

Forsuring av havet

Av Lars G. Golmen

Lars G. Golmen er oseanograf og forskar ved NIVA i Bergen, Norsk institutt for vannforskning.

Epost: gol@niva.no

Sammendrag

Forsuring av havet står høgt på dagsordenen både forskingsmessig og politisk, no også i Norge. Fenomenet skuldast utslappa av fossilt CO₂ til atmosfæren. Store mengder av gassen blir oppløyst i havvatnet som karbonsyre. Artikkelen søker å belyse fakta om fenomenet og den forventade utviklinga over tid samt å peike på kva økologiske effektar forsuringa vil kunne medføre. Relativt dystre prognoser for dei neste femti til hundre åra gjev i seg sjøl grunn til å sette fokus på temaet. Det er understreka at prognosane for effektar av forsuringa er relativt usikre grunna manglande kunnskap både om karbonsyklusen i havet og om effektane på marine organismar som følge av lågare pH/auka CO₂-konsentrasjon i havet.

Summary

Ocean acidification is an emerging global issue. It is caused by the emissions of anthropogenic CO₂ to the atmosphere of which a substantial part ends up in the surface ocean as carbonic acid. Due to this, ocean pH has dropped by about 0.1 units since pre-industrial times, and is projected to drop by another 0.1-0.2

units within a few decades and by at least 0.45 units in Arctic surface waters by year 2100, a level which will be the lowest in several million years.

The carbonic acid dissociates into bicarbonate, carbonate and H⁺ ions, reducing the pH. This in turn leads to a decrease in carbonate and in the super-saturation level of calcium carbonates which are important building material for calcifying organisms. Such organisms rely on seawater supersaturated in calcite or aragonite and when this rate decreases sufficiently the water will become corrosive to calcifying organisms. Arctic surface waters are the most vulnerable to this, due to the warming, freshening and retreating sea ice. It is possible that the calcification by organisms may be reduced by 60% relative to pre-industrial times already by the year 2100. This may lead to significant changes in biodiversity and ecosystem functioning in Norwegian and Arctic seas in just a few decades from now. The process can only be reversed by cutting the emissions of CO₂ but significant improvements in the ocean will show up only long into the future, reflecting the time scales of the oceanic carbon cycle.

Historisk utvikling

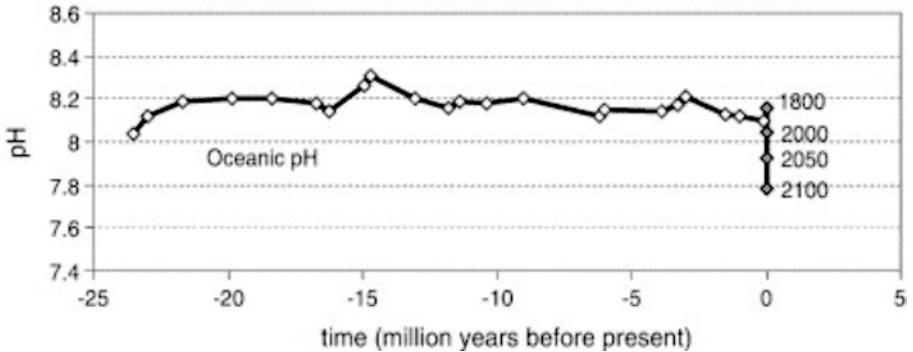
For fleire hundre millionar år sidan kan atmosfærekonentrasjonen av CO_2 ha vore over 1000 ppm CO_2 (Brooker og Peng 1998), og pH i havet langt lågare enn i dag. Gradvis forvitring og utvasking av kalk- og silikatbergartar som bind CO_2 og andre prosessar, bidrog til gradvis å redusere atmosfærekonentrasjonen. Bakteriar og etterkvart fotosyntesen fekk betre vilkår og auka uttaket av CO_2 frå atmosfæren og produksjonen av oksygen i biosfæren, mens store mengder død biomasse i havet sedimenterte på botnen og langtidslagra i form av fossilt kol, olje og gass. Dette brakte til slutt CO_2 -konentrasjonen i atmosfæren ned mot eit historisk nivå på 200-400 ppm. Deler av dei fossile hydrokarbona hentar vi nå ut og CO_2 frå forbrenninga går igjen til atmosfæren.

