

Sluttrapport til NFR, NoClim 2003-2006

Forskningsprosjektet 'Norwegian Ocean Climate Project', fase II (NOClim II) har fokusert på å forstå fundamentale prosesser i tilstrømmingen av Atlantisk vann mot De nordiske hav.

I *Modul A* har dynamikken til sirkulasjonen i Nordatlanten, inkludert «Golfstrømmen», blitt studert med analyser av tilgjengelige temperatur og salt-målinger fra skip, satellitt målinger, og numeriske modeller. En overraskende forandring i sirkulasjonen ble funnet, denne har ført til rekord-høy temperatur og salt-innhold i atlantehavsvannet som strømmer nordover. Forandringen skyldes en redusert utbredelse av de (relativt) kalde og ferske vannmassene sør for Island og Grønland. Vår aktivitet har også avdekket hvor følsom sirkulasjonen i Nordatlanten er for vertikal blanding, og at det er komplekse sammenhenger i havvannets lagdeling i tetthet.

Idealiserte studier av termo-halin sirkulasjon med både analytiske og numeriske modeller er også blitt utført. Til forskjell fra mange tidligere studier, hvor sirkulasjonen er representert med todimensjonale celler, har vi fokusert på den fulle tredimensjonale strukturen av sirkulasjonen. Vi fant at opp og ned pumping, en svært viktig del av sirkulasjonen, skjer primært nær kontinentalskråninger, i ganske små regioner. Dette betyr at synken i havdelen av klimamodeller vil være påvirket av modellenes oppløsning og valget av horisontal friksjon, to elementer som tidligere har vært antatt å ha liten betydning. Vi fortsetter å studere følgene av dette, og relasjonen mellom vår analytiske modell og de store numeriske modellene.

Modul B har benyttet paleo-data for å rekonstruere mulige endringer i innstrømning av Atlantisk vann før perioden for direkte observasjoner og måleserier. Hovedformålet var å kartlegge innstrømningsendringer knyttet til to hovedforgreininger av Atlantisk vann inn i de Nordiske hav. En forgreining strømmer inn mellom Færøyene og Shetland, og en annen forgreining mellom Island og Færøyene. Til sammen utgjør disse innstrømningsgreinene nær 90 % av totalt Atlantisk vann som kommer inn i de Nordiske hav, og har et volum på omlag 3,5 Sv hver.

Målet var å studere begge innstrømningsområdene, men fordi området mellom Shetland og Færøyene er sterkt påvirket av erosjon var det ikke mulig å få tilfredsstillende data fra dette området. Dette har vi rapportert inn tidlig i prosjektperioden og beskrevet årsakene i mer detalj. Derimot har vi fått svært gode resultater fra innstrømningsområdet mellom Færøyene og Island. Vi har fokusert vår studie nordover langs et snitt fra Færøyene som krysser gjennom kjerneområdet for Atlantisk vann. I det samme snittet er det i nyere tid etablert en lengre måleserie av endringer i strømhastighet, temperatur og saltinnhold. Disse måleseriene har vært til stor nytte for å kalibrere våre "proxy" data. Biologiske og geokjemiske data er benyttet til å kartlegge endringer i fysiske egenskaper i innstrømmende Atlantisk vann både i vertikal sammenheng og i utbredelse.

En sediment-kjerne med høy oppløsning fra Vøring plataet er blitt brukt til å studere raske endringer i overflaten til den norske atlantehavs-strøm. De følgende klima forandringer er studert med en tiårig oppløsning; 1) Overgangen fra yngre dryas til dagens varme klimaperiode viser en oppvarming på 5°C over 250 år, 2) den neo-glaciale periode ca 4000-2000 å.f.Kr. har en gradvis nedkjøling av overflatevannet på 3.5°C som hovedsakelig skyldes solinnstrålingspådraget, og 3) overgangen fra middelalderens varme klima til den "lille istid" som skjedde med en avkjøling på 1,5°C over bare et tiår.

Et hovedmål har vært å evaluere hvorvidt vi med hjelp av proxy data kan rekonstruere endringer i transport. Da dette prosjektet ble startet var vi klar over at dette var svært ambisiøst og arbeidskrevende. Etter hvert som vi utviklet prosjektet og lærte mer om det fysiske miljøet, ble det klart at vi måtte øke graden av detaljinformasjon for å kunne løse de problemstillinger vi hadde beskrevet. Vi har gjennom prosjektet fått testet ut hvordan metoden virker for de siste 500 år. Oppløsningen i våre data i rekonstruksjon av de siste 500 år tilsvarer omlag 5år. Metoden kan ikke dokumentere sesong- eller mellomårlig variabilitet, men viser at vi kan rekonstruere tidsserier som kan dokumentere dekadisk og multidekadisk variabilitet. Prosjektet har gitt svært positive resultater, og fått oppmerksomhet internasjonalt. Som et resultat av de studier vi har gjennomført i NOClim har dette gitt oss grunnlag til å søke ideen og metodene inn i RAPID programmet. Universitetet i Cambridge, Vrije uiversitet i Amsterdam og Bjerknnessenteret fikk i 2005 innvilget et 4års prosjektet koordinert av Prof. Harry Elderfield i Cambridge under navnet "Variation in Atlantic Meridional Overturning Circulation – VAMOC". Flere av de oppgaver som ikke kunne realiseres i NOClim vil nå bli ført videre inn i dette prosjektet. En ny artikkel i CICERONE No 1 2007, beskriver på en populærvitenskapelig måte hovedresultatene og en del om metodene benyttet i *Modul B*.

