

# Bråe klimaendringer ved utgangen av istiden

Ved utgangen av siste istid skjedde det en brå oppvarming på våre breddegrader. Årsaken var store mengder smeltevann fra Antarktis som satte i gang de store havstrømmene i Atlanterhavet.

Sigbjørn Grønås,

RegClim

og Solfrid Sætre Hjøllo,

NOClim

Under siste istid var iskappene ved polene så store at havets nivå på det meste var 120 meter lavere enn i dag. Ved utgangen av istiden, for omkring 19 000 år siden ved inngangen til perioden *eldre dryas*, startet en storstilt smelting av isen, trolig utløst av en langsom økning av solstrålingen ved polene om somrene fordi jordas bane endret seg (se artikkel av Mangerud i *Cicerone* 2/2003). Til tider dannet det seg svære innsjøer med smeltevann, demt opp av

isen. Disse innsjøene kunne briste og gi relativt kortvarige pulser med ferskvann til havet. Slike vannmengder kunne påvirke havsirkulasjonen, den vi gjerne kaller *den termohaline sirkulasjon*, som er viktigst i Atlanterhavet og der overflatedelen i dagligtale noe upresist blir kalt "Golfstrømmen". Sirkulasjonen har to stabile tilstander: "på" slik som i dag da nordatlantisk dypvann (NADW) dannes og store varmemengder transporteres mot Arktis; eller "av", da dannelse av NADW og varmetransporten mot nord opphører (se artikkel av Hjøllo i *Cicerone* 2/2002). En har lenge ment at veksling fra "på" til "av" kan oppnås ved at store ferskvannspulser tilføres havet. Nyere forskning tyder på at slike pulser også kan sette i gang sirkulasjonen fra "av" til "på", men bare dersom pulsen er

knyttet til Antarktis (Weaver m fl 2003).

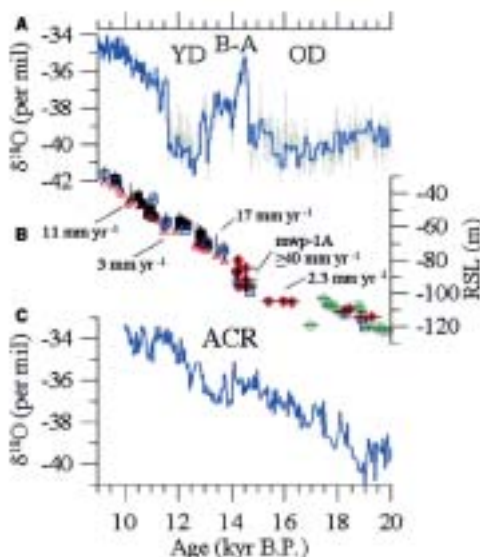
## En stor puls med ferskvann

En markant puls med smeltevann ved utgangen av siste istid kalles *mwp-1A*. Den varte i litt mindre enn 500 år, og førte til at havets nivå steg med om lag 20 meter. Tidfestingen er alltid usikker når en går så langt tilbake i tid. Til nå har en ment at pulsen startet noen hundre år etter en markant varm periode, kalt *Bølling-Allerød*, som startet brått for omkring 14 600 år siden (figur 1). En har også ment at pulsen var knyttet til de store iskappene over i nord; Fennoskandia (Skandinavia/Finland/Kola) og Nord-Amerika (Laurentideiskappen). Det er antatt at når ferskere vann blir tilført Nord-Atlanteren, så svekker det den termohaline sirkulasjonen. Derfor har en til nå brukt pulsen til å forklare kaldere klima gjennom *ynge dryas* i tiden etter Bølling-Allerød (figur 1).