Midlare pH i havet har lege i overkant av 8.0 i mange millionar år, figur 1. Dette som resultat av ein naturleg og stabil likevekt i utvekslinga av CO_2 mellom hav og luft balansert med mineraltilførslar frå land. Karbonsyra i nedbør og overflate/grunnvatn bidreg naturleg til forvitring av fjell som til dømes basalt og granitt. Når silikatbaserte mineral blir løyst i vatnet, blir også kalsium (Ca) frigitt og ført mot havet der den blir nytta i kontinuerleg produksjon av kalkskal og skjelett hos marine organismar. Denne produksjonen konsumerer karbonat (CO_3^{2-}) og såleis har geologisk forvitring og marin bio-produksjon halde dei forhistoriske CO_2 -utsleppa i sjakk og bidrege til tilnærma konstant pH dei siste millionar åra i alle fall. Den aukande konsentrasjonen av

atmosfærisk CO_2 som skjer no, inneber imidlertid auka fluks av denne gassen ned i havet. Dette fører til endring av karbonkjemien i sjøvannet, med auke i $p\text{CO}_2$ (partialtrykk av CO_2) og reduksjon i pH og karbonatkonsentrasjon.

Det er stadig utslepp av "ny" CO_2 frå jordas indre, gjennom vulkanar og sprekker i jordskorpa. Eit anslag for denne fluksen er 500 mill tonn CO_2 /år. Denne CO_2 bidrar til drivhuseffekten på same måte som menneskeskapte utslepp, i ein likevekt mellom konsentrasjonar og utveksling mellom atmosfære, land og hav. Dagens antropogene utslepp av CO_2 er på ca 25 milliardar tonn CO_2 (Gt CO_2 , tilsvarende 9.5 GtC), m.a.o. mange gonger større enn den naturlege fluksen gjennom jordskorpa, og langt større enn det forvitring av bergartar og marin kalkproduksjon kan balansere. Desse utsleppa gjev opphav til raskt aukande CO_2 -konsentrasjon i atmosfæren med aksele- rerande drivhuseffekt og havforsuring.

Det har blitt berekna at pH i havets overflatelag sidan byrjinga av industrialiseringa har avtatt med ca 0.1 (Haugan og Drange 1996). Dette motsvarar ein 30 % auke i H^+ konsentrasjonen. Nye prognoser indikerer 0.45 reduksjon i pH i Arktis innan utgangen av dette århundret (Steinacher et al. 2009), noko som vil representere nivå som sannsynlegvis ikkje har eksistert dei siste 20 millionar åra, figur 1. Dersom dei verste prognosane for CO_2 -utslepp slår til vil pH-nivået i havet snart vere lågare enn nokon gong dei siste 300 millionar åra.



Figur 1. Sannsynleg forhistorisk utvikling av pH i havet kombinert med berekningar og scenarier for nåtid/framtid. Frå Blackford og Gilbert, 2007.

pH-kurva byrjar no å endre seg, brått. Menneskearten som har levd på jorda dei siste ca 1 mill. år, vil bli eksponert for denne raske endringa, og følgjene. Det er for lengst påvist at det antropogene CO_2 -signalet har nådd djupvatnet i Nord-atlanteren/Norskehavet (Körtzinger et al. 1998). Det pågår mest sannsynleg allereie endringar i økosystema i havet som skuldast auka CO_2 og forsuring, men utan at vi har tilstrekkeleg kunnskap og teknologi til å kunne avdekke og kvantifisere.

Det er lenge sidan dei første spådommane om at CO_2 -konsentrasjonen vil auke også i havet som følgje av dei antropogene utsleppa (sjå t.d. Bolin og Eriksson, 1959), sjølv om eksakt kunnskap om karbonsyklusen mangla. Fairhall (1973) omtalte fleire av problemstillingane som er blitt aktualisert no. Med ein boksmodell simulerte han auka tilførsler av antropogent CO_2 frå atmosfære til hav, basert på prognoser frå ca 1970 for utslepp som låg forbausande nær det som faktisk har skjedd. Ifølgje modellen tok havet på det tidspunktet opp ein betyde-

leg del av dei antropogene CO_2 -utsleppa (det var ny dokumentasjon). Fairhall (1973) skreiv vidare: "The sea is presently supersaturated with respect to aragonite and calcite, which calcareous organisms form in building their shells. Should the sea become unsaturated in CaCO_3 the shells of these organisms would tend to dissolve, as would the ocean's coral reefs. The consequences could be very serious for life in the sea."

Trass i desse tidlege åtvaringane er det først dei siste ti år eller så at det har blitt satt fokus på havforsuring som eit mogleg globalt miljøproblem. Dei grunne korallreva i varme farvatn har vore gjenstand for fleire studiar og med rapport om forvitring og bleiking og der både havforsuring og temperaturauke har vore trekt fram som årsaker. Slike korallrev er kompliserte økosystem med høg artsdiversitet. Ytre påverknadar kan redusere artsmangfaldet og dermed også bane vegen for opportunistar som konkurrerer med korallane om plassen eller næringa, og dermed akselerere negativ

utvikling. Endringane i karbonkjemi som følgje av havforsuring inneber først og fremst mindre karbonat og litt auke av bikarbonat. Dette går ut over skalbygging til både mikrop plankton og større marine organismar. I tillegg vil endring i CO_2 og pH ha effektar på respirasjon og fysiologi, samt på kjemiske likevekter i og mellom sjøvattn og sediment.

