



RAPPORTSERIE

NR. 62 - Oslo 1990

**Kverndal, A-I., Elvebakk, A., Jaworowski, Z.
og Hansson, R.**

VIRKNINGER AV KLIMAENDRINGER I
POLAROMRÅDENE.

BIDRAG TIL DEN INTERDEPARTEMENTALE
KLIMAUTREDNINGEN.

**NORSK
POLARINSTITUTT**

NR. 62 - Oslo 1990

**Kverndal, A-I., Elvebakk, A., Jaworowski, Z.
og Hansson, R.**

VIRKNINGER AV KLIMAENDRINGER I
POLAROMRÅDENE.

BIDRAG TIL DEN INTERDEPARTEMENTALE
KLIMAUTREDNINGEN.

Arnt-Ivar Kverndal, Zbigniew Jaworowski og Rasmus Hansson
Norsk Polarinstitut
P.Boks 158
1330 Oslo Lufthavn

Arve Elvebakk
Universitetet i Tromsø
Institutt for biologi og geologi
9000 Tromsø

ISBN 82-90307-66-7

FORORD

Denne rapporten er utarbeidet på oppdrag av Den Interdepartementale Klimagruppen. Sammen med en rekke andre nasjonale og internasjonale utrendinger vil rapporten være en del av det faglige grunnlaget for gruppens videre arbeid. Den endelige rapporten fra Den Interdepartementale Klimagruppen vil foreligge våren 1991, og denne uttrendingen vil da bli et vedlegg til hovedutredningen.

Grunnlaget for utredningene i denne rapporten er et scenarie av 10.1.1990 fra Norsk Institutt for Luftforskning for klimaet i år 2030 ved en forvbentet dobling av CO_2 -innholdet i atmosfæren. Scenariet anslår en temperaturøking i Norge på 3-4 °C om vinteren og ca. 2 °C om sommeren. Om polarområdene sies følgende: "For Svalbard er det enda mer usikkert hvor stor temperaturøkingen vil bli, da denne i stor grad vil avhenge av hvor raskt havisen smelter".

For å ha et konkret utgangspunkt har vi valgt å bruke scenariene for Norge.

Data- og litteraturgrunnlaget innen dette emnet er svakt, spesielt for polområdene, og i særdeleshet for Antarktis. Arbeidet er derfor hovedsaklig konsentrert om det norske Arktis, dvs. Svalbard og farvannene omkring. Det er viktig å være klar over at Arktis ikke er et homogent område. Temperaturendringen og evt. virkninger av den kan bli annerledes i de mer kontinentale canadisk/amerikanske og sovjetiske arktiske strøkene enn på Svalbard.

Økosystemet på Svalbard er i stor grad avhengig av fysiske og biologiske forhold i havområdene omkring. Paraleilt med denne utredningen gjør Havforskningsinstituttet et tilsvarende arbeid på virkninger på havmiljøet. Resultater herfra har ikke vært tilgjengelige for vårt arbeid. Disse virkningene vil imidlertid være avgjørende for størsteparten av dyrelivet på Svalbard. Vi har derfor foreløpig bare kunnet gi en begrenset omtale av virkninger på dette dyrelivet. Det bør være av interesse å komme tilbake til dette når bedre grunnlagsdata foreligger.

Takk til Torgny Vinje, Jon Ove Hagen, Vidar Hisdal og Ånund Johnsen for bistand til de geofysiske utredningene, og til Arnt Ivar Kverndal som har stått for den praktiske produksjonen av rapporten.

Rasmus Hansson (red.)

SAMMENDRAG

Nedenfor følger sammendragene fra delutredningene om antatte virkninger av scenariet på isbreer, havis, permafrost, vegetasjon og flora og dyreliv. Vurderingene gjelder stort sett bare Arktis.

Hovedkonklusjonene er:

- * På grunn av store usikkerheter knyttet til lokale og regionale klimaforhold og til sammenhengen mellom klima og det fysiske og biologiske miljø, er også utsagn om virkninger av en temperaturøkning meget usikre.
- * De store iskappene på Grønland og i Antarktis ventes ikke å smelte mye, og det ventes derfor ikke betydelige endringer i havnivået.
- * Utbredelse og mengde av havis i Arktis ventes å bli påvirket, men havisen ventes ikke forsvinne.
- * Ytterkantene av permafrostområdene kan bli påvirket med ustabile grunnforhold som resultat.
- * Større arealer på Svalbard ventes å bli dekket av vegetasjon. Allerede vegeterte arealer ventes å få rikere vegetasjon. Områdene sentralt på Spitsbergen kan få krattvegetasjon. Klimaet rundt Longyearbyen og Svea vil tillate skog, men skog vil neppe bli etablert pga. spredningsbarrierer.
- * Virkninger på det høyere dyrelivet vil avhenge mest av vegetasjon, isforhold og produksjon i havet. Landdyr (virvelløse, rype, gjess, rein og rev) kan få økt næringsgrunnlag pga. økt planteproduksjon, men bl.a. vinteredbør kan begrense virkningen. Det øvrige dyrelivet (ender, sjøfugl, sel, hval, isbjørn) er helt avhengige av den marine næringskjeden. Økt sjøtemperatur vil i utgangspunktet gi økt produksjon i havet og bedre næringsgrunnlag for høyere dyreliv, men det endelige resultatet er avhengig av en rekke foreløpig ukjente faktorer.

ISBREER

Det er uenighet om hvor stor den globale havnivåendringen vil bli ved evt. endringer i klima. Dette skyldes de store usikkerhetene omkring Antarktis- og Grønlandisdekkets status idag, bruk av forskjellige metoder i beregningene og p.g.a. for liten viten om hvordan

endringer i klimaet vil influere parametre som nedør, vind, strøm og luftfuktighet. Dagens anslag for endringer av havnivået ved en global temperaturøkning på 2°C - 5°C, er mindre enn tidligere beregnet (opptil 1.5 m.). Nye beregninger tyder på at økt smeltevanntilførsel fra isdekkene over Antarktis og Grønland vil få liten innvirkning på det globale havnivået. Faktisk kan økt nedbør over disse områdene medføre en havnivåsenkning. Det globale havnivået vil derfor i større grad være betinget av termisk ekspansjon enn smelting av is fra isbreer i polområdene.

Andre effekter av en klimaendring vil i stor grad være relatert til de mindre breene og isdekkene i Arktis. Endel breer vil sannsynligvis trekke seg tilbake, mens andre kan rykke frem. Brefluktuasjonene vil være avhengig av hvordan de enkelte breene reagerer på endringer i de forskjellige klimaparametrene, særlig vintermedbøren og sommertemperaturen. Både framrykninger og tilbaketrekninger av brefronter kan medføre store lokale konsekvenser, særlig for områder med industriell virksomhet eller andre bebygde områder.

En høyere sommertemperatur medfører økt avsmelting og større tilførsel av smeltevann til de brenære områdene. Resultatet kan bli lengre flomperioder, kraftigere erosjon, smelting av det aktive laget, noe som kan føre til ustabilitet i permafrosten. Dette kan medføre massebevegelser (jordras, jordsig o.l.) og påvirke vegetasjonsdekket.

Endringer i breenes utbredelse vil endre områdets albedo. Dette kan få innvirkning for de lokalklimatiske forholdene. Der breene trekker seg tilbake kan "huller" i permafrosten (taliks) avdekkes. Disse kan gi ustabilitet i det postglasiale landskapet. Framrykkende breer kan forstyrre det aktive laget opptil et par km foran brefronten (Hagen 1986). Skader på konstruksjoner, bygg og anlegg vil være avhengig av beliggenhet og nærhet til breen.

HAV-IS

Endringer i de globale klimaforholdene vil påvirke hav-isens utbredelse, variabilitet og stabilitet. Den nære sammenhengen mellom hav-isens utbredelse og det atmosfæriske sirkulasjonsmønsteret kan i tillegg gi seg utslag i endringer i vind og havstrømmer og energibalansen mellom hav og atmosfære.

De fundamentale prosessene for dannelselse av driv-is er stort sett de samme for Arktis og Antarktis. Likevel er det p.g.a. de fysiske forholdene tildels store ulikheter i isens styrke, alder og variabilitet.

For Antarktis antar en at en global økning av lufttemperaturen med 2°C - 4°C vil få liten innvirkning på driv-isforholdene. En økning av isfjellproduksjonen er observert gjennom de ti siste årene, men hvorvidt dette skyldes økte lufttemperaturer eller naturlige variasjoner er

Idag umulig å sl. Derfor er det svært vanskelig å anslå isfjellsituasjonen i Antarktis for de neste 50 til 100 årene.

Områdene i Arktis er mer følsomme overfor klimatiske svingninger. I løpet av de siste 21 årene er det observert en minskning av hav-is utbredelsen om sommeren med ca. 25% i områdene mellom Grønland og Sovjetisk Arktis (Vinje 1985). Dette kan skyldes at vinterisen er blitt tynnere og smelter raskere tilbake i løpet av våren/sommeren. Det er usikkert i hvor stor grad disse observasjonene kan korreleres med endringer i klima.

Paleoklimatisk materiale (bl.a. Dansgaard 1989) viser at drivis-utbredelsen varierer med endringer i den globale lufttemperaturen. Teoretiske modellberegninger (Washington og Meehl 1989) gir også dette som resultat. Men sedimentstudier fra polhavbassenget (Hermann & Hopkins 1980) viser at Polhavet har vært dekt av is gjennom de siste 2,6 millioner år. Hav-isen har altså overlevd flere "varme" perioder (f.eks. 5000 år BP), og dette indikerer at den er relativt stabil. Det er derfor liten grunn til å anta at en global temperaturøkning på mellom 2° til 4° C vil føre til en total tilbaketrekning av hav-isen.

Siden det er så vanskelig å estimere i hvor stor grad den marginale hav-is utbredelsen påvirkes, er det også vanskelig å beregne hvilke følger en tilbaketrekning av driv-is fronten vil ha på energiutvekslingen mellom hav og atmosfære.

For skipstrafikken og eventuelle oljeinstallasjoner er isfjellene i Barentshavet og Norskehavet den største faren. Økt smelting og tilbaketrekking av marine isfronter på Grønland, Svalbard og Frantz Josef Land kan for en kortere periode medføre økt influks av isfjell i de nordlige havområdene. Endringer i fast-is forholdene kan medføre endringer i sesongvariabiliteten til isfjellene.

Surgende brefronter som når ned til havet produserer mange isfjell. Det er lite kjent hvilke mekanismer som starter en surge. Det er derfor usikkert hvilke konsekvenser endringer i klima vil få for surgende breer, og derved på dannelsen av isfjell.

PERMAFROST

Permafrost som materiale er følsomt overfor svingninger i klima. En eventuell oppvarming i Arktis kan få konsekvenser for utformingen av landskapet, for bygg og anleggsvirksomhet, infrastruktur, og for plante og dyreliv. Bygg, anlegg og infrastruktur på Svalbard er ikke prosjektert med hensyn til framtidige endringer i klimaet.

Virkningene vil bli størst i ytterkantene av dagens permafrostområder.

Temperaturforholdene i det øverste laget av permafrosten, det aktive laget, varierer med

energibalansen i jordoverflaten. Om sommeren tiner det, mens det om vinteren er frosset. Høyere sommertemperaturer og endringer i nedbørsforhold kan medføre et dypere aktivt lag. Dette kan føre til ustabiliteter og endringer i permafrostens skjærfasthet. Større fuktighet og mindre skjærfasthet kan resultere i store massebevegelser og utglidninger. Permafrostforholdene i kystsonen er svært følsomme for temperaturendringer fordi materialet her ofte består av leirjord og marin leire. Permafrosten her er "varm" og endringer av stabilitetsforholdene kan medføre tilbakeskridende erosjon og resultere i en ustabil kyst og strandsone.

VEGETASJON

Det ligg føre svært lite data når det gjeld vurderingar av forventa verknader av drivhuseffekten på arktisk planteliv. I denne utgreiinga er det nytta data frå botaniske, zoologiske og andre sediment-seriar (paleoklimatiske data), og data om samvariasjon mellom klimatypar og flora og vegetasjon i dagens arktis. Utgreiinga fokuserer på ein sommartemperatur-auke på 2 (3)°C innan år 2030. Det er grunn til å vente ein svært nær samanheng mellom temperaturklima og vegetasjonsfordeling.

Det var truleg høgare temperaturar på Svalbard frå 3500 før notid og attende, med eit klart maksimum 2 - 3° C varmare enn idag for rundt 8-9000 år sidan. Dette historiske scenariet kan representere eit liknande scenarium som det som no er konstruert for perioden fram mot år 2030. Men dei myr-profil som ein hittil har studert på Svalbard går ikkje langt nok attende i tid til å fortelje oss korleis vegetasjonen var på denne tida.

Pga. den ekstreme topografiske diversiteten på Svalbard, er makroklimaet sterkt oppsplitta i ulike lokalklimaer. Mellom to område t.d. 50 km. frå kvarandre med ein sommartemperatur-skilnad på 2°C vil vegetasjonen ideelt endre seg gradvis langs temperaturgradienten. Viss øvrige økologiske faktorar er like og spreilingsbarrierar ikkje eksisterer, vil den gradienten i tid som scenariet vårt representerer, gradvis utvikle seg langs denne idealiserte gradienten i terrenget. (Men det er lite truleg at det eksisterer slike jamne gradientar på Svalbard idag).

Elles vil den differensieringa i lokalklima ein har idag truleg og gjelde etter ei klimaendring. Idag ligg dei varmaste områda på Svalbard i dei sentrale delane av Spitsbergen, medan klimaet blir mindre gunstig mot alle retningar, særleg mot aust og nord. Ein manglar idag lokalklimatiske måleseriar frå størstedelen av Svalbard.

Ut frå skilnadene i flora og vegetasjon ein idag finn mellom ulike bioklimaiske sonar, er dette endringane ein kan vente ved ein sommartemperatur-auke på 2 - 3°C fram mot år 2030:

- Våte område blir våtare, tørre område tørrare. Snøsmeltinga skjer tidlegare og snøleieareala blir mindre. Det aktive laget blir djupare, større ismengder smeltar. Erosjon og utrasing aukar i skrånande områder.
- Viss klimaendringane ikkje skjer for fort, vil i grove trekk dei vegetasjonssonane ein idag kjenner "vandre" etter klimautviklinga.
- I dei varmaste områda på Svalbard, dvs. dalbotnane kring Longyearbyen og Colesbukta, vil ei sommartempeartur-auke på 2 - 3°C akkurat gi grunnlag for skog, og godt grunnlag for buskdanning. Skog finnes ikkje på Svalbard idag, og spreilingsbarrierer (Barentshavet) vil truleg hindre at skog etablerer seg, medan kratt-etablering er sannsynleg, basert på dvergbjørk. Det er vanskeleg å forutseie om vier kan innførast eller auke med utgangspunkt i dagens minimale populasjonar.
- I dei øvrige senrale områda på Spitsbergen (Indre fjordsone) vil temperaturen også nå over terskelen for kratt-danning. Fjellkreking og dvergbjørk vil bli dominant, medan kantlyng og vardefrytle- og raudsildreheiene vil bli fortrengt opp i høgda. Fattigmyrer med torvmosar vil auke kraftig i utbreiing, medan rikmyrar vil bli mykje frodigare og heilt dominert av grasaktige plantar. Ein vil kanskje også få tjern med enkelte innførte vassplantar. Ei rekkje grasartar vil truleg ekspandere, serleg i område med beiting. Minst endring vil det truleg bli på rabbane, som er for ekstreme for fjellkrekingen.
- Raudsildre-snøleiesamfunna vil bli erstatta med kantlyng- og reinroseheier. Ved kysten kan ein få ekspansjon av plantesamfunn med affinitet til musøyre-snøleiene. Del goldaste områda idag, den såkalla polarørkenen, vil truleg bli heilt borte frå låglandsnivåa og kun vere utvikla på fjellplatåa, slik situasjonen er i dei klimatisk gunstigaste delane av Svalbard idag.
- Artsdiversitet og -tal vil auke i alle område. Områda som idag er polarørken eller nordarktisk tundra kan potensielt få dubla artstalet ved at meir varmekjære artar vandrar inn frå varmare område. Innvandring av artar utanfrå Svalbard vil vere svært liten pga. dei store havområda rundt, og uråd å seie på førehånd.
- Produktiviteten vil auke og planteindividua vil bli større. Oppvarming av jordsmonnet vil gjere at nedbrytinga går fortare og meir plantenæring blir frigjort. Fenologien kan bli endra slik at blomstring og frøsetting skjer tidlegare. Mange varmekjære plantar rekk ikkje å sette frø idag, og ei oppvarming som gjer at dei produsere frø kan føre til ein auke i utbreiinga og mengdefordeling av slike artar.
- Fig. 6.10 I delutgreiinga syner juli-isotermene slik dei truleg vil vere fordelte etter klimaendringa som scenariet representerer. Dette syner den potensielle utbreiinga av

bioklimatiske sonar på Svalbard i år 2030. Historiske data viser at plantane er trege og kjem på etterskott når klimautviklinga er kraftig. Nesten ingen dominante planteartar på Svalbard har effektiv seksuell reproduksjon, og dei ekspanderer sakte. Utviklinga vil gå mot dette potensialet, men det er usannsynleg at det gitte scenariet vil ha medført ei full utskifting av sonar og ei innstilling i nye likevekter med nye karakteristiske vegetasjonstypar innan år 2030.

- Blir temperaturauken mindre enn i scenariet, t.d. 0,5 - 1°C, vil dette liggje innan dei naturlege temperatursvingningane som har vore i dette hundreåret. Ein har ikkje data som tyder på at dette vil slå ut i botaniske endringar.
- Blir auken større (5,5°C) blir utslaga meir drastiske og katastrofeprega. Det er vanskeleg å tenkje seg korleis ei så kraftig utskifting av vegetasjonssonar som dette vil gje potensiale for, kan realiserast bl.a. pga spreilingsbarrierer for tre og busker. Ein slik temperatur-auke vil vere større enn dei klimasvingningane som har vore etter Istida, og vil måtte samanliknast med ei tid for 2 - 3 millionar år sida då det klimatisk sett ikkje var noko Arktis.

DYRELIV

Virkninger av en evt. temperaturøking på det arktiske dyrelivet vil oftest være indirekte og skyldes tildels komplekse "kjedereaksjoner" gjennom økosystemet. Det er meget usikkert hvordan sluttvirkningene vil bli. Størsteparten av dyrelivet på Svalbard er helt eller stort sett avhengige av den marine næringskjeden. Inntil virkninger på den er utredet er grunnlag for forutsigelser om de samlede virkningene på det øvrige dyrelivet svakt.

Biologene mangler teorier for å forklare hvordan organismer reagerer på klimaendringer. Paleontologiske studier indikerer at arter med lav bestandstetthet er mest følsomme for svingninger i klima. Videre synes rovdyr å ha hatt større vanskeligheter med å tilpasse seg enn planteeterne, og at arter som er spesialister er mer utsatt enn arter med en mer variert næringstilgang.

De store bølgene av utdøinger blant terrestriske arter i Pleistocene har skjedd under varmeperiodene (interglasialene) og ikke i kuldeperiodene (istidene). For de marine dyreartene finner en at varmeperiodene ikke har forårsaket annet enn endringer i utbredelse. Generelt gir imidlertid paleontologiske studier en usikker basis for å vurdere hvilke virkninger en framtidig klimaendring kan få på det polare dyrelivet:

Varmblodige dyr er på kort sikt mer motstandsdyktige mot temperaturendringer enn vekselvarme. Ved langsiktige, permanente temperaturforandringer utover visse grenser kan

Imidlertid arter med kort generasjonstid og høyt reproduksjonspotensiale (ofte karakteristisk for vekselvarme dyr) ha bedre muligheter til å tilpasse seg.

Utreddingene om geofysiske og botaniske endringer ved den anslåtte temperaturøkningen konkluderer med at havnivået trolig ikke vil bli drastisk endret, at havisdekket vil bli påvirket men ikke forsvinne og at landvegetasjonen vil få økt produktivitet og dekke nye arealer. Miljøforholdene synes derfor ikke å ville bli mer forandret enn at de fleste av dagens dyrearter på Svalbard vil klare seg, men utbredelse og bestandsstørrelser kan bli påvirket.

Virvelløse dyr på land: For lite er kjent om disse dyregruppene til å trekke konklusjoner. I utgangspunktet kan økt temperatur og økt produktivitet i vegetasjonen ventes å være en positiv faktor.

Økosystemet i ferskvann: For lite er kjent om dette systemet i Arktis til å trekke konklusjoner. Den antatte temperaturøkningen er trolig for liten til å medføre endringer i vanntemperatur og -volum, og dermed i systemet ellers.

Svalbardrein: Større vegeterte arealer og økt produksjon i vegetasjonen vil øke de potensielle matressursene for reinen. Tilgjengelig vinterbeite er begrensende faktor lokale bestander. Temperatur- og nedbørforhold om vinteren avgjør om et evt. økt matpotensialet kan realiseres i form av større reinbestand.

Polarrev: Svært avhengig av den marine næringskjeden (sjøfugl) selv om den er et landdyr. Endringer i havet, og dermed i lokale sjøfuglbestander, vil få størst betydning, men endringer i rein-, rype-, gåse- og ringseilbestander vil også virke sterkt inn lokalt.

Svalbardrype: Større vegeterte arealer og økt produksjon i vegetasjonen vil øke de potensielle matressursene for rypa. Tilgjengelig vinterbeite kan være begrensende faktor lokale bestander. Temperatur- og nedbørforhold om vinteren avgjør i så fall om et evt. økt matpotensialet kan realiseres i form av større rypebestand.

Kortnebbgås, kvitkinngås og ringgås: Større vegeterte arealer, økt produksjon i vegetasjonen og særlig flere rike våtmarksområder vil øke matressursene for gjessene. Men det er trolig overvintringsområdene i Europa som særlig begrenser gåsebestandene på Svalbard, ikke matressursene.

Dyr som ender, alkefugl, måker og annen sjøfugl samt sel, hval og isbjørn er alle direkte avhengige av den marine næringskjeden. Forutsatt at havis-situasjonen ikke endrer seg for mye i forhold til idag, vil primærproduksjonen i Barentshavet avgjøre det potensielle næringsgrunnlaget for disse dyrene. En evt. oppvarming av vannmassene ventes i utgangspunktet å øke primærproduksjonen. Mengden tilgjengelig næring for de forskjellige dyrebestandene vil imidlertid avhenge av hvor og når store næringskonsentrasjoner evt.

forekommer. Hvis slike områder flytter seg i fht. idag kan konsekvensene bli negative for f.eks. fuglekolonier som blir liggende for langt unna, selv om produksjonen er økt.

GEOLOGISK TIDSOVERSIKT TERTIÆR - KVARTÆR

CENOZOIC	KVARTÆR	HOLOCEN	
		----- 10.000 ÅR siden	
	TERTIÆR	PLEISTOCENE	
		----- 2 MILL.ÅR	
		PLIOCENE	
		----- 5 MILL.ÅR	
		MIOCENE	
		----- 30 MILL.ÅR	
		OLIGOCENE	
		----- 40 MILL.ÅR	
		EOCENE	
		----- 58 MILL.ÅR	
		PALEOCENE	
		----- 70 MILL.ÅR	

INNHold

1. FORORD

2. SAMMENDRAG	li
3. VIRKNINGER AV KLIMAENDRINGER PÅ ISBREER	1
Generelt om isbreer	1
Isbreer og klima	8
Antatte effekter	12
Forslag til framtidig forskning	18
Sammendrag	19
4. VIRKNINGER AV KLIMAENDRINGER PÅ UTBREDELSEN AV HAV-IS	21
Generelt om hav-is	21
Hav-is og klima	25
Antatte effekter	28
Forslag til framtidig forskning	32
Sammendrag	33
5. VIRKNINGER AV KLIMAENDRINGER PÅ PERMAFROST	35
Generelt om permafrost	35
Permafrost og klima	39
Antatte effekter	41
Forslag til framtidig forskning	43
Sammendrag	44
Litteratur geofysisk del	46
6. VERKNADER AV AV KLIMAENDRINGAR PÅ TERRESTRISK FLORA OG VEGETASJON	55
Introduksjon	55
Paleoklima basert på datasett utanom Svalbard-botanikk	56
Paleoklimatiske undersøkingar av Holocen på Svalbard	61
Oppsummering av paleobotaniske data	67
Resent samvariasjon mellom klima og vegetasjon	67
Øvrige botaniske kriterie på klimatilhøve	79
Forventa effektar av ein temperatúrauke på Svalbard	81
Tilrådd forskning og overvakingstiltak	88

Samandrag	91
Appendiks A	94
Litteraturreferansar botanikk	95

7. VIRKNINGER AV KLIMAENDRINGER PÅ DYRELIVET	102
Innledning	102
Paleontologiske data	102
Historiske data	105
Temperatureffekter	105
Nedbøreffekter	106
Nyere historiske data fra Arktis	106
Virkninger på arktiske dyr	110
Forslag om videre forskning	114
Sammendrag	115
Litteratur zoologi	117

KAPITTEL 3, 4 OG 5

Arnt-Ivar Kverndal
Norsk Polarinstitutt
P.Boks 158
1330 Oslo Lufthavn

Kapittel 3: Virkninger av klimaendringer på isbreer.

Kapittel 4: Virkninger av klimaendringer på hav-is utbredelse.

Kapittel 5: Virkninger av klimaendringer på permafrost.

KAPITTEL 3

VIRKNINGER AV KLIMAENDRINGER PÅ ISBREER

GENERELT OM ISBREER

Idag er ca.10% av jordas landareal dekket av is. De to dominerende isdekkene finner en over Antarktis og Grønland. Tilsammen utgjør disse ca.90% av det bredekkete landareal, og omlag 99% av det samlede isvolum. Alene utgjør Antarktis isdekket alene ca.95% av dette volumet. 200.000 isbreer fordelt omkring på jorda utgjør den siste volumprosenten.

Den siste geologiske perioden, Kvartær (siste 2 mill. år) har vært preget av et kaldt klima der is har dekket store arealer både på den sørlige og den nordlige halvkule. En regner at de første isdannelser i polhavene startet for omlag 5 mill. år siden, men at det først for ca. 2,6 mill. år siden ble kaldt nok til at isen ikke smeltet om sommeren (Løvø et al. 1990, Thiede 1989). Borkjerner fra sedimentlag viser at den Antarktiske iskappen er minst 6-7 mill. år gammel. Isen over Grønland er også "gammel", men sikre dateringer er ennå ikke gjort. Hver av istidene i Kvartær har hatt en varighet på ca.100.000 år, mens mellomistidene har vart gjennomsnittlig 10.000 år (Fig.3.1). Idag er vi i en slik mellomistid.

Den siste istiden hadde sin største utbredelse ca.18.000 år BP (Before Present = 1950). Da var omlag 30% av det samlede landareal dekket av is. De siste isrestene i Norge smeltet vekk for omlag 9000 år siden. Dagens breer er nydannede.

Det finnes idag en mengde teorier for hvordan en skal forklare istidene. En av disse forklarer istidene utfra endringer i jordas baneforhold, såsom forandringer i jordaksens dreining (presesjonen), jordbanens eksentrisitet og tidspunktet for når jorda er nærmest sola (rotasjon av perihelion). Teorien ble lansert av jugoslaven Milutin Milankovitch i 1920, men ble først sannsynliggjort på midten av 1970-tallet da paleomagnetiske dateringer og O^{16}/O^{18} -innhold i dyphavsedimenter kunne korreleres med Milancovic's sykler.

Den postglasiale klimautviklingen viser at det klimatiske optimum etter siste istid var for ca. 5.000 år siden (Dansgaard 1989). Fra da av har den globale gjennomsnitts-temperaturen sunket (Fig.3.2) og ifølge Milankovitch's modell skal vi idag være på vei mot en ny istid. Analyser av de siste hundre års meteorologiske data tyder imidlertid på at det har funnet sted en global temperaturøkning på ca. 0.5 C (Braathen et al. 1989). Det kan være vanskelig å avgjøre hvorvidt temperaturøkningen er naturlig eller i hvor stor grad den er antropogent betinget.

Glasiologiske og glisialgeomorfologiske undersøkelser har vist at det har vært svingninger i klimaet også de siste 1000 år. Undersøkelser av iskjerner fra Grønland (Dansgaard 1989)

viser en varmeperiode fra slutten på 800-tallet til midt på 1000-tallet. Dette har medført en mer nordlig driviskant og færre isfjell. Historiske data viser at dette kan ha vært en medvirkende årsak til vikingenes landnám på Island og Grønland. Under "den lille istid" som varte fra rundt 1400 til 1800 e.Kr. var det på den nordlige halvkule en drastisk klimaforverring. Dette ga seg utslag i at mange av dalbreene i Norge rykket fram og avsatte endemorener opptil 3-4 km foran dagens brefronter. Kirkebøker fra årene omkring 1750 forteller om gårder som folk måtte forlate p.g.a. breenes framrykninger.

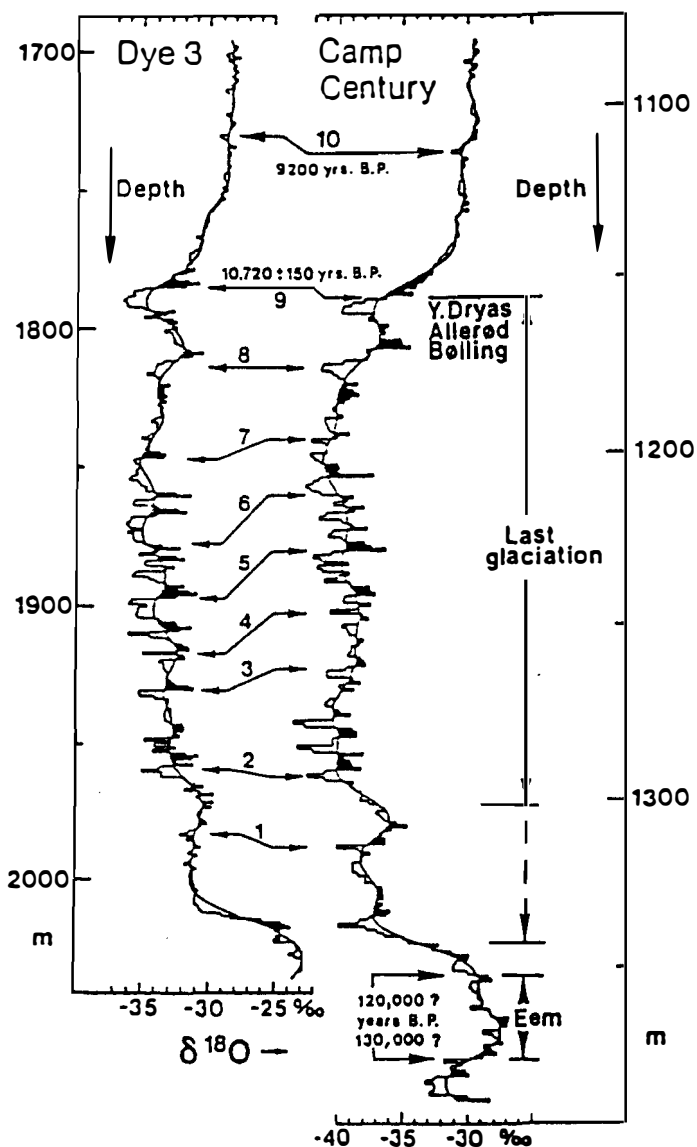


Fig 3.1) To O^{18}/O^{16} - profiler fra de dypeste 300 metrene av iskjernene fra DYE 3 på SØ-Grønland og Camp Century på NV-Grønland. Pilene viser lag som kan korreleres. (Dansgaard et al. 1982)

Morener som blir avsatt foran breene gjør det mulig å rekonstruere isbreenes størrelse og volum. På den måten kan en bruke breene som indikator for tidligere klima. Det er i stor grad slike spor som har gjort det mulig å kartlegge den siste istidens utbredelse.

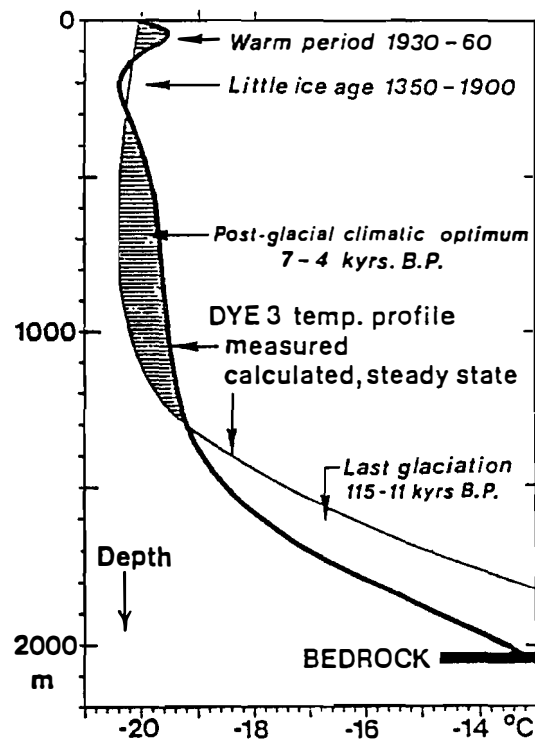


Fig 3.2) Den tykke kurven viser temperaturgradienten i en borkjerne fra SØ-Grønland. Den avviker fra den beregnede tynne kurven som viser hvordan temperaturgradienten ville sett ut dersom klimaforholdene alltid hadde vært som idag. Avvikelsene skyldes endringer fra dagens temperaturforhold. (fra Dansgaard 1989)

GLASIOLOGI

Det finnes mange forskjellige typer av isbreer (Fig.3.3). De største kontinentale Isdekte arealene kalles isdekker. Mindre utgaver av isdekker, t.eks. Jostedalsbreen og Barentsjøkulen (Barentsøya) blir gjerne benevnt platåbreer. Ufra platåene eller isdekkene dreneres ismassene gjennom dalbreer ned mot kysten. Der ismassene når kysten og blir liggende å flyte dannes de flate issshelfene. Botnbreer er isbreer som dannes i botner og i lesideforsenkninger. Botnbreer finner en mange av både i Arktis og i høyfjellet i Norge.

Massebalanse er et viktig begrep innenfor glasiologi. Massebalansen er definert som forholdet mellom den snømengde som akkumuleres på breen i løpet av vinteren (akkumulasjon) og det som smelter av i løpet av sommeren (ablasjonen) (Fig.3.5). Både akkumulasjonen og ablasjonen er i hovedsak betinget av klimatiske parametre.

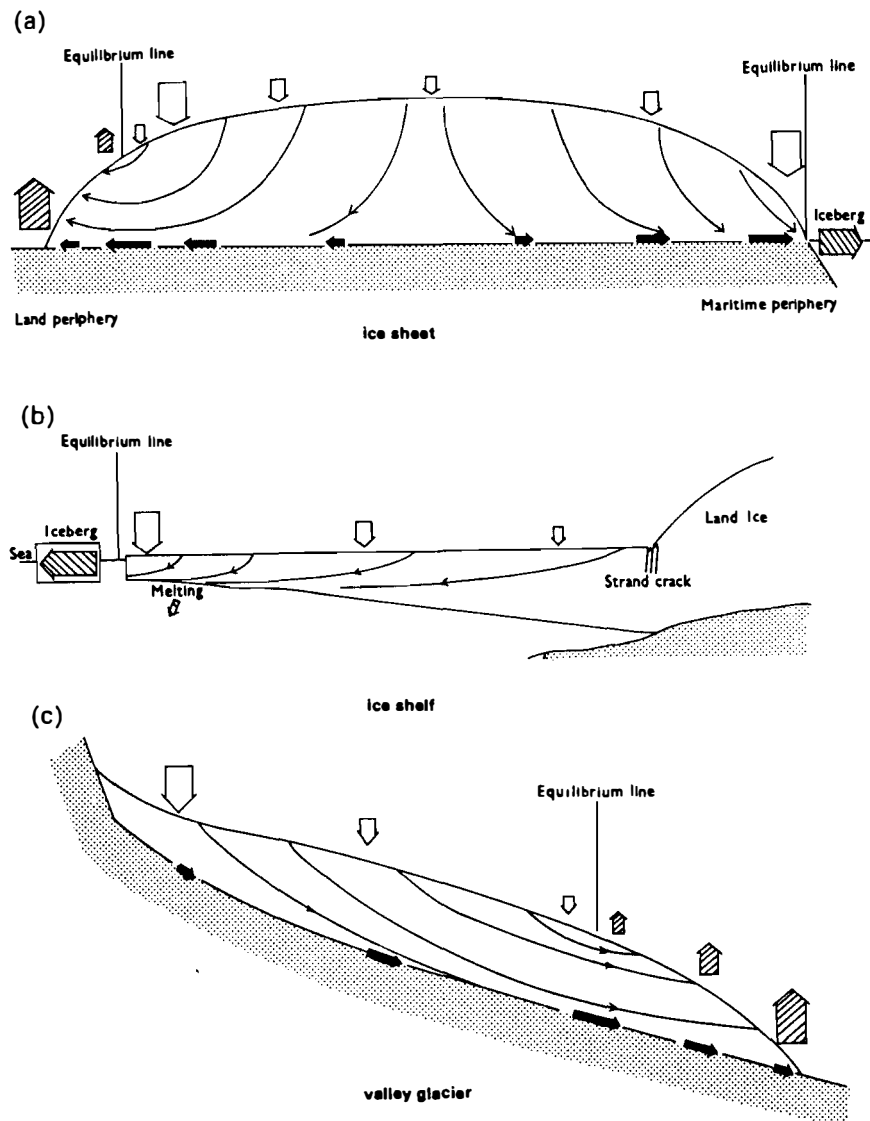


Fig 3.3) Forskjellige typer isbreer: (a) Isdekke, (b) issshelf og (c) dalbre.
(Sugden og John 1976)

Akkumulasjonen er i stor grad styrt av vinternedbøren. Den kan falle direkte på breen eller bli tilført som vindtransportert fokksnø. I enkelte områder kan påfrosset is være et viktig tilskudd til akkumulasjonen. På Svalbard er det gjort målinger som viser at påfrosset is kan utgjøre mellom 10-30% av vinterakkumulasjonen (Hagen og Llestøl 1990). Påfrosset is er smeltevann eller regnvann som fryser på i de nedre delene av breen.

Ablasjonen er det som tiner av i løpet av sommeren. Mange faktorer er bestemmende for hvor stor ablasjonen blir. En kan dele disse inn i to grupper:

1) Meteorologiske: stråling, konveksjon, sublimasjon, kondensasjon, regnsmelting og vindtransport.

2) Ikke-meteorologiske: smelting i kontakt med sjø, kalving, jordvarme og friksjonsvarme.

Globalt sett er kalving den viktigste ablasjonsfaktoren. Dette kommer av at ablasjonen ved de store isdekkene over Antarktis og Grønland overveiende skjer ved kalving. Kalving foregår ved at den flytende issheffen brekker av i store flak, eller ved at ikke-flytende brefronter blir underminert av relativt varmt hav-vann og mindre stykker brekker av eller raser ut. I Norge og i områder med ikke-kalvende brefronter er det den kort og langbølgete innstrålingen fra henholdsvis sola og atmosfæren som er den største ablasjonsfaktoren.

Isbreer rundt omkring på kloden er svært forskjellige. Vi har tidligere delt isbreene inn i isdekker, platåbreer, dalbreer, botnbreer og issheffer. Alle disse typene av breer oppfører seg forskjellig og reagerer forskjellig på endringer i klima og massebalanse. Dette er tilfelle ikke bare p.g.a. lokale klimaforhold, men også fordi breenes dynamikk er styrt av mange faktorer. Geologi, topografi, størrelse, volum, eksposisjon, temperatur og sedimentinnhold i isen er alle viktige parametre.

Et år med negativ massebalanse gjenspeiles ofte ved at breens hastighet ikke klarer å kompensere for det isvolumet som er smeltet av i brefronten i løpet av sommeren. Dette medfører en netto tilbaketrekning av brefronten ved smeltesesongens slutt.

En positiv massebalanse er et resultat av at sommervarmen ikke klarer å smelte all vinternedbøren. Ofte gir et enkelt overskuddsår seg lite utslag på brefrontens posisjon. Dette skyldes at masseoverskuddet er lagret i akkumulasjonsområdet og genereres gjennom breen etterhvert som denne beveger seg nedover.

Et massebalanseår er vanligvis regnet fra smeltesesongens slutt forrige år til smeltesesongens slutt inneværende år. Massebalansegradienten er hvordan massebalansen fordeler seg over en høydeprofil for breen (Fig.3.4).

Området mellom akkumulasjonsområdet og ablasjonsområdet kalles likevektslinja (Fig.3.5). Her er akkumulasjonen like stor som ablasjonen. Ved flere års negativ massebalanse vil likevektslinja heves. Breens volum vil minke samtidig som brefronten vil trekke seg tilbake. Med flere etterfølgende år med positiv massebalanse vil likevektslinja senkes. Breens volum vil øke og dette vil resultere i at brefronten rykker frem.

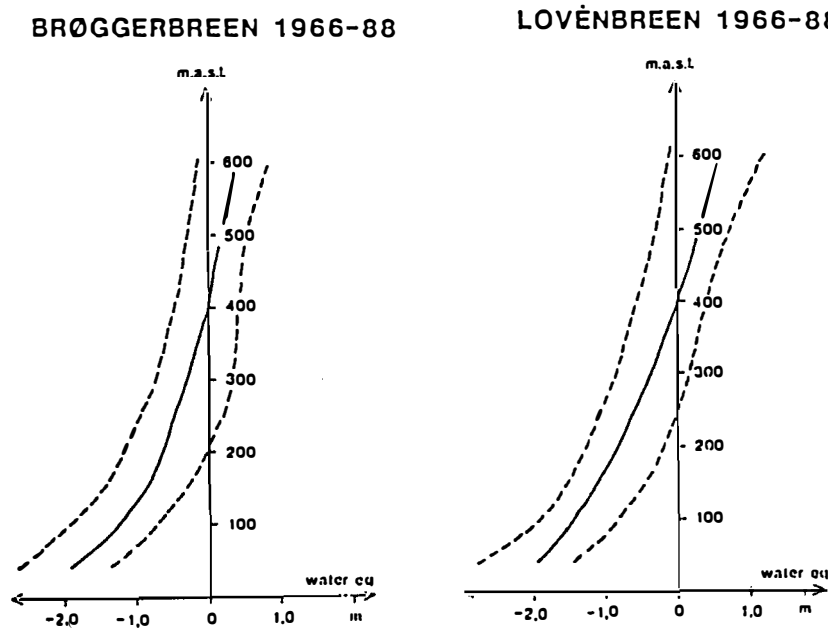


Fig 3.4) Netto massebalansegradienter for Brøggerbreen og Lovenbreen (Svalbard) for perioden 1966 - 1988. Stiplede linjene angir de mest ekstreme positive og negative årene gjennom denne perioden. (Hagen og Liestøl 1990)

Ved endringer i breens massebalanse vil breens likevekt endres. Tida breen bruker på å innrette seg til den nye likevekten er responstida. Responstida kan være sterkt varierende fra bre til bre, og den er i stor grad betinget av breens dynamikk, størrelse og indre temperaturforhold. Utregninger viser at responstida for Isdekket over Antarktis er ca. 25000 år (Paterson 1981). For vanlige dalbreer (lengde 1-20 km og hastighet ved fronten 1-10 m/år) foreslår Paterson (1981) en responstid på mellom 100 og 1000 år. Johannesson, Raymond og Waddington (1989) som tar utgangspunkt i breens høyde og massebalanse foreslår responstida for vanlige dalbreer til å ligge mellom 10 og 100 år.

Vi har såvidt vært inne på at isbreenes "oppførsel" er betinget av temperaturforholdene i isen. Selv om temperaturforholdene i breen generelt er viktig, er det kanskje særlig temperaturen langs bresålen som er interessant. Det er faktisk vanlig å klassifisere isbreer etter temperaturforholdene langs sålen.

Breer på de høyeste breddegradene der lufttemperaturen sjelden kommer over 0°C er vanligvis fastfrosset til underlaget. Dette er polare breer. Ved de polare breene foregår hele brebevegelsen gjennom indre deformasjon. Dette skjer fordi breis er en plastisk masse. Ismassens bevegelsesretning vil alltid være styrt av breoverflatens helling.

