

Utslippene skal ned



Foto: Stein J. Bjørge/SCANPIX

Stortinget har sagt ja til Kyotoprotokollen, og den 18. juni skal klimameldingen behandles. En kombinasjon av avgifter, kvoter og en rekke andre virkemidler kan ifølge miljøvernminister Børge Brende kutte Norges utslipp av klimagasser med seks millioner tonn CO₂-ekvivalenter.

Internasjonalt ligger det an til at Japan og EU ratifiserer avtalen før sommeren. Canada er mer usikre enn på lenge. Nøkkellandet Russland tar seg svært god tid, og derfor ser det likevel ikke ut til at avtalen vil tre i kraft i år slik mange håpet.

Les mer på side 7,8,9 og 10.

MINDRE METAN: Regjeringen vurderer å forby deponering av nedbrytbart avfall, og vil brenne mer av avfallet.



Flere norske forskningsprosjekter presenterer sine funn på egne, faste sider i *Cicerone*.

Snurrebasser i Grønlandshavet

Dypvannsdannelse er en viktig mekanisme i havets sirkulasjonssystem, og endringer i dette systemet kan ha innvirkning på vårt klima. Nå har forskere funnet en ny form for dypvannsdannelse i Grønlandshavet som de kaller snurrebasser.

Side 20

Utslipp forandrer sirkulasjonen

Bergen Climate Model skal brukes til å forutsi hvordan klimaet vårt blir i framtiden. Nye simuleringer viser at en gradvis økning i utslipp av CO₂ vil gi våtere og mildere vintre over Nord-Europa, mens Middelhavslandene får relativt tørre og kalde vintre.

Side 30

Ny CICERO-sjef

Side 4

Varmere framtid?

Side 5

Et steg mot Kyoto

Side 7

Begrenset kvotemarked

Side 8

EU møter motstand

Side 10

Miljøsatelitt

Side 12

Avsporet bærekraft?

Side 14

Klima uten panel?

Side 16

KLIMATEK: Vil demonstrere

Side 18

Sørishavet er blitt varmere

De sørlige havområdene spiller en viktig rolle for jordens klima blant annet fordi de er et bindeledd mellom Stillehavet, Atlanterhavet og Det indiske hav. Tidligere undersøkelser har tydet på en oppvarming på gjennomsnittlig 0,1 °C i de øvre 1000 meterne i disse havområdene mellom 1955 og 1995. En ny, større studie av temperaturmålinger fra 700 og 1100 meters dyp har vist at temperaturen steg med ca 0,17 °C fra 1950-tallet til 1980-tallet. En temperaturøkning her kan få virkninger også i andre havområder. Dessuten kan det ha betydning for klimaet at lagringskapasiteten for CO₂ i Sørishavet har avtatt siden 50-tallet på grunn av høyere temperatur.

• Gille, S.T., Warming of the Southern Ocean since the 1950s. *Science*, **295**, 1275-1277 (2002).

Hans M. Seip

Kalde og varme århundrer

En ny undersøkelse av årringer på trær bekrefter at de siste årene har vært eksepsjonelt varme. Men for tusen år siden kan det ha vært nesten like varmt.

Det har vært flere studier av hvordan klimaet har variert i tidligere århundrer; mest kjent er Mann og medarbeideres rekonstruksjon av temperaturen de siste 1000 år. På grunnlag av den blir det gjerne hevdet at temperaturen de siste 1000 år aldri har vært høyere enn nå, i alle fall på den nordlige halvkule. Det har imidlertid også vært kritiske kommentarer til resultatene, blant annet fordi den lille istid og en antatt varm periode i middelalderen ikke kommer tydelig frem.

En ny undersøkelse av Esper og medarbeidere, basert på årringsdata fra trær, synes å bekrefte at de senere år har vært eksepsjonelt varme. De finner imidlertid betydelig større temperaturvariasjoner enn Mann og medarbeidere, og den lille istid kommer tydeligere fram. Esper og medarbeidere finner at det stort sett har vært betydelig kaldere enn nå fra ca 1200 til 1850, med 1600-tallet som en særlig kald periode. Deres temperaturkurve viser en varm periode omkring år 1000, med temperatur omtrent som gjennomsnittet for perioden 1961 – 1990. Noe av forskjellen i de to rekonstruerte temperaturkurvene kan komme av at Esper og medarbeidere ikke har med data for tropiske områder. I en annen artikkel gir Briffa og Osborn en interessant sammenlikning av en rekke slike rekonstruksjoner. De diskuterer også problemer og usikkerheter forbundet med beregninger av temperaturen i tidligere tider. Noen andre rekonstruksjoner av temperaturutviklingen er diskutert i artikkelen av Nesje og Dahl på side 24 i dette nummeret.

• K. R. Briffa and T.J. Osborn. Blowing hot and cold. *Science*, **295** (2002), 2227.

• J. Esper, E. R. Cook and F. H. Schweingruber, *Science* **295** (2002) 2250.

• M.E. Mann, R.S. Bradley and M. K. Hughes, *Geophys. Res. Lett.*, **26** (1999), 759.

Hans M. Seip

Innhold

Synspunkt: Uklare klimamål.....	3
Polarforskeren som kom inn i varmen.....	4
Kontroversiell kampvotering: Rajendra Pachauri ny leder for klimapanelet.....	5
Enda varmere?.....	6
Stortinget sa ja til Kyoto.....	7
Regjeringens klimamelding: Prosessindustrien får kvoter, oljeselskapene beholder avgift.....	8
Vil ikke ha kvoteplikt.....	9
Tysk industri på bakbeina.....	10
Tropiske overraskelser.....	11
Overvåker jorda fra verdensrommet.....	12
Partikler med usikker klimavirkning: Et hett tema.....	13
Bærekraftig utvikling – avsporet 10 år etter?.....	14
Hvordan ville klimaet vært uten klimapanelet?.....	16

KLIMATEK

Klar for nytt steg i CO ₂ -håndtering.....	20
---	----

KlimaProg

NOCLim: Dypvannsdannelse i ny form.....	16
NORPAST: Variabelt klima siste 1000 år.....	20
RegClim: Mangelfull skymodellering gjev usikre resultat.....	23
RegClim: Økt CO ₂ gir forandring i sirkulasjonsmønsteret.....	26
Mindre is i et varmere Antarktis.....	27

Cicerone 3/02

Redaksjon:

Andreas Tjernshaugen (Ansv. red.)
Hans Martin Seip
Petter Haugneland

Ønsker du å abonnere gratis på Cicerone?

e-post: admin@cicero.uio.no
Tlf: 22 85 87 50
Telefaks: 22 85 87 51

Samtlige utgaver av *Cicerone* siden 1995 finnes på:
www.cicero.uio.no/cicerone

Layout: Tone Veiby Trykk: GAN Grafisk Opplag: 3000

Uklare klimamål

Etter pressekonferansen der miljøvernminister Børge Brende la fram regjeringens plan for norsk klimapolitikk ble det stille, forbausende stille. Interessen fra radio, tv og aviser var laber. Selv miljø- og industriorganisasjonene brukte dager og uker før de fikk tatt seg sammen til å protestere særlig høyløyt. Jeg tror jeg vet hvorfor: Stortingsmeldingen fra regjeringen Bondevik er vanskelig å bli klok på.

Høydepunktet i miljøvernministerens gjennomgang for pressen og organisasjonene var en tabell og en tilhørende kurve som viser hvilken samlet reduksjon i norske utslipp av klimagasser han tar sikte på å oppnå fram til 2008. Tallene og grafikken gjør det tydelig at hoveddelen av det store gapet mellom forventede utslipp og kravet i Kyotoprotokollen skal fylles med utslippsreducerende tiltak innenlands. Utslippskuttene skal i iverksettes innen 2008, da Kyotoprotokollens tallfestede krav gjøres gjeldende. Miljøvernministeren var tydelig stolt over tallene han kunne presentere, og fremhevet disse tidlige, innenlandske tiltakene som en spesiell styrke ved meldingen.

Derfor var det mange som klødde seg i hodet da de tilbake på kontoret forsøkte å slå opp tallene for samlet kutt i utslippene i tilleggsmeldingen. De står ikke der. Om tabellen ble satt opp i forbifarten etter at arbeidet med meldingen var slutført, eller om den tvert imot ble strøket etter harde dragkamper mellom regjeringspartnere og fagdepartementer, er uvisst. I alle tilfeller framstår det som underlig at et tallfestet mål – eller skal vi tolke det som en prognose – for hvilke utslippsreduksjoner regjeringens politikk skal utløse, legges fram muntlig på en pressekonferanse, men ikke er gjengitt eller begrunnet i saksdokumentene.

Myndighetenes ambisjoner om å kutte utslippene innenlands, og eventuelt i bestemte sektorer, er en viktig opplysning om norsk klimapolitikk. Slik Kyotoprotokollen i dag foreligger, kan den i stor grad oppfylles ved å kjøpe utslippstillatelser fra utlandet gjennom de såkalte Kyotomekanismene. Det blir ventelig også den minst kostbare løsningen. En vag bestemmelse i protokollen krever at dette bare skal være et tillegg til å kutte egne utslipp. Regjeringen har tidligere forpliktet seg til å gjennomføre en "vesentlig" del av kuttene innenlands, men har ikke sagt klart fra om hva det betyr – i hvert fall ikke på trykk.

Virkemidlene som skal gi reduserte utslipp (seks millioner tonn CO₂-ekvivalenter i følge ministerens tabell) er heller ikke klare. Videreføring av CO₂-avgiften skal hindre at utslippene øker på grunn av lavere pris – men vil neppe gi ytterligere utslippsreduksjoner. Industri som er unntatt fra dagens avgift, skal innlemmes i et system for kvotehandel fra 2005. Kvotesystemet og tiltak i industrien kan – i følge Børge Brendes tabell – redusere utslippene med 1,6 millioner tonn. Utslipp av mer enn fire millioner tonn CO₂-ekvivalenter skal i følge tabellen kuttet gjennom kraftforsyning til sokkelen fra land, redusert bruk av fyringsolje (erstattes med biobrensel) og tiltak i avfallssektoren. Disse reduksjonene må utløses gjennom andre virkemidler enn avgift og kvotesystem, virkemidler som skal fastsettes senere.

Vi som følger med på norsk klimapolitikk må altså smøre oss med tålmodighet – nok en gang. Det skal bli interessant å se om de forholdsvis ambisiøse målene for innenlandske tiltak som ble skissert på pressekonferansen i mars, virkelig vil prege norsk olje-, energi- og avfallspolitikk i årene som kommer.



Andreas Tjernshaugen, Informasjonsleder ved CICERO Senter for klimaforskning

Polarforskeren som kom inn i varmen

Pål Prestrud (48) trives blant polarrev og isbjørn. Er det rart han er skeptisk til global oppvarming?

Andreas Tjernshaugen

CICEROs nye direktør er ekspert på rever. Han er biolog, med doktorgrad om polarrevene på Svalbard. Tidligere har Prestrud arbeidet med polarspørsmål i Miljøverndepartementet, og fra 1994 til i fjor var han forskningsdirektør ved Norsk Polarinstitutt i Tromsø.

- 25 års arbeid med miljøspørsmål i polarområdene har gitt meg en bred innsikt i hele spekteret av miljøproblemer, ikke minst klimaendringer, sier Prestrud, som betrakter seg mer som generalist enn spesialist.

- Jeg har hele tiden hatt ett bein i forskningen og ett i forvaltningen. Så jeg tror jeg har forutsetning for å forstå hvordan man kan drive forskning som er til nytte for beslutningstakerne.

Økt temperatur

Motstrebende går den ferske CICERO-sjefen med på å la seg avbilde sammen med den utstoppede isbjørnen i Justisdepartementets Polaravdeling.

- Framover skal jeg prøve å tone ned den polare profilen litt, forklarer han.

Likevel er det arbeidet med livet i kalde strøk som har brakt ham til klimaforskningen og dermed CICERO. Klimaendringer står nemlig høyt på dagsordenen når man diskuterer miljøtilstanden i nordområdene, og Norsk Polarinstitutt forsker både på fysiske klimaprosesser og på konsekvenser av endret klima. De siste årene har Prestrud vært engasjert i en storstilt utredning av konsekvensene av klimaendringer Arktis, kjent som *Arctic Climate Impact Assessment* eller ACIA.

- Har vi et klimaproblem?

- Ja, det er det helt opplagt at vi har. Den som avviser det uten videre har jeg ikke mye sans for. Vi kan alltid diskutere hvor alvorlig utviklingen er, og hva som er årsakene. Men at vi har sett en temperaturøkning på kloden er klart. Personlig er jeg lite i tvil om at den er menneskeskapt. Det som er virkelig bekymringsfullt er at vi tukler med systemer som menneskene er helt avhengige av, som er uhyre kompliserte, og det uten at vi har nok kunnskap til å kunne fastslå med sikkerhet hva som vil skje. I verste fall risikerer man å utløse brå og uventede endringer i klimaet.

Uenighet bra

- Har du tålmodighet med klimaskeptikere?

- For meg består forskning av å teste påstander fra ulike synsvinkler. Uten den konstruktive kritikken – til og

KREVER KULDE:

Ved siden av langtransporterte miljøgifter er klimaendringer den største trusselen mot isbjørnen, sier Pål Prestrud.

med den ukonstruktive – skjer det ingen utvikling av kunnskap. Det er jo så å si forskningens vesen. Det er viktig at de som er skeptiske kommer på banen, så man får vurdert synspunktene deres. I Norge kunne det vært mer faglig debatt. Man skal vokte seg vel for at de forskere som engasjert i klimaforskning blir en slags beskyttet menighet som hevder å forvalte den eneste sannhet.



Foto: Petter Haugnealand

- Finnes det politisk vilje til å gjøre noe med klimaproblemet?

- Både ja og nei. Det er jo et positivt signal at Norge nå ratifiserer Kyotoprotokollen. Også Klimameldingen inneholder mye bra, selv om det gjenstår å se hvordan oppfølgingen vil bli. Det skal sterk politisk vilje og bred støtte blant folk flest for å gjennomføre alle de gode intensjonene i meldingen. Og fortsatt er det langt igjen før det er gjennomført tiltak som virkelig vil monne på atmosfærens innhold av drivhusgasser.

Selv om han har fulgt ivrig med i klimadebatten, tilstår Prestrud gjerne at på CICEROs tradisjonelle forskningsområde – politikk og virkemidler mot utslipp av klimagasser – har han fortsatt mye å lære. Det er forskningen om konsekvenser av klimændringer han har mest erfaring med.

- Dette nye beinet CICERO står på ønsker jeg å utvikle videre. Vi skal utvikle verktøy som kan integrere kunnskap fra de ulike fagområdene, og gjennomføre praktiske konsekvensanalyser som er nyttige for beslutningstakerne, sier Prestrud.

Tverrfaglig styrke

Den nye direktøren varsler ingen omveltninger i Senterets virksomhet.

- Forskningen må være av høy kvalitet, vi må gjøre oss bemerket internasjonalt. Først og fremst er det tverrfagligheten som er CICEROs spesielle fortrinn som forskningsinstitusjon. Men den er selvsagt også vårt svake punkt – vi er sårbare siden vi bare har noen få medarbeidere på hvert fagfelt.

- Dessuten skal CICERO framstå som stedet man går for å finne informasjon om klimaspørsmål. Vi må holde en høy profil også i mediene for å fylle vår informasjonsoppgave om klimaspørsmål. Informasjonen må være solid og vitenskapelig basert, slik at den har troverdighet.

Kontroversiell kampvotering:

Rajendra Pachauri ny leder for klimapanelet

Åpen strid om lederskapet preget det siste møtet i FNs klimapanel (IPCC). Dette vitenskapelige FN-organet sammenfatter og vurderer kunnskapen om klimændringer til bruk for politiske beslutningstakere. Den markerte IPCC-sjefen Bob Watson stilte seg til disposisjon for en ny periode, men ble ikke gjenvalgt på panelets plenums møte i april. Norge og 49 andre land stemte for å gjenvelde den amerikansk-britiske atmosfærekjemikeren. 76 land, inkludert USA og de fleste av utviklingslandene, støttet indiske Rajendra Pachauri. Han er ingeniør og økonom, leder for Tata Energy Research Institute (TERI) i New Dehli, og satt som en av flere nestledere under Watson.

Fortørnede miljøaktivister har knyttet utskiftingen av Watson til president Bushs motstand mot Kyotoprotokollen og administrasjonens nære bånd til oljeindustrien. Kritikken fikk næring da den amerikanske lobbygruppen Natural Resources Defence Council (NRDC) foran plenums møtet i Geneve offentliggjorde et notat fra en person med tilknytning til oljeselskapet Exxon (Esso). Notatet var henvendt til Bush-administrasjonen, og ba om at Watson ble skiftet ut.

U-land

En mulig virkning av at klimapanelet får en indisk leder, er at organets gjennomslag overfor amerikansk opinion og amerikanske beslutningstakere blir svekket. Men

uansett hvilke motiver som lå bak Bush-administrasjonens støtte, skyldes nok flertallet for Pachauri snarere u-landenes ønske om styrket representasjon i FN-organer som IPCC (se *Cicerone* 4-2001 s.6 og 3-2001 s. 6-7). Pachauri selv understreker at han vil videreføre hovedlinjene i IPCCs arbeid. I et intervju med TERIs magasin TerraGreen sier han at regionale virkninger av klimændringer bør få større oppmerksomhet i arbeidet med klimapanelets fjerde hovedrapport, som skal foreligge i 2007.

Andreas Tjernshaugen

Les mer:

- FNs klimapanelers hjemmeside: www.ipcc.ch
- Intervju med Rajendra Pachauri: <http://www.teriin.org/terragreen/issue11/essay.htm>



Foto: Leila Mead/IIED/ENB

Avtroppende IPCC-sjef Bob Watson presenterer IPCCs konklusjoner på formidlingsmøte om Kyotoprotokollen.

Enda varmere?

Nye forskningsresultater gir økt grunn til bekymring for store temperaturøkninger.

Hans M. Seip

I forrige nummer av *Cicerone* omtalte vi en undersøkelse som tydet på at klimafølsomheten kan være større, og dermed at oppvarmingen fremover også kan bli større, enn FN's klimapanel (IPCC) angir. Senere er det kommet to nye artikler i tidsskriftet *Nature* som styrker denne påstanden.

Observasjoner og modeller

Som kjent angir IPCC en temperaturstigning på 1,4 – 5,8 °C fra 1990 til 2100. Dette baserer seg på en rekke ulike matematiske modeller av klimasystemet og scenarier for utslipp av klimagasser. For å planlegge de beste tiltak er det av stor betydning å vite hvilke verdier innen dette intervallet som er mest sannsynlige, og om det eventuelt er betydelig sannsynlighet for at oppvarmingen skal falle utenfor dette intervallet. Variasjonen i den beregnede temperaturstigningen henger både sammen med at valg av utslippsscenario påvirker resultatet og at modellenes beskrivelse av ulike prosesser er mangelfull. Innsikt i den relative betydningen scenarievalg og modellvalg har for resultatet kan oppnås ved å benytte temperaturstigninger observert i atmosfære og hav de senere år.

Knutti og medarbeidere benytter en klimamodel som ikke er mer komplisert enn at de kan

kjøre den tusenvis av ganger med ulike forutsetninger. Beregninger forkastes dersom de ikke gir rimelig overensstemmelse med den observerte temperaturstigningen i hav og atmosfære. På den måten kommer de frem til en sannsynlighetsfordeling for fremtidig temperaturøkning. De konkluderer med at det kan være rundt 40 prosent sannsynlighet for at temperaturendringen kan bli større enn angitt av IPCC, men bare 5 prosent sannsynlighet for at den blir lavere.

Stott og Kettleborough benytter en av de mest avanserte klimamodellene som kjøres under ulike betingelser fra 1860 til i dag. De antar at en modell som over- eller undervurderer temperaturendringer med en viss faktor i dag vil gjøre det samme i fremtiden. I forhold til til perioden 1990 - 2000 finner de en økning i temperaturen i 2100 på 1,2 – 3,3 °C med et lavt utslippsscenario (B1) og 3,0 – 6,9 °C for et høyt (A1FI). Det er 5 prosent sannsynlighet for verdier på hver side av intervallet. De øvre grensene i disse temperaturintervallene er også noe høyere enn IPCC angir.

Utslippsscenarier

Zwiers, som har kommentert disse undersøkelsene, legger særlig vekt på resultatene for perioden 2020 – 2030. De to undersøkelsene gir omtrent samme temperaturstigning. Sett

i forhold til 1990 – 2000, beregner Stott and Kettleborough en oppvarming på 0,3 – 1,3°C, mens Knutti og medarbeidere finner en oppvarming på 0,5 – 1,1 °C.

Valg av scenario betyr forholdsvis lite for disse resultatene frem til 2030. Det henger delvis sammen med tregheten i klimasystemet. Det er imidlertid også en tendens til at de benyttede scenarier som har stor økning i utslipp av drivhusgasser (som virker oppvarmende) også har relativt høye utslipp av SO₂ (som virker avkjølede) i denne perioden. Mot slutten av århundret er den relative betydningen av scenarievalg mye større.

Disse resultatene gir økt grunn til bekymring for store temperaturøkninger. Det er imidlertid viktig å være klar over at ikke alle modellusikkerheter kommer med i de beregnede intervaller. Hvis det for eksempel skulle være en mekanisme som forsterker virkningen av variasjoner i solaktiviteten, slik enkelte hevder, vil utelatelsen av denne mekanismen selvsagt påvirke resultatene.

