Inger Hanssen-Bauer, Kåre Edvardsen,
Eirik J. Førland og Terje Brinck Løyning

Vurdering av klimautviklingen i norsk Arktis: Påvirkninger, tilstand og tiltak



Miljøovervåking av Svalbard og Jan Mayen
Utgave pr. 12.09.03. Vil bli publisert i Norsk Polarinstitutts rapportserie sammen med vurderinger av landmiljø og havmiljø.

Forord

Miljøovervåkingen av Svalbard og Jan Mayen - MOSJ - er et overvåkingssystem som presenterer resultater fra ulike overvåkingsprogrammer på en standardisert måte og lager felles tolkinger for temaer som går på tvers av disse programmene. Den første tolkingen ble gjort høsten 2001. Den var preget av at MOSJ fremdeles var i en oppbyggingsfase hvor det manglet systematisk dokumenterte indikatorer for flere tema. Den foreliggende tolkingen er derfor den første som har blitt gjennomført på et tilnærmet komplett sett av indikatorer fra MOSJ, så langt det er mulig ut i fra pågående overvåking i områdene.

MOSJ styres av miljøforvaltningen og er laget bl.a. for å evaluere de nasjonale miljømålene i stortingsmeldingene om "Regjeringens miljøvernpolitikk og rikets miljøtilstand". Det har vært et bevisst grep at tolkingene, inkludert slike evalueringer, skulle utføres av uavhengige fagfolk. For hvert av de tre temaene klima, hav og land, ble det derfor pekt ut en hovedforfatter med bakgrunn fra forskning. De fikk en serie med spørsmål som en veiledning til hva de skulle gi svar på, et budsjett og fritt mandat til å organisere sitt arbeid som de ville, inkludert valg av medforfattere. Forfatternes utkast til tolkinger ble presentert på et møte i Tromsø 20.5 –21.5.2003. Deltakerne her kom både fra institusjoner som har levert data til MOSJ og fra forvaltningen. Hovedforfatterne har deretter revidert tolkingene slik de fant det nødvendig ut i fra kommentarene som de har fått.

Tolkingene er først og fremst basert på det utvalget av miljøindikatorer som er definert i MOSJ og hvor det faktisk pågår overvåking. Dette legger selvfølgelig en begrensning på hvor bredt grunnlag forfatterne kan trekke slutninger fra. På den annen side har MOSJ som mål å velge ut strategisk viktige indikatorer. Forfatterne er derfor bedt om å påpeke mangler i overvåkingen dersom de finner utvalget for snevert. Dersom manglene dekkes av pågående - programmer, kan MOSJ plukke ut flere indikatorer for systemet. I motsatt fall, er det en vurdering som forvaltningen må gjøre om hvor vesentlig de påpekte manglene er og om det bør finansieres ny overvåking. MOSJ er i stor grad prisgitt at dette gjøres av de myndighetene som er ansvarlige for overvåking av ulike deler av miljøet.

Styringsgruppa for MOSJ synes arbeidet med tolkingen har vært en spennende prosess som har gitt interessant informasjon om miljøtilstanden i Svalbard-området. God lesning !

Longyearbyen/Tromsø august 2003

Bjørn Fossli Johansen
Leder av styringsgruppa for MOSJ

Gunnar Sander
Prosjektleder for MOSJ

Innholdsfortegnelse

1 Bakgrunn 1
1.1 Problemstillinger 1
1.2 Tolkingsgrunnlag 1
1.3 Deltakere 2

2 Status og utviklingstrekk 2
2.1 Innledning 2
2.2 Klimavariasjoner i atmosfæren 3
2.2.1 Lufttemperatur 3
2.2.2 Nedbør 4
2.2.3 Stråling 5
2.2.4 Atmosfærisk sirkulasjon 5
2.3 Klimavariasjoner i kryosfæren 6
2.3.1 Massebalanse, isbreer 6
2.3.2 Sjøis 7
2.4 Klimavariasjoner i havet 8
2.4.1 De Nordiske hav 8
2.4.2 Framstredet 9
2.4.3 Vannstandsmålinger (havnivå) i Barentsburg, Vardø, og Tromsø 10
2.5 Sammenhenger mellom variasjoner i atmosfære, is og hav 10
2.6 Ozonlaget 12
2.7 Mulige koblinger mellom klima- og ozonproblematikk 13
2.8 Er de observerte variasjoner i klima og ozon menneskeskapte? 14
2.8.1 Klimavariasjoner 14
2.8.2 Ozonvariasjoner 15

3 Vurdering i forhold til nasjonale miljømål 15
3.1 Innledning 15
3.2 Klima 15
3.3 Ozonlaget 15

4 Råd til forvaltningen om tiltak 16

5 Råd om kunnskapshull 16
5.1 Klimaovervåkning 16
5.2 Klimaforskning 17

6 Referanser 18

1 Bakgrunn

1.1 Problemstillinger

Den globale middeltemperatur økte med ca 0.6 ^{o}C i det 20. århundre (IPCC 2001). Oppvarmingen foregikk i periodene 1900-1945 og 1976-2000. I en artikkel i *Nature* konkluderer Tett m. fl. (1999) med at variasjoner i naturlige klimapådriv (vulkanaktivitet og solstråling) kan forklare oppvarmingen før 1945, mens slike pådriv alene ikke kan forklare oppvarmingen etter 1970. Økende konsentrasjoner av klimagasser i atmosfæren kan derimot forklare denne siste globale oppvarmingen. IPCC (2001) konkluderer med at mesteparten av oppvarmingen de siste 50 år antagelig skyldes menneskelig aktivitet. Resultater fra klimamodeller tilsier at den globale middeltemperatur vil fortsette å øke de neste 100 år i respons på menneskeskapte utslipp av klimagasser, og at temperaturøkningen vil bli større i Arktis enn i andre regioner (Raisänen, 2001). Overvåkning av klimautviklingen i Arktis anses derfor som viktig.

Over Arktis har det gjennom de siste to tiår blitt registrert ozonnedbrytning, om enn ikke av samme størrelsesorden som over Antarktis. En del modellberegninger tyder på at vi også de neste 20 år må regne med å oppleve ozonnedbrytning i Arktis, mens utviklingen videre fremover er svært usikker. Også overvåkning av ozonlaget i Arktis er derfor viktig.

1.2 Tolkingsgrunnlag

Grunnlaget for denne tolkingen er geofysiske data som i oktober 2002 lå under "Klima" på MOSJ internettsider. Det inkluderer lufttemperatur- og nedbørmålinger fra Bjørnøya, Hopen, Svalbard Lufthavn, Ny-Ålesund og Jan Mayen, strålings- og ozonmålinger fra Ny-Ålesund, sjøis-observasjoner fra Framstredet og Barentshavet, oseanografiske observasjoner (havtemperatur, salt og strøm) fra Framstredet, vannstandsmålinger (havnivå) i Barentsburg, Vardø og Tromsø, samt massebalanse for breer på Svalbard. Stasjoner og områder der målinger og observasjoner er innhentet er vist i figur 1 og 2.



Fig. 1. *Kart som omfatter området som inngår i MOSJ*



Fig. 2. *Kart over Svalbard som viser målepunkter som inngår i MOSJ*

Tolkingen er delvis basert på dataleverandørenes analyser av utviklingen av de enkelte elementer, og delvis på egne analyser. Tolkingen er gjennomført i lys av relevante vitenskapelige publikasjoner både fra Arktis og andre områder.

1.3 Deltakere

Følgende institusjoner er ansvarlige for innsamling og/eller finansiering av de data tolkingen bygger på: Meteorologisk institutt (met.no), Norsk institutt for luftforskning (NILU), Norsk polarinstitutt (NP), Statens forurensningstilsyn (SFT), Statens kartverk – sjøkartverket og Roshydromet i Murmansk.

2 Status og utviklingstrekk

2.1 Innledning

I dette kapitlet presenteres hovedtrekk i tidsutviklingen av hver enkelte geofysisk MOSJ-indikator og samvariasjonen mellom forskjellige indikatorer. Variasjoner på

tidsskala 10 år anskueliggjøres ved hjelp av utjevnede tidsserier. Lineære trender blir brukt til å belyse variasjoner over tidsskalaer på 30-100 år. ”Statistisk sikkerhet” for trendene er testet ved en metode beskrevet av Førland m. fl. (1997). Med ”statistisk sikre trender” mener vi i det følgende trender som med mindre enn 5% sannsynlighet ville oppstå som resultat av tilfeldige variasjoner. Mulige fysiske årsaker til de observerte trendene diskuteres i slutten av kapitlet.

2.2 Klimavariasjoner i atmosfæren

2.2.1 Lufttemperatur

Klimamodeller indikerer at lufttemperaturen ved bakken i stor grad vil påvirkes av en menneskeskapt økning av drivhuseffekten, og at temperaturøkningen i gjennomsnitt vil bli størst på høye breddegrader (IPCC 2001, kap. 9 og 10). Lufttemperatur er derfor et opplagt valg av klimaindikator i MOSJ.

