



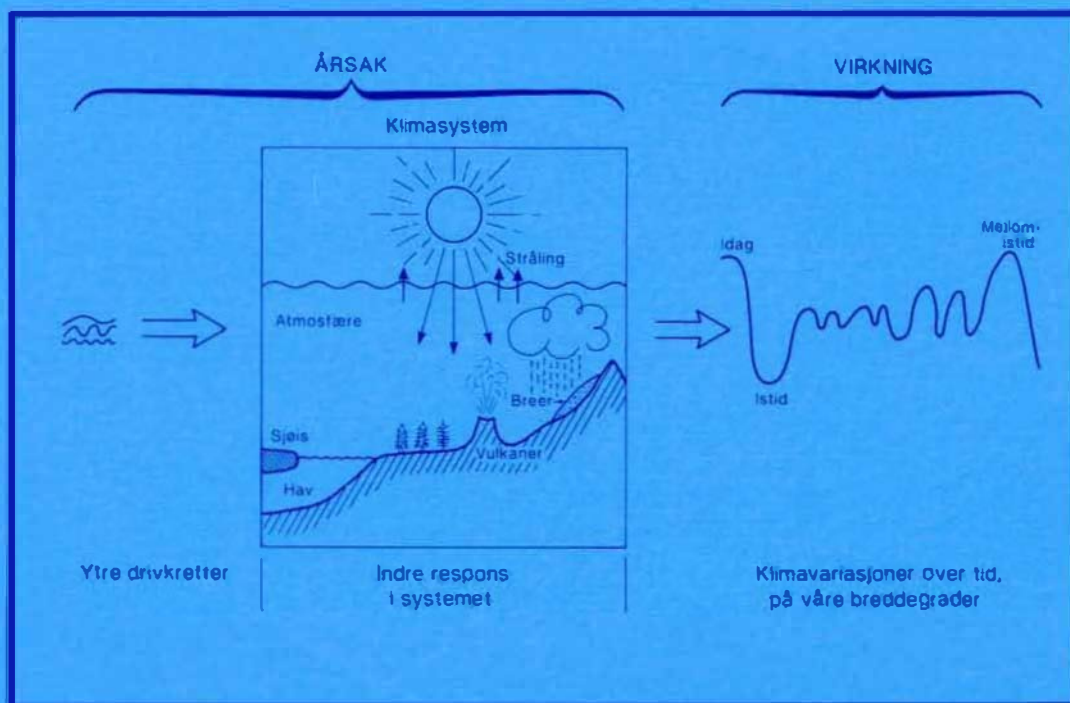
NORSK POLARINSTITUTT

RAPPORTSERIE

NR.53 - OSLO 1989

HVA SKJER MED KLIMAET I POLAROMRÅDENE?

Sammendrag av foredrag på
symposium 25-26 april 1989





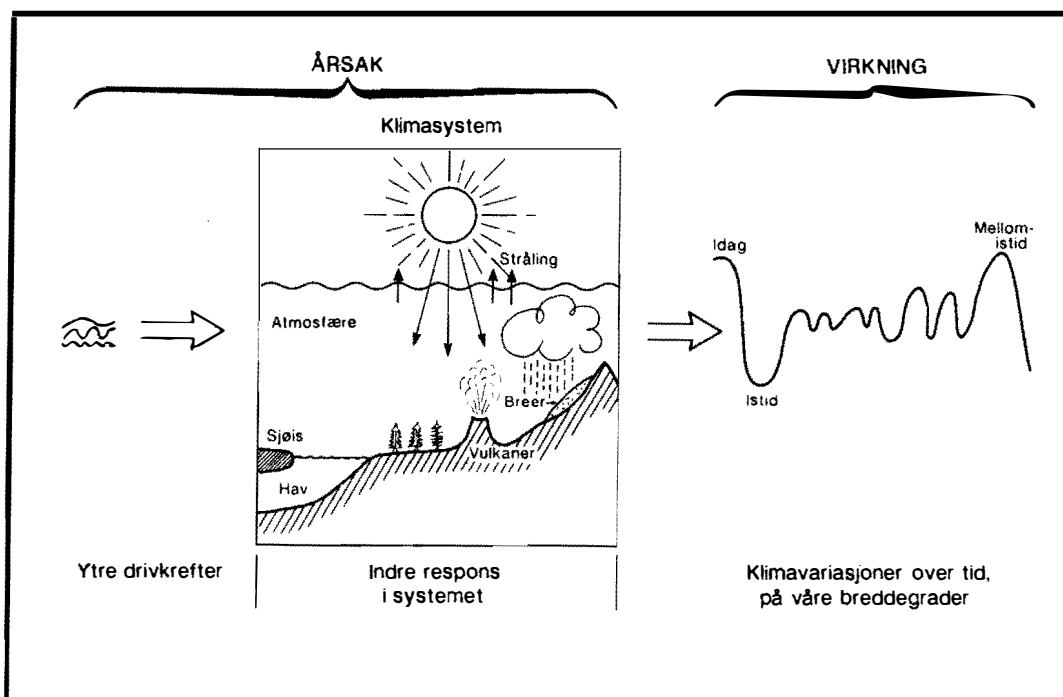
NORSK POLARINSTITUTT

RAPPORTSERIE

NR.53 - OSLO 1989

HVA SKJER MED KLIMAET I POLAROMRÅDENE?

Sammendrag av foredrag på
symposium 25-26 april 1989



INNHALDSFORTEGNELSE

Olav Orheim	: Forord
Odd Rogne	: Velkomstord
Olaf Sætersdal	: Åpningstale
Willi Dansgaard	: Is og klima
Otto Salvigsen	Naturlige klimavariasjoner i Arktis etter siste istid
Jon Ove Hagen	: Isbreer og og permafrost som klimaindicatorer
Bjørn Aune	: Klimaendringer i Norge og norsk Arktis gjennom de siste 100 år
Jørn Thiede	: Dyphavets avleiringer som klimaregistre
Hans Oeschger	: Variations in composition of the atmosphere
Jan Mangerud	: Hva er drivkreftene bak de store klimavariasjonene?
Graham Farmer	: Observed global and arctic temperature variations
Tor Gammelsrød	: Oseanisk sirkulasjon og klima
Torgny Vinje	: Variasjoner i havisens utbredelse i Barentshavet/Grønlandshavet
Karl Erik Zachariassen og Tore Aunaas	: Klimaendringer - fysiologiske virkninger på dyr
Harald Loeng	: Klimaets innvirkning på marine ressurser
Wim Vader og Rob Barrett	: Nedgang i sjøfuglbestanden - et resultat av klimaendringer?
Øystein Hov	: Endringer av drivhusgassene
Jost Heintzenberg	: Arktiske aerosoler
Anton Eliassen	: Klimamodellene - deres resultater og usikkerheter
Olav Orheim	: Hvor høyt er havnivået i år 2050?
Gunnar Mathiesen	: Innledning til paneldebatten

Program

Deltagerliste

FORORD

Klimaet er i stadig forandring. Mange forskere mener at virkningene av menneskelig aktivitet nå er begynt å overskride naturlige variasjoner. Dette vet vi ikke med sikkerhet, og vi vet heller ikke hvordan slike forandringer vil inntreffe og fordele seg over kloden. Men modeller angir at de sterkeste utslagene vil skje i polarområdene. At disse områdene er sentrale i denne sammenheng demonstreres ikke minst av den store - og sterkt økende - internasjonale innsats innenfor slik klimaforskning.

Det er ikke opplagt at all menneskeskapt klimaendring vil være skadelig. Men data angir at naturens klimasystem har innebygget selvforsterkende mekanismer, slik at en liten ytre påvirkning kan gi store - og raske - utslag. Vi kan derfor frykte at pågående utslipp av drivhusgassene, som allerede har øket nivået 20% over noe mennesker tidligere har opplevd, kan føre til irreversible klimaendringer. Vi mangler i dag kunnskapene til å vurdere hvor stor denne faren er.

På denne bakgrunn av store mangler i vår naturvitenskapelige kunnskap, ble det på initiativ fra Miljøverndepartementet bestemt å avholde et internasjonalt symposium med tema "Hva skjer med klimaet i polarområdene?". Målet var å samle interesserte forskere fra alle aktuelle norske forskningsmiljøer, og få presentert de ferskeste kunnskaper og ideer. Symposiet ble arrangert på Scandic Hotel, Bærum, den 25. og 26. april 1989 og samlet 80 deltagere. Norsk Polarinstitutt organiserte symposiet som ble ledet av Olav Orheim, med Annemor Brekke og Karen Christiansen som sekretariat.

Symposiet ble bestemt og gjennomført i løpet av to måneder. Miljøverndepartementet og Nasjonal komite for miljøvernforskning ga økonomisk støtte. På Norsk Polarinstitutt er vi svært glade for at oppslutningen ble så god både fra foredragsholdere og andre deltagere.

Denne rapporten gir sammendrag av alle foredrag, unntatt ett, på symposiet, samt innledningen til paneldebatten. En av foredragsholderne måtte melde avbud på grunn av sykdom, men hans foredrag er likevel med i rapporten. Gunnar Mathiesens innledning til paneldebatten er skrevet etter et lydbåndopptak under konferansen. Vi takker alle bidragsydere for god innsats som har gjort oss istand til å utgi rapporten såpass raskt etter at konferansen var over. Forsinkete bidrag fra to av foredragsholderne gjorde dessverre at rapporten kom ut noen uker senere enn planlagt.

Rolfstangen, 20. juni, 1989

Olav Orheim

Odd Rogne: VELKOMSTORD

Det er en glede å ønske alle hjertelig velkommen til dette symposiet.

Drivhuseffekt - Klimaendring - Havnivåstigning - Samfunns-effekter er noen stikkord for det vi søker å belyse, med bidrag fra norske og utenlandske forskere.

Klimaendring er nå ett av verdens viktigste miljøspørsmål og vil stå sentralt innen forskning og politikk i 90-årene. Forskningsadvarslene har nådd politikerne og er fanget opp i Brundtlandkommisjonens rapport og en mengde politiske dokumenter. På forskningssiden har man sett behovet for internasjonal samordning av et så omfattende, globalt problem. "Global change", eller IGBP - Det internasjonale geosfære/-biosfære programmet, er et viktig internasjonalt samarbeidsprogram med klimaendring som det sentrale tema. Polarområdene vil stå i fokus - i alle fall for den naturvitenskapelige forskning og overvåkning av klimaendringer.

Årsaken er enkel: I følge klimamodellene vil temperaturøkningen bli størst og dermed lettest målbar i polarområdene. Dessuten gir isbreer og sedimenter viktige data om vår klimahistorie.

For Norsk Polarinstitutt var det naturlig å ta ansvaret for dette symposiet med både moralsk og økonomisk støtte fra Miljøverndepartementet og fra Nasjonal Komite for Miljøvern-forskning - en hjertelig takk for det fra oss alle.

Vi ønsker at symposiet skal være en katalysator for norsk naturvitenskapelig forskning om klimaendring. Forskere er derfor en viktig målgruppe. Men temaet krever et langt bredere engasjement, derfor er representanter både fra politikk, departementer, næringsliv og media invitert. Vi håper det gir en interessant og nyttig kontaktflate for deltakerne.

Med disse innledende velkomstord vil jeg be forskningssjef Olav Orheim om å overta møteledelsen. Med sin bakgrunn innen klimaforskning, var det naturlig at han ble primus motor både i forberedelsene og i gjennomføringen av symposiet.

Departementsråd Olaf Sætersdal, Miljøverndepartementet

"Hva skjer med klimaet i polarområdene?"

Åpning av internasjonalt symposium 25.- 26. april 1989

Hva skjer med klimaet i polarområdene? Dette er altså den ambisiøse oppgaven denne konferansen tar mål av seg til å finne et svar på. Kanskje finner vi ikke noe klart og entydig svar, men likevel er det mitt håp at den ekspertisen som er samlet her i dag, må kunne gi oss visse indikasjoner på hvilken retning utviklingen går.

For oss som i år har gjennomlevd den mildeste Østlands-vinteren i manns minne, har vi vel alle følelsen av at noe er i gjære. At det går mot et varmere klimaregime på jorda. Men skyldes det naturlige variasjoner - eller atmosfæriske forurensninger? - ja, se det strides de lærde om. Det vi hittil har sett - den halve graden som temperaturen har steget i vårt århundre - kan skyldes begge deler: Både luftforurensninger og/eller naturlige variasjoner. Nettopp dette gjør klimabildet så komplisert - at vi vet ikke hva som er naturlig og unaturlig i klimautviklingen. Dette er et tema som denne konferansen er nødt til å beskjeftige seg mer inngående med.

Spørsmålet om en atmosfære i forandring og mulighetene for et klimaskifte, har egentlig dukket opp på de miljø-politiske dagsordener i de senere år. Men fenomenet er ikke nytt; mistanken om at det har vært en bakside av industrialiseringens medalje - som kunne påvirke klimaet - har vært der lenge. Allerede i 1896 løftet den svenske

forskeren og Nobel-prisvinneren Svante Arrhenius en advarende finger mot at forbrenningen av kull, som følge av den industrielle revolusjon, kunne føre til temperaturstigning i atmosfæren og på jorda. Nærmere hundre år skulle det altså ta før forskningen, gjennom bedre overvåkning, computerberegning og moderne forskningsteknologi, virkelig fikk øynene opp for det som gjerne kalles det globale oppvarmingseksperimentet. Forskerne har fått øynene opp og er relativt samstemte; nå gjelder det i høy grad politkernes og opinionens øyne og holdning. Klarer vi - i tide - å gjøre spørsmålet om klimaendring til et spørsmål om klima for endring?

Jeg er klar over at dette først og fremst er et forskningsseminar - men forskningen lever ikke i et vakuum - også forskningen må ha et øye til hva som skjer rundt oss. Forskningen kan selvfølgelig ikke påvirke de fysiske klimaendringer, men det er andre klimaer av mer direkte betydning for oss, som vi både kan og må rette oppmerksomheten mot. Jeg tenker på det politiske og økonomiske klima; klimaet for endring, så å si, om vi i framtida skal unngå en uønsket oppvarming av kloden. Også dette forskningsseminaret bør ha et slikt perspektiv over seg.

Men er den egentlig noe å bry seg så mye om, denne klimaproblematikken? De fleste nordmenn vil vel kanskje si at noen grader varmere klima kan da ikke være noe å lage ståhei om. Kanskje bortsett fra langunderbuksefabrikanter og ordførere med et vinter-fremtidig OL i magen?

Jeg tror det er viktig å ta på alvor slike holdninger - som viser hvor dårlig kunnskapene kan være om forurensningene av atmosfæren. Det er nemlig vanskelige spørsmål vi er stilt overfor - det skal jeg være den første til å innrømme - og det er ikke til å undres over at mange føler seg litt avmæktige og lite opplyste under skylaget av kjemiske formler og modellberegninger - og svært så innfløkte internasjonale problemstillinger. Jeg håper derfor at vi på denne konferansen kan makte å bringe de bokstavelig talt luftige problemstillinger ned på jorda - slik at også vi

som er legmenn på feltet kan få et bedre grep om dem.

Vi kan alle skjønne at vi må gjøre noe med forurensninger på jorda - som vi ser, lukter eller vet er skadelig for helsen. Årtiers miljøvernkamp har da også - i hvert fall i prinsippet - gjort oss i stand til å hankses med våre jordiske søppeldynger. Men samtidig har vi i lang tid brukt atmosfæren som avfallsplass - avfall som har lagret seg i de lavere lag av atmosfæren - og som ligger der som et slags "skittent tak" over hodene på oss. Akkurat som et glasstak i et drivhus, absorberer disse forurensningene varme fra jordoverflaten - varmeenergi som ellers ville tatt raskeste vei ut i verdensrommet, men som i stedet sendes tilbake til jorda. Dermed oppstår drivhuseffekten - som gradvis får temperaturen til å stige på jordoverflaten. I motsetning til forurensninger på landjorda, er disse forurensninger i atmosfæren, usynlige for det blotte øye - og vi merker foreløpig lite til dem. Det er nemlig en lang rekke usynlige klimagasser - eller drivhusgasser - vi snakker om, og som for en stor del oppstår som et resultat av menneskelig aktivitet. Mest kjent er karbondioksid, som slippes ut ved forbrenning av fossile brensler, kull, olje og gass. I framtida regner man med at andre gasser enn CO₂ vil ha en like stor drivhuseffekt. Jeg tenker da på metan, dinitrogenoksid (eller lystgass), ozon og klorfluor-karboner.

Vi skal i løpet av seminaret få høre nærmere om hvilke synderegister disse gassene kan gjøre seg skyldig i i framtida. Et nytt klima vil merkes direkte på 3 måter. For det første blir det varmere - og den største temperaturstigning vil komme på våre nordlige breddegrader - kanskje særlig i Arktis. For det andre vil nedbørsmønsteret verden over kunne endre seg radikalt. For det tredje vil havet stige - kanskje den mest dramatiske direkte virkningen, sannsynligvis også for Norge med en av verdens lengste kyststrekninger.

Vi vet at isen er en dominerende miljøfaktor. Små temperaturforandringer vil påvirke isen og derved kunne endre hele det økologiske systemet. Polarområdene er de siste på jorda som har intakte økologiske systemer - og klimaendringer vil derfor kunne ødelegge de store natur- og referanseverdier som disse urørte økosystemene har.

Polarområdene er velegnede for å drive klimaovervåking ettersom endringer vil vise seg her først. Dessuten vil endringer i isbreer og havisutbredelse være gode overvåkingsparametre. Polarområdene står således sentralt i den globale klima-problematikken.

Vi vet også at polarområdene er helt sentrale i ozonforskningen og -overvåkingen. Ozonlaget er helt avgjørende i beskyttelsen av livet på jorda fra solas skadelige ultrafiolette stråling. Det som skjer over polene er viktige indikatorer på ozonlagets tilstand generelt.

Ingen av de direkte klimaforandringer vil skje over natta. Og ingen kan i dag forutsi hvordan dette vil slå ut for Norge. Kanskje blir vi - i det minste på kort sikt - vinnere i dette menneskehetens storstilte klimalotteri, men sannsynligvis er vi alle tapere. Svarte-Per'ene kan bli utrolig mange. For det er når vi begynner å se på de indirekte virkningene - de sosio-økonomiske virkninger - at det blir klart for noen hver at vi spiller økologisk rullet med framtida.

Klimaproblemet er et globalt fenomen. Det spiller ingen rolle hvor på kloden utslippene av drivhusgasser skjer; alle vil merke virkningene. Minst rustet til å ta følgene vil de fattige nasjoner være, paradoksalt nok er det de land som hittil har forurenset atmosfæren minst. I sannhet har vi i internasjonal miljøvernpolitikk tatt spranget fra de lokale og regionale problemer til de globale. I miljøpolitisk forstand er vi blitt en verdensfamilie, ombord på den samme båten - og verden kaller derfor nå på stor styrmannskunst.

I disse dager foregår det en meget hektisk virksomhet på den internasjonale klimaarena. Statsledermøter og verdenskongresser står i kø. Dette er viktige begivenheter for å skape en felles politisk plattform for å gjøre noe med problemene. Samtidig foregår det i regi av FN's Miljøprogram (UNEP) og Verdens Meteorologiorganisasjon (WMO), et mer konkret og målrettet arbeid for å analysere klimautviklingen, de sosio-økonomiske virkningene og mulige strategier for å møte klimaendringene. Dette arbeidet vil forhåpentligvis bli en viktig basis for en internasjonal konvensjon om begrensninger av utslipp av klimagasser. Montreal-avtalen på KFK-siden viser at det går an å gjøre noe med problemene, selv om det er helt klart at utslippene av de andre klimagassene vil bli langt, langt vanskeligere å regulere i en internasjonal avtale. Problemene er mer komplekse - og langt større økonomiske interesser og problemer er involvert. Målet er imidlertid å få til en avtale i første halvdel av 90-årene.

Norge deltar meget aktivt i det pågående internasjonale arbeid. Vi har særlig konsentrert oss om policy-siden, fordi vi mener at det haster med å komme fram til internasjonalt forpliktende tiltak. Som kjent er Norge neste år vertsland for en stor internasjonal konferanse i Bergen, hvor energi og klima vil stå sentralt. Konferansen er en oppfølging av Verdenskommisjonen for miljø og utvikling, hvor begrepet bærekraftig utvikling er det bærende budskapet. Vi tror Bergen-møtet blir et viktig bidrag for å løse problemene knyttet til de energi-relaterte klimagassene.

Det er i prinsippet to måter å hankses med klimaproblemet - to strategier: Den viktigste strategien er tiltak for å stoppe eller redusere utslippene av drivhusgasser. Dette er en strategi som forfølges internasjonalt, fordi alle land må gjøre sitt - om "gratispassasjer-problemet" skal unngås (det hjelper lite om et eller noen land treffer tiltak, sålenge andre fortsetter som før). På tiltakssiden vil imidlertid Norge helt klart ta mål av seg til å bli et foregangsland.

Den andre hovedstrategien er tilpassing, m.a.o. tilak som angår hvordan man best mulig kan tilpasse produksjon, forbruksmønster, levesett o.a. til et nytt klima. Denne strategien kan være nasjonal - og også i høy grad lokal.

Klimaendringer vil for alvor sette inn rundt midten av neste århundre. Men det er nå - og de aller nærmeste årene - at vi må sette inn tiltak for å unngå en uønsket global oppvarming.

Jeg er derfor glad for at dette seminaret er kommet i stand. Det føyer seg inn i rekken av klimaseminarer som nå gjennomføres for å gjennomdrøfte problemet. For et par uker siden hadde vi en særskilt konferanse om klima og skog. I departementet arbeider vi nå med en utredning om norsk klimapolitikk - og disse seminarene - og dette - er viktige "input" i vårt utredningsarbeid.

Dette to-dagers symposiet er 3-delt: klimautviklingen i historisk perspektiv, klimautviklingen nå, og konsekvensene av stigende temperaturer i polarområdene. Drivhuseffekten vil stå i fokus, og ozonproblematikken skal også drøftes - om enn i noe mindre grad denne gang.

Jeg er også svært glad for den brede og solide deltakelsen som symposiet har fått. Forskere fra alle aktuelle forskningsinstitusjoner er invitert, likeså representanter fra alle de politiske partiene og alle miljøorganisasjonene, samt representanter fra flere departementer, direktorater, fylkesmenn, sysselmannen og media.

Jeg ønsker nok en gang velkommen til et aktivt og forhåpentligvis lærerikt og tankevekkende symposium!

Is og klima

af W. Dansgaard,
Geofysisk Institut, Københavns Universitet

I modsætning til andre planeter i solsystemet har Jordens overflade en middeltemperatur - for tiden 13 °C - der ligger meget nær ved vandets frysepunkt. Derfor er der permanente sne- og isforekomster på høje breddegrader, og de er igen årsag til en meget vigtig vekselvirkning mellem is og klima:

En global klimatisk afkøling medfører naturligvis større polare ismasser. Lidt mindre indlysende er det, at større polare ismasser i sig selv medfører koldere klima, men det følger deraf, at sne og is reflekterer op til 80 % af solstrålingen. Mere sne og is medfører derfor mindre absorberet solenergi, derfor endnu koldere klima, mere sne og is o.s.v. Heri ligger årsagen til at globale klimaændringer giver sig stærkest udslag om vinteren og ved polerne.

Sådanne selvforstærkende processer findes der mange af i klimasystemet, heldigvis også en del selvsvækkende - ellers ville systemet løbe løbsk i den ene eller anden retning, sådan som vore naboplaneter viser barske eksempler på.

Klimaet ændrer sig på alle tidsskalaer, lige fra nogle timer til milliarder af år. Størst aktuel samfundsinteresse har de "hurtige" svingninger med varighed op til 1000 år. De lader sig ikke studere på basis af de kun 100 års direkte vejrobservationer, der står til rådighed, men derimod på f.eks. iskerner boret gennem de store iskapper.

Sådanne iskerner indeholder titusinder af årlag, og hvert årlag indeholder prøver af alt hvad der faldt ud af atmosfæren i det år laget blev dannet: støv, vulkanske syrer, havsalte, kosmiske partikler, etc., ligger i isen i en uforstyrret sekvens. Og vigtigst af alt: Atmosfærens kemiske sammensætning dengang isen blev dannet (f.eks. dens daværende indhold af drivhusgasser) kan måles på luftboblerne i isen, og temperaturen dengang finder man af f.eks. deuteriumkoncentrationen i den gamle is.

Sådanne målinger har ikke blot rent klimahistorisk interesse. Det primære formål med dem er at belyse nogle sider af den uhyre komplicerede mekanisme, der styrer klimaændringer. Det endelige mål er at forbedre klimamodellerne, så de bliver i stand til med rimelig sikkerhed at forudsige de klimaændringer, man vil opleve i fremtiden som følge af såvel naturlige processer som menneskeskabte indgreb, navnlig forureningen af atmosfæren.

Den foreløbig længste iskerne (2200 m) blev boret af Sovjet ved Vostok, Østantarktis. Den rækker ca. 160.000 år tilbage i tiden, d.v.s. et stykke ind i den næstsidste istid. Fra Grønland foreligger to dybe iskerner, hvoraf den

fra Camp Century i Nordgrønland rækker gennem den forrige mellemistid, Eem-tiden for 130-120.000 år siden (Fig. 1).

Af de mest spændende resultater kan nævnes:

1. Under den sidste del af istiden varierede klimaet voldsomt i det nordatlantiske område (Fig. 1). Det sidste af disse dramatiske klimaskift fandt sted for 10.700 år siden: I løbet af 20 år trak havisen sig langt nordpå. Efter yderligere 30 år var temperaturen steget 7 °C i Sydgrønland, stormene var blevet sjældnere og mindre voldsomme, og nedbøren var steget 50 %.
2. Under istidsforhold falder kuldioxid-indholdet i atmosfæren med 30 % af den naturlige værdi under varmetider. Det forstærker istiderne, men er ikke i sig selv nok til at forklare dem. Istids-temperaturen i Sydgrønland (12 °C lavere end nu) kan måles direkte i det 2037 m dybe borehul - opvarmningen for 10.000 år siden er endnu ikke nået ned til bunden af indlandsisen (Fig. 2).
3. Talrige kendte og ukendte vulkanudbrud kan identificeres og dateres ved det svovlsure nedfald, de har efterladt i isen. F.eks. er Theras udbrud på øen Santorin, der ødelagde den minoiske kultur ("Atlantis undergang"?), dateret til 1645 ± 7 år f.Kr. Den vulkanske aktivitet synes at kunne forklare ca. 25 % af det nordatlantiske områdes klimaændringer i de sidste 1400 år.
4. En varmeperiode fra sidst i 800'tallet til midt i 1000'tallet var antagelig medvirkende årsag til at landnam i Island og Grønland lykkedes. Men Vesterbygden i Godthåbsfjorden uddøde omkring 1350 i den koldeste periode i nordbøsamfundets historie. Østerbygden i Sydgrønland uddøde ca. 100 år senere, men næppe på grund af klimaet (Fig. 3).
5. Hidtil er der ikke med sikkerhed fundet is i Grønland fra før den varme Eem-tid. Derfor kan man ikke udelukke muligheden af at det var bortsmeltning af indlandsisen, der var årsag til de 6-8 m vandstigning under Eem-tiden - ej heller risikoen for bortsmeltning under den ventede opvarmning i fremtiden.

En ny iskerneboring gennem indlandsisen er planlagt for 1989-92 under European Science Foundation's auspicer. Den skal foregå på toppen af indlandsisen i Midtgrønland, hvor isen er 3000 m tyk. Foreløbig har Danmark, Schweiz, Vesttyskland og Frankrig givet tilsagn om at medvirke.

Fig. 1

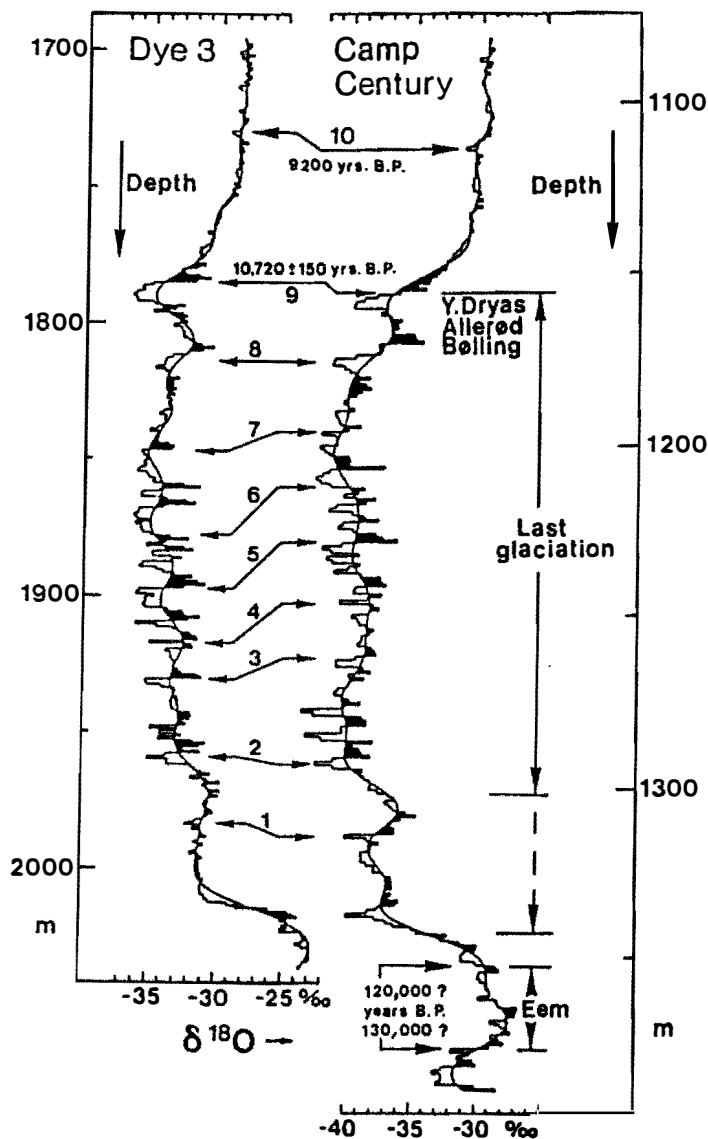


Fig. 2

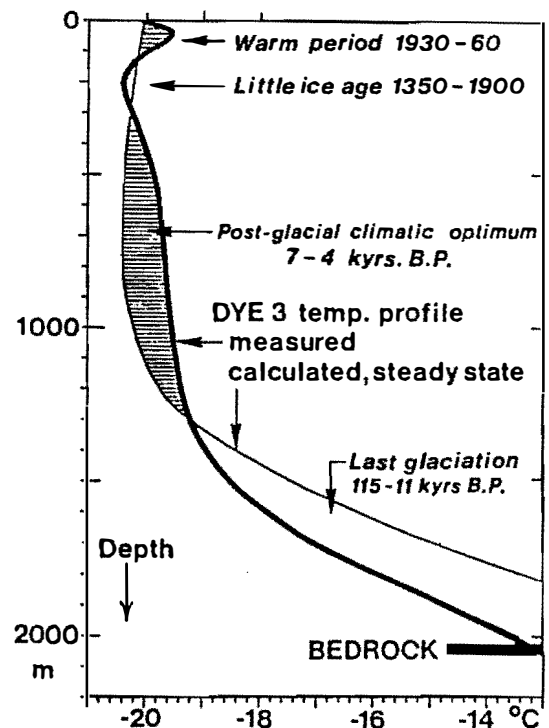


Fig. 1: $\delta^{18}\text{O}$ profiler langs de dybeste 300 meter af iskernerne fra Dye 3 i SØ-Grønland og Camp Century i NV-Grønland. De nummererede pile angiver samtidigt aflejrede lag. Lagene ud for pil nr. 2 er fra midt i sidste istid (fra Dansgaard et al., 1982).

Fig. 2: Den tykke kurve viser den målte temperaturfordeling ned gennem et borehul i Indlandsisen. Den afviger fra den beregnede, tynde kurve, der viser hvordan temperaturen ville variere nedefter, hvis klimaforholdene altid havde været som de er nu. De (skraverede) afvigelser, hvor de målte temperaturer er højere end de beregnede, skyldes tidligere tidsperioder med varmere klima end nu, mens de (prikkede) områder, hvor de målte temperaturer er lavere end de beregnede, skyldes koldere perioder i fortiden (efter Dorte Dahl-Jensen og Niels Gundestrup).

Fig. 3

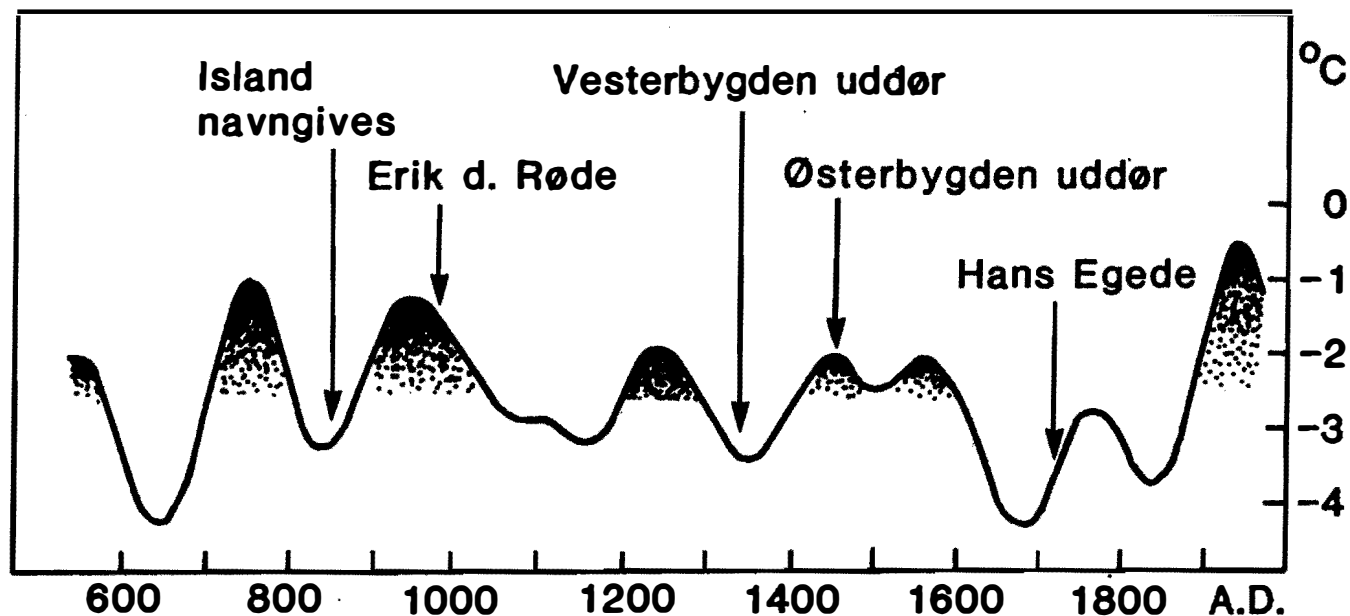


Fig. 3: Grønlands klima fra år 553 til 1975, skønnet ud fra isotopmålinger på iskerner fra Indlandsisen. De prikkede områder angiver perioder med temperaturer over gennemsnittet for de sidste 1420 år. De omtrentlige temperatursvingninger i Godthåb kan aflæses på skalaen til højre. Varmeperioden i vort eget århundrede var en usædvanlig begivenhed. Over kurven er angivet nogle store begivenheder i den europæiske historie i Grønland: Da Erik den Røde ankom i 985 havde klimaet været relativt varmt i 100 år. Vesterbygden ved Godthåb uddøde, da klimaet var blevet koldere end nogensinde før i nordbosamfundets historie. Ca. 100 år senere uddøde Østerbygden længst i Syd, men næppe på grund af klimaet. Hans Egede kom til Grønland lige efter kulminationen af "den lille istid".

NATURLIGE KLIMAVARIASJONER I ARKTIS ETTER SISTE ISTID

Otto Salvigsen, Norsk Polarinstitutt

Siste istid tok slutt for ca. 10.000 år siden, og vi regner nå med at vil lever i en mellomistid som vi ikke vet hvor lenge vil vare. Når dagens klimaendringer og årsakene til dem skal diskuteres, kan det være nyttig å ha best mulig kjennskap til hvordan klimaet naturlig har variert etter siste istid. I vår tid med hypotetser om drivhuseffekt og global oppvarming er det gjerne temperaturen det blir fokusert mest på, og det vil også bli gjort her.

For å illustrere klimaendringer i arktiske strøk har jeg valgt å se på utbredelsen av blåskjell på Svalbard etter siste istid. Blåskjell lever i dag i strandsonen langs hele norskekysten, men på Svalbard finnes ikke levende blåskjell. Derimot finnes det over store deler av Svalbard blåskjell i forbindelse med hevede strandlinjer, og det er tydelig at klimaet tidligere har vært så varmt at blåskjell har hatt gode vekstvilkår. Dateringer av blåskjell fra Svalbard viser at allerede for ca. 9500 år siden, kort etterat breisen forsvant, var det levestandard for blåskjell langs vestkysten av Svalbard. De har som drivende larver med havstrømmene evnen til å spre seg raskt, og har sannsynligvis kommet fra norskekysten. De vokste nord for 80° N, men i østlige deler av Svalbard er det sparsomt med observasjoner av blåskjell. Levestandardene der var nok marginale selv under den tid da klimaet var mest gunstig. Observasjoner i felt og rekken av dateringer gir oss grunn til å tro at blåskjell levde sammenhengende på Svalbard i ca. 6000 år før arten døde ut for ca. 3500 år siden. Da var klimaet blitt så kaldt at blåskjell ikke kunne leve på Svalbard. Vi ser altså at i store deler av tiden etter siste istid har klimaet på Svalbard vært varmere enn det er i dag. Varmest var det sannsynligvis i den perioden O-skjell kunne leve i Isfjorden, datert til 8800-7800 før nå.

Utbredelse av blåskjell på Øst-Grønland som synes å ha en interessant sammenheng med Svalbard. Nåværende nordgrense for blåskjell på Øst-Grønland er ca. 66° N, men i en periode har de også levd i den sentrale fjordsonen fra 71° til 74° N, dvs. i Scoresbysundområdet. Dateringer viser at det skjedde fra 8000 til 5500 før nå. Den kalde, sørgående Øst-Grønland gjør at blåskjell ikke kunne spre seg langs kysten fra sør under den Holocene varmetid på Grønland. Den eneste muligheten for spredning til det sentrale Øst-Grønland er da fra Svalbard. Et skifte i balansen mellom den varme Spitsbergenstrømmen og den kalde Øst-Grønlandstrømmen må ha hatt stor betydning for

forekomsten av blåskjell i Øst-Grønland.

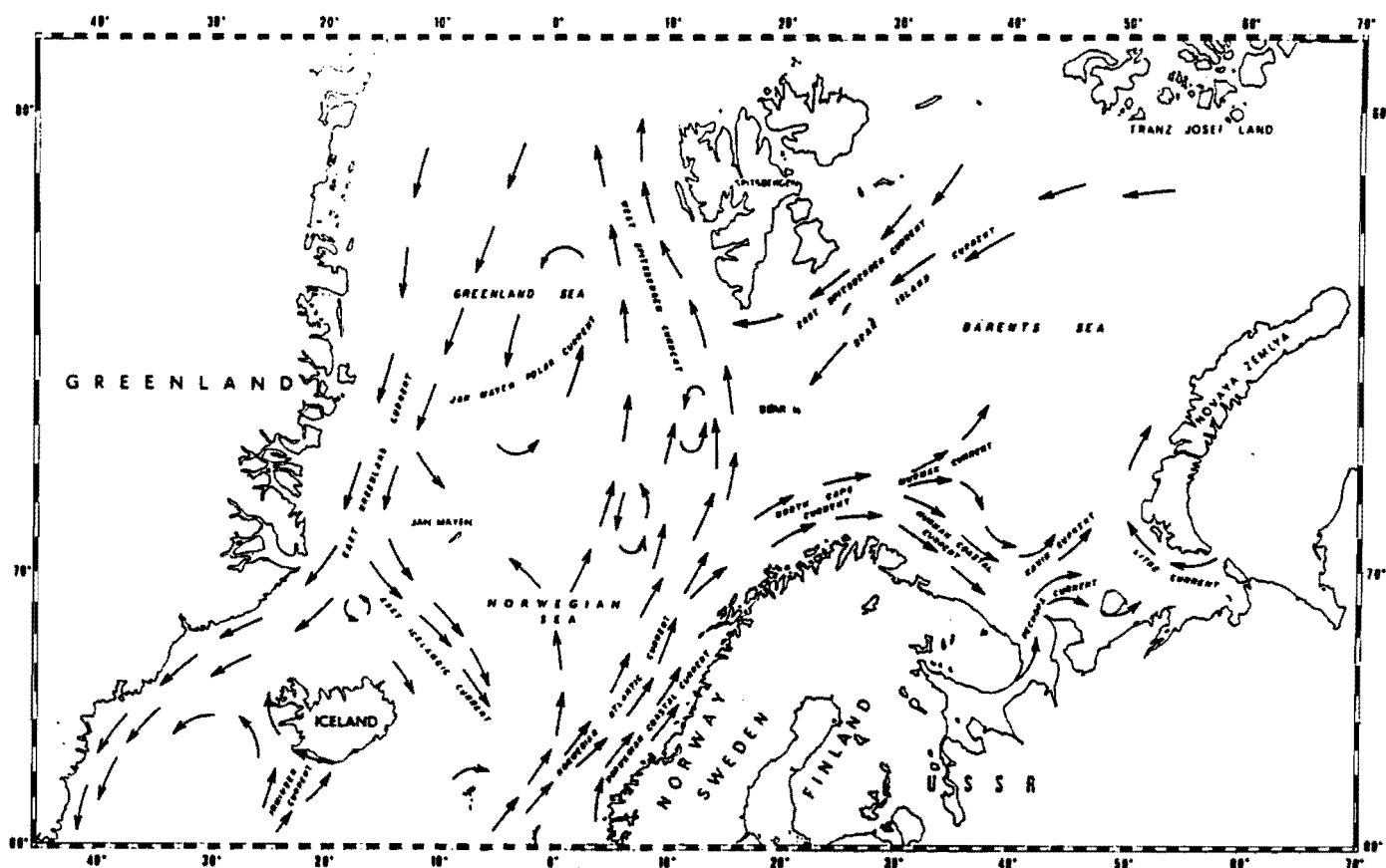
Andre arktiske områder har også klart hatt større utbredelser av blåskjell etter siste istid, men den senere tilbakegang har ikke vært like radikal som for Svalbard og Øst-Grønland. Variasjonen i forekomsten av blåskjell kan ikke gi oss tall for hvor mye høyere temperaturen har vært tidligere. For nordre del av Nord-Amerika er det gjort en del forsøk på å kople sammen forskjellige data fra landfloraen og regne ut temperatur og nedbør tilbake til 6000 før nå. Resultatet har blitt gjennomsnittstall for temperaturendringer på ca. $1,5^{\circ}$ C, og det er interessant at det største utslaget kommer lengst nord der det ser det ut til å ha vært hele 3° varmere for 6000 år siden enn det er i dag. Det stemmer bra med resultater fra studier av iskjerner fra Devon Island der det rapporteres om en avkjøling på 2 - 3° de siste 5000 år.

