

KONSEKVENSER AV KLIMAENDRINGER I ARKTIS



CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

UTGITT AV THE PRESS SYNDICATE OF THE UNIVERSITY OF CAMBRIDGE
The Pitt Building, Trumpington Street, Cambridge, Storbritannia

CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS
The Edinburgh Building, Cambridge, CB2 2RU, Storbritannia
40 West 20th Street, New York, NY 10011-4211, USA
10 Stamford Road, Oakleigh, VIC 3166, Australia
Ruiz de Alarcón 13, 28014 Madrid, Spania
Dock House, The Waterfront, Cape Town 8001, Sør-Afrika
<http://www.cambridge.org>
Først utgitt i 2004
Trykt i Canada
ISBN 0 521 61778 2 paperback

Oversettelse til norsk: Norsk Polarinstitutt
Grafisk arbeid: Davvi Girji OS, Karasjok. Trykk: Fram, Vasa, Finland
ISBN 82-7971-042-6
© Arctic Climate Impact Assessment, 2004

AMAP-sekretariatet
Postboks 8100 Dep.
N-0032 Oslo, Norge
Tel: +47 23 24 16 30
Fax: +47 22 67 67 06
<http://www.amap.no>

CAFF-sekretariatet
Sekretariatet
Hafnarstraeti 97
600 Akureyri, Island
Tel: +354 461-3352
Fax: +354 462-3390
<http://www.caff.is>

IASC-sekretariatet
Middelthuns gate 29
Postboks 5156 Majorstua
N-0302 Oslo, Norge
Tel: +47 2295 9900
Fax: +47 2295 9901
<http://www.iasc.no>

Forfatter

Susan Joy Hassol

Prosjektproduksjon og grafisk design

Paul Grabhorn, Joshua Weybright, Clifford Grabhorn (kartografi)

Foto

Bryan og Cherry Alexander m.fl. Se side 139.

Teknisk redigering

Carolyn Symon

Bidragstere

Assessment Integration Team

Robert Corell, formann	American Meteorological Society, USA
Pål Prestrud, viseformann	CICERO Senter for klimaforskning, Oslo, Norge
Gunter Weller	University of Alaska Fairbanks, USA
Patricia A. Anderson	University of Alaska Fairbanks, USA
Snorri Baldursson	Kontakt for Arktisk Råd, Island
Elizabeth Bush	Environment Canada, Canada
Terry V. Callaghan	Abisko Naturvetenskapliga Station, Sverige Sheffield Centre for Arctic Ecology, Storbritannia
Paul Grabhorn	Grabhorn Studio, Inc., USA
Susan Joy Hassol	Independent Scholar and Science Writer, USA
Gordon McBean	University of Western Ontario, Canada
Michael MacCracken	Climate Institute, USA
Lars-Otto Reiersen	Arctic Monitoring and Assessment Programme, Norge
Jan Idar Solbakken	Permanente deltakere, Norge

ACIA-sekretariatet

Gunter Weller, direktør
Patricia A. Anderson, visedirektør
Barb Hameister, Sherry Lynch
International Arctic Research Center
University of Alaska Fairbanks
Fairbanks, AK 99775-7740, USA
Tel: +907 474 5818
Fax +907 474 6722
<http://www.acia.uaf.edu>

Hovedforfattere av den vitenskapelige rapporten

Jim Berner	Alaska Native Tribal Health Consortium, USA	Gordon McBean	University of Western Ontario, Canada
Terry V. Callaghan	Abisko Naturvetenskapliga Station, Sverige Sheffield Centre for Arctic Ecology, Storbritannia	James J. McCarthy	Harvard University, USA
Shari Fox	University of Colorado at Boulder, USA	Mark Nuttall	University of Aberdeen, Scotland, Storbritannia University of Alberta, Canada
Christopher Furgal	Laval University, Canada	Terry D. Prowse	National Water Research Institute, Canada
Alf Håkon Hoel	Universitetet i Tromsø, Norge	James D. Reist	Fisheries and Oceans Canada, Canada
Henry Huntington	Huntington Consulting, USA	Amy Stevermer	University of Colorado at Boulder, USA
Arne Instanes	Instanes Consulting Engineers, Norge	Aapo Tanskanen	Meteorologiska institutet, Finland
Glenn P. Juday	University of Alaska Fairbanks, USA	Michael B. Usher	University of Stirling, Scotland, Storbritannia
Erland Källén	Stockholms Universitet, Sverige	Hjälmar Vilhjálmsson	Marine Research Institute, (Hafrannsóknarstofnunin), Island
Vladimir M. Kattsov	Voievov Geofysiske Laboratorium (GGO), Russland	John E. Walsh	University of Alaska Fairbanks, USA
David R. Klein	University of Alaska Fairbanks, USA	Betsy Weatherhead	University of Colorado at Boulder, USA
Harald Loeng	Havforskningsinstituttet, Norge	Gunter Weller	University of Alaska Fairbanks, USA
Marybeth Long Martello	Harvard University, USA	Fred J. Wrona	National Water Research Institute, Canada

Merk: En komplett liste over bidragstere finnes på side 129.

Denne rapporten er utarbeidet på engelsk og oversatt til flere språk. Den engelske versjonen er den offisielle.

Forord

Arktis er spesielt viktig for verden, og regionen er i rask endring. Det er derfor svært viktig at beslutningstakere har den beste og mest oppdaterte informasjon som er tilgjengelig om de pågående endringene i Arktis. Denne rapporten er en oppsummering i vanlig, «folkelig» språkdrakt av de viktigste funn i ACIA (Arctic Climate Impact Assessment) og er laget for å gjøre de vitenskapelige funnene tilgjengelige for beslutningstakere og for publikum generelt. ACIA er en omfattende og fullstendig dokumentert analyse av klimaendringene i Arktis og av virkningene for regionen og for verden. Arbeidet har også vært gjennom en uavhengig fagfelleevaluering. Hundrevis av forskere fra mange land har arbeidet i fire år med denne analysen, som også har tatt hensyn til den kunnskap urbefolkningen sitter inne med.

Det var Arktisk Råd som bestilte denne analysen og som ba to av sine arbeidsgrupper, AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme) og CAFF (Conservation of Arctic Flora and Fauna) om å gjennomføre den i samarbeid med IASC (International Arctic Science Committee). De samarbeidende organisasjonene er glade for å kunne legge frem denne rapporten for Arktisk Råd og det internasjonale forskersamfunn, under erkjennelsen av den betydning Arktis og denne informasjonen har for samfunnet når tiltak for å håndtere de økende utfordringene forårsaket av klimaendringer nå skal overveies.

ACIA ER ET PROSJEKT GJENNOMFØRT AV AMAP, CAFF OG IASC

Arktisk Råd

Arktisk Råd er et internasjonalt organ på høyeste nivå som utgjør en mekanisme for å se på og ta seg av den uro og de bekymringer som opptar folk og regjeringer i arktiske land. Rådet består av de åtte arktiske nasjonene (Canada, Danmark med Grønland og Færøyene, Finland, Island, Norge, Russland, Sverige og USA), seks organisasjoner som representerer urfolkene i Arktis (Permanente deltakere: Aleut International Association, Arctic Athabaskan Council, Gwich'in Council International, Inuit Circumpolar Conference, Den russiske assosiasjonen av urfolk i nord (Raipon) og Samisk Råd) og offisielle observatører (inkl. Frankrike, Tyskland, Nederland, Polen, Storbritannia, ikke statlige organisasjoner (NGO-er) og vitenskapelige og andre internasjonale organisasjoner).

International Arctic Science Committee

Den internasjonale arktiske vitenskapskomiteen (International Arctic Science Committee) er en ikke-statlig organisasjon som har som mål å stimulere til og legge til rette for samarbeid innenfor alle fagområder mellom forskere og institusjoner i de land som driver aktiv forskning i Arktis. Medlemmene av IASC er nasjonale forskningsorganisasjoner, vanligvis vitenskapsakademier, som søker å identifisere prioriterte forskningsbehov, og å være arena for prosjektutvikling og -gjennomføring.

Assessment Steering Committee

ACIAs styringsgruppe har vært ansvarlig for å overse det vitenskapelige arbeidet, og for å koordinere arbeidet med denne rapporten. En liste over medlemmene av denne gruppen står på side 138. Det vitenskapelige innholdet i ACIA er blitt publisert i to rapporter: denne oppsummerende rapporten og en mer omfattende vitenskapelig rapport som inneholder referanser til den vitenskapelige litteraturen. AMAP, CAFF og IASC har fått skriftlig bekreftelse fra ledelsen i ACIA og fra alle hovedforfatterne om at den vitenskapelige rapporten gjenspeiler deres syn som eksperter, og at denne oppsummerende rapporten er i full overensstemmelse med den vitenskapelige.

Hvordan lese denne rapporten

For de funn som presenteres her, er sannsynligheten for at de ulike påvirkningene skal finne sted basert på ekspertvurderinger av funn fra bl.a. feltundersøkelser og laboratorieeksperimenter, observerte trender, teoretiske analyser og modellsimuleringer.

Sannsynlighetsvurderingene basert på denne informasjonen er gitt med fem begreper fra hverdagspråket (svært usannsynlig, usannsynlig, mulig, sannsynlig og svært sannsynlig). Tiltroen til resultatene er høyest i begge ender av denne skalaen. En konklusjon om at en påvirkning «vil» finne sted er reservert situasjoner der erfaring og flere analysemetoder gjør det klart at det uunngåelig vil bli en konsekvens av den forventede klimaendringen. Selv om mange detaljer om hvordan klimaet, miljøet og samfunnet vil utvikle seg er usikre, så har ekspertene større tiltro til noen funn enn til andre. Bruk av det begrepsapparatet som er nevnt ovenfor gir derfor en indikasjon på det vitenskapen vet i dag.



De forventede konsekvensene som er beskrevet i denne rapporten, baserer seg på observerte data og et moderat scenario for en fremtidig oppvarming, *ikke på et verst-tenkelig-tilfelle scenario*. Sammenliknet med den omfattende skala av scenarier som er blitt analysert av FNs klimapanel (IPCC), ligger hovedscenariet benyttet i ACIAs analyse under midt på treet i forholdt til IPCCs spekter for beregnet temperaturøkning.

Resultatene som er gjengitt i denne rapporten, slik tilfellet er i den omfattende vitenskapelige rapporten den baserer seg på, inneholder ikke en inngående økonomisk analyse av virkningene av klimaendringene ettersom nødvendig informasjon på dette feltet ikke er tilgjengelig i dag. Selv om tilpasningsstrategier er nevnt fra tid til annen, er de ikke analysert i detalj. Arbeidet har ikke omfattet en analyse av tiltak iverksatt for å avbøte konsekvensene av klimaendringer gjennom en reduksjon av klimagassutslipp.

Henvisninger til den del av den vitenskapelige rapporten som er blitt brukt under utarbeidelsen av denne rapporten, er gitt nederst på hver venste side (bortsett fra sammendraget og de utvalgte sub-regionale påvirkningene, der informasjon har blitt hentet fra alle kapitlene).

Til sist må det understrekes at denne utredningen har satt fokus på de påvirkninger man forventer å se i løpet av dette århundret. Viktige langsiktige påvirkninger blir nevnt av og til, men de er ikke analysert i detalj.

Innhold



Bakgrunn

Globale klimaendringer	2
Arktis	4
Befolkningen i Arktis	6

Sammendrag

Klimaendringer i Arktis og konsekvensene av dem	8
Nøkkelfunn	10
Klimautviklingen i Arktis	12
Virkninger på naturlige systemer	15
Konsekvenser for samfunn	16
Sub-regionale konsekvenser	18

Grunnlaget for nøkkelfunnene

	21
1 Klimaendringer i Arktis	22
2 Globale konsekvenser	34
3 Vegetasjonsendringer	46
4 Artsendringer	58
5 Effekter på kystsoner	78
6 Skipsfart	82
7 Tinende grunn	86
8 Urfolkssamfunnene	92
9 Ultrafiolett stråling	98
10 Flere stressfaktorer samtidig	106

Utvalgte sub-regionale konsekvenser

Forbedring av fremtidige vurderinger	112
--------------------------------------	-----

Konklusjon	124
------------	-----

Vedlegg

Utslippsscenarier	126
Innholdsfortegnelsen fra ACIAs vitenskapelige rapport	128
Forfattere og institusjonelle tilknytninger	129
Liste over illustrasjoner og fotografier	139



Globale klimaendringer

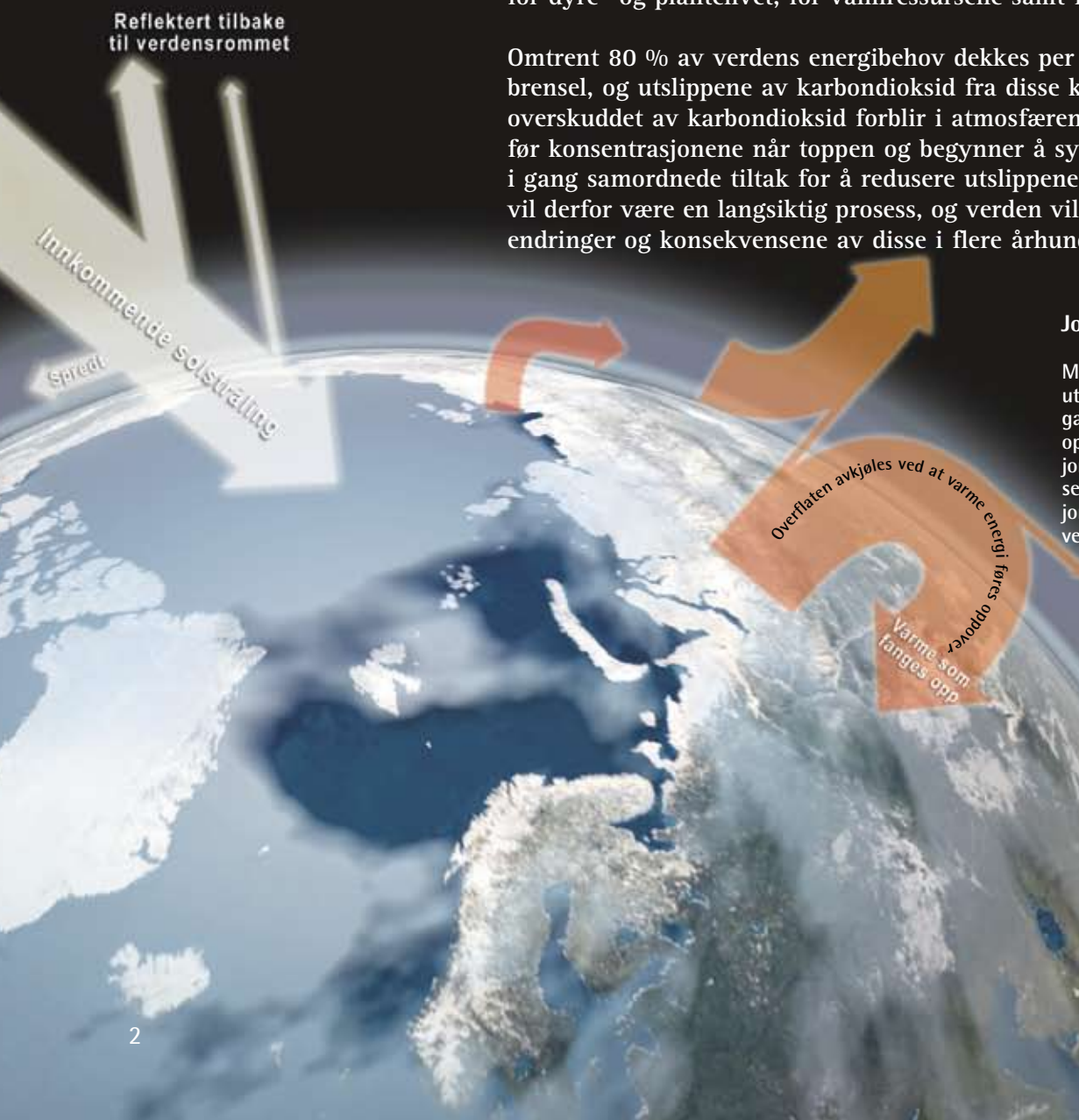
«Det foreligger nye og sterke bevis på at det meste av oppvarmingen som er observert de siste 50 år kan tilskrives menneskeskapte aktiviteter.»

FNs klimapanel (IPCC), 2001

Iskjerner og annet bevismateriale på hvordan klimaet var i fjern fortid, viser oss at økningen i karbondioksidnivået i atmosfæren henger sammen med økningen i den globale temperaturen. Menneskelig aktivitet, og da primært bruk av fossilt brensel (kull, olje og naturgass), men også rydding av nytt land, har ført til at konsentrasjonen av karbondioksid, metan og andre varmeopptagende («drivhus») gasser har økt i atmosfæren. Siden begynnelsen av den industrielle revolusjon har konsentrasjonen av karbondioksid i atmosfæren økt med 35 %, og den globale gjennomsnittstemperaturen har gått opp med 0,6 °C. Det er internasjonal vitenskapelig enighet om at det meste av den oppvarmingen som er observert de siste 50 år kan tilskrives menneskeskapte aktiviteter

Dersom vi fortsetter å slippe ut karbondioksid og andre klimagasser til atmosfæren, forventes det at det vil føre til viktige og vedvarende endringer i klimaet, inkludert en økning i den globale gjennomsnittstemperaturen på mellom 1,4 til 5,8 °C (i følge IPCC) i løpet av dette århundret. Klimaendringene vil også kunne føre til endringer i sirkulasjonsmønstrene i atmosfæren og i havene, akselerere havnivåøkningen samt lede til større nedbørsvariasjoner. Alle disse endringene kan til sammen gi svært store konsekvenser, inkludert betydelige følger for byer og bosetninger ved kysten, for dyre- og plantelivet, for vannressursene samt for menneskets helse og velvære.

Omtrent 80 % av verdens energibehov dekkes per i dag gjennom bruk av fossilt brensel, og utslippene av karbondioksid fra disse kildene vokser raskt. Ettersom overskuddet av karbondioksid forblir i atmosfæren i århundrer, vil det ta flere tiår før konsentrasjonene når toppen og begynner å synke selv om vi umiddelbart setter i gang samordnede tiltak for å redusere utslippene. Det å snu oppvarmingstrenden vil derfor være en langsiktig prosess, og verden vil stå overfor en viss grad av klimaendringer og konsekvensene av disse i flere århundrer fremover.



Jordas drivhuseffekt

Mesteparten av varmeenergien som slippes ut fra jordoverflaten, blir absorbert av klimagassene som fører varme tilbake og varmer opp den nederste delen av atmosfæren og jordoverflaten. En økning i klimagasskonsentrasjonen medfører økt oppvarmingen av jordoverflaten og reduserer varmetapet til verdensrommet.

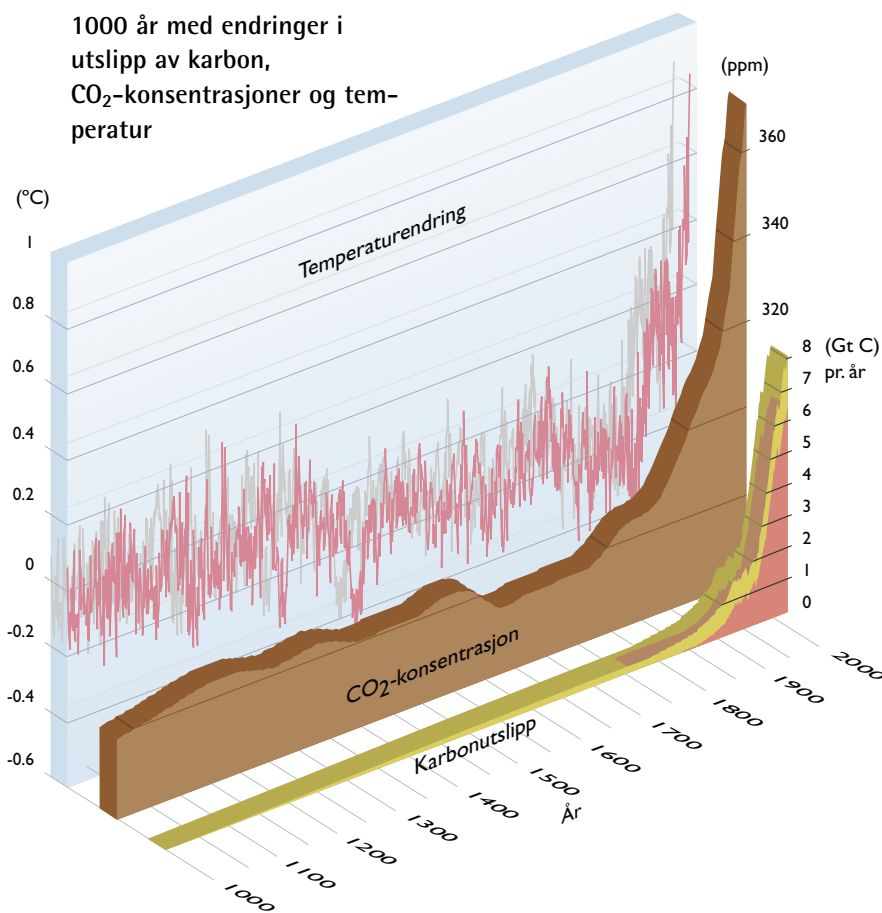
Det å snu oppvarmingstrenden vil være en langsiktig prosess, og verden vil stå overfor en viss grad av klimaendringer og konsekvensene av disse i flere århundrer fremover.

Vitenskapen mener at å gjøre noe med denne utfordringen, vil kreve to typer tiltak. Det ene typen, avbøtende tiltak, går ut på å redusere tempoet i og omfanget av fremtidige klimaendringer gjennom å redusere drivhustgassutslippene. Det andre typen, kalt tilpasningstiltak, går ut på å forsøke å begrense de negative påvirkningene gjennom å være mer tilpasningsdyktig til de klimaendringene som vil komme samtidig som samfunnet gjennomfører den første typen tiltak. Denne rapporten har ikke hatt som mål å analysere noen av disse typene tiltak. De blir analysert og drøftet innenfor rammene av FNs klimakonvensjon (UNFCCC) og i andre fora.

Uttynning av ozonlaget i stratosfæren er en annen problemstilling

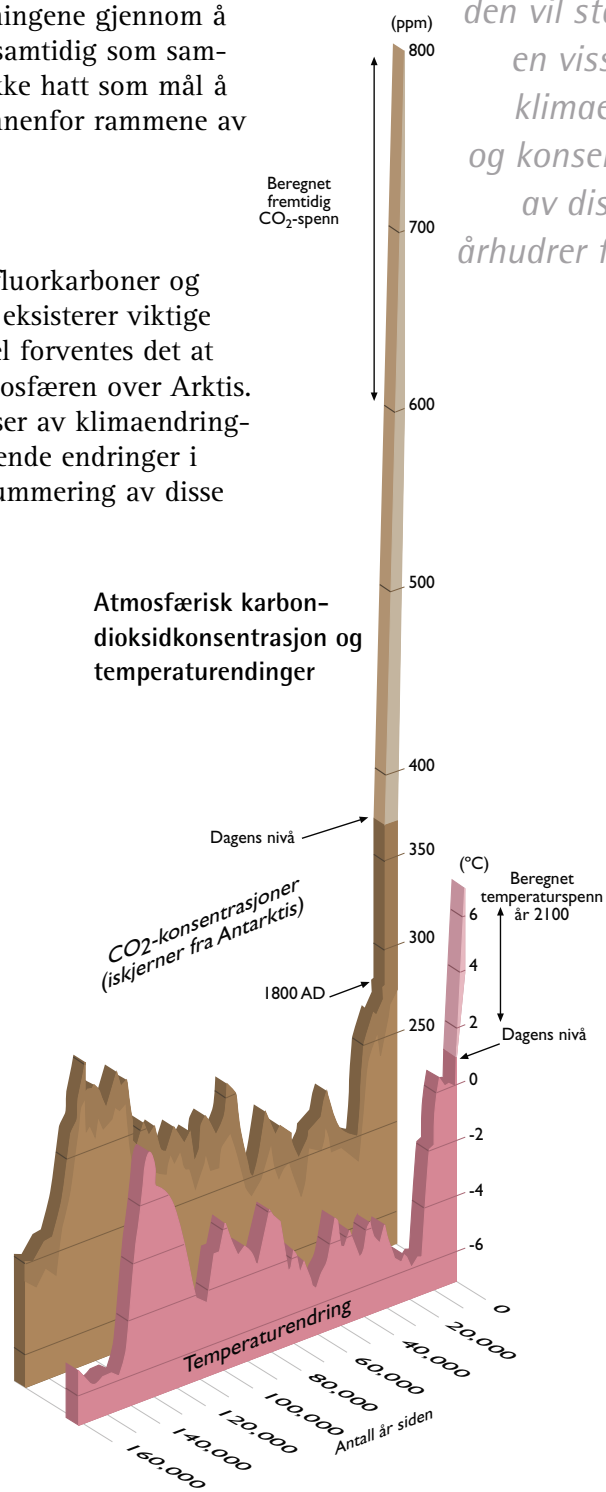
Uttynningen av ozonlaget i stratosfæren som følge av bruk av klorfluorkarboner og andre menneskeskapt kjemikalier er et annet problem, selv om det eksisterer viktige forbindelser mellom ozonuttynning og klimaendringer. For eksempel forventes det at klimaendringene vil forsinke gjenoppbyggingen av ozonlaget i stratosfæren over Arktis. Denne rapporten har, i tillegg til dens primære fokus på konsekvenser av klimaendringer, også tatt for seg endringer i det stratosfæriske ozonlaget, påfølgende endringer i den ultrafiolette strålingen og relaterte virkninger i Arktis. En oppsummering av disse funnene finnes på sidene 98-105 i denne rapporten

1000 år med endringer i utslipp av karbon, CO₂-konsentrasjoner og temperatur



Denne grafen, som viser utviklingen over 1000-år, viser økningen i karbonutslipp fra menneskelig virksomhet (bruk av fossilt brensel og rydding av land) og den påfølgende økningen i karbondioksidkonsentrasjon og lufttemperatur. De tidligste periodene i temperaturrekonstruksjonsserien for den nordlige halvkule baserer seg på historiske data, årringer og koraller, mens de senere perioder baserer seg på direkte målinger. De tidligste periodene i CO₂-serien baserer seg på målinger av karbondioksid (CO₂) i luftbobler i iskjerner. Direkte målinger i atmosfæren av CO₂-konsentrasjoner begynte i 1957.

Atmosfærisk karbondioksidkonsentrasjon og temperaturendringer



Denne grafen viser forholdet mellom temperatur og karbondioksidkonsentrasjoner i atmosfæren over de siste 160 000 år og for de neste 100. Historiske data er utledet fra iskjernedata, nyere data er hentet fra direkte målinger, og modellberegninger er brukt for de neste 100 år.

Arktis

Polaris, Nordstjernen, står nesten rett over Nordpolen. Rundt den finner vi den konstellasjonen av stjerner som vanligvis kalles Ursa Major eller Storebjørn. Begrepet «Arktis» kommer fra det gammelgreske begrepet «*Arktikos*», landet der Storebjørn regjerer.

Den nordlige polare regionen består av et enormt hav omgitt av land, i motsetning til den sørlige polare region som er et isdekket kontinent omgitt av vann. Kanskje det som er mest påfallende er snøen og isen som dekker mesteparten av land- og sjøområdene i Arktis. Som et stort grønt sjal ligger den boreale (nordlige) skogen drapert over skuldrene på kontinentene på begge sider av Arktis. Et enormt tundraområde (treløse sletter på frossen grunn) ligger mellom det isdekte Arktis og det skogkledde subarktiske området.

Polarsirkelen brukes ofte til å definere området. Den følger den breddegraden der solen ikke er over horisonten ved vintersolhverv og der den ikke er under horisonten ved sommarsolhverv, dvs. «Midnattssolens land». Tregrensen, klimagrenser og permafrostutbredelsen på land og is til havs utgjør andre grenser som brukes til å definere Arktis. I denne rapporten er grensen mer fleksibel, og området omfatter også subarktiske regioner som er vesentlige for de arktiske systemenes funksjon.

Både på land og til sjøs i det høye nord finner man et utall planter, dyr og mennesker som lever under noen av vår planets mest ekstreme forhold. Algene som lever på undersiden av sjøisen, isbjørnene som jakter oppå isen, urfolkssamfunn som har utviklet seg i samstemmighet med miljøet, er alle eksempler på samfunn som har tilpasset seg noe som mange utenfor regionen ser på som et svært hardt klima.

Historisk sett har livet i Arktis alltid vært både sårbart og robust på en og samme tid. Faktorer som bidrar til å gjøre Arktis sårbart inkluderer den relativt korte vekstsesongen og den begrensede variasjonen i levende organismer sammenliknet med mer tempererte strøk. I tillegg er klimaet i Arktis svært vekslende og en plutselig sommerstorm eller frostperiode om sommeren kan føre til at en hel generasjon ungfugler, tusenvis av selunger eller hundrevis av caribou-kalver blir utslettet. Men noen arktiske arter har vist seg svært så robuste overfor ekstreme hendelser, slik man for eksempel ser i gjenoppretting av bestander som nå og da har blitt desimert av klimavariasjoner.



Den stadig økende takten i klimaendringene i nyere tid utfordrer robustheten til livet i Arktis. I tillegg til konsekvensene av klimaendringene, påvirkes livet i Arktis av mange av de andre stressfaktorene forårsaket av menneskelig virksomhet. Dette omfatter bl.a. forurensning av luft og vann, overfiske, økte nivåer av ultrafiolett stråling som følge av uttynning av ozonlaget, endringer i og forurensning av leveområder i forbindelse med uttak av naturressurser og økt press på land og ressurser som følge av en befolkningsøkning i regionen. I sum truer disse faktorene med å overvelde tilpasningsdyktigheten hos enkelte arktiske bestander og økosystemer.

Den stadig økende takten i klimaendringene i nyere tid utfordrer robustheten til livet i Arktis.



Befolkningen i Arktis

I dag bor det nesten fire millioner mennesker i Arktis. Det eksakte antall er avhengig av hvor man trekker grensene for regionen. Tallet inkluderer både urfolk og innflyttere, jege- re og gjeterne på bygda og byboere. Mange urfolksgrupper finnes bare i Arktis, der de fortsetter med sine tradisjonelle aktiviteter samtidig som de tilpasser seg den moderne verden. Mennesket har lenge vært en del av det arktiske systemet. Det former og er selv blitt formet av det lokale og regionale miljøet. I de siste århundrene har det kommet flere innflyttere til regionen, og det har i sin tur lagt et større press på det arktiske miljøet gjennom økt fiske og jakt samt gjennom industriell utvikling.

Arktis omfatter hele eller deler av territoriet til åtte land: Norge, Sverige, Finland, Danmark, Island, Canada, Russland og USA. Området er også hjem til flere urfolksgrupper med atskilte undergrupper og samfunn. Urfolkene utgjør i dag bare ca. 10 % av den totale befolkningen i Arktis, mens de i Canada utgjør ca. halvparten og på Grønland er de i flertall. De som ikke er urfolk, representerer også en rekke ulike folkeslag med sin egen identitet og sine måter å leve på.

Det har bodd folk i Arktis i hvert fall siden den siste istiden var på sitt mest intense, dvs. for ca. 20 000 år siden, og nyere undersøkelser anslår at det har bodd folk her de siste 30 000 årene. I Nord-Amerika regner man med at folk har spredt seg over de arktiske områdene i flere faser. De kom til Grønland for så lenge som 4500 år siden, men så forlot de øya og lot den ligge øde i ca. 1000 år. Oppfinnelser som harpunen førte til at folk kunne jakte store marine pattedyr, og det igjen gjorde det mulig å bosette seg på fjerne steder langs kysten der landet selv ikke hadde så mange ressurser. Utviklingen av reindriften i Eurasia la grunnlaget for en dramatisk befolkningsvekst ettersom reinsdyr er en pålitelig matkilde. I Eurasia, og i det nordlige Atlanterhavsområdet, har flere og flere mennesker flyttet nordover i løpet av de siste 1000 år. De koloniserte nytt land, som Færøyene og Island, og traff på grupper av urfolk på vestkysten av Grønland og i de nordlige delene av Norge, Sverige, Finland og Russland.

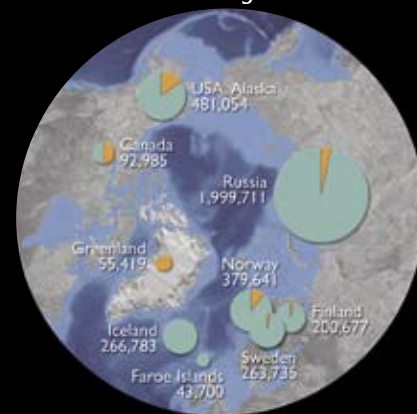
I det 20. århundre økte innflyttingen til Arktis dramatisk, og i dag er det flere ikke-urfolksrepresentanter enn urfolk i mesteparten av regionen. Mange innflyttere er blitt fristet av nye muligheter, som f.eks. utvinning av naturressurser. Konflikter om eiendomsretten til land og tilgangen til naturressurser er blitt skjerpet gjennom befolkningsøkningen og uforenligheten mellom de tradisjonelle og de moderne livsmønstrene. I Nord-Amerika har urfolksgruppene kamp for å gjenvinne retten til land og ressurser i enkelte tilfeller ført til avtaler om bruksrett til jord, til opprettelsen av selvstyrte regioner innenfor nasjonalstatenes grenser og til andre politiske og økonomiske tiltak. I noen områder fortsetter konfliktene, spesielt de som dreier seg om retten til å utnytte levende ressurser og mineralressurser. I Eurasia har man bare i det siste begynt å se på urfolkens krav som spørsmål av nasjonal viktighet.

Befolkningsstrukturen endrer seg, og de nordlige regionene blir både økonomisk, politisk og sosialt stadig tettere knyttet til nasjonale stemninger og trender. I løpet av de siste tiårene har forventet levealder økt betydelig i Arktis. Bruk av urfolksspråk har derimot gått ned i de fleste områdene, og flere språk står i fare for å dø ut i de neste tiårene. På enkelte felter minsker ulikhetene i levestandard, inntekt og utdanning mellom samfunn i nordlige og sørlige deler av Arktis, men forskjellene fortsetter å være store i de fleste tilfellene.



Totalbefolkning og urbefolkning i Arktis

Den regionale økonomien er for det meste basert på naturressurser – fra olje, gass og metallholdig malm til fisk, reinsdyr, hval, sel og fugler. I de siste tiårene har turismen blitt en vekstfaktor i økonomien i mange samfunn og regioner i Arktis. Statlige tjenester, de militære inkludert, utgjør også en viktig del av økonomien i nesten alle områder av Arktis. Enkelte steder står dette for nesten halvparten av arbeidsplassene. I tillegg til pengeøkonomien, bidrar de tradisjonelle natural- og bytteøkonomiene til den generelle velstanden i deler av området, og de utgjør store verdier som ikke er tatt med i offisielle statistikker.



I figuren ovenfor er den prosentandelen som urfolk utgjør av den totale arktiske befolkningen i de ulike landene vist med oransje. Tallene viser den totale befolkningen i Arktis i begynnelsen av 1990-årene. Urfolk utgjør ca. 10 % den totale befolkningen i Arktis i dag, men i Canada utgjør de ca. halvparten av den arktiske befolkningen, og på Grønland er de i flertall.



- Samisk Råd (SR)
- Den russiske assosiasjonen av urfolk i nord (RAIPON)
- Aleut International Association (AIA)
- Inuit Circumpolar Conference (ICC)
- Gwich'in Council International (GCI)
- Arctic Athabaskan Council (AAC)

Sammendrag



«Klimaendringer som allerede er i gang åpenbarer seg gjennom redusert arktisk havistykkelse og -utbredelse, permafrosttining, kysterosjon, endringer i innlandsis og isbremmer samt endringer i artsdistribusjon og -mengde.»

IPCC, 2001

Klimaendringer i Arktis og konsekvensene av disse

Klimaet på jorda endrer seg. Globalt øker temperaturen i en grad uovertruffet i moderne tid. Mens enkelte historiske klimaendringer har vært resultat av naturlige årsaker og variasjoner, tyder trender og mønstre observert de siste tiårene på at menneskelig påvirkning er den dominerende faktor i dag, i stor grad på bakgrunn av økte utslipp av karbondioksid og andre klimagasser.

Klimaendringer oppleves spesielt sterkt i Arktis. Gjennomsnittstemperaturen i Arktis har økt dobbelt så fort som i resten av verden de siste tiårene. Utbredt smelting av isbreer og havis samt stigende permafrosttemperatur, er også sterke bevis på en kraftig oppvarming i Arktis. Disse endringene i Arktis gir en tidlig indikasjon på den miljø- og samfunnsmessige betydningen av global oppvarming

I løpet av dette århundret regner man med at disse klimatrendene vil akselerere som en følge av en fortsatt økning i klimagasskonsentrasjonene i jordatmosfæren. Selv om klimagassene stort sett ikke slippes ut i Arktis, forventer man at de kommer til å føre til store endringer og konsekvenser i Arktis. Endringene i Arktis vil, i sin tur, påvirke hele vår planet. Av denne grunn er det som skjer i Arktis viktig, også for folk som ikke bor her. For eksempel vil klimaprosesser som er unike for Arktis påvirke både det globale og det regionale klimaet. Arktis bidrar også med viktige naturressurser (som olje, gass og fisk) til resten av verden, og også disse blir påvirket av klimaendringene. Dessuten er smeltingen av isbreene i Arktis en av faktorene som bidrar til at havnivået stiger verden over.

Det forventes også at klimaendringene vil få store følger for Arktis selv. Noen av disse kan vi allerede se konturene av. Hvorvidt en virkning ses på som negativ eller positiv avhenger ofte av ens egne interesser. For eksempel vil havisreduksjonen vil svært sannsynlig få store og voldsomme konsekvenser for isbjørn, for isavhengige selarter og for de folkene som har disse dyrene som sin viktigste føde. På den andre siden vil et redusert isdekke sannsynligvis føre til at det blir enklere å få tilgang til ressursene i regionen, gi større muligheter for skipsfart og muligens også for offshore utvinning av olje (selv om slik aktivitet i utgangspunktet kan bli vanskeliggjort av økt isbevegelse i enkelte områder). For å komplisere ytterligere, kan en potensiell økning i miljøskader som en følge av økt skipsfart og ressursutvinning skade marine leveområder og ha negative konsekvenser på helse og urfolks tradisjonelle levemåter.

Et annet eksempel er at større områder med skogvekst i Arktis kan føre til økt karbondioksidopptak samt gi rom for tilvirkning av flere treprodukter med relaterte arbeidsplasser, noe som gir både lokale og globale fordeler.

Dersom vi ikke endrer retning, kommer vi sannsynligvis til å ende opp på det sted vi nå er på vei til.

Samtidig vil økt skogvekst sannsynligvis føre til økt oppvarming samt medføre inngrep i leveområdene til mange fugler, til reinsdyr/caribou og andre lokale arter, med de skadelige virkninger dette kan få for den lokale befolkningen. Potensielle komplikasjoner inkluderer en forventet økning i skogskader, som f.eks. skogbrann og insektangrep. Dette kan i sin tur gjøre de forventede fordelene mindre.

Klimaendringene finner sted innenfor en ramme av mange andre endringer i Arktis, inkludert den observerte økningen i kjemisk forurensning som har utspring i andre områder, overfiske, endringer i arealbruk med påfølgende leveområdeødeleggelse og –fragmentering, rask folkevekst samt endringer i kultur, styresettet og økonomi. Miljøet og samfunnet blir ikke bare påvirket av klimaendringer, men av et samspill mellom alle disse endringene. Gjennom denne utredningen er det gjort et første forsøk på å avdekke noe av denne kompleksiteten, men begrensningene i det som er kjent i dag, gjør at det ikke kan foretas en full analyse av dette samspillet og dets konsekvenser.

En annen stressfaktor i Arktis som blir omhandlet i denne rapporten er de økte nivåene av ultrafiolett stråling som når jordens overflate som en følge av nedbrytingen av ozonlaget i stratosfæren. Som for mange av de andre nevnte stressfaktorene, er det et viktig samspill mellom klimaendringene og nedbrytingen av ozonlaget. Den virkningen klimaendringene har på de øvre lag av atmosfæren gjør det sannsynlig at nedbrytingen av ozonlaget over Arktis vil fortsette i alle fall i noen tiår til. Slik vil de ultrafiolette strålenivåene i Arktis sannsynligvis forbli høye, og dette vil være mest merkbart om våren når økosystemene er på det mest følsomme for ultrafiolett stråling. Kombinasjonen av klimaendringer, mer ultrafiolett stråling og andre stressfaktorer, medfører en rekke potensielle problemer for helse og velvære så vel som fare for andre arktiske arter og økosystemer.

De konsekvensene av klimaendringer i Arktis som er presentert i denne rapporten er stort sett forårsaket av forhold utenfor regionen og kommer til å slå tilbake på det globale samfunn på en rekke måter. De vitenskapelige funnene som er dokumentert i denne rapporten kan brukes som grunnlag til å fatte beslutninger som kan redusere farene ved klimaendringer. Etter hvert som takten på og omfanget av klimaendringene og konsekvensene øker, vil det bli viktigere og viktigere for folk over alt å få kjennskap til de endringer som finner sted i Arktis og kunne ta disse med i betraktning når det vurderes hvilke tiltak som bør iverksettes som en respons på utviklingen.

Er disse følgene uunngåelige?

Konsentrasjonene av karbondioksid i atmosfæren, som har økt kraftig som følge av menneskelig virksomhet, kommer til å fortsette å være høyere enn naturlige nivåer i flere århundrer selv om utslippene skulle opphøre umiddelbart. Derfor er en viss grad av fortsatt oppvarming uunngåelig. Men takten på og omfanget av oppvarmingen kan reduseres dersom fremtidige utslipp blir begrenset så mye at klimagasskonsentrasjonen stabiliseres. Scenariene som er utviklet av IPCC forutsetter en rekke mulige samfunnsmessige utviklingstrekk som gir ulike mulige nivåer på de fremtidige utslippene. Ingen av disse scenariene forutsetter gjennomføring av spesielle politiske tiltak for å redusere utslippene av klimagasser. Det betyr at de atmosfæriske konsentrasjonene ikke flater ut i disse scenariene, men fortsetter å stige, noe som vil føre til en betydelig temperaturøkning, til at havet stiger og til at det blir store endringer i nedbørsforholdene. Kostnadene for, og vanskelighetene med, å tilpasse seg disse endringene vil svært sannsynlig øke kraftig med tiden.

Dersom samfunnet på den annen side beslutter seg for å minske utslippene betraktelig, vil de påførte klimaendringene bli mindre og det vil ta lenger tid før de inntreffer. Det betyr ikke at man vil bli i stand til å eliminere alle konsekvensene, spesielt ikke de ugjenkallelige konsekvensene for enkelte arter. Men det vil tillate økosystemer og menneskelige samfunn å tilpasse seg på en bedre måte, noe som vil minske de samlede konsekvensene og kostnadene. De konsekvensene som omhandles i denne rapporten forutsetter fortsatt vekst i utslippene av klimagasser. Selv om det vil være vanskelig å begrense de kortsiktige følgene av tidligere utslipp, vil det være mulig å begrense betydelig mange av de langsiktige konsekvensene gjennom å redusere de globale utslippene fremover i dette århundret. Denne rapporten har ikke analysert strategier for å oppnå en slik reduksjon da dette er en problemstilling andre fora tar for seg.



Nøkkelfunn

Arktis er svært sårbar for observerte og forventede klimaendringer og for konsekvensene av dem. Arktis er i dag utsatt for noen av de raskeste og mest ekstreme klimaendringene på jorda. I løpet av de neste 100 årene forventes klimaendringene å akselerere, noe som vil bidra til store fysiske, miljømessige, sosiale og økonomiske endringer. Mange av disse ser man allerede tegn på. Endringer i klimaet i Arktis vil også påvirke resten av verden gjennom økt global oppvarming og en økning i havnivået.



1. Klimaet i Arktis blir raskt varmere og mye større endringer forventes i fremtiden.

- Gjennomsnittlig årstemperatur i Arktis har økt om lag dobbelt så fort som i resten av verden de siste tiårene, med noen variasjoner innenfor regionene.
- Ytterligere bevis på oppvarming i Arktis kommer i form av utstrakt smelting av isbreer og havis, og en kortere snøsesong.
- Økte globale konsentrasjoner av karbondioksid og andre klimagasser som skyldes menneskelig aktivitet, primært forbrenning av fossile brensler, er beregnet til å bidra til en ytterligere arktisk oppvarming på 4 til 7 °C i løpet av de neste 100 årene.

Økt nedbørsmengde, kortere og varmere vintre og en betraktelig reduksjon i snø- og isdekke er blant de beregnede endringene som med stor sannsynlighet forventes å vedvare i århundrer.

- Uventede og større endringer og svingninger i klimaet er også mulig.



2. Oppvarmingen av Arktis og konsekvensene av dette har virkninger over hele verden.

- Smeltingen av arktiske snø og is med høy evne til å reflektere sol, vil avdekke mørkere land- og havoverflate, noe som øker absorpsjonen av solvarme og bidrar til ytterligere oppvarming av jordkloden.
- Økt smelting av isbreer og økt tilførsel av vann fra elver tilfører mer ferskvann til havet. Dette hever det globale havnivået og reduserer muligens sirkulasjonen i havet som sørger for å bringe varme fra tropene til polene. Dermed påvirkes klimaet både globalt og regionalt.

Oppvarming vil svært sannsynlig påvirke både frigjøring og opptak av klimagasser fra jord, vegetasjon og kystnære havområder.

- Endringer i det arktiske klimaet vil ha konsekvenser for det biologiske mangfoldet i verden, fordi arter som forflytter seg med årstidene er avhengige av å spise og forplante seg i arktiske områder.



3. Arktiske vegetasjonssoner vil svært sannsynlig endre seg, noe som vil medføre flere typer konsekvenser.

- Tregrensen forventes å bevege seg nordover og høyere oppover, og skog vil erstatte betydelige deler av det som nå er tundra. Tundravegetasjon vil bevege inn i polare ørkenområder.
- Vegetasjon med høyere produktivitet vil sannsynligvis øke karbonopptaket, men samtidig vil redusert

refleksjon fra jordoverflaten sannsynligvis oppveie karbonopptaket, noe som gir økt oppvarming.

- Insektsangrep og skogbranner kommer svært sannsynlig til å øke i hyppighet, alvorlighet og varighet. Dette gjør det lettere for fremmede arter å innvandre.
- Der jordsmonnet egner seg vil jordbruket ha potensial til å utvide seg nordover på grunn av lengre og varmere vekstsesong.



4. Dyrearters mangfold og utbredelse vil endres.

- Redusert mengde havis vil innebære en drastisk reduksjon av det marine leveområdet for isbjørn, sel som lever på is og noen sjøfugler. Noen arter trues av utryddelse.
- Reinsdyr/caribou og andre landdyr kommer sannsynligvis til å bli mer stresset ettersom klimaendringene endrer tilgangen til matressurser, yngleplasser og trekkruer.

- Arter forventes å bevege seg nordover både på land og i havet, noe som fører nye arter inn i Arktis, og dette vil igjen ha følger for noen av de artene som lever i Arktis.
- Med nye arter vil dyresykdommer som kan overføres til mennesker, som vestnilfeber, sannsynligvis kunne utgjøre en økt helseisiklo.
- Enkelte fiskerier i arktiske havområder er viktige i global sammenheng og vesentlige bidragsytere i den regionale økonomien. Noen av disse vil sannsynligvis bli mer produktive. Ferskvannsfiske som har stor betydning for lokal matforsyning kommer sannsynligvis til å lide under klimaendringene.

5. Mange kystsamfunn og -anlegg vil bli mer eksponert for stormer.

- Omfattende erosjon langs kysten vil bli et økende problem etter hvert som havnivået øker og havisen reduseres. Dette skyldes at høyere bølger og stormflo når inn til kysten.
- Langs deler av kysten i arktiske områder vil permafrost som tiner gjøre landområder ved kysten mindre stabile og mer sårbare.

frost som tiner gjøre landområder ved kysten mindre stabile og mer sårbare.

- Risikoen for flom i våtmarksområder nær kysten forventes å øke og få følger for kystsamfunn og naturlige økosystemer.
- I noen tilfeller er lokalsamfunn og industrianlegg i kystområder allerede truet eller tvunget til å flytte, mens andre kan forvente økt risiko og større kostnader.

6. Redusert havis vil svært sannsynlig øke både skipsfarten og tilgangen til ressursene.

- En fortsatt reduksjon av havisen vil svært sannsynligvis forlenge seilingssesongen og øke tilgangen til marine naturressurser i Arktis.
- Sesongstyrt åpning av Den nordlige sjørute vil sannsynligvis gjøre transarktisk skipsfart i sommerhalvåret mulig innen noen tiår. Økt bevegelse i havisen i noen

delar av Nordvestpassasjen kan til å begynne med gjøre skipsfart vanskeligere.

- Redusert mengde havis vil sannsynligvis gi mulighet for økt utvinning av offshore olje og gass, selv om økt bevegelse i havisen kan komme til å forhindre enkelte operasjoner.
- Spørsmål vil sannsynligvis melde seg omkring suverenitet, sikkerhet og trygghet – samtidig som sosiale, kulturelle og miljømessige hensyn må tas i forbindelse med den økte fremkommeligheten på havet.

7. I områder der grunnen tiner vil transport, bygninger og annen infrastruktur påvirkes.

- Transport og industri på land, inkludert olje- og gassutvinning og skogbruk, vil i økende grad bli vanskeligere ved periodene man kan bruke isveier og den frosne tundraen til transport blir kortere.
- Etter hvert som frosne jord tiner vil mange bygninger, veier, rørledninger, flyplasser og industrianlegg sann-

synligvis bli mindre stabile, noe som krever betydelige ombygginger, vedlikehold og investeringer.

- Fremtidige utbyggingsprosjekter vil kreve tilpasninger som tar hensyn til den pågående oppvarmingen. Dette vil øke konstruksjons- og vedlikeholdskostnadene.
- Permafrost som trekker seg tilbake vil også påvirke naturlige økosystemer ved at overflaten kollapser, sjøer dreneres, våtmarker oppstår og trær velter i sårbare områder.

8. Urfolkssamfunn står overfor omfattende økonomiske og kulturelle konsekvenser.

- Mange urfolksgreper er avhengige av jakt på isbjørn, hvalross og sel og rein, reindrift, fiske og sanking. Dette er ikke bare en måte å skaffe seg mat og støtte den lokale økonomien på, men også et grunnlag for kulturell og sosial identitet.
- Endringer i artenes utbredelse og tilgjengeligheten til disse artene, mindre forutsigbart vær og mindre trygge

reiseruter på grunn av vekslende is- og værforhold, utgjør til sammen alvorlige utfordringer for både menneskers helse og matvaresikkerhet, og kan true noen kulturers overlevelse.

- Urfolks kunnskap og observasjoner er en viktig kilde til informasjon om klimaendringene. Denne kunnskapen indikerer, i overensstemmelse med vitenskapelige funn, at betydelige endringer allerede har funnet sted.

9. Økt ultrafiolett strålingen vil påvirke mennesker, planter og dyr.

- Det stratosfæriske ozonlaget over Arktis forventes ikke å bli vesentlig forbedret i de neste tiårene, noe som for en stor del skyldes den effekten klimagasser har på temperaturen i stratosfæren. Ultrafiolett (UV) stråling i Arktis forventes dermed å holde seg forhøyet i tiårene framover.
- Som et resultat av dette vil dagens generasjon unge i Arktis sannsynligvis i løpet av livet motta en dose UV-stråling som om lag 30 prosent høyere enn hos noen tidligere generasjon. Vi vet at økt UV-stråling kan forårs-

sake hudkreft, grå stær og forstyrrelser i immunforsvaret hos mennesker.

- Høye doser av UV-stråling kan forstyrre fotosyntesen hos planter og ha skadelig virkning for fisk og amfibier i tidlige utviklingsstadier.
- Det er sannsynlig at enkelte arktiske økosystemer vil bli utsatt for risiko, da den største økningen i UV-strålingen inntreffer om våren når utsatte arter er mest sårbare, og redusert snø- og isdekke øker UV-eksponeringen hos liv som normalt er beskyttet av snø og is.

10. En rekke faktorer virker sammen og påvirker mennesker og økosystemer.

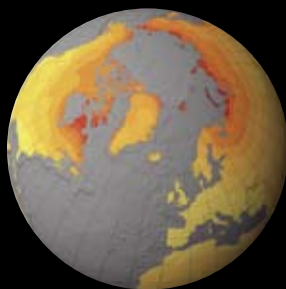
- Klimaendringer skjer parallelt med påvirkninger som kjemisk forurensning, overfiske, endringer i arealbruk, fragmentering av leveområder, befolkningsøkning og kulturelle og økonomiske endringer.
- Alle disse påvirkningene kan til sammen forsterke konsekvensene for menneskers og økosystemers helse og

velvære. I mange tilfeller vil den totale effekten være større enn summen av de enkelte faktorene, slik vi ser ved effekten av forurensende kjemikalier, økt ultrafiolett stråling og varmere klima.

- Hvilke påvirkninger som er viktigst og hvordan disse virker sammen vil avhenge av lokale faktorer i hver enkelt arktiske region.

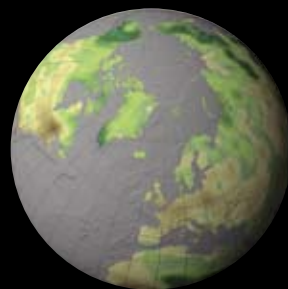
Klimautviklingen i Arktis

Oppvarmingen i Arktis fører til endringer i nesten hver eneste del av det fysiske klimasystemet. Noen av disse endringene er nevnt nedenfor og beskrives i større detalj utover i denne rapporten.



Temperaturøkning

Temperaturen har økt kraftig i løpet av de siste tiårene over det meste av regionen, spesielt om vinteren. Økningen i vintertemperaturen i Alaska og det vestlige Canada har vært omlag 3–4 °C de siste 50 årene. Det forventes større økninger i dette århundret



Økt nedbør

Nedbøren i Arktis har i gjennomsnitt økt med omlag 8 % i løpet av det siste århundret. Mye av økningen har kommet som regn og den største økningen er kommet om høsten og vinteren. Det forventes større økninger de neste 100 år.



Økte flomnivåer i elvene

Ferskvannstilførsel til havet fra elvene har økt i det meste av Arktis de siste tiårene, og vårflommene i elvene kommer tidligere. Det forventes at disse endringene kommer til å akselerere.



Permafrosttining

Permafrosten har blitt opp til 2 °C varmere i løpet av de siste tiårene og dybden på det laget som tiner hvert år øker i mange områder. Det forventes at permafrostens sørlige grense kommer til å bevege seg flere hundre kilometer nordover i løpet av dette århundret.



Reduksjon i snødekket

I løpet av de siste 30 årene har snødekkets utbredelse blitt redusert med ca. 10 %. Det forventes at det vil reduseres med ytterligere 10–20 % innen 2070. Den største reduksjonen forventes om våren.



Redusert isdekke på elver og innsjøer

Senere tilfrysing og tidligere isgang på elver og innsjøer har samlet ført til at issesongen er blitt én til tre uker kortere i enkelte områder. De sterkeste trendene ser man i Nord-Amerika og den vestlige delen av Eurasia.



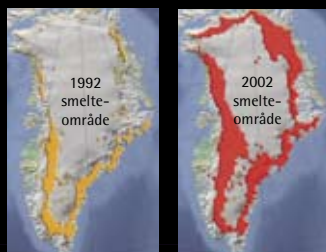
Smelting av isbreer

Isbreene smelter over hele Arktis. Den spesielt raske tilbaketrekkingen av isbreene i Alaska utgjør omtrent halvparten av det estimerte masse-tapet fra isbreer på verdensbasis, og er den største målte bidraget fra bresmelting til havnivåøkningen.



Tilbaketrekking av havisen om sommeren

Det gjennomsnittlige havisutbredelsen om sommeren har blitt redusert med 15–20 % i løpet av de siste 30 årene. Det forventes at reduksjonsraten vil akselerere, og mot slutten av dette århundre forventer man et nesten totalt fravær av havis om sommeren.



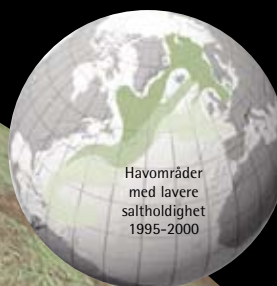
Smelting av innlandsisen på Grønland

Arealet av området på innlandsisen på Grønland hvor smelting finner sted har økt med omlag 16 % fra 1979 til 2002. Smeltearealet målt i 2002 slo alle tidligere rekorder.



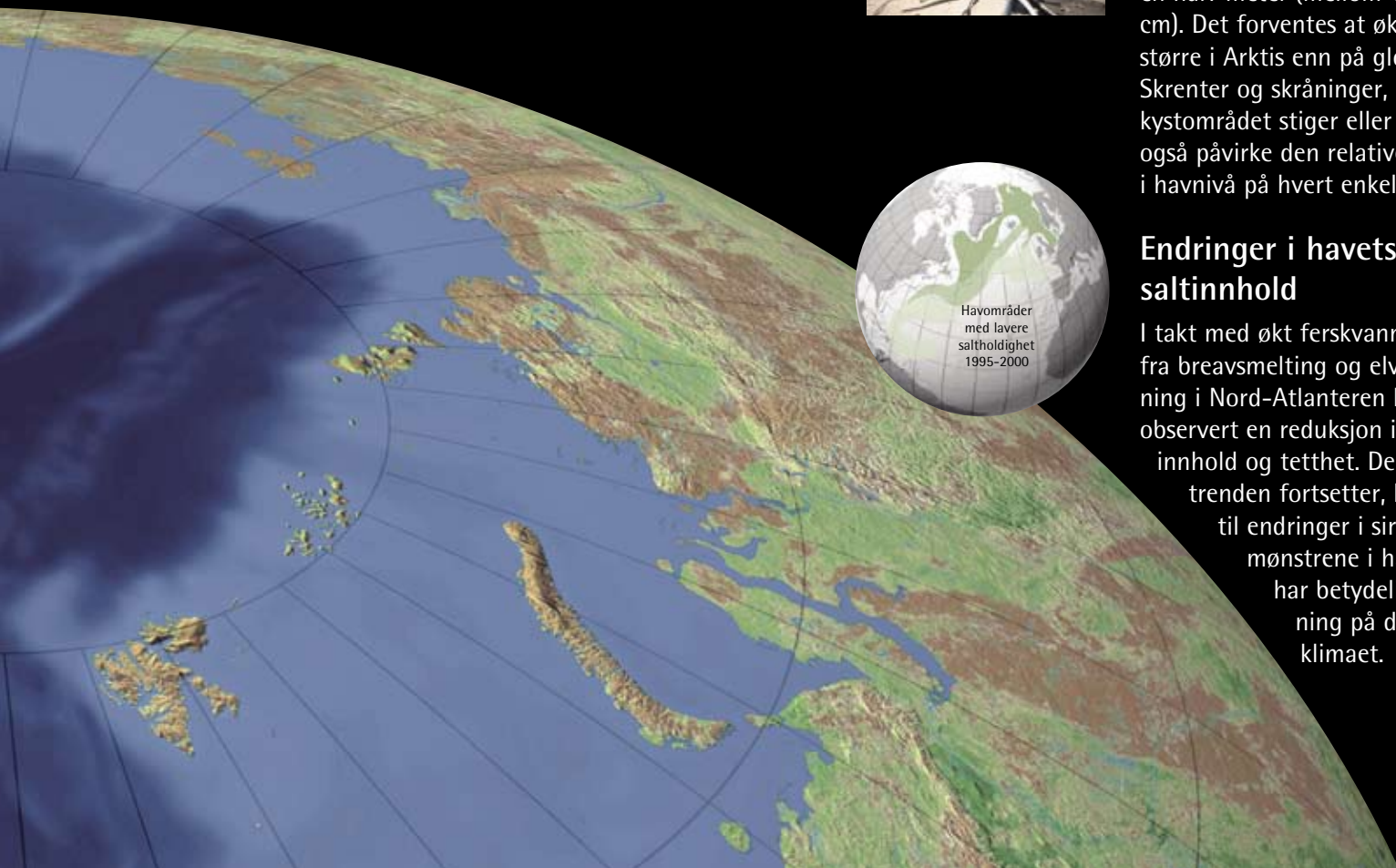
Øking i havnivået

Havnivået globalt og i Arktis har økt med 10–20 cm i løpet av de siste 100 årene. I løpet av dette århundret forventer man at nivået vil stige ytterligere med omtrent en halv meter (mellom 10 og 90 cm). Det forventes at økningen blir større i Arktis enn på globalt nivå. Skrenter og skråninger, og hvorvidt kystområdet stiger eller faller, vil også påvirke den relative stigningen i havnivå på hvert enkelt sted.



Endringer i havets saltinnhold

I takt med økt ferskvannstilførsel fra bresmelting og elveavrenning i Nord-Atlanteren har man observert en reduksjon i havets saltinnhold og tetthet. Dersom denne trenden fortsetter, kan det føre til endringer i sirkulasjonsmønstrene i havet som har betydelig påvirkning på det regionale klimaet.



Virksomheter på natursystemene

Den klimautviklingen som er beskrevet på de foregående sidene påvirker naturlige økosystemer. Noen av disse virkningene er nevnt nedenfor og utforskes nærmere utover i rapporten.

Endringer i våtmarkene

Permafrosttining vil føre til at enkelte våtmarksområder og innsjøer vil bli nedtappet mens det i andre områder vil dannes nye våtmarker. Balansen mellom disse endringene er ikke kjent, men ettersom ferskvannsområder blir påvirket på denne måten er artsendringer også sannsynlig.

Vegetasjonsendringer

Vegetasjonssonene forventes å bevege seg nordover. Skog vil erstatte en deler av dagens tundraområder, og tundravegetasjon vil bevege seg inn i polare ørkenområder. Begrensninger i mengde og kvalitet på jordsmonnet vil, i enkelte områder, sakte denne overgangen.

Flere skogbranner og insektangrep

Skogbranner, insektangrep og andre forstyrrelser forventes å øke i hyppighet og intensitet. Slike hendelser kan føre til at fremmede arter vinner innpass.



Forflytting av arter nordover

Plante- og dyrearter forventes å bevege seg nordover, noe som vil føre til en økning i antall arter i Arktis. Noen utbredte arktiske arter vil sannsynligvis oppleve en kraftig nedgang.



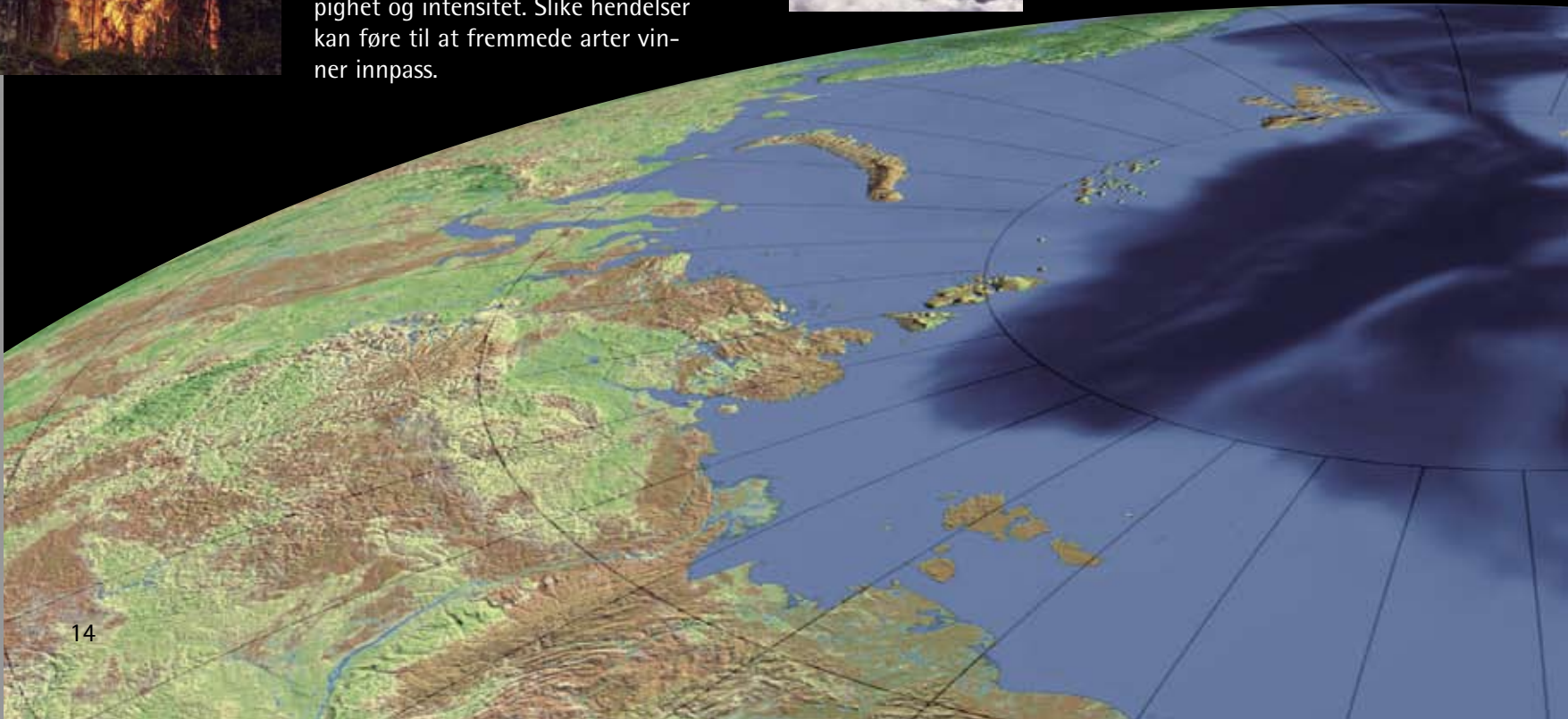
Marine arter i risikosonen

De isavhengige marine artene, inkludert isbjørn, sel som lever på is, hvalross og enkelte marine fuglearter, kommer svært sannsynlig til å oppleve en nedgang. Noen arter trues av utryddelse.