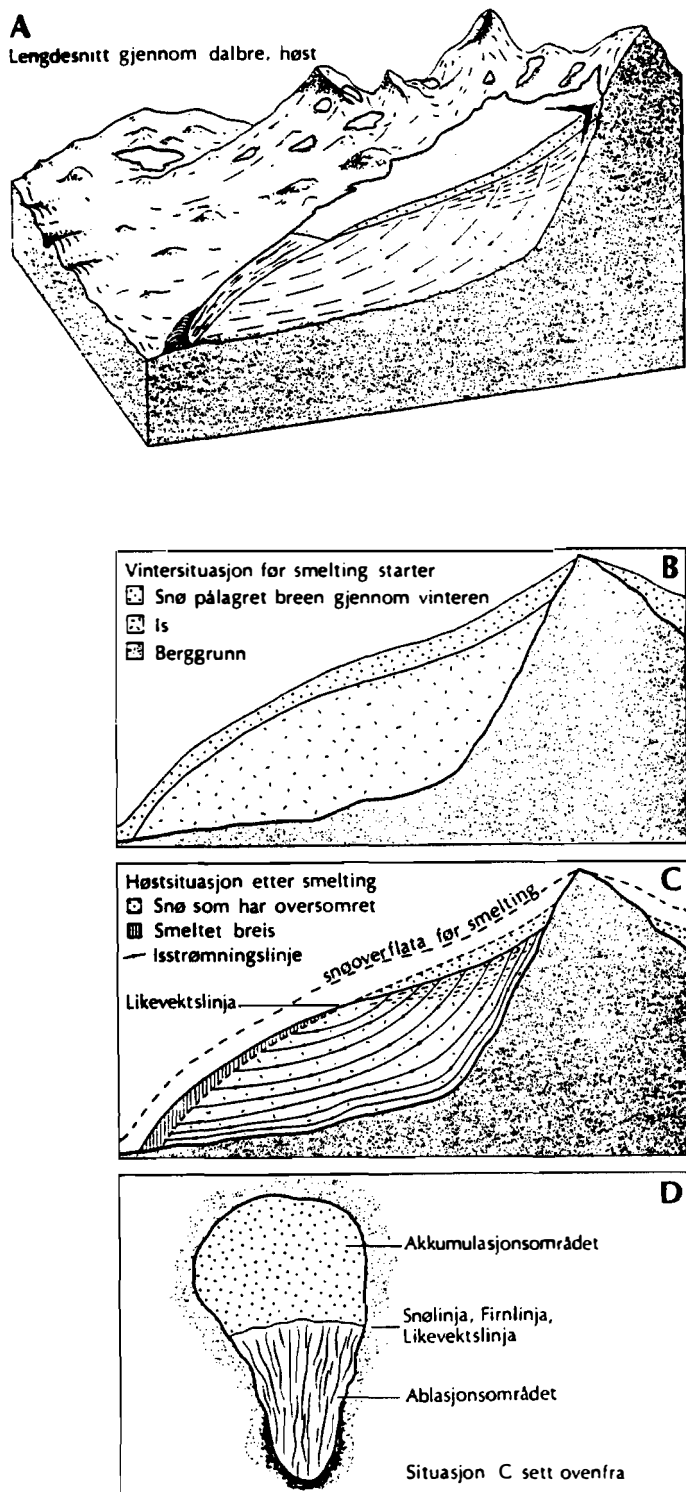


Fig 3.5)

Skjematisk lengdesnitt gjennom en dalbre, vist på tre ulike tidspunkter i løpet av året. (Kristiansen og Sollid 1989)

Breer som ikke er fastfrosset til underlaget og som har temperaturer over trykksmeltepunktet under hele sålen er tempererte breer. Tempererte breer er vanlig i Norge, men mindre utbredt i de polare områdene. Ved de tempererte breene beveger hele ismassen seg både langs sålen og ved indre deformasjonen. Dette medfører større hastighet og kortere reaksjonstid overfor endringer i massebalansen.

De fleste av breene i polområdene er på en måte en slags kombinasjon av polare og tempererte breer. De er ofte temperert i akkumulasjonsområdet og i de øvre deler av ablasjonssonen, mens de er fastfrosset til underlaget i de nederste partiene. Slike breer kalles subpolare breer.

Et fenomen som ofte gjør seg gjeldenede for breene i polarområdene er at de med visse, ofte periodiske mellomrom surger, dvs at de rykker fram med hastigheter på opptil 100 ganger det normale. Da Negribreen på østsida av Spitsbergen surget i 1935-36, rykket den fram drøye 12 km på et år (Liestøl 1969). Av breene på Svalbard er ca. 90% av den surgende typen (Hagen og Liestøl 1990). At breene surger gjør det vanskelig å avgjøre i hvor stor grad breenes tidligere framstøt har vært klimatisk betinget. Derfor er breene i Arktis ofte lite egnet som klimaindikatorer.

ISBREER OG KLIMA

For de polare områdene er det gjort svært få massebalanseobservasjoner. I følge World Glacier Monitoring Service (1988) er det for perioden 1980-1985 i tillegg til Norsk Polarinstitutt's målinger på Lovenbreen og Brøggerbreen (78°53') ved Ny-Ålesund kun gjort målinger på isdekkene på Meighen Island (79°25'N) og Devon Island (75°25'N). I tillegg har forskere fra Sovjet gjort målinger på østsida av Spitsbergen (Liestøl pers.medd). Deres lengste serie er gjort på Vøringbreen, og strekker seg tilbake til 1967 (Hagen og Liestøl 1990). Ifølge andre kilder (Letreguilly og Reynaud 1989) finnes det også data fra endel Nord-Amerikanske breer, men disse kan knapt regnes til Arktis.

I 1950 startet Norsk Polarinstitutt de første massebalansemålinger på Svalbard. Det var på Finsterwaldbreen på sørsida av Van Keulenfjorden. Fram til 1966 hadde Norsk Polarinstitutt kun ekspedisjoner til Svalbard hvert annet år. Derfor er massebalansedataene for denne perioden mangelfulle. I 1966 startet en massebalansemålinger i Kongsfjordområdet, på Lovenbreen og Brøggerbreen. Siden da har Norsk Polarinstitutt hatt ekspedisjoner hvert år til Svalbard.

Resultatene fra målingene som Norsk Polarinstitutt har utført viser at i perioden 1950-1988 har breene trukket seg jevnt tilbake. Hagen og Liestøl (1990) har funnet at årlig netto massebalanse for Brøggerbreen og Lovenbreen for denne perioden har vært henholdsvis

-0.46 m/år og -0.37 m/år vannekvivalent. Dette utgjør mer enn 10% av breenes volum i 1967. For at breene skulle ha vært i likevekt måtte sommertemperaturen ha vært 1°C lavere eller vinternedbøren 50% høyere. Resultatene til Hagen og Liestøl (1990) viser ingen tegn på en økende negativ massebalanse. Trenden for de siste 20 år viser en stabil klimatisk situasjon med en liten økning i vinternedbøren. Netto massebalanse viser derfor en liten økning, dvs mindre negativ enn i 1967.

Lefauconnier og Hagen (1990) har rekonstruert massebalansen på Brøggerbreen tilbake til 1912, da de meteorologiske observasjonene startet på Svalbard (Isfjorden). Massebalansemålingene fra 1967 - 1988 viser god korrelasjon med de positive sommertemperaturene, og utfra denne sammenhengen kan en med bakgrunn i temperaturdata rekonstruere massebalansen. Beregningene er utført med utgangspunkt i Lilbourns (1974) lineære massebalansemodell.

Resultatene viser at massebalansen siden 1918 har vært negativ. Den kumulative negative massebalansen for Brøggerbreen er fra 1918 til 1988 på 34,35 m vannekvivalent. Rekonstruksjonen viser imidlertid at den negative massebalansen blir mindre (Fig.3.6). Dette er i samsvar med sommertemperaturen som viser en svak negativ trend og vinternedbøren som er økende.

I det sørlige Alaska, på Kenai-halvøya nær Alaska Gulven, har U.S. Geological Survey gjort massebalansemålinger på Wolverine Glacier siden april 1966 (Mayo og March 1990). Temperaturmålingene startet i 1967, mens nedbørmålingene startet i 1968. Klimaet for perioden 1967-1988 viser en tendens mot varmere og fuktigere vintre med økende vinternedbør. Observasjonene viser ingen forandring for sommertemperaturene. Dette er i stor grad i samsvar med de globale klimatrendene.

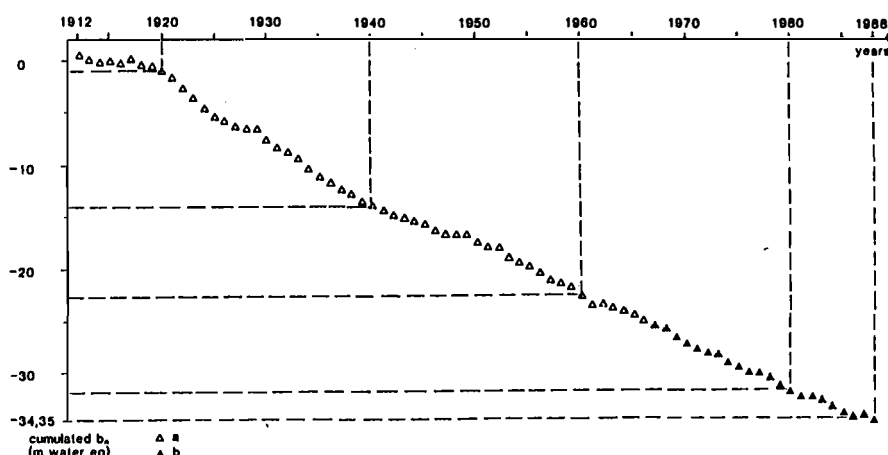


Fig.3.6). Kummulativ netto massebalanse for Brøggerbreen (Svalbard) fra 1912 til 1988. Dataene fra 1912 til 1966 er rekonstruert fra temperaturene i Juli, August og September. a: rekonstruerte netto massebalanse b: observert netto massebalanse (Lefauconnier og Hagen 1990s).

Massebalansemålingene viser at mellom 1965 og 1976 hadde Wolverine Glacier en negativ massebalanse på 3.8 m vannekvivalent. Fra 1976 til 1988 derimot hadde breen en positiv massebalanse på 8.1 m vannekvivalent. Dette gir en netto massebalanse i perioden 1965-1988 på +4.3 m vannekvivalent. Observasjonene viser hvor viktig vintemedbøren er for breenes massebalanse.

I Antarktis startet de første massebalansemålinger i forbindelse med det Internasjonale Geofysiske År i 1957. De første undersøkelsene (Mellor 1959, Loewe 1967, Bardin og Suzetova 1967) konkluderte med et forholdsvis stort masseoverskudd. Etterhvert som en har fått bedre kjennskap til ismassenes dreneringssystemer og hastigheter ut mot shelfene, har en kunnet gi bedre estimater for massebalansen. Men fremdeles er det divergerende meninger om hvorvidt massebalansen i Antarktis er negativ, positiv eller i balanse (Budd og Smith 1984, Meier 1990, Oerlemans 1982, Orheim 1984, Paterson 1982, Sugden 1982, Zwally 1989).

En har relativt god oversikt over den årlige akkumulasjonsraten (Budd 1972, Kotlyakov 1961, Kotlyakov et al. 1974, Budd og Smith 1982). Ifølge en NAP rapport fra 1985 (fra et symposium om isbreer, havnivå og klima) mangler en fremdeles oversikt over akkumulasjonen for ca. 1/3 av Antarktis. Kotlyakov (1961) oppgir at for de sentrale delene er årlig akkumulasjon ca. 30 mm vannekvivalent økende til 700 mm vannekvivalent ut mot enkelte kystområder. Gjennomsnittsverdien er beregnet til ca. 170 mm.

	Gjennomsnittlig massebalanse (i vannekvivalenter - m/år)	Måleperiode
Dal- og botnbreer og mindre isdekker	-1.2 ± 0.7	(1900-1960)
Isdekket over Grønland	0.02 ± 0.08	(1929-1984)
Isdekket over Antarktis	0.02 ± 0.02	(1970-1984)

Tabell 1.) Estimerte massebalanser for breer og isdekker (NAP rapport 1985).

De største problemene oppstår når en skal måle ablasjonen. Selv om størsteparten av ablasjonen skjer ved kalving, kan også smelting av issjelfen fra undersiden være et viktig tilskudd (Paterson 1982). En økning av den globale havtemperaturen kan medføre økt smelting fra undersiden. Under Den Norske Antarktisekspedisjonen 1989/90 er et av hovedprosjektene å gjøre undersøkelser på hvor stor avsmeltingen er på undersiden av Fimbulisen, Dronning Maud Land. Dette vil være med på å øke innsikten både på størrelsen og på hvor mye denne ablasjonsfaktoren betyr for Antarktisdekkets massebalanse.

Smelting og avrenning i partier lavere enn ca.500 m o.h. kan i enkelte områder gi et viktig tilskudd til ablasjonen (Paterson 1982). Manglende oversikt over kalvingsrater og avsmeltning for over 50% av kyst og sjelfområdene omkring Antarktis (NAP rapport 1985) gjør at ablasjonsestimatene blir svært usikre.

Isdekket over Grønland er sannsynligvis i likevekt (Ambach 1990, Bindschadler 1985). Faktisk viser enkelte av de siste undersøkelsene (Zwally 1989, Zwally et al.1989), gjort v.h.a. satellittobservasjoner, at isdekket har en positiv massebalanse. Satellittundersøkelsene viste at i perioden 1976 - 1986 økte tykkelsen på isdekket med 20 - 28 cm pr år.

I Canada har Koerner et al.(1989) undersøkt massebalansen for 4 isbreer de siste 10 til 30 år. For platåbreene Melville South og Meighen finner de at de siste 25 årene viser en sterk kontrast mot den relativt kraftige ablasjonsperioden mellom 1930 og 1960. For siste halvdel av 1980-tallet viser begge breene en klar positiv massebalansetrend (Fig.3.7).

En kunnskapsstatus forteller oss at det er store mangler på data omkring de polnære breenes massebalanse. Dette gjør det vanskelig å avgjøre breenes "helsetilstand". Vokser eller trekker de seg tilbake, og hva er i så tilfelle årsaken ? Det er også verdt å legge merke til at flere av de breer som er undersøkt ikke har reagert som forventet på endringer i regionale klimaforhold.

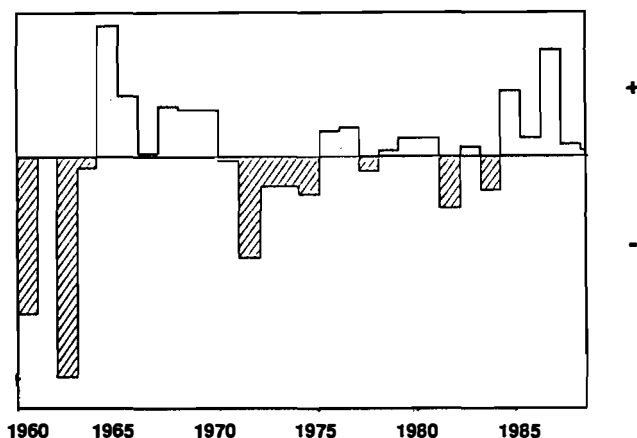


Fig.3.7). Kombinert normalisert massebalanse for breene Melville south og Meighen (Canada). (Koerner et al.1989)

ANTATTE EFFEKTER

1. HAVNIVÅENDRINGER

Den mest dramatiske konsekvensen en klimaforandring kan få er endringer i det globale havnivået. Det er særlig isdekkene over Antarktis og Grønland som er viktige i denne sammenheng. De utgjør tilsammen 99% av det globale isvolum og en total nedsmelting av disse to isdekkene vil medføre en global havnivåøkning på ca.66 m (NAP rapport 1985).

ANTARKTIS

For Antarktis mener Limbert (1984) og Warren og Frankenstein (1989) at en global klimatisk forbedring vil gi seg utslag i økt akkumulasjon. Den samme konklusjonen kom Oerlemans (1982) fram til ved å gjøre modellstudier av Antarktisdekket. Årsaken til dette er den økte nedbøren som følge av luftens økende evne til å ta opp fuktighet.

Ablasjonsforholdene vil sannsynligvis forbli uforandret. Dette fordi endringene i lufttemperaturen vil ha liten innvirkning på kalving- og avsmeltningsraten (Oerlemans 1982, Thomas 1985, Meier 1989). Der usikkerheten er størst er hvordan en økt global havtemperatur vil innvirke på smeltingen av shelfene fra undersiden. Ved å se bort fra denne effekten har Warren og Frankenstein (1989) kommet fram til at for en temperaturheving på 5°C vil den årlige akkumulasjonen øke fra 17 g/cm² til 30 g/cm².

Et av de problemene som har vært sterkest diskutert er det Vest-Antarktiske isdekkets stabilitet. Mercer (1968, 1978) mente at en temperaturstigning på 7°C - 10°C ville medføre en fortynning av Ross og Ronne isshelfene og at de av den grunn ville trekke seg tilbake (kalve opp). Wilson (1964) mente istidene ble initiert av at store ismasser i Antarktis surget. Weertman og Birchfield (1982) mener imidlertid at brestrømmene fra fastlandet og ned mot de flytende isshelfene allerede har brehastigheter tilsvarende det som er nødvendig for å oppretholde balanse mellom akkumulasjon og ablasjon. De konkluderer derfor med at det er lite sannsynlig at store ismasser i Antarktis vil surge.

Hughes (1973) mente å kunne påvise at det Vest-Antarktiske isdekket allerede var i ferd med å trekke seg tilbake. Undersøkelser gjort av Jacobs et al.(1986) viser imidlertid at Ross Isen fra 1962 til 1985 har rykket fram. Beregninger viser en økning i areal på ca.14000 km².

Lingle (1985) har utført et modellforsøk for det Vest-Antarktiske isdekket (Fig.

3.8). Modellforsøket tar utgangspunkt i Ross Isen og en fortynning av denne. I korthet går forsøket ut på å teoretisk bestemme grundingslinjas tilbaketrekking etterhvert som tykkelsen på isshelfen avtar. Lignende studier har også vært utført av Hughes (1982, 1983).

En fortynning av isshelfen vil medføre et mindre tilbakepress mot isstrømmene fra fastlandet. Dette vil gi økte brehastigheter ned mot shelfen. Shelfen vil bli ustabil og tilslutt kalve tilbake. Modellkjøringene viser at med små endringer i shelfisens tykkelse (ca. 10%) vil grundingslinja trekke seg tilbake ca. 33 km i løpet av 2000 år. Med store forandringer i istykkelsen (ca.50%) vil grundingslinja trekke seg tilbake hele 300 km på 600 år. Konklusjonen blir at det Vest-Antarktiske isdekket ikke vil overleve en situasjon der Ross Isens tykkelse avtar med 50%. Dette er ifølge Lingle i samsvar med Mercer (1968, 1978), Thomas et al. (1979) og Stuiver et al. (1981).

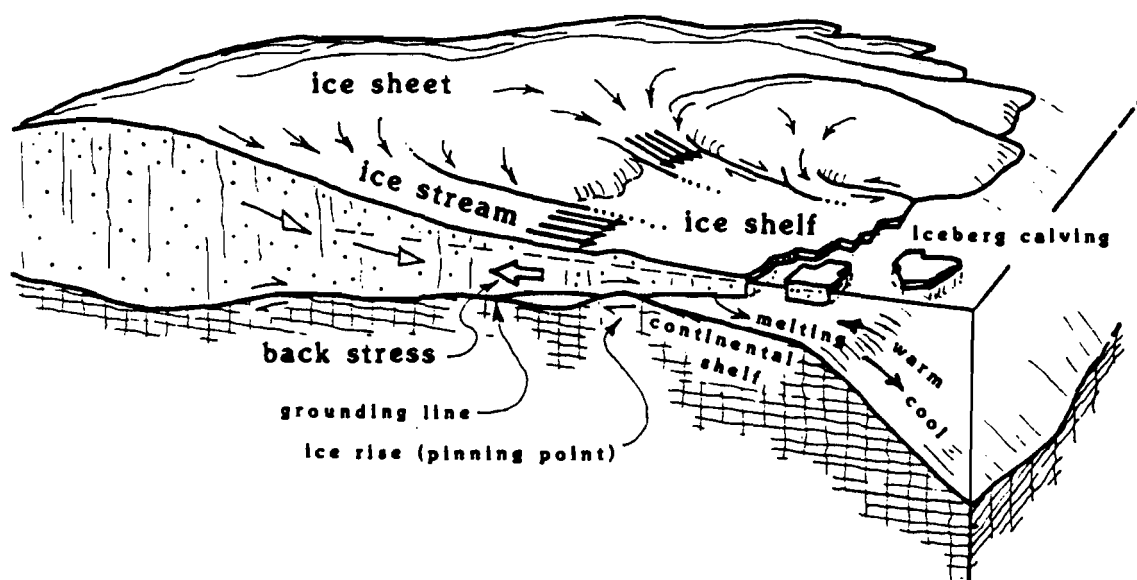


Fig 3.8) Skisse av et typisk marint isdekke, som viser prosessene som kontrollerer dreneringa mot havet. (fra NAP rapport 1985)

Thomas og McAyeal (1982) har gjort målinger av smeltingen på undersiden av Ross Isen. De fant at smeltingen var størst ved iskanten, ca. 0,7 m pr år; avtagende til ca. 0,1 m pr år 100 km inn på shelfen. Thomas (1985) har beregnet økte smeltings- rater på undersiden av Ross Isen med utgangspunkt i en fordobling av CO₂-innholdet i atmosfæren i år 2050. Utrekningene baserer seg på en lineær økning i smeltingen fra år 2000 og fram mot 2050. Han tar også hensyn til forskjellige scenarier mht isfrontens beliggenhet og kalving.

Scenarioene gir resultater på en årlig smelting varierende fra 1 m til 3 m. Thomas konkluderer imidlertid med at tatt i betraktning de glasiologiske og oceanografiske forhold vil en smeltingsrate på ca 1m pr år i 2050 være mest sannsynlig. Dette vil neppe være nok til noen drastisk tilbaketrekning av shelfkanten i løpet av de neste 100 år.

Enkelte beregninger tidlig på 1980-tallet estimerte at en økt ablasjon på Antarktisdekket ville gi en økning i det globale havnivå på opptil 1,5 m. Idag regner en med at en økning av lufttemperaturen over Antarktis vil medføre større luftfuktighet og dermed mer nedbør. Netto vil derfor Antarktisdekkets bidrag til det globale havnivået medføre en havnivåsenkning på ca. 0,2 - 0,3 m fram mot år 2050 (Meier 1989).

GRØNLAND

På grunn av manglende oversikt over den totale massebalansen for isdekket over Grønland er det vanskelig å gi gode estimater for framtidige havnivåendringer (Ambach 1989). Særlig mangler en data for de nordlige og østlige delene (NAP rapport 1985).

Med utgangspunkt i de massebalansedata som er tilgjengelig er det utarbeidet flere estimater for Grønlandisdekkets massebalanse. De fleste av disse beregningene viser at akkumulasjonen sannsynligvis er tilsvarende det som smelter vekk i løpet av sommeren (Ambach 1989, Bindschadler 1985, Meier 1989).

Nylige undersøkelser utført v.h.a. høydemålinger fra satellitt (Zwally 1989, Zwally et al.1989), viser at for to profiler på den sørlige halvdel av Grønland øker isdekkets tykkelse med ca.0,23 mm pr år. Målingene ble utført i en 548-dagers periode i 1985 og 1986 med et radar altimeter. Hvis disse resultatene er overførbare til de nordlige delene (60%) viser dette at Grønlandisdekket sannsynligvis vokser.

Endringer av Grønlandisdekkets volum vil fram mot år 2050 kan føre til globale havnivåendringer. Ambach (1989) har sett på hvilke konsekvenser en klimaforbedring vil få for Grønlandisdekkets ablasjonsområde. Ambach har utarbeidet en varnebalansmodell som ser på endringer i likevektslinjas høyde i forhold til lufttemperatur, luftfuktighet og årlig akkumulasjon (Fig.3.9). Han finner at for en økning i lufttemperatur med 6°C vil likevektslinja heves med ca.500 m. Da har han også tatt hensyn til en økning av årlig nedbør med 10%. Konklusjonen i Ambachs arbeide er at det er lufttemperaturen som er bestemmende for likevektslinjas høyde. Forandringer i nedbør og luftfuktighet er av mindre betydning. Effektene fra endringer i skydekke kan stort sett sees bort fra. Ambach mener at en økt smelting av Grønlandisdekket vil gi en heving av det globale havnivået med mellom 0,1 - 0,3 m.

Zwally (1989) har på bakgrunn av sine radar altimeter observasjoner kommet fram til motsatt konklusjon m.h.t. havnivåendringer. Zwally mener at en økning av akkumulasjonsraten vil

føre til en havnivåsenkning på mellom 0,2 - 0,4 mm pr år. I tilfelle høydemålingene er overførbare til den nordlige halvdelen av Grønland vil dette medføre en sannsynlig havnivåsenkning på mellom 0,35 - 0,7 mm pr år.

Meier (1990) har tatt utgangspunkt i global økning i lufttemperatur på 3°C - 5°C. Han finner at i år 2050 er Grønlandisdekkets tilskudd til det globale havnivået 0,08 m \pm 0,12 m.

MINDRE ISBREER OG ISDEKKER

Generelt sett har de mindre isbreene og isdekkene trukket seg tilbake og minnet i volum gjennom de siste 100 årene (NAP rapport 1985). Smeltingen har vært størst blant de tempererte og de breene en finner på de midlere breddegrader. Den negative massebalansen for disse breene har vært et av de største bidragene til den globale havnivåøkningen gjennom de siste 60-80 år. Økningen har vært på 2,4 \pm 0,9 mm pr år, og ca. 0,5 \pm 0,3 mm pr år kan forklares utfra de mindre breene og isdekkenes minkende volum (Meier 1990). Også for disse breene skal en være klar over at det er store mangler på data, slik at beregningene må sees i sammenheng med dette.

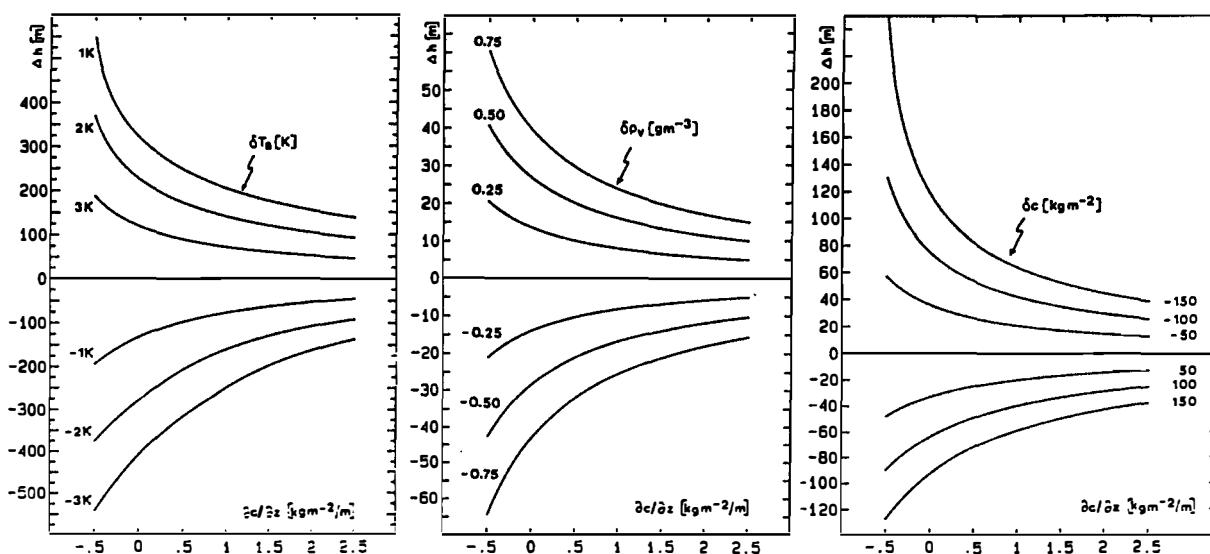


Fig.3.9). Endringer av likevektslinjas høyde i relasjon til lufttemperatur, luftfuktighet og årlig akkumulasjon. (Ambach 1989)

Meier (1990) har beregnet at de mindre breene og isdekkene faktisk vil være den største bidragsyteren til et økt havnivå. Meier estimerer at med en global temperaturøkning på 3°C - 5°C vil de mindre breene og isdekkene fram mot 2050 bidra med et havnivå som er 0,16 +0,14 m høyere enn dagens.

KONKLUSJON

Det er mange usikkerheter knyttet til beregninger av en framtidig endring av det globale havnivået. I det internasjonale forskermiljøet er det derfor forskjellige oppfatninger om hvor stor disse endringene blir. Dette skyldes både bruk av forskjellige metoder for beregningene og fordi en i for liten grad er kjent med Antarktis- og Grønlandisdekkets massebalanse. I tillegg er usikkerhetene store m.h.t. hvordan eventuelle klimaendringer vil influere på nedbør, vind, havstrømmer, luftfuktighet etc.

Nyere beregninger (Meier 1990) viser at smelting av is fra polområdene vil bidra svært lite til en økning av det globale havnivået. Antarktisdekket vil sannsynligvis bidra med en havnivåsenkning, kanskje med opptil 0,3 m. Grønlandisdekket vil gi et tilskudd som ligger på mellom -0,1 m til +0,1 m, mens de mindre isbreene og isdekkene faktisk vil gi det relativt største tilskuddet; mellom 0,1 m til 0,2 m. Termisk ekspansjon vil derfor være av større betydning for framtidige endringer av det globale havnivået enn isdekkene i polområdene.

2. ANDRE ANTATTE EFFEKTER

En økning av lufttemperaturen med 2°- 4°C på høyere breddegrader (Hansen et al.1988, Mitchel et al.1989, Washington og Meehl 1989) vil medføre økt sommersmelting, men samtidig gi økt akkumulasjon om vinteren. For Antarktis og Grønland vil isvolumet sannsynligvis øke. For de mindre isdekkene og breene er det svært vanskelig å gi noen generelle predikasjoner. Noen breer vil sannsynligvis få en positiv respons som følge av økt vinternedbør, mens andre vil reagere negativt p.g.a. den økte avsmeltingen. I tillegg til at breene oppfører seg ulikt, er det gjort få undersøkelser av breer på høyere breddegrader. Dette begrenser kunnskapen om hvilke parametre som styrer disse breenes utbredelse og hvordan de vil reagere på endringer i massebalansen.

Det er ved de minste breene en vil kunne detektere effektene først. Disse breene har kortest reaksjonstid og her vil endringene i volum og utbredelse kunne observeres relativt tidlig. Både ved en tilbaketrekning eller en framrykking vil de direkte konsekvensene i stor grad kunne avgrenses til de brenære områdene.

P.g.a. høyere lufttemperatur vil det sannsynligvis på alle breer bli økt avsmelting om sommeren. Dette vil medføre ekstra tilførsel av smeltevann til det aktive laget. Konsekvensen kan bli et ustabilt aktivt lag med masseutglidninger, Jordras o.l. Økt tilførsel av smeltevann vil også kunne gi økning i erosjon og sedimenttransport. Breelvenes løp vil sannsynligvis forandres. Stort sedimentinnhold vil føre til at smeltevannselvene brer seg utover i mange mindre løp (anastomoserende elveløp).

En tilbaketrekking av brefronten vil dessuten resultere i et ustabilt postglasialt landskap bestående av iskjememorener, dirt-cones, vanndammer og oppløst morenemateriale; et såkalt termokarstlandskap. Eksempler på slike landsskapsformer finner en bl.a. på Spitsbergen der breene har trukket seg tilbake fra sine neoglasiale isgrenser (Liestøl 1988). Tilbaketrekkingen av brefrontene vil være betinget av størrelsen på den negative massebalansen, breenes størrelse og gradienten i fronten. En lang slak brefront vil f.eks medføre at store arealer av breen kan smelte, mens bratte brefronter vil bli mindre påvirket.

Kraftig tilbakesmelting av brefronter kan medføre en blottleggelse av områder der bakken ikke er permanent frosset. Temperaturmålinger på Svalbard (Liestøl 1976, 1988) har vist at de subpolare breene ofte bare er frosset fast til bakken i en slags hestesko i fronten. Under store deler av breen kan derfor breen være temperert, dvs det kan være hull i permafrostlaget. Iceings, som er dannet av vann fra slike subglasiale hull i permafrosten (Liestøl 1976), brukes ofte som indikator på at deler av breen er temperert. Kraftig tilbakesmelting av subpolare breer kan derfor få store konsekvenser for stabiliteten på det aktive laget i de bre nære områdene.

Endringer i breenes utbredelse vil gi seg utslag i områdets albedo, d.v.s. den mengde av innstrålt energi som reflekteres fra overflaten. En tilbaketrekking av brefrontene vil gi en senkning av albedo, mens en framrykking gir den motsatte effekt. Endringene i tilførsel av energi kan være med på å endre de lokalklimatiske forholdene.

For breer der resultatet av de endrete klimatiske betingelsene medfører en positiv massebalanse vil framrykkingen være avhengig av breens størrelse, områdets topografi, breunderlagets sammensetning og den positive massebalansens størrelse. Konsekvensene av en framrykking kan rent fysisk gi seg utslag i endringer av dreneringsforhold, oppdemming av vann og distale landskapsendringer. Hagen (1986) påviste store buklinger og ryggdannelser opptil et par km distalt for Usherbreens marginale utbredelse etter endt surge. Årsaken til ryggdannelsene har sannsynligvis sammenheng med løssens sammensetning (saltholdig leire). Derfor er slike former relatert til områder under Marin Grense. Materielle skader på konstruksjoner eller bebyggelse vil være avhengig av deres nærhet til breen.

FORSLAG TIL FRAMTIDIG FORSKNING

Glasiologiske studier i Arktis og Antarktis er i hovedsak underlagt Norsk Polarinstitutt, men instituttet samarbeider ofte med universitetene eller andre forskningsinstitusjoner. Undersøkelsene i Arktis er i stor grad konsentrert om massebalanseundersøkelser og massebalansens korrelasjon til klimatiske parametre. I Antarktis er undersøkelsene konsentrert om isfjellstatistikk, d.v.s. en årlig kartlegging av kalvingsraten og antall isfjell i drift, kartlegging av blåisområder fra satellittbilder (endringer i ablasjon) og studier av forholdet mellom vann og is på undersiden av isshelfen (fortynning av isshelfen). Alle disse prosjektene er relevante for konsekvensene en eventuell klimaforbedring vil medføre.

Framtidig forskning må ta sikte på å følge opp de prosjekter som allerede er igang, men det er også et stort behov for økt innsats innenfor flere felter. For Norges del er det viktig å utvide kunnskapen om breene på Svalbard. I dag er det kun ved tre breer i Kongsfjordområdet at kontinuerlige massebalansemålinger utføres. For framtida vil det derfor være viktig å supplere disse målingene med målinger fra andre typer breer i andre deler av Svalbard.

For klimarelaterte forskningsprogrammer innen glasiologi er det viktig at disse er langsiktig. Dette fordi breene har lang responstid, og det er derfor nødvendig med lange måleserier for at en signifikant trend skal kunne trekkes ut. Derfor er det viktig at de påbegynte målingene i Kongsfjorden (siden 1966) kan fortsettes.

Det er for framtiden viktig å utvide kjennskapen til breene på Svalbard. Et prosjekt er derfor å utvide massebalansemålingene også til å dekke de østlige delene av Svalbard. Det vil være aktuelt å måle netto massebalanse og smeltesesongens lengde. En kan i tillegg rekonstruere massebalansens utvikling gjennom grunne borkjemeprøver ($z < 30$ m). Kartlegging av radioaktive referansenivåer i breen (prøvespregninger, Tsjernobyl o.l.) gir mulighet for datering av de forskjellige lagene, og en kan derved indirekte beregne tidligere massebalanser.

Dypere kjerneboringer krever tyngre utstyr og her er Norge avhengig av å samarbeide med andre land. Analysen er krevende, men slike undersøkelser kan gi viktig informasjon om klimautviklingen i Arktis gjennom de siste 1000 år.

Stålingens energibudsjett er av fundamental betydning for jordens klima generelt, og for breenes massebalanse spesielt. Ved Forskningsstasjonen i Ny-Ålesund registreres alle hovedkomponenter av strålingen, noe som gir grunnlag for å beregne denne del av områdets energibalanse. På lengre sikt vil data av denne type ikke bare gi bedre grunnlag for å forstå mekanismen bak breenes variasjoner, men også inneholde de mest direkte indikasjoner på eventuelle endringer i atmosfærens drivhuseffekt. Det er derfor svært viktig

at disse registreringer fortsetter.

"Dynamics of glaciers on Svalbard as an Indicator of climatic change" er et samarbeidsprosjekt mellom Norge, Polen og USSR. Målet er å få bedre kjennskap til massebalansens utvikling i større, høyereliggende breområder. Topografiske endringer måles v.h.a fotogrammetri, høydeprofilering med GPS og tradisjonell landmåling.

Et aktuelt forskningsprosjekt vil dessuten være kartlegging og studier av kalvingsrater ved kalvende breer, såkalte "tidewater glaciers". Her vil studier av sesongvariasjonen og surgeeffekten være særlig interessant. Aktuelle metoder vil være målinger fra satellitt med feltobservasjoner fra noen utvalgte breer.

Ellers vil det for framtida være aktuelt å utvikle bruken av satellitt-fjermmåling i brestudier. Landsat- og SPOT scener kan brukes til kartlegging av årlige variasjoner i brefronter, til overvåking av avsmeltning og til observasjon av surgende breer. ERS-1 satellitten er den europeiske jordressurs-satellitten som er spesielt beregnet på polområdene. ERS-1 skiller seg fra andre satellitter ved at den har radar-høydemåler og sensorer for temperaturregistreringer av bakkeoverflaten. Nordaustlandet kan være et aktuelt testområde for denne satellitten. Målingene fra ERS-1 kan evalueres mot feltobservasjoner. Med gode resultater kan satellitten få enorm betydning i framtida.

SAMMENDRAG

Det er forskjellige oppfatninger innenfor de Internasjonale forskermiljøene om hvor stor den globale havnivåøkningen blir i forhold til framtidige endringer i klima. Dette er i første rekke knyttet til de store usikkerhetene omkring Antarktis- og Grønlandsdekkets status idag, bruk av forskjellige metoder i beregningene og p.g.a. for liten viten om hvordan endringer i klimaet vil influere parametre som nedør, vind, strøm og luftfuktighet.

Dagens estimater for endringer av havnivået, med utgangspunkt i en global temperaturøkning på mellom 2°C til 5°C, viser seg å være mindre enn det som en tidligere har beregnet (opptil 1,5 m.). Beregninger gjort av Meier (1990) viser at økt smeltevanntilførsel fra isdekkene over Antarktis og Grønland til sammen vil ha liten innvirkning på det globale havnivået. Faktisk er det slik at økt nedbør over disse områdene kan medføre en havnivåsenkning. Det største positive tilskuddet fra isbreer vil sannsynligvis komme fra mindre isbreer og isdekker. Disse reagerer raskere og er mer følsomme for svingninger i klima. Det globale havnivået vil derfor i større grad være betinget av termisk ekspansjon enn smelting av is fra isbreer i polområdene.

Andre effekter i forbindelse med en klimaendring vil i stor grad være relatert til de mindre

breene og isdekkene i Arktis. Endel breer vil sannsynligvis trekke seg kraftig tilbake, mens andre kan rykke frem. Brefluktuasjonene vil være avhengig av hvordan de enkelte breene reagerer på endringer i de forskjellige klimaparametrene, særlig vintemedbøren og sommertemperaturen. Både framrykninger og tilbaketrekninger av brefronter kan medføre dramatiske konsekvenser, særlig for områder med industriell virksomhet eller andre bebygde områder.

Generelt vil en høyere sommertemperatur medføre større avsmelting og derved større tilførsel av smeltevann til de brenære områdene. Resultatet kan bli lengre flomperioder, kraftigere erosjon, smelting av det aktive laget, noe som kan føre til ustabilitet i permafrosten. Større tilførsel av smeltevann, ustabiliteter i permafrosten og økende erosjon kan i tillegg medføre store massebevegelser (jordras, jordsig o.l.). Dette kan også gi seg utslag i endringer i utbredelsen og tykkelsen på vegetasjonsdekket.

Endringer i breenes utbredelse vil medføre forandringer i albedo. Dette kan få innvirkning for de lokalklimatiske forholdene. Der breene trekker seg tilbake kan dessuten "huller" i permafrosten (taliks) avdekkes. Disse kan bidra til økt ustabilitet i det postglasiale landskapet. Der breene rykker frem kan konsekvensen bli forstyrrelser i det aktive laget opptil et par km foran brefronten (Hagen 1986). Skader på konstruksjoner, bygg og anlegg vil være avhengig av beliggenhet og nærhet til breen.

KAPITTEL 4

VIRKNINGER AV KLIMAENDRINGER PÅ UTBREDELSEN AV HAV-IS

GENERELT OM DRIV-IS

Det er særlig i Polhavet og i områdene rundt Antarktis at en finner driv-is (Fig. 4.1). Driv-isen kan dannes på to måter; enten som hav-is når havvannet fryser eller som isfjell når is brekker av fra breene og kalver.

De fundamentale prosessene for dannelse av driv-is er stort sett de samme for Arktis og Antarktis. Likevel er det p.g.a. de fysiske forholdene tildels store ulikheter i isens styrke, alder og variabilitet.

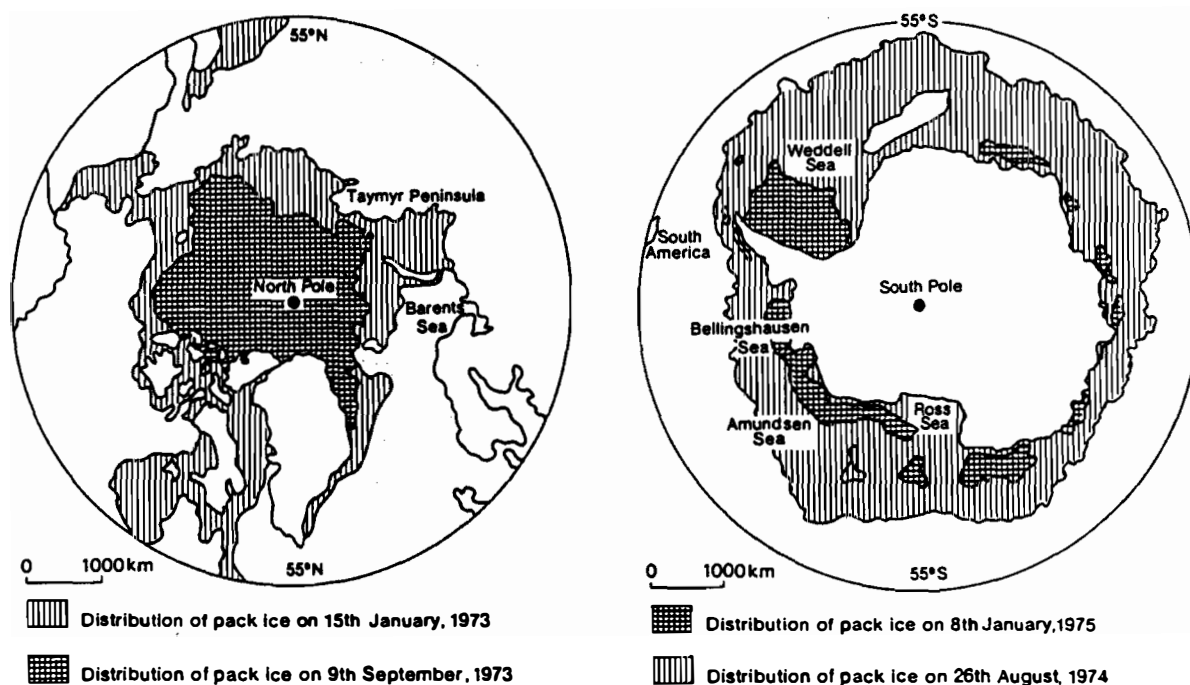


Fig. 4.1)

Driv-is utbredelser i Antarktis og Arktis (Sugden, D 1982).

I Antarktis er bare 15% av driv-isen mer enn et år gammel. Dette er fordi størsteparten av hav-isen som dannes om vinteren smelter i løpet av sommeren. De sesongmessige variasjonene for driv-is utbredelsen i Antarktis er derfor store (Fig.4.1). Driv-isen som dannes om vinteren er tynn og svak, i gjennomsnitt har den en tykkelse på ca. 1 m. Årsaken til dette er de mange kraftige vinterstormene og den relativt store vinterneedbøren som svekker isens styrke. Vind og havstrømsforholdene rundt Antarktis gjør at driv-isen driver fra land slik at oppstuvning og skruis forekommer relativt sjelden.

Det innelukkete Polhavet i Arktis skiller seg kraftig fra de åpne havområdene rundt Antarktis. Kontakten med andre havområder er kun knyttet gjennom passasjene i Beringstredet og på begge sider av Svalbard. Lomonosovryggen deler Polhavet i en vestlig og en østlig del og strømforholdene er delvis diktert av denne (Vinje 1984).

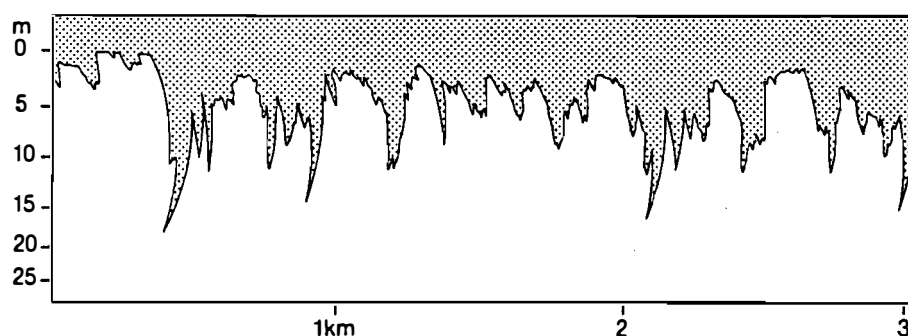


Fig. 4.2) Undersiden av Pol-isen (Swithinbank 1972).

Driv-isen i Arktis kan deles inn i tre kategorier. Sentralt i Polhavet har vi pol-isen som er en permanent iskappe. Isen kan bli opp mot 30 år gammel og Ca. 70% av Polhavet er dekket av pol-isen (Sugden 1982). Utbredelsen varierer med årstidene og etter de meteorologiske forholdene gjennom året. Overflaten på pol-isen er i motsetning til driv-isen i Antarktis svært ujevn (Fig. 4.2). De innestengte havforholdene gjør at de rådende vind og strømforhold stuver opp isen i skrugarder og rygger. I slike områder kan istykkelsen lokalt komme opp i 60 m. Gjennomsnittlige istykkelser fordelt over Polhavet er om vinteren 3-4 m og om sommeren ned mot ca. 2.5 m. Strøm- og vindforholdene er også årsak til at det om sommeren kan dannes åpne råker i isen, såkalte polynyas.