Referanser

• R. Knutti, T.F. Stocker, F. Joos and G.-K. Plattner,



Constraints on radiative forcing and future climate change from observations and climate model ensembles. *Nature*, 416 (2002) 719-723.

• P. A. Stott and J.A. Kettleborough, Origins and estimates of uncertainty in predictions of twenty-first century temperature rise. *Nature*, 416 (2002) 723-726.

• F. W. Zwiers, The 20-year forecast. *Nature*, 416 (2002), 690-691.

Hans Martin Seip

er professor ved Kjemisk Institutt, UiO og professor (20 % stilling) ved CICERO Senter for klimaforskning (h.m.seip@cicero.uio.no).

Stortinget sa ja til Kyoto

Stortinget vedtok 21. mai å ratifisere (godkjenne) Kyotoprotokollen som forplikter Norge til å redusere sine utslipp av klimagasser. Bare FrP stemte i mot, fordi partiet tviler på at det eksisterer noe klimaproblem. Også Japan kom et steg nærmere godkjenning, da underhuset sa ja til avtalen samme dag.

Petter Haugneland

Norge er med denne godkjenningen et av de første industrilandene som har gjort klimaavtalen til en del av sin nasjonale lovgivning. Dette forplikter Norge til å redusere sine utslipp til 1 prosent over 1990-nivå hvis avtalen trer i kraft. Dette tilsvarer reduksjon på minst 17 prosent av forventede utslipp uten tiltak i perioden 2008-2012. Om Norge bygger gasskraftverk må ytterligere utslipp reduseres, enten innenlands eller ved å kjøpe utslippstillatelser av andre land gjennom et internasjonalt kvotesystem.

Bare Tsjekkia og Romania av industrilandene har ratifisert klimaavtalen fra byen Kyoto i Japan før oss. Det danske Folketinget vedtok med stort flertall å godkjenne avtalen den 16. mai i år. EU planlegger en felles ratifisering av avtalen rundt den 31. mai. Da skal EU-landenes stats- og regjeringsledere godkjenne avtalen i Det europeiske råd.

Også Japan har kommet et steg nærmere godkjenning. Det japanske underhuset vedtok å ratifisere avtalen samme dag som Stortinget. Nå gjenstår bare en formell behandling i overhuset, som kan utsette men ikke stanse undertegningen, og en avstemning i regjeringen.

Langt igjen

Norge sto i 1990 for bare 0,3 prosent av

totalutslippene til verdens industriland. For at avtalen skal tre i kraft, må den ratifiseres av 55 land, inkludert industriland som sto for minst 55 prosent av CO₂-utslippene i 1990. Da USAs president George W. Bush i fjor uttalte at Kyotoavtalen var død, og trakk den største forurenseren ut fra avtalen, trodde mange at dette var slutten for et internasjonalt klimasamarbeid. USA sto for 36,1 prosent av industrilandenes totalutslipp i 1990, og mente at avtaleverket ble for dyrt for landet å gjennomføre. De laget i stedet en alternativ plan som fokuserer på å få ned utslipp per dollar, i stedet for å sette en grense på totalutslippet. Dette betyr i praksis utslipp som ligger nært opp til "business as usual".

Men likevel lykkes det de andre partene å komme fram til en endelig avtale som riktignok var mindre ambisiøs enn avtalen fra Kyoto. Blant annet fikk Russland godskrevet store utslippsreduksjoner for opptak av CO₂ fra skog.

Canada mest usikker

I ettertid har Canada, som er den mest usikre parten, prøvd å få lignende lettelser fordi landets industri frykter økt konkurranse fra nabolandet i sør, som ikke er bundet av utslippsrestriksjoner. Foreløpig har dette ønsket blitt blankt avvist av EU, som er den parten som ønsker en sterkest mulig avtale. Også noen av provinsene i Canada har

protestert, men Den føderale regjeringen insisterer på at landets konstitusjon gir dem rett til å avgjøre saken uavhengig av provinsenes syn. I det siste har det også kommet fram at det er stor uenighet innad i den føderale regjeringen, så foreløpig er det høyst uklart om Canada vil delta i klimasamarbeidet.

Flere krav

Det er også usikkert om Australia og Russland vil ratifisere avtalen. Australia har innledet et vidt samarbeid med USA om klimatiltak og forskning og miljøbevegelsen frykter at dette samarbeidet er en forberedelse til å trekke seg fra Kyotoavtalen. Utenriksministeren i Australia forsikret i mars at de fortsatt tok sikte på å ratifisere. Senere har statsminister John Howard avvist en oppfordring fra Japans statsminister Junichiro Koizumi om å ratifisere protokollen.

Russlands statsminister og president sier landet vil ratifisere Kyotoprotokollen. Men det er uklart hvor fort det kan skje. Russiske ledere har tidligere antydnet at landet kan komme til å stille som betingelse at EU og Japan må love å kjøpe utslippskvoter som Russland har til overs. En innflytelsesrik russisk politiker uttalte nylig at det er lite sannsynlig at Russland vil ratifisere Kyotoprotokollen innen slutten av 2002.

Petter Haugneland

er informasjonskonsulent ved
CICERO Senter for klimaforskning
(petter.haugneland@cicero.uio.no).

Kyoto-kalkulator

CICERO har laget en Kyoto-kalkulator hvor du kan sjekke hvem som må være med for at Kyotoprotokollen skal tre i kraft. Den finner du på CICEROs hjemmesider (www.cicero.uio.no).

Prosessindustrien får kvoter, oljeselskapene beholder avgift

Fram til 2008 skal en kombinasjon av avgifter, kvoter og en rekke andre virkemidler redusere utslippene av klimagasser i Norge.

Andreas Tjernshaugen

Et bredt spekter av virkemidler foreslås i regjeringens stortingsmelding om norsk klimapolitikk. I årene 2005-2007 vil regjeringen satse på et nasjonalt kvotesystem for de industribransjene som i dag er unntatt fra CO₂-avgiften. Samtidig videreføres avgiften for utslipp fra olje- og gassutvinning, veitrafikk og fyring. I tillegg vurderes en lang rekke tiltak rettet mot bestemte utslippskilder, som for eksempel avfallshåndtering og oljefyring. For årene 2008-2012 (Kyotoprotokollens forpliktelsesperiode) slutter Bondevik-regjeringen seg til Stoltenberg-regjeringens forslag om å erstatte CO₂-avgiften med et bredest mulig kvotesystem, som omfatter alle kilder det er teknisk gjennomførbart å inkludere.

Tidlig kvotesystem

Det nasjonale kvotesystemet fra 2005-2007 skal omfatte klimagassutslipp som i dag ikke har CO₂-avgift (bl.a. i prosessindustrien), der det er praktisk mulig å overvåke og kvoteregulere utslippene. Disse bransjene skal redusere sine utslipp med 20 prosent i forhold til 1990. Kvoteene skal tildeles gratis, og det blir restriksjoner på videresalg av en del av kvoteene. I tillegg til disse tildelte utslippskvotene vil industrien ha tilgang til ekstra kvoter fra klimaprosjekter – enten ved å betale for tiltak i norske virksomheter uten kvoteplikt, eller ved å delta i Kyotoavtalens internasjonale ordninger for prosjektsamarbeid, såkalt felles gjennomføring og Den grønne utviklingsmekanismen (CDM). Kvoter som er gyldige under Kyotoprotokollen kan eventuelt spares til perioden 2008-2012. Det er uklart om Norges kvotesystem kan kobles til kvotesystemet som er under etablering i EU.

Regjeringen antyder at gebyret for overtredelse av kvoteplikten vil bli satt så lavt at bedriftene kan velge å betale gebyr i stedet for å kjøpe kvoter dersom kvoteprisen skulle bli høyere enn forutsett. Et annet åpent punkt er fastsettelsen av det samlede utslippstaket. Utgangspunktet skal være 80 prosent av de berørte virksomhetenes utslipp i 1990. En uspesifisert "handlingsregel" skal styre justeringen av dette taket ved nyetableringer, utvidelser, innskrenkninger og nedleggelse av eksisterende virksomhet. Tildelingen av gratiskvoter må godkjennes i forhold til EUs konkurranseregler av ESA (overvåkingsorganet til EFTA). Detaljene klarlegges først i et senere lovforslag.

Avfall, fyring og elektrifisering

Ved å opprettholde CO₂-avgiften for de som i dag er omfattet av den, vil regjeringen unngå at utslippene øker fra disse kildene

på grunn av lave kvotepriser. Ellers antyder meldingen en lang rekke virkemidler rettet mot bestemte utslippskilder og sektorer. Metanutslippene fra avfallssektoren skal kuttes drastisk, og regjeringen vil vurdere et forbud mot deponering av alt nedbrytbart avfall. En omfattende satsing på å erstatte oljefyring med biomasse skal redusere bruken av mineralolje til oppvarming med 25 prosent. Også utslippene fra sokkelen skal etter planen reduseres blant annet ved å legge til rette for å erstatte små, forurensende gasskraftverk på plattformene med krafttilførsel fra land. Miljøvernministeren ble umiddelbart møtt med spørsmål fra pressen om hvor han vil ta strømmen fra i et allerede presset kraftmarked. I meldingen fremheves nok en gang regjeringens forhåpninger til gasskraftverk uten CO₂-utslipp. De konkrete virkemidlene for reduserte utslipp fra ulike sektorer først vil komme i senere meldinger og lovforslag.

Får gjennomslag

Energi- og miljøkomiteen avgir innstilling 12. juni og Stortinget behandler saken i plenum 18. juni. Med adgang til å søke støtte enten fra Ap eller SV (FrP er en mindre aktuell samarbeidspartner i klimapolitikken) vil regjeringens partiene ventelig få gjennomslag for alle hovedpunktene i meldingen. Miljøvernminister Børge Brende anslår at tiltakene i klimameldingen kan redusere de norske utslippene av klimagasser med rundt 6 millioner tonn CO₂-ekvivalenter (se tabell). Gapet mellom Kyotomålet og forventet utslipp i 2010 uten nye klimatiltak (og uten gasskraftverk) er beregnet til vel 9 millioner tonn.

Potensialet for utslippsreduksjoner (CO₂-ekvivalenter)

• Kvotesystemet og tiltak i industrien:	1,6 mill tonn
• Kraftforsyning til sokkelen fra land:	1,5 mill tonn
• Redusert bruk av fyringsolje:	1 mill tonn
• Redusert bruk av PFK/HFK (avgift):	200 000 tonn
• Reduserte utslipp av SF ₆ (avtale):	35 000 tonn
• Tiltak i avfallssektoren:	2 mill tonn

Sum: 6 mill tonn

Kilde: Miljøvernministerens presentasjon av klimameldingen



Illustrasjon: Nils Axle Kantén

KJØR BIOLOGISK: Økt bruk av biobrensel til oppvarming og drivstoff er blant tiltakene som skal kutte utslippene av klimagasser i Norge.

Vil ikke ha kvoteplikt

Under en åpen høring i Stortingets energi- og miljøkomite 19. april protesterte næringslivets representanter kraftigere enn miljøbevegelsen mot regjeringens forslag til klimapolitikk.

Andreas Tjernshaugen

Fagsjef i Næringslivets hovedorganisasjon (NHO), Geir Høybye, anbefalte at industrien får velge fritt mellom avgift, kvoteplikt eller forhandlede avtaler med myndighetene i årene fram til et bredt, internasjonalt system for kvotehandel er på plass. De enkelte bransjeorganisasjonenes innlegg avspeilet den ulike situasjonen de befinner seg i. Oljeindustriens landsforening (OLF) ønsker å ta del i kvotesystemet fra begynnelsen – for å høste erfaringer med kvotehandel. Oljeselskapene har samtidig en åpenbar interesse av å raskest mulig erstatte dagens avgift på rundt 300 kroner per tonn CO₂ sluppet ut fra sokkelen med plikt til å kjøpe langt billigere utslipps-

kvoter. OLF fremhever at det vil gi større utslippsreduksjoner hvis bransjen bruker pengene på å betale for billige tiltak i andre sektorer i stedet for å fortsette å betale avgift.

Takket pent

Prosessindustriens landsforening (PIL), som organiserer mange av bedriftene med fritak fra CO₂-avgiften, protesterer derimot heftig mot tidlig kvoteplikt. PIL-direktør (og tidligere statssekretær i Miljøverndepartementet) Stein Lier-Hansen varsler nedleggelser i sement- og ferrolegeringsindustrien dersom de må kjøpe kvoter. I stedet ønsker prosessindustrien å forhandle fram avtaler om reduserte utslipp fra bransjen som helhet, hvor utslippskutt på grunn av nedleggelser og restruktureringer

blir godskrevet gjenværende virksomheter. En enslig næringslivsstemme takket departementet og regjeringen, nemlig elektrobransjen som har inngått en avtale om reduserte utslipp av klimagassen SF₆ og dermed slipper avgift. Kuldebransjen er tilsvarende skuffet over at regjeringen har satsset på avgift på import av klimagassene HFK og PFK fra 2003 i stedet for en forhandlet avtale.

Uenighet om avfall

Miljøorganisasjonene oppfordret Stortinget til å stadfeste at målet er 6 millioner tonn reduksjon i forventede utslipp i 2010, slik miljøvernministeren antydte på sin pressekonferanse (se tabell). I et felles notat foreslår Greenpeace, Naturvernforbundet og Natur og Ungdom en lang rekke konkretiseringer

av regjeringens tiltak overfor bestemte sektorer, slik som kompensasjon for el-avgiften for alle nye fornybare energikilder fra 2003, og pålegg om at leverandørene må selge minst 10 prosent forurensningsfrie biler fra 2010 slik det er vedtatt i California. Generalsekretær Tore Killingland i Naturvernforbundet anbefalte en gjennomgående "klimavasking" av lovverket. Et punkt som splitter miljøbevegelsen, er synet på energigjenvinning av avfall. Mens Bellona støtter industrien i at forbrenning kan være en god miljøløsning, er de øvrige miljøorganisasjonene redd for at forbrenningsanleggene vil konkurrere med avfallsminimering og resirkulering, og gi giftige utslipp.

Tysk industri på bakbeina

EU-kommisjonens forslag om kvotehandel møter kraftig motstand.

Andreas Tjernshaugen

Under striden om den tyske "øko-skatten" på energi for bare et par år siden, fremhevet tysk næringsliv kvotehandel som en mer fleksibel løsning.

- Frontene skifter. Etter at EU-kommisjonen la fram sitt forslag til direktiv om kvotehandel er industrien plutselig veldig skeptisk til kvotehandel, mens miljøbevegelsen nå er motstrebende tilhengere, sier Axel Michaelowa ved Hamburg Institute of International Economics.

En rapport utarbeidet av økonomiprofessor Wolfgang Stroebele for en rekke store selskaper og bransjeorganisasjoner hevder kvotedirektivet kan koste Tyskland bortimot 60.000 arbeidsplasser. Michaelowa stiller seg helt uforstående til beregningene og mener de knapt fortjener merkelappen forskning.

Tyskland har besluttet å ratifisere Kyotoprotokollen sammen med resten av EU, med enstemmig oppslutning i begge kamre av nasjonalforsamlingen. Men store deler av landets næringsliv stritter imot forslaget om et felles europeisk kvotesystem som skal redusere utslippene (se *Cicerone* 1-2002, s.4). Industrien driver nå en intens kampanje mot forslaget blant annet gjennom annonser i avisene og press mot politikere foran høstens valg.

Krever fritak

- Mye av kritikken mot forslaget om kvotehandel gjelder i virkeligheten kravene i Kyotoprotokollen sier Peter Liese, medlem av EU-parlamentet og tysk kristendemokrat. Interesseorganisasjonene for tysk industri har lenge ment at Tyskland har tatt på seg en for stor del av EUs felles reduksjonsmål. Tyskland skal stå for om lag 75 % av de totale klimagasskuttene i EU.

Støtte til ratifisering av Kyotoprotokollen



Illustrasjonsfoto: Heribert Proepper/AP

Tyske metallarbeidere. Studier utført for tysk industri hevder kvotehandel truer 60 000 arbeidsplasser.

ble vedtatt i EU-parlamentet mot fire stemmer.

- Likevel hører vi fortsatt kritikk mot at europeiske selskaper må forholde seg til utslippstak og kjøpe kvoter når amerikanske selskaper slipper sier Liese, som selv støtter forslaget om et europeisk kvotesystem.

Både blant hans partifeller i CDU og i det sosialdemokratiske SPD er det stor sympati for industriens krav om fritak fra systemet. Kravet har blitt en alvorlig trussel mot planene om et felleseuropeisk kvotemarked fra 2005. Pussig nok er det de to EU-landene som har hatt tydelig fall i utslippene gjennom 1990-tallet, Tyskland og Storbritannia, som nå ber seg fritatt. Tyskland har lenge hatt en ordning med frivillige avtaler mellom industrien og myndighetene om å begrense utslippene av klimagasser. Storbritannia innførte nylig et nasjonalt, frivillig kvotesystem for klimagasser. Begge systemene er i utakt med Kommisjonens forslag.

Avtaler

- Motstanden mot kvotedirektivet viser at de frivillige avtalene tysk næringsliv har inngått ligger tett opp til "business as usual" – de har ikke krevd særlig innsats fra industrien. Reduksjonen i Tysklands utslipp skyldes dels nedleggelse og innskrenking av virksomhet i det tidligere DDR, og dels offentlige investeringsprogrammer i bedre og mer effektiv infrastruktur, sier Michaelowa. En viktig årsak til at de frivillige avtalene ble innført som et alternativ til CO₂-skatt, var at de videreførte de gode samarbeidsrelasjonene mellom myndigheter og industri som har vært grunnlaget for Tysklands økonomiske utvikling siden 1950-tallet. Tysklands økonomi er i større grad enn andre europeiske land fortsatt basert på industriell produksjon.

Liese insisterer som de fleste tyske politikere på at de frivillige avtalene har vært en suksess, men innrømmer to svakheter ved ordningen. For det første har de et mål for utslipp per produsert enhet, ikke et mål

for samlede utslipp. For det andre finnes det ingen sanksjoner mot selskaper som bryter avtalen. Dermed kan ikke avtalene garantere lavere utslipp. Men hvis landene finner mer overbevisende løsninger som klart vil redusere utslippene, tror Liese EU kan godta en ordning med fritak.

- Men da er det jo et spørsmål om det ikke ville være billigere å delta i kvotehandelen, legger han til.

Mekanismer

Tyskland har foreløpig vist liten interesse for å kjøpe utslippstillatelser gjennom de tre såkalte Kyotomekanismene.

- Det henger sammen med at vi ikke trenger dem for å nå vårt Kyoto-mål, sier Patrick Graichen i det tyske Miljøvern-departementet.

Ikke alle er enige i den vurderingen. Tyske myndigheter utreder for tiden regler for bruk av mekanismene, samtidig som EU vurderer hvordan det europeiske kvote markedet eventuelt skal knyttes til det internasjonale kvotemarkedet som Kyoto-mekanismene åpner for. For Tysklands del kan bruk av mekanismene bli viktigere dersom landet får nye, strengere reduksjonsmål etter 2012.

- Den tyske regjeringen har sagt at ytterligere, drastiske reduksjoner av utslippene er nødvendige. Behovet for bruk av mekanismene henger nært sammen med hvor strenge målene er, sier Graichen.

EU's kvotehandel: Forsinket eller frivillig?

Landene vil sannsynligvis få adgang til å reservere seg mot EU's direktiv om handel med utslippskvoter i årene fram til 2008, tror Christian Egenhofer ved Center for European Policy Studies (CEPS). Andre eksperter tror EU's kvotesystem enten blir utsatt til 2008, eller kraftig utvannet. En årsak til motstanden er at etter Kommisjonens forslag skal hvert enkelt medlemsland bestemme mengden og fordelingen av utslippskvoter i perioden 2005-2007. Næringsliv og politikere i flere medlemsland frykter dette vil føre til forskjellsbehandling og konkurransevridning.

Danmark viktig

Egenhofer ser heller ikke bort fra at behandlingen av direktivet kan trekke i langdrag, og mener det danske formannskapet i høst blir svært viktig. Hvis ikke miljøvernministrene finner ut av saken da, kan saken havne på bordet til statslederne i EU. Der kan det bli vanskelig å få oppmerksomhet om kvotedirektivet ettersom spørsmålet om innlemming av nye medlemsland kommer opp for fullt.

Tropiske overraskelser

Målinger øverst i atmosfæren viser langt større variasjoner i strålingsbalansen enn klimamodellene forutsier.

Hans M. Seip

Satellittdata gir muligheter for studere hvordan jordas energibudsjett varierer i tid og rom. Nye studier av strålingsbudsjettet øverst i atmosfæren over tropene (20°S - 20°N) fra 1979 til 2001 viser langt større store variasjoner enn forventet.

Uventede observasjoner

Den kortbølgete strålingen fra sola vil for en stor del absorberes ved jordoverflaten, men en del reflekteres direkte ut i verdensrommet. Jorda sender ut langbølget (infrarød) stråling som delvis sendes tilbake til jorda fra atmosfæren, og delvis forsvinner ut i rommet. Vielicki og medarbeidere har studert både kortbølget (reflektert) og langbølget stråling fra jorda. Den langbølgete strålingen viser variasjoner som henger sammen med El Niño og vulkanutbruddet på Filippinene (Pinatubo fjellet) i 1991. Mer overraskende er en sterk økning fra sent på 1980-tallet til 1994. Økningen er på ca 4 W/m², omtrent det samme som for en umiddelbar dobling av CO₂ konsentrasjonen i atmosfæren.

