

Draumen om straumen



AV SVEIN
ØSTERHUS

I 100 år hadde oseanografane drøymt om å kunne måle kor mykje masse og varme som Golfstraumen transporterer frå Nord-Atlanteren til dei nordiske hava og vidare til Arktis.

Den Norske Atlanterhavsstraumen, vår «Golfstraum», transporterer varmt og livgivande vatn nordover, som er viktig for klima og fiskeria. Å kunne måle variasjonar i denne straumen og i verdas store havstraumar, har difor vore særst viktig.

Havstraumane spelar ei sentral rolle i det globale klimaet, og er særst viktige for klimautviklinga i polarområda. Skal vi vere i stand til å overvake og varsle klimaendringar er det difor avgjerande at vi har teknologi, kompetanse og resursar som skal til for å vedlikehalde strømmålingsaktivitetane våre både i Antarktis og Arktis. Med dei sterke marintekniske miljøa på Vestlandet, som kan levere den teknologien som trengs, er vi i ein bra posisjon til at vi kan vere leiande når det gjeld klimaovervaking av havstraumane våre.

Den moderne havforskinga fødest

Den britiske ekspedisjonen med HMS *Challenger* 1872–76, blir rekna som starten for oseanografi som vitskap. Norske forskarar blei inspirerte av resultatane frå denne ekspedisjonen og ville utforske farvatna i nord. Allereie sommaren 1876 segla dampskipet *Vøringen* frå Bergen med mål om å utforske Norskehavet. *Den norske Nordhausekspedisjonen*, som blei leia av Henrik Mohn, kartla store delar av Norskehavet i løpet av tre sommartokt i 1876, 77 og 78¹. Mykje ny kunnskap blei samla inn, men det blei tidleg klart at måleinstrumenta og analysemetodane ikkje var gode nok.

Fridtjof Nansen var godt kjent med tilstanden da han planla *Fram*-ekspedisjonen. Han engasjerte seg sterkt i utvikling av nye måleinstrument. God hjelp fekk han av andre forskarar, blant anna utvikla kjemikaren Hercules Tornøe eit instrument som brukte den elektriske leiingsevna til havvatnet til å bestemme saltinnhaldet. Dette instrumentet og andre nyvinningar var med når *Fram* dreiv over Polhavet. Sjølv om ekspedisjonen blei ein stor suksess var ikkje dei oseanografiske observasjonane så gode som ein hadde håpa på. Temperaturmålingane var brukbare, men Nansen måtte seinare medgi at saltmålingane var feil og var ubrukelege.

The Norwegian Sea

I åra fram mot etableringa av det internasjonale havforskningsrådet (ICES) i 1902, blei det gjort eit stort arbeid i utvikling av nye instrument og analyseverktøy. Nordiske forskarar tok ei leiande rolle i dette arbeidet, og Nansen og Bjørn Helland-Hansen var sentrale norske aktørar. Ved hjelp av nyutvikla instrument og metodar, kartla dei Norskehavet og publiserte i 1909 monografien «*The Norwegian Sea*».

«*The Norwegian Sea*»² er eit verk som har blitt ein klassikar, og blir i dag rekna som «bibelen» for alle som skal studere dei nordiske hav. Straumkartet dei laga er den dag i dag, hundre år etter, fullt brukbart. Men ein ting var dei ikkje i



Fig. 1 | Aanderaa-straummålar har ein rotor som måler farten og eit ror som snur målar mot straumen, slik at ein ved hjelp av eit kompass kan finne retninga.

stand til å levere: Dei hadde ikkje instrument og metodar til å bestemme kor mykje vatn, salt og varme havstraumane transporterte. Ved å måle temperatur og salinitet på fleire djup kan ein bestemme densiteten, slik at ein ved teoretiske metodar kan seie noko om korleis straumen endrar seg med djupet. Ved hjelp av slike metodar blei det gitt estimat av transporten i havstraumane. Men det skulle ta lang tid før ein med direkte målingar kunne bestemme volum, salt og varmetransport.