MÅNED	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
HOPEN	10	27	33	43	39	30	9	4	0	0,6	0	0
BJØRNØYA	0	0,3	3	8	8	1	1	0	0	0	0	0

Fig. 4.3.) Gjennomsnittlig månedsfrekvens - i % av dager i måneden da isfjell har blitt observert på Bjørnøya og Hopen. (Vinje,T., Theisen,E. og Mathisen,J.P.1981)

Utenfor eller omkring selve pol-isen ligger det sesongvariable pakk-is beltet. Denne sonen dekker omtrent 25% av det arktiske havområdet (Sugden 1982). Pakk-isen er lettere og ofte tynnere enn pol-isen og utbredelsen varierer kraftig mellom sommer og vinter. Utbredelsen er i hovedsak styrt av de årlige klimaforhold og de store havstrømsystemene på den nordlige halvkule. Utbredelsen er størst i Mai og minst i September (Fig. 4.4). Ved utløpet av Framstredet mellom Grønland og Spitsbergen driver Øst-Grønlandstrømmen pakk-is beltet sørover langs østsida av Grønlandskysten. Dette er uten sammenligning verdens største isstrøm og den representerer en ferskvannfluks som er av betydning for sirkulasjonen i verdenshavene (Vinje 1984). På vestkysten av Spitsbergen presser Golfstrømmen og Norskestrømmen pakk-is beltet nordover og holder vestkysten av Spitsbergen isfri i sommerhalvåret (Fig. 4.4).

Størsteparten av isen i Barentshavet dannes lokalt, men Barentshavet er også en netto mottaker av is fra Karahavet og Polhavet. Isutbredelsen i Barentshavet viser både sesongmessige variasjoner og variasjoner fra år til år. Fra århundreskiftet og fram til idag finner en at utbredelsen av is på slutten av smeltesesongen har avtatt markert. For de siste 21 år finner en en reduksjon på rundt 25% i Isarealet om sommeren (Vinje 1989) . For vintersesongen er det imidlertid ingen signifikant endring i perioden. Denne økende forskjellen mellom sommer- og vinterutbredelse kan muligens skyldes en avtagende tykkelse på vinterisen, noe som vil gi en tiltagende avsmeltning om sommeren. Undersøkelser ved Hopen viser at istykkelsen i stor grad er en lineær funksjon av antall kuldegraddager. Flere

dager med negative lufttemperaturer gir tykkere is.

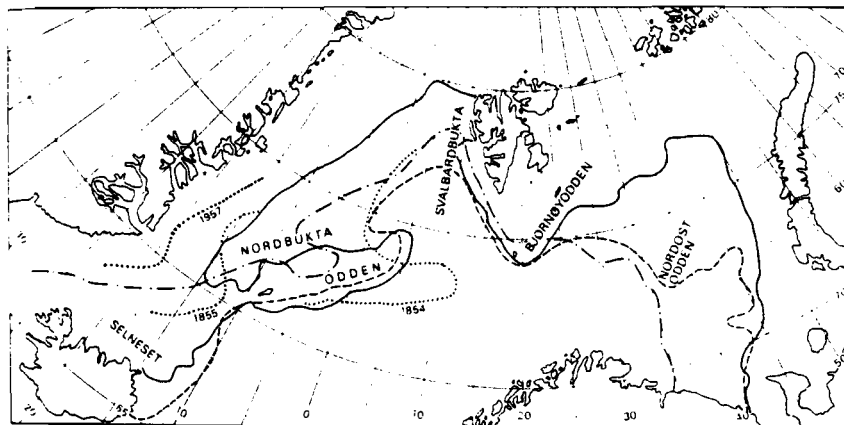


Fig. 4.4) Maksimum og minimum driv-is utbredelse for Island, Grønland og Barentshavet (Vinje,T. 1984).

Fra strandsonen og ut mot pakk-isen dannes fast-isen. Fast-isen er forankret i strandsonen og den kan om vinteren bli mellom 1 og 2 meter tykk. Den smelter vanligvis totalt vekk om sommeren. For områdene rundt Svalbard er fast-isen mest aktuell mellom Nordaustlandet, Kong Karls Land og Barentsøya, men finnes også innerst i Storfjorden og langs Hopen.

Det er isfjell som er den største trusselen mot skipstrafikken i Nord-Atlanteren, Barentshavet og Antarktis. I Nord-Atlanteren dannes majoriteten av isfjellene ved kalving fra brefrontene på vestkysten av Grønland og østkysten av Ellesmereøya, mens isfjellene i Barentshavet i stor grad har sitt opphav fra breene på Svalbard eller Zemlya Frantsa Iosifa (Fig.4.6). Både produksjon og utbredelsesfrekvens er sesongvariasabel (Fig. 4.3). Den vertikale utbredelsen av isfjellene er betinget av høyden på de kalvende brefrontene og om brefrontene flyter eller ikke. I Barentshavet kan de største isfjellene stikke 50 m over havflaten, men høyden avtar raskt etterhvert som vind og strøm frakter isfjellene sørover.

I Antarktis er isfjellene flate og med helt andre dimensjoner enn i Arktis. De dannes ved at biter av den flytende shelf-isen brekker av. Dette medfører høyder på mellom 35-90 meter og de største isfjellene kan bli 80-100 km lang og ofte flere titalls km bred.

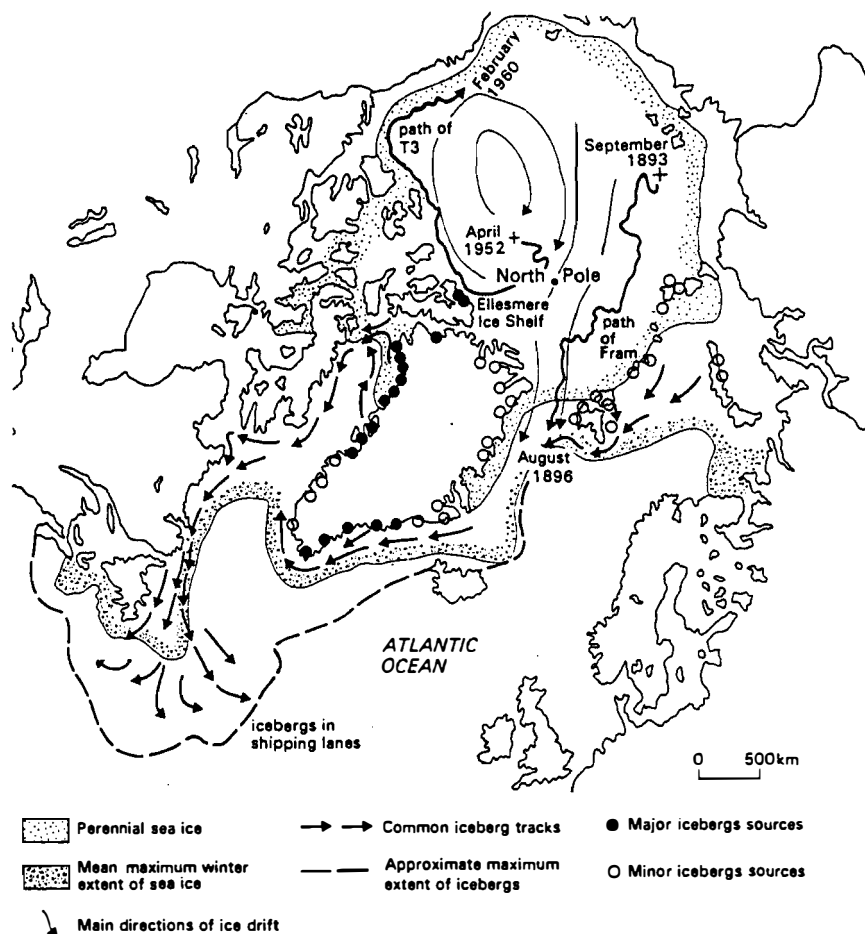


Fig. 4.6) Skisse som viser utbredelsen og driftruter for isfjell i Arktis.
(Sugden & John 1976)

I tidligere tider foregikk all kartlegging av isgrenser og isfjell på bakgrunn av observasjoner gjort av hvalfangerne og annen kommersiell skipstrafikkens. Siden 1967 har Norsk Polarinstitutt brukt satellitter i kartleggingen av isforholdene i Arktis.

HAV-IS OG KLIMA

Jorda mottar et overskudd av energi på lavere breddegrader, og kvitter seg med dette i polarmrådene. Denne skjeve fordelingen blir balansert av varmetransport mot polene i atmosfære og hav. Polområdene er derfor nøkkelområder når det gjelder klima, og særlig er hav-isens utbredelse av spesiell interesse.

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.

Hav-isen er omtrent en dobbel så god reflektor som åpne havområder, og er derfor en viktig parameter m.h.t. varmebalansen mellom hav og atmosfære. Mellom hav-isen og

varmebalansen er det en positiv tilbakekobling; d.v.s. at hvis isdekket av en eller annen grunn øker vil dette medføre økt albedo og en ytterligere økning av isdekkets utbredelse. Motsatt vil altså en høyere temperatur medføre et mindre isdekke og etter hvert forsterke denne trenden.

Variasjonene i isforholdene i den atlantiske sektor av Arktis kan knyttes til endringer i den storstilte sirkulasjonen (Shell 1956, Vinje 1984). I all hovedsak blir størsteparten av hav-isen fra Polhavet til Barentshavet generert gjennom Framstredet, mellom 4000 - 5000 km³ (Vinje og Finnekås 1986). Dette er uten sammenligning verdens største isstrøm og den representerer en ferskvannsfluks som er av betydning for sirkulasjonen i verdenshavene. Isstrømmen er drevet av den Transpolare Isstrømmen, og størrelsen på isfluksen gjenspeiler effekten av strålingsbalansen, temperatur og strømningsforhold i hav og atmosfære (Vinje 1989).

Isdriften i Barentshavet er vesentlig vinddreven. De fremherskende nordøstlige vindene fører isen mot sydvest med en hastighet som tilsvarer noen få prosent av bakkevinden. Spredt eller ujevn is driver hurtigere enn kompakt eller flat is på grunn av større vindfang.

I tillegg til isens bevegelse fra vind og strøm vil også tidevannet være viktig for isfeltenes dynamikk. Tidevannsbevegelsene medfører periodiske variasjoner i hastighet og bevegelsesretning. Effektene av tidevannet er størst over de grunne shelfområdene eller langs land og i trange sund.

De største variasjonene i isfeltenes utstrekning er i den østlige delen av Barentshavet (Vinje 1989). Dette henger sammen med at eggaskråningen i vest er langt mer markert enn i de østlige deler av Barentshavet. Ettersom det varmere og saltere vannet er tyngre enn det kalde polarvannet vil det fylle opp de dypere områdene. Grensen mellom de kalde og varme vannmassene vil derfor være mer topografisk styrt i vest enn i øst. Isutbredelsen i den østlige delen vil derfor i større grad være avhengig av lavtrykkenes baner og den vertikale sirkulasjonen i vannmassene.

For det globale klimaet er dannelsen og sirkulasjonen av bunnvann en viktig faktor (Midttun 1985). Bunnvannet i verdenshavene fornyes stadig. Dette skjer på noen få steder, i Grønland-havet i nord og i Weddelhavet i sør. Hvis produksjonen av bunnvann av en eller annen grunn stopper opp vil følgen sannsynligvis bli et mer ustabilt klima. Dette skyldes verdenshavenes enorme varmekapasitet, og den treghet som dette medfører for forandringer i klimaet.

Ferskvannstilførsel fra mange av de store Nord-Eurasiske elvene i Sovjet er også viktig for havstrømmene og den vertikale miksing av vannmassene.

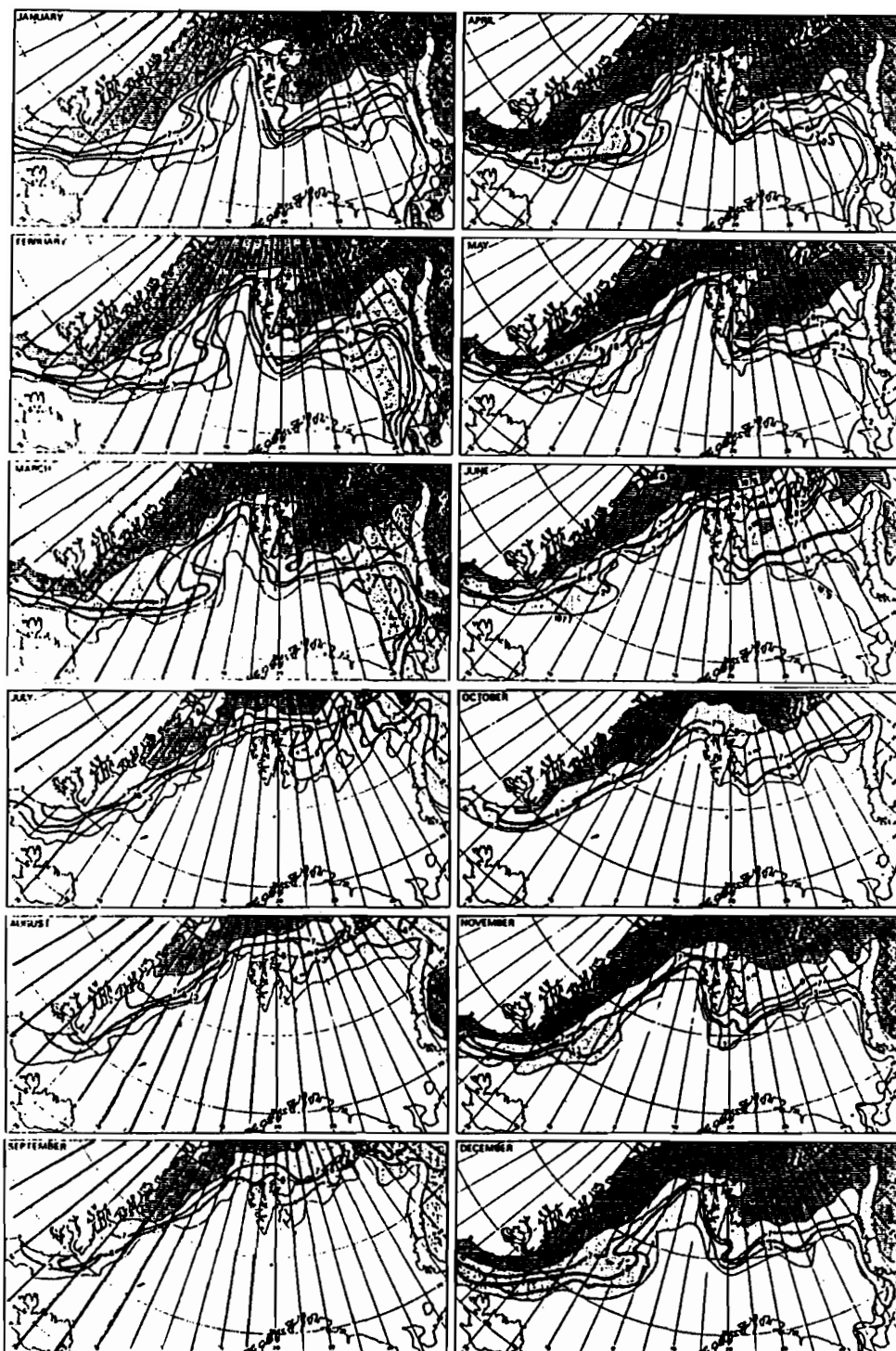


Fig. 4.7). Gjennomsnittlig driv-is utbredelser for is tykkere enn 4/10.
Dataene er beregnet for perioden 1971-1980. (Vinje 1981)

ANTATTE EFFEKTER

Endringer i de globale klimaforholdene vil få innvirkninger for hav-isens utbredelse, variabilitet og stabilitet. Den nære sammenhengen mellom hav-isens utbredelse og det atmosfæriske sirkulasjonsmønstrer kan i tillegg gi seg utslag i endringer i vind og havstrømmer og energibalansen mellom hav og atmosfære.

Diskusjonen omkring hav-isdekkets stabilitet i Arktis startet for ca.30 år siden. Det var i forbindelse med spørsmålet om kunstig fjerning av hav-is for en forbedring av klimaet i Arktis. Ifølge Bodyko (1962) ville en reduksjon av hav-isdekkets utbredelse tilsvarende en senkning av albedo med 20% medføre en total tilbaketrekning av hav-isdekket. Bodyko mente at en reduksjon av hav-isens utbredelse ville gi seg utslag i en selvforsterkende effekt; mindre isutbredelse vil medføre større absorpsjon av energi i havflaten og øke temperaturen i overflatelaget. Dette vil medføre både økt smelting og vanskeligere forhold for dannelse av hav-is.

Flere studier av dagens energibalanse mellom hav og atmosfære har siden da blitt utført. Fletscher (1966) og Donn & Shaw (1966) fant at en økning av tilførsel av energi til havoverflaten, som følge av mindre hav-is utbredelse, ikke ville bli kompensert med større varmeutveksling og fordampning. Økt energitilførsel vil resultere i økte havtemperaturer og altså gi vanskeligere forhold for dannelse av hav-is.

Doronin (1969) påpeker at Fletscher (1966) og Donn & Shaw (1966) ikke har tatt hensyn til den effekt lagdelingen av de øverste vannmassene har på overflatetemperaturen. Med dette tatt med i betraktning kommer Doronin fram til den konklusjon at uten endringer i tilførselen av energi vil hav-isens utbredelse forbli som dagens. Zacharov (1981) og Stigebrandt (1981) støtter Doronin's konklusjoner.

Stigebrandt (1981) presenterer en modell for saltholdighet og tykkelsen på det øvre laget i havområdene i Arktis. Parametrene modellen er betinget av er ferskvannstilførsel fra elver, influks av mindre saltholdig vann fra Berinstredet, eksport av is og parametre som tar hensyn til den vertikale miksingen. Han finner at en senkning av ferskvannstilførselen med 50% bare vil ha mindre effekter på isstykkelsen og områder med åpent hav. Derimot vil en kombinasjon av mindre ferskvannstilførsel, mindre tilførsel av lite saltholdig vann fra Beringstredet og en økt Istransport sannsynligvis medføre en total tilbaketrekning av pakk-is beltet.

Undersøkelsene viser at utviklingen av et isfritt hav i Arktis er betinget av at en rekke "negative" faktorer inntreffer samtidig. Sannsynligheten for slike endringer virker svært små, særlig med utgangspunkt i de paleoklimatiske data en har for de arktiske havområdene. Studier av borkjerner fra Beaufort-havet viser marine faunaer som indikerer perennelige

isdekker gjennom de siste hundretusener av år (Herman & Hopkins 1980). Dette viser at det ikke har vært noen drastiske forandringer i isdekkets utbredelse selv under de tildels svært "varme" interglasiale periodene.

Paleoklimatiske og kvartærgeologiske undersøkelser i Barentshavet har vist at gjennom de postglasiale varmeperiodene i Holocene har driv-is utbredelsen vært relativt stabil. Det er derfor lite sannsynlig at en framtidig global temperaturøkning på mellom 2°C til 4°C vil medføre en total tilbaketrekning av hav-isen i Arktis.

Washington & Meehl (1989) har v.h.a. datamaskinbaserte klimamodeller prøvd å kartlegge endringene i overflatevannets temperatur og endringene av hav-is utbredelsen i Arktis. De har gjort "modellkjøringer" med tre forskjellige utgangspunkt: (1) ved en plutselig fordobling av CO_2 - innholdet i atmosfæren, (2) med en gradvis økning av CO_2 - innholdet med 1% pr. år de neste 30 årene (30% økning av CO_2) og (3) konstant CO_2 - innhold (Fig.4.8).

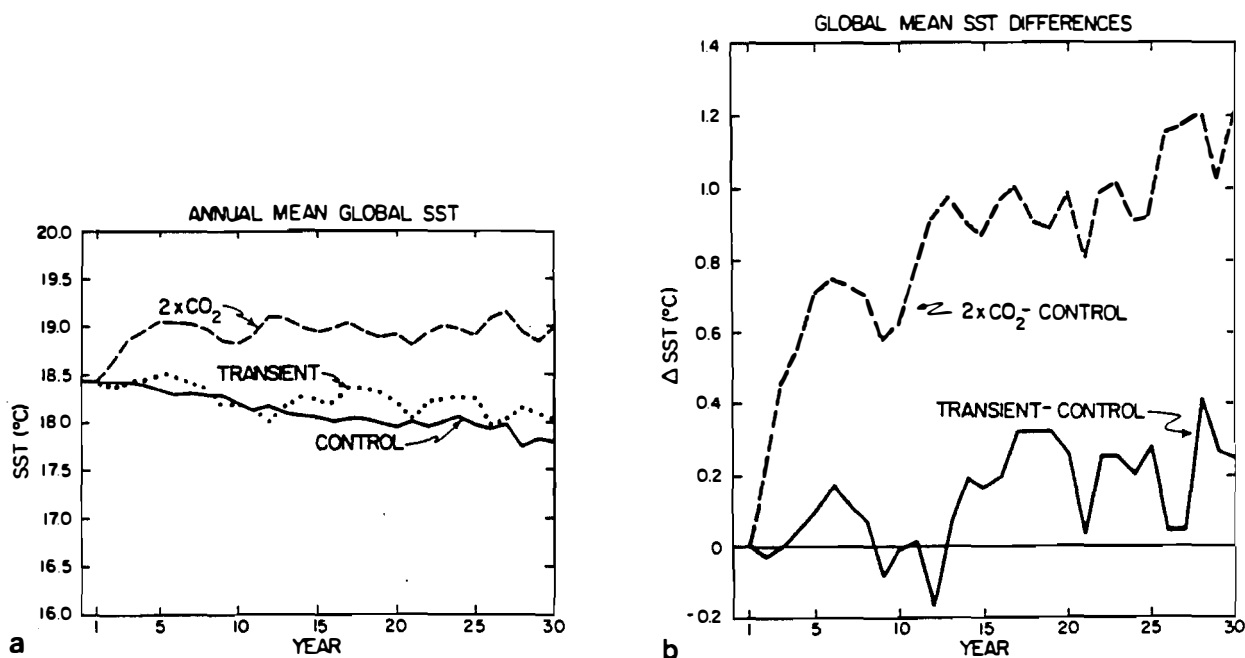


Fig 4.8) a: Estimerte endringer i havoverflatetemperaturer for tilfellene (1), (2) og (3).b: Differansen mellom de forskjellige estimatene. (Washington og Meehl 1989)

"Modellkjøringene" er gjort for en periode på 30 år framover. Modellen beregner at med et konstant CO_2 - innhold vil den globale overflatetemperaturen synke med drøye 0.5°C i løpet av denne periodeden (Fig. 4.8). En plutselig dobling av CO_2 - innholdet vil medføre en forholdsvis rask (5-10 første år) temperaturstigning i havoverflaten med omkring 0.7°C. Etter denne raske stigningen viser modellberegningene at temperaturen vil fluktuere endel fram mot 2020, men ikke øke særlig mer enn med 0.7°C (Fig. 4.8). For en gradvis økning

av CO_2 - innholdet viser beregningene en senkning av overflate- temperaturen med mellom 0.3°C til 0.4°C (Fig. 4.8).

Hav-is utbredelsen er nært knyttet til overflatetemperaturene i havet. Temperaturberegningen gir derfor et godt grunnlag for å estimere hav-is utbredelsene i forhold til de forskjellige "modellkjøringene". Washington og Meehl's beregninger viser at med en plutselig fordobling av CO_2 vil hav-is grensa for istykkelser > 0.5 m egentlig bli lite influert, mens driv-is grensa flyttes noe nordover (Fig. 4.9).

For en gradvis økning av CO_2 - innholdet med 1% pr. år vil faktisk den synkende hav-overflatetemperaturen medføre en større utbredelse av is med tykkelse > 0.5 m. Driv-is utbredelsene estimeres å kunne nå helt ned mot sørvestlige deler av Norge og de nordlige kystområdene av Skottland (Fig. 4.9). Det må imidlertid presiseres at begge disse scenarioene innehar store usikkerheter (bl.a. m.h.t. utgangsverdier på overflatetemperaturene) og at modellberegningene for en gradvis økning av CO_2 virker spekulativ.

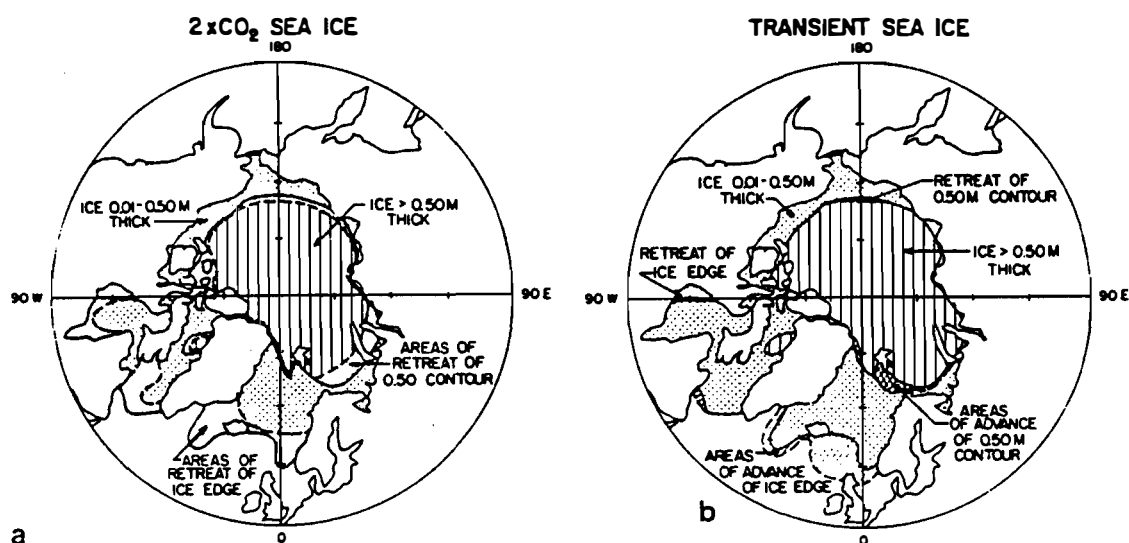


Fig 4.9) Hav-is utbredelse for de to modellberegningene a: plutselig fordobling av CO_2 . b: 1% økning pr år. (Washington og Meehl 1989)

Størsteparten av Isfjellene i Nord Atlanteren og Barentshavet dannes ved at is brekker av eller kalver fra isbreene på Grønland, Frantz Josef Land og Svalbard. F.eks er Austfonna på Nordaustlandet med sin ca.200 km brede marine front den største av sitt slag på den nordlige halvkule (Vinje 1989). Isfjellenes dannelse er nært knyttet til breenes dynamikk og morfologi. Framtidige endringer i breenes oppførsel kan derfor influere på dannelsen av isfjell, både m.h.t. størrelser og antall.

Isfjellene dannes som kjent der brefrontene når helt ned til havet. Det er estimert at med en økning av den globale lufttemperaturen vil mindre dalbreer og isdekker få en negativ massebalanse i forhold til dagens utbredelser (Møller 1990). Over tid vil dette medføre en tilbaketrekning av brefrontene. Tiden dette vil ta er betinget av størrelsen på den negative massebalansen og breenes responstider. Resultatet blir at mange av de brefronter som idag står ut i fjordene på Grønland og Svalbard vil trekke seg inn på grundere områder eller inn på tørt land. Dette vil sannsynligvis føre til både en senkning på antall isfjell og på størrelsen av de isfjell som dannes.

Produksjonen av isfjell er særlig stor når breer med marine fronter surger. Brefrontene er under en surge ofte bratt og kraftig oppsprukket. Dette gjør at is stadig brekker av og kalver i fjorden. Surgende brefronter har derfor en betydelig større produksjon av isfjell enn det som er "vanlig". For Svalbard er det estimert at 90% av breene der er av den surgende typen (Hagen og Liestøl 1990). Fremdeles er det imidlertid lite kjent hvilke mekanismer som setter i gang en surge. Det er derfor svært vanskelig å forutsi hvilke konsekvenser endringer i nedbørsforhold og klima generelt vil ha på surgende breer og dannelsen av isfjell.

Fast-isen som dannes i kystområdene i Arktis er viktig for sesongvariasjonen av antall isfjell i drift. Når fast-isen dannes utpå høstparten fryser mange isfjell inn i dette isdekket. Først når fast-isen begynner å smelte og brette opp utpå våren frigjøres isfjellene. Observasjoner gjort på Hopen og Bjørnøya (Vinje, Theisen og Mathisen 1981) viser at størst antall isfjell er observert i månedene mars, april og mai. Dette skyldes at isfjellene som har vært frosset inne i fast-isen frigjøres og kommer som et ekstra tilskudd til den årlige isfjellproduksjonen. Mange av de isfjellene som har vært frosset inne i fast-isen gjennom vinteren er dannet på sensommeren eller tidlig høst. Dette skyldes at isbreene er varmest og har størst hastighet på denne tiden året.

Det er imidlertid usikkert i hvor stor grad dannelsen og utbredelsen av fast-isen vil bli influert av høyere lufttemperaturer i Arktis. Selv om klimaendringene medfører høyere havtemperaturer vil økt avsmeltning fra isbreene føre til en økt influks av ferskvann til de kystnære områdene der fast-isen dannes. Washington og Meehl (1989) har i sine datamodeller beregnet at overflatetemperaturen i de nordlige havområdene vil være lite influert av endringer i lufttemperaturen.

(O.Orheim pers medd.). Hvorvidt dette skyldes en økning av den globale lufttemperaturen eller om det er naturlige variasjoner, har en idag for liten kunnskap om å kunne si noe om. Derfor er det svært vanskelig å estimere hvordan en klimaforbedring vil innvirke på isfjellproduksjonen i Antarktis. Det samme gjelder for driv-is forholdene, men en antar utfra det en vet idag at sannsynligvis vil den estimerte temperaturøkningen ha liten innflytelse på driv-is situasjonen.

FORSLAG TIL FRAMTIDIG FORSKNING

Er av de viktigste områdene for prosesser av betydning for det globale klima finner vi vest og øst for Svalbard. Tilfredstillende overvåking av viktige klimaparametre mangler i disse områdene. Dreneringen av is fra det nordlige Eurasiske og Nord Amerikanse kontinent gåt ut i Polhavet, og hovedutvekslingen av vann og is skjer gjennom Framstredet. Grønlandshavet er et av verdens to viktigste områder for dannelselse av tungt vann, som formyrer bunnvannet i verdenshavene.

De viktigste oppgavene i tiden framover er derfor:

- 1). Overvåking av transport og fordeling av hav-is, utplassering av måleinstrumenter og videre utvikling av fjernanalysemåleteknikker for å:
 - a). Tidligst å kunne observere og kvantifisere den samlede effekt av en klimaendring i Polhavet og nærliggende havområder.
 - b). Skaffe viktige opplysninger om det globale klimasystemets tilstand for senere bruk og justering av modeller til bedre regional oppløsning.
 - c). Bestemme utvekslingen mellom CO₂ og hav i områder med betydelig vertikaltransport og endringer i isdekket.
- 2). Videreutvikle og forbedre modeller som kopler isdrift med hav og atmosfære. Dette for å:
 - a). Kunne foreta følsomhetsstudier av virkninger av endringer av viktige klimaparametre for å bestemme effektive måle- og overvåkingstiltak.
 - b). Beskrive den globale fordelingen av viktige parametre for det biologiske miljø, såsom havtemperatur, istykkelse, næringssalter og CO₂.

- c). Simulere transport og spredningsmekanismer, som er viktig for det globale økosystemet i havet (passivt biologisk materiale, næringssalter, forurensning o.s.v).

SAMMENDRAG

Endringer i de globale klimaforholdene vil få innvirkninger for hav-isens utbredelse, variabilitet og stabilitet. Den nære sammenhengen mellom hav-isens utbredelse og det atmosfæriske sirkulasjonsmønsteret kan i tillegg gi seg utslag i endringer i vind og havstrømmer og energibalansen mellom hav og atmosfære.

De fundamentale prosessene for dannelse av driv-is er stort sett de samme for Arktis og Antarktis. Likevel er det p.g.a. de fysiske forholdene tildels store ulikheter i isens styrke, alder og variabilitet.

For Antarktis antar en at en global økning av lufttemperaturen med mellom 2°C til 4°C vil ha liten innvirkning på driv-isforholdene. En økning av isfjellproduksjonen er observert gjennom de ti siste årene, men hvorvidt dette skyldes økte lufttemperaturer eller naturlige variasjoner er idag umulig å si. Derfor er det svært vanskelig å estimere isfjellsituasjonen i Antarktis for de neste 50 til 100 årene.

Områdene i Arktis er mer følsomme overfor klimatiske svingninger. I løpet av de siste 21 årene er det observert en minskning av hav-is utbredelsen om sommeren med ca.25% (Vinje 1985). Dette kan ha sin forklaring i at vinterisen er blitt tynnere og smelter raskere tilbake i løpet av våren/sommeren. Også her er det usikkert i hvor stor grad disse observasjonene kan korreleres med endringer i klima.

Beregninger fra datamodeller (Washington og Meehl 1989) og paleoklimatisk materiale (Dansgaard 1989) viser at driv-is-utbredelsen varierer med endringer i den globale lufttemperaturen. Men sedimentstudier fra polhavsbassenget (Hermann & Hopkins 1980) viser at Polhavet har vært dekt av is gjennom de siste 2,6 millioner år. Hav-isen har altså overlevd flere "varme" perioder (f.eks. 5000 år BP), og dette indikerer at den er relativt stabil. Det er derfor liten grunn til å anta at en global temperaturøkning på mellom 2° til 4° C vil føre til en total tilbaketrekning av hav-isen.

Siden det er så vanskelig å estimere i hvor stor grad den marginale hav-is utbredelsen påvirkes, er det også vanskelig å beregne hvilke følger en tilbaketrekning av driv-is fronten vil ha på energiutvekslingen mellom hav og atmosfære.

For skipstrafikken og eventuelle oljeinstallasjoner er isfjellene i Barentshavet og Norskehavet den største faren. Økt smelting og tilbaketrekking av marine isfronter på Grønland, Svalbard

den største faren. Økt smelting og tilbaketrekking av marine isfronter på Grønland, Svalbard og Frantz Josef Land kan for en kortere periode medføre økt Influx av Isfjell i de nordlige havområdene. Endringer i fast-is forholdene kan medføre endringer i sesongvariabiliteten til isfjellene.

Surgende brefronter er bratte og kraftig oppsprukket. Surgende brefronter som når ned til havet produserer derfor et stort antall Isfjell. Det er lite kjent hvilke mekanismer som starter en surge. Det er derfor usikkert hvilke konsekvenser endringer i klima vil få for surgende breer, og derved på dannelsen av Isfjell.

KAPITTEL 5

VIRKNINGER AV KLIMAENDRINGER PÅ PERMAFROST

GENERELT OM PERMAFROST

Permafrost er definert som områder der bakken forblir frosset gjennom mer enn et år. Permafrosten inneholder vanligvis is. Isen kan innta mange former, fra beskjedne mengder poreromsis til massive metertykke isblokker (Embleton & King 1975). Innholdet av is gjør at permafrosten som materiale opptrer unikt, og også gjør det sårbart ovenfor klimatiske svingninger. I Sibir er det målt tykkelser på permafrostlaget på opptil 1500 meter. På Svalbard varierer tykkelsen fra ca.250 til 450 meter (Liestøl 1976).

Av jordas samlede landareal er mellom 20-25% preget av permafrost (Embleton og King 1975). I Alaska, Canada og Sovjet består omkring halvparten av landarealene av permafrost. Ellers finner en permafrost i Antarktis, på Grønland, på de polnære øyene (bl.a. Ellesmereøya, Baffinøya, Spitsbergen) og i høyfjellene på lavere breddegrader.

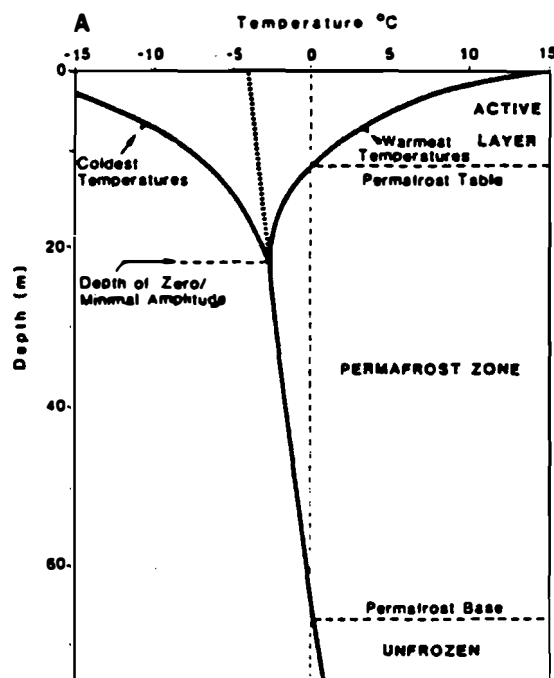


Fig. 5.1) Temperaturgradient i permafrost. Aktive laget er sonen der temperaturen er $> 0^{\circ}\text{C}$ i løpet av sommeren. (fra Harris 1986)

En kan dele permafrostlaget inn i to soner; en undre sone der bakken er permanent frosset og et øvre topplag der temperaturen varierer med energibalansen i jordoverflaten. Denne øvre sonen blir kalt for det aktive laget (Fig. 5.1) og tiner når temperaturen stiger tilstrekkelig om sommeren. Om vinteren eller i kortere kuldeperioder fryser det aktive laget igjen. Tyk-

kelsen kan variere fra noen få millimeter til ca. 3 meter.

På de laveste breddegradene der permafrost er observert opptrer den sporadisk, ofte i høyfjellet, i et generelt frostfritt landskap. Fra de mer sporadiske forekomstene kommer en inn i det diskontinuerlige permafrostdekket. Her finnes det fortsatt mindre ufrosne områder (Fig. 5.2) og størsteparten av permafrosten er flere tusen år gammel. For mange tusen km-av denne sonen er permafrosten relativt "varm", d.v.s. varmere enn -3°C (Smith 1988). Denne typen permafrost er derfor svært sensitiv for en eventuell temperaturstigning.

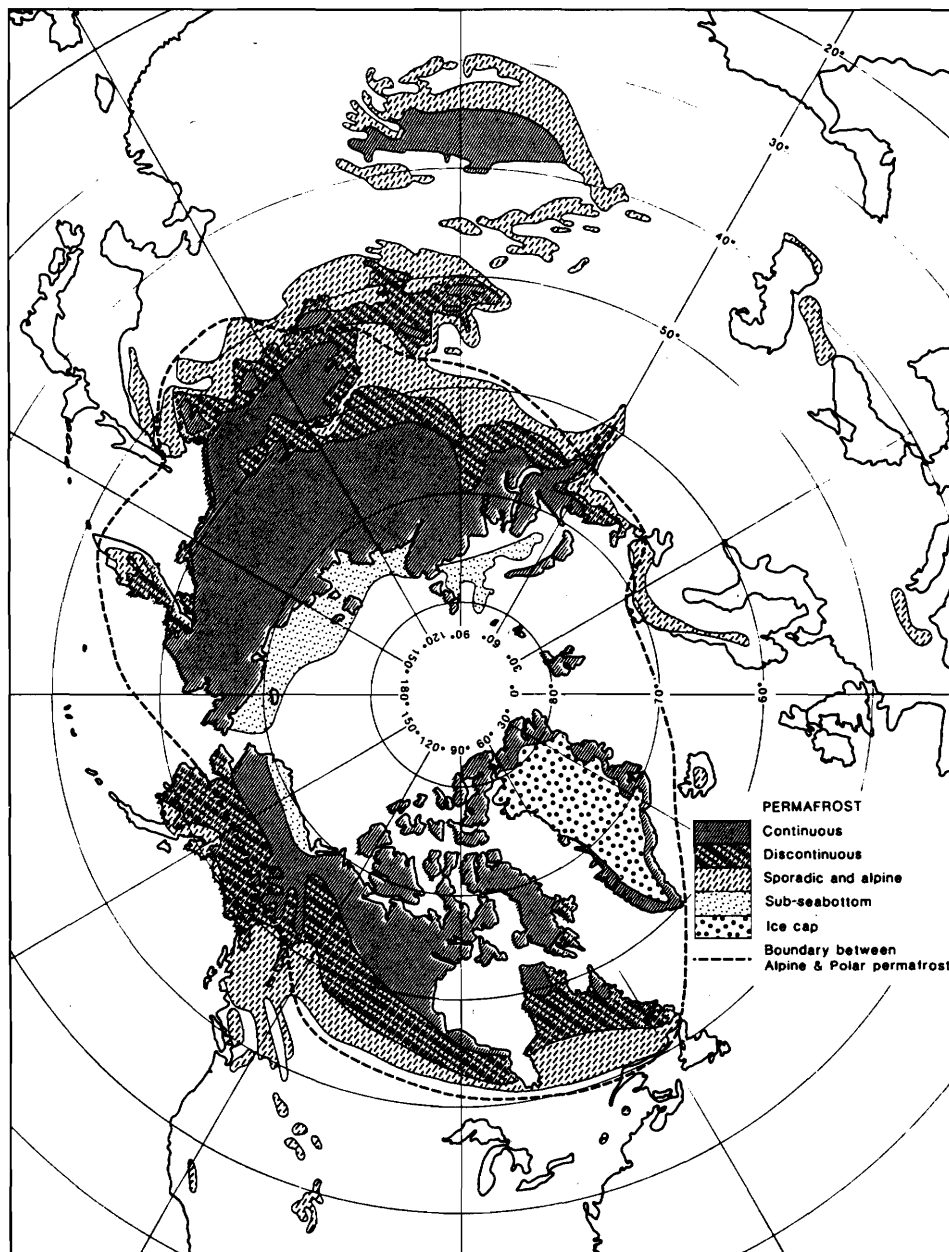


Fig. 5.2) Fordelingen av permafrost og soneinndeling på den nordlige halvkule. (fra Harris 1986)

I de polare strøkene finner en et kontinuerlig permafrostdekke (Fig. 5.2). Disse områdene er preget av et kaldt klima og det er her en finner den dypeste permafrosten. Men også i det kontinuerlige permafrostdekket finner en "hull" i frostlaget, såkalte taliks. Dette er særlig i forbindelse med større elver, vatn, innsjøer og breer.

I de grunne polarhavene er også submarin permafrost vanlig. T.eks. er det i Beauforthavet påvist permafrost i bunnsedimenter ned mot 800 meter under havbunnen (Blasco 1983). Permafrosten er sannsynligvis dannet i Sein-Pleistocene da det globale havnivået var lavere og disse områdene var subaerilt eksponert, d.v.s. havbunnen var høyere enn havnivået. I Barentshavet er submarin permafrost fortsatt ikke påvist (Løvø et al. 1990).

Det at en finner permafrost i områder der dagens fysiske forhold ikke skulle tilsi dette, tyder på at permafrosten ofte kan være relik, d.v.s. dannet i tidligere kuldeperioder. Tilstedeværelsen av relik permafrost viser også at den brytes svært sakte ned. På denne måten kan permafrosten brukes som indikator både for dagens og tidligere klima (Lachenbruch og Marshall 1986). Det øvre laget (10 - 20 meter) viser årlige temperatursvingninger og er derved et uttrykk for dagens klima, mens temperaturgradienten nedover i permafrostlaget reflekterer tidligere tiders klima.

I områder med permafrost dannes det ofte spesielle landskapsformer, vanligvis henvist til som periglasielle formelementer. Pingoer, palser, strukturmark, iskilepolygoner, iskjemmorener, steinbreer og tuemark er typiske eksempler på slike landskapsformer. Formenens stabilitet er i stor grad betinget av tykkelsen på det aktive laget.

Områder med permafrost er om sommeren ofte utsatt for store massebevegelser i det aktive laget, som ofte er vannmettet under perioder med snøsmelting og nedbør. Permafrostlaget inneholder dessuten store mengder med biologisk materiale. Dette gjør at det i permafrosten er lagret store mengder med metan og CO₂.

Dannelsen av permafrost og betingelsene for at den skal bestå er komplisert, og har ingen entydig sammenheng med klimaet. Særlig viktig er temperaturforholdene om sommeren og snødekkets tykkelse om vinteren. I områder der den årlige gjennomsnittstemperaturen er omkring 0°C vil variasjoner i bakkeforholdene være bestemmende for hvor permafrost kan dannes. Viktige parametre er vegetasjonsdekke, undergrunnens beskaffenhet og eksposisjon (Fig. 5.3).

Snødekket er viktig for om en finner permafrost i de marginale utbredelsesområdene. Et dypt snødekke isolerer bakken mot de kalde lufttemperaturene om vinteren og skjermer på denne måten bakken mot dannelse av permafrost. I områdene med kontinuerlig permafrost betyr snødekket mest for hvor dyp permafrosten kan bli. Goodrich (1982) fant at den årlige bakkeoverflatetemperaturen kunne korreleres med tidspunktet for den første

vintervedbøren og det maksimale snødyp i løpet av vinteren. Han beregnet at med en dobling av snødypet fra 25 til 50 cm ville den årlige bakkeoverflatetemperaturen stige med flere grader.

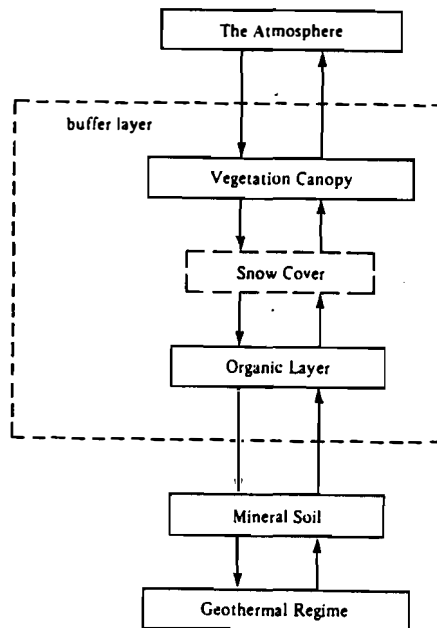


Fig. 5.3) Energiutveksling mellom atmosfæren og bakken.
(fra Luthin og Guymon 1974)

Vegetasjonsdekket reduserer mengden av innstrålt energi som treffer bakkeoverflaten (Fig. 5.3). Dette gjør at vegetasjonsdekket isolerer permafrosten fra å smelte om sommeren. Det absorberer også endel av nedbøren og er med på å styre vannbalansen. Dette gjør at vegetasjonsdekket er med på å influere temperaturregimet i bakkeoverflaten. Vegetasjonsdekkets tykkelse er derfor en viktig parameter for dannelsen av permafrost.

