

valler enn hva uavhengige beregninger angir (data for analysen som denne artikkelen baserer seg på kan hentes ned fra "skriptet" på nettadressen oppgitt nedenfor). Figuren fra Friis-Christensen og Lassen (1991) blir fremdeles ofte henvist til, noe som er uheldig, siden vi nå vet at denne figuren gir et feilaktig inntrykk om et bedre samsvar mellom solsykluslengde og temperaturer enn hva virkeligheten tilsier.

Konklusjon

Man kan med noenlunde sikkerhet si at endringer i solaktiviteten kan påvirke jordas klima. Det finnes flere hypoteser om hvordan solaktiviteten kan påvirke klimaet, og disse ekskluderer ikke hverandre. De hypotesene som virker mest sannsynlige er knyttet til stratosfærisk ozon, men det kan også se ut til at skydekket varierer i takt med solas utstråling. Selv om klimaet skulle være påvirket av solaktiviteten, er det ingen bevis for at de klimaendringene som vi nå ser, er et resultat av endringer i sola, fordi det ikke ser ut til at det har vært noen vesentlig endring i solaktiviteten siden 1950.

Referanser

- Farrar (2000), *Climatic Change*, **47**, 7-15.
- Friis-Christensen og Lassen (1991), *Science*, **254**, 698-700.
- IPCC (2001), *The Scientific Basis*, Cambridge Univ. Press, ISBN 0521 01495 6
- Kristjánsson m.fl. (2002), *Geophys. Res. Lett.*, **29**, 2107.
- Laut og Gundermann (2000), *J. Geophys. Res.*, **105**, 27,489-27,294.
- Richardson (2002), *J. Geophys. Res.*, **107**, 1304
- Shindell (1999), *Science*, **284**, 305-308.
- Svensmark (1998), *Phys. Review Lett.*, **81**, 5027-5030.
- Thejl og Lassen (1999), DMI report 99-9.
- Wagner m.fl. (2001), *J. Geophys. Res.*, **106**, 3381-3387.

Datakilder og analyseskript:

<http://www.cicero.uio.no/cicerone/03/2/cicerone0203.R>

Videre lesning på norsk:

- *Cicerone* 6/1999, s. 27-31; 1/2001, s. 23-24; 3/2002 s. 16-18.
- *Naturen* 5/2001 s. 245-247.

Rasmus Benestad

er forsker på prosjektet RegClim. Han er knyttet til Meteorologisk Institutt og arbeider bl.a. med statistisk nedskalering av klimascenarier. Benestad har doktorgrad i fysikk fra Oxford Universitet, England (rasmus.benestad@met.no)

Den lille istid skyldes solaktivitet og vulkanutbrudd

Ved hjelp av en klimamodell har forskere funnet ut at den lille istid trolig skyldes en kombinasjon av svakere solstråling og mange utbrudd fra vulkaner.

Sigbjørn Grønås, RegClim

Det meste av *den lille istid* (DLI) fant sted før den industrielle revolusjon da de menneskeskapte utslippene av klimagasser skjøt fart. Derfor er en sikker på at denne klimaendringen ikke var menneskeskapt, men at den derimot gir et glimt av hva slags klimaendringer naturen selv kan stå for.

Klimasvingninger gjennom tidene

Siden utgangen av istiden for omlag 10 000 år siden har jordas klima gjennomgått global oppvarming og avkjøling flere ganger. Svingningene har hatt mye mindre utslag enn de temperatursvingningene som skjedde ved utgangen av siste istid (yngre dryas), da store iskapper lå igjen over polare strøk. For omkring 6000 år siden, i den perioden som kalles *maksimum holosen*, var den globale gjennomsnittstemperaturen omlag 1,5 grader varmere enn i dag.

