

Ingen ny istid i Noreg

Modellsimuleringar med Bergen klimamodell tyder på at Golfstraumsystemet er meir robust for endringar i tilførsel av ferskvatn enn tidlegare trudd.

**Odd Helge Otterå, Helge Drange og
Nils Gunnar Kvamstø,**
RegClim

Den storstilte havsirkulasjonen i Atlanterhavet, kjent som den atlantiske termohaline sirkulasjonen (THC) eller Golfstraumsystemet, transporterer store varmemengder til høge nordlege breiddegrader, og er difor ei viktig årsak til det relativt milde klimaet i Nord-Europa og Skandinavia. Naturlege klimavariasjonar i våre nærrområder er difor nært knytta til stabiliteten til denne sirkulasjonen.

Det er sterke indikasjonar på at tilførselen av ferskvatn til dei nordlege breiddegradane er aukande. Dette vert underbygga av resultat frå køyringar med dei fleste klimamodellane og nyleg publiserte data frå Atlanterhavet, som viser reduksjon i saltinnhaldet i vassmassane i det nordlege Atlanterhavet (Curry m. fl. 2003, se side 30). Eit vanleg resultat frå klimamodellar er at den atlantiske THC

vert svekka dersom meir ferskvatn vert tilført det nordlege Atlanterhavet. Mange forskarar ser det difor som sannsynleg at den negative trenden i saltinnhaldet i Nord-Atlanteren dei siste tiåra vil føre til ein reduksjon i den atlantiske THC, med moglege følgjer for klimaet i våre nærrområder.

Det er framleis knytta stor uvisse til korleis THC vil svare på auka tilførsel av ferskvatn til Nord-Atlanteren. Den klassiske oppfatninga om at denne sirkulasjonen er drevet av nedsynkinga i Dei nordiske hav og Labradorhavet har i dei siste åra vorte angrepen frå mange hald. Ei rekkje nye studiar peikar i staden på blandingsprosessar i havet sitt indre som det avgjerande for styrken til den atlantiske THC (Munk og Wunsch 1998). Desse blandingsprosessane er i sin tur i all hovudsak drevne av vinden og tidevassbølgjer. Nyare resultat indikerer vidare at den atlantiske THC i modellar er særst var til korleis blandingsprosessane er skildra i ulike havemodellar

(Nilsson m. fl. 2003).

Vi har nyleg undersøkt stabiliteten til den atlantiske THC ved hjelp av ei sensitivitetskøyring i Bergen klimamodell med auka tilførsel av ferskvatn på høge nordlege breiddegrader. Denne køyringa (heretter kalla FW) går over 150 år. Resultata er samanlikna med dei i ei kontrollkøyring (heretter kalla CTRL) for dagens klima (Furevik m. fl. 2003). I FW er tilførsel av ferskvatn frå utvalgte elvar i polområda firedobla i høve til dagens situasjon. Den totale elveavrenninga til Arktis og Dei nordiske hav er såleis auka frå 0,1 Sv (1 Sv = 1 million kubikkmeter per sekund) i CTRL til 0.4 Sv i FW. Denne auken har same storleik som den samla tilførselen av ferskvatn til regionen under smeltinga av dei store iskappene mot slutten av forrige istid, og representerer ei kraftig forstyrning av systemet. Auken i ferskvatn er tilført kystsona i Dei nordiske hav og i Arktis kontinuerleg over heile 150-årsperioden.

Eit vanleg mål på styrken til den

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 AerOzClim, 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*.

