

Overvåking av havforsuring

Av Knut Yngve Børsheim, Melissa Chierici og Are Olsen



Overvåkning av havforsuring

Av

Knut Yngve Børsheim, Melissa Chierici og Are Olsen



Bergen, mai 2012

Innhold

Oppsummering	5
Geografisk dekning	5
Barentshavet	5
Norskehavet	7
Nordsjøen... ..	7
Summering av prioriterte områder	8
Prøvetakingsfrekvens	9
Parametervalg og metodikk.....	9
Bruk av overflate pCO ₂ målinger i overvåkingen av havforsuring.....	10
Andre forhold.. ..	11
Andre indikatorer for at havforsuring skjer.....	11
Kobling mot nasjonale og internasjonale måleprogrammer.....	12
Syntese og presentasjon av data	12
Konklusjon....	13
Referanser.....	13

Oppsummering

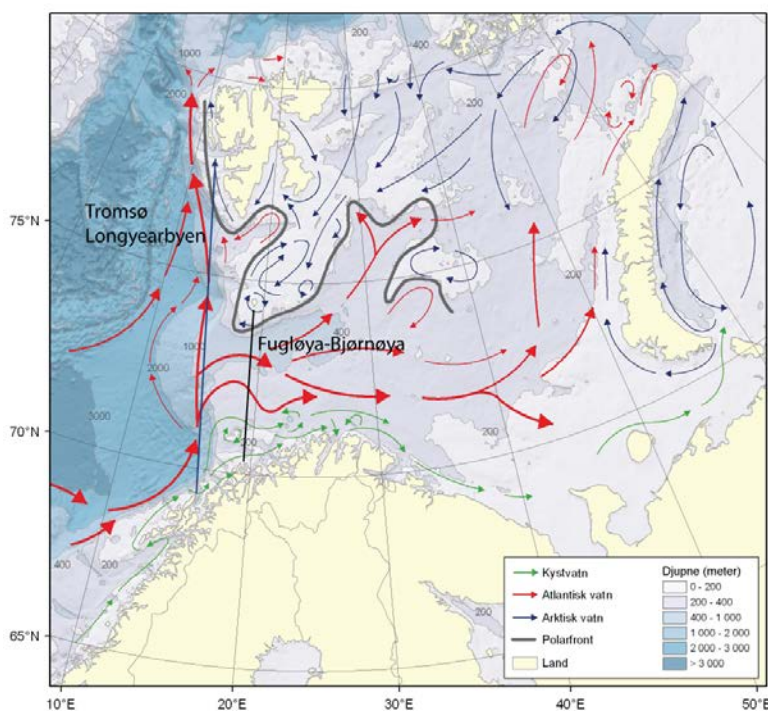
I 2009 ble Havforskningsinstituttet anmodet av Klima og Forurensningsdirektoratet (Klif) om å levere tilbud på overvåking av havforsuring. På dette tidspunktet var det klart at havforsuring var en problemstilling innen havforskning som ville kreve nyorientering både når det gjaldt utstyr og kompetanse. Initiativet til Klif resulterte i et prosjekt i samarbeid med NIVA og Bjerknessenteret for klimaforskning som i perioden 2010-2012 har lagt ned et pionerarbeid på dette feltet. Norge er så vidt vi vet det første landet i verden som etablerte en langsiktig overvåking av karbonkjemien i sitt marine forvaltningsområde.

Etter den første treårsperioden skal dette oppdraget igjen ut på tilbud. I denne sammenhengen har vi levert en vurdering til Klif av en rekke aspekter ved overvåkingen de tre første årene, og vi gjengir her hovedpunktene i disse vurderingene.