Terrestre arter i risikosonen

Arter som er spesielt tilpasset det arktiske klimaet er spesielt utsatt for risiko. Dette inkluderer mange typer mose og lav, lemen, markmus, polarrev og snøugle.





Konsekvenser av ultrafiolett stråling

Den økte ultrafiolette strålingen som når jorden på grunn av nedbrytningen av det stratosfæriske ozonlaget og reduksjonen i is- og snødekket om våren, vil påvirke økosystemet både på land og i vann.



Tap av urskog

Urskogen er rik på lav, mose, sopp, insekter, hakkespetter og fugler som bygger rede i hule trær. En klimaoppvarming vil føre til flere skogbranner og skogsdød forårsaket av insektangrep, noe som igjen fører til en ytterligere reduksjon i denne verdifulle habitattypen som allerede er under press på grunn av annen menneskelig aktivitet.

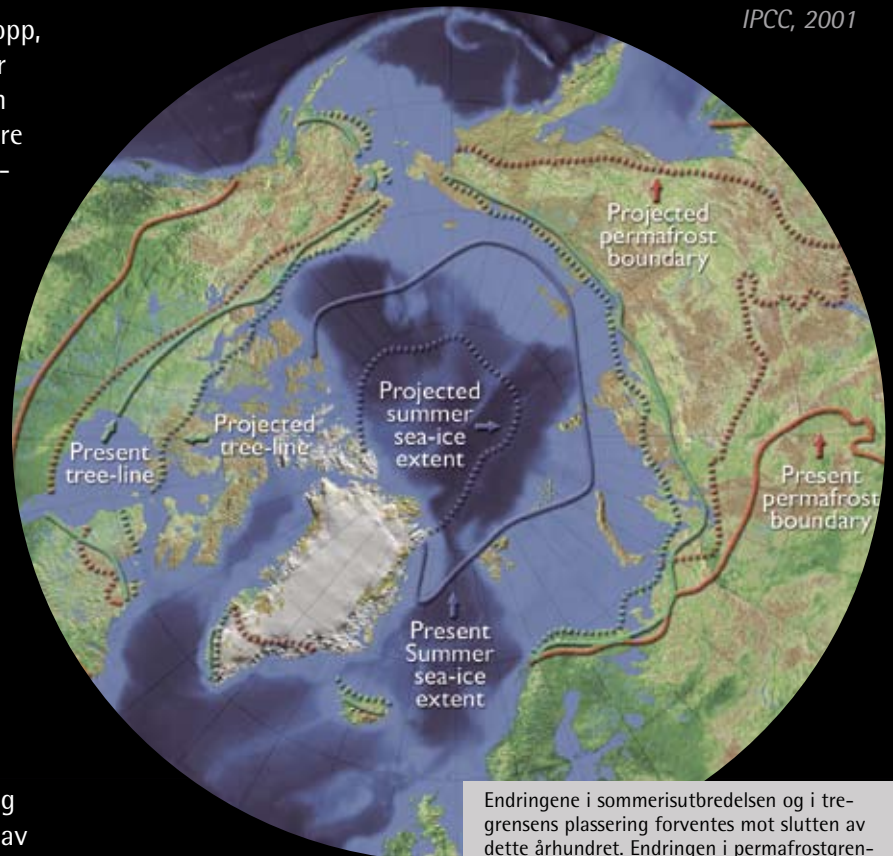


Endringer i karbonsyklusen

Over tid vil erstatningen av den arktisk vegetasjonen med en mer produktiv vegetasjonstype fra sør sannsynligvis øke karbondioksidopptaket. På den annen side vil sannsynligvis utslipp av metan øke, hovedsakelig på grunn av oppvarming av våtmarksområder og tining av permafrost.

«Klimaendringene i de polare strøkene forventes å være større og raskere enn de fleste områder i verden og kommer til å medføre store fysiske, miljømessige, sosiologiske og økonomiske konsekvenser, spesielt i Arktis...»

IPCC, 2001



Endringene i sommerisutbredelsen og i tre-grensens plassering forventes mot slutten av dette århundret. Endringen i permafrostgrensens plassering er basert på forutsetningen om at områder som i dag har diskontinuerlig permafrost vil være fri for permafrost i fremtiden, og dette vil sannsynligvis først skje etter det 21. århundre.

Konsekvenser for samfunnet

De endringer i klimaet og natursystemene som er beskrevet på de foregående sidene, kan tenkes å få flere konsekvenser for samfunnene i hele den arktiske region.



Tap av jegerkultur

For inuitene vil en oppvarming sannsynligvis forhindre eller til og med tilintetgjøre deres jakt- og matdelingskultur ettersom et redusert havisdekke kan medføre at de dyrebestander de er avhengige av reduseres, blir mindre tilgjengelige og i muligens i enkelte tilfeller utryddes.



Redusert matvaresikkerhet

Tilgang på tradisjonelle matkilder som sel, isbjørn, caribou og noen fiske- og fuglearter vil sannsynligvis bli betydelig svekket som en følge av oppvarming. Redusert kvalitet på matkildene, for eksempel syke fisk og tørre bær, er noe som allerede observeres enkelte steder. Et skifte til et mer vestlig kosthold øker faren for diabetes, fedme og hjerte- og karsykdommer.



Helsebekymringer hos mennesker

Helsebekymringer hos mennesker omfatter også økt ulykkesrisiko som en følge av miljøendringer som for eksempel tynnere havisdekke og helseproblemer som kan ha sammenheng med ugunstige virkninger på sanitæranlegg i forbindelse med permafrosttining.



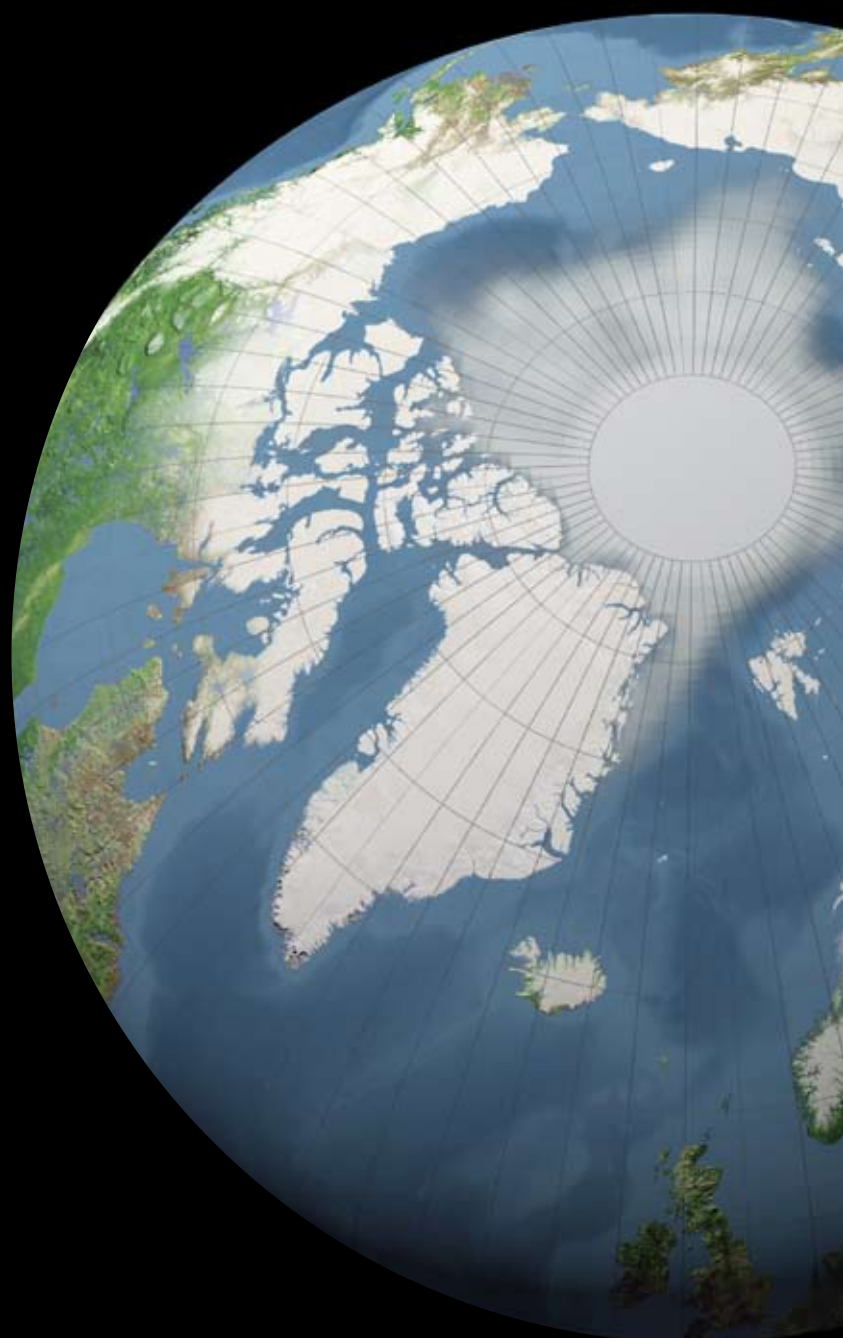
Konsekvenser for dyreflokker

Caribou- og reinsdyrflokkenes må forholde seg til en rekke klimarelaterte endringer i trekkruiter, kalvingsplasser og mottilgang ettersom elveis- og snøforholdene endrer seg. Dette vil også få følger for de menneskene som jakter på og gjeter disse artene.



Økt skipsfart

Skipsfarten gjennom viktige områder, inkludert Den nordlige sjørute og Nordvestpassasjen, kommer sannsynligvis til å øke. Sommerseilingssesongen antas å bli betydelig lengre utover i århundret som et resultat av havisreduksjon. Dette vil sannsynligvis føre til økt turisme og økt skipsbasert godstransport.





Økt tilgang til ressurser

Marin tilgang til enkelte arktiske ressurser, inkludert olje og gass på kontinentalsokkelen og enkelte mineraler, vil sannsynligvis bli enklere som resultat av reduksjonen i havisen. Dette gir nye muligheter så vel som miljømessige utfordringer. Økt isbevegelse kan i utgangspunktet gjøre enkelte operasjoner vanskeligere.



Utvidet fiskerivirksomhet

Noen viktige fiskerier i Arktis, for eksempel silde- og torskefiskeriene, kommer sannsynligvis til å bli mer produktive når klimaet blir varmere. Det er svært sannsynlig at vandringssmønstret og utbredelsesområdet til mange fiskearter kommer til å endre seg.



Forhindring av transport på land

Transportruter og rørledninger på land er allerede skadelidende enkelte steder der grunnen tiner. Dette er et problem som sannsynligvis kommer til å øke. Olje- og gassutvinning og skogbruk vil i økende grad bli vanskeliggjort ved at periodene der man kan bruke isveier og den frosne tundraen til industriell virksomhet blir kortere. Nordlige bosetninger som er avhengige av frosne veier for transport av forsyninger, kommer også til å bli skadelidende.



Redusert ferskvannsfiske

I løpet av dette århundret forventes det at bestanden av en rekke arktisk tilpassede fiskearter blir redusert samt at det antas at enkelte av disse artene vil bli utryddet både lokalt og globalt. Ishavs-røye, sikarten *Coregonus nasus* og omul, som er en viktige komponenter i lokalbefolkningenes kosthold, er blant de artene som er truet av et varmere klima.

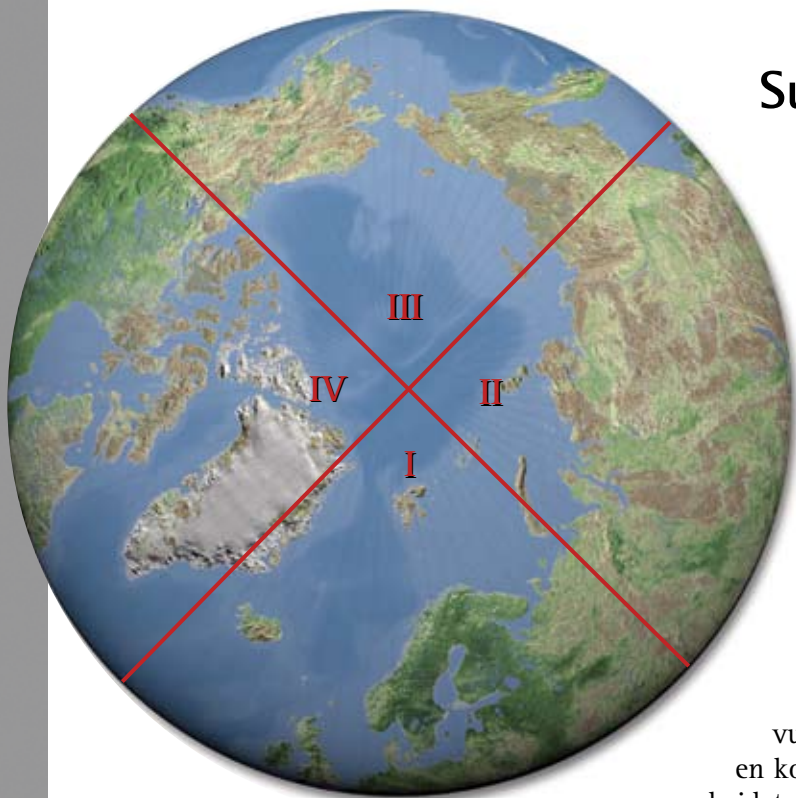


Bedre vilkår for jordbruk og skogbruk

Muligheten for å drive jordbruk og skogbruk kommer sannsynligvis til å bli bedre etter hvert som områder egnet for matvare- og trevirkeproduksjon brer seg nordover på grunn av lengre og varmere vekstsesong og økt nedbør.

Larisa Avdejeva
Lovozero, Russland

Subregional oversikt



I en så stor og variert region som Arktis er det store subregionale forskjeller i klimaet. Oppvarmingen i den senere tid har vært mer dramatisk i enkelte områder enn i andre. Enkelte steder, som de delene av Canada og Grønland som omslutter Labradorhavet, har foreløpig ikke vært utsatt for den samme oppvarmingen som resten av regionen, tvert i mot så er det her observert en nedkjøling. Det er også beregnet at det blir regionale variasjoner i de fremtidige klimaendringene. Lokale særtrekk i naturen og samfunnene har også betydning for hvilke konsekvenser som vil oppstå og hvilke som vil bli de viktigste i hver subregion.

I forbindelse med denne utredningen ble det definert fire subregioner, og i denne rapporten trekkes frem enkelte konsekvenser forventet å inntreffe i hver subregion. Dette er ikke en omfattende vurdering av følgene av klimaendringer i disse områdene eller en vurdering av hvilke konsekvenser som er de viktigste. Det er heller en kort gjennomgang av viktige eksempler som har kommet frem under arbeidet med denne vurderingen. Flere detaljer finnes på sidene 114–121 i denne rapporten. Noen konsekvenser er viktige i alle subregioner, men for å unngå gjentakelser blir de ikke spesielt fremhevet i alle subregionene. Andre studier, og noen av dem er allerede igangsatt, vil se på konsekvensene av utvalgte aktiviteter, som for eksempel oljeutvinning, i de arktiske subregionene.

Under arbeidet med å vurdere de fremtidige konsekvensene av klimaendringer i de enkelte subregionene, avledet man de forventede klimaendringene primært fra globale klimamodeller. Etter hvert som de regionale klimamodellene blir forbedret og blir mer tilgjengelige, er det ikke umulig at man i forbindelse med fremtidige vurderinger vil bli i stand til å utarbeide mer detaljerte lokale og regionale endringsmønstre. Når det gjelder denne rapporten er klimautviklingen og konsekvensene av disse endringene gitt i ganske bred regional målestokk ettersom de blir mindre eksakte og spesifikke etter som målestokken blir mindre.

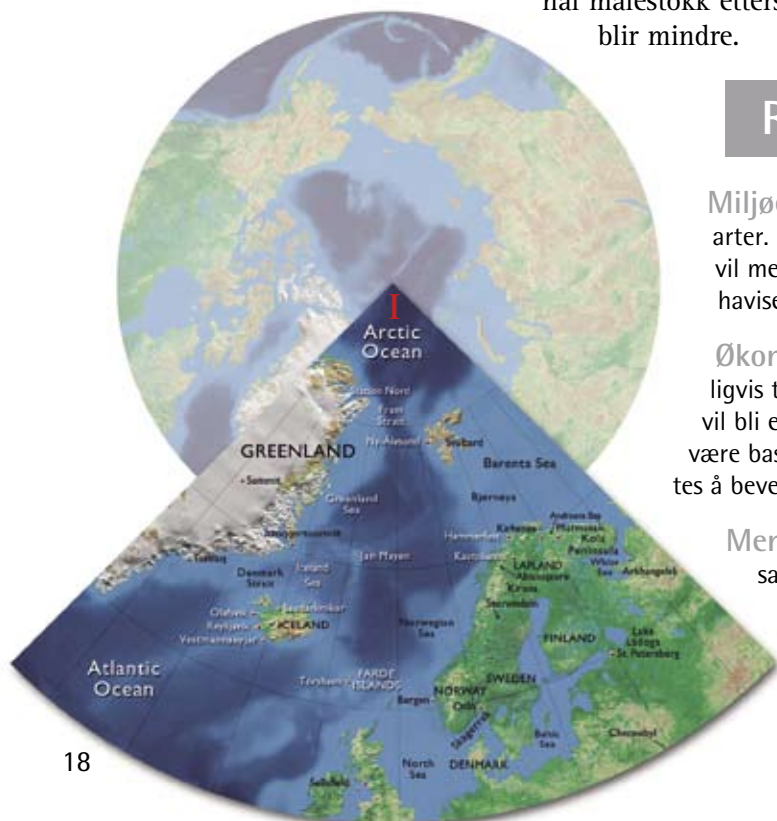
REGION I

Øst-Grønland, Island, Norge, Sverige, Finland, Nordvest-Russland og tiliggende havområder

Miljøet Det er svært sannsynlig med en nordlig forflytning av plante- og dyrearter. Noen tundra-områder forsvinner fra fastlandet. Lavtliggende kystområder vil med økende sannsynlighet oppleve stormflo i takt med at havnivået stiger og havisen trekker seg tilbake.

Økonomien Marin tilgang til olje, gass og mineralressurser kommer sannsynligvis til å bli bedre etter som havisen trekker seg tilbake. Det er sannsynlig at det vil bli en generell økning i de nordatlantiske og arktiske fiskeriene. Fiskeriene vil være basert på tradisjonelle fiskeslag, men også på sørligere fiskeslag som forventes å bevege seg nordover.

Menneskenes liv Et redusert snødekke og endringene i snøforholdene vil sannsynligvis ha betydelig ugunstige konsekvenser for reindriften. Tradisjonell høsting av dyr kommer sannsynligvis til å bli mer risikabelt og mindre forutsigbart. Dyresykdommer som kan overføres til mennesker vil sannsynligvis oppstå.



REGION II

Sibir og tilliggende havområder

Miljøet Skogområdene vil sannsynligvis endres betydelig ettersom klimaet blir varmere, permafrosten tiner og skogbrann- og insektangrepskadene blir større. Skog- og krattskoglandskap kommer svært sannsynlig til å erstatte tundraen mange steder. Plante- og dyrearter kommer til å bevege seg nordover. Avrenning fra elvene vil øke.

Økonomien Tilbaketrekkingen av havisen kommer svært sannsynlig til å forlenge seilingssesongen i Den nordlige sjørute. Dette gir både økonomiske muligheter så vel som fare for forurensning. Tilgangen til olje- og gassressurser på kontinentalsokkelen kommer sannsynligvis til å forbedres, men enkelte aktiviteter kan bli vanskeliggjort av økt bølgeaktivitet.

Menneskenes liv Tining av permafrosten har allerede ført til alvorlige skader på bygninger og industrianlegg, og det forventes at dette vil fortsette. En kortere elveisssesong og permafrost som tiner vil sannsynligvis forhindre reinsdyrene i å bruke de vanlige trekkrutene, noe som kommer til å få følger for urfolkens tradisjonelle levevei.

REGION III

Chukotka, Alaska, vestlige canadiske Arktis og tilliggende havområder

Miljøet Det biologiske mangfoldet i denne subregionen er mest utsatt for klimaendringene ettersom denne subregionen i øyeblikket har det høyeste antall truede planter og dyrearter i Arktis. Det forventes økte skogskader på grunn av skogbranner og insektangrep. Lavtliggende kystområder vil oppleve flere oversvømmelser.

Økonomien Infrastrukturen vil bli skadet på grunn av tining av permafrost og erosjon langs kystene. Redusert havisdekke vil forenkle tilgangen til de nordlige kystområdene. Tining vil vanskeliggjøre landtransport om vinteren. Tradisjonelle lokale økonomier som primært er basert på ressurser som er sårbare for klimaendringer (for eksempel isbjørn og ringsel) kommer svært sannsynlig til å bli skadelidende som resultat av oppvarmingen.

Menneskenes liv Kysterosjon som følge av redusert havisdekke, stigende havnivå og permafrosttining kommer svært sannsynlig til å medføre et behov for å flytte hele bosetninger og legge ytterligere press på andre. Nedgang i bestanden av isavhengige arter og økte risikoelementer for jegere truer matsikkerheten og urfolkens tradisjonelle levemåte.

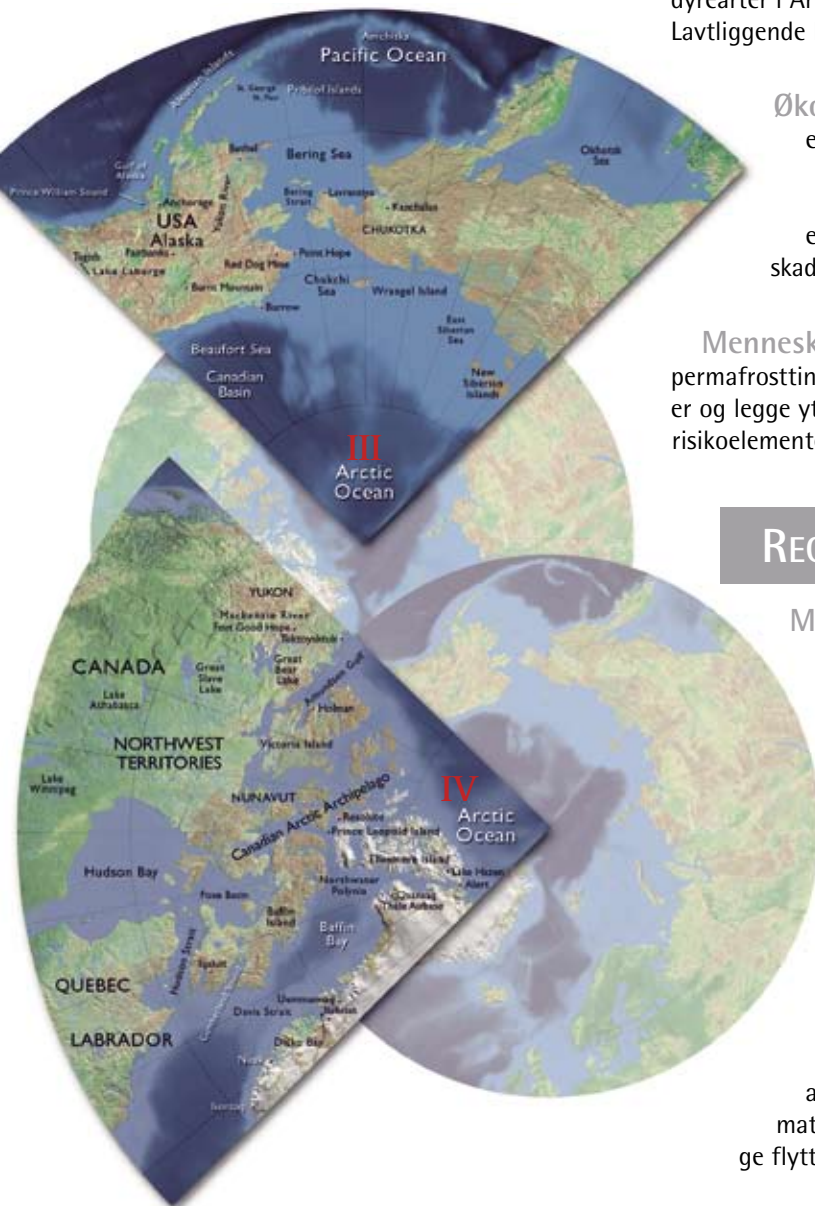
REGION IV

Sentral- og Øst-Canada, Vest-Grønland og tilliggende havområder

Miljøet Det er sannsynlig at rekordsmelting på innlandsisen på Grønland vil fortsette, noe som vil medføre endringer i det lokale miljøet og økning i det globale havnivået. Det vil oftere være oversvømmelser i lavtliggende kystområder på grunn av stigende havnivå og stormflo.

Økonomien Tilbaketrekking av havisen vil sannsynligvis føre til økt skipsfart gjennom Nordvestpassasjen. Dette vil gi rom for økonomiske muligheter, men samtidig føre til en økt risiko for oljeutslipp og andre ulykker. Sørligere saltvannsfisk som for eksempel hyse, sild og makrellstørje kan komme til å forflytte seg inn i regionen. Bestandene av canadarøye og andre ferskvannsarter blir redusert, noe som vil påvirke både den lokale mattilgangen så vel som sportsfisket og turismen.

Menneskenes liv Noen urfolk, spesielt inuitene, står overfor store trusler mot matsikkerheten og jaktkulturen etter hvert som redusert havisdekke og andre varmerelaterte endringer gjør tilgjengeligheten og tilgangen til tradisjonelle matkilder vanskelig. En økning i havnivået og hyppigheten av stormflo kan fremtvinge flytting av lavtliggende kystsamfunn. Dette vil få betydelige sosiale ringvirkninger.



Hvorfor varmes Arktis hurtigere enn områder lenger sør?

For det første, når isen og snøen i Arktis smelter, vil de mørkere land- og havoverflatene som da kommer til syne absorbere mer av solenergien, og bidra til den arktiske oppvarmingen. For det andre er det slik at i Arktis vil en større andel av den overskuddsenergien man får på jordoverflaten på grunn av de økte klimagasskonsentrasjonene gå direkte til å varme opp atmosfæren. I tropene vil en større andel gå til fordampning. For det tredje er det atmosfærelaget som må varmes opp for at overflateluften skal varmes opp mye tynnere i Arktis enn i tropene. Det fører til større temperaturøkning i Arktis. For det fjerde, ettersom oppvarmingen reduserer havisutbredelsen, vil den solvarmen som havene absorberer om sommeren lettere bli tilbakeført til atmosfæren om vinteren, noe som gjør at lufttemperaturen blir høyere enn den ellers ville blitt. Til sist, fordi varme transporteres til Arktis via atmosfære og hav vil endringer i disse sirkulasjonsmønstre også kunne føre til økt arktisk oppvarming.

1. Etter hvert som snø og is smelter, vil mørkere land- og havoverflater absorbere mer solenergi.

2. Mer av overskuddsenergien går direkte til oppvarming og ikke til fordampning.

3. Det atmosfærelaget som må varmes opp for at jordoverflaten skal varmes opp, er tynnere i Arktis.

4. Når havisen trekker seg tilbake vil solenergien som absorberes av havet lettere bli overført til atmosfæren.

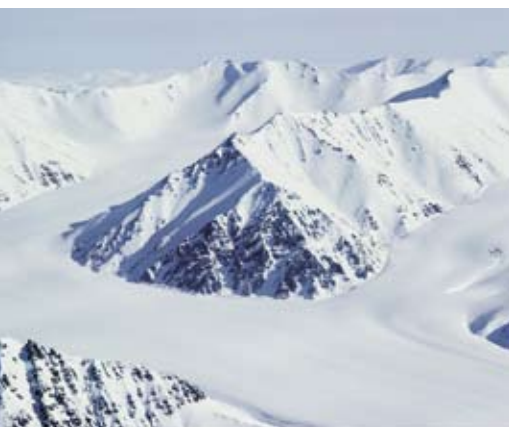
5. Endringer i den atmosfæriske sirkulasjonen og havsirkulasjonen kan føre til mer oppvarming.



Grunnlaget for nøkkelfunnene

Et satellittbilde av en isbre på Ellesmere Island som kommer ned til sjøen i Greely-fjorden, avslører voksende smeltevannsdammer på overflaten av isbreen og også isfjell som har kalvet fra isbreen og som flyter i fjorden.

1 Klimaet i Arktis blir raskt varmere og mye større endringer forventes i framtiden.



De arktiske luft-temperaturene øker, med de sterkeste trendene om vinteren og over de siste tiårene.

Observerte klimaendringer

Dokumenterte temperaturøkninger, smeltende isbreer, redusert havistykkel og -utbredelse, tinende permafrost og stigende havnivå er alt sammen sterke bevis på oppvarmingen i Arktis den senere tiden. De atmosfæriske vindene og havstrømmene skaper regionale variasjoner, og i noen områder er det observert større oppvarming enn andre. I enkelte områder er det til og med registrert en liten nedkjøling. Men for Arktis som helhet er oppvarmingstrenden klar. Det forekommer også mønstre innenfor denne generelle utviklingen. De fleste steder ser man f.eks. at temperaturen stiger hurtigere om vinteren enn om sommeren. I Alaska og det vestlige Canada har vintertemperaturen steget med så mye som 3-4 °C de siste 50 årene.

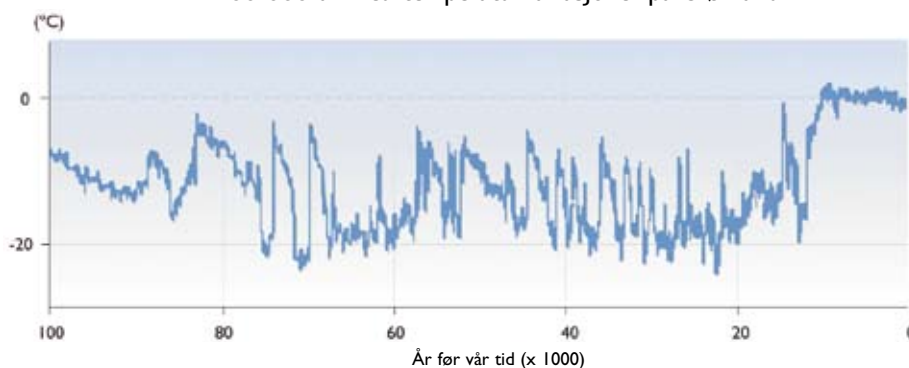
Observasjoner tyder på at nedbøren har økt med ca. 8 % for Arktis som helhet i løpet av de siste 100 årene, selv om tiltroen til resultatene er noe begrenset på grunn av usikkerhet rundt måling av nedbør i kaldt arktisk klima og på grunn av manglende data fra deler av regionen. Det er regionale nedbørsvariasjoner i Arktis, og det vil bli regionale variasjoner i nedbørsendringene også.

I tillegg til den generelle nedbørsøkningen har man også observert endringer i nedbørstype. Mye av nedbørsøkningen ser ut til å komme som regn, mesteparten om vinteren og i mindre grad om høsten og våren. Det økte vinterregnet, som faller oppå snødekket, fører til raskere snøsmelting. Når regner spesielt intenst, kan dette føre til plutselige oversvømmelser i enkelte områder. Regn på snø har økt betydelig over mye av Arktis, f.eks. med mer enn 50 % de siste 50 årene i Vest-Russland



For å kunne vurdere om den senere tids endringer i det arktiske klimaet er uvanlige, dvs. utenfor det man kan kalle naturlige variasjoner, er det nyttig å sammenligne nyere observasjoner med dokumentasjon over tidligere klima.

100 000 år med temperaturvariasjoner på Grønland

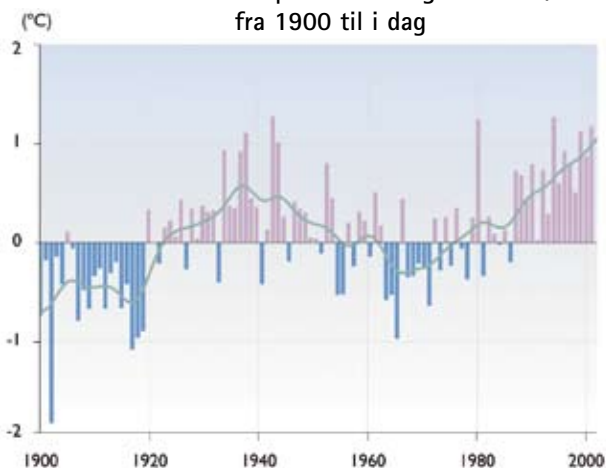


Denne dataserien (temperaturendringer - avvik fra dagens situasjon) er konstruert på basis av data fra en iskerne fra Grønland. Dataserien viser de store variasjonene i klima de siste 100 000 årene. Den indikerer også at klimaet de siste ca. 10 000 årene, dvs. den perioden da den menneskelige sivilisasjon utviklet seg, har vært usedvanlig stabil. Man er bekymret for at den hurtige oppvarmingen forårsaket av den stadig økende konsentrasjonen av klimagasser fra menneskelig aktivitet vil føre til at denne tilstanden blir destabilisert.

Data fra fortidens klima kommer fra iskjerner og andre kilder som kan gi en rimelig forestilling om hvordan klimaet var i fjern fortid. En granskning av dataene over tidligere klimatiske forhold viser at omfanget, hastigheten og mønsteret på oppvarmingen de siste ti-årene ganske visst er uvanlig og er karakteristisk for den menneskeskapte økningen av klimagasser.

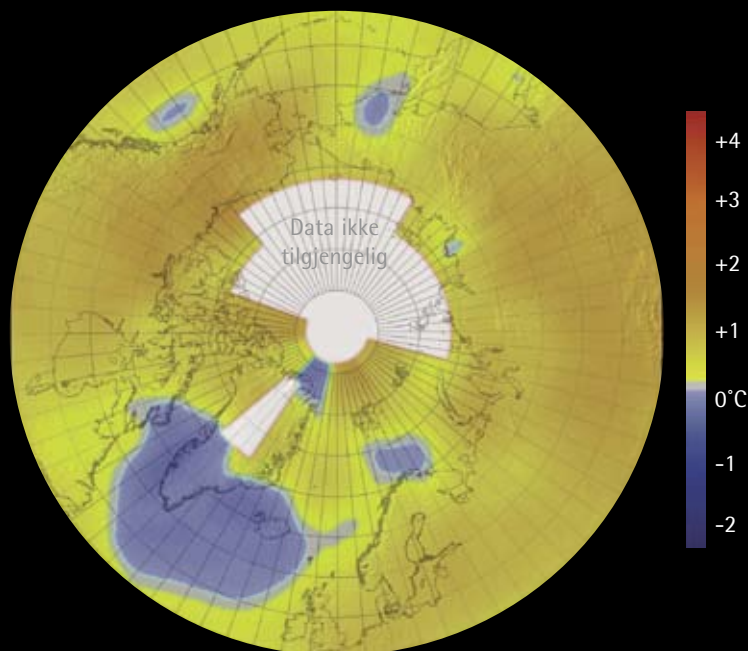
Både naturlige og menneskeskapte faktorer kan påvirke klimaet. Blant de naturlige faktorene som kan påvirke klimaet sterkt over en periode på alt fra år til tiår, er variasjoner i solaktiviteten, store vulkanutbrudd og et naturlig, noen ganger syklisk, samspill mellom atmosfæren og havene. En rekke viktige naturlige variasjonsmekanismer som påvirker Arktis spesielt mye har blitt identifisert. De omfatter blant annet: de arktiske svingningene (Arctic Oscillations), tiårssvingningene i Stillehavet (the Pacific Decadal Oscillations) og de nordatlantiske svingningene (the North Atlantic Oscillation). Alle disse kan påvirke de regionale mønstrene når det gjelder forhold som stormintensitet og -retning, fremherskende vindretning, snømengde og havisutbredelse. I tillegg til at dette vil kunne endre de langsiktige gjennomsnittlige klimaforholdene, vil menneskeskapte endringer i klimaet også kunne påvirke intensiteten, mønstrene og egenskapene til disse naturlige variasjonene.

Observerte temperaturendringer i Arktis, fra 1900 til i dag



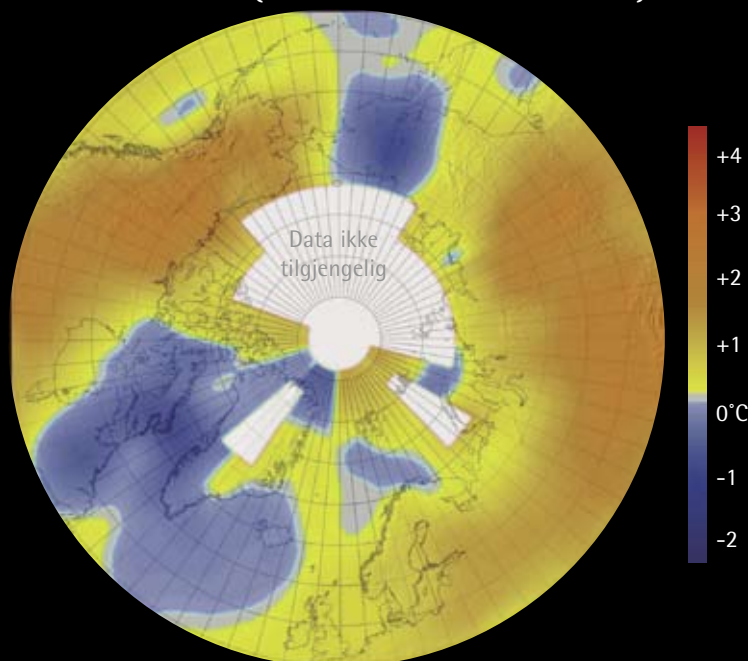
Årlig gjennomsnittlig temperatur ved bakken i forhold til gjennomsnittet for perioden 1961–1990 for landbaserte målestasjoner i området fra 60° til 90° N.

Observerte endringer i temperaturen ved bakken: 1954–2003 (ÅRLIG, °C)



Fargene indikerer temperaturendringer fra 1954 til 2003. Kartet over viser årlige gjennomsnittlige temperaturendringer med en variasjon fra en oppvarming på 2–3 °C i Alaska og Sibir til en nedkjøling på opp til 1 °C i det sørlige Grønland.

Observerte endringer i temperaturen ved bakken: 1954–2003 (VINTER: Desember–Februar i °C)



Kartet rett over viser temperaturendringene i vintermånedene med en variasjon fra en oppvarming på opp til 4 °C i Sibir og Nordvest-Canada til en avkjøling på 1 °C i det sørlige Grønland.



«Isen gir liv. Den fører de marine dyrene fra nord inn i vårt område og om høsten blir isen en utvidelse av landområdene våre. Når isen legger seg langs kysten, går vi ut på den for å fiske, for å jakte på sjøpattedyr og for ferdsel... Når den begynner å gå i oppløsning og forsvinner forttere, så påvirker det vårt liv dramatisk.»

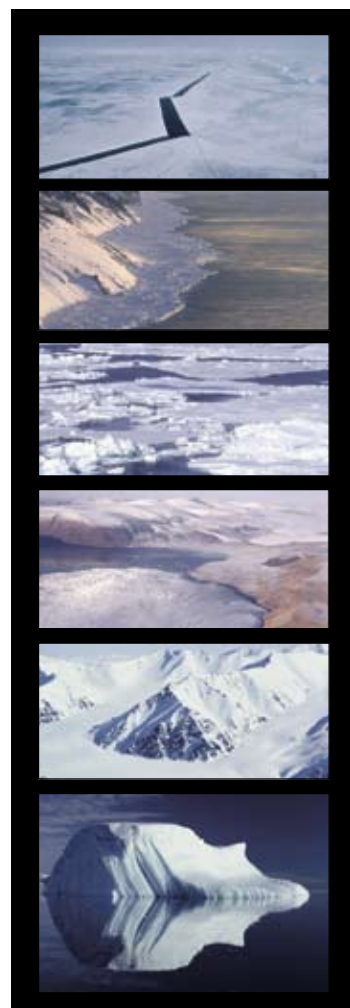
*Caleb Pungowiyi
Nome, Alaska*

Endringer i havisen: En viktig klimaendringsindikator

«Klima» innebærer mye mer enn bare temperatur og nedbør. I tillegg til langsiktige gjennomsnittlige værforhold, omfatter klima også ekstreme hendelser så vel som systemelementer som snø, is og sirkulasjonsmønstre i atmosfære og i hav. I Arktis er havisen en av de viktigste klimavariablene. Det er en nøkkelindikator og en pådriver for klimaendringer. Havisen påvirker overflaterreflektiviteten, skydekket, luftfuktigheten, varme- og fuktighetsutvekslingen ved havoverflaten samt havstrømmene. Som vist senere i denne rapporten får endringer i havisen svært store miljømessige, økonomiske og sosiale implikasjoner.

Akkurat som gruvearbeiderne en gang hadde kanarifugler som skulle varsle fra når kon sentrasjonen av giftige gasser økte, forventer klimaforskerne at havisen skal gi tidlig varsel på endringer. Havisen som i dag dekker Polhavet og tilliggende hav, er svært følsom for temperaturendringer i luften over og i havet under. I løpet av de siste tiårene har de som følger med på utviklingen i Arktis registrert en langsom reduksjon i havisdekket, noe som kan tyde på at global oppvarming begynner å gjøre seg gjeldende. I de senere årene har hastigheten på tilbaketrekkingen økt. Det kan bety at «kanarifuglen» er i vansker.

ISENS ABC



Havis dannes når sjøvannet fryser. Fordi havis har lavere tetthet enn sjøvann, flyter den på havoverflaten. Når havis dannes, avgir den mesteparten av saltet til sjøvannet, noe som medfører at den blir enda lettere. Ettersom havis dannes av sjøvann, innebærer ikke en smelting av havis at havnivået stiger.

Fastis er havis som vokser fra kysten og utover havet, men som forblir sittende fast i kysten eller på den grunne havbunnen. For arter som isbjørn og hvalross er fastisen viktig som hvileplass, jaktområde og trekkroute.

Pakkis er et stort område av flytende havisbiter som er pakket sammen.

Platåbreer og **isbreer** er landbasert is hvor platåbreene er et sammenhengende isdekke over høyfjellsplatåer mens «isbre» vanligvis brukes om is som fyller daler. «Isbre» brukes dog ofte i bred betydning.

Innlandsis er en samling iskapper eller isbreer, slik vi i dag ser i Grønland og Antarktis. Når iskapper, isbreer og innlandsis smelter, fører det til at havnivået stiger ettersom det fører mer vann ut i havene.

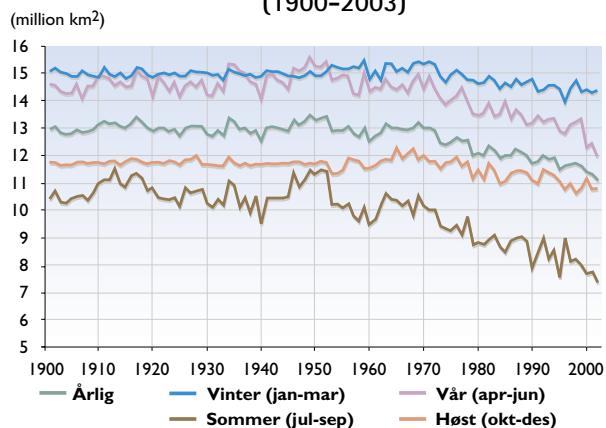
Et **isfjell** er et stykke is som kalver fra en isbre eller et isdekke og som flyter på havoverflaten.

I løpet av de siste 30 årene har den årlige gjennomsnittlige utbredelsen av havisen blitt redusert med 8 % eller nesten 1 million kvadratkilometer. Dette utgjør et område som er større enn Norge, Sverige og Danmark til sammen, og trenden er at smeltingen tiltar. Havisutbredelsen om sommeren har minsket mer dramatisk enn det årlige gjennomsnittet med en reduksjon på 15–20 % på sensommeren. Det er også store variasjoner fra år til år. I september 2002 målte man den laveste utbredelsen i Arktis som noensinne er målt. Nivået i september 2003 var nesten like lavt.

Havisen har også blitt tynnere de siste tiårene. For Arktis sett under ett anslår man at tykkelsen har blitt redusert med 10–15 % mens det i enkelte områder er snakk om en reduksjon på opp til 40 % fra 1960 til sent på 1990-tallet. Konsekvensene av et redusert havisdekke, blant annet økning i lufttemperatur, redusert saltholdighet i havets overfla- telag og økt kysterosjon blir omhandlet flere steder i denne rapporten.

Akkurat som gruve- arbeiderne en gang hadde kanarifugler som skulle varsle fra når konsentrasjonen av giftige gasser økte, forventer klimaforskerne at hav- isen skal gi tidlig varsel på endringer.

Observert sesongmessig havisutbredelse i Arktis (1900–2003)



Årlig gjennomsnittlig isutbredelse fra 1900 til 2003. For ca. 50 år siden begynte havisen å trekke seg tilbake. I løpet av de siste tiårene har denne tilbaketrekkingen økt, noe som samsvarer med oppvarmingstrenden i Arktis. Reduksjonen i isutbredelsen om sommeren er den mest dramatiske av de observerte trendene.



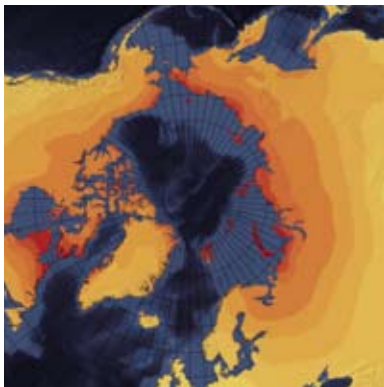
Observert havis september 1979



Observert havis september 2003



Disse to bildene, som er satt sammen av satellittdata, sammenligner haviskonsentrasjonene i september 1979 og 2003. September er den måneden i året da isutbredelsen er på sitt laveste og 1979 er det første året da data ble tilgjengelig i et format som kunne brukes til slike analyser. Den laveste konsentrasjonen av havis som er målt, var i september 2002.



Selv når scenariet med lavest utslipp og modellen som gir minst varmeøkning som respons på endringer i atmosfærens sammensetning benyttes, blir resultatet at jorda vil oppleve en dobbel så stor oppvarming i dette århundre som i det forrige.

Framskrivning av klimaet

Denne utredningen bygger på en rekke ulike kilder når det gjelder dokumentasjon av fortidens og nåtidens klima samt framskrivning av fremtidens klimaforhold, blant annet: observerte data (instrumentmålinger fra for eksempel termometre eller historiske klimadata som årringer, iskjerner og sedimenter), felteksperimenter, databaserte klimamodeller og urfolkskunnskap. Når informasjonen fra flere kilder er sammenfallende gir dette større tiltro til resultatene. Men det vil alltid være usikre forhold og overraskelser når man skal forsøke å framskrive klimaendringene.

Framskrivning av klimaendringene og de potensielle konsekvensene av disse gjennomføres på en systematisk måte. To viktige forhold vil være avgjørende med hensyn til hvordan menneskelig virksomhet vil medføre klimaendringer i framtiden:

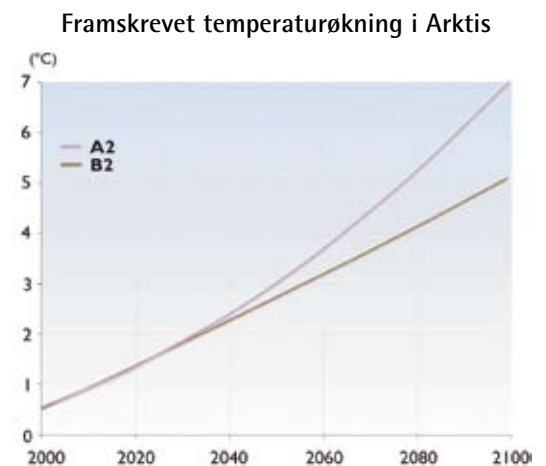
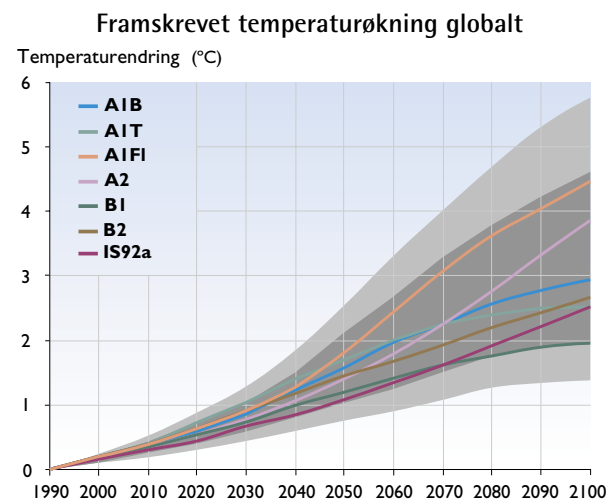
- Det fremtidige nivået på utslipp av klimagasser og
- Klimasystemenes respons på disse utslippene.

Forskningssinnsatsen over de siste tiårene har bidratt med mye informasjon om disse to forholdene.

Fremtidige utslipp beregnes ved å utarbeide troverdige beskrivelser av befolkningsutviklingen, økonomisk vekst, teknologiske og politiske endringer samt andre forhold ved verdenssamfunnet som er vanskelig å forutse i dag. FNs klimapanel har utarbeidet en spesialrapport om utslippsscenarioer (Special Report on Emissions Scenarios – SRES) som omhandler disse spørsmålene. Scenariene omfatter en rekke mulige fremtider basert på sannsynlig utvikling av samfunn, økonomi og energiteknologi, og kan brukes til å estimere det sannsynlige omfanget av utslipp som vil påvirke klimaet.

Når det gjelder klimasystemets respons, så fremstilles de ulike forholdene ved klimasystemet (som hvordan sky- og isdekket vil kunne endre seg og hvordan klimaet og havnivået i siste instans vil kunne bli påvirket) på noe ulike måter i de forskjellige datamodellene som er utviklet av ulike forskningssentra verden over. Dette fører også til ulik grad av forventet oppvarming i beregningene.

Beregninger av globale temperaturendringer (vist som avvik fra 1990-temperaturen) fra 1990 til 2100 gitt for syv utslippsscenarioer. Den brune linjen viser beregningen for B2-scenariet, scenariet som i all hovedsak er benyttet i denne rapporten. Kartene i rapporten som viser beregnede klimaendringer er basert på dette scenariet. Den rosa linjen viser A2-scenariet, som i mindre grad er benyttet i rapporten. Den mørkegrå området viser variasjonen i resultatene for alle SRES-utslippsscenarioene ved bruk av en gjennomsnittlig modell, mens det lysegrå området viser hele variasjonen av scenarier ved bruk av ulike klimamodeller.



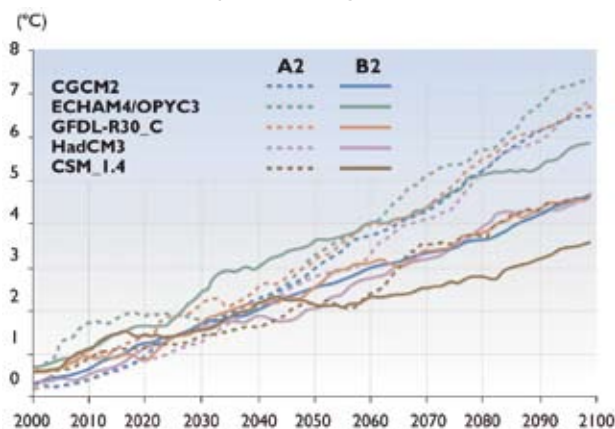
En økning i temperaturen i Arktis (mellom 60° og 90° N) slik den er beregnet for et gjennomsnitt av ACIAs klimamodeller for A2- og B2-utslippsscenarioene i forhold til perioden 1981-2000.

Uavhengig av utslippsscenarier eller datamodell, så viser hver eneste modellsimulering at en betydelig oppvarming kan forventes i løpet av de neste 100 årene. Selv når scenariet med lavest utslipp og modellen som gir minst varmeøkning som respons på endringer i atmosfærens sammensetning benyttes, blir resultatet at jorda vil oppleve en dobbel så stor oppvarming i dette århundre som i det forrige. Modellsimuleringer viser videre at oppvarmingen i Arktis vil bli betydelig større enn det globale gjennomsnittet (i noen områder snakker man om mer enn dobbelt så mye). Selv om modellene gir ulike resultater for enkelte trekk i klimaendringene, er de alle i samsvar om at verden vil bli betydelig varmere som et resultat av menneskelig virksomhet, og at Arktis sannsynligvis kommer til å oppleve en merkbar oppvarming svært tidlig og svært intenst.

Klimamodellene og utslippsscenariene som IPCC har vurdert, gir en rekke mulige utviklingsmuligheter i fremtiden. For å kunne gi en indikasjon på de konsekvenser som sannsynligvis vil inntreffe, har ACIA brukt resultatene fra fem klimamodeller utviklet av ledende klimaforskningssentra og et moderat utslippsscenario (kjent som B2, se Vedlegg 1 for nærmere informasjon) som sitt primære grunnlag for å vurdere de fremtidige klimaforholdene. Kartene over framskrevet klima i denne rapporten er basert på B2-utslippsscenariet. Et annet utslippsscenario (kalt A2) ble inkludert i noen analyser for å utforske en annen mulig fremtid. Det at det fokuseres på disse to utslippsscenariene her gjenspeiler en rekke praktiske begrensninger i gjennomføringen av en konsekvensanalyse av denne typen, og det er ikke trukket en slutning om disse scenariene er de mest sannsynlige.

Når man ser på modellresultatene i denne rapporten, er det viktig å huske at dette ikke er et verst tenkelig eller best tenkelig scenario, men isteden at det ligger litt under midten av skalaen i forhold til de temperaturøkninger som er beregnet av de globale klimamodellene. Det er også viktig å huske at for mange av konsekvensene omhandlet i denne rapporten er også informasjon fra andre kilder benyttet, blant annet observerte klimaendringer, observerte konsekvenser, ekstrapolering fra dagens trender samt resultater fra laboratorie- og felteksperimenter som er publisert i vitenskapelig litteratur.

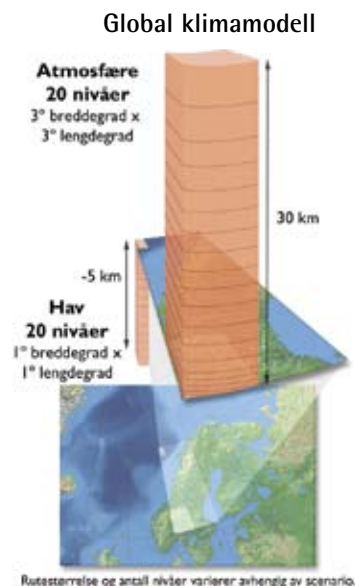
Beregnet lufttemperatur for Arktis i perioden 2000–2100
60° N – Nordpolen, endringer fra 1981–2000-snittet



Note: Modellenes fulle navn og en beskrivelse av A2- og B2-utslippsscenariene er gitt i Vedlegg 1, side 126–127.

De ti linjene viser lufttemperatur for området fra 60° N til Nordpolen som beregnet i av hver av fem globale klimamodellene brukt av ACIA under to ulike utslippsscenarier. De beregnede temperaturene er ganske like frem til år 2040 og viser en økning på ca. 2 °C, men utvikler seg ulikt etter dette, med beregnede økninger fra ca. 4 °C til mer enn 7 °C i år 2100. Alle modellene og utslippsscenariene vurdert av IPCC dekker en rekke ulike fremtider. De som er brukt i denne konsekvensvurderingen ligger omtrent midt på treet og representerer derfor hverken et verst tenkelig eller et best tenkelig scenario.

Når man ser på modellresultatene i denne rapporten, er det viktig å huske at dette ikke er et verst tenkelig eller best tenkelig scenario, men isteden at det ligger litt under midten av skalaen i forhold til de temperaturøkninger som er beregnet av de globale klimamodellene.



Globale klimamodeller er data-simuleringer basert på fysiske lover representert gjennom matematiske likninger som løses ved å bruke et tredimensjonalt rutenett lagt over jordkloden. Modellene tar for seg de viktigste elementene i klimasystemet inkludert atmosfæren, havene, landoverflaten, snø og is, levende organismer og de prosessene som foregår innenfor og mellom disse elementene. Som figuren viser, er oppløsningen (størrelsen på rutenettet) i den globale modellen ganske grov. Beregningene for store områder er generelt mer pålitelige og usikkerheten blir større jo høyere oppløsningen er.

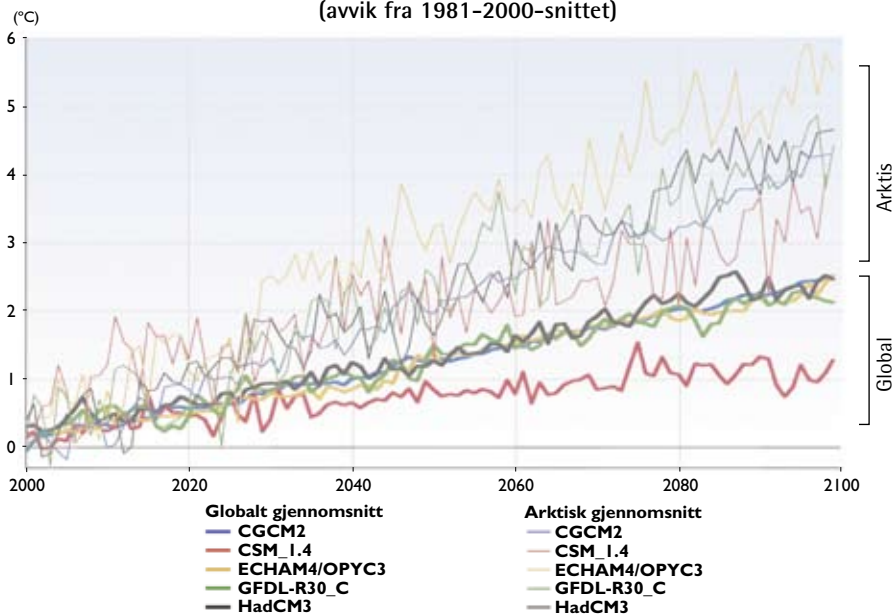
Forventede temperaturendringer i Arktis

Kartene nedenfor viser forventede temperaturendringer i Arktis som årsgjennomsnitt og for vintermånedene (desember, januar og februar). De viser forventet temperaturendring mellom 1990-årene og 2090-årene basert på gjennomsnittet av de beregnede endringen som de fem ACIA-klimamodellene gir under B2-utslippsscenarioet (som resulterer i en temperaturøkning som ligger litt under midt på treet i forhold til spennet av IPCC-scenarier). Ifølge dette scenarioet vil den årlige middeltemperaturen i hele Arktis øke i

andre halvdel av dette århundret. Økningen vil grovt regnet bli rundt 3-5 °C over land og opp til 7 °C over havområdene. Vintertemperaturen forventes å øke betydelig mer, rundt 4-7 °C over land og 7-10 °C over hav. Den største oppvarmingen forventes i landområder som grenser til hav hvor det forventes en betydelig reduksjon i havisdekket, som for eksempel nordlige Russland.



Beregnet endring i temperaturen ved bakken (avvik fra 1981-2000-snittet)

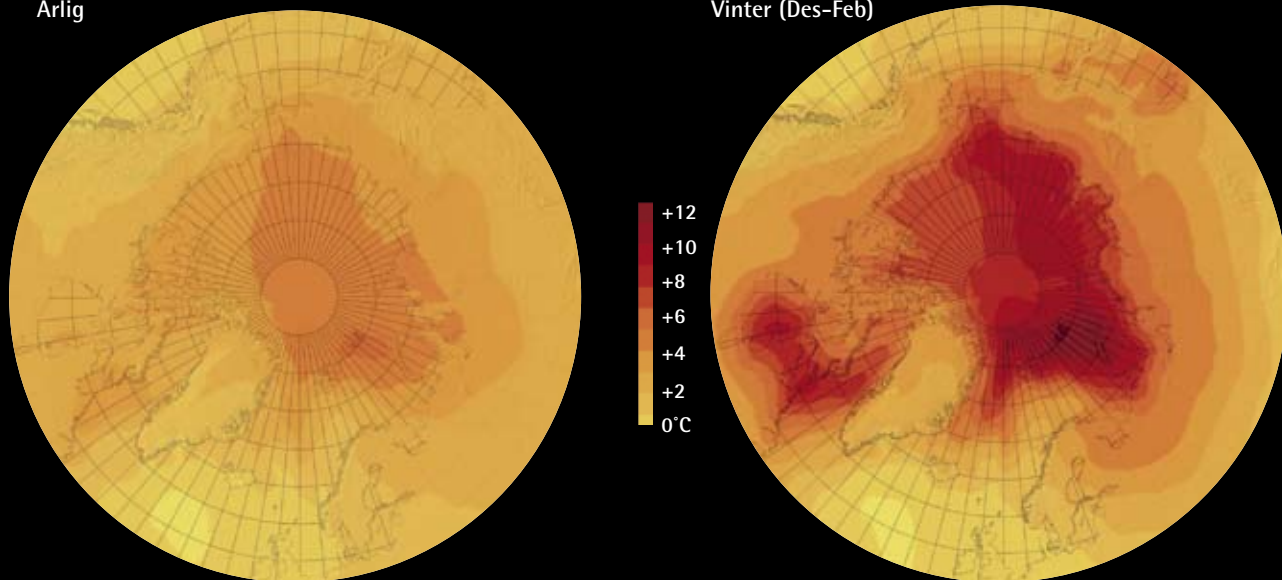


Denne grafen viser gjennomsnittlig temperatur beregnet av ACIA's fem klimamodeller for B2-utslippsscenarioet. De tykke linjene nederst er beregnede gjennomsnittlige globale temperaturøkninger og de tynnere linjene ovenfor er beregnede arktiske temperaturøkninger. Som resultatene viser, forventes det betydelig større temperaturøkninger i Arktis enn i verden for øvrig. Det fremgår også tydelig at de årlige variasjonene blir større i Arktis.

Beregnet endring i temperaturen ved bakken: 1990-årene – 2090-årene i °C

Årlig

Vinter (Des-Feb)



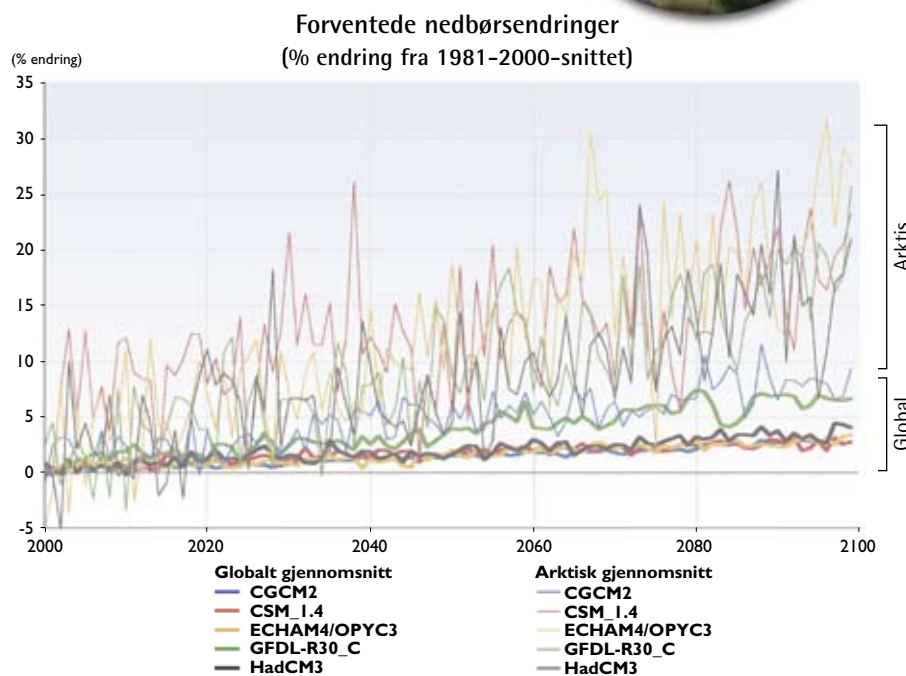
Disse kartene viser forventet temperaturendring fra 1990-årene til 2090-årene basert på et gjennomsnitt av resultatene fra de fem ACIA-klimamodellene kjørt under det laveste av de to utslippsscenarioene (B2) som er benyttet i denne konsekvensvurderingen. På disse kartene indikerer oransje at et område kan forvente en oppvarming på omtrent 6 °C fra 1990-årene til 2090-årene.

