

Operafjellet på Svalbard i januar.  
I forgrunnen ses bunnen av Adventfjorden.  
*The Opera Mountain in Svalbard in January.  
In front: the Adventfjorden (Advent Bay).*

# Havforsuring i arktiske farvann

Havforskningsinstituttet deltar i to store havforsuringsprosjekter i nordområdene: OA<sup>STATE</sup>, som blant annet skal bidra med tidsserier som viser havforsuringstrender i norsk Arktis, og SICCA, som undersøker hvordan sjøisprosesser og smeltevann fra breer påvirker havkjemien.

MELISSA CHIERICI | melissa.chierici@imr.no, AGNETA FRANSSON<sup>1</sup>, KNUT YNGVE BØRSHEIM, PADMINI DALPADADO og HOWARD BROWMAN  
1. Norsk Polarinstitutt

Havforsuring er en direkte konsekvens av at konsentrasjonen av karbondioksid (CO<sub>2</sub>) i havet øker som følge av utslipene til atmosfæren. Denne utviklingen reiser en rekke spørsmål om effekter på organismer og det marine økosystemet.

## Forskyves mot en mer sur tilstand

Kalde polare hav med ferskere vannmasser er spesielt følsomme for endringer. De har allerede lave konsentrasjoner av karbonationer, som er avgjørende når marine organismer skal bygge harde deler av kalsiumkarbonat (CaCO<sub>3</sub>) som skjelett og skjell. Det er også slik at kaldt vann kan ta opp mer CO<sub>2</sub> enn varmere vann. Dette gjør at polare havområder trolig er de første til å oppleve en betydelig nedgang i pH. Det får spesielt konsekvenser for kalsifiserende organismer.

Når CO<sub>2</sub> oppløses i vann blir det karbonsyre (som er svakt sur). Karbonsyren blir raskt til bikarbonat på grunn av en

kjemisk reaksjon, og det frigis hydrogenioner. Dette forårsaker en reduksjon i pH-verdien (et mål på havets surhetsgrad:  $\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}^+]$ ). For å kompensere for det sure hydrogenionet forbrukes det karbonationer. Det marine karbonatsystemet bufrer sjøvannet, men fordi havets innhold av CO<sub>2</sub> har økt raskt på en kort tidsskala, er havets kjemi forskjøvet til en mer sur tilstand.

## Mørketid og is hindrer observasjoner

Det arktiske klimasystemet er i rask endring. Mest tydelig blir dette observert i havisen som tynnes ut, og ved oppvarming, økt avrenning fra elvene og økt tilførsel av terrestrisk (landbasert) karbon. Disse faktorene vil sannsynligvis endre flere prosesser som er relevante for karbonbudsjettet i Polhavet. Påvirkningene er komplekse, og konsekvensene er vanskelige å forutsi. På grunn av de krevende forholdene med sesongmessig

havisdekke og mørketid finnes det lite observasjoner fra Polhavet sammenlignet med andre havområder. Derfor har vi svært lite bakgrunnsinformasjon om den naturlige baselinjen for karbonatsystemet og status for havforsuring i Polhavet.

## Havisen er viktig

Fra tidligere arbeid i Polhavet vet vi at CaCO<sub>3</sub>-metning (estimat av CaCO<sub>3</sub>-oppløsning) i overflatevannet er avhengig av beliggenhet og sesong, og er nært knyttet til endringer i biogeokjemiske prosesser; særlig primærproduksjon og respirasjon. Sjøis som smelter fører til naturlig lav CaCO<sub>3</sub>-metning i enkelte områder. Havisen er viktig for havforsuring siden den har potensial til å konsentrere alkalinitet. Når isen smelter, blir alkaliniteten sluppet ut i overflatevannet, og potensialet for opptak av CO<sub>2</sub> øker. Når mer CO<sub>2</sub> tas opp i overflatevannet, reduseres CaCO<sub>3</sub>-metningstilstanden, noe som fører til at



**Figur 1. Det tas vannprøver under isen. Til prøvetakingen brukes en vannhenter.**  
*Taking water samples under the ice, a water collector is used.*

Foto: Agneta Fransson, NPI

mindre karbonationer blir tilgjengelige for marine organismer for å bygge kalkskall og skjeletter. Disse endringene vil i sin tur også påvirke de marine økosystemene ved høye breddegrader.

