

OPERASJONELL MODELLERING:

Viser tilstanden i havet i går, i dag og i morgen

Fysiske forhold som temperatur, saltholdighet og havstrømmer utgjør rammebetingelsene for marine økosystem, og mellomårslige variasjoner i det fysiske miljøet betyr mye for livet og mangfoldet i havet. Operasjonell modellering av havdynamikken gjør oss i stand til å analysere de historiske variasjonene i det fysiske miljøet og bedre forstå konsekvensene de har for veksten, utbredelsen og overlevelsen av marine arter. Operasjonelle modeller peker også fremover, og kan på kort sikt predikere stormer, ekstreme bølger og høye temperaturer.

TROND KRISTIANSEN | trond.kristiansen@imr.no, MORTEN D. SKOGEN, HENNING WEHDE og JON ALBRETSSEN

I perioden 2009–2015 deltok Havforskningsinstituttet i MyOcean – et stort EU prosjekt som har drevet operasjonell overvåking av miljøet i havet. I motsetning til tradisjonell overvåking som typisk oppdaterer status for hav og økosystem noen ganger per år, skjer operasjonell overvåking kontinuerlig og benytter informasjon fra blant annet båt, bøyer, satellitter og modeller.

Regionale modeller er mer detaljerte

I MyOcean ble det benyttet observasjoner fra en rekke kilder. Satellitter leverte data om havets overflatetemperaturer, og fra båter og overflatebøyer kom informasjon om temperatur, saltholdighet, havstrømmer, vindretning og vindstyrke. I tillegg

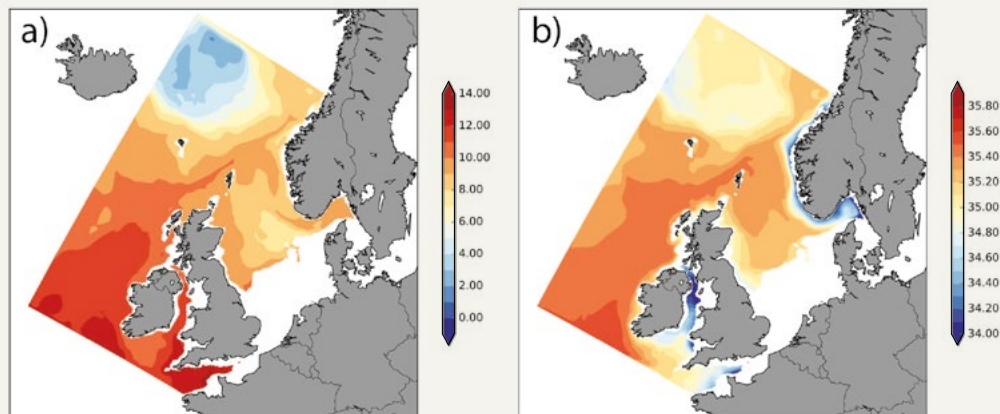
ble det brukt matematiske modeller (havmodeller) som simulerer de fysiske forholdene i havet (tilsvarende det som blir gjort i værvarsling). Noen modeller er globale, mens andre er regionale og kun dekker et mindre område. De regionale modellene har en høyere oppløsning enn de globale, og kan dermed gi et mer detaljert og realistisk bilde av de dynamiske forholdene. Ulempen med høy oppløsning er at beregningene også blir mer tid- og ressurskrevende.

Nordsjø-miljøet mellom 1993 og 2014

Med havmodeller kan vi simulere hvordan de fysiske forholdene i havet har variert over en lengre historisk periode (reanalyse), samt varsle hvordan forholdene vil være i nær fremtid (prediksjon).