Den reflekterte kortbølgete strålingen var, med unntak av høye verdier som følge av Pinatuboutbruddet, generelt lavere på 90-tallet enn på 80-tallet, men med store variasjoner. Endringene både i kortbølget og langbølget stråling kan forklares ved avtakende skydekke i tropene i denne perioden. Strålingsbalansen øverst i atmosfæren (innkommende stråling fra sola minus utgående kort- og langbølget stråling)

viser store, raske svingninger på 1990 tallet, med forskjeller på 5 til 10 W/m² mellom høyeste og laveste verdier.

Utilfredsstillende modeller

De store svingningene i energibudsjettet burde kunne reproduseres med en god klimamodell. Siden sjøtemperaturer antas å være viktige for skydekket, ble målte sjøtemperaturer matet inn i noen av de mest kjente klimamodellene. Ingen av modellene ga god overensstemmelse med observasjonene av endringer i kort- eller langbølget stråling. Dette illustrerer at skyprosesser fortsatt et svakt punkt i modellene, noe også FN's klimapanel (IPCC) påpeker. Hvorvidt de observerte variasjonene har noe med menneskeskapt klimaendringer å gjøre, eller er naturlige fenomener, er foreløpig et åpent spørsmål.

Referanser

- Vielicki et al., Evidence for large decadal variability in tropical mean radiative energy budget. *Science*, **295**, 841-844 (2002).
- Hartmann, D., Tropical surprises. *Science* **295**, 811-812 (2002).

Hans Martin Seip

er professor ved Kjemisk Insittutt, UiO og professor (20 % stilling) ved CICERO Senter for klimaforskning (h.m.seip@cicero.uio.no) .

Overvåker jorda fra verdensrommet

Etter en vellykket oppskytning 1. mars, begynner de første dataene fra Europas miljøsatellitt Envisat å strømme inn.

Petter Haugneland

Et av de første bildene som kom fra satellitten, var kollapset av Larsen B-fjellhylla i Antarktis. 3250 kvadratkilometer av ishylla raste ut i løpet av en 35 dagers periode. Mange forskere mener at dette er et utslag av på global oppvarming. Du kan lese mer om hendelsen på side 32 i bladet.

I tillegg til kamera, som fanget denne sjeldne begivenheten i Antarktis, har satellitten en rekke måleinstrumenter. Disse instrumentene vil gi oss enorme mengder data om jordens tilstand, som blant annet kan brukes i klimaforskningen.

Bedre kunnskapsbase

Dataene fra satellitten vil gi oss en bedre forståelse av atmosfæren, land og hav, og samspillet mellom dem. Innenfor klimaforskning er det viktig å bedre de matematiske modellene som skal forutsi det framtidige klimaet. Bedre data kan øke påliteligheten av disse modellene. Når man blir sikrere på at et spesielt scenario (framtidsbilde) skal inntreffe, vil beslutningstakere ha en lettere jobb med å iverksette nødvendige tiltak.

Petter Haugneland

er informasjonskonsulent ved CICERO Senter for klimaforskning (petter.haugneland@cicero.uio.no).

Atmosfære

Satellittbaserte observasjoner framskaffer viktige data om de forskjellige atmosfæriske faktorene bak klimaoppvarmingen. Envisat har tre instrumenter for atmosfæriske målinger. Instrumentene måler drivhusgasser, sporgasser og aerosoler. I tillegg får de fram temperatur- og trykkprofiler samt skytyper og -høyde. De tre instrumentene måler de samme atmosfæriske fenomenene på ulike måter. Dermed kan man få fram sikrere data og supplerende informasjon.

Hav

Også observasjoner av havområder er viktige i klimaforskning. Envisat kan foreta målinger med ulike instrumenter fra store havområder og gjenta disse målingene hyppig. Instrumentene kan brukes i studier av havstrømmer, strømskjær, og overflatetemperatur og til studier av algeoppblomstring. For oss i Nord-Europa, er det for eksempel viktig å få bedre forståelse av Golfstrømmen og eventuelle forandringer i denne.

Land

Satellitter kan raskt skaffe oversikt over store landområder. Omkring 25 prosent av jordas overflate er dekket av skog, som er



Foto: ESA/A. Van Der Geest

Envisat koster over 20 milliarder kroner, og er den største og dyreste miljøsatellitten som noen ganger er bygget.

en viktig del av klimasystemet. Satellitter kan avsløre ulovlig hogst, og satellittdata kan være et hjelpemiddel i skogskjøtsel. Man kan også foreta analyser av de kjemiske utslippene fra skogområder, for bedre å forstå hvordan klimasystemet fungerer. På denne måten kan man avdekke hvor mye av de totale utslippene av klimagasser som er skapt av menneskelig aktivitet. Forskjellige forskningsprosjekter vil bruke data fra Envisat i studier av naturlige utslipp, som for eksempel metangass i Amazonas.

Norsk Polarinstitutt bruker data fra miljøsatellitten til å studere bevegelsen i isbreene. Nøyaktige målinger av variasjonene i isbreene er viktig, blant annet fordi dette kan gi oss et forvarsel om endringer i klimaet.



Dette bildet fra Envisat viser området Peninsula i Antarktis hvor to deler av Larsen ishylla kollapset i januar 1995 (Larsen A) og i mars 2002 (Larsen B). Denne regionen har hatt en usedvanlig høy atmosfærisk oppvarming siden 1950, og er derfor av stor interesse for klimaforskere. Over de siste 50 årene har gjennomsnittstemperaturen økt med 2,5 °C i dette området.

Foto: ESA

Miljøsatellitten Envisat

Envisat koster over 20 milliarder kroner, med rom- og bakkeseksjoner, og er den største og dyreste miljøsatellitt som noen gang er bygget. Den åtte tonn tunge, og ti meter lange satellitten er nå i bare 800 km ute i rommet. Norge og tolv andre land i den europeiske romfartsorganisasjonen ESA, samt Canada, står bak.

De norske organisasjonene Norsk institutt for vannforskning (NIVA), Meteorologisk institutt, Norsk Polarinstitutt, Nansen senter for miljø og fjernmåling, Norsk institutt for luftforskning (NILU), Forsvarets forskningsinstitutt (FFI), Norsk Regnesentral og NORUT IT skal nyttiggjøre seg data fra miljøsatellitten.

Les mer om Envisat på:
<http://www.esa.int/envisat/>

Partikler med usikker klimavirkning: Et hett tema

Luftforurensning i form av partikler og bakkenært ozon gjør storbyboere syke. Samtidig virker slike forurensninger inn på klimaet – men ingen vet hvor mye.

Kristin Aunan

Det er ikke bare CO₂ og de andre gassene inkludert i Kyotoprotokollen som påvirker klimaet på jorden. En rekke andre gasser og partikler i atmosfæren virker også inn på jordens strålingsbalanse. Selv om det fremdeles er usikkerheter, har forskerne kommet et langt stykke på vei i forståelsen av hvordan gassene i Kyotoprotokollen virker. Når det gjelder en del av de andre komponentene med klimaeffekt, er det derimot svært usikkert hvordan de påvirker klimaet globalt og regionalt. Det er spesielt partikler og troposfærisk ozon (ozon som befinner seg nedenfor "ozonlaget") som er viktige – men som det også knytter seg mye usikkerhet til.

Dårlig forbrenning

Klimaeffekten av sot og andre komponenter som oppstår under dårlig forbrenning av fossilt brensel og biomasse, var et hett tema under konferansen "Air Pollution as a Climate Forcing" på East West Center på Hawaii i mai i år, ledet av James E. Hansen ved NASA Goddard Institute for Space Studies. Konferansen la vekt på å vise hvordan tiltak rettet inn mot luftforurensninger med klima-effekt – særlig partikler og bakkenært ozon – kan gi doble gevinster i form av både reduserte helseskader og redusert klimaeffekt. Flere innlegg fokuserte på kull- og biomassebrenning i husholdninger i u-land som Kina og India. Denne foregår gjerne i ineffektive ovner og gir høye konsentrasjoner av helsefarlige stoffer der folk bor. Disse stoffene har også klima-effekt.

Partikler, også kalt aerosoler, finnes i mange varianter. Partikler i atmosfæren kan være



Som så mange andre i Kina, benytter denne kvinnen råkull til matlagingen

Foto: Haakon Vennermo

dannet naturlig (for eksempel av sandstormer og vulkanutbrudd) eller de kan være menneskeskapt (for eksempel fra brenning av fossilt brensel eller biomasse). Høye konsentrasjoner av partikler, og spesielt forbrenningspartikler, kan ha store helseeffekter i form av blant annet luftveissykdommer og økt dødelighet. Klimaeffekten av ulike typer partikler er svært forskjellig, avhengig av partiklens kjemiske sammensetning, størrelse og form, og deres evne til å ta opp fuktighet fra luften. Noen har en avkjølede effekt på jorda fordi de reflekterer sollys, andre bidrar tvert imot til oppvarming ved å absorbere sollyset.

Fra minus til pluss?

Det har lenge vært antatt at sulfat- og nitratpartikler generelt motvirker oppvarming ved at de reflekterer sollys tilbake til rommet. Men så enkelt er det ikke, viser det seg. Nyere forskning fokuserer i økende grad på hvordan partiklens sammensetning og de prosesser de gjennomgår i atmosfæren er med på å endre klimaeffekten

(strålingspådrivet). Under visse betingelser kan fortegnet endres. For eksempel er det mye som tyder på at strålingspådrivet fra sotpartikler, som er mørke og dermed absorberer sollys, øker dersom de dekkes av en kappe av sulfater som igjen tiltrekker seg vann. Slik kan sulfat gå fra å ha en avkjølede effekt til faktisk å øke oppvarmingseffekten av sot. I land som Kina, hvor det er høye utslipp både av sot og SO₂, er dette spesielt relevant. Naturlig støv, for eksempel dannet ved jorderosjon, er i mange tilfeller lyse partikler og reflekter dermed sollys (virker avkjølede). Hvis det er store utslipp av sot i området, kan dette legge seg utenpå og øke absorpsjonsevnen til slike partikler.

Kristin Aunan

er forsker ved CICERO Senter for klimaforskning
(kristin.aunan@cicero.uio.no) .

Bærekraftig utvikling – avsporet ti år etter?

Hvor har debatten om bærekraftig utvikling gått de siste ti år, og hva betyr det for klimaproblemet?

Siri Eriksen

På Norges forskningsråds konferanse om miljø og utvikling 6.-7. mars ble det hevdet at det internasjonale arbeidet med fattigdomsbekjempelse og bekjempelse av miljøproblemer har blitt isolert fra hverandre. Konsekvensen er svekket evne til å løse begge disse problemene.

Målet med NFRs konferanse var nettopp å trekke fram lærdom fra de siste 10 år siden den store Verdenskonferansen om jordas miljø og utvikling i Rio og å informere den norske delegasjonen til Johannesburg-konferansen om bærekraftig utvikling, som finner sted i september i år. En av hovedtesene bak begrepet 'bærekraftig utvikling' fra Brundtlandrapporten, som kom ut i 1987, var at fattigdom er et resultat av både lav vekst og urettferdig fordeling. Det var disse to problemene man skulle gripe tak i for å bekjempe fattigdoms- og miljøproblemer. Løsningen skulle være å skape vekst, men en økonomisk vekst med et 'bedre innhold' enn den konvensjonelle. En slik vekst ville være basert på bedret fordeling og på en miljøvennlig bruk av naturressurser.

En av forutsetningene for bærekraftig utvikling er at fattige har tilgang på ressurser og samtidig har kapasitet til å forvalte disse. Hungersnød finner sted ikke fordi det produseres for lite mat, men fordi fattige ikke har tilgang på mat gjennom egen produksjon eller handel (Sen 1981). Mangel på tilgang kan skyldes at en bonde er tvunget til å selge mesteparten av avlingen



Foto: Siri Eriksen

Lokal kunnskap om bevaring av skog kan bidra til lokal vekst samt binding av karbon, men slike lokale løsninger faller ofte utenfor både strategier for økonomisk vekst og klimatiltak.

for å betale gjeld eller skoleutgifter, eller at han/hun har få andre inntektskilder for å få kjøpt mat. Kapasitetsoppbygging innebærer for eksempel at fattige mennesker tilegner seg kunnskap til å organisere egne styringsfora for lokale naturressurser som land, skog og vann, samt å forholde seg til myndighetene og gjeldene regelverk. Videre kan kunnskapsutveksling bidra til at lokalkunnskap om ressursforvaltning kan styrkes gjennom teknologi utenfra og at lokal produksjon gjøres lønnsom gjennom markedstilgang.

Vekst

Spørsmålene omkring fattigdom og miljø har ofte blitt isolert og løsningene på disse

problemene lite direkte koblet til vekst. Miljødebatten fokuserer ofte på *problemene* forbundet med vekst, for eksempel at industrialisering og økt energibruk fører til utslipp av klimagasser og global oppvarming. Motsatt følger det at klimatiltak og reduserte utslipp kan gå utover økonomisk vekst og at gjennomføring av Kyotoprotokollen medfører reduksjon i BNP. Spesielt vil enkelte sektorer kunne tape, slik som kull, olje og gassutvinning samt energiintensiv industri og dette bidrar til at enkelte land, slik som USA, Canada og Australia forsøker å utsette tiltak (Tjernshaugen *Cicerone* 2-2002, Søfting *Cicerone* 2-2001).

Det finnes likevel eksempler på at

Siri Eriksen

er forsker ved CICERO Senter for klimaforskning
(siri.eriksen@cicero.uio.no).

klimatiltak vil kunne føre til vekst. Ifølge Kverndokk og Lorentsen (*Cicerone 2-2002*) betyr betydelige teknologiske framskritt de siste år, for eksempel i form av mer effektive vindturbiner, at det kan bli billigere å kutte utslipp enn først antatt. Enkelte studier har funnet potensial for økonomiske gevinster ved utslippsreduksjoner fordi klimatiltak kan gi tilleggsfordeler ved energieffektivisering og mindre luftforurensing.

Et resultat av splittelsen mellom miljø- og fattigdoms tiltak er at de fleste miljøtiltak, som for eksempel kravene i Kyotoprotokollen, er lite fokusert på fattigdom og ikke nødvendigvis ser miljø, vekst, fordeling og fattigdom i sammenheng. Miljøspørsmål som global oppvarming tilnærmes i liten grad gjennom de løsninger bærekraftig utvikling kan gi. Kolshus (*Cicerone 3-2001*) peker på at bærekraftig utvikling i Kyotoprotokollen og Klimakonvensjonen ikke er definert eller gjort til et eksplisitt kriterium. Man antar rett og slett at tiltak for å redusere utslipp bidrar til bærekraftig utvikling, og overlater til det enkelte vertslandet å sette standarder for bærekraftig utvikling. Den grønne utviklings mekanismen (CDM) i Kyotoprotokollen skal hjelpe u-land med å oppnå bærekraftig utvikling og bidra til utslippsreduksjoner for i-land. Men, som han påpeker: "Enkelte CDM-prosjekter kan for eksempel føre til redusert vann-tilgang og vannkvalitet, tap av biodiversitet eller større økonomiske skjjevheter mellom grupper av befolkningen". Dermed bidrar ikke CDM-tiltak nødvendigvis til en bærekraftig vekst selv om en del miljømål oppfylles.

Faller utenfor

Samtidig har tiltak for å bekjempe fattigdom og bedre de fattiges levkår i liten grad grepet fatt i hovedproblemet, som er at store deler av verdens befolkning er ekskludert fra den økonomiske veksten som nå finner sted i enkelte deler av verden. Verdensbanken har tatt til orde for *Poverty Reduction Strategy Papers*, der integrering i lokale markeder og økt eksport

er løsninger for økonomisk vekst. Deler av befolkningen i fattige land har ikke tilgang til disse markedene. De som faller utenfor er de lavt utdannede deler av befolkningen som ikke får ta del i investeringer fra multinasjonale selskaper, etablering av teknologibedrifter, eksportsektoren eller for den saks skyld CDM-prosjekter. I stedet vil enkelte kunne miste tilgang på landområder og ressurser tatt over av storskala treplanting eller et annet kommersielt prosjekt. Det er eksempler blant annet fra Kenya på at fattige landsbyboere bevarer og planter trær blant åkrene, ikke som ledd i CDM-prosjekt for å binde karbon, men fordi trærnes store bruksnytte for husholdningen (Tiffen *et al* 1994). Forskning og undervisning fokuserer nesten utelukkende på eksotiske plantearter, og disse artene anbefales derfor i praksis framfor lokale arter. Det er få mekanismer for styrking av kunnskap om lokale plantearter og skogforvaltning, eller for å utvikle teknologi for foredling av lokale produkter. Slik kunnskap kunne bedre markedstilgang for disse produktene og dermed sikre både skogplanting og tilgang til inntekt og økonomisk vekst for lokalbefolkningen.

Lokal kunnskap

Utviklingen av sesongvarsler ses på som et tiltak for å redusere afrikanske bønders sårbarhet for klimasvingninger. Det er stort sett bare kommersielle bønder som har kapasitet til å tolke informasjonen fra sesongvarslene og som har råd til å utnytte varselet ved å investere i for eksempel tørkebestandige kornarter. De fleste småbønder, derimot, utnytter lokalkunnskap om klima og tilpasningsmekanismer som ofte er meget tilpasset lokale forhold. Ved kunnskapsutveksling kunne de meteorologiske varslene og lokalkunnskap om klima og tilpasning oppgradere hverandre.

Lærdommen vi bør ta med oss til Johannesburg senere i år er at miljø- og fattigdomsproblemene bare kan løses dersom de ses i sammenheng. Helhetlige løsninger vil mest sannsynlig kunne finnes gjennom å styrke kapasiteten til å utvikle lokalt tilpasset



Foto: Siri Eriksen

Fattige landsbyboere i Kenya bevarer planter og trær blant åkrene, til stor bruksnytte for husholdningen.

og innovativ forvaltning av naturressurser som også sikrer tilgang på økonomisk vekst for flesteparten av befolkningen. Dette betyr mer lokalt tilpassede løsninger enn det CDM og andre klimatiltak for øyeblikket representerer. Klimatiltak kan bidra til vekst, og med noen justeringer, bærekraftig utvikling.

Referanser

- Sen, A.K. (1981) *Poverty and Famines: An Essay on Entitlement and Deprivation*, Oxford: Clarendon.
- Tiffen, M., Mortimore, M. and Gichuki, F. (1994) *More People, Less Erosion. Environmental Recovery in Kenya*, Nairobi: ACTS Press.

2002 nest varmest?

Det var varmt på jorda de fire første månedene av 2002, melder den amerikanske hav- og atmosfæreadministrasjonen NOAA. Bare en gang har denne årstiden vært varmere siden de verdensomspennende målingene startet i 1880. Januar i år satte temperaturrekord, det samme gjelder mars. Årets april og februar havner på andreplass. Alle de 72 siste månedene har vært varmere enn gjennomsnittet for samme måned i perioden 1971-2000. Tallene gjelder gjennomsnittstemperatur ved hav- og landoverflaten verden over.

Mer: <http://lwf.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/2002/perspectives.html>

Hvordan ville klimaet vært uten klimapanelet?

Arbeidsformen til FNs klimapanel (IPCC) avviker på flere måter fra tradisjonell vitenskapelig praksis. Nettopp derfor kan klimapanelet ha bidratt til bedre kommunikasjon mellom politikere og forskere.

Tuomo Saloranta og Jofrid Skarøhamar

For første gang i verdenshistorien tror vi mennesker at vi kan være i stand til å påvirke og forandre det globale klimaet på jorda. Hvordan skal vi så håndtere dette? Det er vanskelig å fatte beslutninger vedrørende en sak som er preget av motstridende interesser og der konsekvensene av beslutningene er store. Samtidig er det vitenskapelige faktagrunnlaget og forutsigelser om det komplekse klimasystemet beheftet med store usikkerheter (Rind 1999, IPCC 2001). Hvis drivhusgassene har så stor effekt som mange nå tror, er det viktig å redusere utslippene raskt. På den annen side er det kostbart å redusere utslippene, og det kan resultere i mindre lønnsomhet for bedrifter, som igjen kan påvirke økonomien, føre til færre arbeidsplasser osv. Hvis klimatiltakene da

viser seg å ikke ha noen virkning blir det som å kaste pengene ut av vinduet, penger som kunne vært brukt til andre viktige tiltak.

Postnormal vitenskap

Filosofene Silvio Funtowicz og Jerry Ravetz (Funtowicz & Ravetz, 1990, 1993; Ravetz, 1999) har foreslått at for bedre å kunne løse globale problemer av typen menneskeskapt klimaendringer, må en ny vitenskapelig tilnærming tas i bruk. Funtowicz og Ravetz kaller denne nye vitenskapsfilosofien, eller metodologien, for "postnormal vitenskap". Navnet "postnormal vitenskap" markerer skillet til tradisjonell forskning, det vitenskapsfilosofen Thomas Kuhn (1970) kalte "normalvitenskap".