#### **OA<sup>STATE</sup> og SICCA – studerer havforsuring**

Havforskningsinstituttet er involvert i to større prosjekter som undersøker karbonatsystemet og statusen for havforsuring i Arktis. Det gjøres i samarbeid med Norsk Polarinstitutt i Flaggskipet Havforsuring og økosystemer i nordlige farvann (organisert i Framsenteret). Prosjektet OA<sup>STATE</sup> undersøker den nåværende status og baseline av havforsuringstilstanden i Arktis og hvordan biogeokjemiske prosesser virker inn på havforsuringstilstanden (karbonatsystemet). OA<sup>STATE</sup> bidrar også til etableringen av tidsserier som skal vise trender i havforsuringen i norsk Arktis.

I OA<sup>STATE</sup> overvåker Havforskningsinstituttet også havforsuringstilstanden i Svalbard-fjordene. Det skjer i samarbeid med Norsk Polarinstitutt i MOSJ-programmet (Monitoring Svalbard fjords and Jan Mayen). Her ser vi også at kalkfiserende organismer som *Limacina helicina* (vingesnegl) er spesielt utsatt for havforsuring. Denne dyregruppen er viktig for næringskjeden i enkelte deler av Polhavet.

Det andre prosjektet, SICCA, har som hovedmål å undersøke hvordan sjøisprosesser og smeltevann fra breer (særlig dannelse og smelting) påvirker havets karbonatsystem, CO<sub>2</sub>-fluksen i luft og sjø og havforsuringstilstanden. Undersøkelsene gjøres på ekspedisjoner og feltarbeid i og rundt Svalbard. Det er krevende oppgaver å samle ulike prøver av sjøis, sjøvann på flere dybder, snø, saltlake og frostroser og analysere disse prøvene i feltet eller hjemme i laboratoriet.

Det er vist at sjøisen påvirker havforsuringstilstanden blant annet ved å transportere CO<sub>2</sub> til underliggende vann gjennom transport av saltlake. Økt transport av CO<sub>2</sub> bidrar til lavere pH og kalsiumkarbonatmetning.

#### **Må skille menneskeskapte og naturlige prosesser**

Innenfor OA<sup>STATE</sup> har vi etablert to snitt i Framstredet: ett som går 79°N, 10°Ø til 15°V og et som er noe nord for Svalbard, 80°–83°N, hvor Havforskningsinstituttet måler total alkalinitet og totalt uorganisk karbon i vannsøylen. Disse to parametrene anvendes til å studere forsuringstilstanden. De angir også pH og kalsiumkarbonatmetningen. Målingene er del av et globalt nettverk for havforsuringsobservasjoner (Global network for Ocean Acidification Observations/GOA ON).

Foreløpige funn fra de utstrømmende arktiske vannmassene viste et lag med lav pH og lav CaCO<sub>3</sub>-metning (høy CO<sub>2</sub>). Dette falt sammen med høyt innhold av organisk materiale og høy saltfraksjon, som sannsynligvis skyldes en kombinasjon av bakterierespirasjon og transport av overflate-CO<sub>2</sub> til dypere lag via saltløsning (sjøisdannelse). Dette laget bekrefter at det polare vannet har det laveste metningsnivået for aragonitt blant vannmassene i området. Videre studier vil avdekke trender i pH og kalsiumkarbonatmetning, og sammen med tilleggsdata (næringsstoffer, saltholdighet og temperatur) kan vi fastslå årsakene for trendene. Snittet nord for Svalbard viser påvirkning av varmt, innflytende atlantehavsvann som også inneholder mye CO<sub>2</sub>. For å påvise trender er det viktig å skille mellom menneskeskapte og naturlige prosesser, og derfor trengs lange tidsserier.

Havforskningsinstituttet leder også programmet Havforsuringsovervåking i norske farvann med støtte fra Miljødirektoratet. I programmet tas det vannprøver fra faste snitt i norske havområder, og i 2012 startet vi opp vannprøvetaking langs snittet Vardø–Nord for å studere den delen av Barentshavet som er påvirket av polart vann. Data fra 2012 viser at det polare vannet har lavt innhold av karbonationer, og er derfor det som er mest utsatt for videre havforsuring.