Bergen-straummålar

Direkte seriemåling av havstraumar viste seg å vere vanskelig, teknologien var ikkje moden. I 1880-åra utførte amerikanaren J.E. Pillsbury nokre imponerande seriemålingar av straumstyrken ned til heile 4200 meter, med stålkors-straummålarar med kompass som han hadde konstruert. Den svenske forskaren W. Ekman konstruerte ein propellar-straummålar, og saman med Nansen ein pendelstraummålar. I 1909 kom dansken J.P. Jacobsen med ein libellestraummålar. Ekman sin mekaniske propellar-straummålar blei med tida eit standard instrument og blei mykje brukt, men ingen av instrumenta kunne brukast til å seriemåling over lenger tid. Oseanografane måtte smøre seg med tolmod, og vente på eit teknologisk gjennombrøt.

Gjennombrøtet kom da halvleiarteknologien blei utvikla og blei tilgjengeleg utover på 1950-talet. Nå kunne oseanografane få oppfylt sine 100 år gamle draumar om nøyaktige seriemålingar av havstraumane. Håkon Mosby ved Universitetet i Bergen, var sentral i NATO sin underkomité for oseanografisk forskning, og fekk NATO med på å støtte utvikling av eit nytt instrument for sjølv-registrerande oseanografiske data-innsamlingsystem (straummålar-prosjektet). Spesifikasjonane for instrumentet var at det måtte kunne operere på minst 1000 meters djup over minst eit halvt år. Målefrekvensen skulle vere ei måling for kvar 30. minutt av styrken og retninga til havstraumen, samt temperatur og salinitet.

Bergen var på den tida kanskje den beste plassen for å utvikle eit slikt instrument. Her var det eit sterkt oseanografisk miljø med lett tilgang til forskningsskip og kort avstand til område der instrumentet kunne testast. Kanskje enda viktigare var det eit sterke teknologiske miljøet ved Christian Michelsen Institute (CMI), leia av Odd Dahl. Dahl tok oppgåva med å leia utviklinga av straussmålararen. Han hadde inga formell akademisk utdanning, men var ein genial oppfinnar med erfaring frå *Maud*-ekspedisjonen. Der hadde han arbeid tett saman med oseanografen H.U. Sverdrup og utvikla oseanografiske måleinstrument.

Aanderaa Instruments

Ivar Aanderaa blei tilsett i straussmålar-prosjektet med ansvar for instrumentering og elektronikk. Oseanografen Thor Kvinge fekk ansvaret for feltoperasjonane og konstruksjon av måleriggen. Oppgåva var stor og kompleks, ingen hadde laga eit slikt målesystem før og alt måtte utviklast frå grunnen av, kva type sensorar skulle veljast, og korleis målingane skulle bli lagra. Nye måleriggar måtte utviklast for at instrumenta kunne stå ut i havet i meir enn eitt år. Teamet Mosby, Dahl, Aanderaa og Kvinge løyste oppgåva med glans. Først blei to prototypar produserte. Prototypane av både instrument og målerigg, blei først testa i Raunefjorden. Seinare blei det etablert ein teststasjon nordvest av Shetland som blei brukt for den vidare uttestinga av teknologien.

Sidan alt ved prototypane var utvikla frå grunnen av, var det naturlegvis mykje som måtte vidareutviklast. I 1963 blei dei første fem straussmålarane produserte. Desse instrumenta fungerte bra, og kunne gjere målingar i havet i over meir enn eitt år. Målingane blei lagra på magnetband, som kunne lagre meir enn eitt år med timesdata av straumstyrke, retning, temperatur, salinitet og trykk.

