

Overvåkning av havforsuring: prioriteringer og vurderinger

Av Knut Yngve Børsheim, Melissa Chierici og Are Kristian Sviggum Olsen




Overvåkning av havforsuring: prioriteringer og vurderinger

Knut Yngve Børsheim, Melissa Chierici og Are Kristian Sviggum Olsen*,
Havforskningsinstituttet

* nå på Senter for Klimadynamikk, Bjerknessenteret for klimaforskning

Innholdsfortegnelse

Oppsummering	6
Geografisk dekning	6
Barentshavet	6
Norskehavet.....	7
Nordsjøen... ..	8
Områder som bør få mer oppmerksomhet.....	9
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
Referanser.....	13

<h1>PROSJEKTRAPPORT</h1>		Distribusjon: Åpen												
 HAVFORSKNINGSINSTITUTTET <i>INSTITUTE OF MARINE RESEARCH</i> Nordnesgaten 50, Postboks 1870 Nordnes, 5817 BERGEN Tlf. 55 23 85 00, Fax 55 23 85 31, www.imr.no		HI-prosjektnummer 14150 Overvåkning havforsuring												
		Oppdragsgiver(e): Klif, Direktoratet for Miljø og klima												
		Oppdragsgivers referanse: ?												
		Dato: 14.10.14												
<table border="0"> <tr> <td>Tromsø</td> <td>Flødevigen</td> <td>Austevoll</td> <td>Matre</td> </tr> <tr> <td>9294 TROMSØ</td> <td>4817 HIS</td> <td>5392 STOREBØ</td> <td>5984 MATREDAL</td> </tr> <tr> <td>Tlf. 55 23 85 00</td> <td>Tlf. 37 05 90 00</td> <td>Tlf. 55 23 85 00</td> <td>Tlf. 55 23 85 00</td> </tr> </table>		Tromsø	Flødevigen	Austevoll	Matre	9294 TROMSØ	4817 HIS	5392 STOREBØ	5984 MATREDAL	Tlf. 55 23 85 00	Tlf. 37 05 90 00	Tlf. 55 23 85 00	Tlf. 55 23 85 00	
Tromsø	Flødevigen	Austevoll	Matre											
9294 TROMSØ	4817 HIS	5392 STOREBØ	5984 MATREDAL											
Tlf. 55 23 85 00	Tlf. 37 05 90 00	Tlf. 55 23 85 00	Tlf. 55 23 85 00											
Rapport: Fisken og havet	Nr. 6-2014	Program: Marine prosesser og menneskelig påvirkning												
Tittel (norsk/engelsk): Overvåkning av havforsuring: prioriteringer og vurderinger <i>Monitoring ocean acidification: Priorities and evaluations</i>		Forskningsgruppe: Oseanografi og klima												
Forfattere: Knut Yngve Børsheim, Melissa Chierici og Are Kristian Sviggum Olsen		Antall sider totalt: 13												
Sammendrag (norsk): Utslippene av karbondioksid til atmosfæren fører til reduksjon av pH i sjøvann, og denne prosessen har fått betegnelsen havforsuring. Havforskningsinstituttet har overvåket havforsuring siden 2010 i samarbeid med Universitetet i Bergen og NIVA. Forvaltningen har behov for estimat av tidsutviklingen i de tre forvaltingsområdene Nordsjøen, Norskehavet og Barenshavet, og ved analyse av karbonkjemi i vannprøver fra utvalgte faste snitt leveres årlig presisjonsestimater av utviklingen i hele vannsøylen. Vi gir her en oversikt over hvor og hvordan overvåkingen foregår, og en del vurderinger av veien videre.														
Summary (English):														
Emneord (norsk):	Subject heading (English):													