Tilstedeværelsen av permafrost i de marginale områdene er ofte assosiert med et organisk materialdekke, vanligvis myr eller torv (Washburn 1979). Dette er palsmyrene i de skandinaviske høyfjellene et godt bevis for.

Isinnholdet er en viktig faktor for permafrostens termiske stabilitet. Isrik permafrost er mer stabil og motstandsdyktig mot positive temperaturer enn permafrost med liten andel av is. Dette fordi det skal mer energi til for å tine opp isrik permafrost. Den isrike permafrosten er ofte assosiert med "fuktige" områder, mens en oftest finner permafrost med lite isinnhold i grovere og mer "tørt" materiale.

PERMAFROST OG KLIMA

Den kunnskap som en idag har om permafrost og periglasiale miljøer er i stor grad basert på de undersøkelser som ble startet i nordlige Canada og Alaska på slutten av 1950-tallet. Det var i forbindelse med utbyggingen av olje og gassfeltene i disse områdene at en trengte ny viten om permafrost. Bygging av flyplasser, veier, rørledninger, boligområder etc. medførte at en måtte ha kjennskap til permafrostens utbredelse, dybde, variabilitet og stabilitet. Kjennskap til det aktive lagets dybde og sesongmessige variabilitet var også svært viktig.

Idag er permafrost og det periglasiale miljøet viktige forskningsområder i mange land, noe ikke mindre enn drøye 500 abstracts til den 5. Internasjonale Permafrostkonferansen i Trondheim 1988 var et tegn på.

Norges forskningsbidrag har i hovedsak vært i anvendt forskning og prosjektering. Dette har i første rekke foregått gjennom NTNF-programmet "Frost i jord" som ble gjennomført i perioden 1968-1975, og det etterfølgende "Permafrost" som ble avsluttet i 1988 (NOU 1989:9). Disse programmene har vært konsentrert om bygge- og anleggsvirksomhet i arktiske strøk.

Norges bidrag i grunnforskning har overveiende vært innenfor studier og kartlegging av periglasiale formelementer (palsmyrer, steinbreer og steinsorteringer). Utbredelse og dybde av permafrosten på Svalbard er ikke fullstendig kartlagt, men i stor grad basert på antakelser og interpolasjoner utfra enkelte målinger gjort i forbindelse med prøveboringer. Landvik et al. (1988) har på bakgrunn av glasialhistorisk materiale kartlagt permafrostområdene på Svalbard, og inndelt permafrosten i forskjellige soner (jmf. Fig. 5.4). T.eks ble flyplassen i Longyearbyen underdimensjonert mot tining p.g.a. manglende data om klimaforholdene (Gregersen 1986). Flystripa måtte hvitmales for å hindre tining om sommeren. På fastlands Norge er permafrost i svært liten grad kartlagt (Liestøl 1986).

Permafrost er en indikator for såvel dagens som tidligere klima. Lachenbruch og Marshall (1986) viser at en v.h.a. den geotermske varmeledningen i kontinuerlig permafrost kan estimere tidligere klimaforhold for mer enn 100 år tilbake. Permafrostens følsomhet overfor klimatiske svingninger gjør den aktuell også for detektering av såvel lokale som globale endringer i klima.

Mens den globale lufttemperaturen har steget med ca. 0,5° C de siste 100 årene viser flere undersøkelser i Alaska (Lachenbruch og Marshall 1986, Lachenbruch, Cladouhos og Saltus 1988, Smith 1988) at temperaturen i de øverste to metrene har steget med 2°- 4° C (Fig. 5.4). Suslov (1961) fant at permafrosten i Mezen, nordøst for Archangel'sk (Sovjet) siden 1837 har trukket seg nordover med en hastighet på ca. 1/2 km i året. Ifølge Bird (1967) påviste Sumgin (1934) at den sørlige grensen for utbredelse av permafrost i Sovjet trakk seg

nordover, som følge av endringer i klima.

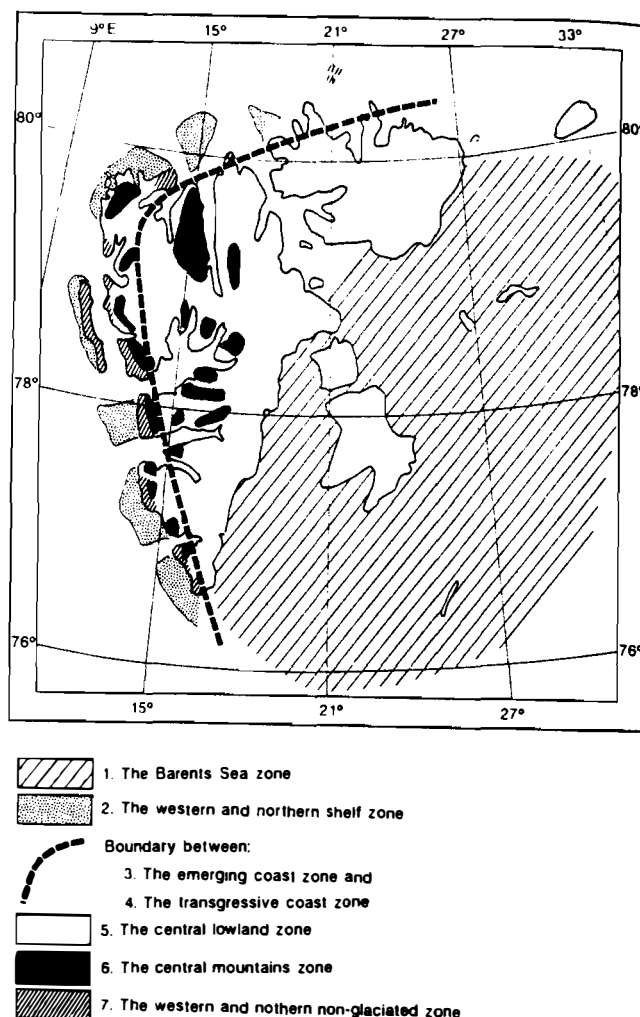


Fig. 5.4.) Permafrostsoner på Svalbard utarbeidet på bakgrunn av glasiasjonshistorien (Landvik et al. 1988)

Lachenbruch, Cladouhos og Saltus (1988) påpeker at deres data indikerer at en generell oppvarming av det øverste laget av permafrosten i Alaska idag finner sted (Fig. 5.5). De er ikke istand til å gi noen forklaring på forandringene, men nevner at oppvarmingen kan skyldes endringer i albedo p.g.a. forurensning, endringer i havis-dekket's utbredelse eller forandringer i det generelle meteorologiske systemet over Polhavsbassenget. Forfatterne stiller seg derfor følgende spørsmål: Hvor godt kjenner vi relasjonen mellom klima og permafrost? Hvilken relasjon er det mellom de termiske forholdene i permafrosten og de klimatiske parametrene? Hvilke konsekvenser vil endringer i klima ha for permafrosten, og

hvilke konsekvenser vil forandringene i permafrosten ha på klimaet ? Og til slutt, hvilke effekter vil forandringen ha på landskapet og det biologiske systemet.

ANTATTE EFFEKTER

Endringer i klima gir endringer i utbredelse og dybde på permafrosten. En høyere årlig lufttemperatur vil resultere i et dypere aktivt lag. Særlig viktig her er endringer i sommertemperaturen. En langvarig endring av klima vil gi seg utslag i en ny likevektstilstand i permafrostlaget. P.g.a. av den geotermiske varmen vil permafrostlaget også smelte fra undersiden, men denne smeltingen vil foregå mye saktere enn den i de øverste 10 - 20 metrene (Smith 1988).

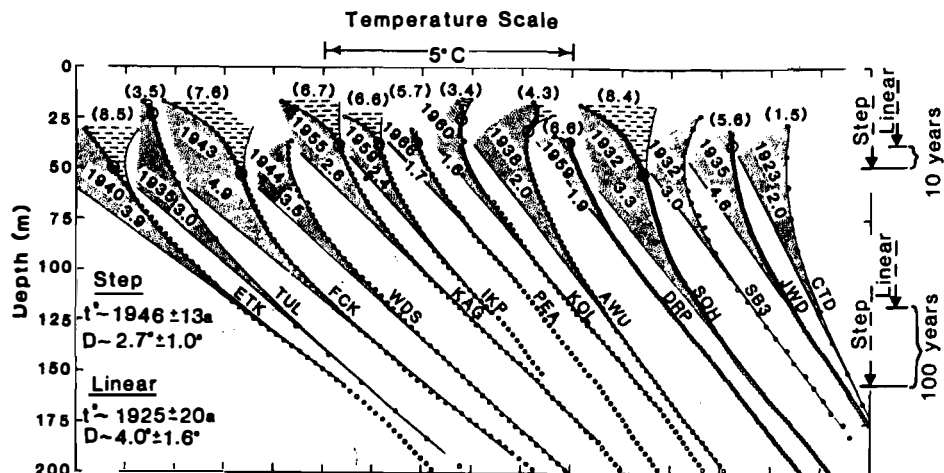


Fig. 5.5) Temperaturgradienter fra borehull i Alaska. De stiplede feltene angir oppvarmede områder. (Lachenbruch, Cladouhos og Saltus 1988)

I et stabilt permafrostlag blir energien som tilføres bakken gjennom smeltesesongen "fjernet" i løpet av vinteren. En forskyvning i denne likevekten, f.eks en høyere årlig lufttemperatur vil medføre at det tilføres mer energi til bakken enn det som "fjernes" i løpet av vinteren. Dette vil gi seg utslag i en ny og dypere likevektstilstand. Det vil sannsynligvis ta flere tusen år før permafrostlaget har innstilt seg på en ny likevektstilstand (Lachenbruch et al. 1982, Lunardini 1981). Dagens permafrostlag har ennå ikke innrettet seg etter klimaforandringene gjennom de siste par tusen årene.

I et øvre lag (0-5 m) kan en positiv temperaturendring medføre dypere tining relativt raskt - i størrelsesordenen et ti-talls år. Særlig vil dette være tilfelle i den diskontinuerlige permafrostsonen eller i områder med "varm" permafrost. Materialsammensetning og innhold vil i tillegg være viktig for det øvre lagets sensitivitet overfor endringer i lufttemperaturen. F.eks vil et øvre lag med mye organisk materiale gi god isolasjon og opptre som en slags buffer mot temperaturendringene i overflaten (Walker 1988), mens leirholdig materiale med stort innhold og materiale med relativt stort saltinnhold vil være svært sensitivt (Fig. 5.4).

Strandsonen, som er et grenseområde mellom permafrost og ufrosset grunn, er ofte preget av "varm" permafrost. Små temperaturendringer kan derfor medføre omfattende smelting i denne sonen (Gregersen 1986). Dette kan initiere kraftig erosjon og føre til en tilbaketrekning av strandsonen (Walker 1988). Langs kysten av Nord-Canada og Alaska er det påvist tilbakeskridende erosjon i kystsonen på opptil 30 m i året (Harry & Dallimore 1988). Dette gjelder særlig for områder med is-rik permafrost. Smelting av is-rik permafrost kan føre til at store områder blir ustabile og til dannelser av vatn og sjøer (Shur 1974, Grigorian et al. 1984). Gjennom stratigrafiske og geofysiske undersøkelser i Arktisk Canada har en i permafrosten funnet massive ismasser med tykkelser på opptil 30 m og utbredelser større enn 1 km² (Harry & Dallimore 1989). Ismasser under bakkeoverflaten kan være begravde isrester fra istida.

Et dypere aktivt lag kan medføre smelting av den is-rike permafrosten og de begravde ismassene. Dette kan i så fall få store konsekvenser for permafrostens stabilitet og utformingen av landskapet. Dramatiske massebevegelser kan initieres, selv i skråninger med relativt liten gradient. Der de begravde ismassene smelter vil det dannes store arr i landskapet (retrogressive thaw slumps), sannsynligvis fylt med vann. Eksempler på slike kollapsformer finnes det mange av i Canada (Harry & Dallimore 1989). Er smeltingen av is-rik eller begravde ismasser i permafrosten først startet kan det ta flere ti-år før situasjonen har stabilisert seg.

Gjennom stratigrafiske undersøkelser har en også kunnet identifisere det aktive lagets dybde for de varmeste periodene i Holocene (ca.5000 år BP). For Arktisk Canada viser det seg at det aktive lagets dybde under denne varmeste postglasiale perioden var ca.1,5 m mot dagens 0.5 - 1.0 m. Varmerperioden kan også detekteres geomorfologisk gjennom klare indikasjoner på økt ustabilitet og dannelsen av termokarstlandskaper (Harry & Dallimore 1989).

Løsmassenes sammensetning, komstørrelse og evne til å holde på fuktighet er viktige parametre for hvordan permafrosten og det aktive laget vil reagere på endringer i klima. Saltholdig og is-rik leire vil være mer sensitiv for endringer i klima enn morene og glasifluvialt materiale. Områder som skal bebygges eller utnyttes bør derfor kartlegges kvartærgeologisk. Under byggingen av bad og kafeteriabygget i Longyearbyen ble det registrert deformasjoner i fundamentkonstruksjonen (Gregersen 1986). Oppgraving av grunnen viste smelting på ca. 1 m under fundamentnivå. Årsaken til temperaturhevingen var overflatevann som ble ledet inn i fyllingen. Kostnadene for reparasjoner og ekstraarbeider ble anslått til ca. 2 mill. kr. Fundamentering og fundamentdimensjoner ble valgt uten noen forutgående undersøkelser av grunnforholdene (Gregersen 1986). Senere undersøkelser har vist at grunnforholdene i Longyearbyen er preget av mye leire og is-rik permafrost.

Dagens konstruksjoner er vanligvis fundamentert og bygd med utgangspunkt i en stabil

reparasjoner vil sannsynligvis bli betydelig. Nybygging og prosjektering med utgangspunkt i endringer i permafrostens stabilitet vil gjøre framtidige byggeprosjekter dyrere, men samtidig vil det sannsynligvis bli besparelser i utgiftene til vedlikehold og reparasjon.

Smelting av det aktive laget, sammen med økt tilførsel av fuktighet fra nedør og smeltevann fra breene, vil sannsynligvis føre til et generelt mer ustabilt landskap. De endrete mekaniske egenskapene i permafrosten kan gi seg utslag i drastiske massebevegelser, økende grad av jordsig og solifluksjon samtidig som erosjonen vil øke. I områder med marin leire kan dypere tining av det aktive laget medføre totale endringer i permafrostens stabilitet. Ellers er det sannsynlig at mange periglasielle formelementer, som pingoer, palser og steinbreer vil kollapse. Dette vil være med på å forsterke tilførselen av fuktighet til det aktive laget.

Ustabilitet og massebevegelser i det aktive laget kan ha stor innvirkning på vegetasjonsdekket og de isolerende lagene med organisk materiale. Resultatet kan bli en selvforsterkende effekt med et stadig dypere aktivt lag, større vanninnhold og større erosjon. Endringer i vegetasjonsdekkets utbredelse kan i tillegg få konsekvenser for det terrestriske dyrelivet i Arktis (Kap.7).

Metan (CH_4) er en av drivhusgassene som absorberer langbølget stråling, men slipper gjennom synlig og ultrafiolett lys fra solen. I permafrostlagene er det gjennom organisk materiale lagret store mengder med metan. Forskerne er generelt enige om at en oppvarming av permafrostlaget vil medføre betydelige økninger i utslipp av metan (MacDonald 1982, Bell 1983, Chamberlain et al. 1983, Revell 1983, Kvenvolden 1988). Gassen er imidlertid regnet å være godt isolert, slik at det sannsynligvis vil ta flere århundre før forandringene kan påvises. Utslipp av metan fra permafrost vil gi en positiv feedback til den globale temperatursituasjonen.

En fordypning av det aktive laget vil gi økt vanninnhold i løsmassene. Sammen med økte temperaturer vil dette kunne gi økt fordampning og gi tilskudd til endringer i luftfuktigheten. Dette kan gi endringer i skydekke og på den måten være med å endre den generelle varmebalansen mellom bakken og atmosfæren.

FORSLAG TIL FRAMTIDIG FORSKNING

Ifølge O.Gregersen ved Norges Geotekniske Institutt finnes det idag nødvendig ekspertise og kunnskap omkring prosjektering av bygg og anlegg i periglasielle miljøer. Idag tas det imidlertid ikke hensyn til eventuelle klimaforbedringer under prosjekteringen. Men det finnes gode data og godt utviklet regneverktøy for en nærmere analyse av de konsekvensene en klimaforbedring eventuelt vil medføre. Et relevant forskningsprosjekt for framtida er derfor å prøve å innkalkulere en klimaforbedring i de bygningstekniske prosjekteringen. Dette

å prøve å innkalkulere en klimaforbedring i de bygningstekniske prosjekteringen. Dette vil kunne gi store besparelser både m.h.t. vedlikehold og reparasjon. En slik undersøkelse vil være naturlig å gjennomføre for et avgrenset område, f.eks. i Ny-Ålesund, Longyearbyen eller Svea. Dette kunne gi verdifull kunnskap om virkningene på et levende samfunn.

Internasjonalt brukes det store ressurser på grunnforskning, særlig i Canada, Alaska, Nord Amerika og Sovjet. I framtida er det viktig at også Norge kan være med på internasjonale forskningsprosjekter og gjøre seg nytte av denne informasjonen. I Norge er det først og fremst ved Geografisk Institutt, Universitetet i Oslo at grunnforskning innenfor permafrost og periglasielle prosesser foregår. Ved Norsk Polarinstitutt er det f.eks. ikke avsatt ressurser til slik forskning.

Framtidige forskningsprosjekter ved Geografisk Institutt, Universiteter i Oslo vil være "breer i permafrostområder" og "arktisk geomorfologi med vekt på jorderosjon i permafrostområder". Disse prosjektene vil ta for seg prosesser i permafrostområder m.h.t. erosjon, materialtransport og drenering. Studiene vil være knyttet både til kvartærgeologi og glasiologi, og dataene vil bli tilrettelagt i et geografisk informasjonssystem (GIS). Begge disse prosjektene er relevant for de konsekvenser endringer i klima kan få på områder med permafrost.

Aktuelle framtidige prosjekter bør være målinger av permafrostens utvikling på Svalbard. Dette gjøres ved å registrere temperaturforholdene i borer (300 - 400 m) gjennom hele permafrostlaget. Aktuelt er også studier av permafrostforholdene i kystsonene. I denne sonen er permafrosten særlig følsom for svingninger i klima. Et framtidig prosjekt bør dessuten være å korrelere klimaparametre med endringer i det aktive laget.

SAMMENDRAG

Innholdet av is gjør at permafrost som materiale oppfører seg unikt. Det gjør det følsomt overfor svingninger i klima, og en eventuell klimaforbedring i Arktis kan derfor få konsekvenser både for utformingen av landskapet, bygg og anleggsvirksomhet, infrastruktur, plante og dyreliv. Bygg, anlegg og infrastruktur på Svalbard er ikke prosjektert med hensyn til framtidige endringer i klimaet.

Det først og fremst i de marginale sonene av dagens permafrostutbredelse virkningene vil bli størst, i den sporadiske og diskontinuerlige sonen. Disse områdene er mest følsomme for svingninger i klima.

Temperaturforholdene i det øverste laget av permafrosten, det aktive laget, varierer med energibalansen i jordoverflaten. Om sommeren tiner det, mens det om vinteren er frosset. Høyere sommertemperaturer og endringer i nedbørsforhold kan medføre et dypere aktivt lag. Dette kan føre til ustabiliteter og endringer i permafrostens skjærfasthet. Større

fuktighet og mindre skjærfasthet kan resultere i store massebevegelser og utgldninger. Permafrostforholdene i kystsonen er svært følsom for temperaturendringer. Dette er fordi materialsammensetningen i denne sonen ofte består av leirjord og marin leire. Permafrosten her er "varm" og endringer av stabilitetsforholdene kan medføre tilbakeskridende erosjon og resultere i en ustabil kyst og strandsone.

LITTERATUR GEOFYSISK DEL

Endel av litteraturreferansene er ikke direkte sitert i teksten, men er kun brukt som bakgrunnsmateriale.

1. Ambach,W. Effects of climatic perturbations on the surface ablation regime of the Greenland ice sheet, West Greenland. Journal of Glaciology Vol.35, No.121; Nov.1989.
2. Ambach,W og Kuhn,M. The shift og Equilibrium-line altitude on the Greenland Ice Sheet following climatic changes. Glaciers, Ice Sheets and Sea Level pp.255-257.; 1985.
3. Bardin,V.I. og Suzetova,I.A. Basic morphometric characteristics for Antarctica and budget of the Antarctic ice cover. JARE Scientific Reports, special issue No.1 pp.92-100.; 1967.
4. Bindshadler,R.A. Contribution of the Grennland Ice Cap to changing sea level: Present and future. Glaciers, Ice Sheets and Sea Level pp.258-266.; 1985.
5. Bird,J.B. The Physiography of Arctic Canada. Book.; 1967.
6. Bodyko, M.I. Izmenia klimata i puti ego preobrazovaniya (Climatic changes and means of climate modifications).Vestnik Akademii Nauk SSSR 7.; 1962.
7. Braithwaite,R.J. and Olesen,O.B. Calculation of glacier ablation from air temperature, West Greenland. Glacier Fluctuations and Climatic Change.: Kluwer Acad.; 1989.
8. Budd,W.F. og Smith,I.N. Large-scale numerical modelling of the Antarctic ice sheet. Ann. of Glac., 3 pp.42-49.; 1982.
9. Budd,W.F. og Smith,I.N. The state of Balnce of the Antarctic ice sheet. An updatet assessment 1984. Glaciers, Ice Sheet and Sea Level pp.172-177.; 1985.
10. Chorlton,W. Ice Ages: Time-Life.; 1983.
11. Clapperton,C.M., Sugden,D.E. and Pelto,M. Relationship ofland terminating and fjord glaciers to holocene climatic change, South Georgia, Antarctica. Glacier Fluctuations and Climatic Change.: Kluwer Academic.; 1989.

12. Crane,R.G. of Barry,R.G. The influence of clouds on climate with a focus on high latitude interactions. Journal of Climatology, Vol.44, pp.71-93.; 1984.
13. Donn,W.L. & Shaw,D.M. The heat budgets of an ice covered arctic ocean. Journ.of.Physic.Res. 71 (4).; 1966.
14. Doronin,Y.P. Thermal interactions of the atmosphere and the hydrosphere in the Arctic. Israel program for Scientific Translation Jerusalem (Gidrometeoizdat) Leningrad.; 1969.
15. Eide,L.I. Environmental Conditions In the Barents Sea and near Jan Mayen. Rapport fra DNMI.; Oslo, august 1983.
16. Eliassen,A. et al. Klimaendring i Norge ved økt drivhuseffekt. Rapp. til Miljøverndepartementets klimautredningsgruppe.; 1989.
17. Embleton,C. and King,C.A.M. Periglacial Geomorphology.; Arnold.; 1975.
18. Fairbanks,R.G. A 17000-year glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas eventand deep ocean circulation. Nature, Vol.342.; 1989.
19. Fletcher,J.O. The arctic heat budget and atmospheric circulation, Proceed. of symp. on the Arctic heat budget and the atmospheric circulation.; 1966.
20. French,H.M. Man induced Thermokarst, Sachs harbour airstrip, Banks Island, N.W.T. Can. Journ. of Earth Sciences, 12. 1975.
21. Frolich,R. The shelf life of Antarctic ice. New Scientist.; 4.Nov. 1989.
22. Gavaghan,H. Effect of global warming on sea levels "overestimated".New Scientist.; 16.Des. 1989.
23. Goodrich,L.E. The influence of snow cover on the ground thermal regime. Canadian Geotechnical Journal, 19.; 1982.
24. Gregersen,O. Praktisk fundamentering på permafrost. Forsknings- og byggeprosjekter på Svalbard i 70- og 80-årene. I: Fjellsprengningsteknikk Bergmekanikk Geoteknikk.; Tapir.; 1986.

25. Greuell,W. and Oerlemans,J. Energy balance calculations on and near Hintereisferner (Austria) and an estimate of the effect of greenhouse warming on ablation. *Glacier Fluctuations and Climatic Change*.: Kluwer Acad.;; 1989.
26. Hagen,J.O. Glacier surge at Usherbreen, Svalbard. *Polar Research* 5, 239-252.; 1986.
27. Hagen,J.O. and Liestøl,O. Long-term glacier mass balance investigations in Svalbard 1950-1988. Symposium on Ice and Climate, I.G.S. Seattle, August 1989.; 1990.
28. Hansen,J. et al. Global climate changes as forecast by Goddard Institute for Space studies three-dimensional model., *Journ.of Geophys.Res.*, 93.; 1988.
29. Harris,S.A. *The Permafrost Environment*. Book.; 1986.
30. Harry,D.G and Dallimore,S.R. Permafrost, Ground Ice and Climate Change in the Beaufort Sea Coastlands. *GEOS*, NO.3 1989.
31. Henderson-Sellers,B. Modelling sea surface temperature rise resulting from increasing atmospheric carbon dioxide concentrations. *Climatic Change* 11, pp.313-348.; 1987.
32. Hermann,Y. & Hopkins,D.M. Arctic oceanic climate in Late Cenocoic time. *Science* 209.; 1980.
33. Hughes,T.J. Is the West Antarctic ice sheet disintegrating? *Journal of Geophysical Research*, 78, pp.7884-7910.; 1973.
34. Hughes,T.J. On the disintegrating of ice shelves: The role of thinning. *Annals of Glaciology*, 3, 146-151.; 1982.
35. Hughes,T.J. The stability of the West Antarctic ice sheet: Whar has happened and what will happen. In: *Carbon dioxide, Science and consensus*, Proc. of Carbondioxide res.conf., U.S. department of energy, IV 51 - IV 73.: 1983.
36. Johannesson,T., Raymond,C., Waddington,E. Time-scale for adjustment of glaciers to changes in mass balance. *Journal of Glaciology*, Vol. 35, No. 121.; Nov. 1989.
37. Johnsen,Å. & Vinje,T.E. Havisundersøkelser i Barentshavet. Rapport til arbeidsgruppen for konsekvensutredninger av petroleumsvirksomhet (AKUP).; 1987.

38. Kelly,P.M., Karas,J.H.W. Arctic climate: Past, present and future. Arctic Whaling symp. Groningen 23-25 feb.1983.; 1983.
39. Koerner,R., Dubey,R., Pamandi,M. Scientists Monitor Climate and Pollution from Ice Caps and Glaciers. GEOS, No.3, 1989.
40. Kotlyakov,V.M. The intensity of nourishment of the Antarctic ice sheet. IASH 55, pp.100-110.; 1961.
41. Kotlyakov,V.M. et al. New map of accumulation on the Antarctic ice sheet. Materialy Glyatriologicheskikh Issledovaniy. Khronika Obsuzhdeniya, 24 pp.248-255.; 1974.
42. Kristiansen,K.J. & Sollid,J.L.; Vest-Agder: Kvartærgeologi og geomorfologi 1:250.000, Rapport til kart, 1988.
43. Kuhn,M. The response of the equilibrium line altitude to climate fluctuations.theory and observations.: Glacier Fluctuations and Climatic Change.; Kluwer Acad.; ISBN: 1989.
44. Lachenbruck,A.H. & Marshall,B.V. Changing climate: Geothermal evidence from permafrost in the Alaskan Arctic. Science 234, 689-696.; 1986.
45. Lachenbruck,A.H. et al. Permafrost, heat flow and the geothermal regime at Prudhoe Bay, Alaska. Journ. of Geophys. Res., 87.; 1982.
46. Lachenbruck,A.H., Cladhous,T.T. & Saltus,R.W. Permafrost temperature and the Changing Climate. Permafrost, V'th international conf. on permafrost.; 1988.
47. Landvik,J.Y., Mangerud,J. og Salvigsen,O. Glacial history and permafrost in the Svalbard area. Proc. V'th Int. Conf. on Permafrost. 1988.
48. Larsen,S.H.H. og Henriksen,T. Persistent Arctic ozone layer. Nature Vol. 343.;Jan.1990.
49. Lashof,D.A. The dynamic greenhouse: Feedback processes that may influence future concentrations of atmospheric trace gases and climatic change. Climatic Change 14, pp.213-242.; 1989.

50. Lefauconnier,B. and Hagen,J.O. Glaciers and Climate in Svalbard, statistical analysis and reconstruction of the Brøgger glacier mass balance for the last 77 years. Symposium on Ice and Climate, I.G.S. Seattle, August 1989.; 1990.
51. Liestøl,O. Glacier Surges in West Spitsbergen. Can.Journ. of Earth Sciences, Vol 6, No.4.; 1969.
52. Liestøl,O. The Glaciers in the Kongsfjorden area, Svalbard. Nor.Geogr.Tidsskr.42, pp.231-238.; 1988.
53. Liestøl,O. Permafrost, springs and permafrost. Norsk Polarinst.Årbok 1975.; 1976.
54. Liestøl,O. Permafrost på Svalbard og på fastlandet. Klimatiske forutsetninger, utbredelse og tykkelse. Fjellspregningsteknikk, Bergmekanikk/Geoteknikk.; 1986.
55. Limbert,D.W.S. West Antarctic temperatures, regional differences, and the nominal length of summer and winter seasons. In: Environment of West Antarctica: Potential CO₂-induced Changes.: Polar Research Board, National Acad. Press.; 1984.
56. Lingle,C.S. A model of polar ice stream, and future sea-level rise due to possible drastic retreat of the West-Antarctic Ice Sheet. Glaciers, Ice Sheets and Sea Level.; 1985.
57. Loewe,F. The water budget in Antarctica. JARE Scientific Reports, special issue No.1 pp.101-110.; 1967.
58. Lunardini,V.J. Heat transfers in cold climates. Van Nostrand Reinhold Comp., New York.; 1981.
59. Luthin,J.D. & Guymon,G.L. Soil moisture-vegetation temperature relationships in central Alaska. Journ. of Hydrology, 23, 233-246.; 1974.
60. Meier,M.F. Reduced rise in sea level. Nature, Vol 343.; 1990.
61. Mellor,M. Mass balance studies in Antarctica. Jour. of Glac., 3(26) pp.522-533.; 1959.
62. Mercer,J.H. Antarctic Ice and Sangamon sea level. International Association of Scientific Hydrology Publication 79, pp.217-225.; 1968.

63. Mercer, J.H. West Antarctic ice sheet and CO₂ greenhouse effect: A threat of disaster. *Nature*, 271, pp.321-325.; 1978.
64. Midttun, L. Formation of dense bottom water in the Barents Sea. *Deep Sea Research*, Vol. 32, No. 10.; 1985.
65. Mitchell, J.F.B. et al. CO₂ and climate: a missing feedback. *Nature*, Vol 341.; 1989.
66. Mottke, von K. International agreement to stabilize climate: Lessons from the Montreal protocol. *Climatic Change*, 14 pp. 211-212.; 1989.
67. NAP-rapport. Rapport fra Workshop holdt i Seattle, Washington, September 13-15, 1984. *Glaciers, Ice Sheets, and Sea Level: Effects of a CO₂-induced Climatic Change*. National Academy Press.; 1985.
68. Norsk Polarforskning; NOU 1989: 9.; 1989.
69. Norsk Polarinstitutt, Virksomhetsplan 1989.
70. Oerlemans, J. og Hoogendoorn, N.C. Mass-balance gradients and climatic change. *Journal of Glaciology* Vol. 35, No. 121.; 1989.
71. Oerlemans, J. On the response of valley glaciers to climatic change. *Glacier Fluctuations and Climatic Change*.; Kluwer Acad.; 1989.
72. Oerlemans, J. Response of the Antarctic ice sheet due to climatic warming: A model study. *Journ. of Climatology* 2, pp.1-11.; 1982.
73. Orheim, O. og Brække, A. (eds). Hva skjer med klimaet i polarområdene. NP's rapportserie Nr. 53; 1989.
74. Orheim, O. Iceberg discharge and the mass balance of Antarctica. *Glaciers, Ice Sheets and Sea Level* pp.210-215.; 1985.
75. Parkinson, C.L. & Washington, W.M. A large scale numerical model of sea ice. *Journ. of Geophysic. Res.* vol.84.; 1979.
76. Parkinson, C.L. og Washington, W.W. A large-scale numerical model of sea ice. *Journal of Geophysical Research*, Vol.84, No.C1.; 1979.
77. Paterson, W.S.B. *Physics of Glaciers* (Sec.ed.).: Pergamon Press.; 1981.

78. Pickard,G.L. and Emery,W.J. Descriptive Physical Oceanography. Pergamon Press.: 1982.
79. Price,R.J. and Sugden,D.E. Polar Geomorphology.: Alden Press.; 1972.
80. Raval,A. og Ramanathan,V. Observational determination of the greenhouse effect. Nature, Vol.342.; 1989.
81. The role of Antarctica in Global Change. ICSU press/SCAR. Rapport.; April 1989.
82. Schneider,S.H. The Greenhouse effect: Science and policy. Science, Vol.243.; 1989.
83. Shell,I.I. Interrelations of Arctic ice with the atmosphere and the ocean in the North Atlantic, Arctic and adjacent areas. Journ. of Met., Vol.13.; 1956.
84. Slingo,A. Sensitivity of the Earths radiation budget to changes in low clouds. Nature, Vol.343.; 1990.
85. Smith,M.W. The significance of climatic change for the permafrost environment. Permafrost, V'th international conf.on Permafrost. Abstract.; 1988.
86. Sonka,S.T. og Lamb,P.J. On climate change and economic analysis. Climic Change 11, pp.291-312.; 1987.
87. Stigebrandt,A. A model for the thickness and salinity of the upper layer in the Arctic Ocean and the relationship between the ice thickness and som external parameters. Journ.of Physic.Res. 11 (10).; 1981.
88. Stouffer,R.J., Manabe,S., Bryan,K. Interhemispheric asymmetry in climate response to a gradual increase of atmospheric CO . Nature, Vol.342.; 1989.
89. Stuiver,M., Denton,G.H., Hughes,T.J. og Fastook,J.L. History of the marine ice sheet in West Antarctica during the last glaciation: A working hypothesis. In: Denton og Hughes (eds): The last great ice sheet pp.319-436.: Wiley.; 1981.
90. Sugden,D.E. Arctic and Antarctica.: Blackwell.; 1982.
91. Sugden,D.E. & John,B.S. Glaciers and Landscape. Book.; 1976.
92. Suslov,S.P. Physical geography of Asiatic Russia. I: Smith, M.W. 1988.

93. Swithinbank,C.W.M. Arctic pack ice from below. Proc. of the sea ice conf. Reykjavik.; 1972.
94. Thomas,R.H. & McAyeal,D.R. Derived characteristics of the Ross ice shelf, Antarctica. Journ. of Glac., 28, 397-412.; 1982.
95. Thomas,R.H. et al. Effect of climatic warming on the West Antarctic ice sheet. Nature, 227, 355-357.; 1979.
96. Thomas,R.H. Responses of the polar ice sheets to climatic warming. Glaciers, Ice Sheets and Sea Level.; 1985.
97. Vinje,T.E. Drift, Composition, Morphology and Distribution of the sea ice fields in the Barents Sea. Norsk Polarinstitutt. Skrifter 179 c.; 1985.
98. Vinje,T.E. Frequency distribution of the sea ice in the Greenland and the Barents Seas 1971-1980. Norsk Polarinstitutt Årbok 1980.; 1981.
99. Vinje,T.E. og Finnekåsa,Ø. The ice transport through the Fram Strait. Norsk Polarinstitutt. Skrifter 186.; 1986.
100. Vinje,T.E. Icebergs in the Barents Sea. Abstract fra Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering. Haag 19.-23. mars 1989.; 1989.
101. Vinje,T.E. On the present state and the future fate of the Arctic sea ice cover. In: H.K.'s Jacob K. Snoeiijng & R.Vaughan (eds) "Arctic Whaling". University of Groningen.; 1984.
102. Walin,G. The thermohaline circulation and the control of ice ages. Palaeogogr.,Palaeoclim.,Palaeoec., 50, pp.323-332.; 1985.
103. Walker,H.J. Permafrost and coastal processes. Permafrost, V'th int. conf. on permafrost. Abstract.; 1988.
104. Walsh,J.E. og Johnson,C.M. An analysis of Arctic sea ice fluctuations, 1953-77. Journal of Physical Oceanography, Vol.9.; 1979.
105. Warren,S. og Frankenstein,S. Increased accumulation on the Antarctic ice sheet due to climatic change. International Glaciological Symposium on Ice and Climate.; Aug.1989.

106. Warrick,R.A. og Riebsame,E. Societal Response to CO₂-induced Climatic Change: Opportunities for research. Climatic Change 3, pp.347-386.; 1981.
107. Washington,W.M. & Meehl,G.A. Climate sensitivity due to increased CO₂: Experiments with a coupled atmosphere and ocean general circulation model. Climate Dynamics, 4: 1-38.; 1989.
108. Weertman,J. Stability on the junction of an ice sheet and an Ice shelf. Journ. of Glac. 13, pp.3-11.; 1974.
109. Whalley,W.B., Gordon,J.E. and Gellatly,A.F. Effects of topographic and climate controls on 19th and 20th century glacier changes in the Lyngen and Bergsfjord areas, North Norway. Glacier Fluctuations and Climatic Change.: Kluwer Academic.; 1989.
110. Zacharov,V.F. Ice masses of the Arctic and present natural processes. Gidrometeoizdat, Leningrad.; 1981.
111. Zwally,H.J. Growth of Grennland Ice Sheet: Interpretation. Science, Vol 246. pp-1589-1591.; Dec. 1989.
112. Zwally,H.J., Bremner,A.C., Major,J.A., Bindshadler,R.A., Marsh,J.G. Growth of Greenland Ice Sheet: Measurment. Science Vol.246, pp.1587-1589.; Dec.1989.

KAPITTEL 6

Arve Elvebakk
Universitetet i Tromsø
Institutt for biologi og geologi
9000 Tromsø

Kapittel 6: Verknader av klimaendringar på terrestrisk flora og vegetasjon.

KAPITTEL 6 VERKNADER AV KLIMAENDRINGAR PÅ TERRESTRISK FLORA OG VEGETASJON

INTRODUKSJON

Det er tidlegare ikkje gjort utgreiningar om forventade effektar av ein gitt klimaauke på plantelivet til lands på Svalbard. Eit unntak er eit forprosjekt til det føreliggjande arbeidet utført ved Norsk Polarinstitutt vinteren 1990 (Jaworowski upubl.). Dette har vore tilgjengeleg for underteknaren, men er ikkje innarbeidd på annan måte enn at det er referert til på line med andre litterære kjelder. Eit arbeid som omhandlar planteliv og klimavariasjon på Hopen dei siste hundre år (Skye 1989) kan kanskje også takast med i denne samanhengen.

Ein har på denne bakgrunnen berre primære biologiske datasett eller andre klimarelevante datakjelder som ein kan tolke i lys av den gitte problemstillinga. Frå andre arktiske område ligg det føre svært lite når det gjeld vurderingar av forventade virknader av drivhuseffekten på arktisk planteliv. Ei større utgreiing frå Intergovernmental Panel on Climatic Change i FN-regi er for tida ute til høyring. Arbeidet er ikkje tilgjengeleg for sitering enno, men det omhandlar ikkje spesifikt effekt på planteliv i arktiske område.

Det er i hovudsak data frå to område som kan brukast til det føreliggjande formålet:

- I) Palaeoklimatiske data basert på botaniske, zoologiske, geologiske eller andre ikkje-biologiske sedimentasjonsseriar som kan daterast, direkte eller indirekte.
- II) Samvariasjon mellom ulike resente klimatypar og ulike flora og vegetasjon på Svalbard og i øvrige delar av Arktis.

Ein vil først gjennomgå føreliggjande data frå desse områda så komplett som råd er før ein skisserer moglege konsekvensar av det gitte scenariet og tilrår forskning/overvaking som kan styrke kunnskapsnivået og leggje grunnlag for forvaltningsretta tiltak og vidare overvaking i tida framover.

Utgangspunktet er det scenariet som er lagt fram av Norsk Institutt for Luftforskning/ Det norske Meteorologiske Institutt 10. jan. 1990. Dette er lagt til grunn for utgreiningar av forventade effektar på fastlands-Noreg, og er tenkt brukt også på Svalbard. Men modellar utarbeidd i Canada konkluderer med større utslag lengst nord i Arktis enn på breiddegrader som motsvarer fastlands-Noreg. Ein vil difor også kort drøfte konsekvensar av alternative scenarier i tillegg til det som brukast i den generelle konsekvensanalysen for Noreg.

Oppdraget fokuserer på temperaturendring og den svake nedbørsauken som er skissert i

scenariet blir drøfta i liten grad. Den parameteren det blir fokusert på her er ein sommartemperaturauke på 2° (3) - 4°C innan år 2030.

PALAEOKLIMA BASERT PÅ DATASETT UTANOM SVALBARD-BOTANIKK

Frå Svalbard manglar ein pr. idag heilt fossile/subfossile landplanterestar frå perioden mellom ca. 10 000 år før notid og tidsrommet til del velkjente tertiære Svalbard-fossila som daterer seg 30 - 40 mill. år attende. Frå denne perioden kan ein altså ikkje pr. idag bruke fossile landplanterestar til å rekonstruere klimaet. Og omvendt så må ein bruke røynsler frå andre geografiske område til å rekonstruere vegetasjonens karakter ut frå dei klimatilhøva som er kartlagt ut frå andre datasett.

På bakgrunn av dette vil ein først gi ein generell omtale av klimasvingningar slik dette er rekonstruert av andre datasett, men ein vil for nærare opplysningar om dette syne til andre kjelder.

Siste istid (Weichsel)

For perioden før siste istid (Weichsel, som går 120 000 år attende) er det svært lite data som ligg føre. Men nokre svært interessante sediment blei for få år sidan oppdaga ved Kap København lengst nord i Peary Land på Grønland (ca. 82 N). I dette området var det berre for ca. 2 mill. år sidan ein barskog som liknar på den ein finn nær skoggrensa i Canada idag (Funder 1987). Dette indikerer ein middeltemperatur for juli på over 10 C, og pga. den relativt korte avstanden til Svalbard er det grunn til å tru at det var liknande klima- og vegetasjonstilhøve også på Svalbard på denne tida.

Under nestsiste istid reknar ein med at Grønland var totalt nedisa (Funder 1987), medan det gjennom den siste istida har vore isfrie "refugiar". Men førre mellomistid, Eem-interglacialen (130 000 - 120 000 B. P.), var varmare enn vår noverande interglasial. Dette er basert på studiar t. d. frå Brøggerhalvøya (Miller et al. 1989) og frå Norskehavet (Beyer et al. 1990). Starten på siste istid (Weichsel) medførte ei dramatisk klimaforverring og ei omtrent total nedising av Svalbard med brefronten ute i havet ved egga, jfr. Mangerud et al. (1990), som mest har arbeidd i området Isfjorden/Bellsund, og Larsen et al. (1990), som på Svalbard har konsentrert arbeidet til områda vest og sør for Ny-Ålesund.

Men klimasvingningane og isdekket gjennom Weichsel har vore mykje omdiskutert. Figur

1 syner nedisingsmønstret etter Mangerud et al. (1990) med ei ny nedising i midtre Weichsel for 50 - 70 000 år sidan. Larsen et al. (1990) reknar denne nedisinga for å ha vore tidlegare (80 - 90 000 år sidan) og større, slik at brefronten låg ut i havet vest for Prins Karls Forland.

Størst usemje har det vore om det siste nedisingsmaksimumet. I Fennoskandia fann dette stad for 17 - 21 000 år sidan (Alm & Vorren 1990). Då var Fennoscandia så godt som totalt dekt av is, og kun små areal lengst ut mot kysten var isfrie; det beste eksemplet er nordlegaste Andøya, der nedisingsmaksimum var 19 000 år sidan (Vorren et al. 1988, Alm & Vorren 1990). Desse forfattarane har konstruert klimadiagram for nordre Andøya for perioden frå 22 000 år sidan og fram til idag (fig. 2). I tida fram til ca. 10 000 før notid var klimaet svært varierende; stort sett svært kaldt, men med enkelte temperaturoppar som ikkje nådde opp til våre dagars temperaturar. Etter den tid var klimaet meir stabilt og i perioden frå ca. 9500 til 4000 B.P. klart varmare enn idag, og vidare fram til ca. 1000 år før notid litt varmare enn idag.

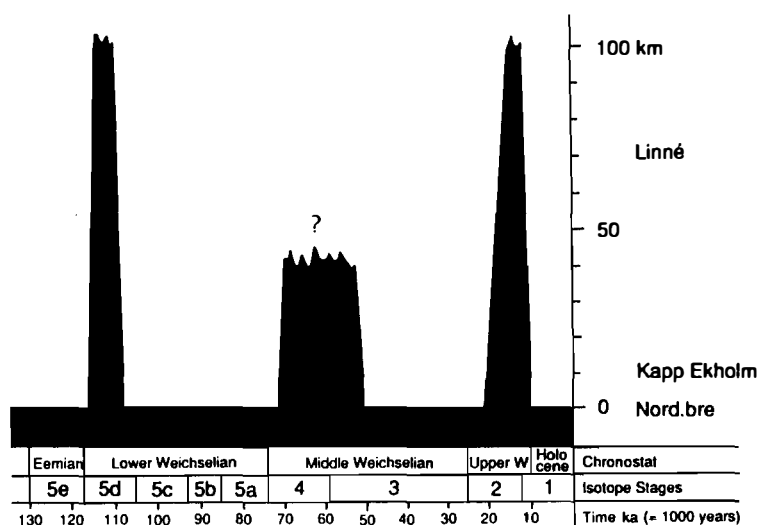


Fig. 6.1) Nedisingshistoria på Svalbard gjennom dei siste 130.000 år. Etter Mangerud et al.(1990)

På Svalbard ser nedisings-maksimumet i sein-Weichsel ut til å ha vore seinare, og Mangerud et al. (1987) har rekonstruert korleis breane har trekt seg attende frå vestkysten av Spitsbergen frå 12 - 13 000 år sidan. På den andre sida var det ganske store isfrie landareal både på vest- og nordkysten av Svalbard og nunatakk-område i dei sentrale

framstilt tidlegare, jfr. fig. 6.1.