Geografisk dekning

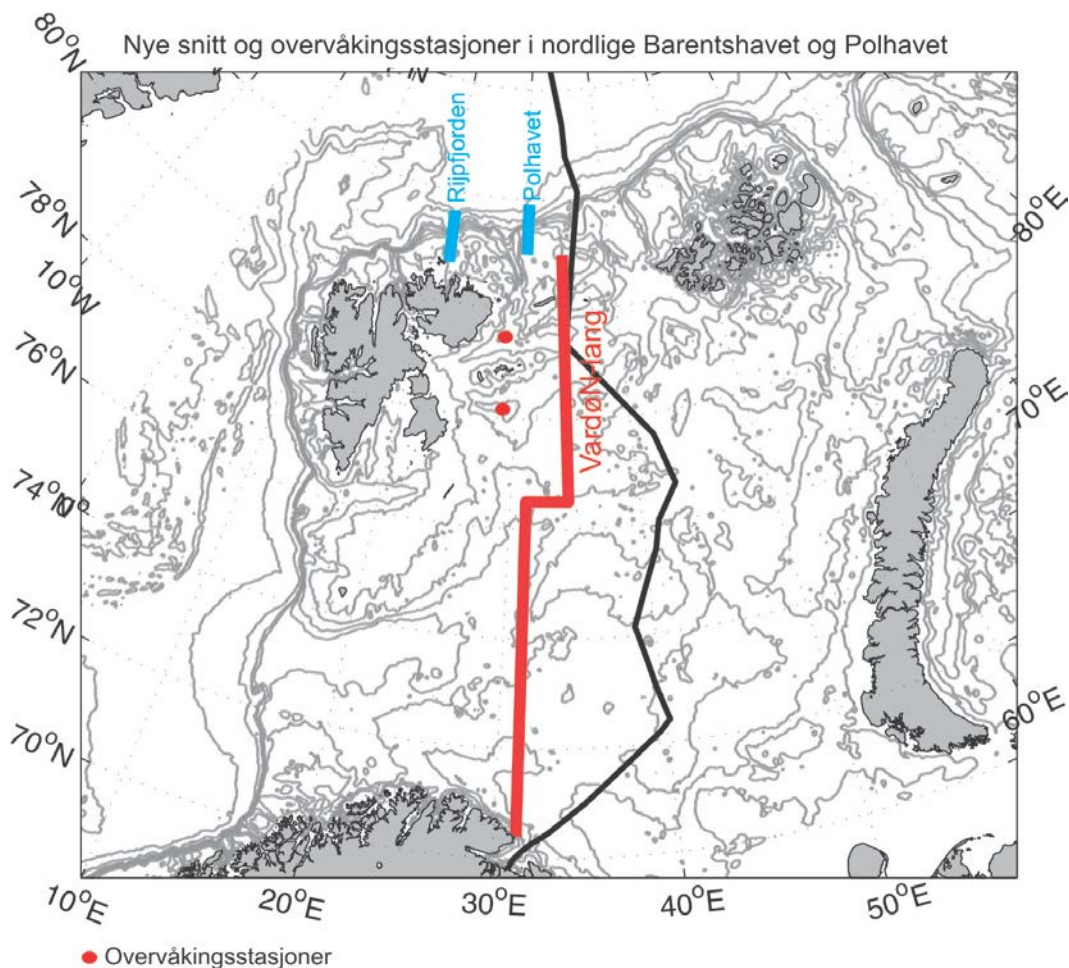
Barentshavet

Vannprofiler har vært samlet fra Havforskningsinstituttets faste snitt mellom Fugløya og Bjørnøya (Figur 1). Dette er et snitt med hyppig besøk og data for hydrografi fra 1929 og næringsalter fra 1990. Den sørligste delen dekker kystvann, og de nordligste stasjonene fanger opp vann som strømmer ut av Barentshavet. I midten fanger vi opp hoveddelen av det innstrømmende vann med opphav i Atlanterhavet. Det ble også samlet overflateprøver fra rutegående fartøy mellom Tromsø og Longyearbyen, til sammen 13 stasjoner. Hoveddelen av denne ruten befinner seg i Atlantisk vann som strømmer vest av Svalbard, men vil utenfor Isfjorden passere nordgående strøm fra utløpet av Barentshavet (Figur 1).



Figur 1. Oversikt over sirkulasjonsmønster og vanntyper i Barentshavet, samt seksjoner som har vært brukt til prøvetaking for overvåking av havforsuring.

