk.), der strau, temperatur, salthaldigheit, næringsstoff og planteplankton blir rekna ut for ulike tidspunkt og i 20 ulike djup, ned til 400 m. Modellen inkluderer menneskeskapte aktivitetar som avrenning frå land og utslepp frå fiskeoppdrettsanlegga i området for perioden 1.2–31.8 2003.

I denne perioden vart det produsert rundt 38 000 tonn fisk (laks og sjøaure) i området, og i gjennomsnitt hadde eit anlegg ein fiskebiomasse (vekt av fisk på eit gitt volum) på 350 tonn pr. månad. Lokaliseringa av anlegga, slik det var i 2003, er vist i Figur 3.12.4.2.



Figur 3.12.4.1

Eksempel på eit karakteristisk oppdrettsanlegg i Hardangerfjordområdet.  
A typical fish farm in the Hardanger fjord area.



**Figur 3.12.4.2**

Lokaliseringa av fiskeoppdrettsanlegga i Hardangerfjorden slik det var i 2003. Dei grøne linjene definerer dei fem områda, A til E, som fjorden har blitt delt inn i. The localization of the fish farms in the Hardanger fjord area as of 2003. The green lines define the five areas, A to E, in which the fjord has been divided into.

I modellforsøka varierte vi både storleiken på utsleppa frå anlegga og lokaliseringa av dei. For å ha noko å relatere endringa i konsentrasjonen av planteplankton til, utførte vi eit modellforsøk der utsleppa frå anlegga i området ikkje var inkluderte. Alle dei følgjande resultatata viser derfor auken i denne konsentrasjonen i forhold til at Hardangerfjorden ikkje hadde noko oppdrettsaktivitet. For å få eit inntrykk av kvar i fjorden påverkinga frå oppdrett er størst, vart fjorden delt inn i fem ulike område der gjennomsnitta av planteplanktonkonsentrasjonane vart kalkulerte (Figur 3.12.4.2).

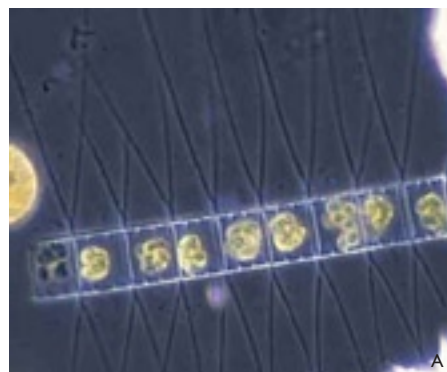
#### Kva skjer når utsleppa frå anlegga aukar?

Når både lokalisering og utslepps nivå frå 2003 vart brukt, såg ein liten forskjell i planteplanktonkonsentrasjonen i forhold til om fjorden ikkje hadde oppdrett. Auken i konsentrasjonen av planteplankton var i dette tilfellet på under 2% i alle dei fem tidlegare nemnde områda av fjorden (Figur 3.12.4.3).

Dersom ein går ut ifrå same lokaliseringa av anlegga som i 2003, samtidig som ein aukar utslepps nivået til ti gonger det ein hadde dette året, ser ein derimot at konsentrasjonen av planteplankton aukar til litt over 13% på det meste. Den største auken finn ein i det aller innerste områ-

det av fjorden (område E), mens auken er minst i område A, ytterst i fjorden (Figur 3.12.4.3).

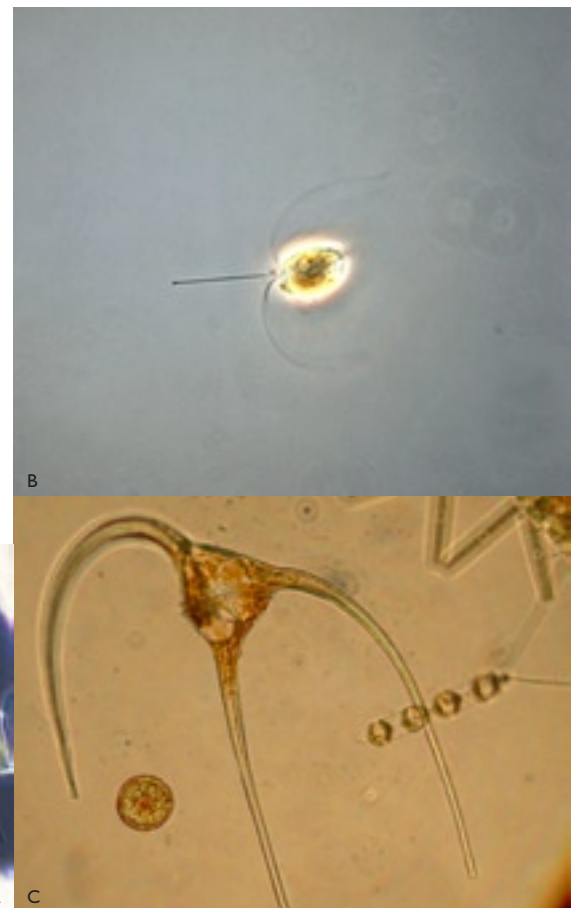
Flagellatane utgjør, i gjennomsnitt, om lag 28% av den totale konsentrasjonen av planteplankton i fjorden, og er den gruppa av planteplankton ein forventar vil få den største veksten når utsleppa frå oppdrettsanlegga aukar. Figur 3.12.4.4 viser at auken i konsentrasjonen av desse er på rundt 3–4% i dei tre områda C, D og E av fjorden når både lokalisering og utslepps nivået var som i 2003. Ved ti gonger dette utsleppet derimot, blir auken i desse områda på heile 26–27%, mens den i områda A berre er på rundt 11%.