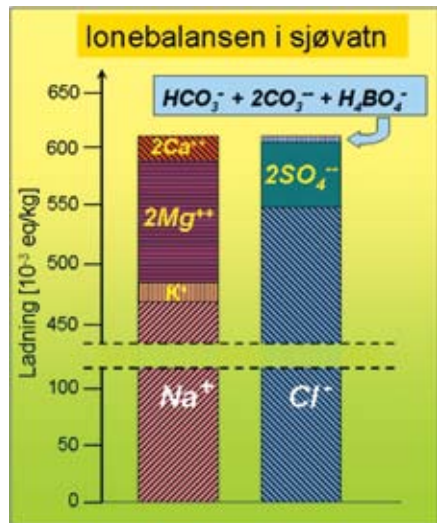
Den tiltakande forsuringa av havet på grunn av meir karbonsyre kan vere like dramatisk som den forsuringa som ein antek følgde etter det gigantiske komettreffet mot Yucatanhalvøya i Mexico for 65 mill år sidan. Den hendinga førte til at mange plante- og dyreartar døydde ut, også i havet. Det var svovelsyre som brått regna ned over jorda etter den episoden, ikkje karbonsyre. Men dei umiddelbare effektane i havet kan ha vore liknande den som kan følgje av karbonsyra no, berre det at kometepisoden var forbigående, forsuringssjokket varte kanskje berre nokre få år før vasskjemien igjen betra seg. Ingen menneske var på jorda då dette skjedde. Det noverande "sjokket" som menneska vil kunne oppleve, kan vare i fleire hundre år og såleis på fleire måtar bli meir effektivt m.h.t. utrydding av artar. Særleg gjeld dette livet i havet som dels var skjerma frå kometeffekten.

Litt om CO_2 -kjemien i havet

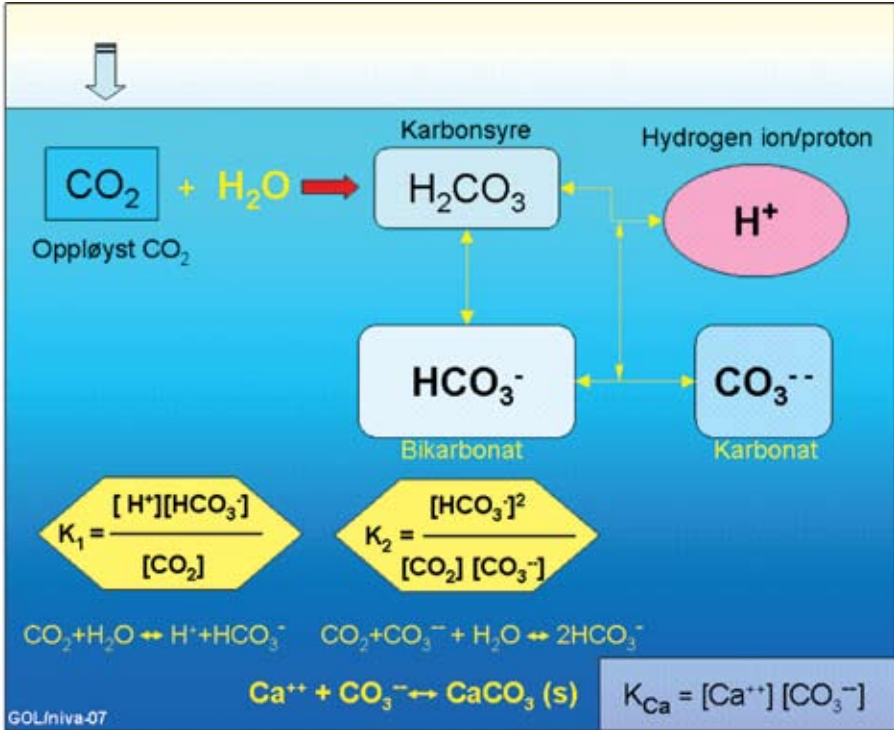
Karbon utgjør berre ein liten del av sjøvasskjemien, figur 2, og konsentrasjonen av kalsium (Ca) er mykje større (100 x) enn konsentrasjonen av karbonat ved normal pH. I øvre lag er det m.a.o. ingen mangel på kalsium. Det er først og fremst

konsentrasjonen av karbonat som bestemmer kor myke fast kalsiumkarbonat som kan dannast i mineral og skal eller skjelett. Karbonatkonsentrasjonen minskar med forsuringa slik at det kan oppstå underskot på biotilgjengelig kalsiumkarbonat.