En overordnet målsetting i *Modul C* var å øke forståelsen for hva som driver variasjonene av volum – og varmetransporten inn og ut av de Nordiske hav, og hvordan de er koblet til hverandre, samt koblingen mellom Nord-Atlanteren og de Nordiske hav.

Kanskje det mest overraskende funnet har vært påvisningen av at vindfeltet relativt langt sør for våre områder styrer år-til-år variasjonen av innstrømningen, mens sesongvariasjonen er nærmest en direkte respons på vindfeltet i Norskehavet. Det er også påvist en forsinkelse mellom vindfeltet i Nord-Atlanteren og innstrømningen på 15 måneder, noe som gir perspektiv for framtidig varsling av variasjonene. Dette viser at strømningen bestemmes av et samspill av flere krefter over store områder. Vi har utviklet en forbedret teoretisk forståelse for disse observerte mekanismene, og det er et viktig skritt framover.

Målinger i hovedgreina av den atlantiske innstrømningen på 62°N, viser en ekstraordinær temperaturøkning på 1°C for perioden 1995-2005, mens strømmen er svakt avtagende. Dette resulterer i en nærmest konstant midlere varmetransport over de siste 10 år. Et interessant funn i denne sammenheng er at både sesong- og år-til-år variasjonen av varmetransporten er styrt av

variasjonen i strømstyrke og ikke temperatur, samt at temperaturen er uavhengig av strømstyrken. Den ekstreme temperaturøkningen på 1°C bidrar imidlertid til økning av varmetransporten på lengre tidsskala. Temperatursignalet forplanter seg nordover mot Arktis og er bla observert 1.5 år seinere i Framstredet og 2 år seinere i Barentshavet. En viktig utfordring vil derfor være å finne årsaken til denne kraftige oppvarmingen, og forstå om utviklingen over de siste 10 år er en trend i Golfstrømmens utvikling eller kun en hendelse.

Et første skritt i forståelse av denne temperatur og saltøkningen, har vært å koble den til storskala variasjoner i sirkulasjonen i Nord-Atlanteren. Numeriske modellstudier viser bla store forandringer i denne storskala sirkulasjonen og tilhørende fordeling av vannmassene som samsvarer med forandringen i innstrømningen. Et gjennomgående trekk er redusert utbredelse av de kalde og ferske vannmassene sør for Island og Grønland. Resultatene peker også på en kompleks sammenheng med vertikal fordeling av tetthet og turbulens.

Studier av sesongvariasjonen i Norskehavet er utført ved bruk av altimetri (målinger av vannstanden fra satellitt) og hydrografi, og viser størst variasjon i Lofoten-bassenget. Variasjonen er knyttet til vindfeltet over de Nordiske hav. Studien viser ellers at variasjonen i volumet av atlantisk vann i Lofoten-bassenget er styrt av meridionale vinder øst for Island med en forsinkelse på 2-3 år. For salt er det påvist en 17 års syklus, mens for temperatur er den 12-13 år.

I vårt nåværende klima dominerer avkjølingen framfor nedbør i det vannet som strømmer nordover i Nord-Atlanteren. Dette gjør at vannet i Golfstrømmen blir tyngre på sin vei nordover, men endringen av tetthet er knyttet til varmetap og innblanding av ferskere vann, som begge er variable størrelser. Siden 1960 har regioner i Nord-Atlanteren blitt ferskere som følge av global oppvarming; da både nedbør og avsmelting fra isbreer har økt. I det samme tidsrommet har transporten av ferskvann og sjøis fra Arktis også økt. Denne ferskvannstilførselen tilsvarer et lokk på 3 m i Nord-Atlanteren, og 1.8 m i de Nordiske hav. Den vil, om den fortsetter, utjevne trykk-forskjellen mellom nord og sør for Grønland-Skotland ryggen i løpet av 100 år. Oppdaterte observasjoner viser imidlertid at trenden mot lavere saltholdighet er stoppet opp, og kanskje er i ferd med å snu. Dette viste seg først i den østlige delen av Nord-Atlanteren, og endringen kan nå også ses i de fleste dyp i vest. Det er dog ennå ikke mulig å si om denne omleggingen er av midlertidig eller varig karakter.

Kompakt populærvitenskapelig framstilling:

Dynamikken til sirkulasjonen i Nordatlanteren, inkludert «Golfstrømmen» , har blitt studert med analyser av målinger (temperatur, salt, vind, strøm) og modeller (numeriske og analytiske, idealiserte, regionale og globale). Det er påvist at vindfeltet relativt langt sør for våre områder styrer år-til-år variasjonen av innstrømmingen, mens sesongvariasjonen nærmest er en direkte respons på vindfeltet i Norskehavet. Resultatene viser en redusert utbredelse av de kalde og ferske vannmassene sør for Island og Grønland, og peker på komplekse sammenheng med vertikal fordeling av tetthet og turbulens. «Pumping» av vannmasser opp og ned skjer primært nær kontinentalskråninger - i ganske små regioner.

Innstrømmingen av varme langs Norges kyst er ganske stabil fordi en minkning i strømstyrken de siste 10 år har blitt kompensert av en temperaturøkning på 1°C. Det ser således ut til at temperaturen er uavhengig av strømstyrken, og at det er variasjoner i strømstyrken som styrer varmetransporten. Sedimentkjerner er brukt til å studere endringer i innstrømmingen tilbake i tid, avkjøling på 1,5°C over et tiår etter middelalderens varme klima er dokumentert, og en metode for å rekonstruere endringer i transport med en oppløsning på 5 år de siste 500 årene har blitt etablert.