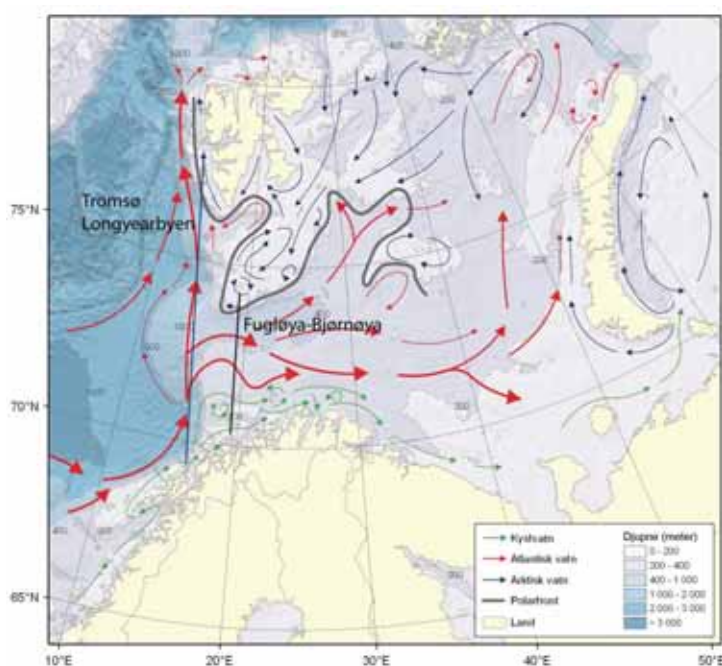
Oppsummering

Utslippene av karbondioksid til atmosfæren fører til reduksjon av pH i sjøvann, og denne prosessen har fått betegnelsen havforsuring. Havforskningsinstituttet har overvåket havforsuring siden 2010 i samarbeid med Universitetet i Bergen og NIVA. Forvaltningen har behov for estimat av tidsutviklingen i de tre forvaltingsområdene Nordsjøen, Norskehavet og Barentshavet, og ved analyse av karbonkjemi i vannprøver fra utvalgte faste snitt leveres årlig presisjonsestimater av utviklingen i hele vannsøylen. Vi gir her en oversikt over hvor og hvordan overvåkingen foregår, og en del vurderinger av veien videre.

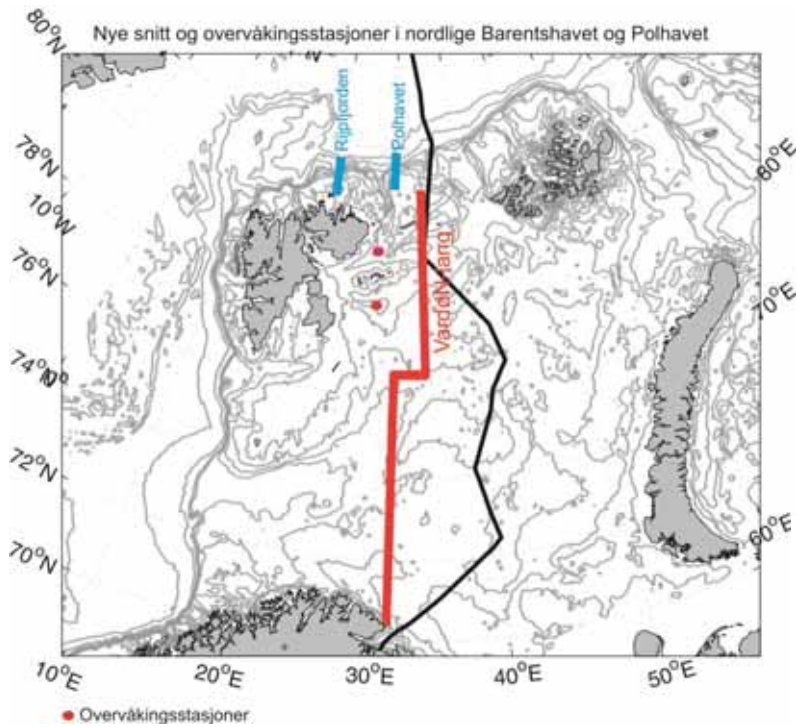
Geografisk dekning

Barentshavet

Vannprofiler har blitt hentet fra Havforskningsinstituttets faste snitt mellom Fugløy 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. 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 sørøstover 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. Derfor har vi besluttet å også inkludere det forlengede 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.



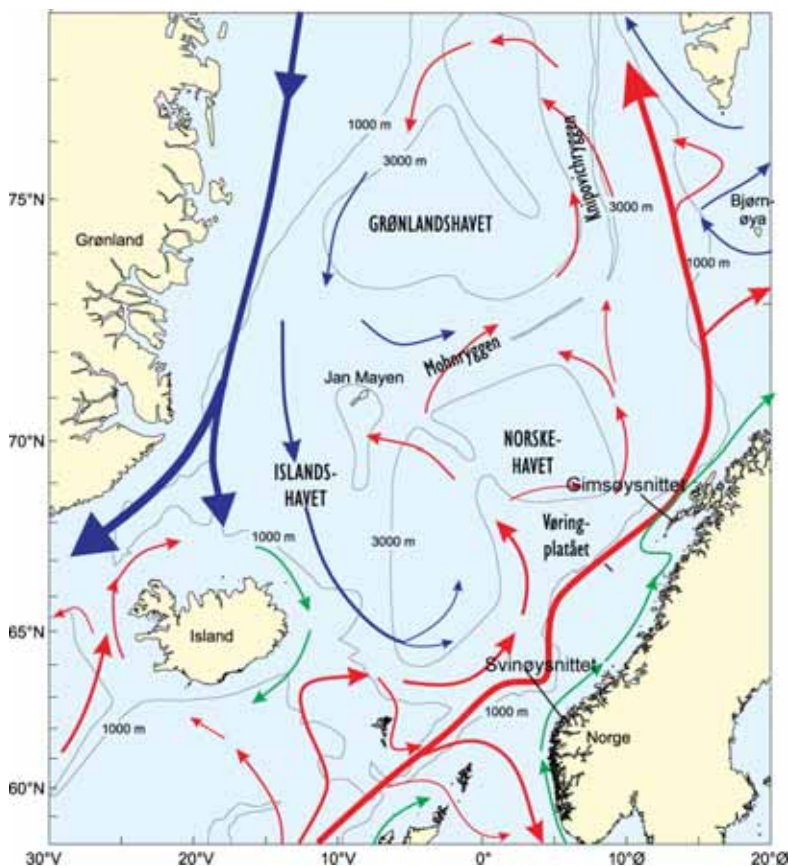
Figur 1. Oversikt over sirkulasjonsmønster og vanntyper i Barentshavet, samt seksjoner som har vært brukt til prøvetaking for overvåking av havforsuring.