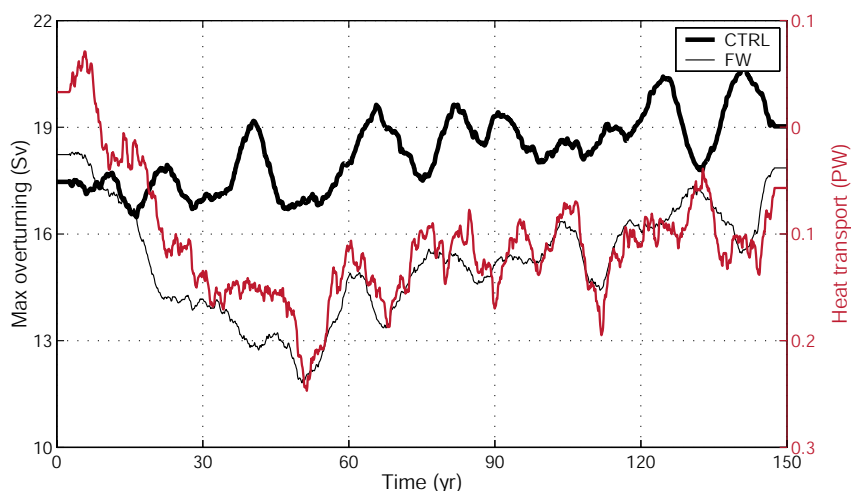
storstilte havsirkulasjonen i Atlanteren er den maksimale styrken på den vertikale omveltinga i Atlanterhavet. Figur 1 viser endringa i den maksimale styrken av denne omveltinga for CTRL og FW. Denne indikerer at i CTRL er styrken på den atlantiske THC omlag 18 Sv i gjennomsnitt over dei 150 åra, med mykje 10-årsvariasjon omkring denne gjennomsnittsverdien. I FW er styrken på den atlantiske THC redusert med over 6 Sv over dei fyrste 50 åra (omlag 30 prosent). Denne reduksjonen skuldast i fyrste rekkje kraftig redusert danning av djupvatn i den subpolare Atlanteren (Labradorhavet og Irmingerhavet) og i Dei nordiske hav, og til ein viss grad redusert utstrøyming av djupvatn frå Arktis gjennom Framstredet (Otterå m. fl. 2003). I same periode vert også den nordgåande varmetransporten ved 24°N redusert med meir enn 0,2 PW (1 PW=10¹⁵ Watt). Over dei siste 100 åra tek likevel styrken i den atlantiske THC seg opp att med nesten 4 Sv trass i ein kontinuerleg auka tilførsel av ferskvatn til nordområda. Køytringane med Bergen klimamodell indikerer at den atlantiske THC er robust for endringar i tilførselen av ferskvatn i nord, i alle fall på kortare sikt (100 år). Denne overraskande responsen skuldast ei rekkje komplekse tilbakekoplingsmekanismer frå klimasystemet (atmosfære-hav-sjøis) (sjå Otterå m. fl. 2004 for detaljer).

Tropiske saltavvik

Eit resultat av den reduserte styrken på den atlantiske THC i starten av FW er at overflatestraumane nord for Brasil vert redusert med nesten 25 prosent (Otterå m. fl. 2003). Dette fører i sin tur til opphoping av salt i dette området. I tillegg flytter nedbørsbeltet ved ekvator seg søraustover, noko som også aukar saltinnhaldet til vassmassane nord for det søramerikanske kontinentet. Dei tropiske saltavvik vert så gradvis transporterte nordover med Golfstraumen. I den nordlege del av Atlanterhavet bidreg transporten av salt til å auke tettleiken på vassmassane. Dette motverkar såleis den kontinuerlege tilførselen av ferskvatn frå nord. Transporten av salt frå tropene bidreg på denne måten til auka danning av djupvatn i det subpolare Atlanterhavet, og då særskilt i Irmingerhavet. Såleis er denne transporten ein viktig grunn til at styrken på den atlantiske THC tek seg opp att etter år 50.

Vertikalomrøring

I den seinare tid har det utvikla seg ei generell forståing av at det er oppvellingsgreina av den atlantiske THC



Figur 1: Tidsseriar som viser 5 års glidande middel av maksimal styrke på den vertikale omveltinga i Atlanterhavet i CTRL og FW, og endringa (FW-CTRL) i nordgåande varmetransport ved 24°N (raud kurve).

som er drivkrafta i denne storstilte havsirkulasjonen (Munk og Wunsch 1998, Marotzke og Scott 1999). Denne oppvellinga er diffus og finn stad over store deler av verdshava. For å lyfte opp vassmassar frå djupet til overflata krevs det tilførsel av energi, som igjen vert nytta til å blande tunge vassmassar med overliggjande, lettare massar. Denne vertikalomrøringa er driven av småskala turbulens i havet. Ei viktig kjelde til slik turbulens er bryting av indre bølger generert av vind og tidevatn. I klimamodellar finst det ulike måtar å skildra denne prosessen på. I Bergen klimamodell nyttar vi oss av ei framstilling som tek omsyn til den vertikale fordelinga av tettleik. Dersom ein har sterk lagdeling med tungt vatn i djupet og lettare vatn over, vil turbulensen og vertikalomrøringa vera svak. Ved svakare lagdeling får ein sterkare omrøring.

