

Modeller er per definisjon forenklete fremstillinger av naturen. Likevel kan de gi oss verdifull informasjon om fysiske, biologiske og atferdsrelaterte prosesser i havet. Og i kombinasjon kan modeller hjelpe oss til å få innsikt i de kompliserte økosystemene.

Geir Huse

geir.huse@imr.no

Morten Skogen

morten.skogen@imr.no

Bruksområdene for modellering er allerede mange, og stadig kraftigere datamaskiner vil åpne for nye muligheter. I dag er all varsling av for eksempel planteplanktonoppblomstringer og rekruttering hos fisk basert på mer eller mindre komplekse modeller. I mange tilfeller er modeller også den eneste praktiske måten å sammenstille og kvantifisere forskjellige typer informasjon og prosesser på. Det gjelder for eksempel analyser av økosystemer. Modelleringseksperimenter gir oss dessuten mulighet til å studere effekter av blant annet forvaltningsstrategier eller klimaendringer. Mulighetene er med andre ord mange. Her er noen av modellene som Havforskningsinstituttet benytter for å bedre vår forståelse av livet og prosessene i havområdene våre.

#### Fysiske havmodeller

Fysisk havmodellering er kanskje det området der havforskerne er kommet lengst i å gi gode beskrivelser av naturlige fenomener basert på modeller. Simuleringer foretatt med ROMS-modellen (Regional Ocean Model System) (Figur 5.5.1) viser at man langt på vei klarer å fange opp dynamikken i temperatur og strøm med havmodeller. Fordelen med å bruke modeller til slikt arbeid er at vi får detaljerte temperatur- og strømfelter med fin tidsoppløsning. Det betyr at vi kan hente ut data fra en hvilken som helst posisjon innen et modellområde. Vi er

nå i ferd med å bygge opp et arkiv med mange år av validerte modellkjøringer for våre havområder, og ved hjelp av dem kan vi generere skreddersydde tidsserier. Disse modellkjøringene vil gi oss mange muligheter til å studere temperaturfordelinger, strømfelt og transport av salt og temperatur. I tillegg gir de fysiske modellene viktig input til andre modeller som er avhengige av temperatur eller strømfelt. Det jobbes samtidig med å utvikle verktøy for å visualisere og gjøre det enklere å ta i bruk resultatene fra fysikkmodellene.

#### Planteplanktonmodellering

Havforskningsinstituttet har utviklet en planteplanktonmodell som kjøres sammen med fysikkmodellen. Ved hjelp av denne kan vi blant annet studere produksjon av planteplankton, transport og fordeling av næringssalter og oksygenforholdene i havet. Planteplankton er grunnlaget for alt liv i havet, og variasjonen fra år til år kan gi en pekepinn på mattilbudet for organismer lenger opp i næringskjeden, f.eks. fisk.

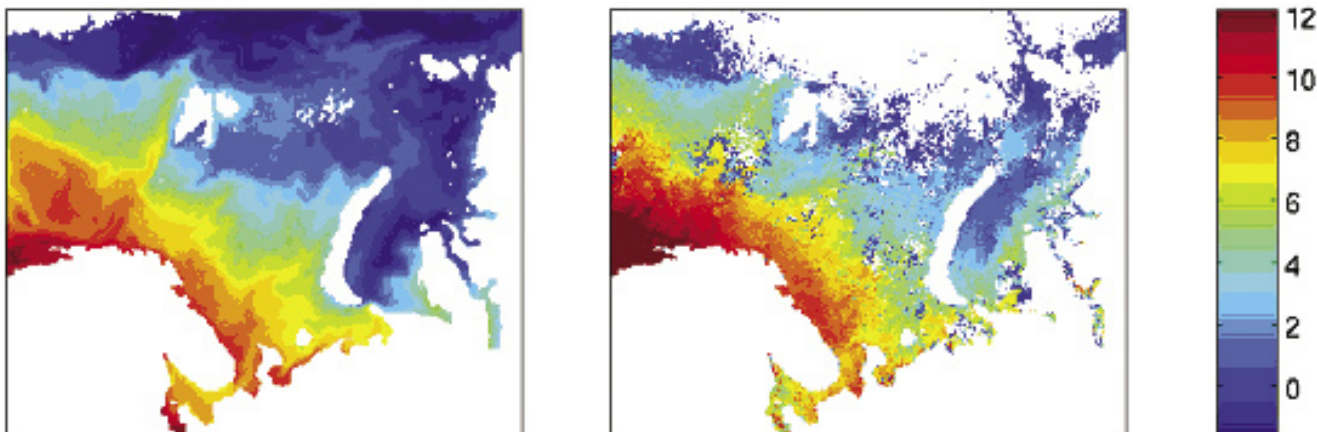
Store mengder næringssalter (nitrogen, fosfor og silikat) blir transportert ut i havet sammen med ferskvann fra elvene våre. I forbindelse med flommer brukes modeller til å beregne hvordan dette vannet spres, og hvilken effekt disse tilførselene har på miljøet i havet. Nedbryting av biologisk materiale krever oksygen. Ofte får man lokale områder ved bunnen med oksygenmangel på steder med stor utsynkning av biologisk materiale og liten utskiftning av vannmasser. Eksempler på slike områder med lavt oksygennivå basert på simuleringer med planteplanktonmodellen er vist i Figur 5.5.2.