Funtowicz og Ravetz foreslår to spesifikke kjennetegn for områder der postnormal vitenskap bør brukes: 1) usikkerhetene i systemene man studerer er høye og 2) meget viktige hensyn står på spill i saken og mange mennesker kan være berørt. Vi ser at klimaproblemet klart oppfyller begge kjennetegn. Andre eksempler er blant annet lagring av radioaktivt avfall og genmodifisering av organismer. Med usikkerhet mener man ikke bare *teknisk usikkerhet* (f.eks. feil-

marginer), men også andre former av usikkerhet, som *metodisk usikkerhet* (f.eks. usikkerheter tilknyttet klimaprosessenes matematiske formulering eller numeriske løsninger i en modell) og *epistemologisk usikkerhet* (f.eks. klimamodellers usikkerhet som stammer fra utelukkelse av viktige klimaprosesser som man ennå ikke er klar over; med andre ord, "vi vet ikke hva vi ikke vet").

Brudd i kommunikasjonen

Hvorfor er den tradisjonelle normalvitenskapen ikke lenger en tilstrekkelig metode i behandlingen av for eksempel klimaproblemet? En mangel er at bare forskere tradisjonelt tar del i vurderingen av det vitenskapelige faktagrunnlaget, og at forskerne dermed fremhever det vitenskapelige perspektivet som det eneste sanne og gyldige. Dette kan skape mistillit og brudd i kommunikasjonen mellom lekfolk (f.eks. politikere, bedriftsledere, bileiere, "mannen i gata", osv.) og forskere, noe som igjen hindrer effektiv problemløsning. En annen mangel er at man i normalvitenskap vanligvis antar at vitenskap er en verdifri sone og at kunnskap om tekniske usikkerheter alene er tilstrekkelig å basere beslutninger på. De andre formene for usikkerhet

Tuomo Saloranta

er forsker ved Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA).

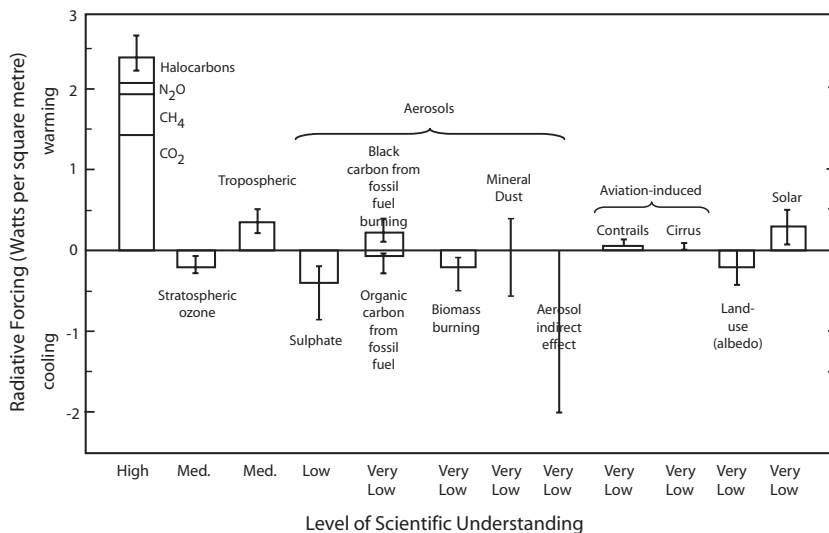
Jofrid Skarøhamar

er stipendiat i fysisk oseanografi ved Norges Fiskerihøgskole i Tromsø. Begge har i forbindelse med sine doktorgradstudier tatt kurs ved Senter for vitenskapsteori, Universitetet i Bergen.

ARTIKKELSERIE: Å handle ut fra usikker kunnskap

Det er betydelig vitenskapelig usikkerhet rundt klimaproblemet. Likevel må politikere og andre beslutningstakere vurdere hvilke tiltak som skal settes i verk. *Cicerone* vil i en serie artikler ta opp spørsmålet om hvordan man best handler ut fra usikker kunnskap. Dette er det femte bidraget i serien.

The global mean radiative forcing of the climate system for the year 2000, relative to 1750



Figur 1. IPCCs oversikt over strålingspådriv fra naturlige og menneskelige faktorer, med både teknisk usikkerhet (feilmarginene) og metodisk usikkerhet ("level of scientific understanding"). Fra *Climate Change 2001* (IPCC, 2001).

blir sjelden åpent diskutert og vurdert. Da kan viktige sider av saken bli oversett, og dermed øker uvitenheten.

I postnormal vitenskap innrømmes det derimot at det finnes flere gyldige perspektiver til en sak, og at alle som er involvert, både fag- og lekfolk, må kunne delta i dialogen for å kvalitets sikre en felles konklusjon på vitenskapelig grunnlag. I postnormal vitenskap legges det også vekt på bedre håndtering og tettere kommunisering av alle typer usikkerheter.

Postnormal vitenskap er ikke en totalt ny form for vitenskap. I postnormal vitenskap blir de tradisjonelle vitenskapelige metodene supplert med bedre håndtering av usikkerhetene og med en mer åpen deltagelse gjennom såkalte "extended peer communities" – utvidete fellesskap av både fag- og lekfolk.

Klimapanelet

Siden klimaproblemet tilhører det "postnormale" området, kan man spørre hvordan situasjonen er i praksis, spesielt i forbindelse med arbeidet til FN's klimapanel (IPCC). Finnes det elementer av postnormal vitenskap i IPCC? Følgende eksempler viser at IPCC faktisk ser ut til å være et nokså godt eksempel på postnormal vitenskap i praksis

(Saloranta 2001).

IPCC utgir rundt hvert femte år sine hovedrapporter (Assessment Reports). Den tredje hovedrapporten, *Climate Change 2001*, kom i fjor. Første bind, som er utarbeidet av klimapanelets Arbeidsgruppe 1, fokuserer på det naturvitenskapelige grunnlaget for diskusjonen om klimaendringer. Rapportene fra Arbeidsgruppe 1 har høy troverdighet, og spesielt de to sammendragene, "Technical Summary" og "Summary for Policymakers", er blitt standard referanser både blant klimaforskere og politikere. I løpet av prosessen som førte til utgivelsen av denne rapporten inviterte IPCC flere hundre kritikere fra mange forskjellige hold, både fra vitenskapelige institutter, regjeringer og ikke-statlige organisasjoner (for eksempel oljeselskaper og miljøorganisasjoner), til å vurdere de vitenskapelige resultatene fra klimaforskere. IPCC tok stilling til de forskjellige meningene fra involverte parter og utarbeidet i den tredje hovedrapporten en mer eller mindre balansert syntese som ble endelig akseptert i Shanghai i Januar 2001. I denne prosessen kan man se postnormal utvidet deltagelse (extended peer community) i praksis.

Et annet element i postnormal vitenskap er aktiv hånd-

tering av usikkerheter. Figur 1 (fra *Climate Change 2001*), som presenterer forskjellige faktorer virkning på det globale klimaet, viser i tillegg til verdier for strålingspådriv og teknisk usikkerhet også metodisk usikkerhet, i form av vitenskapsfolks vurdering av hvor mye man kan stole på disse resultatene. IPCC kommuniserer også noen epistemologiske usikkerheter i *Climate Change 2001*, for eksempel når muligheten for store "overraskelser" (raske, uventede og irreversible endringer i klimasystemet) blir diskutert.

Hardere klima?

Det internasjonale klimapanelet IPCC kan sees på som en "postnormal megler" som skaper dialog mellom klimaforskere, politikere og andre involverte (f.eks. Skodvin, 2000), og som bedre enn forsker miljøer generelt tar vare på og kommuniserer forskjellige typer av usikkerheter. IPCC bidrar dermed til bedre felles forståelse og en mer effektiv behandling av klimaendringsproblemet. Man kan derfor spekulere i om klimaet mellom klimaforskere og verdenssamfunnet ville vært enda hardere uten IPCC, og at dette muligens kunne bidratt til større klimaendringer.

Referanser

- Funtowicz, S. O. and Ravetz, J. R.: 1990, 'Uncertainty and quality in science for policy', Kluwer, Dordrecht, 229 pp.
- Funtowicz, S. O. and Ravetz, J. R.: 1993, 'Science for the postnormal age', *Futures* 25, 739-755.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change): 2001, 'Climate Change 2001: The scientific basis', edited by J. T. Houghton et al., Cambridge University Press, UK, 944 pp.
- Kuhn, T. S.: 1970 [1996], 'The structure of scientific revolutions', 3rd ed., Univ. of Chicago Press, 212 pp.
- Ravetz, J. R.: 1999, 'What is Postnormal Science', *Futures* 31, 647-654.
- Rind, D.: 1999, 'Complexity and climate', *Science* 284, 105-107.
- Saloranta, T. M.: 2001, 'Postnormal Science and the global climate change issue', *Climatic Change* 50, 395-404.
- Skodvin, Tora, 2000. *Structure and agent in the scientific diplomacy of climate change: An empirical case study of science-policy interaction in the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Kluwer Academic Publishers.

Klar for nytt steg i CO₂-håndtering

Etter å ha forsket på CO₂-håndtering i ti år, ønsker Kværner å teste sin teknologi i et demonstrasjonsanlegg som i beste fall kan stå klar om to år.

Ivar Areklett

Kværner begynte å jobbe med rensing av eksos i 1992 som et resultat av at det ble innført CO₂-skatt offshore. I samarbeid med oljeselskaper var målsetningen å komme frem til teknologiske løsninger som ville innebære reduserte utslipp og dermed redusert skatt.

- Vi startet ganske bredt med å studere ulike metoder innen CO₂-fangning. Både avkarbonisering før forbrenning og brenning i oksygen var blant teknologiene som ble vurdert. Den løsningen vi etter hvert valgte å satse på var avkarbonisering etter forbrenning basert på å vaske eksosen i aminløsninger, forteller Olav Falk-Pedersen ved Kværner Process Systems.

Basisideen er skissert i figur 1. Et rør er delt med en membran. På den ene siden av membranen renner en absorpsjonsvæske, som er en aminløsning. På den andre siden av membranen stiger eksosen opp.

Membranen slipper igjennom CO₂, som dermed slipper inn til aminløsningen der den fanges opp og blir tatt vare på.

På denne måten blir det meste av CO₂-en fanget opp av eksosen før den slippes ut i atmosfæren.

- Gjennom de årene som er gått har vi stadig jobbet med å forbedre denne teknologien. Vi har prøvd ut forskjellige membraner og aminløsninger, og vi har jobbet med å få komponentene mer kompakte. En indikasjon på utviklingen er at dagens skisse av anlegget har 65-75 prosent mindre vekt enn den første, sier Falk-Pedersen.

Mange år igjen

Selv om Kværner har jobbet med CO₂-fangning i ti år, og nå har kommet frem til teknologiske løsninger de er fornøyde med, er det ennå langt frem til det første CO₂-frie gasskraftanlegget kan stå på plass. Til tross for grundig testing i både laboratorieanlegg og pilotanlegg står nå et demonstrasjonslegg

for tur. Det skal bli det tredje og siste mellomleddet før man er klar for et fullskalaanlegg. Falk-Pedersen understreker at det er nødvendig å gå så mange trinn.

- De forskjellige anleggene har hver sin funksjon. Laboratorieanlegget, som står på Gløshaugen i Trondheim og er bygget i samarbeid med SINTEF Kjemi, er en akademisk lekegrind der vi lett kan bytte ut enkeltdeler av teknologien og måle hvilken effekt det har. For vår del var det viktig å teste ut ulike absorpsjonskjemikalier og ulike varianter av membrankontakten.

- Neste steg var å bygge et pilotanlegg. Her har vi ikke samme mulighet til å prøve ut nye ting, men vi fikk skalert opp enhetene og ser hvilken effekt dette gir. Den viktigste endringen er imidlertid at vi bruker reelle gasser. Der vi i labanlegget bruker luft med ekstra tilsetninger av CO₂, så har vi i pilotanlegget eksosgasser fra forbrenning av naturgass. Pilotanlegget står på Kårstø og er bygget i samarbeid med Statoil, Hydro, BP og KLIMATEK.

(Teknologi for reduksjon av klimagassutslipp)

KLIMATEK er et brukerstyrt teknologiprogram i regi av Norges Forskningsråd, Området for Industri og Energi (IE). KLIMATEKs hovedmål er å bidra til økt bruk av teknologi som reduserer utslippet av klimagasser. KLIMATEK har en varighet på 5 år og et totalt budsjett på 612 millioner kroner. Programmet startet i 1997.

KLIMATEK er et resultat av et initiativ fra Miljøverndepartementet, Olje- og energidepartementet og Nærings- og handelsdepartementet. KLIMATEK har sitt programsekretariat ved Christian Michelsen Research AS i Bergen.

KLIMATEK har inngått en avtale med CICERO Senter for klimaforskning om å informere om programmet i samarbeid. KLIMATEK vil jevnlig ha egne sider i *Cicerone*.

Ansvarlig for sidene er KLIMATEKs programkoordinator Hans-Roar Sørheim. Artikkelen over er skrevet av Ivar Areklett ved CICERO, på oppdrag fra KLIMATEK.

Mer om programmet: www.program.forskningsradet.no/klimatek/

- Neste mål er et demonstrasjonsanlegg. Mens et fullskala gasskraftanlegg gjerne er på 350 Megawatt (MW), tenker vi oss at et demonstrasjonsanlegg vil ligge et sted mellom 10 og 20 MW. I et demonstrasjonsanlegg vil vi likevel få testet ut teknologien slik det vil fortone seg i et fullskalaanlegg. I et fullskalaanlegg vil renseordningen være bygget opp av mange deler, som ved legoklosser. Her får vi testet en slik komponent i full skala. Dette er viktig, for at vi skal kunne gå ut med garantier for levetid og effektivitet, forklarer Falk-Pedersen.

Kværner jobber nå med å få til et slikt demonstrasjonsanlegg på Kårstø i samarbeid med Statoil. Hvis avtalen går i orden, kan demonstrasjonsanlegget stå klar om to år. Deretter følger minst ett år med kjøring av dette før de eventuelt er klar til å designe og bygge et stort anlegg. Falk-Pedersen antar at et fullskalaanlegg med CO₂-fri gasskraft vil være oppe og gå mellom 2008 og 2010.

Plass til alle

Selv om det er mange som forsker på gasskraftverk med reduserte CO₂-utslipp er ikke Falk-Pedersen redd for at Kværner skal tape konkurransen.

- Når markedet først er klar for gasskraftverk med reduserte CO₂-utslipp vil det være plass til mange ulike teknologier. Forskjellige forutsetninger gjør at de ulike gasskraftutbyggere vil foretrekke forskjellig teknologi. For vår del vil et av fortrinnene være at renseteknologien lett

Kværners pilotanlegg for CO₂-håndtering er plassert på Statoils K-Lab på Kårstø.



Foto: Karl Henrik Pedersen

kan etterinstalleres. I og med at vi renser eksosen, er ikke CO₂-fangingen direkte knyttet til kraftproduksjonen, og vi kan derfor installere CO₂-rensingen etter at kraftverket er kommet i drift. Dessuten regner vi med at våre kompakte, og dermed små, enheter vil hjelpe oss å være konkurransedyktige både når det gjelder installeringstid og kostnader.

Kværner satser bredt innen rensing av gasser. Membranteknologien som renser eksos for CO₂ er også aktuell for

tilstøtende anvendelsesområder. En av dem handler om å tørke naturgassen. For når man henter opp naturgass er det ikke ren metan. Opp av hullet i bakken kommer en blanding av blant annet metan, vann, karbondioksid og hydrogensulfid (H₂S). Før den kan brennes må den renses, og der kan Kværners teknologi brukes. På den måten kan et selskap som ønsker å lage kraft av naturgass bruke Kværners teknologi både før og etter forbrenning.

Internasjonalt samarbeid

CO₂ Capture Programme (CCP) er et stort forskningssamarbeid mellom åtte internasjonale energiselskap. Samarbeidet innen CCP har gitt uventede innspill til Kværners prosjekt.

- Mens vi i flere år har jobbet med membranteknologien, så har Mitsubishi Motors i Japan svært lovende resultater på kjemikaliesiden. De har i ti år jobbet for å utvikle og optimalisere aminløsninger, og den løsningen de har kommet frem til innebærer mindre energiforbruk, mindre tap av absorpsjonskjemikalier og mindre spesialavfall enn annen teknologi på området. Oljeselskapene i CCP syntes derfor det ville være interessant å kombinere disse to komponentene. Vår membrankontakt med deres absorpsjonsmiddel.

Idé ble til handling. Kværner reiste over til Japan med sin membrankontakt i kofferten. Denne ble installert i Mitsubishis pilotanlegg og kjørt i januar og februar i år.

- Resultatene skal evalueres utover våren, men foreløpig ser det lovende ut, sier Falk-Pedersen.

Figur 1: Ved hjelp av en membran og en absorpsjonsvæske blir det meste av CO₂-en fra eksosen fanget opp før den slippes ut i atmosfæren. (Kilde: Kværner/Gore)

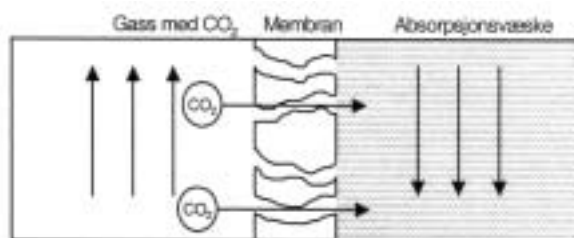


Foto: Ivar Areklett

Olav Falk-Pedersen ved Kværner Process Systems.



KlimaProg

Forskningsprogram om klima og klimaendringer

<http://program.forskningsradet.no/klimaprog/>

Dypvannsdannelse i ny form

Det er en utbredt oppfatning at dypvannsdannelse i Grønlandshavet ikke har funnet sted siden sent på 1980-tallet. Nyere observasjoner tyder på at denne viktige komponenten i klimasystemet stadig er virksom, men nå i en annen form enn den som tradisjonelt har vært knyttet til dypvannsdannelse.

**Tor Eldevik, Helge Drange og
Solfrid Sætre Hjøllo**

NOClim

Dypvannsdannelse antas å være en av motorene i verdenshavens storstilte sirkulasjonssystem, og endringer i denne dannelsen kan derfor ha konsekvenser for det globale klimasystemet. Nytt dypvann genereres bare i noen få havområder. Blant disse er De nordiske hav, og da i særlig grad Grønlandshavet. Det er derfor viktig å observere og forstå dypvannsdannelsen i Grønlandshavet. Økt kunnskap om denne prosessen er

således en av forutsetningene for bedre å kunne forutsi mulige endringer av vårt klimasystem ettersom den globale oppvarmingen fortsetter.

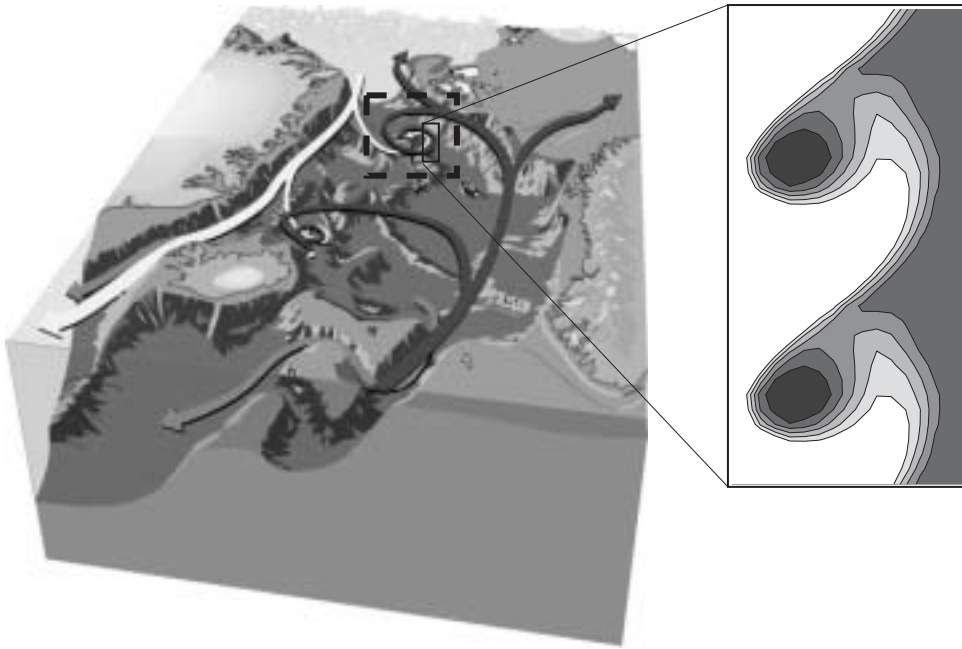
Dypvannsdannelse før og nå

Tettheten til havets overflate lag øker ved nedkjøling. Når tettheten overstiger den til de underliggende vannmassene, synker overflatevannet. Dette kalles konveksjon. Jo svakere tetthetsøkningen er med dypet, jo dypere vil overflatevannet synke for en gitt nedkjøling. Ved tilstrekkelig nedkjøling blir resultatet nytt dypvann. Det er denne prosessen som kalles dypvannsdannelse.

I Grønlandshavet møter det relativt varme vannet i den nordgående Atlanterhavsstrømmen kaldere vann fra Polhavet. Dette er skissert i figur 1. Disse to vannmassene danner, i vekselvirkning med hverandre og under innflytelse av jordrotasjonen og bunntopografien, en stor strømvirvel i den sentrale delen av bassenget. Strømvirvelens indre består av vannmasser som er relativt godt blandet vertikalt (svakt stratifisert), mens dens yttergrense er definert ved overgangen til vesentlig mer lagdelt (stratifisert) atlantisk vann. I den tradisjonelle beskrivelsen av dypvannsdannelse vil hele det indre

KlimaProg-Forskningsprogram om klima og klimaendringer (2002-2011) dekker naturvitenskapelig forskning som sikter på å øke forståelsen av klimasystemet og klimaendringer. Programmet hører inn under Norges forskningsråd og finansierer blant annet de store, koordinerte forskningsprosjektene COZUV, NOClim, NORPAST og RegClim.