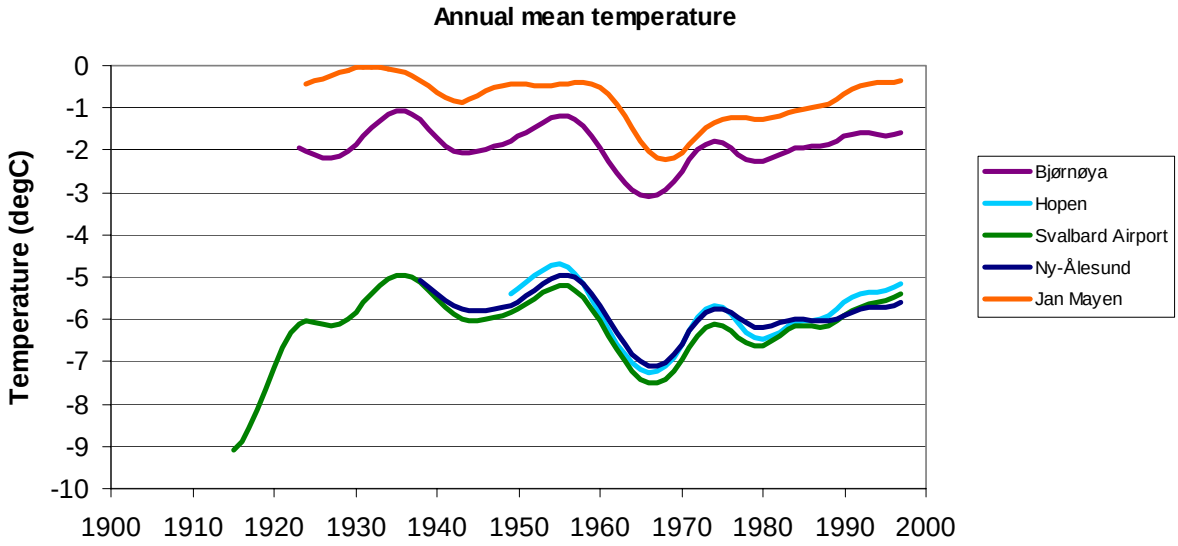


Fig. 3. *Årsmiddeltemperatur ved de norske arktiske stasjonen. Tidsseriene er filtrerte og viser variasjoner på 10-års skala.*

Tidsseriene av årsmiddeltemperatur ved de norske arktiske stasjonene beskriver en ganske lik tidsutvikling (figur 3). Den lengste temperaturserien er fra Svalbard Lufthavn (nær Longyearbyen, figur 2) og starter i 1912. Trendanalyse av denne serien (tabell 1) gir en positiv trend på 0.14 ^{o}C per 10-år fra 1912 til 2000. Trenden er ikke statistisk sikker. Dette henger blant annet sammen med at 1930-årene var noe varmere enn 1990-årene, noe som er typisk for atlantisk sektor av Arktis (60^{o}W-30^{o}E) (Førland m. fl. 2002). Det er imidlertid mulig å dele perioden inn i tre deler med statistisk sikre trender: Det var en oppvarming fra 1912 til 1930-årene, en avkjøling fra 1930- til 1960-årene, og en oppvarming fra 1960-årene til 2000. Temperaturserier fra alle årstider viser samme fortegn på trendene som årsmiddeltemperaturen gjør, skjønt ikke alle trender er statistisk sikre (tabell 1). Den eneste årstiden som viser statistisk sikker trend fra 1912 til 2001 er våren, som har blitt varmere. Det er ingen statistisk sikre trender når det gjelder variabilitet i dataseriene.

Tabell 1 *Lineære temperatur- og nedbørtrender ved Svalbard Lufthavn i forskjellige perioder. Trender som er statistisk sikre minst på 5% nivå er gitt i* ***fete typer****. Enheter: °C pr 10-år (temperatur), mm pr 10-år (nedbør).*

	Lineære trender i temperatur, °C pr. 10-år				
PERIODE	ÅR	VINTER	VÅR	SOMMER	HØST
1912-2000	+0.14	+0.08	**+0.36**	+0.04	+0.11
1912-1940	**+1.83**	**+3.82**	**+1.67**	+0.31	**+1.55**
1930-1970	**-0.66**	**-1.66**	-0.32	-0.22	-0.45
1960-2000	**+0.49**	+0.77	**+0.61**	**+0.24**	+0.27
	Lineære trender i nedbør, mm pr. 10-år				
PERIODE	ÅR	VINTER	VÅR	SOMMER	HØST
1912-2000	**+5.3**	0.0	+1.1	**+2.6**	**+1.7**

Gjennomsnittstemperaturen sirkumpolart i området nord for 60 °N viser de samme periodene med oppvarming og avkjøling som vi ser ved de norske stasjonene (Jones & Moberg 2003). Denne gjennomsnittstemperaturen viser imidlertid en statistisk sikker positiv langtidstrend. Også på det norske fastland har vi de aller fleste steder hatt statistisk sikker oppvarming de siste 100 år. Årsaken er at den varme perioden på 1930-tallet relativt sett var mindre markant her enn i Arktis.

2.2.2 Nedbør

Klimamodellene viser generelt større forskjeller når det gjelder innvirkning av økt drivhuseffekt på nedbørforhold enn de gjør på temperatur (Raisänen 2001). Det anses likevel som sannsynlig at nedbøren på høye nordlige bredder vil øke på grunn av øket drivhuseffekt (IPCC 2001, kap. 10). I Arktis er derfor nedbør en viktig klimaindikator.

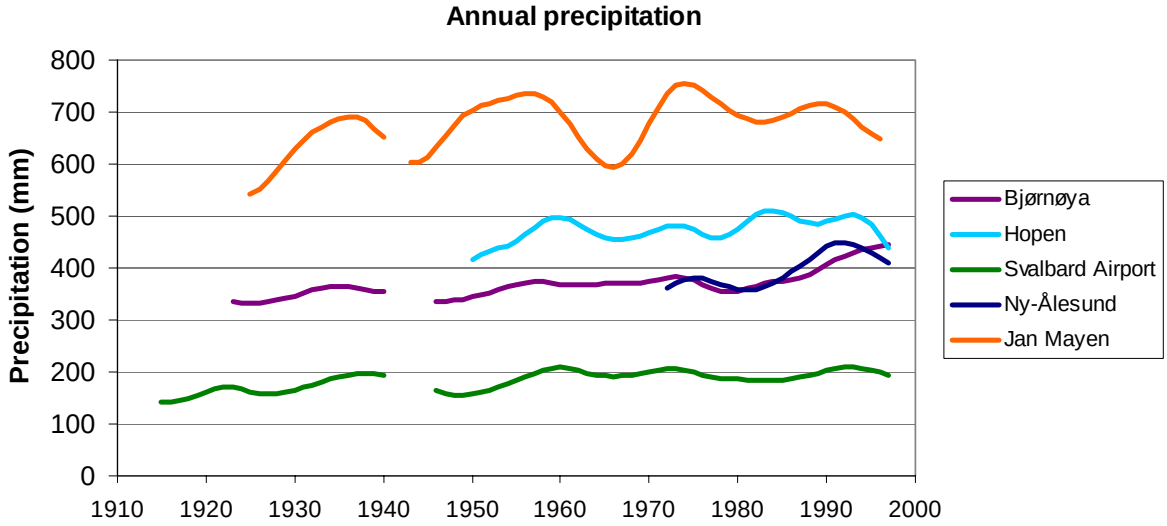


Fig. 4. *Årsnedbør ved de norske arktiske stasjonen. Tidsseriene er filtrert og viser variasjoner på 10-års skala.*

Nedbørseriene fra norske arktiske stasjoner viser, i motsetning til temperaturseriene, nokså forskjellig tidsutvikling (figur 4). Dette skyldes at nedbør varierer over mindre romlig skala enn temperatur. Seriene har likevel et fellestrekk: Alle seriene viser positiv trend gjennom måleperioden som helhet. De tre lengste seriene er trendtestet, og viser

statistisk sikker økning av årsnedbør fra målestart til 2000. Tabell 1 viser at det på Svalbard Lufthavn særlig er sommer- og høstnedbør som har økt. Dette varierer imidlertid fra stasjon til stasjon.

Også andre stasjoner i atlantisk sektor av Arktis viser statistisk sikker nedbørøkning gjennom det 20. århundre, men økning på over 2% per 10-år finnes bare i seriene fra Svalbard Lufthavn og Bjørnøya (Førland m. fl. 2002). Økningen på disse stasjonene er også større enn den gjennomsnittlige nedbørøkningen på høye nordlige breddegrader (Hulme 1995), og større enn nedbørøkningen på det norske fastland gjennom de siste 100 år.

2.2.3 Stråling

Serier av årlig total globalstråling, årlig kortbølget nettostråling, årlig langbølget nettostråling og årlig total nettostråling fra Ny-Ålesund (figur 2) er tilgjengelig fra og med 1974. De to første seriene viser ingen trend, mens langbølget nettostråling viser en negativ trend som også gir utslag når det gjelder total nettostråling. Det er et problem at dataseriene har mange og store hull. Stasjonen har dessuten blitt flyttet, og instrumentene har blitt modernisert. Det er derfor et behov for en nærmere undersøkelse av dataene for å være rimelig sikker på at den negative trenden i langbølgestrålingen ikke skyldes kalibreringsfeil eller annen diskontinuitet.