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.



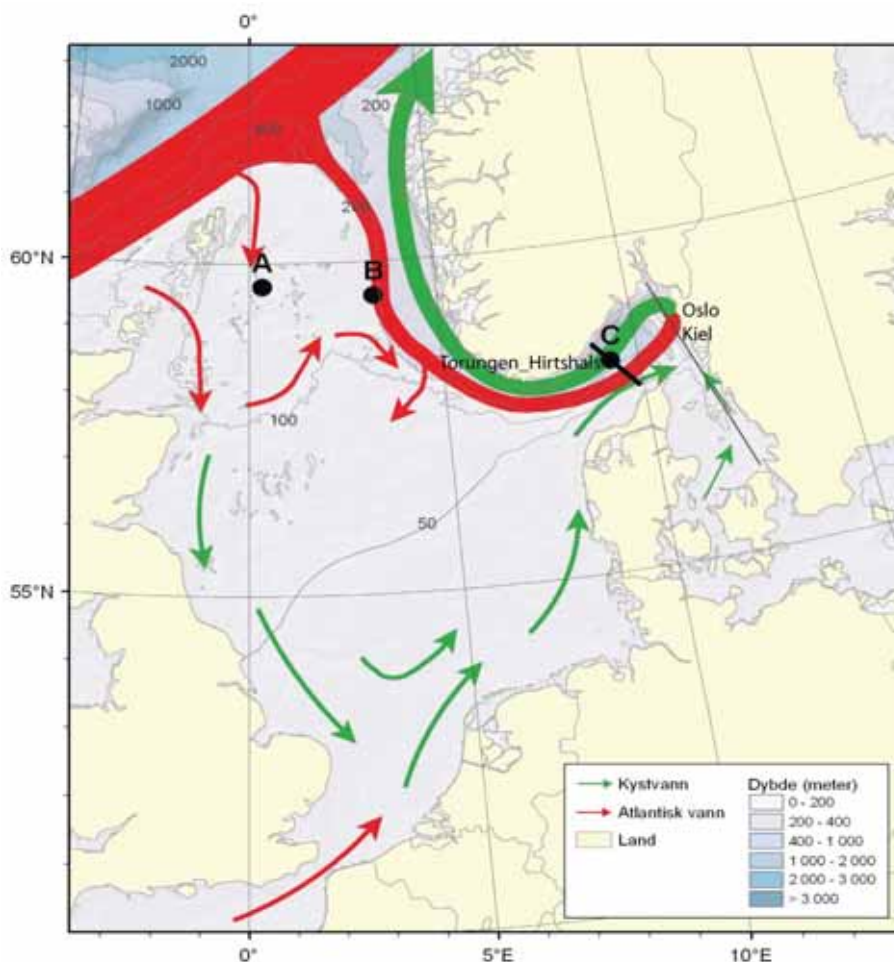
Figur 3. Oversikt over sirkulasjonsmønster og vanntyper i Norskehavet, samt seksjoner som har vært brukt til prøvetaking for overvåking av havforsuring.

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.

Nordsjøen

Overvåkingen av havforsuring benytter 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.

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 overvåking nedstrøms bør kunne avsløre hvordan denne utviklingen påvirker den norske kyststrømmen.



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

Områder som bør få mer oppmerksomhet

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. 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.

Dagens overvåking av havforsuring inkluderer ikke fjordene, og det er foreløpig nesten ingen data på status for karbonkjemi i norske fjorder.

Prøvetakingsfrekvens

Det er viktig å 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 havforsuring. Nåværende erfaring tilsier at prøver fra standard dyp på faste snitt fra stasjoner med 5 nautiske mil mellomrom er et hensiktsmessig skjema for overvåking av havforsuring.