De naturlige temperaturendringer i arktiske strøk etter istiden er av samme størrelsesorden som de endringer man i relativ nær framtid kan vente dersom man bare ser på drivhuseffekten og ser bort fra alle andre foranderlige faktorer. De mest radikale anslag sier at jorden varmes opp 3 - 5° innen 2050, kanskje 10° i Arktis. Men slike hypoteser er ikke godt fundert, og det blir derfor en viktig oppgave i framtida å kunne oppdage og påvise det som virkelig skjer av betydelige klimaendringer. Så radikale temperaturendringer som det her er tale om, bør gi seg utslag i naturen slik som vi har sett i tidligere tider. Ved en klimaforbedring må man f. eks. regne med at blåskjell raskt vil kunne komme til Svalbard og leve der slik som de tidligere har gjort. Dersom det skulle skje, vil vi vite at vi hadde fått det varmeste klimaet vi hadde hatt de siste 3500 år men ikke så varmt som i det klimatiske optimum for 8000 år siden. Slike forhold vil vi først få når O-skjell kan leve i Isfjorden på Svalbard og når blåskjell igjen kan leve ved Scoresbysund på Øst-Grønland.

Svalbard er et av de arktiske områdene der man først vil kunne vente å påvise slike klimaendringer. Vi har Spitsbergenstrømmen som er den siste rest av den varme Golfstrømmen som gjør at varmekrevende arter som lever i sjøen lett kan spre seg nordover. En rekke av det vi kan kalle klimaindikatorer kan studeres der, og vi bør velge dem som vi kan vente vil reagere raskest på endringer. Vi bør i alle fall fortsette å se etter blåskjell fjæra, og både positive og negative observasjoner er av verdi.

Oppsummering og konklusjoner:

Siste istid tok slutt for ca. 10.000 år siden og vi må regne med at vi nå lever i en mellomistid som etter naturens orden ville bli avløst av en ny istid innen et ukjent antall år. Det har vært betydelige klimavariasjoner etter istiden, og i størstedelen av tiden har klimaet vært varmere enn det er i dag. Det kan derfor se ut som vi har passert den varmeste perioden, og det har av og til vært spekulert på hvor raskt en ny istid kan komme. I det siste er det ikke bekymringene for en ny istid som har dominert, men tvert imot bekymringene for oppvarming av jordkloden på grunn av menneskelig påvirkning av klimaet gjennom den såkalte drivhuseffekten. Best mulig kjennskap til tidligere naturlige klimavariasjoner, vil være av stor verdi for å forstå det som kan være i ferd med å skje med vårt klima i dag. Områder i Arktis, bl. a. Svalbard, er meget velegnet for slike sammenliknende studier. En viktig oppgave for klimaforskere i framtida vil være å skille klimaendringer som skyldes menneskelig aktivitet fra det vi kan kalle naturlige klimaendringer.



Fra TRANGELED 1974

Hva skjer med klimaet i polarområdene,
Internasjonalt symposium, Høvik, 25. -26. april 1989.

ISBREER OG PERMAFROST SOM KLIMAINDIKATORER

Jon Ove Hagen
Norsk Polarinstitutt

Polarområdene er karakterisert av kaldt klima der temperaturen det meste av året er under null. Landområdene preges av klimaavhengige variabler som isbreer og permafrost i bakken. Det er ytterkanten av polarområdene som er mest sansible for klimaendringer. I disse områdene er det temperaturer over null i sommermånedene og da vil små endringer i sommertemperaturen føre til at smeltesesongen raskt kan forlenges og da kan det få storer konsekvenser i naturen.

Isbreene

Utbredelsen og mengden av is er helt styrt av klimaet og særlig to klimaparametre; vinternedbøren og sommertemperaturen. Vinternedbøren i form av snø gir næring til breene, akkumulasjonen, og sommertemperaturen gir avsmeltingen, ablasjonen. Breneene holder seg stabile dersom det er likevekt mellom akkumulasjonen og avsmeltingen. Variasjoner i isbreenes volum og utbredelse vil derfor tyde på forandringer i en eller begge av disse klimaparameterne. Brevarisjoner gir derfor ikke en helt entydig indikasjon på hvilken forandring det har vært i klimaet. Men vi ser at breene reagerer raskt på klimaendringer. Dersom vi går inn i en periode der det forventes endringer i klimaet vil derfor breenes massebalanse være en av de parametre som gir en raskest og lettest observerbar reaksjon på endringene.

Dersom vinternedbøren er noenlunde stabil vil sommertemperaturen være helt avgjørende for breenes nettobalanse. Selv om avsmeltingen også er avhengig av andre klimafaktorer som innstråling og kondensasjon vil korrelasjonen til sommertemperaturen være så høy at en kan bruke den som eneste parameter i en modellberegning. På Brøggerbreen ved Ny-Ålesund på nord-vestkysten av Svalbard er massebalansen nå målt nøyaktig hvert år siden 1967, med målinger både av vinterakkumulasjonen og sommeravsmeltingen.

Det ble der funnet en klar sammenheng mellom avsmeltingen i løpet av sommeren og sommertemperaturen, eller enda bedre antall grad-dager (summen av alle positive temperaturer) i løpet av en sommersesong. Fig. 1. viser den midlere avsmelting målt i meter vann på Brøggerbreen som funksjon av antall graddager. Det ble her funnet en korrelasjon på 0.88.

Den nære sammenhengen mellom temperaturen og breenes likevektslinje, det vil si det høydenivå på breen som er i likevekt, ble brukt av glasiolog Olav Liestøl ved Polarinstituttet allerede for 30 år siden til å gi en beskrivelse av klimavariasjonene i Norge etter siste istid, fig.2. Kurven faller helt sammen med temperaturkurver som er funnet ved kjerneboringer og annen klimainformasjon. En kaldere periode ble innledet for omlag 3000 år siden. Det resulterte i en gradvis økning av breene. I Sør-Norge rykket breene kraftig fram på 1700-tallet og vi fikk den såkalte "lille istid" da breene til dels lå flere km lenger fram enn de gjør i dag. På Svalbard ser denne maksimale utbredelsen ut til å ha kommet noe senere, eller i hvertfall har tilbaketrekkingen startet senere. Fotografier og beskrivelser fra de siste hundre år tyder på at breene i Svalbardområdet så sent som på slutten av 1800-tallet hadde sin maksimale utbredelse siden istiden.

Resultatet av målingene på Brøggerbreen gjennom de siste 22 år er vist på Fig. 3. Vi ser av denne figuren at vinterakkumulasjonen har vært ganske stabil rundt en middelværdi på 0.71 m målt som et vannlag jevnt fordelt over breen. Akkumulasjonen har vist mindre årlige variasjoner enn sommeravsmeltingen. Avsmeltingen har variert mye mer med variasjoner i kalde og varme sommere, men i middel har avsmeltingen vært 1.17 m. Det vil altså si en mye større avsmelting enn pålagring om vinteren og dermed en stabil minking av brevolumet på 0.46 m pr. år.

Den nøye sammenhengen som ble funnet mellom temperaturen og avsmeltingen kunne brukes til å beregne bremassenens variasjoner bakover i tiden så lenge det eksisterte temperaturregistreringer. Brøggerbreens nettobalanse kunne da beregnes bakover i tiden til 1912 da de første temperaturmålinger ble gjort på Svalbard. Resultatet kan vi se i Fig. 4. som viser den kumulative nettobalansen, eller volumforandringen, for Brøggerbreen for de siste 70 årene. Det viser en stabil tilbakegang i bremassen i hele perioden med unntak av noen få år. Totalt har da breflaten senket seg nesten 35 meter i middel fordelt over hele breen. Det utgjør et volum på ca. 200 mill. m³ eller 25-30 % av breens volum. Rekonstruksjonen bygger på temperaturkurven fra Longyearbyen, fig. 5. Denne stemmer bra overens med andre temperaturkurver fra nordkallotten, fig.6.

Resultatene fra massebalansemålingene tyder ikke på at det er noen økning i avsmeltingen de siste årene. Snarere tvert om. Det har vært en stabil minking år for år siden 1920-tallet, men tendensen de siste 20 årene tyder på en svakt avtagende minking idet det har vært en svak økning i vinterakkumulasjonen mens sommeravsmeltingen har vært stabil. De fleste klimamodellen opererer med en temperaturøkning i Arktis på opp mot 10 °C innen år 2050. Dette tilsvarer en rask økning på omlag 0.15 °C pr. år. Dette er svært mye. Deler av denne økningen kan gå på en utjevning av sesongvariasjonene uten at sommertemperaturen nødvendigvis heves så mye.

Permafrosten

Den andre sensible parameteren er permafrosten. Store deler av landområdene i polarområdene har permafrost, evig tele, i bakken. Totalt utgjør disse områdene ca. 20 % av jordens landområder. fig.7. Om sommeren tiner bare det øverste laget, det aktive laget, vanligvis ned til et sted mellom 0.5 - 1.5 meter. Betingelsen for dannelse av permafrost er at årsmiddeltemperaturen i bakken nær overflaten er under null grader. Bakketemperaturen er helt bestemt av lufttemperaturen, men ligger vanligvis noe høyere. De lokale variasjoner er store og avhenger av en rekke klimatiske faktorer samt snødekke, vegetasjon og fuktighet.

Spesielt områder med tynn permafrost er sensible for endringer i temperaturen ved at store områder vil kunne begynne å tine opp. Dette kan få store konsekvenser for jorderosjonen i disse områdene. I det siste har en også blitt oppmerksom på at en tining av permafrosten kan gi en forsterkningseffekt på drivhuseffekten ved at store mengder metangass, som på grunn av permafrosten er bundet i torv og myrområder, vil kunne frigjøres og gi en stor ekstra tilførsel til atmosfæren. Metangass er etter CO₂ den viktigste av drivhusgassene. De enorme områdene med frosne myrområder i Canada og Sibir har et stort potensiale. Hittil har det vært gjort svært få målinger av dette.

Etter en tid med stabilt klima vil temperaturprofilen nedover i bakken stabilisere seg på en bestemt gradient, se fig. 8. Permafrostdybden varierer da selvsagt med overflatetemperaturen. det er funnet dybder ned til 1500 m i Sibir. På Svalbard er dybden stort sett mellom 100 og 400m med de største dyp i fjellområdene. Forandringer i overflatetemperaturen vil gradvis forplante seg nedover og forandre profilet. Reaksjonen tar tid, så ved å analysere kurvene ned til noen hundre meter vil en kunne få svært gode informasjonen om forandringer av overflatetemperaturen gjennom de siste hundreårene. Dette er en lite brukt kilde til tross for at det gir mye informasjon, men det kommer av at det trengs dype borehull. Den geografiske spredningen av informasjon er derfor dårlig. Fra de nordlige deler av Alaska finnes det en god del data fra målinger i oljebrønnsboringer. Disse målingene har vist en variabel, men tydelig, oppvarming av den øvre delen av bakken på 2^o-4^oC i løpet av dette århundret, spesielt i de kystnære områdene, se fig 9. og 10.

På Svalbard er det noen få temperaturmålinger i borehull som kan vise noe av den samme effekten som i Canada. I 1956 ble det foretatt temperaturmålinger i noen borehull nær Longyearbyen og nær Svea, se fig.11. Den nesten vertikale delen av kurva øverst viser at det har blitt en oppvarming av bakken. Det skyldes antagelig den samme temperaturstigningen etter 1912 - 1920.

Endringer av temperaturen i permafrosten gir et godt bilde

av klimaendringene og kan gi mye informasjon om endringene de siste hundreårene. Den er lett målbar men en mangler en geografisk spredning på målestasjonene. Svalbard dekker et område av Arktis som er svært dårlig dekket. Vi må se det som en oppgave å rette på dette.

Konklusjon

Både breenes volumendringer og permfrostens temperaturendring er et resultat av en naturlig klimautvikling og viser at det har vært en markert temperaturstigning i Svalbardområdet på begynnelsen av dette århundret. Naturen har enda ikke kommet i likevekt med dette temperaturnivået, og det skjer derfor store endringer i naturen. En eventuell ytterligere temperaturstigning vil akselerere den prosessen som er i gang, men foreløpig ser vi ingen reaksjoner i disse klimaindikatorene som kan tilskrives drivhuseffekten. Det er imidlertid uhyre viktig at vi nå ivaretar måleserier som kan gå kontinuerlig fra en periode med naturlig klimautvikling og inn i en periode med forventet klimaendring. Vi går en spennende tid i møte, men en klimaendring kan vi først snakke om når vi ser reaksjoner i naturen.

Figurer:

Fig. 1. Avsmeltingen som funksjon av antall grad-dager i sommersesongen.

Fig. 2. Variasjoner i likevektslinjens høyde over havet i Sør-Norge fra siste istid og fram til i dag.

Fig. 3. Resultater av årlige massebalansemålinger på Brøggerbreen, Svalbard 1967-88.

Fig. 4. Rekonstruert kumulativ nettobalanse (samlet volumendring) på Brøggerbreen.

Fig. 5. 5-års løpende middel av sommertemperaturen (juli-august-sept.) fra Longyearbyen, Svalbard.

Fig. 6. Temperaturkurver fra nordkallotten.

Fig. 7. Permafrostens utbredelse i Arktis.

Fig. 8. Temperaturkurve i permafrost med en tenkt temperaturstigning ΔT i overflata.

Fig. 9 og 10. Resultater fra permafrostmålinger i Alaska.

Fig. 11. Permafrost-temperaturkurver målt på Svalbard i 1956.

Fig. 1.

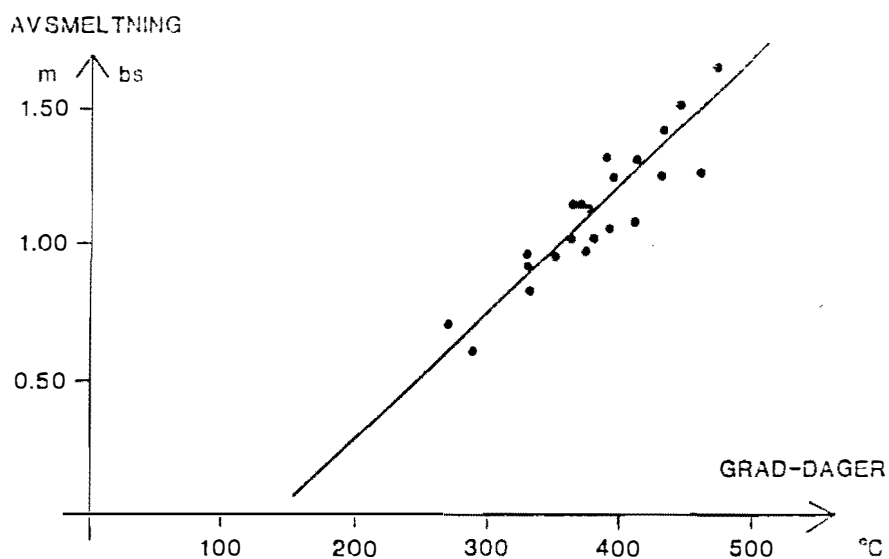


Fig. 2.

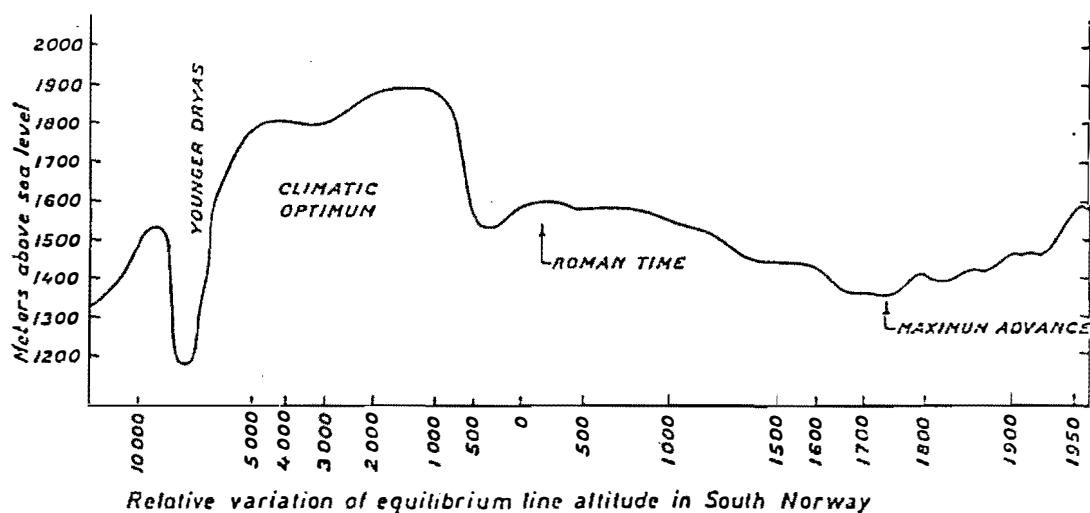
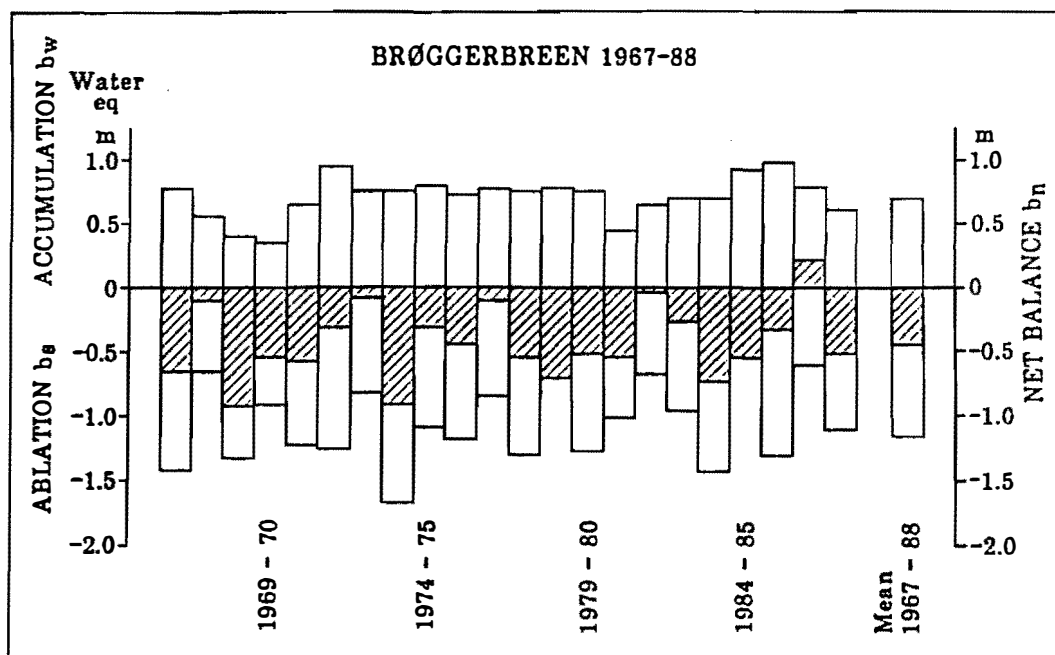


Fig. 3



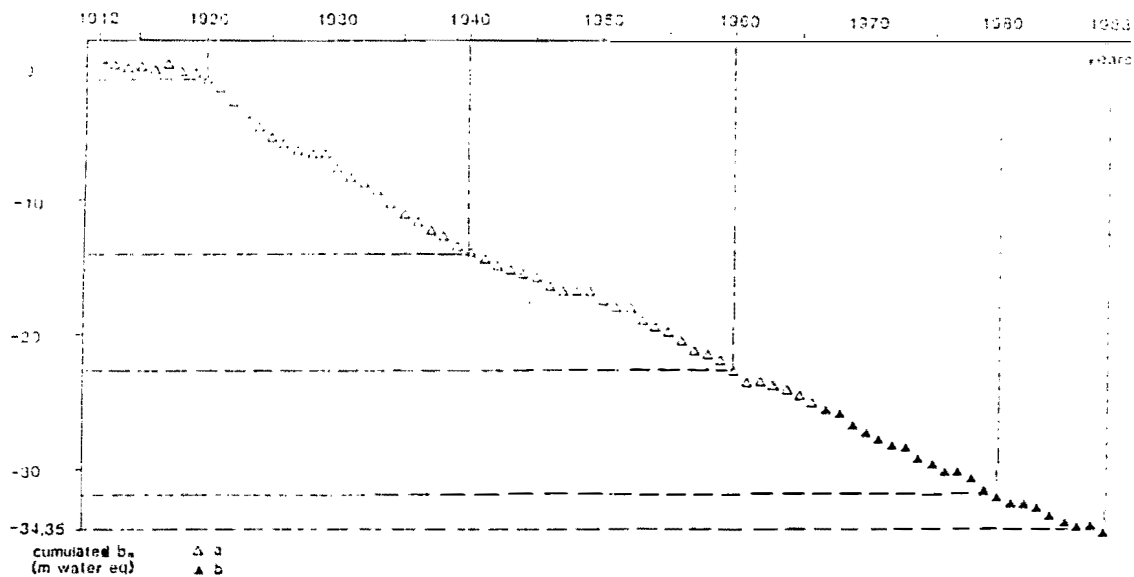


Fig. 4

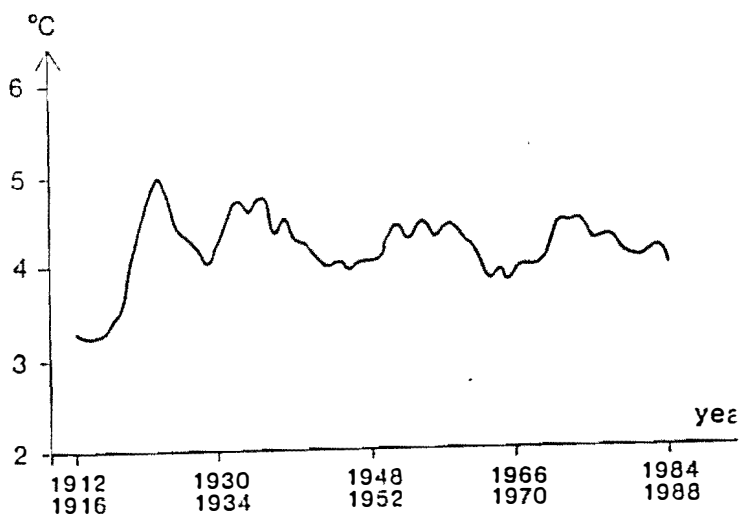


Fig. 5

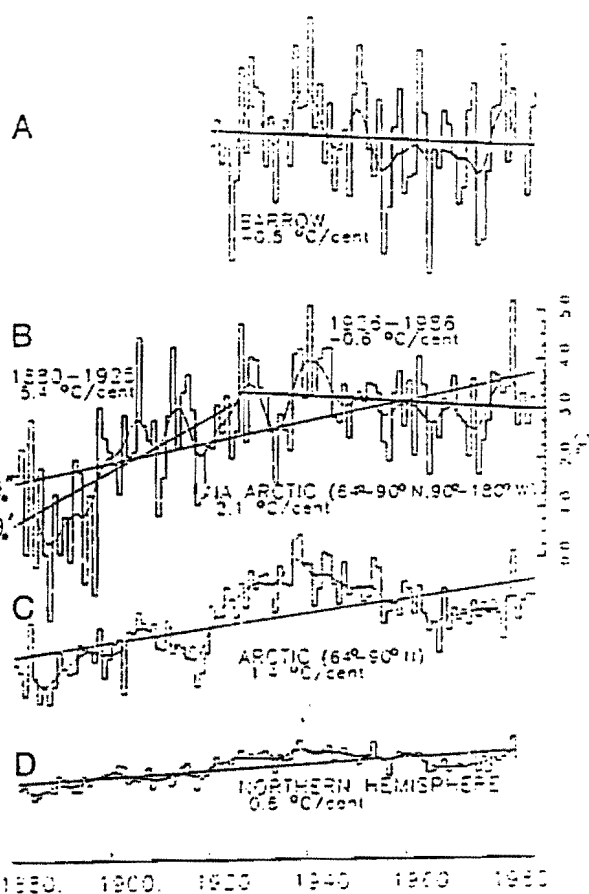


Fig. 6

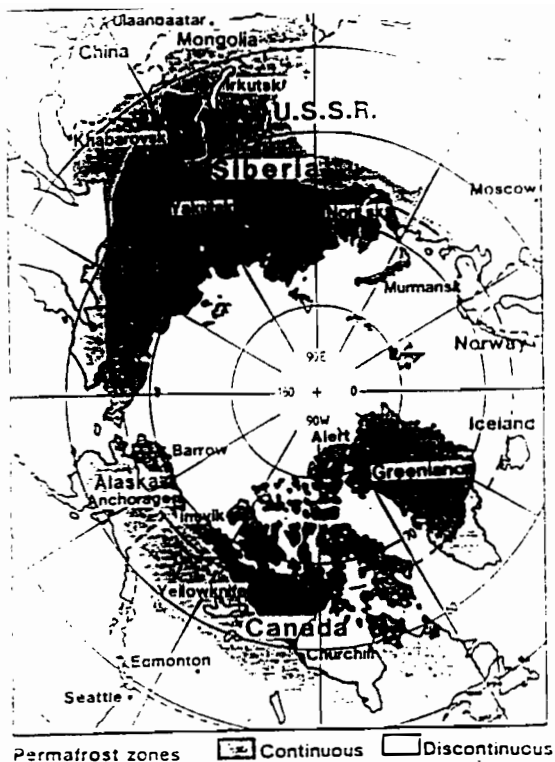


Fig. 7

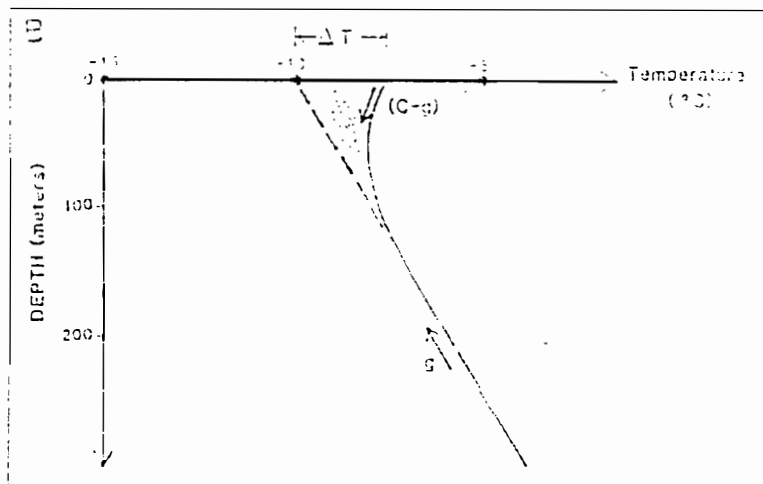


Fig. 8

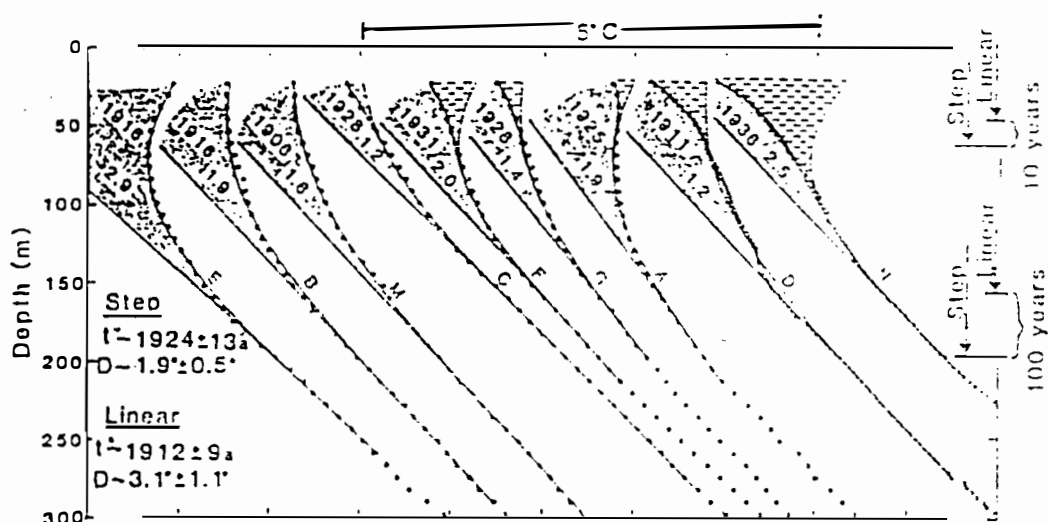


Fig. 10.

Fig. 9

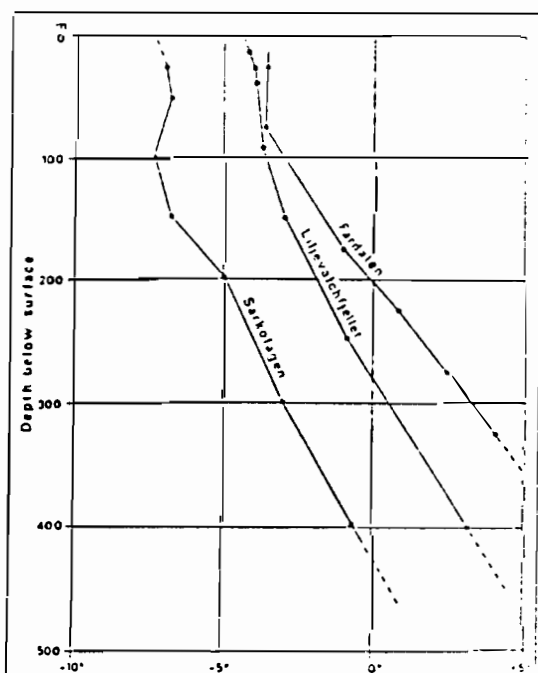
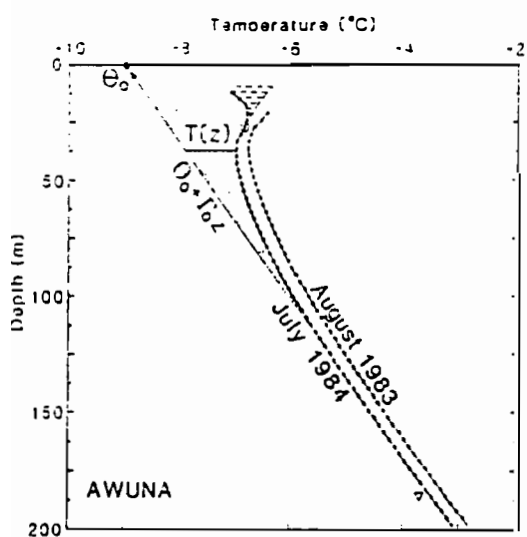


Fig. 11.

HVA SKJER MED KLIMAET I POLAROMRÅDENE?

Internasjonalt symposium,

Scandic Hotell, Høvik, 25.- 26. 4. 1989

KLIMAENDRINGER I NORGE OG NORSK ARKTIS GJENNOM DE SISTE 100 ÅR

AV

FAGSJEF BJØRN AUNE

Det norske meteorologiske institutt

SAMMENDRAG

1. GENERELT

I dette foredraget gis en meget kort oversikt over variasjoner i noen klimaelementer i løpet av de siste 100 årene i Norge og i norsk Arktis. Jeg kommer ikke inn på i hvilken grad variasjonene skyldes menneskelige aktiviteter (forurensing, drivhuseffekt, m.m.), da dette ikke har vært formålet med foredraget. Dette betyr ikke at slike årsaker avvises. Men formålet med foredraget er å beskrive de naturlige variasjonene som har forekommet, og ikke vurdere om menneskelige aktiviteter har forsterket eller svekket noen av disse.

Været i Norge og i norsk Arktis varierer meget fra dag til dag, måned til måned, år til år. Dette skyldes områdets geografiske plassering i forhold til værsystemene som vi har på jorden. De naturlige variasjonene i været gjenspeiles også i klimaet som beskriver værforholdene over en lengre periode. En klimabeskrivelse kan karakteriseres som et konsentrat av værforholdene i en slik periode. En vanlig klimabeskrivelse gir normalforhold og variasjonene rundt disse, ekstremverdier, sannsynligheter, m.m. Når man snakker om **klimavariasjoner** må man skille mellom **klimafluktuasjoner** som er variasjoner over noe tid i samme retning i forhold til normalforholdene og som går tilbake igjen, og **klimaendringer** som er forandringer av varig karakter.

På grunn av at klimaet i Norge og i norsk Arktis inneholder store naturlige variasjoner i været fra år til år, er det meget vanskelig hurtig å påpeke om vi har tilfeldige fluktuasjoner eller en mer varig endring. I tillegg har de fleste av de få observasjonsstasjonene som vi har i norsk Arktis, dessverre ofte blitt flyttet på slik at det er meget vanskelig, om ikke umulig, å få garantert homogene observasjonsserier. Det må fortsatt arbeides mye med observasjonene fra de meteorologiske stasjonene både i Norge og i Arktis før vi får et godt datamateriale som kan danne grunnlag for videre klimavurderinger.

2. KLIMAVARIASJONER I NORGE

Figur 1 viser normal fordeling av lufttemperatur og nedbør i følge normalperioden 1931 - 1960 for fire byer i Norge.

Den lengste bearbejdede temperaturserien som vi har i Norge, er fra Oslo for årene 1838 - 1988. Den viser at midlere lufttemperatur for året økte fra 1880-årene og til ca 1910. Deretter sank den til 1920-årene for så og stige til den høyeste verdien i perioden midt i 1930-årene. Med unntak av en varmere periode i 1970-årene, har temperaturen avtatt siden. Siste vinter ga imidlertid et kraftig hopp oppover igjen, men det er foreløpig ikke mulig å si om dette er av noe varig karakter. Forskjellen mellom siste (1859-1888) og første (1838-1867) 30-årsmiddel er 0.5° og mellom siste (1979-1988) og første (1838-1847) 10-årsmiddel er 0.4°. Se figur 2.

De største variasjonene har forekommet i vinterhalvåret, og de følger stort sett årsvariasjonene. Sommertemperaturen har hatt mindre variasjoner, med et minimum i 1920-årene og et maksimum i 1930-årene.

Denne temperaturutviklingen har forekommet over største delen av landet, men temperaturforskjellene er noe forskjellig. For Karasjøk som har observasjoner fra 1876 er siste 30-årsmiddel bare 0.1° høyere enn det første, mens siste 10-årsmiddel er 0.2° lavere. Det er spesielt vintrene som er blitt kaldere de siste årene.

Nedbøren har økt over største delen av Norge i de siste 100 år. Mest markert er dette i Sør-Norge, og økningen avtar nordover. I Sør-Norge

er det spesielt høstnedbøren som har økt. Vinternedbøren har avtatt spesielt på Vestlandet og har ellers holdt seg noenlunde konstant. Vår- og sommernedbøren viser små variasjoner. Se figur 3.

Variasjoner av utbredelsen av samlet skydekke og av antall solskinns-timer i året er foreløpig bare undersøkt for Nord-Norge.

Om vinteren i perioden fra 1885 avtok det samlede skydekket frem til 1905, deretter økte det igjen til ca 1980 hvorefter det igjen har avatt noe. Om sommeren avtok i samme periode det samlede skydekket frem til 1937, økte deretter frem til 1955, minsket så til 1976 og deretter har det igjen økt noe. Forskjellene i utbredelse mellom starten og slutten på perioden er imidlertid minimal.

Vi har bare korte serier med solskinntid. Antall timer med klart solskinn i Nord-Norge var nokså jevnt fra 1955 til 1965, økte så til i midten av 1970-årene, avtok til 1983 og har deretter økt igjen.

3. KLIMAVARIASJONER I NORSK ARKTIS

Våre egne dataserier går ikke lengre tilbake enn til ca 1920. Men andre serier indikerer at lufttemperaturen har økt eller vært konstant fra ca 1880 og frem til 1920. Deretter går de norske observasjonene godt sammen med de lengre rekkene, og temperaturutviklingen er stort sett som i Norge. Temperaturen øker til i 1930-årene og avtar deretter med topper i 1950- og 1970-årene og med et minimum i 1960-årene. Se figur 4.

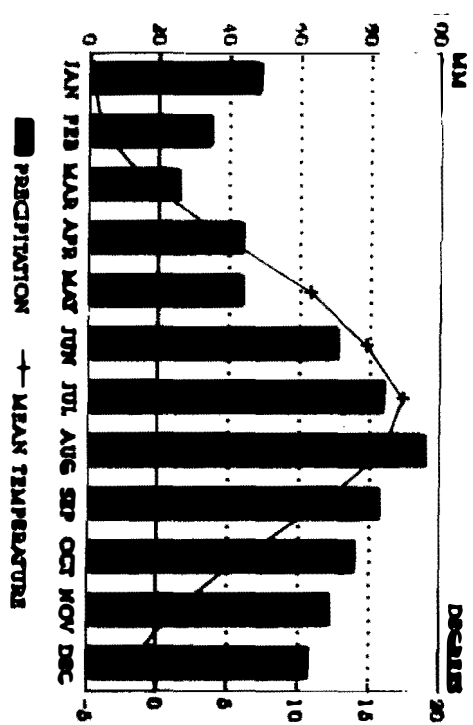
Det er en del forskjell på Jan Mayen, Bjørnøya og Isfjord Radio (Svalbard) og vanskelig å få et helt entydig bilde. På Bjørnøya har det i løpet av perioden 1920-1988 vært en liten senkning av lufttemperaturen om vinteren, mens det ikke har vært noen endring om sommeren. Jan Mayen og Isfjord Radio viser imidlertid litt andre resultat, og observasjonsseriene må studeres nærmere før vi kan ha et klart svar.

Det er bare Bjørnøya som har en tidsserie 1920-1988 for nedbør som kan studeres. Den viser en topp i 1930-årene og ellers er det lite endringer fra ca 1940. Det virker som om det er små positive eller ingen endringer i nedbøren i Arktis i de siste 100 år.

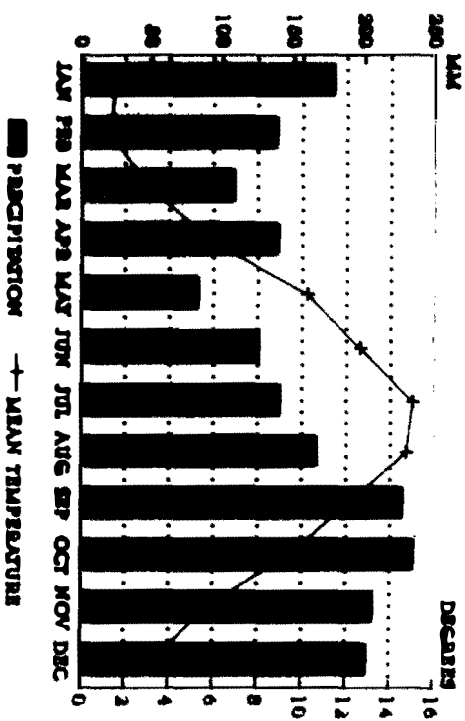
Utbredelsen av samlet skydekke om vinteren har avtatt fra 1930-årene og frem til ca 1970. Deretter har det økt noe igjen, men den ligger fortsatt lavere enn rundt 1930. Om sommeren har det vært en reduksjon av skydekket på Bjørnøya fra like før 1970, mens det på Jan Mayen ikke er noen endringer. Variasjoner i skydekket vil ha meget stor betydning for strålingsforholdene (varmestraling) i Arktis.

Vi har ikke observasjoner av antall solskinnstimer som kan benyttes til å studere eventuelle variasjoner i tid, på noen av stasjonene i Arktis. De observasjonene som finnes må gjennomgå en grundig undersøkelse før det kan avgjøres om det er mulig å benytte dem for dette formålet.