Barentshavet har en relativt komplisert hydrografi, med Atlanterhavsvann som beveger seg nordøstover og som for en stor del ender opp i Polhavet. Dette vannet avkjøles underveis nordover, og undergår en rekke forandringer. I Nord tilføres kaldt fra Polhavet som beveger seg sørøver i de nordvestlige Barentshavet og dominerer vanntypen i viktige fiskeområder som bankene rundt og nord for Bjørnøya. Prøvetaking i Barentshavsåpningen gir ikke tilstrekkelig informasjon om tilstanden i selve Barentshavsbasenget. Særlig ville det vært interessant å dekke de nordlige deler av Barentshavet med rutinemessig prøvetaking. Havforskningsinstituttet har besluttet å forlenge det faste snittet som har gått rett nordover fra Vardø til 74°30'N, med historie tilbake til 1934. Det nye snittet er vist i Figur 2, sammen med planer for rutinemessig prøvetaking og strømmåling nord for Svalbard. Disse ressursene var ikke tilgjengelige for overvåking av havforsuring i fase en, men vil være i drift fra 2012. En annen mulighet ville være å ta prøver på strekningen Sørkapp - Bjørnøya, men dette snittet er ikke rutinemessig i drift og regelmessighet av slik prøvetaking ville derfor ikke kunne forutsies helt presist.

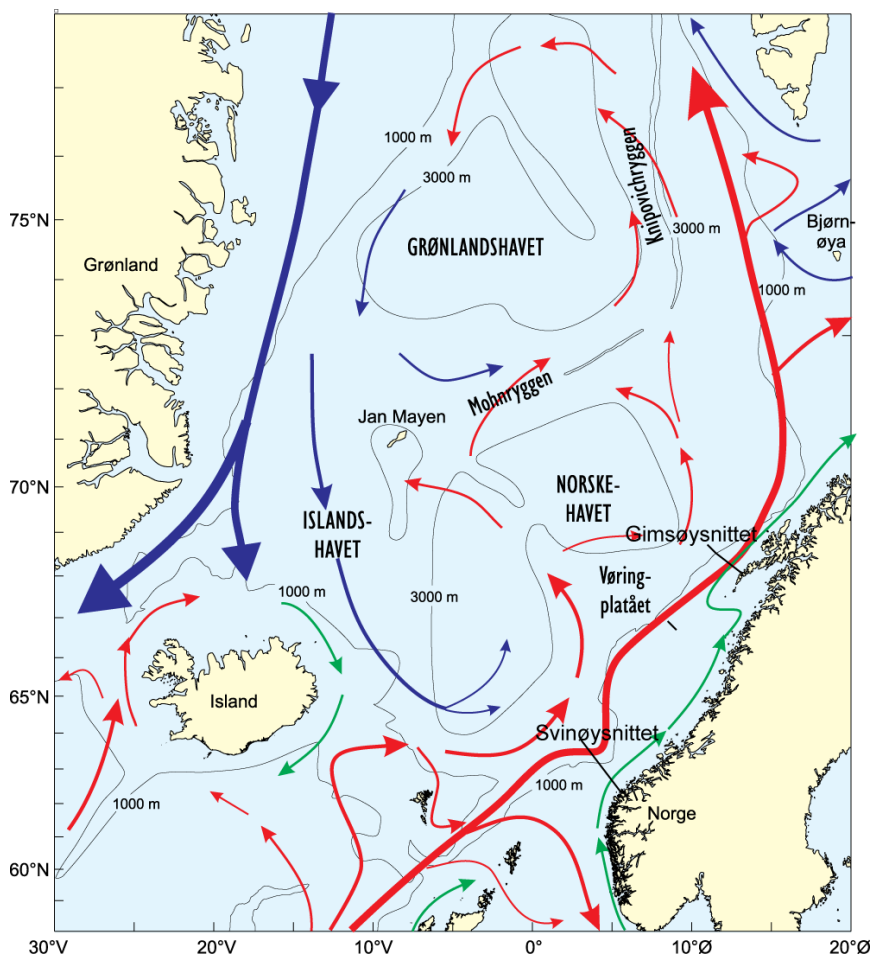


Figur 2. Beliggenheten av det forlengede Vardø Nord snittet som vil være i drift høsten 2012, samt snitt i Polhavet nord for Svalbard som også vil være knyttet til bøyer for måling av havstrømmene.