Som ein ser, er det i området A auken er minst, både for flagellatar isolert sett og heile planteplanktongruppa vurdert under eitt. Årsaka er at straumane er sterkare i dette området enn i områda lenger inne i fjorden. Dermed blir planteplanktonet raskt ført bort frå dette området, og som eit resultat får ein lågare konsentrasjonar her. Det kan vere verdt å merke seg at konsentrasjonen av flagellatar aukar omtrent like mykje i alle dei tre indre områda (C, D og E), mens auken for planteplankton generelt sett var betydeleg større i området E enn i resten av fjorden. Spesielt såg ein dette tydeleg når ti gonger utslepps nivået frå 2003 var brukt i forsøka (Figur 3.12.4.3).

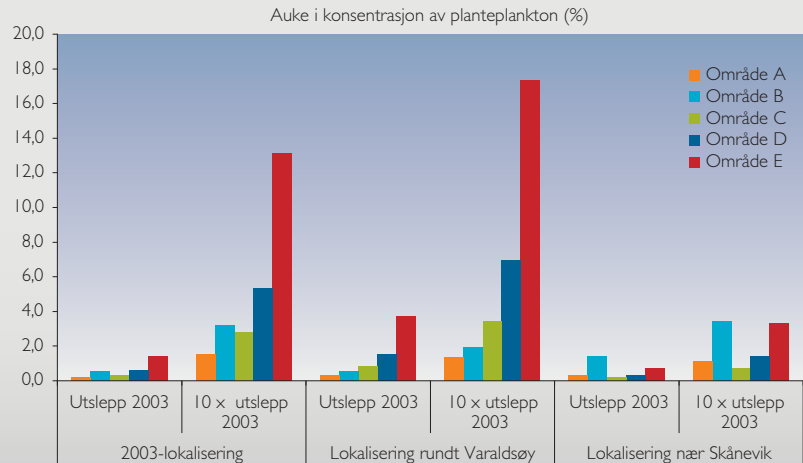
#### Kva skjer om anlegga blir lokaliserte på ein annan måte?

Flyttar ein alle anlegga inn til Varaldsøy, det vil seie inn i område C, ser ein at auken i konsentrasjonen av planteplankton i alle dei tre områda C, D og E blir vesentleg større (Figur 3.12.4.3). Auken er imidlertid fortsatt liten, berre på litt under 4% på det meste, dvs. i område E. I dei to ytre områda (A og B) er konsentrasjonane av planteplankton omtrent som når anlegga var lokalisert som i 2003. Ti gonger så store utslepp resulterer i ein auke på opptil 17% i område E, innerst i fjorden. I område C er auken i dette tilfellet på rundt 3.4%, og igjen er det dei to ytre områda

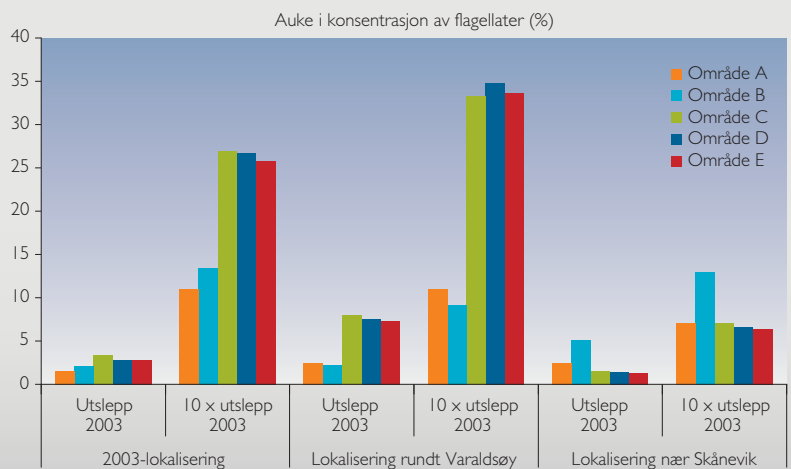


**Figur 3.12.4.3**

Auke i konsentrasjonen av planteplankton på 5 m djup ved tre ulike lokaliseringar av anlegga og to ulike nivå av næringsstoffutlepp frå anlegga.  
 The increase in the concentration of phytoplankton at 5 m below the surface for three different localizations of the farms and two levels of nutrient outlets from the farms.