2.2.4 Atmosfærisk sirkulasjon

For å kunne tolke trendene i MOSJ-indikatorene er det nødvendig å kjenne til variasjonen i atmosfærisk sirkulasjon i området. Det inngår ingen indikator for atmosfærisk sirkulasjon i MOSJ, men det eksisterer lange tidsserier av to indikatorer som har innflytelse på luftstrømmene i området. ***Den Nord Atlantiske Oscillasjon*** (NAO) (Hurrel 1995) angir svingninger i lufttrykk-differansen mellom Island og Azorene. Når trykkforskjellen er stor (positiv NAO-indeks), transporteres som regel relativt mye mild fuktig luft nordøstover Nord-Atlanteren mot østre deler av Arktis. Når trykkforskjellen er liten (negativ NAO-indeks) er denne varmlufttransporten mindre. Gjennomsnittlig NAO-indeks for perioden desember til mars har vist seg å være en nyttig klimaindeks, og det er denne vinterverdien som i det følgende blir betegnet som NAO-indeksen. ***Den Arktiske Oscillasjon*** (AO) (Thompson og Wallace 1998) er definert på grunnlag av hav-nivå trykkfeltet nord for 20 ^{o}N om vinteren, og det har vist seg at de to vinter-indeksene er høyt korrelert ($R \gtrsim 0.8$). Begge indeksene viser en negativ trend i perioden 1900-1970, og en sterkere positiv trend fra 1960-årene til 2000. Gjennom perioden som helhet er det ingen statistisk sikker trend i disse indeksene. Tabell 2 viser trender i AO-indeksen i periodene med signifikante temperatur-trender.

Tabell 2 *Lineære trender i AO vinter-indeksen og i lufttemperatur ved Svalbard Lufthavn. Trender som er statistisk sikre (5% nivå) er gitt i* ***fete typer****.*
Enheter: indeksenhet pr 10-år (AO), ^{o}*C pr 10-år (temperatur).*

PERIODE	AO-indeks	T, Svalbard Lufthavn
1900-2000	+0.02	+0.14
1912-1940	-0.07	**+1.83**
1930-1970	**-0.21**	**-0.66**
1960-2000	**+0.42**	**+0.49**

2.3 Klimavariasjoner i kryosfæren

2.3.1 Massebalanse, isbreer

På Svalbard er mer enn 60% av landområdene dekket av isbreer. Hagen m. fl. (1993) har anslått det totale isvolum på Svalbard til ca. 7000 km^3. Magasinering av ferskvann i disse breene har stor betydning regionalt, bl.a. for vannbalanse i elver og ferskvannstilførsel til fjordene. Men avsmelting fra breene på Svalbard kan også ha globale aspekter, via økning i havnivå og påvirkning av dypvannsdannelse i de tilgrensende havområder. Liestøl (1988) fastslo at de fleste isbreer på Svalbard har vært i nesten kontinuerlig tilbakegang siden slutten av den lille istid. Isbreene på land har trukket seg tilbake med mellom 1 og 2 km de siste hundre år (Hagen m. fl., 2003).

Massebalansemålinger gir mer omfattende og pålitelig informasjon om endringer i isbreenes tilstand enn studier av brefronter. Massebalanse er definert som differansen mellom tilvekst og avsmelting av snø og is over et bestemt tidsrom, og er en klimaindikator som primært er avhengig av nedbør i form av snø og temperatur. Nettobalansen på Svalbard er signifikant korrelert med sommertemperatur, og til en mindre grad med vinternedbør (Hagen m. fl., 2003). Regionalt påvirkes massebalansen også av vindretning og høyde over havet. Sand m.fl. (2003) har vist at det er store gradienter i snøakkumuleringen gjennom vinteren på Spitsbergen. Fra 1997-1999 falt det ca. 40% mer snø på østkysten enn på vestkysten.

På Svalbard har det bare vært foretatt systematiske massebalansemålinger på isbreer som dekker ca. 0.5% av det totale isdekkede området (Hagen m.fl., 2003). De lengste seriene med massebalanse er fra to små breer (Austre Brøggerbre og Midtre Lovènbreen) nær Ny-Ålesund (figur 2). Målingene fra disse to breene viser en synkende massebalanse siden målingene startet på 1960-tallet (figur 5). Totalt har breenes masse avtatt med ca. 10% gjennom denne perioden. Vinterbalansen har vært stabil, mens det har vært store variasjoner i avsmeltingen sommertid. Kongsvegen strekker seg over et større høydeintervall enn de to andre breene. Dette er hovedårsaken til den svakt positive balansen for denne breen.

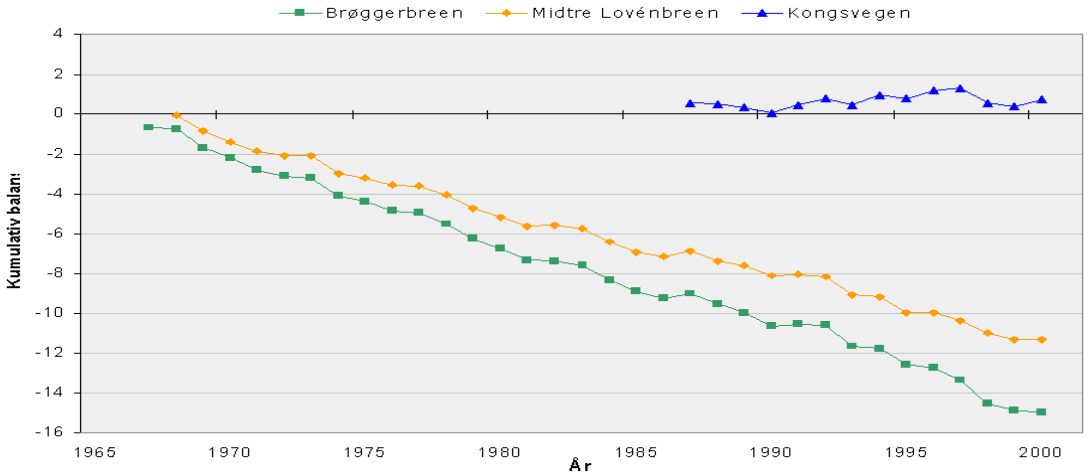


Fig. 5. *Kumulative netto massebalanse for tre isbreer ved Ny-Ålesund (Brøggerbreen (fra 1967), Midtre Lovénbreen (fra 1968) og Kongsvegen(fra 1987).*

2.3.2 Sjøis

Utbredelse og tykkelse av sjøis bestemmes av prosesser i hav og i atmosfære som også er med på å bestemme klimaet i vår region. Samtidig vil isens utbredelse selv ha innvirkning på klimaet i Arktis. Sjøisen bidrar til at mindre solstråling absorberes i havet. Den legger også et effektivt lokk på varmeutvekslingen hav/atmosfære. Endringer i absorpsjon og varmeutveksling hav/atmosfære vil ha stor innvirkning på klimaet regionalt og globalt.

Siste IPCC-rapport (2001, kap. 2) understreker at sjøis-utbredelsen er en følsom indeks for global oppvarming. For perioden 1978-1996 har isutbredelsen ifølge satellittmålinger avtatt med –2.8±0.3% per dekade (Parkinson m. fl., 1999). Minkingen i sjøis var størst i det Eurasiske basseng i Polhavet, og mest utpreget om sommeren. Ved å kombinere satellittdata med andre datasett for isutbredelse, slår IPCC-2001 fast at sommerminkingen som er hovedansvarlig for den negative trend i satellitt-målingene, har vært tilstede i hele siste halvdel av det 20de århundre. Høst og vinter er det bare en svak og usikker negativ trend i isutbredelsen siden 1970. Analyser utført av Johannessen m. fl. (1999) viser at arealet som dekkes av tykk flerårs-is har minket mer enn dobbelt så hurtig som arealet av det totale isdekket, og at isvolumet derfor minker langt raskere enn isarealet. Problemene med å etablere konsistente lange dataserier av istykkelse er nylig demonstrert av Holloway & Sou (2002) som viste at den halvering av istykkelse de siste dekadene som ubåtmålinger indikerer, ikke var korrekt. Deres arbeid viste at intern omfordeling av is i Polbassenget kan forklare at ubåtmålingene overestimerte reduksjonen av istykkelse. Det antas at reduksjon av istykkelse er av samme størrelsesorden som reduksjonen i isutbredelse, dvs ca 10% de siste 25 år.