**Figur 5.5.1**

Simulert (venstre) og observert (høyre) overflatetemperatur (°C) i september 1993. Figuren er laget av Paul Budgell.

*Simulated (left) and observed (right) sea surface temperature (°C) for September 1993.*

*The figure is provided by Paul Budgell.*



### Individbaserte modeller

Partikkeltransport er et vanlig bruksområde for fysiske havmodeller. Dette innebærer å sette ut "partikler" i et modellområde og så studere hvordan de modellerte fysiske kreftene flytter disse partiklene rundt.

Slike forsøk kan brukes til å studere transport av organismer og forurensning. I sin enkleste form har partiklene bare posisjon og ingen andre egenskaper, men det er nå blitt mer vanlig å gjøre slike modeller individbaserte. Det vil si at partiklene i tillegg til å ha en posisjon også har biologiske egenskaper som lengde og vekt. Modellene kan også inneholde dødelighet knyttet til predasjon og sult. Fordelen med slike individbaserte modeller er at man kan gi individene en rekke forskjellige egenskaper og studere samspillet mellom miljø og individ, som eksponering for forurensning, og mellom individer, for eksempel predator og bytte. Dessuten kan individene enkelt gis atferd, noe som gir muligheter for å utvikle svært realistiske modeller.

Ulempen med individbaserte modeller er først og fremst at de er regnetunge, noe som i praksis legger begrensninger på antall partikler man kan bruke til å representere en populasjon. Man kan imidlertid la hver partikkel representere mange individer såkalte superindivider, og på den måten i prinsippet simulere enhver populasjonsstørrelse.

### Fitnessmaksimerende dyreplankton

Selv om dyreplankton flyttes rundt med strømmen, er de langt fra passive. De eldste stadiene av raudåte beveger seg for eksempel opp og ned i vannmassene avhengig av tid på året og tid på døgnet. Særlig er vandringerne mellom de øverste vannlagene og overvintringsdypet på 500–1000 m iøynefallende.

Siden havstrømmene varierer nedover i dypet, er det viktig å representere denne vertikalfordelingen realistisk når man skal legge dyreplankton inn i havmodeller. Tidspunkt for vandring til og fra overvintringsdypet styres av tilgjengelighet på mat og mengden planktonspisende fisk som sild. For å forstå hvordan dyreplankton planlegger livet sitt må vi altså ta i betraktning vekst, overlevelse og reproduksjon. Alle organismer er under et sterkt evolusjonært press for å avveie disse prosessene på en god måte, slik at man kan foreta gode atferds- og livshistorievalg. Dette er kompliserte avveininger, og modellering er derfor et viktig verktøy for å studere slike valg. Når vi antar at dyr avveier vekst, overlevelse og reproduksjon optimalt og handler deretter, snakker vi om fitnessmaksimering. Modeller for fitnessmaksimering er blant annet blitt brukt til å studere hvordan nivået av fiskepredasjon påvirker atferd og livshistorie hos raudåte. Resultatene viser (Figur 5.5.3) at ved lavt predasjonstrykk er den beste strategien for raudåta å oppholde seg lenge i de øvre vannlagene og produsere to