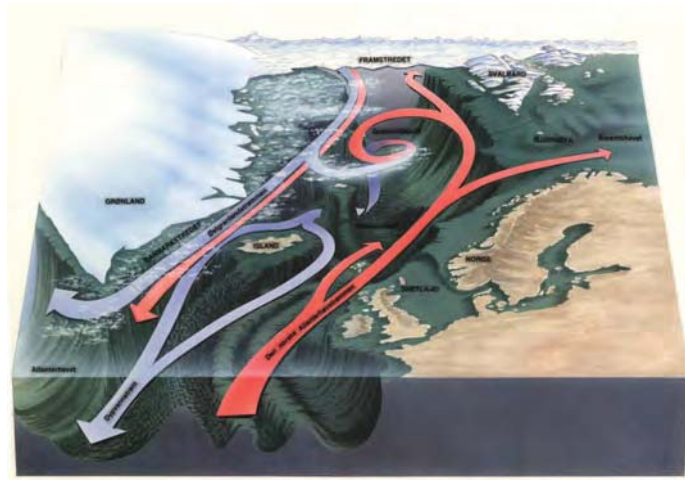


Fig. 2 | Den norske Atlanterhavsstraumen fører varmt vatn inn i Norskehavet og Polhavet, som gir varme til atmosfæren, smeltar is og blir nedkjølt til frysepunktet. Ny is blir danna, overflatevatnet blir tungt og søkk ned i djupet. Det strøymer tilbake til Atlanterhavet, og driv der den store globale omveltningssirkulasjonen i verdshava. Illustratør: Tor Sponga, BT.

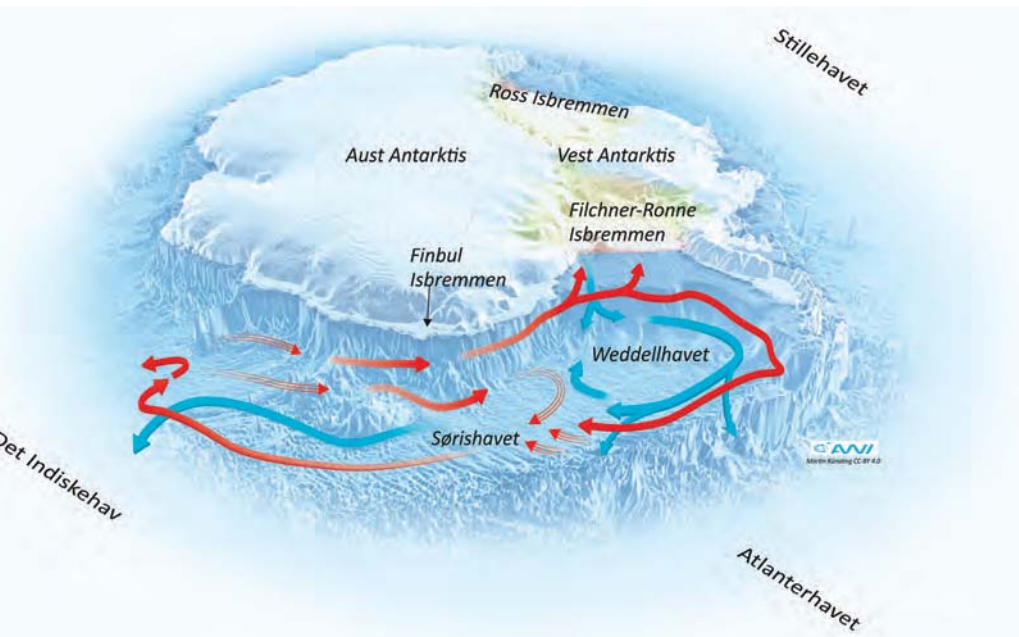
Utviklingsarbeidet i NATO-prosjektet var da fullført, og strømmålarinstrumenta var klare til å bli produserte.

Rettane blei overtatt av firmaet Plessey Electronics i UK. Aanderaa, som hadde vore sentral i utviklinga, fekk òg rett til å produsere og selje strømmålarane. For denne retten måtte han betale med å gi seks instrument til Geofysisk institutt, UiB. Ei «gåve» som viste seg å vere gull verdt for begge partar. Aanderaa slutta ved CMI i 1966 og etablerte sit eige firma, Aanderaa Instruments.

