Naturlige variasjoner i Irminger-strømmen gjennom de siste 11000 år

En rekke nedkjølingsepisoder over noen tiår er observert gjennom hele perioden etter siste istid på Reykjanesryggen sørvest for Island. Selv om noen av disse episodene kan settes i sammenheng med stor drift av isfjell og sjøis, er ikke sammenhengen klar.

Kari Sire Berner og Nalân Koç

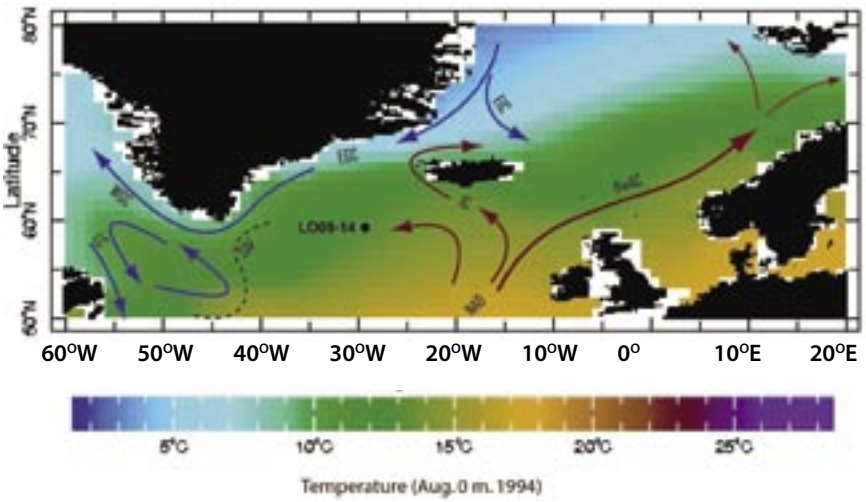
Golfstrømmen frakter varmt og salt vann fra ekvator i sør til Nord-Atlanteren og Norskehavet i nord (Orvik og Skagseth, 2005). I Nord-Atlanteren forgrener Golfstrømmen seg i to hovedstrømmer, den Norske Atlanterhavstrømmen og Irmingerstrømmen (Figur 1). Den Norske Atlanterhavstrømmen fortsetter nordover langs Norskekysten, mens Irmingerstrømmen svinger av vestover og krysser Reykjanesryggen sør for Island. Det meste av Irmingerstrømmen fortsetter sørvestover, mens en liten gren går nordover og rundt Island. De oseanografiske forholdene på Reykjanesryggen er preget av den varme Irmingerstrømmen, men området er også sensitivt for smeltevanntilførsel og den kalde Østgrønlandstrømmen fra nord. Det er påvist endringer i dette systemet i dag, og hensikten med undersøkelser av marine kjerner fra Reykjanesryggen er å utvide de moderne tidsseriene fra dette området tilbake i tid for å dokumentere de naturlige variasjonene i Irmingerstrømmen gjennom tidsepoken holosen – som betegner tiden etter siste istid, det vil si de siste 11000 årene. Studien er gjennomført under det nasjonalt koordinerte NFR-prosjektet NORPAST-2 og EU-finansierte prosjektet PACLIVA.

Materiale og metoder

En sedimentkjerne fra Reykjanesryggen sør for Island (figur 1) er analysert for plante planktonrester av diatomeer – kiselalger. Denne lokaliteten har høy avleiringshastighet av sedimenter. Hele 6,5 meter er avsatt i løpet av de siste 11000 år, og hver andre centimeter av kjernen er analysert for diatomeer. Dette gir en tidsoppløselighet på cirka ti til 50 år, og alderskontrollen er basert på 40 datering med radioaktivt karbon (AMS ^{14}C-dateringer) fra små kalkskall av zooplanktonet *Globigerina bulloides*. Diatomeer lever i den såkalt fotiske sonen – som er den sonen der sollyset slipper til i havet (null til 50 meter), og de viser høy artsrikdom i kaldt vann. Sammensetningen av diatoméartene gjenspeiler dagens forhold i vannmassene i Nord-Atlanteren. Variasjoner i artssammensetningen i de analyserte prøvene kan dermed indikere variasjoner i de vannmassene gjennom tid (Andersen et al., 2004). Diatomeer er et nyttig verktøy for å rekonstruere fortidas klima og vannmasser i Nord-Atlanteren (Koç, Karpuz og Schrader, 1990). I denne analysen er kvantitative sommertemperaturer ved havoverflaten (SSST) rekonstruert ved bruk av tre forskjellige statistiske metoder. I tillegg er statistiske metoder benyttet for å dokumentere variasjoner i temperaturene over tid.