På Havforskningsinstituttet bruker vi havmodellen ROMS (Regional Ocean Modeling System). En av instituttets roller i MyOcean var å levere en regional reanalyse av fysikken og biologien i Nordsjøen for perioden 1993–2014. Den regionale modellen benyttet et grid (rutenett) som ga en oppløsning på 8 kilometer, og variasjonen i dypet var representert ved 35 vertikale nivåer. Modellen gjorde det mulig å beregne viktige fysiske forhold som havstrømmer, temperatur (figur 1), saltholdighet, vertikal miksing og tidevann, og biologiske parametre som næringssalt og plankton.

Figur 1. Gjennomsnittlig modellert temperatur (a) og saltholdighet (b) i 2011 for 50 meters dyp med assimilasjon. Average modeled temperature (a) and salinity (b) for 2011 at 50 meters depth using assimilation.



Inkluderer observasjoner i modellene

Et problem med en slik regional modell er når havets bevegelser er på en skala som er mindre enn oppløsningen i modellen. For eksempel er småskala virveldannelser langs norskekysten vanskelig å simulere korrekt i havmodeller, med mindre oppløsningen er veldig høy. Av den grunn vil det være noe forskjell mellom modell og observasjon. Problemet kan til en viss grad løses ved å inkludere observasjoner i modellene, og "dytte" løsningen mot det som observeres. Dette kalles å assimilere data, og for Nordsjøen benytter vi satellitt-observasjoner av overflatetemperaturen til dette.

Reduserer forskjellen mellom modell og observasjoner

Først kjører vi havmodellen for å simulere havdynamikken for en bestemt periode, f.eks. fra 1. til 7. januar. Når dette er gjort, sammenliknes modellresultatene med satellittdata av overflatetemperaturen for 7. januar. Dersom modellen avviker fra de observerte verdiene, endrer vi forsiktig utgangspunktet for kjøringen 1. januar og kjører modellen igjen. Etter 7–10 slike repetisjoner har forskjellen mellom modell og observasjon blitt mindre, og vi har en løsning som ligger tettere opp til de observerte verdiene. Denne prosessen gjentar vi for hver uke vi ønsker å simulere. Så langt har vi gjennomført modell-simuleringer av fysikken i Nordsjøen med assimilasjon for perioden 1993–2014.

Uten assimilasjon underestimeres temperaturen

Prosesen med å assimilere observerte verdier inn i en havmodell er svært tidskrevende, og på instituttet gjør vi vanligvis simuleringer av norske farvann og kystområder uten noen form for assimilasjon. En av grunnene er at dersom man kun skal modellere for kortere perioder, er informasjonen om fordelingen av temperatur og saltholdighet ved start av modellperioden det viktigste. Dersom man skal modellere for flere tiår, slik vi har gjort i MyOcean, blir assimilasjon en viktig komponent da modeller ofte har en tendens til å "drive" bort fra reelle

løsninger. I tillegg så har tilgangen på data fra satellitter blitt mye enklere og økt i mengde de siste årene. Satellittmålinger er verdifulle data for assimilasjon da de gir oss et øyeblikksbilde av overflateverdier som modellen kan "dyttes" mot.

Vi ville imidlertid vite hvor stor gevinst assilimering gir, og simulerte perioden 2010–2014 for Nordsjøen, men denne gangen uten assimilasjon. Våre resultater viser at uten assimilasjon underestimerer modellen temperaturen i hele vannsøylen. Det skyldes sannsynligvis småskala prosesser som ikke er godt nok inkludert i havmodellen eller at drivkreftene som er lagt inn i modellen ikke er realistiske nok. Å inkludere effekten av småskala prosesser er spesielt viktig langs kysten, der temperaturen kan være sterkt påvirket av ferskvannsavrenningen fra elver, variasjoner i bunntopografien, virveldynamikk og mikseprosesser.