Nye måleriggjar og dataanalyseverktøy

Med dei gamle mekaniske strømmålarane blei målingane utførte frå skip eller overflatebøyar som dreiv eller var oppankra. For å kunne sette ut dei nyutvikla strømmålarane på store djup i havet, måtte ny riggteknologi utviklast. Ein trong måleriggjar som kunne ankrast opp med eit ankerlodd på havbotnen, og med undervassbøyar som måtte tole stort trykk. Denne type riggar hadde ingen bøye på overflata som kunne plukkast opp når måleriggen skulle tas opp. For å kunne hente opp riggen, måtte ein difor utvikle eit instrument som kunne frigjere måleriggen frå ankerloppet, slik at han flaut opp til overflata. Ved CMI blei det konstruert ein utløysar som når ein sendte eit koda akustisk signal til utløysaren, sprengde ein bolt frå han som frigjorde måleriggen frå ankerloppet.

Etter datidas målestokk, produserte dei nye strømmålarane enorme mengder med data. Dei gamle metodane for analyse av data frå strømmålarar, var ikkje lengre brukbare. Nye program som kunne lese data frå magnetbanda og analysere



resultata, måtte utviklast. Også på desse felta var oseanografi-miljøet i Bergen heilt i front på 1960-talet, og klare for å ta ei leiande rolle i måling av styrken til havstraumane.

Den store testen i Weddellhavet

No var tida kommen for å vise verda kva desse fantastiske nye instrumenta kunne brukast til. Testar utførte av Scientific Committee on Oceanic Research (SCOR) viste at straummålarane frå Bergen var dei beste. Og enda viktigare skulle eit stort forskingsprogram i Antarktis vise seg å bli.

Mosby deltok på det første norske oseanografiske toktet til Antarktis med skipet *Norvegia* i 1928. Under dette toktet samla Mosby inn oseanografiske data som han brukte til å utvikle teoriar om havstraumane i Antarktis. Bergensstraummålarane, seinare kjent som Aanderaa RCM (Recording Current Meter)-straummålarane, gav han eit godt verktøy til systematisk utforsking av hava i Antarktis.

Oppfinninga av Aanderaa-straummålarane var ei nyvinning som det blei lagt merke til. På eit møte i Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR) i 1966, presenterte Mosby denne nye teknologien saman med teorien sin om kva som måtte vere kjelda til djupvatnet som kjem frå Antarktis. Planane Mosby hadde for bruk av Bergen-straummålarar til

Fig. 3 og 4 | Antarktis er dekt av ei inntil 4000 meter tjukk iskappe. Innlandsisen er den delen som ligg på fast grunn. Isbremmen er den delen av iskappa som flyt på havet. Rundt Antarktis er det mange små og to gigantiske isbremmar. Ein straum av kaldt og tungt vatn strøymer ut frå undersida av Filchner-Ronne-isbremmen og ned i djupet, og strøymer nordover som ein botnstraum. Illustrator: Alfred-Wegener-Institut / Martin Künsting (CC-BY 4.0).

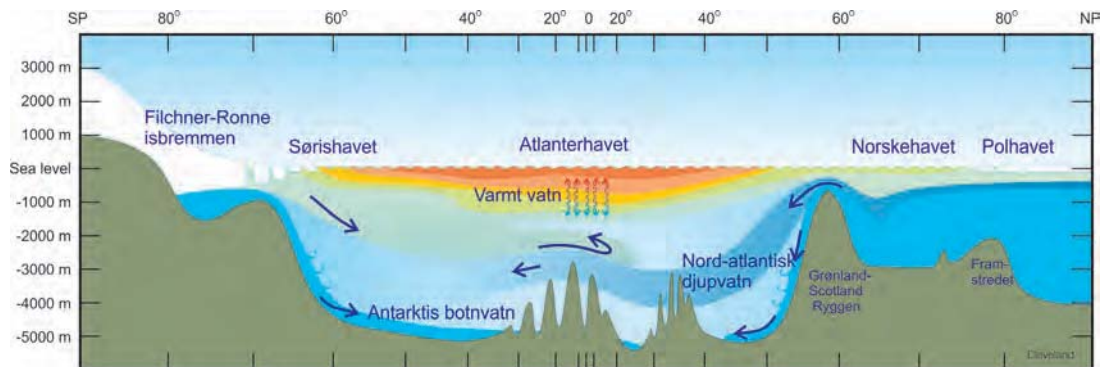


Fig. 4 | Atlanterhavet. Snitt gjennom Atlanterhavet frå sør til nord. Illustratør: Frank Cleveland / Østerhus.