KlimaProg har sin egen redaksjon for å informere om forskningen i samarbeid med CICERO Senter for klimaforskning, og har egne sider i hvert nummer av tidsskriftet *Cicerone*.



Figur 1. En oversikt over sirkulasjonen i De nordiske hav (ESOP2 1999). Den stiplete boksen angir den sentrale delen av Grønlandshavet hvor dypvannsdannelse finner sted. Virvlene til høyre er lokal instabilitet fra et numerisk eksperiment.

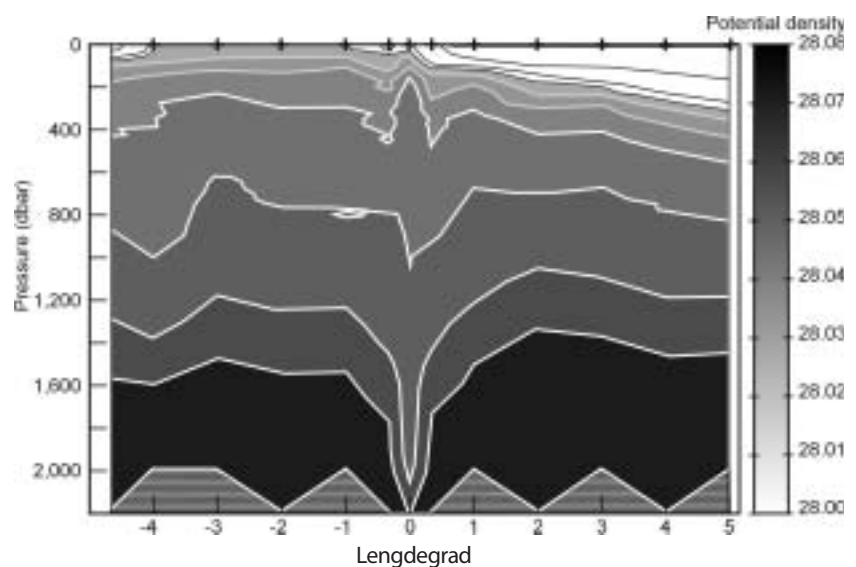
området, med en diameter på mellom 100 og 200 km, omveltes ved sterk nedkjøling av overflaten, og dermed ventilere vannmassene i Grønlandshavet til store dyp. Sist dette ble observert var vinteren 1988/1989. Det virker ikke som den nødvendige kombinasjonen av svak stratifisering og kraftig nedkjøling har vært til stede i tilstrekkelig grad siden den gang. Dette har resultert i den allmenne oppfatningen at dypvannsdannelsen i Grønlandshavet har stoppet opp.

I siste halvdel av nittitallet ble det gjort en rekke observasjoner i det sentrale Grønlandsbassenget, som en del av det europeiske prosjektet European Subpolar Ocean Program 2 (ESOP2 1999). Et av ESOP2-gruppens hovedfunn var at dypvannsdannelse sannsynligvis stadig finner sted, men nå knyttet til mindre, langstrakte og intenst roterende virvler på den store strømvirvelens ytterkant. Figur 2 viser typisk tetthetsstruktur i det sentrale Grønlandshavet, der en slik "snurrebass" er synlig midt i figuren. Den ca 2 km dype og ca 10 km brede kjernen av snurrebassen kan med stor sikkerhet tolkes som en signatur av konveksjon (enten tidligere eller pågående). Forskerne bak disse observasjonene publiserte nylig sine funn i *Nature* (Gascard m.fl. 2002).

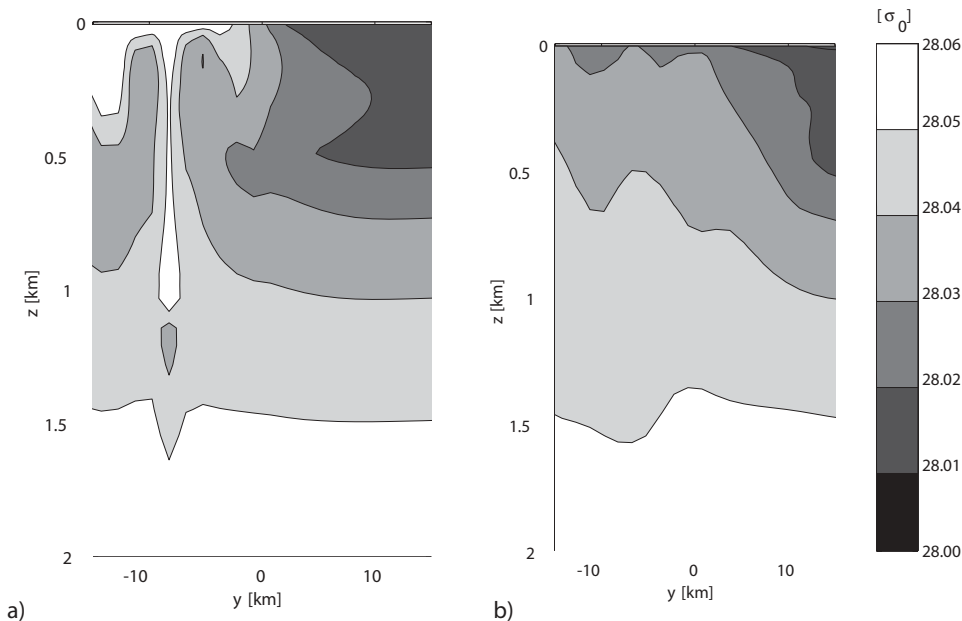
Jeopardy – vi har observasjonene, du gir forklaringen
Som i Jeopardy, er "svaret" (observasjonsmaterialet) nå gitt. Dypvannsdannelse

finner stadig sted, men i en utradisjonell form. Videre innsikt krever et egnet "spørsmål", en konseptuell modell for snurrebassene som forklarer denne alternative formen for ventilasjon. Dette jobbes det med som en del av NOClim og det parallelle EU-prosjektet TRACTOR.

Strømningsmønstrene i atmosfæren har ofte en dynamisk parallell i havet. Lavtrykk med sterke vinder oppstår som følge av en instabilitet i overgangen mellom to luftmasser med forskjellig temperatur (fronter). På tilsvarende måte vil virvler hyppig bli generert på randen av



Figur 2. Vertikal tetthetsstruktur i det sentrale Grønlandsbassenget observert fra forskningsfartøyet Johan Hjort i mai 1997. Merk hvordan en snurrebass befinner seg i overgangen mellom svakt og mer lagdelte vannmasser. (Fra Gascard m. fl. 2001). Hentet fra http://www.nature.com/nature/journal/v416/n6880/fig_tab/416525a_F3.html.



Figur 3. To øyeblikksbilder av tetthet fra datasimuleringene. I venstre halvdel av 3a) sees nedsynking av tungt overflatevann, og i 3b) sluttresultatet: en etablert snurrebass i samme område.

den store strømvirvelen i Grønlandshavet, hvor vi finner en overgang mellom kalde og varmere vannmasser. Mens horisontal utstrekning på lavtrykk gjerne er et par tusen km, gir teoretiske argument at virvlene i Grønlandshavet vil ha en diameter som de konvektive snurrebassene. På samme måte som lavtrykkene er svakere stratifisert enn omgivelsene i nedre del av troposfæren, er snurrebassenes kjerne ved overflaten svakere stratifisert enn omgivelsene.

På grunnlag av dette postulerer vi følgende forklaringsmodell for dagens konveksjonsregime: Overgangen, eller fronten, mellom de to karakteristiske vannmassene i bassenget er en vedvarende kilde til instabilitet som gir virvler. Et resultat er svakt stratifiserte virvler med horisontal utstrekning som tilsvarer de observerte snurrebassene. Når nedkjøling av overflaten finner sted, vil virvlene være mer eksponert for konveksjon enn sine omgivelser. Ved tilstrekkelig varmetap virker virvlene som en "konvektiv leder", der den svake stratifiseringen gjør at avkjølt (tyngre) vann lett kan synke ned. En snurrebass er resultatet. (Dette er analogt til at oppvarming av atmosfæren fra overflaten, ofte fra varmt hav, gir konveksjon og byger i lavtrykk). Prosessen kan sies å svare til en mer lokal og

mindre energikrevende utgave av den tradisjonelle beskrivelsen av dypvannsdannelse.

En måte å teste denne forklaringen på er gjennom eksperimenter med numeriske modeller som simulerer havets bevegelse på superdatamaskiner. Vi har gjort en rekke slike simuleringer. De foreløpige resultatene er lovende. Virvler med den søkte skala skapes langs fronten (figur 1). Når virvlene utsettes for nedkjøling ved overflaten, starter konveksjon med tilhørende strekking av vannmasser. Noen dager etter at nedkjølingen har opphørt, dukker snurrebasser opp i eksperimentene. Øyeblikksbilder av tetthetsfelt fra en slik modellkjøring er vist i figur 3. Merk at horisontalskala må komprimeres med en faktor 10 for å være sammenlignbar med figur 2. Nedsynking av tungt overflatevann (lys farge på figur 3a) fører til at en snurrebass med de ønskede karakteristika er etablert i samme område (figur 3b). Så mange som ti snurrebasser er blitt observert samtidig. Hvis en antar at minst 10 snurrebasser med en levetid på 1 år eksisterer, vil det minst dannes 50 tusen kubikkmeter dypvann per sekund på denne måten. Historiske anslag for dypvannsdannelse i Grønlandshavet er ca. 350 tusen kubikkmeter per sekund (Anderson m fl 2000).

Fra snurrebass til ventilering av dyphavet?

Vi har over presentert en alternativ prosess for dypvannsdannelse i Grønlandshavet basert på observasjoner og en enkel forklaringsmodell, der sistnevnte støttes opp av datasimuleringer. Men har vi strengt tatt påvist dyphavsventilering? Snurrebassene inneholder *potensielt* nytt dypvann, men ventilering av det større systemet, det vil si Grønlandshavet, skjer først når en snurrebass oppløses. Oppløsning vil utvilsomt finne sted, men når og hvordan er uvisst. Det har en til gode å observere både i måledata og simuleringer. Først når snurrebassenes blanding med omgivelsene er tilfredsstillende beskrevet, har vi en helhetlig forståelse av deres rolle i dypvannsdannelsen og ventileringen.

Referanser

- Anderson, L.G., Chierici, M., Fogelqvist, E. and Johannessen, T., 2000: Flux of anthropogenic carbon into the deep Greenland Sea. *Journ. of Geoph. Research*, **105**, 14339-14345.
- ESOP2-gruppen, 1999: The thermohaline circulation in the Greenland Sea, *ESOP2/MAST3 Final scientific report*. Universitetet i Bergen (se også <http://www.smr.uib.no/>).
- Gascard, J.C., Watson, A.J., Messias, M.J., Olsson, K. A., Johannessen, T. and Simonsen, K., 2002: Long-lived vortices as a mode of deep ventilation in the Greenland Sea. *Nature* **416**, 525-527.

Tor Eldevik

er forsker ved G. C. Rieber Klimainstitutt ved Nansen senter for miljø og fjernmåling, og arbeider innenfor NOClim med prosesser knyttet til dyphavsventilering.

Helge Drange

er forskningsdirektør ved G. C. Rieber Klimainstitutt ved Nansen senter for miljø og fjernmåling, og er i NOClim leder for undersøkelsene av dyphavsventileringen.

Solfrid Sætre Hjøllo

er forsker ved Bjerknes senter for klimaforskning, og fagsekretær i NOClim.

Variabelt klima siste 1000 år

Ny forskning viser at klimaet de siste tusen årene har vært mer variabelt og ikke så regionalt ensartet som tidligere antydte.

Atle Nesje og Svein Olaf Dahl

NORPAST

Den konvensjonelle oppfatningen av klimautviklingen gjennom de siste tusen år har vært at det var en mild periode i Middelalderen, en kjølig periode under den såkalte lille istid, etterfulgt av global oppvarming, spesielt på slutten av 1900-tallet. Denne oppfatningen av klimautviklingen i Middelalderen og under den lille istid har hovedsakelig vært basert på Lamb sine publikasjoner fra 1960- og 70-tallet, der han bygger sine rekonstruksjoner på vær- og klimadata fra Vest-Europa og den nordatlantiske regionen. Klimarekonstruksjoner publi-

sert de senere årene har imidlertid ført til at det har blitt stilt spørsmålsteget ved om klimautviklingen var slik som tidligere antydte. Den nye oppfatningen, diskutert av R. S. Bradley i *Pages Newsletter* i 2000, går ut på at klimaet de siste tusen årene var mer variabelt og ikke så regionalt ensartet som tidligere antydte.

Utfra Lambs rekonstruksjoner var Middelalderen en periode med mildt klima (Figur 1). I en sammenstillings- og diskusjons-artikkel publisert i 1996 fant imidlertid ikke Hughes og Diaz klare bevis for en langvarig, og globalt sett, varm periode i Middelalderen. Crowley og Lowery (2000) fant heller ingen sikre bevis for en høyere temperatur i

Middelalderen enn på 1900-tallet, verken globalt eller på den nordlige halvkule. Det var imidlertid betydelige nedbørs-anomalier under Middelalderen og i flere områder, spesielt i Nordamerika, var det tørkeperioder som var mer fremtredende enn i seinere perioder med instrumentelle målinger.

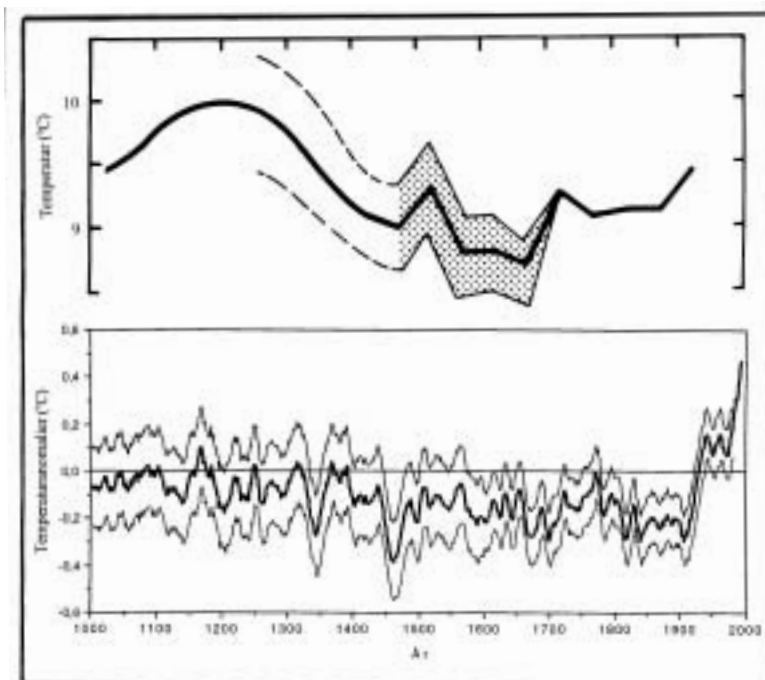
En rekke studier har vist at klimaet var kjøligere og at breene vokste i perioden etter Middelalderen, en periode kalt den lille istid. På grunn av regionale forskjeller i klimautviklingen har det imidlertid vært vanskelig å definere starten og slutten av den lille istid (Grove, 2001). Tradisjonelt har perioden fra omtrent 1550 til 1880 vært benyttet. Det er imidlertid data som tyder på kjølig klima også tidligere, rundt 1350 og 1450. De fleste skandinaviske breene var på sitt største på midten av 1700-tallet. Data viser imidlertid at noen breer i Skandinavia, f.eks. Folgefonna nådde sin største utbredelse på 1890-tallet og kanskje så sent som på 1940-tallet. I Alpene var flesteparten av breene på sitt største på midten av 1800-tallet.

Rekonstruksjoner av gjennomsnittlig årstemperatur for den nordlige halvkule gjennom de siste tusen år (Fig. 1) viser ikke en markert avkjøling under den lille istid, men en gradvis avkjøling fram til omtrent 1900. Det var også betydelige regionale temperaturforskjeller gjennom den såkalte lille istid. Flere temperatur-rekonstruksjoner fra ulike klima-arkiv (treringer, koraller, varvige sedimenter, iskjerner, breer, historiske data m.m.) viser at mens noen regioner opplevde mildt klima, var andre kjølige. Dette gjelder både sesongmessige og årlige variasjoner. Sett under ett var imidlertid perioden som har blitt kalt den lille istid en av de kaldeste periodene i løpet av de 10-11,000 årene som har gått siden siste istid.

Referanser

- Bradley, R.S. 2000. *Pages Newsletter* 8, 2-3.

Figur 1. Øverst: Gjennomsnittlig årstemperatur i Midt-England gjennom de siste tusen år. Modifisert etter Lamb (1995). Nederst: Gjennomsnittlig årstemperatur på den nordlige halvkule basert på data publisert av Mann m fl. (1998) og Crowley og Lowery (2000). Usikkerheten i begge datasettene er vist.



- Crowley, T.J. og Lowery, T.S. 2000. *Ambio* **29**, 51-54.
- Grove, J.M. 1988. *The Little Ice Age*. Methuen.
- Grove, J.M. 2001. *Climatic Change* **48**, 53-82.
- Hughes, M.K. og Diaz, H.F. 1994. *Climatic Change* **26**, 109-142.
- Lamb, H.H. 1963. On the nature of certain climatic epochs which differed from the modern (1900-39) normal. I: *Changes of Climate* (Proceedings of the WMO-UNESCO Rome 1961 Symposium on Changes of Climate), UNESCO Arid Zone Research Series XX. UNESCO, Paris, 125-150.
- Lamb, H.H. 1965. The early medieval warm epoch and its sequel. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **1**, 13-37.
- Lamb, H.H. 1977. *Climate: present, past and future 2, Climatic history and the future*. London, Methuen.
- Lamb, H.H. 1995. *Climate History and the Modern World*. 2. utgave. Routledge.
- Mann, M.E., Bradley, R.S. og Hughes, M.K. 1998. *Nature* **392**, 779-787.
- Mann, M.E., Bradley, R.S. og Hughes, M.K. 1999. *Geophysical Research Letters* **26**, 759-762.

Atle Nesje

(atle.nesje@geol.uib.no) er professor i kvartægeologi ved Geologisk institutt, Universitetet i Bergen og med i styringsgruppen i NORPAST.

Svein Olaf Dahl

(svein.dahl@geog.uib.no) er førsteamanuensis i naturgeografi ved Institutt for geografi, Universitetet i Bergen.

Den lille istid – bare temperatur?

Man har tatt det for gitt at hovedårsaken til brefremstøtene i Skandinavia under den lille istid var lavere sommertemperatur. Kan imidlertid den store breveksten på begynnelsen av 1700-tallet skyldes stor vinternedbør?

Atle Nesje og Svein Olaf Dahl

NORPAST

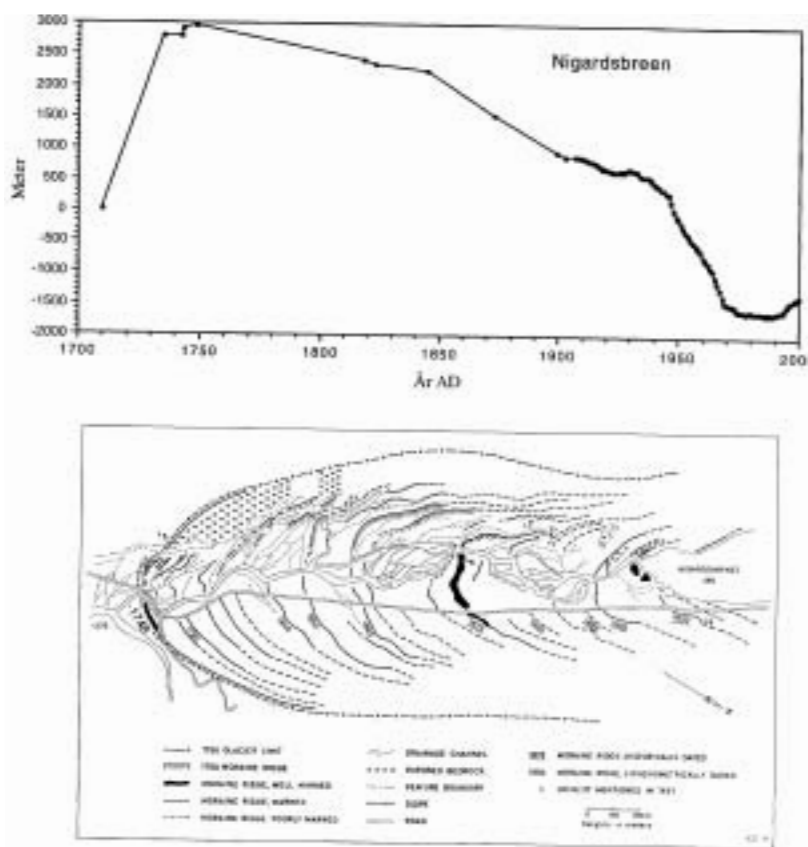
En rekke studier har vist at klimaet var kjøligere og at breene rundt om i verden vokste kraftig under den lille istid. I Norge har vi gode eksempler på dette. Både historiske kilder og nyere brefrontmålinger viser hvordan Nigardsbreen varierte i størrelse fra tidlig på 1700-tallet og fram til i dag (Figur 1). Mellom 1710 og 1735 rykket breen fram hele 2,8 kilometer, noe som gir et gjennomsnittlig årlig fremrykk på omtrent 110 meter. Mellom 1735 og maksimumsposisjon i 1748 rykket breen fram ytterligere 150 meter. Morenerykkene som breen etterlot seg under den påfølgende tilbaketrekningen (Figur 1) er datert både ved hjelp av historiske opplysninger, lichenometri (aldersbestemmelse ved hjelp av diameteren på kartlav) og fotogrammetri (undersøkelser

ved hjelp av flyfoto). Et viktig spørsmål er om den store breveksten mellom 1710 og 1748 skyldtes lavere sommertemperatur, mer vinternedbør eller en kombinasjon av disse.