Dei interstadiale isfrie periodane studerest no via marine sedimenteringar ved kysten av Svalbard, men det synest enno å vere litt tidleg å trekke konklusjonar om korleis klimautviklinga har vore. Data presentert frå Lamb (1972) tyder på at iallfall interstadialen i Midt-Weichsel var klart kaldare enn idag. Dette er basert på data både frå Mellom-Europa, Grønland og på tropisk, atlantisk, marint palaeoklima.

Holocen (dei siste 10 000 år)

Siste istid blei avløyst av vår noverande mellomistid eller interglacialen Holocen for 10 000 år sidan. Rundt 10 000 år sidan var det kraftige klimasvingningar, og ein hadde postglasiale varmeperiodar som er godt dokumenterte i litteraturen. Det som er mest interessant i denne samanhengen er kanskje dei klimatilhøva som indikerest av utbreiinga i tid og stad av marine molluskar som finnest i tidlegare strandavsetjingar på Svalbard (Salvigsen 1989, 1990). Den mest temperaturkrevjande arten strutskjel (Zirphaea crispata) som idag går nord til Vest-Finnmark, fantest kun på Svalbard for ca. 9 000 år sidan, og då berre i de inste fjordstroka i Isfjorden. Ein annan termofil art, O-skjelet (Modiolus modiolus) fantest over eit litt lengre tidsrom frå ca. 9 - 8 000 B.P. og over eit litt større areal i indre Isfjorden. Andre artar som også er utdøydd på Svalbard idag, som kuskjel (Arctica islandica) og strandsnegl (Littorina littorea) var også utbreidd i indre Isfjorden.

Dette utbreilingsmønstret passar svært godt med utbreilingsmønstret til dei mest temperaturkrevjande plantane på Svalbard idag (Elvebakk 1989), jamvel om dette er landplantar og molluskane er strandnære marine organismar. Mønstret passar også godt med den bioklimatologiske "Inner Fjord Zone" som blei introdusert allereie av Summerhayes & Elton (1928).

Blåskjel (Mytilus edulis) er ein annan termofil art som manglar på Svalbard idag. Men denne arten hadde ei lengre postglasial utbreiing på Svalbard, og døydd ut for ca. 3 500 år sidan, pluss at arten dukka opp att i ein kortare periode for ca. 1000 år sidan. Dette er ein mindre termofil art, og arten har eit vidare areal på Svalbard som høver med utbreiinga av reinrose (Dryas octopetala) eller med den biogeografiske nordarktiske tundrasonen på Svalbard (Elvebakk 1989).

Salvigsen (1989) kvantifiserer ikkje skilnaden mellom klimaet i den postglasiale varmeperioden på Svalbard med dagens Svalbard-klima, men refererer estimat frå arktisk Canada som opererer med temperaturar 2 - 3° C over det ein har idag. Eit estimat på 2° C for juli-middeltemperaturen er også gitt frå England (Lamb 1972) og er det generelle nivået ein reknar også i Fennoskandia (K.D. Vorren pers. medd.).

Salvigsen (1989) kvantifiserer ikkje skilnaden mellom klimaet i den postglasiale varmeperioden på Svalbard med dagens Svalbard-klima, men refererer estimat frå arktisk Canada som opererer med temperaturar 2 - 3° C over det ein har idag. Eit estimat på 2° C for jull-middeltemperaturen er også gitt frå England (Lamb 1972) og er det generelle nivået ein reknar også i Fennoskandia (K.D. Vorren pers. medd.).

Frå Grønland presenterer Funder (1990) eit nesten identisk mønster også basert på subfossil botndyrfauna. Varmare havvatn enn idag eksisterte på Vest-Grønland i perioden 9200 - 4500 år før notid og på Aust-Grønland frå 8500 til 5000 B.P. Dette stemmer også med pollendata og brekantdata frå land på Grønland.

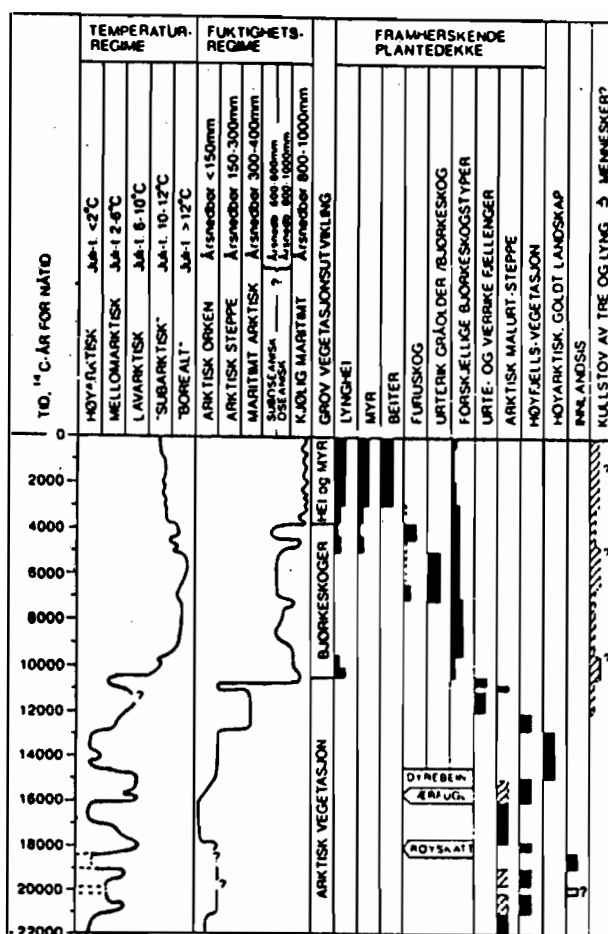


Fig. 6.2) Klimautviklinga på Andøya dei siste 22.000 åra tolka etter subfossile planterestar. Etter Alm og Vorren (1990)

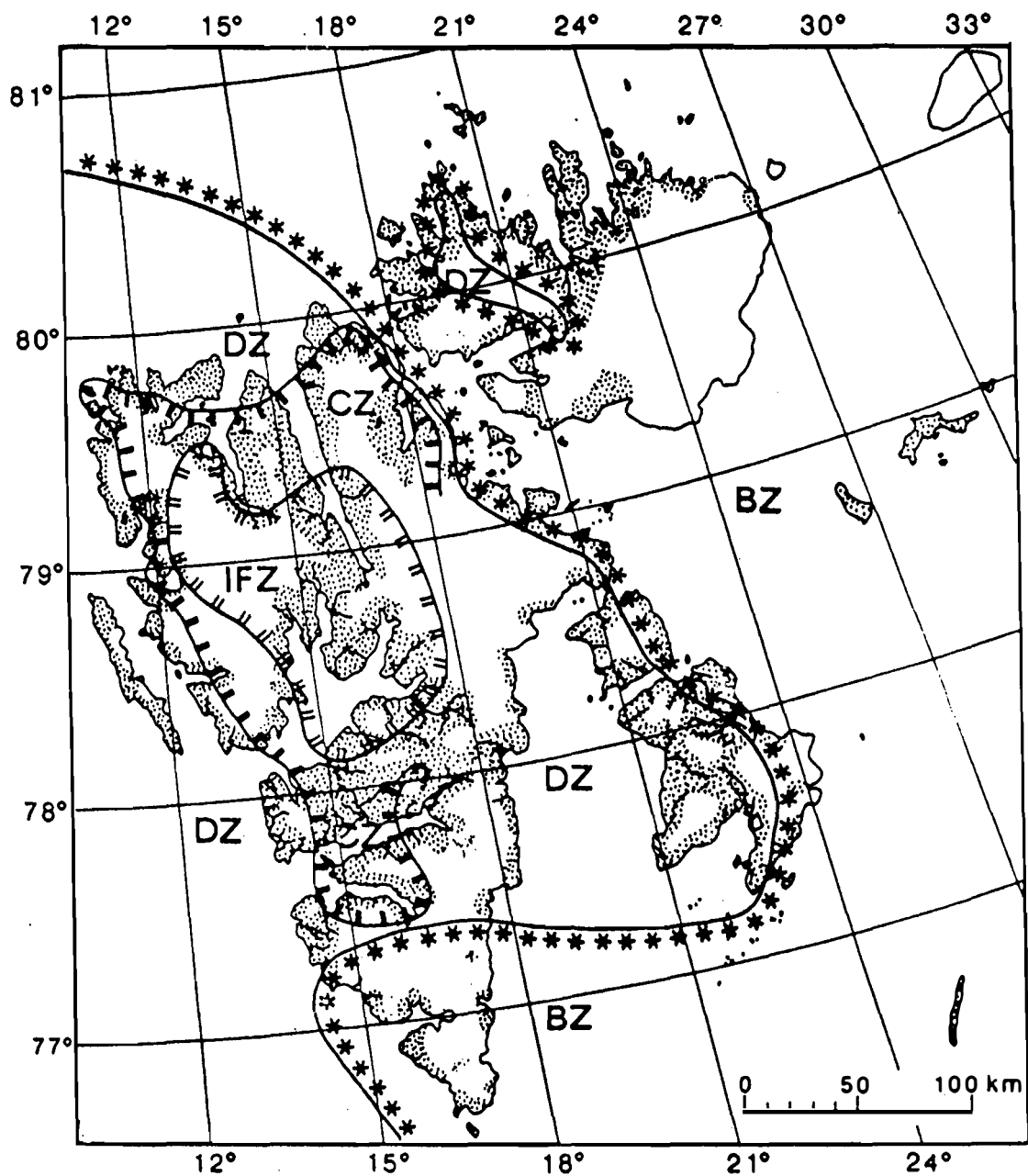


Fig. 6.3) Vegetasjons- og klimasonar på Svalbard (ekskl. Bjørnøya) omteikna etter Summerhayes & Elton (1928). Kun låglandsområde er klassifisert og sambindande liner er dragne over hav og isdekte område. IFZ = Inner Fjord Zone, CZ = Cassitope Zone, DZ = Dryas Zone, BZ = Barren Zone.

Konklusjon

Dataene ovafor, som er basert på marin molluskfauna, indikerer høgare temperaturar frå 3500 B.P. og attende, og med eit klart definert maksimum rundt 8 - 9000 år sidan. Dette er nøyaktig same klimamønstrer som er trekt opp i klimadiagramma frå Andøya (fig.6.2), så etter år 10000 B.P. har det kan hende vore liknande klimasvingningar på Svalbard som i Nord-Fennoskandia. Dei lokale utbreiingsmønstra for molluskane på Svalbard rimer også godt med dagens temperatur- og planteutbreiingsdata. Slik kan det sjå ut som om også dei "interne" utbreiingsmønstra og den "interne" temperaturfordelinga på Svalbard i tidleg Holocen passar med dagens tilhøve, sjølv om dei absolutte verdiane og artsutvalet er ulikt.

Dette historiske scenariet kan representere eit liknande scenarium som det som no er konstruert for perioden fram mot år 2030. Ein nærare kunnskap om plantelivet i denne perioden ville lette oppgåva med å prediktere endringar i plantelivet for vårt aktuelle framtidsscenarium.

PALAEOBOTANISKE UNDERSØKINGAR AV HOLOCEN PÅ SVALBARD

Det eksisterer ei rekke datasett som viser klimasvingningar og postglasiale varmetider på Svalbard og Salvigsens arbeid er i avsnittet over berre brukt som eksempel. Subfossile planterestar som t.d. pollen har generelt sett og i stort omfang blitt brukt til å påvise klimaendringar. Ein vidare bruk av terrestriske botaniske kriterie vil klart kunne komplettere og nyansere vår noverande kunnskap på Svalbard. Men det som kan vere mest interessant i denne samanhengen er å snu litt på flisa. Viss dei botaniske kriteria for klimapåvising er brukte korrekt, kan ein også dedusere kva for vegetasjons- og floramessige konsekvensar klimaendringane førte med seg, då det er dette som er mest relevant for det føreliggande formålet.

Dei vegetasjonshistoriske dataene som eksisterer frå dei siste tusenåra på Svalbard, er mest skaffa fram gjennom pollenanalyse, i viss grad også via analysar av mikrofossilar. Det er gjort ganske få undersøkingar, og ein har ikkje klart å finne tjukkare torvavleiringar enn ca. 1,7 m, og ein har hittil ikkje klart å trenge langt attende i historia med denne metoden. Dette er påfallande ut frå publikasjonane til Forman (1989), Miller et al. (1989) og Larsen et al. (1990) der det hevdest at det ikkje har vore ei større nedising på vestkysten av Spitsbergen i løpet av dei siste 80 000 åra. Viss derimot Mangerud et al. (1990) sine teoriar er meir korrekte, kan det lettare forklarast kvifor ein ikkje har funne terrestriske organiske avsetjingar lengre attende i tid.

Eldre undersøkingar

I dette avsnittet skal ein vurdere dei vegetasjonshistoriske dataene som eksisterer frå den tidlege utforskningsperioden på Svalbard. Det beste utgangspunktet er Andersson (1910) som hevda at klimaet på Svalbard i tidlegare delar av Holocen hadde vore klart varmare enn i notida. Eit hovudargument for dette var ei avsetjing på nordsida av Adventdalen som blei oppdaga av ein svensk ekspedisjon i 1861, og studert av svenske ekspedisjonar både i 1868, 1882 og i 1898. Avsetjingane blei tolka som at dei var danna av ei kraftig deltautvikling som resultat av stor issmelting. Det var avvekslande lag med ulike sandsjikt og ei rekke algelag med blåskjell (Mytilus edulis). Desse subfossile tangvollane inneheldt også sauetang (Pelvetia canaliculata), ein i denne samanhengen særleg art som manglar på Svalbard idag.

I profilet var det også rikeleg med landplantedetritus. Blant ei rekke mosar og karplanterestar er to artar av særleg interesse. Den eine er dvergbjørk (Betula nana), som idag kun finnest på sørsida av Adventdalen pluss i Colesbukta og inst i Grøndalen (Elvebakk 1989). Arten er blant dei mest temperaturkrevjande plantane på Svalbard, og denne opplysninga som kan indikere ei større utbreiing tidlegare er av stor interesse. Det same gjeld opplysninga om funn av modne frø av fjellkreking (Empetrum hermaphroditum). Dette er også ein termofill art, men i mindre grad enn dvergbjørk, og utbreiinga på Svalbard er mykje vidare (Elvebakk & Spjelkavik in prep.). Arten produserer modne frø svært sjelden, noko som berre er rapportert nokre få gongar frå Svalbard (Elvebakk & Spjelkavik in prep.). Empetrum hermaphroditum finnest i svært beskjeden mengde i Adventdalen-området idag. At i det heile tatt fleire slike frø blei funne, tyder på at denne planten var langt vanlegare i området enn idag.

I denne samanhengen kan ein nemne at lenger sør i Arktis er Empetrum ein svært viktig dvergbusk. Ved Angmagssalik på Sørøst-Grønland er slike Empetrum-heier skildra av Daniëls (1982). Dei finnest også lenger nord på Aust-Grønland (Feilberg 1987), i biogeografiske sonar (hemiarktis og sørarktisk tundrasone, jfr. Elvebakk 1985) som for det meste manglar frå norske låglandsterritoriar, sidan den aktuelle klimasonen hos oss er okkupert av Barentshavet.

Dvergbjørk er som kjent også ein dvergbusk som gjerne er dominant på optimale habitat. Opplysningane om mikrofossilar av desse to artane er derfor svært interessante, men dateringar manglar heilt frå desse eldre undersøkingane.

Andersson (1910) hevdar også at ei rekke torvavsetjingar må ha vore produsert under tidlegare og varmare klimatilhøve, medan torvdanninga idag ifølgje han er svært beskjeden eller manglande.

Til slutt diskuterer Andersson (1910) temperaturskilnaden kvantitativt, og reknar det for sannsynleg at temperatursenkinga frå den postglasiale varmetida fram til idag er større enn del 2,5° C som er kalkulert for Skandinavia, og skisserer på bakgrunn av ein eldre kjelde 3° C som eit rimeleg estimat.

Undersøkingar rundt 60-talet

Pollenanalytiske undersøkingar starta på Svalbard sist på 50-talet og heldt fram utover 60-talet (Srodon 1960, Blake et al. 1965, Hyvärinen 1968, 1969, 1970, 1972). Srodon (1960) og Blake et al. (1965) undersøkte overflateavsetjing og ein ca. 60 cm djup torvprofil i Homsundområdet. Den sistnemnde blei ved basis datert til å vere ca. 1400 år gammal. Hyvärinen (1968, 1969, 1970) undersøkte innsjøsediment på Bjørnøya, lengst nord i Wijdefjorden og på Nordaustlandet. I alle desse sjøane starta overgangen frå silt og mineralpartiklar til organiske sediment nær 10 000 år B. P. Dette samsvarer med overgangen frå eit glasiert til eit isfritt miljø, og korrelerer godt med den tidsperioden då breane trekte seg attende på Nordenskiöld Land ifølgje Mangerud et al. (1987).

Hovudkonklusjonen til desse arbeida er at den lokale pollenproduksjonen er liten, og ein stor del av pollenet i profilane er framandpollen av bjørk (Betula) og furu (Pinus). I tillegg finnest pollen av gran (Picea), edellauvre (Corylus, Ulmus), malurt-artar (Artemisia) og artar frå melde-familien (Chenopodiaceae). Dei lokale pollenprodusentane kan dessutan stort sett berre bestemast til slekt eller familie, og dei gir eit lite detaljert bilete av den lokale vegetasjonen.

Hyvärinen (1970) konkluderer med at det er størst pollenproduksjon i perioden ca. 8000 - 2000 B.P. Men mesteparten av dette er fjempollen, som i si veksling dessutan reflekterer skogshistoria i Fennoskandia i denne perioden. Men for rundt 5000 år sidan var det eit oppslag av lokalpollen, som blir tolka som ein respons på gunstigare klimatilhøve enn idag.

Mest interessant er kan hende serien frå nordre Wijdefjorden, som ligg ved yttergrensa for utbreiinga til kantlyngheiene på Svalbard. Her syner lyngpollenkurven ein klar auke i perioden 8000 - 2000 før notid. Dette blir tolka som at lyngheiene var meir utbreidde på den tida. Hyvärinen (1968) spekulerer også i bjørkepollentoppen på Bjørnøya for omlag 5000 år sidan, men pollenet aleine kan ikkje avgjere om det var lokale populasjonar av dvergbjørk (Betula nana) på Bjørnøya på den tida. Arten manglar fullstendig på Bjørnøya idag, kun mikrofossilar ser ut til å kunne løyse dette spørsmålet.

Undersøkingar på 80-talet

I tidsrommet over blei ei myr i Semmeldalen på Nordenskiöld Land undersøkt palynologisk av ein sovjetisk forskar (Zelikson 1971), men dette området blei oppsøkt på nytt og analysert grundigare av ein ny gruppe sovjetiske forskarar (Serebryanny et al. 1985). Dette arbeidet er grundig og omfatter både pollenanalyse og analyse av mikrofossilar. Det er ganske imponerende at ein kan rekonstruere mosefloraen i profilet basert på mikrofossilar (blad) heilt attende til basis. Torva var her 1,7 m tjukk og basis var datert til ca. 4500 år før notid.

I motsetning til tidlegare arbeid har ein her skilt dvergbjørk-pollen frå øvrig fjernttransportert bjørkepollen. Rundt 3300 B. P. har dvergbjørkpollenet eit kraftig oppslag og utgjer på det meste 20 % av pollenet. Dette fell saman med ein auke i graspollen og eit motsvarande fall i halvgraspollen. Aukande innslag av restar av torvmosar (Sphagnum spp.), lokal produksjon av torvmosesporar og mikrofossilrestar av 3 moseartar (Drepanocladus sendtneri, Paludella squarrosa og Sphagnum rubellum) er også brukt som indikatorar på varmare klimatilhøve. I tillegg når det gjeld den oppførte Sphagnum-arten bør ein kunne markere tvil om bestemminga er riktig.

Forfattarane konkluderer med at den eldste delen av profilet opp til ca. 3200 B. P. representerer eit klima som var varmare enn klimaet på Svalbard idag.

Eit tredje sovjetisk arbeid om same temaet frå Svalbard (Surova et al. 1982) har ikkje vore råd å skaffe tak i og er ikkje vurdert her.

Siste generasjon vegetasjonshistoriske undersøkingar på Svalbard representerer stort sett av arbeida til nederlendaren van der Knaap (1985, 1988a,b,c, 1989a,b). Eit arbeid frå Jan Mayen (van der Knaap 1987) bør også takast med i denne samanhengen.

På Edgeøya har van der Knaap studert to torvlag som seinare er tildekt av mineraljordsavsetjingar. Laga er daterte frå ca. 7900 - 6700 B.P. og frå ca. 5000 - 3800 B.P. Dei blei truleg danna under betre klimatiske tilhøve med eit meir utvikla vegetasjonsdekke og mindre erosjon enn idag kor myrer nesten ikkje eksisterer.

Torvproduserande mosevegetasjon under fuglefjell blei studert både ved Stuphallet på Brøggerhalvøya og på Amsterdamøya. På den første lokaliteten blei to profil studert i kanten av bekkefar som hadde erodert seg gjennom mosetundraen. Profila låg ca. 1 km frå kvarandre og prøvetakinga skjedde omtrent i same tidsrom, men resultatene av studiet av dei to profilane er publisert i to ulike artiklar (van der Knaap 1985, 1988a).

Det eine profilet var 1 m tjukt og blei datert til perioden 4400 - 800 B.P. Ei klimaforverring fann truleg stad for ca. 2500 år sidan då torvakkumuleringa blei mykje mindre. Interessant er det at forfattaren tolkar enkeltpollen av fjelltistel (Saussurea alpina) og dvergjamne

(Selaginella selaginoides) frå dei eldste delane av profilet som indikasjonar på at desse plantane tidlegare vaks lokalt i dette området. Hovudargumentet for dette er at desse to artane ikkje er blitt påvist blant langdistansepollenet på Svalbard tidlegare.

Det andre profilet var 75 (65) cm djupt, men med ein problematisk dateringssekvens. Også i dette profilet dukka det opp interessante pollen. Enkeltpollen av røsslyng (Calluna vulgaris) blei funnen på tre nivå i profilen. Det er første pollenfunn frå Svalbard og van der Knaap konkluderer med at røsslyng kunne ha vaks på Brøggerhalvøya, men dette treng nærare stadfesting.

Ved basis av profilen fann van der Knaap også eit enkeltpollen av akstusenblad (Myriophyllum spicatum). Etter underteiknaren si meining er dette sannsynlegvis den meir nordlege arten knopptusenblad (M. exalbescens). Van der Knaap argumenterer for at dette virkeleg er ein indikasjon på ein tidlegare lokal populasjon av arten. Arten veks i ope vatn og skulle ha dårleg evne til å produsere langdistansepollen. Akvatiske miljøtilhøve eksisterte nok ved Stuphallet sidan minst 30 cm rein is blei observert under torvlaget. Dessutan fann også Zelikson (1971) tre pollenkorn av Myriophyllum på Nordenskiöld Land i horisontar som blei daterte til 2250 og 2000 år før notid.

Fuglefjellvegetasjonen på Amsterdamøya blei vald for å studere tilhøve knytta til kvalfangstaktiviteten på 1600-talet på Smeerenburg ikkje langt unna. Profilet her går ca. 1000 år attende i tida. Ulik preservingegrad på torva er brukt til å indikere relative klimatilhøve. Eit kjøleg klima på 1600-talet motsvarer delar av "Den vesle istida". Så oppstår det eit klimatisk maksimum rundt år 1800 før klimaet på nytt blir verre.

På nivået som motsvarar ca. år 1600 blei det påvist 4 pollenkorn av jåblom (Parnassia palustris). Dette var like før kvalfangstaktiviteten på Nordvest-Svalbard, viss pollenet si lagplassering kan kronologiførast så detaljert. Nokre år seinare blei det såleis innført ei rekke artar ved den menneskelege aktiviteten som kan finnast att i pollenfordelinga i dei tre pollendiagramma frå området. Men Parnassia-pollen har ikkje vore funne frå Svalbard før, og van der Knaap tolkar det som ein indikasjon på at arten virkeleg vaks i området.

På Jan Mayen er profila grunne og vanskeleg å datere pga. erosjon og sedimentering. Mangel på myrer og tjern-/innsjøsediment gjer at andre betre profilar vanskeleg kan finnast. Profilane tillater ikkje tolkingar av klimasvingningar. Men dataene slår fast at løvetannartane (Taraxacum spp.), som er eit klimatisk sett "sørleg" innslag i floraen, er av gammal alder og såleis ikkje er introdusert av menneske. Rikelege pollenfunn av fjelljamne (Diphasium alpinum) og dvergjamne (Selaginella selaginoides) indikerer at desse artane vaks på Jan Mayen. Den førstnemnde blei forresten for ganske kort tid sidan rapportert som ny for øya basert på ein enkelt lokalitet (Baagøe & Vestergaard 1974).

Van der Knaap har påvist pollen av seks sørlege planteartar på Svalbard og Jan Mayen som er tolka som lokal/regionalt pollen og ikkje fjernttransportert. Røsslyng (Calluna vulgaris) er riktignok rekna for å vere usikker. Desse artane manglar i dei aktuelle områda idag med unntak for fjelltistel (Saussurea alpina) og fjelljamne (Diphasium alpinum). Den førstnemnde har ein lokalitet på Sør-Spitsbergen som kan vere introdusert av menneske (Elvebakk 1989), og den sistnemnde har som nemnt ein nyoppdaga lokalitet på Jan Mayen.

Alle desse er i arktisk samanheng termofile og burde vere gode klimaindikatorar. Men litt skepsis vil ein likevel markere her mot van der Knaap sine konklusjonar. Røsslyng (Calluna vulgaris) virkar svært usannsynleg frå Stuphallet. Arten krev sannsynlegvis bra over 10 C som juli-isoterm, eller ein lang vekstsesong med høg temperatursum i eit kystklima. Middelerdien for juli ved Stuphallet ligg truleg i nærleiken av 4° C. Området er nordvendt og har idag få termofile artar, langt under dei konsentrasjonane som er lenger inn i fjorden (Elvebakk in ed.). Dessutan har van der Knaap sjølv påvist Calluna-pollen både frå Amsterdamøya og frå Jan Mayen utan at dette er kommentert som ikkje-fjernttransportert pollen. Det skriv seg dessutan frå ein klimaperiode, truleg i middelalderen, som generelt sett var ugunstigare enn no.

Den siste innvendinga gjeld også pollenet av jåblom (Parnassia palustris). Amsterdamøya er dessutan eit klimatisk ugunstig område på Svalbard. Parnassia-pollen blir av under-teiknaren heller rekna som eit resultat av den menneskelege aktiviteten i området, som berre 2 cm lenger opp i borekjerna brakte med seg ei lang rekke anthropokore "forureinings-pollen".

Dei øvrige fire artane vil ein ikkje ekskludere, men lokaliseringa av artar som fjelltistel (Saussurea alpina), dvergjamne (Selaginella selaginoides) og tusenblad (Myriophyllum sp.) i det kjølege området ved Stuphallet ville krevje eit påfallande varmare klima enn idag.

Til slutt kan ein nemne at van der Knaap (1988b,c) også har studert palynologisk to utkikspunkt for tjuvjo på Aust-Svalbard. Her skjer det lokal torvproduksjon og begge var ca. 4500 år gamle. Visse klimavekslingar kan tolkast frå pollendiagramma, men desse er ikkje godt dokumenterte. Van der Knaap et al. (1989) har også datert ein lav frå sedimenta på Edgeøya til å vere 7500 år gammal. Dette illustrerer godt kor godt makrofossilar kan konserverast i arktisk torvproduserande tundra. Van der Knaap har forøvrig ikkje brukt bor i permafrosten, men teke prøvar i tint mark eller i naturleg blottlagde profilar.

Göttlich & Hornburg (1982) skildra ei 1,5 m tjukk torvavsetjing frå Adventdalen som blei datert attende til 4600 år før notid. Dette torvlaget var eit fragment som forfattarane har tolka som transportert ned til dalbotnen (ved det aktive elveleiet) frå dalsidene, og danna under betre temperaturløve enn det ein har idag.

Frå dei eldre delane er broddmose (Calliergonella cuspidata) rapportert. Forfattarane har ikkje kommentert at dette er ein mose som manglar på Svalbard idag. Den er dessutan ein låglandsart som er termofil sjølv i Nord-Noreg. På denne bakgrunnen kan ein uttrykke tvil om bestemminga. Skulle denne vere riktig, er det svært interessant, og det burde vere ein praktisk klimaindikator sidan moseblad konserverest godt som makrofossilar på Svalbard.

Dette er forøvrig det einaste arbeidet innan dette fagfeltet der ein nordmann har vore engasjert i tillegg til eit arbeid på resent pollen/sporeregn ved Ny-Ålesund (Johansen & Hafsten 1988).

OPPSUMMERING AV PALAEOBOTANISKE DATA

1. Ei rekke parameter (artssammensetjing, pollenproduksjon, torvproduksjon, nedbrytingsgrad på torv) kan brukast til å indikere klimaendringar.
2. Ved hjelp av studiar av innsjøsediment har ein nådd 10000 år attende i tida.
3. Via studiar av torvprofilar (opp til 1,7 m tjukke) har ein nådd 4500 år attende. (I tillegg er eldre, tynnare og tildekte torvsekvensar blitt studert).
4. Fleire sørlege artar har hatt vekseplassar på Svalbard/Jan Mayen tidlegare medan dei manglar eller finnest svært sjeldent idag.
5. Dvergbusker og myrer har hatt større utbreiing enn idag.
6. Makrofossilanalyse er ein spesielt verdifull metode i torvproduserande arktisk tundra.
7. Fjernpollen er eit problem og kan utgjere ein stor del av den totale pollenmengda i profila.
8. Prøvetaking i permafrost er vanskeleg.
9. Norsk aktivitet innan dette feltet har vore minimal.

RESENT SAMVARIASJON MELLOM KLIMA OG FLORA/VEGETASJON

Klimavariasjon eksisterer over ulike skalaer. I eit topografisk uniformt landskap skiftar vegetasjonen i bioklimatiske soneringar ifølge grove makroklimatiske gradientar. Det beste

eksemplet på slik regelmessig sonering i nord/sør-sonar er Taimyr-halvøya i arktisk Sibir (Chemov & Matveyeva 1979). Men i dei fleste arktiske områda blir klimadiversiteten større pga. høg topografisk diversitet og veksling mellom land, vatn og isdekte flater. Svalbard er eit område med ekstrem høg topografisk diversitet. Ein må følgjeleg slutte at makroklimaet i eit slikt område blir sterkt modifisert og oppsplitta i ei rekke ulike lokalklimaer. Lokalklimafordeling har, etter det underteknaren kjenner til, ikkje vore studert av klimatologar på Svalbard med unntak av dei klimakarta som er presentert i det sovjetiske "Atlas arktiki" (Zinger et al 1985). I tillegg kjem eit svært lokalt arbeid av ein fransk forskar ved Ny-Ålesund (Joly 1980), som kan vere av mindre interesse i denne samanhengen.

Både regional og lokal klimavariasjon er eit grunnleggjande trekk i samband med den føreliggjande oppgåva med å vurdere effektar av ein gitt framtidig temperatúrauke. Viss to ulike lokalklimaer med ein sommartemperaturskilnad på 2° C eksisterer 50 km frå kvarandre vil ein kunne trekke følgjande konklusjon: Viss øvrige økologiske og historiske faktorar er like og spreingsbarrierer ikkje eksisterer, vil den gradienten i tid som scenariet vårt representerer gradvis utvikle seg langs den gradienten som eksisterer i rommet idag.

Slike ideelle tilhøve eksisterer knapt nokon plass på Svalbard idag, sjølv over ein såvidt kort avstand som 50 km. Men det skulle vere klart at ei forståing av den notidige samvariasjonen mellom klima og vegetasjon er heilt avgjerande for å kunne forstå framtidige konsekvensar av ein temperatúrauke.

Den differensieringa i lokalklima ein har idag vil truleg også gjelde etter ei kraftig klimaendring, jfr. utbreiinga av dei termofile molluskane i den postglasiale varmeperioden (Salvisen 1988, 1989). I scenariet vårt kan ein såleis ikkje operere med "eitt nytt klima" etter at klimaendringa har funne stad, men truleg med ein like stor diversitet som idag, med mindre dei kjølegaste områda endrar seg raskare enn dagens gunstigaste klimaområde.

Eldre botaniske undersøkingar på Svalbard

Samanhengen mellom plantane si utbreiing og klimavariasjonar på Svalbard blei tidleg påpeika av botanikarar. Allereie Nathorst (1883) presenterte eit kart der der han sirkla inn eit kjerneområde lengst inn i Isfjorden og eit vidare område som utanom heile Isfjorden også strekte seg frå Sorgfjorden ned til den nordlegaste delen av Hornsund. Desse plantekonsentrasjonane indikerte med unntak for Hornsund dei mest kontinentale delane av Svalbard.

Nathorst sitt mønster blei stadfesta av ei rekke kartleggingsekspedisjonar dei neste tiåra, før eit svært fundamentalt arbeide blei lagt fram av Summerhayes & Elton i 1928, jfr. fig. 6.3. Dei presenterte eit kart over "vegetasjon og klima" som delte det meste av låglandsområda på Svalbard (eksklusive Bjørnøya) inn i fire sonar; "Barren Zone", "Dryas

Zone", "Cassiope Zone" og "Inner Fjord Zone". Denne klimainndelinga etter vegetasjon gjeld, som vi seinare skal sjå, i grove trekk også idag. Ny terminologi er innført og ei rekke revisjonar er riktignok også gjennomført, sjå fig. 6.4.

Det viktige med Summerhayes & Eltons inndeling er at dei varmaste områda er i dei sentrale delane av Spitsbergen, medan klimaet blir ugunstigare mot alle retningar. Ein liknande, men svakare tendens finnest også att på Nordaustlandet. Forøvrig er det ein anomali langs vestkysten med det varmaste området mot nordvest pga. Golfstraumen og det kaldaste i sør. I tillegg er det ei generell forverring av klimaet frå vest mot aust.

Som den siste blant "klassikarane" på Svalbard kan ein nemne Hadac (1944, 1946). Han kartla dei høgare plantane og skildra vegetasjonen i området mellom Longyearbyen og Sassendalen, og fordelte artane i grupper etter preferanse for ulike høgdebelter, noko som reflekterer klimatiske krav.

Botaniske undersøkingar omkring 60-talet

Dei relevante arbeida frå denne perioden er stort sett gjort av Rønning (1963, 1968, 1971, 1972). Alle bregneplantar og graminidar blei kartlagde. Men kart over interessante planteområde blei mest forklart ut frå historiske tilhøve. Karplantane på Svalbard blei også delt inn i "høgarktiske", "mellomarktiske", "lågarktiske" og "vidt utbreidde element" basert på desse plantane si utbreiing eller mangel på utbreiing i Fennoskandia. Rønning (1971) definerte "lågarktis" som område med stort sett kontinuerleg vegetasjonsdekke, serleg med gras, stort og dvergbusker. "Mellomarktis" har kontinuerleg vegetasjonsdekke berre i låglandet eller på gunstige lokalitetar og manglar dvergbusker som dvergbjørk (Betula nana), bærlyng (Vaccinium spp.) og blålyng (Phyllodoce coerulea). "Høgarktis" er område der vegetasjonen berre finnest flekkvis eller som enkeltstående planteindivid.

Botaniske undersøkingar på 80-talet

Elvebakk (1985) gjennomførte ei grov biogeografisk inndeling av europeisk Arktis og tilliggande område av Grønland og Sibir. Plantesosiologiske einingar blei for første gongen brukt til dette formålet og terminologien blei knytta til sovjetisk og fennoskandisk tradisjon. Den "arktiske polarørkensonen" (APDZ) lengst i nord, var karakterisert av eit polarørkensamfunn med svalbardvalmue (Papaver dahlianum) kalla "Papaverion dahliani" og ved mangel på reinroseheier.

Den "nordarktiske tundrasonen" (NATZ) karakteriserest av moderate snøleier som omfattar dei dominante rødsildre (Saxifraga oppositifolia)-lavheiene rundt Ny-Ålesund som plantesosiologisk kallest "Luzulion arcticae". Vardefrytleheier ("Luzulion arcuatae") er også

dominante på surt substrat, medan dei opne polarørkensamfunna er borte og reinrosesamfunna finnest over mindre areal på veldefinerte rabbar.

Den "mellomarktiske tundrasonen" (MATZ) har eit varmare klima og større areal med reinroseheier ("Kobresio-Dryadion"), medan kantlyngheiene ("Cassiopeum tetragonae") er det mest karakteristiske innslaget.

Den arktiske polarørkensonen fell saman med Summerhayes & Elton (1928) sin "Barren Zone", den nordarktiske tundrasonen er synonym med "Dryas Zone", og mellomarktisk tundrasone er lik "Cassiope Zone". Elvebakk (1989) brukte alle artane som på Svalbard kan kallast "termofile" som kriterie for ei nydefinering av sonane og ei nærare kartfesting av desse. Dette blei gjort gjennom ein såkalla "termofili-indeks". Tanken attom dette var å gjere inndelinga bunden av alle termofile artar, og ikkje berre nokre få utvalde karakterartar som kan gje urimelege utslag pga. andre habitatkrav enn dei klimatiske.

Resultatet er synt på fig. 6.4. Her ser vi at Summerhayes & Elton (1928) si "Inner Fjord Zone" er beholden som ei klimatisk gunstig undersone av den mellomarktiske tundrasonen. På same måten er Jan Mayen, som har ein temperatursum nært opptil Longyearbyen, men med lågare temperaturar fordelt over ein lengre sesong, blitt klassifisert i ein eigen "sørleg maritim undersone".

Den "sørarktiske tundrasonen" (SATZ) manglar på Svalbard/Jan Mayen, men går nord til ca. 70 N på Aust-Grønland. Her kjem greplyngheiene ("Loiseleurio-Diapension") inn som karakteristisk samfunn med eit typisk innslag av fjellkreking (Empetrum hermaphroditum) som dominant art. Her finnest også musøyresnøleiene ("Cassiopo-Salicion herbaceae"), eit velkjent trekk i dei lågareliggande delane av fjellet i Fennoskandia, men termofilt i ein arktisk samanheng og avgrensa mot nord. Men kantlyngheiene er no borte.

I denne sonen kan også stivstorrheiene ("Nardo-Caricion bigelowii") høyre heime. Desse er viktige i lågare delar av fennoskandiske fjell. Det same gjeld ekte fattigmyrer ("Oxycocco-Empetrion hermaphroditi"), som også manglar over lågalpin sone i fjellet.

Viss vi til slutt ser på den neste sonen mot sør, hemiarktisk sone, så er denne ein overgangssone mot nordboreal sone der dei nordlegaste glisne skogane høyrer heime. Av nye plantesamfunn som dukkar opp er blålyng-blåbærheiene ("Phyllodoco-Vaccinion"), sjølv om arten blåbær (Vaccinium myrtillus) nesten manglar på Grønland. Den andre nye vegetasjonen som dukkar opp er høgstaudesamfunn ("Lactucion alpinae") karakterisert av turt (Lactuca alpina), kvann (Angelica archangelica) og buskforma vierartar (Salix spp.). Dei arktiske vardefrytleheiene og dei moderate snøleiene er no borte.

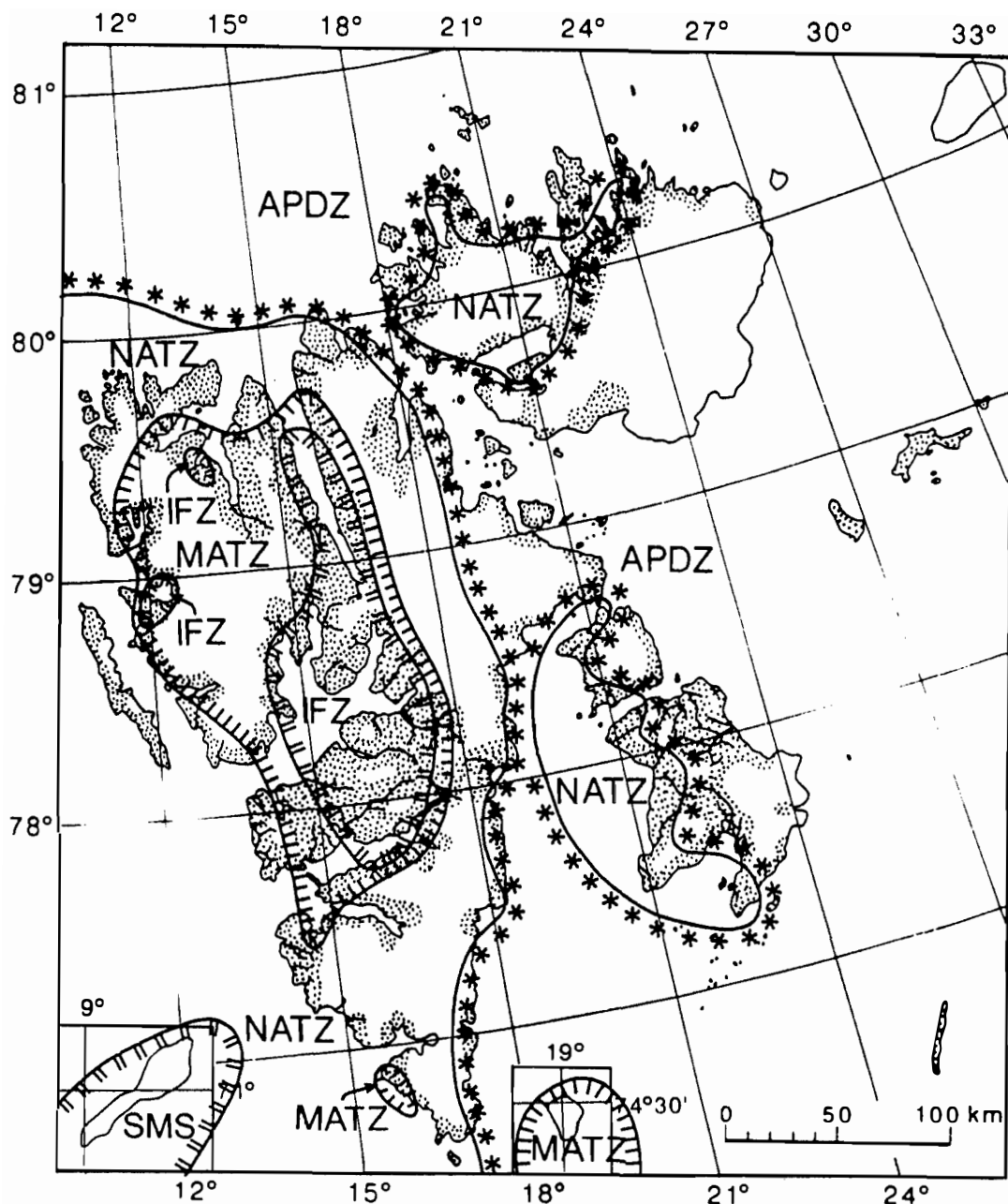


Fig 6.4)

Biogeografiske sonar og undersonar på Svalbard og Jan Mayen etter Elvebakk (1989). Kartet er basert på termofill-indeksverdier og omfattar berre låglandsareal. Sambindande liner er trekte over hav og isdekte områder. APDZ = Arktisk polarørkensone, NATZ = Nordarktisk tundrasone, MATZ = Meliomarktisk tundrasone, SMS = Sørlig maritim undersone. De to sistnevnte er undersonar av MATZ.

Fleire av desse samfunna er plantesosiologisk svært dårleg dokumentert. Likevel vil denne sekvensen av samfunn som dukkar opp langs nord/sør-gradienten (ein temperaturgradient som i lokal og regional skala ofte ikkje går i nord/sør-retning) vere svært viktig i denne samanhengen. Viss ein kunne korrelere desse sonane med juli-isotermar, kunne ein få ein peikepinn på endringar når scenariet omfattar ei juliisoterm-endring på 3° C (sjå nedafor om diskusjon mot sommartemperatur). Men systemtregheit og spreingsbarrierar er viktige element i denne samanhengen.

Ein lokal bruk av dette soneomgrepet representerer av det soneinndelingskartet for Svalbard og Jan Mayen som blei publisert av Brattbakk (1986) i skalaen 1 : 1 mill. Dette er eit nokså detaljert kart, truleg for detaljert, serleg i høve til ei førehandsinndeling i høgdesonar og mangel på kunnskap om store areal. Det bruker også ei omdefinert utgåve av Summerhayes & Elton (1928) sine nemningar. Det er likevel eit godt utgangspunkt for vurdering av areal av dei ulike sonene, og ikkje minst, eventuell endring av desse areala etter vårt temperaturauke-scenarium.

Interessant nok så opererer også Brattbakk (1986) med juliisoterm-karakteristikkar for enkelte av sonane. Brattbakk (1986) har delt den nordarktiske tundrasonen eller Dryas-sonen sensu Summerhayes & Elton (1928) inn i to nye sonar, medan grensen mellom desse to samsvarer med juli-isotermen på 2° C. Han nemner vidare at den varmaste delen av mellomarktisk tundrasone samsvarer med ein juli-isoterm på 6° C. Det er uklart om desse verdiane kan ha vore samanlikna med temperaturgrensar mellom sonar i det ulike klassifikasjonssystemet som Aleksandrova (1980) har brukt. Men iallfall manglar det isoterm-skiljer mellom dei tre hovudsonane som her brukast for Svalbard.