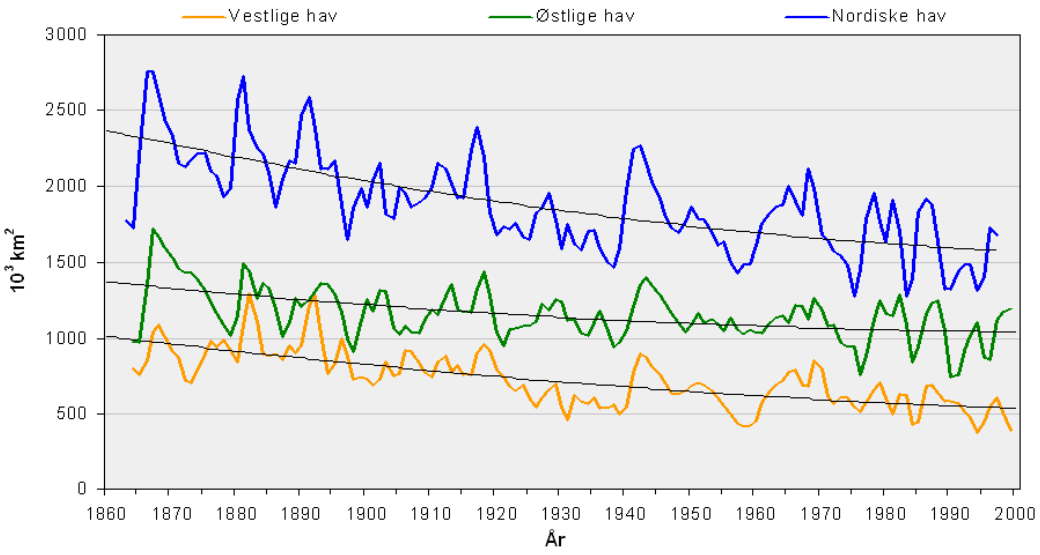


Fig. 6. *Sjøisens areal i april måned (maksismal isutbredelse) for området vest og nord for Norge. ("Østlige hav" = 30°W-10°E, "Vestlige hav" = 10°W-70°E, "Nordiske hav" betyr her hele området). Materialet er satt sammen av satelittobservasjoner etter 1966 og skipsobservasjoner fra selfangere før 1966. (Fra Vinje, 2001)*

Ved å benytte skipsobservasjoner og satellittdata, har Vinje (2001) kartlagt utbredelsen av sjøis i april i havområdene vest og nord for Norge gjennom perioden 1864-1998 (figur 6). Disse dataene inngår i MOSJ. På tross av store variasjoner fra år til år er en statistisk sikker negativ trend gjennom perioden som helhet. For området som helhet

antyder regresjonslinjen en reduksjon på 33% over hele tidsperioden. Nesten halvparten av denne reduksjon skjedde før 1900. Tabell 3 viser imidlertid at reduksjonen er statistisk sikker også etter 1900. Regresjonslinjene for delområdene henholdsvis vest og øst for Spitsbergen viser at det vestlige området har hatt større reduksjon (46%) enn de østlige havområdene (24%). Observasjoner fra skip gir i gjennomsnitt litt mindre (ca. 6%) isutstrekning enn satellittobservasjoner. Hvis det hadde blitt justert for dette, ville det ha forsterket langtidstrendene.

Tabell 3 *Lineære trender i isutbredelsel i april. Trender som er statistisk sikre (5% nivå) er gitt i* ***fete typer****. Enheter: 10^3 km^2 pr 10-år (isareal), ^oC pr 10-år (temperatur).*

PERIODE	April isareal, vestre område	April isareal, østre område	T, Svalbard Lufthavn
1900-2000	**-26.2**	**-17.1**	+0.14
1912-1940	**-123.4**	**-81.8**	**+1.83**
1930-1970	+25.5	+6.5	**-0.66**
1960-2000	**-55.2**	-32.6	**+0.49**

For tykkelse av sjøis i våre områder foreligger det systematiske målinger fra og med 1990 fra Framstredet (Vinje m. fl. 1998). Målingene er gjort med sonar som registrerer all is som driver over instrumentet, og tyder på en svak (ikke statistisk sikker) negativ trend i istykkelse.

2.4 Klimavariasjoner i havet

2.4.1 De Nordiske hav

Samspillet mellom hav og atmosfære i Nord-Atlanteren er ansvarlig for en varme-transport som fører til at de nordiske land i gjennomsnitt er 5-10 ºC varmere enn andre landområder på samme breddegrader. Et stort bidraget kommer fra varmetransporten i havet, og variasjoner i havstrømmene som går inn i de Nordiske hav (Grønlandshavet-Norskehavet, figur 1) kan derfor ha avgjørende betydning for klimaet i våre områder (figur 7). Data fra de Nordiske hav inngår foreløpig ikke i MOSJ, men Blindheim et al. (2000) skriver at fordelingen av vannmassene her gradvis har endret seg siden 1960. Dette kommer til syne ved utvikling av et arktisk vannlag med opprinnelse i Grønlands-havet som siden har spredd seg over hele Norskehavet, og ved at vannlaget med atlantisk opprinnelse har blitt ferskere. I havområdene nærmest Norge har dette resultert i at den Arktiske front har flyttet østover, nærmere kysten. Resultatet av påvirkningen fra Arktis har blitt en avkjøling av de øverste vannlagene.

Når det gjelder de dypere vannlag i de Nordiske hav, rapporterer Østerhus og Gammels-rød (1999) om en oppvarming. Data fra værskipet "MIKE" med posisjon 66ºN 2º E er analysert fra målingenes start i 1948 til 1997. En statistisk sikker oppvarming startet i 1987 på 2000 m dyp og i 1990 på 1200 m dyp. De høyeste temperaturene for hele perioden fra 1948 til 1997 ble målt i 1997. Oppvarmingen forklares med at dypvanns-dannelsen i Grønlandshavet ble redusert på 1980-tallet. Dypvannsdannelsen er en del av den globale termohaline sirkulasjon, som er et viktig ledd i det globale klimasystem (Aagard og Carmack 1989).

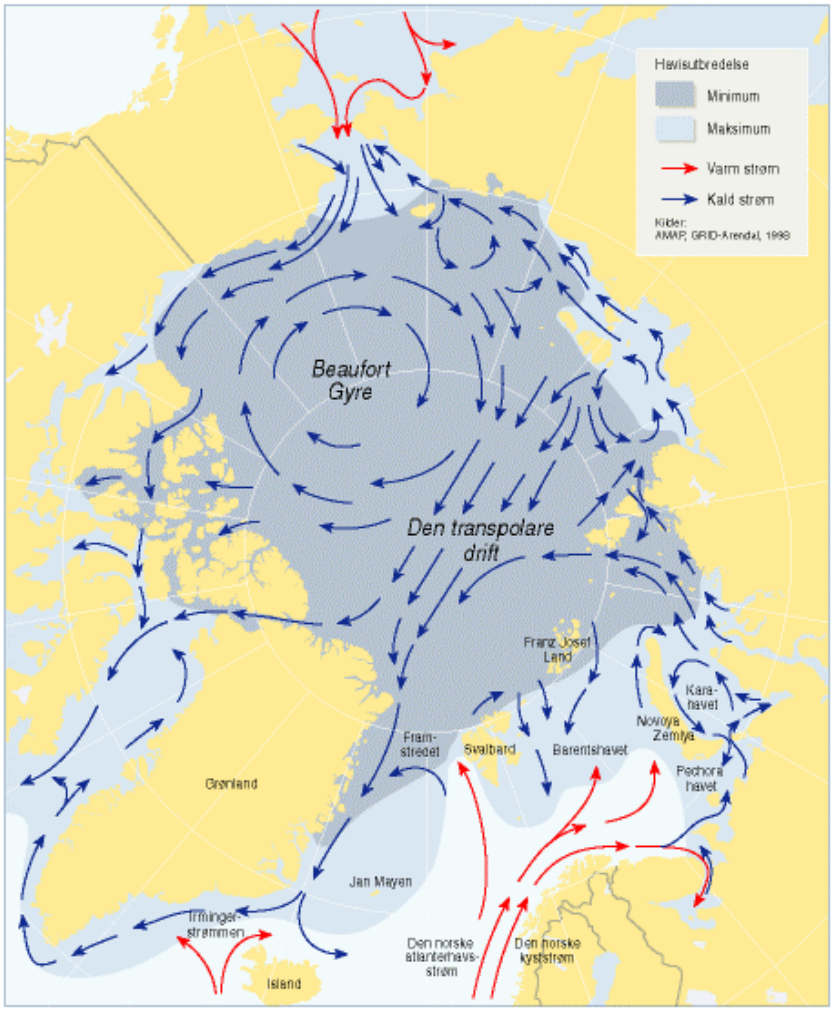


Fig. 7. *De viktigste havstrømmene i området som inngår i MOSJ.*

2.4.2 Framstredet

I Framstredet mellom Spitsbergen og Grønland (figur 7) foregår både transport nordover av varmt Atlantisk vann til Polhavet (Vest-Spitsbergen strømmen) og transport av is og polare vannmasser sydover. Variasjoner i sirkulasjonen her kan ha stor innflytelse på totalt volum og areal av sjøis, på varmetransport til Polhavet (Steele og Morison, 1993; Steele og Boyd, 1998), og på mengde og lokalisering av dypvannsdannelse i de Nordiske hav (Dickson m. fl. 1996).