Studier tyder på at Nigardsbreens front bruker omkring 20 år på å reagere på endringer i massebalansen (forholdet mellom tilførsel til breen gjennom nedbør og tap gjennom smelting, se Cicerone 2-2002). Den årlige nettobalansen på Nigardsbreen har siden de årlige massebalansemålingene startet på begynnelsen av 1960-tallet, vært sterkt influert av vinterbalansen og dermed den nord-atlantiske oscillasjonen (NAO, se ramme) (Figur 2). På 1990-tallet var det flere år med høy vinternedbør (positiv NAO-indeks) som førte til høy vinterbalanse. Dette resulterte i at Briksdalsbreen rykket fram hele 80 meter i 1994, noe som er det største framstøtet vi kjenner til på ett enkelt år i nyere tid. På 1990-tallet rykket

Briksdalsbreen fram til sammen omtrent 320 meter.

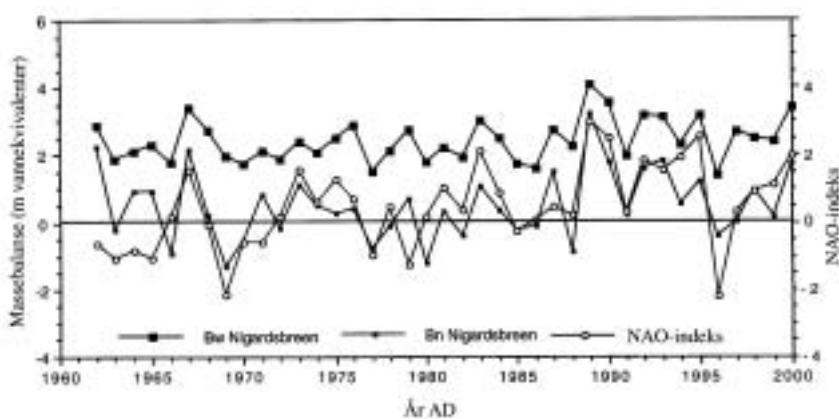
En sammenlikning mellom observert lufttemperatur i Bergen og i Midt-England (NCEP-data) gjennom vinteren (desember-mars), viser en høy korrelasjon ($r = 0,8$) (Tore Furevik, personlig meddelelse). Dette betyr at en temperaturserie fra Midt-England som går tilbake til 1659 kan benyttes til å teste om det betydelige brefremstøtet til Nigardsbreen skyldtes lavere sommertemperatur og/eller høyere vinternedbør. De mange kalde vintrene på slutten av 1600- og tidlig på 1700-tallet, da elva Themsen og nederlandske kanaler frøs til, kommer tydelig fram i temperaturserien fra Midt-England. Vintertemperaturene (desember-mars) i Midt-England har en høy samvariasjon ($r = 0,74$) med NAO-indeksen tilbake til 1820-tallet. Dette indikerer at vintertemperaturen fra Midt-England gir en pekepinn på hvordan vinterklimaet har vært i Nordvest-Europa



Figur 1. Øverst: Frontvariasjonene til Nigardsbreen i historisk tid (basert på Østrem m fl., 1977 og NVE). Nederst: Randmorene foran Nigardsbreen viser mindre fremrykk og stillstandsperioder under den generelle tilbaketrekningen etter den lille istids maksimum i 1748 (etter Andersen og Sollid, 1971).

tilbake til 1650-tallet. I Norge finnes det ikke instrumentelle sommertemperaturdata som går så langt tilbake at de kan benyttes til å vurdere forholdene under den lille istid. Det er imidlertid ingen av dataseriene i Figur 3 som tyder på at somrene i første halvdel av 1700-tallet var så kalde at de alene kan forklare det

store brefremstøtet på Nigardsbreen. De tre temperaturseriene viser en generell økning i sommertemperaturen på begynnelsen av 1700-tallet. Vintertemperaturen i serien fra Midt-England viser imidlertid en betydelig og langvarig trend mot høyere vintertemperatur gjennom første halvdel av 1700-tallet (Figur 4). Dette



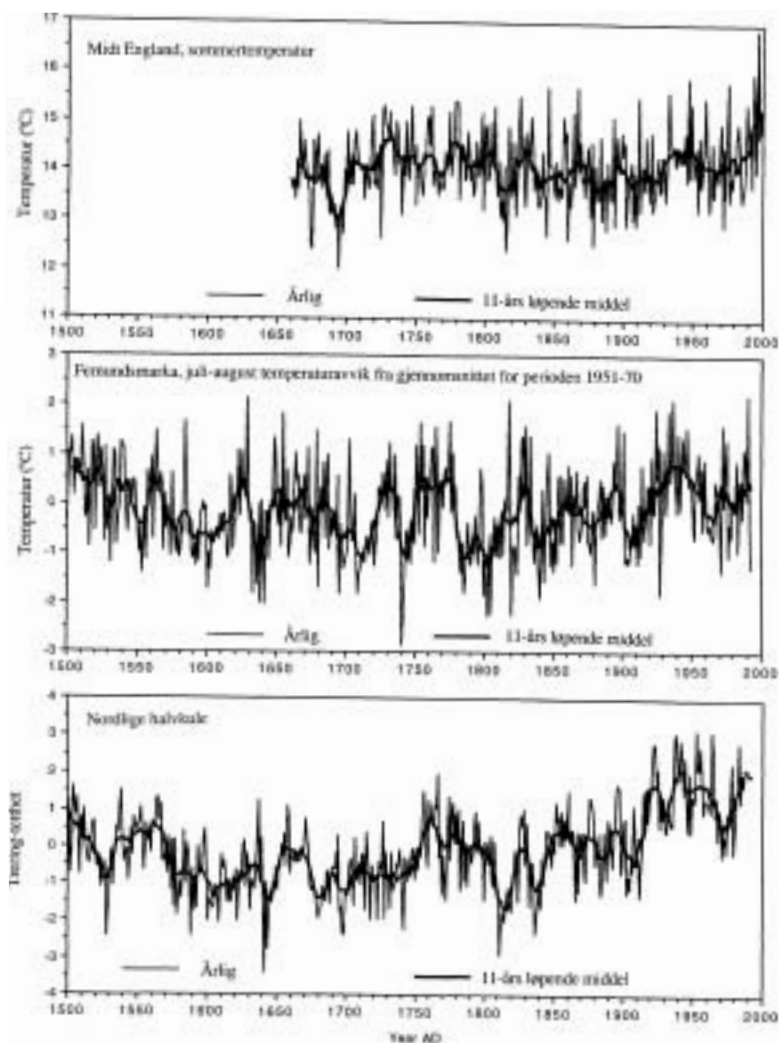
Figur 2. Øverst: Det er godt samsvar mellom både vinterbalansen (Bw) og nettobalansen (Bn) for Nigardsbreen og NAO-indeksen (desember-mars). (Data bygger på Kjøllmoen, 1998 og Jones m fl., 1997 med senere oppdateringer).

Den nordatlantiske oscillasjonen - NAO

Vinterværet i den nordatlantiske regionen er vanligvis karakterisert av en sterk østlig luftstrøm mellom et lavtrykk ved Island og et høytrykk i nærheten av Azorene. En NAO-indeks er basert på differansen mellom det normaliserte lufttrykket på en sørlig meteorologisk stasjon (Ponta Delgada, Lisboa eller Gibraltar) og den meteorologiske stasjonen Stykkisholmur på Island. Når lufttrykkforskjellen mellom de sørlige stasjonene og Island er stor, er indeksen positiv. Hvis lufttrykkforskjellen er liten, gjerne kombinert med et blokkerende høytrykk over Russland med en utløper vestover mot Skandinavia, er indeksen negativ. Vintre med positiv NAO-indeks fører til milde og fuktige luftstrømmer over den sørlige delen av Skandinavia. Lufttemperaturen er ofte så høy at det meste av nedbøren faller som regn i lavlandet, men som snø i fjellet og på breene. En værtilstand med negativ NAO-indeks fører til kalde, tørre vintre med høytrykk over Russland med utløpere mot Skandinavia og dermed lite nedbør i fjellområdene og på breene (se tidligere artikler av S. Grønås i *Cicerone* om den nordatlantiske oscillasjonen).

tyder på milde og nedbørsrike vintre lik en situasjon med positiv NAO indeks. Et liknende mønster er også påvist i en rekonstruksjon av NAO-indeksen tilbake til 1500 (Luterbacher m fl. 2001). En rekonstruksjon av vintertemperatur i Tallin, Estland, viser også økning i vintertemperaturen i første halvdel av 1700-tallet (Tarand og Nordli, 2001). En liknende utvikling er påvist i en sammenstilling utført av Grove og Battagel i 1983 av historiske data om ulike naturskader påført gårder i nærheten av Jostedalbreen og Folgefonna.

Det er imidlertid forskjeller mellom Skandinavia og Mellom-Europa. En massebalanseserie (1949-99) fra Sarenesbreen i Sørøst-Frankrike (Figur 5) viser at nettobalansen er invertet korrelert med NAO-indeksen, og dermed også med nettobalansen på kystnære breer i Vest-Norge. Et paradoks som ikke har blitt gitt noen fullgod forklaring er hvorfor breene i Skandinavia og Alpene ikke hadde lille istids maksimum samtidig. I Skandinavia var de fleste breene på sitt største på midten av 1700-tallet, mens de fleste breene i Alpene var på sitt største på

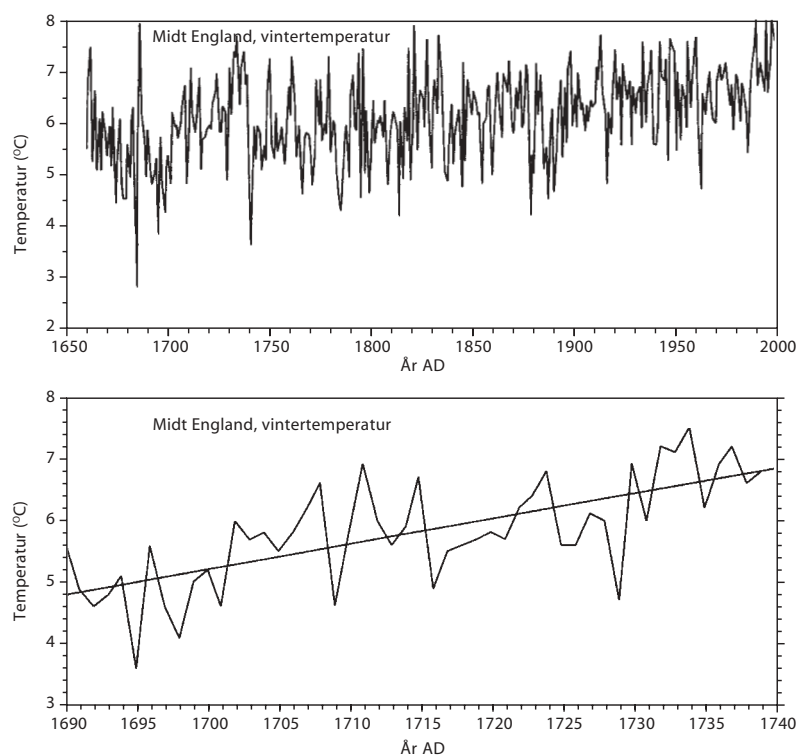


Figur 3. Tre serier som avspeiler sommertemperatur. Øverst: Gjennomsnittlig årlig sommertemperatur (mai-september) for Midt-England (Manley, 1974; Parker m fl., 1992, med senere oppdateringer av Hadley-senteret). Midten: Temperaturavvik fra perioden 1951-70 rekonstruert fra treinger, Femundsmarka, Øst-Norge (Kalela-Brundin, 1999). Nederst: Treingtetthet (avhengig av sommertemperatur) fra lokaliteter på den nordlige halvklode (Briffa, 2000).

midten av 1800-tallet. Kan værmønsteret knyttet til den nord-atlantiske oscillasjonen forklare også dette? Foreløpige undersøkelser av variasjoner til noen breer i Alpene under den lille istid viser at de var små når vinternedbøren i England var stor, og i vekst når vinternedbøren i England var liten. Dette er i samsvar med dagens NAO-mønster i Europa om vinteren. At brefremstøtene under den lille istid i Skandinavia og Alpene var ut av fase, henger dermed trolig sammen med ulik påvirkning av den nord-atlantiske oscillasjonen.

Referanser

- Andersen, J.L. og Sollid, J.L. 1971. *Norsk geografisk Tidsskrift* **25**, 1-38.
- Briffa, K.R. 2000. *Quaternary Science Reviews* **19**, 87-105.
- Grove, J.M. 1988. *The Little Ice Age*. Methuen.
- Grove, J.M. og Battagel, A. 1983. *Climatic Change* **5**, 265-282.
- Jones, P.D., Jonsson, T. og Wheeler, D. 1997. *International Journal of Climatology* **17**, 1433-1450.
- Kalela-Brundin, M. 1999. *The Holocene* **9**, 59-77.
- Kjølmoen, B. 1998. Glasiologiske undersøkelser i Norge 1996 og 1997. *Rapport* **20**, Norges vassdrags- og energidirektorat.
- Lutherbacher, J., Xoplaki, E., Schmutz, C., Jones, P.D., Davies, T.D., Gyalistras, D. og Wanner, H. 2001. Extending highly resolved NAO reconstructions back to AD 1500. I: Hurrell, J., Kushnir, Y. og Visbeck, M. red., *The North Atlantic Oscillation*. AGU Monograph, American Geophysical Union.



Figur 4. Gjennomsnittlig vintertemperatur (oktober-april) i Midt-England viser en økning på første halvdel av 1700-tallet. (Data fra Manley, 1974, Parker m fl., 1992, med senere oppdateringer av Hadley-senteret).

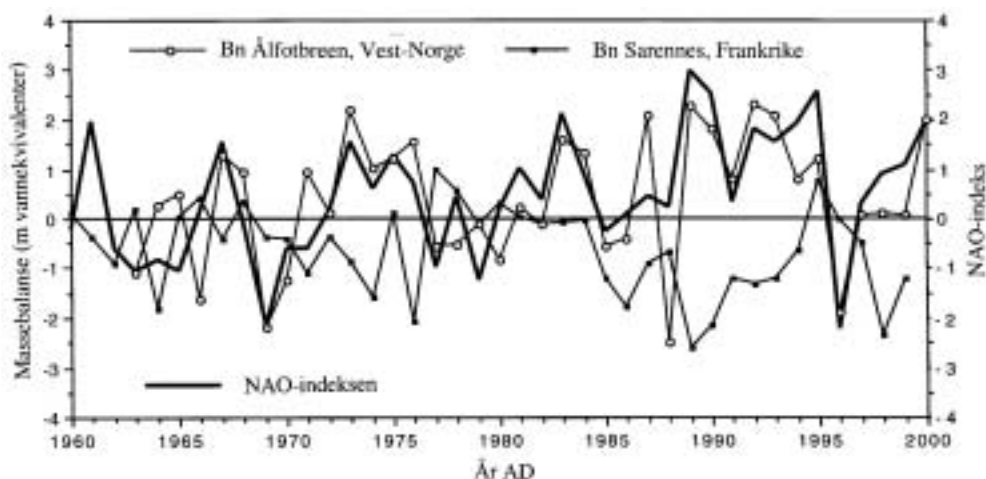
• Manley, G. 1974. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 100, 389-405.

• Parker, D.E., Legg, T.P. og Folland, C.K. 1992. *International Journal of Climatology* 12, 317-342.

• Reichert, B.K., Bengtsson, L. og Oerlemans, J. 2001. *Journal of Climate* 14, 3767-3784.

• Tarand, A. og Nordli, Ø. 2001. *Climatic Change* 48, 189-199.

• Østrem, G., Liestøl, O. og Wold, B. 1977. Norway. *Norsk Geografisk Tidsskrift* 30, 187-209.



Figur 5. Måleseriene viser at breene i Alpene og i Norge reagerer motsatt på endringer i den nordatlantiske oscillasjonen. Årlig nettobalanse (Bn) til Sarenes-breen i de franske Alpene (Data: World Glacier Monitoring Service; WGMS) og Ålfotbreen i Vest-Norge (Kjøllmoen, 1998 med senere oppdateringer av NVE) plottet mot NAO-indeksen (desember-mars; Jones m fl., 1997, med senere oppdateringer).

Mangelfull skymodellering gjev usikre resultat

Skyprosessar er ei stor kjelde til uvisse om klimapåverknaden frå sulfat og sotpartiklar i luft.

Øyvind Seland

RegClim

Det har etterkvart blitt meir og meir sannsynleg at menneskeskapte svevepartiklar, aerosolar, gjev merkbara bidrag til endringar i klimaet (IPCC 2001). Det har derimot synt seg vanskeleg å talfeste desse bidraga, samanlikna med bidrag frå drivhusgassar. Dersom ein ser på IPCC sin oversikt over kva som påverkar strålingsbalansen på klimasystemet, reknar ein bidraget frå drivhusgassar som godt kjend, medan overslaga for aerosolar er svært usikre. For den indirekte effekt gjennom skyene, dvs. påverknad på skydråpene og deira stråling, er talfestinga

særleg vanskeleg, og intervallet for uvisse nesten like stort som strålingsbidraget frå drivhusgassar.

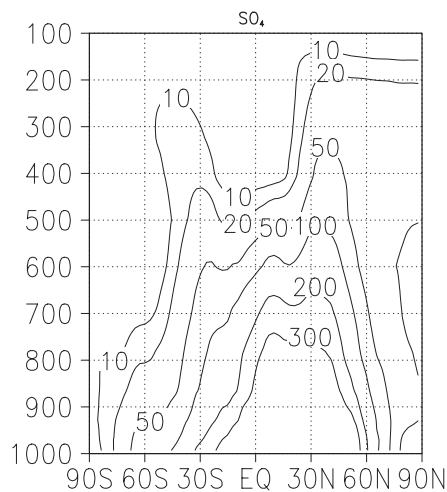
Mellom årsakene til denne store uvissa er manglande viten om partiklane sin samansetning, og dermed deira evne til å reflektere og absorbere solstråling. I tillegg kjem kunnskap om kor effektive partiklane er som dråpekjerner. Til dømes kan partiklane innehalde organisk karbon, som kan vere sett saman av meir eller mindre godt kjente komponentar.

I tillegg til vanskar med å finne samansetninga av partiklar, er det vanskeleg å få gode overslag sjølv for partiklar som inneheld vel kjente komponentar, til dømes sulfat. Ettersom prosessar i skyer er avgjerande både

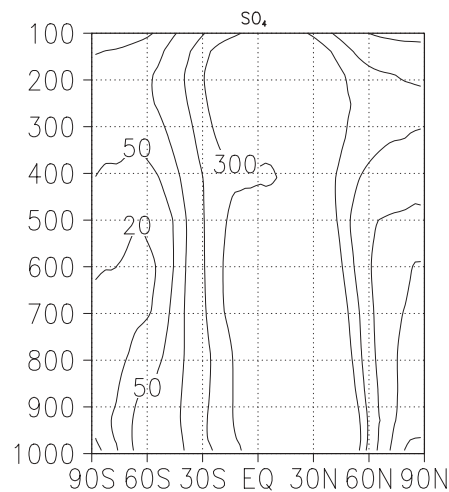
for blanding og vertikal fordeling av partiklane, er det viktig å studere uvisse som skuldast skyprosessar. Dette gjeld ikkje minst ettersom den potensielt viktigaste klimapåverknaden av sulfat (indirekte effekt) nettopp skjer gjennom skyer.

Partiklar og skyer

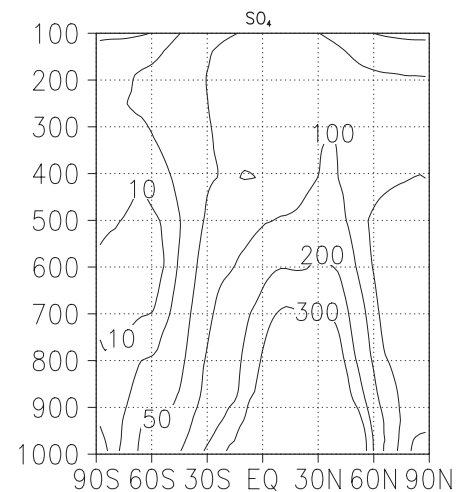
Skyer og deira påverknad på stråling er noko av det vanskelegaste å modellere i klimamodellar, det blir klårt vist på side 430 i siste IPCC-rapport. Skyene er ujamnt fordelt i atmosfæren, og dei prosessane som avgjer deira danning, oppløysing, struktur og utstrekning er ikkje eksplisitt skildra i modellane og må difor parameteriserast (uttrykkest ved parametre som vind, temperatur og vass-



Figur 1a: Gjenomsnittleg volumblandingsforhold av sulfat gjeve i ppt(v) (parts per trillion) : Antall molekyler av ein gass per 1 tusen milliarder luftmolekyler) utan konvektiv transport. Høgda er gjeve i hektopascal (hPa) kor til dømes 500 hPa tilsvarer ei høgde på om lag 5500 meter og 100 hPa tilsvarer om lag 16 000 meter.