I samband med utrekninga av termofili-indeksar klassifiserte Elvebakk (1989) alle karplantane på Svalbard i ulike grupper alt etter temperaturkrav. Klassifiseringa er basert på plantegeografi både i og utanom Svalbard. Engelskjøn (1986a,b) publiserte ei liknande klassifisering og kartla ein del sterkt termofile artar på Spitsbergen i tillegg til alle artane på Bjørnøya. I Appendix A er Elvebakk (1989) sine klassar av sterkt, distinkt, moderat og svake termofile artar lista opp, inkludert fordeling på undergrupper. Ein gruppe av temperaturindifferente artar (44 artar) og ein gruppe uklassifiserte artar (5 artar) er ikkje tekne med.

Elvebakk (in ed.) har også brukt ein versjon av termofili-indeksen til å lage to bioklimatologiske kart frå Svalbard. Det eine er frå Agardhbukta på Aust-Spitsbergen, det andre er frå Ny-Ålesund-området. Metoden byggjer på at plantane er "levande meteorologistasjonar", for å sitere Edlund (1987). Dei er temperaturkrevjande i ulik grad, registrerer temperaturparametrar, kanskje serleg temperatursummar, og integrert med andre klimaparametrar, som vindstyrke og albedo. Og dei fleirårige arktiske planteindividua integrerer dette over år og tiår.

Metoden som baserer seg på ei kvantitativ registrering av alle artane i studieruter kvar på 1 km², demonstrerer ein dramatisk gradient frå kysten (Kvadehuksletta) til innlandet (Ossian Sarsfjellet) i Ny-Ålesund-området. Dette er vurdert som den skarpaste horisontale gradienten på Svalbard, når det gjeld termofile plantar. Og ein trur at dette også gjeld for klimaet. Så langt ligg det ikkje føre lokale temperaturdata som gjer at ein kan korrelere og kanskje kalibrere indeksverdiane mot reelle temperaturdata. Korte dataseriar er samla inn, men er ikkje bearbeidd.

Metoden er også utprøvd og vidareutvikla i arktisk Canada (Elvebakk 1990, Elvebakk & Bliss in prep.) i 1989. Mangelen på meteorologiske temperaturdata, og især lokale temperaturklima-data, gjer at det må enno ein del undersøkingar til før ein evt. kan korrelere metoden til reelle temperaturar. Men metoden virkar svært lovande. Den har ei god romleg oppløysing som ein i praksis aldri kan få med bakkebaserte instrument. Fjernanalyseteknikkar vil gje ei god romleg oppløysing (viss dei kan kalibrerast), men har ikkje den integrasjonsevnen i tid som plantane har.

Klimadata frå Svalbard

Figur 6.5 viser eit isotermkart over sommartemperaturar på Svalbard etter Zinger et al. (1985). Dette er basert på glasioklimatiske estimat og må tolkast med varsemd. Dei lokale temperaturgradientane i fjordane på nord- og nordvestkysten av Svalbard er ikkje komne med. Men isotermene stemmer godt med dei snittverdiane for månadene juni/juli/august som er tilgjengelege frå dei sentrale meteorologiske stasjonane på Svalbard, jfr. Elvebakk (1989). Verdiane er 1 - 1,5° C lågare enn snitt-temperatur for juli for desse stasjonane. Dette heng saman med graden av kontinentalitet/kystklima ved stasjonane.

Men scenariet opererer med sommartemperaturauke og ikkje julitemperaturauke (som er bruka i mange samanhengar), og det førstnemnde utgjer ein kraftigare temperaturauke. Zinger et al. (1985) ser ut til å vere eit godt utgangspunkt for vurdering av scenariet.

Kartet hos Zinger et al. (1985) har dessutan i grove trekk godt samanfall med det temperaturkartet som er publisert i Arctic Pilot (1988), jfr. fig. 6.6. Her er dessutan sommartemperatursummen (jun - sep) frå dei arktiske meteorologiske stasjonene i Noreg illustrert som relative stolpediagram, og er ført på originalfiguren etter data presentert av Elvebakk (1989) og Elvebakk & Spjelkavik (in prep.)

Figur 6.7 viser klimavekslinga for dei viktigaste meteorologiske stasjonane for juni - august henta frå Skye (1989). Ein ser at det stort sett er samvariasjon mellom svingningane. Figur 6.8 etter Lefauconnier & Hagen (1990) er dels rekonstruert ved hjelp av glasiologiske data og syner regelmessige 20-årssyklusar i dette hundreåret med ein topp rundt 1920.

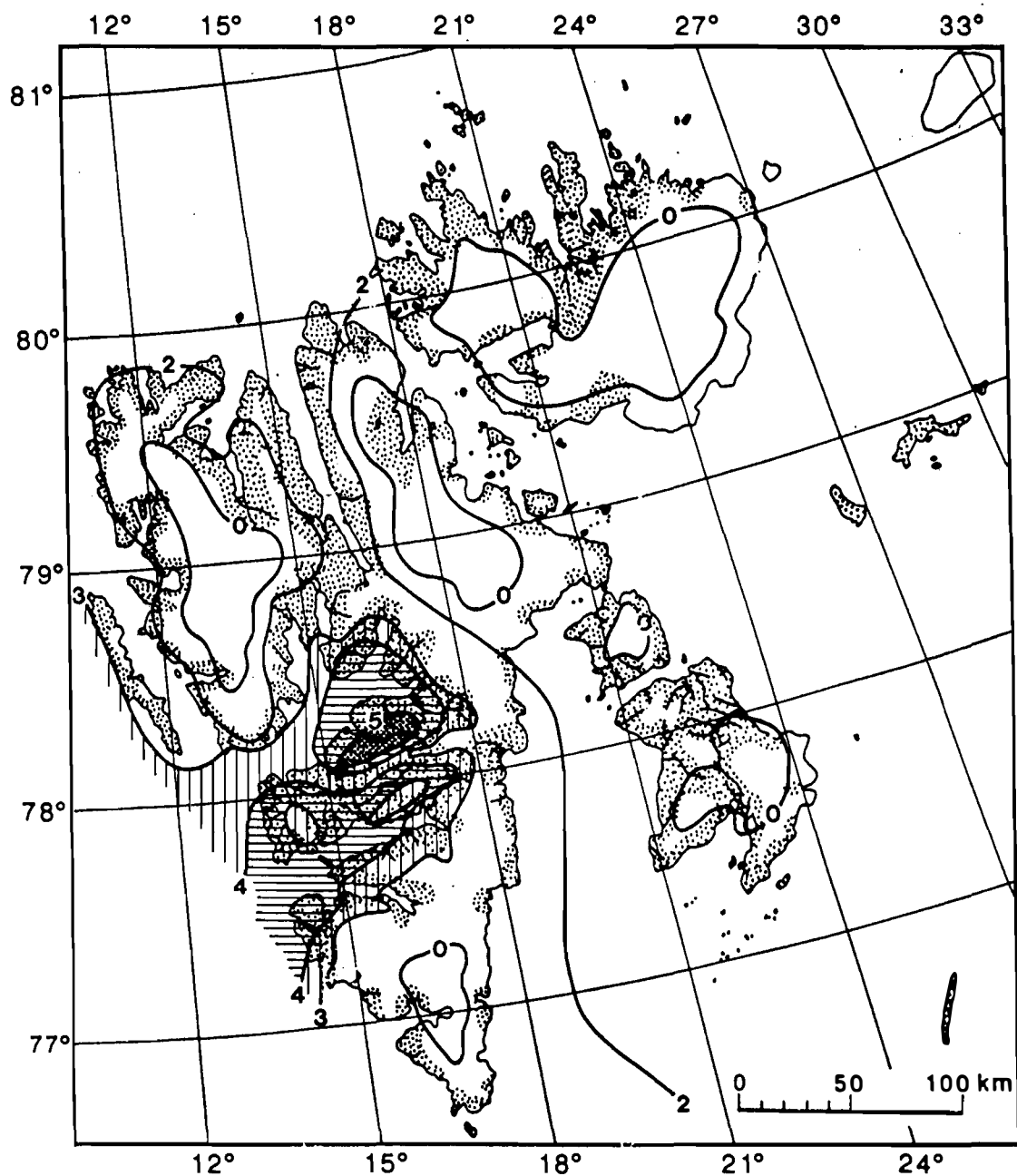


Fig. 6.5) Sommarisotermar for Svalbard (ekskl. Bjørnøya). Basert på glasioklimatologiske estimat og omteikna av Elvebakk (1989) etter Zinger et al. (1985).

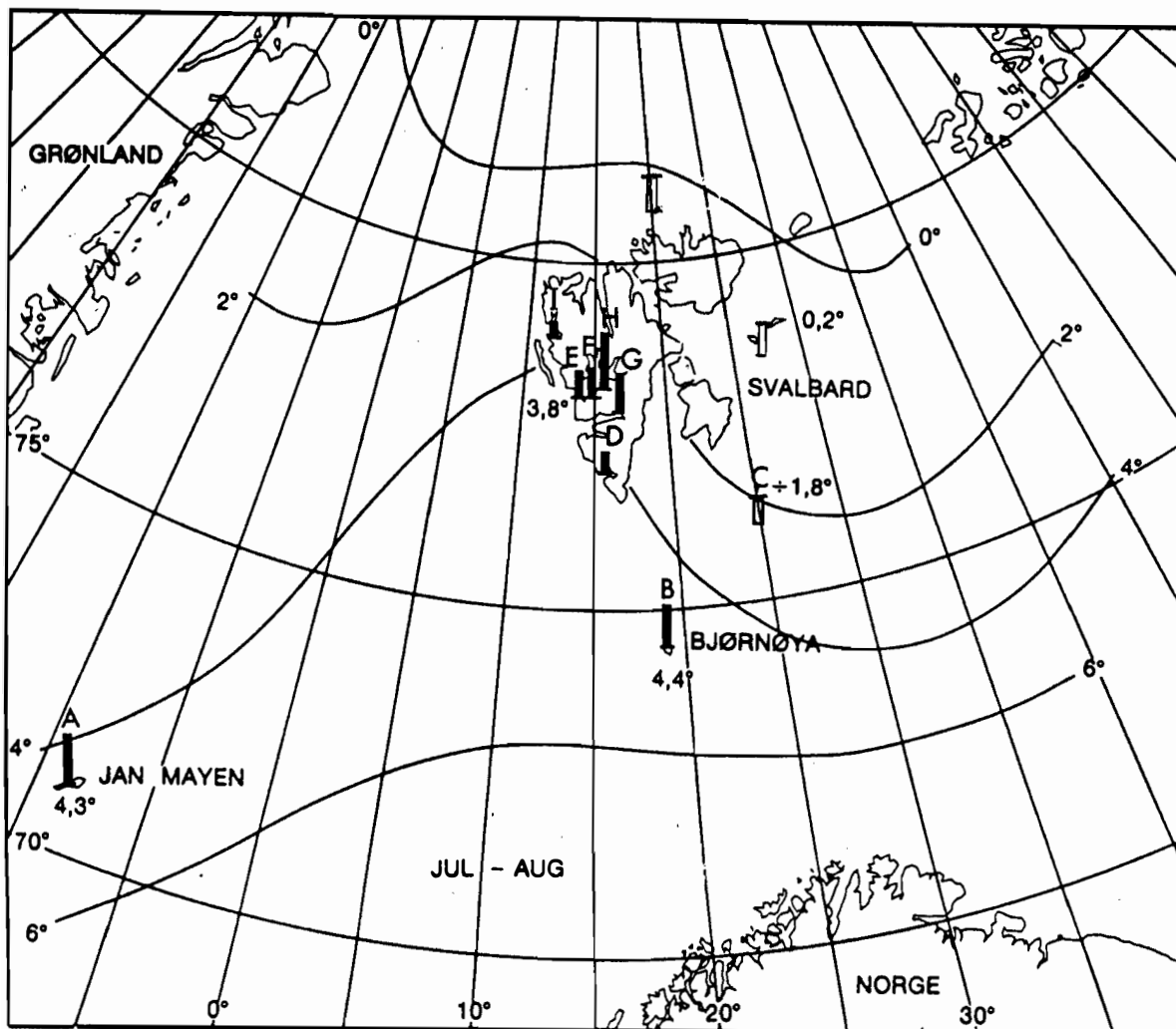


Fig. 6.6) Kart over lufttemperaturane over dei nordlege norske havområda etter Arctic Pilot(1988). Isotermene viser gj.sn. juli - augusttemperaturar for tidsrommet 1982-1983, ein periode som blei rekna for å vere representativ for langsiktige klimatiske tilhøve. På denne figuren er det innlagt stolpediagram som viser temperatursummen (over null) for månadene juni - september for alle meteorologiske stasjonar basert på data presentert i Elvebakk & Spjelkavik (in prep.). Dei opne stolpediagramma viser negative verdier under eit nullnivå på 8° C.

Dei siste klimakurvane (fig. 6.9) syner utviklinga av overlappende 10-årsmidlar for øyene Jan Mayen og Bjørnøya der ein har dei lengste datasetta. Her syner det seg at det har vore ei nokså drastisk endring på Jan Mayen i julitemperaturen over ca. 30 år på nesten 2 C, og sommartemperaturfallet har vore i same storleiken, jfr. fig 6.7. Så det scenarioet som ein no opererer med har faktisk vore realisert i det norske Arktis. Men ein kjenner ingen data som kan syne konsekvensar av denne utviklinga og den svært maritime vulkanøya Jan Mayen er svært spesielt og utypisk i høve til del øvrige arktiske områda.

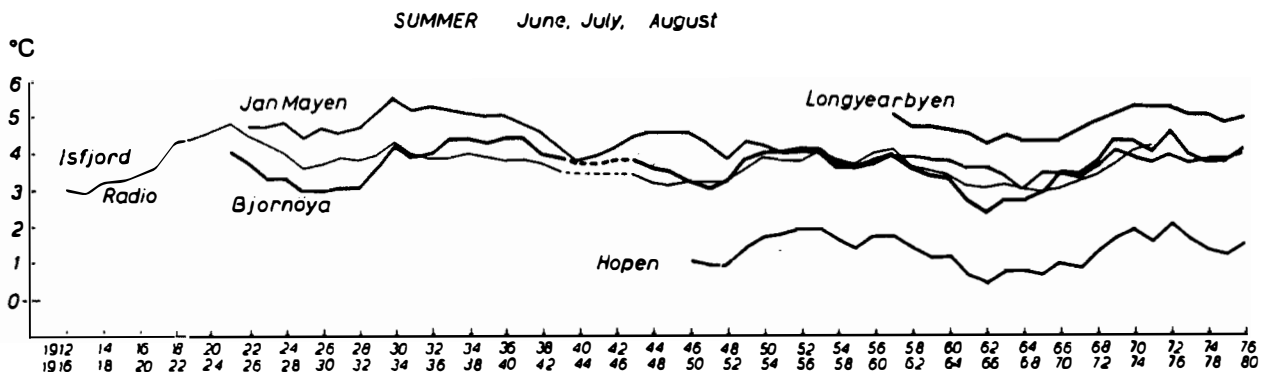


Fig 6.7) Temperaturvekslingar ved norske arktiske klimastasjonar som overlappende 5 - årsmidlar. Etter Skye (1989)

Botaniske/klimatologiske studiar i øvrige delar av Arktis

Her blir det berre gjort eit kort utval av det mest relevante innan dette feltet. Serleg har spørsmålet om biologisk sonering vore mykje omhandla, og i denne samanhengen er det eitt arbeid av Edlund & Alt (1989) frå det aller nordlegaste Canada som peiker seg ut.

Forfattarane presenterer her omfattande klimatiske data, bla. temperaturdata frå vel 30 stasjonar. Men nesten alle er data frå feltstasjonar, og ein veikskap med presentasjonen er at datagrunnlaget og omrekningsmåten til standard meteorologimåling ikkje er presentert.

Forfattarane finn ein svært nær samanheng mellom temperaturklima og vegetasjonsfordeling. Det store datasettet dei legg fram gjer også at dei kan korrelere ulike

vegetasjonssonar med juli-isotermar. Forfattarane bruker her vekstform-nemningar på dei ulike vegetasjonssonane, men dei synest å vere så likt definert Svalbard-sonane (i eit område som dessutan har liknande klima og svært likt artsutval) at dei i grove trekk kan overførast.

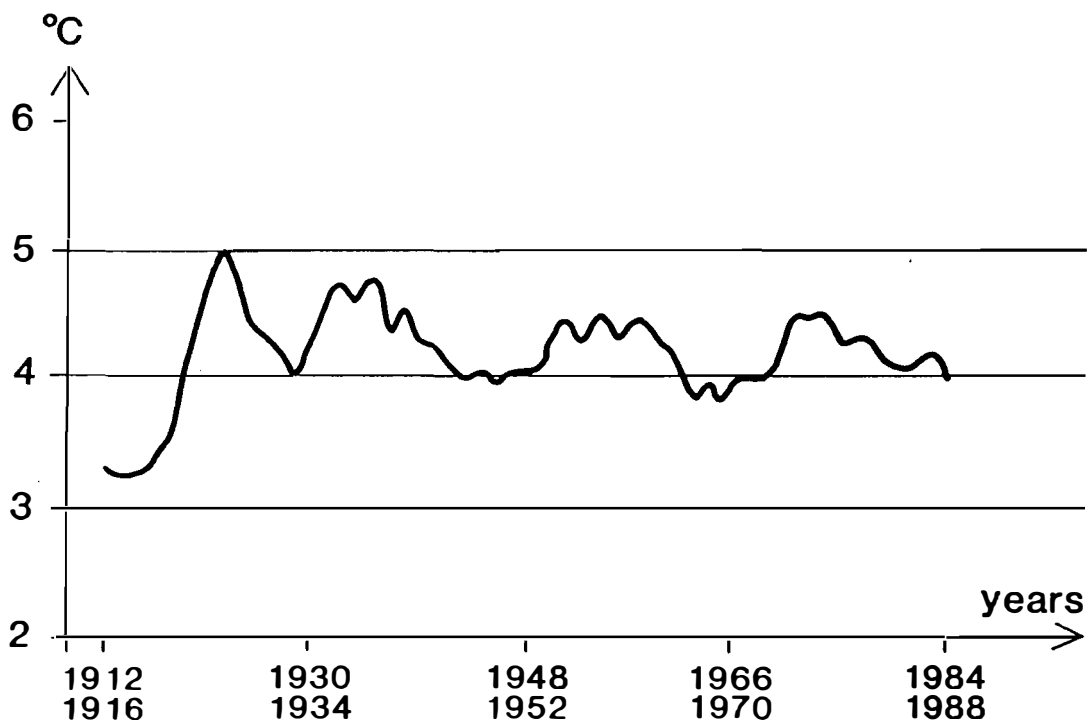


Fig. 6.8) Rekonstruerte 5-årsmidlar for juli - september i Longyearbyen. (etter Lefauconnier & Hagen 1990)

Polarørkensonen har junitemperatur under 0° C og julitemperatur under 3° C. Nordarktisk tundrasone omfattest av både "Herb-Shrub Transition Zone" og av "Prostrate Shrub Zone". Julitemperaturen er her mellom 3° og 5° C og snitt-temperaturen for juni er litt over eller litt under frysepunktet. Forveda plantar innan vier- og reinroseslekta (*Salix arctica* og *Dryas integrifolia*) kjem inn i denne sonen ettersom dei krev ein julitemperatur på 3° C. Storrartar (*Carex* spp.) dukkar opp ved 4° C.

Den mellomarktiske tundrasonen på Svalbard er utvikla på liknande måte i det nordlegaste Canada og kallest "Enriched Prostrate Shrub Zone" av Edlund & Alt (1989). Gjennomsnittleg julitemperatur er her over 5° C, og ei rekke sørlege artar finnest omtrent i alle samfunn. Kantlyng (Cassiope tetragona) er eksempel på ein art som krev denne sommartemperaturen. Forfattarane har ei liste over artar som fordeler seg på dei ulike sonane.

Edlund (1987) hevdar vidare at blokkebær (Vaccinium uliginosum) krev julitemperatur på 6° C, lapprose (Rhododendron lapponicum) og "nordleg" finnmarkspors (Ledum decumbens) 6° - 7° og dvergbjørk (Betula nana) 7° C. Buskforma vokster på vierartar (som Salix alaxensis) med ei høgd på 0.5 til 1 m oppstår ved 7° - 8° C. Ved temperaturar eit par grader under dette finnest framleis den sama arten, men då berre som ein krypande dvergbusk. Er temperaturen på den andre sida over 9° C, kan arten nå treform og bli 6 m. Andre tilsvarande vekstmodifikasjonar i høve til temperaturklimaet rapportert også for andre artar, også urteaktige.

Edlund & Alt (1989) nemner også at artsdiversiteten aukar i takt med temperaturklimaet. Dette er også påvist av Rannie (1986) for dei same nordlegaste områda i Canada.

Edlund (1987) nemner at den første responsen blant plantane på ein framtidig temperaturauke nok vil være betre vekst, større frøproduksjon og betre overlevingsevne. Elles kan det bli ei vandring nordover av samfunn, danning av nye samfunn og utviding eller innskrenking av myrer alt etter fuktutviklinga. Men tregheita i samfunna kan gjere at det tar lang tid.

Edlund (1989) og Edlund et al. (1989) rapporterte om konsekvensane av den unormalt varme sommaren i 1988 i dei sentrale delane av Ellesmere Island, den store nordlegaste øya i Canada. Ved den meteorologiske stasjonen i Eureka var middeltemperaturen for juli 7.2° C mot normalt 5.4°.

I undersøkingsområdet Hot Weather Creek ca. 30 km mot aust var middeltemperaturen for juli helle 12.7° C, ein verdi som motsvarar temperaturen sør for den polare skoggrensa.

Denne varme sommaren resulterte i permafrostsmelting, auka overflatevatn, ny vassføring, jordskred og andre hydrologistyrte prosessar. Denne ustabiliteten i jordlaga oppstod berre i del varmaste områda og var tydelegvis utløyst av temperaturregimet. Alle dei nye, opne habitata som oppstod i eit elles godt vegetasjonsdekt område vil vere viktig for etableringa av konkurransesvake, sterkt temperaturkrevjande artar. Dei prosessane som blei sett igang, kan fungere som ei simulering av kva som kan hende iallfall ved ei brå, dramatisk oppvarming i Arktis.

Dette området er no valt ut av Geological Survey of Canada som eit overvåkingsområde for verknader av drivhuseffekten med multidisiplinære studiar innan botanikk, pedologi,

meteorologi og hydrologi, jfr. Woo et al. (1990).

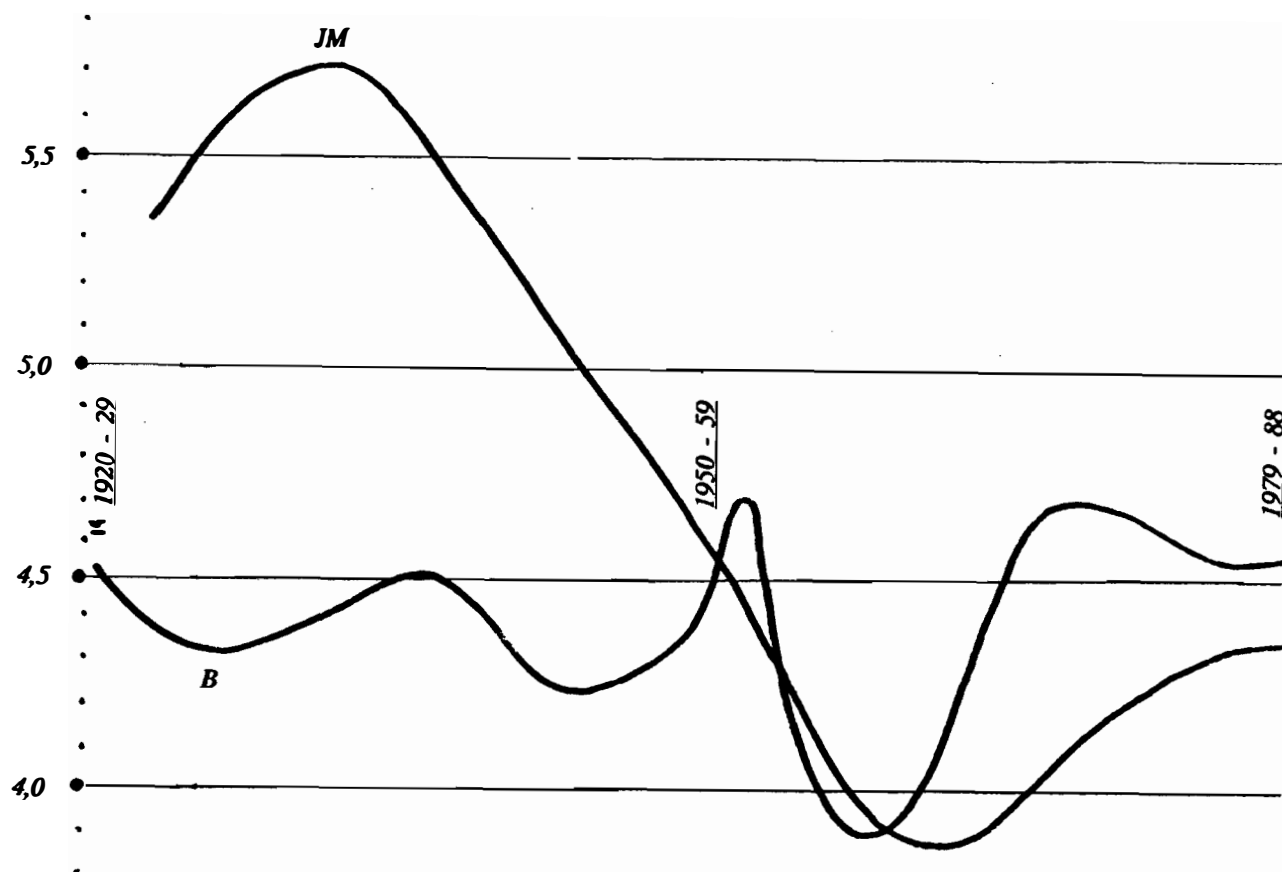


Fig. 6.9) Middeltemperatur for juli på Jan Mayen (JM) og Bjørnøya (B) vist som overlappende 10-årsmidlar for perioden 1920 til 1988.

ØVRIGE BOTANISKE KRITERIE PÅ KLIMATILHØVE

I tillegg til palaeobotanikk og resent samvariasjon mellom ulike klimatypar og planteliv er det andre botaniske kriterie som også illustrerer noverande eller tidlegare klimatilhøve.

Allereie Andersson (1910) brukte ei rekke andre botaniske kriterie enn palaeobotanikk for å støtte opp under sin varmetidshypotese. Nesten ein tredjedel av karplantane ser t.d. ikkje ut til å kunne formere seg seksuelt under noverande klimatilhøve. Sjølv om dei kan formere seg vegetativt i lokal skala, er ei betre reproduksjonsevne under gunstigare klimatilhøve ei naudsynt del av forklaringa på korleis dei har nådd sitt noverande utbreiingsareal på Svalbard.

Andersson (1910) rapporterte også to hybridar (Ranunculus lapponicus x pallasii = svalbardsoleie, R. spitzbergensis, og Salix polaris x herbacea) frå område utanom arealet til ein av "foreldreartane". Desse er i begge tilhøva (Ranunculus pallasii og Salix herbacea) rekna for å vere termofile. Salix herbacea var på den tida faktisk ukjent frå Svalbard, men er seinare funnen på Sør-Spitsbergen, framleis utanom arealet for hybriden. Andersson (1910) hevdar at begge desse foreldreartane må ha hatt ei klart vidare utbreiing på Svalbard tidlegare, sidan hybridane for det meste er sterile og derfor på eiga hand ikkje i stand til å spreie seg meir enn lokalt ved hjelp av renningar.

Rønning (1972) har også peika på mangelen på seksuell formeringsevne, spesielt hos grasartar. I fleire av sine arbeid har han også diskutert det reliktmessige preget til utbreiinga av mange av dei sjeldne eller uvanlege planteartane på Svalbard. Elvebakk (1989) har vidare synt at desse reliktmønstra gjeld innan del temperaturgunstigaste områda på Svalbard. Av sjeldne karplantar er det faktisk berre to som har nokre av sine få lokalitetar på klimamessig ugunstige stader.

Den eine er sabinegras (Pleuropogon sabinei) som har mange lokalitetar på den kjølege Reinsdyrflya. Men dette er den akvatiske arten som går lengst mot nord, ifølgje Edlund & Alt (1989) lengst nord i nordarktisk tundrasone i Canada. Den andre er ullbakkestjerne (Erigeron uniflorus ssp. ericocephalus) som har ein påfallande konsentrasjon til nunatakkområde i nordlege delar av Svalbard, sjølv om dette truleg dreier seg om mikroklimatisk gunstige område. Men hovudmønstret er at nesten alle sjeldne artar på Svalbard er termofile. Dei har truleg hatt vidare utbreiingsareal i den postglasiale varmetida, men har no relikte restlokalitetar spreidd over ulike område innan del varme klimasonane på Svalbard.

Som eit anna eksempel kan ein nemne dei varme kjeldene i Bockfjorden som over eit svært lite areal har fire karplantar, seks moseartar, ein alge og ein sopp (Rønning 1961, Frisvoll 1978, Elvebakk & Spjelkavik 1981) eksklusive for Svalbard. Denne vegetasjonsanomalien er indusert av varmt jordvatn og det er uråd å seie kva dette skulle motsvare av lufttemperaturar.

Til slutt skal ein referere kort Skye (1989) sitt arbeid frå Hopen der han korrelerer plantedata med klimasvingningar dei siste hundre åra. Men tillegg til floraen kan vanskeleg påvisast som reelle eller utslag av kvalitet og intensitet til tidlegare undersøkingar. I varme periodar i det siste hundreåret har bortsmelting av store is- og snøareal blitt påvist i polarørkenområda på Kong Karls Land ved hjelp av lavvegetasjonen. Men ein auke i artstalet på grunnlag av dette kan ikkje sikkert påvisast.

FORVENTA EFFEKTER PÅ PLANTELIVET AV EIN TEMPERATURAUKE PÅ SVALBARD

Det ein bør presisere først er at ein sommartemperaturauke på 2 (3)° C motsvarar ein høgare middeltemperatur for juli. Juli har høgast temperatur av sommarmånadene, men skilnaden varierer alt etter kontinentaliteten til klimaet. Samanlikninga kjem også an på korleis ein definerer "sommaren". Her settest scenarieauken til 3° C i middeltemperatur for juli basert på Zinger et al. (1985) sine Isothermkart og klimadata frå Svalbard. I denne samanhengen er det mest praktisk å operere med juli-middelverdiar, sidan det er desse som er mest bruka i den bioklimatologiske litteraturen som siterast. På bakgrunn av det som blei lagt fram i avsnitta tidlegare ser vi raskt at dette er ein dramatisk temperaturauke.

Det mest nærliggande ville vere å samanlikne ein framtidig 2° - 3° varmare sommar med fortida sin 2° - 3° C varmare somrar. Men då må vi meir enn 4500 år attende, og situasjonen på Svalbard er at ein i myrsedimenta hittil kun har nådd attende, nettopp til 4500 før notid. Det som difor verkar å vere det mest naturlege utgangspunktet er å syne til dei flora- og vegetasjonsmessige endringane som skjer når ein går frå ein klimasone/vegetasjonssone eller biogeografisk/bioklimatisk sone til ein annan med eit nytt temperaturlima.

Hydrologi

Først burde ein prøve å seie noko om dei hydrologiske endringane som er grunnleggjande for plantelivet. Scenariet opererer med ein mindre nedbørsauke, men det tek ein ikkje spesielt omsyn til her. Med høgare temperaturar blir det meir effektiv snøsmelting og uttørking og lengre vekstsesong. Dette gir mindre snøleieareal og større areal med tørre habitat. På den andre sida blir det aktive laget djupare og større ismengder smeltar kvar sesong. Det er difor grunn til å tru at dei våte områda blir våtare, medan dei tørre blir tørrare. I samband med smelting av permafrost vil substratet bli mykje meir ustabil, og det vil skjere erosjon og utrasing i skrånande flater.

"Vandring" av bioklimatiske sonar

Ein jultemperatur-auke på 3° C motsvarar temperaturmessig ein overgang på ein til to bioklimatiske sonar. Dette baserer seg både på vegetasjons- og klimatilhøva på Svalbard og på dei dataene som nyleg er lagt fram frå Canada. Ulike bioklimatiske sonar med sitt ulike planteliv har idag etablert seg over korte avstandar mange stader i låglandet, og overalt langs høgdegradientar. Ein balanse har tydelegvis stilt seg inn, og etter ei endring vil ein ny balanse stille seg inn. Når ein turgår på Svalbard vandrar opp langs ei fjellskråning vil han/ho passere ulike klimatyper og deira bioklimatiske sonar. På same

måten vil vi når vi i vårt scenario lar det varme klimaet vandre inn, også sjå føre oss at dei bioklimatiske sonane vandrar etter.

Idéen om vandring av bioklimatiske sonar og dei karakteristiske vegetasjonstypar er kontroversiell. I nord-amerikansk tradisjon har ein tradisjonelt lagt vekt på det individualistiske preget til artane og ikkje på veldefinerte samfunn. Det ein her vil hevde er at sonane med sine vegetasjonstypar er realiserte innan visse rammer langs utallige lokale klimagradiantar. Sidan ei slik avbalansering av vegetasjon opp mot den klimatiske bereevna har stilt seg inn før så mange gonger og stader, er det grunn til å tru at det same vil skje på nytt.

Men ein slik idé har som føresetnad at klimaendringane ikkje skjer for fort. Studiar i bartresonen i Nord-Amerika viser at treslaga ikkje kan migrere i same raske takt som klimaet endrar seg. Desto fortare ei slik klimaendring skjer, desto lengre vil artane komme på etterskott. Artane har ulik formerings- og migreringsevne, og denne individualismen vil slå sterkare ut desto raskare klimaendringane skjer. Nye konkurransetilhøve kan bli etablert. Bøk (*Fagus sylvatica*) er eit eksempel på ein art med eit ganske stort utbreiingspotensiale i Noreg, men arten var ein slik langsam innvandrar at "bordet allereie var oppteke" når bøka nådde fram.

Underteiknaren si vurdering er at sonane kan "vandre" viss klimaendringane ikkje skjer for fort. Skjer klimaendringane fortare vil vegetasjonsendringa bli meir individualistisk og vanskelegare å prediktere. Det er på denne bakgrunnen ein må vurdere dei følgjande avsnitta om soneforskyving og fordeling av potensielt vegetasjonsmønster.

Dei varmaste områda

Longyearbyen og Svea har idag ein middeltemperatur for juli på rundt 6° C. Den viktige og sterkt termofile arten dvergbjørk (*Betula nana*) finnest ikkje ved målestasjonane, men i dei gunstigaste, særleg eksponerte skråningane i nærleiken. Temperaturkravet på 7 C frå arktisk Canada ser ut til å stemme nøyaktig. Dette varmaste området på Svalbard er ut frå botaniske og målestasjonsdata i godt samsvar med det varmaste området markert i "Atlas arktiki", fig. 6.5. Her blir julitemperaturen etter klimaauken 10 (11,5) C! Dette er eit temperaturlima som akkurat kan gi grunnlag for tre, og det er godt over terskelen for buskdanning.

Den potensielle vegetasjonen i dette området vil faktisk bli skog. Men det er ingen artar med skogstrepotensial på Svalbard. Den mest påfallande potensielle endringa her vil bli etableringa av kratt. Dei einaste artane på Svalbard idag som har potensiale for det er dvergbjørka sjølv og grønlandsvier (*Salix callicarpaea*). Den sistnemnde finnest på ein einaste lokalitet på ein erosjonsutsett elvebrink inne i Adventdalen, og er eit spinkelt

utgangspunkt for ekspansjon. Den sterke reinbeitinga vil også vere eit trugsmål i denne samanhengen.

Den Indre fjordsonen fell idag saman med 6°-isotermen, og den lågare temperaturterskelen for den mellomarktiske tundrasonen under eitt er 5° C. Desse sonane vil i scenariet bli over respektive 9° og 8° C, dvs. også over terskelen for kratt-danning. Dei vil høyre inn under sørarktisk tundrasone og hemiarktisk sone.

Fjellkrekling (Empetrum hermaphroditum) vil i denne sonen auke kraftig og bli dominant saman med dvergbjørk, medan kantlyngen (Cassiope tetragona) vil gå ut, eller rettare sagt, bli fortrent opp i høgda. Det same vil gjelde for dei arktiske raudsildreheiene ("Luzulion arcticae") og vardefrytleheiene ("Luzulion arcuatae"). Arktisk blokkebær (Vaccinium uliginosum ssp. microphyllum) er svært sjelden i området idag, men vil nok langsamt ekspandere og kunne oppnå posisjon som dominant art.

Fattigmyrer med torvmosar (Sphagnum spp.) vil auke kraftig. Rikmyrer vil bli mykje frodigare og meir høgproduktive enn idag og heilt dominert av graminidar i høve til dagens situasjon der mosane oftast har den økologisk styrande rolla i samfunnet. Ein vil truleg også få tjem med vassplantar som knopptusenblad (Myriophyllum exalbescens), hesterumpe (Hippuris vulgaris) og kanskje andre. Desse finnest ikkje på Svalbard idag, med unntak for hesterumpe som er vanleg på Bjørnøya. Men desse plantane har ei effektiv spreling med fugl, serleg gress. Ein vil difor spå at dei første og mest effektive nyimmigrantane til floraen på Spitsbergen vil vere blant vassplantane.

Ein del nye artskonstellasjonar og idag ukjente vegetasjonstypar vil nok også oppstå, bla. høgstaudeliknande vegetasjonstypar. Ei rekke viktige potensielle dominantar som stivstorr (Carex bigelowii), blåbær (Vaccinium myrtillus), turt (Lactuca alpina) etc. finnest ikkje på Svalbard, og den økologiske "plassen" deira måtte overtakast av andre. Ei rekke grasartar har truleg eit stort potensiale og vil kunne ekspandere, serleg i område med beiting. Minst endring vil det truleg bli på dei rabbane som er for ekstreme til at fjellkrekling (Empetrum hermaphroditum) klarer å etablere seg.

Nordarktisk tundrasone og polarørkenområda

Dei områda som idag høyrer inn under nordarktisk tundrasone med julitemperaturar mellom 3° og 5° C vil endre seg til mellomarktisk tundrasone. Det vil sele at dei moderate raudsildre-snøleiene og vardefrytlesamfunna vil tørke ut meir pga. høgare temperatursum og lengre vekstsesong. Dei blir erstatta med større areal av reinroseheier og kantlyngheier, ikkje minst kantlyngheier. Ekstreme snøleier blir sjeldnare pga. mindre areal av seint utsmelta snøflater. Dei opne våte områda med +/- stagnerande vatn som er så vanlege (serleg som

samfunn med fjellbunke, Deschampsia alpina) blir skvisa ut. På den eine sida skjer dette via ekspansjonen av dei tørre eller halvtørre samfunna, på den andre sida av meir typiske rikmyrer under utvikling. Ved kysten vil ein kanskje få ekspansjon av vegetasjon med affinitet til musøyresnøleiene (Cassiope - Salicion herbaceae). Sjølv om berre musøyre (Salix herbacea) og moselyng (Cassiope hypnoides) finnest idag, er andre artar utbreidd på Jan Mayen og Bjørnøya.

Kva skjer med polarørkensonen? Den vil truleg bli heilt borte frå låglandsnivåa, og kun vere utvikla på fjellplatå slik situasjonen er i dei klimatigst gunstigare delane av Svalbard idag. Områda vil stort sett utvikle seg til nordarktisk tundrasone.

Diversitetsauke

Alle områda vil oppleve ei "oppjustering" av sonane. Dette vil også medføre ein auke i artsdiversiteten og artstalet. Appendix A viser at tilsaman 84 karplanteartar eller nokså nøyaktig halvparten av den høgare floraen på Svalbard/Jan Mayen er klassifisert som "sterkt" eller "distinkt termofile" artar og avgrensa til mellomarktisk tundrasone inkludert undersonar. Dei nordarktiske tundrasone-områda av idag som vil bli oppjustert til mellomarktisk tundrasone i scenariet vil få ei utviding av det potensielle artsinventaret som representerer ei fordobling.

På tilsvarende måte vil dei moderat og svakt termofile artane som ikkje tolererer polarørkenklima, kunne ekspandere til desse områda når dei klimatisk sett "oppjusterest" til nordarktisk tundrasone. Dette gjeld 42 artar, og dette representerer på nytt ei fordobling i høve til det antalet temperatur-indifferente artar som idag veks i polarørkenområda.

Den auka artsdiversiteten med klimaet er godt dokumentert i Canada. Ei utvikling i denne retninga kan bli hemma ved at konkurransesvake artar frå habitat i sterk endring ikkje kan tilpasse seg til nye habitat og før eller seinare døyr ut, medan nydanninga av artar kan neglisjerast som faktor (endemismeprosenten blant høgare plantar på Svalbard er praktisk talt null, med 0 - 2 artar ifølge ulike kjelder). Øyposisjonen til Svalbard vanskeleggjer sjølvsgatt nyinnvandring av nye temperaturkrevjande sørlege artar.

Produktivitet

Produktiviteten vil sjølvsgatt auke med aukande temperatur, og artane vil bli klart større slik dette er beskrive langs temperaturgradienten idag i arktisk Canada for mange artar. Ein positiv effekt på jordorganismene gjer at dekomponeringa går fortare og næring blir frigjort for plantevekst, istaden for t.d. å bli konserverte av permafrosten. Auka metabolsk aktivitet vil også kunne reflekterast i fenologien, den årstidsmessige realiseringa av artane sine

bestemte utviklingsstadier. Idag ser ein korleis artane blomstrar først i dei varmaste områda på Svalbard, det er t.d. eit markant skilje mellom Longyearbyen og Ny-Ålesund.

Mest viktig blir kanskje dette for frøsetjinga. Den arktiske sommaren er kort og auka frøsetjing vil ha mykje å seie for dei mange artane som idag ikkje maktar eller svært sjelden maktar å produsere mogne frø. På denne bakgrunnen kan kanskje ei rekke sjeldne termofile artar idag bli mykje vanlegare i framtida.

Det har også vore hevda at auka CO₂ vil ha ein slags "gjødslingseffekt" ved at fotosyntesen blir meir effektiv. Nyare forsøk (Oechel & Strain 1985) syner at denne gjødslingseffekten blir hemma slik at det ikkje blir nokon netto fotosyntesegevinst av eit høgare CO₂-innhald i lufta.

Konklusjon

På fig. 6.10 har ein indikert dei nye juli-isotermene på Svalbard som også fell saman med grensene mellom dei bioklimatiske sonane som er styrt av desse isotermene. Men sonane er primært definert av botaniske kriterie. Figur 6.10 er såleis ein figur som syner den potensielle utbreiinga av sonar på Svalbard etter den gitte temperaturauken innan år 2030. Konsekvensanalysen byggjer på dei planteartane som finnest på Svalbard idag.

Dei tre viktige spørsmåla som då reiser seg er: 1) Vil sonane få ein liknande plantekarakteristikk som den som er realisert i motsvarande sonar idag? 2) Kor fort kan ei slik utvikling gå føre seg? 3) Viss dette ikkje skjer, kva skjer istaden?

Som nemnt over så meiner underteknaren at sonane i grove trekk vil realisere seg på nytt viss temperaturendringa ikkje går for fort. I Nord-Amerika har ein rekna ut at kvar grad temperaturauke flyttar isotermene nordover 100 - 125 km. Ein auke på 3° C vil flytte isotermene over 300 km nordover (Davis 1988). Vegetasjonshistoriske data viser at trea i Holocen vanlegvis migrerte med ei fart på 25 - 40 km pr. hundreår. Den raskaste migratoren er kanadisk gran som har migrert 200 km pr. hundreår (Ritchie & MacDonald 1986).

Om migrasjonsevnen idag blant plantar ein kan karakterisere som "ikkje-ugras" veit vi svært lite. Dei historiske dataene indikerer at plantane er trege og kjem på etterskott av klimautviklinga når denne er kraftig. Den tregheita som finnest i eit økosystem må ikkje undervurderast. Nesten ingen dominante planteartar på Svalbard har ein effektiv seksuell reproduksjon og reproduser/ekspanderer vegetativt i lågt tempo. Det virkar såleis svært usannsynleg at det gitte scenariet vil ha medført ei utskifting av sonar og ei innstilling i nye likevekter med nye karakteristiske vegetasjonstypar innan år 2030.

Istaden vil det heller vere snakk om ei utvikling i retning av den potensielle sonefordelinga med sine respektive karaktertrekk. Kor langt denne utviklinga vil ha kome innan år 2030 er det uråd å meine noko om. Viss ei slik utvikling mot dette potensialet ikkje realiserast, er det heilt uråd å meine noko om kva som ville komme istaden.

Alternative scenarior

Kva med avvik frå scenariet? Forskarar frå USA har lansert meir moderate modellar for temperaturauke i dei nordlege arktiske områda enn det som er valt her (0,5 - 1° C), jfr. Bradley (1990). I Canada er ein av modellane (Atmospheric Environment Service 1989) meir drastisk enn vår (5,5° C). Viss det første alternativet blir realisert eller viser seg å vere eit meir realistisk scenarium å gå over til, vil ein kunne bruke ein liknende modell for potensiell soneutskifting, men erstatte isotermane med andre verdiar og sonane med mindre drastisk utskifting.