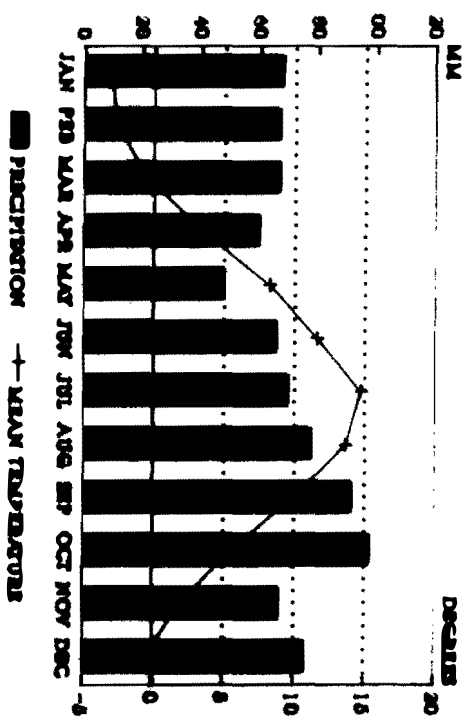
OSLO



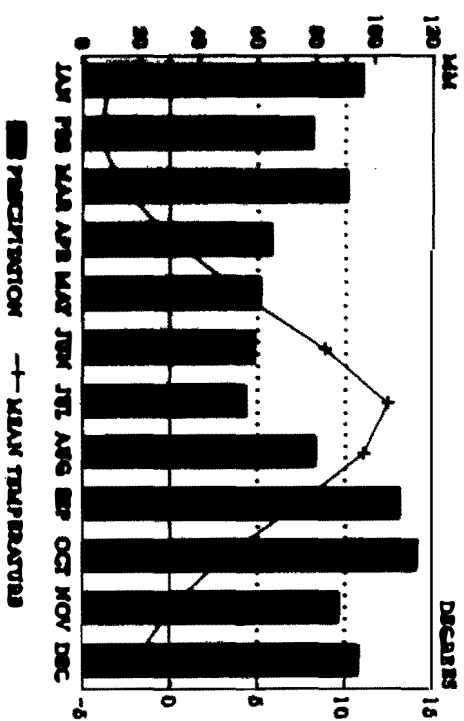
BERGEN



TRONDHEIM

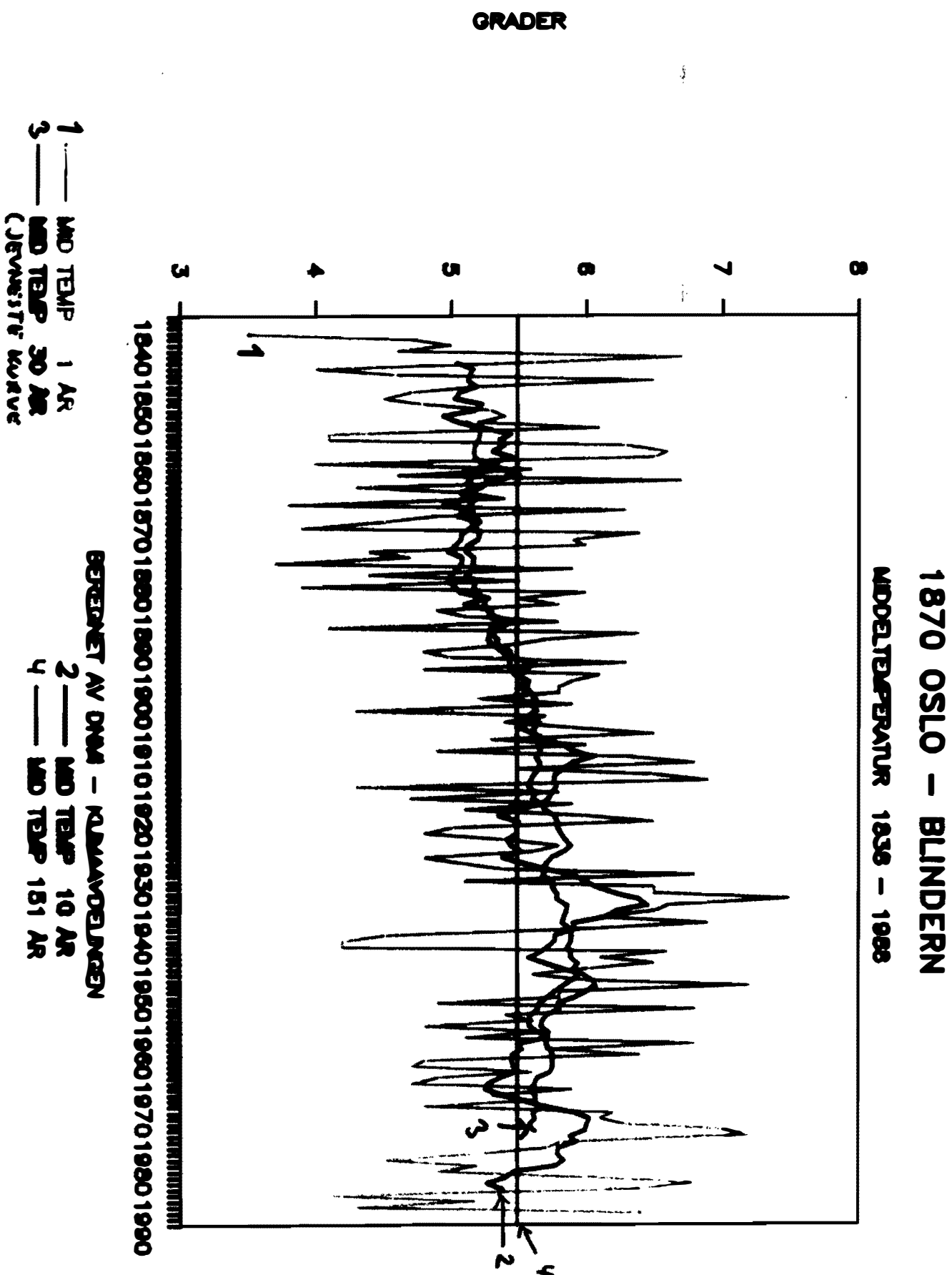


TRONSO

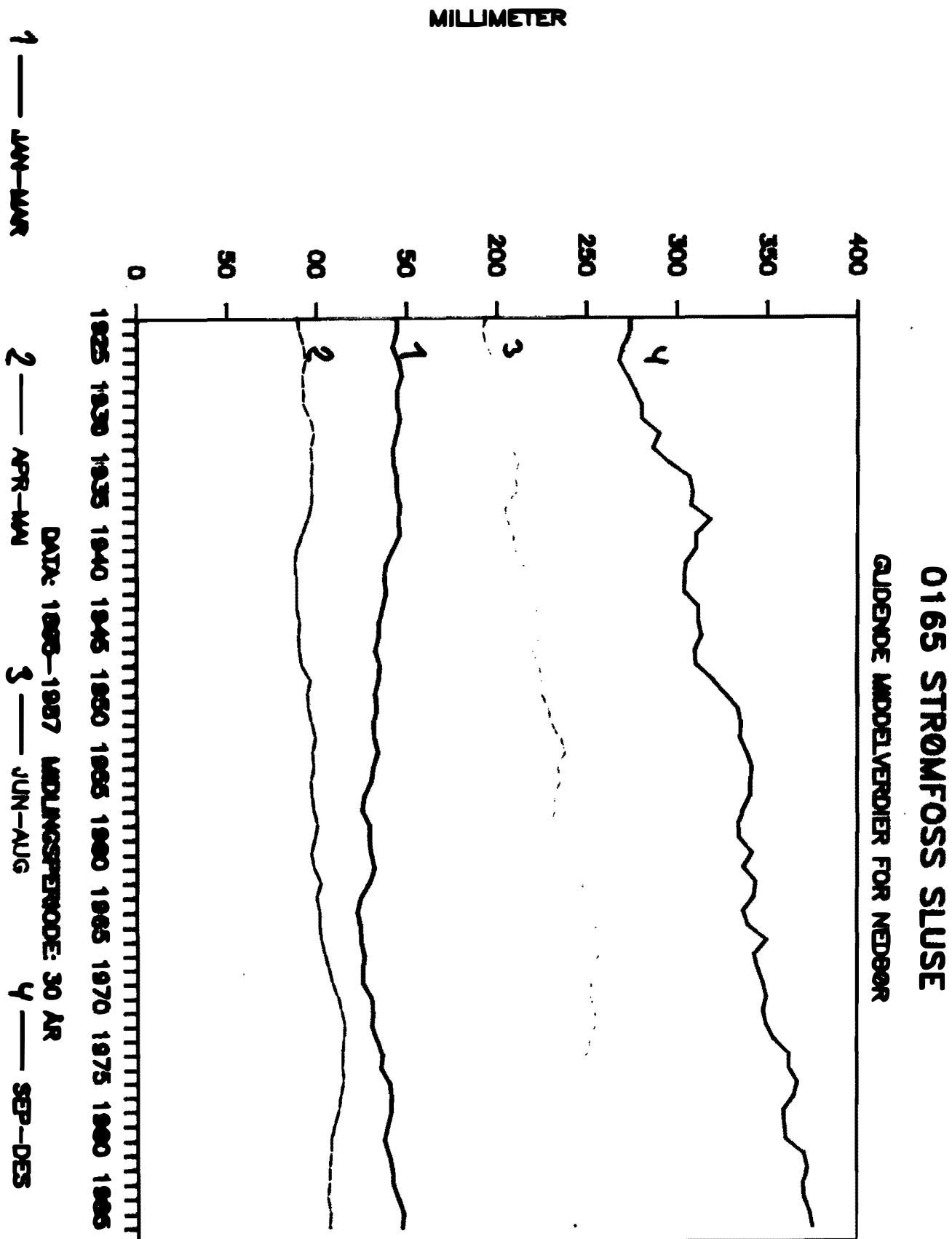


FIGUR 1

FIGUR 2



FIGUR 3

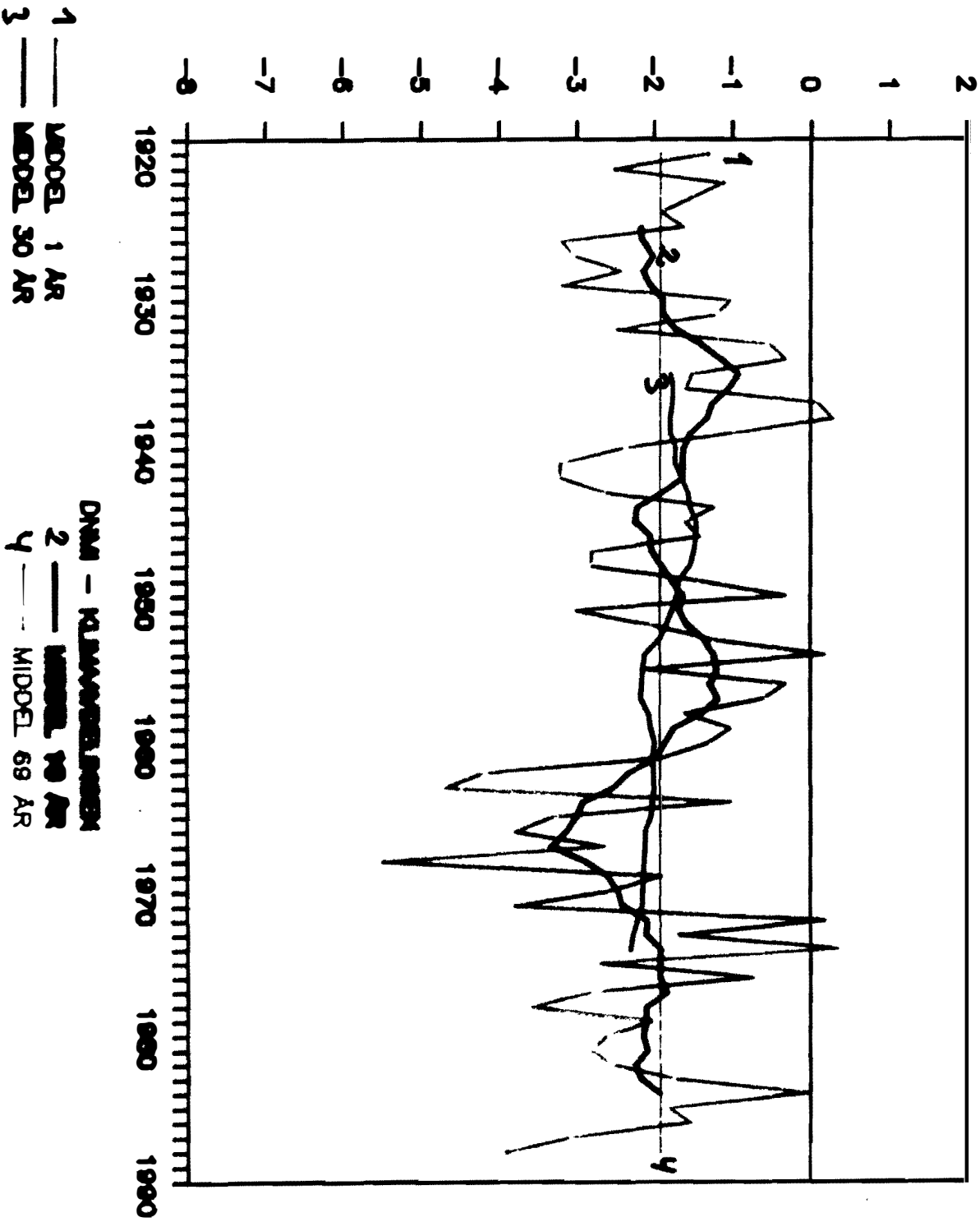


FIGUR 4

GRADER CELSIUS

9971 BJØRNØYA

LUFTTEMPERATUR 1920 - 1988



ARCHIVES OF GLOBAL CLIMATE CHANGE IN DEEP-SEA SEDIMENTS

Jörn Thiede

GEOMAR

Forskningscenter for marine geovitenskaper

Christian-Albrechts-Universitet

Wischhofstraße 1-3/bg. 4

D-2300 Kiel 14/ V Tyskland.

INTRODUCTION

Our globe and its environment is changing fast, much faster than we believed hitherto. Today we have to assume that such changes can affect our generation or a few future generations of mankind. However, it is just so difficult to prove these changes and it is therefore an attractive possibility to gain experience in data from the geological past when we know that climate changed frequently, dramatically and rapidly. I will address possibilities to use properties of deep sea sediments to reconstruct major trades of deep and surface water properties of the world ocean and of the atmospheric circulation.

Over the past decade we have learned that the floors of the oceans contain an archive of changes of the global environment. This archive is composed of strata, of remains, of planctonic and benthonic living organisms and of the products of weathering from land. We have learned to date these archives with great precision and we have developed methods to deduce quantitative reconstructions of former oceanographic and climatic scenarios. We have also learned that the long term record of climate change in the range of 10,000 to millions of years is controlled by tectonic processes governing the distribution of land and sea on the earth surface and by orbital parameters controlling the

frequency of climatic oscillations on the order of twenty thousand, forty thousand and a hundred thousand years. The climatic pulse of our earth has been swinging forth and back between glacials and interglacials during the past few million years and we are making attempts to forecast long range changes predicting future climate.

In this paper I will address some of these data focussing on the short time scales and an attempt will be made to show that even the available data suggest dramatic changes of the environment and rapid latitudinal shifts of climatic zones over time spans much shorter than believed hitherto. Since climate is a global phenomenon, it should also be studied globally. The world ocean is today extending from the high southern to the highest northern latitudes and provides such a global data base. No other global monitoring system of modern times - maybe with the exception of satellites - offers such unique properties.

EVIDENCE

The examples I'll be using to illustrate climatic change over geological time scales is taken mostly from the northern hemisphere, in particular from the Norwegian-Greenland Sea and the Arctic Ocean. This region is unique in terms of its impact and our living conditions because it is here

1. that the dominant share of the oceanic bottom water masses is renewed from,
2. that this is the region of the most dramatic, extreme and fastest responses of the ocean to the late Quaternary climatic changes between glacials and interglacials and
3. that this area has an enormous impact on the living conditions of the European populations because of the

advection of heat from the central North Atlantic Ocean to the Norwegian-Greenland Sea and the Barent Sea by the Norwegian current. The data will comprise evidence from the Ocean Drilling Project which has been drilling new sites over the Voering Plateau west off Norway. We will address samples from the Fram Strait area which is probably one of the oceanographically most sensitive areas of the world ocean and of the Arctic Ocean proper.

Climate change will be addressed in terms of changes ranging over millions of years, over hundred thousands and ten thousands of years and over decades per hundreds of years. And I think that these data will promise great hope for being able to come up with quantitative reconstructions of the climatic past which will allow long range forecasting of climate evolution.

The most prominent feature of our modern climate are the glacial ice covers of both the northern and the southern hemisphere. However, these are not at the extremes at the moment, because we are living in an interglacial situation. Deep-sea drilling data from south of the Greenland-Scotland Ridge indicate that such glacial conditions have developed already rather early, approximately ten million years ago, when short glacial events can be documented. A more consistant development of glacial conditions can only be traced back to a time approximately 5.5 million years ago when the first indicators of ice appear in the eastern Norwegian-Greenland Sea, intermittantly at first until at 2.6 million years a consistant presence of glaciers on the adjacent land regions can be documented. Since that time largely polar and subpolar water masses have filled the Norwegian-Greenland Sea, with ice present for most of the time. The modern situation, when the eastern Norwegian-Greenland Sea is icefree and when the ice pack is confined to the Greenland side, is rather exceptional. It can be documented only rarely in the geological past.

The ice margin has fluctuated widely over the ten to fifteen thousand years. During the last glacial maximum it was situated far south of Iceland in the main North Atlantic basin (Fig. 1). Deep sea cores document that the so-called polar front has moved rapidly across the entire North Atlantic Ocean and that it has swung from east to west in the Norwegian-Greenland Sea in the course of decades to a few hundred of years since that time (Fig. 2). Data from the temperate and tropical regions of the oceans suggest at the same time that the biota of the entire world ocean responded with their ecology to these wild fluctuations of the subpolar and polar ocean basins.

For the past few hundred years it can be shown that the ice cover has moved rapidly, at times covering more than 2/3 of the entire Norwegian-Greenland Sea and that the Norwegian Current, our much needed "central heating" of north western Europe, was confined to a very narrow strip of the Norwegian coast.

We presently don't know how the central Arctic Ocean responded to these climatic changes. However, processes range between a highly instable and a solid ice cover during glacials and interglacials.

WHAT SHOULD WE DO?

1. We have to complete our data base in terms of spatial and temporal coverage focussing on records with very high temporal resolution.
2. We need to evaluate how long term measurement of ocean particle flux can be used as 'real time' monitors of climatic change.

3. We need much more modelling efforts than hitherto to be able to understand how oceans and atmosphere function and how we can develop models of climatic scenarios with no modern analog.
4. The major unknown area in the entire system is the central Arctic Ocean and a large effort of European countries should be devoted to explore the geological past of the Arctic Ocean.

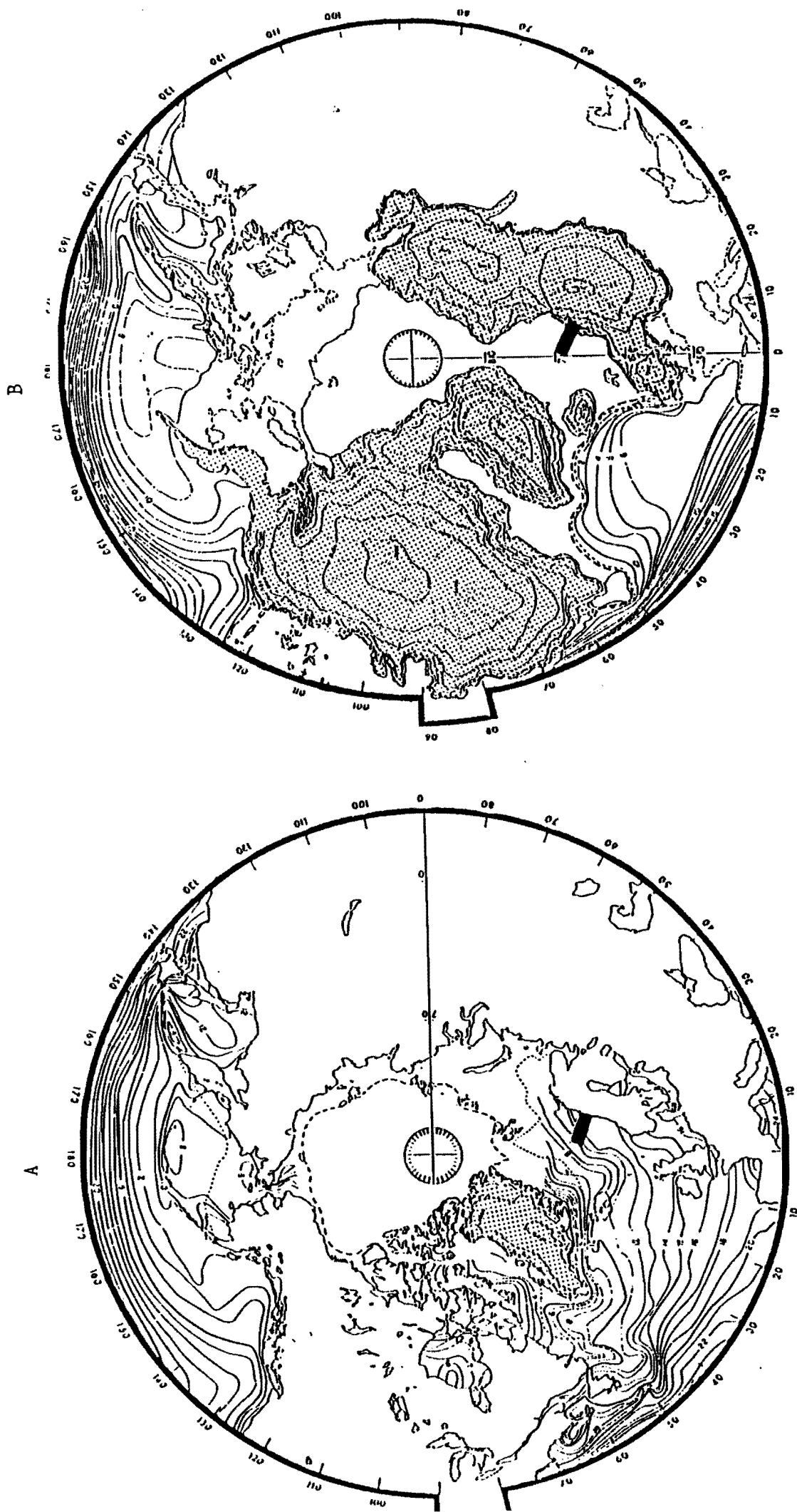


Fig. 1 Northern hemisphere sea surface temperatures and ice distribution. A) present situation, B) last glacial maximum (18 000 years ago). (CLIMAP, 1981).

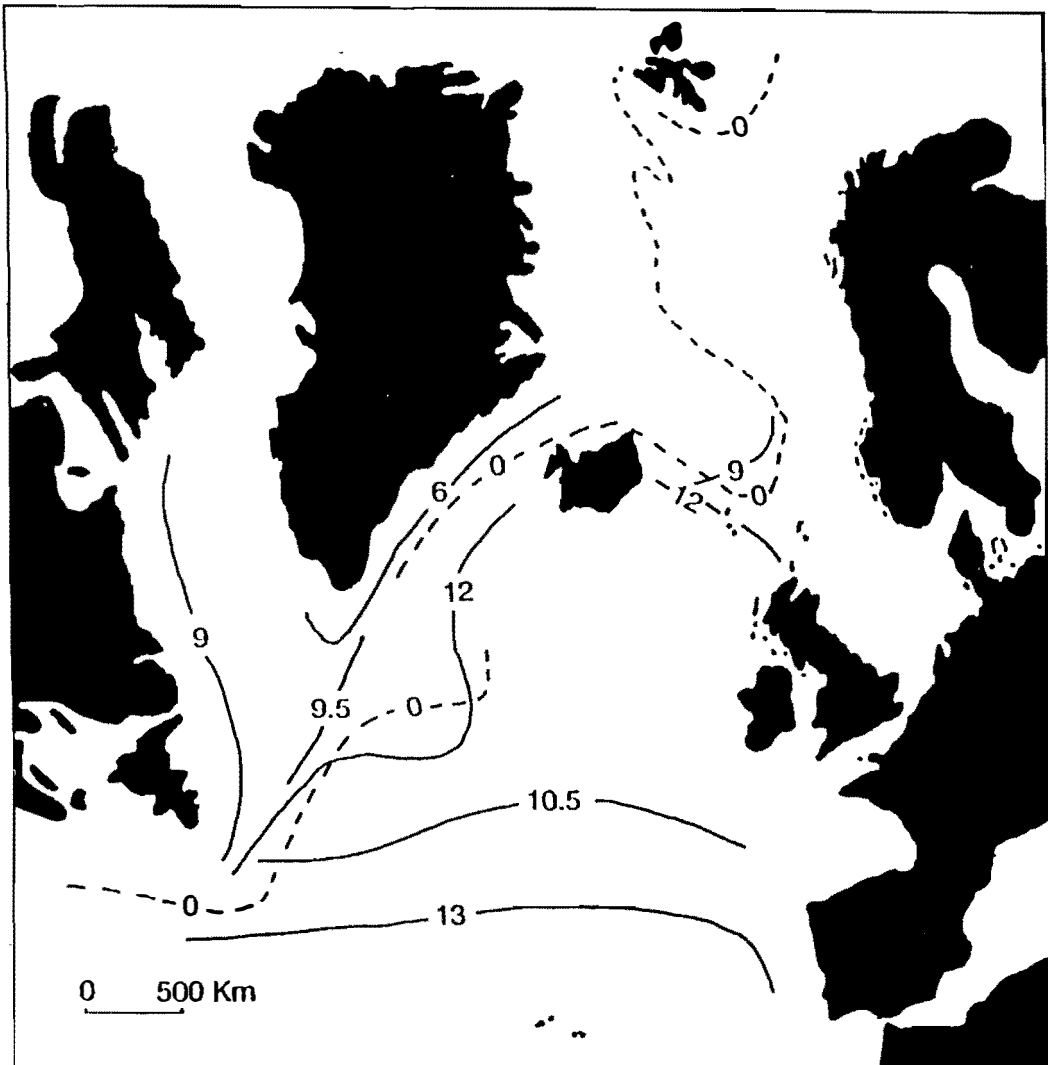


Fig. 2 Spatial variability of the Polar Front in the area of the Norwegian-Greenland Sea (compiled from various sources, from Thiede, 1988). Numbers indicate ages of position of polar front in thousands of years.

Variations in Composition of the Atmosphere

H. Oeschger, Physics Institute University of Bern, Switzerland

Natural ice is an ideal archive for the ancient climate and especially the information on the ancient atmosphere will be discussed. Samples of polar ice contain air which was occluded at the time of ice formation. Special analytical techniques enable thus the reconstruction of variations in the atmospheric gas composition. Both natural and anthropogenic changes of the concentrations of CO_2 and CH_4 are observed:

1) Precise and continuous measurements of the atmospheric CO_2 concentration only date back to 1953. Often the questions were posed what the preindustrial CO_2 concentration was and whether the present CO_2 increase also would have occurred without the emission of CO_2 due to human activities. These questions could be answered by the analysis of ice core samples covering the last few centuries. Based on detailed measurements on ice core from Siple Station, Antarctica, it could be established that the preindustrial concentration (18th century) was ca. 280ppmV compared to the present concentration of ca. 350ppmV. The data also show a slight increase during the 19th century and a more and more rapid one in the 20th century. In a similar way the CH_4 could be reconstructed.

2) In 1979 it could be shown that the CO_2 also showed natural variations. Samples from the last glaciation showed CO_2 concentrations in the 180 to 200ppmV range in the period 15 000 to 25000 y before present. In the meantime on an ice core from Vostok Station, Antarctica, it could be demonstrated that CO_2 and $\delta^{18}\text{O}$ (a climate indicator) showed a rather parallel behaviour through the past 160 000y, i.e. one and a half glaciation cycles. These discoveries lead to a new vision of the mechanisms governing the climate of the earth. Beside the physical mechanisms probably also changes in the terrestrial and oceanic biosphere contributed via

the greenhouse effect to the major climatic changes of the recent earth history. Recently it was observed that also CH_4 showed very similar but even more pronounced variations.

3) The $\delta^{18}\text{O}$ record of the Greenland ice cores shows during the period of 80 000 to 25 000 y before present about a dozen pronounced peaks indicating relatively short warm periods during the cold period of the last glaciation. Investigations of the CO_2 and CH_4 concentrations during some of the warm periods showed rapid increases of the gases parallel to the $\delta^{18}\text{O}$ shifts. The antarctic cores show fewer and smaller $\delta^{18}\text{O}$ changes during this period and a perfect synchronisation of the ice cores from the two continents was not yet possible.

In the core from Byrd Station, Antarctica, also CO_2 and CH_4 changes have been observed. The few CH_4 measurements indicate also relatively strong variations, whereas the CO_2 variations are smaller in amplitude and could not yet be reconciled with the variations observed in the Greenland cores.

4) These rapid changes in $\delta^{18}\text{O}$ but also CO_2 and CH_4 indicate the existence of unexpected, probably stochastic-deterministic events in nature. By changing the atmospheric composition mankind will change the general condition of the earth system. It cannot be excluded that these new conditions might also induce unexpected reactions of the system.

HVA ER DRIVKREFTENE BAK DE STORE KLIMAVARIASJONENE?

Jan Mangerud
Universitetet i Bergen
Geologisk institutt, avd. B
Allégt. 41, 5007 Bergen

HVOR STORE ER DE NATURLIGE KLIMAVARIASJONENE?

Før jeg ser på drivkreftene skal jeg kort omtale hvor store naturlige klimavariasjoner vi har hatt med dagens geografiske forhold. Jeg skal altså ikke gå langt tilbake i geologisk tid, da kontinenter og fjell lå anderledes, og da det f.eks. var skog på Svalbard.

Det varmeste klima vi har hatt på jorda de siste 500 000 år var under siste mellomistid, for 125 000 år siden. Forholdene lignet da vår egen mellomistid, men det globale klimaet var et par grader varmere enn idag. I et sidesprang vil jeg si at kartlegging av forholdene under mellomistiden vil gi oss en god rettleidning om resultatet av fortsatt utslipp av klimagasser. Ved Bergen er det en avsetning fra denne tiden som viser at sjøtemperaturen var omlag som i den Engelske kanal idag, og lufttemperaturen som sydlige Danmark. Ikke dårlige utsikter for hutrende nordmenn, men det er skremmende at det globale havnivå var 5-6 m høyere enn idag.

Det kaldeste hadde vi for 18 000 år siden, da siste istid var på sitt største, se figur 1. Den gangen svingte Golfstrømmen fra Florida over mot Portugal. Svære breer dekket Svalbard-Barentshavet og Nord-Europa helt til Hamburg og Manchester. På den andre siden av Atlanteren var Kanada og USA isdekket ned til New York og Minneapolis.

ARSAKENE TIL KLIMAFORANDRINGENE.

Årsakene til de svære klimaforandringene har vært et brennende spørsmål helt fra istidene ble oppdaget for over 100 år siden, og hypotesene har vært mange. Først de siste ti år har det skjedd et gjennombrudd, slik at vi nå kan avgjøre hvilken teori som er riktig. Det er overraskende at den ytre drivkraften er ganske liten, men indre forsterkelsesmekanismer i klimasystemet forstørrer de små signaler til svære klimaforandringer. Allerede her ligger et varsko om ikke å forstyrre klimasystemet, men mer om det siden.

Vekslingen mellom istider og mellomistider skyldes tre nesten periodiske variasjoner i jordas bane og akse, som jeg her skal beskrive. Teorien har fått navn etter Milankovitch, en jugoslavisk astronom som beregnet disse variasjonene i første halvdel av vårt århundre, og hevdet at de var årsaken til istidene.

Jordbanens form.

Som kjent er jordbanen en ellipse, men denne formen varierer over tid fra nesten en sirkel til en noe mer flatklemt ellipse, figur 2. Variasjonen følger sykler på 100 000 år og 400 000 år, se figur 6. Det er i denne forbindelse to viktige forhold:

1. Disse variasjoner gir en forskjell i solinnstrålingen til jorda på mindre enn 0.1%, noe som nærmest er neglisjerbart. Likevel er dette den eneste forskjell i totalinnstrålingen til atmosfæren. Resten av drivkraften til istider/mellomistider er bare en omfordeling av innstråling mellom årstider og mellom breddegrader.
2. Mellomistidene, som vår egen tid, følger denne 100 000 års rytmen, men det er ikke forstått hvorfor.

Jordaksens helning.

Jordas akse står på skrå i forhold til jordbanen, se figur 3. Dette er velkjent for oss nordmenn: Ved vintersolhverv (21. desember) peker nordpolen mest bort fra sola og vi får vinter med mørke og korte dager. Vi ser fram til juni, da nordpolen peker mot sola og gir oss sommervarme og lyse netter. Hadde jordaksen stått rett ville vi ikke hatt årstider, og det ville vært kaldt året rundt på høye breddegrader.

Skråningen på akse er imidlertid ikke konstant, den forandrer seg med en periodisitet på 41 000 år. Idag er den $23,5^\circ$, og gir derved en sydgrense for midnattsol, polarsirkelen, på $66,5^\circ\text{N}$. Vinkelen varierer mellom $22,1^\circ$ og $24,5^\circ$. Hva dette betyr for polarsirkelen i Nordland er forklart på figur 4.

Rent kvalitativt er det lett å forstå betydningen for klimaet: Større skråning på akse gir større forskjell mellom sommer og vinter, særlig på høye breddegrader. Utslaget er likt på nordlige og sydlige halvkule: Større skråning gir varme somre og kalde vintre på begge halvkuler. Det øker også den totale innstråling på høye i forhold til lave breddegrader.

Presesjon.

Den tredje og siste variable kalles presesjon, og er vanskeligst å se for seg geometrisk. Hvis en får god fart på en snurrebass ser en at akse står ganske stille. Etter hvert som farten avtar, begynner imidlertid akse å svinge rundt og peker mot forskjellige steder i taket, før snurrebassen til slutt faller.

Også jordaksen svinger sakte rundt på denne måten, og den vil derfor ikke alltid peke mot Polstjernen slik den gjør idag. Dette fører til at vintersolhverv (21. desember) vil forflytte seg rundt jordbanen. Figur 5 viser at jorda idag er nær sola ved vintersolhverv; aller nærmest er vi 3. januar. Dette gir oss forholdsvis milde vintre og kjølige somre, mens de på den sydlige halvkule får varme somre, de har jo sommer i januar. For 11 000 år siden var det motsatt, da kom 21. desember mens jorda var lengst unna sola, vi fikk kalde vintre og varme somre på vår halvkule. Ikke å forakte, hvis jeg skal si min mening.

Denne faktor varierer med frekvenser på 19 000 og 24 000 år, og vi har allerede sett at virkningen er motsatt på de to halvkuler. Denne faktor har

størst direkte betydning på lavere breddegrader. Det er lett å innse at dens klimatiske betydning avhenger av den første faktor jeg omtalte: Hvis jordbanen er en sirkel har jorda samme avstand til sola hele året, mens jo mer elliptisk banen er, jo mer betyr presesjonen.

KJENNER VI NÅ ÅRSAKEN TIL ALLE NATURLIGE KLIMAVARIASJONER?

Nei, så enkelt er det ikke. En av største og raskeste klimaforverringene vi kjenner er en periode vi kaller Yngre Dryas. Denne inntraff ved slutten av siste istid, for 11 000 år siden, og f.eks. på Vestlandet falt sommer-temperaturen 5-6° på 100 år. På den tiden hadde vi ifølge Milankovitch teorien maksimal sommerinnstråling på våre breddegrader. Årsaken er livlig diskutert, men ikke klarlagt. Det synes imidlertid klart at vi må lete etter årsaken på jorda; uvanlig mye is fra nordområdene som drev gjennom Framstredet og ut i Atlanteren er en teori.

Den lille istid, hos oss kaldest på 1700 tallet, er omtalt av andre under symposiet. Slikt klima ville vært katastrofe idag, men vi vet ikke hvorfor klimaet forandret seg - hverken hvorfor det ble kalt eller hvorfor det heldigvis ble varmere igjen. Vulkanutbrudd er en aktuell årsak. At den sammenfaller med variasjoner i solflekker og magnefelt er benyttet som argument for at det er andre årsaker.

HAR ISTIDEN BETYDNING FOR KLIMAPROGNOSER FOR VÅRE BARN OG BARNEBARN?

Nei, ikke hvis en spør om vi får istid om hundre år: Starten på neste istid ligger et par tusen år fram i tiden, og foreløpig har vi vel mer nærliggende bekymringer. Likevel, klimasvingningene mellom istider og mellomistider inneholder en meget viktig nøkkel til å varsle hvilket klima vi skaper med CO₂ og andre klimagasser, eller andre påvirkninger på klimasystemet.

Jeg har ovenfor omtalt de parametre i jordbanen som er den ytre årsak til vekslingen mellom istider og mellomistider. Hva dette betyr i variasjon i solinnstråling til atmosfæren er presist og kvantitativt beskrevet av astronomer. Den endelige virkning, i form av klimavariasjoner på jordoverflaten, kjenner vi noenlunde, men denne bør vi kartlegge mye bedre.

Vi kjenner altså drivkraften til klimaendringene meget presist og vi kjenner faciten, riktignok ikke så presist. Hvis vi har tilstrekkelig innsikt i hvordan klimasystemet fungerer, se figur 7, skulle vi kunne beregne klimaendringene og få facitsvaret. Men slik er det ikke, selv de beste klimamodellene kan ikke produsere istider fra de små drivkreftene.

Dette leder til følgende konklusjoner:

1. Hvis klimamodeller skal gi riktige prognoser om klimaendringer p.g.a. økning av drivhusgasser i atmosfæren, så må modellene beskrive prosessene riktig. Siden modellene idag ikke kan simulere istider/mellomistider er dagens modeller åpenbart ufullstendige, og prognosene om hva som vil skje ved økende innhold av klimagasser usikre - bortsett fra at det blir varmere.

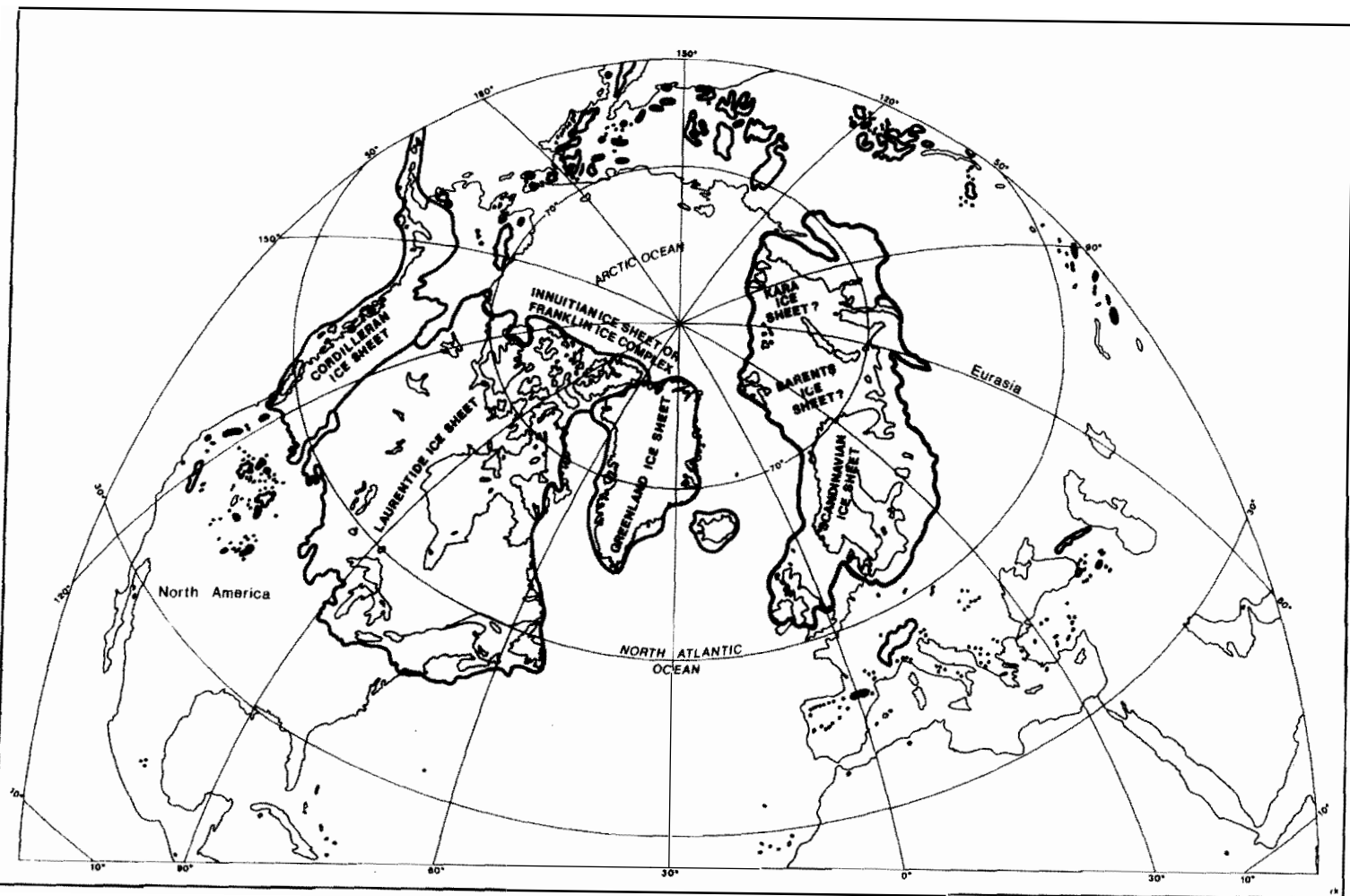
2. Av 1. følger at klimamodellene må forbedres, men det omtales av andre.

3. Siste istid-mellomistid vil være den beste test på modellenes kapasitet til å forutsi langsiktige klimaendringer, fordi drivkraften er kjent og faciten kan finnes. Vi bør derfor intensivere forskningen i klimaforløpet i denne periode.

4. Et hovedproblem med istidene er at klimavariasjonene er så mye større enn "prognosene" tilsier. Dette betyr at det internt i klimasystemet finnes tilbakekoplingsmekanismer som forsterker små påvirkninger til svære klimaforandringer. På figur 7 har jeg kalt dette for "indre respons". Det er viktig å finne og beskrive de mekanismer som er involvert, slik at de kan bygges inn i prognoser for framtiden.

Et enkelt eksempel på forsterkningsmekanismer er snødekket: Er det kalt om høsten og våren ligger snøen lenger. Derved reflekteres mer av solstrålingen, og det blir enda kaldere. Tilsvarende effekt har isen i Polhavet, så la oss ikke smelte den. Viktige tilbakekoplingsmekanismer ligger i grensen til havet: Under Yngre Dryas svingte Golfstrømmen mot Frankrike istedenfor opp til oss. Så store utslag venter ingen nå, men betydelig mindre endringer vil være katastrofale, og vi kjenner altså ikke hvorfor og hvordan dette skjer. De senere år er det gjennom boringene i Antarktis vist at CO₂ også spiller en viktig rolle i naturlige klimavariasjoner.

4. Omfordelingen av solinnstrålingen som gir istider/mellomistider skjer jevnt og sakte, men klimaet reagerer noen ganger med raske og store forandringer. Det ser altså ut som det finnes visse terskler hvor klimasystemet raskt svinger fra en type sirkulasjon til en helt annen. Er det noen som vet om vi kan nærme oss en slik terskel om vi fortsetter å slippe ut klimagasser?

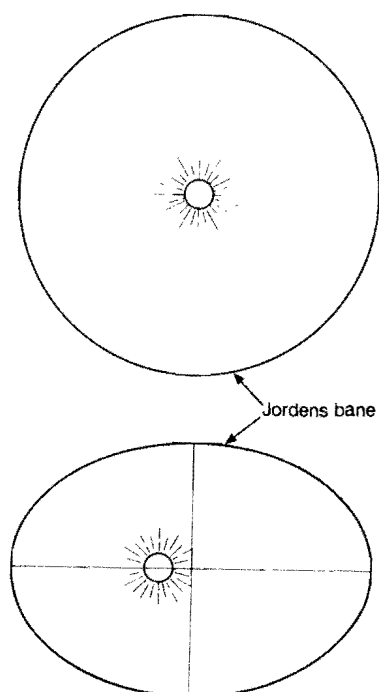


Schematic diagram of Northern Hemisphere ice sheets. Possible ice shelves not shown.

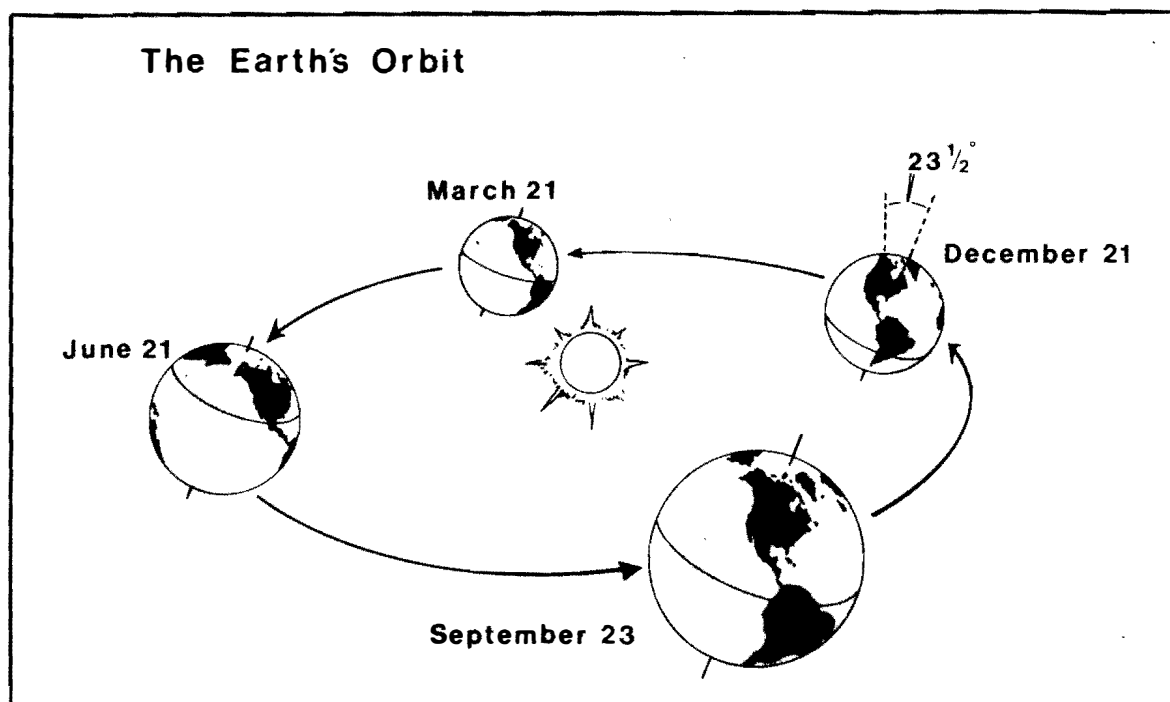
Figur 1.