Norskehavet

Snittene Svinøy og Gimsøy fanger opp kystvannet og viktige deler av Atlanterhavsvann i Norskehavet (Figur 3). Disse snittene har hydrografisk historie tilbake til henholdsvis 1935 og 1964.

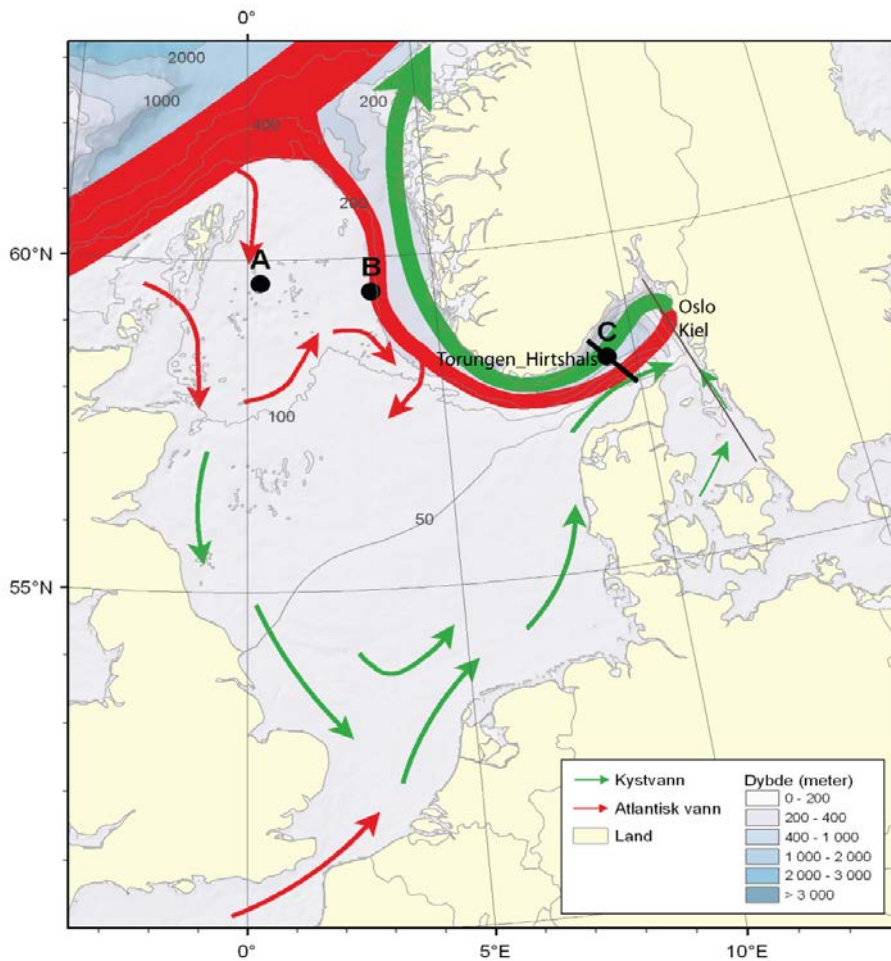
Imidlertid strekker det norske forvaltingsområdet seg ganske langt inn i Grønlandshavet, og dette området har ikke vært inkludert i første fase av overvåkingen av havforsuring. Nordvest av Jan Mayen/Mohnryggen er vannet dominert av Østgrønlandsstrømmen fra Polhavet som også blander seg med Atlanthavsvann som bøyes av i Framstredet og blir revet med sørover (Figur 3). Det har vært målt detaljert karbonkjemi i vannprofiler på to ekspedisjoner mellom Bjørnøya og Grønland langs 75°N, og det ville vært for fremtiden interessant å inkludere dette snittet i overvåking av havforsuring.



Figur 3. Oversikt over sirkulasjonsmønster og vanntyper i Norskehavet, samt seksjoner som har vært brukt til prøvetaking for overvåking av havforsuring.