Ein svak temperaturauke ville liggje innan dei naturlege temperatursvingningane som har vore dette hundreåret, og innan scenarieperioden ville ikkje ein slik svak temperaturauke gjere utslag. Ein har ikkje påvist botaniske utslag av desse naturlege svingningane, men det må innrømmast at, såvidt underteknaren kjenner til, så har ingen studiar blitt tilegna det formålet.

Viss det på den andre sida skulle bli ein endå meir drastisk temperaturauke, blir det straks meir upredikabelt og katastrofeprega, jfr. utslaga av ein ekstremt varm sommar i Hot Weather Creek i 1988. Då ville modellen med soneutskifting medføre så drastiske endringar i vegetasjonspotensialet at det vanskeleg kan tenkjast realisert, og umogleg innan den tidsmessige ramma for scenariet.

Dei potensiala som då ville rå for dei varmaste områda, ville for å bli realisert krevje langdistansespreiing eller antropkor nyinnføring av artar, noko som det er heilt er uråd å forutseie. Endringane ville då vere klart over dei klimasvingningane vi har hatt etter istida. Då måtte vi gjere som Matthews (1989), som vurderer eit slikt drastisk scenarium, og gå attende forbi istidene (den eldste var for 2,4 mill. år sidan), til tertiærtida, til Kap København eller den fossile Beaufort-formasjonen i Canada, til ei tid då det klimatisk sett ikkje var noko Arktis.

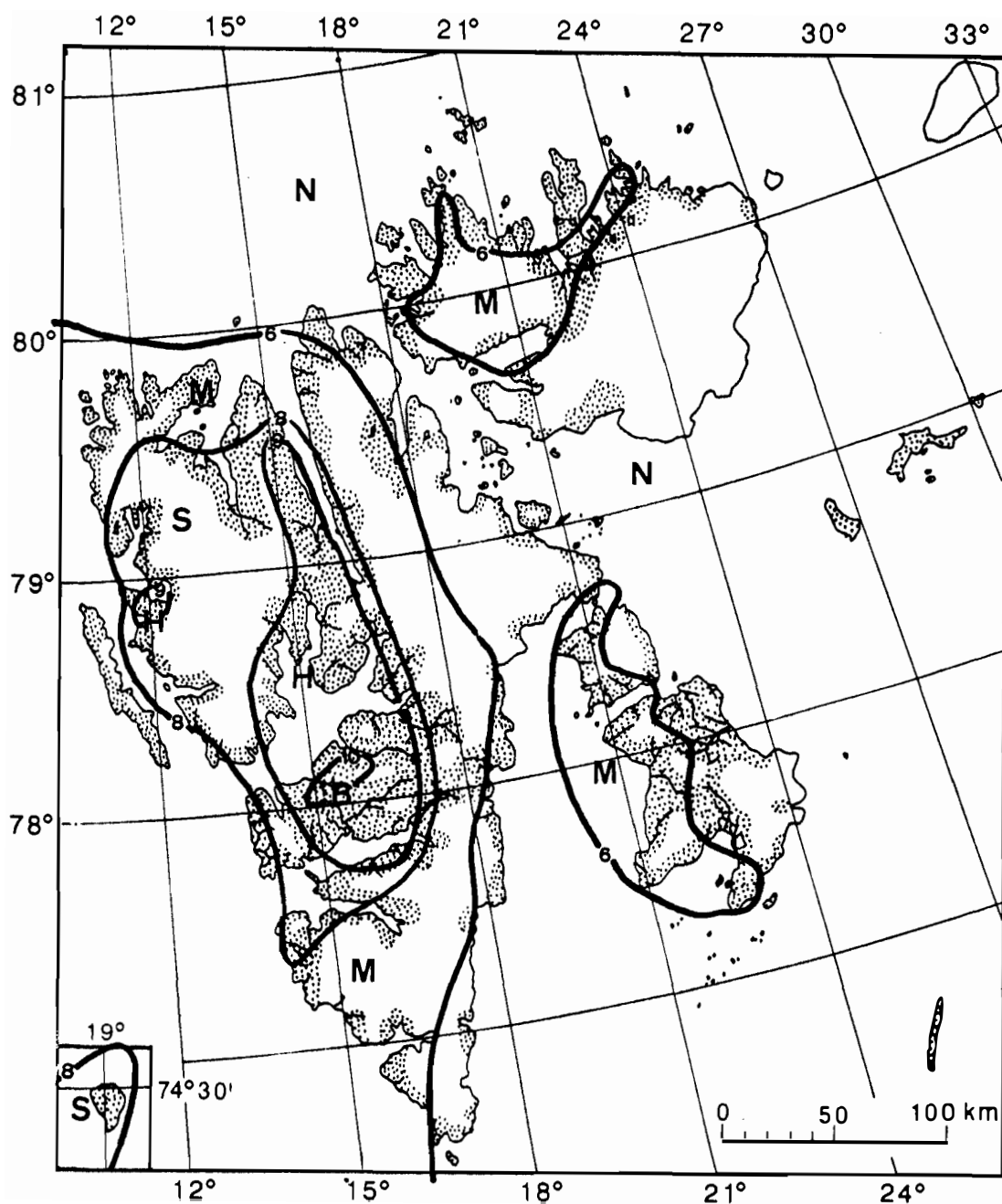


Fig. 6.10) Geografisk fordeling av temperaturklima på Svalbard etter ein gitt jultemperaturauke på 3°C. Linene markerer juli-isotermene og samstundes grensene mellom dei bioklimatiske sonane: Nordboreal sone (B), hemiarktisk sone (H), sørarktisk tundrasone (S), mellomarktisk tundrasone (M) og nordarktisk tundrasone (N). Klassifiseringa gjeld berre i låglandsområde og sambandsliner er dragne over hav og bredekte område.

TILRÅDD FORSKING OG OVERVAKINGSTILTAK

Dei følgjande punkta er kortfatta. Dei fokuserer på forskning, sidan denne vil leggje grunnlaget for betre definerte overvaksingsobjekt og -rutiner. Dei tilrådde forskingsoppgåvene er gruppert under fem hovudpunkt. Forskingsoppgåvene er ikkje sett opp i prioritert rekkjefølgje og det er eit klart behov for forskning innan alle desse fem felt. Men for å etablere overvaksingsrutiner og eitt eller fleire overvaksingsområde peiker områda "Abiotiske faktorar", "Geobotanikk" og "Populasjonsøkologi" seg ut som dei mest påtrengande felt.

ABIOTISKE FAKTORAR

Meteorologi

Svalbard har det tettaste nettet av meteorologiske stasjonar i Arktis. Likevel er det veikskapar. Ein må tillate seg å uttrykke frustrasjon over at Isfjord Radio vart lagt ned og den gamle stasjonen i Longyearbyen lagt ned når den nye blei opna ved flyplassen, når desse var dei to einaste stasjonane på Spitsbergen med lange observasjonsseriar. Sovjetarane har berre målestasjon i Barentsburg og ikkje i Pyramiden. Å få oppretta ein stasjon i Pyramiden må vere eit prioritert ønske sidan dette området kan vere det varmaste på Svalbard, og viktig for monitoring av temperaturauke og relasjon til miljøkonsekvensar.

Dei to nye automatstasjonane på Phippsøya og Kongsøya er i område med likt og svært ekstremt klima. Men stasjonar i det intermediære klimaet (t.d. vestsida av Edgeøya) mellom polarørkenklimaet på desse øyene og Hopen på den eine sida og stasjonane i dei gunstige klimaområda på Spitsbergen og Bjørnøya/Jan Mayen manglar. To-tre nye (automatiske?) stasjonar (Pyramiden, Edgeøya, Isfjord Radio) burde ha vore oppretta.

Lokalklimatologi

Dette bør vere eit av dei høgast prioriterte satsingsfelt. På Svalbard er det praktisk talt ikkje samla inn lokalklimadata (men litt mikroklimadata). I arktisk Canada er det innhenta (dels upublisert) data frå to område (Truelove Lowland og Alexandra Fiord) og igangsett datasamling frå eit tredje (Hot Weather Creek).

Viss ein kan påvise ulike klimatyper i eit område er det lettare å fastslå konsekvensane av klimaskilnader og å forutsele framtidseffektar. Eit område som peikar seg ut er Ny-Ålesund-området. Her er det ein kort geografisk avstand frå den ekstreme kysten ved Forlandet, kystflyene og fjorden inn til dei ekstremt varme områda inst i Kongsfjorden. Ein serie automatstasjonar som kunne relaterast til den store instrumentparken i Ny-Ålesund ville gje det beste datasettet av denne typen. Logistisk og forskingspolitisk ville det vere positivt.

Det ville også kunne fungere som eit norsk arktisk forskings- og overvåkingsområde i relasjon til den internasjonale samarbeidsarenaen.

Hydrologi

Hydrologi har etter det underteknaren kjenner til, vore eit lite studert fagfelt på Svalbard. Men nettopp hydrologien er eit av dei viktigaste variablane i ulike klimatypar og determinantar for vegetasjonen. Hydrologi kan også brukast som mål på endringar, og bør sjåast i samanheng med glasiologi, som ikkje blir omhandla her..

GEOBOTANIKK

Bioklimatologiske indikatorar

Plantane kan brukast som "levande meteorologiske stasjonar" viss ein klarer å utvikle metoder for ein slik bruk. Metoden med termofili-indeksar har vist svært lovande resultat i utprøvningsfasen hittil, og bør vidareutviklast. Den bør også utprøvast i nye område på Svalbard for å teste problemet med ujamn utbreiing av habitat og andre økologifaktorar enn temperaturklima. Den bør framfor alt innarbeidast i eit overvåkingsområde der ein integrerer fleire fagdisiplinar, og samanliknast med andre moglege botaniske overvåkingskriterie, som fenologi og bruk av enkeltartar.

Kartlegging av vegetasjon

Berre ein svært liten del av det vegetasjonsdekte Svalbard er kartlagt. I tillegg til ei rekke andre formål treng vi vegetasjonskart som referanse for å kunne vurdere framtidige endringar. Ein utprøvningsfase med satellittbasert kartlegging på Svalbard har gått føre seg dei siste åra, og har etter kvart vist seg så lovande at ein bør kunne satse på denne metoden og med konvensjonell kartlegging av mindre referanseområde.

Kartlegging av sjeldne artar og objekt

I fastlands-Noreg har ein no gjennomført kartlegging av trua og utsette planteartar og turen burde også ha vore komen til Svalbard. Ein del er kjent om statusen til del sjeldne planteartane på Svalbard, men dette bør behandlast forvaltningsmessig og Innordnast i ein database. Ein treng meir detaljerte opplysningar som kan vere grunnlag for ei strengare handheving enn det "generelle" vernet som gjeld for ein stor del av Svalbards areal. Spesielt interessante samfunn eller andre botaniske objekt bør også inkluderast.

POPULASJONSØKOLOGI

Dette feltet som har nådd ein slik dominerande plass i t.d. mellomeuropeisk botanisk økojogi er såvidt påbegynt på Svalbard. Kun to termofile artar er studert i tillegg til nokre fuglefjellsartar. Demografi, vekstrate og reproduksjonsevne er basal kunnskap som trengst for å kunne forstå kor fort ulike artar reagerer på klimaendringar, både årlege og framtidige på sikt. Det bør fokuseres på termofile artar som blir forventet å respondere på temperaturauken. Arbeidet bør innarbeidast i eit program for eit overvåkingsområde, og brukast til å velgje ut gode indikatorartar.

VEGETASJONSHISTORIE

Frå gjennomgangen i eit avsnitt ovafor hugsar ein at den postglasiale historia til plantane på Svalbard er dårleg kjent, og nordmenn har knapt nok vore engasjert. Mikrofossilanalyse er svært lovande. Prøvestader bør også lokalisast i lys av nyare geologisk kunnskap eller teoriar. Det er ei stor utfordring å finne torvavsetjingar eller innsjøavsetjingar som er så gamle at dei kan stadfeste hypotesen om svært liten nedising av kystområda på Svalbard gjennom mesteparten av Weichsel.

FYSIOLOGI

Dette har vore eit lite utforska felt på Svalbard. Det er ei stor utfordring å finne ein fysiologisk basis for dei indikatorevnene mange plantar er rekna for å ha i blokklimatologisk samanheng. Her vil kanskje ikkje fysiologisk optimum vere det mest interessante, men kartlegging av terskelverdlar for visse fenologiske stadiar, t.d frøsetting. Her vil temperatursum vere ein eksperimentell variabel, medan lysklimaet haldest konstant. Dette krevjer bruk av det botaniske klimaanlegget i Ny-Ålesund, som må utrustast med kjøling slik at temperaturane blir meir stabile.

Andre studiar av temperaturparametrar kan også inkluderast, t. d. kuldetoleranse. Frå studiar som førebels er utførte veit vi at toleransen vekslar sterkt med årstidene. Eit truleg resultat av den globale oppvarminga er at ekstreme vertilhøve kan oppstå til alle årstider. Slike sterkt unormale tilhøve kan tenkjast å ha katastrofale lønsekvensar for ein art som ikkje er fysiologisk sett budd på slike tilhøve under "felle" årstider.

SAMANDRAG

Det ligg føre svært lite data når det gjeld vurderingar av forventade verknader av drivhuseffekten på arktisk planteliv. I denne utgreiinga er det nytta data frå botaniske, zoologiske og andre sediment-seriar (paleoklimatiske data), og data om samvariasjon mellom klimatypar og flora og vegetasjon i dagens arktis. Utgreiinga fokuserer på ein sommartemperatur-auke på 2 (3)°C innan år 2030. Det er grunn til å vente ein svært nær samanheng mellom temperaturklima og vegetasjonsfordeling.

Det var truleg høgare temperaturar på Svalbard frå 3500 før notid og attende, med eit klart maksimum 2 - 3° C varmare enn idag for rundt 8-9000 år sidan. Dette historiske scenariet kan representere eit liknande scenarium som det som no er konstruert for perioden fram mot år 2030. Men dei myr-profil som ein hittil har studert på Svalbard går ikkje langt nok attende i tid til å fortelje oss korleis vegetasjonen var på denne tida.

Pga. den ekstreme topografiske diversiteten på Svalbard, er makroklimaet sterkt oppsplitta i ulike lokalklimaer. Mellom to område t.d. 50 km. frå kvarandre med ein sommartemperatur-skilnad på 2°C vil vegetasjonen ideelt endre seg gradvis langs temperaturgradienten. Viss øvrige økologiske faktorar er like og spreingsbarrierar ikkje eksisterer, vil den gradienten i tid som scenariet vårt representerer, gradvis utvikle seg langs denne idealiserte gradienten i terrenget. (Men det er lite truleg at det eksisterer slike jamne gradientar på Svalbard idag).

Elles vil den differensieringa i lokalklima ein har idag truleg og gjelde etter ei klimaendring. Idag ligg dei varmaste områda på Svalbard i dei sentrale delane av Spitsbergen, medan klimaet blir mindre gunstig mot alle retningar, særleg mot aust og nord. Ein manglar idag lokalklimatiske måleseriar frå størstedelen av Svalbard.

Ut frå skilnadene i flora og vegetasjon ein idag finn mellom ulike bioklimatiske sonar, er dette endringane ein kan vente ved ein sommartemperatur-auke på 2 - 3°C fram mot år 2030:

- Våte område blir våtare, tørre område tørrare. Snøsmeltinga skjer tidlegare og snøleieareala blir mindre. Det aktive laget blir djupare, større ismengder smeltar. Erosjon og utrasing aukar i skrånande områder.
- Viss klimaendringane ikkje skjer for fort, vil i grove trekk dei vegetasjonssonane ein idag kjenner "vandre" etter klimautviklinga.
- I dei varmaste områda på Svalbard, dvs. dalbotnane kring Longyearbyen og Colesbukta, vil ei sommartemperatur-auke på 2 - 3°C akkurat gi grunnlag for skog, og godt grunnlag for buskdanning. Skog finnes ikkje på Svalbard idag, og spreingsbarrierer (Barentshavet) vil truleg hindre at skog etablerer seg, medan kratt-

etablering er sannsynleg, basert på dvergbjørk. Det er vanskeleg å forutseie om vier kan innførast eller auke med utgangspunkt i dagens minimale populasjonar.

- I dei øvrige senrale områda på Spitsbergen (Indre fjordsone) vil temperaturen også nå over terskelen for kratt-danning. Fjellkrekling og dvergbjørk vil bli dominant, medan kantlyng og vardefrytle- og raudsildreheiene vil bli fortrent opp i høgda. Fattigmyrer med torvmosar vil auke kraftig i utbreiing, medan rikmyrar vil bli mykje frodigare og heilt dominert av grasaktige plantar. Ein vil kanskje også få tjern med enkelte innførte vassplantar. Ei rekkje grasartar vil truleg ekspandere, serleg i område med beiting. Minst endring vil det truleg bli på rabbane, som er for ekstreme for fjellkreklingen.
- Raudsildre-snøleiesamfunna vil bli erstatta med kantlyng- og reinroseheier. Ved kysten kan ein få ekspansjon av plantesamfunn med affinitet til musøyre-snøleiene. Dei goldaste områda idag, den såkalla polarørkenen, vil truleg bli heilt borte frå låglandsnivåa og kun vere utvikla på fjellplatåa, slik situasjonen er i dei klimatisk gunstigaste delane av Svalbard idag.
- Artsdiversitet og -tal vil auke i alle område. Områda som idag er polarørken eller nordarktisk tundra kan potensielt få dobla artstalet ved at meir varmekjære artar vandrar inn frå varmare område. Innvandring av artar utanfrå Svalbard vil vere svært liten pga. dei store havområda rundt, og uråd å seie på førehånd.
- Produktiviteten vil auke og planteindividua vil bli større. Oppvarming av jordsmonnet vil gjere at nedbrytinga går fortare og meir plantenæring blir frigjort. Fenologien kan bli endra slik at blomstring og frøsetting skjer tidlegare. Mange varmekjære plantar rekk ikkje å sette frø idag, og ei oppvarming som gjer at dei produsere frø kan føre til ein auke i utbreiinga og mengdefordeling av slike artar.
- Fig. 6.10 syner juli-isotermene slik dei truleg vil vere fordelte etter klimaendringa som scenariet representerer. Dette syner den potensielle utbreiinga av bioklimatiske sonar på Svalbard i år 2030. Historiske data viser at plantane er trege og kjem på etterskott når klimautviklinga er kraftig. Nesten ingen dominante planteartar på Svalbard har effektiv seksuell reproduksjon, og dei ekspanderer sakte. Utviklinga vil gå mot dette potensialet, men det er usannsynleg at det gitte scenariet vil ha medført ei full utskifting av sonar og ei innstilling i nye likevekter med nye karakteristiske vegetasjonstypar innan år 2030.
- Blir temperaturauken mindre enn i scenariet, t.d. 0,5 - 1°C, vil dette liggje innan dei naturlege temperatursvingningane som har vore i dette hundreåret. Ein har ikkje data som tyder på at dette vil slå ut i botaniske endringar.

- Blir auken større (5,5°C) blir utslaga meir drastiske og katastrofeprega. Det er vanskeleg å tenkje seg korleis ei så kraftig utskifting av vegetasjonssonar som dette vil gje potensiale for, kan realiserast bl.a. pga spreilingsbarrierer for tre og busker. Ein slik temperatur-auke vil vere større enn del klimasvingningane som har vore etter istida, og vil måtte samanliknast med ei tid for 2 - 3 millionar år sida då det klimatisk sett ikkje var noko Arktis.

APPENDIKS A

Ulike grupper av termofile karplanteartar frå Svalbard etter Elvebakk (1989). Figurreferansane attom artnamna refererar til figurnummer til utbreiingskarta i Elvebakk (1989) (framh.).

Group I. Strongly thermophilous species

These are concentrated within the Inner Fjord Zone of Spitsbergen (Summerhayes & Elton 1928) or within the southernmost maritime areas Jan Mayen and Bjerneya. The strong thermophiles include 44 species (25%) which are divided in four subgroups:

IA. Northern continental species

These are found in the northernmost part of the Inner Fjord Zone, and have only marginal occurrences south of Isfjorden, except for the limestone area of Sassendalen. This subgroup includes 18 species.

Arenaria humifusa Wahlenb. (Fig. 10)
Botrychium lunaria (L.) Sw. (Fig. 11)
Carex amblyrhyncha V. Krecz (Fig. 12)
C. capillaris L. (Fig. 11)
C. glacialis Mack. (Fig. 13)
Eriophorum triste (Th. Fr.) A. Löve & Hadac (Fig. 14)
Euphrasia frigida Pugs. (Fig. 11)
Gentianella tenella (Rottb.) Börner (Fig. 15)
Juncus arcticus Willd. (Fig. 16)
J. castaneus Sm. (Fig. 17)
J. triglumis L. (Fig. 18)
Kobresia simpliciuscula (Wahlenb.) Mack. (Fig. 19)
Poa hartzii Gand. (Fig. 20)
Puccinellia svalbardensis Rønning (Fig. 21)
Rubus chamaemorus L. (Fig. 22)
Salix callicarpaea Trautv. (Fig. 23)
Tofieldia pusilla (Michx.) Pers. (Fig. 24)
Woodsia glabella R. Br. (Fig. 25)

IB. Southernly continental species

This subgroup comprises 7 species distributed mainly in Norden-skiöld Land.

Campanula rotundifolia L. ssp. *gieseckiana* (Vest)
Witasek (Fig. 26)
Betula nana L. (Fig. 27)
Cakile arctica Pobed. (Fig. 28)
Hierochloa alpina (Sw.) R. Br. (Fig. 29)
Luzula wahlenbergii Rupr. (Fig. 30)
Ranunculus pallasii Schlecht. (Fig. 31)
Vaccinium uliginosum L. ssp. *microphyllum* Lange
(Fig. 32)

IC. Maritime species

Species of this subgroup are confined to the islands Jan Mayen and Bjerneya except for *Rhodiola rosea* which has been found twice on the island Prins Karls Forland west of Spitsbergen. The subgroup includes 17 species. The following symbols are used: (**) Bjerneya only, (*) Jan Mayen and Bjerneya, no symbol - Jan Mayen only.

Alchemilla glomerulans Bus. (*)
Carex bigelowii Schweinitz
Cerastium cerastoides (L.) Britton (*)
Cystopteris fragilis (L.) Bernh.
Epilobium anagallidifolium Lam.
Hippuris vulgaris L. (**)
Luzula spicata (L.) DC.
Omalotheca supina (L.) DC.
Puccinellia capillaris (Liljeb.) Jans.
Rhodiola rosea L. ssp. *arctica* (A. Boriss.) A. & D.
Löve (**) (Fig. 33)
Taraxacum acromaurum Dahlst.
T. brachyrhynchum Hagl.
T. croceum Dahlst. coll.
T. cymbifolium H. Lindb. (**)
T. recedens (Dahlst.) Hagl.
T. torvum Hagl.
Veronica alpina L.

ID. Ubiquitous species

This is a small subgroup-including 2 species found both in the Inner Fjord Zone and on Jan Mayen.

Poa glauca J. Vahl (Fig. 34)
Sibbaldia procumbens L. (Fig. 11)

Group II. Distinctly thermophilous species

This group is distributed within the Cassiope Zone (Summerhayes & Elton 1928, Brattbakk 1986) or the Middle Arctic Tundra Zone (Elvebakk 1985) of Svalbard (including Bjørnøya) and on Jan Mayen. The group consists of 42 taxa (24%), and is divided in four subgroups:

IIA. Continental species

These species are only found on Spitsbergen. The group is large and consists of 24 species and two hybrids.

Arctagrostis latifolia (R. Br.) Griseb. (Fig. 35)
Arnica angustifolia M. Vahl. ssp. *alpina* (L.)
I. K. Ferguson (Fig. 36)
Campanula uniflora L. (Fig. 37)
Carex aquatilis Wahlenb. ssp. *stans* (Drejer) Hult.
(Fig. 38)
C. aquatilis ssp. *stans* x *subspathacea* Wormsk.
(Fig. 38)
C. glareosa Wahlenb. (Fig. 39)
C. x lidii Hadac' (Fig. 40)
C. parallela (Laest.) Sommerf. (Fig. 41)
C. saxatilis L. (Fig. 42)
Cassiope tetragona (L.) D. Don. (Fig. 43)
Cystopteris dickieana R. Sim. (Fig. 44)
Deschampsia brevifolia R. Br. (Fig. 45)
Draba daurica DC.
Erigeron humilis Grah. (Fig. 46)
Mertensia maritima (L.) S. F. Gray (Fig. 47)
Minuartia stricta (Sw.) Hiern (Fig. 48)
Pedicularis lanata Cham. & Schlecht. ssp.
dasyantha (Trautv.) Hult. (Fig. 49)
Petasites frigidus (L.) Fries (Fig. 50)
Polemonium boreale Adams (Fig. 51)
Potentilla nivea L. coll.
P. aff. rubricaulis Lehm.
Ranunculus lapponicus L. (Fig. 52)
R. pedatifidus Sm. (Fig. 53)
R. spitsbergensis (Nath.) Hadac (Fig. 54)
Silene furcata Rafin. ssp. *furcata* (Fig. 55)
Taraxacum brachyceras Dahlst. (Fig. 56)

Southern coastal species

consist of 3 species that are distributed along the the Storbukta - Serkapp area of southwestern Spitsbergen or Bjørnøya/Jan Mayen.

Cerastium alpinum L. ssp. *lanatum* (Lam.) Asch &
Graebn. (Fig. 57)
Ranunculus glacialis L. (Fig. 58)
Salix herbacea L. (Fig. 59)

IIC. Widely coastal species

This group consists of 3 species and 1 subspecies that are distributed mainly along the coast of Spitsbergen in addition to Bjørnøya/Jan Mayen.

Arabis alpina L. (Fig. 60)
Cassiope hypnoides (L.) D. Don. (Fig. 61)
Luzula arcuata Sw. ssp. *arcuata* (Fig. 62)
Sagina cespitosa (J. Vahl) Lange (Fig. 63)

IID. Ubiquitous species

This group of 9 species is found both in the continental Middle Arctic Tundra Zone of Spitsbergen and in the maritime islands Jan Mayen/Bjørnøya.

Calamagrostis stricta (Timm.) Koeler (Fig. 64)
Carex lachenalii Schkuhr (Fig. 65)
C. maritima Gunn. (Fig. 66)
Draba norvegica Gunn.
Empetrum hermaphroditum Hagerup (Fig. 67)
Equisetum scirpoides Michx. (Fig. 68)
Honkenya peploides (L.) Ehrh. (Fig. 69)
Potentilla crantzii (Cr.) G. Beck
Salix reticulata L. (Fig. 70)

Group III. Moderately thermophilous species

The moderately thermophilous species are found in the Middle Arctic Tundra Zone and in thermically favourable areas of the Northern Arctic Tundra Zone. Species marked by a (*) are found in local thermically favourable habitats throughout the Northern Arctic Tundra Zone, most often slopes with a southern exposure. Half of the species are found either on Bjerneya or on Jan Mayen. The group consists of 13 species, 5 of them are mapped here.

- Carex nardina Fr. (*)
- Draba arctica J. Vahl
- Dupontia psilosantha Rupr.
- Erigeron uniflorus L. ssp. eriocephalus (J. Vahl)
Cronq. (Fig. 71)
- Festuca baffinensis Polunin (Fig. 72)
- Huperzia selago (L.) Bernh. ssp. arctica (Grossh.)
A. & D. Löve (*)
- Koenigia islandica L. (Fig. 73)
- Minuartia biflora (L.) Schinz & Thell. (*)
- Pleuropogon sabinei R. Br. (Fig. 74)
- Ranunculus nivalis L.
- Saxifraga aizoides L.
- Taraxacum arcticum (Trautv.) Dahlst. (Fig. 75) (*)
- Trisetum spicatum (L.) K. Richter (*)

Group IV. Weakly thermophilous species

This group consists of 27 species which are widely distributed throughout the Middle and Northern Arctic Tundra Zones.

- Arctophila fulva (Trin.) N. J. Anderson
- Arenaria pseudofrigia (Ostenf. & Dahl) Juz.
- Braya purpurascens (R. Br.) Bunge
- Cardamine nymanii Gand.
- Carex misandra R. Br.
- C. rupestris All.
- C. subspathacea Wormsk.
- C. ursina Dewey
- Chrysosplenium tetrandum (N. Luná) Th. Fr.
- Dryas octopetala L.
- Equisetum arvense L. ssp. boreale (Bong.) A. Löve
- E. variegatum Schleich.
- Eriophorum scheuchzeri Hoppe
- Eutrema edwardsii R. Br.
- Festuca brachyphylla Schultes.
- F. hyperborea Holmen
- F. rubra L. ssp. arctica (Hack.) Govor.
- Minuartia rossii (R. Br.) Graebn.
- Pedicularis hirsuta L.
- Potentilla pulchella R. Br.
- xPucciniphsia vacillans (Th. Fr.) Tzvelev
- Ranunculus pygmaeus Wahlenb.
- Saxifraga hieracifolia Waldst & Kit.
- S. hirculus L.
- Silene acaulis (L.) Jacq.
- S. uralensis (Rupr.) Bocq. ssp. arctica (Th. Fr.)
Bocq.
- Stellaria humifusa Rottb.

LITTERATURREFERANSAR BOTANIKK

- Aleksandrova, V. D. 1980. The Arctic and Antarctic: their division into geobotanical areas. -Cambridge Univ. Press, Cambridge. 247 s.
- Alm, T. & Vorren, K.-D. 1990. Klima og vegetasjon de siste 22000 år. - Gløtt fra Universitetet i Tromsø, 2. apr. 1990, 1 s.
- Andersson, G. 1910. Die jetzige und fossile Quartärflora Spitzbergens als Zeugnis von Klimaänderungen. I: Die Veränderungen des Klimas seit dem Maximum der letzten Eiszeit. II. intern. Geologenkongress, Stockholm 1910, s. 409 - 417.
- Arctic Pilot. 1988. Sailing directions Svalbard - Jan Mayen. Hovudsakl. red. av K. Lundqvist. - Den norske los 7: 1 - 419.
- Atmospheric Environment Service 1989. Symposium on the Arctic and Global Change, Ottawa, Oct. 25 - 27, 1989. Poster.
- Beyer, I., E. Jansen & T. Veum. 1990. Changes in ocean circulation and paleoclimate in the Norwegian Sea over the last 130.000 years. - Climate of the Northern Latitudes: Past, Present & Future. Int. Conf. Univ. Tromsø, April 2-4, 1990. Abstract.
- Blake jr., W., I. U. Olsson & A. Srodon. 1965. A radiocarbon-dated peat deposit near Hornsund, Vestspitsbergen, and its bearing on the problem of land uplift. - Årb. norsk Polarinst. 1963: 173 - 180.
- Boulton, G. S. 1979. Glacial history of the Spitsbergen archipelago and the problem of a Barents Shelf ice sheet. - Boreas 8: 31 - 57.
- Bradley, R. S. 1990. Arctic precipitation: empirical estimates of changes with increased greenhouse gases. - Climate of the Northern Latitudes: Past, Present & Future. Int. Conf. Univ. Tromsø, April 2-4, 1990. Poster.
- Brattbakk, I. 1986. Vegetasjonsregioner - Svalbard og Jan Mayen. Målestokk 1 : 1 mill. - Nasjonalatlas for Norge. Hovedtema 4: Vegetasjon og dyreliv. Kartblad 4.1.3.
- Baagøe, J. & K. Vestergaard. 1974. An annotated list of the vascular plants collected by the Danish Jan Mayen Expedition 1972. - Årb. norsk Polarinst. 1972: 55 - 61.

- Chernov, Y. I. & N. V. Matveyeva. 1979. Zakonomernosti zonal'nogo raspredelenija soobshchestv na Taimyre. - I: Aleksandrova, V. D. & N. V. Matveyeva (red.) Arkticheskiye tundry i poljanye pustyni Taimyra, s. 166 - 200, Nauka, Leningrad.
- Davis, M. B. 1988. Ecological systems and dynamics. I: Toward an understanding of global change, s 69 - 106. National Academy Press, Washington D.C.
- Daniëls, F. J. A. 1982. Vegetation of the Angmagssalik district, Southeast Greenland. IV. Shrub, dwarf shrub and terricolous lichens. - Meddr. Grønland, Bioscience 10: 1 - 78.
- Edlund, S. 1987. Plants: living weather stations. - Geos 16, 2: 9 - 13.
- " 1989. Vegetation indicates potentially unstable arctic terrain. - Geos 18, 3: 9 - 13.
 - " & Alt, B. T. 1989. Regional congruence of vegetation and summer climate patterns in the Queen Elizabeth Islands, Northwest Territories, Canada. - Arctic 42: 3 - 23.
- Edlund, S. A., B. T. Alt & K. Young. 1989. Interaction of climate, vegetation, and soil hydrology at Hot Weather Creek, Fosheim Peninsula, Ellesmere Island, Northwest Territories. - Current Research, Part D, Geol. Surv. Canada, Paper 89-1D, s. 125 - 133.
- Elvebakk, A. 1985. Higher phytosociological syntaxa on Svalbard and their use in subdivision of the Arctic. - Nord. J. Bot. 5: 273 - 284.
- " 1989. Biogeographical zones of Svalbard and Jan Mayen based on the distribution patterns of thermophilous vascular plants. - I: Biogeographical zones of Svalbard and adjacent areas based on botanical criteria. Dr.scient. thesis (upubl.), Univ. Tromsø, s. 46 - 113.
 - " 1990. Local recent climate patterns on Devon Island, arctic Canada mapped by use of plant indicators - Climate of the Northern Latitudes: Past, Present & Future. Int. Conf. Univ. Tromsø, April 2-4, 1990. Abstract.

- " in ed. A new method for defining biogeographical zones in the Arctic.
Manuscript submitted to the Proceedings of the Conference of Arctic and Nordic Countries on Coordination of Research in the Arctic, Leningrad Dec. 12 - 15, 1988, 15 s.
 - " & L. C. Bliss. In prep. Bioclimatology of the Truelove area, Devon Island, arctic Canada, based on plant distribution patterns. Manuscript.
 - " & S. Spjelkavik. 1981. Botanisering blant varme kjelder og vulkanar på Nord-Svalbard. - Polarflokken 5: 104 - 113.
 - " & " in prep. The distribution and ecology of Empetrum hermaphroditum on Svalbard. Manuscript submitted for publication.
- Engelskjøn, T. 1986a. Eco-geographical relations of the Bjørnøya vascular flora. -Polar Res. 5 n.s.: 79 - 127.
- " 1986b. Zonality of climate and plant distributions in some Arctic and Antarctic regions. - Rapp. Ser. norsk Polarinst. 30: 1 - 49.
- Feilberg, J. 1987. Urte- og buskvegetasjon. I: Grønlands planteverden. - Urt 87/Kaskelot 76: 53 - 69.
- Foreman, S. L. 1989. Late Weichselian glaciation and deglaciation of Forlandsundet area, western Spitsbergen, Svalbard. - Boreas 18: 51 - 60.
- Frisvoll, A. A. 1978. Twenty-eight bryophytes new to Svalbard - Bryologist 81: 122 -136.
- Funder, S. 1987. Fra skov til tundra - glimt av bevoksningens historie. I: Grønlands planteverden. - Urt 87/ Kaskelot 76: 1 - 10.
- " 1990. Subfossil Greenland molluscs indicate changes in North Atlantic surface circulation after the last ice age. - Climate of the Northern Latitudes: Past, Present & Future. Int. Conf. Univ. Tromsø, April 2.4, 1990. Abstract.
- Göttlich, K. & P. Hornburg. 1982. Ein Zeuge wärmezeltlicher Moore im Adventdalen auf Spitzbergen (Svalbard-Archipel). - Telma 12: 253 - 260.
- Hadac, E. 1944. Die Gefässpflanzen "Sassengebietes", Westspitzbergen. - Stud. bot. csl. 7: 127 - 164.

- " 1946. The plant-communities of Sassen Quarter, Westspitzbergen. - Skr. Svalbard Ishavet 87: 1 - 71.

- Hyvärinen, H. 1968. Late-Quaternary sediment cores from lakes on Bjørnøya. - Geogr Ann. 50 A: 235 - 245.

- " 1969. Trullvatnet: a Flandrian stratigraphical site near Murchisonfjorden, Nordaustlandet, Spitsbergen. - Geogr. Ann. 51 A: 42 - 45.

- " 1970. Flandrian pollen diagrams from Svalbard. - Geogr. Ann. 52 A: 213 - 222.

- " 1972. Pollen-analytic evidence for Flandrian climatic change in Svalbard. - I: Vasari, Y., H. Hyvärinen & S. Hicks (red.). Climatic changes in arctic areas during the last ten-thousand years. - Acta Univ. Oul Ser. A. Scient. Rer. Natur. 3, Geol. 1: 225 -237.

- Jaworowski, Z. upubl. Effects of climatic changes on the Arctic biota. - Norsk Polarinstitutt, notat. 28 s.

- Johansen, S. & U. Hafsten. 1988. Airborne pollen and spore registrations at Ny-Ålesund, Svalbard, summer 1986. - Polar Res. 6: 11 - 17.

- Joly, D. 1980. Étude intégrée des climats à grande échelle: exemple pris au Spitsberg. Bull. Assoc. géogr. franc. 474: 373 - 378.

- van der Knaap, W. O. 1985. Human influence on natural arctic vegetation in the seventeenth century and climatic change since A. D. 1600 in Northwest Spitsbergen: a paleobotanical study. - Arct. alp. Res. 17: 371 - 387.

- " 1987. Five short pollen diagrams of soils from Jan Mayen, Norway: a testimony to a dynamic landscape. - Polar Res. 5 n.s.: 193 - 206.

- " 1988a. A pollen diagram from Brøggerhalvøya, Spitsbergen: changes in vegetation and environment from ca. 4400 to ca. 800 B.P. - Arct. alp. Res. 20: 106 - 116.

- " 1988b. Age and stability of bird-manured vegetation on Spitsbergen. - Acta bot. neerl. 37: 171 - 179.

- " 1988c. Palynology of two 4500 year old skua-mounds of the Arctic Skua (*Stercorarius parasiticus* (L.)) in Svalbard. - Polar Res. 6 n.s.: 43 - 57.
- " 1989. Palynological and palaeobotanical investigations of peat deposits and soils from Spitsbergen and Jan Mayen. Summary of Ph. D. thesis , Lab. of Palaeobotany and Palynology, Utrecht. 7 s.
- " , A. Aptroot & P. Oosterveld. 1989. A 7500-year-old record of *Peltigera aphthosa* from Spitsbergen. - Lichenologist 21: 90 - 91.

Lamb, H. H. 1972. Atmospheric circulation and climate in thr Arctic since the last ice age. - I: Vasari, Y., H. Hyvärinen & S. Hicks (red.). Clomatic changes in arctic areas during the last ten-thousand years. - Acta Univ. Oul. Ser. A Scient. Rer. Natur. 3, Geol. 1: 455 - 495.

Landvik, J. Y., J. Mangerud & O. Salvigsen. 1988. Glacial history and permafrost in the Svalbard area. - Proc. V. Int. Conf. Permafrost, Trondheim, Norway, 1988: 194 - 1988.

Larsen, E., H. P. Sejrup, L. Olsen & G. H. Miller. 1990. Late Quarternary land - sea interaction : the Nordic seas, Fennoscandia and Svalbard. Climate of the Northern latitudes: Past, Present & Future. Int. Conf. Univ. Tromsø, April 2-4, 1990. Poster.

Lefauconnier, B. & J. O. Hagen. 1990. Glaciers and climate in Svalbard, statistical analysis and reconstruction of the Brøgger Glacier mass balance for the last 77 years. Manuscript.

Mangerud, J., M. Bolstad, A. Elgersma, D. Helliksen, J. Y. Landvik, A. K. Lycke, I. Lønne, O. Salvigsen, T. Sandahl & H. P. Sejrup. 1987. The late Weichselian glacial maximum in western Svalbard. - Polar Res. 5 n.s.: 275 - 278.

Mangerud, J., J. I. Svendsen, J. Landvik & O. Salvigsen. 1990. Glaciation history of Svalbard the last 120,000 years. - Climate of the Northern Latitudes: Past, Present & Future. Int. Conf. Univ. Tromsø, April 2-4, 1990. Abstract.

Matthews Jr., J. V. 1989. Late tertiary arctic environments: a vision of the future? - Geos 18, 3:14 - 18

- Miller, G. H., H. P. Sejrup, S. J. Lehman & S. L. Foreman. 1989. Glacial history and marine environmental change during the last interglacial-glacial cycle, western Spitsbergen, Svalbard. - Boreas 18: 273 - 296.
- Nathorst, A. G. 1883. Nya bidrag till kännedomen om Spetsbergens kärlväxter, och dess växtgeografiska förhållanden. - K. svenska Vetensk.-Akad. Handl. 20, 6: 1 - 88.
- Oechel, W. C. & B. R. Strain. 1985. Native species responses. I: Strain, B. R. & J. D. Cure (red.). Direct effects of carbon dioxide on vegetation. State-of-the-art report. Ch. 5, s. 118 - 154. U. S. dept. of Energy, Office of Basic Energy Sciences, Carbon Dioxide Research Division, Washington D.C.
- Rannie, W. F. 1986. Summer air temperature and number of vascular species in arctic Canada. - Arctic 39: 133 - 137.
- Ritchie, J. C. & G. M. MacDonald. 1986. The patterns of post-glacial spread of white spruce. - J. Biogeogr. 13: 527 - 540.
- Rønning, O. I. 1961. Some new contributions to the flora of Svalbard. - Skr. norsk Polarinst. 124: 1 - 20.
- 1963. Phytogeographical problems in Svalbard - I. Löve, Å. & D. Löve (red.). North Atlantic biota and their history, s. 99 - 107. Oxford.
 - 1968. Features of the ecology of some arctic Svalbard (Spitsbergen) plant communities. - Arct. alp. Res. 1: 29 - 44.
 - 1971. Synopsis of the flora of Svalbard. - Årb. norsk Polarinst. 1969: 80 - 93.
 - 1972. The distribution of the vascular cryptogams and monocotyledons in Svalbard. - Skr. k. norske Vidensk. Selsk. 24: 1 - 63.
- Salvigsen, O. 1989. Naturlige klimavariasjoner i Arktis etter siste istid. - Sammendrag av foredrag på symposiet "Hva skjer med klimaet i polarområdene?", Oslo 25.-26. april 1989. Rapp. ser. norsk Polarinst. 53, 3 s.
- 1990. Holocene climate deduced from the mollusc fauna of raised beaches in Svalbard. - Climate of the Northern Latitudes: Past, Present & Future. Int. Conf. Univ. Tromsø, April 2-4, 1990. Abstract.

- Serebryanny, L. P., A. A. Tishkov, Y. E. Malyasova, O. N. Solomina & E. O. Ives. 1985. Reconstruction of the development of vegetation in arctic high latitudes. - Polar Geogr. Geol. 9: 308 - 320.
- Skye, E. 1989. Changes to the climate and flora of Hopen Island during the last 110 years. - Arctic 42: 323 - 332.
- Srodon, A. 1960. Pollen spectra from Spitsbergen. - Fol. Quatern. 3: 1 - 17.
- Summerhayes, V. S. & C. S. Elton. 1928. Further contributions to the ecology of Spitsbergen.- J. Ecol. 16: 193 - 268.
- Surova, T. G., L. S. Troitskiy & Y.- M. Punning. 1982. The history of glaciation on Svalbard during the Holocene based on botanical investigations. Materialy gl'yatsiologicheskikh issledovaniy. Khronika, obsuzhdeniya 42.
- Vorren, T. O., K.-D. Vorren, T. Alm, S. Gulliksen & R. Løvlie. 1988. The last deglaciation (20,000 to 11,000 B.P.) on Andøya, northern Norway. - Boreas 17: 41 - 77.
- Woo, M, K. L. Young & S. A. Edlund. 1990. 1989 observations of soil, vegetation, and microclimate, and effects on slope hydrology, Hot Weather Creek basin, Ellesmere Island, Northwest Territories. - Current Res., Part D, Geol. Surv. Canada, Paper 90-1D, s. 85 - 93.
- Zelikson, E. M. 1971. A palynological investigation of a Holocene peat deposit on Svalbard. I: Neustadt, M. I. (red.): Palinologija golotsena (Holocene palynology). Third Int. Palynolog. Conf., Novosibirsk, USSR, 1971, s. 199 - 212. Moscow, Nauka.
- Zinger, E. M., V. S. Koryakin, V. A. Markin, L. C. Troitskij, V. I. Mihalev & N. A. Timofeyeva. 1985. Olednenie i vechnaya merzlota. Ostrov Jan-Mai. Shpitsbergen. I: Treshnikov, A. F. (ed.). Atlas arktiki, s. 111 - 112.

KAPITTEL 7

Zbigniew Jaworowski
Norsk Polarinstitut
P.Boks 158
1330 Oslo Lufthavn

Kapittel 7: Virkninger av klimaendringer på dyrelivet i Arktis.

KAPITTEL 7 VIRKNINGER AV KLIMAENDRINGER PÅ DYRELIVET I ARKTIS

INNLEDNING

En utredning om virkninger på dyreliv i polarområdene av en antatt øking i årstemperaturen på 2° - 3° C i år 2030, må nødvendigvis bli preget av følgende:

- Det foreligger svært lite relevant litteratur om emnet, både når det gjelder historiske data og studier fra idag. For Antarktis' vedkommende har vi overhodet ikke kommet over relevant litteratur. Litteraturen om leddyr-faunaen på land (spretthaler, insekter, edderkoppdyr osv.) er også så sparsom at disse dyregruppene stort sett også er utelatt.

- En temperaturøkning vil i liten grad påvirke dyrelivet direkte. Stort sett vil det dreie seg om indirekte påvirkning, gjerne gjennom komplekse, mer eller mindre ukjente, årsak-virkningskjeder. Virkningen på polarrev er f.eks. avhengig av virkningen på faktor-kjeden permafrost og nedbør - vegetasjon - rein og rype og på kjeden fra havis/havstrømmer og opp gjennom hele den marine næringskjeden. Forutsigelser om virkninger blir like usikre som produktet av usikkerhetene som er knyttet til hvert enkelt ledd.