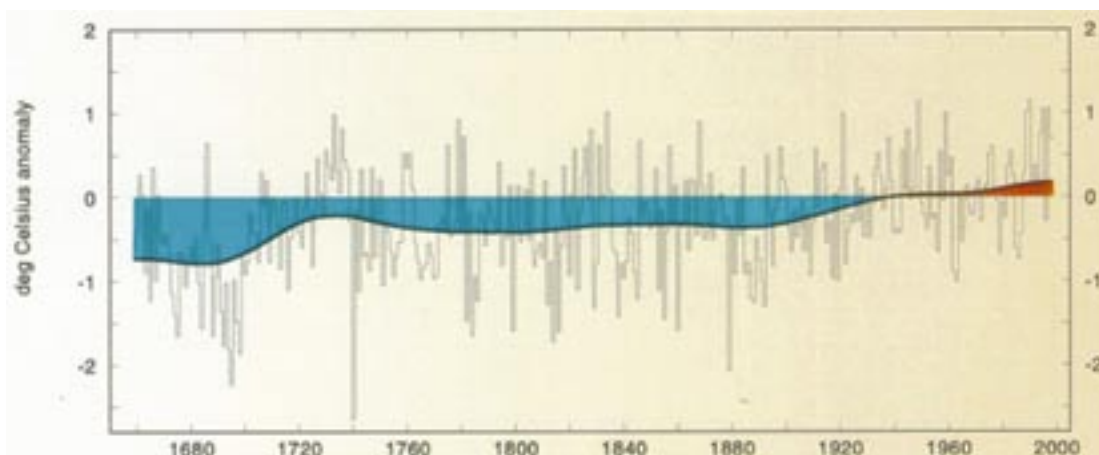
Nedbørmønstrene var forskjellige, for eksempel var det mer nedbør over Sahara. Et fuktigere klima i Mesopotania og i Indusdalen gjorde forholdene for jordbruksdrift mer gunstige, og menneskets første store kulturelle framvekst fant sted. Senere ble det kaldere enn i dag, og for omlag 2000 år siden ble det igjen varmere. Gjennom siste tusen år var det en relativt varm periode fram til rundt 1300, men en er ikke sikker på om denne trenden fant sted over

hele kloden. I Øst-Asia for eksempel, var det kaldere. I Europa flyttet jordbruket lengre nord og høyere opp i fjellene. En mener at bønder i England dyrket druer 500 km lengre nord enn det de gjør i dag. Norrøn virksomhet på Grønland var på det mest omfattende. Folkemengden økte og kulturen blomstret over det meste av Europa. Dette var perioden da en mengde katedraler ble bygd.

Den lille istid

Ved omkring år 1400 var klimaet igjen blitt litt kaldere, kanskje omtrent som det har vært gjennom de siste hundre årene. Etter år 1400 ble det kaldere, og vi fikk DLI. Det er uenighet blant forskere om varigheten på DLI. De fleste mener at en passende start er rundt 1450 AD eller noe senere. Uenigheten skyldes at fenomenet ikke var en enkelt lang kald periode. Det kan se ut som om trenden mot kaldere klima startet til forskjellige tider i forskjellige deler av verden, og at den ofte var avbrutt av relativt varme perioder. Alle er likevel enige om at den varte over flere hundre år og at den løstet taket mellom 1850 og 1900.

På ulikt vis er DLI bedre dokumentert enn tidligere klimavariasjoner. Før 1600 finner en mest informasjon i skrevne dokumenter, slik som annaler. For eksempel har prisen på korn vært brukt som klimaindikator. Senere begynte en å måle temperatur, nedbør og vind. Fra Oxford har man brukbare målinger av temperatur fra 1659 (figur 1).



Figur 1. Avvik i årlig middeltemperatur for Oxford fra 1659 til 1997 fra et middel for 1961 til 1990. Utjevnet kurve angir trender på hundreårsskala.

Når skriftlig materiale og målinger ikke foreligger eller er usikre, tyr forskerne til indirekte indikatorer slik som tetthet på årringer i tre, som kan utnyttes til informasjon om vekstsesongen. I de siste årene er mange andre metoder kommet til, for eksempel informasjon om vekstsesongen gjennom sedimenter i innsjøer.

Fra alle disse kildene har en et omtrentlig bilde av at klimaet kanskje var så mye som en grad kaldere i gjennomsnitt i forhold til dagens klima. En tror at avkjølingen var større på den nordlige enn på den sørlige halvkule.