Karbonbalansen i havet er illustrert i figur 3. Der er også likevektsreaksjonen mellom løyst Ca, karbonat og fast kalsiumkarbonat illustrert. Karbonbalansen inneber at havet har svært stor bufferkapasitet og kan ta opp langt meir CO_2 -gass enn ferskvattn. Litt forenkla kan ein seie at summen av konsentrasjonane av dei fem komponentane H^+ , Ca^{++} , CO_2 , HCO_3^-



Figur 2. Ionesamansetninga i sjøvattn er dominert av Na^+ og Cl^- . Resterande del utgjør kationar som Mg^{++} , Ca^{++} og K^+ samt anionar dominert av SO_4^{--} . Aniona bikarbonat, karbonat og borat ("alkaliniteten") utgjør berre ein liten del. Omarbeidd etter Brooker og Peng (1998).



Figur 3. Reaksjonane mellom CO₂ og sjøvotn, med karbonsyra som dissosierer vidare gjennom to likeveftsreaksjonar. Kalsium-reaksjonen illustrerer tilhøva ved lysoklinen (metnings-likevekt der).

og CO₃⁻⁻ er konstant i havet, og likevekta mellom formene er bestemt av dei tre likeveftskonstantane. Konsentrasjonen av ein komponent vil dermed påverke konsentrasjonen av ein eller fleire andre komponentar for å behalde den totale ionelikevekta.

Ved normal pH i sjøvotnet er høvet mellom likeveftskoncentrasjonane av CO₂, HCO₃⁻ og CO₃⁻⁻ på ca 1:100:10. Etter kvart som det minkar på fritt karbonat i sjøen mens H⁺-konsentrasjonen aukar så vil også bufferkapasiteten i høve til ytterlegare CO₂-tilførsle minke. Det er

m.a.o. neppe lineære prosessar som vil styre utviklinga framover, og økologiske effektar kan difor kome mykje raskare enn det ein ser ut frå dagens utvikling/trendar i pH-utvikling.

Status for forsuringa

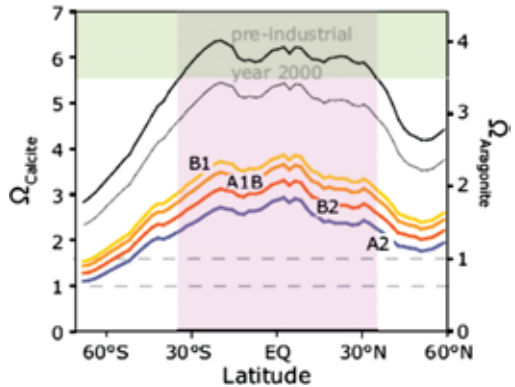
Normal historisk pH-verdi i havets overflate er antakeleg på 8.1 – 8.2. Standard sjøvotn (SWS) som blir produsert for nøyaktig kalibrering av vassprøver, skal m.a. halde pH på 8.1 basert på pH-skalaen for sjøvotn: $[H^+]_{SWS} = ([H^+] + [H_2SO_4] + [HF])$ (Millero et al. 2008). Det er

påpeikt at forsuringa i dag er på om lag -0.1 i pH, relativt til førindustriell tid (Haugen og Drange 1996, Wallace 2001). Dermed er normalnivået i dag truleg redusert til 8.0 – 8.1.

I havoverflata er det normalt større naturleg variasjon i pH enn djupare nede. Enda større naturleg variasjon er det i brakkvatn i fjordane der påverknaden frå land er stor. pH varierer også med djupet. Rundt termoklinen i havet finst ofte eit oksygenminimum kopla med vertikalt minimum i pH som følgje av naturlege remineraliseringsprosessar frå nedfall av organisk materiale som frigjer CO₂. Liknande prosessar skjer også på havbotnen, men der bidreg kalkskal frå oven til å redusere pH-endringa.

Figur 4 syner dagens og framtidig tilstand i havet frå sør til nord for metningsgrad av byggemateriala kalsitt og aragonitt, samt terskelen/nivået for når metningsgraden (naudsynt overmetning) blir for liten til å oppretthalde vekst for korallar etc. Figuren indikerer at vi nå er i ferd med å passere terskelverdien for begge minerala.