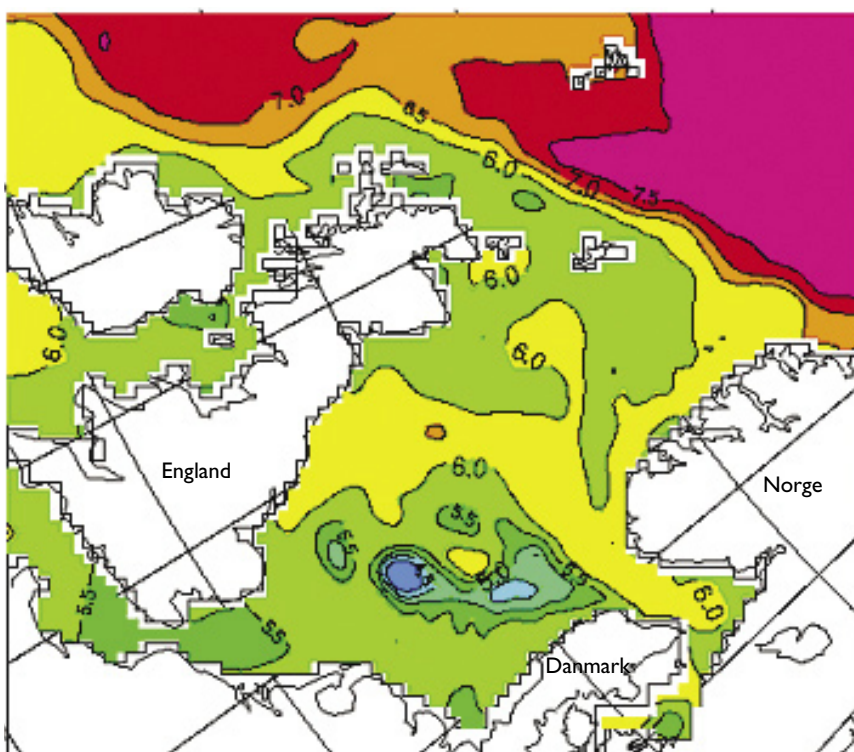
generasjoner per år. Når risikoen for å bli spist av fisk øker, blir det derimot viktig å begrense oppholdstiden i de øvre vannlagene til perioden med størst vekst, og bare produsere én generasjon per år og foreta utstrakt døgnvandring.

### Larvedriftmodeller

På larvestadiet driver de fleste fisker med strømmen, ofte over store områder. Denne driftsfasen er derfor viktig for å forstå fiskens vandringsmønster og rekruttering. Fysiske havmodeller blir ofte brukt til å simulere driftsbanene til larver og egg fra gytefelt til oppvekstområde. Slike modeller gir verdifull informasjon om driftruter, og ved å modellere flere år kan man undersøke hvordan fordelingene endrer seg avhengig av hvor fisken gyter og forskjeller i de fysiske drivkreftene.