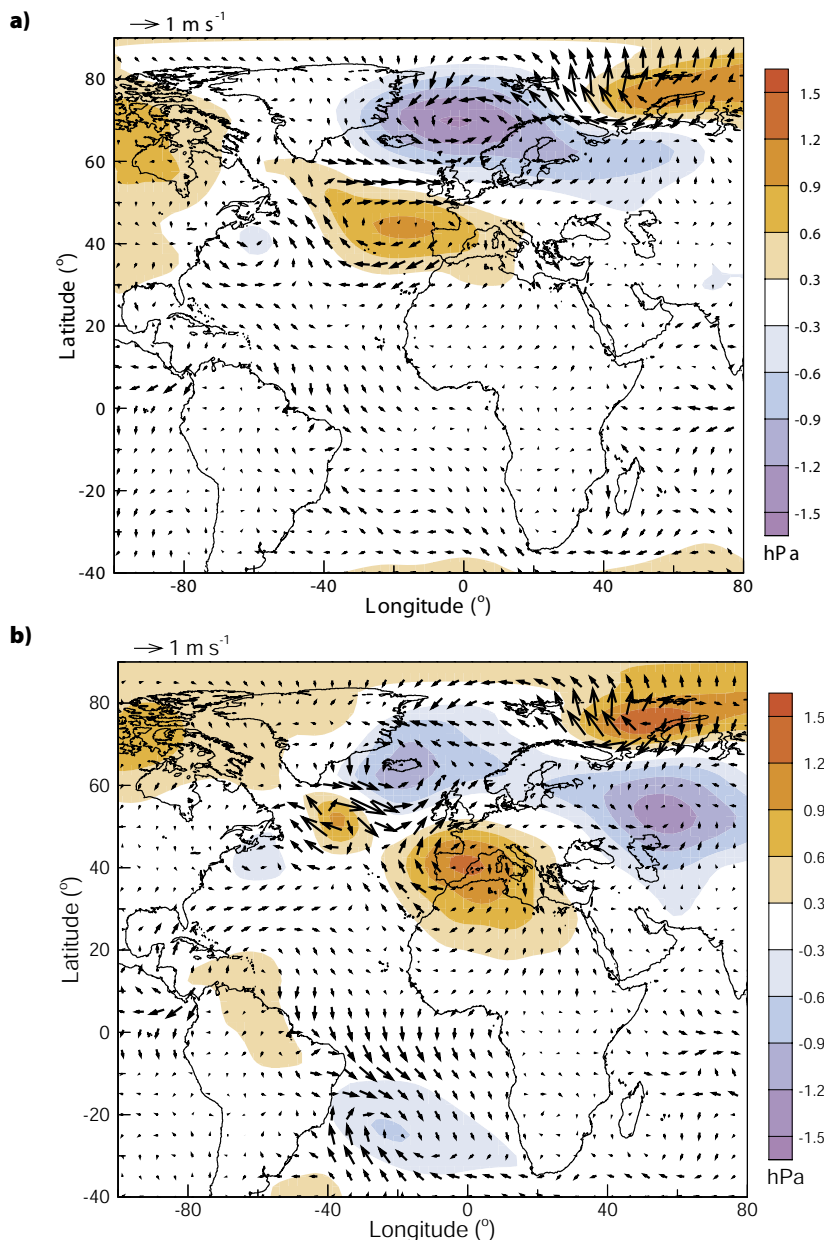
Den sterkt reduserte danninga av djupvatn i FW i starten av perioden fører til at den vertikale tettleiksfordelinga i Nord-Atlanteren vert redusert. Dette fører i sin tur til at vertikalomrøringa aukar med mellom 5-10 prosent i store delar av Atlanterhavet. Med auka vertikalomrøring følgjer også ei styrking av oppvellingsgreina i Atlanterhavet, som igjen bidreg til at den atlantiske THC tek seg opp att etter år 50.

Endringar i atmosfæresirkulasjonen

Den auka tilførselen av ferskvatn til Arktis i FW fører til auka transport av ferskvatn til Labradorhavet gjennom det kanadiske øyriket og til Barentshavet. Dette ferskvatnet fungerer som ein effektiv barriere for miksing av kaldt overflat-

evatn til djupare og varmare vassmassar, og fører såleis til ei rask framvekst av sjøis i desse områda i dei fyrste 50 åra av simuleringa. Atmosfæren sin respons på desse endringane er vist i Figur 2. Barentshavsregionen vert dominert av ei auke i lufttrykket (positiv trykkavvik) og tilhøyrande intensiverte vindar frå søraust. Ein konsekvens av dette er at innstrøyming av varmt, atlantisk vatn til Barentshavet vert kraftig redusert, medan Vest-Spitsbergenstraumen vert intensivert. Dette fører til auka transport av atlantisk vatn inn i Arktis via Framstredet, og ein auka resirkulasjon i Aust-Grønlandsstraumen.