Forventede nedbørsendringer i Arktis

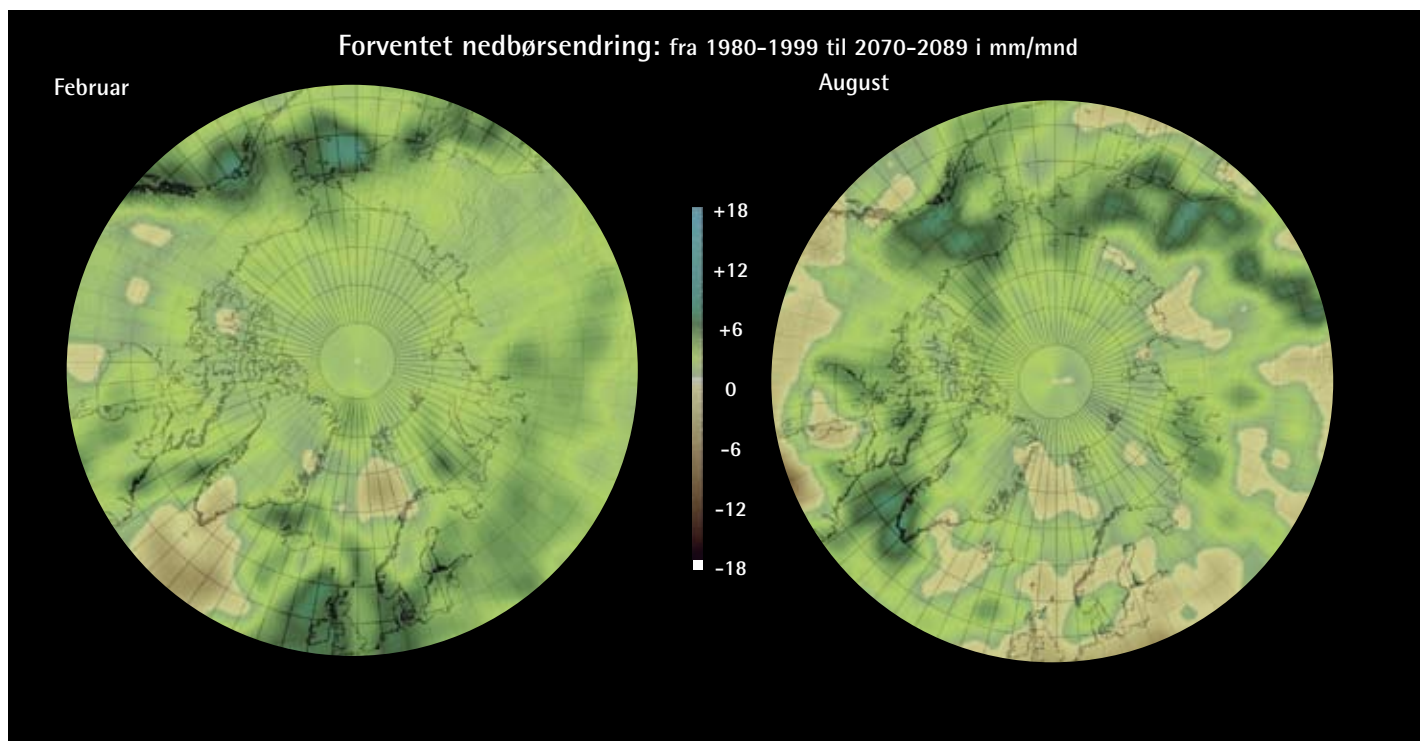
Global oppvarming vil føre til økt fordamping og dette vil i sin tur føre til økt nedbør (dette er noe som allerede observeres). Over Arktis som helhet forventes det at den årlige totalnedbøren vil øke med omlag 20 % innen slutten av dette århundret. Mesteparten av økningen vil komme som regn. Om sommeren forventes det at nedbørmengden vil øke i den nordlige delen av Nord-Amerika og på Tsjukotka (Russland), mens sommernedbøren i Skandinavia forventes å avta. Det forventes en økning i vinternedbøren over nesten alle landområder (bortsett fra den sørlige delen av Grønland). Nedbørsøkningen i Arktis kommer først og fremst til å ramme kystområdene og først og fremst om vinteren og høsten da økningen forventes å overstige 30 %.



Denne grafen viser prosentvis endring i gjennomsnittlig nedbør slik de er beregnet av de fem ACIA-klimamodellene under B2-utslippsscenariet. De tykke linjene nederst viser forventet gjennomsnittlige *global* nedbørsendring, og de tynne linjene over forventet nedbørsendring i *Arktis*. Som resultatene viser, forventes det betydelig større nedbørsøkninger i Arktis enn i verden for øvrig. Det fremgår også tydelig at de årlige variasjonene blir større i Arktis.



Forventet nedbørsendring: fra 1980-1999 til 2070-2089 i mm/mnd



Disse kartene viser forventet nedbørsendring i mm per måned, beregnet av ACIA-klimamodellene. På disse kartene indikerer mørk grønn at et område kan forvente en nedbørsøkning på omtrent 6 mm per måned fra 1990-årene til 2090-årene.

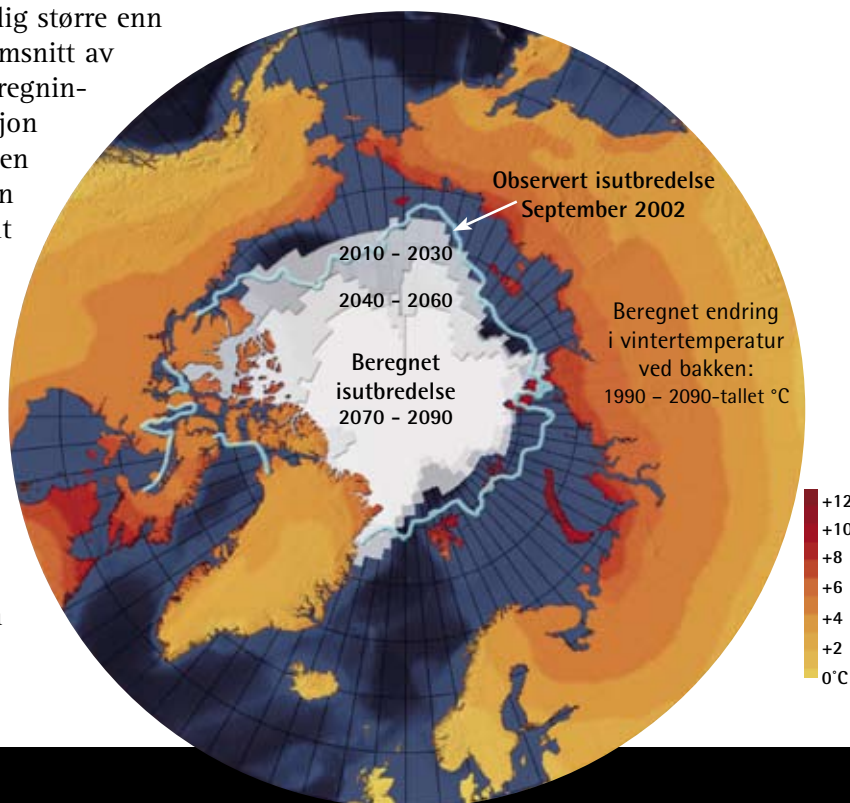
1 Klimaet i Arktis blir raskt varmere og mye større endringer forventes i framtiden.



Den forventede reduksjonen i havisdekket vil føre til økt regional og global oppvarming som konsekvens av at havoverflatens refleksjonsevne reduseres.

Forventede endringer i havisen

Som tidligere nevnt, har havisdekket allerede blitt redusert betraktelig i løpet av de siste 50 årene. En ytterligere reduksjon på 10-50 % i det gjennomsnittlige årlige havisdekket forventes innen 2100. Tap av havis om sommeren forventes å bli betydelig større enn årsgjennomsnittet. Et gjennomsnitt av resultatene fra fem modellberegninger viser en forventet reduksjon på mer enn 50 % innen slutten av dette århundret, hvor noen modeller viser et nesten totalt bortfall av sommerhavis. Den forventede reduksjonen i havisdekket vil føre til økt regional og global oppvarming som konsekvens av at havoverflatens refleksjonsevne reduseres. Ytterligere konsekvenser for natursystemet og samfunn i Arktis og i verden for øvrig redegjøres for gjennom hele denne rapporten.



Havisens beregnede utstrekning (5-modelegjennomsnitt for september)

2010 - 2030

2040 - 2060

2070 - 2090



Havisdekket i september, som allerede har blitt betydelig redusert, er beregnet til å trekke seg enda raskere tilbake i fremtiden. De tre bildene over viser gjennomsnittet av beregningene fra fem klimamodeller for tre tidsperioder i fremtiden. Etter hvert som århundret skrider frem, vil havisen bevege seg lenger og lenger bort fra kystområdene i Arktis og trekke seg tilbake til de sentrale områdene av Polhavet. Noen modellberegninger viser et nesten totalt fravær av sommeris i løpet av dette århundret.

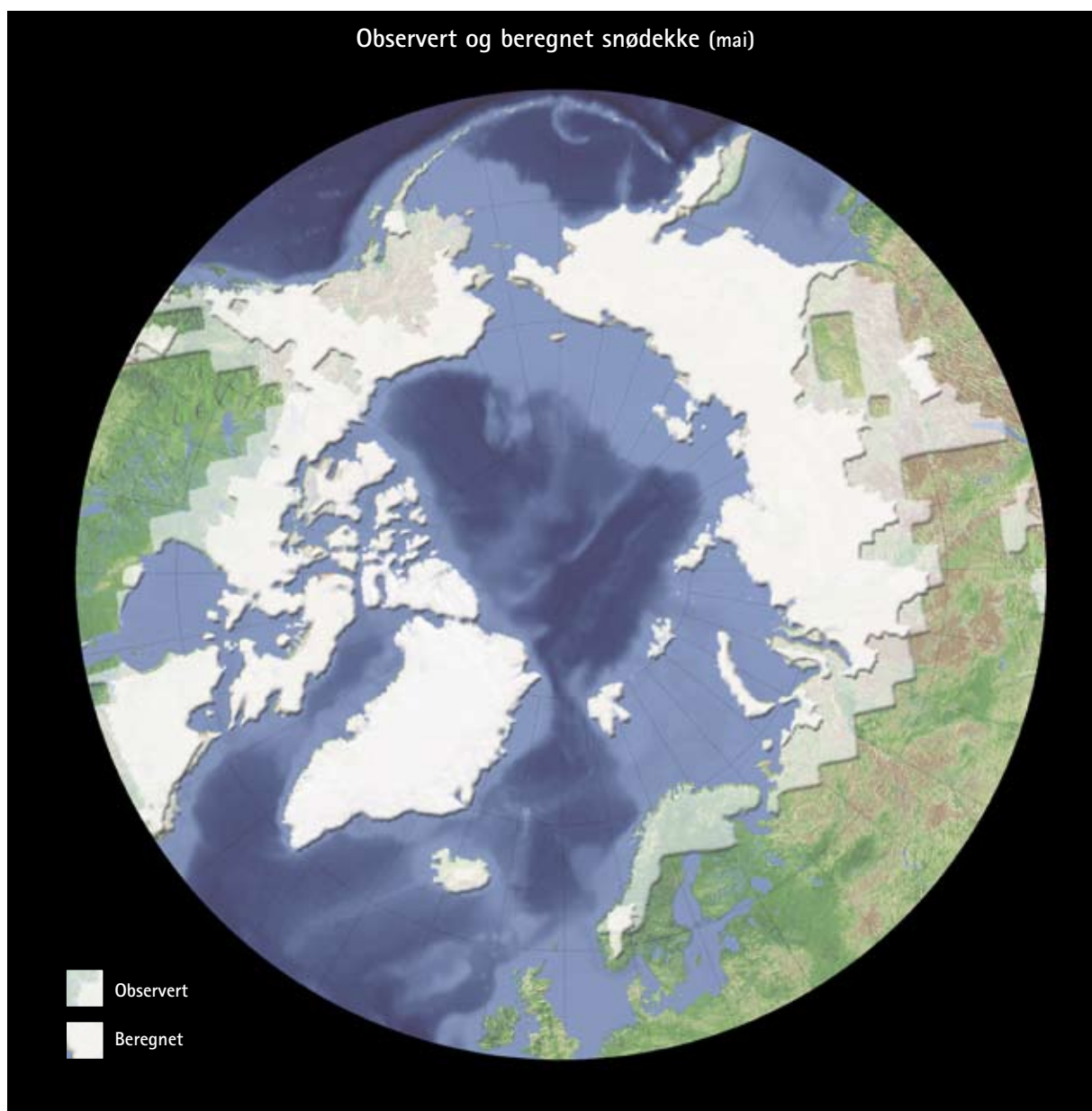


Forventede endringer i snødekket

Snødekkets utbredelse over landområdene i Arktis har blitt redusert med ca. 10 % i løpet av de siste 30 årene, og modeller beregner en ytterligere reduksjon på 10-20 % innen slutten av dette århundret. Reduksjon i det snødekte området forventes å bli størst om våren (i april og mai), noe som vil medføre kortere snøsesong og tidligere avrenning av ferskvann fra elvene til Polhavet og de kystnære havområdene. Det er også forventet betydelige endringer i snøkvalitet, f.eks. en økt tine- og fryseaktivitet om vinteren, som i sin tur vil føre til isdannelse, noe som vanskeliggjør tilgang til mat og hekkeplasser for landdyrene. Blant de konsekvenser som disse endringene kan medføre er en reduksjon i den gunstige isolerende effekten snøen har for vegetasjon og andre levende organismer samt dyrenes beitemuligheter. Ferskvannsavrenning fra land til hav samt transport av fuktighet og varme fra landområdene til atmosfæren og de marine systemene vil også påvirkes av disse endringene. Ytterligere konsekvenser av en reduksjon i snødekket redegjøres for gjennom hele denne rapporten.



Reduksjonen i det snødekte området forventes å bli størst om våren (i april og mai), noe som vil medføre kortere snøsesong og tidligere avrenning av ferskvann fra elvene til Polhavet og de kystnære havområdene.

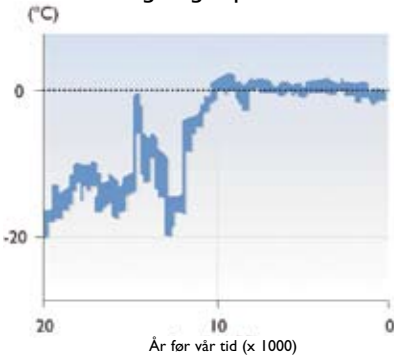


Snødekket i mai forventes redusert betydelig over hele Arktis. Det grå området i figuren viser dagens utstrekning av snødekket i mai måned. Det hvite området viser forventet snødekke i mai for perioden 2070-2090 basert på ACIAs modellberegninger. Det storstilte omfanget på den forventede tilbaketrekningen av snødekket om våren fremgår tydelig.

1 Klimaet i Arktis blir raskt varmere og mye større endringer forventes i framtiden.

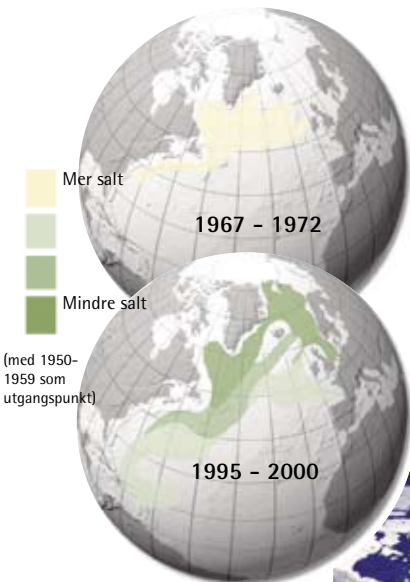
Brå endringer

20 000 år med temperatur-svingninger på Grønland



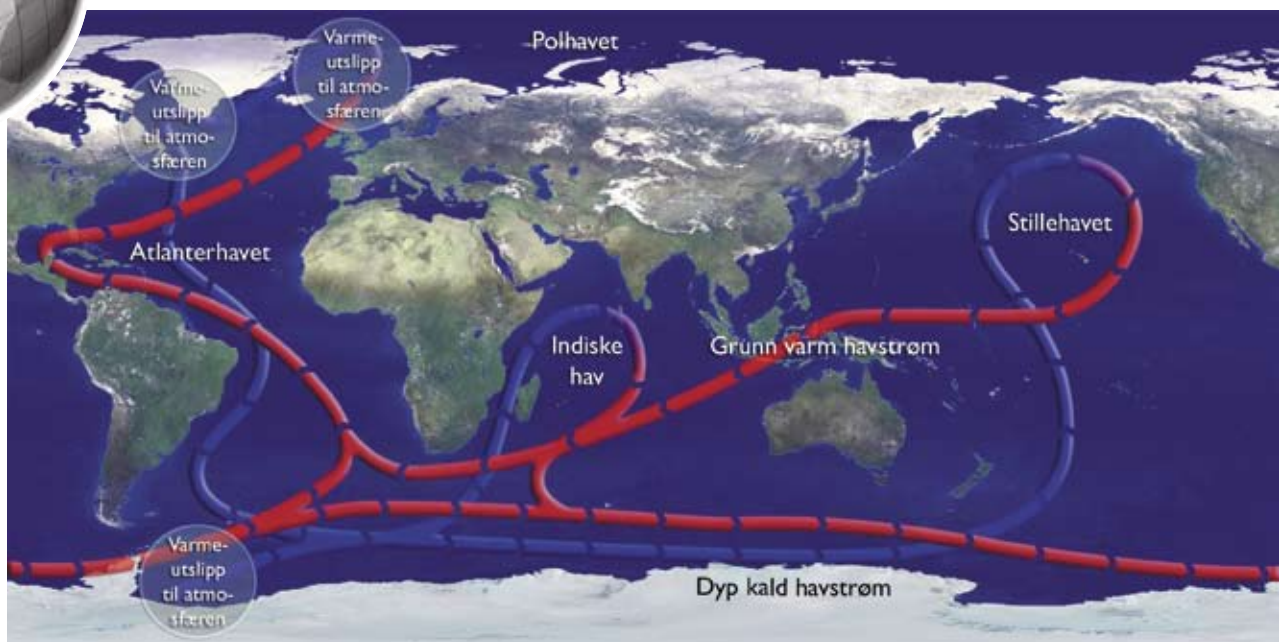
Mens de fleste analyser av klimaendringer, både i denne og i andre utredninger, tar utgangspunkt i en situasjon hvor det skjer en gradvis oppvarming av klimaet, er det også en mulighet for at en gradvis oppvarming kan føre til en brå klimaendring. En slik brå endring kan forårsakes av ikke-lineære prosesser i klimasystemet. Et eksempel her ville være dersom kritisk terskel (f.eks. frysepunktet) ble overskredet. Så fort en terskel er overskredet, kan systemet endre seg brått fra en tilstand til en annen. Det finnes bevis på at finnes alternative stabile tilstander for enkelte elementer i klimasystemet, så vel som for natursystemene, selv mindre er kjent om hva som utløser et skifte fra en tilstand til en annen. Mekanismene bak brå endringer er derfor ikke representert på en tilfredsstillende måte i eksisterende klimamodeller, noe som gir rom for overraskelser. Oppfatningen om at brå endringer er mulig, er også noe man lese ut av de relativt høye naturlige klimavariasjonene i Arktis sammenlignet med resten av verden. Dokumentasjon av tidligere klimatilstander tyder f.eks. på at klimamønsteret i Arktis har gjennomgått svært store endringer over kort tid tidligere.

Redusert saltholdighet i Nord-Atlanteren



For eksempel tyder dokumentasjon fra iskjerner på at temperaturen på Grønland gikk ned med så mye som 5 °C i løpet av få år før den brått gikk opp igjen under oppvarmingsperioden etter siste istid. Denne ganske brå og etterpå vedvarende endring av været over Grønland ser ut til å ha blitt initiert i det en terskel relatert til havets saltholdighet ble overskredet, noe som førte til en kraftig reduksjon av den havsirkulasjonen som fører varme til Europa og Arktis. Denne endringen i havet førte sannsynligvis til en sirkulasjonsendring i atmosfæren som vedvarte i flere århundrer og som igjen førte til store klimaendringer over landområdene rundt Nord-Atlanteren og enda lengre. Vedvarende, men likevel mindre endringer i det atmosfæriske sirkulasjonsmønsteret (slike som forekommer under faseendringen i de nordatlantiske og arktiske svingningene) forekom i løpet av det 20. århundret. Disse endringer førte tilsynelatende til endringer i det fremherskende værmønsteret i de arktiske landene, noe som for eksempel har medvirket til varme tiår som 1930- og 1940-årene og kalde tiår som 1950- og 1960-årene.

Endringer i det globale havsirkulasjonsmønsteret kan føre til brå klimaendringer. Slike endringer kan utløses på bakgrunn av nedbørsøkning og snø- og ismelting i Arktis samt ved økt elveavrenning, fordi disse prosessene bidrar til å redusere saltholdigheten i Nord-Atlanteren, som vist ovenfor. Se sidene 36-37 for en nærmere redegjørelse av denne problemstillingen.



Førtids- og fremtidklima	Fremtidige klima- endringer	Kryosfære og hydrologi	Marine systemer	Skog og jordbruk	Sammenheng
2	4	6	9	14	18

Betydningen av terskler

Det finnes mange terskler i det arktiske miljøet som kan, dersom de blir overskredet, gi betydelige konsekvenser for regionen og for verden. En fortsatt menneskeskapt oppvarming kan potensielt utløse en forskyvning til nye eller uvanlige tilstander for ulike arktiske systemer. Slike endringer kan utløses ved overskridelse av en temperatur- eller nedbørsterskel. Dokumentasjon av klimaendringer i Arktis i tidligere tider viser at slike endringer i noen tilfeller kunne skje brått (i løpet av få år) og i andre tilfeller mer gradvis (i løpet av flere tiår eller mer). I slike systemforskyvninger ligger det et potensiale for å utløse ytterligere konsekvenser ganske hurtig. For eksempel kan uvanlig varmt og fuktig vær fremme pestutbrudd og infeksjonssykdommer.

En begynnende langsiktige smelting av innlandsisen på Grønland er et eksempel på en terskel som kan komme til å bli overskredet i løpet av dette århundret. Klimamodeller beregner at den lokale oppvarmingen på Grønland vil kunne overskride 3 °C i løpet av dette århundret. Innlandsismodeller viser at en slik oppvarming vil være oppstarten på en langsiktig periode med smelting av innlandsisen på Grønland. Selv om klimaforholdene deretter skulle stabilisere seg, vil en slik temperaturøkning etter hvert føre til en fullstendig nedsmelting av innlandsisen på Grønland, noe som i sin tur vil gi en økning i det globale havnivået på rundt 7 meter. De foreløpige indikasjonene på en begynnende reduksjon i dyphavssirkulasjonen i Nord-Atlanteren, er et annet eksempel på en mulig terskel som kan bli overskredet. Dersom dagens utvikling fortsetter og det blir en betydelig redusert sirkulasjon, vil dette igjen kunne minske den nordgående transporten av tropisk varme som i dag bidrar til å moderere de europeiske vintrene.

Også for levende organismer finnes det terskler som kan bli overskredet. For eksempel viser mer enn halvparten av all hvitgran ved tregrensen i Alaska tegn på en betydelig redusert vekst når gjennomsnittstemperaturen for juli, målt på en stasjon i nærheten, overskrider 16 °C. Det observerte forhold mellom denne temperaturterskelen og redusert vekst, tyder på at disse trærne vil fullstendig slutte å vokse med den grad av oppvarming som forventes i dette århundret. Dette vil medføre at denne arten vil forsvinne. Liknende sammenbrudd i enkelte dyrebestander er mulig dersom kritiske terskler blir overskredet.

Det er en stor utfordring for forskere å modellere plutselige eller uventede endringer og det er også vanskelig for samfunnet å tilpasse seg slike endringer, og øker sårbarhetsgraden overfor vesentlige konsekvenser. Selv om det fremdeles hersker stor usikkerhet i forhold til hvilke terskler som blir overskredet, og nøyaktig når det eventuelt kommer til å skje, så viser dokumentasjon fra tidligere tider at muligheten for at brå endringer og nye ekstremer skal inntreffe er reell.

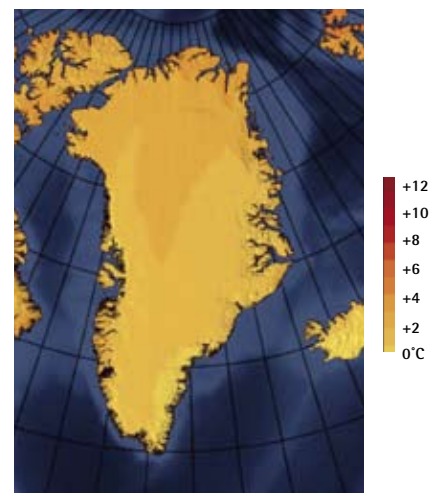
Endringshastighetene

Endringshastigheten kan være like viktig, eller viktigere, enn graden av endringer. Når man vurderer konsekvensene av klimaendringer, må man vurdere endringshastigheten sett i relasjon til de forhold som er viktige for samfunnet. Dersom permafrosttining eller økt erosjon langs kysten skjer svært langsomt, vil folk være i stand til å bygge nye bygninger, veier osv. som en del av den normale utskiftningen av infrastrukturen. Men dersom endringene skjer raskt, vil kostnadene for utskiftningene bli svært høye.

Spørsmålet om endringshastighet er også overmåte viktig i diskusjonen om brå klimaendringer. Dokumentasjon fra tidligere klimaperioder viser at brå endringer er mest vanlig når jordas klima er i hurtig endring. Ettersom brå endringer ofte er vanskeligst å tilpasse seg, er klimaendringshastigheten en åpenbar bekymring.

Klimamodeller beregner at den lokale oppvarmingen på Grønland vil kunne overskride 3 °C i løpet av dette århundret. Innlandsismodeller viser at en slik oppvarming vil være oppstarten på en angsteperiode med smelting av innlandsisen på Grønland.

Beregnet årlig temperaturendring 2070-2090



2 Oppvarmingen av Arktis og konsekvensene av dette har virkninger over hele verden.



Hvis ikke atmosfæren og havene hadde transportert energi fra tropene til polene, ville tropene ha blitt overopphetet og polområdene ha vært mye kaldere enn de er.

Betydningen av Arktis i det globale klimasystemet

Arktis har en unik påvirkning på det globale klimaet. Samlet over året er solenergien størst ved ekvator og minst ved polene. På grunn av snø- og isdekket blir en større del av solenergien i Arktis reflektert tilbake til verdensrommet enn på lavere breddegrader hvor mesteparten av energien blir absorbert. Hvis ikke atmosfæren og havene hadde transportert energi fra tropene til polene, ville tropene ha blitt overopphetet og polområdene ha vært mye kaldere enn de er. På den nordlige halvkule utgjør Atlanterhavet den viktigste havkomponenten i energioverføringen, og, som forklart nedenfor, kan prosessene i Arktis påvirke styrken på sirkulasjonsprosessene i Atlanterhavet.

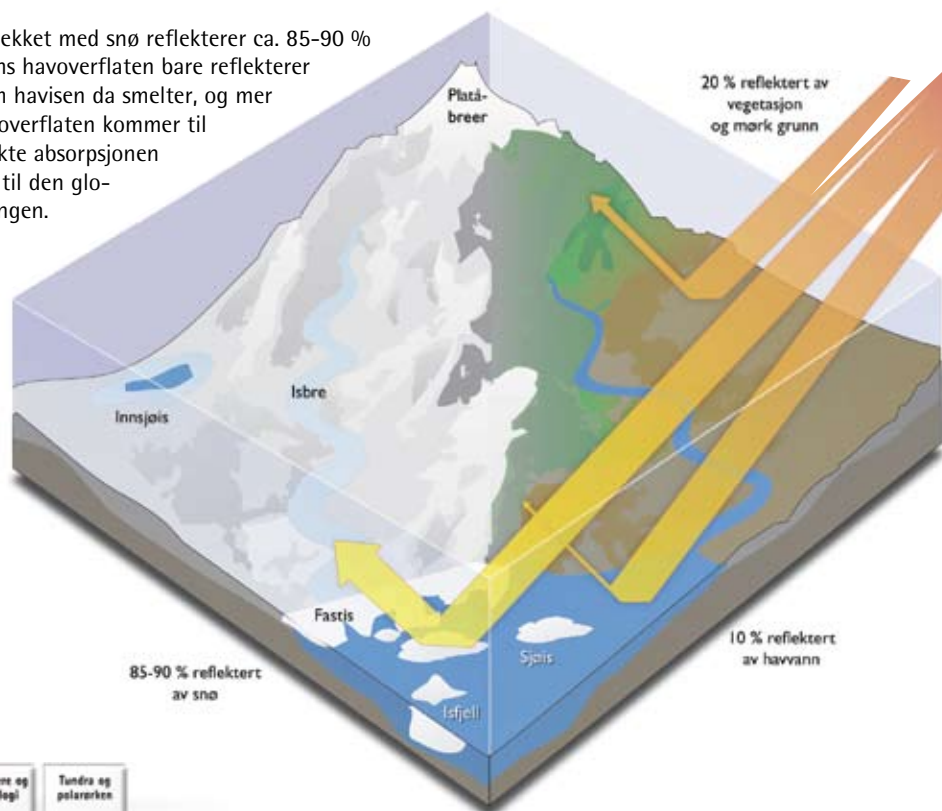
Det finnes tre store mekanismer, såkalte tilbakekoblingsmekanismer, som gjør at arktiske prosesser kan føre til ytterligere klimaendringer på globalt nivå. Den ene dreier seg om endringer i overflatens refleksjonsevne når snø og is smelter og vegetasjonsdekket endrer seg. Den andre mekanismen dreier seg om endringer i havsirkulasjonen når isen i Arktis smelter og det tilføres mer ferskvann til havene. Den tredje mekanismen dreier seg om endringer i mengde klimagasser som slippes ut til atmosfæren fra land etter hvert som oppvarmingen fortsetter.

Tilbakekoblingsmekanisme 1: Refleksjon fra overflaten

Den første tilbakekoblingsmekanismen er forbundet til snøen og isen som dekker mesteparten av Arktis. På grunn av hvitfargen vil snøen og isen reflektere mesteparten av solenergien som når overflaten tilbake til verdensrommet. Dette er en av årsakene til at Arktis er en så kald region. Etter hvert som konsentrasjonene av klimagasser øker og varmer opp de lavere deler av atmosfæren vil snø og is legge seg senere på høsten og smelte tidligere om våren. Etter hvert som snøen og isen trekker seg tilbake vil mer og mer av jord- og vann-



Havis som er dekket med snø reflekterer ca. 85-90 % av sollyset mens havoverflaten bare reflekterer 10 %. Ettersom havisen da smelter, og mer og mer av havoverflaten kommer til syne, vil den økte absorpsjonen av sollys bidra til den globale oppvarmingen. Det vil igjen føre til mer smelting som igjen vil gi økt oppvarming og så videre...

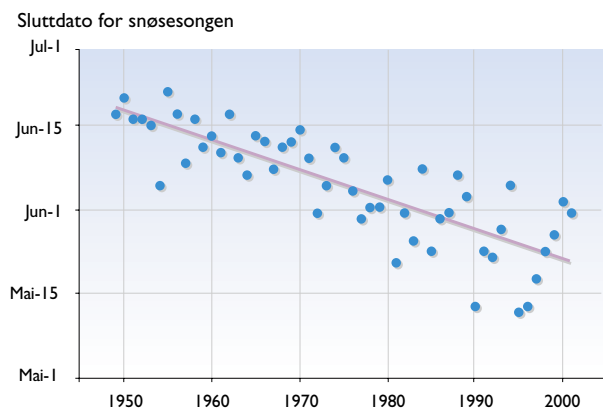


overflatene avdekkes. Denne type overflate er mye mørkere og vil derfor absorbere mye mer av solenergien. Dette varmer opp overflaten ytterligere, som igjen vil føre til hurtigere smelting, som i sin tur fører til mer oppvarming, og så videre. Slik oppstår et selvforsterkende kretsløp hvor global oppvarming skaper grobunn for ytterligere global oppvarming, og hvor oppvarmingstrenden forsterkes og akselereres. Den kraftige nedgangen i isbreenes omfang og havis- og snødekket utbredelse gjør at denne prosessen allerede er i gang i Arktis. Dette er en grunn til at klimaendringene går hurtigere i Arktis enn andre steder. Denne regionale oppvarmingen fører også til at den globale oppvarmingen går hurtigere.

En annen varmeindusert endring som sannsynligvis kommer til å føre til økt absorpsjon av solenergi ved jordens overflate, er spredningen av skog nordover og inn i dagens tundraområder. Den ganske jevne tundraoverflaten har mye høyere refleksjonsevne, spesielt når den er dekket av snø, enn den høyere, mørkere og mer sammensatte skogen som forventes å erstatte den. Redusert refleksivitet, som følge av skogspredning, forventes å forårsake ytterligere oppvarming, selv om dette vil skje langsommere enn endringene i is- og snødekket beskrevet overfor. Økt trevekst forventes å ha et høyere opptak av karbondioksid enn dagens vegetasjon, en prosess som potensielt kan moderere oppvarmingstrenden. Men den reduserte refleksiviteten som følge av skogspredningen vil sannsynligvis påvirke klimaet i større grad enn effekten av opptaket av karbondioksid, og en forsterket oppvarming forventes. Større vegetasjonsvekst vil også skjule snøen på bakken og vil dermed redusere overflaterefleksiviteten ytterligere

En direkte menneskeskapt påvirkning som også reduserer refleksivitet er soten som blir produsert ved forbrenning av fossilt brensel (i tillegg til karbondioksid som er det primære problemet). Soten som blir ført med vinden, og som så avsettes i Arktis, fører til at den hvite isen og snøen blir litt mørkere. Dette fører til at de reflekterer mindre solenergi, noe som igjen gir økt oppvarming. Sot i atmosfæren fører også til økt solabsorpsjon, som også bidrar til økt oppvarming.

Observerte endringer i snødekket i Barrow, Alaska



Omfanget av snødekt landareal i Arktis har blitt redusert med omlag 10 % over de siste 30 årene, med en åpenbart tidligere forsvinning av snøen om våren. Et lokalt eksempel fra Barrow i Alaska er vist i grafen over. I løpet av de siste 50 årene har snøsesongen blitt omtrent en måned kortere.

Etter hvert som snøen og isen trekker seg tilbake og avdekker mer og mer av jord- og vannoverflatene vil mer av solenergien bli absorbert, og forårsake ytterligere oppvarming av planeten.



Nåværende arktisk vegetasjon

Beregnet vegetasjon, 2090-2100

- Is
- Polarørken/Halvørken
- Tundra
- Boreal skog
- Temperert skog
- Gressland

Disse kartene over dagens vegetasjon og beregnet fremtidig vegetasjon i Arktis viser at det forventes at skogen overtar i dagens tundraområder og tundraen i områder hvor det i dag er polar ørken. Disse endringene vil føre til at landoverflaten blir mørkere, noe som vil forsterke en oppvarming ved at mer av solenergien absorberes og dermed skape en selvforsterkende tilbakekoblingsmekanisme.

2 Oppvarmingen av Arktis og konsekvensene av dette har virkninger over hele verden.

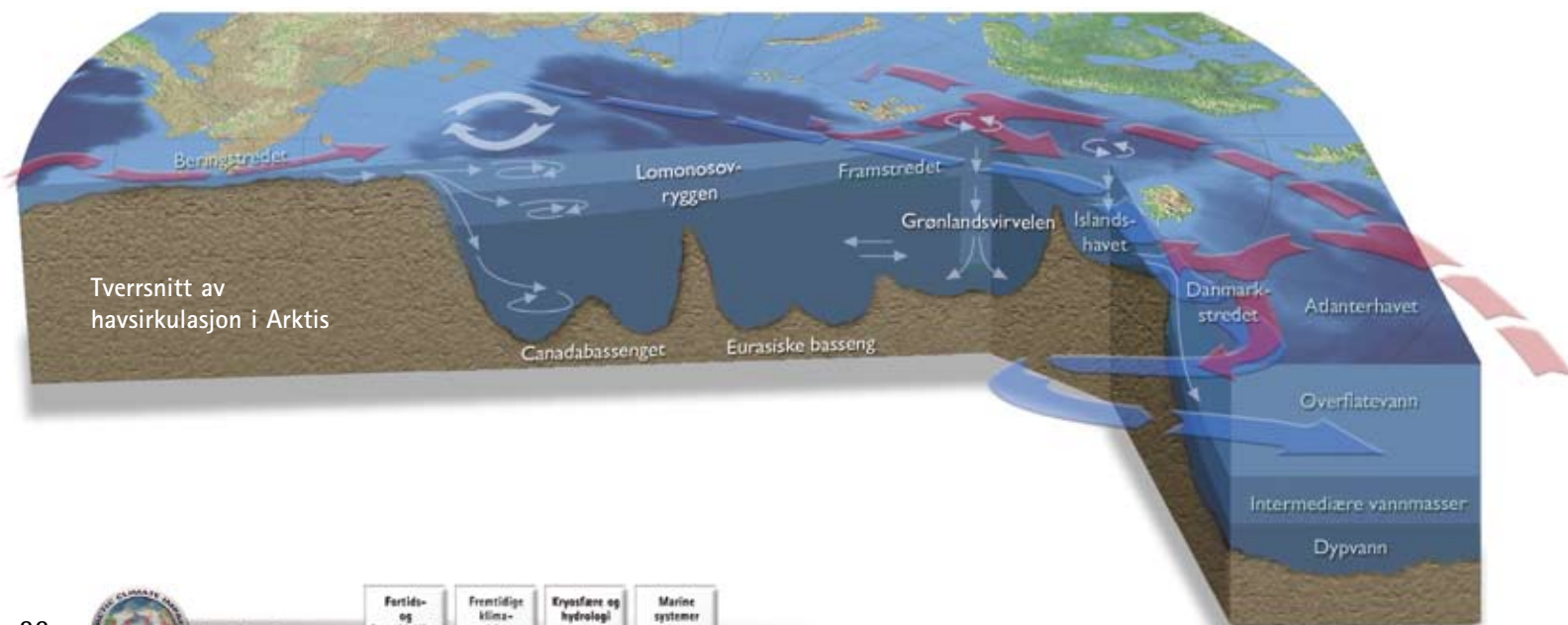
Tilbakekoblingsmekanisme 2: Havstrømmer

Den andre mekanismen som gjør at arktiske prosesser kan forsterke globale klimaendringer, er endringer i havstrømmens mønstre. En av måtene solenergien blir transportert fra ekvator mot polene på, er gjennom en global og sammenkoblet transport av havvann, hovedsakelig drevet av forskjeller i varme og saltholdighet, også kalt den «termohaline» sirkulasjonen («termo» betyr varme og «halin» betyr salt).

I dag fører den nordlige grenen av Golfstrømmen i det nordlige Atlanterhav med seg de varme vindene og den fuktigheten som faller som nedbør over det nordvestlige Europa. Etter hvert som vannet beveger seg nordover blir det kaldere og får høyere tetthet helt til det blir tyngre enn vannet under og synker dypt ned i havet. Denne nedsynkingen finner sted spesielt i de nordligste områdene av Nord-Atlanteren og Labradorhavet, og den driver den globale termohaline sirkulasjonen (av og til referert til som «transportbåndet»). Denne nedsynkingen av havvann med høy tetthet drar mer varmt vann nordover og forsyner Europa med den varmen som gjør at det her er varmere enn tilsvarende breddegrader på det amerikanske kontinentet.

Den arktiske termohaline sirkulasjonen

Når havis dannes blir salt utskilt fra isen, og vannet ved havoverflaten blir saltere og får høyere tetthet. I de grunne kystnære havområdene blir dette vannet saltere og får høy nok tetthet til å synke. Deretter flyter det langs kontinentalsokkelen og ned i de dype havbassengene, og bidrar til dypvannsdannelse og dermed til at mer varme blir trukket nordover fra tropene. Denne prosessen er svært finjustert. Dersom vannet blir mindre salt ved økt tilførsel av ferskvann eller nedbør, eller fordi temperaturen ikke er lav nok til at det dannes havis, vil det dannes mindre dypvann og havet vil dermed trekke med seg mindre av den varmen som er med på å moderere de europeiske vintrene nordover fra de tropiske områdene.

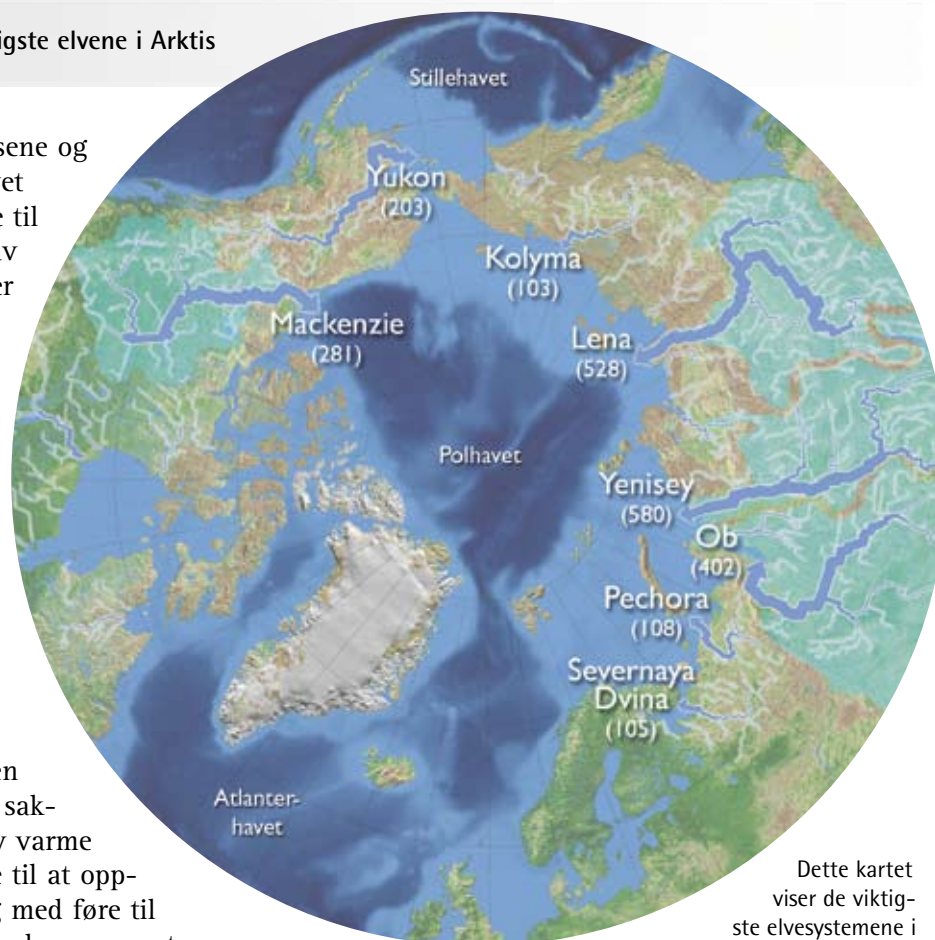


De viktigste elvene i Arktis

Klimaendringer forventes å påvirke alle disse prosessene og føre til at mer ferskvann føres med elvene til Polhavet fordi isbreer smelter og nedbøren øker. Dette vil føre til at havet blir varmere og dermed redusere dannelse av havis og vann med høy saltholdighet og tetthet. Etter hvert som vannet blir mindre salt vil det flyte på toppen av det saltere vannet lenger nede og ligge oppå vannet på en måte som ligner et oljelag som ligger på vannet. Dette forhindrer vertikal blanding og modererer dypvannsdannelsen og den termohaline sirkulasjonen.

Moderering av den termohaline sirkulasjonen vil kunne gi flere betydelig globale konsekvenser. Ettersom omveltningen i havene er en viktig mekanisme for å transportere karbondioksid til havdypet, vil forsinkelsen i sirkulasjonsprosessen føre til at konsentrasjonen av karbondioksid i atmosfæren vil bli større i løpet av kortere tid, noe som vil føre til en mer intens og mer langvarig global oppvarming. En saktere sirkulasjon i havene vil moderere transporten av varme nordover med Atlanterhavsstrømmene. Dette vil føre til at oppvarmingen i området vil gå saktere og kanskje til og med føre til en regional nedkjøling som kan vare over flere tiår, selv mens resten av planeten opplever en raskere oppvarming.

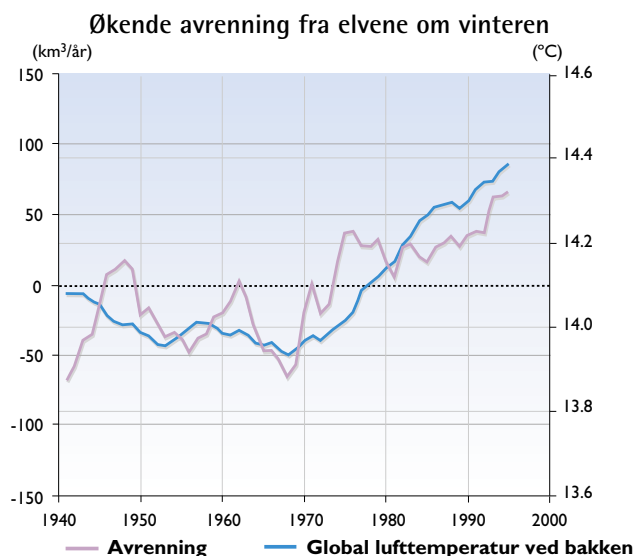
Redusert bunnvannsdannelse i Arktis vil også redusere mengden varme og næringsstoffer som blir ført tilbake mot overflaten andre steder i verden ved hjelp av de oppadgående komponentene i den termohaline sirkulasjonen. Dette vil øke havnivåøkningen (grunnet større varmeeekspansjon), mens det vil redusere tilgangen på næringsstoffer for de marine organismene ved overflaten og redusere transporten av karbon til de havdypet etter hvert som karbonholdige organismer dør og synker. Det som skjer i Arktis vil altså ha betydning for hele verden.



Dette kartet viser de viktigste elvesystemene i Arktis. Tykkelsen på de blå linjene viser den relative avrenningen, hvor de tykkeste linjene viser elvene med størst volum. Tallene på kartet indikerer kubikkmeter per år.

Økende vannstand i elvene

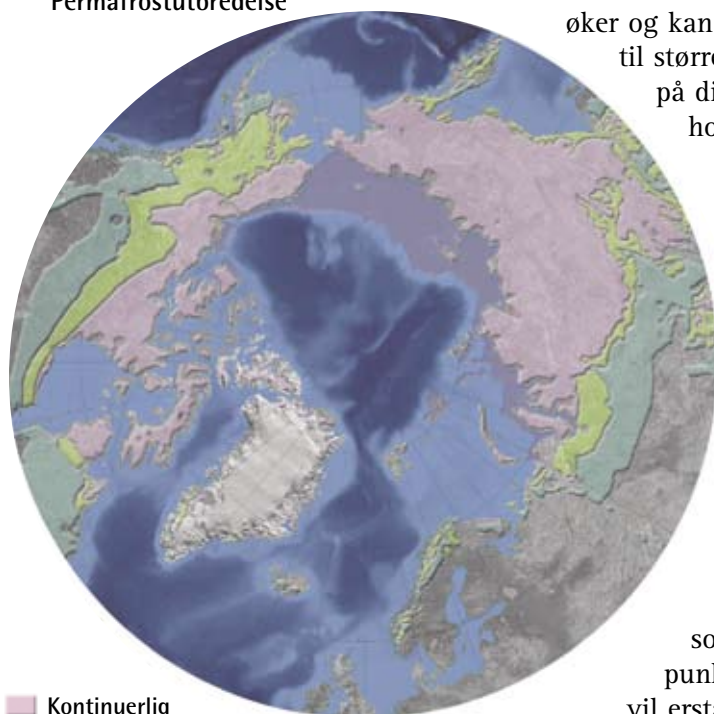
Polhavet er det havområdet i verden som blir mest påvirket av elver. De blir tilført 11 % av verdens ellevann mens de bare inneholder 1 % av alt sjøvann i verden. I løpet av de siste 100 årene er det observert en økning i ferskvannsavrenningen fra elvene til Polhavet. Den største økningen har skjedd i vintermånedene og etter 1987, dette i overensstemmelse med de største lufttemperaturøkningene. Vårflommene skjer nå tidligere i mange elver. For de neste 100 årene tilsier modellene en økning på 10-25 % i den årlige avrenningen fra elvene, og økningen vil være størst om vinteren og våren. Dersom varmere somrer fører til økt vanntap gjennom fordampning, er det mulig at vannstanden i elvene vil bli lavere enn dagens nivåer om sommeren.



Den fiolette linjen viser avvik fra det langtidsgjennomsnittet for avrenningen fra europeiske elver om vinteren (desember til slutten av mars), og den blå linjen viser endringer i den globale lufttemperaturen ved bakken.



Permafrostutbredelse



- Kontinuerlig
- Diskontinuerlig
- Sporadisk
- Under havoverflaten

Permafrost under havet i Arktis forekommer i det store området med kontinentalsokkel. Smale bånd med permafrost finnes sannsynligvis langs de fleste arktiske kyster.

Tilbakekoblingsmekanisme nr. 3: Utslipp av klimagasser

En tredje mekanisme hvor igjennom prosesser i Arktis kan påvirke de globale klimaendringene, er endring i utvekslingen av klimagasser mellom atmosfæren og det arktiske jordsmonnet og sedimentlaget, noe som sannsynligvis vil påvirkes etter hvert som luft og vann varmes opp.

Metan og karbondioksid fra permafrost

Karbon finnes i dag som organisk materiale i permafrostområdene (frossen grunn) som dekker store deler av Arktis. Spesielt lagres det store mengder karbon i de store torvmyrområdene i Sibir og deler av Nord-Amerika. Om sommeren, når det øverste laget av permafrosten tiner, vil det organiske materialet i dette laget brytes ned og det vil bli skilt ut metan og karbondioksid til atmosfæren. Oppvarming fører til at slikt utslipp øker og kan dermed føre til en selvforsterkende effekt hvor mer oppvarming fører til større utslipp som fører til mer oppvarming og så videre. Størrelsesordene på disse utslippene er avhengig av jordfuktighet og en rekke andre forhold, noe som gjør at usikkerheten her er betydelig.

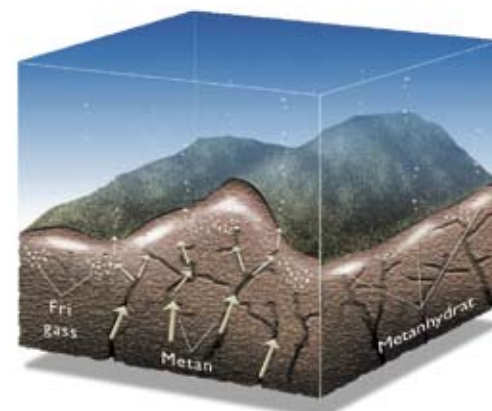
Metan og karbondioksid i skog og tundra

De boreale skogene og den arktiske tundraen inneholder noen av verdens største landbaserte karbonlagre, særlig i form av plantemateriale i skogene og som jordsmonnskarbon på tundraen. Metan er ca. 23 ganger mer effektiv enn karbondioksid til å fange opp varme i jordatmosfæren (per vektenhet og over en tidshorison på 100 år). Metan dannes gjennom nedbryting av dødt plantemateriale i våt jord som f.eks. i sumper eller tundra-dammer. Utslipp av metan til atmosfæren akselereres gjerne når temperatur og nedbør øker, selv om metan kan bli absorbert av skogen og tundrajorden i områder hvor det er tørke. Karbondioksid frigis gjennom nedbryting i jordsmonn i tørrere områder og fra trær som brenner. Økte temperaturer vil lede til økt nedbrytning i utgangspunktet, men den mer produktive vegetasjonen sørfra som sannsynligvis vil erstatte dagens arktiske vegetasjon forventes å medføre et større opptak av karbon, bortsett fra i forstyrrede eller spesielt tørre områder. Det er ikke kjent hvorvidt nettoeffekten av disse endringene vil bety et større totalt karbonopptak etter hvert som klimaendringene fortsetter, men nyere undersøkelser tyder på at det i Arktis sett under ett vil være slik at mer produktiv vegetasjon vil føre til økt karbonlagring i økosystemene.

Metanhydrat i kystområdene

Store mengder metan, i en frossen form som kalles metanhydrat eller chlathrat, er lagret i permafrost eller på grunne dyp i kalde havsedimenter. Dersom temperaturen i permafrosten eller i vannet ved havbunnen øker med noen få grader, kan dette sette igang en nedbrytning av disse hydratene og dermed en frigjøring av

Metanhydrater under havet



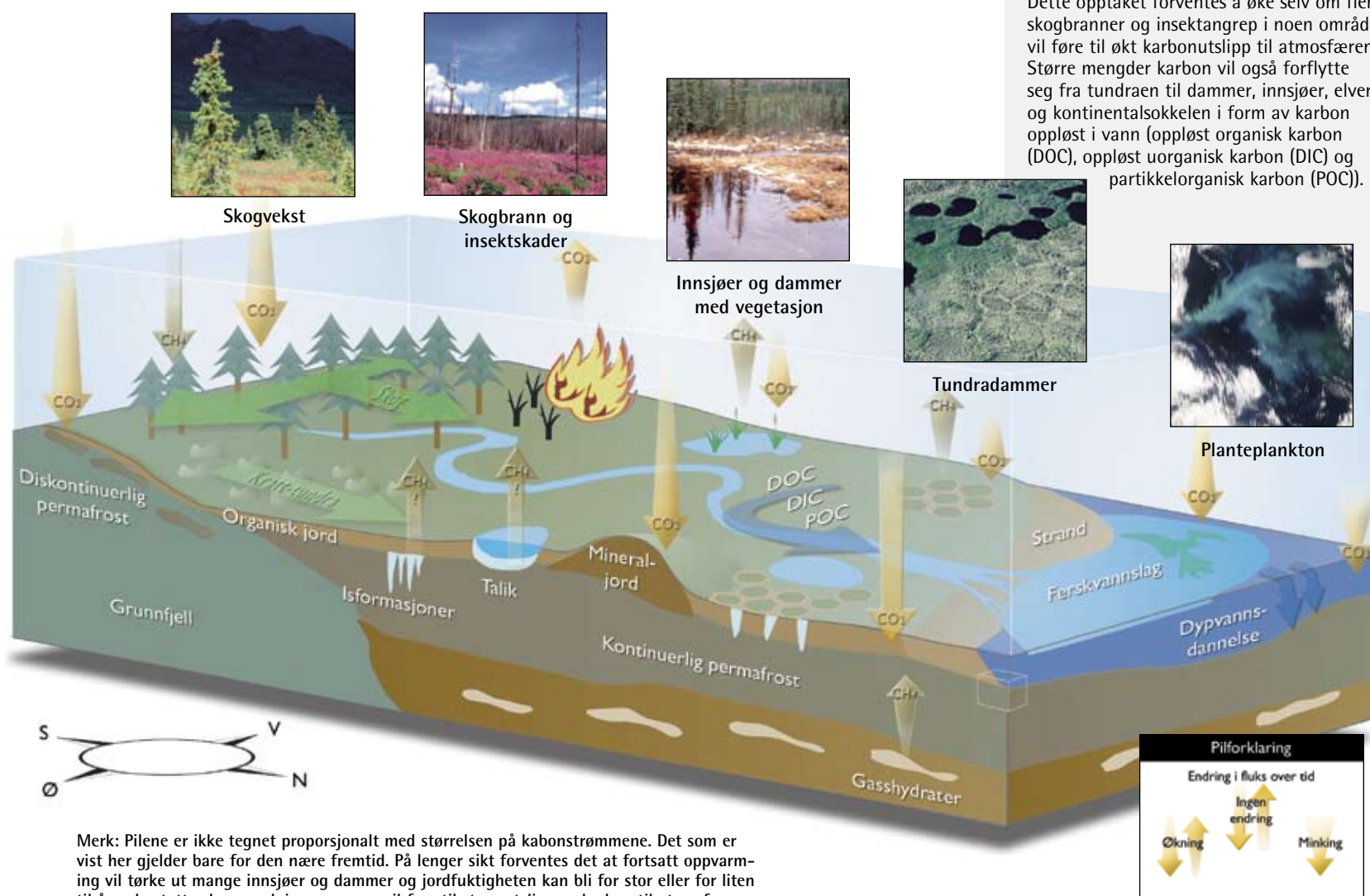


metan til atmosfæren. Det hersker mer usikkerhet om klimaendringer vil resultere i denne type metanutslipp enn andre utslipp som omhandles her siden det sannsynligvis ville kreve større oppvarming og ta lengre tid. Dersom det blir slike utslipp vil imidlertid klimaeffektene kunne bli svært store.

Karbonopptak i hav

Frem til i dag har ikke havområdene i Arktis spilt noen vesentlig stor rolle i det globale karbonbudsjettet siden opptaket av karbondioksid fra luften har vært begrenset av det store isdekket og fordi opptak i forbindelse med den biologiske aktiviteten under flerårig havis ikke har vært særlig betydelig sammenliknet med andre av verdens havområder. Med et varmere klima er det imidlertid mulig at mengden karbon som tas opp av Polhavet kan øke kraftig. Med mindre havis kan sannsynligvis mer karbondioksid bli absorbert av det svært kalde vannet og etter hvert som vannets tetthet øker når den sesongbaserte havisen dannes kan karbondioksidet bli fraktet nedover. I tillegg kan økt biologisk produktivitet i åpent vann føre til at mer karbon blir fraktet nedover når levende organismer dør og synker, særlig hvis økt avrenning også øker tilgangen til næringsstoffer. Mens disse endringene kan bli viktige i regional målestokk er ikke området stort nok til å redusere de globale karbonkonsentrasjonene i atmosfæren i betydelig grad.

Denne figuren illustrerer endringene i karboncyklusen i Arktis etter hvert som klimaet blir varmere. Dersom man starter til venstre i figuren så vil man se at de boreale skogene absorberer CO₂ fra atmosfæren. Dette opptaket forventes å øke selv om flere skogbranner og insektangrep i noen områder vil føre til økt karbonutslipp til atmosfæren. Større mengder karbon vil også forflytte seg fra tundraen til dammer, innsjøer, elver og kontinentalsokkelen i form av karbon oppløst i vann (oppløst organisk karbon (DOC), oppløst uorganisk karbon (DIC) og partikkelorganisk karbon (POC)).



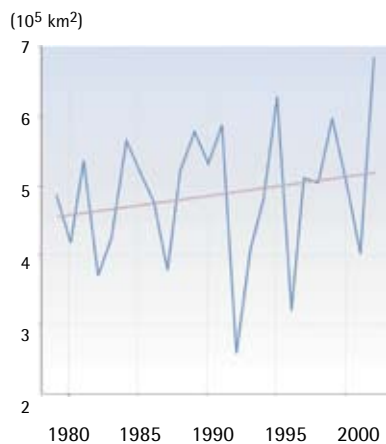
Merk: Pilene er ikke tegnet proporsjonalt med størrelsen på karbonstrømmene. Det som er vist her gjelder bare for den nære fremtid. På lenger sikt forventes det at fortsatt oppvarming vil tørke ut mange innsjøer og dammer og jordfuktigheten kan bli for stor eller for liten til å understøtte skogspredning, noe som vil føre til store utslipp av karbon til atmosfæren.



«Det året (2002) begynte smeltingen så tidlig og var så intens at det virkelig kom som et sjokk. Jeg hadde aldri sett at sesongsmelting forekom så høyt oppe på isen tidligere og den hadde aldri før startet så tidlig på våren.»

Konrad Steffan
University of Colorado, USA

Smelting på innlandsisen i Grønland (Maksimum smelteutbredelse 1979-2002)



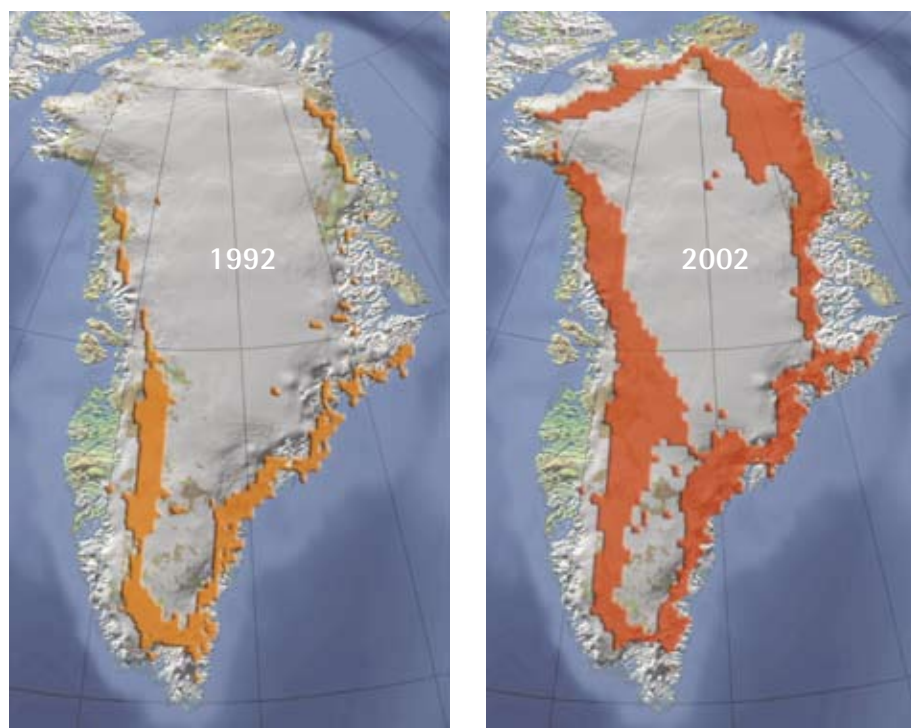
Smeltende isbreer bidrar til global økning i havnivået

Den totale mengde landbasert is i Arktis er blitt beregnet til å være rundt 3 100 000 kubikkilometer hvilket tilsvarer ca. 8 meter i havnivå. De fleste isbreene og platåbreene i Arktis har trukket seg tilbake siden begynnelsen av 1960-årene. I 1990-årene ble tilbaketrekkingen mer markert. Et lite antall isbreer, spesielt i Skandinavia, har opplevd masseøkning etter som en nedbørmengden har vært større enn smelteraten i noen få områder.

Innlandsisen på Grønland dominerer den landbaserte isen i Arktis. Maksimum utbredelse av områder med overflatesmelting på innlandsisen økte gjennomsnittlig med 16 % fra 1979 til 2002, tilsvarende et område nesten like stort som Sverige, men med betydelige variasjoner fra år til år. Det totale området med overflatesmelting på innlandsisen slo alle rekorder i 2002 med ekstrem smelting også på 2000 meters høyde over havet. Satellittdata viser en økende trend i omfanget av smelting siden 1979. Trenden ble brutt i 1992 etter at Pinatubo-vulkanen hadde utbrudd. Utbruddet skapte en kortvarig global avkjøling siden partiklene som sprutet ut av vulkanen reduserte mengden sollys som nådde jorden.

Nyere undersøkelser på isbreer i Alaska indikerer at smeltingen går fortere. Havnivåøkningen er nesten dobbelt så stor som det beregnede bidraget fra innlandsisen på Grønland over de siste 15 årene. Denne raske tilbaketrekkingen av Alaskas isbreer utgjør

Smelting på innlandsisen i Grønland



Det sesongmessige utbredelsen av overflatesmelting på innlandsisen på Grønland er blitt satellittovervåket siden 1979 og viser en økende trend. Smeltesonen, der sommervarmen fører til at is og snø ved innlandsisens kanter omdannes til sørpe og smeltevannspytter, har ekspandert innover i landet og oppover til rekordhøyder i de siste årene. Når smeltevannet renner ned i sprekker i isen, kan det føre til at smeltingen går fortere og i enkelte områder gjøre at isen glir enklere og raskere over grunnfjellet mot havet. I tillegg til at smeltingen bidrar til å øke det globale havnivået, fører denne prosessen til at mer ferskvann tilføres havene, noe som potensielt kan påvirke havstrømmene og det regionale klimaet.

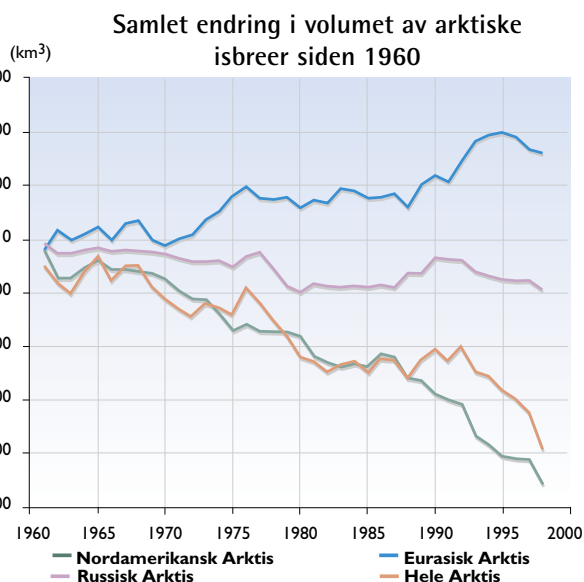
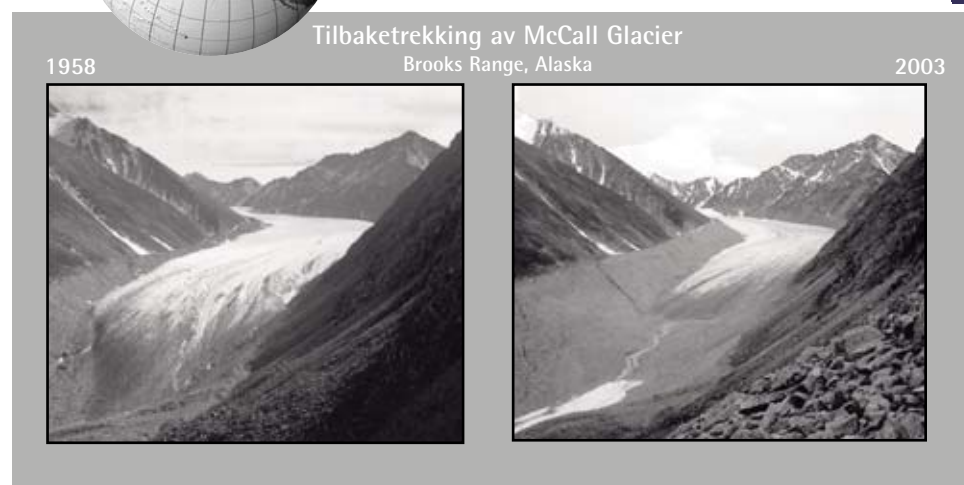
omtrent halvparten av det estimerte tapet av masse fra isbreer verden over og utgjør det største bidraget fra isbreer til havnivåøkningen målt til dags dato.