å utforske havstraumane i Antarktis blei tatt godt imot. Den kjente amerikanske oseanografen Henry Stommel var svært interessert. Stommel tok med seg denne nye kunnskapen heim til USA, og foreslo for National Science Foundation (NSF) at dei skulle sende ein ekspedisjon til det sørlege Weddellhavet for å utforske havområdet. NSF-direktøren reiste til Bergen for å diskutere forslaget. Det blei bestemt å sende ein ekspedisjon leia av US Coast Guard og NSF. Oseanograf-miljøet i Bergen, som hadde ideen og den beste teknologien, blei invitert til å stå for strømmålingane.

Kvinge, som var oseanograf ved UiB, fekk oppdraget med å gjennomføre strømmålingane. Han viste seg å vere rett mann. Ikkje berre var han ein dyktig oseanograf, han hadde òg verkstaderfaring og visste korleis ein skulle konstruere ein målerigg som kunne overleve under sjøisen i Weddellhavet i mange år. Denne kunnskapen viste seg å vere avgjerande for suksessen til prosjektet.

I 1968 reiste Kvinge på «International Weddell Sea Oceanographic Expeditions» med isbrytaren *USS Glacier* til Weddellhavet. Kvinge sette ut fire Aanderaa-strømmålarar i området nord for den gigantiske Filchner-Ronne isbremmen. Dette er eit område med svært mykje sjøis, og er vanskeleg tilgjengeleg. Året etter, da strømmålarane skulle hentast inn, var det så mykje is at skipet ikkje greidde å komme fram til området der riggane var sette ut. Det same gjentok seg fleire år, og først etter fem år greidde dei å hente inn strømmålarane. Instrumenta og måleriggane hadde overlevd fem år i havdjupet utan å bli tært opp av sjøvatn.

Det blei ein verdssensasjon; for første gong hadde nokon greidd å måle havstraumane i Antarktis i over meir enn eitt år. Ei bragd som ikkje berre løfta Antarktisforskinga vår, men òg ga det Bergensbaserte firmaet «Aanderaa Instruments»



eit kjempeløft. Aanderaa-straummålarer blei med dette ein verdsstandard for straummåling i havet. Amerikanarane var tydelegvis også imponerte, for da dei skulle sette stadnamn på den Antarktiske halvøya som dei kartla i 1974, døypte dei eit område for «Kvinge Peninsula».

Kjelda til botnvatnet i alle verdshav

At det tyngste vatnet som dekkjer botnen i alle verdshava kjem frå Antarktis var godt kjent, men ingen hadde funne sjølvkjelda før i 1977. Da fann Arne Foldvik ei «elv» av superkaldt vatn som strøymde over eggakanten, og fossa ned i djupet. Aanderaa-straummålarer blei straks sette ut i «elva». Data frå desse straummålarane brukte Foldvik og Tor Gammelsrød til å rekne ut kor mykje vatn denne straumen transporterte. Dei utforska prosessane som fører til at denne straumen endar opp som botnvatn i alle verdshava og blir ein viktig komponent i det globale straumsystemet.³

Isbrem er den delen av iskappa som flyt på havet. I Antarktis er det to gigantiske isbremmar, Ross og Filchner-Ronne. Ein isbrem er typisk eit par hundre meter tjukk ved fronten, og kan vere heile 2000 meter tjukk der han er grunnstøytt.

Inne på kontinentalsokkelen heilt sør i Weddellhavet, blir det gjennom vinteren danna tungt botnvatn ved at overflatevatnet blir kjølt ned til frysepunktet og frys til is. Når sjøis blir danna, frigir isen salt til det omkringliggende vatnet. Dette vatnet blir ekstra salt og så tungt at det søkk ned til botnen. Nede på botnen strøymmer det innunder den. Temperaturen på vatnet som strøymmer innunder isbremmen er $-1.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, som er frysepunkttemperaturen til havvatnet på overflata, men

Fig. 5 | Før ein kan måle under den mange hundre meter tjukke isbremmen, må det borast eit hòl, stort nok til at instrument kan firast ned til havvatnet under isen. Til boringa bruker ein varmt vatn på 80–90 grader. Foto: Østerhus.