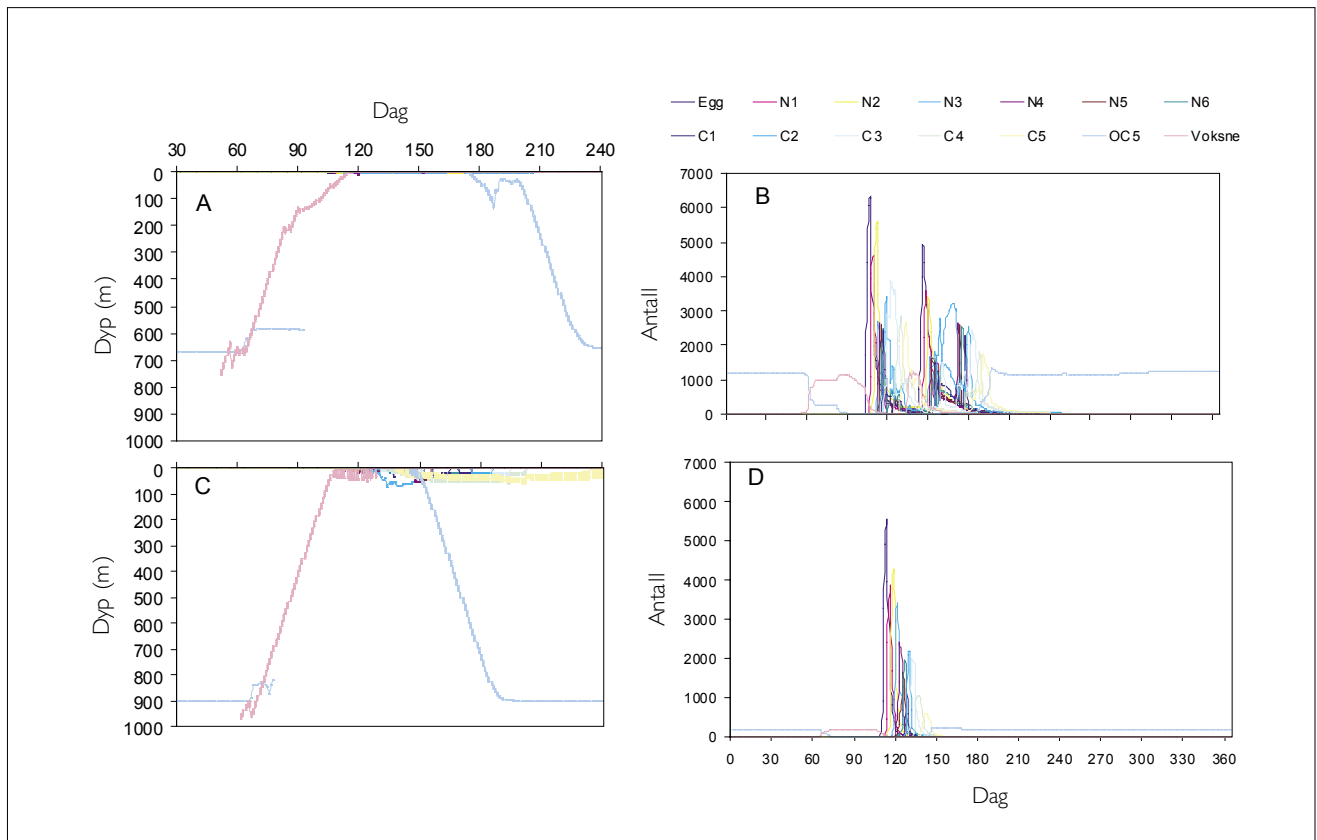
Figur 5.5.4 viser simulert fordeling av torskelarver ca. 4–6 måneder etter gyting i Vestfjorden for årene 1985 og 1986. I modellen er larvene tilegnet posisjon, men også vekt, og veksten er bestemt av temperaturen i vannet. Simuleringene viser at torskene ligger lenger øst i 1986 enn i 1985, noe som stemmer med observasjonene fra tokt. Torskene i den vestlige delen av området er større enn den lenger øst, siden temperaturen er høyest i vest.

For å øke forståelsen av samspillet i økosystemet er vi nå i ferd med å koble sammen modellene for fysikk, planteplankton, raudåte og larvedrift. Dette vil gi oss et



**Figur 5.5.2**

Figuren viser modellert oksygen (ml/l) nær bunnen i slutten av august 2000.  
The figure shows modelled oxygen level (ml/l) near the bottom at the end of August 2000.



**Figur 5.5.3**

Modellert vertikal fordeling og populasjonsdynamikk hos raudåte med atferd og livshistoriestrategier under lavt (A og B) og høyt (C og D) predasjonsstrykk fra fisk. Fargene indikerer de forskjellige stadiene hos raudåta. Modelled population dynamics in *Calanus finmarchicus* where life history strategies and behaviour are evolved under low (A and B) and high (C and D) predation pressure from fish. The colours indicate the different *Calanus* stages.

verdifullt verktøy for å studere sammenhenger mellom fysiske og biologiske prosesser i tid og rom.