Nordsjøen

Overvåkingen av havforsuring har benyttet vannprofiler fra Havforskningsinstituttets faste snitt mellom Torungen Hirtshals, og overflateprøver fra rutegående fartøy mellom Oslo og Kiel (Figur 4). For snittet Torungen Hirtshals har det vært jevnlig observasjoner av hydrografi siden 1953. Snittet dekker de viktigste vannmassene i Skagerrak, både vannet i kyststrømmen og Atlanterhavsvannet.



Figur 4. Oversikt over sirkulasjonsmønstre og vanntyper i Barentshavet, samt seksjoner som har vært brukt til prøvetaking for overvåking av havforsuring.

Prøvetaking i Kattegat er av interesse fordi disse vannmassene i hovedsak dannes i Østersjøen, og utviklingen her vil sette preg på den norske kyststrømmen. Vannet i sentrale deler av Østersjøen er allerede undermettet med hensyn på aragonitt om vinteren, og det er av interesse å overvåke utviklingen i denne tilførselen til den norske kyststrømmen.

Summering av prioriterte områder

Den økende innstrømmingen av varmt Atlanterhavsvann til Barentshavet kan medføre store og hurtige forandringer av forsureningstilstand. I dette området mangler dekning av data for CO₂ systemet, og det bør prioriteres å måle i det innstrømmende Atlanterhavsvannet og det Arktiske vannet i nordøstre delen av Barentshavet (Tabell 1). I tillegg bør vannet i Polhavet også overvåkes.

Med fordel burde CO₂ system studier koordineres med studier av organismer som er spesielt følsomme organismer, for eksempel slike som danner skall av aragonitt. Dessuten kan studiene med fordel gjøres i gyteområdene, eller i dyphavskorallområdene.

Fjord- og kystvann mangler dekning. Vi foreslår at man anvender de faste kyststasjonene som finnes for prøvetaking vintertid i vannsøylen.

Tabell 1. Prioriterte områder og nye anbefalinger

Områder	Dypde/tid	Prioritet
Videreføre faste snitt fra 2010	Vannsøyle 2 ganger/år februar og august	Essensielt
Nytt: snitt NØ Barentshavet, hver 5 nm	Vannsøyle 2 ganger/år.	Essensielt korrelert med HI økosystemtokt
Nytt: 3 stasjoner mellom Bjørnøya-Svalbard	Vannsøyle 2 ganger/år	Anbefalt
Nytt: Kyst/Fjordstasjoner	Vannsøyle 2 ganger/år	Anbefalt
Gyteområder Lofoten (koraller)	Vannsøyle, bunnvann 1 gang/år	Anbefalt

Prøvetakingsfrekvens

Det er viktig att fange opp situasjonen før og etter våroppblomstringen i hele vannsøylen. Fra historiske data på næringssalter finner man at det er formålstjenlig med en prøvetaking i februar/mars og en på slutten av sommeren, f eks august før den fysiske blandingen av overflate- og dypvann setter inn. Disse observasjonene kan brukes til å forstå og overvåke trender i forsyningsstatus. Stasjoner langs faste snitt kan med fordel ligge med 5 nm avstand og anvende prøvetagning på standard dyp i hele vannsøylen.

Prøver innsamlet manuelt i overflaten på Volunteer Observing Ships/Ships-of-Opportunity eller forskningsfartøy er formålstjenlig til å studere sesongvariasjon. Da behøver man prøvetagning minst 4 ganger/år.

På GO Sars burde system for analyse av pCO₂ prioriteres og tas i bruk for god dekning i Norskehavet. I tillegg til pCO₂ bør man tilgodese at en annen CO₂ system parameter analyseres for å kunne beregne Ω . Den mest egnede parameteren er AT fordi den er mest holdbar ved oppbevaring og prøver kan tas med hjelp av automatiske prøvetagere om bord VOS fartøy eller av vitenskapstekniker på forskningsfartøy. Slike system kan med fordel settes på IMR fartøy som G.O. Sars (anbefales).