Fig. 6 | Instrument er sett ut i havvatnet under isbremmen og blir der til evig tid. Foto: Østerhus.

saltvatn fryser med lågare temperatur når trykket blir høgare. Difor vil temperatur forskjellen mellom isen og vatnet under smelte undersida av isbremmen. Vatnet får da ein temperatur som er lågare enn frysepunkttemperaturen på overflata. Når dette vatnet strøymer ut frå undersida av isbremmen, er det difor superkaldt ($\approx -2,2$ °C). Kaldt vatn kan komprimerast meir enn varmare vatn, og bli relativt mykje tyngre enn det omkringliggende vatnet. Når det superkalde vatnet renn over eggakanten og trykket stig, vil det difor fosse ned i djupet med stor fart. Det var denne «fossen» Foldvik og Gammelsrød kartla ved hjelp av Bergen-straummålarane.

I 1980 leia Gammelsrød det oseanografiske måleprogrammet på den første tyske etterkrigs-ekspedisjonen til Antarktis. Gammelsrød, saman med Noralf Slotsvik, greidde å måle temperatur- og saltprofilar langs fronten av heile Filchner-Ronne-isbremmen.⁴ Desse dataa gav grunnlag for utvikling av teoriar om prosessar og havsirkulasjonen under isbremmen. Hittil fantes ingen målingar i havvatnet under isbremmen.

For å kunne måle havvatnet under isbremmen måtte ein først bore eit høl gjennom isen og fire instrumenta gjennom hølet ned i havvatnet. For å få det til, måtte Aanderaa-straummålaren byggjast om. Kvinge, som no jobba ved Christian Michelsen institutt (CMI), bygde om straummålarane slik

at dei kunne senkast ned gjennom eit fleire hundre meters høl i isen og sende data via ein kabel til overflata. I 1990 sette Olav Orheim og Svein Østerhus ut desse spesialbygde Bergen-straummålarane ut under Fimbul-isbremmen.⁵ Dette var første gongen havstraumane under ein stor isbrem blei målte. Seinare har Østerhus samarbeida med forskarar i Tyskland og Storbritannia. Dei har bora mange høl gjennom Filchner-Ronne-isbremmen og sett ut Bergen-straummålarar under 1000 meter tjukk is. Data frå desse målestasjonane bruker ein til å måle smelting av isen i Antarktis. Disse målingane vil vise kva konsekvensar endringar i smeltinga vil få for dei globale havstraumane, havnivå og klimaet.⁶

Golfstraumen i nord

I Arktis er det ingen store isbremmar som kan lage superkaldt havvatn, men tungt djupvatn blir likevel produsert i nord. Det er ei viktig drivkraft for vår Golfstraum og dei globale havstraumane. Endringar i kor mykje varme og masse denne straumen transporterer nordover, er svært viktig for klimaet og fiskeria våre. Difor har oseanografar i over hundre år prøvd å måle styrken på vår Golfstraum – ei oppgåve som viste seg å vere vanskeleg og løyse.

Fig. 7 | Fronten av isbremmen blir kalla barrieren. Isfronten er 200 meter tjukk, så barrieren er 20 meter høg. Foto: Østerhus.





Fig. 8 | Alvane dansar over råkane, metertjukk is legg seg over havet, det går mot vinter og mørketid i Antarktis. Foto: Østerhus.

Før Bergen-strømmålaren blei tilgjengeleg, måtte ein bruke «geostrofi». Ved å måle temperatur- og saltprofilar kan ein indirekte finne straumstyrken. Denne metoden er lite presis. Aanderaa-strømmålaren var allereie i testfasen tatt i bruk for å måle styrken på straumane mellom Atlanterhavet og Norskehavet.⁷ Det skulle likevel gå mange år før ein greidde å byggje eit observasjonssystem som kunne måle styrken på desse straumane med stor nok presisjon.