Beregninger fra globale klimamodeller viser at bidraget fra arktiske isbreer til havnivåøkningen vil øke over de neste 100 årene. Dette betyr et bidrag på rundt 4-6 cm innen år 2100. Nyere forskning viser at disse beregningene burde være høyere på grunn av økt smelting av isbreer i Arktis over de siste 20 årene.

I det lange løp vil Arktis bidrag til økt havnivå globalt sett kunne bli mye større etter hvert som innlandsisområdene over de neste tusener av år fortsetter å reagere på klimaendringene og bidra til havnivåøkningen. Klimamodeller viser at den lokale oppvarmingen på Grønland kommer til å bli fra en til tre ganger større enn det globale gjennomsnittet. Innlandsismodeller viser at en lokal oppvarming av denne størrelsesordenen vil føre til at innlandsisen med tiden smelter totalt bort. Dette vil resultere i en havnivåøkning på omtrent 7 meter.

«Isbreene trekker seg tydelig tilbake og stedsnavnene er ikke lenger i samsvar med slik landet ser ut. For eksempel er det slik at Sermiarsuussuaq ('Den lille store isbreen') som tidligere gikk helt ut til sjøen, ikke lenger eksisterer.»

Uusaqqak Ujaukitsoq
Qaanaaq, Grønland



For Arktis som helhet var det en betydelig reduksjon i isbrevolum i perioden 1961 til 1998. Isbreene i det nordamerikanske Arktis mistet mest masse (ca. 450 km³) og med økt tap siden slutten av 1980-årene. Isbreene i det russiske Arktis har blitt betydelig redusert (100 km³). Isbreene i det europeiske Arktis har økt i volum da økt nedbør i Skandinavia og Island har bidratt med mer masse til isbreene enn det smelting kunne fjerne i denne perioden.



En økning i havnivået forventes å medføre alvorlige konsekvenser for kystsamfunn og -næringsliv, for øyer, elvedeltaer, havner og den store andelen av verdens befolkning som bor og lever i kystområdene verden over.

Konsekvenser av global økning i havnivået

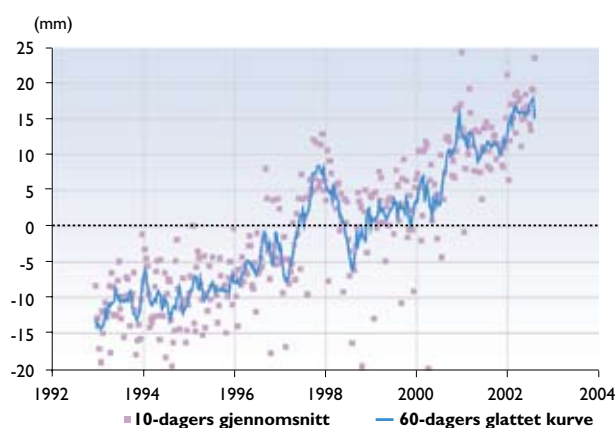
En økning i havnivået har et potensiale for å medføre betydelige konsekvenser for samfunn og økosystemer verden over. Klimaendringer forårsaker havnivåøkning både ved å påvirke tetthet og vannmengde. Først, og kanskje av størst betydning er det at vann utvider seg når det blir varmt og vann med mindre tetthet tar mer plass. Denne «termale ekspansjonen» er spådd å bli den største bidragsyter til havnivåøkningen de neste 100 årene, og antas å ville vedvare i mange århundrer. For det andre vil oppvarming føre til økt smelting av isbreer og annen landbasert is, noe som bidrar til å øke vannmengden i havene.

Det globale havnivået steg med gjennomsnittlig tre millimeter per år i 1990-årene, én millimeter mer enn tiårene før det. Dette nivået igjen er 10 til 20 ganger større enn den beregnede økningen over de siste årtusener. De viktigste faktorene som har bidratt til denne økningen er varmeekspanasjon forårsaket av oppvarming av havvannet og smelting av landbasert is som fører til at den totale vannmengden i havene øker.

Det globale gjennomsnittlige havnivået er beregnet til å stige mellom 10 og 90 centimeter i dette århundret. Endringshastigheten vil øke utover i århundret. I det lange løp er det beregnet at det vil bli en betydelig større havnivåøkning. Økningen i havnivået forventes å bli svært ulik verden rundt, med den største forventede økningen i Arktis. Dette har til dels å gjøre med den forventede økningen i ferskvannstilførsel til de arktiske havområdene, som igjen antas å medføre redusert saltholdighet og tetthet.

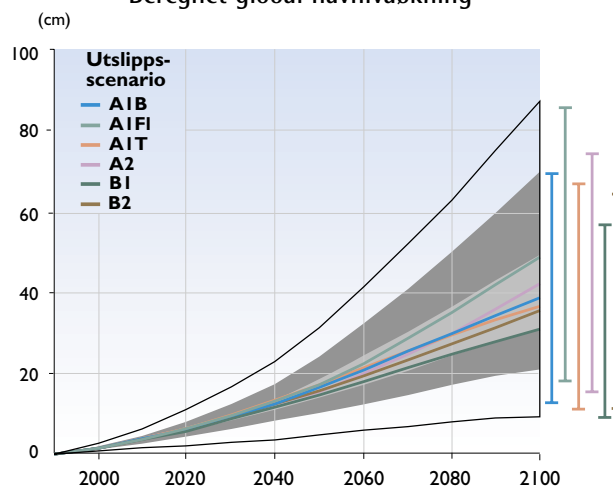
En økning i havnivået forventes å medføre alvorlige konsekvenser for kystsamfunn og -næringsliv, for øyer, elvedeltaer, havner og den store andelen av verdens befolkning som bor og lever i kystområdene verden over. En havnivåøkning vil føre til økt saltholdighet i bukter og elveutløp. Det vil føre til økt kysterrosjon, spesielt der hvor kyst-

Observert global havnivåøkning



Disse dataene, som stammer fra en satellitt som ble skutt opp i 1992, viser økningen i det global gjennomsnittlige havnivået de siste ti årene.

Beregnet global havnivåøkning

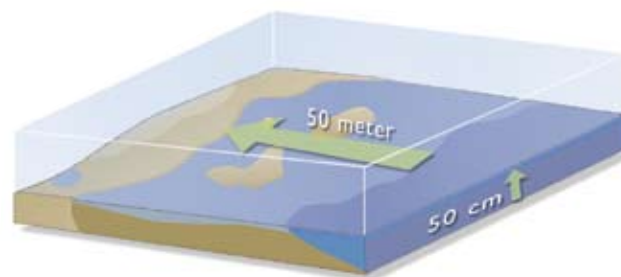


Grafen viser fremtidige økning i det gjennomsnittlige havnivået i meter slik det er beregnet ved hjelp av en rekke klimamodeller med basis i seks utslippsscenarioer fra IPCC. Stolpene til høyre viser variasjonen beregnet av ulike modeller for de valgte utslippsscenarioene.

sonen er bløt snarere enn berglendt og steinete. Store lavtliggende kyst- og deltaområder inneholder viktige økosystemer som vil påvirkes av en stigning i havnivået. Våtmarker vil bli presset lenger innover i landet og flomepisoder ved kysten vil bli hyppigere.

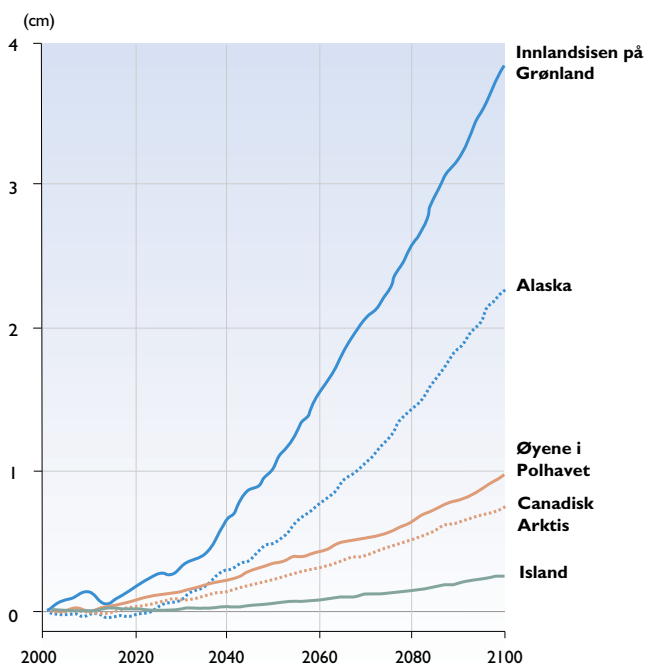
Virkningene av en havnivåøkning vil sannsynligvis bli størst i svakt hellene kystområder, innlandsområder som grenser til elvemunninger og kystområder som synker på grunn av tektoniske krefter, sedimentering eller utvinning av olje eller grunnvann. Lavtliggende øyer i Stillehavet (Marshall, Kiribati, Tuvalu, Tonga, Line, Mikronesia, Cook), Atlanterhavet (Antigua, Nevis) og i Det indiske hav (Maldivene) vil svært sannsynlig bli hardt rammet.

I Bangladesh bor det mer enn 17 millioner mennesker mindre enn én meter over havoverflaten som allerede er sårbare for oversvømmelser. I Sørøst-Asia ligger en rekke store byer, inkludert Bangkok, Mumbai, Calcutta, Dhaka og Manila, (hver med en befolkning på mer enn fem millioner) ved kysten eller i elvedeltaer. I USA er Florida og Louisiana særlig sårbare for påvirkning av fremtidig havnivåstigning.



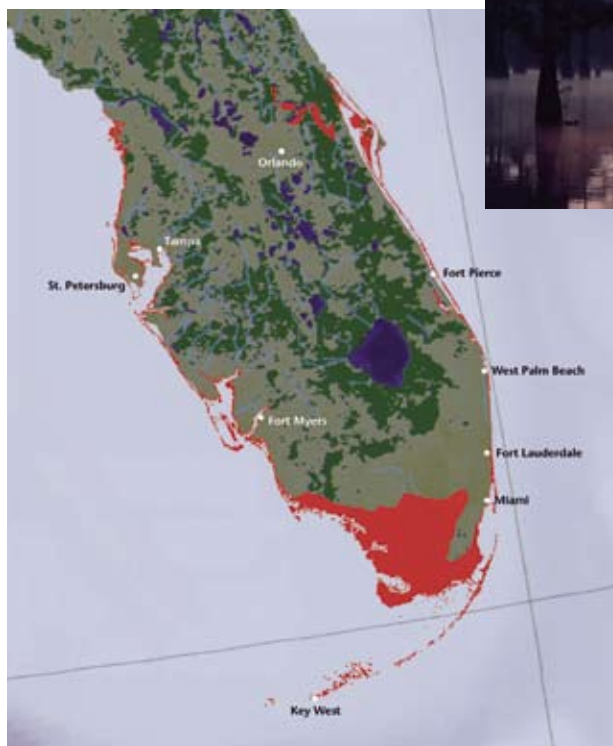
En havnivåøkning på 50 cm vil normal føre til at kystlinjen trekker seg 50 meter tilbake dersom området er ganske flatt (som de fleste kystslettene), noe som vil føre til store økonomiske, sosiale og miljømessige virkninger.

Beregnet bidrag til havnivåøkning fra landbasert is i Arktis



I denne grafen sammenlignes det beregnede bidraget til havnivåendring fra landbasert is i ulike deler av Arktis. Innlandsisen på Grønland forventes å utgjøre den største andelen på grunn av dens størrelse. Selv om isbreene i Alaska dekker et mye mindre areal, er det beregnet at også de vil bidra betydelig. Det totale bidraget fra smelting av landbasert is i Arktis til den globale havnivåøkningen er beregnet til å bli ca. 10 cm innen 2100. Den viktigste drivkraften bak havnivåøkningen er den termale ekspansjon som skyldes oppvarming av havet, og dette er ikke tatt med i denne fremstillingen.

Områder i Florida som utsettes for oversvømmelser dersom havnivået stiger med 100 cm



2 Oppvarmingen av Arktis og konsekvensene av dette har virkninger over hele verden.

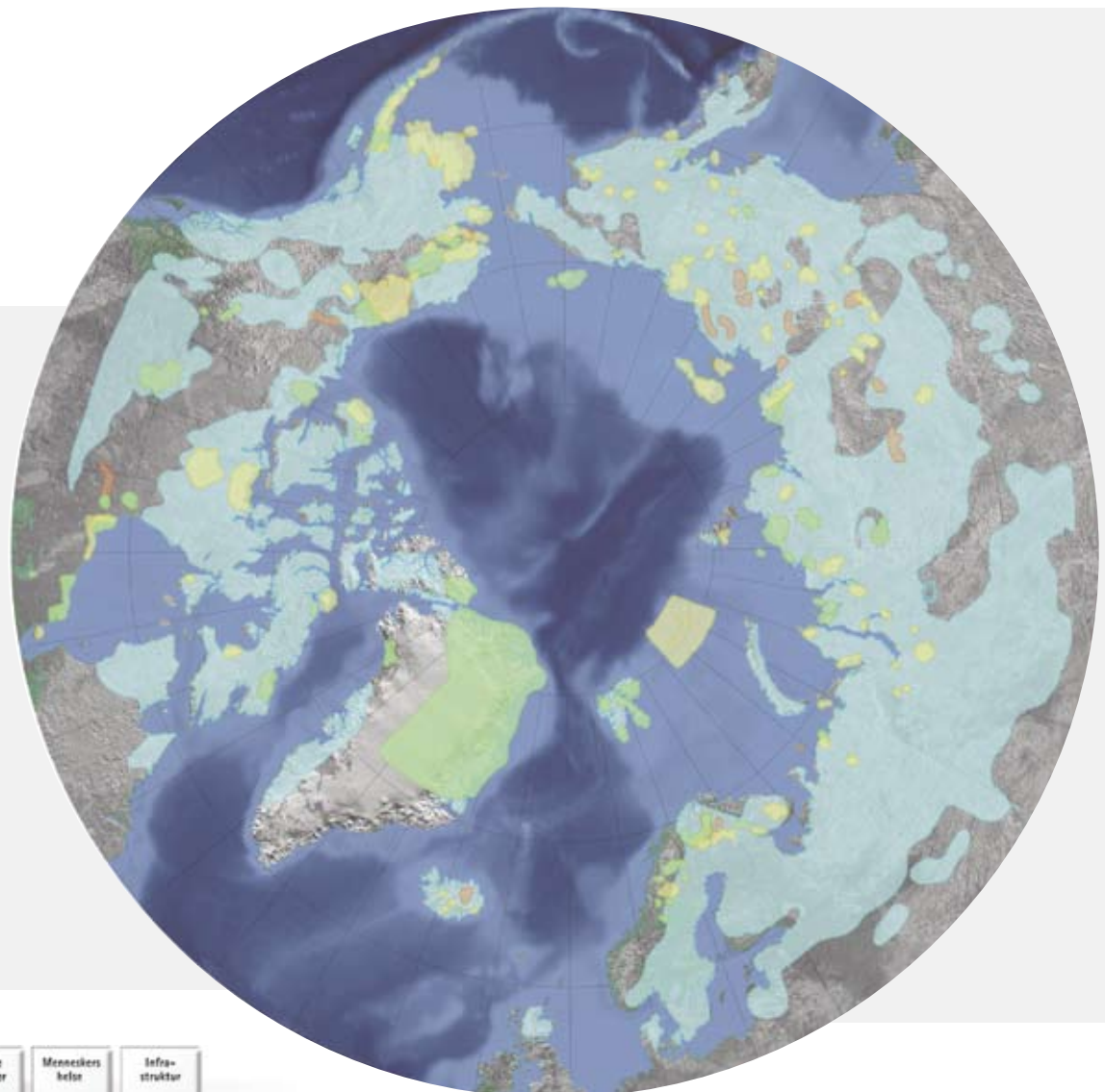


Tilgangen til ressursene i Arktis vil endre seg

Arktis forsyner verden med naturressurser, og klimaendringer vil få følger for disse ressursene på en rekke ulike måter som omhandles videre utover i denne rapporten. De arktiske ressursene har økonomisk verdi – f.eks. har hval, sel, fugler og fisk lenge blitt solgt til sørligere markeder. De arktiske havene inneholder noen av verdens eldste og mest produktive kommersielle fiskebanker som gir betydelig fangst for mange arktiske land, så vel som for resten av verden. For eksempel er Norge en av verdens største fiskeeksporterende nasjoner.

Det er store olje- og gassreserver i Arktis, de fleste i Russland, men det er også felter i Canada, Alaska, Grønland og Norge. Det finnes også store mengder mineraler i Arktis, alt fra edelstener til gjødsel. Russland utvinner mest mineraler, men Canada og Alaska har også store utvinningsindustrier som forsyner verdensøkonomien med råvarer. Marin tilgang til olje, gass og mineraler kommer sannsynligvis til å bli enklere mange steder i et varmere Arktis, noe som vil ha positive virkninger for noen og negative for andre. Den landbaserte tilgangen til ressurser vil sannsynligvis bli vanskeliggjort mange steder fordi den delen av året da grunnen er tilstrekkelig frossen for ferdsel kommer til å bli kortere.

Marin tilgang til olje, gass og mineraler kommer sannsynligvis til å bli enklere mange steder i et varmere Arktis.



Verneområder i Arktis

Etablering av verneområder som en strategi for å bevare det biologiske mangfoldet i Arktis er viktig for å beskytte naturlige leveområder mot direkte menneskelige inngrep, men de beskytter ikke mot klimaendringer. Dette kartet viser hvordan klimaendringene vil påvirke dagens verneområder og hvordan dette vil utsette de levende ressursene de er ment å beskytte i fare.

- Naturresevater/Villmarksområder/Nasjonaleparker
- Naturminnesmerker/Habitat-/Artsforvaltningsområder
- Landskapsvernområde/Havlandskap/Ressursforvaltningsområder
- Områder med forventet fremtidig vegetasjonsendring



Kryslare og hydrologi	Marine systemer	Menneskers helse	Infrastruktur
6	9	15	16

Endringer i økosystemene i Arktis vil få globale ringvirkninger

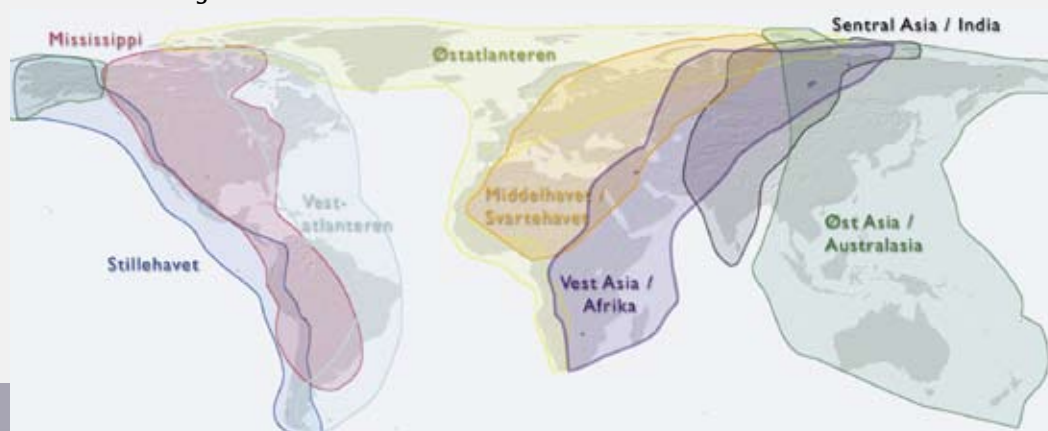
Klimarelaterte endringer i de arktiske økosystemene vil ikke bare ha konsekvenser for den lokale befolkningen og andre levende organismer som er avhengige av disse systemene for føde, leveområde og andre ytelser, men vil også ha betydning globalt sett på grunn av de mange koblinger mellom Arktis og sørligere områder. Mange arter fra hele verden er avhengige av sommerbeiteområder og hekkeplasser i Arktis, og klimaendringer vil endre enkelte av disse leveområdene betydelig.

For eksempel trekker flere hundre millioner fugler til Arktis hver sommer, og deres suksess i Arktis avgjør hvordan bestandstørrelsen blir i sør. Viktige hekkeplasser forventes å forsvinne når tregrensen beveger seg nordover og trenger seg inn i dagens tundraområder. I tillegg er det ikke sikkert at fuglenes ankomsttidspunkt til Arktis lenger vil sammenfalle med tilgangen på de insektene de lever av. Samtidig vil en havnivåøkning føre til at tundraen i mange områder blir redusert nordfra på grunn av erosjon, noe som igjen fører til en innskrenking i leveområdet til mange arter. En rekke fuglearter, deriblant flere arter av globalt truede sjøfugler, er beregnet å miste mer enn 50 % av sine hekkeområder i løpet av dette århundret.



Mange arter fra hele verden er avhengige av sommerbeiteområder og hekkeplasser i Arktis, og klimaendringer vil endre enkelte av disse leveområdene betydelig.

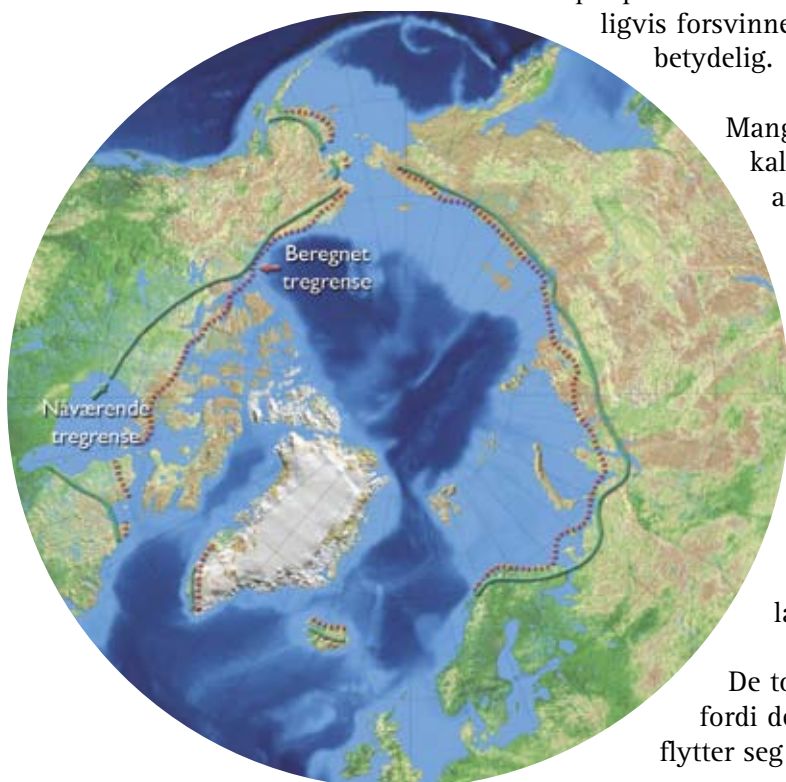
Trekkruiter for fugl





Klimaendringer vil sannsynligvis bringe med seg endringer i vegetasjonen ettersom stigende temperatur favoriserer høyere og tettere vegetasjon.

Nordlig forflytning av tregrensen



Endring i vegetasjonssonene

Klimainduserte endringer i de arktiske landskapene har betydning for lokalbefolkning og dyr i forhold til mattilgang, brensel, kultur og leveområder. Disse endringene har også et potensiale for å gi globale virkninger siden mange av prosessene relatert til arktiske landskaper påvirker det globale klimaet og ressursene. Noen endringer i de arktiske landskapene lar seg allerede observere og de fremtidige endringene forventes å bli betydelig større.

Polarørkenen, tundraen og den nordlige delen av den boreale skogen utgjør de viktigste vegetasjonssonene i Arktis. Den nordligste sonen, polarørkenen, dekker mesteparten av høy-Arktis, og kjennetegnes ved flekker av snøfrie områder og fravær av selv de minste busker. Selv om vegetasjonen i polarørkenen er ganske sparsom, finner man moskus og mindre underarter av caribou og reinsdyr her. Tundraen kjennetegnes ved en vegetasjon bestående av krattvekst.

Klimaendringer vil sannsynligvis bringe med seg vegetasjonsendringer ettersom stigende temperatur favoriserer høyere og tettere vegetasjon og vil føre til at skogen sprer seg nordover inn på tundraen i Arktis. Samtidig vil tundraen spre seg inn i polarørkenområdene. Tidsrammene for disse endringene vil være forskjellig i ulike deler av Arktis. Der jordsmonnet og andre forhold ligger til rette for det, vil endringene sannsynligvis åpenbare seg i dette århundret. Der forholdene ikke ligger til rette for det, kan man forvente at endringene vil ta lenger tid. Disse vegetasjonsendringene, i tillegg til havnivåøkningen, forventes å føre til at tundraen reduseres til et så lite omfang som den ikke har vært på de siste 21 000 årene. Dette vil i stor grad redusere hekkeområdene for mange fugler og beiteområdene for mange landdyr som er avhengige av det åpne landskapet på tundraen og i polarørkenen. Ikke bare vil noen truede arter svært sannsynligvis forsvinne, men noen arter som i dag er svært utbredt forventes å reduseres betydelig.

Mange av de tilpasninger som gjør at planter og dyr kan overleve i dette kalde miljøet, gjør det også vanskelig for dem å konkurrere med de artene som kommer med et varmere klima. Den høye hastigheten på de forventede klimaendringene skaper også særlige tilpasningsvansker for mange arter. Det antas derfor at arktiske planter og dyr primært vil svare på klimaendringene med å forflytte seg. Når arter fra sør trekker nordover, i noen tilfeller med så mye som 1000 km, kommer de svært sannsynlig til å fortrenge noen arktiske arter (som ikke kan forflytte seg lengre nordover pga. Polhavet). En slik fortrenkning er allerede på gang blant noen fugle-, fiske- og sommerfuglarter. Sjøfugler, mose og lav er blant de gruppene som forventes å minke når klimaet blir varmere. Arktis, med sine 600 arter mose og 2000 arter lav, er et viktig globalt skattekammer for jordens mangfold av mose og lav. Her er mer lav og mose enn noe annet sted i verden.

De totale antallet arter i Arktis forventes å øke når klimaet blir varmere fordi det vil komme arter sørfra. Men hele samfunn og økosystemer forflytter seg ikke intakt. Innenfor de enkelte artsgruppene vil enkeltarter forflyt-

ning være avhengig av deres følsomhet overfor klimaendringene, deres mobilitet og deres livslengde samt tilgang på passelig jordsmonn, fuktighet og andre behov. Dyr kan normalt forflytte seg mye raskere enn planter og store dyr som caribou flytter seg mye lettere enn små dyr som lemen. I tillegg må trekkruiter være tilgjengelige, som f.eks. nordgående elver som kan benyttes som ferdselsåre for fiskearter fra den sørlige delen av området. Noen av trekkrutene kan være stengt på grunn av menneskelige inngrep. Alle disse forholdene vil føre til sammenbrudd av dagens samfunn og økosystemer og til dannelse av nye samfunn og økosystemer. Dette kan få uante konsekvenser.



Nåværende arktisk vegetasjon



- Is
- Polarørken/halvørken
- Tundra
- Boeral skog
- Temperert skog

Dagens naturlige vegetasjon i Arktis og i naboregionene fra botaniske undersøkelser.

Forventet vegetasjon, 2090-2100



- Is
- Polarørken/halvørken
- Tundra
- Boreal skog
- Temperert skog
- Gressland

Beregnet potensiell vegetasjon for 2090-2100, simulert med LPJ Dynamic Vegetation Model drevet av Hadley2-klimamodellen

Is



Polarørken



Polar halvørken



Våt tundra



Tue/sivgress/kratt-tundra



Boreal skog



3 Arktiske vegetasjonssoner vil svært sannsynlig endre seg, noe som vil medføre flere typer konsekvenser.



Motkrefter mot klimaet

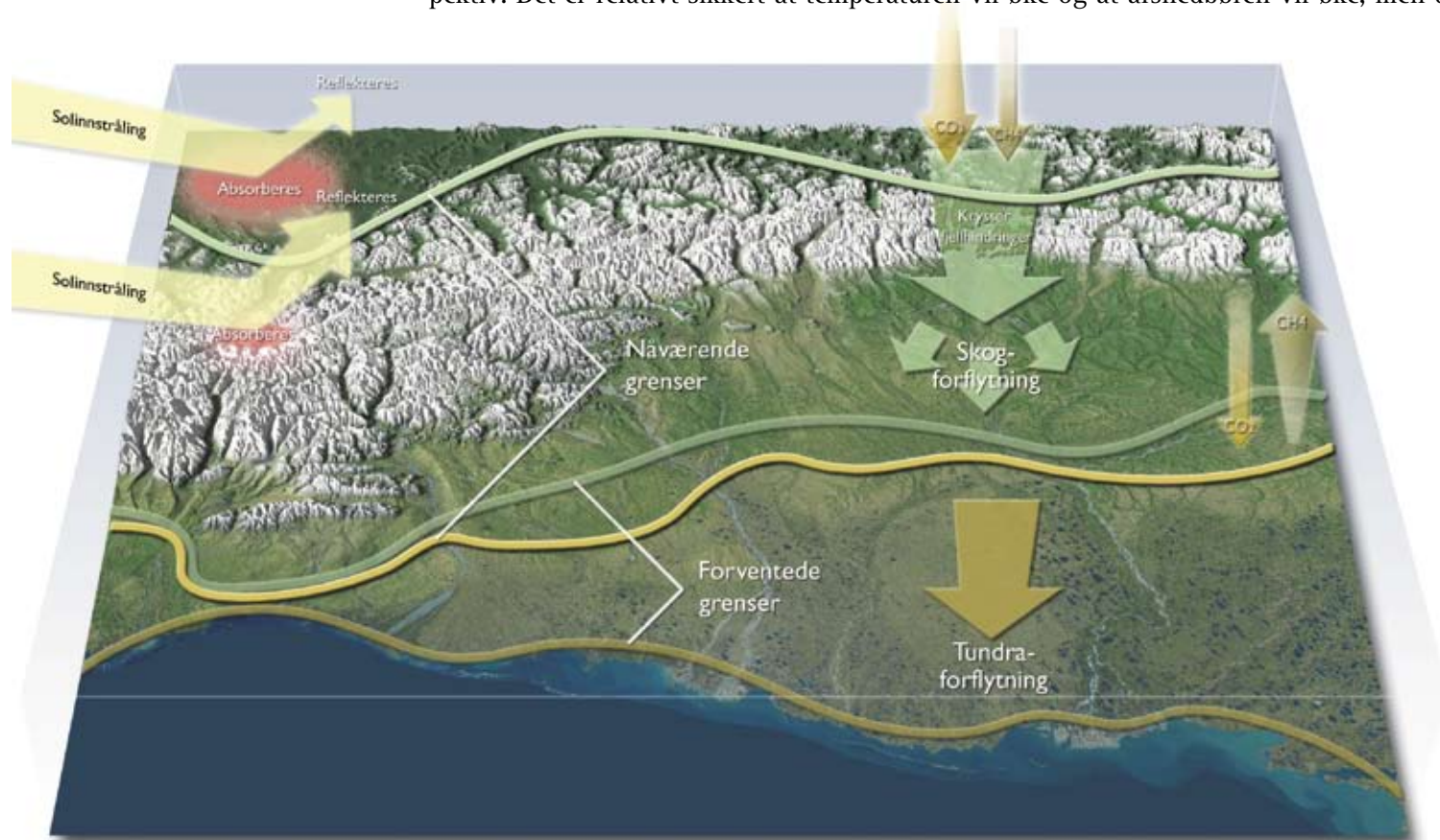
Den beregnede reduksjon av tundraområder og ekspansjon av skogområder vil medføre en redusert overflaterrefleksjon, noe som forsterker oppvarmingen fordi de områdene som nylig er blitt dekket med skog er mørkere og tettere og dermed vil absorbere mer solinnstråling enn den lysere og jevnere tundraen. For eksempel er svartgran den minst reflekterende av alle vegetasjonstyper, og den kommer sannsynligvis til å utgjøre en stor andel av trærne i den nye blandingsskogen i Nord-Amerika. I tillegg kommer skogen til å skjule de sterkt reflekterende snøflatene. Overflateformørkningen som skjer som resultat av disse endringene, vil skape et selvforsterkende syklus der mer oppvarming vil føre til flere trær og mer skog som igjen vil føre til mer oppvarming, og så videre.

Undersøkelser tyder på at økningen i absorpsjon av solinnstråling vil være større enn økningen i karbonlagring, noe som gir en netto-oppvarming.

På den andre siden vil den utvidede skogvegetasjonen bli mer biologisk produktiv enn den eksisterende tundravegetasjonen og tundraen vil bli mer produktiv enn polarørkenen som den fortrenger. Modellberegninger tilsier at dette kan øke karbonlagringen, noe som til en viss grad vil moderere den beregnede oppvarmingsgraden. Nettoeffekten av disse motkreftene involverer flere konkurrerende påvirkninger som i dag ikke er fullt ut forstått. Nyere undersøkelser tyder imidlertid på at økningen i absorpsjon av solinnstråling vil være større enn økningen i karbonlagring, noe som gir en netto-oppvarming.

Ørkenspredning: En mulig «overraskelse»

Fordi klimaendringene endrer på mange variabler og forholdet mellom dem er det ofte vanskelig å beregne alle de interaktive effektene på miljøet, spesielt i et lengre tidsperspektiv. Det er relativt sikkert at temperaturen vil øke og at årsnedbøren vil øke, men det



Merk: Pilene som viser CO₂ og CH₄ er ikke tegnet i skala.



Tundra og polarerken	7	Skog og jordbruk	14
----------------------	---	------------------	----

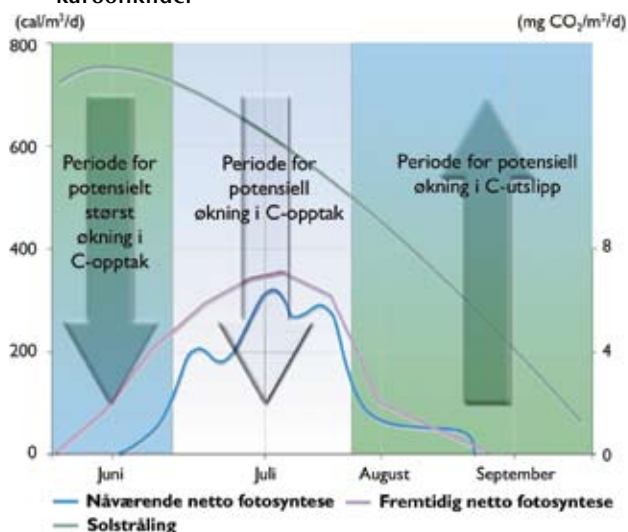
er ikke kjent om nedbørsøkningen vil holde følge med oppvarmingen i alle områder og til alle årstider. Siden fordampningsgraden øker når temperaturen stiger, vil enkelte landområder tørke ut dersom nedbøremengden ikke holder tritt med temperaturøkningen.

Et annet komplisert forhold er omfanget av permafrosttining og den påfølgende drenering av grunnen. For eksempel har sommersmelting av det aktive laget i permafrosten (topplaget som smelter om sommeren og fryser om vinteren) i Barrow i Alaska ført til ganske store mengder vann på overflaten. Dette vannet kan imidlertid forsvinne dersom dybden i det aktive laget øker som beregnet. Dette er svært sannsynlig fremtidsutsikt i enkelte områder av Arktis, og spesielt er områder som ikke var isdekket for 10 000 år siden og hvor finkornet vindavsatte sedimenter ligger oppå permafrosten utsatt for uttørring og erosjon. Historiske klimadata tilsier at denne mekanismen har forekommet i de kalde og tørre tundra- og steppelandskapene i Sibir og Alaska. Disse prosessene kommer sannsynligvis til først å føre til en begynnende vegetasjonsvekst som så blir etterfulgt av ørkenspredning i noen områder etter hvert som oppvarmingen fortsetter.



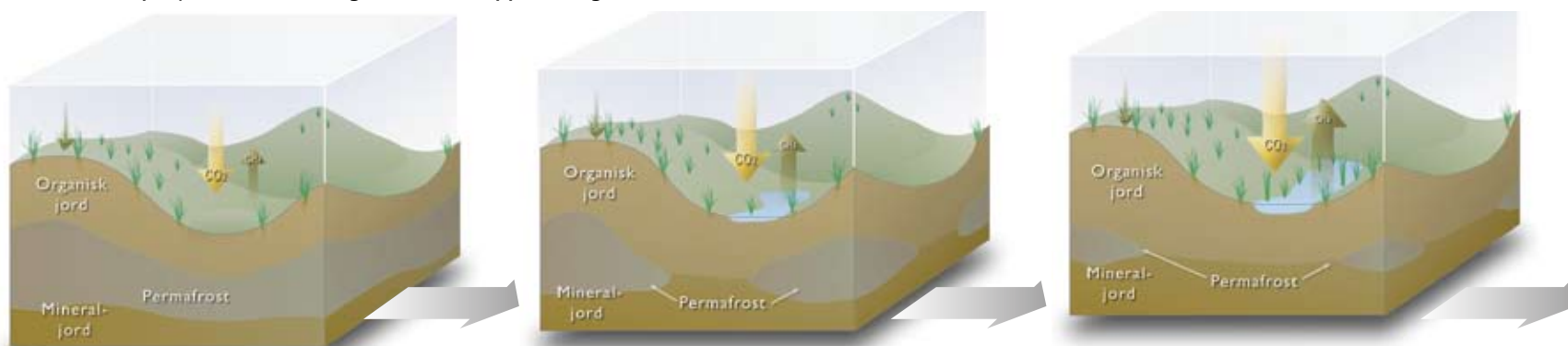
Polarørken

Sesongmessige vekslinger mellom karbonsluk og karbonkilder



Denne serien, fra et område i Nord-Sverige som likner det på bildet, viser at det jordlaget som tiner hver sommer, er blitt dypere og dypere de siste årene etter hvert som klimaet har blitt varmere. De røde områdene viser områder der bakken tiner ned til 1,1 meter eller mer. Tidsserien viser hvor hurtig diskontinuerlig permafrost forsvinner i dette området.

Landskapsdynamikk i endring i takt med oppvarming



I Nord-Norge, Sverige og Finland finnes det, i områder med diskontinuerlig permafrost, mange små åser og koller med våte forsenkninger som alle har sin karakteristiske vegetasjon (til venstre). Når klimaet blir varmere, tiner permafrosten og de våte områdene blir større. Den mer produktive vegetasjonen vil ta opp mer karbondioksid, men den økte utbredelsen av våte områder vil føre til større utslipp av metan (i midten) (dette er allerede registrert). Til sist (til høyre) vil permafrosten tine fullstendig, og balansen mellom metanutslipp og karbondioksidopptak vil være avhengig av påfølgende drenering og nedbør.



En stor del av det ferskvannet som renner ut i det arktiske bassenget er først samlet, modifisert og distribuert av og i den boreale skogen, og klimaendringer vil modifisere mange av disse viktige funksjonene.



De nordlige skogene

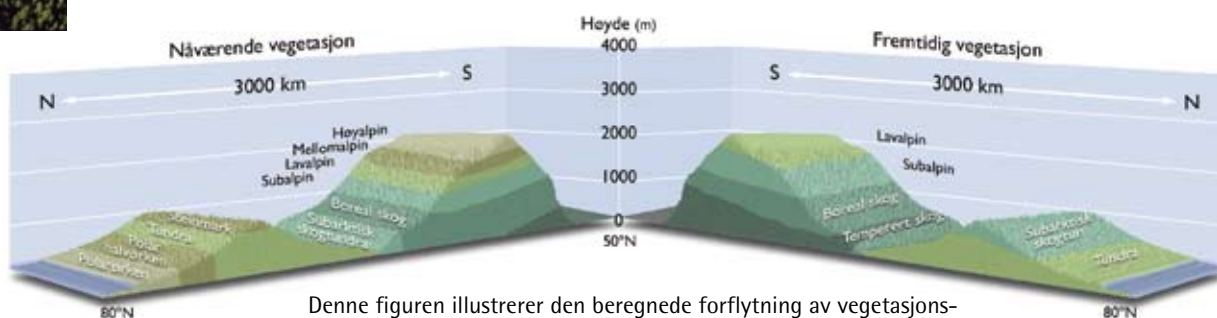
Store områder i det sentrale og østlige Sibir og den nordvestlige delen av Nord-Amerika inneholder de største gjenværende naturlige skogene på jorda. Tre av de fire nasjonene med de største skogområdene på jorda ligger i Arktis: Russland, Canada og USA. Skogene i de arktiske områdene utgjør ca. 31 % av all verdens skog (av alle typer) og de boreale skogene dekker i seg selv ca. 17 % av jordas landområde. Etter hvert som klimaet fortsetter å bli varmere vil de boreale (nordlige) skogene spre seg inn i de arktiske områdene etter hvert som de skogkledde områdene beveger seg nordover.

De boreale skogene er svært viktige globalt sett på grunn av deres økonomiske og miljømessige verdi. Store deler av den boreale skogen i Finland, Sverige og deler av Canada er sterkt forvaltet for tømmerproduksjon og bidrar med fra 10 til 30 % av eksportinntektene i disse landene. En stor del av det ferskvannet som renner ut i det arktiske bassenget er først samlet, modifisert og distribuert av og i den boreale skogen, og klimaendringer vil modifisere mange av disse viktige funksjonene. Skogen er også viktig som hekkeplass for mange trekkfugler og er leveområde for pelsdyr som jerv, ulv og gaupe og også for større dyr som elg og caribou, som alle viktige komponenter i den lokale økonomien i nord.

Mange følger av klimaendringene er allerede synlige i de boreale skogene: redusert veksthastighet for noen trearter i enkelte områder; økt veksthastighet i andre områder; større hyppighet av skogbranner og insektangrep og en rekke konsekvenser av tinende permafrost, blant annet utvikling av nye våtmarker og sammenbrudd av grunnen med påfølgende tap av trær.

Utfordringer for skogspredning

Ferske studier fra Sibir har vist at det utvilsomt vokste trær overalt i det russiske Arktis, helt opp til den nordligste kysten, i den varme perioden for 8000-9000 år siden, dvs. noen tusen år etter slutten av siste istid. Rester av frosne trær på disse stedene gir et klart bevis på at et varmere arktisk klima gjorde det mulig for trær å vokse mye lenger mot nord enn tilfellet er i dag. Mens dette og annet bevismateriale tilsier at vegetasjonssoner kommer til å forflytte seg nordover i det lange løp, utvikler en slik prosess seg sjelden på en enkel og likefrem måte. Ulike forhold, som for eksempel brann og oversvømmelse, kan enten sette fart i eller hindre skogspredningen en periode. I tillegg skaper menneskelig virksomhet et press som kan hindre spredning av trær til nye områder. I noen deler av Russland trekker for eksempel tregrensen seg sørover på grunn av industriforurensning.



Denne figuren illustrerer den beregnede forflytning av vegetasjonssonene i Arktis oppover i høyden og nordover etter hvert som resultat av fremtidig oppvarming. Legg merke til høydeforskjellen for vegetasjonsgrenser på sørvendte og nordvendte skråninger. Høydesonene og breddegradssonene er analoge, men ikke identiske.

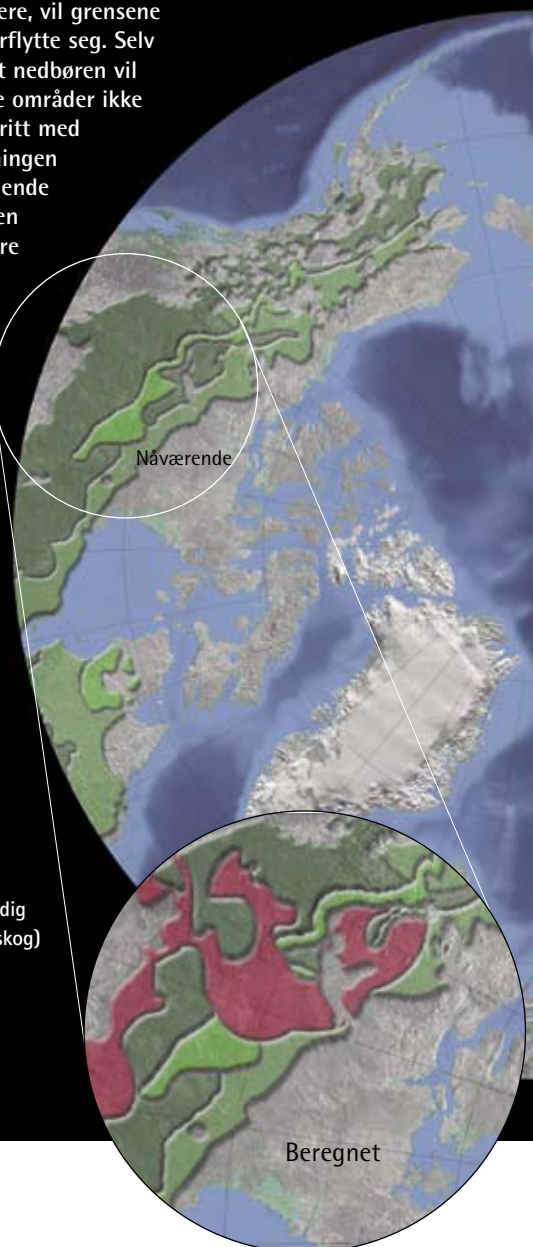
Selv om det generelt sett forventes at skogen skal spre seg til tundraområdene, vil enkelte av dagens trekledde områder ikke være trekledde i fremtiden. Grunnen til dette er først og fremst uttørring. Nye områder vil sannsynligvis få et klima som er egnet for trevekst, men dette garanterer ikke at det faktisk kommer til å vokse trær der da det er en rekke utfordringer som må overkommes før trær kan spre seg inn i nye områder. For det første vil det sannsynligvis bli en tidsforsinkelse siden enkelte av de forutsetninger som må til for at trær skal kunne vokse, som for eksempel passende jordsmonn, ikke er til stede og vil trenge tid på å utvikles. I tillegg er den tørre tundraen ikke en spesielt egnet overflate for frøspiring eller planteetablering. Noen typer forstyrrelser, som flom i elveslettene, kommer sannsynligvis til å gjøre det enklere for trær å etablere seg i noen områder. På den andre siden vil man i det vestlige Sibir for eksempel, se at mange trær vil bli stående i vann og at tregrensen derfor vil trekke seg sørover som følge av et våtere klima.

Ulike forhold, som for eksempel brann og oversvømmelse, kan enten sette fart i eller hindre skogsprekningen en periode. I tillegg skaper menneskelig virksomhet et press som kan hindre spredning av trær til nye områder.

Nordamerikansk skogutbredelse og en forventet spredning av aspeskog etter hvert som klimaet blir varmere

Når klimaet blir varmere, vil grensene for ulike skogtyper forflytte seg. Selv om det er forventet at nedbøren vil øke, vil dette i enkelte områder ikke være nok til å holde tritt med den økende fordampningen som ledsager den stigende lufttemperaturen. Noen områder vil derfor være for tørre til å kunne opprettholde en lukket boreal skog og det forventes å bli erstattet med et mer åpent landskap med aspe-trær. Disse områdene er vist i rødt på dette kartet som er basert på et modellscenario med en dobbelt så høy karbondioksidkonsentrasjon som den pre-industrielle perioden. Dette er noe som kan være faktum allerede ved midten av dette århundret.

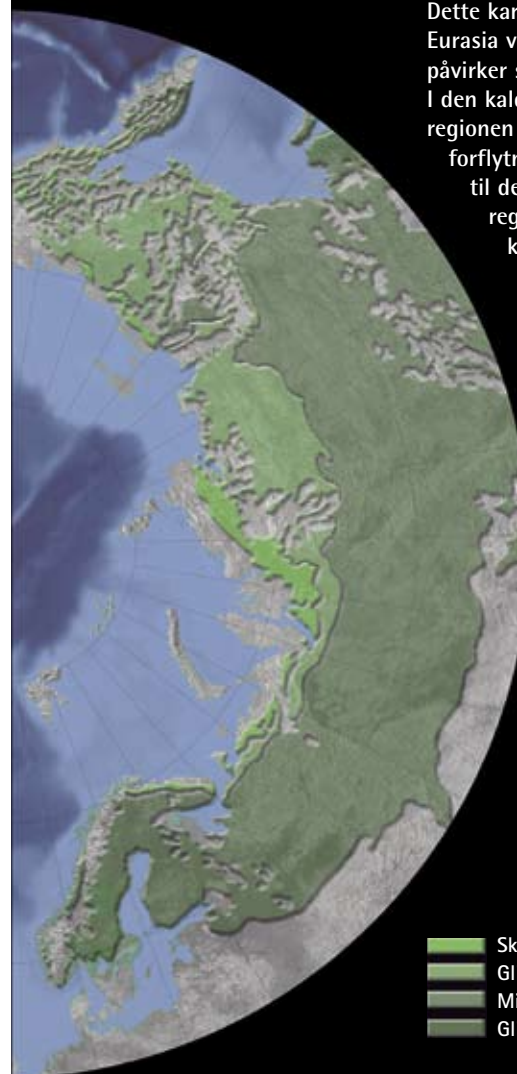
- Potensiell fremtidig aspeskog (åpen skog)
- Skog – tundra
- Lavskog
- Lukket skog



Eurasiatisk skogutbredelse

Dette kartet over skogtyper i Eurasia viser hvordan klimaet påvirker skogdistribusjonen. I den kalde nordlige delen av regionen vil det bli en sørlig forflytning av skogen i forhold til den vestlige delen av regionen. Etter hvert som klimaet blir varmere vil noen områder hvor det i dag er lite vegetasjon bli mer tildekket av vegetasjon, noe som vil medføre både positive og negative konsekvenser for regionen og for verden.

- Skog – tundra
- Glissen nordlig taiga
- Midtre og sørlig taiga
- Glissen skog og eng





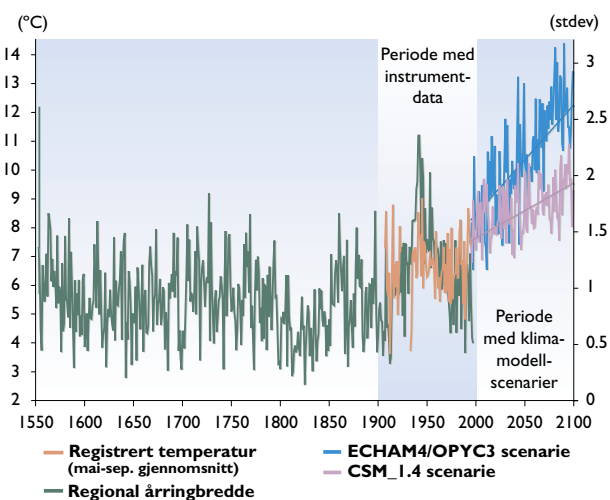
Det hender at økosystemer viser ubetydelige endringer inntil miljøendringene blir av en slik karakter at de krysser kritiske terskler som de er spesielt følsomme for.

De sibirske skogenes respons på klimaendringer

Et skogstudie som er gjennomført i Sibir fra den sørlige enden av den sentralasiatiske steppe (gressland) til tregrensen i nord avslører noen av måtene klimaet kontrollerer veksten av dominerende treslag på. I dette tilfellet dreier det seg om vanlig furu og sibirsk lerce. I den sørlige delen av dette området er tørke den viktigste veksthemmende faktor, og kalde og våte vekstsesonger fører til mest vekst. Lenger nord, i den sørlige og midtre delen av den boreale skogen, er varmt midtsommervær med på å begrense veksten mens en forlenget vekstsesong i forkant og etterkant fører til økt vekst. I den nordlige delen av den boreale skogen og ved den nordlige tregrensen er varmt midtsommervær den viktigste vekstfremmende faktoren.

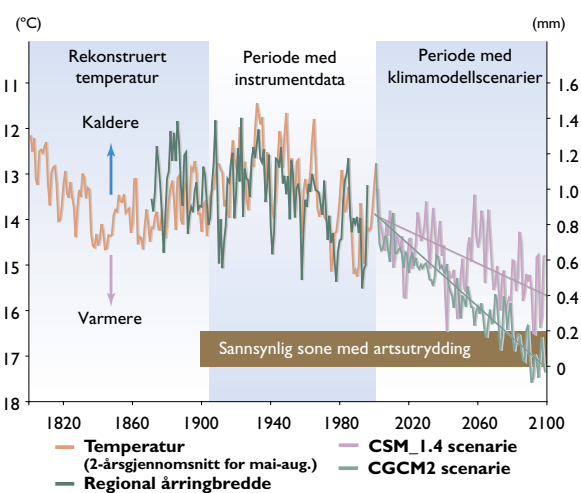
Klimaendringer kan føre til to ulike typer reaksjoner i den boreale skogen. Dersom de begrensende miljøfaktorene forblir de samme som de har vært i nær fortid, kan en enkel og lineær endring forventes, der en skogtype blir erstattet av dens sørlige nabo. Men det hender at økosystemer viser ubetydelige endringer inntil miljøendringene blir av en slik karakter at de krysser kritiske terskler som de er spesielt følsomme for. I dette tilfellet skaper klimaendringer nye typer økosystemer som ikke eksisterer i dagens landskap. Rekonstruksjon av tidligere økosystemer slik de har eksistert i tidligere perioder med klimaendringer, som siste istid, viser slike ikke-lineære endringsmønstre. Potensielle ikke-lineære endringer kan for eksempel medføre at tregrensen trekker seg sørover i enkelte områder. I andre områder kan enkelte treslag forsvinne eller vokse så spredt at tundraen vil komme til å grense direkte mot gressmarker eller savanne og ikke mot den boreale skogen slik tilfellet er i dag.

Sibirsk lerce og høye temperaturer i vekstsesongen



Dette diagrammet viser det historiske forholdet mellom vekst av sibirsk lerce og høy temperatur i vekstsesongen samt to fremtidige oppvarmingsscenarier for Tajmyr-halvøya i Russland. Disse trærne reagerer positivt på temperaturøkninger. Det varmeste av de to scenariene (ECHAM/OPYC3) vil føre til en fordobling av vekstraten og gjøre dette marginale området til produktiv skog. (Dette «området» er i realiteten et gjennomsnitt av fire klimastasjoner på Tajmyr-halvøya.) CSM_1.4.-scenariet vil føre til bortfall av perioder der veksten hemmes betydelig av temperatur.

Hvitgranens respons på oppvarming



Denne grafen viser det historiske og beregnede forholdet mellom veksten av hvitgran og sommertemperaturen i det sentrale Alaska. En kritisk temperaturterskel ble krysset i 1950. Etter dette begynte veksten å bli mindre. Fremskrivningen i den canadiske klimamodellen (CGCM2) viser at denne arten sannsynligvis kommer til å forsvinne fra regionen i den senere delen av dette århundret.

Temperaturterskel for hvitgran

Hvitgran er det mest utbredte boreale nåletreet (eviggrønne konglebærere) og det mest sårbare tømmerlaget i de nordamerikanske boreale skogene. Den utgjør også størstedelen av den saktevoksende skogen ved grensen til tundraen. I de tørre områdene sentralt i Alaska og i det vestlige Canada begrenser høye sommertemperaturer veksthastigheten for hvitgranen på grunn av tørke. I motsetning til dette fører høyere sommertemperatur til økt vekst for hvitgranen i de fuktige kystsonene og i de lavere fjellregionene. I et studie gjennomført ved tregrensen i fjellområdene Alaska Range og Brookes Range ble 1500 hvitgran i både tørre og fuktige områder undersøkt, og det ble funnet at 42 % av trærne vokste mindre ved høyere sommertemperatur (negative respondenter) mens 38 % vokste mer (positive respondenter).

Det viktigste resultatet av dette studiet var funnet av en spesifikk temperaturterskel hvor de negative respondentenes vekst gikk betydelig ned ved overskridelse. Når julitemperaturen ved en målestasjon i nærheten overskred 16 °C, avtok veksten i de negative respondentene direkte proporsjonalt til oppvarmingen. Før 1950 var det svært sjelden at julitemperaturen var høyere enn dette, og den negative responsen var derfor svak. Men etter 1950 har det vært mange varme julimåneder og den negative responsen har vært svært sterk. Dersom det observerte mønsteret fortsetter inn i fremtiden, vil en økning i julitemperaturen på 4 °C resultere i nullvekst og føre til at disse trærne forsvinner ved tregrensen. (De positive respondentenes positive respons til oppvarming har blitt svekket i de fleste tregrenseområdene i Arktis i den siste delen av det 20. århundre, skjønt i Alaska har veksten økt med oppvarmingen.)

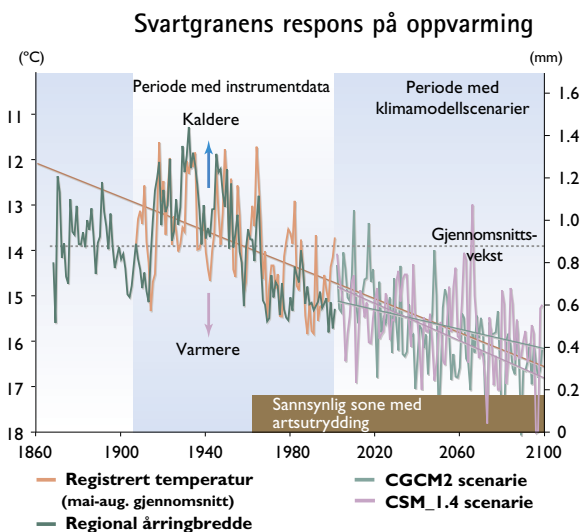
Spesifikke temperaturterskler utløser også kongleproduksjon hos hvitgran, noe som er tidsregulert slik at utslipp av store mengder frø bare skjer når forholdene er optimale for etablering, som regel etter skogbranner. Klimaendringer har endret tidspunktet, både for skogbrann og kongleproduksjon, slik at disse prosessene ikke lenger er nært knyttet sammen. Dette kan føre til redusert reproduksjonseffektivitet for hvitgran.

Svartgran, temperaturøkninger og permafrosttining

Svartgran er det dominerende treslaget i ca. 55 % av den boreale skogen i Alaska. Det er en nøkkelart fordi dens høye absorpsjon av solenergi fører til økt oppvarming og fordi den som en lettantennelig art bidrar til å spre skogbranner. Samtidig som svartgranen sannsynligvis er et av de treslagene som vil komme til å spre seg ut over tundraen som et resultat av klimaendringer, står arten like fullt overfor en rekke utfordringer for å overleve på de stedene den dominerer i dag. På tørre områder dominert av permafrost i det indre av Alaska reduseres svartgranens veksthastighet med økende sommertemperatur. Det ikke sannsynlig at arten vil overleve i disse områdene ved temperaturer på den øvre delen av skalaen for forventet temperaturøkning i dette århundret på grunn av de tørre forholdene som da vil dominere. Andre steder i Alaska blir svartgranen negativt påvirket av høye temperaturer tidlig på våren fordi fotosyntesen (og behovet for vann) begynner mens bakken fremdeles er frossen, noe som fører til skade ved at nålene tørker inn. Selv i de områdene med permafrost der oppvarming historisk sett har ført til økt vekst for svartgranen, er trærne i faresonen fordi tining kan føre til at grunnen under dem kollapser.



Den kritiske terskelen på 16 °C blir nå ofte overskredet, noe som fører til en sterk reduksjon i hvitgranbestanden. Dersom det observerte mønsteret fortsetter inn i fremtiden, vil en økning i julitemperaturen på 4° C resultere i nullvekst og føre til at disse trærne forsvinner ved tregrensen.



Denne grafen viser forholdet mellom sommertemperaturen i Fairbanks, Alaska og den relative svartgranveksten, i et historisk perspektiv og for to fremtidige oppvarmingsscenarier. Gjennomsnittlig sommertemperatur er en utmerket parameter for å kunne si noe om fremtidig svartgranvekst, hvor varme år fører til sterkt redusert vekst. Beregnet temperatur i begge scenariene vil ikke gjøre det mulig for denne arten å overleve innen 2100.



Granbarkbille

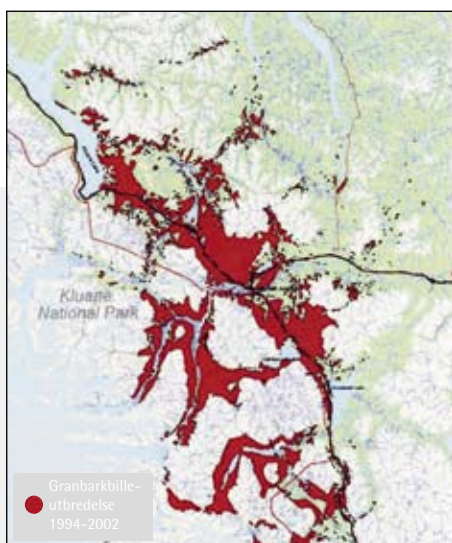
Insektangrep

Økt oppvarming vil ganske sikkert lede til økt skogskade som en følge av insektangrep. Økte problemer med granbarkbiller og viklerarten *Choristoneura fumiferana* (spruce budworm) i det arktiske Nord-Amerika er to viktige eksempler. Store områder med skogskader gir nye muligheter for introduksjon av fremmede arter.

Granbarkbiller

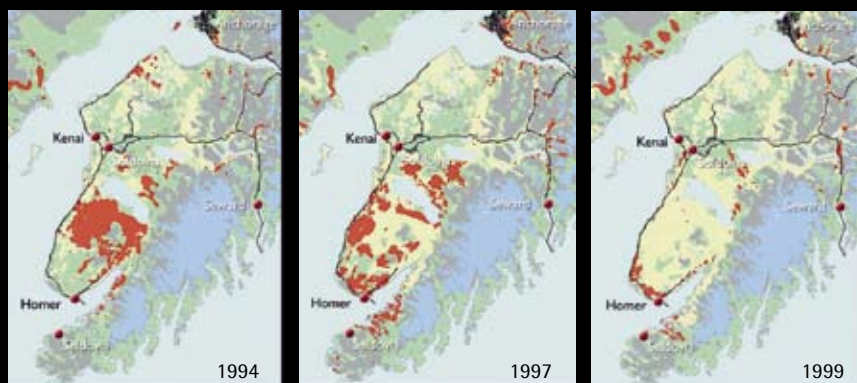
Forholdet mellom granbarkbiller og klimaet omfatter tre faktorer; to direkte kontroller av insekspopulasjonen og én indirekte kontroll gjennom trærnes forsvarsmekanisme. For det første: to kalde vintre etter hverandre holder barkbillens overlevelsesrate nede slik at potensialet for et utbrudd sommeren etter er lavt. Men vintrene har nå vært unormalt varme over flere tiår i de arktiske områdene av Nord-Amerika, så betingelsene for denne kontrollmekanismen har ikke vært til stede på en stund. For det andre: barkbillene krever normalt sett to år på å fullføre sin livssyklus, men i unormalt varme somrer kan den klare det på ett år. Dette fører til at bestanden øker dramatisk, og de relaterte skadene med den. Dette har skjedd den siste tiden i Alaska og Canada.

Granbarkbilleangrep i Yukon 1994-2002



Granbarkbiller har drept trær over et ca. 300 000 hektar stort område langs Alsek-elvas løp i Kluane National Park og i Shakwak Valley nord for Haines Junction siden et utbrudd ble identifisert for første gang i 1994. Dette er det største og mest intense utbruddet av granbarkbiller i Canada noensinne. Det er også det nordligste utbruddet i Canada. År 2002 var spesielt intenst da kartlegging fra luften stadfestet at omfanget på angrepet område hadde økt med 300 % og at det var et mer voldsomt angrep.

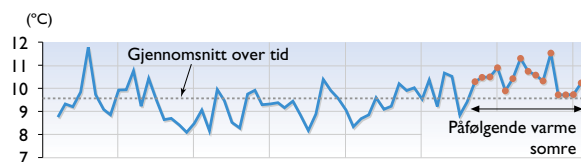
Granbarkbilleaktivitet på Kenai-halvøya 1994-1999



I løpet av 1990-årene opplevde Kenai-halvøya i Alaska verdens største granbarkbilleangrep. Siden 1989 er mer enn 1,6 millioner hektar gammel hvitgran- og sitka-/lutzgranskog i det sørlige og sentrale Alaska blitt angrepet. Det har gitt en tredødelighet på mellom 10 og 20 %, terskelnivået for å kunne oppdage slike angrep gjennom kartlegging fra luften.

- Tredødelighet som følge av granbarkbilleangrep
- Tidligere tredødelighet som følge av granbarkbilleangrep
- Skog
- Ikke-skog
- Isbreer

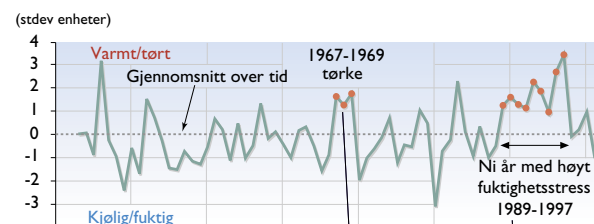
Granbarkbilleangrep Den sørlige delen av Kenai-halvøya Temperaturer mai-august



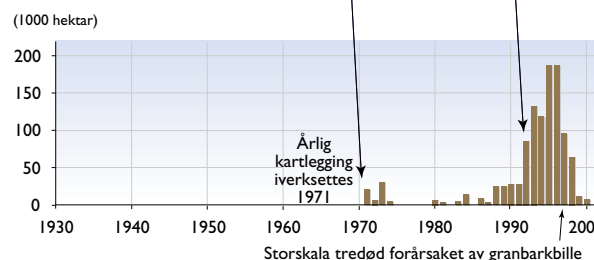
Gjennomsnittlig årstemperatur



Tørkeindeks



Tredødelighet



I tillegg kan friske grantrær lett motstå et moderat barkbilleangrep ved å bruke kvaer (under høyt trykk) til å presse tilbake de hunnbillene som forsøker å bore seg inn i treet for å legge egg. Billene klarer vanligvis ikke å forsvare seg mot kvaestrømmen. Men trær som er under stress pga. varme og tørke har reduserte vekstreserver, noe som medfører at kvaen forekommer i reduserte mengder og under redusert trykk. Det betyr at de ikke er like godt rustet til å motstå et barkbilleangrep. Når hele bestander av trær er under stress på grunn av regionale klimaforhold, slik som har forekommet i Alaska og deler av Canada den siste tiden, har barkbiller lettere for å lykkes, og dette fører til skader på og tap av trær i stor skala.