Parametervalg og metodikk

Total alkalinitet (AT) og totalt uorganisk karbon (CT) er de parametrene som dekkes av internasjonalt sertifisert standard materiale (Tabell 2). Det innebærer en stor fordel ved bestemmelse av presisjon som er nødvendig for å følge trender over flere år med flere variable. Det anbefales imidlertid at man i tillegg måler en tredje av CO₂-system parametrene som en ekstra kontroll av konsistens, og det mest opplagte valget for vannsøyle målinger er pH. Fra 2012 vil det finnes internasjonale standarder for pH målinger i sjøvann. Kvalitetssikrede målinger av 3 CO₂ system parametre gir ett veldig sterkt datasett.

Tabell 2. Krav til analytisk presisjon og riktighet på anbefalte parameter i vannsøylen.

Variable fra vannsøylen	Ønsket presisjon	Ønsket riktighet	Prioritet
Total uorganisk karbon (CT)	±1 µmol/kg	±1 µmol/kg CRM riktighet	Essensielt
Total alkalinitet (AT)	±1 µmol/kg	±1 µmol/kg CRM riktighet	Essensielt
pH spektrofotometrisk	±0.002	±0.003 CRM trisbuffere	Anbefalt

Tabell 3. Krav til analytisk presisjon og riktighet på anbefalte parameter i prøver fra overflatevann.

Variable i overflaten, automatisert	Ønsket presisjon	Ønsket riktighet	Prioritet
pCO ₂ state-of-the-art	±1 ppm	Kontrollert med NOAA traceable gasstandarder	Essensielt
Total alkalinitet (AT)	±1 µmol/kg	±1, CRM for riktighet	Essensielt
Total uorganisk karbon (CT)	±1 µmol/kg	±1, CRM for riktighet	Anbefalt
pH spektrofotometrisk	±0.002	±0.003 CRM trisbuffere (A.Dickson)	Anbefalt

Det er en fordel å ta prøver og analysere direkte etter prøvetagning. Spesielt gjelder dette CT og pH. For pH kreves analyse ombord innen 18 timer. Når det ikke er mulig å analysere CO₂ parametrene om bord, konserveres prøvene med kvikksølvklorid og oppbevares kaldt og mørkt. Det er helt essensielt å anvende sertifiserte standarder for AT og CT, og å bruke standardiserte analysemetoder. Gasser for pCO₂ kalibrering skal være sporbare til NOAA gass-standarder. Man må også ha god måling av temperatur for måling av pH og pCO₂.

Bruk av overflate pCO₂ målinger i overvåkingen av havforsuring

Helautomatiske systemer som måler CO₂ deltrykket i havoverflaten er i dag i bruk på en rekke fartøy over hele verden. Disse underveissystemene kan fungere i flere måneder uten mye ettersyn, og er derfor svært kostnadseffektive. De brukes både på såkalte VOS (Voluntary Observing Ships) og på forskningsfartøy. Dataene er svært verdifulle for studier av havets opptak av CO₂, men slik disse linjene opereres i dag så har de i seg selv en begrenset verdi for overvåkingen av havforsuringen. Årsaken til dette er at kun én karbonsystemparameter måles, pCO₂, og det må som kjent to parametre til for å kunne beregne den uorganiske karbonkjemien, inkludert metningsgraden av kalkmineraler. Vi mener derfor at:

- Disse observasjonene må opprettholdes, for de gir oss hyppig rimelige data som dekker store områder som setter oss i stand til å kartlegge variasjoner i havets opptak av CO₂ som kan knyttes opp mot havforsuringen.
- Men flere parametre må måles slik at den uorganiske karbonkjemien, inkludert pH og kalkmettning blir kartlagt.

Vi anbefaler derfor at:

- Målesystemet på G.O. Sars opprettholdes samt at det installeres et system på Johan Hjort. Sammen vil disse systemene gi en svært god dekning i våre forvaltnings-områder.
- At det innføres rutinemessig prøvetaking av vann for landbasert analyse av flere CO₂ parametre. Vi anbefaler 1 flaske på 250 ml flaske per dag. Dette holder til analyse av løst uorganisk karbon og alkalinitet. Hele karbonsystemet kan da beregnes, og dette vil kunne gi viktige kalibreringspunkter for interpoleringsmetoder som beskrevet i Nondal et al. (2009).
- At det utvikles robuste system for underveismåling av en CO₂ parameter nummer 2.