**Figur 3.12.4.4**

Auken i konsentrasjonen av flagellatar på 5 m djup for tre ulike lokaliseringar og to utsleppsnivå frå oppdrettsanlegga.  
 The increase in the concentration of flagellates at 5 m below the surface for three different localizations of the farms and two levels of nutrient outlets.


**Figur 3.12.4.5**

A: *Chaetoceros decipiens* er ein kjedeforma kiselalge. Eit særtrekk ved kiselagane er at dei har ytre skal danna av silikat. Desse kan ha mange ulike og vakre formaasjonar, men vanlegvis består dei av to asymmetriske delar skild med eit lite mellomrom. Dette siste er grunnen til deira engelske namn, diatom.

A: *Chaetoceros decipiens* is one of the diatom species within the group of phytoplanktons. A characteristic feature of such cells is that they are encased within a unique cell wall made of silica. There is a wide diversity of forms of these walls and some are quite beautiful and ornate. Usually they consist of two asymmetrical sides with a split between them, hence the name diatom.

B: *Chrysochromulina polylepis* høyrer inn under gruppa av *Chrysochromulina*-artar og er ein flagellat. Nokre av *Chrysochromulina*-artane er kjende for å kunne produsere ichthyotoxiner (fiskegift), og er derfor eit problem i fiskeoppdrettsnæringa. I 1988 då store mengder fisk og bunndyr døde som følge av den giftige algeoppblomstringen i mai-juni, var det ein enkelt art, nemleg *Chrysochromulina polylepis*, som dominerte over et område på 60 000 km<sup>2</sup> langs Sørlandskysten.

B: *Chrysochromulina polylepis* belongs to the *Chrysochromulina*-group of flagellates. Some of the species within this group is able to produce a specific toxic poison and is thus capable of causing problems for the aquaculture industry. In 1988 this particular species dominated large areas of the coast south of Norway causing the death of large amounts of fish and benthic organisms.

C: Dette bildet viser både ein dinoflagellat (*Ceratium longipes*) og tre mindre kiselalgar.

C: The picture shows both a dinoflagellate (*Ceratium longipes*) and three smaller sized diatoms.

D: *Ceratium lineatum* er ein dinoflagellat og er ein av dei minste av *Ceratium*-artane. Flagellatar er karakterisert ved ein eller fleire svømmetrådar kalla flageller. Arten som er vist her har to slike, og desse medfører at den kan bevege seg nokre få meter opp eller nedover i vass-søyla, per døgn. I store konsentrasjonar kan *Ceratium lineatum* misfarge vatnet brunt.

D: *Ceratium lineatum* is a dinoflagellate and one of the smallest of the *Ceratium* species. Flagellates are cells with one or more whip-like organelles called flagella. The species shown here has two of these, and is therefore able to move a few meters per day by themselves. If present in large concentrations, it may discolour the water brown.

(A og B) som får den minste veksten. I desse områda har faktisk auken blitt redusert i forhold til ved 2003-lokaliseringa av anlegga, og den største reduksjonen får ein i område B.

Flagellatane har igjen ein mykje større prosentvis auke i konsentrasjonen enn planteplanktongruppa, sett under eitt. Auken er no på rundt 34 % i både det midtre området (C) og dei to indre områda (D og E) av fjorden. For område B har konsentrasjonen av flagellatar gått ned i forhold til 2003-lokaliseringa av anlegga, akkurat som for planteplanktonet sett under eitt.

Om vi derimot lokaliserer alle anlegga i nærleiken av Skånevik i område B, blir konsentrasjonsauken for planteplankton redusert i forhold til ved 2003-lokaliseringa i alle dei tre områda C, D og E, når utsleppsnivået frå 2003 vart brukt. Sjølv når utsleppa vart auka ti gonger som tidlegare, er den maksimale auken i desse områda på berre rundt 3 %.

Det som kan vere verd å merke seg her er at konsentrasjonen av planteplankton ved denne lokaliseringa av anlegga er aller størst i område B. Dette er som forventa, sidan det er i dette området alle anlegga no er lokaliserte, men sjølv med ti gonger utsleppsnivået frå 2003, er auken likevel berre på 3.4 % i dette området.