Sporadiske målinger av temperatur og saltholdighet i Framstredet begynte allerede på begynnelsen av 1900-tallet. Russerne begynte mer eller mindre regelmessige målinger på 1950-tallet. Målingene i Framstredet er vist på internettsidene til MOSJ (miljo.npolar.no/mosj/) som 10-års middelverdier. De viser at det har blitt mindre forskjell mellom sommer og vinterverdier. Om vinteren er det ingen statistisk sikker temperaturtrend, men sjøvannet ble ferskere (mindre salt) i perioden 1950-1980. Om sommeren har vannmassene blitt både kaldere og ferskere i perioden 1950 til 1990. Vi ser likevel en oppvarming i overflaten gjennom somrene på 1990-tallet. Det var også i denne perioden reduksjonen i saltholdigheten i de øvre vannlag var mest signifikant. 1990-årene viser altså om sommeren en signifikant endring både i temperatur (varmere)

og saltholdighet (ferskere) for de øvre vannlag, i forhold til perioden 1950-1990.

2.4.3 Vannstandsmålinger (havnivå) i Barentsburg, Vardø, og Tromsø

Vannstanden i havet påvirkes av mange faktorer som tidevann, luftrykk, vind, havstrømmer, sjøvannets temperatur og saltholdighet, tilførsel av ferskvann, og heving av landmassene etter siste istid. I Arktis vil også variasjoner i isdekket kunne påvirke vannstanden. Fordi vannstandens høyde er et resultat av mange klimaindikatorer, inngår vannstandsmålinger i Barentsburg, Vardø og Tromsø i MOSJ. Målingene i Barentsburg og Tromsø startet rundt 1950. I Vardø startet målingene i 1984, og disse målingene er derfor ikke trendtestet. Vi observerer imidlertid en negativ trend i vannstanden både i Barentsburg og i Tromsø. Den negative trenden forsterkes i perioden 1980-2000 på begge stasjoner.

2.5 Sammenhenger mellom variasjoner i atmosfære, is og hav

Trendanalyser av temperaturserier fra norske stasjoner i Arktis og AO-indeksen for perioden desember-mars (tabell 2) antyder at endringer i atmosfærisk sirkulasjon (økende AO-indeks) delvis kan være ansvarlig for temperaturøkningen i området fra 1960-årene til 2000. Dette passer inn i et regionalt mønster (Serreze m. fl. 2000). I en artikkel av Rigor m. fl. (2000) anslås at mer enn halvparten av oppvarmingen i østre deler av Polhavet de siste 20 år kan knyttes til AO. Oppvarmingen tidligere i århundret kan imidlertid ikke forklares på denne måten. Dette ble påpekt av Hanssen-Bauer og Førland (1998) som fant svakere sammenheng mellom atmosfærisk sirkulasjon og temperøkningen i norsk Arktis tidlig i det 20. århundre enn det vi har sett gjennom de siste 30-40 årene. Korrelasjons-analyser (tabell 4) viser også at sammenhengen mellom temperatur og AO-indeks, og likeledes mellom isdekke og AO-indeks, har vært sterkest i den siste perioden. Korrelasjonsanalyser mellom lufttemperatur og sjøisareal (tabell 5) viser at lufttemperaturen er bedre korrelert med isareal enn med AO. Dette kan tyde på at sammenhengen mellom AO og lufttemperaturen bestemmes mye av AOs innflytelse på drivisens utstrekning.

Tabell 4 *Korrelasjonskoeffisienter mellom AO vinter-indeksen og temperatur-/ isdata i forskjellige tidsperioder.*

Periode	T_{SvaL}/AO	$T_{Bjørn}$/AO	T_{JanM}/AO	IS_{vest}/AO	$IS_{øst}$/AO
1912*-1999	0.25	0.25	0.12	-0.20	-0.49
1912-1940	0.24			0.01	-0.44
1930-1970	0.31	0.26	0.16	-0.13	-0.30
1960-1999	0.33	0.34	0.25	-0.44	-0.61

*: Analyser som inkluderer data fra Bjørnøya og Jan Mayen startet i hhv 1920 og 1921

Tabell 5 *Korrelasjonskoeffisienter mellom temperatur- og isdata.*

Periode	T_{SvaL}/ IS_{vest}	T_{SvaL}/ $IS_{øst}$	$T_{Bjørn}$ / IS_{vest}	$T_{Bjørn}$ / $IS_{øst}$	T_{JanM}/ IS_{vest}	T_{JanM}/ $IS_{øst}$
1912*-1999	-0.53	-0.54	-0.40	-0.43	-0.49	-0.33
1912-1940	-0.67	-0.75				
1930-1970	-0.50	-0.46	-0.49	-0.47	-0.59	-0.53
1960-1999	-0.49	-0.54	-0.39	-0.45	-0.62	-0.46

*: Analyser som inkluderer data fra Bjørnøya og Jan Mayen startet i hhv 1920 og 1921

Hanssen-Bauer og Førland (1998) viste at nedbørøkningen på Svalbard gjennom det 20. århundre i stor grad kan knyttes til variasjoner i atmosfærisk sirkulasjon. Mer lokale sirkulasjonsindekser enn NAO/AO må imidlertid benyttes for å forklare lokale nedbørendringer.

Det er vel kjent at drivisens utstrekning over uker og måneder i stor grad bestemmes av vindfeltet regionalt, og derved trykkfordelingen. Variasjoner i isens tykkelse og utstrekning fra år til år kan også i noen grad skyldes endringer i den atmosfæriske sirkulasjon (Holloway and Sou 2002). Både Deser m. fl. (2000) og Smedsrud & Furevik (2000) fastslår at endringene i sjøisen i Arktis fra ca.1960 er sterkt knyttet til AO. Men også varmetransporten i havet gjennom Framstredet og Barentshavet vil ha en innvirkning på isens volum (Steele and Morison, 1993; Steele and Boyd 1998).

Transporten i havet kan også delvis knyttes til NAO. Variasjoner av NAO vinterindeksen kan forklare omtrent 60% av variansen i den årlige volumfluks av is ut gjennom Framstredet siden 1976, og resultater fra koblede hav og is modeller viser det samme som observasjonene (Dickson m. fl. 2000). Det forekommer likevel også store variasjoner i is og ferskvannstransport som ikke har sammenheng med NAO. Et eksempel er den store salt-anomalien på 1960-tallet, som opptrådte under en periode med ekstremt lav verdi av NAO vinterindeks. Slike hendelser er relativt kortvarige, men ferskvannsfluksen er sammenlignbar i størrelse med f. eks. den maksimale istransporten som ble observert på 1990-tallet. Også økningen av nedbør og mulig økning i ferskvannstilførsel gjennom de store elvene som renner ut i Polhavet kan ha bidratt til å endre ferskvannstransporten. Avsmelting fra breer kan gi bidrag lokalt, men bidragene blir små i en global sammenheng. Ferskvannsbudsjettet i Arktis påvirker dypvannsdannelsen i Nord-Atlanteren, og kan derfor spille en nøkkelrolle med hensyn til global oppvarming (Walsh et al., 1998).

Avkjølingen av det øverste vannlaget i de Nordiske hav kan knyttes til endringer i NAO-indeksen (Blindheim m. fl. 2000). Det er også en nær sammenheng mellom bredden av den Norske Atlanterhavsstrøm (Figur 7) og NAO vinterindeks fra 1960-årene til 2000. Vindens påvirkning og forflytning av arktisk vann østover ser også ut til å være hovedårsaken til at vannmassene i østlige områder har blitt ferskere.

Den reduserte variabilitet mellom sommer og vinter som er observert i Framstredet kan skyldes flere forhold. Bl.a. henger sjøvannets maksimumstemperatur sammen med intensiteten i Vest-Spitsbergen-strømmen, som igjen er bestemt av endringer i den atmosfæriske sirkulasjon. Swift m. fl. (1997), Grotefendt m. fl. (1998), Blindheim m. fl. (2000) og Dickson m. fl. (2000) har alle rapportert om årlige variasjoner i Vest Spitsbergen strømmen ved Sørkapp, og bemerker spesielt sammenhengen mellom de årlige variasjoner i temperatur ved Sørkapp og de tilsvarende variasjoner i NAO vinterindeks. På begynnelsen av 1990-tallet ble det i det Eurasiske bassenget i Polhavet observert en oppvarming av vannlaget med Atlantisk opprinnelse. Blindheim m. fl. (2000) mener at temperaturøkningen i Vest Spitsbergen strømmen siden 1960 alene kan forklare oppvarmingen av Polhavet. Grotefeldt m. fl. (1998) og Dickson m. fl. (2000) forklarer oppvarmingen med en økning av temperatur og volum i de vannmasser som tilføres Polhavet både via Framstredet og Barentshavet. Ifølge Dickson m. fl. er det varmere og sterkere innstrømming av Atlanterhavsvann i Polhavet når NAO-indeksen er høy. MOSJ-dataene kan bekrefte at Vest-Spitsbergen strømmen var mer intens i

perioden med høy NAO-indeks. Saltholdigheten minket i begge tilførselsveier ettersom NAO utviklet seg fra negative fase på 1960-tallet til positiv fase på 1990-tallet. Dette henger sammen med økt ferskvannsmengde og økt volumfluks av is gjennom Framstredet fra Polhavet (Vinje m. fl. 1998), og dessuten reduksjon av is gjennom denne perioden (Deser m. fl. 2000).