Aragonitt er vanleg byggemateriale for korallar, mens kalsitt er mest vanleg for plankton. Øvre deler av havet er naturleg overmetta for begge karbonatminerala, noko som er eit kriterium for opptak i organismane. Det vertikalt skraverete området i figur 4 syner områda rundt ekvator der korallar har vokse naturleg opp til nyleg. Horisontalt skraveret felt i figuren indikerer motsvarande metningsgrader som dette representerer. Kurva for år 2000 låg allereie under denne vekstgrensa (Ω ca 5.5 for kalsitt og

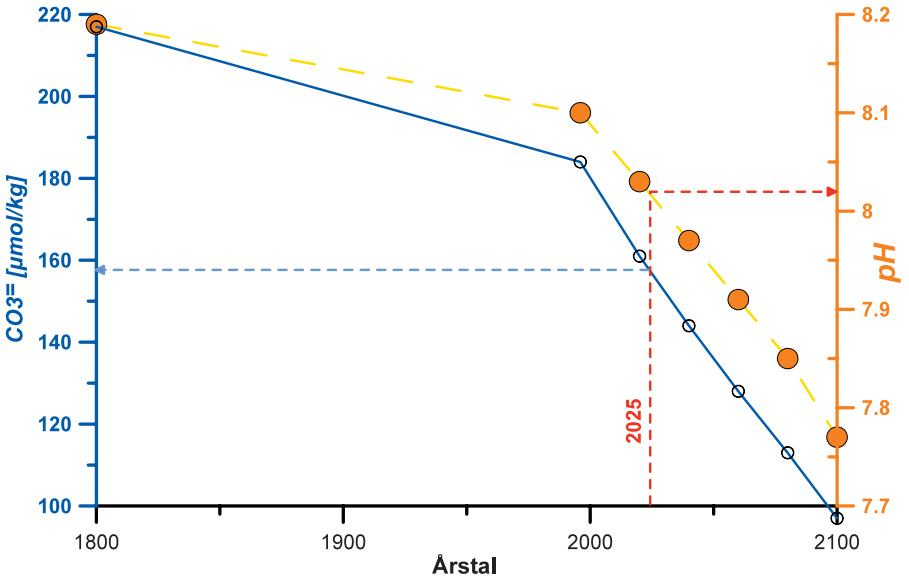


Figur 4. Kurver som syner metningsgraden for aragonitt og kalsitt (begge kalsiumkarbonat) frå sør til nord i havet si overflate til ulike tidspunkt, førhistorisk, i år 2000 og i år 2100 for fire framtidige utsepps-scenarier for CO₂, frå Caldeira (2007).

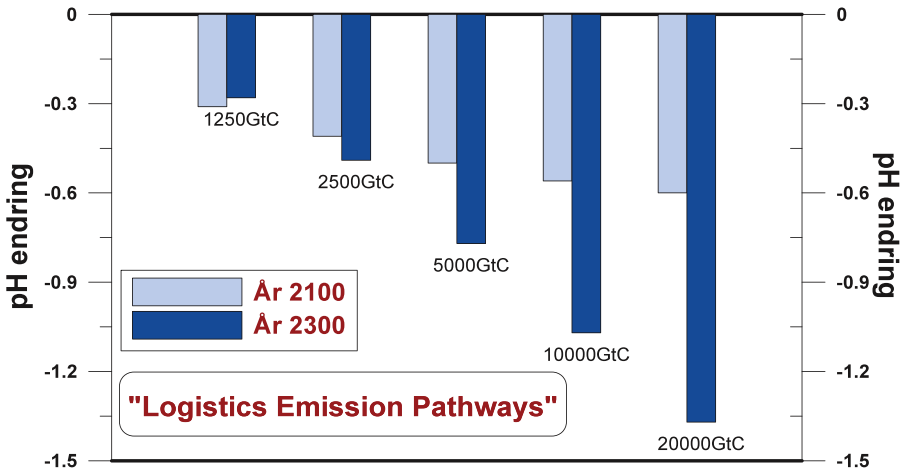
3.5 for aragonitt), og dei framtidige kurvene ligg vesentleg lenger unna naudsynt metningsgrad (Caldeira 2007).

Framtidige berekna nivå for pH og CO₂ i havoverflata, globalt middel, basert på ”business as usual” scenario for CO₂-utslepp (Brewer 1997), er synt i figur 5. Det framgår at pH vil kunne falle til under 7.8 innan år 2100. Figuren illustrerer også ca nivå for 2025 som vil ligge på rundt pH 8.0, med karbonatkonsentrasjon på 160 $\mu\text{mol/kg}$. Som tidlegare nemnt, er det sannsynleg med langt tydelegare endringar i Arktis enn det figuren viser.

Calderia og Wickett (2005) foretok detaljerte framtidsstudiar over utviklinga, framleis på global skala, med fokus på relativt nær framtid, h.h.v. år 2100 og 2300. Dei la til grunn tre ulike berekningsbaner for CO₂-utslepp eller CO₂-kensen-

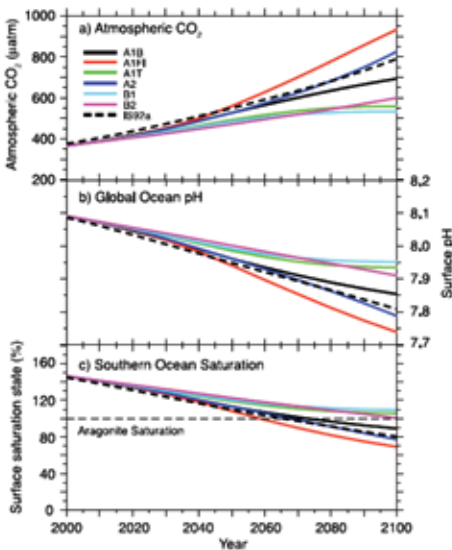


Figur 5. Utvikling i pH og karbonat i havet si overflate (globalt middel) mellom 1800 og 2100. Verdi for år 1800 representerer nær før-industriell tilstand. Framtidsscenarioer er basert på "business as usual". Stipla liner indikerer nivået i år 2025. Etter Brewer (1997).