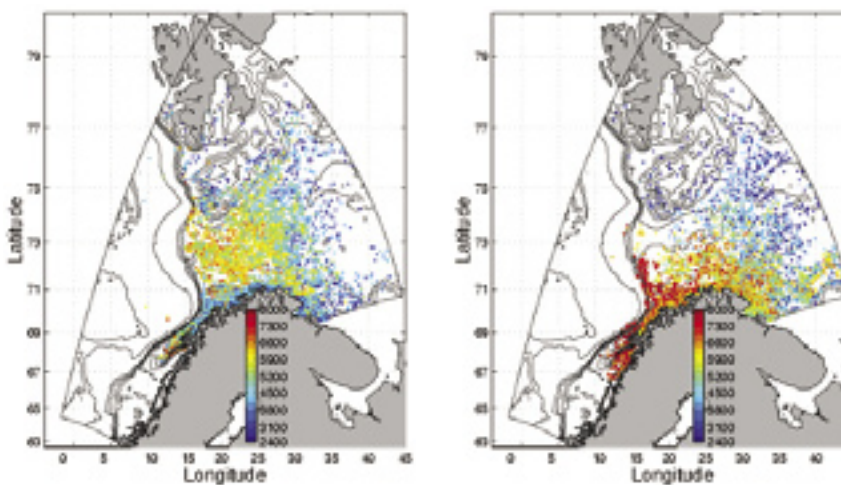
#### Fiskeatferd

Mens fiskelarvene driver med strømmen, velger den voksne fisken selv hvor den ønsker å vandre, selv om strømmen selvsagt også vil påvirke forflytningen

deres. Det at den voksne fiskens atferd styrer vandring og fordeling gjør det mye vanskeligere å forstå og forutsi deres fordelingsmønster sammenlignet med larvenes. Atferden varierer avhengig av hva som motiverer den, fødeinntak, overlevelse, gyting eller kombinasjoner av disse. På den måten er det å forstå fiskevandring en liknende utfordring som vertikalvandringen til raudåta nevnt ovenfor. Men fiskevandring er atskillig mer komplekse siden det er snakk om mye større avstander samt avveininger som ikke bare er genetisk bestemt, men også kan inneholde elementer av læring.