Assimilasjon gir sikrere temperaturverdier

Dersom vi ser på resultatene med assimilasjon, er temperaturen i forskjellige vertikale dyp nærmere de observerte verdiene, selv om gevinsten av assimilasjon er høyest i de øverste 100 meterne av vannsøylen. Når vi sammenliknet saltholdighetsverdiene med og uten assimilasjon mot observerte verdier fra båt fant vi derimot liten eller ingen forskjell mellom simuleringene og kun små avvik fra de observerte verdiene. Assimilasjon av observasjoner fra satellitt inn i havmodellen forbedrer altså resultatene, og gir oss et mer realistisk bilde av hvordan varmen og dynamikken i havet varierer mellom sesonger. I fremtiden vil vi også assimilere observasjoner fra båt, noe som vil gi en ytterligere forbedring av hvordan temperatur og saltholdighet varierer, og da spesielt i de dypene hvor målinger leses inn.

Sikkerhet, miljø og klima

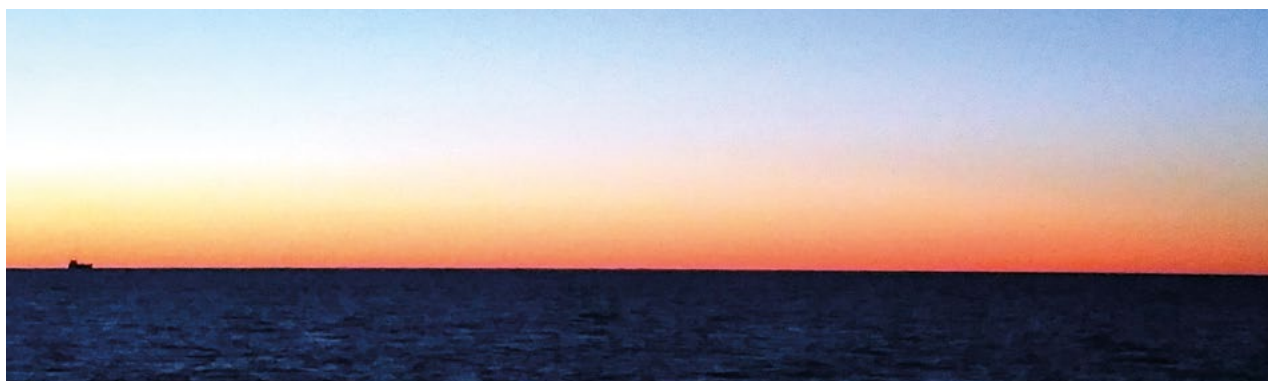
MyOcean er nå videreført som den operasjonelle delen av det nye EU-programmet Copernicus, der informasjon fra modeller og observasjoner gjøres tilgjengelig for forskningsmessige og kommersielle

formål. Informasjonen kan blant annet brukes til å predikere ekstremvær og øke sikkerhet til sjøs, og til å overvåke miljø- og klimaendringer. Vår rolle i programmet er mellom annet å oppdatere ROMS-reanalysen for Nordsjøen hver 6. måned. Andre institusjoner har andre modeller for det samme området. Alle disse modellene brukes for å lage det endelige produktet. Tanken er at vi får den beste reanalysen for et bestemt område dersom vi ser på mange modeller (et ensemble). Løsningen her er mindre avhengig av valgene av matematisk modell og informasjon som inngår i de enkelte modellene.

Modelling the current, past, and future states of the ocean

Over the last several years (2009–2015), IMR participated in MyOcean, a large EU-project that provided information on the current, past, and future states of the ocean, focusing on the North Sea. IMR was responsible for delivering a reanalysis of the historical ocean dynamics for the North Sea from 1993–2014. The reanalysis was created using a complex mathematical model (ROMS). Observations of sea surface temperature from satellites were used to improve the model simulations. MyOcean has now ended, but the work will continue as a component in the EU Copernicus program. IMR continues to provide updates to the North Sea reanalysis to keep the temporal coverage of the archive as close to current time as possible. Products available from Copernicus include ocean models, observations from boats, buoys, satellites as well as other resources. These products can be used for research and commercial activities, but also for providing better predictions of ocean conditions to improve safety at sea.