Lenger sør er atmosfæresponsen dominert av negative trykkavvik over Dei nordiske hav og positive trykkavvik over Azorene og Spania (Figur 2 a og b). Dette trykkmønsteret har klare fellestrekk med det ein forventar frå eit sirkulasjonsregime med høg NAO-indeks (trykkdifferanse Portugal/Island og eit uttrykk for styrken på vestavindsbeltet), og fører til eit intensivert vestavindsbelte i den subpolare Nord-Atlanteren. For å undersøkje nærare om den modellerte NAO-responsen hadde sitt utspring i atmosfæren, gjorde vi eit tilleggseksperiment. I dette eksperimentet tok vi avvik (skilnaden mellom FW og CTRL) i overflatetemperatur og sjøis for dei siste 40 åra, og brukte desse til å drive atmosfæredelen av Bergen klimamodell aleine. Resultatet frå denne køytinga gav ein respons i trykkmønsteret som liknar det ein forventar frå ein låg NAO-indeks, med andre ord motsatt respons av den som vart funne i FW. Dette indikerer at den modellerte NAO-responsen er



Figur 2: Endringar i overflatetrykk (hPa) og vindstyrke (m s^{-1}) vinterstid (des-jan-feb) midla over a år 11-50 og b år 51-150. Endringane er rekna som $\text{FW} - \langle \text{CTRL} \rangle$, der $\langle \text{CTRL} \rangle$ er midla over heile 150-årsperioden. Referansevektor for vindstyrke er plassert øvst til venstre i kvart panel.

ein kopla respons frå atmosfærehav-sjøis, som ikkje kan forklarast av atmosfæretilhøva åleine. Ein meir detaljert studie av moglege mekanismar bak denne responsen er planlagt i nær framtid.

Ei følge av lufttrykksendringane i FW er difor ei gradvis auke i den vinddrevne innstrøyminga av atlantisk vatn mellom Færøyene og Skottland. Den auka transporten av salt til Dei nordiske hav aukar tettleiken i vassmassane, og bidreg såleis til ei auke i danninga av mel-

lomliggjande og djupare vassmassar i dette området, noko som igjen verkar til at den atlantiske THC tek seg opp.

Konklusjon

Den skildra modellkøringa med Bergen klimamodell er så vidt vi veit den einaste der ein kraftig auke i tilførselen av ferskvatn til Nord-Atlanteren ikkje fører til at den atlantiske THC stansar opp, eller i det minste vert kraftig redusert.

Etter ein nedgang i styrken på den atlantiske THC over dei fyrste 50 år, tek den seg nesten opp att til den opphavlege styrken mot slutten av perioden. Konklusjonen frå Bergen klimamodell er difor at den atlantiske THC er robust mot den isolerte effekten av auka tilførsel av ferskvatn til høge nordlege breiddegradar. Endringar i vindmønsteret på høge, nordlege breiddegradar, ei intensivering av oppvellingsgreina i Nord-Atlanteren, og koplingar mellom tropiske saltavvik og danning av djupvatn i Nord-Atlanteren, er prosessar som stabiliserer den atlantiske THC i Bergen klimamodell.

Det faktum at Nord-Atlanteren stadig vert ferskare (Curry m. fl. 2003), truleg på grunn av den globale oppvarminga, har fått nokre forskarar til å åtvara om at vi kan gå mot ei ny "Vesle istid". Grunnen er at ein forventar ei kraftig svekking av den atlantiske THC som følge av dette, med eit kaldare klima i den nordatlantiske-europeiske regionen som resultat. Modellkøringa med Bergen klimamodell tyder på at biletet er meir nyansert, og at auka tilførsel av ferskvatn i nord åleine ikkje treng å svekke den atlantiske THC. Det er i dag ei stor grad av uvisse knytta til den framtidige utviklinga av den atlantiske THC. For å redusere denne uvissa trengs ein kombinasjon av paleoobservasjonar frå tidlegare klima, instrumentelle observasjonar frå dagens klima og mange ulike modelleksperiment med klimamodellar. Dette er ei stor og viktig utfordring for klimaforskning såvel nasjonalt som internasjonalt.

Referansar

- Curry m. fl. 2003. *Nature*, 426, 826-829.
- Furevik m. fl. 2003. *Climate Dyn.*, 21, 27-51, doi: 10.1007/s00382-003-0317-5.
- Marotzke, J. og Scott, J. R. 1999. *J. Phys. Oceanogr.*, 29, 2962-2970.
- Munk, W. H. og Wunsch, C. 1998 *Deep-Sea Research*, 45, 1977-2010
- Nilsson m. fl. 2003. *J. Phys. Oceanogr.*, 33, 2781-2795.
- Otterå m. fl. 2003. *Geophys. Res. Letters*, 30, 1898, doi:10.1029/2003GL017578.
- Otterå m. fl. 2004. *Tellus*, akseptert.

Odd Helge Otterå

(oddho@nersc.no) er postdoktorstipendiat ved Nansensenteret og Bjerknessenteret og jobber med klimamodellering.

Helge Drange

(helge@nersc.no) er leiar for klimamodelleringa ved Nansensenteret og Bjerknessenteret, og professor-II ved Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen.

Nils Gunnar Kvamstø

(Nils.Kvamsto@gfi.uib.no) er førsteamanuensis ved Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen og leiar for kopla klimamodellering i RegClim.