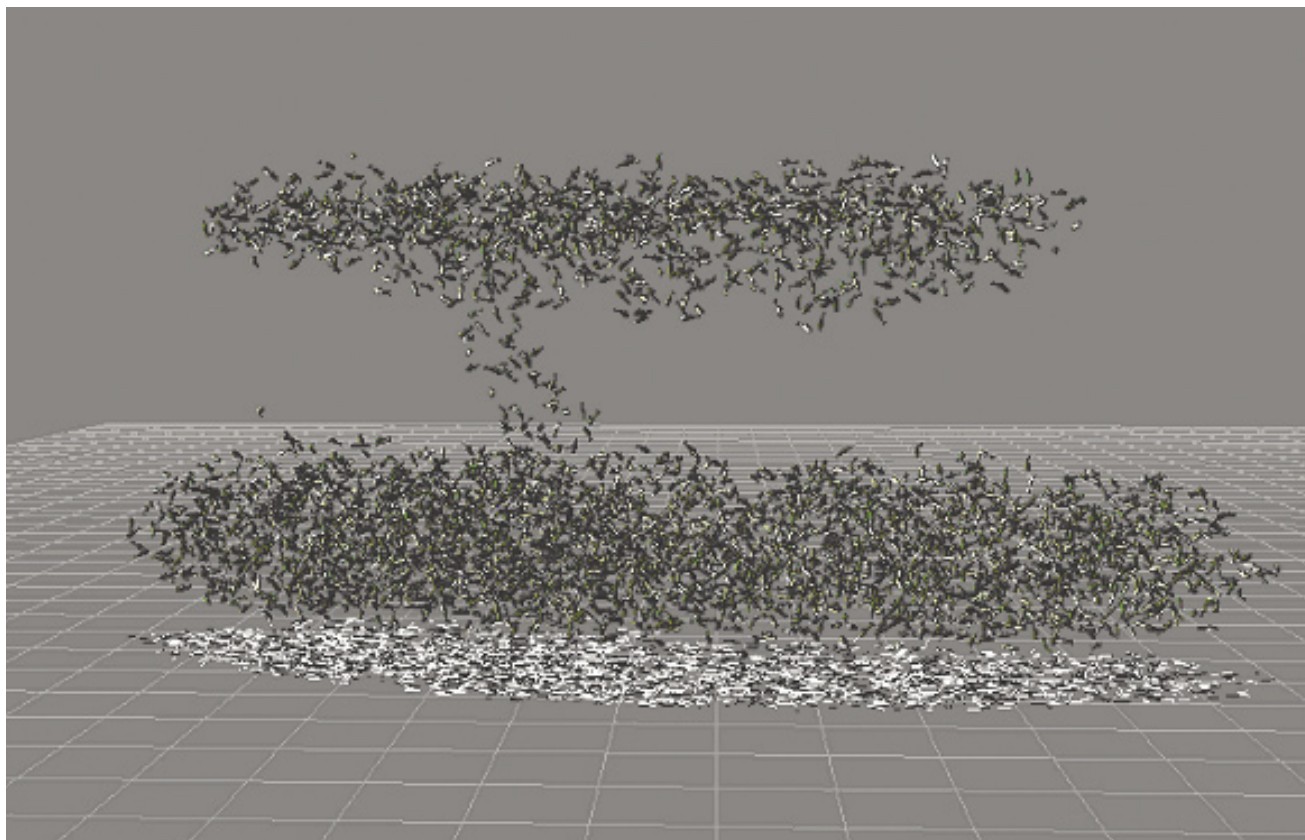
Et annet kompliserende element innen atferdsmodellering er kollektiv atferd, det at beslutninger tatt av enkeltindivid, påvirkes av hva andre individer gjør og igjen påvirker det andre individer gjør. Denne type dynamikk er vanlig hos mange fiskearter, særlig stimende arter som sild, makrell og lodde.

Man har kommet langt i å lage individbaserte modeller som genererer mønstre som ligner på fiskestimer. Slike modeller baserer seg på at enkeltindividets atferd er avhengig av fordeling og bevegelse hos omliggende individer. Det er vanlig å anta at individene søker å ha samme fart og retning som omliggende individer. Figur 5.5.5 viser simulert atferd av gytende sild basert på en slik modell med 4000 individ-



**Figur 5.5.4**

Simulert fordeling av torskelarver for 1985 (venstre) og 1986 (høyre), 4-6 måneder etter gyting i Vestfjorden. Fargene indikerer vekten av larvene i mg. Figuren er laget av Frode Vikebø. Simulated distribution of 0-group cod in 1985 (left) and 1986 (right), 4-6 months after release in Vestfjorden. The colours indicate body mass in mg. The figure is provided by Frode Vikebø.



**Figur 5.5.5**

Simulert stimatferd hos sild i gytefasen. Figuren er laget av Rune Vabø.

*Simulated school dynamics of herring during spawning. The figure is provided by Rune Vabø.*

er. Oppsplitting av stimenskyldes forskjeller i individuell motivasjon: individene ved bunnen gyter, mens de høyere oppe i vannsøylen forbereder seg på gyting. Slike modeller kan gi oss kunnskap om hvordan individuell atferd fører til de kollektive stimmønstrene man observerer for eksempel med ekkolodd. Kollektivatferd har òg en rolle i de storskala vandringene knyttet til beslutninger om hvor fisken skal beite, overvintre eller gyte.

#### **Summary**

The initiation of ecosystem-based management of marine ecosystems requires

an increased focus on understanding ecosystem processes and the consequences of human actions on ecosystem structure and functioning. Process based modelling will be an important tool in this development, and it will be useful to increasingly link oceanographic models with biological models since this interplay is known to be important, but is difficult to understand solely from observations. Some different process based models including a physical ocean model, a phytoplankton model, a zooplankton life history model and drift and schooling models of fish are presented.