Figur 1b: Gjenomsnittleg volumblandingsforhold av sulfat med full konvektiv transport.



Figur 1c: Gjenomsnittleg volumblandingsforhold av sulfat med 10 prosent konvektiv transport.

innhald). Skyene er likevel svært viktige å modellere godt, både for strålingsbalansen i modellane og for å få korrekt nedbør.

Som om ikkje dette er nok, er også skyer svært viktige for fordelinga og mengda av aerosolar i atmosfæren. Eit døme er kjemiske prosessar i skydråpar. Svoveldioksid (SO_2) kan oksidere inne i vassdråpar og danne sulfat. Dersom dråpen fordampar, vil ein få igjen ein partikkel. Dersom skydråpen ikkje fordampar, men blir ein regndråpe som fell til bakken, vil sky i staden for å vere ein produsent av partiklar vere eit sluk. Utvaskinga frå skyer og nedbør gjev det viktigaste atmosfæriske tapet av aerosolar. I tillegg til produksjon og tap fungerer også skyer som ein effektiv mikser for aerosoltypar. Ulike typar aerosolar kolliderer med skydråpar og blir blanda saman.

Luftrørsla i skyer er også viktig for å fordele aerosolar i atmosfæren. Særleg i djupe bygeskyer (konvektive skyer) finn ein kraftige straumer oppover og nedover, med kraftig turbulens og blanding mellom skya og omkringliggjande luft. For djupe konvektive skyer, som strekk seg frå nær bakken og opp til over 10 kilometers høgde, kan desse fungere som ein effektiv "heis" som frakter gassar og aerosolar til

toppen av troposfæren. Dette er likevel ikkje heile biletet, for i ei djup konvektiv sky er vassmengda stor, ein finn høge nedbørssrater og sterke nedsynkingar i samband med dette. Dermed skjer det også ei kraftig utvasking og transport nedover. Netto produksjon og transport blir eit resultat av små differansar mellom store ledd i likningane. Ei ubalanse i modelleringa av prosessane kan dermed føre til store feil. Målingar i høgare luftlag er få og dyre å gjennomføre, men det synes som om dei fleste klimamodellar har for mykje aerosolar i øvre atmosfære (COSAM 2001).

I vår artikkel (Iversen & Seland, 2002) presenterer vi mellom anna nokre resultat frå tre eksperiment der vi har variert den konvektive transporten i ein aerosolmodell, inkludert i den globale atmosfæriske klimamodellen CCM3. Resultata er samanlikna med målingar (sjå boks om modellen).

Konveksjonstestar

Konveksjon er karakterisert med rask vertikal utveksling av luft innan djupe luftlag. I samband med dette blir det ofte danna bygeskyer med kraftig nedbør. Sjølv om ein får betre samanlikningar med målingar ved å kutte ut modelleringa

av konvektiv transport, fjernar ein då ein viktig fysisk prosess frå modellen. For å studere effekten av dette har vi utført tre sensitivitetseksperiment. I tillegg til hovudkøyninga utan konvektiv transport har vi gjort ei simulering med full konvektiv transport og ei med full transport, men berre 10 prosent av aerosolane blir transportert. Det siste eksperimentet er tenkt å vere nærare ei realistisk skildring av atmosfæren der utvekslinga mellom oppstigande og omkringliggjande luft ikkje berre skjer i toppen av skya.

Figur 1 viser gjenomsnittlege konsentrasjonar av sulfat vist som eit blandingsforhold, som funksjon av høgde og breiddegrad. Basiskøyninga utan konveksjon gjev ein kraftig reduksjon i blandingsforholdet med høgda og alt i 500 hPa (ca. 5500 m) er blandingsforholdet i tropene mindre enn 10 prosent av det nær bakken. Med full konveksjon får ein ei effektiv blanding i heile troposfæren i tropene, og også kraftig transport mot høgare breidder. Eksperimentet der ein transporterer 10 prosent av massen gjev også eit markert utslag, og konsentrasjonen i 500 hPa er meir enn det doble enn utan konvektiv transport.

Kva så med målingar? Figur 2 gjev ei samanlikning med målingar i tre

CCM3 med sulfat og sot

Eit skjema for livssyklus for sulfat og sot er utvikla og implementert i klimamodellen "National Center for Atmospheric Research Community Climate Model 3.2" (CCM3). I tillegg er skyskjemaet i modellen bytta ut med skyskjemaet til Rasch & Kristjánsson (1998). Dette skjemaet inkluderer kjemiske overgangar, transport og avsetningar for dimetylsulfid, svoveldioksid (SO₂), sulfat og sot. Aerosolane sulfat og sot er igjen delt opp i prosessmodar avhengig av kva prosessar som danna aerosolen. Ei slik oppdeling av partiklane gjer det mogleg å gjenskape storleiksfordelinga og kjemisk samansetning, noko som er viktig for å få gode estimat for strålingseffekten.

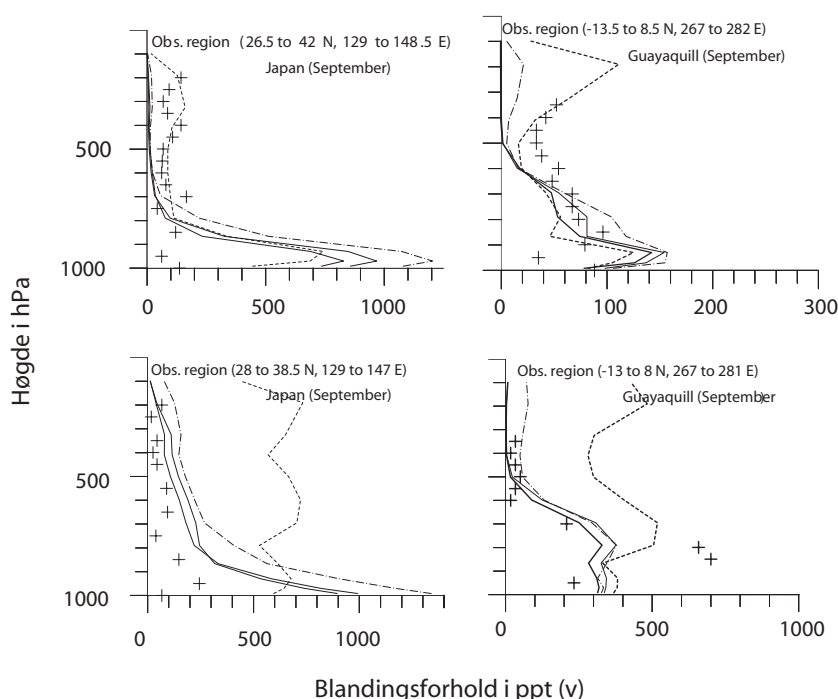
Versjonen av CCM3 som er brukt har ei oppløysning horisontalt som tilsvarer omlag 2.8 grader (ca. 300 km) mellom gitterpunkta. Vertikalt har modellen 18 lag, med 3 lag i grenselaget, og omtrent 1 km oppløysning vidare oppover i atmosfæren. Av spesiell interesse for denne artikkelen er skjemaet

for djup konveksjon i modellen. Dette er utvikla av Zhang & McFarlane (1995), og er eit såkalla masse-fluks skjema der ein reknar på massefluksen i oppstigande og nedsynkande luft i konveksjon.

Dette skyskjemaet gjev gode resultat for djup konveksjon i tropene, men litt for kraftig sirkulasjon. Transporten av aerosolar er altfor stor, til dels også samanlikna med andre globale modellar. For ikkje å få altfor store konsentrasjonar i øvre atmosfære og betre samsvar med målingar ved bakken, valde vi å neglisjere den konvektive transporten inntil ein kunne få utvikla ei betre handsaming av aerosolene i konvektive prosessar. Effekten av dette blei studert i sensitivitetstestar.

Hovudsimuleringane er køyrt i 5 år med naturlege og totale utsepp basert på utsepp gjeve i IPCC sine databaser for dagens klima, og 5 år med utseppscenario IPCC 2100-A2. År 3 blei vald for sensitivitetstestar.

Figur 2: Vertikalprofil av SO₂, øvre del av figuren, og SO₄, nedre del, samanlikna med målingar. Konsentrasjonen er i ppt(v). Den utheva heiltrukne linja er månadsmidlet over tre år. Den tynde heiltrukne linja er frå ei basiskøyring utan konvektiv transport. Den stipla linja viser sensitivitetstesten med full konvektiv transport. Linja med annakvar strek og prikk syner resultatet frå testen med 10 prosent konvektiv transport.



vertikalsnitt for SO₂ og sulfat. For sulfat er det stort sett simuleringa med full konvektiv transport som skil seg ut. Målingane, akkurat som basiskøyringa, gjev ein kraftig reduksjon i sulfatmengde med høgda. Å fjerne transporten frå konveksjon reduserer likevel transporten frå bakken for mykje, dette synest i for høge sulfatkonsentrasjonar ved bakken. Målingane av SO₂ ligg derimot nærare det ein finn i tilfellet med full konveksjon. Dette skuldast at SO₂ blir avsett på bakken når for lite blir transportert oppover. Etersom det er partiklane som er interessante for klimaeffekter, kan ein framleis forsvare å kutte ut konveksjonen i modellen. Men det er tydeleg at ein treng eit betre skjema for å redusere uvisse i aerosolkonsentrasjonar.

Oppsummering

Vi har utført fleire eksperiment med eit skjema for svovel og sot i ein global klimamodell. Ved å kutte ut transporten i bygeskyer har vi oppnådd stort sett ganske gode resultat samanlikna med målingar over store deler av jorda, med bakkenære verdier i tropene som eit viktig unntak. Sensitivitetsstudier viser at både totalvolum og vertikalvariasjon av partiklar varierer svært mykje med parameteriseringa av vertikal transport. Dersom ein skal redusere uvisse både i konsentrasjonar av aerosolar og effekt på klimaet av desse, er det naudsynt å utvikle betre skjemaer for transport av partiklar i bygeskyer.

Referansar:

- Barrie m. fl. 2001. *Tellus* 53B, 615-645.
- IPCC 2001. *Climate Change 2001. The Scientific Basis*. University Press. 881 sider.
- Iversen, T. & Seland, Ø. 2002. A scheme for process-tagged SO₄ and BC aerosols in NCAR CCM3. Validation and sensitivity to cloud processes. *J. Geoph. Res.* Antatt.
- Rasch, P.J. & Kristjánsson, J.E. 1998. *J. Climate.*, **11**, 1587-1614.
- Zhang, G.J. & McFarlane, N.A. 1995. *Atmos. Ocean.*, **33**, 407-446.

Øyvind Seland

(Oyvind.Seland@geofysikk.uio.no) er forskar ved Institutt for Geofysikk, Universitet i Oslo, og er tilsett av RegClim prosjektet.

Økt CO₂ gir forandring i sirkulasjonsmønsteret

Simuleringer med Bergen Climate Model, med en gradvis økning av CO₂ i atmosfæren, viser en endring i strømningsmønsteret over Nord-Atlanteren på en liknende måte som observert siste 30 år.

**Asgeir Sorteberg, Mats Bentsen,
Helge Drange, Tore Furevik og Nils
Gunnar Kvamstø**

RegClim

Forskere fra Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen, Nansen senter for miljø og fjernmåling (NERSC) og Bjerknessenteret har gjort en simulering med den koblede klimamodellen Bergen Climate Model (BCM) der innholdet av CO₂ økes med 1 prosent i året over 80 år fra dagens nivå (såkalt CMIP2 simulering, med dobling av CO₂ etter 70 år). Alle andre drivhusgasser og naturlige strålingspådriv (solintensitet, vulkanutbrudd o.l.) holdes konstant for å isolere effekten av økt drivhuseffekt på klimasystemet. En 1 prosent økning i CO₂ er betydelig mer enn det som er observert de siste årene, men siden alle andre drivhusgasser er holdt konstant, er en 1 prosent økning ment å inkludere summen av det totale klimapådraget fra alle menneskeskapte drivhusgasser. En slik type simulering ligger mellom IPCCs to mest sannsynlige framtidsscenarioer for økning i den globale middeltemperaturen.

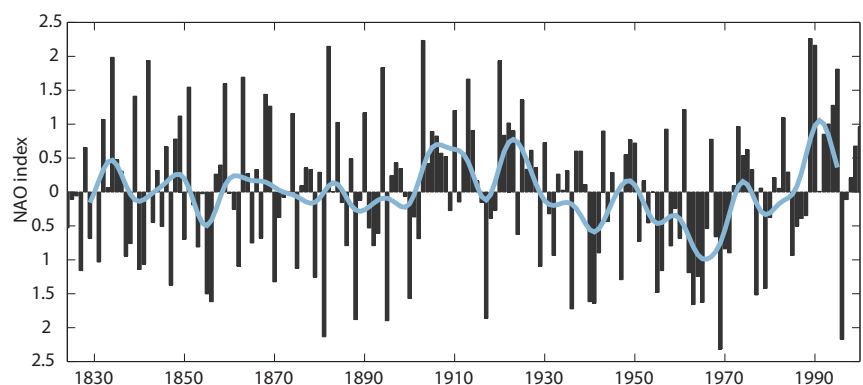
I vintermånedene gir den nord-atlantiske svingningen (NAO) (se for eksempel Grønås, *Cicerone* 5/99, og faktaboks i artikkel av Dahl og Nesje i dette nummer) uttrykk for de dominerende strømningsmønstrene i atmosfæren over Atlanteren og Europa.

Hvis trykkforskjellen mellom Islandslavtrykket og Azorerhøytrykket er høyere enn normalt (positiv NAO-indeks), vil flere av lavtrykkene gå inn i Norskehavet og gi våtere og mildere vintre enn normalt over nord Europa, mens middelhavslanene får relativt tørre og kalde vintre. Omvendt vil lavtrykkene for en stor del gå sør for oss når NAO-indeksen er lavere enn normalt. Siden forandringer i NAO representerer forandringer i atmosfærens sirkulasjonsmønster, influerer den ikke bare på nedbør og temperatur,

men også utbredelsen av sjøis, isbreer, forandringer i marine økosystemer gjennom produksjon av zooplankton og fordelingen av fisk, og forandringer i terrestriske økosystemer gjennom forandringer i vekstsesong og levevilkår for forskjellige plante- og dyrearter.

Forandringer i NAO pga økt CO₂

I de siste tiårene har vi hatt uvanlig mange år med høy NAO-indeks (Figur 1) og milde og fuktige vintre i Skandinavia. Gjennom snart 180 år med observasjoner



Figur 1: Observert NAO-indeks (gitt som differansen i de standardiserte trykk anomaliene mellom Gibraltar og Island) fra 1824 til 2000. Glattet kurve viser variasjoner på tidsskalaer større enn 10 år.

Tabell 1: Sammenlikning av gjennomsnittet og variasjoner fra år til år i simulert og observert NAO (gitt som trykkdifferansen mellom Gibraltar og Island i hektopascal (hPa)) samt samvariasjonen i trykket mellom de to stedene.

Trykk differansen mellom Gibraltar og Island	Observasjoner 1824-2000	BCM
Gjennomsnitt	19.9	18.8
Avstand mellom de laveste 25% og høyeste 25% av verdiene	8.9	8.6
Standardavvik	6.3	6.0
Korrelasjon mellom trykket ved Gibraltar og Island	-0.62	-0.65

er trenden siste 30 år mot positiv NAO den kraftigste trenden som er observert. NAO har en naturlig svingning, men det har de siste år vært publisert studier som linker økt drivhuseffekt og reduksjon i stratosfærisk ozon mot den observerte positive trenden i NAO (Holton, 2002; Hartman, 2000), og at det er sammenheng mellom temperaturrene i tropene og NAO (Hoerling m. fl. 2001).

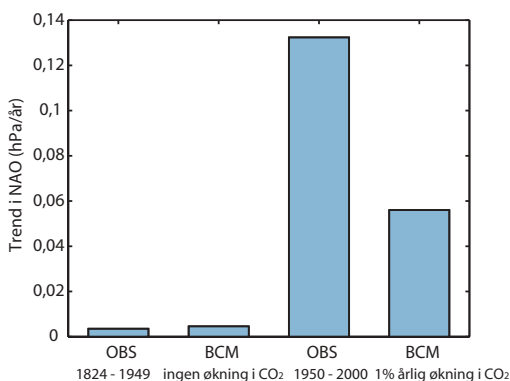
Koblede klimamodellers evne til å simulere NAO er svært variabel (Stephenson, 2002). Således gir de ulike modellene svært ulike respons på NAO ved økt CO₂ (se feks. Benestad, *Cicerone* 6/2000). Sammenliknet med observerte verdier gir en kontrollkjøring med BCM (Sorteberg m. fl., *Cicerone* 2/02) en realistisk beskrivelse av både den midlere

NAO-indeksen, utslag fra år til år og samvariasjonen mellom Islandslavtrykket og Azorerhøytrykket (tabell 1). Dette gir en viss tillit til at simuleringen med økende CO₂ også vil kunne gi informasjon om endringer i NAO. Figur 2 viser at når økt CO₂ gir modellen en økning i NAO-indeksen som likner på den man har observert de siste 30 år. Mens sannsynligheten for en positiv og en negativ langtidstrend (30-års trend) er 50-50 i kontrollkjøringen uten økning i CO₂, er sannsynligheten for en positiv trend økt til 75 prosent i simuleringen med økt CO₂. Dette sammen med figur 2 indikerer at vi under økt drivhuseffekt fortsatt vil kunne ha forholdsvis lange perioder der vi opplever relativt sett kaldere og tørrere vintre. Men sann-

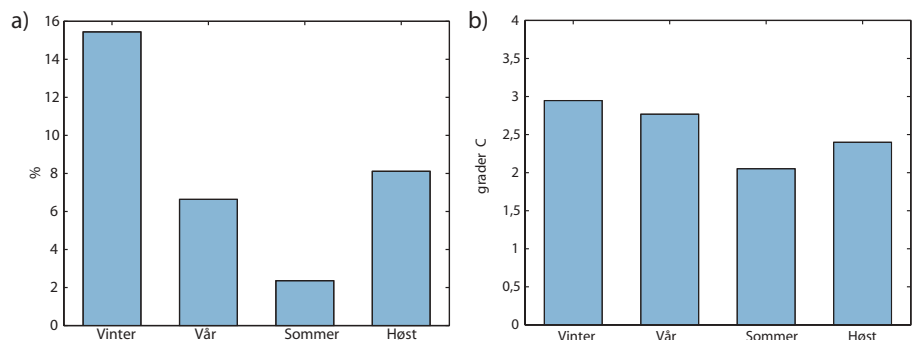
synligheten for at slike perioder oppstår og vedvarer over flere år er kraftig redusert. Ser vi på variasjoner fra år til år i NAO, viser simuleringen at over 70 prosent av årene har en trykkforskjell mellom Gibraltar og Island som er høyere enn gjennomsnittet i kontrollkjøringen uten økt CO₂. Dette støtter teorien om at økt CO₂ kan gi en trend mot økt NAO-indeks, og at vi derfor kan forvente spesielt store forandringer i nedbør over Europa som en konsekvens av økt drivhuseffekt. De fysiske mekanismene bak denne forsterkingen er fortsatt uklare. Videre arbeid vil fokuseres på mulige interaksjoner mellom NAO og sjøtemperaturer i tropene (Hoerling, 2001, se artikkel av Grønås i *Cicerone* 3/01), forandringer i bølger på stor skala fra troposfæren til stratosfæren (Holton, 2002, se artikkel av Grønås i *Cicerone* 01/02) og tilbakekoblingsmekanismer med isen i Arktis.

Forandringer i nedbør og temperatur

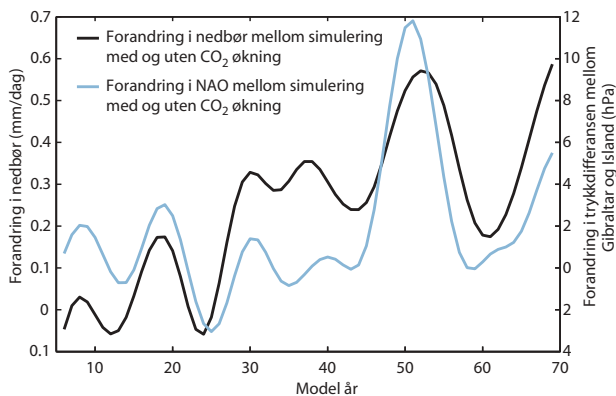
Figur 3 viser responsen i temperatur og nedbør ved dobling av CO₂ tatt som et gjennomsnitt over Sør-Skandinavia (fra Trondheim i nord til København i sør, fra Bergen i vest til Stockholm i øst). Mens temperaturøkningen er forholdsvis lik fra årstid til årstid og ligger mellom 2 og 3°C, er forandringen i nedbør svært ulikt fordelt mellom årstidene. Den største økningen både relativt og absolutt er i høst og vintermånedene, mens det



Figur 2: Trender i NAO i hPa/år fra observasjoner og simuleringer med og uten økning i CO₂. En økning av CO₂ gir en trend som er liknende den som er observert siste 50 år, mens simuleringen uten økning i CO₂ ikke viser noen trend. Merk at størrelsen på den observerte trenden fra 1950 - 2000 er svært avhengig av det valgte tidsrom, og den er ikke direkte sammenlignbar med trenden i simuleringen med økning i CO₂, som er et framtidsscenario.