Variasjonene i vannstandsmålingene er høyt korrelert med variasjoner i NAO-indeksen. Den negative trenden i vannstandsmålingene kan hovedsakelig forklares med endringer i atmosfæriske pådrag og en reorganisering av den termohaline sirkulasjon i de Nordiske hav. Detaljer i tolkingene av vannstandsdataene kan finnes på web-sidene til MOSJ (http://miljo.npolar.no/mosj/).

Vi konkluderer med at variasjoner og trender gjennom de siste 30 år eller så, både i lufttemperatur, sjøisutbredelse, havtemperaturer og saltholdighet i de Nordiske hav, i transporten av Atlantisk vann til Polhavet, volumtransport av is fra Polhavet, samt vannstand, delvis har vært knyttet til NAO/AO. En del variasjon kan imidlertid verken knyttes til NAO eller andre sirkulasjonsindekser. Vi har dessuten grunn til å anta at relasjonene med NAO ikke er robuste på lang sikt. For eksempel var oppvarmingen i Arktis før 1930-årene ikke knyttet til NAO/AO.

2.6 Ozonlaget

Ozonlaget ligger høyt oppe i atmosfæren, i den såkalte ”stratosfæren”. Nedbrytning av ozon kan oppstå fordi klorfluorkarboner (KFK) og haloner gjennom menneskeskapt aktivitet kommer opp i stratosfæren. Felles for disse stoffene er at de under spesielle betingelser kan bryte ned ozon. Ozonlagets tykkelse varierer også av naturlige årsaker. Store vulkanutbrudd, der partikler og gasser slynges helt opp i stratosfæren, kan påvirke ozonlaget i negativ retning. Ett av de største vulkanutbruddene i det 20. århundre fant sted i juni 1991 på Filippinene da vulkanen Pinatubo hadde et voldsomt utbrudd. Store mengder svoveldioksyd *(SO_2)* ble sendt opp i stratosfæren og etter hvert oksidert til svovelsyre som samles i små dråper. I svovelsyre-dråpene skjer det kjemiske reaksjoner som aktiverer passive klor- og bromforbindelser som igjen kan bryte ned ozon. En nedgang i ozonmengden ble observert i tiden etter Pinatubo utbruddet.

Med instrumenteringen i Ny-Ålesund har det vært mulig å observere og til dels kvantifisere den uttynningen av ozonlaget som har funnet sted i Arktis i løpet av 1990-tallet. Ennå gjenstår en del arbeid før analysen er ferdig, men de foreløpige resultatene viser at ozonlaget er svekket gjennom 1990-årene i forhold til middelverdien 1984-1991 (Høiskar m. fl. 2002). Figur 8 viser at ozonnedbrytningen i Arktisk er svært varierende fra år til år. I 1997 var ozonlagets tykkelse over Ny-Ålesund på det mest ekstreme redusert med ca. 40 % i forhold til middelverdien over perioden 1984-91, mens det i 1998 ikke fant sted noen særlig nedbrytning.

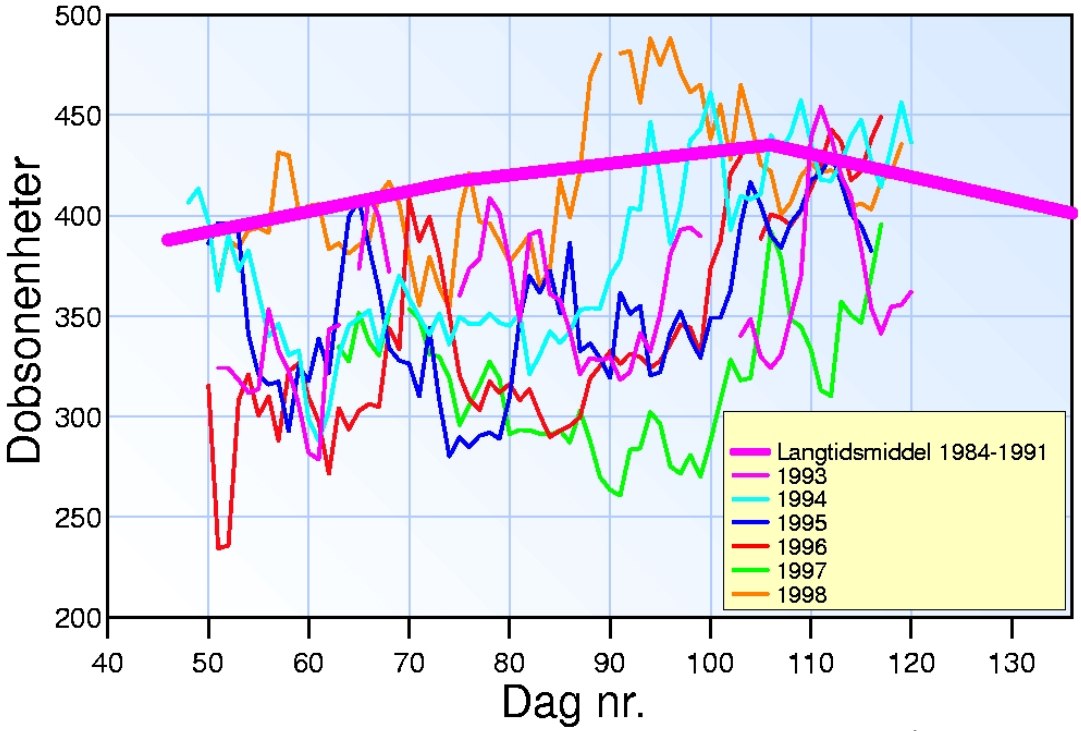


Fig. 8. *Ozonobservasjoner utført med SAOZ (DOAS-instrument) i Ny-Ålesund. Den tykke røde kurven representerer langtidsmiddelet for perioden 1984-1991. Man ser tydelig at det i alle årene som her er vist har vært betydelig mindre ozon enn normalt, spesielt for 1997 hvor også verdiene holdt seg lave lengre enn de andre årene. (Fra Britt Ann K. Høiskar og Geir Braathen, NILU)*

2.7 Mulige koblinger mellom klima- og ozonproblematikk

Ozonnedbrytning fører til at mindre UV-stråling absorberes i stratosfæren, og derved at temperaturen der blir lavere enn den ellers ville blitt. Dette kan påvirke sirkulasjonen i de høyere luftlag, som i sin tur kan påvirke sirkulasjonen i de lavere lag i atmosfæren. En hypotese går ut på at ozonnedbrytning på denne måten kan virke inn på AO, og således på klimaet.

På den annen side kan klimaendringer påvirke ozonnedbrytningen. Øket drivhuseffekt gir høyere temperatur ved bakken, men lavere temperatur i stratosfæren fordi varmestrålingen herfra ut til verdensrommet øker. Den lave temperaturen kan føre til hyppigere dannelse av polare stratosfæriske skyer som igjen fører til nedbrytning av ozon. Forandringer i atmosfærens sirkulasjonsmønster vil også kunne påvirke ozonlagets tykkelse.

En reduksjon i totalozon bidrar til å øke UV-strålingen ved jordoverflaten. Endringer i skydekke og snødekke påvirker imidlertid også UV-dosene. Målinger viser at månedsmidler for UV-doser kan reduseres med opp til 40 % på grunn av skyer, mens snø på bakken kan øke UV-dosen på grunn av refleksjoner med mer enn 20 % i perioden april-mai. Systematiske endringer i snø- og skyforhold kan altså påvirke UV-dosene selv om ozonlaget er uendret. Derfor er det svært viktig at man kan måle både ozon og UV-stråling svært nøyaktig.

UV-stråling kan i perioder være en viktig regulerende faktor for planktonproduksjon i havet. Målinger på is i Kongsfjorden viser at fjorden er veldig transparent for UV-stråling når lite snø dekker sjøisen i perioden like før den marine våroppblomstringen starter (Winther m. fl., submitted). Er det samtidig lite skyer og lave ozonverdier kan det oppstå episoder med unormalt høy UV-stråling. Direkte skadeeffekter er påvist både på plante- og dyreplankton, selv om organismene har et betydelig potensiale for UV-beskyttelse. Mengden av oppløst organisk materiale er avgjørende for UV-effekter i hav. Endringer i tilførsel og konsentrasjon av oppløst organisk materiale f.eks som følge av endrede temperatur- og nedbørforhold kan få en langt større betydning enn en reduksjon på 20-30 % i stratosfærisk ozon. En eventuell reduksjon i primærproduksjon vil nødvendigvis få konsekvenser videre oppover i næringskjeden, samt påvirke opptaket av CO_2 i havet.