For å få god nok presisjon måtte det målast i mange posisjonar og med fleire strømmålarar samtidig. Dei første måleriggane som blei sett ut i vår Golfstraum mellom Færøyane og Shetland blei ofte tatt av trålarar. Seinare har ein utvikla trålsikre riggar. Først utpå 1990-talet blei eit observasjonssystem for systematisk måling av vår Golfstraum etablert. Etter meir enn 20 år med målingar i alle straumane som strøymer inn og ut av dei Nordiske hava og Arktis, kan vi no talfeste straumstyrkane og kor mykje dei varierer.⁸ Heldigvis viser målingane våre at vår Golfstraum er stabil, men det kan komme til å endre seg i framtida.

Utsyn

I dag finst det mange tusen strømmålarar frå Bergen i bruk i heile verda. Det arbeidet som Mosby, Dahl, Aanderaa og Kvinge la ned i utviklinga av Bergen/Aanderaa-strømmålaren har betydd svært mykje for forskinga. Observasjonane utførte med desse strømmålarane er heilt sentrale i kunnskapen vi i dag har av straumsystema i hava, og kva dei betyr for klimaet på jorda.

Dei 100 år gamle draumane er oppfylte; i dag har vi målt dei fleste havstraumane som er viktige for oss. Trass i dystre

klimaprognosar har observasjonane av dei nemnde havstraumane vist at dei er stabile. Desverre kan vi ikkje ta for gitt at dette vil forsette. I løpet av dei siste tiåra har vi observert store endringar i havet. Havet er blitt varmare, isdekket i Polhavet endrar seg, danninga av djupvatn i Grønlandshavet har stoppa og det rapporterast om store endringar i Nord-Atlanteren. I Antarktis viser observasjonane våre at store endringar kan vere undervegs. Er vi på veg mot eit vippepunkt, der kreftene som driv dei viktige havstraumane endrar seg så mykje at det vil føre til dramatiske endringar i havklima? Det er lite sannsynleg at Golfstraumen stoppar, men vi observerer at vår Golfstraum er blitt varmare. Dette vil ha konsekvensar for blant anna fiskeria.

I Antarktis fryktar vi at varmare vatn vil strøyme innunder isbremmane. Dette vil føre til at smeltinga av isbremmane aukar. Dermed vil meir av innlandsisen skli ut i havet med det resultat at havnivået stig kraftig.

Klimamodellar kan hjelpe oss med å varsle om store endringar i klimaet, men dei er avhengige av gode observasjonar over lang tid. Det er difor svært viktig at vi no bygger robuste, autonome og berekraftige langtidsobservatorium som kan overvake dei viktige havstraumane og gi eit tidleg varsel om det er store endringar undervegs. Forskingsmiljøa på Vestlandet er i ein god posisjon til å ta ei leiande rolle i dette arbeidet.

1. Mohn, 1887. Nordhavets Dybder, Temperatur og Strømninger. Grøndahl. [297 sider. Rapport fra Den norske Nordhavsekspedisjon 1876–78].
2. Helland-Hansen and Nansen, 1909. : *The Norwegian Sea, its physical oceanography*. Based on the Norwegian researches 1900–1904, Report on Norwegian fishery and marine-investigations Vol. 11 1909 No.2, 390 pp + 25 plates, 1909.
3. Foldvik and Gammelsrød, 1988. Notes on Southern Ocean hydrography, sea-ice and bottom water formation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 67, 3–17.
4. Gammelsrød and Slotsvik, 1981. Hydrographic and Current Measurements in the Southern Weddell Sea 1979/80. *Polarforschung* 51(1), 101–111.
5. Østerhus and Orheim, 1992. Studies through Jutulgryta, Fimbulisen in the 1991/92 season, FRISP Rep. 6, pp. 103 – 109, Alfred-Wegener Inst. für Polar und Meeresforsch., Bremerhaven, Germany.
6. Østerhus, 2018. Vil isen i Antarktis smelte? Forskning.no
7. Sætre. Report on the Norwegian Investigations in the Faeroe Channel 1964–65, NATO Subcommittee on Oceanographic Research technical report, 27 pp, 1967
8. Østerhus et al., 2019. Arctic Mediterranean Exchanges: A consistent volume budget and trends in transports from two decades of observations, *Ocean Sci.*