Figur 3: Forandringer i nedbør (svart) med en 1 prosent økning i CO₂ og ved å holde CO₂ konstant nær dagens nivå over Sør-Skandinavia. Forandring i NAO-indeksen med og uten økning i CO₂. Figuren viser variasjoner på tidsskalaer større en 10 år og viser at forandringen i vinter nedbør over Skandinavia er sterkt knyttet til forandringer i NAO.



Figur 4: Forandring i nedbør (prosent) og temperatur (C) for forskjellige årstider ved dobling av CO₂ (gjennomsnitt over modellår 60-80, dobling av CO₂ skjer ved år 70).

Referanser

- Hartmann m. fl., 2000. *Proc. Natl. Acad. Sci*, 97, 1412-1417.
- Hoerling m. fl., 2001. *Science*, 292, 90-92
- Holton, 2002. A mechanistic model of the northern annular mode. Sendt til *J. Geophys. Res.*
- Stephenson, 2002. How well do coupled models simulate the NAO? Sent til *Clim. Dyn.*

er små forandringer om sommeren. Gjennomsnittlig øker vinternedbøren med 15 prosent med de største utslagene på Vestlandet og i Midt Norge (20-30 prosent). Denne kraftige økningen i vinternedbør kan forklares ved forandringer i stormbanene, som gir flere lavtrykk inn mot vestlandskysten (positiv NAO). Samvariasjonen mellom langtidstrender i nedbør over Skandinavia

og NAO i vintermånedene (Figur 4) viser at en stor andel av forandringen i vinternedbør over Skandinavia er knyttet til forandring av stormbanene i Atlanterhavet. Dette viser at for å simulere en realistisk nedbørsforandring over Europa ved økt CO₂, er man svært avhengig av en korrekt beskrivelse av responsen av økt drivhuseffekt på lav- og høytrykksbaner i Atlanteren.

Asgeir Sorteberg

BS/GFI
(asgeir.sorteberg@gfi.uib.no)

Mats Bentsen

NERSC (mats.bentsen@nersc.no)

Helge Drange

NERSC (helge.drange@nersc.no)

Tore Furevik

GFI/NERSC (tore.furevik@gfi.uib.no)

Nils Gunnar Kvamstø

GFI (nilsg@gfi.uib.no)

Mindre is i et varmere Antarktis

Sist vinter rapporterte media både om oppvarming og avkjøling i Antarktis, og i vår kom det meldinger om økt oppkalving av de flytende isbrekkene langs Antarktishalvøya. Endringene kan være alvorlige på svært lang sikt, fordi en eventuell nedsmelting av breene på i Vestantarktis vil kunne øke det globale havnivået med fem meter.

Lars H. Smedsrud og Cecilie Rolstad

Det er i dag få klimaforskere som tviler på at det er en sammenheng mellom utslipp av drivhusgasser og den målte globale oppvarminga av atmosfæren på 0,6 °C de siste hundre år. Noen forskere innvender at den målte oppvarminga skyldes varme fra byer nær målestasjonene, og i så fall er observerte klimaendringer i Antarktis av spesiell interesse. Målinger i Antarktis er også interessante fordi numeriske

modeller av klimasystemet gir en forsterka oppvarming ved polene i forhold til områder på lavere breddegrader.

Den målte oppvarminga på kontinentet i Antarktis (untatt Antarktishalvøya) siden 1950 er den samme som den globale oppvarminga på 0,6 °C per hundre år (Vaughan & Spouge 2002). Det er bare på Sydpolen det er målt en *signifikant* nedkjøling på -2,0 °C per hundre år. Målinger fra de seks stasjonene i figur 1 på Antarktishalvøya dekker de siste

20 år, og viser opptil 9,3 °C oppvarming per hundre år. Ved 4 av stasjonene er måleseriene over 30 år, med en gjennomsnittlig oppvarming på 3,7 °C per hundre år. Den lengste serien fra "Orcadas" er på 97 år, og viser en oppvarming på 2,0 °C per hundre år.

Oppvarming i havet og mindre sjøis

Den globale oppvarminga i havets øvre 1000 m siden 1960 er omtrent 0,05 °C. Dette høres lite ut i forhold til

i atmosfæren, men den totale varmemengden i havet har økt omtrent ti ganger så mye som i lufta. I Weddellhavet (Figur 1) har temperaturen noen steder steget med mer enn 0,5 °C i de øvre 1500 m siden 1975. Dette tilsvarer omtrent like mye varme som er tilført atmosfæren globalt.

Oppvarminga i havet generelt skyldes økt tilførsel av varme eller mindre avkjøling i overflata. I Weddellhavet kan oppvarmingen også skyldes en større transport av varme i havet nordfra. Fordi havet rundt Antarktis stort sett er dekket av sjøis, og sjøisen isolerer havet fra den kalde lufta, er det sannsynlig at oppvarminga henger sammen med endringer i sjøisdekket. En enorm åpning i sjøisdekket om vinteren midt på 70-tallet slapp ut mye varme fra Weddellhavet. Etter 1975 har det ikke oppstått en slik åpning, og temperaturen i havet har økt kraftig. Muligens har også innstrømmingen av varmere vann fra nord økt.

Satellittdata viser at årsvariasjonene i varigheten av sjøisdekket samsvarer med oppvarminga langs Antarktishalvøya. I perioden 1979 til 1999 viser satellittmålingene for vestsida av halvøya en trend på 3 dager mindre isdekke per år, totalt 60 dager for perioden. Det er også målt mindre varighet av sjøisdekket øst for halvøya.

Smelting av is og det globale havnivå

Litt fysikk: Arkimedes' lov sier at når vi senker et legeme ned i en væske, får det en oppdrift som er lik tyngden av den fortrenkte væskemengden. Resultatet er at bare en niendedel av et flytende isfjell stikker opp av havet på grunn av tetthetsforskjeller for is og vann, og at smelting av sjøis og flytende isbremer ikke bidrar til endring av havnivået. Smelting av den flytende isen vil imidlertid kunne påvirke det globale havnivået indirekte.

Beregninger viser at en oppløsning av innlandsisen i Vest-Antarktis (Figur 1 og 2) vil øke det globale havnivået med omlag fem meter, mens for hele Antarktis er tallet omkring 65 meter. Det er bare

Figur 1. Antarktishalvøya med målestasjoner og de flytende isbrekkene.

Skraveringen viser område for oppkalving av Larsen isbrem de siste 15 åra. Skraveringen i det innfelte kartet viser området hvor det er målt tynning av innlandsisen i moderne tid (Kart: British Antarctic Survey (BAS)).



den grunnede isen over havnivå, unntatt den niendedelen som må stikke over i henhold til Arkimedes' lov, som bidrar til endringen.

Kalving av isbrekkene langs Antarktishalvøya

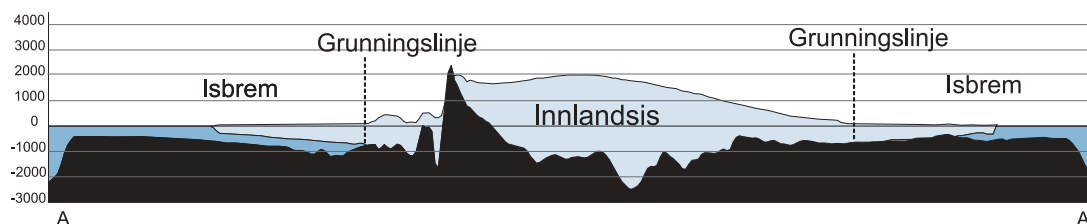
Larsen isbrem (Figur 1 og 3) har gradvis gått i oppløsning, og mistet i perioden 1985 til 2001 over 6000 km², et areal på størrelse med Vest-Agder fylke. I mars i år brakk det siste isflaket av den 200 meter tykke isbrekken, og 500 milliarder tonn is løste seg opp til en armada av isfjell. Hendelsen kom ikke helt uventet; en modell av spenningsforholdene i isen ble utvikla etter de første tegn til oppsprekking på 80-tallet, og vårens totale oppløsning av isbrekken er i tråd med resultater fra modellen (Doake m.fl. 1998). Området på Antarktishalvøya med plussgrader om sommeren er gradvis blitt større, og satellittbilder viser smelte-

dammer på overflata av isbrekkene før isflaka brekker av. Kalvingen kan muligens starte ved at smeltevatnet på overflata trenger ned i isen og utvider sprekke. Isbrekkene blir også utsatt for større spenninger nå enn før fordi det er blitt mindre sjøis i havet utenfor som demper bølgene. Doake m.fl. sin modellering viser at når spenningsforholdene i isbrekken er endra tilstrekkelig etter endel kalving, sprekker hele brekken til slutt opp. Dersom oppvarminga fortsetter, vil sannsynligvis flere isbrekker langs Antarktishalvøya gå i oppløsning.

Varmere klima og volumendringer av iskappa i Antarktis

Temperaturen påvirker volumet av iskappa gjennom flere prosesser. En temperaturøkning i sjøen under isbrekkene vil kunne smelte mer is, som igjen kan

Figur 2. Vertikalt snitt gjennom iskappa i Vest-Antarktis. Isen over havnivå vil kunne gi en økning av havnivået på maksimalt 5 m globalt dersom den skulle smelte (Figur: BAS).



flytte grunningslinja (Figur 2) sørover. Forflytning av grunningslinja vil øke dreneringen av innlandsis ut til havet og derved redusere volumet. Dette er nettopp observert i satellittbilder fra breene innenfor Larsen isbrem og ved Pine Island breen ved Amundsenhavet. Høyere lufttemperatur i et svært kaldt klima medfører ikke smelting, men derimot vil det snø mer. Varmere luft vil på lang sikt også øke temperaturen i isen og dermed deformasjonshastigheten. Det tar tusenvis av år før oppvarmingen av overflaten når ned til bunnen av iskappa, som er nødvendig for at bevegelsen og dreneringen i breen skal øke. Iskappa i Antarktis kan derfor fortsatt tilpasse seg tidligere tiders klimaendringer.

Det forventes ikke store endringer i volumet til iskappa i Øst-Antarktis, men det er stor uenighet om sannsynligheten for at isen i Vest-Antarktis skal smelte ned (Vaughan og Spouge 2002). Data fra sedimentlag på gammel havbunn viser at deler av iskappa i Vest-Antarktis forsvant i tidligere mellom-istider, og numeriske

modeller indikerer at dette kan gjelde hele iskappa. Satellittbilder og feltobservasjoner fra de siste tiåra har vist at store deler av innlandsisen dreneres av isstrømmer, som kan beskrives som rasktflytende elver av is i en ellers nærmest stillestående iskappe. Isstrømmene transporterer isen mot havet med en hastighet på centimeter til meter per dag. Hva som kontrollerer fart og posisjon av isstrømmene er ikke fullstendig kjent, og dagens numeriske modeller kan være basert på feilaktige grensebetingelser og parametre. Modellene krever blant annet nøyaktige observasjoner av snøfall, bunntopografi, og overflatens temperatur og topografi. For alle disse parametrene eksisterer det kun spredte målinger i tid og rom. Situasjonen er forbedret noe ved tilgjengeligheten av satellittbilder, men modellene er fortsatt usikre, både i forhold til hva som skjedde i tidligere istider og hvordan iskappa vil forandres i framtiden.

Hvorvidt volumet av isen over land i Antarktis øker eller avtar idag har vært

et ubesvart spørsmål, blandt annet fordi det har vært umulig å lage kart over hvite snøoverflater som er totalt fri for kontraster. Med satellitteknologi er dette i ferd med å endres, og målinger viser at volumet av iskappa i Øst-Antarktis forble bortimot uendra fra 1992 til 96, men at isen i Vest-Antarktis i et område ved Amundsenhavet (Figur 1) avtok med ca. 10 cm per år. Radar- og lasersatellitter vil gi oss et mer nøyaktig svar basert på gjentatte observasjoner innen noen år.

Konsekvenser

Iskappa i Antarktis kan bidra til å øke det globale havnivået, men så lenge det bare er isbreemmene som går i oppløsning og smelter øker ikke havnivået fordi isen allerede flyter. Hvis derimot også iskappa i Vest-Antarktis skulle gå i total oppløsning, vil havnivået øke med 5 m, men dette vil isåfall skje gradvis. Det er vanskelig å si noe om sannsynligheten for nedsmelting, men mer enn halvparten av forskerne i et ekspertpanel mener at en økning i havnivået på mer enn 0,2 m per



Figur 3. Isbreemmene langs Antarktishalvøya kalver opp på grunn av oppvarmingen i området (Foto: BAS).



Figur 4. Adeliepingviner trenger flerårsis for å overleve, og bestanden minker der sjøisen blir borte (Foto: BAS).

hundre år vil skje innen 1000 år, og at om 5000 år vil nivået ha økt med totalt 5 m (Lignende forhold gjør seg gjeldende for Grønland, se artikkel i *Cicerone* 4-2000 av Grønås). Forskerne mener videre at det er 5 % sjanse for at havnivået skal øke med mer enn 1 m per hundre år de neste 200 år på grunn av nedsmelting av iskappa i Vest-Antarktis (Vaughan og Spouge 2002). Det er i tillegg uvisst i hvilken grad oppvarminga i havet vil gi mindre produksjon av dypvann rundt Antarktis, og om det varmere sjøvannet vil kunne nå inn til isbrekkene og føre til mer smelting.

Det er nå større områder på Antarktishalvøya som er snøfrie om sommeren, og dette har konsekvenser for biologien. Det er observert spredning av planter til nye områder. Rundt stasjonen Faraday (Figur 1) er det de siste åra

observert stadig flere ringpingviner, og disse fuglene trenger åpent vann hele året. Samtidig minker antallet adelpingviner (Figur 4), som trenger flerårsis for å finne mat. Det er påvist at adelpingviner har vært i dette området de siste 600 år, men disse fuglene er nå tvunget til å forflytte seg på grunn av isforholdene.

Referanser:

- Doake m.fl. 1998, Breakup and conditions for stability of the northern Larsen Ice Shelf, Antarctica, Nature, 391, s 778-780.

- Vaughan m.fl. 2001, Devil in the Detail, Science, 293, s 1777-1779.

Vaughan og Spouge 2002, Risk estimation of collapse of the West Antarctic ice sheet, Climatic Change 2002, 52, s 65-91.

- Mer informasjon om oppvarmingen på www.antarctica.ac.uk/climate/surfacetemps/ og om isbrekkene på nsidc.org/data/iceshelves_images/.

Lars H. Smedsrud

(larsh@gfi.uib.no) har doktorgrad i fysisk oseanografi fra Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen. Han har for tiden permisjon fra et NFR-prosjekt om oppvarmingen av dypvannet i Weddellhavet for å arbeide ved British Antarctic Survey med fryse/smelteprosesser under isbrekkene i Antarktis.

Cecilie Rolstad

(cerol@bas.ac.uk) har doktorgrad i Glasiologi og Geometrikk fra Universitetet i Oslo. Hun arbeider med satellittdata fra Vest-Antarktis ved British Antarctic Survey på prosjektet "Global Interactions of the Antarctic Ice Sheet - Basin Balance Assessment and Synthesis" www.antarctica.ac.uk/Science/Programmes/giants/index.html.

KlimaProg-Forskningsprogram om klima og klimaendringer (2002-2011) dekker blant annet de store, koordinerte forskningsprosjektene COZUV, NOClim, NORPAST og RegClim.

RegClim

RegClim (Regionale klimaendringer under global oppvarming) er et nasjonalt koordinert forskningsprosjekt for beregning av klimautvikling i Norges region. Seks forskningsinstitusjoner deltar.

Kontakt: Trond Iversen, trond.iversen@geofysikk.uio.no

Hjemmeside: www.nilu.no/regclim

NORPAST

NORPAST (Past Climates of the Norwegian region) er eit prosjekt som skal koordinere forskinga om fortidas klima i Norge. Ti forskingsinstitusjonar deltar.

Kontakt: Eiliv Larsen, eiliv.larsen@ngu.no

Hjemmeside: www.ngu.no/prosjekter/Norpast/norsk/norpast.htm

NOClim

NOClim (Norwegian Ocean Climate Project) er et nasjonalt koordinert forskningsprosjekt om nordlige havområder og klima. Åtte forskningsinstitusjoner deltar.

Kontakt: Solfrid Sætre Hjøllo, noclim@gfi.uib.no

Hjemmeside: www.noclim.org

COZUV

COZUV (Coordinated Ozone and UV project) er et nasjonalt koordinert forskningsprosjekt om ozon i stratosfæren (atmosfæren fra rundt 12 til 50 km høyde) og ultrafiolett stråling.

Kontakt: Geir Braathen, geir@nilu.no

Hjemmeside: www.nilu.no/projects/cozuv/



Redaksjon:

- Sigbjørn Grønås (red.), **RegClim** (sigbjorn@gfi.uib.no)
- Geir Braathen, **COSUV** (geir@nilu.no)
- Solfrid Sætre Hjøllo, **NOClim** (noclim@gfi.uib.no)
- Jon Landvik, **NORPAST** (jon.landvik@nlh.no)

Hjemmeside: program.forskningsradet.no/klimaprog/

Kontakt: Programkoordinator Elin Dahlin, NILU, Postboks 100, 2027 KJELLER

Telefon: 63 89 81 61 **Faks:** 63 89 80 50

E-post: klimaprog@nilu.no

Postadresse:
Postboks 1129 Blindern
0318 Oslo

Besøksadresse:
Sognsveien 68, Oslo

Telefon:
22 85 87 50

Telefaks:
22 85 87 51

E-post:
admin@cicero.uio.no

Redaksjon:
Andreas Tjernshaugen (Ansv red.)
Hans Martin Seip
Petter Haugneland

Redaksjonen avsluttet
30. mai 2001

Cicerone kommer ut med seks
nummer i året. Abonnement er gratis.

Arkiv:
www.cicero.uio.no/cicerone

Formgivning:
Tone Veiby

Trykk:
GAN Grafisk

Opplag: 3000

Forskningsprogrammet **KlimaProg**
og teknologiprogrammet **KLIMATEK**
disponerer egne sider i **Cicerone**
etter avtale med CICERO Senter
for klimaforskning. Redaktør for
KlimaProg-siden er professor
Sigbjørn Grønås. Redaktør for
KLIMATEK's sider er program-
koordinator Hans-Roar Sørheim.

Returadresse:
CICERO Senter for klimaforskning
Postboks 1129 Blindern
0318 OSLO

Nytt om navn

Ny direktør på CICERO

Pål Prestrud (48) er tilsatt som direktør ved CICERO Senter for klimaforskning, og tiltrer 3. juni. Den påtroppende CICERO-direktøren har arbeidet med miljøspørsmål i polarområdene det meste av sin yrkesaktive karriere, både i forskning og forvaltning. Han er for tiden viseformann i ACIA (Arctic Climate Impact Assessment). Les mer om Pål Prestrud på side 2 i dette nummer av *Cicerone*.



10 år på CICERO!

Professor Hans Martin Seip (64) har den 1. juni 2002 vært tilknyttet CICERO Senter for klimaforskning i 10 år!

Hans Martin Seip har i sine 10 år ved CICERO arbeidet med studier av hvordan tiltak for å redusere utslipp av klimagasser kan utformes slik at de også gir miljøgevinster på lokal og regional skala. Han har også deltatt aktiv i den offentlige debatt om klimaspørsmål i tillegg til utstrakt formidlingsaktivitet om nytt fra klimaforskningen.



Klimakalender

3.-14. juni, Bonn, Tyskland: Det 16. motet til de underliggende organene under Klimakonvensjonen (SB-16)
<http://www.unfccc.de/>

12. juni, Oslo, Stortingets energi- og miljøkomitee avgir innstilling om Klimameldingen
http://www.stortinget.no/komiteene/energi_miljo.html

18. juni, Oslo, Stortinget behandler klimameldingen i plenum

26. august - 4. september, Johannesburg, Sør-Afrika
FNs toppmøte om bærekraftig utvikling (Rio +10)
<http://www.johannesburgsummit.org/>

23. oktober - 1. november, New Dehli, India
Den åttende partskonferansen til Klimakonvensjonen (COP-8)
<http://www.unfccc.int/>

Klima-ABC på nett

Skoleelever, studenter og andre som trenger en kvikk oversikt over klimaproblemet - klimaendringer, konsekvenser og tiltak - vil ha nytte av CICEROs nye Klima-ABC på internett.

Sidene holdes oppdatert, og finnes på
www.cicero.uio.no



Klimanytt på e-post

Er du interessert i nyheter om klimaforskning og klimapolitikk? CICERO Senter for klimaforskning kan nå tilby ukentlige oppdateringer på e-post. Meldingene inneholder blant annet klipp fra norske og internasjonale nyhetsmedier, og nyheter om forskningen ved CICERO. Tjenesten er selvfølgelig gratis.

Her kan du registrere deg for å motta nyhetsmailene:
<http://www.cicero.uio.no/subscriber/>.

Hvis du er jevnlig innom nettsidene våre kjenner du allerede til hva slags nyheter det er snakk om - nemlig presseklippene og de øvrige oppslagene som legges ut på forsiden av <http://www.cicero.uio.no>.