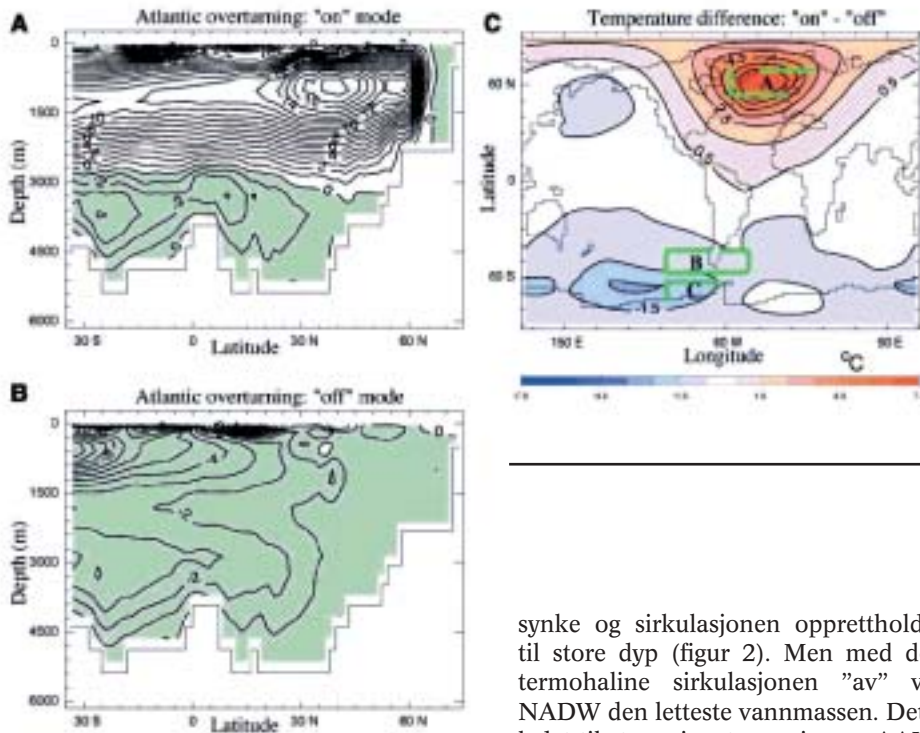
Nye paleoklimatologiske undersøkelser indikerer imidlertid at starten av *mwp-1A* kom tidligere, det vil si omtrent samtidig eller litt før oppvarmingen i Bølling-Allerød. Videre fins det indikasjon på at pulsen først og fremst kom fra Antarktis og ikke så mye fra iskappene i nord.

## Eksperiment med klimamodell

Dette ledet Weaver m fl til å gjøre omfattende eksperimenter med en klimamodell som omfatter både atmosfæren og verdenshavene, for å studere klimaendringer som følge av en puls lik *mwp-1A* fra Antarktis. Først gjorde de eksperimenter som viste at modellen får fram de to stabile tilstandene, og de demonstrerte at det kreves store endringer i tilførselen av ferskvann



Figur 1. Klimaendringer (endring i mengden av oksygenisotopen O-18, som er proporsjonal med temperatur) og endringer i havnivået gjennom perioden eldre dryas. A. Endring i oksygen-18 fra iskjerner fra Grønlandsisen. OD: eldre dryas, B-A: Bølling-Allerød, YD: yngre dryas. B. Havets relative nivå i meter. Tallene gir gjennomsnittlig årlig smelting for periodene: fra 19 til 14,6 tusen år siden, 14,6 til 14,1, 14,1 til 12,9, 12,9 til 11,6 og 11,6 til 6 tusen år. C. Endring i oksygen-18 fra iskjerner fra Antarktis. ACR: Antarctic Cold Reversal. Etter Weaver m fl (2003).



Figur 2. Sirkulasjonen i modellen til store dyp i Atlanterhavet målt i Sverdrup (SV: en million kubikkmeter per sekund). A. Tilstand med termohalin sirkulasjon "på". B. Sirkulasjonen i tilstand "av". C. Temperaturforskjell i lufta mellom de to tilstandene. På figuren er tre områder A, B og C merket, hvor smeltevann ble tilført i eksperimentene. Etter Weaver m fl (2003).

(eller eventuelt fordampning) for å få havsirkulasjonen ut av de stabile leiene. Den termohaline sirkulasjonen i de to tilstandene, og forskjellen mellom dem i lufttemperaturen ved overflaten er vist i figur 2. De store temperaturforskjellene kommer som ventet i våre områder, men vi merker oss også store utslag i sør med motsatt fortegn.

De identifiserte to hovedvannmasser på stor skala i tillegg til NADW som viktige for den termohaline sirkulasjonen: bunnvann i Antarktis (AABW) og antarktisk vann på midlere (intermediære) dyp (AAIW). Med den termohaline sirkulasjonen "på" fant de at tettheten til NADW lå mellom tetthetene for AABW og AAIW. Slik kan NADW

synke og sirkulasjonen opprettholdes til store dyp (figur 2). Men med den termohaline sirkulasjonen "av" var NADW den letteste vannmassen. Dette ledet til større innstrømming av AAIW til Atlanteren og en kompensierende utstrømning av salt vann i overflaten. Dette gav en ytterligere reduksjon i tettheten til NADW.