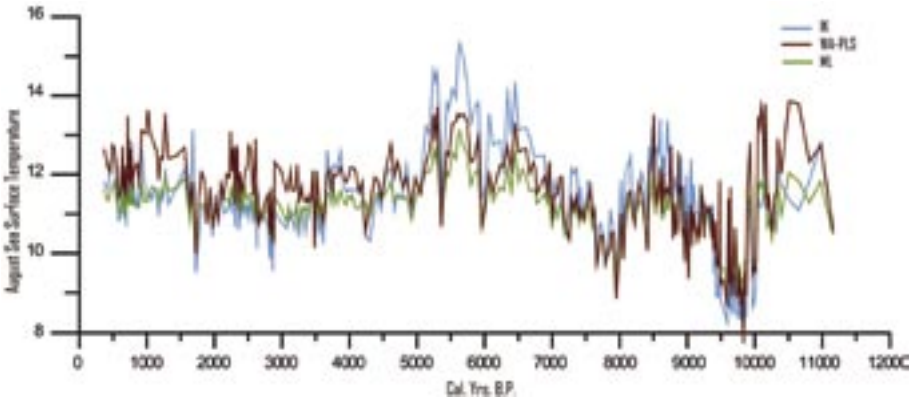
Havoverflatetemperaturer

De tre statistiske metodene som er benyttet i denne analysen, viser veldig lik SSST-rekonstruksjon gjennom de siste 11000 årene – eller holosen, men det er observert noe avvik i absolutte SSST-verdier – pluss eller minus én grad. På bakgrunn av de rekonstruerte sommertemperaturene

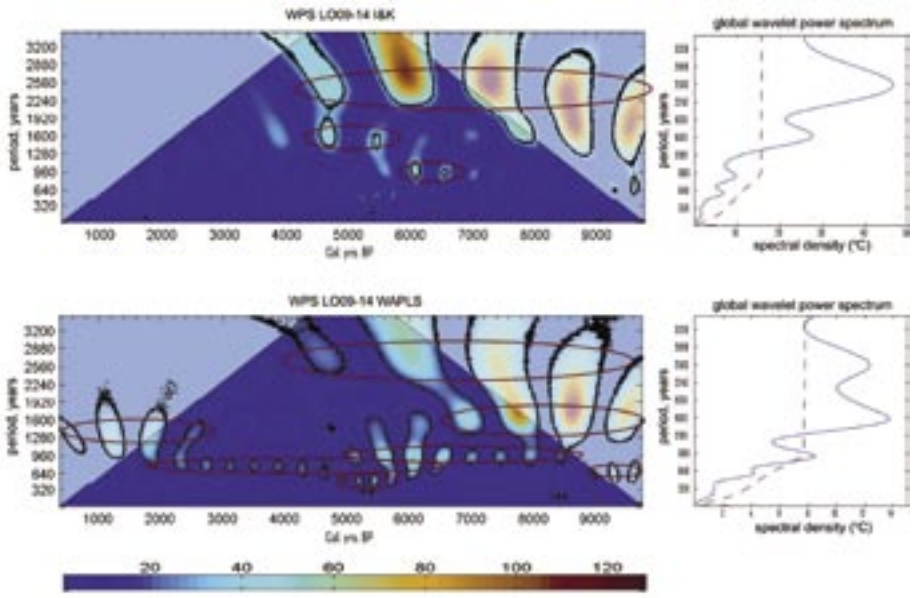


Figur 1. Kart over Nord-Atlanteren med de viktigste overflatestrømmene og plassering av kjerne LO09-14. NAD, Golfstrømmen; NwAC, Norske Atlanterhavstrømmen; IC, Irmingerstrømmen; EIC, Øst-Grønlandstrømmen; EIC, Østislandstrømmen; WGC, Vest-Grønlandstrømmen; LC, Labradorstrømmen og SAF, Subarktiske front.

"Innlandsisen over Nord-Amerika opphørte for 7000 år siden. Dette har trolig resultert i dramatiske endringer av vannmassene og sirkulasjonsmønsteret i Nord-Atlanteren, noe som har hatt innvirkning på det regionale klimaet."



Figur 2. Sommerhavoverflatetemperatur (˚C) for kjerne LO09-14 (I&K, Imbrie og Kipp; WA-PLS, Weighted averaging partial least square og ML, Maximum likelihood).