Foto: Heidi Gabrielsen

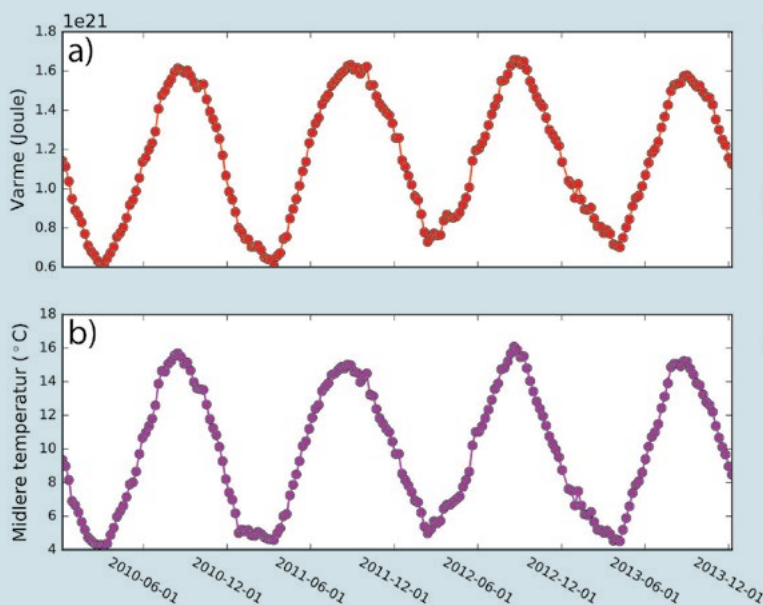




Hvordan fysikken påvirker biologien

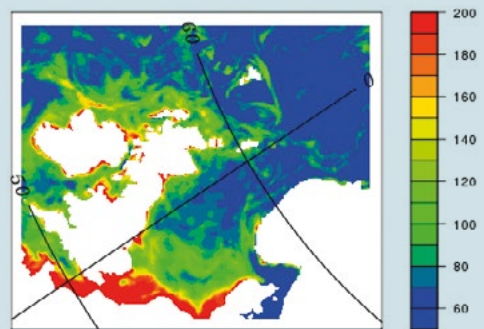
En viktig del av arbeidet vi gjør ved Havforskningsinstituttet er å forstå hvordan marine arter er tilpasset sitt økosystem og hvordan endringer i miljøet påvirker overlevelse, vekst, utbredelse og rekruttering. For eksempel er overlevelse av fiskelarver i perioden etter klekking avhengig av temperaturen i havet og tilgangen på plankton. Planktonet er igjen påvirket av årlige og mellomårige variasjoner i fysiske forhold slik som temperatur (figur 2), saltholdighet og havstrømmer. Dersom vi har kunnskap om de historiske variasjonene i det fysiske miljøet i havet, kan vi også bedre forstå hva som driver de årlige variasjonene i biologien.

Resultatene fra MyOcean gjør oss i stand til å studere hvordan naturlig variasjon i fysikken påvirker veksten av for eksempel planteplankton. Vi bruker beregningene av temperatur, strøm, saltholdighet m.m. som driver for en biologisk modell som beregner vekst og utbredelse av planteplankton (figur 3). Disse resultatene benyttes videre til å forstå for eksempel hvordan tidspunktet når det er mye plankton tilgjengelig som mat for andre arter varierer mellom år, og hvordan slike mellomårige variasjoner kan føre til endringer i rekruttering av for eksempel fisk.



Figur 2. Månedlig modellert total varme (Joule, a) og midlere temperatur ($^{\circ}\text{C}$, b) for hele Nordsjøen for perioden 2010–2013.

Monthly modeled total heat content (Joule, a) and average temperature ($^{\circ}\text{C}$, b) for the entire North Sea for the period 2010–2013.



Figur 3. Årlig modellert netto primærproduksjon (gC/m^2) i Nordsjøen for 2012.

Annual depth integrated net primary production (gC/m^2) in the North Sea for 2012.