Vikler på gran

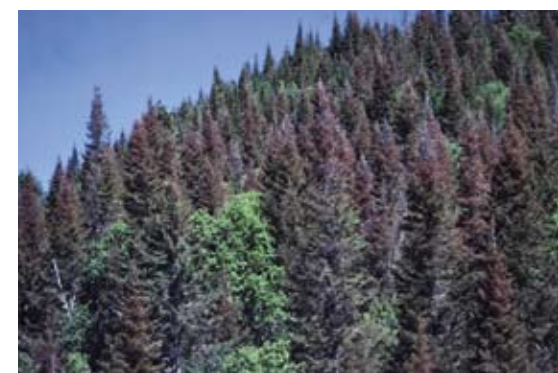
Været er en kritisk faktor for viklerutbredelse. Plutselige oppsving i viklerbestanden følger gjerne tørkeperioder, og effektene av disse angrepene kommer gjerne til syne etter tørre, varme somrer. Tørken stresser trærne og reduserer deres motstandskraft, og høye sommertemperaturer øker viklerens reproduksjon. For eksempel legger hunnormer 50 % flere egg ved 25 °C enn ved 15 °C. Høyere temperatur og tørke kan endre tidspunktet for viklerens reproduksjon slik at deres naturlige fiender ikke lenger effektivt klarer å begrense viklerbestanden. På den annen side kan kaldt vær stanse et viklerutbrudd. Vikleren sulter dersom sen frost om våren dreper de nye skuddene på de trærne som larvene lever av.

Det er derfor forventet at et varmere klima vil føre til at vikleren *Choristoneura fumiferana* trekker lenger mot nord. Dette er noe som allerede observeres. Før 1990 syntes det ikke som vikleren var i stand til å reproducere i de boreale skogene i det sentrale Alaska. I 1990, etter en rekke varme somrer, kom det ett plutselig og stort oppsving i viklerbestanden og skade på trekronene ble synlig over flere titusen hektar med hvitgranskog. Vikleren har siden den gang vært å finne i dette området nær polarsirkelen. Hele hvitgranskogen i Nord-Amerika er ansett som sårbar overfor viklerangrep under de forventede klimaendringene. I Northwest Territories i Canada, for eksempel, ligger den nordlige grensen for området som i dag opplever viklerangrep ca. 400 km sør for den nordlige tregrensen for vertstreet hvitgranen. Derfor er det mulig at vikleren kan spre seg videre nordover slik at den også overtar det siste 400 km brede området med ikke-angrepet skog.



Vikler (*Choristoneura fumiferana*)

Hele hvitgranskogen i Nord-Amerika er ansett som sårbar overfor viklerangrep under de forventede klimaendringene.



Angrep av viklerarten *Choristoneura fumiferana* (spruce budworm) i Canada



Skogbranner

Brann er en annen viktig forstyrrelse i de boreale skogene og de har en altgjennomtrengende økologisk effekt. Arealet av områder som har brent i det vestlige Nord-Amerika har blitt dobbelt så stort i løpet av de siste 30 årene. Det ser forventet at dette kan øke med 80 % til i løpet av de neste 100 årene dersom de beregnede klimaendringene finner sted. Skogbrannmodeller for deler av Sibir tilsier at en økning i sommertemperaturen fra 9,8 °C til 15,3 °C vil fordoble antallet år med alvorlige branner, øke det årlige brannutsatte arealet med nesten 150 % og redusere den gjennomsnittlige mengden stående skog med 10 %.

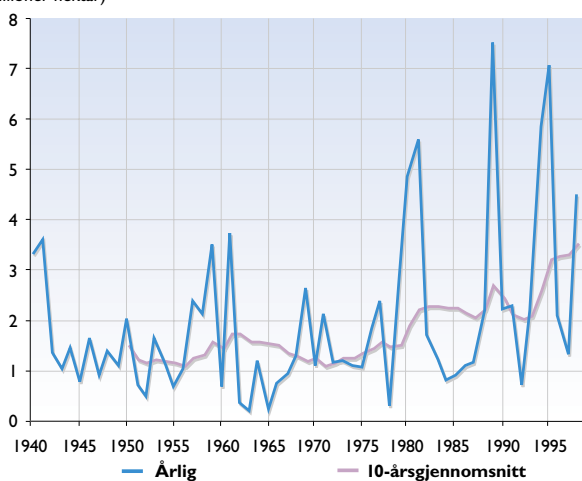
Branner i de eurasiske skoger

Arealet av boreal skog som har brent hvert år i Russland har vært gjennomsnittlig 4 millioner hektar over de tre siste tiårene, og ble fordoblet i 1990-årene. Etter hvert som klimaet fortsetter å bli varmere, vil skogbrannsesongen starte tidligere og slutte senere. Den forventede klimaendringen vil også føre til at mere areal utsettes for den type vær som forårsaker ekstrem brannfare. Under slike forhold vil spredning av branner i de eurasiske boreale skoger øke kraftig dersom antent. Det forventes økt brannhyppighet og -intensitet i alle økosystemer, også i sump- og myrskog og torvmyrer som inneholder store mengder karbonbasert skogsmateriale som mose, trevirke og blader. Det er beregnet at ca. 1 million tonn av slikt materiale vil brenne hvert år, noe som vil øke karbonutslippene til atmosfæren. Enkelte scenarier tilsier imidlertid at det kan bli flere branner i enkelte områder og færre i andre. Dette vil kunne påvirke enkelte områder sterkt, men vil kun føre til en liten endring i det totale antallet skogbranner.

Arealet av boreal skog som har brent hvert år i Russland har vært gjennomsnittlig 4 millioner hektar over de tre siste tiårene, og ble fordoblet i 1990-årene.

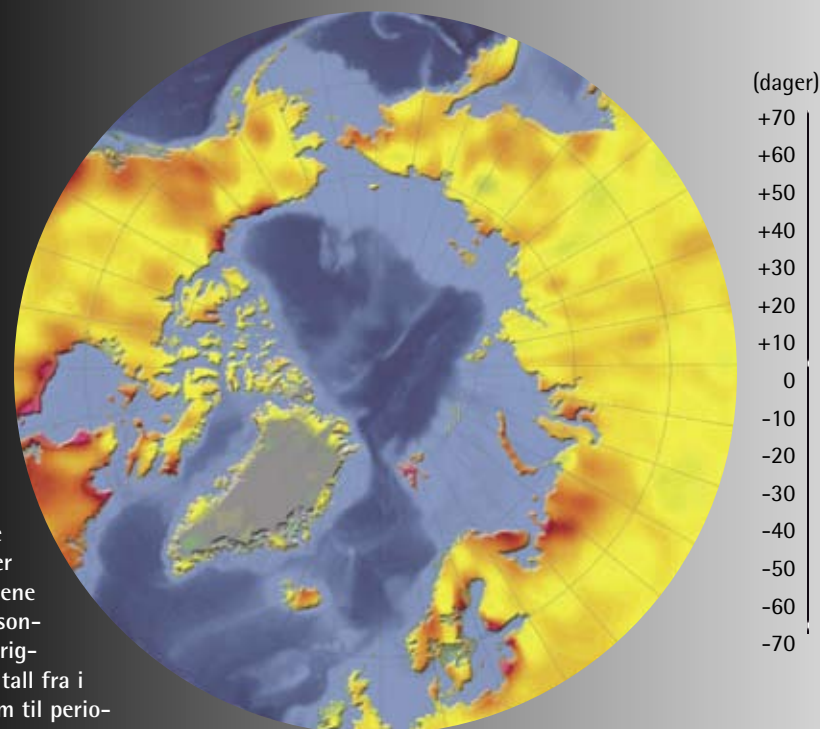
Boreal skog i Nord-Amerika påvirket av skogbrann

(millioner hektar)



Grafen viser areal av nordamerikansk boreal skog som brenner hvert år i millioner hektar. Det gjennomsnittlige arealet er mer enn fordoblet siden 1970, noe som er sammenfallende med klimaoppvarming i regionen.

Beregnete endringer i vekstsesongens lengde innen perioden 2070-2090 Minimumstemperatur over 0 °C



Fargene indikerer endringene vekstsesongens varighet i antall fra i dag frem til perioden 2070-2090 under Hadley3-klimascenariet. Et gjennomsnitt av resultatene fra tre klimamodeller gir en forlengelse av vekstsesongen på 20-30 dager nord for 60° N. Vekstsesongen er definert som antall dager i strekk med minimumstemperatur over 0 °C.

Mulighetene for å drive jordbruk vil sannsynligvis bli større

Arktis landbruk er relativt begrenset i global målestokk, men enkelte nasjoner, som Island, produserer mer enn nok kjøtt og melkeprodukter til eget forbruk. Landbruket i nord består mest av kuldetolerante fôrvekster og grønnsaker, noe korn, kyr, sauer, geiter, griser og høns samt reingjeting. Selv om klimaet begrenser muligheten for jordbruk i Arktis, spesielt i de kaldeste områdene, begrenses det også av andre forhold som for eksempel mangel på infrastruktur, lavt folketall, lang vei til markedene og spørsmål eienomsrett til jorda. De klimatiske begrensningene inkluderer kort vekstsesong (vekstene får ikke tid nok til å bli modne eller til å gi store nok avkastninger), mangel på varmeenergi (dagene er ikke varme nok i vekstsesongen), lange kalde vintre som begrenser overlevelsesmuligheten til mange av de flerårige vekstene samt vannstress i enkelte områder.

Klimaendringer forventes å øke potensialet for kommersielt landbruk nordover gjennom dette århundret. Noen av de vekstene som i dag bare kan dyrkes i den varmere delen av de boreale skogene vil kunne dyrkes så langt nord som ved polarsirkelen. Det gjennomsnittlige årlige avlingspotensialet kommer sannsynligvis til å øke etter hvert som klimaet blir mer egnet for flere avlingssorter og sannsynligheten for at lave temperaturer skal begrense veksten reduseres, men i varmere områder kan økt varme i vekstsesongen gi noe mindre avlinger ettersom høyere temperaturer øker utviklingshastigheten og dermed reduserer tiden tilgjengelig for opptak av tørrstoff. Lengre og varmere vekstsesong forventes å øke antall potensielle innhøstinger og derigjennom den årlige avkastningen fra flerårige fôrvekster.

Uvisshet med hensyn til utvikling av vinterforholdene gjør at det er vanskelig å forutsi noe om overlevelsesmulighetene for avlingene. Varmere vintre kan faktisk føre til redusert overlevelse for noen av de flerårige artene dersom mildværsperioder etterfulgt av kaldt vær blir vanligere om vinteren. Dette vil spesielt gjelde i områder hvor det er lite snø. Men en lengre vekstsesong, spesielt om høsten, burde resultere i en nordlig ekspansjon områder som egner seg for dyrking av vekster som alfalfa og bygg.

I løpet av det neste århundret vil sannsynligvis vannmangelen øke i det meste av den boreale regionen ettersom det er usannsynlig at nedbørsøkningen i den varme årstiden klarer å holde tritt med fordampingen som følger temperaturøkningen. Dersom irrigasjon ikke blir benyttet, vil vannstress sannsynligvis påvirke avlingenes størrelse negativt og vannbegrensninger vil sannsynligvis få større betydning enn temperaturbegrensninger for mye av det som dyrkes i regionen. Områder der det er usannsynlig at det blir vannmangel inkluderer deler av det østlige Canada, det vestlige Skandinavia, Island og Færøyene, alle områder med relativt maritime klima.

Insektangrep, sykdom og ugress vil sannsynligvis øke i hele Arktis når klimaet blir varmere selv om det i de fleste tilfellene er usannsynlig at disse problemene kommer til å utligne den potensielle avkastningsøkningen eller mulighetene for dyrking av nye vekster. Imidlertid kan alvorlige utbrudd få slik effekt. Studier viser at klimaendringer i Finland vil kunne føre til mange flere tilfeller av potetorråte, i så stort omfang at det kan redusere landets samlede potetavling betydelig.

Mangel på infrastruktur, lavt folketall (begrensede lokale markeder) og lang avstand til store markeder vil sannsynligvis fortsette å være de viktigste begrensende faktorene for utviklingen av landbruket i Arktis i dette århundret.



Klimaendringer forventes å øke potensialet for kommersielt landbruk nordover gjennom dette århundret.

Nøkkelfunn # 3



4 Dyrearters mangfold og utbredelse vil endres.



Det er usannsynlig at isbjørnen kommer til å overleve som art dersom sommerisen stort sett forsvinner.



Arktis er hjem for mange dyrearter som blir beundret rundtom i hele verden på grunn av deres styrke, skjønnhet og evne til å overleve i et barskt nordlig klima. Dyr som caribou/reinsdyr, isbjørn og mange fiske- og selarter er også en viktig del av økonomien, kostholdet og kulturen til befolkningen i Arktis. Klimaendringer vil påvirke artene i Arktis på måter som vil få konsekvenser for forvaltningen så vel som for dem som høster av disse ressursene både til lands og til havs.

I det marine miljøet

Mer enn halvparten av Arktis består av hav. Mange av livsformene i Arktis er avhengige av havets produktivitet i et havområde som er svært klimaavhengig. Klimavariasjoner har stor betydning for marine dyr. For eksempel hadde det klimarelaterte sammenbruddet av loddebestanden i Barentshavet i 1987 en totalt ødeleggende effekt på bestanden av sjøfugl som hekker i området. I de årene som det har vært lite eller ingen is ved utløpet av St. Lawrence-elva i Canada (1967, 1981, 2000, 2001, 2002) har nesten ingen selunger overlevd, mens det er flere hundretusen selunger her andre år.

Isbjørn

Isbjørnen er avhengig av havisen hvor den jakter på sel som lever i isen og bruker iskorridorer for å bevege seg fra ett område til et annet. Drektige hunner bygger sine hi i områder med dype snølag på havisen eller på land. Når hunnene kommer ut av hiet med ungene om våren har de ikke spist på fem til sju måneder. Suksess i selfangsten er dermed avgjørende for familiens mulighet til å overleve. Endringer i isutbredelse og – stabilitet er derfor kritisk viktig, og de observerte og beregnede endringene i havisen vil svært sannsynlig ha betydelige ugunstige konsekvenser for isbjørbestanden.

De tidligste virkningene av oppvarmingen kan forventes ved den sørlige grensen for isbjørnenes utbredelse, som i James Bay og Hudson Bay i Canada, og slike virkninger har allerede blitt registrert over de siste årene. Kondisjonen til voksne isbjørner i Hudson Bay har blitt dårligere over de siste 20 årene, og antallet levendefødte og andelen førsteårsunger i bestanden har vært i tilbakegang. Både isbjørnens gjennomsnittsvekt og antallet unger gikk ned med 15 % i dette området i perioden fra 1981 til 1998. Det at havisen legger seg senere om høsten og smelter tidligere om våren betyr at hunnene må faste en lengre periode og at reproduksjonssuksessen er svært avhengig av fettlagerene deres. Hunner som med dårlig kondisjon får færre og mindre unger som ikke har den samme muligheten til å overleve. Klimaendringer er også noe som vil kunne medføre direkte død for isbjørnene. Økt nedbør om våren fører allerede til at noen av hiene faller sammen og at hunnene og ungene dermed dør. Tidligere isgang om våren kan føre til at tradisjonelle hi plasser blir skilt fra områdene der føden befinner seg, og ungene er ikke i stand til å svømme langt fra hiene til områdene der de finner maten.

Det er usannsynlig at isbjørnen kommer til å overleve som art dersom sommerisen stort sett forsvinner slik enkelte klimamodeller har beregnet vil skje innen utløpet av dette århundret. Den eneste muligheten isbjørnene har, er å tilpasse seg et landbasert sommerliv, men konkurranse, mulighet for kryssing med brun- og grizzlybjørn og økt kontakt med mennesker ville utgjøre ytterligere trusler mot deres overlevelse som art. Tapet av isbjørn vil sannsynligvis få store og raske konsekvenser for de økosystemene de tilhører i dag.

Is-avhengige selarter

Is-avhengige selarter som ringsel, harlekinsel og storkobbe, er spesielt sårbare overfor de observerte og beregnede reduksjonene i havisen i Arktis fordi de føder og nærer ungene sine på isen og bruker isen som hvilested. De henter også mat nær iskanten og under isen. Ringsel er den arten som sannsynligvis vil påvirkes mest fordi alle aspekter ved dens liv er knyttet til isen. De trenger et tilstrekkelig snødekke til å kunne bygge kastehuler, og havisen må være stabil om våren for at de skal kunne ale opp ungene. En tidligere isgang kan resultere i at mødre og unger blir skilt fra hverandre for tidlig, noe som igjen gir høyere dødlighet hos nyfødte.

Det er usannsynlig at ringselen i mangel på sommeris vil kunne tilpasse seg et liv på land. Det er svært sjelden, eller aldri, at den går på land. Det ville være en dramatisk endring i artens oppførsel dersom den skulle begynne å dra seg opp på land for å hvile. Faren for at de nyfødte ungene vil drept av rovdyr vil bli betydelig høyere dersom de skulle bli født på land. Largasel, som utelukkende føder sine unger ved iskanten i Beringhavet om våren og grønlandsselen som lever på havisen året rundt er andre isavhengige selarter som sannsynligvis vil bli påvirket negativt av en havisreduksjon. Ulikt disse isavhengige artene finnes det andre arter, som for eksempel steinkobbe og gråsel (havert), som er mer tempererte arter med så brede nisjer at de kan komme til å ekspandere inn i ett Arktis fattigere på havis.

Sjøfugl

Noen sjøfugler, som for eksempel ismåke og alkekonge, kommer svært sannsynlig til å påvirkes negativt av en havisreduksjon og de påfølgende endringene i systemene de lever i. Ismåken er tett knyttet til havisen mesteparten av livet. Den bygger reir og legger egg på klipper som beskytter mot rovdyr og flyr så til den nærliggende havisen for å fiske gjennom hull i den eller for å plukke avfall og rester oppå isen. Når havisen trekker seg lenger og lenger unna passende hekkeplasser på kysten vil dette svært sannsynligvis få store konsekvenser. Det er allerede observert en stor nedgang i ismåkebestanden, inkludert en estimert bestandsnedgang på 90 % i Canada i løpet av de siste 20 årene.

Hvalrossen og iskanten

Iskanten er et svært produktivt område, og det er svært følsomt overfor klimaendringer. De mest produktive områdene ligger ved kysten over kontinentalsokkelen. Når havisen trekker seg lenger vekk fra kystlinjen, vil det marine systemet miste noen av sine mest produktive områder. For hvalross er iskanten i mange områder det ideelle sted for hvile og for å skaffe føde fordi den henter mat, for eksempel skjell og andre skalldyr, fra sjøbunnen på kontinentalsokkelen. Når iskanten trekker seg vekk fra sokkelen og ut på dypere områder vil det ikke bli skjell tilgjengelig i nærheten. Hvalrossen forflytter seg vanligvis også over lange distanser på flytende isflak, noe som muliggjør matsanking over et stort område.



Nøkkelfunn # 4



4 Dyrearters mangfold og utbredelse vil endres.



Isalgeprøver hentes opp av dykkere ved Cape Evans. Undersiden av havisen er farget brun av algene. Saltvannskanaler som dannes når isen smelter former istapper som henger ned i vannsøylen. Disse istappene blir sterkt kolonisert av isalger.

Isalger og den tilknyttede næringskjeden

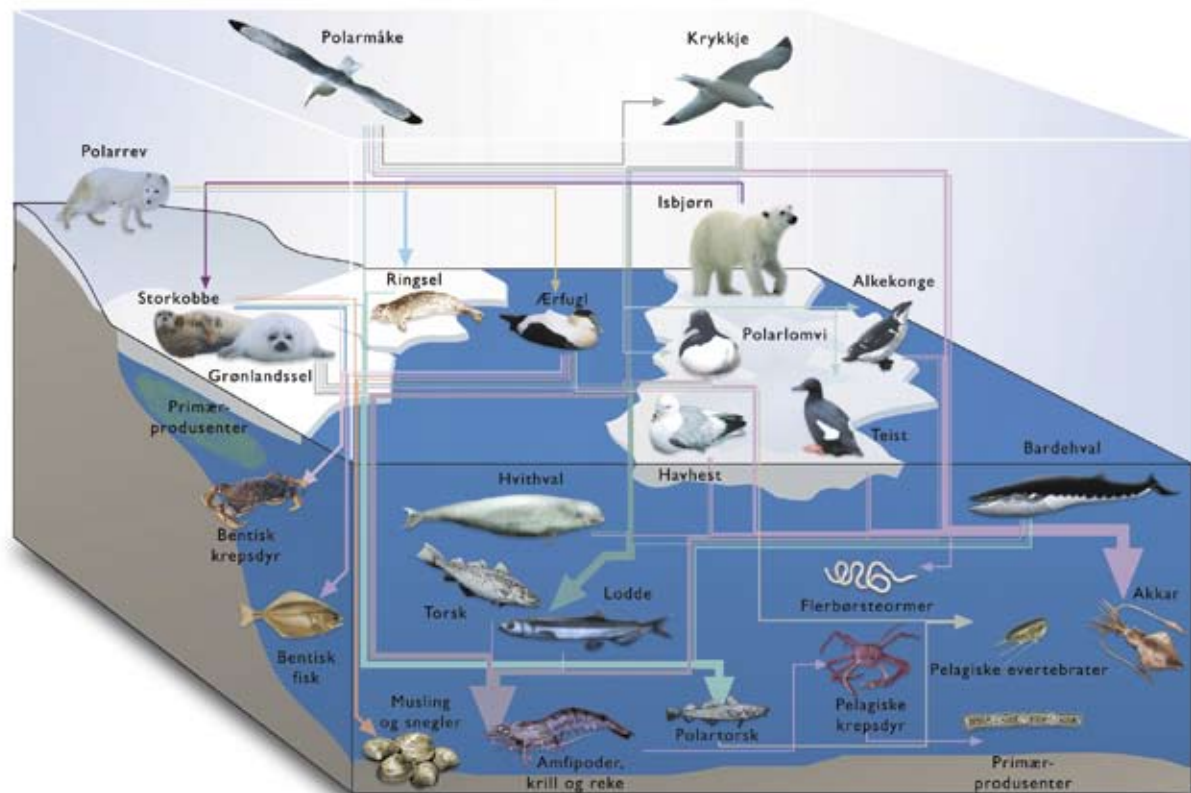
Den store nedgangen i flerårig is i de arktiske havområdene kommer sannsynligvis til å få en svært negativ effekt på mikroskopiske livsformer forbundet med isen ettersom de vil komme til å mangle et vedvarende leveområde. Forskning i Beauforthavet har vist at isalgene på bunnen av den marine næringskjeden allerede kan ha blitt sterkt påvirket av oppvarmingen de siste tiårene. Forskningsresultatene indikerer at de fleste av de større marine algene på dette stedet døde ut i perioden fra 1970-årene til slutten av 1990-årene. Deres plass ble overtatt av mindre produktive alger som vanligvis forbindes med ferskvann. Forskerne sier at dette sannsynligvis har å gjøre med det faktum at smeltingen har skapt et 30 m tykt lag av ganske ferskt vann under det som er igjen av isen, en tredjedels dypere enn det var for 20 år siden. Beringhavet og Hudson Bay er blant de områdene som kommer til å bli mest påvirket av slike endringer, dvs. områder i det sørlige Arktis der isen allerede forsvinner tidligere om våren og legger seg senere om høsten. Etter hvert som Arktis fortsetter å bli varmere vil havisen smelte hurtigere over kontinentalsokkelen om våren og trekke seg ut mot dyphavet i det sentrale Arktis.

Andre klimarelaterte trusler mot marine arter

Klimaendringer utsetter arktiske marine pattedyr og enkelte sjøfugler for risiko utover tap av leve- og matsankingsområder. Dette omfatter økt fare for sykdom som følge av et varmere klima, økt forurensning etter hvert som mer nedbør fører mer forurensning nordover med elvene og luften, økt konkurranse etter hvert som tempererte arter sprer seg nordover og konsekvenser av økt menneskelig virksomhet i de tidligere utilgjengelige, islagte områdene.

Forskning i Beauforthavet har vist at isalgene på bunnen av den marine næringskjeden allerede kan ha blitt sterkt påvirket av oppvarmingen de siste tiårene.

Den marine næringskjeden i Arktis.



Interaksjon mellom kjemikaler og klimaendringer påvirker isbjørnene

Klimaendringer virker sammen med kjemisk forurensning og stresser isbjørnen. Isbjørnene, som lever på toppen av den marine næringskjeden, akkumulerer miljøgifter i fettene når de spiser ringsel og andre marine pattedyr som har fått i seg kjemikaliene ved å spise kontaminerte arter lengre nede i næringskjeden. Det har blitt funnet høye nivåer av klorforbindelser og tungmetaller i isbjørn. I noen tilfeller kan miljøgiftene bli lagret i fettene og slik hindres fra å påvirke dyrenes helse så lenge fettreservene er høye. Men dersom det er lite mat å finne, og fettreservene må brukes, vil miljøgiftene bli transportert ut i kroppen. Isbjørn i enkelte deler av Arktis har i de siste tiårene hatt mindre fettreserver enn tidligere. Dette henger sammen med at havisen går tidligere og tidligere og at isbjørnene blir tvunget på land der de blir nødt til å faste i lengre og lengre perioder.



Interaksjon mellom klimaendringer og sosiale endringer påvirker marine jegere

Mange arktiske samfunn lever av å jakte på isbjørn, hvalross, sel, hval, sjøfugl og andre marine dyr. Endringer i antallet arter og tilgangen på dem, og den reduserte muligheten til å ferdes på en sikker måte i varierende og uforutsigbare isforhold, gjør at mange føler seg som fremmede i sitt eget land. Noen samfunnsendringer har økt sårbarheten overfor klimaendringer. I løpet av de siste tiårene har for eksempel mange inuitjegerer byttet ut hundesledene med snøscootere. Mens hundene kunne føle om isforholdene var usikre, er snøscootere ikke i stand til det. (På den andre siden gjør snøscootere det mulig å jakte over større områder samt å transportere mer last.) I tillegg er ikke folk lenger nomader og de følger ikke lengre dyrenes sesongmessige forflytninger. Ettersom folk nå er fast bosatt, er deres mulighet for å tilpasse seg endringer i klimaet og/eller i tilgangen på dyr ved forflytting blitt betydelig redusert.



4 Dyrearters mangfold og utbredelse vil endres.



Marine fiskerier

Fiskeriene i Arktis er en viktig global matkilde og utgjør også en viktig del av økonomien i regionen. Siden fiskeriene i stor grad styres av faktorer som lokale værforhold, økosystemdynamikken og forvaltningsbeslutninger, er det vanskelig å forutse hvilken betydning klimaendringer får for fiskebestandene i regionen. Det er mulig at klimaendringer vil føre til store endringer i økosystemene i enkelte områder og at dette igjen vil resultere i radikale endringer i artssammensetningen, noe som kan få uante konsekvenser. Hvis man ser bort fra dette, vil en moderat oppvarming sannsynligvis føre til bedre forhold for noen viktige fiskebestander som torsk og sild ettersom høyere temperatur og redusert islag muligens vil øke produktiviteten for deres byttedyr og gir dem et utvidet leveområde.

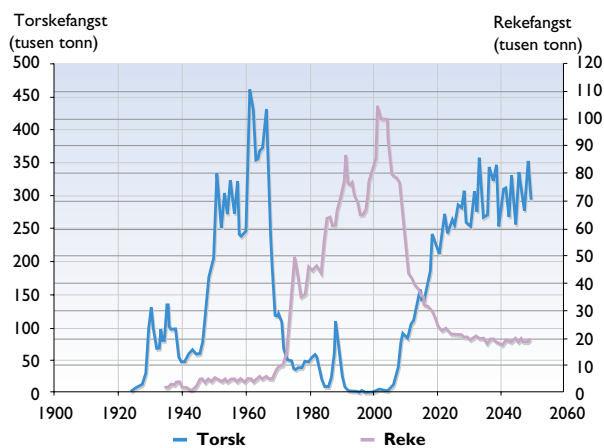
Mens de forventede forholdene sannsynligvis vil være positive for noen arter, som for eksempel torsk, vil de sannsynligvis være negative for andre, som for eksempel den nordlige rekebestanden, og dette vil nødvendiggjøre tilpasninger i de kommersielle fiskeriene.

Grønlandstorsk og klima

Utviklingen av grønlandstorskebestanden er slående eksempel på en positiv klimarelatert endring. I de svært kalde årene fra ca. 1900 til 1920 var det lite torsk i havet ved Grønland. I 1922 og 1924 ble store mengder torskeyngel klekket ut ved Island. Disse drev fra Island til Øst-Grønland og videre til Vest-Grønland der de vokste opp og trivdes. Det betydde starten på et omfattende fiskeri som begynte rundt midten og slutten av 1920-årene. En stor andel av denne torsken vendte tilbake til Island for å gyte i begynnelsen av 1930-årene og ble værende der. Men mange torsk ble værende ved Vest-Grønland hvor de gyttte. Dette ble starten på en egen, selvstendig bestand. Under den varme perioden midt i det 20. århundre ble grønlandstorskebestanden svært stor og kunne tåle en årlig fangst på rundt 315 000 tonn mellom 1951 og 1970. De kalde forholdene siden ca. 1965 ser ut til å ha gjort det umulig for torsk å reprodusere ved farvannene rundt Grønland. De eneste større fangstene siden den gang ser ut til å være basert på fisk som ble født i islandsk farvann i 1973 og 1983 og som deretter drev fra Island til Grønland.

Mens de forventede forholdene sannsynligvis vil være positive for noen arter, som for eksempel torsk, vil de sannsynligvis være negative for andre, som for eksempel den nordlige rekebestanden, og dette vil nødvendiggjøre tilpasninger i de kommersielle fiskeriene. Arealet av det området hvor enkelte av de arktiske artene er hjemmehørende, inkl. den nordlige rekebestanden, kommer til å bli redusert, og disse artenes tallrikhet

Observert og forventet fangst



Historisk og potensiell fremtidig utvikling av torsk- og rekefangstene ved Grønland under klimaendringer.

Blanding av vann og fiskens driftruter



De viktigste vannmassene i området Island - Øst Grønland - Jan Mayen. De røde pilene indikerer de viktigste drifrutene for larver og fisk yngre enn ett år.



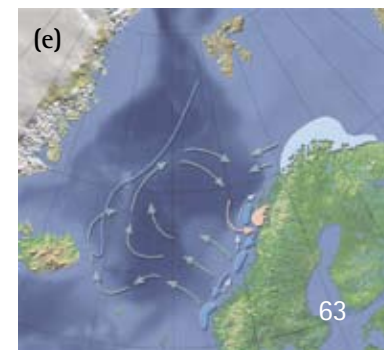
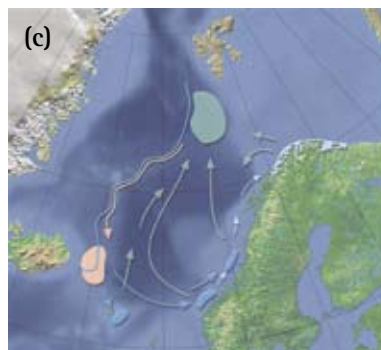
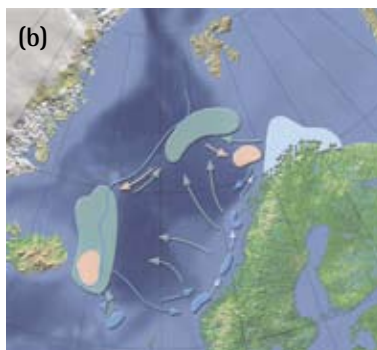
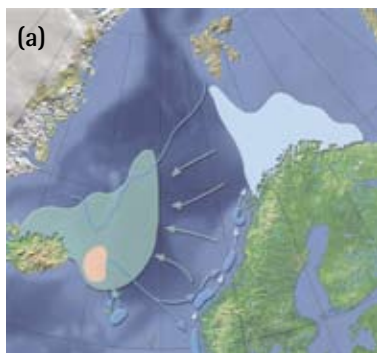
vil derfor bli mindre. Dette vil medføre nedgang i det store rekefisket (ca. 100 000 tonn i året) som foregår utenfor Grønlands kyster i dag. I tillegg utgjør den dypvannsreken en viktig andel av torskens diett i farvannene ved Grønland. Dersom torskestammen vokser slik den gjorde det i forrige århundre, vil nedgangen i rekebestanden få en negativ effekt på torskens diett og vekst. Ettersom den kommersielle verdien av en frisk torskestamme er mye større enn verdien av rekefangsten, må rekefisket begrenses ytterligere.

Klima, overfiske og norsk sild

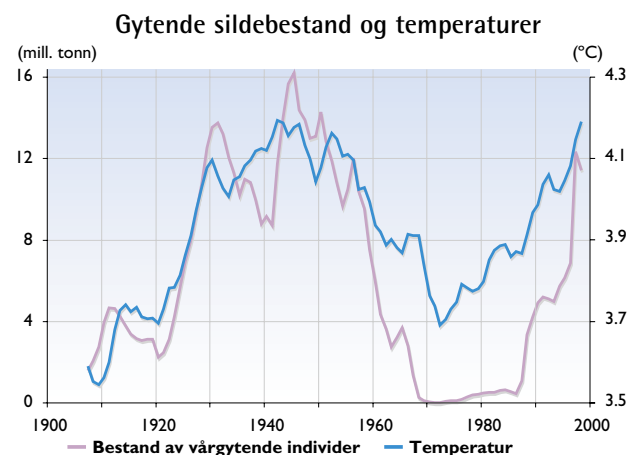
I begynnelsen av 1950-årene var bestanden av norsk vårgytende sild så stor som 14 millioner tonn. Det var verdens største sildebestand og den var viktig for Norge, Island, Russland og Færøyene. På den tiden vandret silden vestover i Norskehavet for å finne føde i farvann rike på dyreplankton nord og øst for Island og i området mellom Island og Jan Mayen (71° N, 8° V). I 1965 førte en plutselig og kraftig avkjøling av disse farvannene til at bestanden av det lille krepsdyret raudåte (*Calanus finmarchicus*), som var hovedføden for silden, ble betydelig redusert. Sildens matkammer forflyttet seg flere hundre nautiske mil mot øst og nordøst. Dette påførte bestanden kraftig miljømessig stress. I 1960-årene ble bestanden også utsatt for et kraftig overfiske, noe som førte til at den kollapset i siste halvdel av årtiet. Selv om overfiske på voksen fisk og ungfisk var den viktigste grunnen til sammenbruddet, bidro sannsynligvis også avkjølingen av klimaet.

I 1970-årene trengte ikke de få sildene som var igjen å vandre langt etter maten. Derfor holdt de seg nær norskekysten. Det som var igjen av fiskeriene ble strengt regulert og selve fisket var forbudt i mange år. Disse restriksjonene, sammen med gode klimatiske forhold, bidro til at bestanden økte til 3-4 millioner tonn og man åpnet for et begrenset fiske igjen. I 1995 var bestanden kommet opp på 5 millioner tonn, og den hadde utvidet sine beitemarker og hadde begynt å vandre ut i internasjonalt farvann. Bestanden ble derfor tilgjengelig for fiske utenfor Norges jurisdiksjon og det norske forvaltningsregimet var ikke tilstrekkelig til å beskytte bestanden, og dermed ble dens videre restitusjon satt i fare. I 1996 ble det inngått en avtale mellom Norge, Russland, Island og Færøyene, og EU fastsatte også kvoter for hvor mye man kunne fiske av norsk vårgytende sild. Slike avtaler vil komme til å være viktige i fremtiden etter hvert som klimaendringene endrer bestandene og deres tilholdssteder.

Historiske endringer i vandringsruter



- Gyteplasser
- Områder for ungfisk
- Viktigste beiteområder
- Vandringsruter (føde)
- Vandringsruter (gyting)



Bestanden av norsk vårgytende sild økte betraktelig i den varme perioden i 1920-1930-årene. Så minket den fra 1950-årene av. Overfiske var den viktigste årsaken til at bestanden kollapset selv om et kjøligere klima nok også var en bidragende faktor.

Endringer i vandringsruter samt beiteområder og overvintring for norsk vårgytende sild i den siste halvdel av det 20. århundre. (a) Det normale vandringsmønsteret i den varme perioden før 1965. (b-c): Etter at en puls av havis og ferskvann fra Arktis førte kaldt vann med lav saltholdighet inn i Øst-Grønlands- og Øst-Islandsstrømmene inntil bestanden kollapset i 1968. (d) År med lave bestander (1972-1986). (e) Dagens vandringsmønster.

4 Dyrearters mangfold og utbredelse vil endres.



Klimaendringer og betydningen for fisket

Klimaet endret seg i Beringhavet i 1977, hvor det plutselig oppsto et skifte fra en kald til en varm periode, muligens som et resultat av fenomenet som går under betegnelsen Pacific Decadal Oscillation (tiårssvingningene i Stillehavet). Oppvarmingen førte med seg en økosystemendring som favoriserte sildebestanden og økte produktiviteten for stillehavstorsk, skate, flyndre og virvelløse dyr utenom krespdyrgruppen. Sammensetningen av arter på havbunnen endret seg fra en dominans av krabber til en større blanding av sjøstjerner, svamper og andre livsformer. Historisk var det et stor kommersielt fiske etter stillehavslaks. Fiske etter Walley pollock (alaskasei), som hadde ligget på et lavt nivå i 1960- og 1970-årene (fra to til seks millioner tonn), har tatt seg opp til et nivå på over 10 millioner tonn i de fleste årene siden 1980.

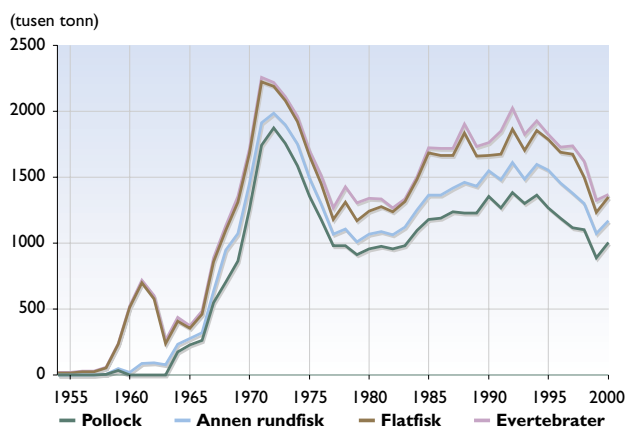
Bunnvannet i Berginghavet har blitt betydelig varmere, noe som tvinger kaldtvannsartene av fisk og pattedyr nordover og/eller til at det blir færre av dem.

I det meste av Nord-Atlanteren kommer den totale effekten av klimaendringer på de arktiske og sub-arktiske fiskebestandene sannsynligvis til å bli mindre enn virkningene av fiskeriforvaltningen, i alle fall i de nærmeste 20-30 årene. Dette skyldes først og fremst den antatt relativt begrensede oppvarmingen i første halvdel av det 21. århundre i dette området. I Beringhavet er imidlertid hurtige klimaendringer allerede registrert og effektene av dem er store. Bunnvannet i Berginghavet har blitt betydelig varmere, noe som tvinger kaldtvannsartene av fisk og pattedyr nordover og/eller til at det blir færre av dem. Det viktigste når det er snakk om å utarbeide et forvaltningsregime for fiskeriene i Beringhavet er derfor å ta høyde for den endringen som foregår og vil fortsette å foregå på økosystemnivå.

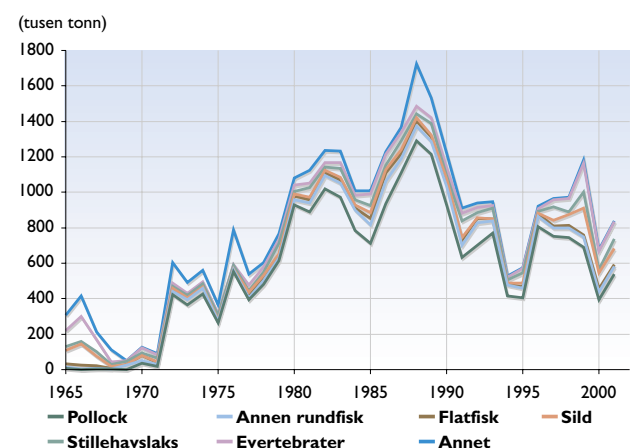
Det er usannsynlig at effektene av klimaendringene på fiskeriene vil ha langsiktige virkninger på det sosiale og økonomiske livet i Arktis som helhet, men visse områder som er svært avhengige av fiskeriene vil sannsynligvis bli påvirket. Svært alvorlige forflytninger kan forekomme, noe som har skjedd i historisk tid. For eksempel da torskefisket ved Labrador/ Newfoundland kollapset som en følge av overfiske, endringer i forholdene i havet og andre faktorer på begynnelsen av 1990-årene, ble mange torskefiskere arbeidsløse eller gikk over til å fiske på andre arter. Verdien av fangstene i provinsen gikk betydelig ned. Torskebestanden har fremdeles ikke kommet seg selv om det nå har gått ti år. Reke- og krabbefisket, som erstattet torskefisket, er betydelig mindre arbeidsintensivt og krever betydelig færre ansatte selv om den kommersielle verdien av fisket er nesten dobbelt så høy som verdien av torskefisket. Mens fiskeriindustrien på nasjonalt plan kan tilpasse seg, vil konkrete mennesker og steder kunne bli sterkt påvirket.



Fangst i det østlige Beringhavet, 1954-2000



Fangst i det vestlige Beringhavet, 1965-2001



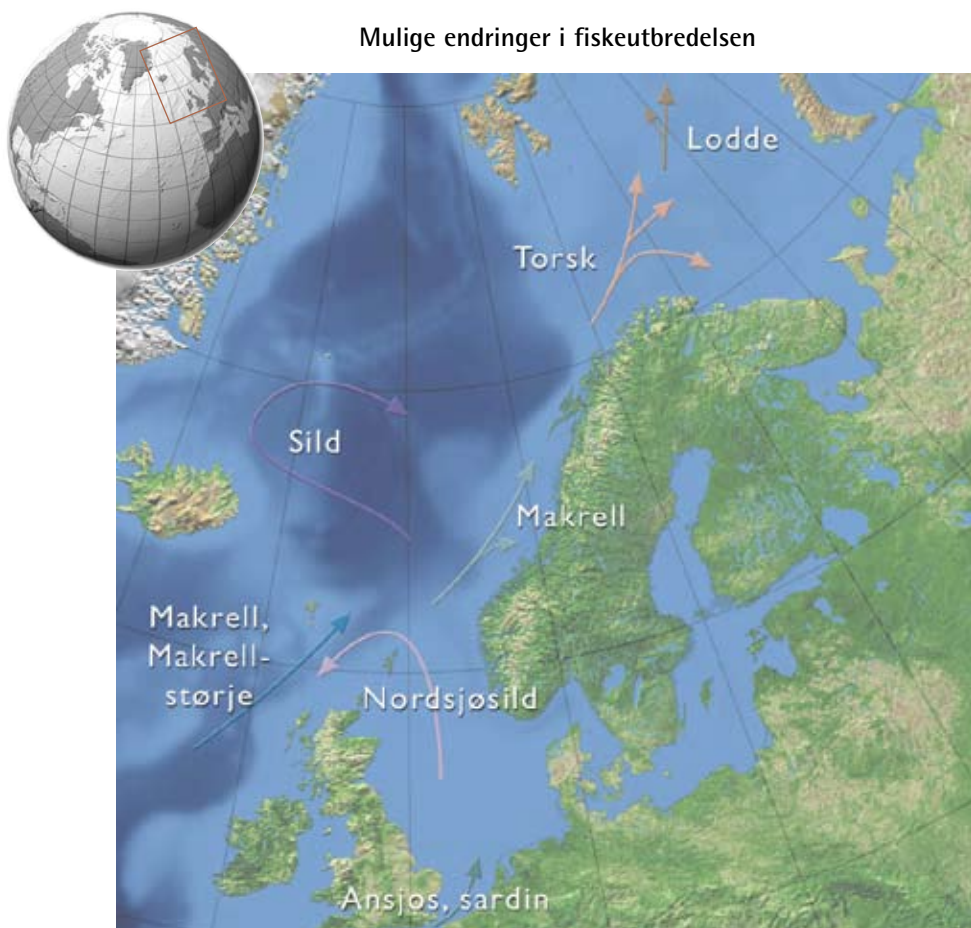
Selfangst, fiske og klimaendringer i Vest-Grønland: et historisk perspektiv

Historiske endringer i Vest-Grønland gir et godt eksempel på forholdet mellom klimaendringer og tilknyttede sosiale og økonomiske endringer. Et klimatisk avvik resulterte i en oppvarming av vannet ved Grønlands sørlige og vestlige kyster i 1920- og 1930-årene. Dette førte til at selbestanden forflyttet seg nordover, noe som gjorde selfangst vanskeligere for de lokale inuitene. Samtidig vandret torsk (og kveite og reker) inn i det varmere vannet, noe som gjorde det mulig å starte et fiske etter torsk. Enkelte lokale innbyggere, som for eksempel i byen Sisimiut på vestkysten, klarte å dra fordeler av de mulighetene som oppstod på grunn av sosiale og teknologiske forhold. Sisimiut ble en viktig fiskehavn med andre nye industrier og en bred økonomisk basis.

Dette står i kontrast til utviklingen i byen Paamiut i det sørvestlige Grønland på samme tid. Paamiuts utvikling var basert på de store torskeressursene. Det var få andre kommersielt tilgjengelige ressurser og det var derfor liten drivkraft for å utvide byens økonomiske basis. Fokus på en enkelt ressurs gjorde byen sårbar for miljøendringer. Da torskebestanden begynte å gå ned som en følge av klimaendringer og overfiske, gikk både økonomien og folketallet i Paamiut også tilbake. Dette peker på viktigheten av at det i enhver tilpasningsstrategi må tas høyde for at de lokale forholdene (miljømessig, sosialt, økonomisk, teknologisk etc.) er avgjørende for hvordan en region utsatt for endringer utvikler seg.



Mulige endringer i fiskeutbredelsen



Mulige endringer i utbredelsen av utvalgte fiskearter i Norskehavet og Barentshavet som et resultat av en økning i havtemperaturen på 1 til 2 °C.

4 Dyrearters mangfold og utbredelse vil endres.



Dersom det atlantiske vannet som strømmer nordover langs norskekysten blir et par grader varmere, vil oppdrettsanleggene ventelig måtte flytte nordover, noe som vil medføre betydelige kostnader.

Fiskeoppdrett

Laks og ørret er de to viktigste artene i fiskeoppdrettssammenheng i Arktis. Oppdrettet foregår i høyteknologiske bedrifter med avansert utstyr og minner på mange måter mer om grise- eller kyllingoppdrett enn om fiske. Norge har utviklet en stor industri på dette området i løpet av de siste 20 årene og landet er i dag verdens største produsent av oppdrettslaks. Den totale produksjonen i år 2000 var verdsatt til 1,6 milliarder dollar, og laks er dermed den suverent viktigste arten i den norske fiskeindustrien når det gjelder økonomisk verdi.

En svak temperaturøkning i vannet kan muligens føre til at fisken vokser fortere, men litt mer enn en svak oppvarming kan føre til at temperaturløansen for oppdrettsfisken overskrides. I tillegg vil varmere vann kunne ha andre negative konsekvenser som økt sykdomshyppighet og giftalgeoppblomstringer. Dersom det atlantiske vannet som strømmer nordover langs norskekysten blir et par grader varmere, vil oppdrettsanleggene ventelig måtte flytte nordover, noe som vil medføre betydelige kostnader. Marin fiskeoppdrett utenfor Newfoundland og Labrador er utfordrende på grunn av beliggenheten. Det er ikke uvanlig at temperaturen i de øvre vannlagene overstiger toleransegrensen for mange av de artene som i dag oppdrettes.

Fiskeoppdrettsnæringen er avhengig av store mengder villfisk som blir fanget på åpent hav for å produsere det fiskemelet og den fiskeoljen som utgjør en viktig del av kosten til oppdrettsfisk som laks og ørret. Mengdene som trengs er så store at næringen er sårbar overfor raske svingninger i viktige villfiskbestander, og klimatiske forhold kan forårsake slike svingninger. For eksempel har El Niño-hendelser i Stillehavet allerede påvirket næringen ved å påføre store endringer i ansjosbestanden. Fra 1997 til 1998 gikk det globale ansjosfisket ned med nesten 8 millioner tonn, først og fremst som en følge av El Niño. I tillegg er mange av de fiskeslagene som fiskes som før til oppdrettsfisk også en viktig matkilde for villfiskbestander som har mye høyere kommersiell verdi, men som det for øyeblikket ikke er rikelig av på grunn av overfiske. Dersom fiskeriforvaltningen skal



klare å få opp igjen disse villfiskbestandene, må det kanskje gjennomføres store reduksjoner i den fiskeoppdrettsnæringen som i dag bruker disse viktige artene til fiskemel og fiskeolje.

Akvakultur på Færøyene

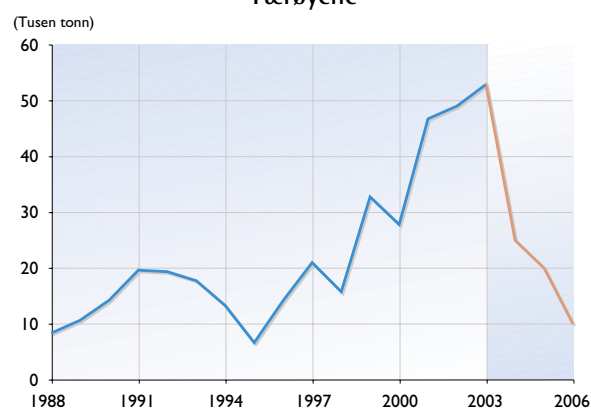
Havet rundt Færøyene utgjør noen av de viktigste beiteområdene for den ville atlanterhavslaksen. Øyene i denne øygruppen ligger spredt, og fjordene og buktene er korte, noe som gjør at området er relativt åpent med sterke havstrømmer som sørger for at vannet ikke blir stillestående. Dette gir gode forhold for oppdrett av atlantisk laks og regnbueørret, de absolutt vanligste oppdrettsartene. I 1980-årene ble fiskeoppdrett på Færøyene en næringsvei med en årlig produksjon på 8000 tonn innen 1988. Rundt midten av 1990-tallet falt næringen sammen fordi de mange små oppdrettsanleggene ikke klarte seg under det store prisfallet på oppdrettslaks. Fiskesykdommer var også en faktor i sammenbruddet. Produksjonen tok seg opp igjen mot slutten av 1990-årene, og i 2001 var oppdrettsnæringen på Færøyene blitt samlet i noen få store selskaper som nå driver oppdrett på 23 steder. Det er nå et oppdrettsanlegg i nesten hver eneste passende fjord eller bukt i øygruppen.

Færøyene har blitt en viktig internasjonal aktør innen lakseoppdrett med en rekordhøst på 53 000 tonn (sløyd vekt) laks og regnbueørret med en verdi på ca. 180 millioner US dollar i 2003. Med en befolkning på ca. 45 000 utgjør dette en produksjon på ca. 1200 kg oppdrettsfisk per person. Mer enn 300 mennesker er direkte sysselsatt på oppdrettsanleggene på Færøyene. I tillegg arbeider mer enn 1000 mennesker i foredlingen og transporten av fisken, i produksjon av fiskefôr og i andre relaterte industrier. I siste årene har fiskeoppdrett blitt viktigere for Færøyenes økonomi enn i noe annet land. I 2001-2003 utgjorde oppdrettsprodukter ca. 25 % av de totale eksportinntektene. Villfiskprodukter, som står for ca. 70 % av de totale eksportinntektene, er den eneste andre eksportvare av betydning.

Men oppdrettsnæringen står overfor tiltakende utfordringer. Økonomien lider som en følge av fiskesykdommer og den store nedgangen i markedspris. Noen sykdommer det ikke kan behandles, spesielt infeksjøs lakseanemi og bakteriell nyresyke opptrer svært ofte på Færøyene. Næringen trenger tilførsel av frisk kapital dersom den skal kunne fortsette med det samme høye produksjonsnivået som de siste årene, men sykdommene og den lave markedsprisen gjør at det er lite trolig at slik kapitaltilførsel vil finne sted. Det er derfor forventet at produksjonen vil gå ned i perioden 2004-2006 slik det er vist på figuren. Et varmere klima kan ha både positive og negative effekter. Dersom oppvarmingen ikke blir på mer enn ca. 5 °C, vil vekstraten og lengden på vekstsesongen kunne øke. Større temperaturvekst kan føre til overskridelse av varmetoleransen hos fisken. Oppvarmingen har også en tendens til å øke sykdomshyppighet og giftalgeoppblomstringer.



Mulige endringer i oppdrettsnæringen på Færøyene



Oppdrett av atlanterhavslaks og regnbueørret i perioden 1988-2003. Den røde linjen er beregnede tall for 2004-2006. Den beregnede nedgangen gjenspeiler problemene med fiskesykdommer og økonomiske forhold. Klimaendringene fører til ytterligere usikkerhet.

4 Dyrearters mangfold og utbredelse vil endres.

GLOBALT



Landdyr

Arktiske landdyr inkluderer små planteetere som jordekorn, hare, lemen og markmus; store planteetere som elg, caribou/reinsdyr og moskus samt kjøttetere som røyskatt, jerv, ulv, rev, bjørn og rovfugl.

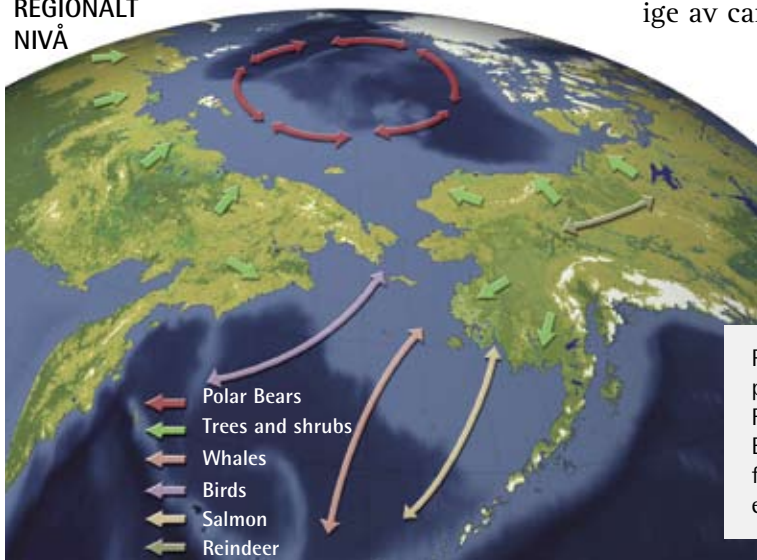
Lange dyretrekkruiter er sårbare overfor klimarelaterte endringer i leveområdet eller i tilgangen på føde. Den økte oppvarmingen i Arktis vil derfor få globale virkninger for dyrelivet.

Klimarelaterte endringer kommer sannsynligvis til å føre til mange konsekvenser og involvere mange dyre- og plantearter. Sammenliknet med økosystemer i varmere strøk har de arktiske systemene vanligvis færre arter som skal utfylle de samme rollene. Når de arktiske artene blir fortrent, kan det derfor få store virkninger for arter som

er avhengig av dem. For eksempel er mose og lav svært sårbare overfor oppvarming. Siden disse plantene utgjør basis for viktige næringskjeder og er viktig vinterføde for caribou/reinsdyr og andre arter, vil en reduksjon i forekomsten få vidtfnvendende konsekvenser for økosystemet. En nedgang i reinsdyr- og caribou-bestanden vil påvirke arter som jakter på dem (inkludert ulv, jerv og mennesker) samt for arter som spiser åtselet deres (som arktisk rev og noen fugler). Siden noen lokalsamfunn er spesielt avhengige av caribou/reinsdyr, vil deres velferd også bli påvirket.

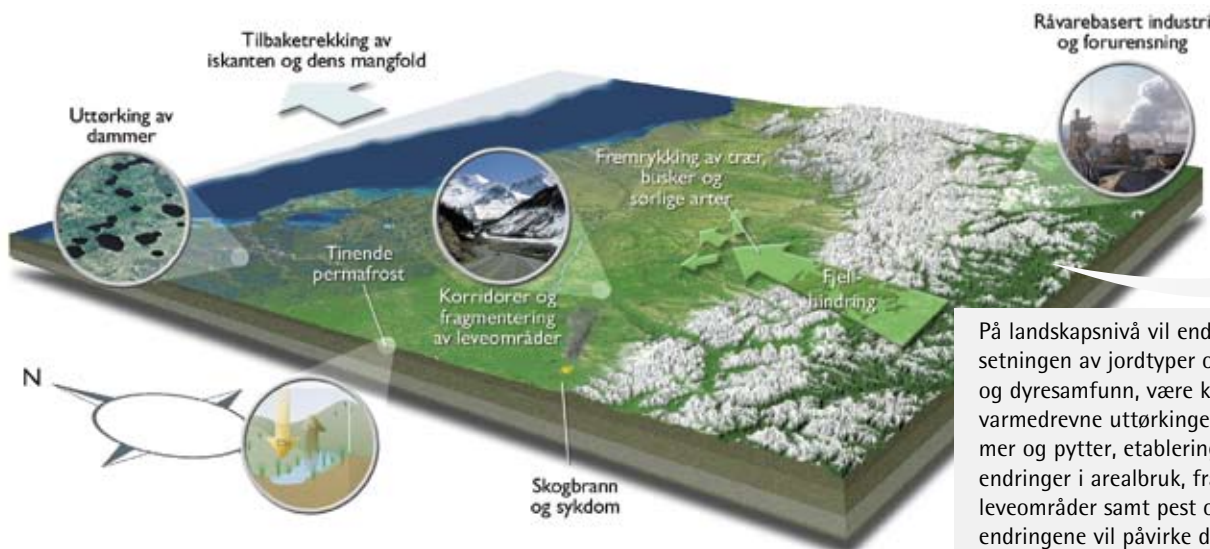
Isskorpedannelse som et resultat av smelting og frysing påvirker de fleste av de arktiske landdyrene ved at føden kapsles inn i is, noe som gjør det svært vanskelig for dem å få tilgang på føde og som også kan føre til at plantene dør. Lemen, moskus og caribou/reinsdyr påvirkes alle av

REGIONALT NIVÅ



På regionalt nivå vil vegetasjonen og tilknyttede dyr forflytte seg som respons på oppvarming, tinende permafrost og endringer i jordfuktighet og arealbruk. Forflytningen vil begrenses av geografiske barrierer som fjell og vassdrag. Endringer i utbredelse og forekomst av plankton, fisk, marine pattedyr og sjøfugler, spesielt endringer som kan knyttes til tilbaketrekkingen av iskanten, vil bli en konsekvens av endringer i luft- og havtemperatur og i vindene.

LANDSKAPSNIVÅ



På landskapsnivå vil endringer i sammensetningen av jordtyper og relaterte plante- og dyresamfunn, være knyttet til den varmedrevne uttørringen av grunne dammer og pytter, etablering av nye våtmarker, endringer i arealbruk, fragmentering av leveområder samt pest og sykdom. Disse endringene vil påvirke dyrenes muligheter til å formere seg, til å spre seg og til å overleve. Dette vil føre til at enkelte nordlige arter vil gå tapt og spredning av sørlige arter nordover.



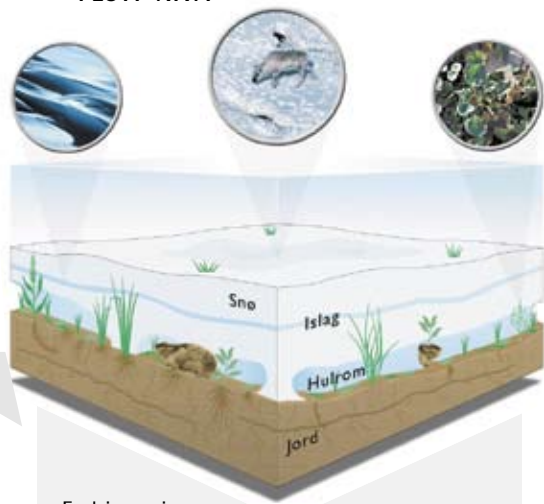
Fremtidige klimaendringer	Tundra og polarøken	Bevaring av mangfold
4	7	10

dette og det er blitt rapportert om dramatiske bestandsnedganger som følge av innkapsling av føde etter slike smelte/fryse-episoder. Antallet slike tilfeller ser ut til å ha økt de seneste tiårene. Den beregnede økningen i vintertemperatur på mer enn 6 °C innen slutten av dette århundret (et gjennomsnitt av de fem ACIA-modellene) kan resultere økt hyppighet av perioder med veksling mellom smelting og frysing. Inuitene i Nunavut i Canada har rapportert at caribou-antallet går ned de årene det er mange slike smelte/fryse-episoder. De svenske samene har merket seg over det siste tiåret at høstsnøen har falt før grunnen har frosset. Dette har ført til dårlig beitekvalitet om våren siden vegetasjonen råtner når snøen legger seg på frostfri mark.

Oppvarmingen gir også mange andre følger for landdyrene i Arktis. Om vinteren lever og jakter lemen og markmus i området mellom den frosne tundraen og snøen. Det er svært sjelden de kommer opp til overflaten. Snøen skaffer dem viktig isolasjon. Mildt vær og våt snø fører til at disse hulrommene under snøen faller sammen, og det ødelegger boplassene til markmus og lemen. Isskorpedannelse reduserer snøens isolasjonsevne, noe som er nødvendig for at de skal kunne overleve. I enkelte områder kan man ikke lenger observere de veletablerte livsyklusene til lemen og markmus. Nedgang i disse bestandene kan føre til bestandene til dyrene som jakter på dem, og da spesielt i de dyrene som jakter på lemen, dvs. dyr som snøugle, joer og røyskatt. En nedgang i lemenbestanden vil svært sannsynlig føre til en enda større nedgang i bestanden til disse spesialiserte rovdyrene. Rovdyr som er generalister, som for eksempel polarrev, jakter på andre dyr når det er lite tilgang på lemen. En nedgang i lemenbestanden kan derfor også indirekte føre til en nedgang i bestanden til andre byttedyr, som for eksempel vadefugler og andre fugler.

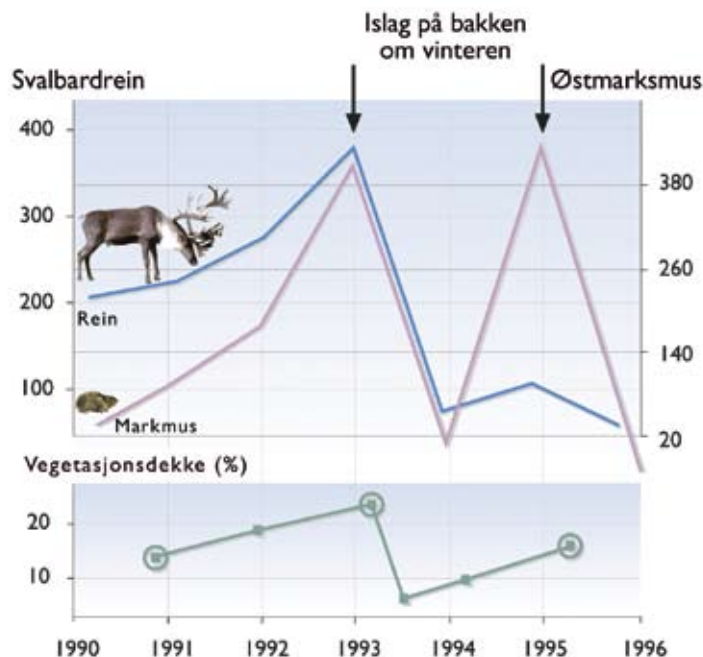


PLOTT-NIVÅ



Endringer i snøforholdene, islagene, hulrommene i snøen, somertemperaturen og næringscyklusen vil påvirke de enkelte planter, dyr og mikroorganismer som lever i jorda, noe som fører bestandsendringer. Det er på nivået til den enkelte plante eller det enkelte dyret at responsen på klimaet finner sted, noe som fører til vegetasjonendringer verden over.

En rekke påvirkninger under et klima i endring



Bestandsdynamikken (antall individer i et gitt område) for reinsdyr og østmarkmus på Svalbard samt observerte (sirkler) og beregnede (firkanter) endringer i vegetasjonen.

4 Dyrearters mangfold og utbredelse vil endres.



«Om høsten veksler været så ofte, det regner og er mildt. Dette ødelegger reinsdyrenes tilgang til lav. Noen år har dette ført til store tap av reinsdyr. Det er svært enkelt: Når grunnen fryser, kan ikke reinsdyrene få tak i lav. Dette er svært forskjellig fra tidligere år. Dette er en av grunnene til at det er mindre lav. Reinsdyrene må bruke klovene for å få tak i lav, og det fører til at hele planten kommer opp, roten også. Det tar svært lang tid for lav å vokse opp igjen når man fjerner roten.»