Prøver innsamlet manuelt i overflaten på Volunteer Observing Ships/Ships-of-Opportunity (VOS) 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 se til at en annen CO₂ system parameter analyseres for å kunne beregne hele karbonatsystemet inkludert 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.

Parametervalg og metodikk

Total alkalinitet (AT) og totalt uorganisk karbon (CT) er de parametrene som dekkes av internasjonalt sertifisert standard materiale, CRM, (Tabell 1). Det innebærer en stor fordel ved bestemmelse av nøyaktighet 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. Kvalitetssikrede målinger av 3 CO₂ system parametre gir et veldig sterkt datasett.

Det er en fordel å ta prøver og analysere direkte etter prøvetagning. Det gjelder spesielt 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.

Tabell 2. Krav til analytisk presisjon og nøyaktighet på anbefalte parametre i vannsøylen. Prioriteringen er anbefalinger til Klima og forurensningsdirektoratet (Klif) i 2012, og de er i all hovedsak fulgt opp.

Variable fra vannsøylen	Ønsket presisjon	Ønsket nøyaktighet	Prioritet
Total uorganisk karbon (CT)	±1 µmol/kg	±1 µmol/kg CRM	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 nøyaktighet på anbefalte parametre i prøver fra overflatevann.

Variable i overflaten, automatisert	Ønsket presisjon	Ønsket nøyaktighet	Prioritet
Variable fra vannsøylen	Ønsket presisjon	Ønsket nøyaktighet	Prioritet
pCO ₂ state-of-the-art	±1 ppm	Kontrollert med NOAA traceable gass-standarder	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

Bruk av overflate pCO₂ målinger i overvåkingen av havforsuring

Helautomatiske systemer som måler CO₂ deltrykket i havoverflaten er 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 karbonjemien, inkludert metningsgraden av kalkmineraler.

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. 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 én 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:

- 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.
- Effektstudier som tar sikte på å avklare genetisk tilpasning av spesielt planteplankton til havforsuring og påfølgende kartlegging og overvåking av naturlig genetisk variasjon.
- 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).
- 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 rutinemessing å 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, ICOS, nevnes. Det er litt 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 2012 og i juli i 2013 holdes to workshops i Seattle og Skottland, med hensikten 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, og sørger for at måleprogrammet dekker områder også i deler av Arktis og i Grønlandshavet. Dette er delvis dekket innenfor de nye strategiske satsingene innenfor Havforskningsinstituttets SI_ARCTIC-prosjekt og i regi av flaggskipet for havforsuring i Framsenteret som ledes av Havforskningsinstituttet og Norsk polarinstitutt, delvis rapportert i Chierici et al., 2014.

Referanser

- Chierici, M., I. Skjelvan., R. Bellerby., M.Norli., L. Lunde Fonnes., H. Lødemel Hodal., K.Y. Børsheim., K. S. Lauvset., T. Johannessen., K. Sørensen., E. Yakushev. 2014. Overvåking av havforsuring i norske farvann, Rapport, Miljødirektoratet, TA218-2014.
- Chierici, M., Fransson. A., Børsheim. K.Y., Dalpadado, P., H. Browman. Havforsuring i arktiske farvann, In: Havforskningsrapporten 2014, Fisken og havet 1-2014. pp 139.
- 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.

Retur: Havforskningsinstituttet, Postboks 1870 Nordnes, NO-5817 Bergen



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
Institute of Marine Research

Nordnesgaten 50 – Postboks 1870 Nordnes
NO-5817 Bergen
Tlf.: +47 55 23 85 00 – Faks: +47 55 23 85 31
E-post: post@imr.no

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
AVDELING TROMSØ

Sykehusveien 23, Postboks 6404
NO-9294 Tromsø
Tlf.: +47 77 60 97 00 – Faks: +47 77 60 97 01

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
FORSKNINGSSTASJONEN FLØDEVIGEN

Nye Flødevigveien 20
NO-4817 His
Tlf.: +47 37 05 90 00 – Faks: +47 37 05 90 01

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
FORSKNINGSSTASJONEN AUSTEVOLL

NO-5392 Storebø
Tlf.: +47 55 23 85 00 – Faks: +47 56 18 22 22

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
FORSKNINGSSTASJONEN MATRE

NO-5984 Matredal
Tlf.: +47 55 23 85 00 – Faks: +47 56 36 75 85

AVDELING FOR SAMFUNNSKONTAKT
OG KOMMUNIKASJON

Public Relations and Communication
Tlf.: +47 55 23 85 00 – Faks: +47 55 23 85 55
E-post: informasjonen@imr.no

www.imr.no