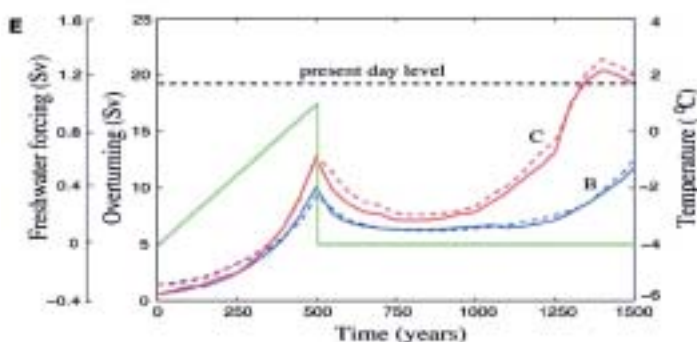
#### Fra "av" til "på"

I et eksperiment startet de med dagens stabile tilstand med den termohaline sirkulasjonen "på" som utgangspunkt. Ved å tilføre tilstrekkelig med ferskvann i Nord-Atlanteren oppnådde de en overgang til tilstanden "av", som trolig rådet før Bølling-Allerød satte inn. Så gjorde de et eksperiment hvor de tilførte en ferskvannspuls svarende til mwp-1A i Antarktis, i områder der AAIW ble dannet i modellen. De diskuterer to eksperiment hvor plasseringen av området for pulsen er litt ulik (se figur 2). Pulsen var lineær i 500 år, for så å bli slått av. Resultatet er vist i figur 3, som viser ferskvannspulsen, styrken på havsirkulasjonen

(overturning) og temperaturavvik i våre områder. Etter 500 år var den termohaline sirkulasjonen "på" i begge eksperimentene, men sterkere i det ene enn det andre. Temperaturen ble økt tilsvarende i nord og avtok omtrent like mye i sør (avkjølingen ikke vist i figur 3). Dette førte til at sirkulasjonen knyttet til AABW ble svekket. Når ferskvannspulsen ble borte, ble dannelsen av NADW først redusert, men uten å bli borte. Omtrent 500 år senere økte dannelsen av NADW og styrken på sirkulasjonen. I et av eksperimentene ble dagens styrke på den termohaline sirkulasjonen nådd (figur 3).

#### Forklaring på klimaendringer

Eksperimentene og data om økning i havets nivå fikk forfatterne til å gi følgende forklaring på klimaendringene ved utgangen av istiden: Isen startet å smelte i eldre dryas fra omkring 19 000 år siden, havet steg med ca 2,3 mm per år i flere tusen år og den termohaline sirkulasjonen var stabil i tilstanden "av". Med pulsen mwp-1A steg havet med 40 mm per år over 500 år. Dette medførte



Figur 3. Tidsforløpet for smeltevannspulsen (grønn kurve), maksimalstyrke på den termohaline sirkulasjonen (Sv, heltrukne kurver) og endring i lufttemperatur over havet i nord (stiplede kurver; 45 grader vest til 9 grader øst; 58,5 til 65,7 grader nord) for de to eksperimentene med ferskvannspuls ved Antarktis (røde kurver område C og blå kurver område B, se figur 2). Etter Weaver m fl (2003).

at AAIW ble lettere enn NADW, noe som satte den termohaline sirkulasjonen "på". Følgen ble den bråe oppvarmingen i nord i Bølling-Allerød og avkjølingen i Antarktis (Antarctic Reversal, ACR, se figur 1). Gjennom Bølling-Allerød steg havet med ca 17 mm per år, mindre enn under pulsen, men betydelig mer enn i eldre dryas. Det meste av vannet kom naturlig nok i nord, og en tror at svært mye av det kom gjennom St. Lawrence til Labradorhavet. Den termohaline sirkulasjonen ble svekket, men ikke så mye at den gikk over i stabil tilstand "av". Reduksjonen forklarer imidlertid kaldere klima i nord gjennom yngre dryas. Klimaendringen reduserte igjen tilførselen av smeltevann til havet, som nå var bare 3 mm per år. Smeltevann som tidligere gikk ut St. Lawrence, tok andre leier. Den termohaline sirkulasjonen økte, og det ble ganske brått varmere igjen for omkring 11 600 år siden. Denne siste oppvarmingen markerte slutten på yngre dryas. Havnivået steg med om lag 11 mm per år gjennom resten av istiden, men uten at dette fikk større virkning på den termohaline sirkulasjonen. Klimaet stabiliserte seg.