- I polarområdene er alle marine pattedyr, de fleste fuglene og i varierende grad også de terrestre dyrene avhengige av den marine næringskjeden. Havforskningsinstituttet lager en egen utredning om virkninger på de grunnleggende prosesser i det marine økosystemet. Inntil resultatene derfra er tilgjengelige, har det liten hensikt å gå detaljert til verks med å forutsi virkninger på artene på toppen av næringskjeden.

På grunn av disse begrensningene er utredningen kortfattet, og den omtaler knapt Antarktis og knapt terrestre leddyr. Utredningens utsagn om virkninger på polare dyr av den antatte temperaturøkningen har stort sett karakter av kvalifisert gjetting.

PALEONTOLOGISKE DATA

Paleontologiske undersøkelser er sannsynligvis den beste kilde til informasjon om de effekter en klimaendring vil ha på det arktiske økosystemet. Nesten 200 år med paleontologiske studier har presentert rikelig med materiale, som viser at variabilitet og endringer i arters og økosystemers utbredelse er typiske og helt vanlige trekk for livet på jorda. Livet på jorda er i stadig forandring og utvikling. Vellykkede tilpasninger til miljøet i en tidsperiode er ofte dårlige tilpasninger i andre perioder. At varter endrer sitt utbredelsesområde eller dør ut er naturlig og vanlig. Før eller senere dør alle arter ut. Når dette skjer skyldes det ofte endringer i geografisk utbredelse og bestandsdynamiske forhold (Martin & Klein 1984).

For å kunne anslå de effektene en eventuell klimaforandring vil ha på økosystemene inn i det neste århundret, er det særlig de paleontologiske data fra Pleistocene og historisk materiale fra det siste årtusenet som er relevant. Disse dataene kan gi opplysninger om arter som har dødd ut, endringer i geografisk utbredelse og bestandsdynamiske forhold.

I Pleistocene døde ca. 150 pattedyrslekter ut (Anderson 1984), og sannsynligvis enda flere andre dyrearter og planter. Siden begynnelsen av det 19. århundre har paleontologer prøvd å finne forklaringen på dette, og klimatiske årsaker har vært framsatt som en av teoriene. Likevel finnes det fortsatt ingen god forklaring på hvorfor dette har skjedd.

Biogene mangler teorier som kan forutsi de forskjellige organismenes respons på forandringer i klima, og mange av de klimatiske teoriene for utdøing i Pleistocene er basert på relativt usikre korrelasjoner. Dette har gjort det svært vanskelig å teste forandringer i arters utbredelse som følge av klimaendringer (Grayson 1984).

Gordon & Lundelius (1984) og Guthrie (1984) hevder at oppvarmingen i den mellomistidsperioden vi nå gjennomlever er sterkere enn i tidligere tilsvarende perioder. De mener denne perioden har sterkere sesongvariasjoner, dvs. varmere somre, kaldere vintre og større forskjeller i nedbør og luftfuktighet mellom sesongene. Derfor kan klimarelaterte økologiske endringer som har skjedd i tidligere tider gi en pekepinn om effektene av en eventuell klimaendring pga. økt drivhuseffekt i nær framtid, som vil gi større sesongvariasjoner i polarområdene (Ramanathan et al. (1979).

Ifølge Grayson (1984) må en forklaring på utdøingen i Pleistocene inneholde tre elementer:

1. Utdøing bør kunne korreleres med en periode med endringer i klima.
2. Størrelsen på de klimatiske endringene (f.eks. økning i sesongvariasjon) må kunne korreleres med antall arter som dør ut.
3. Mekanismene må kunne forklares.

Disse tre elementene er nødvendige for å forstå hvilke effekter klimaendringer har hatt på økosystemene i polområdene tidligere og hvilke de vil få i fremtiden.

Men det synes nesten umulig å ta skrittet fra de klimatiske korrelasjonene til klimatiske årsaksforhold (dvs. å gi mer spesifikke forklaringer enn utsagn av typen "uvanlig høy dødelighet i Pleistocene kan best sees som en naturlig konsekvens av endringene i faunaen, forårsaket av store svingninger i klima og uensartethet miljø" (Gingerich 1984)). Som nevnt skyldes dette hovedsaklig manglende generell biologisk teori for sammenhengen mellom endringer i klima og de levende organismers respons. Selv om to av de ovenfor nevnte

elementene er oppfylt mangler ofte det tredje. I Pleistocene døde f.eks. flere pattedyrarter, men få plantearter ut, noe som viser at element 3 mangler. Hvordan kan klimaendringer ha ført til at mammuten og det bakkelevende kjempedovendyret i Nord-Amerika og Eurasia døde ut, mens plantene de levde fremdeles finnes i disse områdene (Grayson 1984)?

En viktig observasjon er at det er omvendt sammenheng mellom utdøingsrater og populasjonsstørrelser (proporsjonal med areal og populasjonstetthet), noe som ser ut til å gjelde uansett tidsepoke. Det synes å være en klarere sammenheng mellom utdøing og lav bestandstetthet hos store enn hos små dyr. Forandringer i diversitet i økosystemer ser ut til å ha hatt liten innflytelse på utdøingen av pattedyr i Pleistocene (Gingerich 1984). Dette har stor betydning for hvilke virkninger man kan vente av klimaendringer i polområdene.

De arktiske økosystemene er lenge blitt regnet som følsomme og sårbare, særlig på grunn av lav diversitet (Elton 1927, Dunbar 1973). Denne oppfatningen er etterhvert endret (Larsen 1985, Sugden 1989). Systemenes stabilitet og evne til å overleve over lange perioder er sannsynligvis god. Dette skyldes bl.a. artenes meget store utbredelsesområde, noe som gjør det mulig for dyr å trekke seg til uberørte områder og som gir skadete områder mulighet til å bli restituert. Ifølge Larsen (1985) er "arktiske planter og dyr er sanne opportuniste. Selv om de lever under ekstreme naturforhold er de godt tilpasset for å overleve. Som enkeltindivider kan de normalt tolerere store fluktusjoner i klimaforholdene".

Dette er sannsynligvis årsaken til at arktiske pattedyr har opprettholdt relativt stabile bestander gjennom lange perioder med endringer i klima. F.eks. kan en datere isbjørnen (Ursus maritimus) tilbake til 350.000 år BP (Kurten 1972). Denne artens utbredelse og habitat har antakelig variert kraftig gjennom de glisiale og interglisiale periodene den har gjennomlevd, i takt med bl.a. endringer i kystlinjer og grenser for hav-isens utbredelse (Vereschagin 1969). Isbjørnen er spesialisert for et liv i Arktis, og er slik vi kjenner idag avhengig av å finne sel i isen. En fullstendig tilbaketrekning av hav-is dekket vil medføre at isbjørnen dør ut. Det at arten fortsatt finnes etter 350 000 år indikerer at havområdene i Arktis aldri har vært helt isfri i denne perioden, selv ikke under det postglisiale klima-optimum ca.6000 år BP, da temperaturen var opptil 7° C høyere enn idag. Dette bekreftes forøvrig av geologiske undersøkelser.

Likevel kan miljøet isbjørnen levde i til tider ha vært endel forskjellig fra idag. Dette kan ha ført til at artens levevis var tilsvarende forskjellig (Vereschagin 1969). At isbjørn fortsatt spiser tang, gress og mose, er istand til å fange fugl på sjøen og i historisk tid fanget laks i elver (Lønø 1970, Larsen 1985) viser at den har potensiale for en viss økologisk fleksibilitet.

HISTORISKE DATA

Gjennom de siste tusen år har mange arters utbredelse vært lokal og utbredelsen har ofte vært relatert til klima. Mennesket er ingen unntakelse; f.eks. kan de norrøne koloniseringene av Island, Grønland og Newfoundland relateres til varmeperioden mellom 900 og 1300 e.Kr. Også den etterfølgende avfolkningen av det norrøne Grønland og Grønlandeskimoenes forflytting sørover i den kalde perioden mellom 1300 til 1500 e.Kr. eksemplifiserer klimaets betydning for hvordan arter og bestander er utbredt.

De klimatiske betingede bestandsendringene gjennom de siste århundrer har sjelden medført at arter har dødd ut, men heller forårsaket lokale svingninger i utbredelse og tetthet (Diamond 1984). Fluktuasjonene i klimaet i denne perioden kan da heller ikke sammenlignes med svingninger de siste 5 millioner år. I dette tidsrommet var det i Nord-Amerika fem perioder som medførte at mange plante- og dyrearter døde ut. Tre av disse kan korreleres med avslutning av istider.

I den siste av disse periodene trakk ca. halvparten av pattedyrene som forsvant i Nord-Amerika til de mer tropiske delene av Amerika.

Endel av artene som døde ut i Pleistocene er blitt "erstattet", f.eks. kortsnutet bjørn (Arctodus simus), elg-arten Cervalces scotti, kjempe-ulven Canis dirus og flere bever-arter (Castorides sp.) med heholdsvis brunbjørn (Ursus arctos), elg (Alces alces), ulv (Canis lupus) og andre beverarter (Castor sp.).

TEMPERATUREFFEKTER

På Island er flere hekkende fuglearter særlig følsomme for endringer i lufttemperatur. Dette skyldes i stor grad at Island ligger i den nordlige marginalsonen for mange sørlige arter og i den sørlige marginalsonen for mange nordlige arter. I perioden 1870 - 1970 økte temperaturen både på Island og i havet omkring. Økningen var størst i vintermånedene (opptil 2,5°C) og minst i juni. Ti sørlige fuglearter som tidligere hekket på Island har etablert seg igjen i siste halvdel av dette århundret. Syv sørlige arter har startet hekking på Island, men ikke klart å etablere seg. To arter som tidligere bare hekket på de sør-Island hekker nå også nord på øya. Fem arter som tidligere bare hekket på Island lever der nå også om vinteren. Seks arter som hekker på kontinentet begynte omkring 1950 å overvintre på Island. Fire av dem hekker nå også der.

To arktiske arter som tidligere hadde Island som sitt sørligste hekkeområde (havelle, Clangua hyemalis og alkekonge, Alle alle) er gått sterkt tilbake. Alkekongen er nærmest fullstendig borte.

Endringene i hekkearter på det eurpeiske kontinentet fra 1830 til 1940 illustrerer viktigheten av i hvilken periode på året temperaturtrenden er mest markert. I denne perioden steg vintertemperaturene i nordlige og sentrale deler av kontinentet. I sentrale deler ble somrene kaldere. Konsekvensene var:

1. Etablerte standfugler trakk nordover.
2. Arter som tidligere overvintret i sør-Europa eller Nord Afrika trakk tidligere og lengre nordover på våren, og hekket i april og mai.
3. Arter som trakk nordover senere og hekket i mai - juli trakk nå kortere nordover.

Forskjellige arter i det samme området reagerte altså ulikt mht. utbredelse på grunn av endringene i sesongvariabilitet.

Temperaturavhengige endringer i utbredelse har også ført til kryssninger mellom nordlige og sørlige fuglearter. Dette har f.eks. forekommet mellom gråsisik (Acanthis flammea) og polarsisik (A. hornemanni) på Grønland, Island og Skandinavia, og mellom gråmåke (Larus argentatus) og polarmåke (L. hyperborealis) på Island (Diamond 1984).

NEDBØREFFEKTER

Kortvarig nedgang i fuglebestander ble godt eksemplifisert i forbindelse med tørkeperioden i Sahel i 1968. Bestanden av tornsanger (Sylvia communis) som overvintret i Vest-Afrika sør for Sahara hadde dette året en nedgang på 77% i Storbritannia og 60% på kontinentet. Det var også nedgang for sivsanger (Acrocephalus schoenobaenus), rødstjert (Phoenicurus phoenicurus), grå fluesnapper (Muscapa striata), hagesanger (Sylvia borin) og gul-ørle (Motacilla flava). Disse artene var ikke tilbake på opprinnelig nivå før tidlig på 1980-tallet.

I tørre år dør moldvarpen-arten (Talpa caucasica) ut i store områder i det vestlige Kaukasus. Etter tørre vintre er Jordrotte-arten Microtus socialis lokalt utryddet i østlige Transkaukasus. Dette er eksempler på lokale endringer av arters utbredelse pga. endringer i nedbør. Mange lignende eksempler er kjent fra andre regioner (Diamond 1984).

NYERE HISTORISKE DATA FRA ARKTIS

En av de meget få sammenstillinger av historiske klima- og faunadata for arktis er utført av Vibe (1967). Arbeidet behandler bl.a. de arktiske dyreartenes utbredelse og bestands-svingninger, og konkluderer med at de klimatiske forholdene har hatt avgjørende på arktisk

dyreliv også i nyere tid. Selv om datagrunnlaget er varierende og konklusjonene derfor nødvendigvis beheftet med usikkerhet, gir arbeidet viktige indikasjoner på mulige sammenhenger mellom faunaens utvikling og klimaet. Dette kapitlet gjengir derfor endel hovedpunkter fra arbeidet:

Vibe legger vekt på at de arktiske havstrømmenes relative styrke er viktig for klimasituasjonen i Arktis. Han mener hav-is utbredelsen er en god indikator for klimaet. På Island har en hav-is observasjoner helt tilbake til 1100 e.Kr. Fravær av hav-is rundt Island kan markere en kald periode fordi isen har "stagnert" lenger nord. Slike perioder har vært observert omkring år 1150, 1360 og 1550. Mye hav-is markerer sannsynligvis begynnelsen på en varmere periode med oppbrekking og smelting av isområdene i nord. Slike perioder forekom etter år 1200, etter 1600 og etter 1740 og 1860. Liten isdrift kan indikere en varm periode med lite is i havområdene i Arktis, som f.eks rundt 1500 og etter 1920.

Vibe mener videre å kunne påvise at svingninger i klimaet har hatt store konsekvenser for flere dyrearter, bl.a. for grønlandshvalen (Balaena mysticetus) som tilbringer store deler av sommeren i havområdene over kontinentalskråningen der havdypet er mellom 200 til 1000 m. Når disse områdene er dekt med driv-is må hvalene trekke langre sørover. Dette har ført til at grønlandshval sulter. Det er særlig når driv-isen ligger langt utpå sommeren at følgene kan være katastrofale både for den sesongmessige rytmen og for den biologiske produksjonen.

Gjennom de siste par hundre årene har utbredelsen til mange sjøpattedyr og enkelte fuglearter på øst- og vestsiden av Baffinbukta og Davisstredet ifølge Vibe vist samvariasjon med endringer i havstrøm- og driv-is forholdene. I årene mellom 1810 og 1960 kan en skille mellom tre klimaperioder som reflekterer tre epoker i isdriften som Øst-Grønland strømmen fører Davisstredet: (1) en meget kald stagnasjonsperiode mellom 1810 og 1860; (2) en noe mildere periode mellom 1860 og 1910; og (3) en meget mild smelteperiode mellom 1910 og 1960.

Hekkeområdene for ærfugl (Somateria molissima) på Grønland hadde sin største sørlige utbredelse i første halvdel av forrige århundre. Etter den tid har populasjonen avtatt, noe Vibe ser i sammenheng med økt isdrift gjennom Davisstredet seint på sommeren. Særlig har dette vært tilfelle for årene omkring 1840 og i lange perioder mellom 1860 og 1910. I slike perioder har ærfuglen hatt bedre hekkeforhold i de nordlige delene av både Davisstredet og Baffinbukta enn i sør.

Vibe finner at utbredelsen av ringsei (Phoco hispida) fulgte svingningene i isdrift både før og etter 1800-tallet. Stagnasjonen i isdriften etter 1817 medførte en bestandssøkning. Under Øst-Grønland Isens store fremrykninger mellom 1860 og 1910 fulgte store mengder ringsel drivis-kanten sørover og vestover rundt Kap Farvel. Dette var sannsynligvis særlig yngre

individer som ikke var istand til å overvintre i den tykke driv-isen på østkysten av Grønland. Ringselen har siden 1910 holdt seg på østkysten av Grønland, men kalde vintre mellom 1945 og 1960 gjorde at antallet igjen økte i sentrale deler av Vest-Grønland.

Antall isbjørn (Ursus maritimus) på Nordvest-Grønland økte samtidig med økningen av ringsel etter 1817. Isbjørnene kom ifølge Vibe fra nord- og vestsida av Baffinbukta. Siden 1868 synes antallet igjen å ha minket. Isbjørnene på Sørvest-Grønland kommer med driv-isen og ble observert i relativt store antall mellom 1860 og 1910. Siden da har isdriften i Davisstredet avtatt, og det observerer nå lite isbjørn langs vest-Grønland.

Vibe mener videre det er sammenheng mellom nedbørsmengden og den grønlandske rypebestandens (Lagopus mutus hyperboreus) ca. 11 års syklus. Toppår synes å opptre i perioder med minimalt antall nedbørsdøgn med minimal nedbør.

Økningen av antall moskusfe (Ovibos moschatus) på Nordøst-Grønland etter 1823 tilskrives de stabile klimatiske forholdene mellom 1810 og 1860. Den etterfølgende ustabile perioden mellom 1860 og 1910 faller sammen med en nedgangsperiode for moskus og rein i denne regionen. Gjennom den første halvdel av den milde perioden mellom 1910 og 1960 nøt moskusen godt av store snøfrie arealer og økt vegetasjonstetthet. Etter 1938/39 var imidlertid moskusen på Nordøst-Grønland utsatt for flere år med stor dødelighet blant yngre kalver og eldre dyr. Vibe setter årsaken i sammenheng med isforholdene i Grønlandshavet. Store isfri havområder kan ha ført til mer nedbør over Nordøst-Grønland, tykkere snødekke og ising på bakken, og gjort det vanskelig for moskusen å finne føde om vinteren.

I den klimatisk stabile perioden (isdrift-stagnasjon) mellom 1810 og 1860 var det svært mye rein (Rangifer tarandus platyrhynchus) på Vest-Grønland, mens det var lite rein i den ustabile, fuktigere perioden (stadige dravis-framstøt) mellom 1860 og 1910 (Vibe 1967). Om vinteren er reinen avhengig av å finne områder der den kan nå ned til vegetasjonen. Derfor er Föhn-vinder som blottlegger vegetasjonen om vinteren fordelaktige for reinen, mens mildt, nedbørrikt vinterervær hvor det kommer store snømengder eller vegetasjonen iser ned er ufordelaktig. I Thule distrikt og områdene omkring Nordvestpassasjen avtok antallet rein betydelig i tiårene med mye vinternedbør fram mot 1800-tallet. Samtidige reinsdyrkatastrofer i Canada gjorde at mange ulveflokker trakk til Grønland og bidro til desimeringen av reinen fram mot 1900-tallet.

KONKLUSJONER

Endringer i klima vil i utgangspunktet ha minst innvirkning på de arter som er best "beskyttet" mot slike endringer, de varmblodige, og størst effekt på de som er minst "beskyttet", de vekselvarme. Men det paleontologiske materialet tyder på at pattedyrene er den gruppen

som har vært sterkest utsatt for utdøinger gjennom istidene. Hvorfor har ikke disse klimasvingningene rammet insekter, fisker, amfibier og krypdyr like hardt? Dette spørsmålet finnes der fremdeles ikke noe svar på (Diamond 1984).

Det eksisterer sterke paleontologiske indisier på at arter med liten bestandstetthet er særlig følsome for endringer i klima (Gingerich 1984). Kjøttetende dyrearter har vært dødd ut relativt oftere utdøing enn planteetere, og spesialister oftere enn generalister. Dette er hovedtrekkene for den naturlige utdøingen.

Da de kontinentale iskappene trakk seg tilbake på slutten av Pleistocene medførte det en kraftig økning av produktiviteten i økosystemene og i tilgangen på egnet habitat i Nord Amerika, Europa og Asia. Mot slutten av mellomis-periodene avtok derimot produktiviteten og de vegetasjonsdekte arealene. En skulle derfor vente at de største klimarelaterte utdøingene har skjedd under istidsperiodene, mens utdøingen har vært minst under mellomistidsperiodene.

I løpet av de siste 21 millioner år har det marine økosystemet vært gjenstand for biogeografiske forandringer, regionale utdøinger, endringer i utbredelsesforhold og begrensninger av refugier. I de nordvestlige havområdene i Arktis har fire av de femten dyrerekkene som lever der gjennomgått forandringer i utbredelse. Disse fire artene lever f.eks. ikke lenger langs den arktiske kysten av Alaska. I løpet av de siste 5 millioner år (siden tidlig Pliocene) har 20 - 40% av molluskfaunaen i det nordlige Stillehavet dødd ut. For det nordøstlige Atlanterhavet er tallet ca. 50% og for områdene rundt Island 52% (Vermeij 1989). Blant de mange teorier som er foreslått som forklaring er også klima; stadige skiftninger mellom oppvarming og avkjøling.

Nyere radiokarbondateringer har gjort det mulig å angi en absolutt datering for det postglasiale klimatiske optimum på Svalbard (Salvigsen 1990). Ifølge Salvigsen gir molluskfaunaen indikasjoner på havtemperaturene. Resultatene viser at en har hatt de varmeste havtemperaturene i Arktis for mellom 7800 år til 9500 år siden. Dette er i samsvar med breifluktasjonsstudier gjort av Koerner & Fisher (1990). For 3800 år siden inntraff en kuldeperiode som medførte utdøing av flere molluskarter. For ca. 1000 år siden kom flere av disse molluskene tilbake igjen, noe som indikerer varmere forhold igjen. Dette er i samsvar med historiske hendelser, som koloniseringen av Island, Grønland og New Foundland.

Det paleontologiske materialet indikerer at varmeperiodene fra Miocene og framover stort sett ikke har hatt andre virkninger enn en forflytting av arter over breddegradene.

En kraftig nedgang av produksjonen av plankton har også blitt postulert som en mulig årsak for de regionale utdøingene av den marine faunaen (Vermeij 1989). Nedgangen i den planktoniske produksjonen skyldes lavere havtemperaturer og mindre lys.

Tilgjengelige paleontologiske, og i enda større grad zoologiske data gir dårlig grunnlag for forutsigelser av biologiske virkninger av en antatt klimaendring fram mot år 2030.

VIRKNINGER PÅ ARKTISKE DYR

Med et mulig unntak for de terrestriske leddyrene er det lite trolig at en øking i middeltemperaturen i Arktis på 2 - 3° C vil ha videre virkning på dyrelivet. Eventuelle virkninger på dyr som står nær toppen av næringskjeden vil oppstå indirekte via andre faktorer som blir påvirket av oppvarmingen. Dette kan være sluttresultater av mer eller mindre ukjente, ofte komplekse kjeder med årsaker og virkninger. Når vi skal vurdere den endelige virkningen har vi derfor med oss produktet av alle usikkerhetene som er knyttet til leddene i kjeden.

Allerede hver for seg er usikkerhetene meget store. Særlig vet vi lite om sentrale faktorer som struktur og funksjon, og dermed aktuelle påvirkningsveier, i økosystemene som omgir de forskjellige dyrene. Vi vet også lite om de enkelte individers og bestanders evne til å motstå eller tilpasse seg miljøendringer. Tilsynelatende ubetydelige faktorer kan vise seg å være avgjørende for hvordan en bestand klarer seg, selv om det er god margin til andre, tilsynelatende viktige begrensninger. F.eks. betyr det mindre at sommerbeitene for Svalbardrein kunne tåle langt flere dyr enn idag. Det er tilgangen snø- og isfrie beiteområder om vinteren som er begrensende.

Eventuelle virkninger av en temperaturøkning i Arktis kan derfor bare anslås i meget generelle vendinger. Det er ikke gjort forsøk på å anslå endringer i bestander og utbredelse..

Virkningsmekanismer:

I utgangspunktet er det rimelig å anta at dyreartene med de mest robuste og fleksible individene vil tåle en klimaendring best. Et varmblodig dyr har evnen til å holde kroppstemperaturen konstant og være aktive over et spekter på flere titalls grader, og kan gjerne møte endrede miljøforhold med avanserte og fleksible atferdsmønstre. Et vekselvarmt dyr er langt mindre motstandsdyktig og tilpasningsdyktig, i alle fall så lenge det er aktivt (se Zachsariassen and Aunaas 1989).

På lengre sikt er det imidlertid ikke bare enkeltindividenes, men like mye bestands tilpasningsevne som er viktig (forutsatt at et tilstrekkelig antall enkeltindivider i det hele tatt overlever). Artenes "langsiktige strategier" kan forenklet plasseres på en skala mellom ytterpunktene "r-seleksjon" og "K-seleksjon":

Karakteristisk for arter som i stor grad er "r-selektert" er høyt reproduksjons-potensiale, lite

ungelpleie, kort levetid, liten kropp, liten evne til fleksibel atferd og til å beskytte seg mot negative miljøfaktorer. Mange eksempler blant insektene. Smågnagere er typisk r-selekterte pattedyr.

Karakteristisk for arter som er "K-selektert" er lavt reproduksjons-potensiale, lang ungelpleie, langt liv, stor kropp, og god evne til fleksibel atferd og til å beskytte seg mot negative miljøfaktorer. Mange eksempler blant store rov-pattedyr, inkl. mennesker.

I løpet av sin levetid kan et K-selektert dyr tåle langt større miljøendringer enn et r-selektert. Men i den store mengden avkom fra r-selekterte dyr er det en viss genetisk variasjon som gir mulighet for at noen individer er bedre tilpasset det forandrede miljøet enn foreldregenerasjonen. I en K-selektert bestand er denne muligheten mye mindre. Når en miljøendring strekker seg over flere generasjoners levetid kan derfor individuelt sett sårbare, r-selekterte arter kanskje klare seg bedre enn robuste, K-selekterte. Dette kan være en årsak til at pattedyrarter døde hyppigere ut i løpet av istidene enn mange vekselvarme dyregrupper.

Polarområdene har grovt sett hatt samme type miljø over lang tid, mens variasjonene er stor mellom seonger og år og mellom lokalområder. Mange høyere arktiske dyr er følgelig stor grad av K-selektert. Isbjørn blir over 20 år gammel, enkelte sel- og sjøfuglarter enda eldre. Innen visse grenser vil disse artene være ganske motstandsdyktige mot miljøendringer. Hvor grensene går er ukjent, men det virker rimelig å ta utgangspunkt i hvorvidt dominerende faktorer som fysisk miljø og næringstilgang kan ventes å endre seg.

Konklusjonene i de foregående utredningene om virkninger av en temperaturøking på permafrost, breer, hav-is og vegetasjon gir ikke grunn til å vente miljøforandringer som vil gi drastiske virkninger på landdyr, fugl eller sjøpattedyr. Hvis havisen ikke blir vesentlig endret, vil et helt sentralt miljøelement i arktis bestå. Det er dessuten mye som tyder på at havisen virker stabiliserende på det regionale klimaet. En meget stor usikkerhetsfaktor i dette resonnementet er imidlertid hva som vil skje med havtemperatur, havstrømmer og primær- og sekundærproduksjon i havet. Dette påvirkes dels av faktorer utenfor Arktis, og resultatene vil få avgjørende innflytelse på mesteparten av det arktiske dyrelivet.

Virkninger på terrestriske arter:

Leddyr: Arktis og Antarktis har en relativt rik fauna av terrestriske virvelløse dyr. Disse har stor økologisk betydning. Fysiologien til disse artene er mindre studert i Arktis enn i Antarktis. Ifølge Zachariassen og Aunaas (1989) er det vanskelig å si noe om effekter temperaturforandringene vil ha på stoffskiftet og generelle biologiske forhold for insekter på Svalbard. Vi har derfor ikke grunnlag for å vurdere virkninger på dyregrupper som insekter, edderkoppdyr, spretthaler m.fl. i særlig utstrekning. Det synes rimelig å anta at økt temperatur, økt vegetasjonsdekke og frodighet (og dermed kanskje ytterligere bedret mikroklima og økt

sesonglengde) vil virke generelt positivt på de fleste leddyr-artene, og spesielt på de relativt varmekjære. En rekke uforutsigbare endringer i dominans og konkurranseforhold kan oppstå. Dersom det oppstår utbredt kraft-vegetasjon, rikere myrer og tjem i sentrale deler av Spitsbergen, er det f.eks. tenkelig at bestandene av stikkmygg i disse områdene kan øke betraktelig.

Svalbard-rein (Rangifer tarandus platyrhynchus) beiter på et nokså bredt spekter av planter. Den er idag ikke utbredt i alle områder som later til å by på egnet og tilgjengelig rein-habitat på Svalbard, og later til å spre seg meget langsomt. Økt areal med vegetasjons-dekke, og økt produktivitet i vegetasjonen vil øke Svalbards potensielle bæreevne for rein. Men det er tilgjengelig vinterbeite regnes som begrensende faktor for de enkelte lokal-bestandene. Antakelig utnyttes ikke sommerbeitene fullt ut engang idag. Evt. økt vinter-nedbør og ising pga. mildere og fuktigere klima kan begrense tilgangen på vinterbeiter ytterligere, og dermed redusere den reelle bæreevnen betydelig. En mulig tilleggsvirkning av en temperaturøkning kan være at mengden stikkmygg øker slik at det blir til plage for reinen. Reinen er nå ikke tilpasset insektplage, og kan komme til å reagere negativt.

Polarrev (Alopex lagopus) har et relativt høyt reproduksjonspotensiale (mest r-selektert av de naturlig forekommende pattedyra på Svalbard). Den er tilpasningssdyktig og en nærings-opportunist. Ved en temperaturøkning vil polarreven evt. bli påvirket omtrent utelukkende gjennom næringstilgangen, dvs. gjennom tilgang på sjøfugl, ender, gjess, ryer og rein- og selkadavre. Reven er m.a.o. sterkt avhengig av det marine økosystemet. Negative effekter her kan påvirke rev negativt. Arten har imidlertid trolig stor evne til å utnytte alle matres-surser som måtte være tilgjengelige.

Smågnagere finnes ikke naturlig på Svalbard. Det er tenkelig, men helt uvisst, at bestandene som lever forvillet ved bosetningene kan utvide leveområdene sine noe i de mest temperaturgunstige sonene.

Svalbardrype (Lagopus mutus hyperboreus) vil få potensielt økt næringstilgang hvis produktivitet og vegetert areal øker. Det er uvisst om den kan utnytte et slikt potensiale, eller om f.eks. tilgjengelige vinterbeiter er begrensende faktor. Rypa følger ofte reinen for å gjøre seg nytte av områder der den har fjernet snølaget for å komme til vegetasjonen. Kortnebbgås (Anser brachyrhynchus), kvitkinngås (Branta leucopsis) og ringgås (Branta bernicla) vil alle få økt potensiell næringstilgang hvis produktivitet og vegetert areal øker. Dette trenger imidlertid ikke medføre økte bestander eller utvidete leveområder. Mye tyder på at overvintringsområdene på kontinentet og de britiske øyer er den begrensende faktor, muligens også rasteplasser på trekkrutene. For ringgås kan hekkeplasser være begrensende. Denne arten ser ut til å bli fortrent av kortnebbgås i konkurranse om reirplasser. Kortnebbgås og kvitkinngås har vist jevn øking de siste tiår, noe som ikke tyder på at næring foreløpig er begrensende faktor på Svalbard

Virkninger på marint tilknyttede arter:

Betydelige endringer i havisen ville føre til en alvorlig miljøforandring og trolig bestands-tilbakegang for arter som isbjørn, ringsel (Phoca hispida), storkobbe (Erignathus barbatus), hvalross (Odobenus rosmarus), og trolig for alkefugl og flere av Svalbards andre sjøfuglarter.

Sålenge dette ikke ventes å inntreffe, er det virkningene på det marine økosystemet som vil få størst betydning for de marint tilknyttede arktiske artene. Inntil disse virkningene på økosystemet i havet er utredet er det ikke grunnlag for å anslå virkninger for arter som ærfugl (Somateria mollissima) og andre ender, måker, joer, alkefugl, sel, isbjørn og hval. Følgende sider ved virkningene på det marine miljøet vil imidlertid ha særlig betydning:

- Primærproduksjonen er grunnlaget for den potensielt tilgjengelige næringen. Økt vanntemperatur kan føre til økt produksjon.
- Produksjonen av nøkkelarter som Parathemisto libellula, polartorsk (Boreogadus saida) og lodde (Mallotus villosus) bestemmer potensiell næringsmengde for de fleste sjøfugl, sel og hval.
- Lokalisering og tidsrom for forekomster av næringsdyrene bestemmer hvor mye av den potensielle næringsmengden som faktisk kan utnyttes. Evt. endringer i havstrømmer, isutbredelse og vanntemperaturer kan følgelig også påvirke næringstilgangen uavhengig om mengden potensiell næring øker eller avtar. Det er f.eks. tenkelig at flytting nordøstover av loddegytingen pga. økt vanntemperatur kan påvirke de store alkefugl-koloniene.

Blindheim (1989) og Loeng (1989a, 1989b) har studert økologiske forhold i tilknytning til økonomisk utnyttbare ressurser i Nord-Atlanteren og i Barentshavet. De klimatiske forholdene i disse områdene er stor grad styrt av innstrømming av Atlantisk vann. Produksjonen av plankton avhenger av variasjonen i lys, vann og isforhold og endringer i næringsgrunnlaget (Demel og Rutkovicz 1958).

Den marginale hav-is sonen, som veksler mellom å være isfri og dekt av is, utgjør ca. 7% av de globale havområdene. Denne sonen kan variere fra noen få meter til flere hundre km i bredde. Det kan derfor være store forskjeller mellom sonene m.h.t. salinitet, temperatur, strømforhold og til den biologiske prosesser og sammensetning. Dette er særlig tilfelle på vårparten når isen begynner å brette opp og trekke seg tilbake. Oppblomstring av planteplankton er vanlig langs iskanten og den øvrige biologiske produksjonen er nært knyttet til dette. Særlig er overgangen mellom vinterisen og vårmeltingen etterfulgt av en overgang fra ikke lagdelte til lagdelte vannmasser. Lagdelingen resulterer i en økning av produksjonen av planteplankton, men samtidig reduksjon av næringsstoffer i de grunne

blandete lagene. Det er indikasjoner på at en fordypning av lagdelingen øker biomassen (Niebauer og Smith 1989).

De marginale issonene er viktige områder i det marine polare økosystemet (se sammen- drag i Sakshaug og Skjoldal 1989). Dette er områder der produksjonen av planteplankton er stor. De viktigste artene som overfører føde fra primærproduksjonen er lodde i Arktis og krill i Antarktis. Utbredelsen av lodde følger primærproduksjonen, mens de høyere artene i næringskjeden særlig følger loddene. Generelt er den store biologiske aktiviteten langs iskan- ten betinget av oppblomstringen av planteplankton og isalger. For sel og sjøfugl er iskanten i sommerhalvåret det området som innehar de største konsentrasjonene av føde.

Ifølge Loeng (1989a,b) vil en øking av havtemperaturen forårsake høyere produktivitet i Barentshavet, sannsynligvis også i Israndsonen. I løpet av de siste 80 årene har tempera- turen i Barentshavet variert med ca. 3° C mellom de kalde og varme årene. Disse endringene har hatt dramatiske effekter på produktiviteten. Forekomsten av rike årsklasser av torsk og andre arter økte med en faktor på 10 i de varme årene i forhold til de kalde. Oppvekstområdene for lodde er mange ganger større i varme år enn i kalde (Loeng 1989b). Hval har vist en tilsvarende temperaturrelatert trend, men med lengre responstid (Loeng 1989b).

Dersom scenariets lufttemperatur-øking også fører til økt temperatur i havet, vil dette altså trolig medføre økt produksjon. Den endelige ressursmengden som blir tilgjengelig for arktiske sjøpattedyr og -fugl, vil imidlertid avhenge av en rekke andre naturlige faktorer, og av hvor store ressurser som tas ut av fiskeflåtene (Egelhardt 1985).

ENDRINGER I ØKOSYSTEMER I FERSKVANN

De estimerte endringene i lufttemperaturen i Arktis er sannsynligvis for små til å ha noen innflytelse på økosystemene i ferskvann, både som en direkte følge av vanntemperatur eller som endringer i ferskvannenes volum. Den estimerte havnivåhevingene på mellom 0,2 til 0,3 m vil ha liten innflytelse på ferskvannsforholdene på Svalbard. De fletse ferskvann på Svalbard ligger flere meter over dagen middelvannstand.

FORSLAG OM VIDERE FORSKNING

Mye av den informasjonen som er nødvendig for å kunne forutsi virkningene av klimaen- dringer på fugl og pattedyr i arktis, må skaffes frem gjennom lange overvåkingsserier av bestander korrelert med tilsvarende serier med geofysiske, oceanografiske og botaniske data. Det er viktig så snart som mulig å få etablert slike programmer, ettersom individret- tede, kortsiktige studier aldri vil kunne gi noen helhetlig forklaring på økosystem-problemer

av denne typen. Slike serier bør på den biologiske siden omfatte overvåking av utvalgte sjøfugl-bestander, svalbardtype og svalbardrein, samt prøvefelter med egnede leddyr-bestander.

Effektstudier:

- i. Studier av terrestriske virvelløse dyrs fysiologiske respons på og tilpasning til klimafaktorer.
- ii. Studier av isbjørnens vandringer i relasjon til forandring er i israndsonen, basert på satellittobsevasjoner av isdekket.

SAMMENDRAG

Virkninger av en evt. temperaturøkning på det arktiske dyrelivet vil oftest være indirekte og skyldes tildels komplekse "kjedereaksjoner" gjennom økosystemet. Det er meget usikkert hvordan sluttvirkningene vil bli. Størsteparten av dyrelivet på Svalbard er helt eller stort sett avhengige av den marine næringskjeden. Inntil virkninger på den er utredet er grunnlag for forutsigelser om de samlede virkningene på det øvrige dyrelivet svakt.

Biogene mangler teorier for å forklare hvordan organismer reagerer på klimaendringer. Paleontologiske studier indikerer at arter med lav bestandstetthet er mest følsomme for svingninger i klima. Videre synes rovdyr å ha hatt større vanskeligheter med å tilpasse seg enn planteetere, og at arter som er spesialister er mer utsatt enn arter med en mer variert næringstilgang.

De store bølgene av utdøinger blant terrestriske arter i Pleistocene har skjedd under varmeperiodene (interglasialene) og ikke i kuldeperiodene (istidene). For de marine dyreartene finner en at varmeperiodene ikke har forårsaket annet enn endringer i utbredelse. Generelt gir imidlertid paleontologiske studier en usikker basis for å vurdere hvilke virkninger en framtidig klimaendring kan få på det polare dyrelivet:

Varmblodige dyr er på kort sikt mer motstandsdyktige mot temperaturendringer enn vekselvarme. Ved langsiktige, permanente temperaturforandringer utover visse grenser kan imidlertid arter med kort generasjonstid og høyt reproduksjonspotensiale (ofte karakteristisk for vekselvarme dyr) ha bedre muligheter til å tilpasse seg.

Utredningene om geofysiske og botaniske endringer ved den anslåtte temperaturøkningen konkluderer med at havnivået trolig ikke vil bli drastisk endret, at havisdekket vil bli påvirket

men ikke forsvinne og at landvegetasjonen vil få økt produktivitet og dekke nye arealer. Miljøforholdene synes derfor ikke å ville bli mer forandret enn at de fleste av dagens dyrearter på Svalbard vil klare seg, men utbredelse og bestandsstørrelser kan bli påvirket.

Virvelløse dyr på land: For lite er kjent om disse dyregruppene til å trekke konklusjoner. I utgangspunktet kan økt temperatur og økt produktivitet i vegetasjonen ventes å være en positiv faktor.

Økosystemet i ferskvann: For lite er kjent om dette systemet i Arktis til å trekke konklusjoner. Den antatte temperaturøkningen er trolig for liten til å medføre endringer i vanntemperatur og -volum, og dermed i systemet ellers.

Svalbardrein: Større vegeterte arealer og økt produksjon i vegetasjonen vil øke de potensielle matressursene for reinen. Tilgjengelig vinterbeite er begrensende faktor lokale bestander. Temperatur- og nedbørforhold om vinteren avgjør om et evt. økt matpotensialet kan realiseres i form av større reinbestand.

Polarrev: Svært avhengig av den marine næringskjeden (sjøfugl) selv om den er et landdyr. Endringer i havet, og dermed i lokale sjøfuglbestander, vil få størst betydning, men endringer i rein-, rype-, gåse- og ringsel-bestander vil også virke sterkt inn lokalt.

Svalbardrype: Større vegeterte arealer og økt produksjon i vegetasjonen vil øke de potensielle matressursene for rypa. Tilgjengelig vinterbeite kan være begrensende faktor lokale bestander. Temperatur- og nedbørforhold om vinteren avgjør i så fall om et evt. økt matpotensialet kan realiseres i form av større rypebestand.

Kortnebbgås, kvitkinngås og ringgås: Større vegeterte arealer, økt produksjon i vegetasjonen og særlig flere rike våtmarksområder vil øke matressursene for gjessene. Men det er trolig overvintringsområdene i Europa som særlig begrenser gåsebestandene på Svalbard, ikke matressursene.

Dyr som ender, alkefugl, måker og annen sjøfugl samt sel, hval og isbjørn er alle direkte avhengige av den marine næringskjeden. Forutsatt at havis-situasjonen ikke endrer seg for mye i forhold til idag, vil primærproduksjonen i Barentshavet avgjøre det potensielle næringsgrunnlaget for disse dyrene. En evt. oppvarming av vannmassene ventes i utgangspunktet å øke primærproduksjonen. Mengden tilgjengelig næring for de forskjellige dyrebestandene vil imidlertid avhenge av hvor og når store næringskonsentrasjoner evt. forekommer. Hvis slike områder flytter seg i fht. idag kan konsekvensene bli negative for f.eks. fuglekolonier som blir liggende for langt unna, selv om produksjonen er økt.

LITTERATURLISTE

- Anderson,E.,1984. Who's who in the Pleistocene: A mammalian bestiary. In: Martin og Klein (eds) "Quaternary Extinctions - a prehistoric revolution". The University of Arizona press, Tucson, Arizona.
- Blindheim,J., 1989. Ecological features of the Norwegian Sea. In: Rey abd Alexander (eds) Proceed. Sixth conference of the Comité Artique International 13 - 15 may, 1985.
- Demel,K. og Rutkowics,S. 1958. "Morze Barentza". Wydawnictwo Morskie, Gdynia, pp.301.
- Diamond,J.E. 1984. Historic extinctions: A rosetta stone for understanding prehistoric extinctions. In: Martin og Klein (eds) "Quaternary Extinctions - a prehistoric revolution". The University of Arizona press, Tucson Arizona.
- Dunbar,M.J. 1973. Stability and fragility in arctic ecosystems. Arctic, 26:179-185.
- Elvebakk,A. 1985. Higher phytosociological syntaxa on Svalbard and their subdivision of the Arctic. Nordic Journ. Botany, 5: 273-284.
- Gingerich,P.D. 1984. Pleistocene extinctions in the context of origination-extinction equilibria in Cenozoic mammals. In: Martin og Klein (eds) "Quaternary Extinctions - a prehistoric revolution". The University of Arizona press, Tucson Arizona.
- Grayson,D.K. 1984. Explained Pleistocene extinctions. In: Martin og Klein (eds) "Quaternary Extinctions - a prehistoric revolution". The University of Arizona press, Tucson Arizona.
- Guthrie,R.D. 1984. Mosaics, allelochemicals and nutrients. In: Martin og Klein (eds) "Quaternary Extinctions - a prehistoric revolution". The University of Arizona press, Tucson Arizona.
- Koerner,R.M. og Fisher,D.A. 1990. A record of Holocene summer climate from a Canadian high arctic ice core. Nature 343.
- Kurten,B. 1972. The Ice Age. Putnam & sons, New York.

- Larsen,T. 1985. Are the Arctic Ecosystems vulnerable ? Norsk Polarinstitutt, Oslo. Rapport Nr.24.
- Loeng,H. 1989a. Ecological features of the Barents Sea. In: Rey abd Alexander (eds) Proceed. Sixth conference of the Comite Artique International 13 - 15 may, 1985.
- Loeng,H. 1989b. Klimaets innvirkning på marine ressurser. In: Orheim og Brekke (eds) "Hva skjer med klimaet i polarområden ? Nor. Pol. Inst. rapport Nr. 53.
- Lønø,O. 1970. The polar bear (*Ursus maritimus* Phipps) in the Svalbard area. Nor. Pol. Inst. skrifter Nr. 149.
- Martin,P.S. og Klein,R.G. 1984. Quaternary Extinctions - a prehistoric revolution". The University of Arizona press, Tucson Arizona.
- Niebauer,H.J. og Smith Jr,W.O. 1989. A numerical model of mesoscale physical-biological interactions in the Fram Strait marginal ice zone. Journ. of Geophys. Res., 94.
- Ramanathan,V., Llan,M.S. og Cess,R.D. 1979. Increased atmospheric CO₂: zonal and seasonal estimates of the effect on the radiation balance and surface temperature. Journ. of Geophys. Res., 84.
- Sakshaug,E. og Skjoldal,H.R. 1989. Life at the ice edge. Ambio 18: 60-67.
- Salvigsen,O. 1990. Holocene climate deduced from the mollusc fauna of raised beaches in Svalbard. Int. conf. on climate of the Northern Latitudes: past, present and future. Tromsø, 2.-4. april 1990.
- Sugden,D.E. 1989. The polar environment: Illusion and reality. Ambio, 18.
- Vermeij,G.J. 1989. Geographical restriction as a guide to causes of extinction: the case of the cold northern oceans during the Neogene. Paleobiology, 15.
- Vibe,G.J. 1967. "Arctic animals in Relation to Climatic Fluctuations". Reitzels Forlag, København.
- Zachariassen,K.E. og Aunaas,T. 1989. Klimaendringer - fysiologiske virkninger på dyr. In: Orheim og Brekke (eds) "Hva skjer med klimaet i polarområden ? Nor. Pol. Inst. rapport Nr. 53.