Et kart som med tykke streker viser utbredelsen av isbreer på den nordlige halvkule under siste istids maksimum, for 18 000 år siden. Vi ser at det var en stor innlandsis over England-Skandinavia-Polen-Russland, og dette var trolig sammenhengende med breen over Barentshavet og Svalbard. Etter Denton og Hughes (1981).

Legg merke til at de to største breene - over Nord-Amerika og Europa - nå er helt borte, mens den over Grønland ikke er særlig mindre idag enn under istiden.

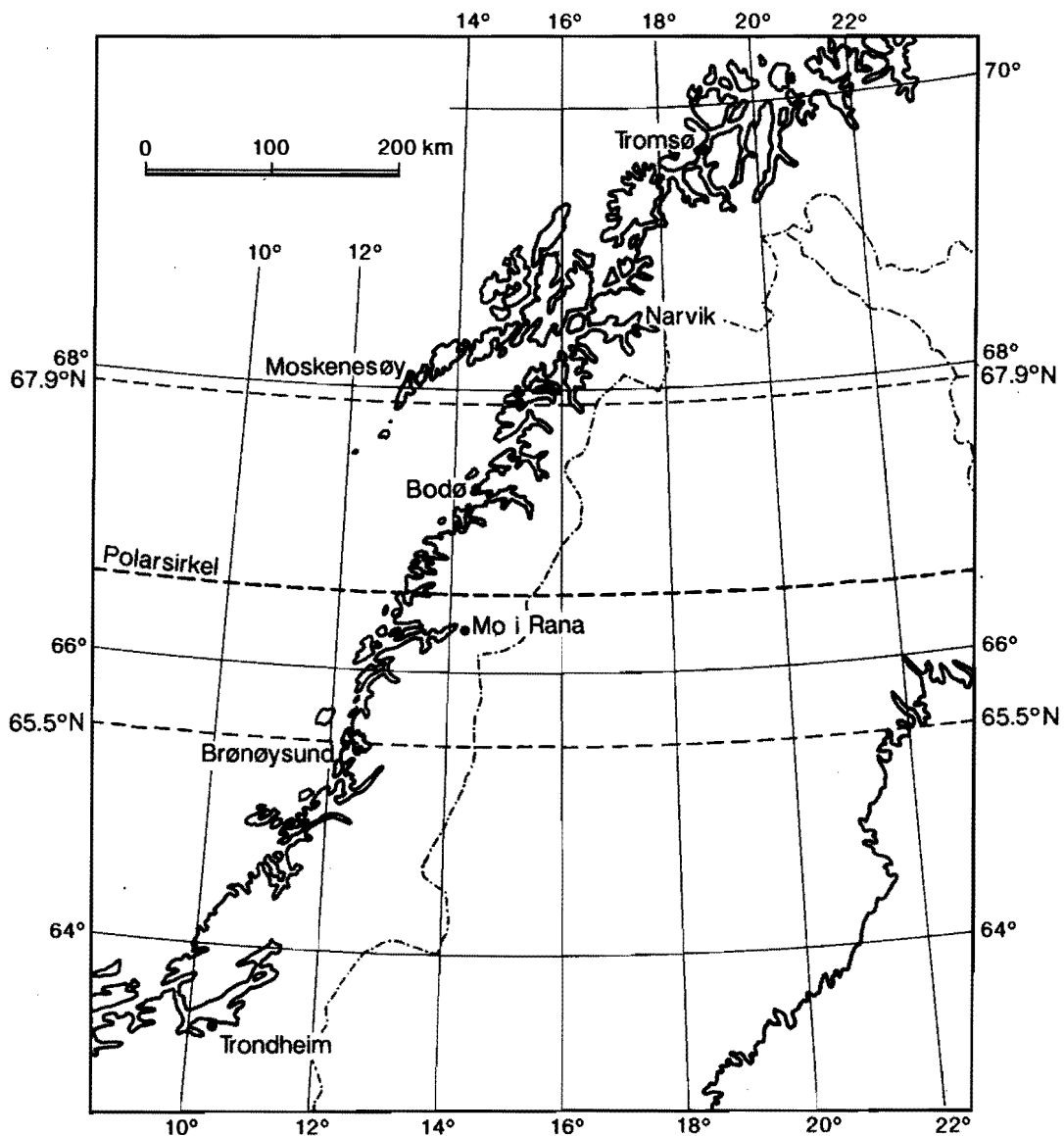


Figur 2.
Jordens bane varierer mellom å
være nesten en sirkel og en mer
flatklemt ellipse.



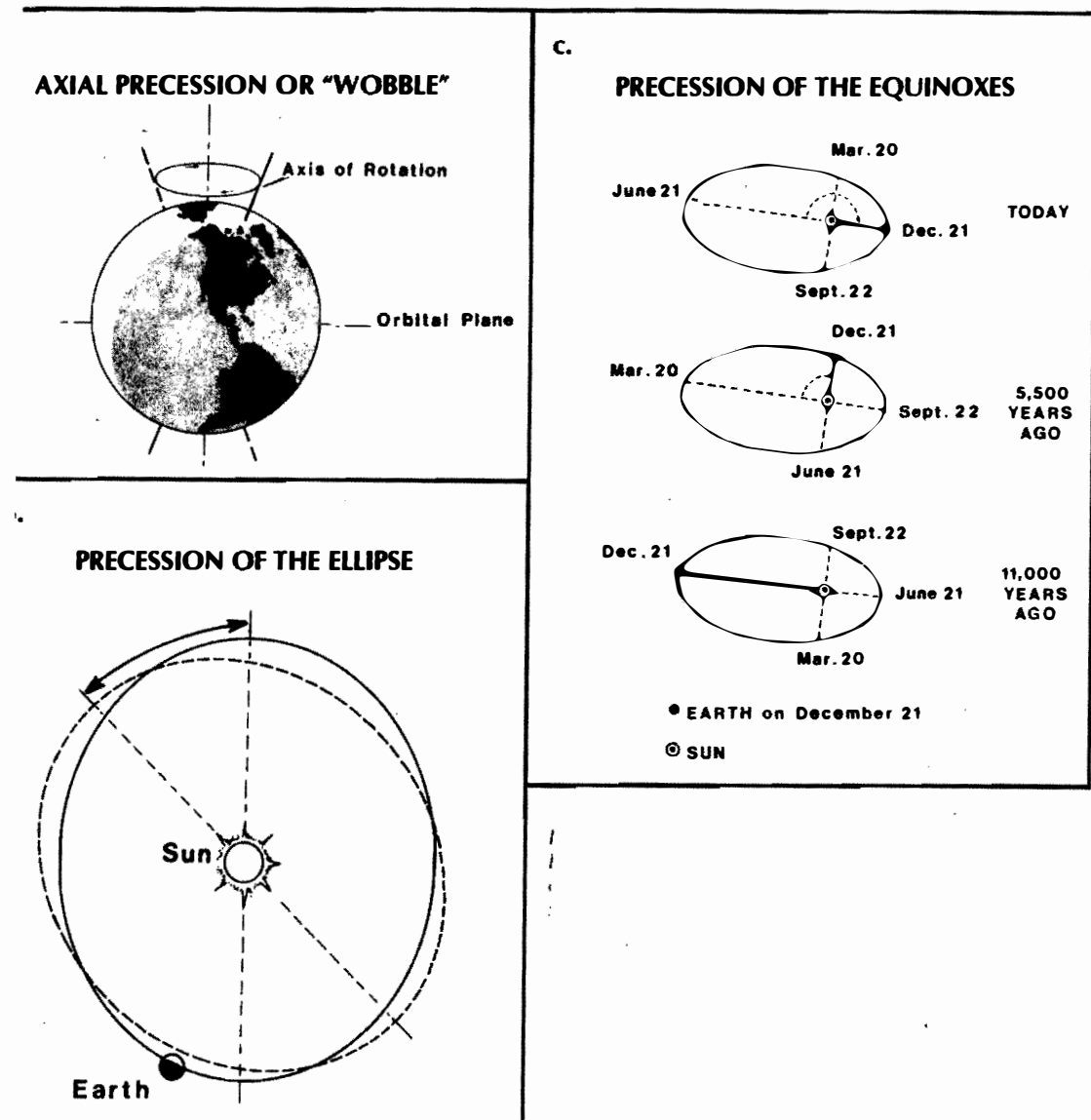
Figur 3.

En skisse av jordbanen som viser betydningen av at akse står på skrå ($23,5^\circ$): Nordpolen peker bort fra solen mellom høstjevndøgn 23. september og vårjevndøgn 21. mars, noe som fører til vinter på den nordlige halvkule. Resten av året er dagene på den nordlige halvkule lengre enn nettene, lengst er de ved sommersolhverv 21. juni, og dette gir oss sommer. Med en vertikal jordakse ville årstidene forsvinne. Etter Imbrie og Imbrie (1979).



Figur 4.

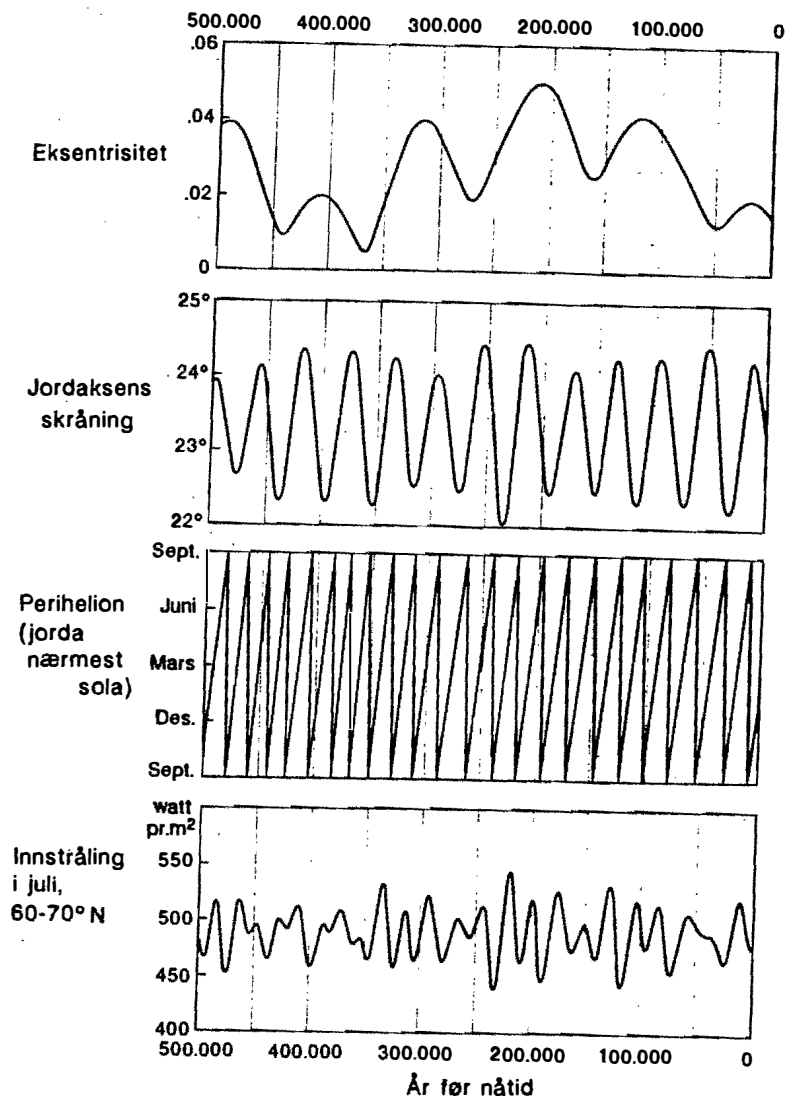
Et kart som viser hvordan polarsirkelen vil forflytte seg med jordaksens skråning. Når akse står så rett som mulig ligger polarsirkelen ved den stiplede linje ved Moskenesøy, ved maksimalskråning ved Brønnøysund. I steinalderen, for 5000 år siden lå polarsirkelen ved 66°, ved Kristi fødsel var den fremdeles sør for Mo i Rana, mens den nå ligger over Saltfjellet og beveger seg nordover med en hastighet på 14,4 m i året. Om 6000 år må en nord for Bodø for å se midnattssola.



Figur 5.

De tre tegningene av jordbanen oppe til høyre (figur c) viser hvordan årstidene vandrer rundt jordbanen. Idag er vi nærmest sola 3. januar, altså like etter vintersolhverv 21. desember, mens vi har vinter på den nordlige og sommer på den sydlige halvkule. Den nederste jordbanen i figur c viser at jorda for 11 000 år siden var nærmest sola i juni, noe som ga varme somre på den nordlige halvkule.

Årsakene til at årstidene forflytter seg rundt jordbanen er vist i figurene a og b. Figur a viser at jordaksen svinger rundt, slik at Nordpolen i løpet av 27 000 år beskriver en full sirkel i rommet. Det fremgår imidlertid av figur c at årstidene går helt rundt jordbanen på bare ca. 22 000 år. Dette skyldes at også hele ellipsen dreier rundt (figur b), slik at årstidene ikke behøver å gå 360° for å være tilbake i samme punkt. Etter Imbrie og Imbrie (1979).



Figur 6.

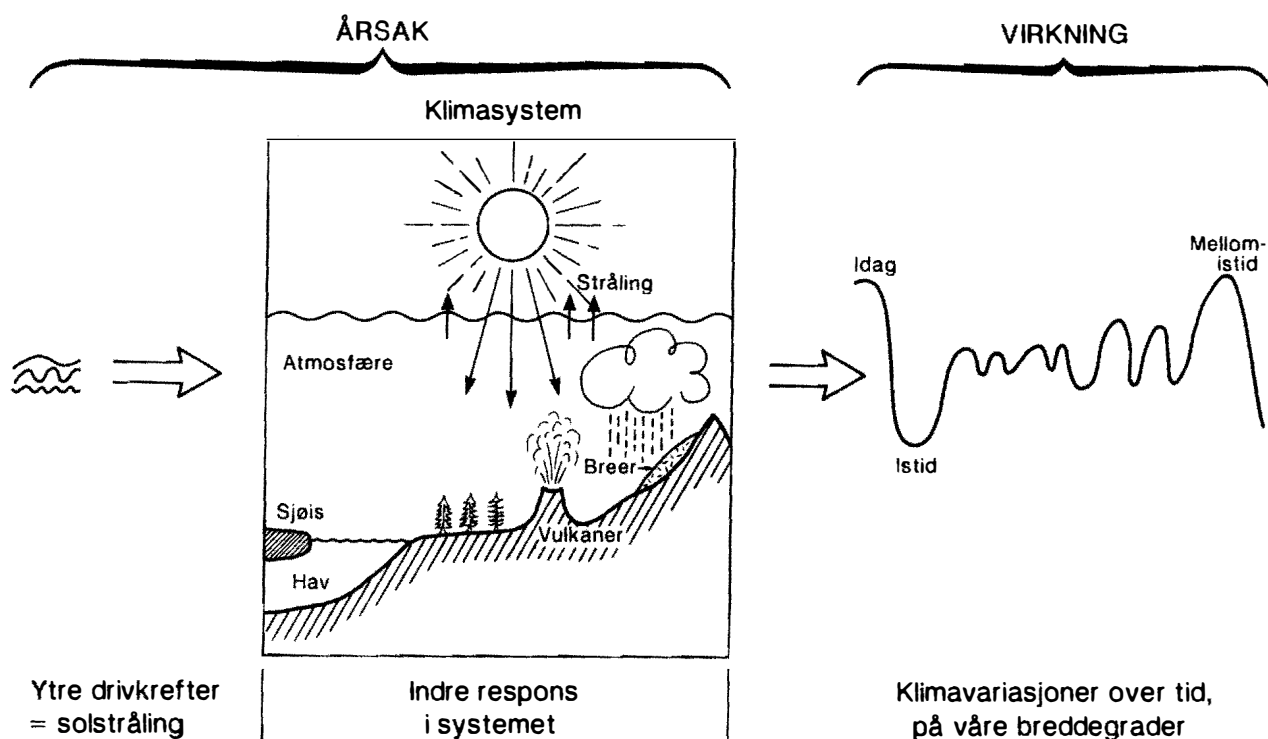
Diagrammer som viser hvordan de omtalte faktorer har variert bakover i tid. Oversatt fra Covey (1984). Horisontalskalaen har vår tid til høyre og går 500 000 år bakover i tid.

Det øverste diagrammet viser jordbanens form: Eksentrisitet = 0 er en sirkel, og ved økende verdi blir det en mer flatklemt ellipse. Vi ser at det er en topp for hvert 100 000 år.

Jordaksens skråning er gitt som vinkelen mellom akselen og en vertikal linje. Vi ser at vinkelen idag er $23,5^\circ$, og at den for tiden avtar: Jorden er i ferd med å "rette seg opp". Det er 41 000 år mellom hver topp.

Perihelion er betegnelsen på det punkt på jordbanen som er nærmest sola. Idag er perihelion 3. januar, og følger en kurven bakover i tid ser vi at perihelion har forflyttet seg bakover gjennom året, slik at den falt i desember, november, oktober, osv. Sammenlign med figur 5.

Den nederste kurven viser hvordan solinnstrålingen i juli har variert på våre breddegrader som en følge av alle faktorene. Vi ser at maksimalutslagene er ca. 100 watt pr. m^2 , eller ca. 20 %.



Figur 7.

En enkel modell som viser hva som skjer. Vi kan betrakte klimasystemet som en komplisert maskin. Kraften som driver maskinen er solstrålingen. Kraften varierer noe over; dette er her antydnet med de små kurver til venstre. Produktet som kommer ut av maskinen er klimavariasjoner over tid. Maskinen - den indre respons i systemet - har forsterket variasjonene til svære amplituder på våre breddegrader. Ved ekvator er svingningene små. Klimasystemet reagerer heller ikke spontant, hvis vi sammenligner klimakurven som kommer ut, så er det faseorskyvninger (forsinkelser) i forhold til "kurvene som går inn".

For istider/mellomistider kjenner vi presist variasjonene i solinnstrålingen, vi kjenner hovedtrekkene av virkningen og er istand til å kartlegge denne bedre. Dette gir en enestående mulighet til å studere hvordan klimasystemet reagerer på ytre påvirkninger, og dermed mulighet til å forbedre modellene som skal gi prognoser for virkningen av f.eks. klimagasser.

OBSERVED GLOBAL AND ARCTIC TEMPERATURE VARIATIONS

Dr Graham Farmer
Climatic Research Unit
University of East Anglia
Norwich NR4 7TJ, U.K.

EXTENDED ABSTRACT

If we consider the average surface air temperature for the land and marine areas of the earth, 1988 was the warmest year on record, with records going back to the middle of the nineteenth century (Figure 1). Moreover, the six warmest years in the global time series have occurred in the 1980s: in rising order, 1986, 1980, 1981, 1983, 1987 and 1988 (Jones et al., 1986a).

Taking the global temperature series as a whole, we can see a relatively stable period during the earlier decades of the record, a steady rise up to the 1940s (with marked warming in the 1920s and 1930s) after which the series remained fairly constant, until the present period of warming that began during the 1970s. Records for the individual hemispheres show that the stable period from the 1940s to the 1960s was a result of cooling in the Northern Hemisphere and warming in the Southern Hemisphere.

One of the favoured candidates for the cause of this underlying warming trend, by 0.5°C since the late 19th century, is the Greenhouse Effect. This is the name given to the warming caused by increasing levels of anthropogenic pollutants including carbon dioxide, methane, nitrous oxide and chlorofluorocarbons, the latter also being associated with damage to the stratospheric ozone layer.

These greenhouse gases are transparent to short-wave radiation but absorb long-wave radiation; that is they let the energy from the sun pass through to the earth's surface, but absorb the energy being emitted from the earth. This results in a warming of the earth's surface and lower atmosphere (Bolin et al., 1986).

The most identifiable feature of the greenhouse effect, or its 'signal', is believed to be a warming of global temperatures. We have good, reliable temperature data, back to the mid-nineteenth century (Jones et al., 1986b,c). Considerable effort has been made to ensure that these records indicate only the effects of changing climate and are not influenced by site changes and changes in methods used to calculate average temperatures (Jones et al., 1985). We will concentrate here on those of the globe and those of the Arctic region.

We have already seen a rise in global temperatures since the last century. That warming has, however, not been spatially uniform. For example, if we look at a time series for the Arctic, Figure 2, in the 65-85N region (using land based data only) the warming since the 1970s has not been as marked as in the global series.

Certain parts of the global time series have been investigated in more spatial detail. Figure 3 shows the temperature trend over the twenty years 1967-86. This was a time of intense warming in the global time series (see Figure 1), particularly in the Southern Hemisphere. Over the Northern Hemisphere, warming was less strong and there are geographical areas that show strong cooling. Of immediate relevance here is the cooling over Scandinavia, by around 0.5°C over the period. There is a similar area of,

stronger, cooling over the northern Pacific. Over the more northerly Arctic latitudes, warming has occurred. We are not yet at the stage of being able to explain this spatial diversity of recent trends.

Computed based General Circulation Models (GCM) suggest that the warming due to a greenhouse effect would be stronger in the polar regions than in the lower latitudes. These are 'equilibrium state' results for the time when the climate reaches an equilibrium response to the equivalent doubling of carbon dioxide levels. Although the equivalent levels of CO₂ should double by about 2030 the climate system will not reach its equilibrium response until at least 2070. This delay is due to the thermal inertia of the oceans. It has been expressed as the 'hidden' warming (Mintzer, 1987) or the amount the atmosphere would continue to warm even if we could stop greenhouse gas emissions. The spatial patterns for recent trends show that the most significant warming has occurred in the middle and lower latitudes. We are clearly in the early stages of any warming and it is possible that the patterns of climatic change that will be experienced in the near future are unrelated to the equilibrium response results.

Figure 4 shows the range of 'best estimate' predictions of future global warming based on a box-upwelling-diffusion energy-balance climate model. The exponential nature of the warming is evident. Even with the lower climate sensitivity (the lower curve) we will be exceeding temperatures within a few decades that have not been experienced by the earth in over 100,000 years.

In summary, at this point in time it is not possible to attribute, specifically and with absolute certainty, the observed global warming to the greenhouse effect. For example, the variations may be part of the natural variability of the climate system. Or, it may be a combination of natural variability and some, reduced, greenhouse effect. However, the modelled effects of a greenhouse warming and the associated consequences are such that, although the evidence to date may be mainly circumstantial, it may be imprudent to wait for more, clearer, evidence.

The work described here has been carried out by various colleagues at the Climatic Research Unit, University of East Anglia, and collaborators in the U.K. Meteorological Office, to whom I offer my thanks. The work is ongoing. There are still many questions that remain unanswered; it is hoped that this has been made clear today. What remains paramount is the need for scientific rigour and a reasoned approach to this major source of potential impact on Society.

REFERENCES

- Bolin, B., Döös, B., Jäger, J. and Warrick, R.A. (Eds.), 1986: The Greenhouse Effect, Climatic Change and Ecosystems. SCOPE 29, John Wiley and Sons Ltd., Chichester.
- Jones, P.D., Raper, S.C.B., Santer, B.D., Cherry, B.S.G., Goodess, C.M., Kelly, P.M., Wigley, T.M.L., Bradley, R.S. and Diaz, H.F., 1985: A grid point surface air temperature data set for the Northern Hemisphere, Technical Report TR022, Carbon Dioxide Research Division, U.S. Department of Energy, Washington, D.C.
- Jones, P.D., Wigley, T.M.L. and Wright, P.B., 1986a: Global temperature variations, 1861-1984. Nature 322, 430-434.
- Jones, P.D., Raper, S.C.B., Bradley, R.S., Diaz, H.F., Kelly, P.M. and Wigley, T.M.L., 1986b: Northern Hemisphere surface temperature variations: 1851-1984. Journal of Climate and Applied Meteorology 25, 161-179.
- Jones, P.D., Raper, S.C.B. and Wigley, T.M.L., 1986c: Southern Hemisphere surface air temperature variations, 1851-1984. Journal of Climate and Applied Meteorology 25, 1213-1230.
- Mintzer, I.M., 1987: A Matter of Degrees: Potential for Controlling the Greenhouse Effect. World Resources Institute, Washington, D.C.

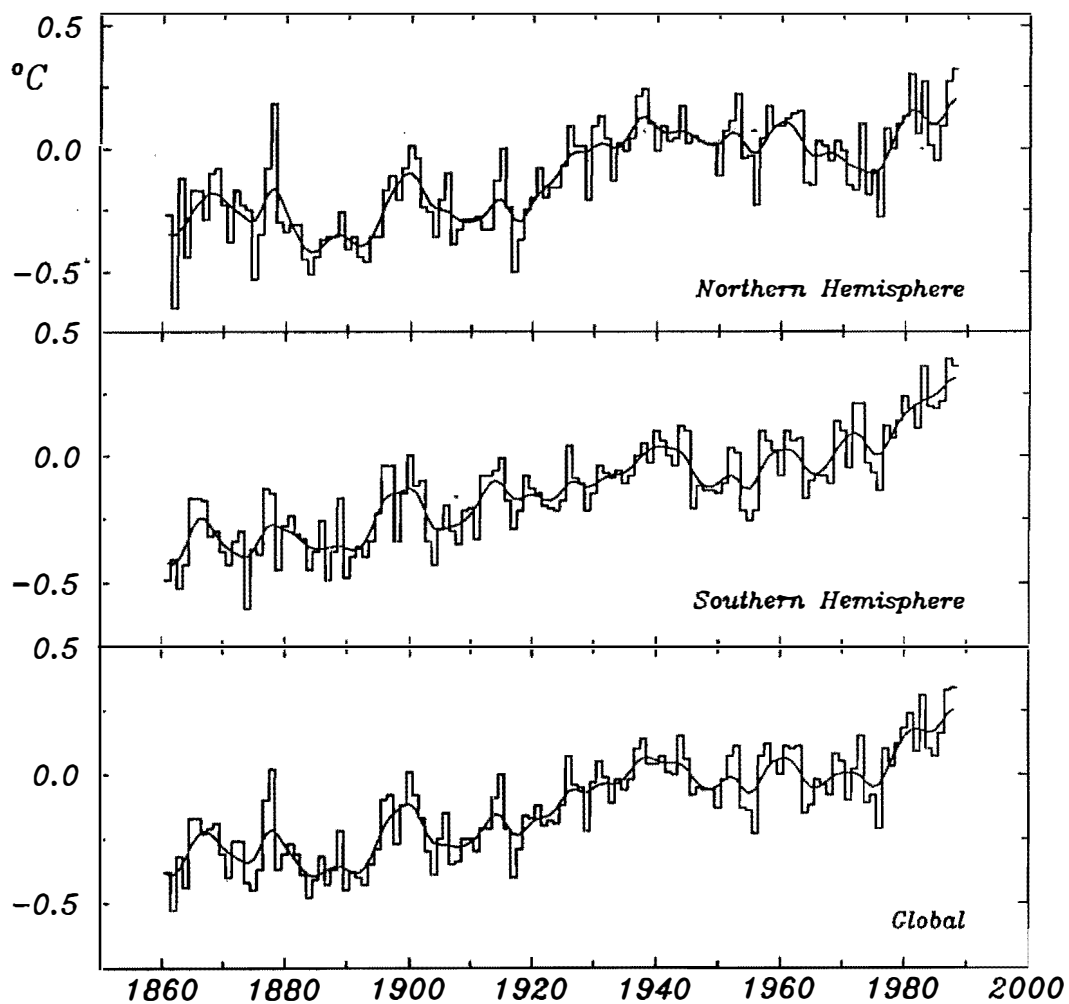


Figure 1: The bottom graph shows global surface air temperatures (land and marine areas) for 1861 to 1988. Annual values are plotted as anomalies from the 1950-79 period. This series is maintained month by month in the Climatic Research Unit, University of East Anglia. For further details, see e.g. Nature 322, 430-434; Nature 332, 790; Nature 333, 122.

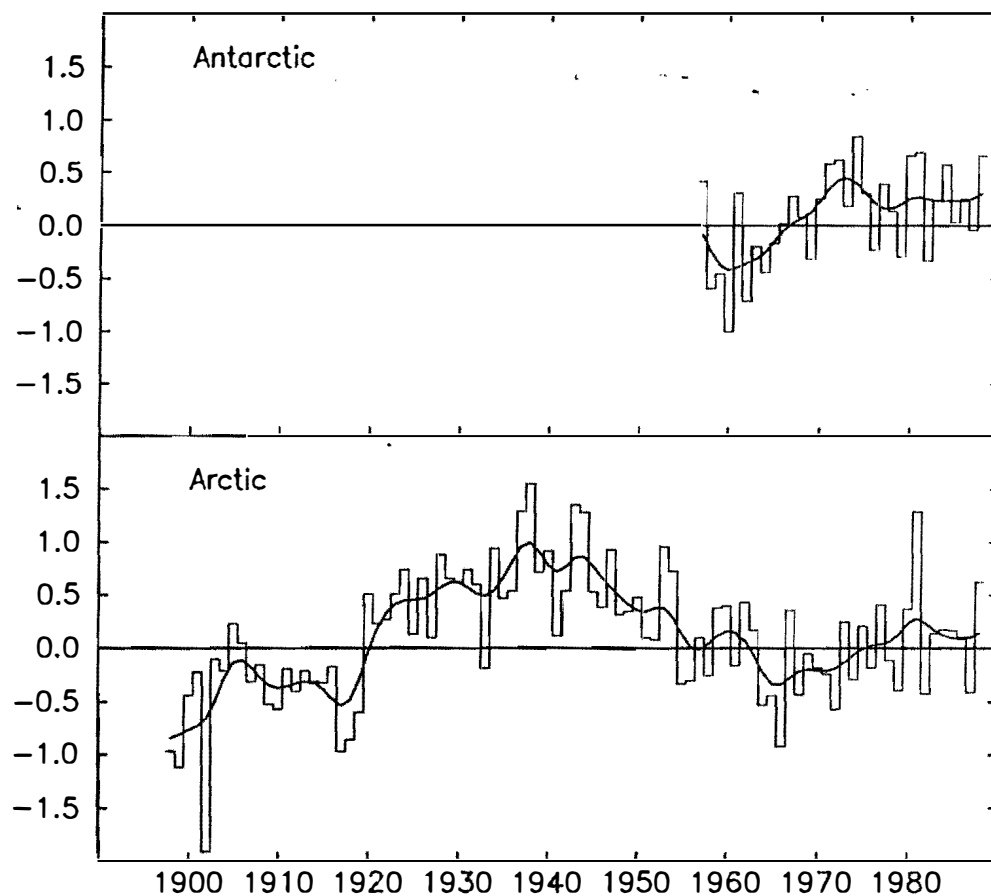


Figure 2: The bottom graph shows annual surface air temperature for the Arctic, land areas (65–85°N) for 1898 to 1988. Values are expressed as anomalies from the period. Source: P.D. Jones, Climatic Research Unit.

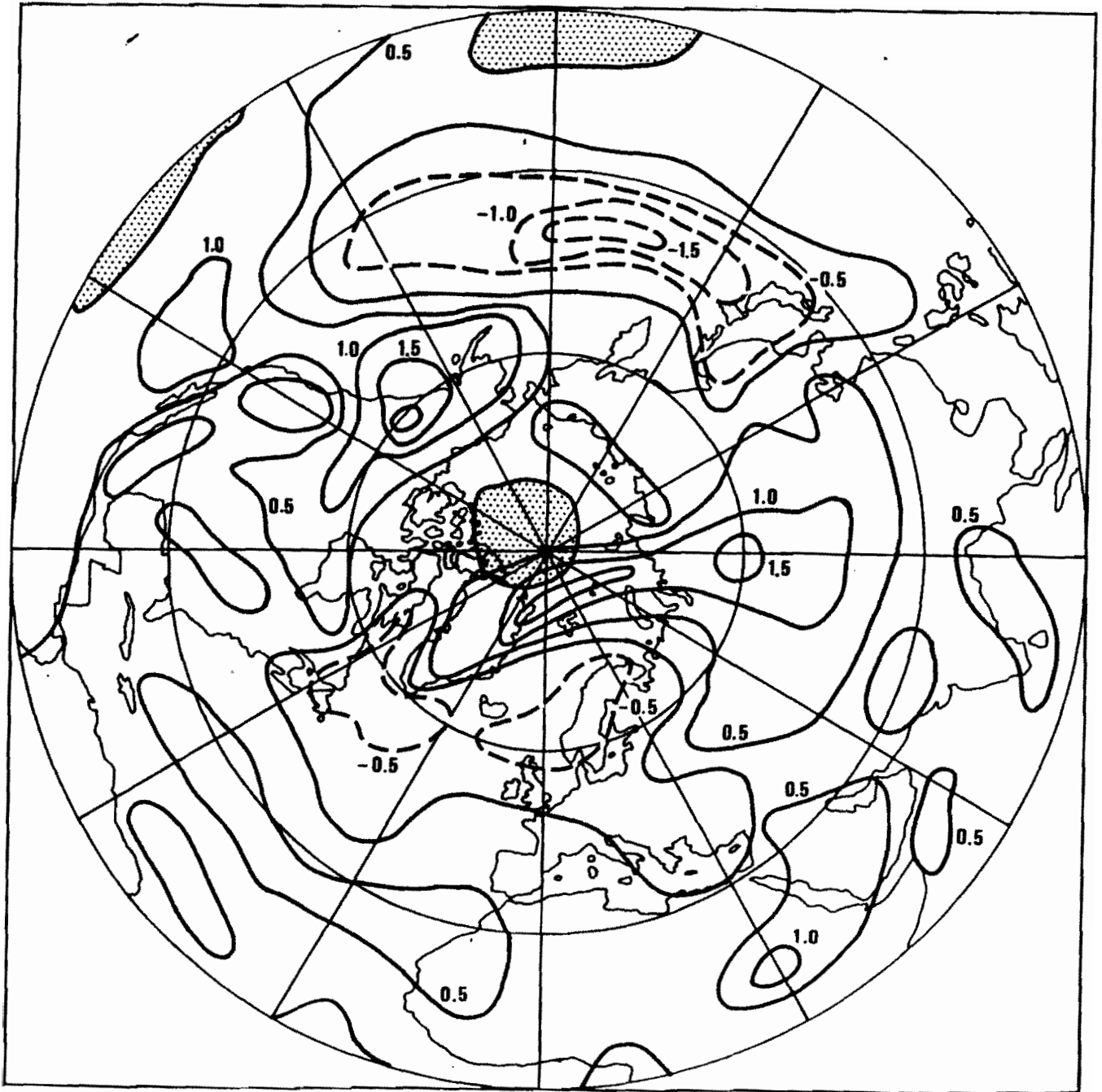


Figure 3: The amount of linear trend over the period 1967 to 1986, in degrees Celsius. While the global average shows marked warming (cf. Figure 1), there are areas that cooled over this period. Source: P.D. Jones, T.M.L. Wigley and G. Farmer, Climatic Research Unit.

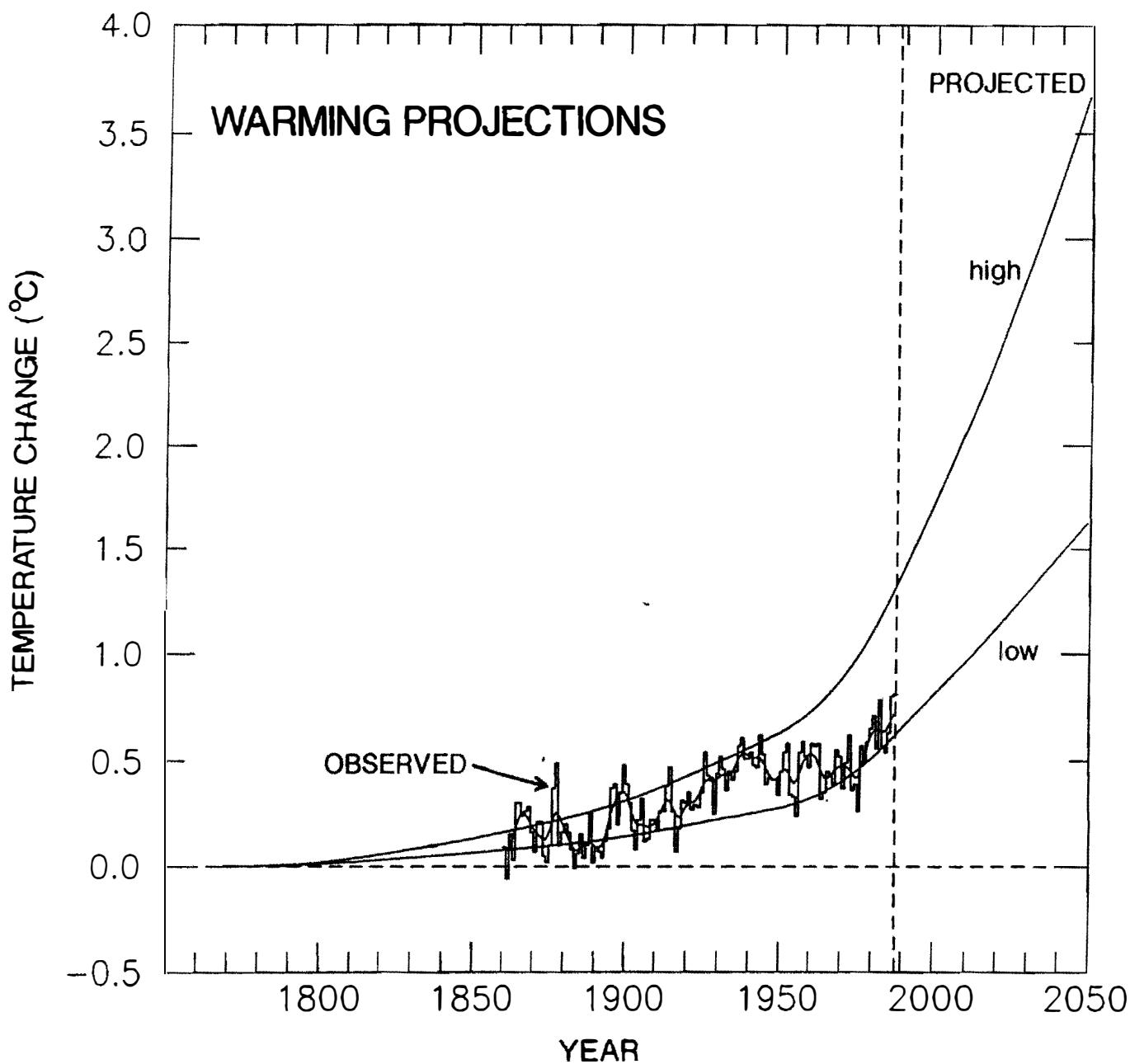


Figure 4: Predicted values of global warming due to observed and predicted changes in greenhouse gas concentrations. The range of values between the upper and lower curves reflects uncertainties in the climate system's equilibrium sensitivity to greenhouse gas concentration changes. The zero-point for the observed time series has been raised to make actual and model results directly comparable. Source: T.M.L. Wigley, Climatic Research Unit.

OSEANISK SIRKULASJON OG KLIMA.

Tor Gammelsrød
Geofysisk inst., Avd. for Oseanografi,
Universitetet i Bergen.

Jordas klima er bestemt av balansen mellom inkommende kortbølget solstråling og utgående langbølget stråling. Jorda mottar et overskudd av energi på lavere bredder, og kvitter seg med dette i Polar-områdene. Denne skjeve fordelingen blir balansert av varmetransport i retning polene i atmosfære og hav. Polområdene er derfor nøkkelområder når det gjelder klima, og særlig er isens utbredelse av spesiell interesse i klima-sammenheng, idet isen er en dobbelt så effektiv reflektor av solstråling enn for eksempel åpent vann (40-60% refleksjon kontra 20-30%). Hvis isdekke av en eller annen grunn øker vil derfor temperaturen synke, noe som igjen fører til en ytterligere økning av isdekke. Det er altså en positiv tilbakekobling mellom isdekke og refleksjonsevne. Å forstå klima er derfor mye avhengig om man forstår hvorfor iskanten ligger der den gjør.

Figur 1 viser de ekstreme iskantposisjonene i Arktis som er observert i løpet av de siste 20 år, og iskanten ved siste istid. Legg merke til at iskanten nå for tiden fluktuerer fram og tilbake i Framstredet, og også er asymmetrisk; dette fordi en forlengelse av den varme Atlanterhav-strømmen på grunn av jordrotasjonens avbøyende kraft holder seg til høyre i Framstredet, d.v.s. på østsiden av stredet, se Figur 2. Iskanten ligger derfor lenger nord på Svalbard-sida enn på Grønland-sida. Iskant-posisjonen er altså i stor grad bestemt av varme-transporten i Atlanterhav-strømmen. En gren av Atlanterhav-strømmen går også inn i Barents-havet, men denne grenen er bare halvparten så mektig. Dessuten styres den østover, og ikke nordover mot iskanten. Fluktuasjonene av iskanten er derfor mye større i Barents-havet enn i Framstredet.

Det framgår av Figur 1 at Framstredet er den største og dypeste åpning mellom det isdekkede Nordis-havet og resten av verdens-havene. Det er derfor naturlig at iskanten ligger her, idet den nordgående varme strømmen møter isen på et relativt smalt område, og kan derfor greie å holde den i sjakk her. Men hva skjer om isen får "overtaket" og kommer seg skikkelig sør for Framstredet? Da er det neste naturlige kontrollpunkt å finne i

stredene mellom Grønland-Island-Færøyane-Shetland. Ser man på 500m isobaten ser man at her er også stredet veldig smalt, og iskanten lå ved siste istid omtrent i denne posisjonen.