Heikki Hirvasvuopio
Kakslauttanen, Finland

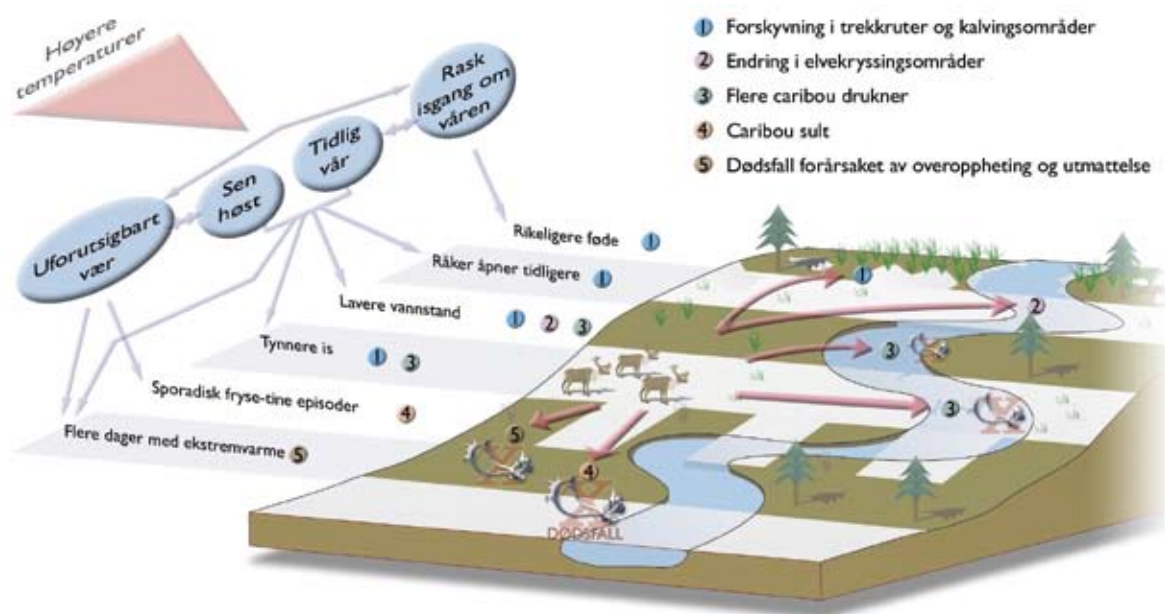
Caribou/reinsdyr

Caribou (nordamerikanske underarter av *Rangifer tarandus*) og reinsdyr (eurasiske underarter av den samme arten) er svært viktige for befolkningen i hele Arktis både med hensyn til mat, ly, brensel, redskaper og andre kulturgjenstander. Caribou- og reinsdyrflokkene er avhengige av rikelighet av vegetasjon på tundraen og at forholdene for beiting er gode, spesielt i kalvingsssonen. Klimarelaterte endringer på den arktiske tundraen forventes å føre til at vegetasjonssonene forflytter seg nordover, slik at utbredelsen av tundraen og den tradisjonelle føden for disse dyrene reduseres. Det forventes også at det vil bli flere smelte/fryse-perioder og mer underkjølt regn. Disse endringene vil få stor betydning for caribou/reinsdyrenes mulighet til å finne føde og fø opp kalvene. Fremtidige klimaendringer kan derfor bety en potensiell nedgang i caribou- og reinsdyrbestandene, noe som kan true ernærings situasjonen for mange urfolkshusholdninger og levemåten til enkelte arktiske samfunn.

Peary caribou

Den reduserte forfatningen i bestanden av Peary caribou (en liten, hvit underart som bare finnes i Vest-Grønland og på Canadas arktiske øyer) har nå ført til at enkelte samfunn har begrenset eller til og med forbudt jakt på denne arten. Bestanden av Peary caribou på Canadas arktiske øyer ble redusert fra 26 000 i 1961 til 1000 i 1997, noe som medførte at denne underarten i 1991 ble klassifisert som utrydningstruet. Bestandsreduksjonen ser ut til å ha sammenheng med høstregnet som både iset over vinterføden og dannet et isskorpelag på snøen, noe som dermed begrenset tilgangen til føden. I tillegg økte det årlige snøfallet i det vestlige Canada i 1990-årene, og de tre mest snørike vintrene falt sammen med at Peary cariboubestanden på Bathurst-øya ble redusert fra 3000 dyr til ca. 75 dyr i perioden 1994-1997.

Kitikmeot-inuit observasjoner av konsekvenser av oppvarming på caribou

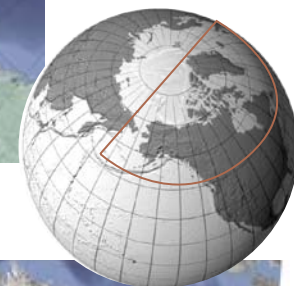


Porcupine caribou-flokken

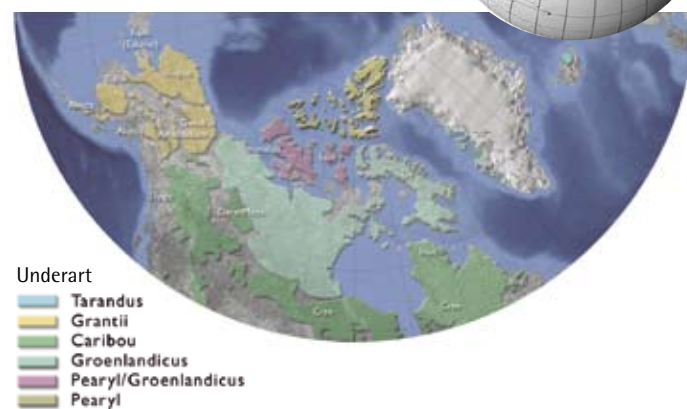
Porcupine caribou-flokken er en av 184 ville caribou-flokker i verden og den åttende største i Nord-Amerika. Det er den største flokken av trekkende pattedyr som USA og Canada deler. Porcupine-flokken er blitt overvåket periodevis siden begynnelsen av 1970-årene. Bestanden vokste med 4 % per år fra de første tellingene til den nådde sitt høyeste nivå på 178 000 dyr i 1989. I den samme perioden økte bestanden for alle de viktigste flokkene i Nord-Amerika, noe som tydet på at de reagerte på kontinentovergrepene hendelser og som antageligvis var klimarelatert. Siden 1989 har flokken gått ned med 3,5 % per år til sitt laveste nivå på 123 000 i 2001. Porcupine caribou-flokken ser ut til å være mer følsom overfor effektene av klimaendringene enn andre store flokker.

Økosystemet som Porcupine caribou-flokken er en del av, omfatter også menneskesamfunn som, i de fleste tilfellene, er avhengige av å jakte på caribou. Blant disse samfunnene er Gwich'in, Iñupiat, Inuvialuit, Han og Northern Tuscone, som alle har opprettholdt en sterk tilknytning til flokken i flere årtusen. Historisk sett har caribou vært en kritisk ressurs som har gjort det mulig for urfolk i nord å overleve i de harde arktiske og sub-arktiske forholdene. Når det var lite caribou hadde befolkningen det vanskelig. Dokumentasjon og muntlig overlevering tilsier at perioder med lite caribou i Nord-Amerika var sammenfallende med perioder med klimaendringer.

I dag er caribou en viktig del av den kombinerte penge- og naturaløkonomien, men er også et vedvarende viktig element i mytologi, åndelighet og kulturell identitet hos urfolkene. Uttaket fra Porcupine caribou-flokken varierer fra år til år og er avhengig av hvor dyrene befinner seg, tilgangen på dem og behovet for dem i det enkelte samfunn. Det totale årlige uttaket varierer mellom 3000 og 7000 dyr. I Canada er ansvaret for å forvalte flokken og beskytte deres viktigste leveområder delt mellom de som høster av flokken (stort sett urfolk) og de statlige organene som har forvaltningsmyndighet.

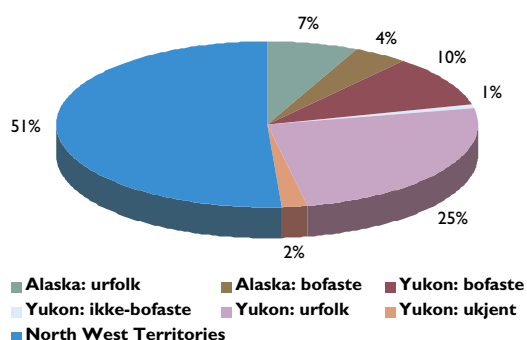


Caribou-områder og urfolksgrupper i Nord-Amerika



Nøkkelfunn # 4

Høsting av Porcupine caribou-flokken etter brukergruppe



Dette diagrammet viser det årlige uttaket fra Porcupine caribou-flokken i det nord-vestlige Canada og det nordøstlige Alaska etter brukergruppe. Ca. 89 % av uttaket skjer i Canada, og urfolksgrupper står for mer enn 90 % av uttaket.

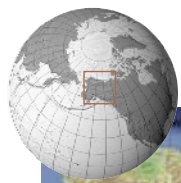


4 Dyrearters mangfold og utbredelse vil endres.



«Hvis jeg hadde vært caribou, hadde jeg vært ganske forvirret nå.»

Stephen Mills
Old Crow, Canada



Gwich'in og Porcupine caribou-flokken

Gwich'in har levd i nær kontakt med Porcupine caribou-flokken i tusenvis av år. Gwich'in-bosetningene er oppkalt etter elver, innsjøer og andre trekk i landskapet som de er assosiert med. Vuntut (innsjø) Gwich'in av Old Crow-stammen (ca. 300 innbyggere) i Yukon, Canada, bor midt i Porcupine caribou-flokkens territorium, slik at de kan avskjære flokken både under høst- og vårtrekket. De høster i gjennomsnitt så mye som fem dyr per innbygger per år. Det å dele med andre innbyggere i bosetningen og med nabobosetningene er en viktig kulturell tradisjon, og sies også at dette bringer hell i fremtidig jakt.

Klimarelaterte faktorer påvirker dyrenes helse og flokkens sesongmessige og årlige utbredelse og forflytning. Klimarelaterte faktorer påvirker også jegerens tilgang til jaktområdene, for eksempel ved endringer i tidspunktet for innfrysing og vårløsning i elvene og dybden i snølaget.

Hver vår over mange generasjoner har Porcupine caribou-flokken krysset den islagte Porcupine-elva for å komme til sine kalvingsplasser i Arctic National Wildlife Refuge i Alaska. I de siste årene er flokken blitt forsinket på sin vei nordover ettersom dyp snø, og flere smelte/fryse-episoder har gjort tilgangen på mat vanskeligere, økt beite og trekktiden, og i det store og hele redusert helsetilstanden til flokken. Samtidig smelter elveisen tidligere om våren. Nå er ikke elven lenger frosset når flokken kommer frem til den. Noen simler har allerede kalvet på sørsiden og må krysse den skummende elven sammen med sine nyfødte kalver. Tusenvis av kalver er blitt ført nedover elven og har druknet, slik at mødrene har måttet fortsette til kalvingsplassene uten dem.



Potensielle konsekvenser av klimaendringer på Porcupine caribou-flokken

Klima- endringsforhold	Virkning på leveområder	Konsekvenser for trekket	Konsekvenser for kondisjon	Konsekvenser for produktivitet	Implikasjon for forvaltningen
Tidligere snø- smelting på kystsletten	Høyere vekstrate for planter	Kjernen av kalvingsplasser trekker seg nordover	Kuene etterfyller pro-teinlageret fortere	Større sannsynlighet for å bli drektig	Bekymringer for inngrep på den nordlige delen av kjerneområdene for kalving
		Mindre bruk av lavfjellsområder for kalving	Høyere vekstrate på kalvene		
			Mindre fare for rovdyr	Flere kalver overlever i juni	
Varmere, tørrere sommer	Tidligere maksimal biomasse	Trekk ut av Alaska tidligere på sesongen	Økt forstyrrelse som resulterer i dårlige kondisjon	Mindre sjans for å bli drektig	Viktig å verne insekt-frie områder
	Plantene herdes tidligere	Mer bruk av kystsonen under opphold i Alaska			
	Færre områder der formeringsområder for mygg	Mer avhengige av insektsfrie områder, spesielt fra midt av juni til slutten av juli			
	Betydelig økning i brunst-aktivitet				
	Større antall branner i vinterbeiteområdene				
	Færre soppar				
Varmere våtere høst	Hypigere nedising	Caribou forlater områder med alvorlig overising	Ukjent	Ukjent	Vern av snøfattige områder
Varmere, våtere vinter	Dypere og mer kompakt snø	Økt bruk av snøfattige områder	Større vekttap i løpet av vinteren	Morsbåndet blir brutt tidligere	
		Forlater vinterbeiteområdene senere			
Varmere vår	Flere dager med tining/frysing, snøen danner islag	Trekker til forblåste åssider	Økende vekttap om våren	Flere ulveangrep pga. bruk av forblåste åssider	Bekymring for tids-punktene og lokalitet av vartrekke i forhold til uttak
	Hurtigere vårsmelting	Raskere vartrekk			Lavere produktivitet som følge av høy dødelighet om våren
Samlet effekt	Kalvingsområdene blir bedre, sommer-, høst- og vårbeiteområdene sannsynligvis av dårligere kvalitet	Sesongmessig utbredelse mindre forutsigbar, mindre forutsigbart	Bedre juni-kondisjon, men redusert kondisjon på sensommeren, hurtigere vekttap om vinteren og tidlig vår	Flere drektige dyr, men generelt sett lavere overlevelse og fornyelse; forskyvning av dødelighet til senere på året (sent på vinteren, om våren). Flokken vil sannsynligvis bli mindre.	Nødvendig å vurdere vern av leveområder i forhold til klima-trendene
	Ekstreme forhold (som svært dyp snø eller svært sen tining) som er vanskelig å tilpasse seg til				Nødvendig å ta høyde for klimaendringer i fastsettelse av uttaks-nivå
					Nødvendig å informere om klimavirkninger på uttaksmønstre og -tidspunkter
					Nødvendig å iverk-sette overvåkingspro-grammer



«Av og til når vi venter dem, kommer de ikke. Det hender de kommer når vi ikke venter dem... Det er 15 landsbyer i det nordøstlige Alaska og i den nordlige delen av Yukon, og også noen i Northwest Territory, som alle er avhengige av den samme caribou-flokken. Vi er et caribou-folk... og vi er alle avhengige av denne samme caribou-flokken som trekker gjennom landsbyene våre.»

Sarah James
Arctic Village, Alaska



4 Dyrearters mangfold og utbredelse vil endres.



Etter hvert permafrosten tiner og andre konsekvenser av klimaendringer forårsaker at ferskvannshabitater forsvinner, omdannes og modifiseres, er det sannsynlig at det vil skje store forskyvninger i artssammensetningen og artenes bruk av ferskvannshabitatene.

Ferskvannssystemer

Ferskvannssystemene i Arktis inkluderer elver, innsjøer, dammer og våtmarker, og plantene og dyrene og tilknyttet disse vannmassene. Dyrelivet i disse økosystemene omfatter fisk som laks, bekkeørret, canadarøye, ishavsrøye, omul, sik og harr; pattedyr som bever, oter, mink og bisamrotte; våtmarksfugler som ender og gjess og fiske-etende fugler som lom, fiskeørn og hvithodehavørn.

Klimaendringer vil, direkte og indirekte, påvirke disse dyrene og tilknyttet biodiversitet. Mange av konsekvensene vil henge sammen med klima-påførte fysiske og kjemiske endringer i ferskvannshabitatene. Spesielt viktig her er økt vanntemperatur og nedbør, permafrosttining, reduksjon i tykkelsen på og varigheten av isdekket på elver og innsjøer, endringer i tidspunktet for og intensiteten av avrenning og økte strømmer av forurensning, næringsstoffer og sedimenter. Ferskvannssystemene er også viktige for de marine systemene siden de fungerer som mellomledd mellom de terrestre og marine systemene og overfører stoffer de mottar fra land til det marine miljø. Noen eksempler på viktige fysiske og kjemiske endringer som vil påvirke ferskvannssystemene er økt vanntemperatur, permafrosttining, endringer i isdekket på elver og innsjøer og økte forurensningsnivåer.

Økt vanntemperatur

Økt vanntemperatur vil sannsynligvis gjøre det vanskelig for enkelte arter å forbli i de delene av elvene og innsjøene som de tidligere har hatt tilhold i. Mindre gunstige temperaturforhold, kombinert med andre mulige effekter som konkurranse fra nye arter fra sør, kan i stor grad redusere enkelte arktiske arters utbredelsesområde. Dette gjelder for eksempel for sikarten *Coregonus nasus*, ishavsrøye og omul.

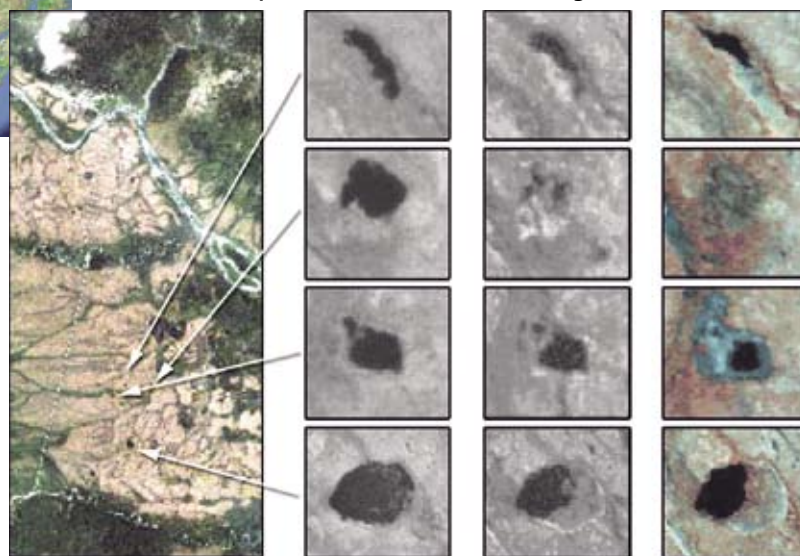
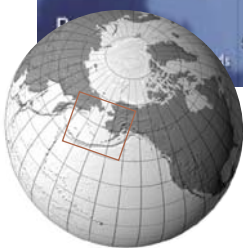
Tining av permafrosten

Etter hvert som økende temperaturer tiner den frosne jorden, kan vannet i innsjøene komme til å tappes ned i grunnvannet, og etter hvert eliminere ferskvannshabitater i området. På den andre side vil et sammenbrudd i grunnen som følge av permafrosttining kunne skape forsenkninger der nye våtmarker og dammer kan dannes, noe som gjør at

Dammer på tundraen minker i omfang

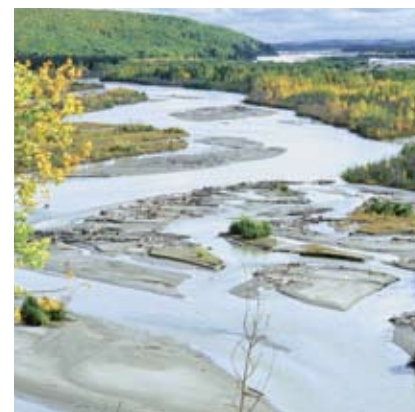
det blir nye ferskvannshabitater i disse områdene. Balansen i disse endringene er ikke kjent, men når ferskvannshabitater forsvinner, omdannes og modifiseres, er det sannsynlig at det vil skje store forskyvninger i artssammensetningen og artenes bruk av ferskvannshabitatene.

Dammene avbildet til venstre ligger på Seward-halvøya i Alaska. Av 24 dammer som er blitt overvåket i denne regionen, minket 22 i omfang mellom 1951 og 2000. En rekke dammer på tundraen har minket i omfang i løpet av de siste 50 årene. En sannsynlig mekanisme her er nedtapping når grunn permafrost tiner.



Endringer i isdekket på elver og innsjøer

De levende systemene i elver og innsjøer påvirkes sterkt av isdekke og tidspunkt for vårløsningen. Endringer i tidspunktet for isgang vil gi miljømessige konsekvenser da det i betydelig grad påvirker tilførsel av de næringsstoffer, sedimenter og vann som er essensielle for miljøkvaliteten i flodslette- og deltaområdene. Endring i tidspunkt for isgang og i istype har også betydning for vanntemperaturen og for mengde oppløst oksygen (noe de fleste levende organismer i systemet trenger). Endringer i artssammensetningen og –mangfoldet og næringskjedestrukturen er blant noen av de resultatene man forventer som en følge av klima-påførte endringer. De vannlevende organismene vil også utsettes for betydelig mer ultrafiolett stråling dersom isdekket reduseres, og gjennom dette påføres skade.

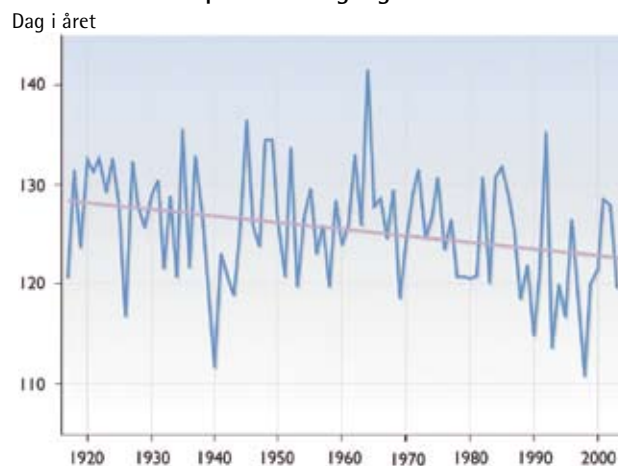


Det at isen legger seg senere og går tidligere på elver og innsjøer, har ført til at isse-songen er blitt 1-3 uker kortere, avhengig av sted, i løpet av de siste 100 årene. Denne trenden er sterkest i det vestlige Eurasia og i Nord-Amerika, og det er beregnet at den vil fortsette de neste 100 årene, noe som vil føre til en generell reduksjon i isdekket på de arktiske elvene og innsjøene, hvor de største reduksjonene er forventet i de nordligste områdene. Tidspunkt for innfrysing og isgang påvirkes sterkt av oppvarming fordi når isen smelter, fører det til ytterligere oppvarming av overflaten, som igjen fører til mer smelting som fører til ytterligere oppvarming og så videre. Lengre isfrie perioder vil kunne øke fordampningen, og dermed forårsake lavere vannstand. Dette kan bli oppveid av den økte nedbøren som er forventet som resultat av økt havfuktighet (der havisen har trukket seg tilbake). Disse endringene vil ha betydning for om de nordlige torvmyrene kommer til å absorbere eller slippe ut klimagassene metan og karbondioksid. Lavstrøms- og flommønstrene vil endre seg, så vel som sedimentmengden tilført Polhavet via elvesystemet.

Miljøgifter

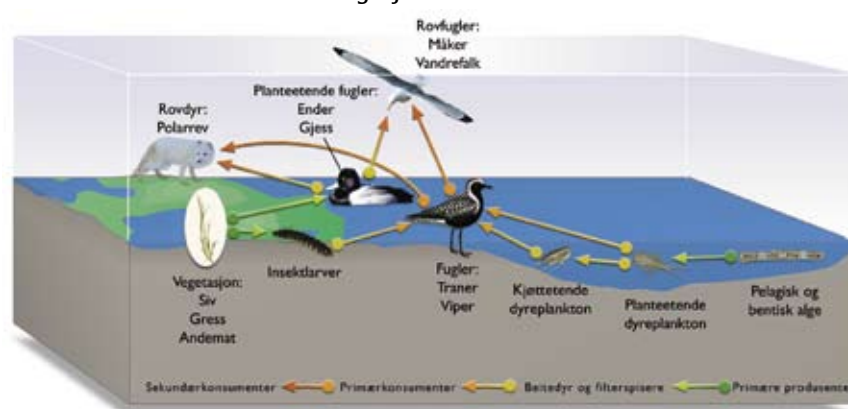
Oppvarmingen kommer svært sannsynlig til å føre til økt transport av miljøgifter til Arktis, og økt nedbør kommer svært sannsynlig til å øke mengden persistente organiske miljøgifter (POP) og kvikksølv som avsettes i området. Når temperaturen stiger, vil snø og is som har ligget i år til tiår smelte, og miljøgiftene lagret i snøen og isen blir frigitt med smeltevannet. Tining av permafrost vil på tilsvarende måte sette miljøgiftene i bevegelse. Dette vil føre til økt hyppighet av tilfeller med så høye forurensningsnivå i elver og dammer at det vil være giftig for vannlevende planter og dyr, og dessuten øke transporten av miljøgifter til de marine områdene. Disse konsekvensene vil bli forsterket av et lavere vannnivå som følge av høyere temperatur som fører til økt fordampning (muligens vil dette bli oppveid av mer nedbør i enkelte områder). Økte nivåer av miljøgifter i de arktiske innsjøene vil føre til at fisk og andre dyr tar opp disse stoffene, med økt akkumulering etter hvert som de overføres oppover i næringskjeden.

Tidspunkt for isgang i Tanana-elven



Denne grafen viser datoen for isgangen i Tanana-elven ved Nenana i Alaska de siste 80 årene. Selv om det er store variasjoner fra år til år, så er trenden at isgangen nå skjer over en uke tidligere.

Næringskjeden i ferskvann



4 Dyrearters mangfold og utbredelse vil endres.



Ferskvannsfisk

De sørlige artene kommer til å forflytte seg nordover og konkurrere om ressursene med de nordlige artene. Sikarten *Coregonus nasus*, ishavsrøye og omul er spesielt sårbare for fortrenning siden de har en nesten eller helt nordlig utbredelse. Når vanntemperaturen stiger, vil gyteområdene for kaldtvannsartene forflytte seg nordover, og vil sannsynligvis også reduseres i omfang. Sørlige fiskearter kan føre med seg nye parasitter og sykdommer som de arktiske artene ikke er tilpasset, og på denne måten øke faren for at de arktiske artene dør. Konsekvensene av disse endringene for både det kommersielle fisket og naturalfisket i de nordligste områdene kan være totalt ødeleggende siden de mest sårbare artene ofte er de eneste artene som det fiskes etter. I noen sørlige landområder i Arktis, kan de nye fiskeartene fra sør bringe med seg nye muligheter for fiske, og økt produktivitet hos noen av de nordlige fiskebestandene som en følge av økt vekst kan muliggjøre et større fiske etter noen arter.



Ishavsrøye

Ishavsrøye er den nordligste ferskvannsfisken i verden og finnes over hele Arktis. Noen bestander finnes i avstengte innsjøer der de lever av fjærmygglarve og vokser svært sakte. Andre bestander vandrer til havet om sommeren der de lever av krepsdyr og småfisk. Røye i disse bestandene vokser svært hurtig. Økt temperatur i ferskvann, elveutløp og i kystnære havområder vil sannsynligvis føre til vekst i begge typer røye, spesielt for de som lever i den midtre delen av området, forutsatt at det blir en tilsvarende generell vekst i næringskjedeproduktiviteten. Dette vil sannsynligvis også øke fiskepotensialet, men kan bli utlignet av konkurranse med nye fiskeslag.

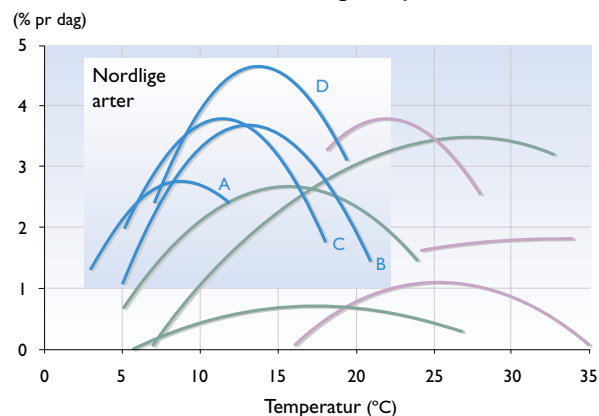
Konsekvensene av disse endringene for både det kommersielle fisket og naturalfisket i de nordligste områdene kan være totalt ødeleggende siden de mest sårbare artene ofte er de eneste fiskbare artene tilstede.

Forskning på ishavsrøye i Resolute Lake i Canada har vist at økte temperaturer fører til respirasjonsøkning, som igjen øker opptaket av tungmetaller i fisken. I tillegg er det forventet at de andre klimarelaterte endringer beskrevet på forrige side vil føre til en økning i miljøgiftnivået i innsjøene. Videre forventes det at et redusert isdekke, økt blanding av vannlag og andre oppvarmingsinduserte endringer vil føre til at innsjøene vil holde på mer av miljøgiftene som renner inn i dem.

Harr

Harr er en elvefisk med et livsløp på rundt 12 år. I noen nordlige områder er den eneste fiskeart i enkelte elver. I Toolik Lake (en liten innsjø på tundraen i Alaska) er det samlet data fra en periode på 25 år hvor hver eneste fisk er fulgt. Resultatene viser at ungfisken klarer seg godt i varmere vann, mens de voksne individene

Vekstrate og temperatur



Disse vekstkurvene (i prosent per dag) for ulike fiskeslag illustrerer at veksten normalt øker med temperaturen opp til et visst punkt for deretter å avta med fortsatt temperaturøkning. Nordlige arter (A. ishavsrøye, B. omul, C. canadarøye og D. bekkerøye – alle vist i blått) er samlet mot de lavere temperaturene til venstre og har en brattere kurve som indikerer at optimal vekst kun i svært små og lave temperaturspenn. Dette tyder på at deres mulighet til å tilpasse seg et varmere klima sannsynligvis er ganske begrenset. De øvrige vekstkurvene er for ulike arter som lever lenger sør.

ikke klarer seg så godt og faktisk taper vekt i varme år. De forventede klimaendringene kommer derfor sannsynligvis til å føre til at denne bestanden forsvinner, samtidig som det heller ikke er noen mulighet for at andre arter skal komme seg naturlig inn i denne innsjøen.

Canadarøye

Langtidsstudier tilsier at en varmere fremtid vil føre til betydelig stress for canadarøyen, med tilknyttede konsekvenser for næringskjeden. Konsekvensene for canadarøyen vil være størst i de minste innsjøene i den sørlige delen av artens utbredelsesområde i Arktis. Effektene i større, nordligere innsjøer kan være positive, i alle fall på kort sikt. Langtidsstudier i Toolik Lake i Alaska tilsier at en varmere fremtid sannsynligvis vil resultere i eliminasjon av røyebestanden her. Forskning tyder på at en økning på 3 °C i vannoverflatetemperaturen i juli kan føre til at førsteårs-røye må spise åtte ganger mer føde enn det som er nødvendig i dag for å oppnå tilfredsstillende kondisjon. Dette er betydelig mer enn tilgjengelig føde i innsjøen i dag.

I tillegg vil den forventede fremtidige kombinasjonen av høyere temperatur, en lang isfri sesong og økt fosfor i vannet (frigitt til vannet i forbindelse med permafrosttining) kunne føre til økt produksjon av små vannlevende livsformer som forbruker oksygen. Det vil føre til at oksygenkonsentrasjonen på dypt vann vil bli redusert til et nivå som er under det canadarøyen (og noen andre levende organismer) trenger for å overleve, og dermed en reduksjon i bunnvannshabitatene. Med overflatetemperaturer som overskrider terskelen for det som er nødvendig for denne arten, vil canadarøyen blir presset inn i et stadig mindre leveområde mellom de ugjestmilde forholdene nær overflaten og på bunnen av innsjøen. Tapet av canadarøyen, topp-predatoren i systemet, kommer sannsynligvis til å få store ringvirkninger gjennom hele næringskjeden, med store konsekvenser for både økosystemstruktur og -funksjon.

Sjøpattedyr og våtmarksfugl

Sjøpattedyr og våtmarksfugler kommer sannsynligvis til å spre seg nordover etter hvert som leveområdene endres med oppvarmingen. Sesongtrekkene kommer sannsynligvis også til å starte tidligere på våren og senere på høsten dersom temperaturene er høye nok. Hekke- og parringsområdenes egnethet og tilgang på føde vil være de fremste drivkreftene når det gjelder endringer i trekkmønsteret. For eksempel utgjør våtmarkene viktige hekke- og beiteområder for ender og gjess om våren. Når permafrosten tiner, vil dette sannsynligvis flere våtmarker (som dannes når opptint jord kollapser) oppstå, noe som vil føre til at de sørlige våtmarksarter starter det nordlige trekket tidligere eller til at tallrikheten og mangfoldet blant de nordligste artene øker. Men den lokale føden må samtidig bli tilgjengelig på et tidligere tidspunkt for at dette skal kunne skje.

Pattedyr og fugler som sprer seg nordover vil sannsynligvis føre med seg nye sykdommer og parasitter som vil utgjøre nye trusler mot de arktiske artene. En annen potensiell trussel i forbindelse med at sørlige arter trekker nordover, er at de kan utkonkurrere de nordlige artene når det gjelder leveområde og ressurser. De nordlige artenes reproduktivitet kan bli redusert når egnede leveområder forflytter seg nordover eller blir mindre tilgjengelige.

«Nye plantearter har dukket opp. Vi har aldri sett dem før. Dette har vi observert. Det er kommet nye planter her og på tundraen. Det er også nye arter i elven, arter som tidligere bare fantes i de midtre delene av Russland. Denne sommeren, og fjorårets, var svært varme her. Elvene og innsjøene er fulle av småblomstret andemat, og innsjøen begynte å blomstre. Fisken har fått det vanskeligere og menneskenes fiskemuligheter er blitt mindre når innsjøene fylles opp av nye planter.»

*Larisa Avdeyeva
Lovozero, Russland*



5 Mange kystsamfunn og -anlegg vil bli mer eksponert for stormer.

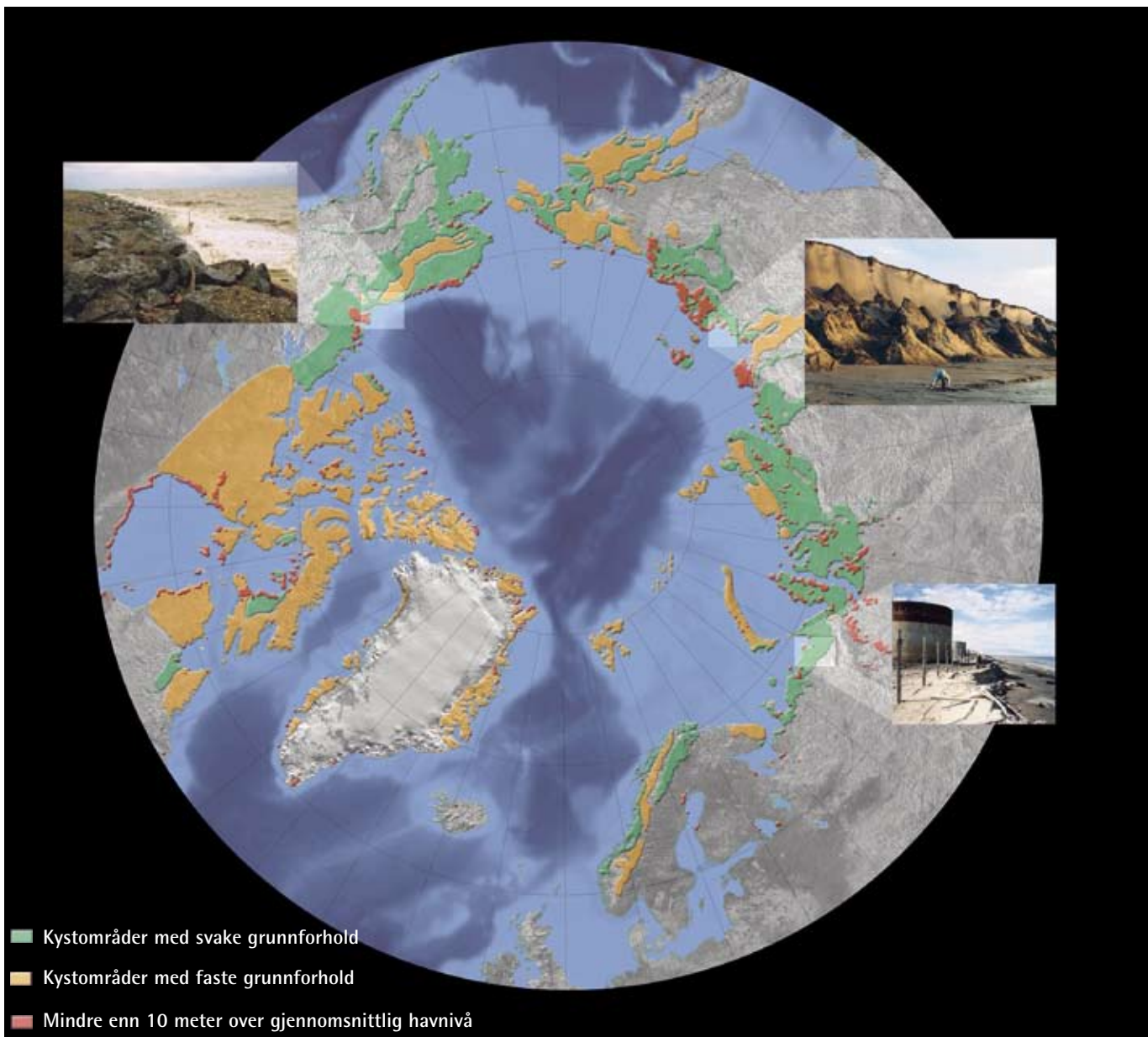


Stigende temperatur er med på å forandre kystlinjen i Arktis og betydelig større endringer forventes i løpet av dette århundret som et resultat av mindre havis, permafrosttining og økt havnivå. Tynnere havis med mindre utbredelse fører til mer åpent vann, noe som øker styrken på de vindskapte bølgene som igjen øker omfanget av bølgeskapt erosjon langs den arktiske kystlinjen. Økt havnivå og permafrosttining i kystområdene forverrer situasjonen. I noen områder kan erosjon langs kysten føre til at harde sedimenter og frossent sjøvann i kombinasjon danner enorme isblokker som fører sedimentet med seg over avstander på 100 km. Disse sedimentfylte isblokkene utgjør en fare for skipsfarten og fører til en ytterligere erosjon av kystlinjen når vinden fører dem med seg. Høyere bølger vil skape et enda større potensial for denne typen erosjonsskader.

Arktiske kystområder utsatt for erosjon

«Noen av våre bosetninger eroderer ut i havet foran våre øyne på oss på grunn av reduksjon i lagdelt is, noe som gjør det mulig for kraftigere stormer å komme inn.»

Duane Smith
Inuit Circumpolar Conference,
Canada



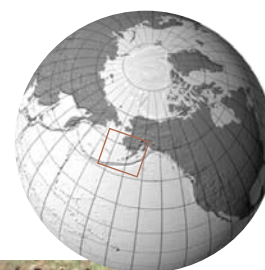
Høyere havnivå vil svært sannsynlig føre til at sumpland og kystsletter oversvømmes, erosjonshastigheten stiger, oversvømmelsene langs kysten blir verre og til at saltvann tvinges inn i bukter, elver og grunnvann, ikke bare i Arktis, men i hele verden. Graden av lokal havnivåøkning vil avhenge av hvor mye havene utvider seg, men også av hvorvidt kystlinjen hever eller senker seg som resultat av krefter som påvirker jordoverflaten (som for eksempel jordskorpebevegelser etter siste istid). Disse forholdene varierer svært langs den arktiske kystlinjen, selv om lavtliggende kystsletter i Arktis generelt sett ikke hever seg og dermed er mer utsatt for store konsekvenser i forbindelse med havnivåøkning. Høyere havnivå ved elveutløp og i bukter vil føre til at saltvann kan trenge lengre innover i landet. Stormer som fører med seg mer intenst regnvær i kystområdene vil øke erosjonsnivået på grunn av avrenning og store mengder sedimenter i vannet langs kysten.

Kystområder med underliggende permafrost er spesielt sårbar i forhold til erosjon etter hvert som isen under havbunnen og kysten tiner når det kommer i kontakt med varmere luft og vann. Selv om det ikke er gjennomført mye spesifikk overvåking i forhold til dette, antas det at den forventede luft- og vanntemperaturøkningen, havisreduksjonen og økningen i stormflohøyden og -hyppigheten vil ha en destabiliserende effekt på permafrosten i kystområdene, noe som vil resultere i økt erosjon. Lavtliggende isrike permafrostholdige kystområder er derfor mest sårbare i forhold til bølgeskapt erosjon. En konsekvens av slik erosjon er at flere sedimenter vil bli ført ut i kystvannet, noe som vil påvirke de marine økosystemene betydelig. Økt nedbryting av permafrost på kysten kan også føre til større utslipp av karbondioksid og metan. Kysterosjon vil føre til økte problemer for enkelte havner, tankskipsterminaler og andre industrianlegg, og også for bosetninger langs kysten. Noen bosetninger og industrianlegg har allerede blitt påført store skader og andre vil måtte flyttes etter hvert som oppvarmingen begynner å kreve sitt langs de arktiske kystene.

I landsbyen Nelson Lagoon i Alaska har innbyggerne bygd sterkere og sterkere bølgebrytere langs kysten bare for å se at de ble ødelagt av sterkere og sterkere stormer. Bølgebryterne var utformet for å holde på kystisen som igjen skulle være den viktigste bufferen mot vinterstormenes bølger. Etter hvert som vintrene nå er blitt varmere, har den bufferen som kystisen utgjorde, blitt borte. Nå slår bølgene med full kraft mot bølgebryteren og landsbyen. Drikkevannsledningen til landsbyen var også truet da stormene eroderte jordoverflaten og forårsaket brudd på ledningen.

Havnivået, egenskapene til materialet i kystsonen, og miljøfaktorer som for eksempel tektoniske krefter og bølger, påvirker alle kystlinjens sårbarhet overfor erosjon. Arktiske kystområder med svake grunnforhold (vist i grønt) som inneholder ulike mengder grunnis, er mer utsatt for erosjon enn kystområder med faste grunnforhold (i oransje). Ustabile kystmiljøer er vist på bildene fra Pechora-, Laptev- og Beauforthavkystene. Tektoniske krefter fører til at grunnunnen heves enkelte steder, som for eksempel på øyene i nordlige Canada, på Grønland og i Norge mens grunnunnen synker andre steder, som langs kysten av Beauforthavet og Sibir. Områder der høyden er mindre enn 10 meter over gjennomsnittlig havnivå (markert i rødt), er spesielt utsatt.

Kysterosjon vil føre til økte problemer for enkelte havner, tankskipsterminaler og andre industrianlegg, og også for bosetninger langs kysten.



5 Mange kystsamfunn og -anlegg vil bli mer eksponert for stormer.



«Jeg gikk på skolen på fastlandet, og da jeg kom tilbake hit, var huset mitt borte. De hadde flyttet det til den andre siden av landsbyen, ellers ville det ha falt uti.»

Leona Goodhope
Shishmaref, Alaska

Shishmaref i Alaska står overfor evakuering

Landsbyen Shishmaref, som ligger på en øy like utenfor kysten av det nordlige Alaska og som har vært bebodd i 4000 år, står nå overfor mulig evakuering. Økte temperaturer fører til havisreduksjon og til permafrosttining langs kysten. Mindre havis gjør at høyere stormbølger når strandsonen og permafrosttining gjør stransonen mer utsatt for erosjon. Dette har svekket grunnen under landsbyens boliger, vannsystem og annen infrastruktur.

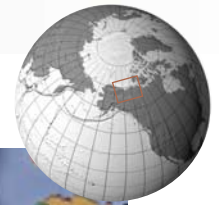
Problemet med kysterrosjon er blitt større og større i Shishmaref de siste årene. Det har allerede vært nødvendig å flytte mer enn ett dusin hus lenger vekk fra sjøen. De 600 innbyggerne har ikke kunnet gjøre annet enn å se på mens den ene enden av landsbyen har blitt fortært, så mye som 15 meter land over natten i én enkelt storm. Fraværet av havis frarøver også innbyggerne for muligheten til å ferdes over isen til fastlandet for å jakte på elg og caribou, noe de vanligvis ville gjøre innen begynnelsen av november. I dag er det åpent vann i bukta om høsten.

Landsbyens eldste, Clifford Weyiouanna, sier: «Strømmene har endret seg, isforholdene har endret seg og tilfrysingen i Tsjuktsjerhavet har også endret seg. Tidligere pleide det å fryse over i siste del av oktober. I dag fryser det ikke over før ved juletid. Under normale forhold skulle havisen ha vært mer enn én meter tykk. Jeg dro ut dit, og isen var bare 30 cm tykk.»

Landsbyboerne anslår at de har mistet hundrevis av kvadratmeter med land over de siste 40 årene. Robert Iyatunguk, som er erosjonskoordinator for landsbyen, forklarer at tilbaketrekkingen av havisen gjør at landsbyen er mer sårbar overfor det stadig voldsommere været. «Stormene kommer oftere, vinden er sterkere, vannet stiger mer og mer. Alle i landsbyen legger merke til det. Dersom bølgene blir på rundt 4 meter, så vil landsbyen bli utslettet på noen få timer. Vi er i panikk fordi vi mister så mye areal.

Dersom flyplassen blir oversvømt, mister vi også muligheten til å bli evakuert med fly.»





Kraftig erosjon i Tuktoyaktuk i Canada

Tuktoyaktuk er den viktigste havnen i den vestlige delen av canadisk Arktis og den eneste byen med fast bosetning i det lave kystområdet ved Beauforthavet. Tuktoyaktuks beliggenhet gjør byen meget sårbar overfor den økte kysterosjonen forårsaket av redusert havisutbredelse og -varighet, raskere permafrosttining og høyere havnivå. Tuktoyaktuk-halvøya kjennetegnes av sandodder, små øyer og en hele serie innsjøer som har blitt dannet av den tinende permafrosten («termokrast»-innsjøer). Erosjon er allerede et stort problem i og rundt Tuktoyaktuk, og truer områder av kulturell og arkeologisk interesse og har forårsaket fraflytting fra en grunnskole, bolighus og andre bygninger. En rekke beskyttelsesstrukturer langs kysten blitt ødelagt av stormflo og kraftige bølger.



Etter hvert som oppvarmingen fortsetter og havnivået stiger, forventes det at kysten trekker seg lenger tilbake, at øyer blir utsatt for erosjon, at det oftere vil bli oversvømmelser i lavtliggende områder og at saltvann vil trenge inn i termokrast-innsjøene som dermed blir omdannet til brakkvanns- eller saltvannslaguner. Det foregår allerede i dag omfattende erosjon av klippene, og erosjonsnivået forventes å stige ytterligere på grunn av økt havnivå, permafrosttining og økt potensiale for kraftige stormer i den utvidede sesongen med åpent hav. Forsøkene på å kontrollere erosjonen i Tuktoyaktuk vil bli stadig dyrere ettersom kystlinjen fortsetter å trekke seg tilbake. I siste instans kan stedet bli ubeboelig.

Erosjon truer de russiske oljelagrene

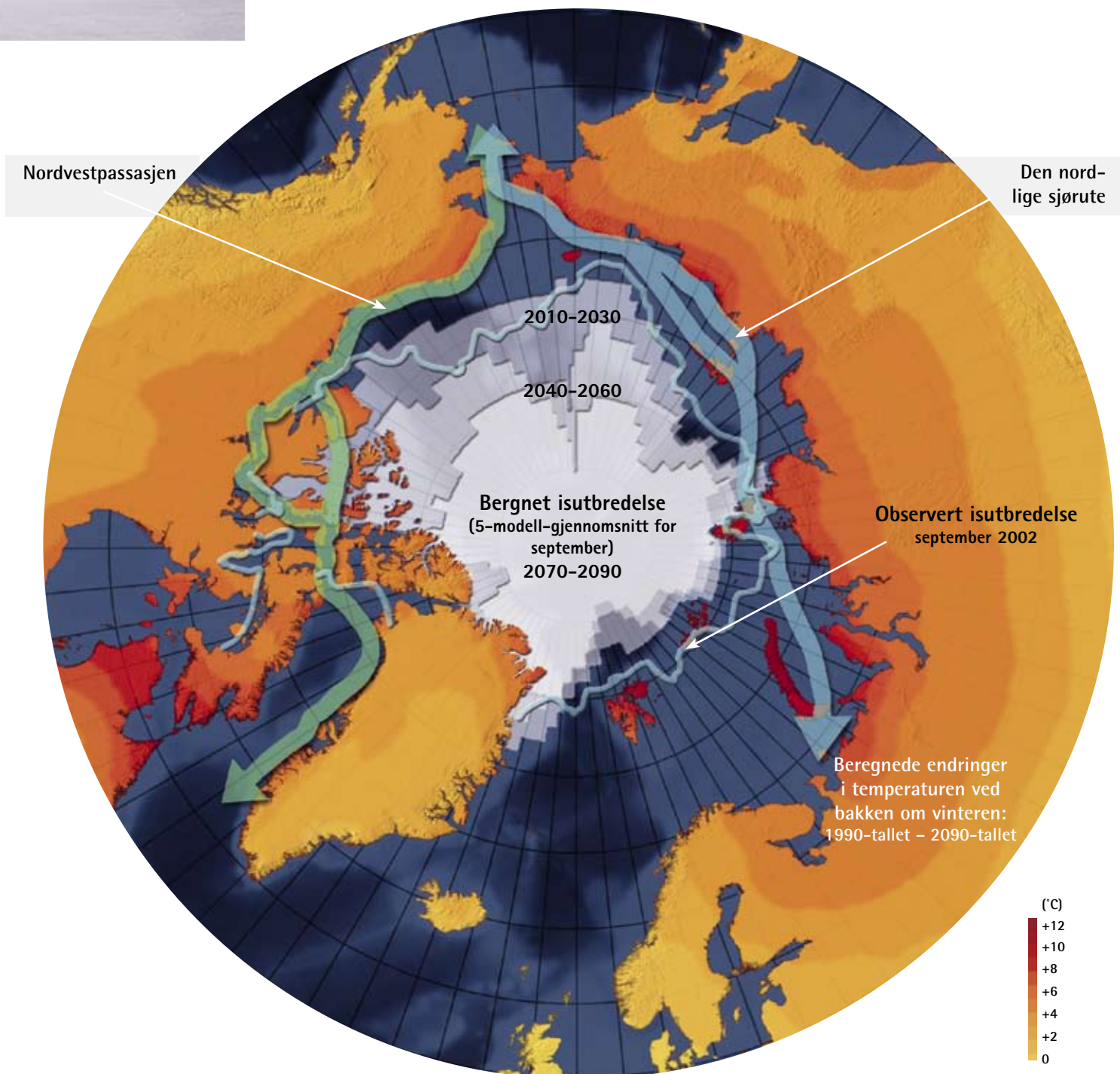
Oljelageret på Varandej ved Petsjorahavet ble bygd på en barriereøy. Skader på sanddynene og stranden som en følge av anleggets konstruksjon og bruk har satt fart i den naturlige erosjonen. Kystområdene ved Petsjorahavet er regnet for å være relativt stabile bortsett fra på de stedene der de er påvirket av menneskelig aktivitet. Fordi dette stedet er blitt berørt, er det blitt mer sårbart for skader fra stormflo og medfølgende bølger. Dette problemet vil øke etter hvert som klimaet fortsetter å bli varmere. Som med de andre lokalitetene som er blitt diskutert her, vil havisreduksjon, permafrosttining og havnivåøkning forsterke de eksisterende erosjonsproblemene. Dette er et eksempel på mulige kombinerte konsekvenser som resultat av både klimarelaterte og andre menneskeskapte forstyrrelser. Steder som allerede er truet av menneskelig aktivitet, er ofte mer sårbare overfor virkningene av klimaendringer.



6 Redusert havis vil svært sannsynlig øke både skipsfarten og tilgangen til ressursene



Observasjoner over de siste 50 årene viser at havisutbredelsen i Arktis går tilbake i alle årstider og at den største tilbakegangen skjer om sommeren. Nyere undersøkelser estimerer årlig tilbakegang i havisutbredelse i Arktis til 5-10 % og reduksjon i tykkelse på 10-15 % over de siste tiårene. Målinger utført med ubåt-sonar i det sentrale Arktiske hav avslørte en istykkelsesreduksjon på 40 % i dette området. Til sammen viser disse trendene at Polhavet vil få lengre perioder med mindre og tynnere isdekke, noe som vil medføre at det vil bli ytterkanten av det arktiske bassenget vil bli lettere tilgjengelig for skip (selv om dette ikke vil være likt distribuert).



Klimamodellene viser en akselerering av denne trenden, med perioder med omfattende smelting stadig lenger utover våren og høsten. Modellberegninger viser at havisen vil stadig trekke seg lenger tilbake om sommeren og lenger vekk fra de fleste av de arktiske landmassene. Dette vil åpne for nye seilingsruter og forlenging av seilingssesongen.

Seilingssesongen blir ofte definert som det antallet dager i året da det er mulig å seile, generelt i betydningen dager med mindre enn 50 % haviskonsentrasjon. Seilingssesongen langs Den nordlige sjørute er beregnet å øke fra dagens 20-30 dager per år til 90-100 dager i år 2080. Det er mulig å seile med skip med isbryterkapasitet i havområder med opp til 75 % haviskonsentrasjon, og det antas en seilingssesong på ca. 150 dager per år for slike skip innen år 2080. Åpning av nye seilingsruter og utvidet seilingssesong kan få store konsekvenser for transport og for tilgang til naturressurser.



Den nordlige sjørute (NSR)

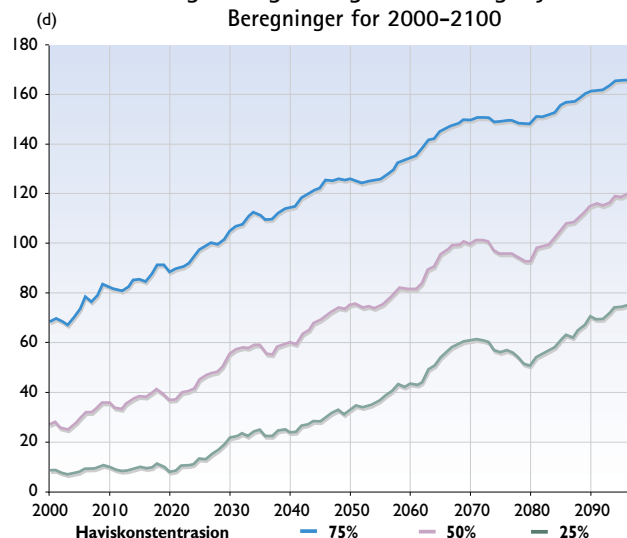
Den nordlige sjørute (NSR) er det formelle russiske navnet på den sesongmessige islagte sjøruten i den nordlige delen av Eurasia fra Novaja Zemlja i vest til Beringstredet i øst. NSR blir administrert av det russiske transportministeriet og har vært åpen for trafikk for skip fra alle land siden 1991. For trans-arktisk transport utgjør NSR en innsparing på ca. 40% på avstanden mellom Nord-Europa og det nordøstre Asia og nordvestkysten av Amerika sammenlignet med den sørlige ruten gjennom Suez- eller Panamakanalene.

NSR gir også regional tilgang til det russiske Arktis for skip som seiler nordover fra Europa og østover inn i Karahavet og som returnerer vestover til Europa eller Nord-Amerika. Regional tilgang gjennom Stillehavssiden av NSR oppnås når skipene går gjennom Beringstredet til havner i Laptjevhavet eller Øst-Sibirhavet og returnerer østover til Asia med last. Siden 1979 har russiske isbrytere sørget for helårig tilgang til den vestlige delen av NSR med en rute gjennom Karaporten og over Karahavet til Jenisej.

I det russiske Arktis er det store mengder olje, naturgass, tømmer, kopper, nikkel og andre ressurser som fortrinnsvis eksporteres sjøveien. Regional og trans-arktisk shipping langs NSR vil svært sannsynlig dra fordel av en fortsatt reduksjon av havis og en forlenget seilingssesong.

Satellittbildet av havisens utstrekning 16. september 2002 gir en god illustrasjon på den marine atkomst rundt det arktiske bassenget. En så lav minste utstrekning av havis om sommeren gir store områder med åpent vann langs det meste av NSR. Jo lenger nord iskanten trekker seg, jo lenger nord kan skip seile i åpent vann i trans-arktisk overfart og på denne måten unngå seiling gjennom de grunne kystfarvannene og de trange sundene i russisk Arktis.

Seilingssesongen langs Den nordlige sjørute
Beregninger for 2000-2100



Grafen viser den beregnede økningen i antall dager i seilingssesongen gjennom Den nordlige sjørute for et gjennomsnitt av ACIAs fem modellberegninger.

Observert havisutbredelse
16. september 2002





Nye og reviderte nasjonale og internasjonale regler med fokus på sikkerheten til havs og miljøvern vil være nødvendig.

Suverenitet og sikkerhet

Etter hvert som tilbaketrekkingen av havisen i Arktis åpner opp historisk sett stengte passasjer, vil sannsynligvis også spørsmålet om suverenitet over seilingsrutene og ressursene på havbunnen dukke opp. Spørsmål relatert til sikkerhet kan melde seg. En av konsekvensene av den økte marine tilgangen til transport og offshore-utvikling, vil bli kravet om nye og reviderte nasjonale og internasjonale regler som fokuserer på sikkerheten til sjøs og på miljøvern. Et annet sannsynlig resultat av denne økende tilgangen vil være en økning i potensielle konflikter blant brukerne av de arktiske farvannene og kysthavene, for eksempel i Den nordlige sjørute og i Nordvestpassasjen. Kommersielt fiske, seljakt, urfolks jakt på marine ressurser, turisme og skipsfart konkurrerer alle sammen om å bruke de trange sundene i disse farvannene, samtidig som de også er de foretrukne trekkrutene for sjøpattedyr.

Med økt marin tilgang til de arktiske kysthavene for skipsfart, offshore-utvikling, fiskeri og annen bruk, vil nasjonale og regionale myndigheter bli forespurt om å øke tjenestetilbudet i forhold til isbryterassistanse, forbedrede iskart og isvarsler, økt beredskap for farlige situasjoner og betydelig bedre systemer for oljevernberedskap i is. Selv om havisen blir tynnere og det blir mindre av den, kommer den sannsynligvis til å bli mer mobil og dynamisk i mange kystområder der det tidligere var ganske stabile forhold. Konkurrerende bruk av nylig åpnete eller delvis isdekte områder vil kreve økt tilstedeværelse med hensyn på håndhevelse og kontroll.

Økt tilgang til Polhavet vil føre til krav om at skipene som skal benyttes i området må bygges etter strengere krav og standarder sammenliknet med skip som opererer i åpne farvann. Internasjonale og nasjonale regler som har som mål å øke den maritime sikkerheten og miljøvernet i arktiske farvann, må ta i betraktning at hvert eneste skip med stor sannsynlighet vil støte på is et eller annet sted under overfarten. Det vil være dyrere å bygge, operere og vedlikeholde slike skip.

Havisendringer kan gjøre det vanskeligere for skipsfarten

Ikke alle er enige i at redusert havis vil gi skipsfarten det oppsving mange venter, i alle fall ikke i den første fasen av det 21. århundre. De havisendringene som har funnet sted i det siste kan faktisk gjøre Nordvestpassasjen mindre forutsigbar for skipsfart. Undersøkelser gjennomført av den canadiske istjenesten (Canadian Ice Service) viser at isforholdene i de arktiske områdene av Canada i løpet av de siste 30 årene har vært preget av stor årlig variasjon. Denne variasjonen har eksistert til tross for at hele regionen siden 1968-1969 har opplevd en generell reduksjon av havisutbredelsen i september måned. For eksempel har det østlige canadiske Arktis noen år (1972, 1978, 1993 og 1996) hatt dobbelt så stort areal med havis sammenliknet med det første eller det andre året etter. Denne store årsvariasjonen i havisforholdene gjør det svært vanskelig å planlegge regelmessig skipsfart gjennom Nordvestpassasjen.

I tillegg tyder forskning utført av det canadiske havforskningsinstituttet (Institute of Ocean Sciences) på at volumet av flerårig havis som beveger seg inn i Nordvestpassasjen kontrolleres av «isbroer» i de nordlige kanalene og stredene rundt øyene i arktisk Canada. Med et varmere arktisk klima som medfører høyere temperaturer og en lengre smeltingssesong, er det sannsynlig at disse broene bli svakere (og sannsynligvis vil de



også være tilstede en kortere periode hver vinter) og bevegelse av is gjennom kanalene og stredene kan komme til å forekomme oftere. Mer flerårig is, og potensielt mange flere isfjell, kan derfor bevege seg inn i seilingsrutene i Nordvestpassasjen, og utgjøre en ytterligere risiko for skipsfarten. På tross av en kraftig tilbaketrekking av havisen rundt det arktiske bassenget, er det åpenbart at den uvanlige øygeografien i det nordlige Canada skaper spesielt kompliserte havisforhold og en stor grad av variasjon i tiårene fremover.

Oljeutslipp: Et eksempel på risiko som kan forårsakes av enklere tilgang

Når det blir lettere atkomst til skipsleder og til ressurser, øker man også risikoen for miljøskade. Et forhold som selvsagt bekymrer, er oljeutslipp og andre industriulykker. Resultatene fra en fersk undersøkelse tyder på at effektene av oljeutslipp i et kaldt havmiljø på høye breddegrader varer mye lengre og er mye verre enn tidligere antatt.

I 1989 gikk oljetankeren Exxon Valdez på et rev under en manøvrering for å unngå isen i seilingsleden, og 42 millioner liter råolje strømmet ut i havet i Prince William-sundet i Alaska. Utslipet var det verste tankskipuhellet noensinne i amerikanske farvann. Det tok livet av minst 250 000 sjøfugl og tusenvis av marine pattedyr. Det førte til stenging av kommersielle fiskebanker og av områder som tradisjonelt sett hadde vært brukt til matauk. Forskerne visste at de umiddelbare følgene ville bli katastrofale, men noen forventet at miljøet ville komme seg igjen så snart oljen fordampet og ble oppløst. Men det viste seg at livet i havet led under dette i mange år, at det fremdeles lider, da selv små oljerester førte til redusert overlevelse, reproduksjonen og vekst. Oljerester har skapt et hierarki av problemer for fisk, sjøfugl og marine pattedyr.

Den ferske undersøkelsen fant at Valdez-oljen fremdeles var innkapslet i stredene i Prince William-sundet sommeren 2003. «Oljen siver ned i hull,» sa Stanley Rice fra det nasjonale havfiskelaboratoriet (National Marine Fisheries Service) i Juneau i Alaska. Han ledet en gruppe som gravde ca. 1000 hull på stredene i 2003. «Der er oljen slik den var 2-3 uker etter utslippet.» Sjøotere og andre dyr som graver etter mat, eksponeres for oljen og for de farlige konsekvensene av den, sa han. Undersøkelser av sjøotere, harlekinender, laks og skalldyr viser at oljeplakene som fremdeles ligger på noen av stredene, slipper ut nok hydrokarboner til at det fører til kroniske problemer som, for enkelte arters del, vil vedvare i mange år.

Ekspertene sier at den overgripende strategien for oljeutslipp i Arktis må være forebyggende. Nytt regelverk for skip, offshore-installasjoner, havner og annen aktivitet langs kysten må utarbeides med det formål å redusere risikoen for oljeutslipp gjennom forbedrede konstruksjonsstandarder og driftsprosedyrer. Likevel må utslipp forventes, og oljevernberedskapsrutiner i Arktis vil være mer komplekse og krevende i islagte farvann enn i Prince William-sundet eller i åpent hav, særlig ettersom effektive responsprosedyrer fremdeles ikke er utviklet.





Landtransport

Til forskjell fra landområder i det meste av verden, er landområdene i Arktis generelt sett enklere å komme til om vinteren når tundraen er frossen og isveier og -broer er tilgjengelige. Om sommeren, når det øverste laget av permafrosten tiner og terrenget omdannes til bløte myrer, kan ferdsel over land være vanskelig. Mye av den industrielle aktiviteten er avhengig av frossen mark og mange av de nordlige bosetningene er avhengige av isveier for transport av matvarer og andre forsyninger. Stigende temperatur har allerede ført til at brukssesongen for isveiene er blitt kortere, noe som har ført til økte utfordringer i mange områder. Disse problemene forventes å øke etter hvert som temperaturen fortsetter å stige. Telehiv og svekkelse av grunnen som en følge av tining er viktige faktorer som påvirker veienes kvalitet. Transportrutene kommer sannsynligvis til å være særlig sårbare overfor slike effekter under endrede klimaforhold. I tillegg vil værendringene (som f.eks. kraftig nedbør) forventet som følge av oppvarming også ha betydning for utløsning av jord-, stein- og snøras.

En kortere isveisesong

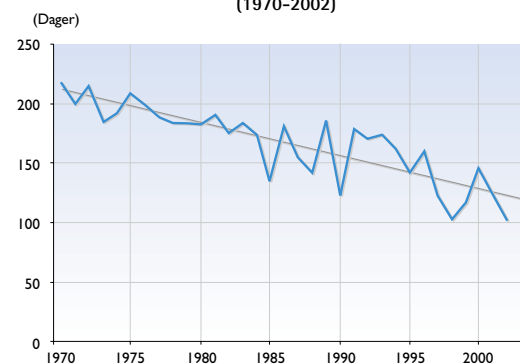
I januar 2003 lå man langt etter tidsskjema i oppføringen av vinterveiene i Northwest Territory. Les Shaw, transportansvarlig i Fort Simpson-regionen, sa at varmt vær og mangel på snø førte til at konstruksjonen av vinterveier og isbroer lå flere uker etter skjema. Isbroen over Mackenzie-elven ved Fort Providence var et godt eksempel. «De siste to årene har isen lagt seg i kanalen mellom jul og nyttår. Det er virkelig merkelig. Vanligvis vil den legge seg i begynnelsen av desember,» sa Shaw. Dette skaper store problemer for gruve-, olje- og gassindustrien i området. Disse er avhengige av frosne veier for å frakte inn hundrevis av tonn med forsyninger hvert år.