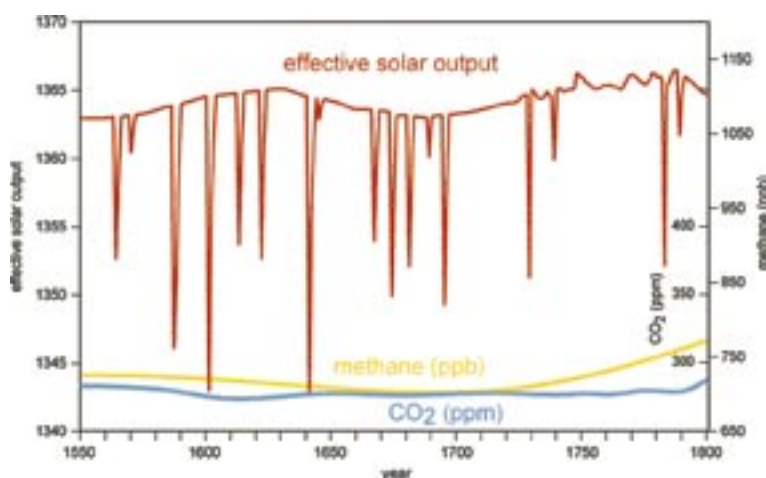
Utslagene synes å ha vært størst om vinteren, men ofte var det også kaldere om våren og høsten. Det fins mange beretninger om uår fra for eksempel Norge og Skottland. Den norrøne befolkningen på Grønland og Island var trolig hardest rammet. På Grønland forsvant bosetningen trolig ut før DLI gjorde seg gjeldende over Vest-Europa, og på Island minket folkemengden til et minimum. I England frøs Themsens som regel til, og det var vanlig med karnevallignende fester på isen ("Frost Fairs"). Tidlig på 1800 tallet skrev Charles Dickens om hvit jul som det vanlige i England.

Pådriv fra sol og vulkanutbrudd

For å forklare årsakene til DLI har forskere sett på endringer i solaktiviteten for å finne svar. Det er kjent at det i perioden fra 1675 til 1715 var få solflekker. Perioden kalles Maunder minimum og sammenfaller med den perioden man mener var den kaldeste i DLI (se artikkel av Brekke). En har beregnet at strålingen fra sola kanskje var så mye som 0,25 prosent svakere i denne perioden enn den er i dag. Andre forskere har undersøkt effekten av vulkanutbrudd. I et par år etter utbruddet fra Mount Pinatubo i 1991 falt den globale middeltemperaturen med om lag en halv grad. Dette skyldtes at utbruddet slapp ut partikler til stratosfæren, som reflekterer sollys og dermed hadde en avkjølede effekt. Forskere har funnet ut at det var flere slike utbrudd gjennom DLI enn gjennom de siste hundre år. Det mest kjente tilfellet var utbruddet fra Tambora i Indonesia i 1815. Året etter ble kalt "året uten sommer". I Nord-Europa var det da mange eksempler på snø og frost både i juni og i juli. En tror nå at DLI var forårsaket av en kombinasjon av svakere solstråling og mange utbrudd fra vulkaner (se figur 2).