Andre forhold

I denne delen vil vi ta opp forhold utover de grunnleggende krav til dekning i tid og rom og måleparametre som drøftet over.

Andre indikatorer for at havforsuring skjer

Overvåking av karbonkjemien i havet, som beskrevet over, vil sette oss i stand til å avklare hvor raskt og hvor mye havet forsures. Men, den vil i liten grad sette oss i stand til å vurdere om havforsuringen faktisk har en effekt på økosystemene. Den eneste karbonparameter som er verdifull i så måte er alkalinitet. Redusert kalsifisering og/eller oppløsning av kalkmineraler vil øke alkaliniteten, og på våre breddegrader vil en slik effekt med sikkerhet kunne avsløres med tidsserieobservasjoner over rundt 100 år (Ilyina et al., 2009).

Dette er imidlertid kanskje for sent, og vil kun avsløre endringer i en prosess, kalsifisering. Vi anbefaler derfor at andre indikatorer på effekten av havforsuring utvikles. Det bør derfor spesielt vurderes om ikke den rutinemessige innsamlingen av biologisk materiale som skjer i forbindelse med overvåkingen av norske farvann bør utvides med parametre som kan fungere som biologiske indikatorer på havforsuring. Aktuelle kandidater kan fremkomme som et resultat av effektstudier. Tre eksempler blir gitt i det følgende (i) Riebesell et al., (2007) har påvist økende forbruk av karbon i forhold til nitrat ved økende grad av havforsuring, med potensielle implikasjoner både for havets opptak av CO₂, samt trofisk energioverføring. Man bør derfor vurdere om ikke forholdet mellom C:N i partikulært organisk materiale bør inngå som en rutineparameter i forbindelse med overvåkingen av havforsuring. (ii) Bednarsek et al. (2012) har vist at tilstanden på kalkskallene til pteropoder er en følsom indikator på havforsuring. (iii) Lohbeck et al., (2013) har påvist seleksjon av *E. huxleyi* typer tilpasset forholdene i et surere hav i løpet av rundt 500 generasjoner. En kartlegging og overvåking av genotyper kan derfor tenkes å kunne avsløre eventuelle tilpassinger til økt havforsuring

Vi vil anbefale følgende tiltak:

1. Effektstudier som tar sikte på å avsløre organismer som er spesielt følsomme for havforsuring som kan brukes som bioindikatorer, spesielt med henblikk på å finne responsvariable som er lite kostbare å overvåke på rutinebasis.

2. Effektstudier som tar sikte på å avklare genetisk tilpassning —av spesielt planteplankton—til havforsuring og påfølgende kartlegging og overvåkning av naturlig genetisk variasjon.
3. En systematisk evaluering av følsomheten til de potensielle indikatorene ved hjelp av havmodeller som inkluderer aktuelle biogeokjemiske prosesser, på linje med studien utført av Ilyiana et al., (2009).
4. Hyppig evaluering av overvåkningsparametre med tanke på introduksjon av nye.

Kobling mot nasjonale og internasjonale måleprogrammer

Havforsuring er uløselig knyttet sammen med havets opptak av menneskeskapt CO₂. Flere ulike måleprogrammer, både nasjonalt og internasjonalt tar sikte på å rutinemessig bestemme havets opptak av CO₂ og hvordan det varierer i tid og rom, samt å avklare dets følsomhet for klimaendringer. Som et eksempel kan den europeiske strategiske infrastrukturen Integrated Carbon Observing System, ICOSS, nevnes. Det er liten eller ingen grunn til å skille mellom et slikt program og overvåkingen av havforsuring, forskjellene mellom dem er marginale både med henblikk på hva for parametre som bør inngå og med henblikk på hva for dekning i tid og rom som er hensiktsmessig. Vi mener derfor at det er ingen grunn til at vi skal operere med to adskilte måleprogram, det vil være bedre å satse på ett som har omfanget som er påkrevd for å dekke inn begge problemstillingene. Alternativt bør vi ha et tett samarbeid for å sikre at samme jobb ikke gjøres to ganger. Dette krever ikke nødvendigvis en rekke nye parametre, men at vi sikter mot en total romlig dekning som *sikrer at trender i karbonsyklusen over store områder kan integreres, kvantifiseres og forstås.*