Figur 6. Forventa endring i pH i havet si overflate i år 2100 og 2300, basert på fem ulike scenarier for akkumulert forbruk og forbrenning av fossil brensel dei neste 500 åra, frå eit moderat og gradvis svinnande uttak på 1250 gigatonn karbon (moderat) til 20000 GtC som representerer maksimalt uttak. Etter Caldeira og Wickett (2005).

trasjon. Bane 3 som er synt i figur 6, representerer framskriving av forbrenning av fossil brense basert på eit maksimum-uttak som er relatert til sannsynleg tilgjengelege ressursar mellom 1250 og 20000 gigatonn karbon. Førstnemnde verdi kan representere ein nøktern framskriving, med store reduksjonstiltak og markert overgang til andre energikjelder. Sistnemnde representerer bruk av "all" tilgjengeleg fossil brense, også det som ligg lagra i havbotnen og permafrosten som biogent metan. Desse scenaria viser langt større pH-reduksjon, til dels meir enn 1.0 om 200 år. Figur 7 syner forventa utvikling fram til 2100 for pH og metningsgrad for aragonitt.



Figur 7. Utvikling i atmosfærisk CO₂, pH i havets overflate og metningsgrad for kalsiumkarbonat (aragonitt) fram til år 2100. Frå IPCC 2007c.

Det meste av foreliggende litteratur omkring havforsuring er av generell eller global karakter. Få av modellstudiane har oppløysing nok til å få med detaljar for t.d. norske farvatn. Kaldt havvatn kan løyse større mengder CO₂ og andre gasar enn varmt vatn. Slikt vatn er mindre overmetta enn varmt havvatn for dei vanlege formene av kalsiumkarbonat og polare/subpolare område, slik som Norskehavet, vil såleis kunne vere sær sårbare i høve til CO₂/forsuring.

Det er gjort modellstudiar ved Universitetet i Bergen (Bergen Climate Model) som inkluderer framtidig utvikling i CO₂ og pH i Norskehavet med framskriving for CO₂ i atmosfæren basert på ein auke i konsentrasjon på 1 %/år, slik at dobling i høve til år 2000 blir nådd innan år 2075. Simuleringane syner at reduksjonen i pH kan bli størst i vestlege del av våre havområde, 0.34 i Grønlandshavet, og noko lågare sør for Island-Færøyane ryggen, (< 0.3 reduksjon). Dette harmonerer med projeksjonane for Arktis med 0.45 reduksjon innan utgangen av hundreåret (Steinacher et al. 2009).

Økologiske effektar

Organismar som byggjer skal av kalsiumkarbonat, nyttar stort sett formene kalsitt (mange planktonartar, sniglar, skjell) eller aragonitt (korallar). Desse to formene har ulik krystallstruktur med kalsitt som den mest stabile. Aragonitt (og også forma magnesiumkalsitt) er såleis mest løy-seleg i sjøvatn. Organismar som nyttar desse minerala til skalbygging eller skjelett, vil vere sårbare for forsuringa. For fleire år sidan vart det påvist at både kor-

allar og planktoniske former som nyttar vanleg kalsitt (kokkolitoforar m.m.), får dårlegare vekst ved lågare pH. I polare farvatn kan det som nemnt oppstå undermetting for argonitt innan utgangen av 2100. Organismar som små frittflytande sniglar (pteropodar) kan då forsvinne heilt eller forflytte seg til varmare vatn. Kalsittbyggjande fyto- og zooplankton kan ha eit par tiår ekstra å gå på.

Djuphavskorallar vil også kunne vere sårbare for forsuring, spesielt i Norskehavet/Grønlandshavet og det nordvestlege Atlanterhavet der signalet frå antropogent CO₂ først når ned i djupvatnet. Nyare litteratur om omfang av forsuringproblemet og framtidsutsikter for havets økologi teiknar eit ganske alvorleg framtidsbilete (Golmen et al. 2008). Verknader dei neste tiåra vil truleg vere av avgrensa omfang og kan bli maskert i den totale variabiliteten som økosystema naturleg gjennomlever.