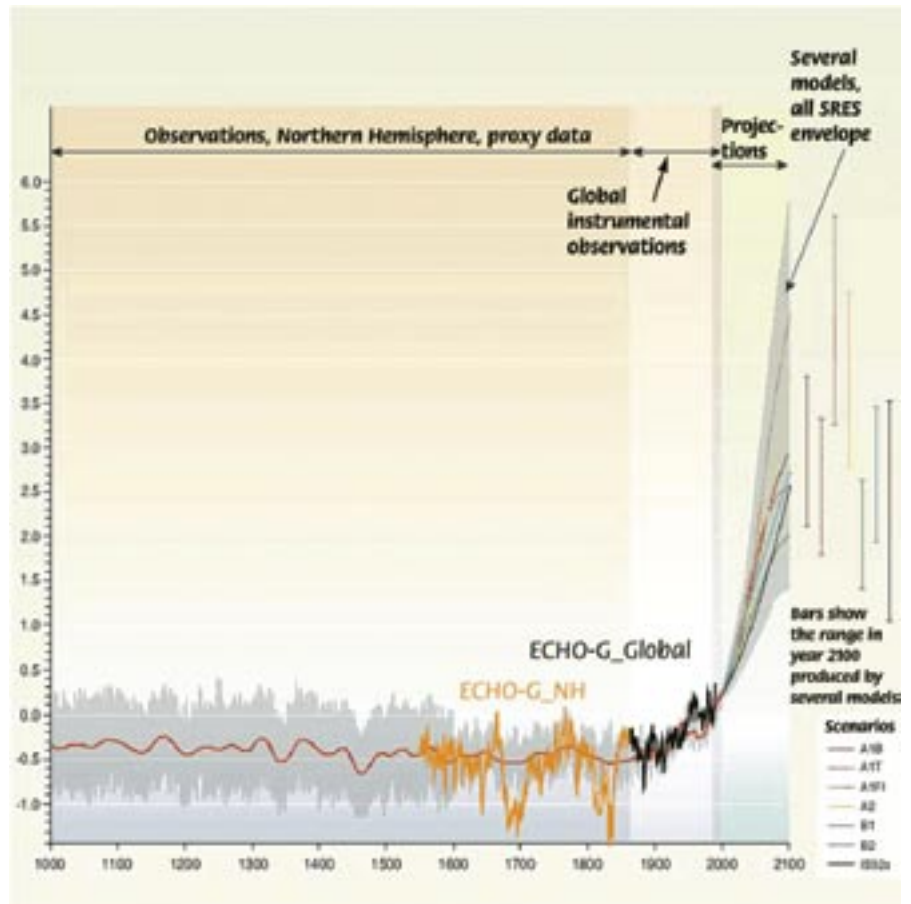
Modellberegninger

Til nå har klimaberegninger med kompliserte klimamodeller for atmosfære, hav, sjøis og vegetasjon mest blitt brukt for å beregne klimaendringer gjennom de siste hundre årene, og for de neste hundre år ut fra anslag for framtidige utslipp av klimagasser. Det går også an å bruke de samme modellene til å beregne klimaendringer gjennom DLI. Klima-



Figur 2. Variasjon av effektiv solinnstråling (Watt per kvadratmeter) som følge av solaktivitet og vulkanutbrudd. Nederst på figuren vises antatte konsentrasjoner av CO₂ og metan. Fra Fischer-Bruns m. fl. (2002) etter Crowley (2000).

Figur 3. Tidsserier av avvik i gjennomsnittlig årlig temperatur. Oransje farge viser resultater for nordlige halvkule fra simulering av Fischer-Bruns m. fl. (2002) og svart global temperatur fra samme simulering fra 1860 til 1990. Disse kurvene er lagt på en kurve fra FNs klimapanel (IPCC) som viser temperatur siste 1000 år (rød kurve, hvor det grå er variabiliteten) for nordlige halvkule i følge Mann m. fl. (1998) og projeksjoner for neste hundre år av global temperatur. Fra Fischer-Bruns m. fl. (2002).



forskere i Tyskland har vært tidlig ute, og i RegClims Technical Report No. 6 skriver Fischer-Bruns m. fl. om de første resultatene fra en beregning som starter i år 1500. De har gjort to beregninger: en kontrollberegning over 1000 år og en beregning fra 1500 fram til i dag med pådriv på klimasystemet fra Crowley (2000) (figur 2).

Beregnet gjennomsnittstemperatur er vist i figur 3 sammen med tilsvarende rekonstruksjon foretatt av Mann m. fl. (1998). Beregningene viser to klare kalde perioder, et som skjer samtidig med Maunder minimum (1675 til 1715), og et i en annen periode med lite solaktivitet kalt Dalton minimum (1780-1829). Utslagene er større enn i rekonstruksjonene til Mann (1998), men er mer sammenlignbare med rekonstruksjoner publisert senere av Esper (2002). Det er interessant at utslagene er minst like store som de som er observert gjennom de siste hundre år. Under Maunder minimum finner den største avkjølingen sted i vestre del av Nord-Atlanteren,

med størst utslag sør for Grønland og opp mot Island. Dette henger sammen med mye sjøis og synes å skyldes en tilbakekopling fra havet ved et usedvanlig lite saltinnhold i sjøvannet (saltanomaly, se artikkel av Grønås og Hjøllo i *Cicerone* 3/2002). Denne anomalien ble utløst av uvanlig store nedbørmengder i årene forut for Maunder minimum.

Det kommer til å komme flere beregninger og flere sammenligninger med rekonstruerte klimavariasjoner for DLI. De foreløpige resultatene fra Fischer-Bruns m. fl. (2002) er svært interessante og bidrar til økt tiltro til hva klimamodeller kan utrette og til beregninger av framtidig global oppvarming. Spesielt interessant er det at beregningene antyder forutsigbarhet for regionale klimaendringer. En merker seg at resultatene er oppnådd uten at kosmisk stråling har vært med som et pådriv i modellen. Det er også ennå uklart hvor mye modellen kan beskrive av vekselvirkning mellom oppvarming i stratosfære og klimaendringer ved bakken, som

mange hevder er viktig for å modellere klimaeffekten av endret solinnstråling (se artikkel av Benestad).

Referanser

- Crowley, T.J. 2000. *Science*, **289**, 270-277.
- Esper, J. m. fl. 2002. *Science*, **295**, 2250-2254.
- Fischer-Bruns, I. m. fl. 2002. Modelling the Late Maunder Minimum with a 3-dimensional OAGCM. RegClim General Technical Report No. 6, 13-21.
- Mann, M.E. m. fl. 1998. *Nature*, **392**, 779-787.

Sigbjørn Grønås

(sigbjorn@gfi.uib.no) er professor ved Geofysisk institutt, UiB, tilknyttet Bjerknessenteret for klimaforskning og med i ledergruppen for RegClim