

Havforsuring – det andre CO₂-problemet

Hans Martin Seip

Hvordan angis surhet?

Surheten i en vandig løsning måles på en pH-skala fra 0 til 14. Nøytralt vann har en pH på 7. Lavere verdi betyr at løsningen er sur, høyere verdi at den er basisk. Skalaen er logaritmisk slik at ved en endring på en pH-enhet blir surheten endret med en faktor på 10. Mange har sikkert hørt om sur nedbør, og forsuring av ferskvann som har vært, og er til dels enda, et stort miljøproblem i Norge og noen andre land. Problemet skyldes først og fremst utslipp av svoveldioksid og i noen grad nitrogenoksider som omdannes til syrer. På Sørlandet ble det målt pH i mange innsjøer og bekker i området 4,5 – 5,0.

Havet har en betydelig høyere pH, 7,9 – 8,2 i overflatelaget, men det varierer en del både i tid og rom. I dypere lag er pH noe lavere. Havet er altså ikke surt og kommer sannsynligvis heller ikke til å bli det. Men havets pH kan forskyves mot den sure siden, og derfor er det vanlig å snakke om havforsuring. Forsuring av havet skyldes først og fremst tilførsel av karbondioksid (CO₂).

Virkning av CO₂ på kjemien i havet.

Det hører med til de grunnleggende kjemikunnskapene våre at CO₂ i vann gir karbonsyre. Imidlertid var det først med en rapport fra The Royal Society i 2005 at havforsuring, som følge av menneskeskapte CO₂-utslipp, virkelig kom i fokus.

Resultatene i arbeidet fra The Royal Society baserte seg på modellberegninger. Forfatterne fant at menneskeskapte CO₂-utslipp allerede omkring år 2000 hadde senket havets pH med omtrent 0,1 enheter i forhold til førindustriell tid, og at i år 2100 ville det kunne bli en ytterligere senkning på 0,2 til 0,4 enheter avhengig av utslippssceneriet. Nyere beregninger gir omtrent samme resultater, se figuren nedenfor. Det er betydelige regionale forskjeller, forsuringen er størst i Arktis. De beregnede endringene kan virke små, men siden skalaen er logaritmisk, svarer en pH endring på 0,3 enheter til en dobling av surheten (konsentrasjonen av H⁺-ioner for de som kan litt kjemi).

Siden det er store naturlige variasjoner over tid, er det vanskelig å bestemme hvor mye av en observert pH-endring som skyldes økt CO₂-tilførsel. I senere tid er det imidlertid kommet publikasjoner der naturlige og menneskeskapte bidrag til observert forsuring er beregnet. I et nylig arbeid sammenlikner T. Friedrich ved University of Hawai'i og medarbeidere resultater av tre modeller og observasjoner i mange områder. De konkluderer med at den trenden i havforsuring som vi nå ser på grunn av menneskeskapte utslipp, er større enn naturlig variasjon, til dels mye større.

Forsuring medfører en reduksjon i konsentrasjonen av karbonationet, CO₃²⁻, noe som igjen påvirker dannelsen av kalsiumkarbonat, mineraler med formel CaCO₃. Det er to interessante former av dette, kalsitt og aragonitt. Kalsitt er termodynamisk mest stabilt, men aragonitt dannes under mange betingelser. En viktig størrelse er metningsindeksen for aragonitt som viser om aragonitt dannes (hvis verdien er større enn 1) eller løses (hvis den er mindre). For organismer som er avhengig av å danne kalsiumkarbonat for eksempel til skall, er metningsindeksen viktig.

I første omgang er det havets overflatelag, som er omkring 100 meter dypt, som blir påvirket. Hastigheten av utvekslingen med dypere lag varierer, men er ofte langsom. Selv om utslippene stoppes, vil virkningen sannsynligvis vare i årtusener. Dette henger delvis sammen med at CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren vil være forhøyet i lang tid, delvis med at prosesser i dypere lag og sedimenter, som kan nøytralisere virkningen, skjer langsomt. Beregninger av hvordan CO₂-utslipp endrer surheten i havet overflatelag anses som rimelig pålitelige. I en undersøkelse av forsuringen i det nordlige Stillehav fant Robert H. Byrne ved University of South Florida og medarbeidere at observerte pH endringene i overflatelaget stemte med det en beregner fra likevekt mellom atmosfære og hav.

En undersøkelse utført av Norsk Institutt for vannforskning i norske farvann fant økning i konsentrasjonene av uorganisk karbon målt i 2011 relativt til historiske data. Det ble konkludert med at dette hovedsakelig skyldtes havets opptak av menneskeskapt CO₂. Reduksjonen i pH er likevel mindre klar enn det som forventes fra økningen i karbonkonsentrasjonen.

Den største usikkerheten ved beregning av pH endringer på grunn av økt CO₂-konsentrasjon ligger i hastigheten som nøytraliseringen foregår med, noe som blant annet er diskutert av Knut Bjørlykke og medarbeidere ved Universitetet i Oslo. De hevder at oppløsning av aragonitt vil redusere forsuringen, i alle fall i grunne områder og rundt korallrev.

Virkinger på organismer

Når havet blir surere, avtar karbonatkonsentrasjonen. Konsekvensen er at organismer som danner skall eller skjelett av kalk er spesielt utsatt. Laboratoriestudier har vist at mange, men ikke alle, slike organismer påvirkes negativt når pH i havvann avtar. En del mulige virkninger av forsuring på marine organismer, er vist i figuren.