Figur 3. Wavelet power spectra basert på I&K og WA-PLS SSST datasett.

kan holosen deles inn i tre perioder (figur 2). Tidlige holosen – fra for 11000 til for 7000 siden viser relativt kalde og ustabile temperaturer med endringer på én til tre grader celsius. I periodene fra for 10000 til for 9400 siden og fra for 8000 til for 7000 siden er to signifikante nedkjølinger observert, mens signifikante oppvarminger er dokumentert fra periodene fra for 11000 til 10000 år siden, for 9400 år siden og for 8000 år siden. Fra for 7000 år siden til for 5000 år siden ble temperaturene i havoverflaten høyere, og denne perioden blir referert til som holosens klimaoptimum (HCO). HCO er også preget av ustabile temperaturer med endringer på én til tre grader celsius, og to brå nedkjølinger er observert for 5900 og 5300 år BP. Den siste perioden, fra 5000 år BP til nåtid, viser kaldere og mer stabile temperaturer med vannmasser som liknet på dagens forhold.

Rekonstruksjonene viser at den generelle klimautviklingen på Reykjanesryggen var sterkt preget av smeltevanntilførsel fra innlandsisen over Nord-Amerika som begynte å smelte etter siste istid. Denne smeltevanntilførselen har trolig ført til en forsinket utvikling av HCO på Reykjanesryggen sammenlignet med Norskehavet der HCO er dokumentert til mellom cirka 9000 til 6000 år BP.

I tillegg til den generelle klimautviklingen på Reykjanesryggen, er det observert en serie med høyfrekvente temperatursvingninger gjennom holosen med nedkjøling på om lag to til tre grader celsius. Disse klimatiske svingningene forekommer med periodisitet – regelmessig repetisjon – på 600 til 1000, 1500 og 2500 år (figur 3). Vi kan påvise at de forskjellige periodisiteter forekommer i bestemte tidsperioder. Fra for 11000 år siden til for 5000 år siden dominerte variasjonene i havoverflaten med periodisiteter på 2500 og cirka 1500 år. For vel 5000 år siden forandret variasjonene seg med periodisitet på 900 og 1000 til 1500 år. Disse forskjellene før og etter tiden for om lag 5000 år siden er trolig knyttet til både avsmeltningen av innlandsisen over Nord-Amerika og variasjoner i solinnstrålingen. Innlandsisen over Nord-Amerika opphørte for 7000 år siden. Dette har trolig resultert i dramatiske endringer av vannmassene og sirkulasjonsmønsteret i Nord-Atlanteren, noe som har hatt innvirkning på det regionale klimaet. I tillegg var nordre halvkule preget av høyere solinnstråling gjennom tidlige holosen, som trolig har resultert i forskjellige atmosfæriske sirkulasjonssystemer sammenlignet med sene holosen.

En rekke nedkjølingsepisoder over noen tiår er observert gjennom hele holosen på Reykjanesryggen. Noen av disse episodene kan korreleres med episoder med stor drift av isfjell og sjøis som ifølge Bond m.fl. (1997) forekom hvert 1500 år. Men det er ingen klar sammenheng til våre data gjennom hele holosen. I de tilfellene hvor det er en sammenheng, viser imidlertid våre resultater en nedkjøling av havoverflaten på to til tre grader celsius. De fleste av nedkjølingene synes å være i fase med indikasjoner på redusert solintensitet. Slik redusert solintensitet kan være årsaken til disse signifikante klimatiske nedkjølingene. I tillegg viser nedkjølingene god sammenheng med variasjoner i dypvannsstrømmene i Nord-Atlanteren (Bianchi and McCave, 1999; Oppo et al., 2003; Hall et al, 2004), som er en viktig drivkraft for varmetransporten nordover. Disse sammenlikningene tyder på en sterk kopling mellom de atmosfæriske variasjonene gjennom holosen med variasjoner i dyp- og overflatevannet i Nord-Atlanteren.

Referanser

• Andersen, C., N. Koç, A. Jennings and J.T. Andrews (2004), Nonuniform response to the major surface currents in the Nordic Seas to insolation forcing: Implications for the Holocene climate variability, *Paleoceanography, 19*, doi:10.1029/2002PA000873.

• Dyke, A. S. and V. K. Prest (1987), Late Wisconsinan and Holocene history of the

Laurentide Ice Sheet. *Geographi Physique et Quarternarie,* **41**, 237-263.

• Koç-Karpuz, N. and H. Schrader (1990), Surface sediment diatom distribution and Holocene paleo-temperature variations in the Greenland, Iceland and Norwegian Seas through the last 14 ka based on diatoms, *Quaternary Science Reviews,* **12**, 115-140.