I klima-sammenheng er det også viktig å studere sirkulasjonen i dyphavet. Bunnvannet i verdenshavene fornyes stadig. Dette skjer på noen få steder, i Grønlands-havet i nord og Weddelhavet i sør. Hvis denne produksjon av bunnvann av en eller annen grunn stopper opp, vil klimaet være mye mere ustabilt fordi de store vannmassene i verdenshavene har en enorm varme-kapasitet (en søyle på 2.5m vann har samme varme-kapasitet som hele atmosfære-søylen). Så lenge dyphavene er aktivt med i hav-sirkulasjonen, vil dette derfor representere en enorm treghet mot forandringer i klimaet.

Hvordan bunnvann dannes er fremdeles bare delvis forstått. I Grønlandshavet er det enighet om at den generelle sykloniske (mot klokka) sirkulasjon løfter tungt vann opp mot overflaten hvor det ved kontakt med atmosfæren kan bli enda tyngre, ved direkte avkjøling og isfrysing, som gir saltere, og dermed også tyngre vann, som dermed eventuelt kan synke helt til bunns. For 10 år siden kom det en teori om at bunnvanndannelsen skjedde i små, konsentrerte områder med intens sirkulasjon (sammenlikn virvelstормer i atmosfæren), og i løpet av de siste par år har det også ved avanserte måle-metoder lyktes å observere slike "skorsteiner" ("chimnies").

En annen prosess, som nylig er oppdaget ved hjelp av observasjoner, kan også bidra til bunnvanns-dannelse. Hvis man igjen ser på dybdekartet på Figur 1 ser man at Polbassenget er omgitt av noen enorme, grunne kontinental-sokkeler, hvor Barentshavet er det største. Her dannes mye is om vinteren, og på grunn av at det er så grunnt vil vann-massen som blir igjen etter at isen har drevet av, kunne bli ekstremt salt, og eventuelt tungt nok til å synke til bunns i Pol-bassenget. Om denne prosessen er viktig i Arktis vet man ikke, men den er av avgjørende betydning for bunnvanns-dannelse i Antarktis. Antarktis består som kjent av fast-land, og enorme, flere hundre meter tykke is-barrierer flyter ut over havet. I Antarktis blir derfor bunnvanns-dannelsen forsterket ved at det allerede tunge, salte vannet, som er dannet ved isfrysing i overflaten, blir ytterligere avkjølt under den flytende is-breen ved flere hundre meters dyp, hvor frysepunkt-temperaturen er lavere enn ved

overflaten.

Også når det gjelder CO₂ problematikken er det viktig å ta havet i betraktning. Ser man på utslippene av CO₂ i løpet av de siste årene er økningen i atmosfæren bare halvparten av den forventede, fordi en del har blitt absorbert i havet. Faktisk er det 50 ganger mere carbon i havet enn i atmosfæren. CO₂ absorberes mest effektivt i havet ved lavere temperaturer, altså i Polar-områdene. Man kan tenke seg at en del transporteres mot store dyp i områder med dypvanns-dannelse, men at en eventuell økning av temperaturen vil redusere både opptaks-evnen og bunnvannsdannelsen. Hvis en økning av CO₂ resulterer i en øket temperatur vil dette derfor føre til at en økende andel av CO₂-utslippet forblir i atmosfæren, og muligheten for en positiv tilbakekobling er tilstede. Imidlertid blir mesteparten av carbonet transportert til dyp-havet ved hjelp av biologiske prosesser i overflatelaget.

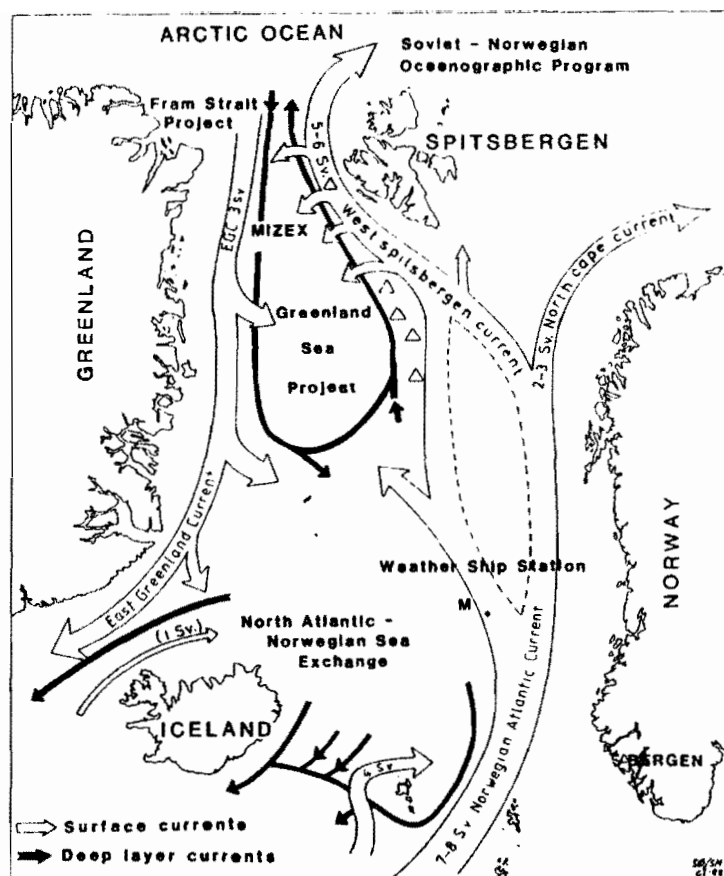
Modell-beregninger viser at en dobling av CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren fører til en økning av overflate-temperaturen på ca. 1°C, hvis man ikke tar hensyn til havet. Tar man derimot hensyn til at havets overflate-temperatur også øker, fører dette til en større fordamping, og dermed et høyere vanddampinnhold i atmosfæren. Vanddamp er den viktigste drivhus-gassen, og vil øke den opprinnelige beregnede effekten av CO₂ med en faktor på 4.

Tidsrekker av oseanografiske forhold er viktige for å studere klimasvingningene. En enestående observasjons-serie på mere enn 40 år av variasjonen av de oseanografiske forhold ned til 2000m dyp er tatt ved værskipet "Polarfront" som ligger i Norskehavet (Figur 2). Her ble det observert at i slutten av 70-årene var vannmassene i de øvre 300m over en periode på ca. 3 år omtrent 0.5 °C kaldere og 0.1·10⁻³ ferskere enn vanlig. Når man tenker på at forskjellen i havets overflate-temperatur fra istid til mellom-istid er på ca. 3°C, er en halv grad en betydelig amplitude. Denne anomalien har det lyktes å følge fra et startpunkt nord for Island i 1968, Sørøverlangs det Nordamerikanske kontinent, tvers over Atlanteren og nordover på Europasiden tilbake igjen til utgangspunktet 14 år senere. Årsaken til og virkningene av denne anomalien kan bidra vesentlig til å forstå klimasvingninger på 10-års skala.

Som vi skjønner ligger nøkkelen til forståelsen av jordens klima i havet.



Figur 1. Bunntopografi i Arktis og ekstreme iskant-posisjoner. Iskanten ved siste istid er også vist.



Figur 2. Strøm-systemer. Posisjonen til Værskipet "M" er også vist, samt navn på noen løpende forsknings-prosjekter.

Internasjonalt klimasymposium 25-26 april 1989.
Scandic Hotell, Bærum.

VARIASJONER I HAVISENS UTBREDELSE

BARENTSHAVET/GRØNLANDSHAVET

Av

Torgny Vinje
Norsk Polarinstitutt
1330 Oslo Lufthavn

Mot slutten av siste istid gikk grensen for havisen anslagsvis ut fra Lofoten og sydvestover syd for Island. Skueplassen for de årlige pulseringer ble etterhvert oppdelt i to adskilte områder, Barentshavet og Grønlandshavet/Norskehavet, med den nordgående strømmen i Norskehavet som et klart skille. Det er nå bare sjelden at disse to isområdene forenes. Den eldste pålitelige observasjonen viser at dette skjedde våren 1871 da den felles sydlige grense løp langs 72 graden utenfor Nord-Norge. I løpet av de siste 20 var det en svak sammenkopling nord for 75 graden vest av Svalbard under den ekstremt kalde vinteren 1968/69. I strenge isår hender det også at Island nesten blir omgitt av drivis, så som våren 1969. Til tross for den meget store endringen som har skjedd i de klimatiske forhold siden slutten av istiden ser det altså ut til at havisens ekstreme utbredelse ikke har endret seg i tilsvarende grad.

Den eldste og lengste observasjonsserien vedrørende havisen utbredelse i den atlantiske sektor av Arktis er samlet fra Snorre og andre islandske kilder. Serien angir antall uker med havis på Nord-Island fra rundt år 950 og frem til vår tid. Serien indikerer meget store variasjoner fra år til år men med et tydelig minimum i landnåmstiden. Fra hvalfangsten begynte på 1600 tallet og utover i de neste par hundre årene har vi spredte observasjoner da spesielt fra Hvalfangerbukta like nord for Svalbard. I 1853 begynte Svend Foyn med selfangst i Vesterisen og vi har årlige opptegnelser av isforholdene i Grønlandshavet/Norskehavet for vårmånedene fra denne tid. Fra siste århundreskifte frem til 50-årene fungerte Det danske meteorologiske institutt som en samlesentral for havisobservasjoner fra Arktis og de har utgitt årlige informasjoner fra denne perioden. I 1950 åren skjedde det en markert økning i flyobservasjoner som for første gang gav oss muligheter til å få observasjoner over store områder av Arktis samtidig. Siden værstatellittene kom i 1966 har vi fått en sikrere og mere systematisk oversikt som bekrefter og forsterker det inntrykk man tidligere hadde av stor variabilitet i havisens utbredelse fra år til år. Ukentlige iskart for området utgis idag av DNMI og av US NAVY/NOAA Joint Ice Center.

Tidlig på 1900 tallet var de relativt sjelden at isen trakk seg nord for 76 graden i den vestlige delen av Barentshavet. Idag er den å finne rundt 80 graden mot slutten av smeltesesongen i august. Grovt regnet kan man si at isarealet for august måned i Barentshavet avtok

til det halve fra perioden 1898-1922 til perioden 1911-1956. Dette tilsvarende i middel en årlig reduksjon på ca. 2.3 %. Reduksjonen fortsatte i perioden frem til 1980 med rundt 1.8% i middel per år. I Grønlandshavet finner vi en middlere reduksjon på 0.8 % over perioden 1930 til 1970. Observasjonene viser at havisarealet ved slutten av smeltesesongen har minnet markert siden århundreskiftet, og med noe avtagende hastighet etterhvert.

Fra de siste 21 årene har man en meget god observasjonsserie fra satellittbilder og bakkeobservasjoner. Serien er basert på norske (DNMI), amerikanske (NOOA/NAVY Joint Ice Center) og engelske (Met. Office) iskart. Fra rundt 1100 digitaliserte iskart har vi beregnet det ukentlige isarealet i Barentshavet. I gjennomsnitt for året finner man en reduksjon i dette tilsvarende 0.8% per år. Deler man opp i fryse og smeltesesonger viser det seg imidlertid at det er smeltesesongen (mai-oktober) som står for langt det meste av denne endringen. For smeltesesongen har isarealet i Barentshavet således avtatt med hele 25% de siste 21 årene tilsvarende rundt 100 000 km². Analysen viser videre at i frysesesongen (november-april) har isarealet avtatt med bare 0.3% per år en størrelse som i tillegg er meget usikker statistisk sett. Konklusjonen må derfor bli at utbredelsen av isen i frysesesongen viser ingen sikker endring mens den for smeltesesongen (mai-oktober) indikerer en reduksjon på 1.2% per år de siste 21 årene i Barentshavet.

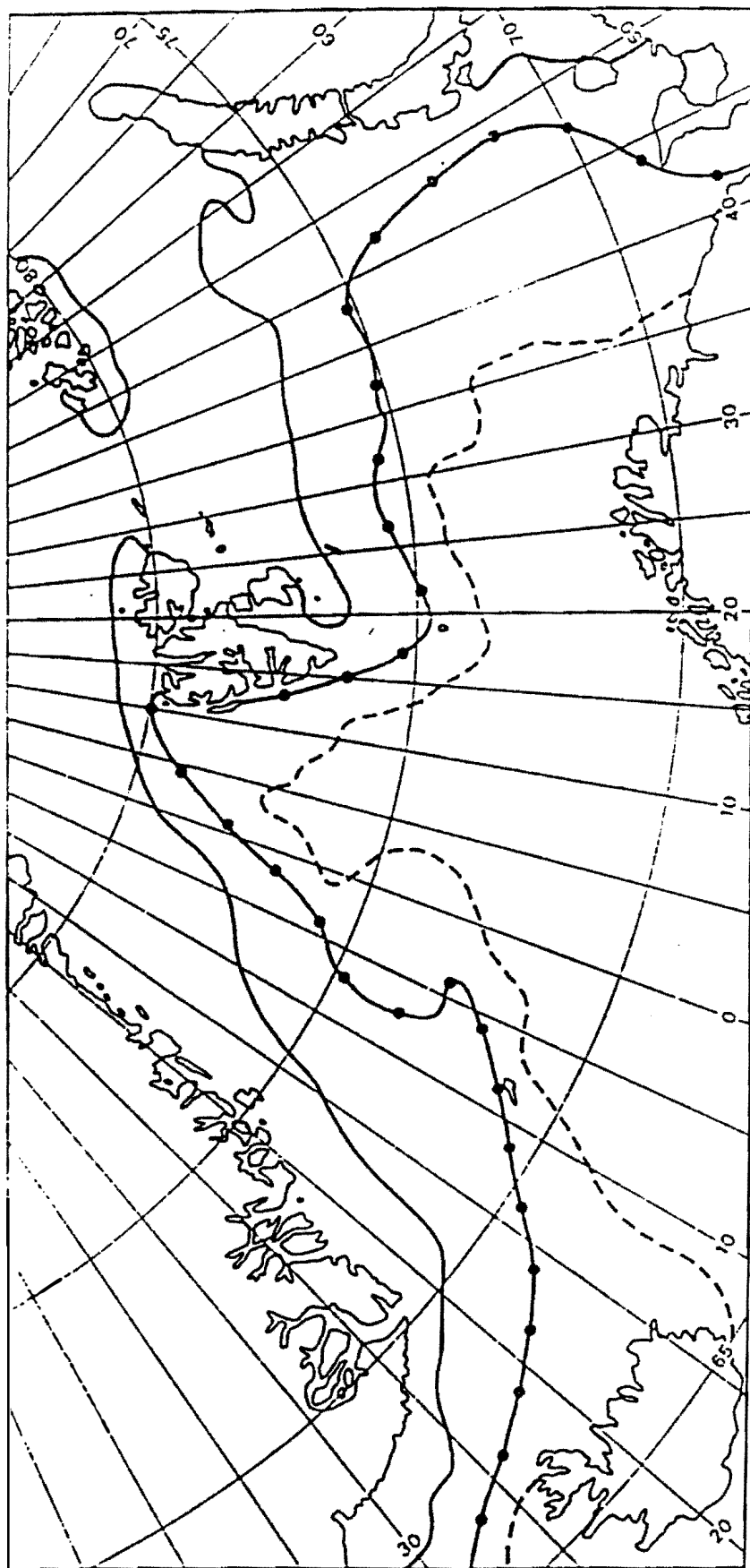
Meget store variasjoner fra år til år er altså typisk for isutbredelsen i den atlantiske sektoren av Arktis. Varigheten av anomalier innenfor en og samme sesong viser imidlertid at Barentshavet fremstår som det område i Arktis der disse har forholdsvis lang varighet, 2-3 måneder. Dette forhold har tidligere også erfaringsmessig blitt brukt for planlegging av tokt. Fluktuasjoner i havisens utbredelse i hele Arktis for perioden 1953-1977 indikerer en total økning av isarealet ifølge en amerikansk undersøkelse. Barentshavet danner imidlertid en unntagelse med en markert reduksjon over nevnte periode. Undersøkelser viser også at anomalier i Atlanterhavssektoren korresponderer med anomalier av motsatt fortegn i resten av Arktis. Dette er også erfaringsmessig observert i tidligere tider. Statistikken er altså også her i overensstemmelse med tidligere erfaringer. Det er interessant å merke seg at isforholdene i Barentshavet synes å utmerke seg ved spesielle særtrekk såsom forholdsvis lang varighet av anomalier samt vedvarende reduksjon i dette århundre av isens utbredelse i smeltesesongen til forskjell fra resten av Arktis.

De store variasjonene i området kan for en stor del tilbakeføres til fordelingen av landmassene i Arktis. Denne viser at det er bare nord gjennom den atlantiske sektor at lavtrykkene kan passere så og si uhindret av kontinenter helt inn i Polhavet og det viser seg at det er en nær sammenheng mellom anomalier i isforholdene og anomalier i den atmosfæriske sirkulasjonen i området. Retningen på de store havstrømmene er i stor grad styrt av bunntopografien, mens den viktig drivkraften forårsaket av vinden, vil øke hastigheten og derved øke varmetilførselen mot nord på vestsiden av Svalbard og østover inn i den sydlige del av Barentshavet. I Grønlandshavet/Norskehavet oppstår av og til en meget spesiell isfordeling med en lang istunge (Odden) som strekker seg nordøstover fra Jan Mayen og med en dyp isfri bukt (Nordbukta) på nordsiden av denne. Dette spesielle fordelingsmønster ble oppdaget allerede i 1850 årene og gjenspeiler den omfattende blanding av vannmassene i den såkalte Jan Mayen hvirvelen. Det synes å være spesielt utpreget i år med negativ anomali i lufttrykket over området.

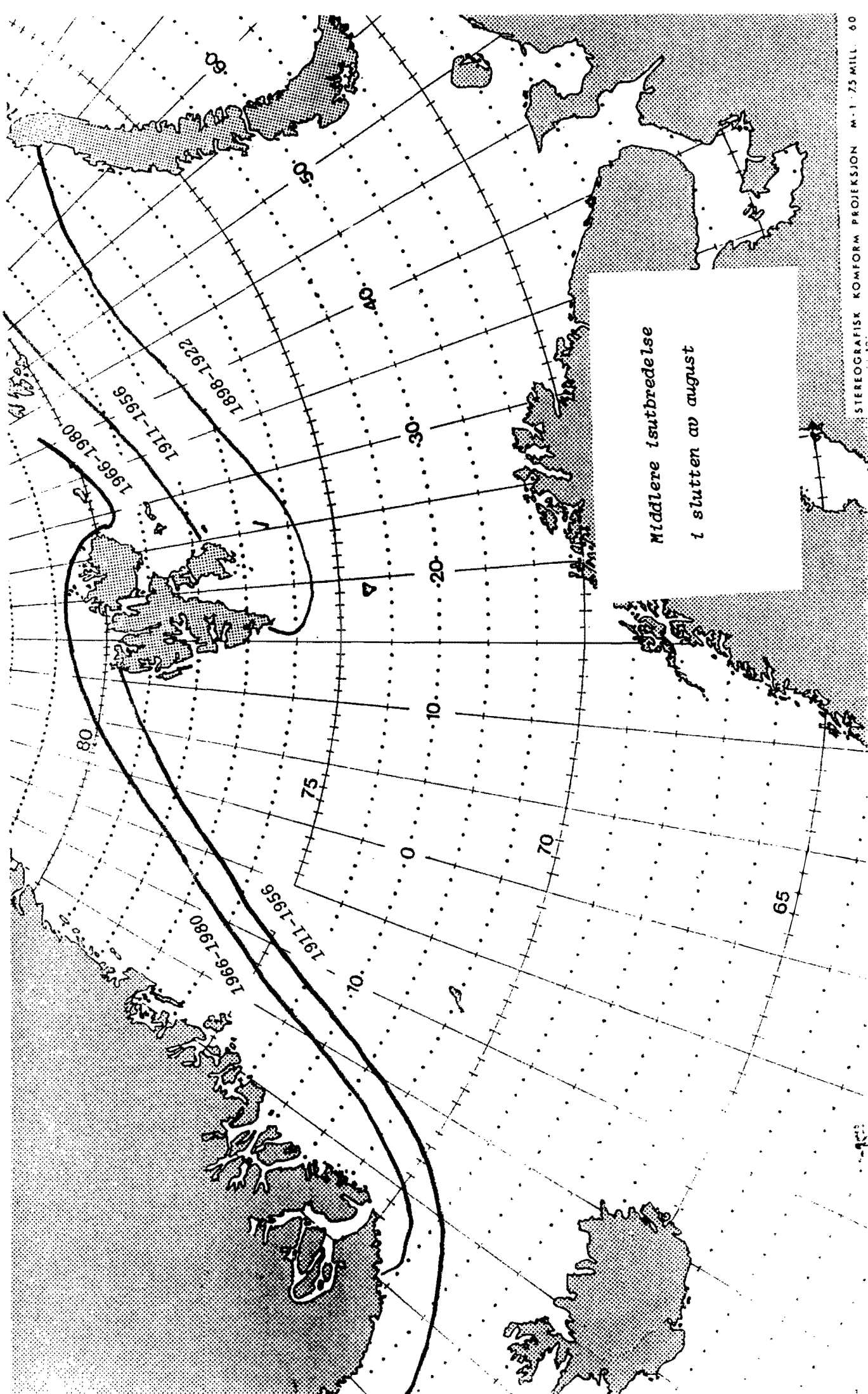
De varmere vannmassene vil på grunn av sin større saltholdighet ha en større egenvekt og de vil derfor fylle ut de dypere deler av shelfområdene i den sydlige del av Barentshavet. De ferskere og derfor lettere, kaldere vannmassene vil dekke de grunnere shelfområdene i den nordlige delen. Denne fordelingen av vannmasser bestemmer i store trekk drivisens maksimale utbredelse i området. I Grønlandshavet er forholdene noe mere sammensatte idet de varmere vannmassene kan bli så avkjølt at de dukker ned i dypere lag og således ikke direkte påvirker isforholdene i de øvre lagene i første omgang. I tillegg har vi her verdens mektigste isstrøm som årlig frakter 4-5000 km³ med tykk flereårsis ut fra Polhavet gjennom Framstredet. Denne isen føres videre sydover med Øst-Grønlandsstrømmen som på kortere sikt påvirker det regionale og på lengere sikt det globale klima.

Vi har hittil bare snakket om arealet av drivisen men ser man på variabiliteten i istykkelsen i en gitt posisjon er det klart at det er denne som skaper den store usikkerheten. Det resultatet som er nevnt ovenfor med nær konstant maksimal utbredelse i frysesesongen men med reduksjon i smeltesesongens isareal kan derfor godt tyde på at det primært er istykkelsen som i middel har avtatt de siste 21 årene. Tynnere is mot slutten av frysesesongen vil kunne gi mindre areal ved slutten av smeltesesongen.

Havisvolumet er direkte bestemt av strålingsbalansen, isdriften og temperaturforholdene i havet og i atmosfæren. Endringer i havisvolumet reflekterer således den integrerte effekt av en rekke fundamentale parametre i det fysiske miljø. Ifølge de globale klimamodellene ventes signalene på en klimaendring å bli langt sterkere i polarområdene enn på sydligere breddegrader. Variansen ventes imidlertid å bli stor slik at et sikkert signal vil kunne maskeres hvis man ikke måler over et stort nok område. Ettersom 95% av all den isen som forlater Polhavet strømmer ut gjennom Framstredet via den vinddrevne Transpolar Isstrømmen vil denne fluksen gjenspeile effekten av strålingsbalanse, temperatur, og strømningsforhold i hav og atmosfære over store deler av Arktis. Framstredet fremstår derfor som et nøkkelområde når det gjelder måleprogrammer for tidlig detektering av eventuelle klimaendringer. Ettersom utbredelsen kan bestemmes ved hjelp av satellittinformasjoner er det målinger av fordelingen av istykkelsen og strømningshastigheten i observasjonsstrategiske områder som er den viktigste utfordringen i årene som kommer når det gjelder overvåking av denne viktige klimaparameter.



Maksimum, minimum og middlere utbredelse av havisen 1966-1980.



Middlere isutbredelse
i slutten av august

KLIMAENDRINGER - FYSIOLOGISKE VIRKNINGER PÅ DYR

Karl Erik Zachariassen & Tore Aunaas
Zoologisk Institutt
Universitetet i Trondheim, AVH
7055 Dragvoll

Klimaet i et område bestemmes av en rekke såkalte klimafaktorer. Temperatur er en av de viktigste av disse faktorene, og trolig den faktoren som har størst betydning for dyr. En generell global oppvarming kan derfor tenkes å ha stor betydning, og ikke minst for dyr i polarområdene. De generelle virkningene av temperatur på dyr er relativt godt kjent. Vi vil gi en kort gjennomgåelse av disse virkningene og forhold som begrenser mulighetene for å vurdere konsekvenser av en global oppvarming. Særlig arktiske invertebrater er for lite undersøkt til å tillate forutsigelser.

Varmblodige og kaldblodige dyr

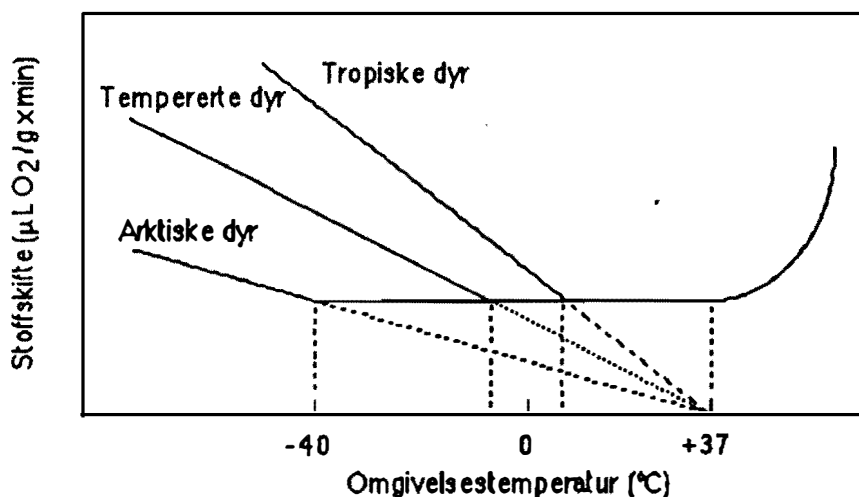
Etter kroppstemperatures avhengighet av omgivelsestemperaturen kan dyr deles inn i to grupper: De varmblodige dyr, som i likhet med mennesker har en konstant kroppstemperatur på rundt 37°C, og de vekselvarme dyrene, som har kroppstemperatur omtrent lik omgivelsestemperaturen. Disse to gruppene påvirkes svært forskjellig av endringer i omgivelsestemperaturen.

Virksomheter på varmblodige dyr

Den høye og konstante kroppstemperaturen hos varmblodige dyr skyldes at de produserer varme gjennom stoffskiftet, og at varme-produksjonen avpasses etter varmetapet til omgivelsene. Når omgivelsestemperaturen varierer, vil stoffskiftet variere som vist på Figur 1. Ved høy omgivelsestemperatur, vil kroppstemperaturen holde seg konstant ved at dyrene kvitter seg med varme ved svetting eller pesing. Dette krever energi og gir rask økning i stoffskiftet.

Ved lav omgivelsestemperaturen vil dyrene tape mye varme til omgivelsene. Under slike forhold vil de skjelve, og dermed produserer de ekstra varme som motvirker at kroppstemperaturen faller.

Økt varmeproduksjon betyr at stoffskiftet øker og at fettlagrene forbrennes raskere. Hos varmblodige dyr som overvintrer i Arktis kan dette være kritisk. Når det blir kaldt om vinteren, vil samtidig mattilgangen være minimal. De bygger derfor opp store fettlagre om høsten, opptil 25% av kroppsvekten hos Svalbardsrein og over 30% hos Svalbardrype. Ved å isolere seg med en tykk pels eller fjædrakt vil varmetapet bli lavt, og stoffskifte-økningen mindre bratt. Hos Svalbardrein begynner ikke stoffskiftet å stige før omgivelsestemperaturen synker under 40 kuldegrader. Dyrene sparer dermed energi, og de får fettlagrene til å vare lengre.

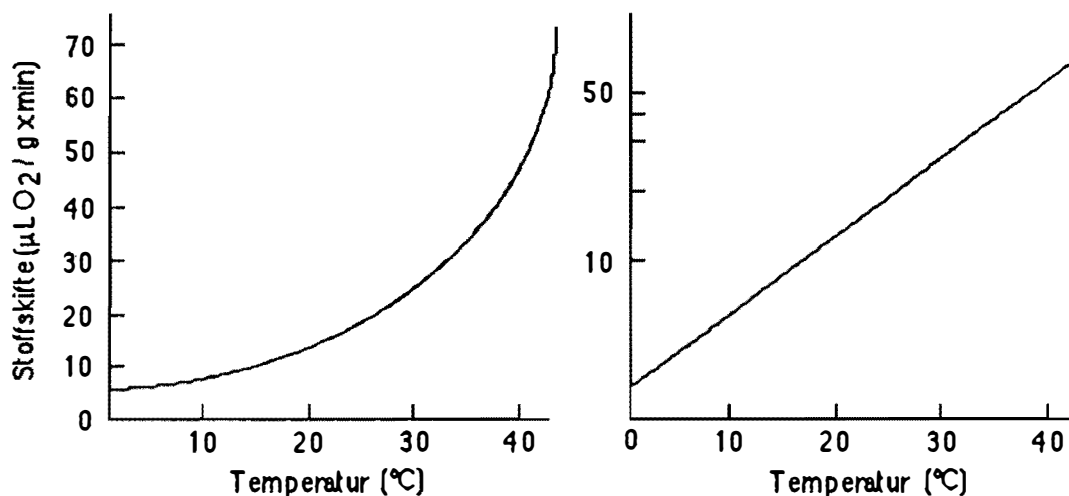


Figur 1. Stoffskiftet hos varmblodige dyr ved ulike omgivelsestemperaturer. Når varmeisolasjonen øker, slik som hos arktiske dyr (Svalbardrein), vil stoffskiftet begynne å øke først ved en lavere omgivelsestemperatur.

Til tross for de store fettlagrene og den tykke vinterpelsen er fettlagrene hos f. eks. Svalbardrein gjerne brukt opp i mars/april. Da må dyrene greie seg med gresset de kan finne under snøen. Er marken dekket av is, kan de sulte ihjel i store antall.

Man kunne på denne bakgrunn tro at en temperaturøkning ville redusere kulde-

stresset og dermed redusere vinterdødeligheten hos Svalbardrein. Da deres pels isolerer så godt som den gjør, er det lite trolig at Svalbard-rein kan spare nevneverdig energi ved at omgivelsestemperaturen stiger med noen grader. Det er imidlertid vanskelig å gjøre slike forutsigelser, da en rekke andre forhold spiller inn.



Figur 2. Stoffskiftehastigheten til vekselvarme dyr (insekter) ved ulike temperaturer. Plottet til høyre har en logaritmisk skala for stoffskiftet.

Virknninger på vekselvarme dyr

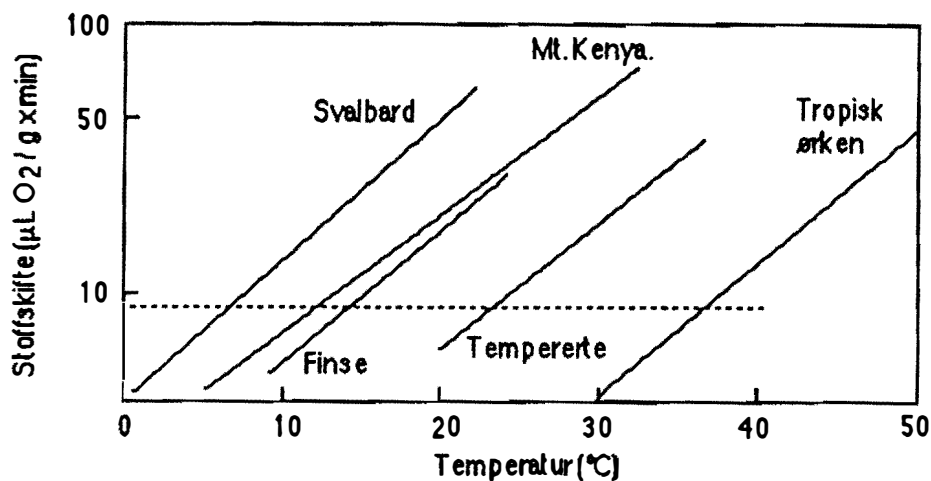
Hastigheten av kjemiske prosesser øker med temperaturen. Hastigheten av biokjemiske prosesser øker vesentlig raskere enn hastigheten av vanlige kjemiske prosesser. Hos vekselvarme dyr, som har samme temperatur som omgivelsene, vil hastigheten av stoffskiftet omtrent fordobles for hver ti graders temperaturøkning (Figur 2). Vekst og utvikling varierer på samme måte. Da alle disse prosesser er energikrevende, vil også dyrenes energiomsetning variere på denne måten. En temperaturstigning om vinteren kunne føre til at de bruker opp energilagrene før sommeren kommer.

Hvis man ser på dyra fra forskjellige klimaområder, viser det seg at stoffskiftet er avpasset etter omgivelsestemperaturen. Ved en og samme temperatur vil dyr fra varme tropiske ørkenar ha lavere stoffskifte enn dyr fra tempererte områder. Disse har igjen lavere stoffskifte enn dyr fra polarområdene (Figur 3). Det ser ut til at stoffskiftet hos vekselvarme dyr er justert slik at de har omtrent samme stoffskiftehastighet ved de temperaturene som hersker på deres levesteder.

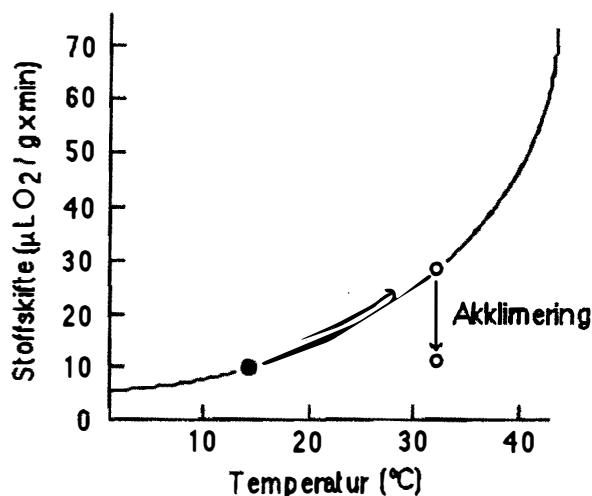
Mange har hevdet at biologiske prosesser i polarområdene går usedvanlig langsomt. Resultater både fra insekter, krepser og oljenedbrytende mikro-organismer viser at dette er ikke riktig.

Årsaken til den langsomme nedbrytningen f. eks. på Svalbard er at en rekke elementer som er viktige for nedbrytningen av biologisk materiale (åtsel-insekter, gjødselbiller) simpelthen mangler. Hva man ser på Svalbard er natur uten insektenes medvirkning, et konkret eksempel på at uten insektene stopper naturen.

Man kan ut fra dette tro at det er veldig enkelt å forutsi effekter av temperatur på dyrs stoffskifte og generelle biologiske forhold. Dette er nok ikke tilfellet. Dersom man overfører dyr tilpasset en bestemt temperatur til en annen temperatur, vil man riktignok få en endring i stoffskiftet slik som vist i Figur 2. Men hvis man lar dyrene oppholde seg ved den nye temperaturen i noen døgn, vil man se at stoffskiftet gradvis justeres inn mot verdien det hadde ved utgangstemperaturen (Figur 4.). De enkelte



Figur 3. Stoffskiftchastighet som funksjon av temperatur hos insekter fra forskjellige klimasoner.



Figur 4. Umiddelbar effekt på stoffskiftet ved overføring av dyr fra en temperatur til en annen (pil mot høyre) og effekt ved å la dyret venne seg (eller akklimeres) til den nye temperaturen (vertikal pil).

dyr har altså en evne til temperatur-akklimering, d.v.s. å justere sitt stoffskifte slik at det ligger på samme nivå ved ulike temperaturer.

Ikke alle vekselvarme dyr har denne evnen. Amerikanske forskere har vist at det eneste insektet i Antarktis mangler evnen til temperatur-akklimering av stoffskiftet. På dette punkt vet man imidlertid ikke noe om egenskapene til de økologisk viktige insektene på Svalbard.

Invertebrater som lever ved lave temperaturer viser også tilpasninger med hensyn på fett-typen, idet fett er blitt mer tyntflytende ved at fettsyrene har fått en lavere metningsgrad. Dette er viktig, både fordi

fettet er løsningsmiddel for en rekke enzymer og for å opprettholde organismenes bevegelse. Slike justeringer av fettsyresammensetningen sees både når man sammenligner arter som lever ved ulike temperaturer, og når individer overføres fra en temperatur til en annen.

Sammenlignet med Antarktis har Arktis en meget artsrik fauna av landlevende invertebrater, bl.a. en rekke arter av jordbunnsorganismer, som spiller en viktig økologisk rolle. Paradoksalt nok er de fysiologiske forhold hos de arktiske artene langt mindre kjent enn hos artene i Antarktis. Mer inngående undersøkelser av arktiske arter er påkrevet for å vurdere konsekvenser av klimaendringer.

KLIMAETS INNVIRKNING PÅ MARINE RESSURSER

av

Harald Loeng
Havforskningsinstituttet
Postboks 1870, 5024 BERGEN

Det er strømmen av Atlanterhavsvann som er livsnerven i Barentshavet. Varmemengden som transporteres av denne strømmen er lik produktet av vannmengde og temperatur. Fra et år til et annet eller over lengre perioder er det store variasjoner i den varmemengden som transporteres inn i Barentshavet og dette har stor betydning for klimaet og for de marine ressursene som lever der.

Hele den sørlige delen av Barentshavet er dekket av varme vannmasser (Fig. 1), mens den nordlige delen er dekket av kalde Arktiske vannmasser med temperatur under 0°C . Skillet mellom de varme og kalde vannmassene kalles Polarfronten og dens posisjon avhenger sterkt av den varmemengde som transporteres inn i Barentshavet, spesielt i den østlige delen. Den maksimale utbredelsen av is om vinteren følger omtrent Polarfrontens posisjon, slik at i kalde år er langt større deler av havet islagt enn i varme år. Temperaturvariasjonen måles i faste snitt som krysser Atlanterhavsstrømmen (Fig. 1). Således overvåkes klimasvingningene i hele havet, og i de østlige deler av havet kan temperatursvingningene være ca 3°C mellom kalde og varme år (Fig. 2). Dette har store konsekvenser for ressurser som lever i yttergrensen av hva de kan tolerere.

I de siste 10 årene har det vært forsket mye på klimaets betydning for rekruttering, vekst og fordeling av flere kommersielt viktige fiskearter som torsk, hyse, sild og lodde. Tabell 1 viser forekomsten av svake, middels og sterke årsklasser av torsk i kalde og varme år i Barentshavet over en 80-års periode.

Tabell 1. Prosentvis forekomster av svake, middels og sterke årsklasser av torsk i kalde og varme år.

	Svak	Middels	Sterk
Kalde år	35 %	7 %	1 %
Varme år	31 %	14 %	12 %

De svake årsklassene opptrer noenlunde like ofte i kalde og varme år, og er klart hyppigst forekommende. De middels sterke årsklassene forekommer omtrent dobbelt så ofte i varme som i kalde år, mens sterke årsklasser forekommer 10 ganger så ofte. Når man vet at en sterk

årsklasse er 10 ganger så stor som en svak, skjønner man straks at produksjonsmengden er betdelig større i varme enn i kalde år. Undersøkelser fra gytefeltene for torsk i Vestfjorden viser at en høy temperatur på gytefeltet er en nødvendig betingelse for en sterk årsklasse, men ikke tilstrekkelig. Det betyr at miljøforholdene må ligge til rette både på gytefelt og oppvekstområde for at årsklassen skal bli sterk.

Hvis det er slik at omgivelsene favoriserer høy overlevelsesgrad hos larver i forbindelse med temperaturforholdene i Atlanterhavsstrømmen, så må fenomenet være av stor skala både i tid og rom. Da bør også andre fiskeslag i samme økosystem reprodusere på samme måte. Dette viser seg å være tilfelle ved at sterke årsklasser av torsk, hyse og sild forekommer samtidig, til tross for at de har forskjellig gyteområde. Dette gir grunnlag for å konkludere at sterke årsklasser i stor grad synes å avhenge av de fysiske miljøforhold, og at de direkte eller indirekte er relatert til økt varmetransport i Atlanterhavsstrømmen.

Allerede tidlig i dette århundret registrerte man at temperaturen i havet hadde innflytelse på hvor fisket etter torsk foregikk. I varme år foregikk vårfisket etter torsk i Øst-Finmark, mens det i kalde år var best fiske i Vest-Finmark. Undersøkelser i de senere år har tydelig vist at torsken er mer vestlig fordelt i Barentshavet i kalde enn i varme år. Samtidig er det vist at den yngste fisken har en lavere omgivelsestemperatur enn eldre fisk. Det betyr at den eldste fisken står lengst sør og vest og således nærmest gyteområdet.

De samme trekk finner man hos lodde. Fig. 3 illustrerer hvordan lodda har en mer nordlig og østlig fordeling i varme enn i kalde år. Vandringsmønsteret, både for beiting og gyting er også forskjellig. I motsetning til torsken så har lodda et varierende gyteområde. I varme år gyter den fra Finmarkkysten og østover langs Murmankysten, men i kalde år foregår gytingen fra Varangerfjorden og vestover, faktisk til kysten av Sør-Troms. Hvordan dette influerer årsklassenes styrke vet man imidlertid ingenting om.

Også hvalen lar seg påvirke av klimaet. Det kan tydelig registreres ut fra hvordan fangstområdene varierer fra kalde til varme perioder, men i motsetning til hos fisken har hvalen en lengre responstid. Det må lengre perioder med varme eller kalde år til før man kan registrere endringene.

Fiskens vekst er også tildels temperaturavhengig. Undersøkelser både på torsk og lodde indikerer en større vekst når omgivelsestemperaturen er høy, enn når temperaturen er lav. Ser man på torsk av samme alder, så finner man alltid den største lengst sør og vest i Barentshavet,

dvs der hvor temperaturen er høyest. Imidlertid er ikke bildet helt entydig, noe som indikerer at andre faktorer også er viktige.

Sammenhengen mellom omgivelsene og populasjonsparametre som fordeling, mengde, vekst og modning er neppe så enkel som f.eks en temperatur-vekst sammenheng kan tyde på. Klimaet påvirker også tilgjengeligheten av mat, og dette kan være like viktig som den direkte effekten. Transporten av dyreplankton inn i Barentshavet fra Norskehavet er en faktor som avhenger av vanntransporten. I slike tilfeller vil temperaturen være en indikator og ikke den direkte årsak.

Variasjoner i innstrømmingen av Atlanterhavsvann påvirker Polarfrontens beliggenhet og isens utbredelse om vinteren. Dette influerer på produksjon av både plante- og dyreplankton, og i kalde år vil mattilbudet for planktonspisende fisk (lodde, sild) være mindre enn i varme år. På samme måte er reproduksjonen av dyreplankton i de områder fiskelarvene befinner seg av stor betydning for årsklassenes styrke, og igjen vil temperaturen være en indirekte årsak til gode årsklasser.