Videre vil vi påpeke at havforsuring er et globalt anliggende. Vi forventer derfor at det settes i gang internasjonalt koordinerte rammeprogram som tar sikte på å sørge for at alle havområder overvåkes. Et initiativ er allerede kommet på bordet, i regi av National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), USA, International Ocean Carbon Coordination Project (IOCCP) og the Global Ocean Observing System (GOOS). I juni i år skal det holdes en workshop i Seattle, hensikten med denne er å utvikle et *globalt* observasjonsprogram for havforsuring, som bygger på eksisterende programmer for overvåking av havets opptak av CO₂. På den ene siden understøtter dette anbefalingen gitt over, at vi må sørge for en tett integrering av havforsuringsovervåking med måleprogrammet for CO₂ overvåking. På den andre siden understreker dette behovet for observasjoner utenfor de 200 mils grensen. Vi vil derfor anbefale at *Norge tar et internasjonalt ansvar for observasjoner også utenfor våre forvaltningsområder sørger for at måleprogrammet dekker områder også i deler av Arktis og i Grønlandshavet.*

Syntese og presentasjon av data

Rutinemessig syntese, tolkning og presentasjon av dataene er viktig for å sikre kvalitet samt adekvat dekning i tid i rom. Vi anbefaler derfor at det hvert år settes av tid til dette, at dataene integreres nasjonalt og at det utarbeides en årlig rapport som oppsummerer siste års målinger og sammenlikner dem med data målt tidligere år.

Videre anser vi det som viktig at dataene gjøres tilgjengelig for forskere verden over. Vi anbefaler derfor at dataene sendes inn til internasjonale databaser for marine karbondata, som for eksempel SOCAT og GLODAP.

Konklusjon

I den videre overvåkingen har man tilgjengelig et stort utvalg av mulige tilnæringer. Det er mulig å oppnå stor geografisk dekning av en del prosesser som er relevante, for eksempel kan satellittovervåking og modeller gi detaljert bilde av årstidsvariasjoner i den biologiske omsetningen av karbon. Automatiske sensorer på bøyer og autonome sensorsystemer på skip kan gi mer presis informasjon omfordeling i tid og rom, men presisjonen av slike målinger er ikke god nok til å kvantifisere trenden i havforsuringen fra år til år. Til dette formålet er det essensielt å bruke et fast sett av stasjoner der vannprofiler blir hentet regelmessig for analyse av karbonvariable med høyest mulig presisjon og riktighet. Det vil behøves serier av slike analyser fra flere år for å fastsette trenden i utviklingen. Til dette formålet er Havforskningsinstituttets faste snitt en uvurderlig viktig ressurs.

Referanser

- Bednarsek, N., G. Tarling, D. C. E. Bakker, S. Fielding, A. Cohen, A. Kuzirian, D. McCorkle, B. Lézé and R. Montagna, Description and quantification of pteropod shell dissolution: a sensitive bioindikator of ocean acidification, *Global Change Biology, in press, 2012.*
- Ilyina, T., R. E. Zeebe, E. M. Reimer and C. Heinze, Early detection of ocean acidification effects on marine calcification, *Global. Biogeochem. Cyc.*, 23, GB1008, doi: 10.1029/2008GB003278
- Nondal, G., R. G. J. Bellerby, A. Olsen, T. Johannessen and J. Olafsson, Optimal evaluation of the surface ocean CO₂ system in the northern North Atlantic using data from voluntary observing ships, *Limnology and Oceanography Methods* 7, 109-118, 2009.
- Riebesell, U., K. G. Schulz, R. G. J. Bellerby et al., Enhanced biological carbon consumption in a high CO₂ ocean, *Nature*, 450, 545-548, 2007.