• Orvik, K. A. og Ø. Skagseth (2005), Golfstrømmen er blitt varmere og svakere de siste 10 år, *Cicerone*, 5, 18-20.

• Solignac, S., A. de Vernal and C. Hillaire-Marcel (2003), Holocene sea-surface conditions in the North Atlantic – contrasted trend and regimes in the western and eastern sectors (Labrador Sea vs. Icelandic Basin), *Quaternary Science Reviews,* **23**, 319-334.

Kari Sire Berner
er geolog hos Chevron Norge AS
(kari@npolar.no)

Nalân Koç
er leder for forskningsprogram hos Norsk Polarinstitutt (nalan.koc@npolar.no).

Fjernkontroll av ozonnedbrytningen i Arktis?

Undersøkelser av de siste 50 vintrene indikerer at temperaturen i stratosfæren – og dermed ozonnedbrytningen– i stor grad avhenger av solas aktivitetsnivå og vindregimet i den tropiske stratosfæren. I så fall må vi vente en stabil og kald stratosfære vinteren 2006/07 og muligens betydelig ozonnedbrytning våren 2007.

Georg H. Hansen

Stratosfærevinteren 2005/2006 ble ganske spesiell og ulik tidligere vintre. Den polare stratosfæriske virvelen – over områder der luften kjøles ned slik at det kan danne seg polare stratosfæriske skyer – etablerte seg tidlig denne vinteren og det ble svært kaldt allerede tidlig i desember 2005. Siden ozon kan brytes effektivt ned i polare stratosfæriske skyer når sollyset kommer tilbake etter mørketiden, kunne en frykte massiv nedbrytning av ozon på vårparten.

Målinger ved ALOMAR, Andøya forrige vinter

De første stratosfæriske skyene ble observert med lidarinstrumentene – laser-radar – på ALOMAR-observatoriet på Andøya rundt 5. desember. Skyene var imidlertid nokså svake og forble slik til 20. desember. Så begynte ting å skje: Det ble stadig kaldere i et stadig dypere sjikt og skyene ble tykkere og mer intense. I første januaruke nådde signalene fra skyene en styrke som er blitt observert bare én gang før, i rekordvinteren 1995/96. Etter temperaturfeltene fra den europeiske værsentralen ECMWF å dømme, hadde skyene også stor geografisk utstrekning og dekket mesteparten av Nord-Atlanteren og Skandinavia. Figur 1 viser middagshimmelen i Tromsø midt i mørketiden som er sterkt lyst opp av slike skyer. I form og farge er disse skyene veldig forskjellige fra den mest kjente formen av stratosfæreskyer, nemlig perlemorskyer.

En plutselig endring i sirkulasjonen

Men da den midlere stratosfære var på sitt kaldeste, rundt 6. januar, avtegnet det seg en massiv oppvarming høyere opp i stratosfæren og ti dager senere hadde temperaturen i 25 kilometer høyde steget fra minus 90 grader celsius til minus 70 grader, mens den i 40 kilometer høyde nådde pluss 30 grader. Dette betegnes som en "major midwinter warming". Stratosfæreskyene forsvant bokstavelig talt som dugg for solen – og februar ble en av de aller varmeste i stratosfæren i nord på minst 20 år. Selv om det var veldig tidlig i sesongen enda, klarte polarvirvelen aldri å reetablere seg, og dermed var ozonnedbrytingsspøkelset over i denne omgang. Figur 2 viser utviklingen av totalozonmengden over Andøya, målt med forskjellige instrumenter, og sammenliknet med månedsmidler fra Tromsø for perioden 1950-1972, det vil si tiden før menneskelige utslipp av KFK-gasser begynte å påvirke ozonlaget merkbart.

Sammenheng med QBO

For stratosfæredynamikerne kom utviklingen ikke som en stor overraskelse, og det skyldes kombinasjonen av to faktorer som har vist seg å ha en vesentlig innflytelse på stabiliteten til den arktiske stratosfærevirvelen: den kvasi-toårige svingningen – Quasibiennal Oscillation (QBO, se faktaboks) – og solas aktivitet gjennom en solsyklus på 11 år (se faktaboks).

QBO er et tropisk fenomen. Dermed kan man ikke forvente en direkte innflytelse på dynamikken i den polare stratosfæren. Dynamikken på den nordlige halvkulen er imidlertid også sterkt influert av storstilte bølger – Rossby-bølger – forårsaket av topografien. Disse forstyrrer den arktiske stratosfærevirvelen og vekselvirker samtidig med QBO, slik at man får en indirekte innvirkning av QBO på den arktiske