#### Vil skape debatt

Arbeidet til Weaver m fl vil nok skape debatt. For det første er ikke alle paleoklimatologer enige i tidfestingen av pulsen mwp-1A. Oseanografer kan ha vansker med deres forklaringer på den termohaline sirkulasjonen og at de utfordrer det tradisjonelle synet på Nord-Atlanteren som den mest følsomme arena for klimapåvirkninger. Siste ord om det ustabile klimaet ved utgangen av istiden er ikke sagt.

#### Referanse

• A.J. Weaver, O.A. Saenko, P.U. Clark, J.X. Mitrovica. *Science*, 14. mars 2003.

### Sigbjørn Grønås

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

### Solfrid Sætre Hjøllo

er forsker ved Bjerknes senter for klimaforskning i Bergen og fagsekretær i NOClim (Solfrid.Hjollo@gfi.uib.no).

# Bruk av pollen til å rekonstruere fortidens klima

Alle planter er avhengige av klimaet rundt seg. Når klimaet endres vil også vegetasjonen forandre seg. Rester etter planter som har vokst i et område kan finnes igjen i innsjøsedimenter og dermed fortelle oss hvordan vegetasjon og klima har endret seg siden siste istid.

Anne E. Bjune, Sylvia M. Peglar  
og John Birks,

## NORPAST

Hvert år spres utallige pollenkorn, eller blomsterstøv, ut i lufta fra urter, busker og trær i våre omgivelser, til plage for noen og til nytte for andre. De ulike plantartene har pollenkorn med forskjellig utseende og disse gjenkjennes i mikroskop, noen til en bestemt art, andre til en gruppe av arter. Det betyr at pollenet som spres kan gi oss et bilde av den floraen og vegetasjonen som finnes på et sted til en bestemt tid. Siden sammensetningen av plantene er bestemt av økologiske og klimatiske forhold, gir pollenet også et bilde av disse forholdene. Pollen fra en hannplante som mislykkes i sin ferd mot å pollinere en hunnplante kan bli en del av avsetninger i vann og i myrer - der pollenet bevares godt i det oksygenfrie miljøet. Det er grunnlaget for de historiske analysene av vegetasjon og klima gjennom pollenanalyse.

#### Forhold mellom pollen og klima

Ved at de ulike plantenes økologiske og miljømessige toleranse og artenes optimale levekår i dag er kjent, kan man rekonstruere fortidens miljø og klima ved å studere polleninnholdet i avsetninger. Ut fra den statistiske sammenhengen mellom dagens vegetasjon, og dermed dagens pollenproduksjon, og dagens klimaforhold, beregner vi hvilke klimaforhold man kan vente der man finner en bestemt sammensetning av pollen. Vi antar at de ulike planteslagenes krav til klimaet på voksestedet har vært de samme tidligere som de

er i dag. Dermed kan vi beregne fortidens klima ved å undersøke pollensammensetningen. Denne metoden kan gi en kontinuerlig rekonstruksjon av fortidens klima på steder der man kjenner alderen på de ulike lagene i avsetningene ved hjelp av radiokarbondatering (C14), og har mange pollenprøver fra en sedimentkjerne eller en torvprofil.

Fordelen ved å bruke pollen til klimarekonstruksjoner, er at de finnes i store mengder og mange arter blir representert i sedimenter. Men polleninnholdet representerer ikke alltid hele vegetasjonen, og vi kan ikke alltid gå ut fra at dobbelt så mange pollenkorn for eksempel betyr dobbelt så mange individer av en art. Mengden av ulike typer av pollen i avsetningene avhenger nemlig av hvor store mengder pollen de ulike artene produserer, om de spres med vind, vann eller dyr, og også hvor gode oppbevaringsforholdene i avsetningen er. En annen viktig faktor er plantenes faktiske avstand gjennom tid til lokaliteten som undersøkes. Pollen som spres med vinden kan transporteres over store avstander. Eksempelvis er det funnet store mengder furupollen i moseprøver fra Svalbard, der avstanden til nærmeste furuskog er flere tusen kilometer. Pollen som spres med vann og dyr vil kun transporteres over korte avstander, og funn av disse artene i fossile prøver viser deres tilstedeværelse i den lokale floraen, mens vindspredd pollen gir et bilde av den regionale floraen.

#### Rekonstruksjon av klima

Sammenhengen mellom pollen og klima er beregnet ut fra overflateprøver fra innsjøsedimenter hentet i deler av Norge med ulikt klima. Datasettet omfatter