For flagellatane kjem òg den største konsentrasjonsauken i område B, og som for planteplanktonet generelt er auken redusert i forhold til ved 2003-lokaliseringa av anlegga for alle dei andre områda av fjorden. Dette gjeld både ved utsleppsnivå som i 2003 og ti gonger dette. På det meste aukar konsentrasjonen av flagellatar med rundt 13 % (Figur 3.12.4.4).

Ifølgje modellforsøka kan ein seia at utsleppa frå 2003 betyr lite for planteplanktonforholda i fjorden. Vidare ser ein at ved å lokalisere anlegga i ytre del av fjorden (her: område B), blir auken for både planteplankton og flagellatar svært liten. Konsentrasjonane blir jamvel reduserte for alle områda unntatt for område B, i forhold til 2003-lokaliseringa. Spesielt stor reduksjon ser ein for område E når ti gonger utsleppsnivået frå 2003 vart brukt. Ved dette utsleppsnivået, er auken i konsentrasjonen av planteplankton i område E faktisk nesten fire gonger mindre når anlegga var plasserte i området nær Skånevik (område B) enn når dei var plasserte som i 2003.

Vidare, ser ein at ved å tillate ti gonger utsleppsnivået frå 2003, medfører lokaliseringa i område B faktisk berre ein liten auke i forhold til når 2003-lokaliseringa med 2003-utsleppsnivået var brukt. Denne lokaliseringa ser altså ut til å vere ei gunstig lokalisering for nye anlegg, i alle fall med omsyn til konsentrasjonen av planteplankton i Hardangerfjorden.

Til samanlikning ser ein at å plassere anlegga i område C, i midtre del av fjorden, er ein dårleg idé. Dette medfører nemlig større planteplanktonkonsentrasjonar enn med dagens (2003) lokalisering av anlegga. Med «dagens» lokalisering gir ti gonger utslepp på 2003-nivået ein spesielt stor auke for flagellatane i områda C, D og E (rundt 27 %). Dette viser at dersom ein vil auke utsleppa ti gonger i forhold til 2003-nivået, bør ein lokalisere anlegga i ytre del av fjorden der gjennomstrauminga av vatn er god. Ein vil då kunne unngå for stor auke i konsentrasjonen av planteplankton som følgje av oppdrettsaktiviteten i fjorden.

Imidlertid gir utsleppsnivå på heile ti gonger utsleppa frå 2003 med 2003-lokaliseringa av anlegga berre ein auke i planteplanktonkonsentrasjonen på 13 %, og dette betyr i det store og heile veldig lite for fjorden. Likevel ser ein at ved å flytte anlegga til den ytre delen av fjorden, vil ein kunne auke utsleppa, og dermed òg talet på anlegg, ganske betydeleg.

#### **Tåler fjorden meir oppdrett?**

Ifølgje modellresultata har utsleppa frå fiskeoppdrettsanlegga i Hardangerfjorden berre relativt små effektar på konsentrasjonen av planteplankton totalt sett i fjorden. Det som hadde den største effekten var kvar i fjorden anlegga var lokaliserte. Dei beste lokalitetane for nye anlegg såg ut til å vere relativt langt ute i fjorden, der gjennomstrauminga av vatn er god. Områda nær Varaldsøy og vidare innover fjorden fekk generelt sett den største auken i konsentrasjonen av planteplankton, og såg derfor ut til å vere mindre eigna dersom ein skal tillate meir oppdrett i fjorden.

Alle forsøka viste at det var flagellatane som prosentvis auka mest. Denne gruppa er imidlertid lita i høve til kiselalgane, så sjølv om flagellatane prosentvis aukar mest, er det auken i planteplanktongruppa totalt sett som er viktig. Det ein imidlertid må vere klar over er at visse typar flagellatartar kan føre til fiskedød dersom dei opptre i for store konsentrasjonar.

#### **Effect from increased outlet of nutrient from fish farms**

Advanced three-dimensional mathematical models calculating both currents and phytoplankton concentrations for an area, might be useful tools when studying environmental effects from the fish farm industry. The Norwegian Ecosystem Model (NORWECOM) has been used in experiments for the Hardanger fjord area for this purpose. The experiments showed that the increase in the concentration of phytoplankton due to nutrient outlets from the fish farms was small. Even by allowing ten times the 2003 outlets, the concentration of phytoplankton in the area only increased by 13 % at the most. By locating the farms in the outer area of the fjord, even a ten times increase in the nutrient release did only increase the concentration of phytoplankton by maximum 3.4 %.