2.8 Er de observerte variasjoner i klima og ozon menneskeskapte?

2.8.1 Klimavariasjoner

Vår forståelse av oppvarmingen i Arktis fra 1900 til 1930-årene og avkjølingen fra 30-årene til 1960-årene er mangelfull. På global skala mener man imidlertid å kunne forklare klimavariasjonene i denne perioden ved variasjoner i naturlige klimapådriv (Tett m. fl. 1999), og vi har ikke holdepunkter for å hevde at disse klimavariasjonene er resultat av menneskelig påvirkning. Oppvarming i Arktis fra 1960-årene til nå er derimot en del av en global oppvarming som i det minste delvis skyldes menneskapte utslipp av "drivhusgasser" (IPCC 2001). Lufttemperaturen i Arktis har typisk økt mer enn den globale middeltemperaturen i denne perioden. Dette henger trolig delvis sammen med tilbakekoplingen som isutbredelsen gir (se 2.3.2).

Men vi har også sett at oppvarmingen i Arktis gjennom de siste 30 år delvis kan knyttes til en positiv trend i AO-indeksen. Trender i en rekke andre klimavariable kan også knyttes til trenden i AO eller andre indikasjoner på atmosfærisk sirkulasjon. Et vesentlig spørsmål er derfor om variasjonene i atmosfærisk sirkulasjon generelt, og AO spesielt, kan knyttes til menneskeskapte klimaendringer. Dette er ennå uklart. AO er i utgangspunktet en intern svingning i klimasystemet, som antagelig kan påvirkes både av naturlige og menneskeskapte klimapådriv. Mange klimamodeller gir en viss økning i AO som respons på økende konsentrasjoner av drivhusgasser, men kun én fullt koplet klimamodell gir en trend i AO av den størrelsesorden som er observert de siste 30 år. Shindell m. fl. (1999) og Moritz m. fl. (2002) mener at det kan skyldes at klimamodellene har dårlig vertikal oppløsning høyt oppe i atmosfæren (stratosfæren), og at de derfor ikke kan reprodusere en selvforsterkende mekanisme som er en del av AO, og som involverer vekselvirkninger mellom stratosfæren og de lavere lag i atmosfæren. Eventuelle endringer i ozonlaget kan også ha en effekt på AO (se 2.7), skjønt Shindell m. fl. (1999) hevder at det ikke er nødvendig å ta hensyn til slike endringer for å simulere de klimaendringer vi hittil har sett. Mer forskning gjenstår før man kan trekke endelige konklusjoner om dette, og man kan altså ikke fastslå hvor stor del av klimaendringen i Arktis i de siste 30 år som er menneskeskapt.

En skal likevel være klar over at såvel den forsterkede oppvarmingen vi har sett over Arktis som nedbørøkningen på høye breddegrader, den sterke reduksjonen i isdekket (særlig om sommeren), det ferskere overflatevannet i de Nordiske hav og indikasjonene

på redusert dypvannsdannelse, kvalitativt er i overensstemmelse med de responser våre beste klimamodeller gir på en menneskeskapt global oppvarming.

2.8.2 Ozonvariasjoner

Den korte måleserien fra Ny-Ålesund gir ennå ikke grunnlag for å fastslå hvorvidt, eller i hvilken grad, den ozonnedbrytningen man har sett på 1990-tallet er mennskeskapt. Også ozonnedbrytningen er imidlertid kvalitativt i samsvar med resultatet av modeller som tar hensyn til menneskeskapte utslipp av ozonnedbrytende stoffer.

3 Vurdering i forhold til nasjonale miljømål

3.1 Innledning

I Stortingsmelding 24 (2000-01) presenteres strategiske mål og nøkkeltall knytte til klima- og ozonproblematikk. I dette kapitlet vil disse bli diskutert i lys av den faglige vurderingen.

3.2 Klima

Strategisk mål, klima: Konsentrasjonen av klimagasser skal stabiliseres på et nivå som vil forhindre skadelig, menneskeskapt påvirkning av klimasystemet.
Nøkkeltall: Global middeltemperatur og middeltemperatur i Norge (begge målt som 10-års middelverdier)

Målet om stabilisering av klimagasskonsentrasjonen er godt, men det er avgjørende for klimaet hvilket nivå konsentrasjonen stabiliseres på (se f.eks. IPCC 2001, side 76). Man skal videre være oppmerksom på at en eventuell stabilisering av klimagass-konsentrasjonen tidligst vil kunne bli merkbar i siste halvdel av det 21ste århundret. På grunn av denne tregheten i klimasystemet er det viktig at klimatiltak kommer i gang så raskt som mulig.

Nøkkeltallene er fornuftig definert. På bakgrunn av at klimamodellene gir sterkest oppvarmingssignal i Arktis, kan man vurdere å inkludere nøkkeltall som er basert på observasjoner i dette området. Forslag til slike nøkkeltall er utstrekningen av sjøis i april og august, både totalt over Arktis og i havområdene nord og vest for Norge.

3.3 Ozonlaget

Strategisk mål, ozon:
All produksjon og forbruk av ozonreduserende stoffer skal stanses.
Nøkkeltall: Totalozon over breddegradsbånd 55-80 grader nord, og klorforbindelser i atmosfæren veiet etter ozonreduserende evne.

Det strategiske målet er klart formulert og nøkkeltallene fornuftige. Måleserien av ozon fra Ny-Ålesund er foreløpig for kort til å gi grunnlag for å vurdere i hvilken grad menneskelig aktivitet har virket inn på ozonlaget i Arktis. Det anses som meget viktig at målingene på Zeppelinfjellet fortsetter, slik at fremtidige analyser kan gi grunnlag for å vurdere dette.

4 Råd til forvaltningen om tiltak

Utslippsreduserende tiltak:
Klima- og ozonproblematikken omhandler fenomen av global karakter som må løses via internasjonalt samarbeid. Det er derfor viktig at internasjonale avtaler om begrensninger i utslipp av klimagasser og ozonnedbrytende stoffer initieres, støttes og følges opp. Dette arbeidet har kommet langt når det gjelder ozon. Når det gjelde klima er ratifiseringen av Kyotoprotokollen en god begynnelse, men alene ikke tilstrekkelig til å nå ovenstående strategiske mål.

Tiltak rettet mot tilpasning/skadelindring:
Rutinemessige utsendelser av advarsler i perioder med tynt ozonlag er et mulig tiltak rettet mot å redusere skader og ulemper knyttet til ozonreduksjon i Arktis. Når det gjelder klima bør man fortløpende vurdere endringer i standarder der klimadata danner grunnlag. Infrastruktur som bygninger og anlegg med lang levetid må kunne tåle forventede endringer i vind- og bølgeforhold, temperatur og permafrost, nedbør, snølast og isingsforhold.

5 Råd om kunnskapshull

5.1 Klimaovervåkning

Overvåkning av geofysiske parametere er viktig av flere grunner:
- Slike data kan tidlig gi oss indikasjoner dersom det foregår endringer som krever tiltak eller tilpasninger;
- De kan danne grunnlag for analyser som kan styrke eller svekke eksisterende teorier og modeller for endringer av klima og ozonlag;
- De kan benyttes i videre forskning på klima- og ozonproblematikk.

I MOSJ samles data fra mange forskjellige kilder. Dette gir mulighet til å fange opp og analysere sammensatte signaler, og til å avsløre reelle årsakssammenhenger. For at MOSJ skal fungere optimalt er det vesentlig at alle nøkkeldata er inkludert. Lange dataserier har spesielt stor verdi. Vi mener at de atmosfæriske og oseanografiske målingene fra værskipet ”MIKE” (66ºN 2º E) bør inkluderes i MOSJ. Dessuten bør det inkluderes en eller flere indikatorer for snø, for eksempel snødekke og snødybde observert ved de meteorologiske stasjonene som er med i MOSJ. Man bør også vurdere å inkludere et oseanografisk snitt som gir indikasjoner på transport til og fra Barentshavet. Også de målinger av klimagasser og aerosoler som foregår i Ny-Ålesund bør inkluderes i MOSJ.

For overvåkningsformål er det viktig at lange dataserier bevares og videreføres. Endringer til målemetodikk som gir ”riktigere” målinger kan minke verdien av slike serier dersom gamle og nye målinger ikke er sammenlignbare. For å sikre kontinuiteten i lange serier må det utføres parallelle målinger i forbindelse med endringer som kan påvirke målingene. Det er likevel viktig at kvalitetsforbedrende, effektiviserende og rasjonaliserende tiltak for de lange tidsseriene vurderes fortløpende etterhvert som ny

teknologi/metodikk blir tilgjengelig.

5.2 Klimaforskning

Klimaforskningen har avansert mye i løpet av de siste årene. Vi mangler likevel kunnskap på en del områder. I MOSJ-sammenheng mener vi de følgende tema er viktigst:

- Sammenheng mellom global oppvarming og atmosfærisk sirkulasjon:
  Den atmosfæriske sirkulasjon har endret seg systematisk over våre områder de siste 30 år. Disse endringene virker inn, ikke bare på lufttemperatur og nedbør, men også på sjøisutbredelse og –transport, og på prosesser i havet. Det er fortsatt usikkert om de observerte sirkulasjonsendringene kan knyttes til menneskeskapte klimaendringer. Dette er et viktig spørsmål i relasjon til klimaendringer i Nordområdene fordi de fremherskende sirkulasjonsforhold kan bety vel så mye for det regionale klima der som den globale oppvarming i seg selv gjør.