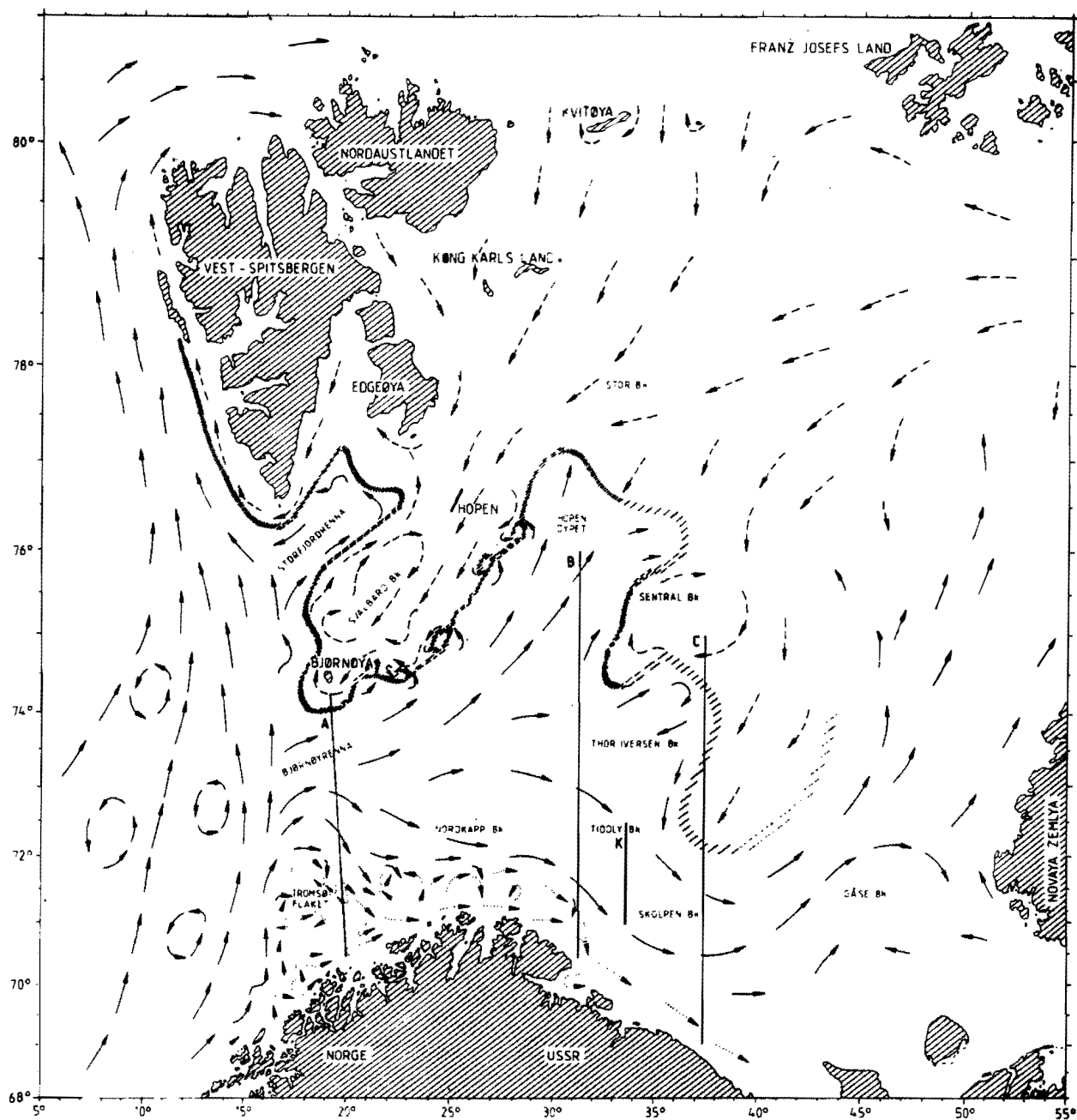


Fig. 1. Overflatestrømmene i Barentshavet.

Atanterhavsvann (heltrukne piler),

Arktisk vann (stiplete piler),

Kystvann (prikkete piler).

Den skraverte kurven angir midlere posisjon av Polarfronten.

De faste snittene i Barentshavet er inntegnet.

A: Fugløya - Bjørnøya

B: Vardø - Nord

C: Semøyene - Nord

K: Kola-snittet (tas av PINRO, Murmansk)

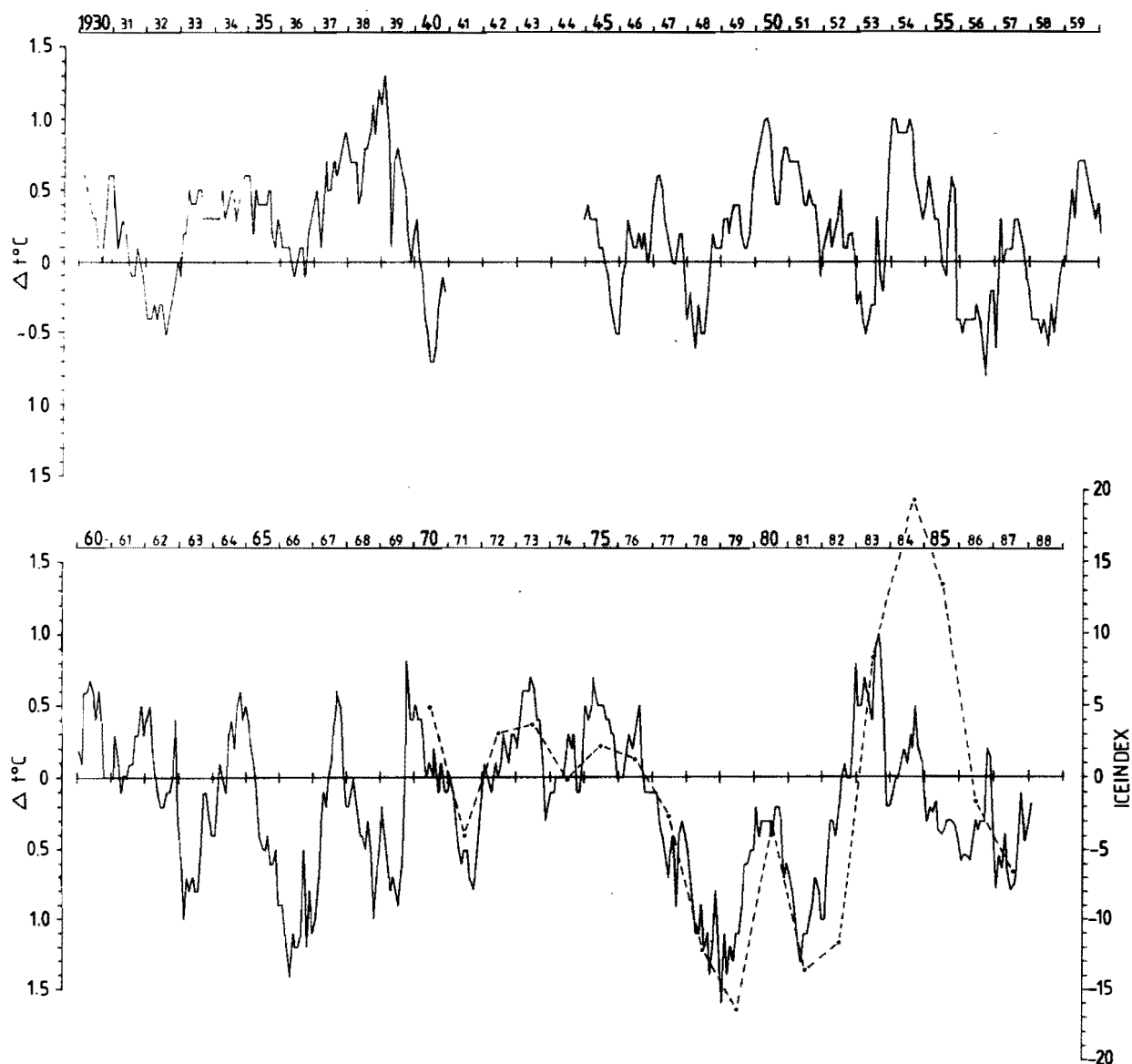


Fig. 2. Temperaturanomalier i Kolasnittet (heltukken linje) Middelt-temperaturen varierer mellom $2,9^{\circ}\text{C}$ (april) og $4,9^{\circ}\text{C}$ (september). Den stiplete kurven viser en isindeks for Barentshavet.

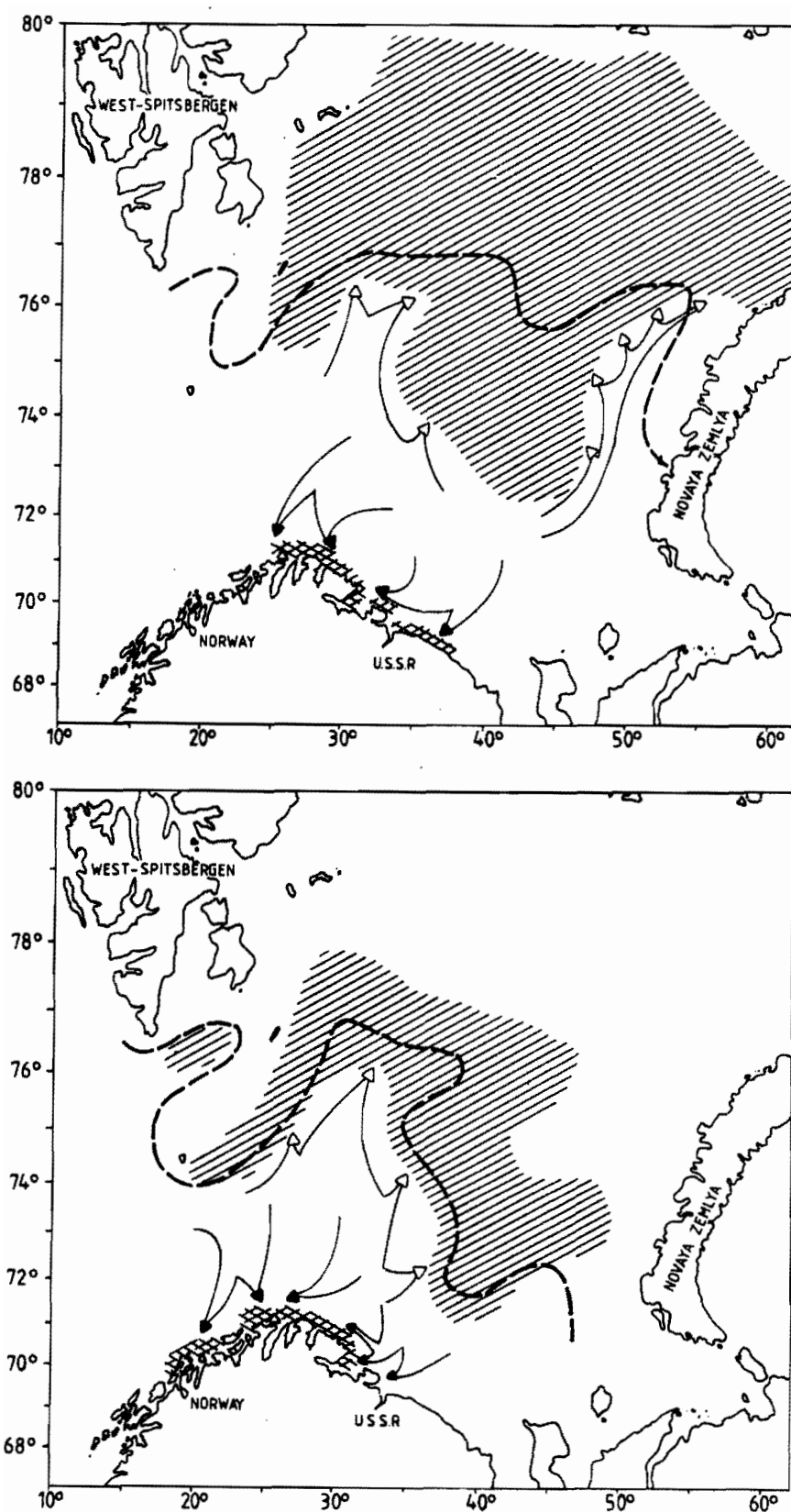


Fig. 3. Beiteoråde (skravert) og gyteområde (dobbelskravert) for lodde i varme år (øverst) og kalde år. Åpne piler indikerer beitevandring, mens piler med svart hode indikerer gytevandring. Den stiplede kurven viser tilnærmet posisjon av 0°C-isotermen i 100m.

RELEVANT LITTERATUR

- BJØRKE, H. and SUNDBY, S. 1986. Abundance indices for the Arcto-Norwegian cod for the period 1979-1986 based on investigations in June/July. Coun. Meet. int. Coun. Explor. Sea (G 75): 1-12.
- BOCHKOV, Yu.A. 1982. Water temperature in the 0-200 m layer on the Kola-Meridian in the Barents Sea, 1900-1981. Sbornik naucnykh trudov PINRO, 46: 113-122 (in Russian).
- DRAGESUND, O. 1971. Comparative analysis of yearclass strength among fish stocks in the North Atlantic. Fisk. dir. Skr. Ser. HavUnders., 16: 49-64.
- ELLERTSEN, B., FOSSUM, P., SOLEMDAL, P., SUNDBY, S. and TILSETH, S. 1987. The effect of biological and physical factors on the survival of Arcto-Norwegian cod and the influence on recruitment variability. pp. 101-126 in Loeng, H. (ed.) The effect of oceanographic conditions on distribution and population dynamics of commercial fish stocks in the Barents Sea. Proceedings of the third Soviet-Norwegian Symposium, Murmansk 26-28 May 1984. Institute of Marine Research, Bergen.
- GJØSATER, H. and LOENG, H. 1987. Growth of the Barents Sea capelin, Mallotus villosus, in relation to climate. Environmental Biology of Fishes 20(4): 293-300.
- HYLEN, A., MIDTTUN, L. and SÆTERS DAL, G. 1961. Torskeundersøkelsene i Lofoten og Barentshavet 1960. Fiskets Gang, 47: 101-114. (In Norwegian)
- LOENG, H. 1981. On the northerly distribution of capelin and temperature conditions in the Barents sea in autumn. Fisken Hav., 1981 (1): 1-10 (in Norwegian with English abstract).
- LOENG, H. 1988. The influence of climate on biological conditions in the Barents Sea. Northwest Atlantic Fisheries Organization SCR Doc. 88/83: 1-19.
- LOENG, H., NAKKEN, O. and RAKNES, A. 1983. The distribution of capelin in the Barents Sea in relation to the water temperature in the period 1974-1982. Fisken Hav., 1983(1): 1-17 (in Norwegian with English abstract).
- LOENG, H., REY, F. and SKJOLDAL, H.R. 1987. Physical and biological oceanographic features across the polar front in the western Barents Sea. Contribution to the 22nd European marine biology symposium 17-22 August 1987, Barcelona, Spain.
- MIDTTUN, L., NAKKEN, O. and RAKNES, A. 1981. Variations in the geographical distribution of cod in the Barents Sea in the period 1977-1981. Fisken Hav., 1981(4): 1-16 (In Norwegian with English abstract).

- NAKKEN, O. and RAKNES, A. 1987. The distribution and growth of Northeast Arctic cod in relation to bottom temperatures in the Barents Sea, 1978-1984. Fish. Res., 5: 243-252.
- OZHIGIN, V.K. and LUKA, G.I. 1985. Some peculiarities of capelin migrations depending on thermal conditions in the Barents Sea. pp. 135-147 in Gjøsæter, H. (ed.) The Proceedings of the Soviet-Norwegian Symposium on the Barents Sea Capelin. Institute of Marine Research, Bergen.
- OZHIGIN, V.K. and USHAKOV, N.G. 1985. The effect of the thermal conditions of the sea and atmospheric circulation on the distribution of the Barents Sea capelin feeding areas. pp. 149-156 in Gjøsæter, H. (ed.) The Proceedings of the Soviet-Norwegian Symposium on the Barents Sea Capelin. Institute of marine Research, Bergen.
- REY, F., SKJOLDAL, H.R. and SLAGSTAD, D. 1987. Primary production in relation to climatic changes in the Barents Sea. pp. 29-46 in Loeng, H. (ed.) The effect of oceanographic conditions on distribution and population dynamics of commercial fish stocks in the Barents sea. Proceeding of the third Soviet-Norwegian Symposium, Murmansk 26-28 May 1986. Institute of Marine Research, Bergen.
- SKJOLDAL, H.R., HASSEL, A., REY, F. and LOENG, H. 1987. Spring phytoplankton development and zooplankton reproduction in the central Barents sea in the period 1979-1984. pp. 59-89 in Loeng, H. (ed.) The effect of oceanographic conditions on distribution and population dynamics of commercial fish stocks in the Barents Sea. Proceedings of the third Soviet-Norwegian Symposium, Murmansk 26-28 May 1986. Institute of Marine Research, Bergen.
- SÆTERSDAL, G. and LOENG, H. 1987. Ecological adaption of reproduction in North-east Arctic cod. Fish. Res., 5: 253-270.

Nedgang i sjøfuglbestanden- et resultat av klimaendringer?

Wim Vader & Rob Barrett

- 1) Tromsø Museum, Univ. i Tromsø, 9000 Tromsø
- 2) NINA Tromsø, Tromsø Museum, Univ. i Tromsø, 9000 Tromsø

Foredraget idag er om 'oppgitt emne'. Vi har tolket det slik at vi skal ta for oss sjøfuglkrisene i norske farvann i de siste 20-30 år, ettersom det er de eneste noenlunde pålitelige tall vi har om antallene hekkende sjøfugl. Når det dreier seg om sjøfugl på havet, har vi kun tall fra de siste 5 år.

Tidligere data om sjøfugl i Norge er enten av typen 'Vi kom til fuglefjellet og luften var fylt av millioner og atter millioner av krykkjer og alkefugler' i eldre reisebeskrivelser, eller av typen 'Før i tida, da jeg var ung, da var det mange flere ærfugl, og mange færre måser' hos eldre folk som har en tendens til å idealisere tilstandene i sin ungdom. Litt mer kvantitative er økonomiske data fra kirkebøker, skatteprotokoller o.l. om egg-, dun- og fjærsalg fra bestemte distrikter (se f.eks. Bratrein 1982), men også de har vist seg vanskelig å tolke.

De første skikkelige tellinger av hekkende sjøfugl ble gjennomført av Einar Brun i 1960- og 1970-årene (cf. Brun 1979), og av prof. Beat Tschanz på Røst (Tschanz & Barth 1978). Siden da har kunnskapsnivået økt hurtig, delvis takket være inventeringer i.f.m. verneplansarbeid, delvis p.g.a. økende kunnskapsbehov på grunn av offshorevirksomhet (se f.eks. Barrett & Vader 1984, Nygaard & Røv 1984, Røv 1984, Follestad et al. 1986, Strann & Vader 1986, 1987).

Med så korte dataserier er det naturligvis uråd å si mye fornuftig om sammenhenger med eventuelle klimaendringer. Men vårt foreløpige svar på tittelspørsmålet vil bli: Ja, det har vært klar nedgang i hekkebestandene især av noen fiskespisende sjøfuglarter i Norge, og nei, vi tror ikke at dette er et direkte resultat av klimaendringer.

Zoogeografi og klima

Det sier seg selv at Norges fauna, også dets sjøfuglfauna, er et resultat av klima, innvandringshistorie pluss menneskelig påvirkning. Innvandringshistorien bestemmer hvilke arter som har hatt anledning til å nå vårt land. Det er f.eks. hovedårsaken til at vi ikke har pinguiner eller slirenebber blant våre sjøfugler. På den annen side er det sikkert klimatiske grunner til, enten direkte eller indirekte, at arktiske arter som polarmåse, ismåse og alkekonge ikke hekker i Norge. Vanligvis er sammenhengen nokså innfløkt og ofte også dårlig kjent. Som eksempel kan jeg nevne artsparet lomvi Uria aalge og polarlomvi Uria lomvia, store fiskespisende alkefugler med en komplementær, men overlappende

utbredelse i de nordlige boreale og arktiske kystområdene

Begge artene lever hovedsaklig av pelagisk stimfisk, som sild, sil og lodde, men polarlomvi er, som så mange arktiske fuglearter, noe mindre spesialisert og derfor bedre istand til å livnære seg på krepsdyr og bunnfisk i krisesituasjoner (Spring 1971, Vader et al. 1989b). På den annen side ser det ut til at der hvor de to artene kommer i direkte konkurranse med hverandre om hekkeplasser eller om maten, er den litt større lomvi vanligvis polarlomvien overlegen (Birkhead & Nettleship 1987, Erikstad & Vader 1989). Det kan derfor tenkes at nordgrensen av lomviens hekkeområder er bestemt av tilgangen på tilstrekkelig pelagisk stimfisk i rimelig nærhet av koloniene i hekketida (Noe som i og for seg kan være klima-avhengig, cf. Loeng 1989), mens sørgrensen på polarlomviens hekkeområder stortsett blir bestemt av konkurranse med lomvi om de gunstigste hekkeplassene.

Menneskenes innflytelse, direkte eller indirekte, er i de fleste tilfellene av avgjørende betydning for endringene i dyrenes utbredelse eller bestandstetthet (se Semb-Johannson 1988, for flere eksempler). Direkte effekter på sjøfugl er jakt og eggsanking, forstyrrelse på hekkeplassene og ev. drukning i fiskegarn. Indirekte effekter er overfiske av sjøfuglenes næringskonkurrenter eller byttedyr, muligheten til å profitere av spill fra fiskebåter og fiskebruk, og dødelighet på grunn av miljøgifter og oljespill.

Nedgang i sjøfuglbestandene i Norge

Alt tyder på at de fleste sjøfuglbestandene i Norge har vært i økning i første halvdel av dette århundrede, selv om kvantitativ dokumentasjon dessverre stortsett mangler. Grunnene er flere, men de viktigste antas å være at den direkte beskatningen har avtatt (delvis p.g.a. fredninger, delvis fordi bruk av sjøfugl som vinternæring praktisk talt har opphørt), at sjøfuglene gjør seg nytte av mat som blir gjort tilgjengelig via våre ressursløsende moderne fiskemetoder, og at de store fiskeartene (som f.eks. torskefiskene) som er de naturlige næringskonkurrentene til våre fiske-spisende sjøfuglarter, er gjenstand for en intenst fiske-beskatning.

Etter at sjøfugltellingene startet i 1960-årene, har bildet blitt mer broket, og nå opplever vi klar bestandsnedgang for noen av de best undersøkte artene, f.eks. lunde og lomvi. Vi frykter også en lignende bestandsutvikling for en del andre arter hvor vi ikke har skikkelig tallmateriale, som f.eks. alke og rødnebbterne. En av grunnene til nedgangen er at fisket nå ikke lengre er konsentrert om sjøfuglenes næringskonkurrenter, men i høy grad også direkte etterstreber deres byttedyr, som sild, lodde, sil og brisling. Man regner med at dette på sikt må føre til nedgang i sjøfuglbestandene (Furness 1982, 1984).

I Norge har lundebestanden i de best undersøkte fuglefjellene, på Hernyken i Røst, gått stadig nedover de senere årene, som dokumentert av Anker-Nilssen og Røstad (1989) (Fig. 1). Lomvibestanden på Røst og i Troms og Vest-Finnmark har også minket stadig siden 1960-årene, mens nedgangen i Øst-Finnmark og på Bjørnøya er av nyere dato, etter 1985 (Bakken 1989, Vader et al. 1989 a,b) (Fig. 2).

Røst ligger ytterst i Lofoten, på et sted hvor kyststrømmen pleide å føre de enorme mengder av silde-larver forbi, og disse utgjorde uten tvil den viktigste næringen for sjøfuglene (Myrberget 1962). Etter kollapsen i den atlanto-skandiske sildestammen i 1969, har både lunde og lomvi i dette området hatt utilstrekkelig næring i hekketida, med som resultat mislykkete hekkesesonger og bestandsnedgang (Anker-Nilssen 1987, Bakken 1989, Barrett et al. 1987, Lid 1981). Når det gjelder lomvi, kan drukning i fiskegarn også ha spillet en viktig rolle. Nyere undersøkelser (Strann et al. 1989) har vist at spesielt laksedrivgarn har tatt tusenvis av lomvi i hekkesesongen i Nordland, Troms og Vest-Finnmark, og sannsynligvis må dette anses som den viktigste årsaken til bestandsnedgangen hos lomvi i perioden 1965-1985 (Fig.). 4

I 1986 kollapset loddebestanden i Barentshavet. Dette skapte en katastrofe især for lomvia, som jo er spesialisert på pelagisk stimfisk. Tusenvis av lomvi døde vinteren 1986-87, og antallene på koloniene på Finnmarkskysten og på Bjørnøya gikk ned med fra 75-90% fra 1985 til 1987. I 1988 har bildet heldigvis vært gunstigere; fuglene fant nok mat til ungene, og antallene hekkende fugler gikk de fleste steder betraktelig opp. Tydeligvis hadde mange voksne lomvi overlevd de magre årene, men ikke forsøkt å hekke en gang i 1986-1987.

Det kan diskuteres, hvorvidt klimaendringer har vært med på å forårsake kollapsen i stimfiskebestandene, ved siden av overfiske (Hamre 1988, Røttingen 1989). Det synes sannsynlig at slike kollaps har forekommet med uregelmessige mellomrom gjennom århundrene på norskekysten, og at våre sjøfuglbestander dermed stadig har vært i oppgang eller nedgang, selv når vi ser bort fra direkte menneskelig påvirkning.

Summary

Are the recent decreases in seabird numbers in Norway a result of climatic changes?

Quantitative data on numbers of breeding seabirds in Norway only exist for the last 25 years. During this period there have been clear population decreases for some fish-eating seabirds, especially the Atlantic Puffin and the Common Guillemot. These decreases are the result of collapses in the stocks of important herring and capelin stocks in the area, aggravated (especially for the guillemots) by drowning in fishing gear. They are not thought to have been directly caused by climatic changes..

Referanser

- Anker-Nilssen, T., 1987. The breeding performance of Puffins Fratercula arctica on Røst, northern Norway in 1979-1985. ---- Fauna norv. Ser. C, Cinclus 10, 21-38.
- Anker-Nilssen, T. & O.W. Røstad, ms. Census and monitoring of the Puffin Fratercula arctica population on Hernyken, Røst, northern Norway.
- Bakken, V., 1989. ---- Fauna norv. Ser. C, Cinclus, 12, in press.
- Barrett, R.T., T. Anker-Nilssen, F. Rikardsen, K. Valde & W. Vader, 1987. The food, growth and fledging success of Norwegian Puffin chicks Fratercula arctica in 1980-1983. ---- Ornith. Scand. 18, 73-83.
- Barrett, R.T. & W. Vader, 1984. The status and conservation of breeding seabirds in Norway. ---- ICBP techn. Publ. 2, 323-333.
- Birkhead, T.R. & D.N. Nettleship, 1987. Ecological relationships between Common Murres, Uria aalge, and Thick-billed Murres, Uria lomvia, at the Gannet Islands, Labrador. 2. Breeding success and site characteristics. ---- Can. J. Zool. 65, 1630-1637.
- Bratberg, E. (ed.), 1988. Ressursoversikt for 1988 og miljørapport for 1986 og 1987. ---- Fisker og Havet 1988, Særnummer 1, 1-105.
- Bratberg, E. (ed.), 1989. Ressursoversikt for 1989 og miljørapport for 1988. ---- Fisker og Havet 1989, Særnummer 1, 1-99.
- Bratrein, H.D., 1982. Fra spisskammers til turist attraksjon. Økonomisk utnyttning av fuglefjellet på Sør-Fugløy i Helgøy. ---- Arb. norsk Skogsbruk Mus. 9, 217-259.
- Brun, E., 1979. Present status and trends in populations of seabirds in Norway. ---- US Fish Wildl. Serv. Res. Rep. 11, 289-301.
- Erikstad, K.S. & W. Vader, 1989. Capelin selection by Common and Brunnich's Guillemots during the prelaying season. ---- Ornith. Scand. 20, in press.
- Follestad, A., B.H. Larsen & T. Nygård, 1986. Sjøfuglundersøkelser langs kysten av Sør- og Nord-Trøndelag og sørlige deler av Nordland. ---- Viltrapp. 41, 1-113.
- Furness, R.W., 1982. Competition between fisheries and seabird communities. ---- Adv. mar. Biol. 20, 225-307.
- Furness, R.W., 1984. Seabird-fisheries relationships in the northeast Atlantic and North Sea. Pp. 162-169 in D.N. Nettleship, G.A. Sanger & P.F. Springer (ed.). Marine birds: their feeding ecology and commercial fisheries relationships. ---- Can. Wildl. Serv. spec. Publ., Ottawa.
- Hamre, J., 1988. Some aspects of the interrelation between the herring in the Norwegian Sea and the stocks of capelin and cod in the Barents Sea. ---- ICES/C.M. 1988/H.42, 14 pp.
- Lid, G., 1981. Reproduction of the Puffin on Røst in the Lofoten Islands in 1964-1980. ---- Fauna norv. Ser. C, Cinclus 4, 30-39.
- Loeng, H., 1989. Klimaets innvirkning på marine ressurser. Dette symposium.

- Myrberget, S., 1962. Undersøkelser over forplantingsbiologien til Lunde Fratercula arctica (L.). Egg, ruging og unger. Meddl. Statens Viltunders., Ser. 2, 11, 1-51.
- Nygård, T. & N.Røv, 1984. Sjøfuglundersøkelser på Nordlandskysten 1982-1983, 'Trænabanken-prosjektet'. ---- Viltrapp. 28, 1-165.
- Røttingen, I., 1989. Changes in the distribution and abundance of Norwegian spring spawning herring and Barents Sea capelin. In K.E.Erikstad, R.Barrett & F. Mehlum (eds.). What determines the distribution of seabirds at sea? ---- Polar Res., Suppl., in press.
- Røv, N. (ed.), 1984. Sjøfuglprosjektet 1979-1984. ---- Viltrapp. 35, 1-109.
- Semb-Johannson, A., 1988. Endringer i dyrelivet i vår tid. ---- Fauna, Oslo 41, 73-90, 109-132.
- Spring, L., 1971. A comparison of functional and morphological adaptations in the Common Murre Uria aalge and Thick-billed Murre U. lomvia. ---- The Condor 73, 1-27.
- Strann, K-B & W.Vader, 1986. Registrering av hekkende sjøfugl i Troms og Vest-Finnmark 1981-1986. ---- Tromsura Naturvitensk. 55, 1-103.
- Strann, K-B & W.Vader, 1987. Registrering av sjøfugl i Barentshavet Syd. AKUP 1985-1988. ---- Tromsura Naturvitensk. 63, 1-47.
- Strann, K-B., W.Vader & R.T.Barrett, ms. Auk mortality in fishing gear in North Norway.
- Tschanz, B. & E.K. Barth, 1978. Svingninger i lomvibestanden på Vedøy på Røst. ---- Fauna, Oslo 31, 205-219.
- Vader. W., T. Anker-Nilssen, V.Bakken, R.T. Barrett & K-B. Strann, 1989a. Regional and temporal differences in breeding success of fish-eating seabirds in Norway after collapses of herring and capelin stocks. ---- Foredrag IUGB Kongress Trondheim, Sept.1989.
- Vader, W., R.T. Barrett, K.E.Erikstad & K-B. Strann,1989b. Differential responses of Common and Thick Murres Uria spp. to a crash-billed in the Capelin stock in the southern Barents Sea. ---- Studies Avian Biol., in press.

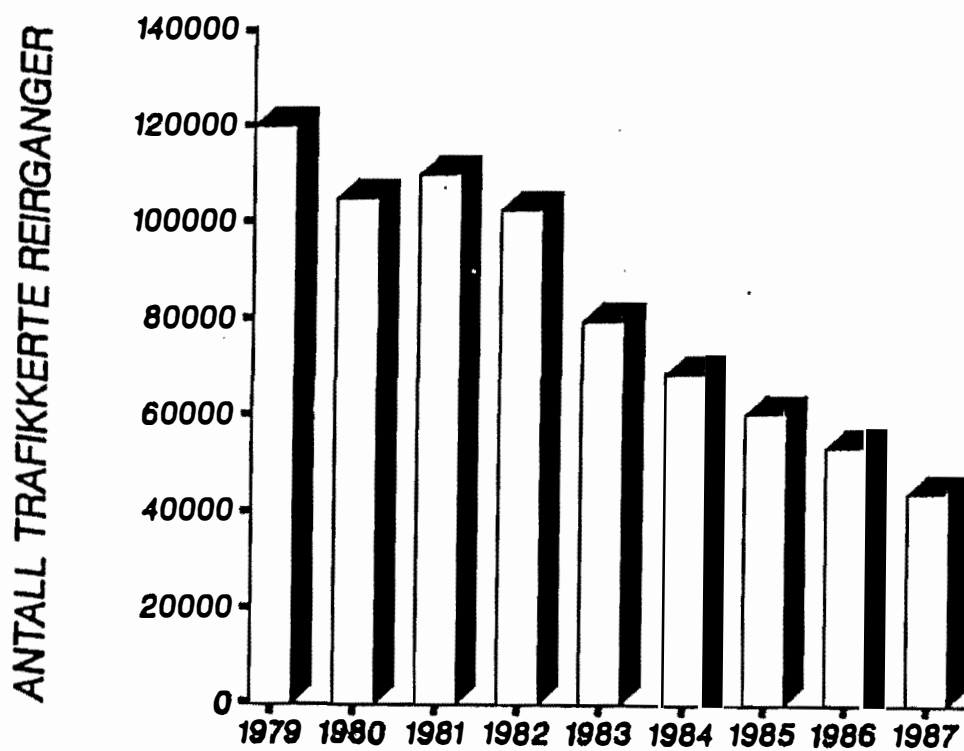


Fig. 1

Utviklingen i hekkebestanden av lunde Fratercula arstica på Hernyken (Røst) i perioden 1979-1987 (etter Anker-Nilssen & Røstad 1989).

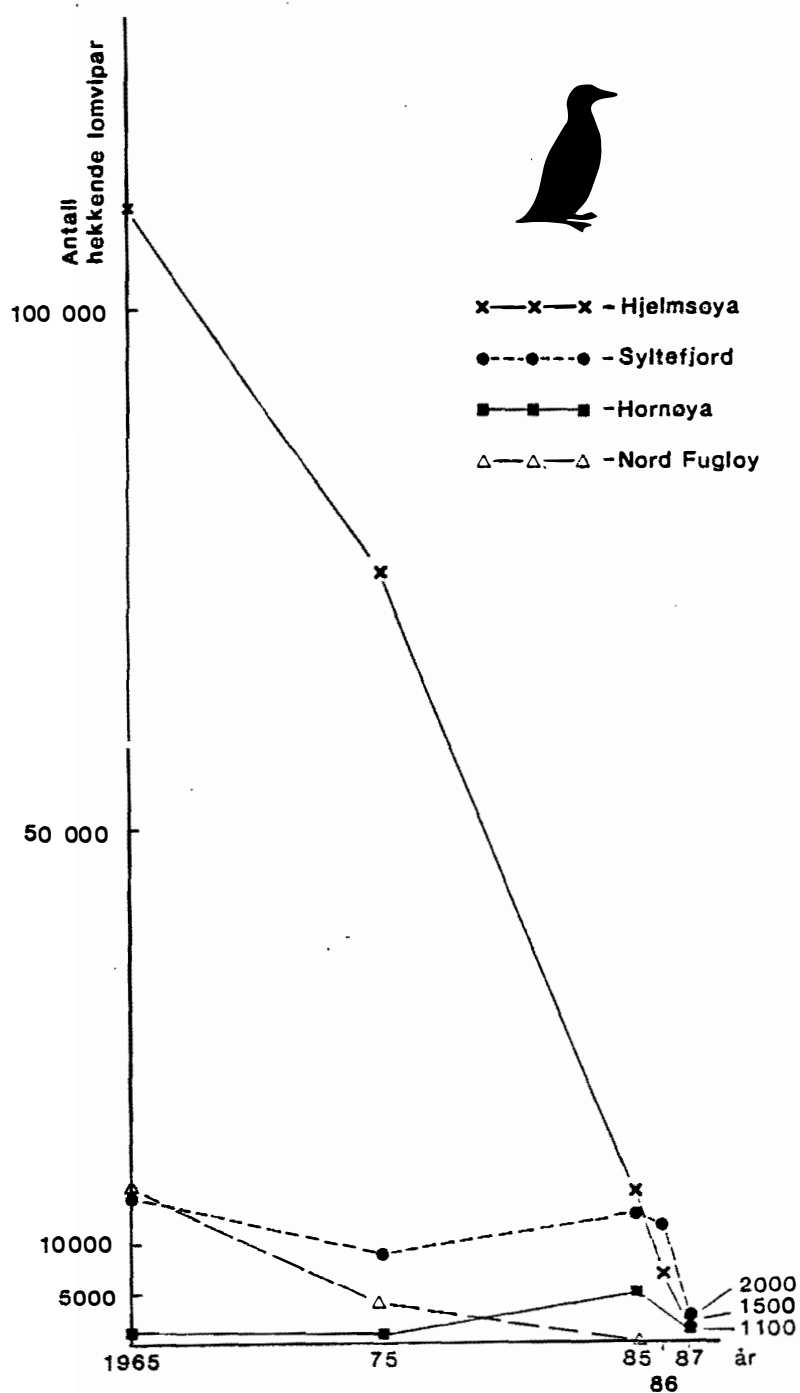


Fig. 2

Utvikling i hekkebestanden av lomvi Uria lomvia i noen kolonier i Troms (Nord Fugløy), Vest Finnmark (Hjelmsoya), og Øst-Finnmark (Syltefjord og Hornøya) i perioden 1965-1987 (etter Vader et al. 1989b)

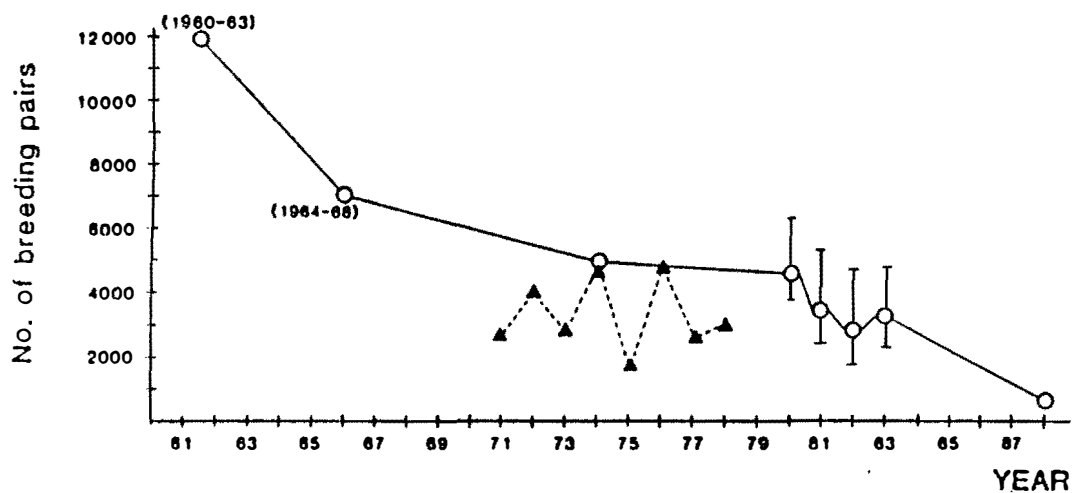


Fig. 3 Utvikling i hekkebestanden av lomvi på Røst i perioden 1960-1988 (etter Bakken 1989).

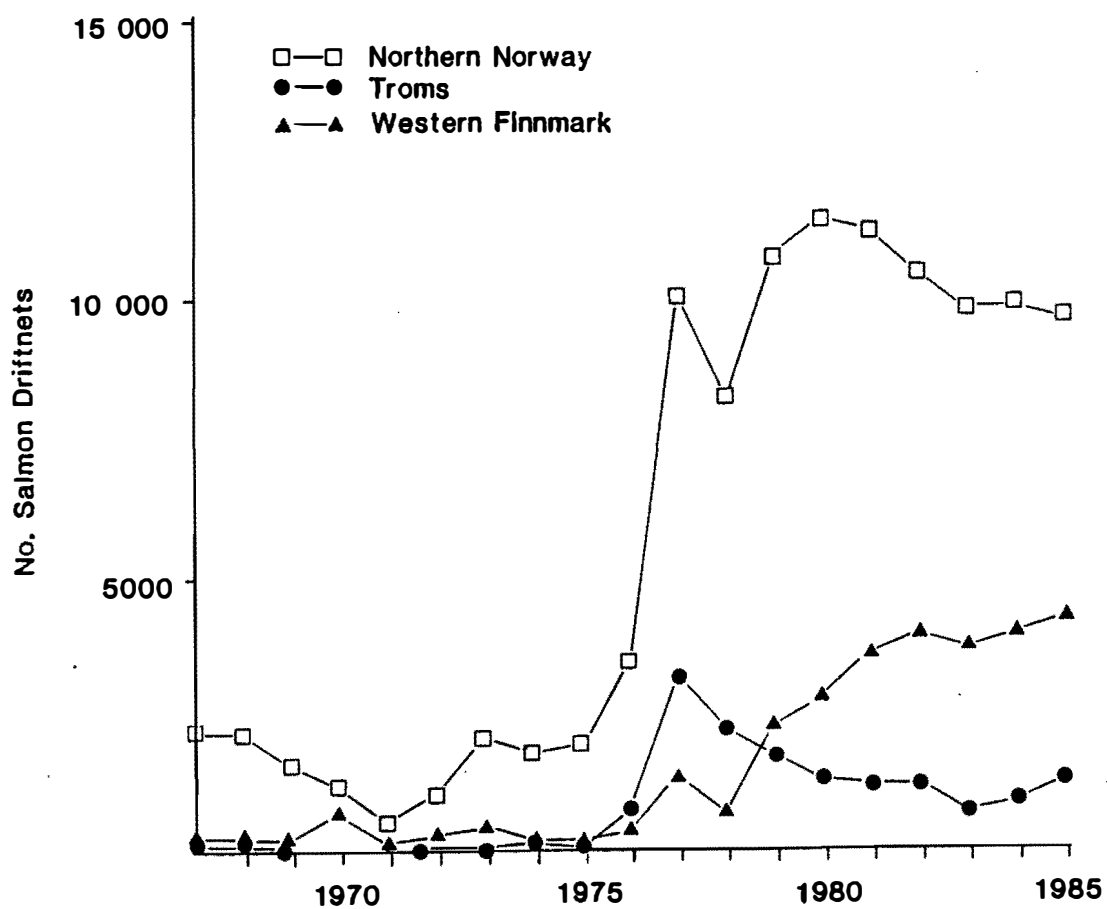


Fig. 4 Antall drivgarn for laks i N.Norge i perioden 1967-1985 (etter Strann et al., ms).