Effektene av tining på olje-, gass- og skogindustrien

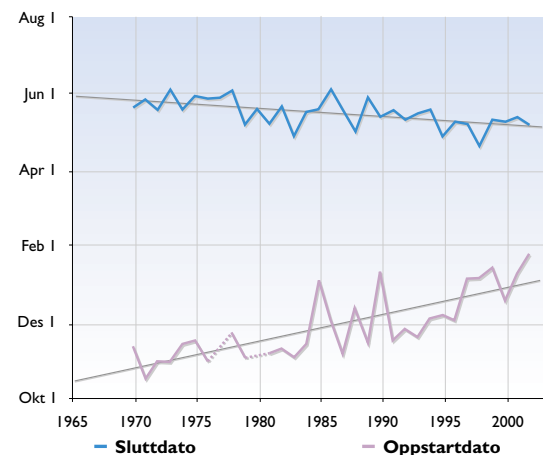
På grunn av oppvarmingen har det antall dager da det er tillatt å kjøre på tundraen (i følge standarder utarbeidet av Alaska Department of Natural Resources) gått ned fra 200 til ca. 100 i løpet av de siste 30 årene. Dette har medført en halvering av antall dager det er mulig å benytte utstyr til prøveboring og utvinning av olje- og gass. Disse standardene, som er utarbeidet for å beskytte den sårbare tundraen mot ødeleggelse, er i dag under revisjon, og resultatet kan bli at standardene blir noe mindre strikte. Dette har ført til en bekymring for potensielle skader på tundraen. Skogbruk er en annen industri som krever frossen mark og frosne elver. Høyere temperaturer betyr tynnere is på elvene og en lengre periode der marka ikke er frossen. Dette fører til en kortere periode der det er mulig å frakte tømmer fra skogene til sagbrukene, og det gir økte problemer for tømmertransporten.

Transportdager på tundraen i Alaska om vinteren (1970-2002)



Antallet dager som prøveboring på tundraen tillates i følge standarder fastsatt av Alaska Department of Natural Resources er blitt halvert de siste 30 årene som en følge av et varmere klima. Standarden baserer seg på hvor hard tundraen er og på hvordan snøforholdene er, og er fastsatt for å beskytte tundraen mot skader.

Oppstarts- og sluttdato for transport på tundraen i nordlige Alaska (North Slope)

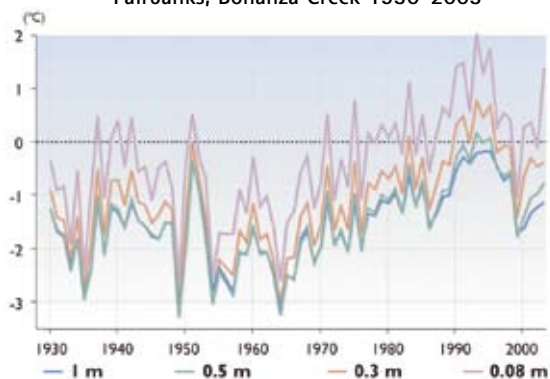


Antallet transportdager for prøveboring på tundraen i Alaska har gått ned de siste tiårene etter hvert som oppstartdatoen kommer senere og sluttdatoen tidligere.

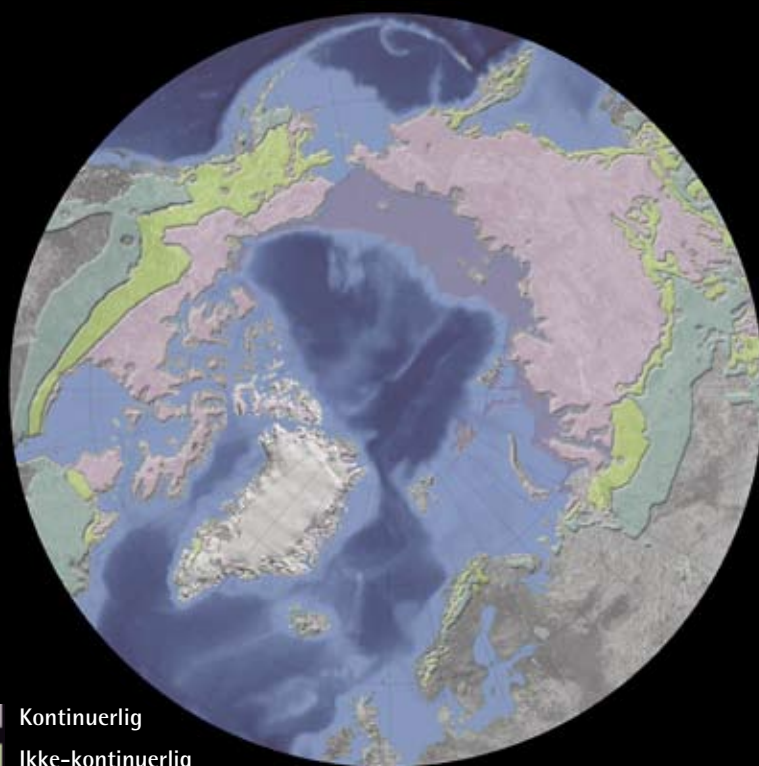
Nedbryting av permafrosten

Lufttemperatur, snødekke og vegetasjon, som alle påvirkes av klimaendringer, påvirker også temperaturen i den frosne bakken og dybden på den sesongmessige tiningen. Temperaturen i permafrosten over det meste av de sub-arktiske landområdene har økt med fra flere tideler av en grad opp til 2 °C de siste tiårene, og dybden i de aktive lagene har økt i mange områder. Disse endringene forventes å fortsette de neste 100 årene, og hastigheten forventes å øke. Det forventes at 10-20 % av dagens permafrostdekke vil brytes ned, og den sørlige grensen for permafrosten forventes å forflytte seg flere hundre kilometer nordover.

Gjennomsnittlig årlig bakketemperatur
Fairbanks, Bonanza Creek 1930–2003

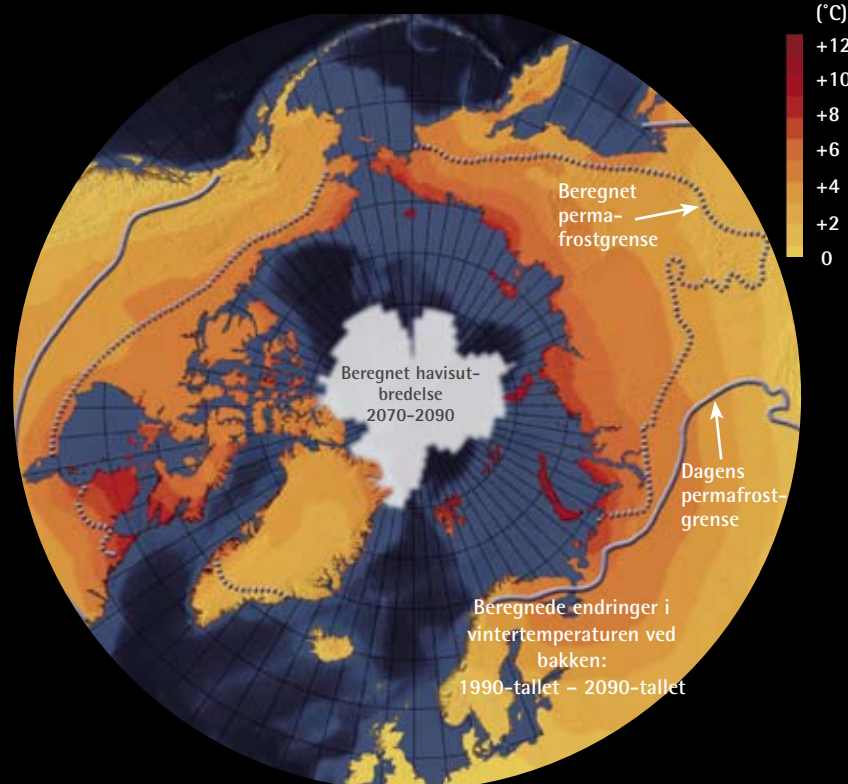


Observerte permafrostområder



- Kontinuerlig
- Ikke-kontinuerlig
- Sporadisk
- Under havet

Beregnete endringer permafrostgrensen



PERMAFROSTENS ABC

Permafrost er jord, stein eller sedimenter som har holdt en temperatur under 0 °C i to eller flere år etter hverandre. Det er permafrost under det meste av landområdene i Arktis, og den er alt fra noen meter til flere hundre meter tykk.

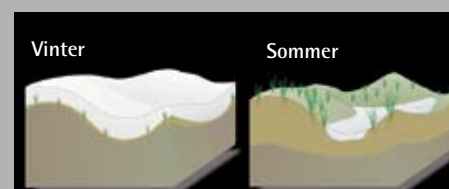
Kontinuerlige permafrostområder er områder der permafrosten omfatter hele området og der den kan bli opp til 1500 meter dyp, for eksempel i deler av Sibir.

Sporadiske eller ikke-kontinuerlig permafrostområder er områder der det er permafrost under 10 til 90 % av området, og som kan være bare noen meter tykk enkelte steder.

Det aktive laget er det øvre laget i permafrosten som tiner hvert år i den varme årstiden og som fryser igjen om vinteren.

Nedbryting av permafrost betyr at en del av det tidligere aktive laget ikke fryser igjen om vinteren.

Termokarst er et sted der grunnen synker og faller sammen på grunn av tining av permafrost. Dette kan medføre at det dannes nye våtmarker, innsjøer eller kratre på overflaten.





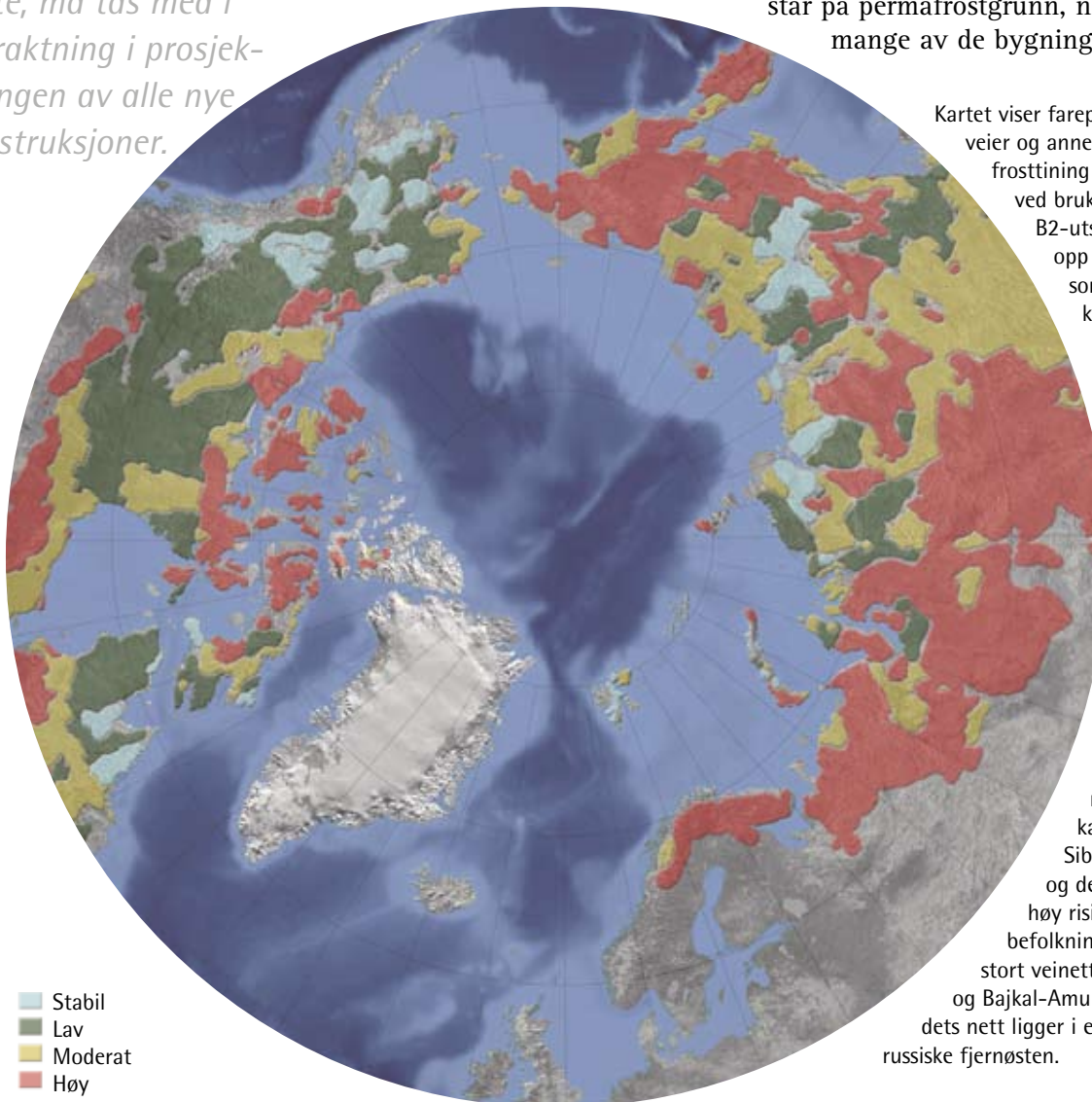
Den forventede oppvarmingshastigheten, og konsekvensene av dette, må tas med i betraktning i prosjekteringen av alle nye konstruksjoner.

Konsekvenser for infrastruktur

Den beregnede økningen i permafrosttemperatur og i dybde på det aktive laget, kommer svært sannsynlig til å føre til setning og til å bli en stor utfordring for de som skal prosjektere og bygge veier, hus og industrianlegg. I mange tilfeller vil det sannsynligvis være behov for å iverksette forebyggende tiltak for å unngå strukturell svikt og de konsekvenser dette medfører. Den forventede oppvarmingshastigheten, og konsekvensene av dette, må tas med i betraktning i prosjekteringen av alle nye konstruksjoner. Det vil være behov for å bore dypere for påling, tykkere isolasjon og andre tiltak som vil føre til økte kostnader.

Infrastruktur i fare innen år 2050 som en følge av permafrost-tining

I noen områder fører kombinasjonen av oppvarming og utilstrekkelig ingeniørarbeid til problemer. Vekten av bygninger på permafrost er en viktig faktor. Mange tunge, fleretasjes bygninger i Nord-Russland har blitt påført strukturelle skader, mens de lettere husene i Nord-Amerika har vært utsatt for færre problemer i forbindelse med økningen i permafrost-temperaturen. Kontinuerlige reparasjons- og vedlikeholdsarbeid er helt nødvendig for bygninger som står på permafrostgrunn, noe som har blitt klart ettersom mange av de bygningene som sviktet ikke var godt



Stabil
Lav
Moderat
Høy

Kartet viser farepotensial per risikonivå for bygninger, veier og annen infrastruktur som en følge av permafrosttining ved midten av dette århundret, beregnet ved bruk av Hadleys klimamodell med et moderat B2-utslipps-scenario. Farepotensialet er delt opp i områder med høy, middels og lav følsomhet overfor tining-induserte setningskader. Områder med stabil permafrost, der det ikke er sannsynlig at det vil bli endringer, er også vist. En sone i den høye og den midtre risikokategorien finnes i stor grad rundt hele Nordishavet og indikerer at det er et stort potensiale for kysterosjon. Innenfor disse områdene finnes det også befolknings-sentra (Barrow, Inuvik) samt elveterminaler på kysten av det arktiske Russland (Salekhard, Igarka, Dudinka, Tiksi). Transport- og rørledningskorridorer krysser soner med et høyt risikonivå i det nordvestlige Nord-Amerika. Området der man finner Nadym-Pur-Taz naturgassutvinningskomplekset og dets infrastruktur i det nordvestlige Sibir, ligger også i høyrisikokategorien. Store deler av det sentrale Sibir, spesielt Republikken Sakha (Jakutia) og det russiske fjernøsten, har en moderat til høy risiko. I disse områdene er det flere store befolknings-sentra (Jakutsk, Norilsk, Vorkuta), et stort veinett samt både den transsibiriske jernbanen og Bajkal-Amur-jernbanen. Atomkraftverk Bilibino og dets nett ligger i et område med et høyt risikonivå i det russiske fjernøsten.

nok vedlikeholdt. De problemene man i dag har i Russland, er problemer som også kan forventes i andre deler av Arktis dersom bygningene ikke blir utformet og vedlikeholdt for å møte den fremtidige oppvarmingen.

Strukturproblemer på transport- og industriell infrastruktur begynner også å bli vanligere som et resultat av at permafrosten tiner i det nordlige Russland. Mange dårlige jernbanelinjer er blitt skadet, i flere byer er rullebanene på flyplassene i en svært dårlig forfatning og olje- og gassrørledinger sprekker, noe som har ført til ulykker og utslipp som har gjort store landområder ubrukelige på grunn av forurensning. Fremtidige bekymringer omfatter blant annet svekkelse av vegger i dagbrudd og effekten av forurensning fra de store slagghaugene som befinner seg ved gruver og dagbrudd når de frosne lagene smelter og overskuddsvann og miljøgifter slippes ut i grunnvannet.

Effektene av permafrosttiningen på infrastrukturen i dette århundret vil bli alvorligere og mer umiddelbare i områder med diskontinuerlig permafrost enn i områder med kontinuerlig permafrost. Ettersom fullstendig tining kommer til å ta flere århundrer, og fordelene (som enklere bygging på tint mark) først kommer til syne etter at det har skjedd, vil konsekvensene de nærmeste ca. 100 år først og fremst være negative (dvs. destruktive og kostbare).

Jakutsk. Russland opplever infrastruktursvikt ettersom permafrosten tiner

I Jakutsk, en russisk by som er bygd på permafrostgrunn i det sentrale Sibir, har mer enn 300 bygninger fått setningsskader pga. tining. Infrastrukturen som er blitt slik skadet omfatter flere store bolighus, et kraftverk og en rullebane på flyplassen i Jakutsk. Noen mener at disse skadene skyldes klimaoppvarmingen mens andre hevder at bedre byggeskikk og bedre vedlikehold kunne ha forhindre mange av problemene.

Forskning på følgene av oppvarmingen på infrastruktur tyder på at selv en liten økning i lufttemperaturen påvirker bygningenes stabilitet i sterk grad, og at fundamenteringssikkerheten svekkes betraktelig med økende temperatur. Denne effekten kan føre til en betydelig reduksjon i strukturenes levetid, så vel som potensiell struktursvikt.

Etter hvert som den globale oppvarmingen fortsetter kan man forvente ugunstige påvirkninger på infrastrukturen i hele regionen. Mange av disse påvirkningene kan forutses slik at strukturene kan omformes og rekonstrueres på en måte som gjør at de kan motstå ytterligere press når klimaet endrer seg. Dette vil selvsagt koste penger, men kan samtidig forhindre de dramatiske problemene registrert i Jakutsk og i andre deler av Arktis.

Oversvømmelser og ras

Et annet klimarelatert problem for infrastrukturen har å gjøre med oversvømmelser, jordras, steinras og snøras. Slike hendelser er nært knyttet opp mot store nedbørsmengder og kraftige regn- og snøfall, kraftig avrenning fra elvene og høye temperaturer, forhold som forventes å forekomme hyppigere etter hvert som klimaendringene skrider frem. Jordskreinter blir også mindre stabile når permafrosten tiner, og også dette forventes å forårsake flere ras. Noen viktige transportruter er følsomme overfor den typen værphenomener som er forventet å øke når klimaet blir varmere. Det vil derfor være nødvendig å sikre eller forbedre disse rutene.



Bygning som er skadet pga. tining av permafrosten i Tsjaerskij (ved Kolyma-elvens nedre løp), Russland.



BPs operasjonssenter, Prudhoe Bay, Alaska, bygd på påler for å forhindre skade fra tinende permafrost.





Vannivået i mange elver og innsjøer i Nunavut (det østlige arktiske Canada) har sunket over de siste 40 årene med de mest dramatiske fallene det siste tiåret. Urfolkene har lenge vært avhengige av både drikkevann og fisk fra disse kildene. Elver gjorde det også mulig å bruke båt til jaktmarker som man nå ikke lenger kan nå.

Konsekvensene av permafrosttining på de naturlige økosystemene

Det eksisterer en gjensidig påvirkning mellom klima-påførte endringer i permafrost og i vegetasjon. Når permafrost tiner, påvirker det vegetasjonen som vokser på overflaten. Samtidig spiller vegetasjonen, som også påvirkes av klimaendringene, en viktig rolle i å isolere og vedlikeholde permafrosten. For eksempel bidrar skog til å holde permafrosten vedlike fordi trekronene hindrer solens varme i å nå bakken, og det tykke moselaget på bakken isolerer grunnen. Det kan antas at den forventede økningen i skogødeleggelse, som for eksempel brann og insektangrep, vil føre til at permafrosten brytes ytterligere ned utover det som temperaturøkningen alene forventes å forårsake

I noen nordlige skoger bruker enkelte treslag (spesielt svartgran) den isrike permafrosten til å opprettholde jordsmonnets struktur der de vokser. Tining av denne frosne grunnen kan føre til at trærne lener seg betydelig til siden eller at de faller totalt sammen. Derfor, selv om en lang og varm vekstsesong kunne ha ført til økt vekst for disse trærne, så kan permafrosttiningen føre til at røttene blir undergravd eller ødelagt som en følge av ujevne setninger i grunnen. Dette vil da isteden føre til at trærne faller over og dør. I tillegg vil de områdene der grunnen synker som følge av permafrosttiningen, ofte bli de nyeste laveste områdene i landskapet selv om trærne ikke faller over. Disse områdene vil iallfall sesongmessig fylles med vann og oversvømme trærne.

Potensialet for at mange grunne elver, pytter og våtmarker i Arktis skal tørke ut i et varmere klima øker ved tapet av permafrost. Når permafrosten tiner, kommer dammer og pytter i kontakt med grunnvannet. De kan følgelig tørke ut dersom tap av vann på grunn av siving ned i grunnen og fordamping er større enn påfyll av vann fra snøsmelting om våren og fra nedbør om sommeren. Arktiske våtmarker er spesielt følsomme overfor permafrostnedbryting som knytter overflatevann til grunnvannet. De som ligger langs den sørlige grensen for permafrosten, der det er mest sannsynlig at temperaturøkningen bryter ned den varme permafrosten, er mest utsatt for risiko for slik drenering. Urfolk i Nunavut (det østlige arktiske Canada) har i det siste lagt merke til at flere elver, myrer og sumper har tørket ut, og i så stor grad at tilgangen til de tradisjonelle jaktmarkene, og også i enkelte tilfeller til vandrende fisk, er blitt vanskeliggjort. Det foreligger også en stor fare for en katastrofal uttørking av innsjøer på permafrostgrunn slik som dem man finner langs den vestlig arktiske kysten i Canada.



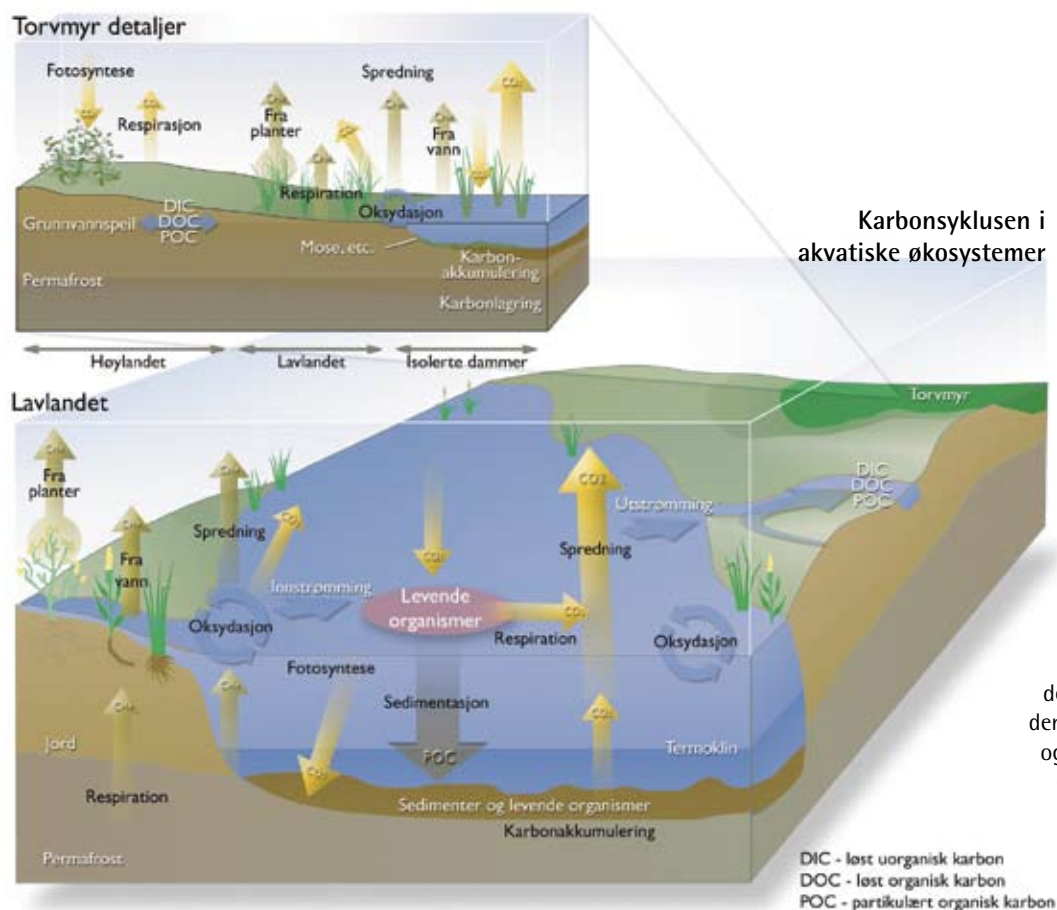
Andre steder vil oppvarming av permafrost på overflaten, over frossen grunn, og påfølgende sammenbrudd av grunnun, føre til at det dannes flere våtmarker, dammer og dreningsnett, spesielt i områder med høy konsentrasjon av grunnis. Slik tining vil imidlertid også føre til en dramatisk økning i sedimentavsetningen i elver, innsjøer, deltaer og kystmiljøet, noe som vil medføre betydelige konsekvenser for det akvatiske livet i disse ulike vannforekomstene.

Endringer i vannbalansen i de nordlige våtmarkene er spesielt viktig siden de fleste våtmarker i permafrostområder er torvmyrer, som absorberer eller slipper ut karbon (som karbondioksid eller metan) avhengig av dybden av vannspeilet. Der er mange usikkerheter knyttet til fremskriving av slike endringer. En analyse antyder at en temperaturøkning på 4 °C vil kunne redusere vanninnholdet i de nordlige torvmyrene, selv om det skulle bli en liten og vedvarende økning i nedbør, noe som vil kunne føre til at torvmyrene går over fra å slippe ut karbondioksid til atmosfæren til å absorbere den. Det er også mulig at det motsatte kan skje ved at oppvarming og uttørking øker nedbrytningshastigheten av organisk stoff raskere en fotosyntesehastigheten, noe som vil føre til en økning i karbondioksidutslippet. En kombinasjon av temperaturøkning og forhøyet grunnvannsnivå kan resultere i økt metanutslipp. Beregninger basert på en fordobling av pre-industrielle karbonutslipp, noe som forventes rundt midten av dette århundret, viser en kraftig nordlig forflytning (200–300 km) av den sørlige grensen for disse torvmyrene i det vestlige Canada, samtidig som struktur og vegetasjon vil endre seg betydelig helt ut til kysten.



«Det er mye mindre vann rundt alle disse øyene [i Baker-sjøen]... Det pleide å være mye vann. Før kunne vi komme oss frem med våre utenbordsmotorer og båter, men nå er det mindre og mindre vann overalt... Det er blitt mye mindre fisk fordi det ikke er så mye vann mer. Det var mer fisk før og den var større. Nå er det nesten ikke mulig å få røye i Prince River eller på noen av de andre fiskeplassene.»

L. Arngna'naaq
Baker Lake, Canada



Forenklet skjema over karbonsyklusen i akvatiske økosystemer på høye breddegrader. Arktiske våtmarker slipper normalt ut karbon til atmosfæren under vårmeltingen og når plantene dør om høsten. Deretter absorberer de karbon fra atmosfæren når plantene vokser i den varme årstiden. Fremtidige endringer i utslipp og optak av karbon vil derfor være avhengig av endringer i vegetasjonen, temperaturen og jordsmonnet. På samme måte vil karbonsyklusen i innsjøer, dammer og elver også være følsomme for direkte eller indirekte følger av klimaendringene.



I Arktis lever det en rekke urfolk hvis kultur og virksomhet er formet av det arktiske miljøet. De har samvirket med sitt miljø i generasjoner gjennom nøyaktige observasjoner og dyktige tilpasninger i forbindelse med sine tradisjonelle matauksaktiviteter og levestett. Gjennom å leve nært knyttet opp mot omgivelsene har disse menneskene utviklet en unikt innsiktsfull måte å observere, tolke og respondere på konsekvensene av miljøendringer.

Urfolks observasjoner og perspektiver er derfor spesielt verdifulle når det gjelder å forstå prosessene og konsekvensene av klimaendringer i Arktis. Det finnes mye kunnskap basert på deres nøyaktige observasjoner og deres samspill med omgivelsene. Bærere av denne kunnskapen bruker den til å fatte beslutninger og gjøre prioriteringer. ACIA har forsøkt å kombinere kunnskap og innsikt fra urfolkene med data fra vitenskapelig forskning, for på denne måten å føre sammen disse komplimenterende perspektivene på klimaendringer i Arktis.

Fleksibilitet og tilpasningsdyktighet har vært nøkkelen til måten urfolkene i Arktis har forholdt seg til klimaendringer på over mange generasjoner. Dagens sosiale, økonomiske, politiske og institusjonelle endringer er medvirkende faktorer i å fremme eller hemme muligheten for folk å tilpasse seg. De raske klimaendringene de siste tiårene, kombinert med andre endringer i omgivelsene, gir nye utfordringer.

Over hele Arktis rapporterer allerede urfolk om konsekvensene av klimaendringer. I Canadas Nunavut-område har inuit-jegerne lagt merke til at havisen er blitt tynnere, at det har blitt færre ringsel i enkelte områder og at insekter og fugler som tidligere ikke har vært vanlige i disse områdene nå observeres oftere. Inuialuit i den vestlige delen av det canadiske Arktis har sett en økning i antall tordenvær, noe som tidligere var svært sjelden i dette området. Athabaskaindianerne i Alaska og Canada har observert dramatiske endringer i været, i vegetasjonen og i dyrenes utbredelsesmønster de siste 50 årene. Samiske reingjetere i Norge har observert at den fremherskende vindretningen, som har blitt benyttet i forbindelse med navigasjon, nå har endret seg. Vinden er blitt mer variabel og dette har fremtunget endringer i de tradisjonelle trekkrutene. Urfolk som er vant til en rekke naturlige klimavariasjoner, observerer nå endringer som er unike i deres folks lange erfaringshistorie.



Når vi sammenstiller urfolks kunnskap fra ulike deler av Arktis, ser vi en rekke temaer som er felles selv om det også finnes regionale og lokale variasjoner i disse observasjonene.

- Været synes mer ustabil og vanskelig å forutsi ved hjelp av tradisjonelle metoder.
- Snøkvalitet og -egenskaper endrer seg.
- Det regner mer om vinteren.
- Det sesongmessige værmønsteret endrer seg.
- Vannivået i mange innsjøer reduseres.
- Arter som ikke har vært observert tidligere dukker nå opp i Arktis.
- Havisen trekker seg tilbake, og isens kvalitet og rytme endrer seg.
- Stormflo fører til økt erosjon i kystområdene.
- Sola føles «sterkere, stikkende og skarp». Solbrenthet og merkelige utslett på huden som aldri er blitt observert tidligere, er nå blitt vanlige.
- Klimaendringene går hurtigere enn folk rekker å tilpasse seg.
- Klimaendringene påvirker menneskene i mange samfunn sterkt. I noen områder truer de deres kulturelle overlevelse.

Mange urfolkssamfunn i Arktis er grunnleggende avhengige av å høste og bruke de levende ressursene både på land og til sjøs. De artene som er vanligst høstet er marine pattedyr som sel, hvalross, isbjørn, narhval, hvithval, finnhval, grønlandshval og vågehval; landpattedyr som caribou, reinsdyr, elg og moskus; fisk som laks, ishavsørøye og gjedde; fugler som ender, gjess og rype.



«Elven Virma blir grunnere hvert år. Nå er det nesten ikke noe vann igjen og den kan bunnfryse. Det var mye fisk her før, men nå er det nesten ingen igjen. Jeg tror det skyldes at myrene våre har tørket ut.»

Vasily Lukov
Lovozero, Russland





Urfolk over hele Arktis opprettholder en nær forbindelse med miljøet gjennom jakt, gjeting, fiske og sanking. De levende ressursene i Arktis forsørger ikke urfolkene bare rent økonomisk og ernæringsmessig. De er også en grunnleggende basis for sosial identitet, åndelig liv og kulturell overlevelse. Rik mytologi, levende muntlige fortellinger, festivaler og dyreseremonier illustrerer de sosiale, økonomiske og åndelige båndene urfolkene har til miljøet i Arktis. Disse tradisjonene skiller urfolkens matsanking fra konvensjonell jakt.

Tilgangen til matressursene er ofte knyttet opp mot mulighetene til ferdsel og til spørsmålet om sikkerhet. For eksempel har endringer i vårmeltingen og økt variasjon i vårværet påvirket tilgangen til jakt- og fiskeplasser. Når inuitfamilier i det vestlige Canada drar ut til leirene ved innsjøene for å drive isfiske og gåsejakt i mai, drar de med snøscooter og slede. De kjører på snødekte områder eller bruker isen langs kysten eller frosne elver. Men varmere vårvær har ført til at snøen smelter tidligere og raskere og at isen i elvene går tidligere, noe som gjør atkomst vanskeligere. Tilgangen på noen arter har også endret seg fordi menneskene ikke er i stand til å jakte på dem under skiftende miljøforhold. Reduksjonen i sommerisen gjør det for eksempel vanskeligere å finne ringsel. Klimarelaterte endringer i dyreutbredelse skjer, og det er forventet større endringer. Det forventes for eksempel at en forflytting av pakkisen nordover vil redusere tilgang på sjøfugl som matressurs for mange arktiske samfunn.

Slik urfolkene ser det, er Arktis i ferd med å bli et risikofylt miljø i den betydning at havisen er mindre stabil, uvanlige værmønstre inntreffer, vegetasjonsdekket endrer seg og enkelte dyr er ikke lenger å finne på tradisjonelle jaktmarker til gitte årstider. De lokale landskapene, til havs, på land og i isen endrer seg i den grad at folk føler seg som fremmede i sitt eget land.

Selen blir vanskelig å få tak i for inuitene i Nunavut, Canada

Ringselen er den viktigste matkilden for inuitene. Den er viktig som føde til alle årstider. Ingen annen art på land eller i sjøen er tilgjengelig i den mengde som er nødvendig for å tilfredsstille de næringsmessige behov inuitene har. I de siste tiårene har de lokale innbyggerne sett en reduksjon i antall ringselunger etter hvert som temperaturøkningen har ført til at havisen har trukket seg vekk og blitt mindre stabil. Disse endringene i isen har også ført til at det er vanskeligere å få tak i isbjørn, som er en annen viktig matkilde, siden ringselen er sentral i isbjørnens kost. Bjørnene blir også direkte påvirket av de observerte endringene i snø og is.

Jakt på, fangst av og deling av denne maten er grunnleggende sentralt i inuitenes kultur. En reduksjon i ringsel- og isbjørnbestanden truer ikke bare inuitenes næringsgrunnlag, men også deres livsform. Ytterligere reduksjon i havisen betyr flere problemer. Modellberegninger for sommerisen viser en ytterligere reduksjon på 50 % eller mer i dette århundret. Noen modeller antyder at havisen vil forsvinne helt om sommeren. Siden det er svært usannsynlig at ringsel og isbjørn kan overleve uten sommeris, vil konsekvensene for de urfolkssamfunn som er avhengige av disse artene sannsynligvis bli enorme.



De levende ressursene i Arktis forsørger ikke urfolkene bare rent økonomisk eller ernæringsmessig. De er også en fundamental basis for sosial identitet, åndelig liv og kulturell overlevelse.

Virkningene av observerte klimaendringer Sachs Harbour i Canada

Sachs Harbour ligger på Banks Island i den vestlige delen av canadisk Arktis. Virkningene av klimaendringene på dette samfunnet er blitt studert i detalj i prosjektet «Inuitenes observasjoner av klimaendringer», et prosjekt som er gjennomført av myndighetene i Sachs Harbour i samarbeid med det internasjonale instituttet for bærekraftig utvikling (International Institute for Sustainable Development). Inuvialuitene (inuitene i det vestlige Canada) initierte dette studiet fordi de ville dokumentere de store observerte miljøendringene forårsaket av klimaendringer og fordi de ønsket å spre denne informasjonen ut til verden. Her følger en kort oppsummering av noe av funnene.

1. Fysiske miljøendringer

- Flerårig is kommer ikke lenger i nærheten av Sachs Harbour om sommeren.
- Mindre havis om sommeren betyr at sjøen er krappere.
- Det er nå åpent vann nærmere land om vinteren.
- Mer regn om sommeren og høsten gjør ferdsel vanskelig.
- Permafrosten er ikke lenger solid alle steder.
- Innsjøene drenerer ut i havet på grunn av permafrosttining og utglidning av grunn.
- Løs, myk snø (i motsetning til hardpakket snø) gjør ferdsel vanskeligere.

2. Forutsigbarhet i miljøet

- Det er vanskelig å si når isgang i elvene vil skje.
- Vårens tilbakekomst er vanskeligere å forutsi.
- Det er vanskelig å forutsi været og stormer.
- Det er «gale» vinder nå og da.
- Det er mer snø, snøføyke og flere tilfeller av «whiteout».

3. Sikkerhet under ferdsel på havisen

- For mye oppbrutt is om vinteren gjør ferdsel farlig.
- Uforutsigbare havisforhold gjør ferdsel farlig.
- Mindre flerårig is gjør at man må ferdes på førsteårsis hele vinteren. Det er mindre sikkert.
- Mindre isdekke om sommeren betyr flere voldsomme, farlige stormer på sjøen.

4. Tilgang til ressursene

- Det er vanskeligere å jakte på sel på grunn av manglende flerårig is.
- Jegerne kan ikke dra like langt ut om vinteren på grunn av manglende fast isdekke.
- Det er vanskeligere å jakte på gress fordi vårmeltingen skjer så fort.
- Varmere somrer og mer regn betyr mer vegetasjon og føde for dyrene.

5. Endringer i dyreutbredelse og -kondisjon

- Det er mindre fett på selene.
- Fisk og dyr som aldri er sett tidligere, kan nå observeres.
- Det er blitt flere bitende fluer. Mygg var ikke tilstede tidligere, men er det nå.
- Det er færre isbjørner om høsten på grunn av ismangel.
- Det blir nå fanget mer av sikarten «least cisco».



Klimaendringene foregår hurtigere enn urfolkens kunnskap kan tilpasse seg, og dette påvirker mange nordlige samfunn i stor grad. Uforutsigbart vær-, snø- og isforhold gjør ferdsel farlig og setter liv i fare. Virkninger av klimaendringene på dyrelivet, fra caribou på land til fisk i elvene til seler og isbjørn på havisen, har stor betydning, ikke bare for urfolkens kosthold, men også for deres kultur.



Været virker mindre stabilt og mer uforutsigbart.

Fra kunnskapskilder blant urfolkene over hele Arktis kommer det rapporter om at været er mindre stabilt og at det virker fremmed og at det oppfører seg uventet og mot normalt. Erfarne jegere og landsbyens eldste, som tidligere kunne forutsi været ved hjelp av tradisjonelle metoder, er nå ofte ikke i stand til å gjøre dette. Stormer kommer ofte uten varsel. Vindretningen endrer seg plutselig. På mange steder er det mer overskyet enn tidligere. Stormer med sterk vind og lyn og torden forekommer oftere på enkelte steder. Flere av landsbyenes eldste merker seg at «været i dag vanskeligere å forstå». Dette gir problemer for mange slags aktiviteter, fra jakt til det å tørke fisk, aktiviteter som urfolkene er avhengige av.

«Nå er været uforutsigbart. I gamle dager kunne landsbyens eldste forutsi været, og de hadde alltid rett, men nå, når de prøver å forutsi været, skjer det alltid noe annet.»

- Z. Aqqiaruq, Igloodik, Canada, 2000

«De værperiodene som vi har nå er ikke som de var før. Tradisjonelt var det normalt med gitte stabile perioder i løpet av året. De er ikke lenger på plass... I dag kan ikke været varsles på tradisjonell måte slik jeg kunne gjøre det før... Nå ser vi forgjeves etter tegnene på himmelen.»

- Heikki Hirvasvuopio, Kakslauttanen, Finland, 2002



Snøens egenskaper endrer seg. Det er mer underkjølt regn.

Det rapporteres om endringer i snøens og isens egenskaper fra mange kanter. Endrede vindmønstre fører til at snøen blir hardpakket. Jegere og andre som er ute og ferdes blir således ute av stand til å bygge iglooer, som fremdeles ofte brukes til midlertidig ly og i krisesituasjoner. Skader og dødsfall er blitt rapportert i sammenheng med plutselige stormer hvor de involverte ikke har klart å finne god snø til å bygge seg ly av. Mer underkjølt regn og hyppigere tine/fryse-sykluser påvirker mulighetene caribou, reinsdyr, moskus og andre dyr har for å finne mat om vinteren, noe som i sin tur påvirker urfolkene som lever av disse dyrene.

«Det pleide å være ulike snølag før i tiden. Vinden blåste ikke så kraftig og gjorde ikke snøen så hard som den er nå... Det er vanskelig å bygge ly med den slags snø fordi den vanligvis er altfor hard helt ned til bakken.»

- T. Qaqimat, Baker Lake, Canada, 2001

«Endringene har vært så dramatiske at det i den kaldeste måneden i året, desember 2001, falt store mengder regn i Thule-området slik at det kom et tykt lag med is på toppen av havisen og på land... Dette var ikke bra for sledehundene potter.»

- Uusaqqak Qujaukitsoq, Qaanaaq, Grønland, 2002

«Før var det kaldt nok til at laven tørket og snøen falt på den. Regnet ville forme det nederste laget som da ville fryse skikkelig. Nå regner det, og bakken fryser mens den er våt og det er ikke bra for reinsdyrene. Det ødelegger laven. Det er is overalt og reinsdyrene kommer ikke til. Dette har betydd at mange reinsdyr har dødd siden de ikke får tak i laven.»

- Niila Nikodemus, 86, den eldste reingjeteren i Purnumukka, Finland, 2002

«Først snør det. Så smelter snøen, som om det var sommeren. Så begynner det på nytt. Først kommer det er kraftig snøfall, så blir det varmere og deretter fryser det til. Det hender at det regner om vinteren, slik som forrige nyttårsaften. Tidligere regnet det aldri om vinteren. Regn midt på vinteren? Slik at snøen forsvinner? Ja, det er sant. Regn, og snøen smelter!»

- Vladimir Lifov, Lovozero, Russland, 2002

Det grønlandske ordet for vær og klima er «sila». Sila er også ordet for den universelle bevissthet, den allestedsnærværende liv-givende kraften som er til stede i alle og enhver. Sila integrerer og forbinder et menneske med rytmene i naturens verden.

Havisen er i tilbakegang og kvaliteten og rytmen endrer seg, noe som har store ringvirkninger for de som jakter til havs.

Havisen er i markert tilbakegang, både i utstrekning og i tykkelse. Pakkisen er lenger fra kysten og er ofte for tynn til at man kan ferdes trygt på den. Mindre havis gjør at stormene blir mer voldsomme og farligere for jegerne. Marine pattedyr som lever på isen, inkludert hvalross, isbjørn og istilknyttede selarter, kommer svært sannsynlig til å oppleve en markert bestandsnedgang i dette århundret og kan være truet av utryddelse.

«For lenge siden var det alltid is hele sommeren. Man kunne se [den flerårige] isen hele sommeren. Isen flyttet seg frem og tilbake på denne tiden av året. I dag er det ikke is. Den burde vært [flerårig]. Tidligere kunne man se gammel is som kom fra vestsiden av Sachs. Ikke i dag. I dag er det åpent vann mellom Victoria Island og Banks Island. Det skal ikke vært slik.»

- Frank Kudlak, Sachs Harbour, Canada, 1999

«Jeg vet at det i dag er slik at selene ... Kanskje det skyldes den tidlige isgangen om våren eller at de er ute på isflakene, men det er ikke sel noe sted.»

Mann (62), Kuujuaq, Canada

«Når det er mye is, tenker man ikke så mye på stormer. Man drar ut og ferdes mellom is[flakene]. Men de siste årene har det ikke vært noe is. Så hvis det er storm, kan man ikke dra ut.»

- Andy Carpenter, Sachs Harbour, Canada, 1999

Sesongmessige værmønstre skifter.

Folk i hele Arktis rapporterer om endringer i tidspunktet for, lengden av og egenskapene til årstidene, inkludert mer regn om høsten og vinteren og mer ekstrem varme om sommeren.

«Sila [været og klimaet] har endret seg ja. Nå kommer høsten sent og våren kommer veldig fort. For lenge siden var sommeren kort. Det er den ikke nå.»


- Sarah Kuptana, Sachs Harbour, Canada, 1999

«Det pleide å være pent vær da jeg var barn for lenge siden. Nå er været dårlig. Så mange mygg. Noen ganger var det varmt, noen ganger kaldt. Ikke som nå. [Tingene skjer på] feil tid nå. Det er helt forskjellig nå. August var en måned da været kjølte seg ned, nå er det ikke sånn. Vinteren er virkelig kort nå.»

- Edith Haogak, Sachs Harbour, Canada, 2000

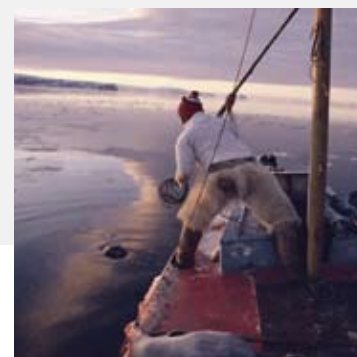
«Været er blitt dårligere. For oss er dette ille. Det påvirker vår mobilitet i arbeidet. I gamle dager la isen seg i oktober... I dag kan man dra ut på isen først i begynnelsen av desember. På denne måten har tingene endret seg.»

- Arkady Khodzinsky, Lovozero, Russland, 2002



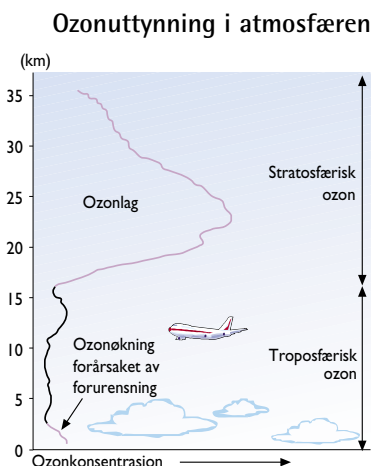
Jeg tenker igjen på
Mine små eventyr
Min frykt
De små som syntes så store
På alle de viktige tingene
Jeg måtte få og nå
Likevel finnes det bare en stor ting
Å få leve og se den store dagen som gryr
Og lyset som fyller verden

- Inuitisk dikt





Ozonlaget absorberer UV fra solen og beskytter livet på jorda mot høye nivåer av UV-stråling. Ozonuttytning kan derfor føre til økte UV-nivåer på jordoverflaten.



Det meste av ozonen finnes i stratosfæren relativt høyt over bakkenivå, der den beskytter livet på jorda fra for mye UV-stråling. Forurensning forårsaker en økning i ozon-nivået på bakkenivå. Denne ozonen på bakkenivå, også kjent som smog, forårsaker åndedrettsproblemer hos mennesker og har også andre negative konsekvenser. Diskusjonen i denne rapporten omhandler stratosfærisk ozon, ikke ozon på bakkenivå.

Ultrafiolett stråling (UV) som når jordens overflate, er en økende bekymring i Arktis, spesielt på grunn av uttynningen av ozonlaget i stratosfæren som skyldes utslippene av klorfluorkarboner (KFK) og andre menneskeskapt kjemikalier de siste 50 årene. Uttynningen av ozonlaget over Arktis har vært svært stor og er størst om våren når levende organismer er mest sårbare.

Mens den internasjonale traktaten kjent som Montreal-protokollen (med påfølgende endringer som har styrket den) har faset ut produksjonen av de fleste ozonødeleggende kjemikalier, har mange av dem en lang levetid i atmosfæren slik at de som ble sluppet ut for lenge siden vil fortsette å bryte ned ozonet i mange tiår fremover. Ozonuttytningen i Arktis er svært følsom overfor temperaturendringer, noe som betyr at ozonivåene kommer til å bli sterkt påvirket av klimaendringene selv om den fundamentale uttynningsprosessen involverer menneskeproduserte ozonødeleggende kjemikalier.

Selv om det er knyttet stor usikkerhet til ozonutviklingen i fremtiden, vil den lange tidsperioden som trengs for å gjenoppbygge ozonlaget bety at Arktis vil bli utsatt for høye nivåer av UV i flere tiår. Økte UV-nivåer kommer sannsynligvis til å påvirke mange levende organismer i Arktis. Det er kjent at høye nivåer kan føre til kreft, solbrenthet, grå stær, skader på hornhinnen og svekkelse av immunsystemet i mennesker. Det er også kjent at UV-stråling forårsaker eller fremskynder skader på en rekke materialer som brukes i infrastrukturen i området. Det vil sannsynligvis også være vidtrekkende effekter på de naturlige økosystemene.

Mange blander spørsmålene om ozonuttytning og klimaendringer. Selv om de to prosessene på mange måter har mye til felles, drives de av to ulike mekanismer. Menneskeskapt klima-ændringer skyldes oppsamling av karbondioksid, metan og andre klimagasser som holder varme inne i den lavere atmosfæren (kalt troposfæren) og som fører til global oppvarming. Ozonuttytning er et resultat av menneskeskapt oppsamling av klor-kjemikalier, slik som biprodukter av KFK og haloner som bryter ned ozonmolekyler gjennom kjemiske reaksjoner i stratosfæren.

FNs miljøprogram (UNEP) og Verdens meteorologiske organisasjon (WMO) har satt i gang periodiske undersøkelser av endringene i stratosfærisk ozon og UV-stråling. De siste vitenskapelige rapportene fra UNEP/WMO om ozonuttytning ble ferdigstilt i 2002. ACIA har brukt og utvidet funnene i denne rapporten.

Ozonuttytning i Arktis

Ozonlaget absorberer UV fra solen og beskytter livet på jorda mot høye nivåer av UV-stråling. Ozonuttytning kan derfor føre til økte UV-nivåer på jordoverflaten. Den kraftigste uttynningen har funnet sted i de polare områdene og har forårsaket det såkalte antarktiske «ozonhullet» og en tilsvarende, men mindre, sesongmessig ozonuttytning over Arktis. Ulik grad av uttynningen skjer over hele verden, vanligvis med mindre omfang jo lengre vekk fra polene.

Det samlede årlige tapet av ozon over Arktis har vært på ca. 7 % siden 1979. Men dette skjuler betydelig større tap gitte tider av året og på gitte dager. Det er nettopp disse tapene som potensielt sett kan gi store biologiske virkninger. De største ozonreduksjonene har forekommet om våren med gjennomsnittlige tap på 10-15 % siden 1979. De største månedlige avvikene, 30-35 % under normalen, var i mars 1996 og 1997. De daglige ozonverdiene var 40-45 % under normalen i mars-april 1997. Betydelige ozon-

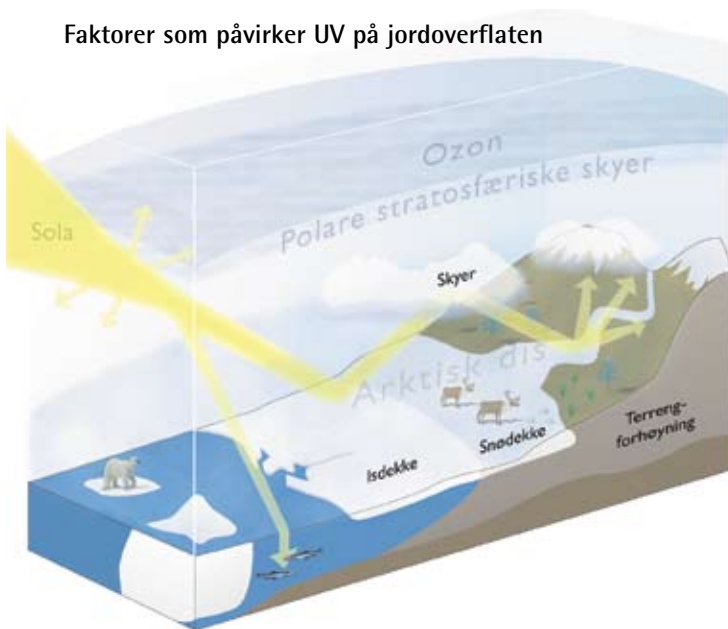
tap (definert som en uttynning på mer enn 25 %) som varer i flere uker er blitt observert 7 av de 9 siste vårperiodene i Arktis.

Faktorer som avgjør UV-nivåer ved bakken

Ozonnivåene påvirker direkte mengden UV som når jordoverflaten. UV-nivåene ved bakken blir også sterkt påvirket av skyer, solstrålenes vinkel, høyde over havet, tilstedeværelsen av små partikler i atmosfæren (som forskerne kaller aerosoler) og overflatens refleksjonsevne (noe som avhenger av omfanget av snødekket siden dette har en stor refleksjonsevne). Disse faktorene endrer seg fra dag til dag, fra sesong til sesong og fra år til år, og bidrar til å øke eller minske den mengden UV som når levende organismer på overflaten. De høyeste UV-dosene i Arktis forekommer om våren og sommeren etter som solens vinkel på den tiden av året er ganske stor. Den lave vinkelen om høsten og vinteren skaper av ganske mye diffus UV spredt fra atmosfæren og reflektert av snø og is. Refleksjonen fra snødekket kan øke dosen levende organismer på overflaten utsettes for med mer enn 50 %.

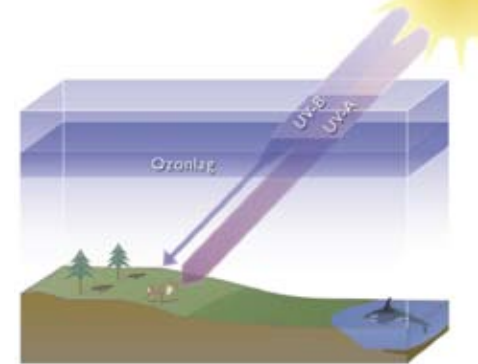
De ulike faktorene som påvirker UV-dosene kan føre til en rekke ulike effekter, hvorav noen sannsynligvis vil påvirkes av klimaendringer. For eksempel reflekterer snø og is solstrålene oppover slik at planter og dyr oppå isen blir utsatt for mindre doser når snøen og isen trekker seg tilbake som en følge av oppvarmingen. På den annen side vil planter og dyr under snøen og isen, som jo tidligere var beskyttet av dette laget, bli utsatt for mer UV når isen og snøen trekker seg tilbake. Den forventede reduksjonen i snø- og isdekket på overflaten av elver, innsjøer og havområder vil derfor sannsynligvis føre til at mange levende organismer i disse vannområdene i økende grad vil bli utsatt for skadelige nivåer av UV. I tillegg kommer den forventede tidligere snø- og ismeltingen om våren på en tid av året da UV-strålingen mest sannsynlig vil være forhøyet pga. ozontapet.

Faktorer som påvirker UV på jordoverflaten



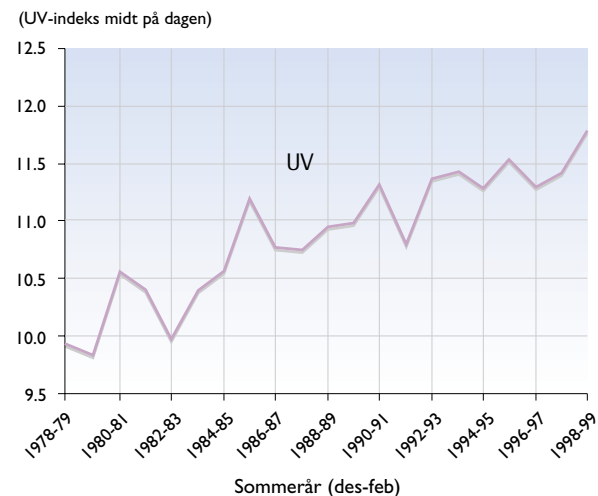
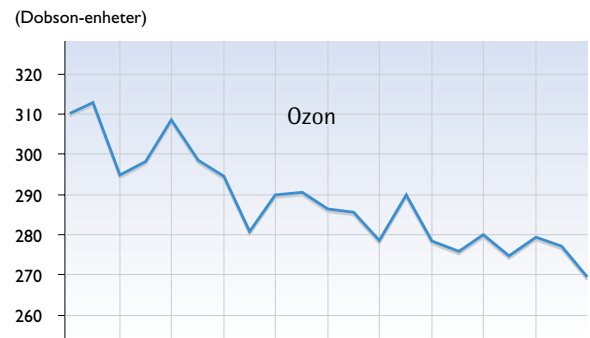
Ozonnivåene, skyer, solstrålenes vinkel, høyde over havet, tilstedeværelsen av små partikler i atmosfæren (som forskerne kaller aerosoler) og overflatens refleksjonsevne (noe som avhenger av omfanget av snødekket siden dette har en stor refleksjonsevne), påvirker den mengden av UV som når overflaten.

Ozonlaget beskytter mot UV-stråling



Ozonlaget i stratosfæren absorberer noe av den ultrafiolette strålingen fra solen. UV-B-stråling absorberes mest av ozon, og begrenser på denne måten mengden som når bakkenivået. UV-A og andre typer solstråler blir ikke så sterkt absorbert av ozon. UV kan føre til økt risiko for hudkreft, grå stær og et svekket immunsystem i mennesker. UV kan også gi skader på plante- og dyrelivet på land, i havene og i elver og innsjøer.

Når ozonivået synker øker UV-nivået



Dette diagrammet viser det veletablerte faktum at når alle de andre faktorene er konstante, så vil mindre ozon i stratosfæren føre til mer UV på overflaten. Andre faktorer påvirker også UV-nivået, bl.a. skyer, snø og is. Alt dette kan endre dette enkle forholdet.



Variasjoner i tid og rom

Ozonuttynningen og den påfølgende økningen i UV-nivåer ved bakken i Arktis har ikke vært symmetrisk rundt polen. Uttynningen er heller ikke konstant over tid. Noen år ser en betydelig uttynning, andre år ikke, på grunn av variasjoner i stratosfærens dynamikk og temperatur. Det er mye naturlige variasjoner i ozonnivåene, og i tillegg til de langsiktige endringer forårsaket av menneskelig virksomhet, fortsetter også de naturlige variasjonene. Transport av ozon kan resultere i dager med svært høye eller svært lave UV-nivåer. På grunn av ozonuttynningens egenskaper er det som regel høye UV-nivåer om våren når de biologiske systemene er mest sårbare. Økte UV-doser, spesielt når de kombineres med andre miljømessige stressfaktorer, utgjør en trussel for noen arktiske arter og økosystemer.

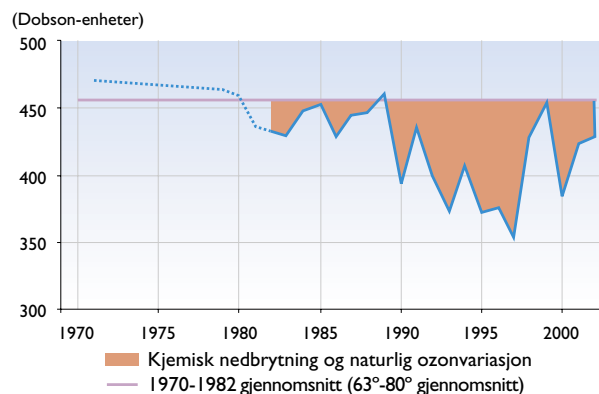
Gjenoppbyggingen av ozonlaget i Arktis forsinkes av klimaendringer

Det forventes ikke noen betydelig forbedring i det stratosfæriske ozonnivåer over Arktis de neste tiårene. En årsak er at økte nivåer av klimagasser faktisk fører til en avkjøling av stratosfæren selv om troposfæren varmes opp. Dette kan medføre at ozonuttynningen blir verre over polene ettersom lave temperaturer styrker virvelvindene som er kjent som polarvirvelen og fremmer dannelsen av polare stratosfæriske skyer. Ispartiklene i disse skyene er medier der ozonnedbrytende kjemiske reaksjoner oppstår. Polarvirvelen isolerer også stratosfæren over Arktis og hindrer etterfylling av ozon utenfra for å bygge opp igjen det uttynnede laget over Arktis. I de neste tiårene er det dermed forventet at ozonuttynning og forhøyede UV-nivåer vil vedvare over Arktis. Samtidig er det sannsynlig at en reduksjon i is- og snødekket om våren, som er en følge av oppvarming, vil utsette sårbart ungt plante- og dyreliv for forhøyede UV-nivåer.

Ettersom ozonuttynningen er forventet å vare over Arktis i flere tiår fremover, har modellberegninger vist at en økning på opptil 90 % i UV-dosene om våren kan forventes i perioden 2010-2020 sammenliknet med perioden 1972-1992.



Arktisk ozon i mars



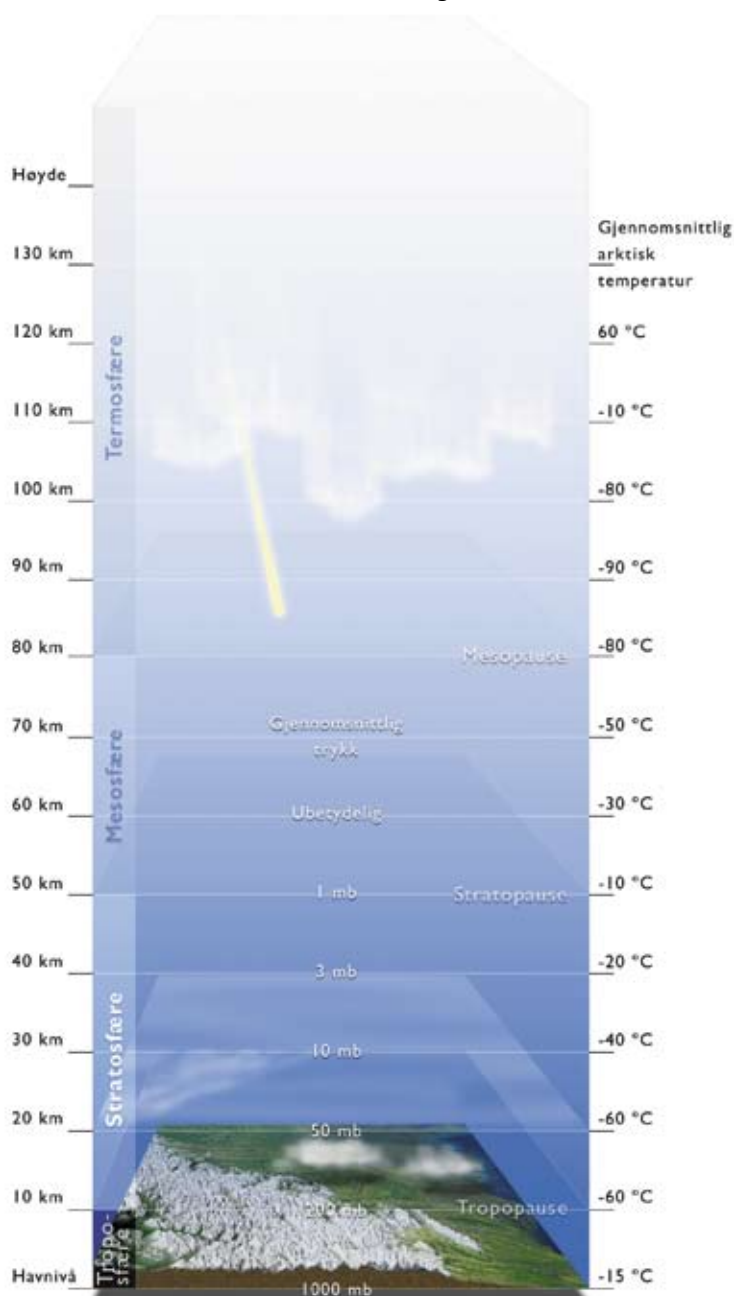
Ozonnivåene varierer kraftig fra år til år. Det er også en sterk nedadgående trend i ozonlaget som er spesielt tydelig ved polene. Denne grafen viser gjennomsnittet før uttynningen begynte (den sammenhengende røde linjen) sammenliknet med ozonnivåene i de siste årene. Naturlige variasjoner i meteorologiske forhold påvirker endringene fra år til år, spesielt i Arktis der uttynningen er spesielt følsom overfor temperatur. Den blå linjen representerer et månedlig gjennomsnitt i mars i Arktis. Etter 1982 har det vært betydelig uttynning i de fleste årene.

Ettersom ozonuttyningen er forventet å vare over Arktis i flere tiår fremover er det svært sannsynlig at det fortsatt vil være episoder med svært lave ozonnivåer om våren. Modellberegninger har vist at en økning på opptil 90 % i UV-dosene om våren kan forventes i perioden 2010-2020 sammenliknet med perioden 1972-1992. Da modellene som har vært brukt til å utføre disse beregningene forutsetter full overholdelse av Montreal-protokollen og dens tillegg, er det sannsynlig at ozongjenoppbyggingen vil gå langsommere og at UV-nivåene vil bli høyere enn beregnet dersom utfasingen av ozonnedbrytende kjemikalier ikke oppnås slik protokollen og dens tillegg forutsetter.



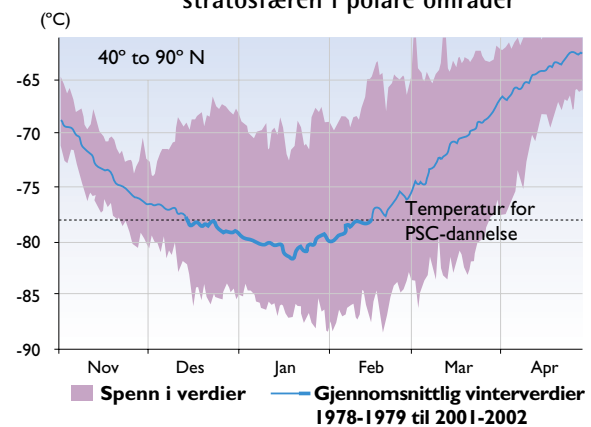
Polare stratosfæriske skyer.