Det finst ein god del litteratur på effektar av forsuring på marine organismar, men i mange rapporterte forsøk i laboratorium er forsuringa gjort med andre syrer enn karbonsyre og med eksponering for større pH-endringar enn det som i første omgang er aktuelt å vurdere for havet i nær framtid. Det er òg gjort lite på langtidseksponering for moderat pH-reduksjon, og lite på det som kan vere nøkkelorganismar i Norskehavet. På litt lenger sikt er det imidlertid kjent at kalsifiseringa hos marine organismar kan bli redusert til 60 % av det historiske nivået innan år 2100. Dette vil i så fall kunne føre til vesentlege effektar på biodiversitet og økosystemfunksjon også i norske farvatn.

Plantep plankton kan reagere med auka primærproduksjon som følge av auka pCO₂ hos nokre artar. Dette stimulerer den biologiske CO₂-pumpa med meir sedimenterande materiale slik at oksygenbehovet til nedbrytning av organisk materiale i djupvatnet vil auke. Forekomsten av både kalkflagellatar og kiselalgar kan bli redusert med store endringar i det mikrobiologiske økosystemet som resultat. For makroalgar (brunalgar m.m.) tyder forsøk på at auka pCO₂ medfører auka produksjon, men samstundes kan nedbrytingsprosessen i plantene og dermed den sesongmessige gjenveksten bli redusert. Redusert forekomst av kalkalgar og lettare/tynnare skal eller skjelett vil medføre redusert tyngde og nedfall av dautt materiale til djupvatnet og såleis svekke den biologiske karbonpumpa i havet.

Zooplankton (kopepodar) er følsame for langtidseksponering for sjølv moderat redusert pH, og det vil opptre subletale effektar som vil påverke funksjon og reproduksjon. For fisk er det dei tidlege livsstadia som er mest sårbare for forsuring; egg og juvenile er meir sensitive enn larvar for fleire artar. Vaksen fisk kan antakeleg forbli upåverka av den forventede pH-reduksjonen dei neste tiåra, men det er spekulert i om t.d. den følsame øyresteinen (otolitten) kan bli påverka, noko som kan vere alvorleg for fiskens "navigasjon".

Botndyr som pigghudlarvar (kråkebolle) har mindre toleranse for forsuring enn t.d. molluskar og krepsdyr, fordi dei manglar oksygentransporterande pigment, har dårleg evne til ioneregulering

og er avhengige av aragonitt i skalet både som vaksne og som juvenile. Vaksne kråkeballar har synt letalitet ved langtidseksponering allereie ved pH=7.9 for stillehavssartar, mens den vanlege norske arten kan vere meir robust. Kaldtvasskorallar er svært følsame for nedgangen i aragonitt-konsentrasjonen i sjøvatnet, og kan alt no leve på grensa til det ugunstige for vekst.

Sjøpattedyr og sjøfugl vil neppe reagere fysiologisk på dei omtalte pH-endringane. Men endringar i utbreiing og fødeopptak kan oppstå som følgje av endring i næringsstilgong.

Forskningsbehovet

Denne skisserte utviklinga er i praksis umogleg å reversere med inngrep på kort sikt. Tiltak som å redusere antropogene utslipp av CO₂ til atmosfæra er viktige og vil hjelpe men det vil ta tid før utslag gjer seg gjeldande nede i havet. Tiltak med kalking som vi kjenner frå forsuring av ferskvatn, vil ikkje monne i havet. På sikt kan auka erosjon og avrenning frå land p.g.a. klimaendringane avhjelpe situasjonen noko. I mellomtida kan vi håpe på at andre (ukjende) modererande miljøfaktorar kan bli aktivert og motverke eller redusere dei framskrivne endringane i havforsuringa.

Forskinga framover vil måtte inkludere både eksperimentelle forsøk og modellering av forsuringseffektar. Det eksisterer modellar som i utgangspunktet kan vere gode nok for å gje prognoser for sjøve forsuringa, mens økosystemmodellar må utvidast/omarbeidast for å ta inn nye prosessar og komponentar etter

kvart som ny eksperimentell kunnskap blir erverva (ESF 2009).

Det trengs fleire eksperiment for å undersøke korleis effektane av dei endringane som har kome fram i mesokosmosstudiar av pelagiske økosystem, vil påverke dei bentiske økosystema. Dette kan utførast ved bruk av store flytande mesokosmos eller ved tilsikta ekstra forsuring av fjordar eller deler av opent hav. Ein treng kunnskap om forsuringseffektar både på enkeltartar og på samfunnsnivå, og korleis ei auke i CO₂-mengda verkar når også andre parametarar vert endra (t.d. auka temperatur, endra nærings-salttilgong osv.).