- Vekselvirkninger mellom atmosfære, hav og sjøis: Vår forståelse av disse vekselvirkningene er mangelfull. Vi vet ikke i hvilken grad variasjoner i et element virker inn på de andre. Antagelig er de forskjellige elementenes relative betydning avhengig av tidsskala.

- Havsirkulasjon og isutbredelse: Havstrømmer og isdekning har stor betydning for klimaet i norsk Arktis. Forskjellige klimamodeller gir til dels svært varierende resultat med hensyn til dette.

- Sannsynlige fremtidige regionale klimaendringer: Selv om de antatt beste globale klimamodellene har mange fellestrekk når det gjelder fremtidig klimautvikling globalt, er det fortsatt store variasjoner regionalt. Det er utviklet klimascenarier spesielt for vår region. Disse bør sammenlignes med andre scenarier slik at man kan vurdere hvilke signaler som er robuste.

- Regionale endringer i flukser av klimagasser og aerosoler: Slike endringer kan bidra til regionale endringer i strålingspådriv som direkte, eller via sin effekt på den globale sirkulasjon, påvirker det regionale klima.

Det er en økende forståelse for at midler må bevilges til forskning på effekter av klimaendringer. Dette er en forståelse vi fullt ut deler. For å få et best mulig grunnlag for slike effektstudier er det imidlertid et behov for fortsatt satsing på prosessorientert klimaforskning og -overvåkning.

6 Referanser

Blindheim, J., V. Borovkov, B. Hansen, S.A. Malmberg, W.R. Turell og S. Østerhus, 2000: Upper layer cooling and freshening in the Norwegian Sea in relation to atmospheric forcing, *Deep-Sea Res.*, Part I, 47, 655-680

Deser, C., J.E. Walsh, and M.S. Timlin, 2000: Arctic sea ice variability in the context of recent wintertime atmospheric circulation trends. *J. Climate*, 13, 617-633

Dickson, R., J. Lazier, J. Meincke, P. Rhines og J. Swift, 1996: Long-term coordinated changes in the convective activity of the North Atlantic, *Prog. Oceanogr.* 38, 241-295.

Dickson, R., J. Osborn, J.W. Hurell, J. Meincke, J. Blindheim, B. Ådlandsvik, T. Vinje, G. Alekseev og W., Maslowski, 2000: The Arctic Ocean response to the North Atlantic Oscillation. *J. Clim.* 13, 1044-1053.

Førland E.J.,I. Hanssen-Bauer og P.Ø.Nordli, 1997: Climate statistics & longterm series of temperature and precipitation at Svalbard and Jan Mayen. DNMI-KLIMA rapport 21/97.

Førland E.J., I.Hanssen-Bauer, T. Jónsson, C. Kern-Hansen, P.Ø. Nordli, O.E. Tveito, og E. Vaarby Laursen, 2002: Twentieth-century variations in temperature and precipitation in the Nordic Arctic. *Polar Record,* 38 (206), 203-210

Grotefendt, K., K. Logemann, D. Quadfasel, S. Ronski,, 1998: Is the Arctic Ocean warming? *J. Geophys. Res.*, 103, 27679-27687.

Hagen, J.O., O.Liestøl, E.Roland og T.Jørgensen, 1993: Glacier Atlas of Svalbard and Jan Mayen. Norsk Polarinstitutt Meddelelser, No.129, 141pp.

Hagen, J.O., J.Kohler, K.Melvold og J.G.Winther, 2003: Glaciers in Svalbard-impacts on Arctic hydrology (Accepted, *Polar Research*)

Hanssen-Bauer I. og E.J.Førland, 1998: Long-term trends in precipitation and temperature in the Norwegian Arctic: can they be explained by changes in atmospheric circulation patterns? *Climate Research,* 10, 143-153.

Haugan, P.M., 1999: Structure and heat content of the West Spitsbergen Current. *Polar Res.* 18, 183-188.

Holloway,G. og T.Sou, 2002: Has Arctic Sea Ice Rapidly thinned ?. *J.Climate*, 15, 1691-1701

Hulme, M. 1995: Estimating Global Changes in Precipitation. *Weather 50* (2), 34-42

Hurrel, J.W., 1995: Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation, *Science*, 269, 676-679.

Høiskar, B.A.K., G.O. Braathen, A. Dahlback, K. Edvardsen, G. Hansen, T. Svendby, 2001: Overvåkning av ozonlaget og naturlige ultrafiolett stråling, Årsrapport 2001. Kjeller, (NILU OR 35/2002).

IPCC (International Panel on Climate Change), 2001: *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of IPCC* [Houghton J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K.

Maskell og C.A. Johnson (eds.)] Cambridge University Press, Cambridge, U.K. and New York, NY, USA, 881pp. (*www.ipcc.ch*)

Jones, P.J. og A.Moberg, 2003: Hemispheric and Large-Scale Surface Temperature Variations: An Extensive Revision and an Update to 2001. *J.Climate*, 16, 206-223

Johannessen, O.M., E.V.Shalina og M.Miles, 1999: Satellite evidence for an Arctic sea ice cover in transformation. *Science*, 286, 1937-1939.

Liestøl, O., 1988: The glaciers in the Kongsfjorden area, Spitsbergen. *Norsk Geogr. Tidsskr*. 42, 231-238

Moritz, R.E., C.M. Bitz og E.J. Steig, 2002: Dynamics of recent climate change in the Arctic. *Science*, 297, 1497-1502.

Parkinson, C.L., D.J.Cavalieri, P.Gloersen, H.J. Zwally & J.C.Comiso, 1999: Arctic sea ice extents, areas and trends, 1978-1996. *J.Geophys.Res.*, 104, 20837-20856.

Räisänen, J., 2001: CO_2-induced climate change in CMIP2 experiments: quantification of agreement and role of internal variability. *J. Climate*, 14, 2088-2104.

Rigor, I.G, R.L. Colony og S. Martin, 2000: Variations in surface air temperature observations in the Arctic, 1979-97. *J. of Climate*, 13, 896-907.

Sand, K., Winther, J-G., Marechal, D., Bruland, O., and Melvold, K., 2003: Regional variations of snow accumulation on Spitsbergen, Svalbard in 1997-99. *Nordic Hydrology* 34 (1-2), 17-32.

Serreze, M.C., J.E. Walsh, F.S. Chapin III, T. Osterkamp, M. Dyurgerov, V.

Romanovsky, W.C. Oechel, J. Morison, T. Zhang og R.G. Barry, 2000: Observational evidence of recent change in the northern high-latitude environment. *Climate Change* 46, 159-207

Shindell, D.T., R.L.Miller, G.A.Schmidt & L.Padolfo, 1999: Simulation of recent northern winter climate trends by greenhouse-gas forcing. *Nature*, 399, 452-455

Smedsrud, L.H. og T. Furevik, 2000: Mot et isfritt Arktis. *Cicerone*, 2/2000, 19-23

Steele, M. og T. Boyd, 1998: Retreat of the cold halocline layer in the Arctic Ocean, *J. Geophys. Res*., 103, 10419-10435.

Steele, M. og J.H. Morison, 1993: Hydrography and vertical fluxes of heat and salt northeast of Svalbard in autumn, *J. Geophys. Res*., 98, 10013-10024

Stortingsmelding 24, 2000-01: Regjeringens miljøvernpolitikk og rikets miljøtilstand. Det Kongelige Miljøverndepartement, 141 pp.

Swift, J.H., E.P. Jones, K. Aagaard, E.C. Carmack, M. Hingston, R.W. MacDonald, F.A. McLaughlin, R.G. Perkin, 1997: Waters of the Makarov og Canada Basins. *Deep Sea Res*., Part II, 44, 1503-1529

Tett, S.B.F., P.A. Stott, M.R. Allen, W. J. Ingram og J.F.B. Mitchell, 1999: Causes of twentieth-century temperature change near the Earth's surface. *Nature*, 399, 569-572

Thompson, D.W.J. og J.M. Wallace, 1998: The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophys. Res. Letters* 25, 9, 1297-1300

Vinje, T., 2001: Anomalies and Trends of Sea-Ice Extent and Atmospheric Circulation in the Nordic Seas during the Period 1864-1998. *J. Climate*, 14, 255-267

Vinje, T., N.Nordlund og Å.Kvambekk, 1998: Monitoring ice thickness in Fram Strait. *J.Geophys.Res.*, 103, 10437-10449.

Walsh, J.E., V.Kattsov, D.Portis and V.Meleshko, 1998: Arctic Precipitation and Evaporation: Model Results and Observational Estimates, *J.Climate*, 11, 72-87.

Winther, J.G., K. Edvardsen, S. Gerlan, S., B. Hamre, submitted: Surface reflectance of sea ice and under-ice irradiance in Kongsfjorden, Svalbard. *Polar Research*.

Østerhus, S. og T. Gammelsrød, 1999: The abyss of the Nordic Seas is warming, *J. Climate*, 12 (11), 3297-3304.

Aagaard,K. and E.C.Carmack, 1989: The role of sea ice and other fresh waters in the Arctic circulation. *J.Geophys.Res.*, 94, 14 1485-14 498.