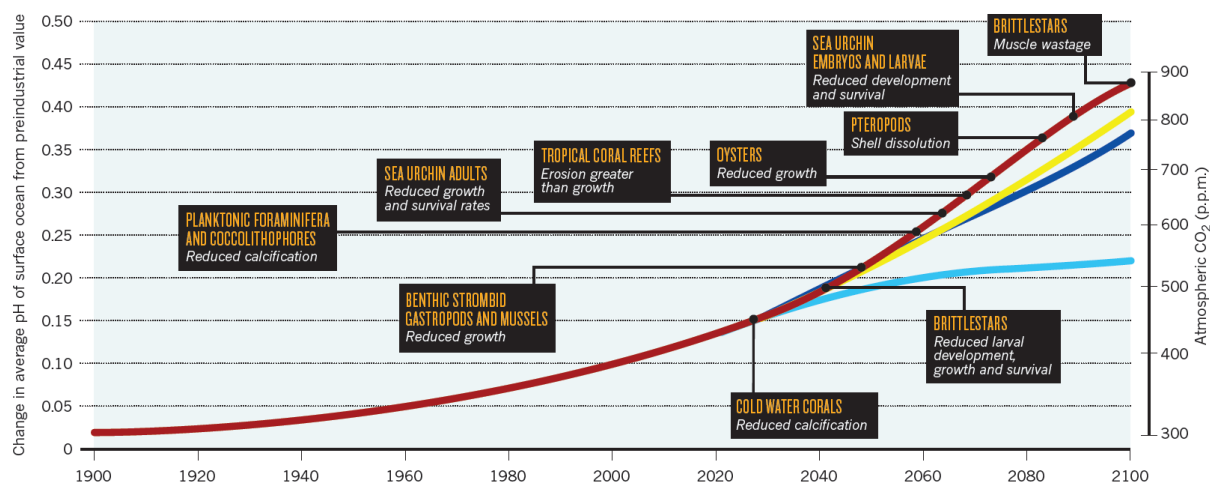
Det er imidlertid mange ukjente faktorer, og forskerne får noen ganger store overraskelser. En biolog som er sitert i Schiermeier (2012) sier at de har sett at noen arter kan klare seg selv om pH er svært lav, i det minste over kort tid.

For dannelsen av kalkskall er det pH ved dannelsesstedet som er avgjørende. Malcolm McCulloch ved University of Western Australia og medarbeidere har vist at enkelte korallararter kan regulere pH der dannelsen foregår slik at endringen her er omtrent halvparten av endringen i de frie vannmassene. Det er imidlertid ikke alle kalkdannende organismer som kan regulere pH-verdien lokalt.

Mange marine organismer er utsatt for andre stressfaktorer samtidig med at det er en forsuring. Dette kan være oppvarming, forurensning, fangst eller endringer i havstrømmer. Det er svært vanskelig å forutsi hvordan en kombinasjon av slike stressfaktorer påvirker organismene.

Også organismer høyere opp i næringskjeden kan påvirkes, dels ved at artssammensetningen av byttedyr endres, dels ved at respirasjonen påvirkes.

Det er ikke bare pH-endringene som medfører at økende CO₂-nivåer påvirker marine arter. Sansene og adferden kan påvirkes mer direkte. Dette er blant annet vist av Göran E. Nilsson ved Universitetet i Oslo og medarbeidere.



Mulige virkninger av utslipp av CO₂ på marine organismer. Fire utslippsscenarioer er gitt i forskjellig farge (konsentrasjonen av CO₂ i atmosfæren på høyre akse). Beregnet endring i pH i overflatevann er gitt på venstre akse. Fra Schiermeier, 2012.

Referanser

R. H. Byrne og medarbeidere, 2010. Direct observations of basin-wide acidification of the North Pacific Ocean, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L02601, doi:10.1029/2009GL040999.

K. Bjørlykke og medarbeidere, 2011. konsekvensene av surere hav, *Biolog*, nr 2, 28 – 34.

M.Chierici og medarbeidere. Tilførselsprogrammet 2011. Overvåking av forsurening av norske farvann. Norsk institutt for vannforskning. Statlig program for forurensningsovervåking Rapportnr.1124/2012. Se <http://www.klif.no/no/Aktuelt/Nyheter/2012/August-2012/Illevarslende-forsuring-av-norske-havomrader/>

T. Friedrich og medarbeidere, Detecting regional anthropogenic trends in ocean acidification against natural variability. *Nature Climate Change*, 2, 167 – 171.

M. McCulloch og medarbeidere, 2012. Coral resilience to ocean acidification and global warming through pH up-regulation. *Nature Climate Change*, 2, 623 – 627.

G. E. Nilsson og medarbeidere, 2012. Near-future carbon dioxide levels alter fish behaviour by interfering with neurotransmitter function. *Nature Climate Change*, 2, 201 – 204.

Q. Schiermeier, 2011. Earth's Acid Test, *Nature*, 471, 154 – 156.

R. F. Service, 2012. Rising Acidity Brings An Ocean of Trouble, *Science*, 337, 146 – 148.

The Royal Society, 2005. Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide contents. http://coralreef.noaa.gov/aboutcrp/strategy/repriorization/wgroups/resources/climate/resources/oa_royalsociety.pdf