Havet som omgir kaldtvasskorallane på den nordre norske kontinentalsokkelen, kan bli undermetta med omsyn på aragonitt ved slutten av dette hundreåret og vil kunne kome ned mot eit dødeleg nivå for korallane alt innan 50 år frå no. Langtidsovervakning og studiar av endringar er naudsynt for å forstå effektane av auka CO₂ på fleire marine kalkdannande artar. Det finst relativt lett tilgjengelege korallrev innaskjers på Vestlandet som kan fungere overvåkingslokalitetar.

Det er behov for både overvakning og modellering av havet for å få ei betre forståing av opptaket og endringar i kapasiteten til å halde på antropogent CO₂. For å kunne registrere dei endringane som mest sannsynleg vil kome av forsuringa, er det nødvendig å etablere faste overvåkingsstasjonar for makroalgar, botnf fauna m.m. fleire stader i forvaltningsområdet. Stasjonane bør velgast ut og etablert snarast for å etablere tidsseriar og

datasett som gjev grunnlag for å vurdere kva som er naturlege variasjonar og kva som er effekt av forsuring og anna klima-relatert endring.

Elvar og innsjøar har lenge vore ek-sponert for forsuring frå svovel og nitro-gen. Ferskvatn er normalt sterkt eks-po-nert for CO₂ frå tilførsler frå land, botn og sediment mens påverknaden frå atmo-sfæra er relativt sett langt mindre. Difor er forsuring i ferskvatn p.g.a. CO₂ min-dre påakta enn for havet. Det eksisterer imidlertid brei kunnskap om korleis økosystema i ferskvatn har reagert på forsuringa der og deler av den kunn-skapsbasen samt vitenskapleg metodikk vil kunne nyttast i sbm studiar omkring havforsuringa.

Referansar

Blackford, J.C. og F.J. Gilbert 2007: pH variability and CO₂ induced acidification in the North Sea. *J. Mar. Syst.* Vol. 64, 229-241.

Bolin, B. og E. Eriksson 1959: Changes in the carbon dioxide content of the atmo-sphere and the sea due to fossil fuel com-bustion. I: *The Atmosphere and the Sea in motion*, 130-142, Rockefeller inst., N.Y.

Brewer, P.G. 1997: Ocean chemistry of the fossil fuel CO₂ signal: The halocline signal of "business as usual". *Geophys. Res. Lett.* Vol. 24, 1367-1369.

Brooker, W.S. og T-H. Peng 1998: Green-house puzzles. *Keeling's world, Martin's world, Walker's world.* (2. utgåve.) Eldi-gio Press, NY, 260s.

Caldeira, K. og M. E. Wickett, 2005. Ocean model predictions of chemistry changes from carbon dioxide emissions to the atmosphere and ocean. *J. Geop-hys. Res.*, Vol. 110, No. C9, C09S04, 10.1029/2004JC002671.

Calderia, K. 2007: What corals are dying to tell us about CO₂ and ocean acidifica-tion. *Oceanography* Vol. 20, N2 2, 188-195.

ESF 2009: Impacts of Ocean acidificati-on. European Science Foundation, Science policy briefing, 12 s.

Fairhall, A.W. 1973: Accumulation of Fossil CO₂ in the Atmosphere and the Sea. *NATURE*, Vol. 245, 7. sept 1973, 20-23.

Golmen, L.G., J. A. Berge, T. Dale, D. Durand, T. M. Johnsen, E. Lømsland, A. Pedersen, A. Bjørge, S. Christensen-Dalsgaard og N. R. Hareide 2008: For-valtingsplan for Norskehavet. Deltema forsuring av havet. Rapp. Nr. 5526-2008, NIVA Oslo/Bergen, 75s.

Haugan, P. M. og H. Drange 1996: Ef-fects of CO₂ on the ocean environment. *Energy Conversion Mgmt*, Vol. 37, 1019-1022.

IPCC 2007c (Caldeira, Akai et al.): IPCC Special Report on Carbon dioxide Capture and Storage. Kapittel 6: Ocean Storage, 278-318.

Körtzinger, A., L. Mintrop og J.C. Duinker 1998: On the penetration of anthropogenic CO₂ in the North Atlantic Ocean. *J. Geophys. Res.*, Vol. 103, Nr. C9, 18681-18689.

Millero, F.J., R. Feistel, D.G. Wright og T. J. McDougal 2008: The composition of standard seawater and the definition of the reference-composition salinity scale. *Deep Sea Res.*, I, Vol 55, 50-72.

Steinacher, M., F. Joos, T. Frölicher, G. Plattner og S. Doney 2009: Imminent ocean acidification in the Arctic project with the NCAR global coupled carbon cycle-climate model. *Biogeosciences*, Vol. 6, 515-533.

Wallace, D.W.R. 2001: Storage and transport of excess CO₂ in the oceans. I: Ocean circulation and climate: observing and modelling the global ocean. (red, G. Siedler et al.), Academic Press, 620s.