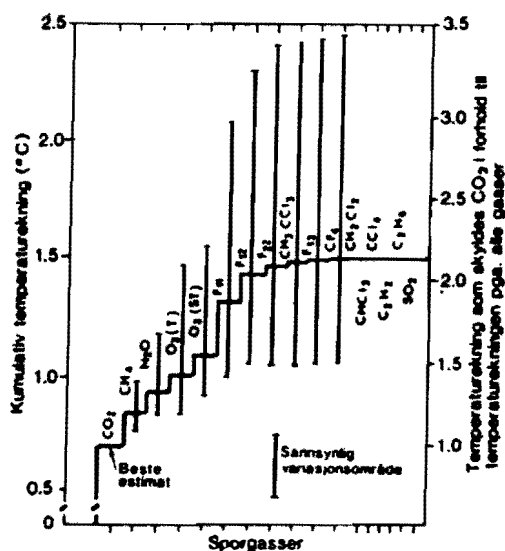
ENDRINGER AV DRIVHUSGASSENE

Øystein Hov, Norsk institutt for luftforskning,
Postboks 64, 2001 Lillestrøm

Sammendrag av foredrag holdt ved internasjonalt symposium "Hva skjer med klimaet i polarområdene?", Scandic Hotel, Høvik 25.-26.4.1989

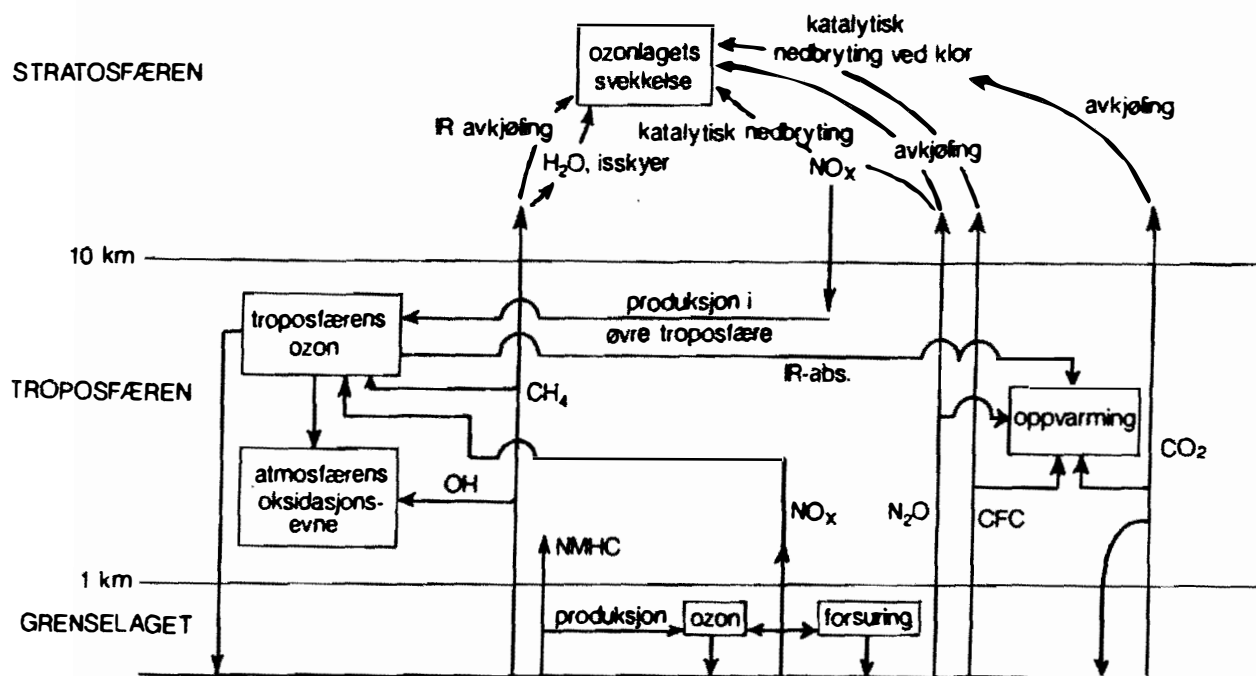
- 1 Jordens temperatur og klima bestemmes av atmosfærens innhold av gasser som absorberer og sender ut varmestråling fra jorda (vanndamp (H_2O), karbondioksid (CO_2), metan (CH_4), lystgass (N_2O), ozon (O_3), klorfluorkarboner (freon-11 og freon-12)).
- 2 Atmosfærens kjemiske sammensetning er i rask endring fordi menneskelig aktivitet interfererer med de naturlige, geokjemiske kretsløp av drivhusgasser. Konsentrasjonen av CO_2 øker med ca. 0,3%/år, CH_4 ca. 1,0%/år og N_2O ca. 0,3%/år. Dessuten slippes det ut syntetiske gasser som F-11 og F-12, som effektivt absorberer varmestråling. F-11 og F-12 øker med ca. 5%/år i atmosfæren.
- 3 Konsentrasjonsendringene er så store og skjer så fort at rundt år 2050 kan atmosfærens innhold av drivhusgasser være fordoblet i forhold til førindustriell tid. Dette kan gi opphav til en oppvarming på 1,5-4,5°C globalt når atmosfære og hav har innstilt seg i en ny likevekt svarende til det økte innhold av drivhusgasser i atmosfæren. Kanskje bare halve temperaturøkningen vil la seg spore i atmosfæriske temperaturmålinger i år 2050 pga. tregheten i atmosfære-hav-systemet. (Havet har en lang responstid på oppvarming.)
- 4 CO_2 vil være ansvarlig for ca. 50% av oppvarmingen, 25% vil skyldes klorfluorkarboner og resten skyldes metan, lystgass og ozonøkning.
- 5 Historiske analogier til en situasjon med en global middeltemperatur på 1°C over dagens, finnes for 5000-8000 år siden, mens 5°C høyere middeltemperatur må en 40-70 millioner år tilbake for å finne.

- 6 Økningen i atmosfærisk CO_2 tilskrives bruken av fossilt brennstoff. I de siste hundreår før den industrielle revolusjon var CO_2 -innholdet i atmosfæren nær konstant (ca. 280-290 ppm).
- 7 F-11 og F-12 er i sin helhet menneskeskapte produkter. Nå regulert gjennom Montreal-protokollen.
- 8 Økningen i metan skyldes trolig økning i omfanget av jordbruk og naturgassbruk.
- 9 Økningen i ozonmengdene i troposfæren (0-12 km) skyldes trolig økningen i forurensningsutslippene av nitrogenoksider. Metanøkningen gir også opphav til økte ozonkonsentrasjoner.

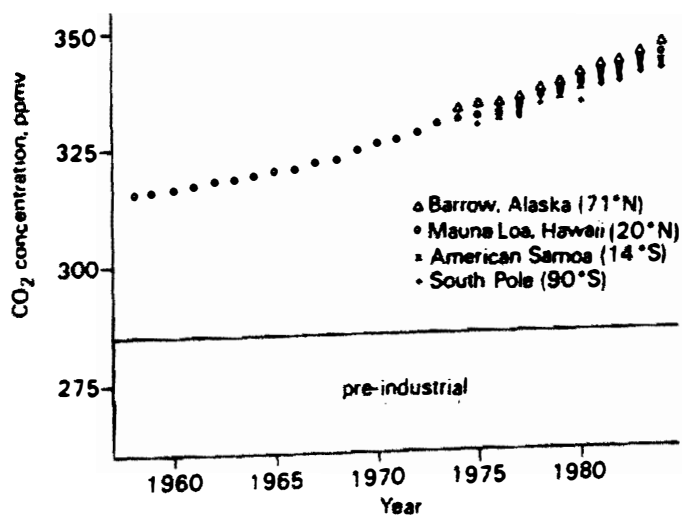


Kumulativ økning i den globale overflutetemperatur som skyldes økning i konsentrasjonen av CO_2 og andre sporgasser estimert for tidsrommet 1980 til 2030 (Ramanathan et al., J. Geophys. Res., 900, 1985).

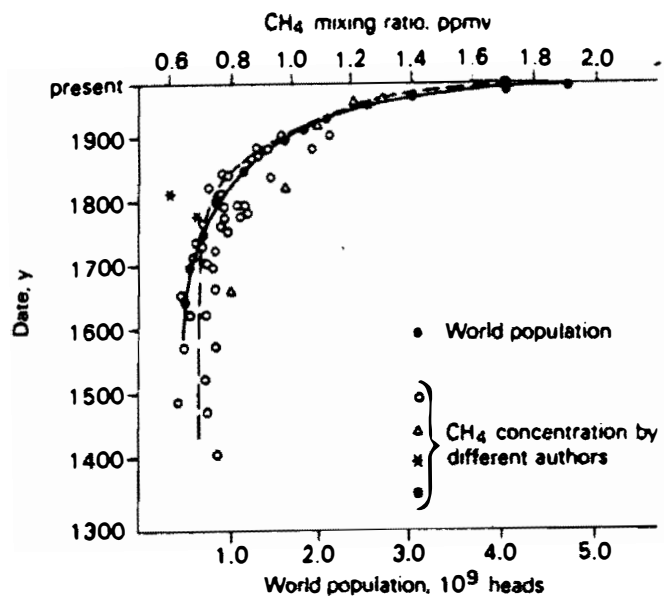
ATMOSFÆRISKE KOBLINGER



Illustrasjon av atmosfæriske koblinger mellom klimagasser, ozonlaget, troposfærens ozon, troposfærens oksidasjonsevne, sur nedbør og fotokjemiske oksidanter.



CO_2 concentrations in the atmosphere (MARC, 1987)



Increase of atmospheric CH₄ concentration and growth of human population (Bolle and others, 1986)

DRIVHUSEFFEKTEN OG DEN MILDE VINTEREN

Av Øystein Hov

Er det et årsak-virkning-forhold mellom drivhuseffekten og unormale værforhold, slik som fjorårets varme og tørre sommer i Nord-Amerika, flomkatastrofen i Bangladesh i fjor høst og årets milde etterjuls-vinter i Nord-Europa? Det vitenskapelige grunnlag for å hevde noe slikt, er enda ufullstendig. Men indisiene på at drivhuseffekten er i ferd med å bli merkbar, og kan gi opphav til ekstreme værperioder regionalt, er så mange at alarmen er gått. Klimaforskningen intensiveres over hele verden, og arbeidet med å bringe kjensgjerningene på bordet har fått høyeste prioritet i f.eks. FN-systemet. Innen utgangen av 1990 skal det nyetablerte "Intergovernmental Panel on Climate Change" avgi en autoritativ rapport til FNs medlemsland både om de vitenskapelige holdepunkter for drivhuseffekten, virkningene den kan få klimatisk, økonomisk og sosialt, og hvordan disse virkningene skal kunne møtes.

Atmosfærens innhold av drivhusgasser øker med en alarmerende fart. Drivhusgassene slipper igjennom sollyset på vei ned mot jordoverflaten, mens de holder tilbake en del av varmestralingen fra jorda. Karbondioksid er den viktigste drivhusgassen. Klorfluorkarboner, særlig freon-11 og freon-12, og metan, lystgass og ozon er også viktige. Tilsammen har disse forbindelsene en drivhuseffekt som er sammenlignbar med virkningen av karbondioksid. Klorfluorkarboner produseres industrielt, og er fremmede i det naturlige miljøet. De er kjent for sin ozonlagsnedbrytende effekt, men de er også de viktigste drivhusgassene etter karbondioksid. "Montrealprotokollen for beskyttelse av ozonlaget" regulerer utslippene av de viktigste klorfluorkarbonene, men regelverket er ikke tilstrekkelig til å holde drivhuseffekten av disse gassene på et konstant eller synkende nivå.

Økningen i atmosfærens innhold av de andre drivhusgassene er nær knyttet til verdens økende befolkning. Både karbondioksid, metan og lystgass har et naturlig kretsløp mellom atmosfæren, land og hav. Bruk

av fossilt brensel og intensivering av jordbruk, husdyrhold og avskogning, har ført til at de naturlige kretsløp har fått et tillegg, slik at utslippene til atmosfæren har økt, uten at mekanismene som fjerner gassene fra atmosfæren, er blitt tilsvarende forsterket. Dermed øker atmosfærens innhold av disse gassene.

Den globale årsmiddeltemperaturen er nå høyere enn noen gang før i den perioden der systematiske temperaturmålinger er blitt gjort (siden ca. 1860). Økningen er større i de siste 20 år enn noen gang før i perioden. De 6 varmeste årene i det siste århundret har vært i 1980-årene. Denne opphopningen av spesielt varme år er i seg selv et indisium på at den globale middeltemperaturen er økende.

Den nåværende globale oppvarmingen er ca. $0,4^{\circ}\text{C}$ i forhold til middeltemperaturen for 30-årsperioden 1951-1980. Dette er tre ganger mer enn den naturlige variasjon i årsmiddeltemperaturen. Oppvarmingen er omtrent den samme som beregningsmodellene for klima gir, når det tas hensyn til økningen i atmosfærens innhold av drivhusgasser.

Den globale temperaturforandringen varierer mellom verdensdelene. I 20-årsperioden fra 1967-1986 avtok temperaturen over kystnære landområder slik som Skandinavia og England, mens temperaturen økte i det indre av kontinenter slik som i nordvestlige Canada og vestlige Sibir. Klimamodellene viser at oppvarmingen skal bli størst nær polene, og spesielt stor i nord-Atlanteren. Klimamodellene beregner temperaturen etter at en ny likevekt er inntrådt mellom atmosfæren, havene og landjorden. Uoverensstemmelsene mellom observasjoner og beregninger kan skyldes at denne likevekten ikke er inntrådt, siden atmosfærens innhold av drivhusgasser stadig øker. Havene reagerer mye langsommere enn landjorden på en endring i energibalansen, og det kan være rimelig å vente at kystnære områder blir hengende etter temperaturoppgangen over det indre av kontinenter.

Klimamodellene viser at vi kan vente en global middeltemperaturøkning på $1,5\text{-}4,5^{\circ}\text{C}$ over de neste 50 år. Dette er dramatiske tall, sammenlignbare med de største temperaturforandringene vi kjenner til i de siste 100 000 år. Økningen i Europa ventes å bli $2\text{-}6^{\circ}\text{C}$ på årsbasis og

4-10°C om vinteren, og med en økning i vinternedbøren. Disse klimamodellene mangler imidlertid en fullgod beskrivelse av viktige elementer i det globale klima. Eksempler er koblingen mellom atmosfæren og havenes varmetransport, og endringene i atmosfærens vanndampbudsjett når den globale temperaturen øker.

En økning i jordens middeltemperatur på grunn av drivhusgassene, vil ganske sikkert påvirke værsystemer og nedbørfordeling. Slik sett spiller det liten rolle om årets og fjorårets "unormale" vær-situasjoner skyldes drivhuseffekten, eller om de er et utslag av mer "normale" variasjoner. Derimot er det viktig at det fokuseres på endringene som kan skje, om ikke situasjonen bringes under kontroll.

Det er dessverre lite som tyder på at vi vil makte å redusere utslippene av karbondioksid slik at det virkelig monner. Utslippene av klorfluorkarboner kan, og bør, stanses. Gjenreisning av regnskogene i Sør-Amerika og Sørøst-Asia kan bidra til reduksjon i karbondioksidøkningen i atmosfæren. Forbruket av kull, olje og gass må reduseres. Det griper alvorlig inn i globale fordelingsspørsmål, siden det er vanskelig å brødfø jordens økende befolkning og skape økonomisk vekst i de fattige land uten å øke energiproduksjonen. Bekjempelsen av drivhuseffekten blir en alvorlig prøve for verdenssamfunnet. Lykkes vi ikke, er det mye som tyder på at vi i de neste 50-100 år kan få klimaendringer som vil få alvorlige økonomiske og sosiale følger for store deler av verdens befolkning.

Dr. Jost Heinzenbergs foredrag, Arktiske aerosoler, var basert på følgende artikkel som ble trykt i Ambio Vol. 18 No. 1 1989 .

ARCTIC HAZE: AIR POLLUTION IN POLAR REGIONS

Dr. Jost Heintzenberg
Department of Meteorology
University of Stockholm
S-10691 Stockholm, Sweden

This paper reviews the problem of Arctic haze as a well-defined case of air pollution in the polar regions. Horizontal, vertical, and seasonal distributions of particulate matter in the Arctic are presented. Physical and chemical properties of the haze particles are compared to those of continental aerosols. The radiative effect of the aerosol is quantified in terms of instantaneous heating rates. Meteorological and chemical evidence is reviewed relating Arctic haze to mid-latitude anthropogenic sources. After discussion of possible secular trends in Arctic air pollution a number of unresolved issues are discussed.

INTRODUCTION

Up until about 1970 little was known about airborne trace substances in the polar regions. Because of the extreme distance from the centers of human activities it was assumed that only very long-lived components such as CO_2 or certain nuclear debris would be able to reach the highest latitudes possibly to be buried to some extent in the polar ice and seas. These pristine regions were mostly seen as baseline reference areas. They would allow the monitoring of the global atmosphere for possible secular man-made changes without regional interferences.

On the basis of this assumption, national and international programs were created in the early 1970s such as the US Global Monitoring for Climatic Change (GMCC) program and the World Meteorological Organization's Background Air Pollution Monitoring Network (WMO BAPMoN), which—besides other remote sites—established atmospheric baseline monitoring stations in the polar regions. It was thought that by continuous measurements of a few key parameters such as CO_2 concentrations and atmospheric turbidity, the global level of air pollution could be monitored.

While the first baseline records were established, sampling and analytical techniques were improved allowing for the determination of a large number of trace substances in polar air masses and ice. Consequently, during the last 15 years, a more complicated picture of trace substances in the polar atmosphere has evolved. The idea of the polar regions largely being unaffected by lower latitude natural and anthropogenic activities has had to be revised. On all time scales of events—from individual volcanic or nuclear explosions to recurring ice ages, trace substances are transported via complicated pathways to the poles and deposited to some extent in the very stable cryospheric archives.

A COMPARISON BETWEEN ANTARCTICA AND THE ARCTIC

Table 1 illustrates our present knowledge about trace substances in the polar regions. This table compares concentrations of gaseous, particulate and snow-deposited components on Antarctica and in the Arctic to corresponding urban data. For short-lived airborne or deposited compo-

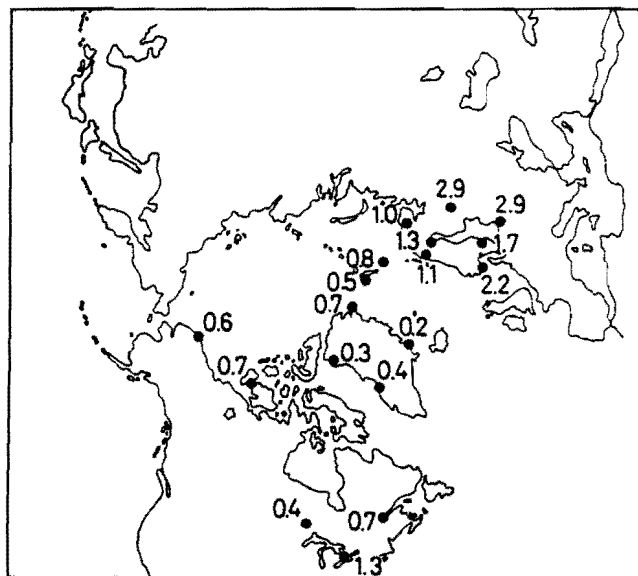
Table 1. Gaseous and particulate trace substance concentrations in polar regions (air and snow) compared to urban concentrations. CN = total number of particles.

Component	Unit	South Pole summer	Arctic summer	Arctic winter	Urban areas ^a	References
gases						
SO_2	ppt.	<20	20	300	10 000	7, 34, 35
CH_4 ^b	ppb.	1560	1660	1740	1800	35, 43
CCl_2F_2 ^b	ppt.	350	370	380	390	35
particulate matter						
CN	$10^6/\text{SCM}$	88	130	400	10 000	8, 35
$\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$	ng/SCM	17	27	750	4000	7, 8, 16, 34
Pb	ng/SCM	0.05	0.15	5	200	8, 16, 36
snow impurities						
$\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$	ppb.	17	33		4000	24, 33, 37, 38
Pb	ppt.	5	20		5000	39, 41, 42

^a The urban airborne concentrations are order of magnitude estimates

^b 1983–1984 values

Figure 1. Ground level sulfate in the Arctic during the first four months of 1980. Adapted from (4). The concentrations are given as SO_4^{2-} -S in $\mu\text{g m}^{-3}$.



nents such as SO_2 , SO_4^{2-} or Pb, modern trace analyses confirm the traditional view of the polar regions having extremely low levels of pollution, in fact, up to a factor of 4000 lower in concentration in the case of airborne lead. On the other hand, long-lived gases such CH_4 with an atmospheric residence time of 5–10 years or CCl_3F_2 (Freon-12) with a residence time of 110 years exhibit a much more even geographical distribution. Both gases are dominated by continental man-induced sources, which are located mainly in the northern hemisphere. While freon is emitted directly by human activities CH_4 originates mainly from bacterial decomposition processes which are controlled by man such as in paddy fields and domestic animals. As a result, Arctic concentrations are at the same level as in the source regions while small but significant decreases occur at the South Pole due to the specific combination of transport and sink processes for those gases.

Our understanding of the airborne or deposited distributions of pollutants in the polar regions is still limited. Complicated distributions of sources and sinks, and the

general circulation or global climate determine how much of a specific component will reach the high latitudes. On the other hand, we now have available data from more than ten years of intensive research on a specific well-defined case of transport of particulate matter to the north polar region. This body of data exceeds by far the available information on particulate matter over Antarctica. The present paper will focus on a review of this perennial phenomenon called Arctic haze in order to illuminate the processes involved in and the effects caused by the transport of air pollutants to the polar regions.

THE SPATIAL AND SEASONAL DISTRIBUTION OF ARCTIC AIR POLLUTION

Most of the 17 million km^2 surface area north of 75°N is permanently covered with pack ice. This pseudo-continent has a thickness of only 3–4 meters. Thus, it can be eliminated by some degree of warming. Bearing this in mind, it is alarming that high levels of particulate matter have been measured over large parts of the Arctic

during the winter months despite a distance of 3–5 thousand km to the mid-latitude industrialized regions. This Arctic haze causes visibility reductions, which were noticed on reconnaissance flights already in the 1950s (1). The low visibilities are mainly due to hygroscopic sulfate particles accreting water at the high relative humidities in the haze layers. Recent Lidar measurements (2) indicate light scattering of ice crystals as another cause of low visibilities in the Arctic.

Figure 1 shows the ground-level distribution of sulfate during the first four months of 1980. At all Arctic stations, much higher values were measured than those found during the clean summer months (Table 1). On the rather even horizontal distribution shown in Figure 1, patches with three times as high sulfate concentrations were found during aircraft and ground-based studies.

Meteorological arguments would support a vertical structure with elevated haze layers (3). Systematic experimental investigations, on the other hand, have only begun rather recently. No complete coverage of the vast region has yet been

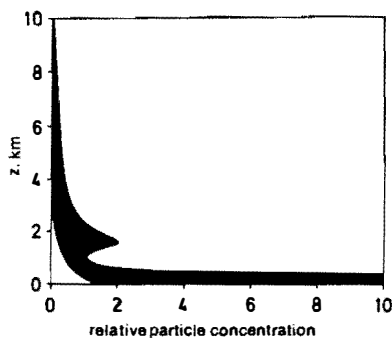


Figure 2. Average vertical structure of Arctic haze, based on 33 profiles of submicrometer particle properties. (See text for normalizing procedure).

achieved. A first average vertical profile was constructed by Barrie based mainly on airborne light scattering studies (4). It agrees reasonably well with a summary of 33 published vertical profiles of physical and chemical haze measurements which is depicted in Figure 2. These measurements contain a variety of parameters related to submicrometer particles, such as total number, number above ca. $0.05 \mu\text{m}$ particle radius, light scattering, absorption, backscattering or extinction coefficient. Because of the different units of the different profiles, an attempt to unify the scales would require additional assumptions about the physical and chemical properties of the particle. In order to avoid this step the profiles were normalized to their respective value at 750-meters elevation and then plotted on a common linear scale. The bulk of data falls inside the shaded area while a few flights yielded boundary layer concentrations up to a factor of four above the shaded range. It should be noted that the extremely high values close to the surface are mainly based on airborne Lidar measurements (5), which are considered to be optimum for that layer.

From this first summary two main conclusions can be drawn: Arctic haze is predominantly a boundary layer phenomenon, i.e. by far most of the pollution burden is confined to the lowermost two kilometers of the atmosphere. While elevated haze layers have been found at all altitudes up to six kilometers, the most frequent altitude with a relative maximum is about 1.5 km (Figure 2). This elevation corresponds closely to the 850 mb pressure level at which empirical studies locate most of the long-range transport of air pollution with boundary layer sources.

In order to relate the Arctic haze phenomenon to the general structure of the Arctic atmosphere an extension of the vertical profiling studies to the summer months would be desirable. To date, few vertical data are available from that season. An average vertical light-scattering profile from the Marginal Ice Zone Experiment during June/July 1984 over the Fram Strait (6) shows a rather uniform

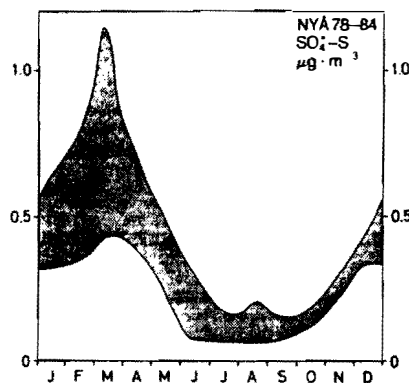


Figure 3. Seasonal variation of Arctic haze in terms of sulfate concentrations measured at Ny-Ålesund, Spitsbergen during the years 1978-1984. Data from (7). The concentrations are given as $\text{SO}_4^{2-} \text{ S}$ in $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. The measured values fall within the shaded area.

vertical distribution over the first 6 kilometers similar to the ground-based Lidar data in Hoff (2). These data indicate a well-mixed troposphere during the sunlit part of the year.

The longest chemical time series of Arctic air pollution has been collected by Norwegian researchers at Ny-Ålesund, Spitsbergen (7). It is used in Figure 3 to illustrate the seasonal variation of Arctic haze. The peak of the pollution period is in March while the summer concentrations are close to the cleanest (lowest) values measured from the Swedish icebreaker Ymer north of Spitsbergen (8) (Table 1). Winter to summer concentration ratios are 10-20. On top of this average seasonal variation interannual variations up to a factor of three have been observed. The pollution decrease in spring is much steeper than the build up in fall. A look at individual years shows transition periods of less than a month. The small relative maximum in summer is significant and will be discussed below.

PHYSICAL PROPERTIES OF ARCTIC HAZE

The size distribution of haze particles reflects the combined effects of sources, transformations, and sink processes. During 5-10 days of transport from a distant source most of the smallest particles $< 0.05 \mu\text{m}$ radius and most of the coarse particle material $> 1 \mu\text{m}$ will be eliminated by coagulation and sedimentation, respectively. Without significant precipitation processes on the way the only effective process of eliminating particles between 0.05 and $1 \mu\text{m}$ will be absent. Dry deposition by uptake at the earth's surface is weak for this particle size range. With slow photochemical activity in the pathway, only a few small particles are formed by nucleation from the gas phase (9). Biologically and physically inactive surfaces such as snow- and ice-covered land and sea areas will not replenish the lost coarse particles either. Stable boundary layer conditions will reduce the effect of dilution during the air flow out of the source region.

This set of conditions characterizes the long-range transport of air pollution to the Arctic during the winter months. Indeed, as a result, a rather narrow particle size distribution is measured consistently in Arctic haze. In the dry state, its geometric mean radius is $r_g = 0.13 \mu\text{m}$ and its geometric standard deviation, $\sigma_g = 1.5$ (10). The average suspended fine particle mass in the dry state is about $8 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, which is only a factor of two lower than in nonurban continental aerosols (21).

THE CHEMICAL COMPOSITION OF ARCTIC HAZE

The chemical composition of Arctic haze is quite consistent with the processes leading to its physical properties. A synopsis of the available chemical data leads to the average chemical composition given in Figures 4a and 4b (11-16). The major analyzed component is SO_4^{2-} . The average amount of ammonia can neutralize only 40 percent of the SO_4^{2-} , i.e. most of the SO_4^{2-} is in the form of ammonium bisulfate or sulfuric acid. These average results are in agreement with individual Arctic acidity data such as those indicated in Heintzenberg *et al.* (12) and Lazrus and Ferek (17). Attempts have been made to quantify how much of the sulfate is imported in the form of SO_2 (18-20). The most recent estimates state that 74 percent of the sulfur crosses the polar circle as SO_2 while 26 percent enters the Arctic as sulfate.

Besides the reactive sulfates and nitrates elemental carbon (EC) is present in Arctic haze. EC is the main component in soot particles besides uncombusted material. This chemically inert combustion product is of importance for the effect of Arctic haze on the radiative balance of the Arctic (see below). A significant fraction of the undetermined 59 percent_m is suspected to be organic. However, in many of the studies it is unclear as to what extent the water has been dried off the particulate samples prior to analysis. Thus, a considerable fraction of the undetermined part can be water.

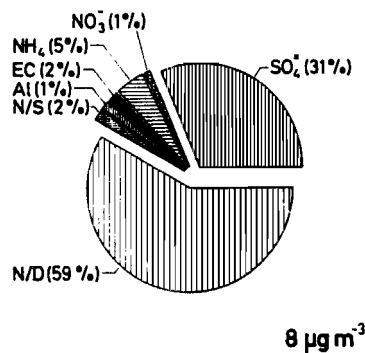


Figure 4a. The major chemical components in Arctic haze particles $< 1 \mu\text{m}$ radius. Their average total mass is $8 \mu\text{g m}^{-3}$. 30% were not determined in the chemical analyses, 29% are not specified in this graph.

The concentrations of the minor components of Arctic haze have been arranged to form a crude type of chemical signature of the particles (Figure 4b). Its shape is quite similar to that of non-urban continental aerosols as taken from Heintzenberg (21). Both EC and NO_3^- are combustion products while EC is formed as inert primary particles, the short-lived NO_3^- is formed in the atmosphere from combustion gases and NH_3 . Consequently, NO_3^- -concentrations decrease more rapidly than those of EC in the transition from continental aerosols to Arctic haze. Altogether, the chemical composition also strongly indicates that Arctic haze is an aged anthropogenic aerosol. This anthropogenic component has been identified even during the clean summer months (8). However, at the low summer concentration levels, weak regional aerosol sources become more prominent, i.e. a natural sea spray component, wind-blown dust, and emissions from Arctic settlements (8, 22).

RADIATIVE EFFECTS

The radiation balance of the ice-atmosphere system is maintained between the incoming solar flux at wavelengths $< 3 \mu\text{m}$ and the thermal radiation emitted at longer wavelengths. Arctic air pollution affects the radiation balance in both spectral regions. In the solar range ($0.3\text{--}3 \mu\text{m}$ wavelength), haze particles reflect part of the incoming radiation back to space and absorb radiation, mainly in the black elemental carbon. In the thermal region ($> 3 \mu\text{m}$ wavelength), haze particles can increase the radiative cooling efficiency of the atmosphere at high relative humidities. In dry air masses this aerosol cooling may be neglected (23).

The magnitude of the net radiative effect depends on, in addition to other parameters, the state of mixture between EC and other components such as sulfate. In an external mixture, each particle is one of many pure compounds while an internal mixture consists of particles containing a number of mixed chemical compounds. Any transitional stage in between the ex-

treme types of mixture is conceivable. In principle, all physical and chemical aerosol-aging processes in the atmosphere cause a transformation from external to internal mixtures. Hence, the ultimate stage of an aged particle population should be an internal mixture.

Table 2 adapted from Wendling *et al.* (5) gives calculated radiative effects of Arctic haze for the two extreme possibilities of mixing EC and sulfate for the spring 1983 Arctic haze case. The calculated heating rates should not be confused with the real heating of the atmosphere. The numerical values are based on the assumptions that the sun is in the same position all day and that all absorbed solar energy is converted into a temperature rise of the air. There are many processes active in the atmosphere which try to even out local temperature differences. Thermal radiative effects have been neglected in Table 2. The reference case is based on Arctic summer data. In both cases the Arctic haze leads to increased instantaneous heating rates. The increase would be twice as high in the case of an internal mixture. However, first *in situ* experimental results indicate the presence of an external mixture (13). The reference case itself, as compared to a non-aerosol case, would lead to a minor net cooling (24). These radiative effects are not to be taken as climatic effects. At present we are unable to predict how the Arctic atmosphere would react to a certain instantaneous heating or cooling.

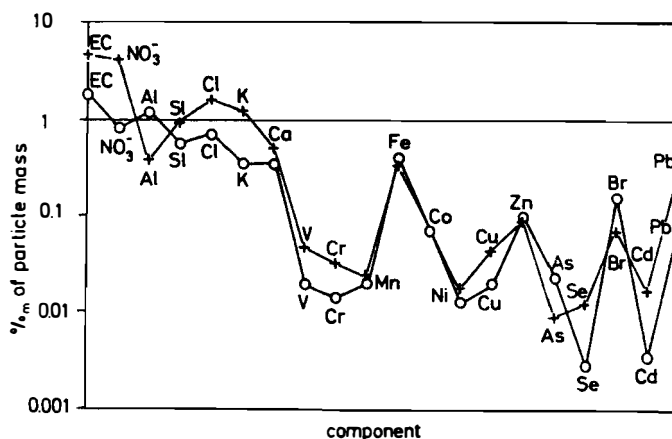


Figure 4b. The relative distribution of minor components in Arctic haze particles $< 1 \mu\text{m}$ radius (—○—) as compared to that of non-urban continental aerosols (—□—) (21). EC = elemental carbon.

TRANSPORT PATHWAYS AND ORIGIN OF ARCTIC AIR POLLUTION

For the European Arctic the nearest pollution source is Eurasia defined here as the industrialized region from the Ural to the western limits of Europe. In a very simple way the chances of Eurasian pollution reaching the Arctic were explored by means of isobaric back trajectories calculated in six-hour intervals by the Norwegian Meteorological Institute at a large number of sites. The underlying assumption for these types of air-mass trajectories is that the air transport occurs on a level of constant pressure, here 850 mb.

Delineating Eurasia for the sake of simplicity by the area $< 57^\circ\text{N}$, 4°W – 58°E , a statistical survey of trajectories to sites north of this region was made (25). The relative number of trajectories passing over the above region before arriving at the sites was calculated for three years. There is a rapid decrease from near 100 percent at the northern border of Eurasia to an asymptotic value of about five percent at 80°N . This latitude distribution is not just a simple geometric result but strongly influenced by meteorological processes. If we check these average trajectory frequencies against annual average air pollution data such as SO_4^{2-} as taken from Figure 3 and Table 1, the concentration ratios Arctic/urban are consistent with the frequency of source trajectories.

For an explanation of the pollution peak

Table 2. Radiative effects of fine particles in Arctic haze.

Parameter	Arctic haze		Reference case internal mixture
	external mixture	internal mixture	
Soot ($\text{ng} \cdot \text{m}^{-3}$)		420	3
Relative humidity (%)		70	70
Instantaneous heating rate ($\text{K} \cdot \text{day}^{-1}$)	0.8	1.3	0.5

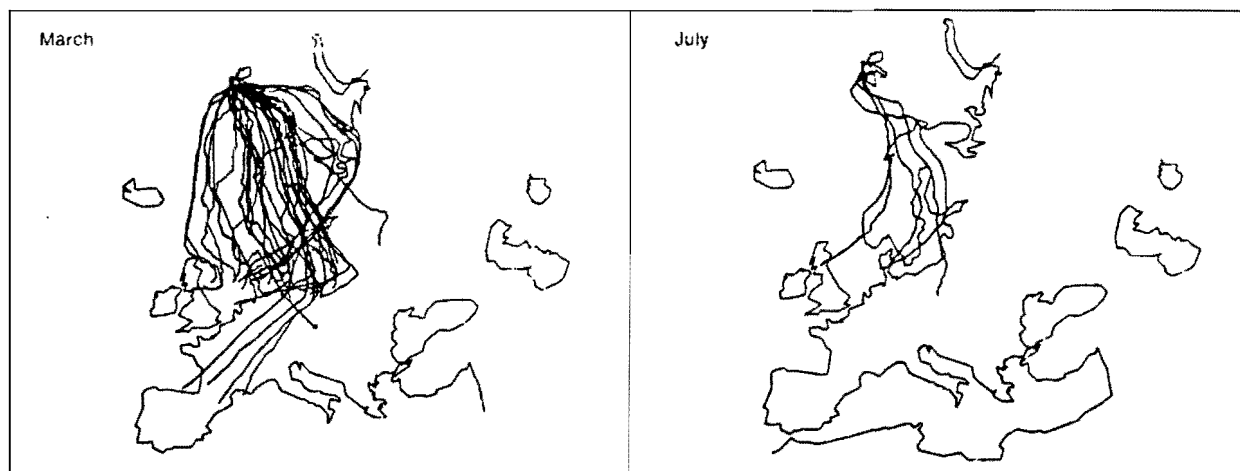


Figure 5. The total number of 850 mb trajectories reaching Ny-Ålesund, Spitsbergen for the months March and July during the years 1979–1981 (26). The trajectories were calculated in 5h intervals by the Norwegian Meteorological Institute.

in late winter we have to look at the seasonal distribution of source trajectories. The two extreme cases, March and July are depicted in Figure 5. As a result of the seasonal change in circulation over Europe the Arctic is blocked from most of the direct transport from Europe in summer. However, the annual variation in source trajectories in Heintzenberg and Larssen (25) is not as smooth as the pollution data in Figure 3. For Spitsbergen a strong secondary trajectory maximum appears in August, which is reflected by only a minor increase in sulfate concentrations. Hence, there must be other processes influencing the level of Arctic air pollution.

The annual variation of the potentially most influential process on a regional scale is illustrated in Figure 6. The high frequencies of fog or low visibilities taken from Steffensen (44) reflect the regular occurrence of low Arctic stratus clouds in summer over the pack ice and the adjacent open seas. As shown in (8) they provide a very effective wet scrubbing process throughout the summer Arctic. Dry deposition on the transport pathway to the Arctic is also more effective during summer. Over snow- and ice-free areas the major gas-phase component of Arctic air pollution, SO_2 , is deposited much more rapidly.

In recent years source-receptor relationships have been established in air pollution research mostly on local and regional scales in order to identify and quantify the influence of distant pollution sources. Multicomponent analyses of air samples (or chemical signatures) for different sources have been related to corresponding signatures at receptor sites. During long-range transport, physical and chemical transformation processes are expected to distort systematically the chemical signatures of pollution sources. In the case of Arctic haze we have the additional problem that the chemical composition of emissions in the USSR and many other countries have not been established yet. Nevertheless, attempts have been made to quantify the origin of Arctic haze.

In Alaska, Lowenthal and Rahn attri-

bute half to three quarters of the pollution aerosol to sources in the Soviet Union (26). For the region north of 72.5°N , Iversen calculated the contribution of different source areas via SO_2 -emission fields and transport and transformation along isentropic trajectories (27). These types of trajectories are a better approximation than the isobaric type of the real three-dimensional movements during air mass transport because adiabatic vertical motions are incorporated. For the Norwegian Arctic Iversen finds that the main sources of air pollutants in the boundary layer are in the USSR, particularly in winter. The relative contribution of European sources increases with altitude, and sources in North America may contribute to Arctic haze at altitudes above 3–4 km. These results are corroborated by the model calculations in Barrie *et al.* (20).

SECULAR TRENDS

Arctic snow and ice provide an archive of trace substances for the study of long-term changes in Arctic air pollution. Sampling and analytical techniques are best developed for glacier ice, which forms after 50–100 years of compacting the snow pack (firn transition). However, the strongest anthropogenic concentration changes are expected to have happened during this century. Hence, our knowledge about onset and trends in Arctic haze is rather incomplete. In South Greenland, snow sulfate and nitrate concentrations show a trend upwards between 1895 and 1978 with an interruption between 1915 and 1935 (28). On the other hand, maximum annual conductivity in meltwater from the Agassiz Glacier, Ellesmere Island, does not show a significant rise (indicating higher concentrations of deposited ions) before 1950 (29). A circa fifteen-year record of soot prior to 1980 in an ice cap on Storöya, Svalbard does not show a significant trend (30). Trend analyses have been performed with the GMCC aerosol data from Barrow, Alaska for the first six years of the records (1976–1981). Neither aerosol light scattering nor total number concent-

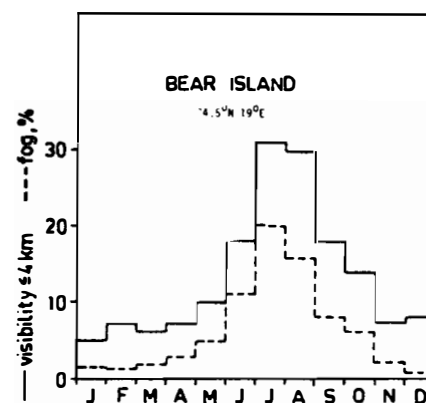
ration showed significant trends (31). Hence, we have no clear picture of recent trends in Arctic air pollution.

Some speculation is possible about present and future developments. On a regional scale pollution sources can be expected to increase as a result of increased exploration of the Arctic and subarctic regions. Alaska and Siberia have developed furthest in that direction. There are some trends visible in the mid-latitude source region which may eventually show up in the Arctic. As an example, over Germany, significant upward trends of fine particle-related parameters have been found, which are explained by upward trends in gas-phase precursors linked to increased car emissions (32, 33).

UNRESOLVED ISSUES

Certainly, Arctic haze is one of the most intensively studied types of air pollution. However, there are a number of issues where our knowledge is inadequate. Figure 1 shows that our knowledge of horizontal distribution of Arctic haze is very incomplete. Besides the central Arctic there are almost 180 degrees of latitude north of the Soviet Union, which are not covered. No systematic study of the vertical distribution has been made covering the whole Arctic. No systematic seasonal variation of this distribution has been established. The peculiar haze layers in the free troposphere need to be better understood. About 60 percent of the particulate components is still unidentified though some of this material is expected to be water. There is very little knowledge about the state of mixture of different chemically and climatically important components of the Arctic atmosphere. Physical and chemical transformations during long-range transport need to be quantified before source-receptor modelling can be extended to the case of Arctic haze. Secular trends of key components such as heavy metals and soot have not been established yet. Finally, both the climatic effects and the effects on the Arctic biosphere need to be studied.

Figure 6. Annual variation in the occurrence of fogs and visibilities less than 4 km at Bear Island, 74.6°N, 18°E (44).