Havforskningsinstituttet er involvert i flere studier av effekter på arktiske organismer knyttet til aktiviteter i havforsuringsflaggskipet i Framsenteret. Det gjelder blant annet på krill (se egen sak), *Calanus glacialis* og andre subboreale arter.

#### **Ocean acidification in the Arctic Ocean**

The Arctic Ocean is believed to be particularly vulnerable for increased ocean carbon dioxide concentrations referred as ocean acidification. However, there is still large uncertainty about the fate processes and effect in the Arctic Ocean due to lack of long term monitoring. Long term monitoring is needed to assess change and to understand the processes that control the carbon dioxide variability. The projects within the Fram Centre, IMR and the Norwegian Polar Institute have established one of few time series in the Arctic to measure and monitor changes in ocean chemistry to follow the fate and effect of increased ocean CO<sub>2</sub>.

# Havforsuringeksperimenter med krill

PADMINI DALPADADO | padmini.dalpadado@imr.no, ERIK SPERFELD og ANDERS MANGOR-JENSEN

Krill er et viktig byttedyr for mange fiskeslag av stor økologisk og økonomisk betydning i Barentshavet, som lodde, torsk og ung sild. De vanligste krillartene i Barentshavet spiser i hovedsak planteplankton og medvirker dermed til en kort og effektiv næringskjede; planteplankton → krill → fisk. På bakgrunn av krillens betydning er det viktig og interessant å undersøke i hvilken grad den vil bli påvirket av den forventede forsuringen av havet.

Eksperimentelle undersøkelser ble gjennomført for å vurdere virkninger av havforsuring på krill. Krillen *Nyctiphanes couchii* ble fanget i lysfeller i nærheten av Forskningsstasjonen Austevoll, og utsatt for fire ulike konsentrasjoner av CO<sub>2</sub> (430, 800, 1100 og 1700 µatm) i omtrent en måned. Oppsettet besto av fire 50 liters-tanker, en for hver av de ulike CO<sub>2</sub>-konsentrasjonene. I hver tank ble det plassert seks énliters-beholdere, hver med én krill, med konstant gjennomstrømming av vann. Det ble foretatt tre replikater for hvert CO<sub>2</sub>-nivå. Krillen ble regelmessig føret med en blanding av tre ulike alger og *Artemia*. Karbonkjemien (total alkalinitet, pH, DIC osv.) ble regelmessig målt på Havforskningsinstituttets

laboratorier i Bergen og på Austevoll. Dødelighet, hyppighet av skallskifter og svømmeegenskaper ble overvåket daglig i løpet av eksperimentet.

Forsuringeksperimentet på krill synes å indikere at det ikke var noen signifikant effekt på dødelighet, tid mellom skallskiftene, vekst eller svømmeegenskaper ved CO<sub>2</sub>-nivåer på høyde med de som er anslått å opptre på slutten av dette århundret (ca. 1000 µatm). Imidlertid viste eksperimentene at dødelighet i forbindelse med skallskifter økte med økende CO<sub>2</sub>-nivåer. For øvrig ble dødelighet og svømmeegenskaper påvirket kun ved urealistisk høye CO<sub>2</sub>-nivåer som 1700 µatm. Resultatene indikerer at *Nyctiphanes couchii* ikke vil påvirkes dramatisk av endringene i CO<sub>2</sub>-nivåene i nærmeste framtid. Ytterligere eksperimenter er nødvendige for å undersøke om de resultatene som er oppnådd her også gjelder for andre nordlige krillarter, som for eksempel nøkkelarten *Meganyctiphanes norvegica* eller en mer sub-arktisk art som *Thysanoessa inermis*, siden arktiske vannmasser muligens påvirkes hurtigere av en framtidig havforsuring.



## Laboratory ocean acidification experiments on krill

Laboratory experiments were conducted on Atlantic krill, *Nyctiphanes couchii*, using four different ocean acidification levels (pCO<sub>2</sub>: 430, 800, 1100, and 1700 µatm) for five weeks under sufficient food conditions. Several responses such as survival, swimming ability, inter-moult period, growth and length parameters were monitored. Our results

indicate that adult *N. couchii* may not suffer severely from expected environmental changes in pCO<sub>2</sub> in the near future. However, deaths associated with moulting processes may be affected with increasing pCO<sub>2</sub>. Long term experiments on both Atlantic and sub-Arctic krill including all life stages are needed in order to investigate their potential sensitivity to increasing ocean acidification.