References and Notes

- Mitchell, J.M.J. 1959. Visual range in the polar regions with particular reference to the Alaskan Arctic. *J. Atmos. Terr. Physics*, Spec. Suppl. 1, 195-211.
- Hoff, R.M. Vertical structure of Arctic haze observed by Lidar. *J. Appl. Meteor.* (In press).
- Carlson, T.N. 1981. Speculations on the movement of polluted air to the Arctic. *Atmos. Environ.* 15, 1473-1477.
- Barrie, L.A. 1986. Arctic air chemistry: an overview. In *Arctic Air Pollution*. Stonehouse, B. (ed.). Cambridge University Press, 328 p.
- Wendling, P., Wendling, R., Renger, W., Covert, D.S., Heintzenberg, J. and Moeri, P. 1985. Calculated radiative effects of Arctic haze during a pollution episode in spring 1983 based on ground-based and airborne measurements. *Atmos. Environ.* 19, 2181-2193.
- Heintzenberg, J., Ström, J., Ögren, J.A., Gärdneus, L. and Fimpel, H.P. 1989. Vertical profiles of aerosol- and meteorological parameters during MIZEX-84. (Manuscript available from the first author.)
- Ottar, B., Gotaas, Y., Hov, O., Iversen, T., Joranger, E., Oehme, M., Pacyna, J., Semb, A., Thomas, W. and Vitols, V. 1986. Air pollutants in the Arctic. Norwegian Institute for Air Research, NILU OR 30/86. Lillestrøm, Norway. 81 p.
- Lannefors, H., Heintzenberg, J. and Hansson, H.-C. 1983. A comprehensive study of the Arctic summer aerosol. *Tellus* 35B, 40-54.
- Shaw, G.E. 1986. On the physics of Aitken particles in polar air mass systems. *J. Aerosol Sci.* 17, 73-78.
- Number- or mass size distribution $F(\log r)$ of Arctic haze particles can be approximated by a log-normal distribution written as

$$F(\log r) = \frac{1}{(2\pi)^{1/2} \log \sigma_g} \exp[-(\log r - \log r_g)^2 / 2 \log^2 \sigma_g]$$
- Maenhaut, W., Tomza, U., Pacyna, J.M. and Ottar, B. 1985. Trace elements in Arctic air particulates during March-April 1983. *Proceedings of the Belgian SCOPE Symposium on "Belgian Research on Metals Cycling"*. Brussels, Oct. 11-12, 1985.
- Heintzenberg, J., Hansson, H.-C. and Lannefors, H. 1981. The chemical composition of Arctic haze at Ny-Ålesund, Spitsbergen. *Tellus* 33, 162-171.
- Cahill, T.A. and Eldred, R.A. 1984. Elemental composition in Arctic particulate matter. *Geophys. Res. Lett.* 11, 413-416.
- Pacyna, J.M., Vitols, V. and Hansson, H.-C. 1984. Size-differentiated composition of the Arctic aerosol at Ny-Ålesund, Spitsbergen. *Atmos. Environ.* 18, 2447-2459.
- Hoff, R.M., Leaitch, W.R., Fellin, P. and Barrie, L.A. 1983. Mass size distributions of chemical constituents of the winter Arctic aerosol. *J. Geophys. Res.* 88C, 10947-10959.
- Heintzenberg, J. and Covert, D.S. 1987. Chemically resolved submicrometric size distribution and external mixing of the Arctic haze aerosol. *Tellus* 39B, 374-372.
- Lazrus, A.L. and Ferek, R.J. 1984. Acidic sulfate particles in the winter Arctic atmosphere. *Geophys. Res. Lett.* 11, 417-419.
- Barrie, L.A. and Hoff, R.M. 1984. The oxidation rate and residence time of sulfur dioxide in the Arctic atmosphere. *Atmos. Environ.* 18, 2711-2722.
- Barrie, L.A. 1987. Personal communication.
- Barrie, L.A., Olson, M.P. and Oikawa, K.K. The flux of anthropogenic sulphur into the Arctic from mid-latitudes in 1979/80. (Submitted to *Atmos. Environ.*).
- Heintzenberg, J. Fine particles in the global troposphere—a review. *Tellus* B. (In press)
- Jaenicke, R. and Schütz, L. 1982. Arctic aerosol in surface air. *Idöjars* 86, 235-241.
- Blanchet, J.-P. and List, R. 1987. Radiative effects of aerosols in Arctic haze and snow. *Tellus* 39B, 293-317.
- Heintzenberg, J. Baseline measurements of tropospheric optical aerosol properties in the Northern and Southern Hemisphere. In *Aerosols and Their Climatic Effects*. Gerber, H.E. and Deepak, A. (eds.). Spectrum Press, Hampton, Virginia, p. 95-104.
- Heintzenberg, J. and Larssen, S. 1983. SO₂ and SO₃ in the Arctic: Interpretation of observations at 3 Norwegian Arctic—subarctic stations. *Tellus* 35B, 255-265.
- Lowenthal, D.H. and Rahn, K. 1985. Regional sources of pollution aerosol at Barrow, Alaska during winter 1979-80 as deduced from elemental tracers. *Atmos. Environ.* 19, 2011-2024.
- Iversen, T. 1986. Simulation of the transport of sulfur dioxide and particulate sulfate to the Arctic. Norwegian Institute for Air Research, NILU OR 83/86. Lillestrøm, Norway.
- Neftel, A., Beer, J., Oeschger, H., Zürcher, F. and Finkel, R.C. 1985. Sulphate and nitrate concentrations in snow from South Greenland 1895-1978. *Nature* 314, 611-613.
- Barrie, L.A., Fischer, D. and Koerner, L.A. 1985. Twentieth century trends in Arctic air pollution revealed by conductivity and acidity observations in snow and ice in the Canadian high Arctic. *Atmos. Environ.* 19, 2055-2063.
- Kallström, M., Heintzenberg, J., Hansson, H.-C. and Jonsson, S. Chemical composition of insoluble particles in an ice cap on Storöya, Svalbard. (Submitted to *J. Glaciol.*).
- Bodhaine, B.A. 1983. Aerosol measurements at four background sites. *J. Geophys. Res.* 88, 10753-10768.
- PROMET. 1986. Klimarelevante Spurenstoffe II. *PROMET* 1, 86, p. 13-18.
- Kaminski, U. and Winkler, P. 1986. Anstieg des Staubbereichsgehalts der Luft in Hamburg. *Ann. Meteor.* 23, 198-199.
- Delmas, R.J. 1982. Antarctic sulphate budget. *Nature* 299, 677-678.
- Ockelmann, G. and Georgii, H.-W. 1984. The distribution of sulfur dioxide over the Norwegian Arctic Ocean during summer. *Tellus* 36B, 179-185.
- GMCC. *Summary Report 1985*. Schnell, R.C. and Rosson, R.M. (eds.). NOAA Environmental Research Laboratories, Boulder, CO. 146 p.
- Maenhaut, W. and Zoller, W.H. 1977. Determination of the chemical composition of the south pole aerosol by instrumental neutron activation analysis. *J. Radioanal. Chem.* 37, 637-650.
- Aristarain, A.J., Delmas, R.J. and Briat, M. 1982. Snow chemistry of James Ross Island (antarctic peninsula). *J. Geophys. Res.* 87, 11004-11012.
- Landsberg, S., Jervis, R.E., Kajrys, G., Monaroi, S. and Lecomte, R. 1983. Total soluble and insoluble sulfur concentrations in urban snow. *Environ. Sci. Technol.* 17, 542-546.
- Davies, T.D., Abrahams, P.W., Tranter, M., Blackwood, I., Brimblecome and Vincent, C.E. 1984. Black acidic snow in the remote Scottish Highlands. *Nature* 312, 58-61.
- Boutron, C.F. and Patterson, C.C. 1987. Relative levels of natural and anthropogenic lead in recent Antarctic snow. *J. Geophys. Res.* 92, 8454-8464.
- Mart, L. 1982. Seasonal variations of Cd, Pb, Cu and Ni levels in snow from the eastern Arctic ocean. *Tellus* 35B, 131-141.
- Steele, L.P., Fraser, P.J., Rasmussen, R.A., Khalil, M.A.K., Conway, T.J., Crawford, A.J., Gammon, R.H., Massarie, K.A. and Thoning, K.W. 1987. The global distribution of methane in the atmosphere. *J. Atmos. Chem.* 5, 125-171.
- Steffensen, E. 1969. The climate and its recent variations at the Norwegian Arctic stations. *Meteorologiska Annaler* 5, 349.

Anton Eliassen, Meteorologisk institutt:

MODELLBEREGNINGER AV FREMTIDIGE KLIMAENDRINGER - sammendrag -

Beregninger av fremtidige klimaendringer.

Det rår en del usikkerhet om hvor korrekt man har klart å beregne klimaendringene hittil, og det er naturlig nok enda vanskeligere å finne frem til sikre metoder for beregninger av fremtidige klimaendringer. På bakgrunn av tilgjengelige klimamodeller trekker man i allfall bl.a disse slutningene om fremtidig klima:

- * En oppvarming fra drivhuseffekten vil ikke fordele seg jevnt over hele kloden. Størst oppvarming vil vi få langt mot sør og langt mot nord. At oppvarmingen kanskje kan bli spesielt stor i nord, skyldes bl.a at havisen vil smelte.
- * Med dobling av atmosfærens CO₂-innhold kan vi få en oppvarming ved 60°N som er mer enn dobbelt så stor som økningen i den globale middeltemperaturen, f.eks 7°C.
- * Den globale nedbørsmengden vil høyst sannsynlig øke ved en dobling av atmosfærens CO₂-innhold. Økningen vil fordele seg ujevnt og blir prosentvis størst langt nord og langt sør.
- * Selv om nedbøren øker, vil fordampningen fra bakken også øke, fordi det blir varmere. Tar man hensyn til dette, er det nokså sannsynlig at bakken blir våtere nord for omtrent 50°N, men tørrere mellom 50 og 40°N.
- * En global oppvarming på 1,5 - 4,5°C - det svarer til en dobling av atmosfærens innhold av drivhusgasser - vil føre

til en økning av havnivået på fra 0,3 - 1,5 m. Største delen av denne økningen skyldes at havvannet varmes opp og utvider seg. Noe skyldes smelting av isbreer på land. Det er ikke trolig at den store isbreen over Antarktis vil smelte.

Faktorer som gjør beregningene usikre.

- * Når CO₂ slippes ut i atmosfæren i dag, opptar havet omtrent halvparten av denne gassen. Største delen av dette opptaket skyldes at CO₂ bindes av alger og andre levende organismer. Vi vet ikke hvordan en temperaturøkning påvirker havets biologiske opptak av CO₂.
- * En viktig del av varmetransporten fra ekvator til områdene langt nord og langt sør skjer ved havstrømmene, f.eks Golfstrømmen. En temperaturøkning kan tenkes å påvirke havstrømmene. F.eks vil bortfall av Golfstrømmen motvirke en oppvarming av våre områder.
- * En temperaturøkning vil kunne føre til tykkere skydekke. Skyene reflekterer sollys svært godt. Dette vil til en viss grad motvirke oppvarmingen.

Konsekvenser av klima-endringene.

- * Økningen i havnivået vil føre til økt fare for oversvømmelse av flate kystområder. Noen av disse har stor befolkningstetthet, og en slik utvikling vil kunne føre til økte flyktningeproblemer.
- * Temperatur- og nedbørendringer vil kunne få store konsekvenser for jord- og skogbruk. Det er ikke mulig i dag å beregne i detalj hvilke områder som blir tørre og hvilke som blir våtere. Derfor kan vi heller ikke si hvor store virkningene på jord og skog kan bli, men generelt tyder beregninger på at:

- Jordbruksproduksjonen vil øke nord for 50°N . Det samme gjelder skogtilveksten.
- Mellom ca 50°N og ca 40°N vil tørke føre til lavere jordbruksproduksjon, og i dette beltet ligger viktige jordbruksområder som f.eks Nord-Amerika.
- Det er betydelig risiko for at situasjonen kan forverre seg i marginale jordbruksområder i U-land som alt er truet av ørkenspredning. Dette vil også føre til økt flyktningeproblem.

- * Hvis verdens nasjoner bare tenker på sitt eget beste, vil noen av disse se klimaendringene som en tragedie. Denne eventuelle situasjonen vil kunne øke motsetningene mellom verdens nasjoner. Hvis man f.eks i Norge bare vurderte virkningen av drivhuseffekten ut fra dens virkning på norsk klima, vil drivhuseffekten kunne ses på som et gode.
- * I virkeligheten har menneskene satt i gang et gigantisk klimaendrings-eksperiment som man nå bare delvis er i stand til å vurdere konsekvensene av.

HVOR HØYT ER HAVNIVÅET I ÅR 2050?

av

Olav Orheim
Norsk Polarinstitutt
Postboks 158, 1330 Oslo Lufthavn

INNLEDNING

Data for de siste 160 000 år viser meget høy korrelasjon mellom luft- og havtemperatur, atmosfærens CO_2 -innhold, og havnivå (Fig. 1). I betraktning av at CO_2 -innholdet nå er høyere enn noen gang i menneskers levetid - og fortsatt stiger - melder spørsmålet seg: hva kan skje med havnivå?

Grunnleggende viten mangler for å gi sikre svar på dette spørsmålet. Enhver spådom om havnivå må baseres på antagelser om fremtidige atmosfæriske og oseanografiske forhold, der de viktigste gjelder lufttemperatur, nedbør som snø, og havtemperatur. Eksisterende klimatiske modeller har store usikkerheter i beregning av de to siste faktorene ut fra antatt lufttemperaturrendring som følge av drivhuseffekten. Usikkerhetene i prognosene for fremtidig havnivå-enderinger, som siste ledd i beregningene, blir derfor forstørret. Av denne grunn er diskusjonen begrenset til et kort tidsaspekt, frem til år 2050.

Stigning i havnivå vil resultere fra termisk utvidelse av havet som følge av oppvarming ved konstant masse, og fra øket vannmasse som følge av at mindre vann lagres på land. Av den siste faktoren er endringer i breisen av overveiende betydning. Havnivå vil også endre seg som resultat av jordskorpebevegelser; slike muligheter kan vi forutsi lite om og de blir ikke behandlet videre her.

Dagens kunnskap angir at havnivået stiger mellom 1 og 2 mm/år, som et resultat av en global temperaturstigning i luften på vel $0.005^\circ\text{C}/\text{år}$. Det er videre beregnet at smeltingen av breer har bidratt med 28 mm havnivåstigning fra 1900 til i dag. Det er bare tredjeparten av hele stigningen. Termisk utvidelse, endringer i ismassen i Antarktis, og jordskorpebevegelser antas å forklare resten.

TERMISK UTVIDELSE AV HAVET

Data tyder på at overflatetemperaturen i verdenshavene har steget $0.6^{\circ} \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ siden 1900. Ujevn datadekning og endringer i instrumentering gjør tallene usikre.

Beregning av havnivåstigning ved konstant vannmasse og øket temperatur må ta hensyn til endringer i hele vannsøylen. Dagens kunnskap kan ikke utelukke at hele havnivåstigningen observert i dette århundre kan forklares ved øket mengde bunnvann i verdenshavene. Beregninger angir at en global lufttemperaturøkning på 5°C innen 2050 vil føre til en termisk utvidelse som vil gi en maksimal heving av havnivå på 0.3 m, tilsvarende 5 mm/år i gjennomsnitt.

ØKET MASSE VANN I HAVET

Hovedkilden til endret havnivå vil ventelig være endret vannmasse lagret på land i form av is. (Den viktigste faktor deretter er menneskenes dambygging.) Vurderingen blir forskjellig for to hovedtyper:

1. Breer utenom Antarktis
2. Antarktisisen.

1. Omtrent alle breene utenom Antarktis består av områder der det er avsmelting om sommeren. Totalt dekker disse breene $2 \times 10^{12} \text{ km}^2$, dvs. ca. 0.5% av havets overflate. Det betyr at 1 m avsmelting i gjennomsnitt over hele dette brearealet vil føre til 5 mm havnivåstigning.

Beregninger av virkningen av øket temperatur på disse breene viser at dersom alle små isbreer utenom Grønland og Antarktis smelter helt vekk, vil havnivået stige mellom 0.3 og 0.6 m. Men ikke all denne stigning vil skje innen år 2050, og siden dette tidsapspektet har vært mindre fremme skal det belyses her.

Hvor fort nedsmelting kan skje kan vurderes ved å se på avsmelting av breer i somrer med svært høye temperaturer. I Vest-Norge hadde vi slike for eksempel i 1966 og 1980, og gjennomsnittstemperaturen i avsmeltingssesongen fra 1 mai til 1 oktober var da vel 1°C over normalen. Dette medførte en øket avsmelting på breene på 1 m vannmengde i gjennomsnitt. Dette tallet samsvarer svært godt med et veletablert forhold mellom avsmelting, S og graddøgn, G, som er gitt ved $S=0.7 G$, der S = uttrykt i mm, og G er temperaturx tid uttrykt ved $^{\circ}\text{Cdøgn}$. Hver $^{\circ}\text{C}$ økning i gjennomsnittstemperatur vil således føre til knappe 1 m mer avsmelting pr. år fra breoverflaten.

Avsmeltingen i volum er gitt av $S \times A$, der A, arealet, etterhvert vil minke. Bidraget til havnivåstigningen vil derfor ikke følge kurven for stigende temperatur og smeltehastighet, men istedet avta over tid (Fig. 2). For Jostedalsbreen, som er målt til over 600 m på sitt tykkeste, vil det ta over 100 år før alt er vekksmeltet.

Fig. 3 viser bidraget til havnivåstigning fra alle breene utenom Antarktis frem til år 2050, under forutsetning av en global temperaturøkning fra i dag på $+4^{\circ}\text{C}$. Det er da tatt med i betraktningen modellenes forutsigelser om at temperaturøkningen vil være større ved høyere breddegrader, der de fleste breer finnes, og at temperaturøkningen ventes å være minst om sommeren, som er viktigste tiden for bresmeltingen. Totalt forutsies havnivåstigning fra denne kilden på 0.2 m.

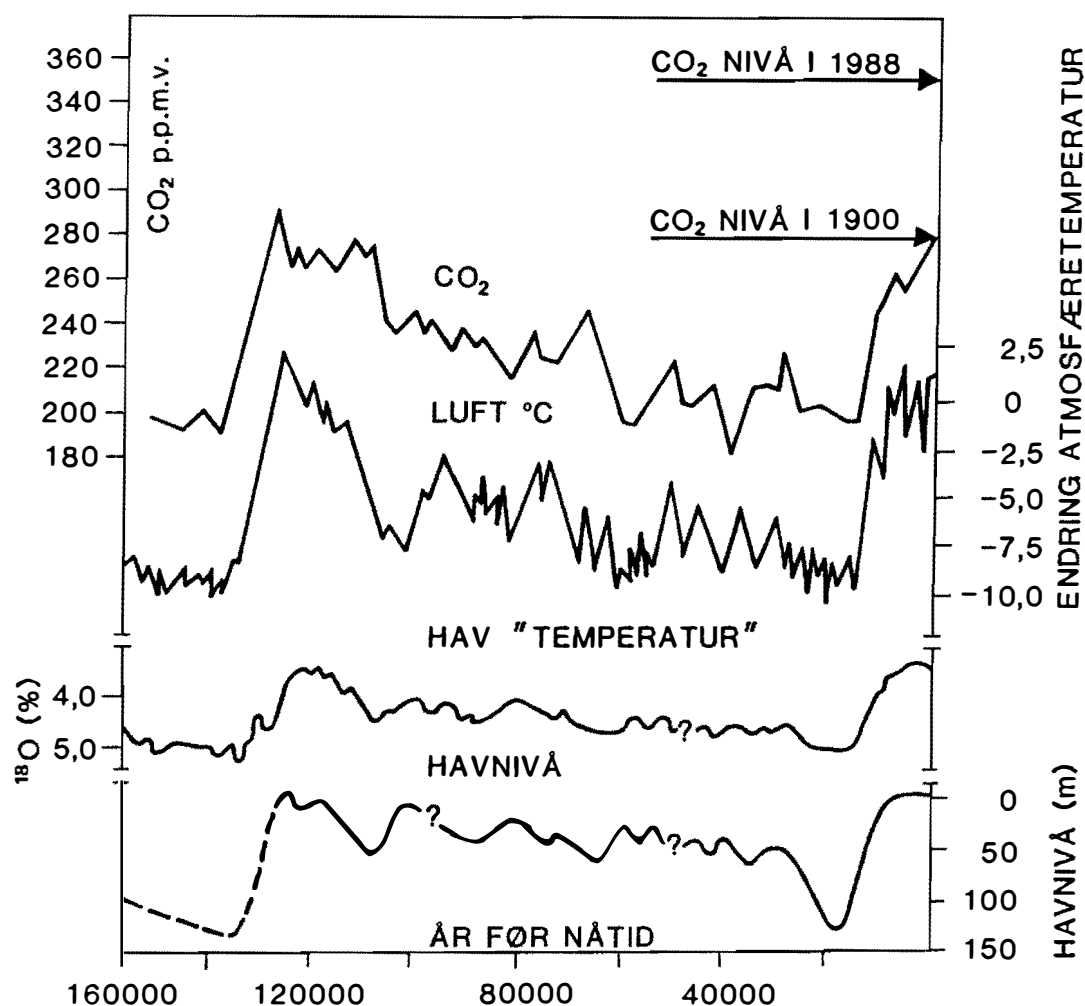
2. Antarktisisen er jokeren i forbindelse med spådommer om fremtidig havnivå. Overflatetemperaturen på Sydpolkontinentet er stort sett så lav at den beregnete temperaturstigning frem til 2050 ikke vil føre til nevneverdig økning i avsmelting fra breoverflaten. Tvertimot, så er det like sannsynlig at den kortsiktige virkning av øket temperatur vil være øket nedbør som snø i Antarktis, og dermed oppbygging av ismassen.

Den store usikkerheten er knyttet til endret havtemperatur, og endret smelting av den flytende delen av Antarktisisen. Is i kontakt med vann smelter raskt, og dersom havvann med temperaturer på 0°C eller høyere kommer inn over kontinentalsokkelen og under isshelfene vil smeltehastigheter på flere m/år inntreffe. Dette kan føre til at Vest-Antarktis, den del av Antarktisisen som ligger på land langt under havnivå, blir ustabil. Det er stor uenighet i dag om hvor fort dette kan skje. De mest ekstreme snakker om tiår, jeg tror mer på århundre. En bortsmelting/utglidning av Vest-Antarktis vil føre til en havnivåstigning på ca. 7 m, og dette vil forklare det hevet havnivå observert under siste mellomistid. En bortsmelting av Øst-Antarktis er ikke aktuelt i noe forutsigbart tidsperspektiv.

Mine og andres vurderinger angir at Antarktis vil bidra maksimalt 0.8 m til havnivåstigningen innen år 2050. Men en slik avsmeltingen av de flytende isshelfene kan da sette i gang en ikke-snubar prosess som til slutt vil føre til en global havnivåheving på 7 m.

Den sannsynlige samlede maksimale havnivåstigning frem til år 2050 blir således $0.3 + 0.2 + 0.8 = \underline{1.4 \text{ m.}}$

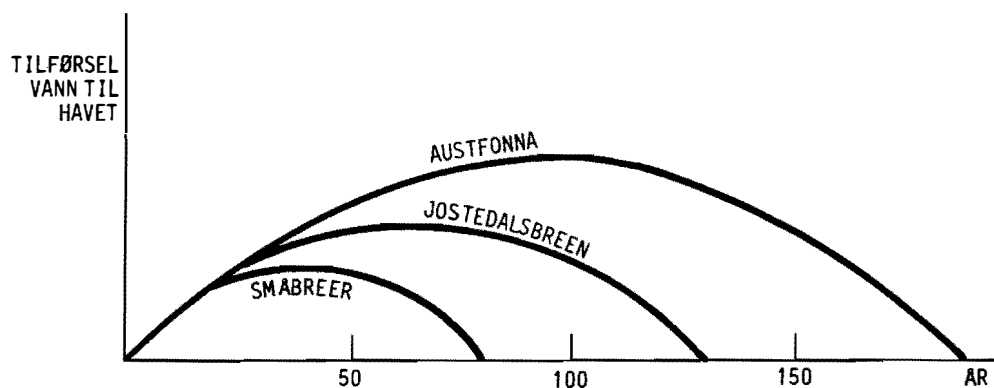
FIG. 1.



ENDRINGER I ATMOSFÆRENS CO₂-INNHold, LUFT- OG HAVTEMPERATUR, OG HAVNIVÅ, FOR DE SISTE 160 000 ÅR.

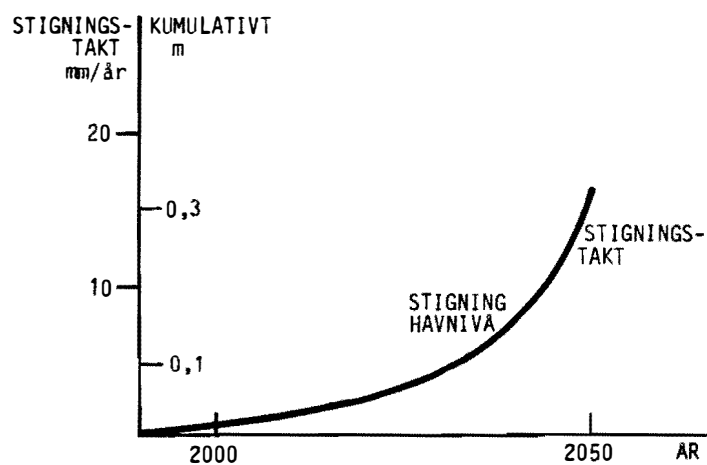
De to øverste kurvene er fra Vostok-iskjernen. Den tredje er fra dyphavssedimenter i Stillehavet, V19-30, og den nederste fra Ny Guinea terrassene, HP2. Den høye korrelasjonen sier intet om hva som er drivkreftene. Merk dagens CO₂-nivå. Figuren er lånt fra P. Barrett.

Fig. 2.



Skjematisk fremstilling av bidrag til havnivå ved smelting av breer av forskjellige størrelser under stigende drivhuseffekt.

Fig. 3.



Kumulativ sum av havnivåstigning, i m, og stigningstakt, i mm/år, frem til år 2050.

Gunnar Mathisen
Miljøverndepartementet

Jeg vil først få gi en honnør til arrangørene som jeg synes har lagt opp til et veldig fint seminar. Jeg har hatt stor glede av disse to dagene, og hadde vel også egentlig håpet å kunne gjennomføre to dager uten å måtte bidra med noe selv om departementets arbeid med klimaproblematikken, men her sitter jeg nå. Jeg ble spurt om å sitte i panelet, og jeg har vel egentlig mest lyst til å sitte her og lytte og kanskje ikke si så fryktelig mye, men jeg skal være veldig lydhør overfor ting som måtte komme fram etter hvert.

Jeg tenkte først jeg som bakgrunn skulle sette dette med norsk klimapolitikk inn i en internasjonal sammenheng. Vi vet jo at det foregår et omfattende internasjonalt arbeid på dette feltet. Veldig mye skjer nå i regi av Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Dette er et mellomstatlig panel om klimaendring, som er nedsatt av UNEP, FN's miljøprogram, og WMO, verdens meteorologiorganisasjon.

Panelet har delt sitt arbeid i tre, på den måten at det nå er tre hovedarbeidsgrupper i sving. Den ene ser på den vitenskapelige siden ved klimautviklingen. Den andre hovedarbeidsgruppen ser på de sosioøkonomiske virkninger av et mulig nytt klimaregime, og den tredje arbeidsgruppen ser på hvilke policy-tiltak som vi - ut i fra det vi vet om en mulig klimautvikling og det vi vet om mulige effekter - kan sette inn for å styre denne utviklingen. Dette arbeidet er et konglomerat av små arbeidsgrupper, og hvor jeg vil si at absolutt hele den internasjonale ekspertisen som betyr noe er involvert på en eller annen måte. Dette arbeidet skal føres fram til tre delrapporter på de tre hovedfeltene jeg nevnte og danne grunnlaget for verdens andre klimakonferanse som skal arrangeres på høstparten neste år. Det er UNEP, WMO og ICSU, det internasjonale råd for vitenskapsunioner, som står for arrangementet av denne. Konferansen skal så danne grunnlaget for internasjonalt arbeid for å lage en klimakonvensjon, hvor man skal forsøke å regulere de viktigste klimagassene. Siktemålet er

at denne konvensjonen skal være ferdigforhandlet i 1993. Det er altså et meget og aktivt og komplisert internasjonalt arbeid som foregår. Ved siden av det som skjer i regi av UNEP, WMO og ICSU, er det mange andre viktige aktører på feltet. En av de aktørene har jeg selv hatt gleden av å jobbe i i en periode, nemlig OECD, som særlig har konsentrert seg om de sosioøkonomiske aspekter av en mulig klimaendring. Nevnes bør også IEA, det internasjonale energibyrå, som dette året vil komme med en "Energy Outlook", et energiutsyn, fram til 2005, hvori også skal være en oversikt over de fremtidige utslipp av de ulike klimagasser. Dette vil også være uhyre viktige input i det arbeidet som skal gjøres fram mot en konvensjon.

I tillegg til disse internasjonale organer så er det en rekke viktige nasjonale programmer i sving. Det viktigste landet i så måte er USA, som er helt toneangivende både når det gjelder forskning og politikk på klimasiden. Japan har kommet etter og er også blant de helt fremtredende. Vest-Europa har egentlig ligget ganske langt tilbake, og det er derfor en helt bevisst politikk at man på klimasiden nå skal prøve å balansere den ekspertise som USA står for, i form av en bevisst og aktiv oppbygging av en europeisk klimakompetanse i Vest-Europa.

Norge har ikke noe særskilt nasjonalt klimaprogram, men vi har nettopp startet en utredning om norsk klimapolitikk, som vi håper skal styrke grunnlaget for en aktiv norsk innsats på feltet. Norge, som en hovedpådriver i dette arbeidet, trenger informasjon fra forskningshold, og forskningsstøtten er uhyre viktig i internasjonale forhandlinger. Selv om klimaproblematikken nå har kommet på dagsorden, er det en "vente-og-se"-holdning mange steder, og jeg har fornemmet at flere av innleggene her kanskje i noen grad også har vært litt preget av det. Jeg tror det er flere grunner til at man inntar en slik avventende holdning. Den ene er jo at dette er et globalt problem. Det spiller ingen rolle hvor utslippene skjer, alle vil merke virkningene, og samtidig, det spiller liten rolle om noen stopper utslippene så lenge andre fortsetter, det er det såkalte "gratis passasjer"-problemet som vi kjenner.

Den andre årsaken til den avventende holdningen er jo den

usikkerheten som klimautviklingen er forbundet med. Klima-modellene er jo nokså usikre, særlig på energiinputside. En tredje årsak ligger i problemets langsiktige karakter. Det er virkninger over flere generasjoner vi snakker om: Fordoblingen av CO₂-innholdet i atmosfæren skal så vidt jeg nå forstår forventes å skje i 2075, men en reell fordobling av CO₂-konsentrasjonen vil antagelig skje i 2030 pga. de andre klimagassene. Pga. tregheten i verdenshavenes oppvarming, regner man med at den effektive fordobling sannsynligvis kan skje i 2050. Det er klart at dette er et ganske langsiktig perspektiv; jeg har ferdes en del sammen med økonomer, og økonomer har en klar tilbøyelighet til å se bort fra virkninger utover en 20-års periode, iallfall bedrifts-økonomer. Kombinasjon av usikkerhet og langsiktighet gir intet imperativ om politisk handling her og nå.

En fjerde faktor er at problemene er fryktelig komplekse. Det er store kostnader forbundet med tiltak. Det griper inn i hjertet av det moderne post-industrielle forbrukssamfunns verdiprioriteringer. I tillegg har vi vanskelige nord-sør problemer å bale med. Vi vet at I-landene har stått for 3/4 av CO₂-utslippene til nå. U-landsinnbyggeren har kun 7% av CO₂-utslippet i forhold til I-landsinnbyggere, og dette er helt sentrale og meget vanskelige spørsmål som må løses: Hvordan sørge for at CO₂-utslippsbegrensninger skal gjelde i den fattige del av verden uten at en legitim rett til utvikling svekkes?

Den femte årsaken til en avventende holdning er at man er uenige om løsningene på mange måter. Kjernekraftdebatten, ikke minst i USA, er et eksempel på det. Kjernekraft kan være en måte å unngå framtidige utslipp av klimagasser og også svoveldioksyd på, men på den annen side så vil ikke en storstilt utbygging av kjernekraft egentlig redusere det drivhusproblem vi i dag har hvis man fyller opp behovet for ny energi gjennom kjernekraft, og dessuten er det samfunnsøkonomisk veldig kostbart.

"Vente-og-se"-holdninger til tross, det må være helt klart at klimaproblemet kaller på tiltak her og nå. Vi må handle i dag dersom vi skal unngå klimaendring i morgen. Pga. tidsfor skjellen mellom utslippstidspunkt og virkningstidspunkt - så kan vi ikke vente med tiltak til vi har klare vitenskapelige

bevis for klimaendringene. Hvis huset brenner, så er ikke det første man gjør å gå ut og kjøper en brannvarsler som monteres på branntomta, ei heller går man og tegner brannforsikring når det egentlig er for sent.

I denne sammenheng møter vi av og til den "hellige morgen-atferd"-alliansen mellom forskere og politikere. Forskerne vil forske for å vite mer og for å få mer penger, og politikerne vil ha mer forskning, i alle fall verbalt, for å kjøpe seg tid fra de tiltak som må settes i gang.

Dette er egentlig den første saken miljøpolitisk hvor vi kan ha sjansen til å gjennomføre en reell forebyggende innsats, hvor vi kan sette inn tiltak før vi har sett negative virkninger. På den annen side vet vi veldig lite om drivhuseffektens reelle betydning for klimaet før kanskje om 10-20 år. Det er et beslutnings-dilemma som vi er konfrontert med internasjonalt og nasjonalt. I skyggen av dette dilemmaet kan vi risikere at det dukker opp - for å bruke et slemt uttrykk - noen politisk-økonomiske "dinosaurer" - skapninger med små hoder og plass til kun kort-siktige tanker om økonomisk gevinst. Selv om disse er - som de gamle fortidsølger - en utdøende rase, kan de influere på de beslutninger som må treffes i løpet av de aller nærmeste årene. Ingen skal ha illusjoner om at motkreftene mot de nødvendige tiltakene vil forholde seg tause.

Den nøkterne forskning - for å forstå klimaproblemet og dets mulige virkninger - vil være et viktig bidrag til å berede grunnen for forandringer og nye tiltak. I utformingen av den fremtidige norske klimapolitikken legger vi derfor stor vekt på kontakten med norske og internasjonale forskningsmiljøer. Dette symposiet har for meg vært uhyre viktig når det gjelder kunnskap om klimarelevant forskning i polarområdene. Det har lagt et godt grunnlag for kontakt og samarbeid mellom forskning og forvaltning i tiden som kommer.

PROGRAM FOR SYMPOSIET

"HVA SKJER MED KLIMAET I POLAROMRÅDENE?"

25.-26. APRIL 1989

NATURLIGE KLIMAVARIASJONER GJENNOM JORDENS NYERE HISTORIE

Møteleder: PROFESSOR OLAV ORHEIM, Norsk Polarinstitutt

PROFESSOR WILLI DANSGAARD:
Geofysisk Isotoplaboratorium,
Univ./København

IS OG KLIMA

FORSKER OTTO SALVIGSEN OG
FORSKER JON OVE HAGEN:
Norsk Polarinstitutt, Oslo

NATURLIGE KLIMAVARIASJONER
I ARKTIS ETTER SISTE ISTID

FAGSJEF BJØRN AUNE:
Det norske meteorologiske
institutt, Oslo

KLIMAENDRINGER I NORGE OG
NORSK ARKTIS GJENNOM DE
SISTE 100 ÅR

PROFESSOR JØRN THIEDE:
FRG, Geomar, Chr. Albrechts-
Univ., Kiel

DYPHAVETS AVLEIRINGER SOM
KLIMAREGISTRE

PROFESSOR HANS OESCHGER:
Physicalisches Inst.,
Univ. Bern

VARIATIONS IN COMPOSITION
OF THE ATMOSPHERE

PROFESSOR JAN MANGERUD:
Geologisk Inst., Avd. B,
Univ./Bergen

HVA ER DRIVKREFTENE BAK DE
STORE KLIMAVARIASJONENE?

HVA HAR SKJEDD DE SISTE DECENNIER OG HVA SKJER NÅ?

Møteleder: PROFESSOR TORE WORREN, Universitetet i Tromsø

DR. GRAHAM FARMER:
Climatic Research Unit
Univ. East Anglia

OBSERVED GLOBAL AND ARCTIC
TEMPERATURE VARIATIONS

1. AMAN. TOR GAMMELSRØD:
Geof. Inst., Avd. A,
Univ./Bergen

OSEANOGRFISK SIRKULASJON
OG KLIMA

FORSKER TORGNY VINJE:
Norsk Polarinstitutt,
Oslo

VARIASJONER I HAVISENS UT-
BREDELSE I BARENTSHAVET/
GRØNLANDSHAVET

PROFESSOR K.E. ZACHARIASSEN:
Zool. Inst., Univ./Trondheim

KLIMAENDRINGER - FYSIO-
LOGISKE VIRKNINGER PÅ DYR

FORSKER HARALD LOENG:
Havforskningsinstituttet,
Bergen

KLIMAETS INNVIRKNING PÅ
MARINE RESSURSER

FØRSTEKONSERVATOR WIM VADER:
Tromsø Museum, og
ROB BARRETT,
NINA, Univ./Tromsø

NEDGANG I SJØFUGLBESTANDEN
- ET RESULTAT AV KLIMA-
ENDRINGER?

HVA GJØR MENNESKET OG HVA KAN SKJE INNEN NESTE GENERASJON?
Møteleder: PROFESSOR IVAR ISAKSEN, Universitetet i Oslo

FORSKNINGSLEDER ØYSTEIN HOV:
Norsk Inst. for Luftforskning,
Lillestrøm

ENDRINGER AV DRIVHUS-
GASSENE

PROFESSOR JOST HEINTZENBERG:
Dept. of Meteorology,
Univ./Stockholm

ARKTISKE AEROSOLER

PROFESSOR ANTON ELIASSEN:
Det norske meteorologiske
institutt, Oslo

KLIMAMODELLENE - DERES
RESULTATER OG USIKKERHETER

PROFESSOR OLAV ORHEIM:
Norsk Polarinstitutt, Oslo

HVA SKJER MED HAVNIVÅET?

PROFESSOR LARS WALLØE:
Fysiologisk Institutt,
Univ./Oslo

HVA SLAGS MILJØ GIR VI
VÅRE BARN?

DELTAGERLISTE:

Andersen, Bjørn	Universitetet i Oslo
Andersen, Odd Jan	Statoil
Aune, Bjørn	Det norske meteorologiske inst.
Barr, Susan	Norsk Polarinstitutt
Berntsen, Einar J.	Norsk Hydrologisk Komite
Brekke, Annemor	Norsk Polarinstitutt
Brekke, Asgeir	Nordlysobservatoriet
Christensen, Karen	Norsk Polarinstitutt
Dansgaard, Willi	Universitetet i København
Eliassen, Anton	Det norske meteorologiske inst.
Elverhøi, Anders	Norsk Polarinstitutt
Engelbrektson, Kikki	
Erlingsson, Bjørn	Norsk Polarinstitutt
Farmer, Graham	University East Anglia
Frogne, Tore	NIVA
Fuglestad, Jan	Statistisk Sentralbyrå
Gammelsrød, Tor	Universitetet i Bergen
Gjelsvik, Tore	Norsk Polarinstitutt
Grennes, Bjørn A	Miljøstiftelsen Bellona
Gulbrandsen, L.	Norsk Polarinstitutt
Hagen, Jon Ove	Norsk Polarinstitutt
Haldorsen, Sylvi	Norges Landbrukshøgskole
Halvorsen, G.	Institutt for energiteknikk
Heidegård, Arnulf	Det norske meteorologiske inst.
Heintzenberg, Jost	Universitetet i Stockholm
Henningsmoen, Kari	Universitetet i Oslo
Hisdal, Vidar	Norsk Polarinstitutt
Hov, Øystein	Norsk Inst. for Luftforsk.
Ising, Tore	Justisdepartementet
Jaworowski, Zbigniew	Norsk Polarinstitutt
Johansen, Øistein	OCEANOR
Johnsen, Torgeir	Statistisk Sentralbyrå
Johnsen, Øyvind	Det norske meteorologiske inst.
Johnsen, Anund S.	Norsk Polarinstitutt

Kanestrøm, Ingolf
 Kjensli, Per Ove
 Kjernli, Geir
 Knutsen, Svein
 Kristoffersen, Dag
 Landvik, Jon
 Larsen, Eiliv
 Larsen, Tryggen
 Laumann, Trond
 Loeng, Harald
 Mangerud, Jan
 Martinsen, Thomas
 Mathiesen, Gunnar
 Mathisen, Kirsten Broch
 Menzoni, Arild
 Naustvik, Magnus
 Oeschger, Hans
 Orheim, Olav
 Pedersen, Kåre
 Pedersen, Thorstein
 Prestrud, Pål
 Roald, Lars
 Rogne, Odd
 Salvigsen, Otto
 Sivertsen, Tor-Håkon
 Skardhamar, T.
 Slettemark, Brita
 Sollid, Johan Ludvig
 Spjelkavik, Sigmund
 Sælthun, Niels Roar
 Sætersdal, Olaf
 Thiede, Jørn
 Thomassen, Jørn
 Thue-Hansen, Vidar
 Tollan, Arne
 Tomassen, Aud Aase
 Torvanger, Asbjørn
 Tuhus, Oddvar Bull

Institutt for geofysikk
 Det norske meteorologiske inst.
 Det norske meteorologiske inst.
 NILU
 Det norske meteorologiske inst.
 Norges Landbrukshøgskole
 Norges geologiske Undersøgelse
 Miljøverndepartementet
 NVE, Hydrologisk avd.
 Havforskningsinstituttet
 Universitetet i Bergen
 Norges Naturvernforbund
 Miljøverndepartementet
 NAVF
 Det norske meteorologiske inst.
 Det norske meteorologiske inst.
 University Bern
 Norsk Polarinstitutt
 Institutt for geofysikk
 NAVF
 Miljøverndepartementet
 NVE
 Norsk Polarinstitutt
 Norsk Polarinstitutt
 Norges Landbrukshøgskole
 Inst. for energiteknikk
 Miljøverndepartementet
 Universitetet i Oslo
 Inst. for biologi og geologi
 NVE, Hydrologisk avd.
 Miljøverndepartementet
 FRG, Geomar, University Kiel
 NINA
 Norges Landbrukshøgskole
 NVE
 Det norske meteorologiske inst.
 Senter for anvendt forskning
 Statens studiesenter for film

Tønnesen, Helle
Vader, Wim
Vinje, Torgny
Walløe, Lars
Wiig, Øystein
Wilhelmsen, Kari
Wright, Richard F.
Zachariassen, K.E.

Det norske meteorologiske inst.
Tromsø Museum
Norsk Polarinstitutt
Universitetet i Oslo
Norsk Polarinstitutt
Vervarslinga for Nord-Norge
Norsk inst. for Vannforskning
Universitetet i Trondheim