Atmosfæriske lag



Det forventes ikke noen betydelig forbedring i det stratosfæriske ozon-nivåer over Arktis de neste tiårene.

Temperaturen i de lavere lag av stratosfæren i polare områder



Over Arktis ligger minimumstemperaturen i de lavere lag av stratosfæren på nesten -80°C i januar og februar. Polare stratosfæriske skyer (PSC) dannes når temperaturen faller under -78°C . De islagte partiklene i disse skyene er media for ozonnedbrytende kjemiske reaksjoner. Økte konsentrasjoner av klimagasser, som bidrar til å varme opp luften nær jordoverflaten, forårsaker en avkjøling i stratosfæren, noe som fører til at denne typer skyer dannes over en lengre periode. Dette vil i sin tur føre til ytterligere uttyning av ozonlaget.

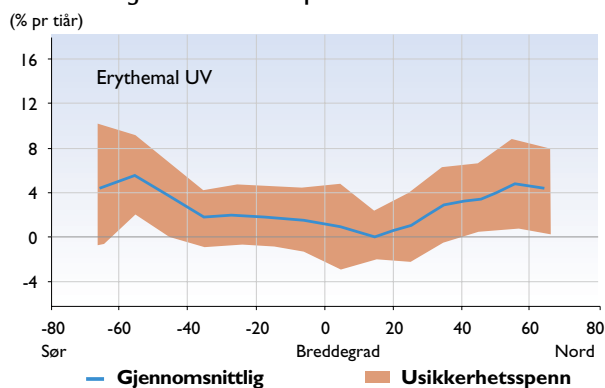


UV-strålingens følger for menneskene

Menneskene får omtrent halve sin livstids UV-dose før de fyller 18 år. Dagens forhøyede UV-nivåer i Arktis tilsier at dagens generasjon unge vil komme til å få en livstids UV-dose som er ca. 30 % høyere enn noen tidligere generasjon. Slike økninger i UV-dosene har betydning for befolkningen i Arktis ettersom UV kan føre til, eller fremskynde, hudkreft, skader på hornhinnen, grå stær, svekkelse av immunsystemet, virusinfeksjoner, hudens aldringsprosess, solbrenthet og andre hudsykdommer. Pigmentering av huden kan gi en viss beskyttelse mot hudkreft, men gir ikke beskyttelse mot skader på immunsystemet. UV-strålingens påvirkning på immunsystemet spiller også en viktig rolle i forhold til UV-fremkalt hudkreft siden immunsystemet ikke er i stand til å stanse hudkreftangrepet. Det kan se ut til at det kan være en forbindelse mellom sollyseksposering og non-Hodgkins lymfom og autoimmune sykdommer som multipel sklerose der forholdet synes å skyldes UV-strålenes immunundertrykkende effekter. Siden det er kjent at UV aktiverer virus som herpes simplex gjennom undertrykking av immunforsvaret, kan økte nivåer av UV-stråling føre til et økt antall virussykdommer i befolkningen i Arktis, spesielt ettersom oppvarmingen kan føre med seg virusbærende insekter til Arktis.

Øyeskader er noe som vekker spesiell uro i Arktis. UV har normalt blitt målt på horisontale flater, men dette representerer ikke måten en person eksponeres for en UV-dose. Folk er vanligvis i vertikal posisjon når de oppholder seg utendørs, og de eksponeres vanligvis for en høyere dose enn en horisontal flate, i stor grad på grunn av refleksjon fra snø. Målinger som tar hensyn til dette faktum tilsier at ozonuttynningen om våren kan påvirke UV-strålingens effekt på øynene betydelig på grunn av den vesentlige betydningen refleksjon fra snø har. Observasjoner viser at UV-doser til vertikale flater som for eksempel øyne er høyere i slutten av april enn på noen annen tid av året. Disse høye dosene tyder på at den mengden UV man utsettes for når man ser mot horisonten kan være lik eller større enn den mengden man utsettes for når man ser rett oppover. Man kan redusere risikoen for UV-påførte helseskader ved å bruke solkrem, solbriller, vernedrakter og ved å iverksette andre forebyggende tiltak.

Endringer i UV-nivået på bakkenivå



Den type UV-stråler som gir solbrenthet har økt verden over siden 1980. Grafen viser UV på bakkenivå, beregnet på grunnlag av observerte reduksjoner i ozonlaget og forholdet mellom ozon og UV på forskjellige steder. UV-strålingen øker mest nær polene fordi reduksjonen av ozonlaget har vært størst her.

I tillegg til virkningene på menneskers helse er det kjent at UV-stråler kan påvirke en rekke bygningsmaterialer og andre materialer for utendørs bruk betydelig. UV-eksponering kan forandre kvaliteten til plastmaterialer, syntetiske polymerer brukt i maling og naturlige polymerer som finnes i treverk. Økt UV-stråling som en følge av ozonuttynningen vil derfor sannsynligvis føre til en forkortelse av de nevnte materialenes levetid, noe som vil gi økte kostnader til maling og annet vedlikeholdsarbeid. Høy overflaterrefleksjon forårsaket av snødekket og mange timer med sollys om våren og sommeren, sammen med mindre ozon om våren, kan gi en høyere samlet UV-dose til vertikale flater som vegger på bygninger, noe som igjen fører til en nedbryting av mottagelige materialer. Sterk vind og gjentatte smelte-/frysesykluser i Arktis kan forsterke de materialproblemene som kan utvikle seg som følge av UV-skader. Kostnadene forbundet med dette tilsier økte infrastrukturkostnader som sannsynligvis må bekostes av enkeltindividene.

UV-strålingens virkninger på økosystemene

Økosystemer på land

Økt UV-stråling påvirker planter og dyr på en rekke ulike måter, selv om virkningene er svært ulike fra art til art. I et kortsiktig perspektiv forventes noen få arter å dra nytte av det, men betydelig flere vil bli påført uheldige skader. Langtidsvirkningene er lite kjent. I tillegg til direkte effekter vil dyrene bli indirekte påvirket ved at plantene forandrer seg. For eksempel pigmenter som beskytter planter mot UV-stråler gjør at plantene ikke er så lett-fordøyelige for de dyrene som er avhengige av dem. Mens noen planter kan tilpasse seg høyere UV-nivåer gjennom økt pigmentering, vil dette ofte gi større ringvirkninger for dyr og økosystemer som er avhengige av dem. Økt UV vil også ha langsiktige konsekvenser på økosystemprosesser gjennom svekkelse av næringsstoffenes kretsløp og dermed også produktiviteten.

Våren i Arktis er en kritisk tid for fødsel og vekst for planter og dyr. Historisk sett har ozonnivåene vært høyest om våren og det har dermed gitt de levende organismene den forhøyede beskyttelsen mot UV-stråler som de har hatt behov for i denne viktige tiden. Siden ozonuttyning som følge av menneskeskapt kjemikalier ble et problem for flere tiår siden, er våren nå den tiden av året med størst tap av stratosfærisk ozon. Mer dagslys om våren fører også til mer UV-stråling. Økningen i UV virker også sammen med klimaendringer, som for eksempel den varmerelaterte reduksjonen i snødekket om våren, som igjen skaper et potensial for økt påvirkning på planter, dyr og økosystemer.

Bjørkeskogen trues ved UV-strålingens og oppvarmingens påvirkning på fjellbjørkmåler

Fjellbjørkmåleren, et insekt som spiser bladene på bjørketrærne og som påfører skogen ekstremt store skader, står for et dokumentert eksempel på hvordan en påvirkning forårsaket av økt UV-stråling virker sammen med oppvarming. Økt UV modifierer den kjemiske strukturen til bjørkebladene og gjør at deres næringsverdi blir betydelig mindre. Larvene av bjørkmåleren spiser derfor tre ganger mer enn vanlig for å kompensere for det. Økt UV synes også å forbedre immunsystemet hos fjellbjørkmåleren. I tillegg ødelegger UV polyhydroseviruset, som er en viktig kontrollerende faktor for larveoverlevelse. Økt UV forventes derfor å føre til økt larvebestand, noe som i sin tur vil føre til større bjørkeskogavløving. Samtidig har vintertemperaturer under -36 °C tidligere begrenset mulighetene for overlevelse av larve-egg og på den måten vært med på å kontrollere bestandene. Når vintertemperaturen blir høyere enn dette, vil flere larver overleve. Observert og beregnet oppvarming om vinteren forventes å føre til at bjørkemålerbestanden vil øke ytterligere og dermed øker skadene på trærne. Skadevirkningene fra klimaendringene forventes å være større enn skadevirkningene av UV-strålingen på bjørketrærne.



Nøkkelfunn # 9



Bjørketrær ødelagt av fjellbjørkmåler i Abisko i Sverige i 2004. Over ses et nærbilde av larver som spiser bladverk på bjørk.



Det forventes at en oppvarming også vil øke mengden av oppløst materiale i mange arktiske ferskvannssystemer siden oppvarming fører til økt vegetasjonsvekst.

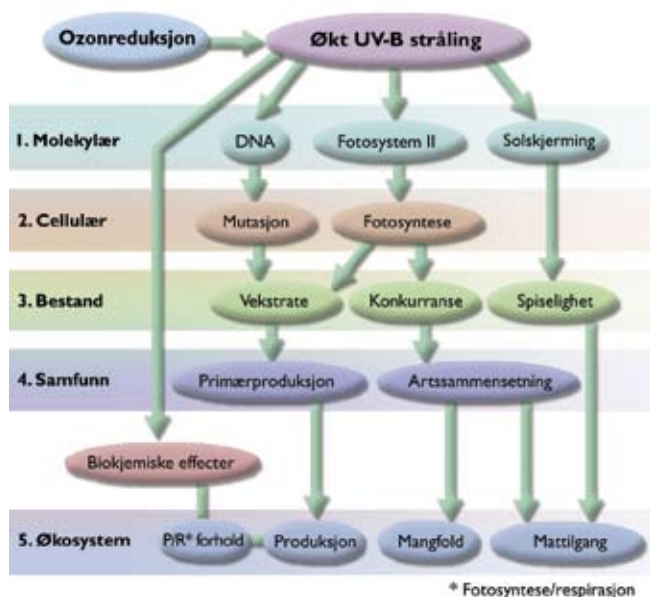
Ferskvannssystemer

Noen ferskvannarter, som for eksempel amfibiene, er svært følsomme overfor UV-stråling, selv om sårbarheten til de nordlige artene har vært lite studert. Klimarelaterte endringer forventes i tre viktige faktorer som kontrollerer UV-nivåene som de levende organismene i ferskvannssystemene eksponeres for: stratosfærisk ozon, snø- og isdekket og materialer som er oppløst i vannet og som fungerer som naturlig solskjerming mot UV. Redusert stratosfærisk ozon forventes å vare i flere tiår og forårsaker økte UV-nivåer på bakkenivå, spesielt om våren.

Viktigere for livet i vannet er det at den varmeinduserte reduksjonen i snø- og isdekket om våren vil føre til redusert beskyttelse for planter og dyr som vanligvis er beskyttet av dette dekket. Det vil igjen føre til at betydelig større doser UV vil nå ned i vannet. Hvit is og snø utgjør viktige hindre for gjennomtrengning av UV-stråler. Bare to cm snø kan redusere effekten av UV-strålene på organismer under isen med en faktor på tre. Dette er spesielt viktig i ferskvannssystemer som inneholder lave nivåer av oppløst materiale som ellers ville ha beskyttet mot UV.

Innsjøer og dammer i de nordlige områdene i Arktis inneholder vanligvis mye mindre oppløst materiale enn de som ligger lenger sør i regionen. Dette skyldes stort sett at det er mer vegetasjon rundt innsjøene i de sørlige områdene. Vannet i Arktis inneholder også få vannplanter. I tillegg til de lave nivåene av oppløst materiale, noe som fører til at UV-strålene trenger dypt ned i innsjøene og dammene i Arktis, er mange av disse ferskvannssystemene svært grunne. For eksempel er gjennomsnittsdybden i mer enn 900 innsjøer i Nord-Finland og i 80 innsjøer i canadisk Arktis ikke mer enn 5 meter. Som en følge av dette vil alle levende organismer, selv de som lever på bunnen, bli utsatt for UV-stråling.

Effekter av økt UV på ferskvannssystemer



UV er det mest reaktive bølgebandet i solens spektrum og har en lang rekke effekter, fra molekylnivået opp til økosystemnivået.

Noen av de første virkningene av oppvarming vil være tap av permanent isdekke på mange av innsjøene i nord. Dette er noe man allerede kan observere i canadisk Arktis. Når den isfrie sesongen blir lengre, vil disse effektene bli forsterket. Imidlertid forventes det at oppvarming også vil øke mengden av oppløst materiale i mange arktiske ferskvannssystemer siden oppvarming fører til økt vegetasjonsvekst. I tillegg vil permafrosttining kunne forårsake en økt sedimentering i vannet, noe som vil gi ytterligere økt beskyttelse mot UV. Disse endringene kan delvis kompensere for økningen i UV forårsaket av det reduserte is- og snødekket og de reduserte ozonnivåene.



Marine økosystemer

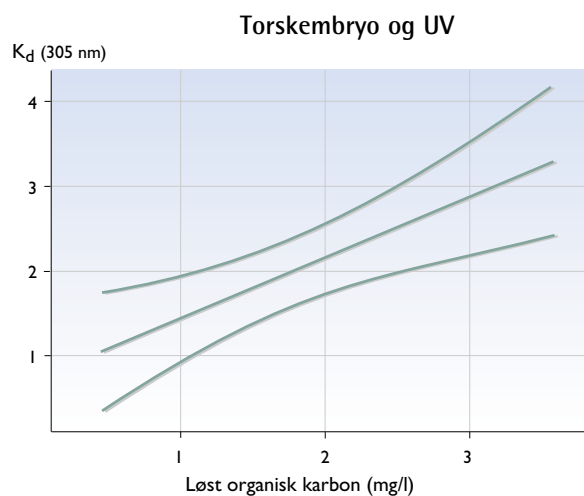
Planteplankton, de små plantene som er primærprodusentene i den marine næringskjeden, kan bli negativt påvirket av UV-stråler. Kraftig UV-stråling kan redusere produktiviteten på bunnen av næringskjeden, kanskje med så mye som 20-30 %. Dagens UV-nivåer har negative effekter på noen sekundærprodusenter i den marine næringskjeden. UV-indusert død i tidlig alder samt redusert overlevelse og redusert reproduksjonsevne har vært registrert. Skader i DNA hos noen arter funnet i prøver tatt på opptil 20 meters dyp er blitt påvist. Noen arter har opplevd sterke negative effekter mens andre er motstandsdyktige. Dette avhenger av årstid, gyttested, tilstedeværelsen av UV-beskyttende materiale, muligheten for å reparere UV-induserte skader og andre faktorer.

Det finnes klare bevis på at UV har skadelige virkninger på enkelte marine fiskeslag i tidlige livsstadier. For eksempel døde mange embryoer og larver av nordlig ansjos og spansk makrell i et eksperiment der de ble eksponert for overflatenivåer av UV. Betydelige ikke-dødlige skadeeffekter ble også rapportert. Dette eksperimentet viser at under ekstreme forhold kan 13 % av den årlige produksjonen av larver av nordlig ansjos gå tapt. Torske-egg på grunt vann (50 cm dyp) viser også negative virkninger av UV-strålingen.

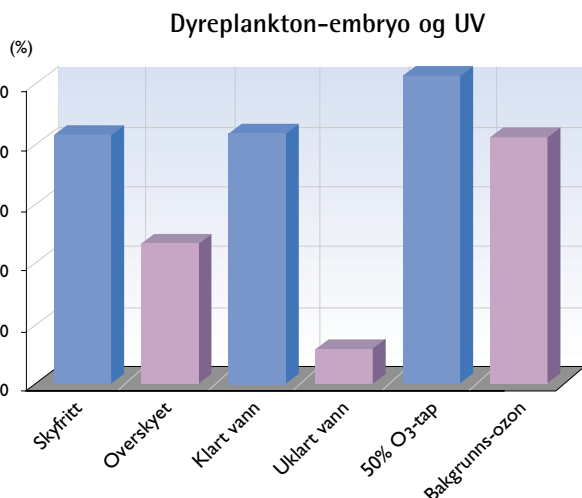
De UV-induserte endringene i samspillet i næringskjeden kommer sannsynligvis til å bli større enn de direkte effektene på de enkelte artene. For eksempel fører UV-eksponering, selv lave doser, til en reduksjon av viktige fettsyrer i alger, noe som medfører at fiskelarvene får dårligere muligheter til å få i seg disse viktige næringsstoffene. Ettersom fiskelarvene og rekken av rovdyr opp igjennom næringskjeden trenger disse fettsyrene for å kunne utvikle seg og vokse, vil en slik reduksjon i næringskvaliteten på føden potensielt kunne få store og omfattende konsekvenser for helsen og reproduksjonsevnen i det marine økosystemet. UV-eksponering har mange negative konsekvenser for fisk og andre marine dyr, særlig viktig er svekkelsen av immunsystemet. Selv en enkelt dose UV-stråling vil svekke en fisks immunforsvar og svekkelsen er fremdeles synlig 14 dager etter at fisken utsettes for strålingen. Dette kan føre til at hele bestander blir mer mottakelig for sykdom. Immunsystemet hos ungfisk vil sannsynligvis være enda mer sårbar overfor UV ettersom de befinner seg i et kritisk utviklingsstadium og dette vil kunne medføre et svekket immunforsvar senere i livet.

Nyere studier anslår at en sesongmessig reduksjon i stratosfærisk ozon på 50 % vil redusere primærproduksjonen i de marine systemene med opptil 8,5 %. Men som tilfellet også var for ferskvannssystemer kan skylaget, isdekket og vannets klarhet eller turbiditet være bestemmende faktorer i forhold til UV-eksponering.

Modellberegninger av den relative effekten av ulike variabler på UV-indusert død i raudåte (*Calanus finmarchicus*). Diagrammet viser at både skyer, vannets turbiditet og ozon reduserer mengden embryo som dør som en følge av UV-stråling. Av disse tre variablene er det vannets turbiditet som har den sterkeste beskyttelseeffekten. Dyreplankton er en viktig del av den marine næringskjeden.



Torskeembryo er følsomme overfor UV-stråling. Dersom de blir beskyttet mot UV-stråler, enten ved hjelp av stratosfærisk ozon, skyer eller oppløst organisk karbon, så vil deres muligheter til å overleve øke sterkt. Denne grafen illustrerer graden av beskyttelse som det organiske materialet i vannsøylen gir. Overlevelsen øker ettersom mengden oppløst organisk materiale øker. Klimaendringer kan påvirke mengden oppløst organisk materiale i vannet.



En type marin dyreplankton kalt raudåte (*Calanus finmarchicus*)

10 En rekke faktorer virker sammen og påvirker mennesker og økosystemer



Vind, elver og havstrømmer fører miljøgifter inn i Arktis

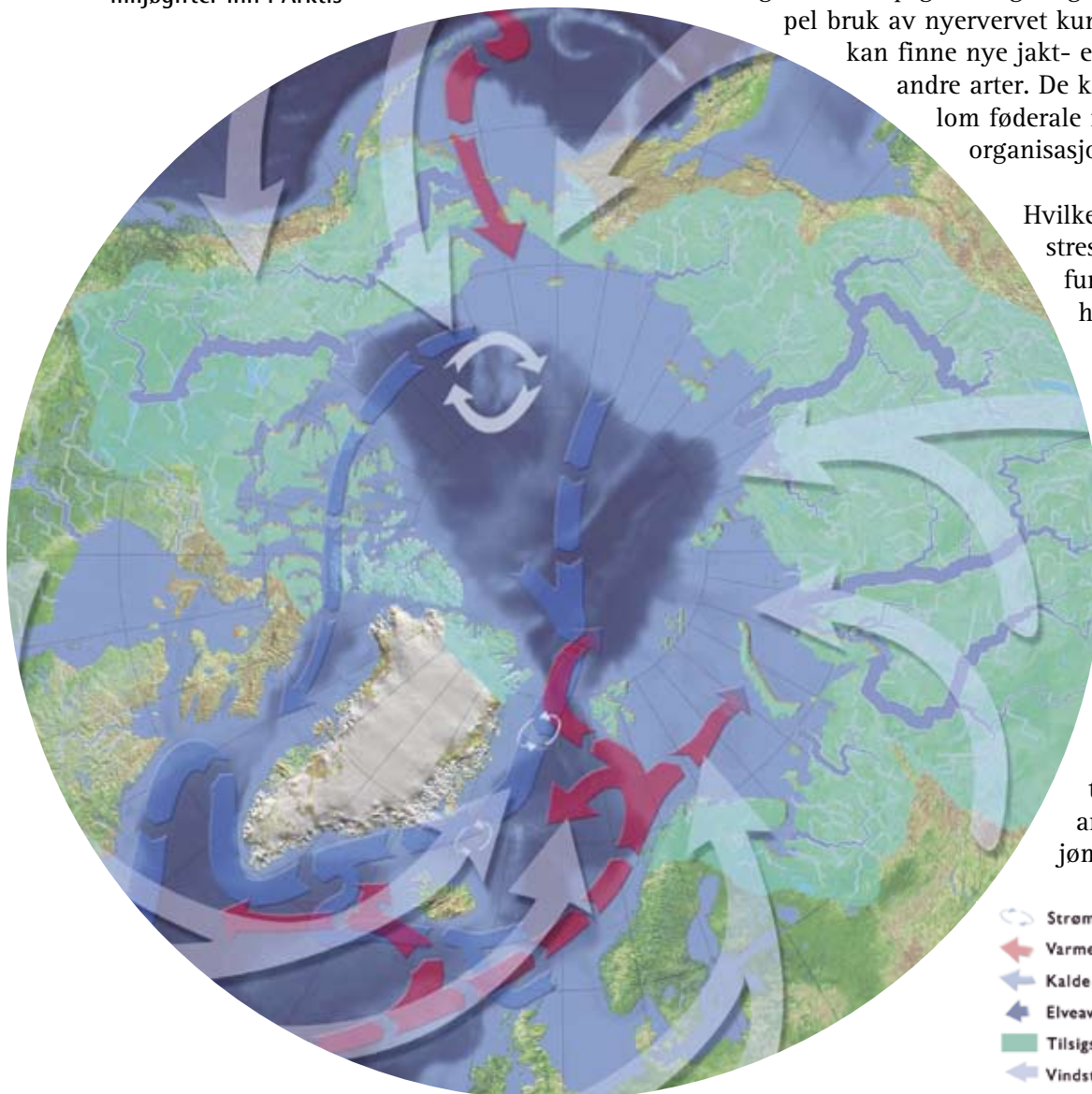
Klimaendringer i Arktis skjer innenfor rammen av en rekke andre endringer som f.eks. kjemisk forurensning, økt UV-stråling og habitatødeleggelse. Samfunnsendringer omfatter befolkningsøkning, økt tilgjengelighet til de arktiske landområdene, teknologiske nyvinninger, handelsliberalisering, urbanisering, bevegelser for økt selvbestemmelse, økende turisme, med mere. Alle disse endringene henger sammen og konsekvensene av disse forholdene vil være avhengige av samspillet mellom dem. Noen av disse endringene vil forsterke virkningene av klimaendringer mens andre vil svekke disse virkningene. Noen endringer vil gi befolkningen bedre evne til å tilpasse seg klimaendringer mens andre vil forhindre tilpasning.

Graden av menneskenes robusthet eller sårbarhet overfor klimaendringer avhenger av det samlede stressnivået de utsettes for samt deres evne til å tilpasse seg disse endringene. Tilpasningsdyktigheten blir i stor grad påvirket av politiske, juridiske, økonomiske, sosiale og andre faktorer. Miljøendringer vil utløse reaksjoner i flere dimensjoner, for eksempel tilpasninger i jakt-, gjeting- og fiskepraksis, så vel som endringer i de politiske, kulturelle og åndelige aspektene ved livet. Tilpassing kan for eksempel innebære endring i kunnskapsgrunnlaget og bruk av denne kunnskapen, for eksempel bruk av nyervervet kunnskap om vær og klimamønstre. Folk kan finne nye jakt- eller gjeteområder, og de kan jakte på andre arter. De kan også skape nye forbindelser mellom føderale myndigheter og urfolksorganer og organisasjoner.

Hvilke miljøendringer som fører til høyest stressnivå varierer mellom de ulike samfunnene i Arktis. For eksempel er de helsemessige trusselene forårsaket av persistente organiske stoffer (POP) og havisreduksjon særdeles alvorlig for inuitene i det nordlige Canada og vestlige Grønland. Dette er ikke imidlertid ikke så viktig for samene i Norge, Sverige og Finland. For samene er det underkjølt regn som fryser inn reinsdyrenes føde som bekymrer mest, så vel som veibygging i beiteområder.

Klimaendringer og miljøgifter

Miljøgifter, inkludert POP og tungmetaller, som transporteres til Arktis fra andre regioner, er blant de største miljømessige stressfaktorene som samspiller



- Strømvirvel
- Varme strømmer
- Kalde strømmer
- Elveavrenning
- Tilsigsområde for Arktis
- Vindstrøm

Miljøgifter som slippes ut i nordlige industriområder transporteres til Arktis hvor konsentrasjonen øker etter hvert som de beveger seg oppover i næringskjeden.



Menneskers helse	Klimaendringer og stress	Sammendrag
15	17	18

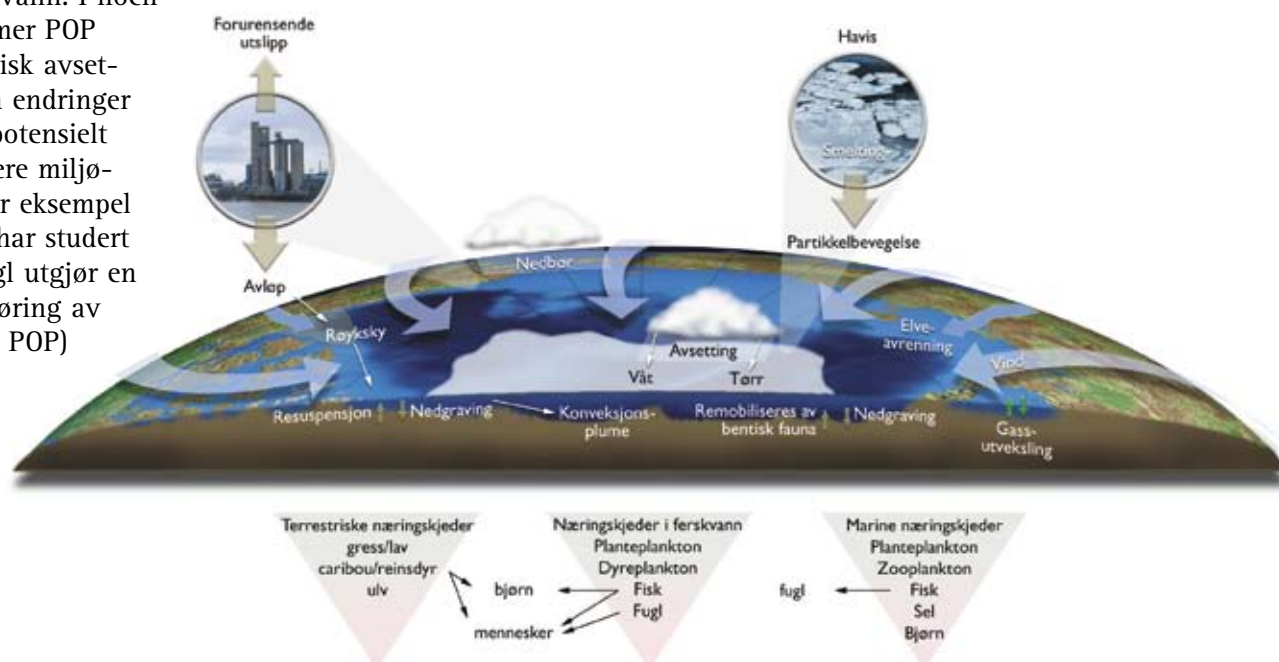
med klimaendringer. Enkelte arktiske dyrearter, spesielt de som er høyt oppe i den marine næringskjeden, inneholder høye nivåer av stoffer som DDT og PCB. Bruken av disse kjemikaliene på globalt nivå var på sitt største i 1960- og 1970-årene, og produksjonen av disse har siden dette blitt forbudt i de fleste land. Miljøgifter som ble sluppet ut før slike kontrollmekanismer ble innført eksisterer likevel fortsatt i miljøet. De blir transportert, først og fremst med luftstrømmene, fra industri- og jordbrukskilder på midlere breddegrader og opp til Arktis der de avsettes på partikler eller snøfnugg eller direkte på bakken.

POP-ene blir mer og mer konsentrert etter hvert som de beveger seg oppover i næringskjeden. Det gir høye nivåer i isbjørn, polarrev og flere selarter, i hval, fisk, sjøfugl og rovfugler. Mennesker i Arktis som spiser disse dyrene blir derfor utsatt for potensielt skadelige nivåer av disse miljøgiftene. Det er målt bekymringsfullt høye nivåer i blodprøver fra befolkningen i ulike arktiske områder, for eksempel i det østlige Canada, i Grønland og i det østlige Sibir. Variasjonene er store i regionen.

Kvikksølv er det tungmetallet som skaper mest bekymring i enkelte deler av Arktis. Kvikksølv fra fjerne kilder avsettes på snøen i Arktis der det blir frigitt i miljøet når snøen smelter om våren, samtidig som plantene og dyrene starter sin reproduksjons- og vekstperiode og de dermed er i sin mest sårbare periode. Kull- og søppelforbrenning samt industrielle prosesser er de viktigste kildene til globale utslipp av kvikksølv. Dagens kvikksølvnivå utgjør en helseisiko for noen arktiske folk og dyr, og ettersom kvikksølv er lite nedbrybart øker kvikksølvnivåene i regionen fremdeles selv om utslippene har gått ned i Europa og Nord-Amerika.

Vinden fører med seg miljøgifter og nedbøren avsetter dem på land og hav. Temperaturen påvirker fordelingen av miljøgifter mellom luft, land og vann. Forventede klimarelaterte endringer i vindmønstre, nedbør og temperatur, kan derfor føre til endring i miljøgiftenes transportruter som igjen vil gi andre avsetningsmengder og -steder i Arktis. Mer omfattende smelting av flerårig havis og isbreer resulterer i raskere utslipp av store mengder miljøgifter som tidligere var fanget i isen over flere år eller tiår.

Det finnes en rekke andre måter klimaendringer påvirker miljøgiftenes transportveier til Arktis på. Nyere undersøkelser viser at laksens vandringssmønstre har gjennomgått store klimarelaterte endringer og at stillehavslaksen kan reagere ved å forflytte seg nordover og inn i de arktiske elvene. Laksen akkumulerer og konsentrerer miljøgiftene mens de oppholder seg i Stillehavet og transporterer dem inn i arktiske farvann. I noen tilfeller tilføres innsjøer mer POP fra fisk enn fra atmosfærisk avsetning. På samme måte kan endringer i fuglenes trekkmonster potensielt transportere og konsentrere miljøgifter i gitte vassdrag. For eksempel har norske forskere som har studert Ellasjøen funnet at sjøfugl utgjør en viktig mekanisme i overføring av miljøgifter (i dette tilfelle POP) fra det marine miljøet til ferskvannsmiljøet.





Et studie av endringer i samspill: samiske reingjetere

Observert og forventet temperatur- og nedbørsøkning og endringer i årstidenes gang, påvirker reindriften på mange måter. En økning i hyppigheten av tilfeller med regn på snø og perioder med mildvær om vinteren forårsaker isdannelse som gjør føden mindre tilgjengelig. En temperaturøkning om høsten kan medføre senere start på den snødekte perioden av året. En temperatur- og nedbørsøkning kan også føre til at snø oftere faller på ufrossen jord. Et økende antall, tetthet og utbredelse av bjørketær på beitemarkene har allerede ført til mindre tilgjengelig føde for reinsdyrene om vinteren. En ytterligere forflytting av skog inn i tundraområdene vil sannsynligvis føre til en ytterligere reduksjon av de tradisjonelle beiteområdene.

Det karakteristiske sesongmessige mønsteret med å flytte flokkene mellom sommer- og vinterbeiter gjenspeiler gjeternes kunnskap om de sesongmessige endringene i tilgangen på nøkkelressurser som mat og vann. For eksempel, i de varme vintrene på 1930-tallet, da forholdene til tider var vanskelig på grunn av store nedbørsmengder, ble flokkene flyttet til kysten tidligere enn vanlig om våren. På samme gjenspeiler flytting av flokkene fra dårlige til gode beiteområder, inkludert «bytting av god snø» med nabogjeterne, omfattende kunnskap om bieteforholdene. I hvert tilfelle avhenger gjeternes suksess av mulighet til forflytning.

En rekke faktorer, blant annet politiske strategier over de siste tiårene, har gjort det vanskelig for samiske reingjetere å forholde seg til klimaendringer og andre endringer. En viktig stressfaktor er etablering av veier og annen infrastruktur i de tradisjonelle beiteområdene. En annen stressfaktor er konflikten mellom de ulike interessene. Fjellbeitene i Norge er en viktig ressurs for gjeterne, men forvaltningen av beitemark

«Verden har endret seg for mye nå. Vi kan si at naturen er forvirret nå. I tillegg blir reinsdyrnæringen presset av ulike politiske, sosiale og økonomiske fronter hele tiden. Vanskelighetene er reelle. En levemåte som var bærebjelken for alt er nå i endring.»

Veikko Magga
Samisk reingjeter
Vuotso, Finland

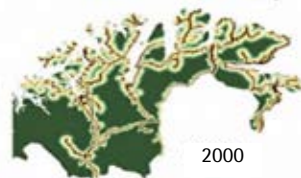


forvanskes av at gaupe, ulv og jerv, rovdyr som utgjør en stor trussel mot reinkalvene, finnes i disse områdene, men som samtidig beskyttes gjennom rovdyrvernet.

Andre endringer er forbundet med et lovverk som vektlegger kjøttproduksjon, som dermed oppmuntrer aktivt avl og som ikke favoriserer små flokker. Dette lovverket gjør at det er gunstig å ha store flokker, og flokkene har følgelig økt fra 100 til 700 dyr. Lovverket gjør det også gunstig å ha flest hunndyr og kalver (kalvene slaktes til kjøttproduksjon), og dette har medført en endring i flokkstrukturen fra flokken som tradisjonelt bestod av 40 % hannedyr til flokker som i dag består av bare 5 % hannedyr. I den tradisjonelle reindriften er hannedyrene viktige på grunn av deres suverene evne til å grave seg gjennom dyp snø eller snø av dårlig kvalitet for på denne måten å avdekke føde for hele flokken. Den reduserte andelen hannedyr kan bli et enda større problem i fremtiden dersom snøforholdene forandret på grunn av klimaendringer gir vanskeligere beiteforhold for små dyr.



Veiutbygging reduserer beiteområdene



Konsekvenser (mindre villt)

- Svært høy
- Høy
- Lav
- Svært lav
- «Villmark»

Utbyggingen av veier i Finnmark i Norge mellom 1940 og 2000 og tap av reinbeiteområder.



Forventet infrastrukturutvikling

2000



2030



2050



Forventet infrastrukturutvikling, inkl. veier, hus og militære øvelsesfelt, i Barentsregionen i perioden 2000-2050. Scenariet som er vist her er basert på den historiske utviklingen av infrastruktur, befolkningsfordeling og -tetthet, eksisterende infrastruktur, kjente områder for olje, gass, mineraler og skog, avstand til kysten og vegetasjonstype.



Menneskers helse

Klimaendringer vil fortsette å påvirke menneskenes helse i Arktis. Konsekvensene vil utarte seg ulikt på ulike steder som en følge av regionale forskjeller i klimaendringer og også som en følge av ulik helsestatus og tilpasningsdyktighet hos ulike folkegrupper. Befolkningen i små og isolerte bosetninger med et skjørt støtteapparat, lite infrastruktur og et marginalt eller ikke-eksisterende offentlig helseapparat, synes å være mest sårbare. Folk som er avhengige av fiske og jakt, spesielt de som er avhengige av bare noen få spesifikke arter, kommer til å være sårbare overfor endringer som påvirker disse artene (for eksempel redusert havis og virkningene på ringsel og isbjørn). Alder, levemåte, kjønn, tilgang til ressurser og andre faktorer påvirker den individuelle og kollektive tilpasningsevnen. Den tidligere evnen til å flytte for å tilpasse seg endrede klimaforhold har blitt redusert ettersom mange bosetninger nå er blitt stedfaste.



Det er sannsynlig at klimaendringer vil ha både positive og negative virkninger på menneskers helse i Arktis. De direkte positive virkningene innbefatter en reduksjon i kuldeinduserte skader som frostskafer og hypotermi og en reduksjon av kuldestress. Dødelighet er høyere om vinteren enn om sommeren og mildere vintre kan i enkelte regioner føre til en reduksjon i vinterdødstallet. Imidlertid er det vanskelig å tolke forholdet mellom dødstallet og vinterværet, og forholdet er langt mer komplisert enn forholdet er mellom høye temperaturer og sykdom og død. For eksempel er mange av vinterdødsfallene forårsaket av infeksjonssykdommer som influensa, og det er uklart hvordan høyere vintertemperatur vil kunne påvirke smitteoverføring av influensa.

Det er sannsynlig at direkte negative virkninger vil innbefatte økt varmestress og flere ulykker forårsaket av uvanlige is- og værforhold. Indirekte virkninger inkluderer kostholdsendringer som følge av endret tilgang til matauk, økt mentalt og sosialt stress som følge av endret miljø og levemåte, potensielle endringer i bakterie- og virusspredning, myggbåren sykdomsutbrudd, endret tilgang til godt drikkevann og sykdom som følge av problemer med sanitærsystemene. Helseeffekter kan også oppstå som en følge av samspillet mellom miljøgifter, ultrafiolett stråling og klimaendringer.



I enkelte deler av Arktis har urfolk rapportert om tilfeller av stress forbundet med høyere temperaturer enn noensinne opplevd tidligere. Virkningene innbefatter pustevansker som, i sin tur, kan begrense den enkeltes deltakelse i fysiske aktivitet. Imidlertid kan færre kalde dager om vinteren i mange områder ha den positive effekten at det gir folk mulighet til å komme mer ut, med den følge at stress forårsaket av ekstrem kulde også reduseres.

Det er svært sannsynlig at klimarelaterte endringer i utbredelsen av fisk og dyreliv vil medføre betydelige endringer i tilgangen til tradisjonelle matvarer, noe som kan medføre vesentlige helseeffekter. Det er kjent at en overgang til et mer vestlig kosthold øker faren for kreft, overvekt, diabetes og hjerte- og karsykdommer i den nordlige befolkningen. Det er sannsynlig at en reduksjon av kommersielt viktige arter, som for eksempel laks, vil føre til økonomiske og helsemessige problemer forbundet med redusert inntektsnivå i små samfunn. Klimastress og forskyvninger i dyrebestandene skaper også grobunn for spredning av infeksjonssykdom i dyr som kan spres videre til mennesker, som for eksempel vestnilfeber.

Sikkert drikkevann og gode sanitære forhold er viktig for å opprettholde en god helse-tilstand i befolkningen. Sanitær infrastruktur innbefatter vannrensnings- og distribusjonssystemer, oppsamlings-, behandlings- og avhendingssystemer for spillvann og kloakk, samt oppsamlings- og avhendingssystemer for fast avfall. Permafrosttining, kysterosjon og andre klimarelaterte endringer som påvirker drikkevannskvaliteten negativt, som begrenser en effektiv og god tilgang på drikkevannet eller som fører til direkte skader på anlegg og installasjoner, vil sannsynligvis ha betydelige konsekvenser for menneskers helse.

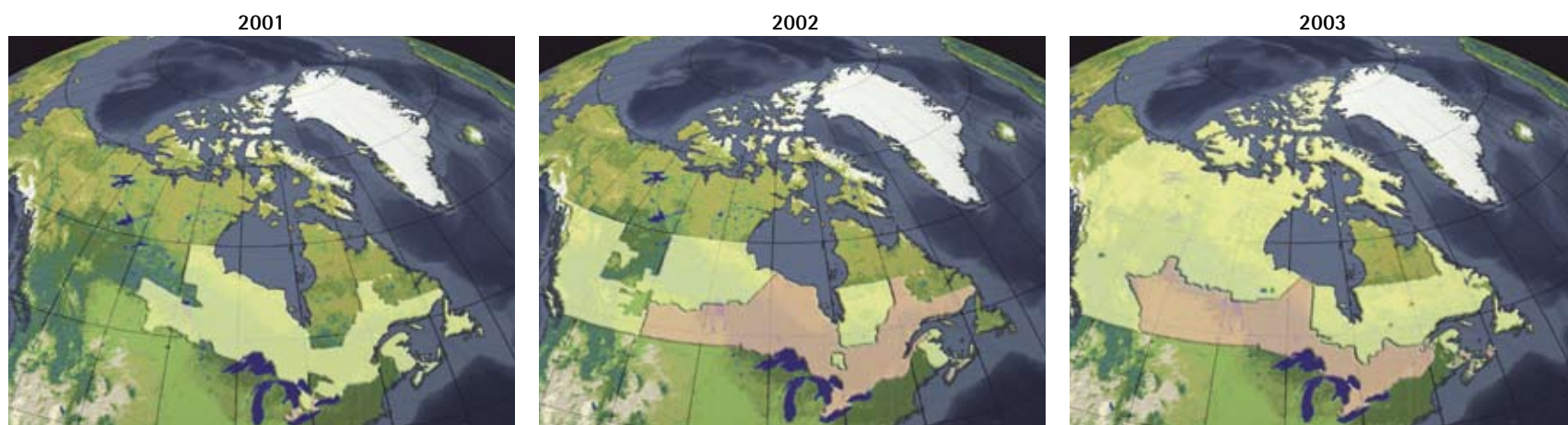
Økt hyppighet av ekstreme hendelser som oversvømmelse, storm, steinras og snøras forventes å føre til en økning i skade- og dødstall. I tillegg til slike direkte virkninger av denne type hendelser, vil de indirekte konsekvensene kunne inkludere effekter på tilgang til rent drikkevann. Intenst regn kan føre til utbrudd av myggbåren sykdom, oversvømmelsesrelaterte katastrofer og, avhengig av den eksisterende infrastrukturen, forurensning av drikevannskilden.

Det er også sannsynlig at mental helse vil bli påvirket av klimarelaterte endringer i Arktis. Reduserte muligheter for jakt, fiske, gjeting og sanking vil sannsynligvis føre til psykisk stress på grunn av tapet av viktige kulturelle aktiviteter. Oversvømmelse, erosjon og permafrosttining som følge av klimaendringer kan negativt påvirke beboelighet og infrastruktur, noe som kan medføre befolkningsforflytning og bosetningssammenbrudd og påfølgende psykiske effekter.



Befolkningen i små og isolerte bosetninger med et skjørt støtteapparat, lite infrastruktur og et marginalt eller ikke-eksisterende offentlig helseapparat, synes å være mest sårbare.

Endrede forhold for vestnilfeber-viruset i Canada



Vestnilfeber-viruset er et ferskt eksempel på hvor langt og hvor hurtig en sykdom kan spre seg når den først får fotfeste i en ny region. Vestnilfeber kan ramme mange fugle- og pattedyrarter (inkl. mennesker) og overføres av mygg. Den ble først registrert på Nord-Amerikas østkyst i 1999 og spredte seg til 43 stater og seks canadiske provinser innen utgangen av 2002. Trekkfugl er ansvarlig for at den spres til andre områder. Mygg overfører viruset til andre fugler (og også til pattedyr og mennesker) innenenfor regionen. Selv om viruset opprinnelig er fra den tropiske delen av Afrika, har det tilpasset seg til mange nordamerikanske myggarter og hittil også til mer enn 110 nordamerikanske fugleslag, hvorav noen trekker til Arktis. Myggarter som man vet sprer viruset finnes også i Arktis. Klimaet har, historisk sett, begrenset rekkevidden til noen av de insektbårne sykdommene, men klimaendringer og tilpasningsdyktige sykdomsbærere, som vestnilfeber, ser ut til å legge til rette for nordlig spredning. Noen arktiske regioner, som for eksempel staten Alaska, har satt igang overvåkingsprogrammer for vestnilfeber.

- Døde fugler levert inn til undersøkelse
- Testet positivt for vestnilfeber

UTVALGTE SUB-REGIONALE PÅVIRKNINGER

Om disse kartene

Kartene viser observerte og beregnede endringer i klimaet i de fire arktiske subregionene som et årlig gjennomsnitt og for vintersesongen (desember, januar, februar).

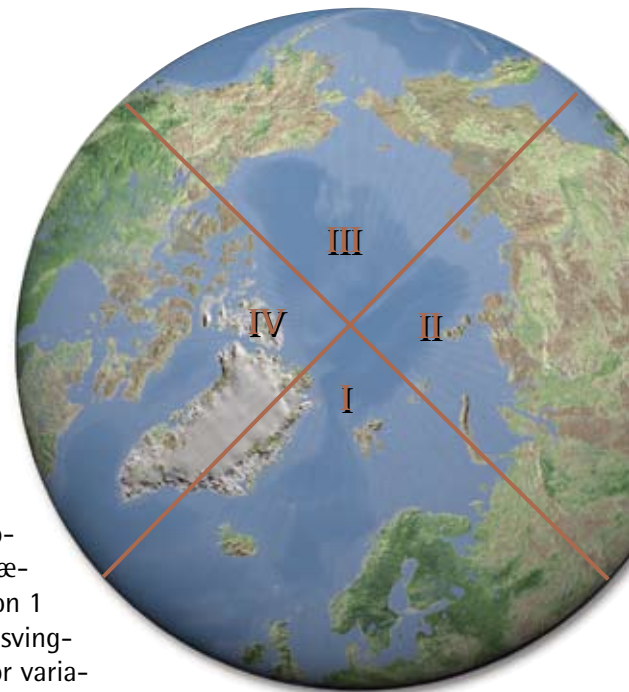
Kartene over observerte temperaturendringer viser forskjellene fra midten av det 20. århundret og dagens situasjon. For eksempel betyr gult at det har vært en temperaturstigning på 2 °C i løpet av de siste 50 årene i det gitte området. Svart betyr at det ikke foreligger nok observasjonsdata for å kunne fastslå omfanget av endringene i dette området.

Fremtidskartene viser de beregnede temperaturendringene fra 1990-årene til 2090-årene basert på gjennomsnittlig endring beregnet av de fem ACIA klimamodellene under det laveste av de to utslipps scenariene (B2) vurdert i denne rapporten. På disse kartene betyr oransje at et område forventes å bli 6 °C varmere fra 1990-årene til 2090-årene.

Klimaendringer i ACIAs subregioner

Siden de atmosfæriske og marine koblingene til resten av verden varierer fra subregion til subregion, har også klimaendringene i de ulike delene av Arktis vært forskjellige de siste 100 årene. Noen subregioner har varmet mer opp enn andre og noen har til og med opplevd noe nedkjøling. Beregninger viser at hele Arktis vil varmes opp i fremtiden, hvor noen områder varmes opp mer enn andre.

Det er sannsynlig at noen av de subregionale variasjonene henger sammen med forskyvninger i de atmosfæriske sirkulasjonsmønstrene. For eksempel er Subregion 1 spesielt utsatt for forskyvninger i den nordatlantiske svingningen (North Atlantic Oscillation) som gir uttrykk for variasjon i styrken på den østlige luftstrømmen over Nord-Atlanteren og inn over Europa. Når denne østlige luftstrømmen er sterk, vil varm havluft strømme inn over det nordlige Eurasia og Arktis om vinteren, noe som resulterer i temperaturen som er høyere enn normalt. Dette luftstrømmønsteret er i overensstemmelse med, og kan være ansvarlig for, noe av oppvarmingen i det eurasiske Arktis de siste tiårene. En avgjørende faktor for klimaberegningene for dette området i det 21. århundret, er tilstanden til den nordatlantiske svingningen, inkl. dens mulige respons på økende klimagasskonsentrasjoner.

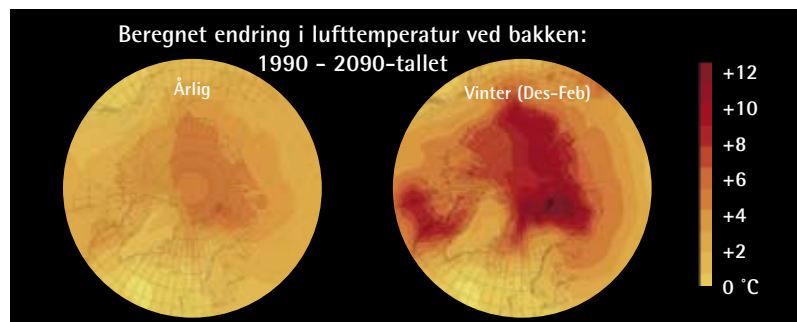
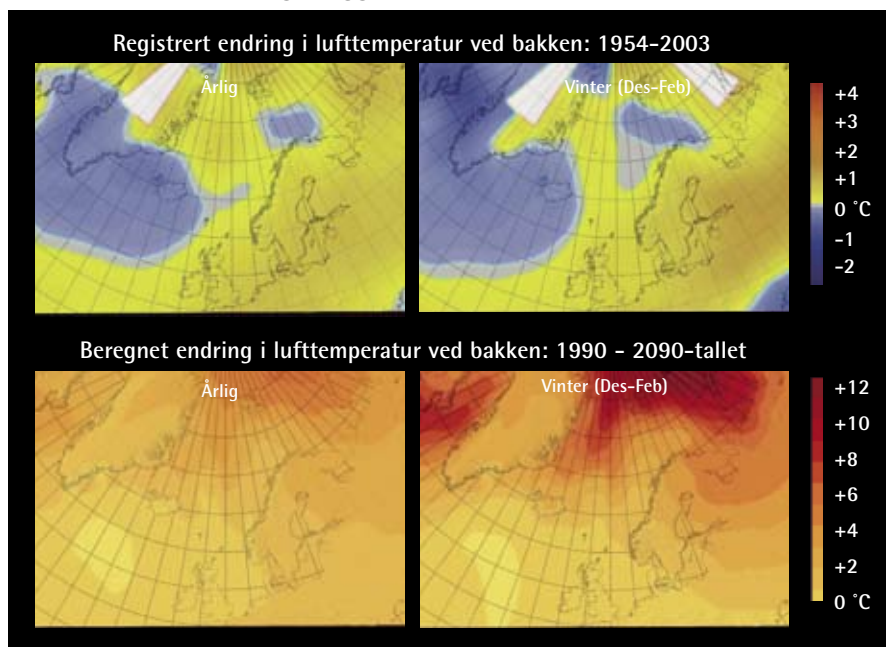


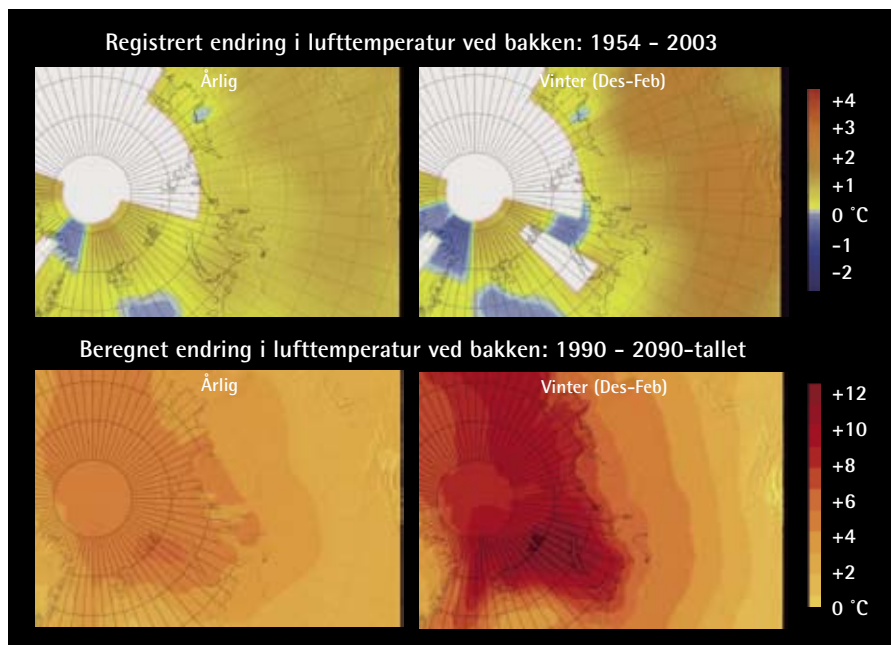
I løpet av de siste 50 årene har den årlige gjennomsnittstemperaturen økt med ca. 1 °C over Øst-Grønland, Skandinavia og Nordvest-Russland mens det har vært en avkjøling på opptil 1 °C på Island og over Nord-Atlanteren. Temperaturen ved overflaten over Polhavet og nordatlanten har holdt seg svært lave om vinteren og har begrenset oppvarmingen i kystområdene. Over innlandsområdene har derimot den gjennomsnittlige vintertemperaturen i Skandinavia økt med ca. 2°C og 2-3 °C i Nordvest-Russland.

Innen 2090-årene vil man, i følge modellberegninger, få en ytterligere årlig gjennomsnittlig oppvarming på 3 °C i Skandinavia og Øst-Grønland, ca. 2 °C på Island og ca. 6 °C over sentrale deler av Polhavet. Den gjennomsnittlige vintertemperaturen er forventet å øke med 3-5 °C over de fleste landområdene og med opptil 6 °C over Nordvest-Russland. Økningen vil være størst nær kysten som et resultat av oppvarmingen på 6-10 °C over Polhavet.

Alle modellene har beregnet at de sentrale områdene av Polhavet vil varmes opp betydelig mer enn noen av de fire subregionene, med en oppvarming på opptil 7 °C årlig og med opptil 10 °C om vinteren innen 2090-årene.

SUBREGION I (Øst-Grønland, Island, Norge, Sverige, Finland, Nordvest-Russland og tilliggende havområder)

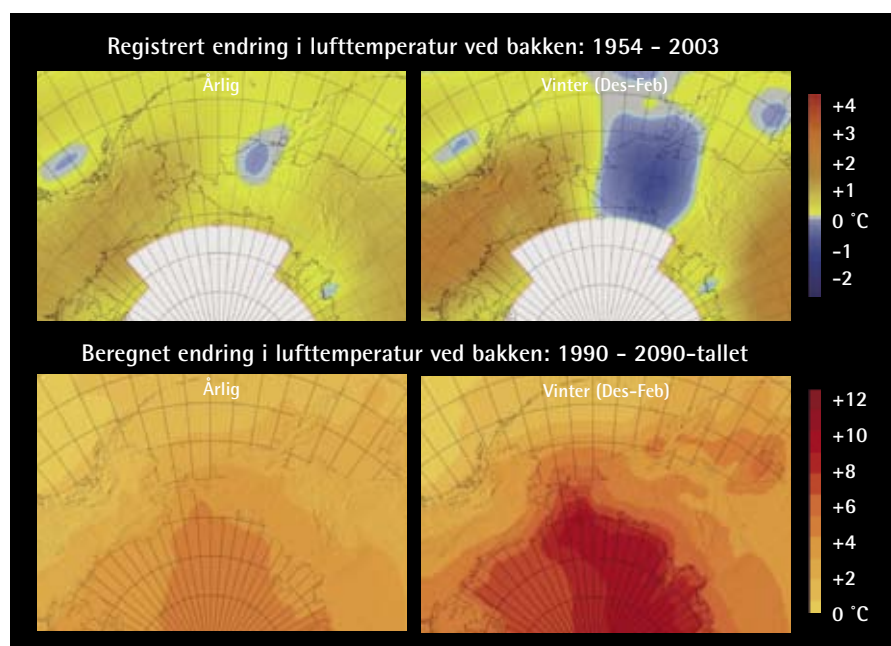




SUBREGION II (Sibir og tilliggende havområder)

Den årlige gjennomsnittstemperaturen over Sibir har økt med ca. 1-3 °C de siste 50 årene med den største oppvarmingen om vinteren med temperaturøkninger på 3-5 °C. Oppvarmingen har vært størst i innlandet i områder der redusert snødekke har forsterket oppvarmingen.

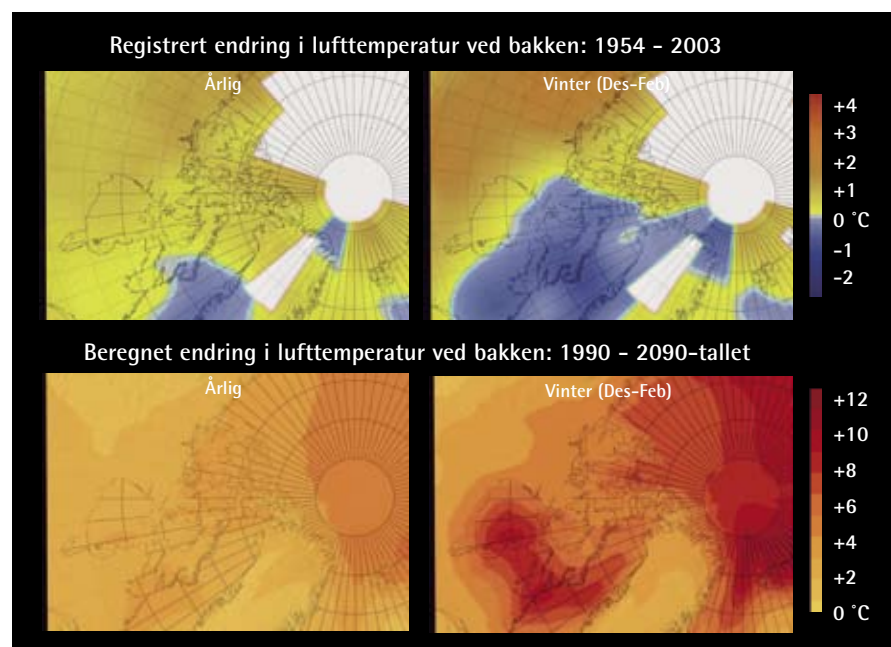
Modellberegningene tilsier at innen 2090-årene forventes en ytterligere oppvarming på ca. 3-5 °C over land med størst økning nær Polhavet der lufttemperaturen forventes å stige med ca. 5-7 °C. Temperaturøkningen om vinteren forventes å bli på 3-7 °C over land, også her økende ved Sibirs nordkyst som følge av økningen på 10 °C eller mer over de nærliggende havområdene.



SUBREGION III (Tsjukotka, Alaska, det vestlige canadiske Arktis og tilliggende havområder)

I løpet av de siste 50 årene har den årlige gjennomsnittstemperaturen økt med 2-3 °C i Alaska og i det canadiske Yukon og med ca. 0,5 °C i Beringhavet og det meste av Tsjukotka. De største endringene har vært om vinteren med en økning i temperaturen ved bakken på 3-5 °C i Alaska, det canadiske Yukon og Beringhavet, mens vintrene på Tsjukotka har blitt 1-2 °C kaldere.

Modellberegninger tilsier at innen 2090-årene vil ha skjedd en årlig gjennomsnittlig oppvarming på 3-4 °C over landområdene og Beringhavet og ca. 6 °C over de sentrale områdene av Polhavet. Vintertemperaturen forventes å stige med 4-7 °C over landområdene og opp til 10 °C over Polhavet.



SUBREGION IV (Sentrale og østlige canadiske områder, Vest-Grønland og tilliggende havområder)

I løpet av de siste 50 årene har den årlige gjennomsnittstemperaturen økt med omtrent 1-2 °C over det meste av det canadiske Arktis og Nordvestgrønland. Labradorhavet forble kaldt, mens det ble ca. 1 °C kaldere i de nærliggende områdene i Canada og Sørvestgrønland. Vintertemperaturene i det sentrale Canada økte med så mye som 3-5 °C, mens de områdene i Canada og Grønland som ligger ved Labradorhavet ble avkjølt med så mye som 1-2 °C.

Innen 2090-årene vil hele denne regionen oppleve oppvarming. En gjennomsnittlig årlig oppvarming på 3-5 °C forventes over øygruppene i arktisk Canada og 5-7 °C over havområdene. Vintertemperaturen forventes å øke med 4-7 °C over det meste av Canada og 3-5 °C over Grønland med en økning på fra 8 til mer enn 10 °C over Hudson Bay, den nordlige delen av Labradorhavet og Polhavet etter hvert som isen trekker seg tilbake.

DE VIKTIGSTE KONSEKVENSENE – SUBREGION I

Øst-Grønland, Island, Norge, Sverige, Finland, Nordvest-Russland og tilliggende havområder

... For miljøet

Virkninger på arter som følge av tilbaketrekking av havisen

En omfattende reduksjon av havisutbredelsen om sommeren og tidligere smelting og senere innfrysing vil gi en rekke virkninger i denne regionen. Som eksempler kan nevnes at den reduserte refleksiviteten på havoverflaten vil føre til en økt regional og global oppvarming; det er sannsynlig at reduksjonen i havis vil øke produktiviteten på bunnen av den marine næringskjeden, noe som muligens vil føre til en økning i produktiviteten i enkelte fiskerier; tilbaketrekking av havisen vil føre til en så stor reduksjon av leveområdene for isbjørn og isavhengige selarter at det sannsynligvis vil true disse artenes overlevelse i regionen; det er også sannsynlig at mer åpent vann vil være en fordel for enkelte hvalarter.

Endringer i skogen

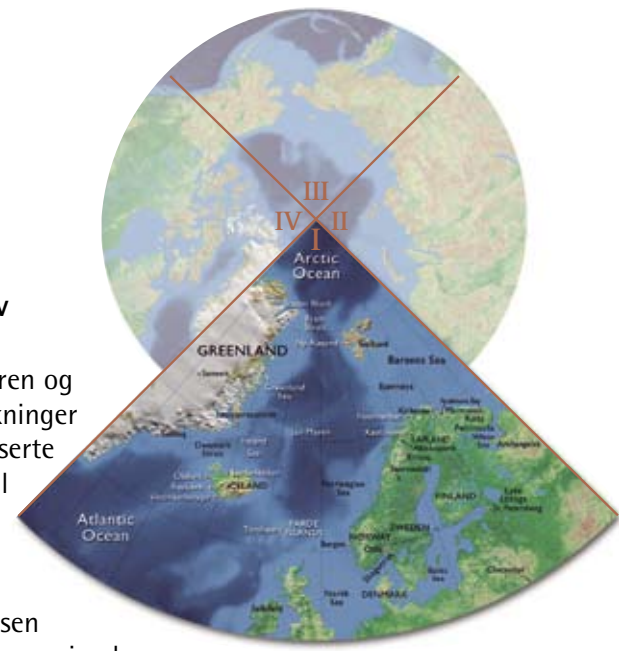
Observasjoner i denne regionen viser at tregrensen har flyttet seg opp til 60 meter i høyden i det nordlige Sverige i løpet av det 20. århundre. I de siste tiårene har hastigheten ligget på en halv meter i året og 40 meter per °C. I den russiske delen av denne regionen har tregrensen faktisk flyttet seg sørover, noe som ser ut til å være knyttet opp mot forurensning, avskoging, jordbruk og fremvekst av myrer som fører til tredød. I noen områder i Finland og Nord-Sverige har en tilsynelatende økt hyppighet av episoder med hurtig veksling mellom varme og kalde perioder om vinteren ført til økt knoppskade på bjørk.

Det er svært sannsynlig at den forventede oppvarmingen vil føre til at de boreale barskogene og den arktiske/alpine tundraen forflytter seg nordover i denne regionen. Potensialet for vegetasjonsendringer er kanskje størst i det nordlige Skandinavia der store endringer har funnet sted i historisk tid som en respons på oppvarming. I denne regionen forventes det at furuskogen vil forflytte seg inn i det laveste beltet av fjellbjørk mens bjørkegrensen forventes å forflytte seg oppover i høyde og i nordlig retning. Her vil den ta over for krattvegetasjonen på tundraen, som i sin tur vil forflytte seg inn på den alpine tundraen. Varmere vintre er forventet å resultere i økt insektskade i skogen. Det har allerede blitt registrert at noen av de større sommerfugl- og målerartene har utvidet sitt leveområde nordover, og noen av larvene er kjent for å spise opp bladene på lokale trær.

Tap av biologisk mangfold

I denne sub-regionen antas det at de varme vintrene de siste årene og endringene i snøforholdene har vært en medvirkende årsak til at enkelte reinsdyrbestander har vist nedgang og dessuten også til den observerte kollapsen i lemenbestands- og smånagerbestandstoppene de siste tiårene. Slike kollapser fører i sin tur til en reduksjon i bestandene til fugl og andre dyr. Den største tilbakegangen er blitt observert blant kjøttetere som polarrev og rovfugler som snøugla. Bestanden til disse to artene er allerede i tilbakegang, og det samme gjelder for en rekke andre fuglearter. Ettersom artenes leveområder forflytter seg nordover vil de alpine artene i Nord-Norge, Sverige, Finland og Russland være mest truet siden de ikke har noe sted å dra når egnede leveområder forsvinner på fastlandet. Båndet med tundra mellom skogen og havet er svært smal og spesielt sårbar overfor tap.

Når det gjelder ferskvannsfisk i denne regionen, forventes det at det lokale mangfoldet vil øke til å begynne med i det nye arter flytter nordover. Men ettersom oppvarmingen fortsetter i tiårene som kommer, er det svært sannsynlig at temperaturen vil overskride varmetoleranse til noen av de stedege artene. Det vil føre til en reduksjon i mangfoldet. Det kan hende at sluttresultatet blir det samme antallet arter, men med en annen artssammensetning. Noen nye arter vil komme til mens andre vil gå tapt. Imidlertid så vil i det store og det hele de nye artene i Arktis komme fra sørligere strøk, mens de som går tapt svært sannsynlig vil føre til et globalt tap siden de ikke har noe sted å gjøre av seg. Sluttresultatet blir en globalt reduksjon i biologisk mangfold.



... For økonomien

De marine fiskeriene

I denne regionen finner vi noen av de mest produktive fiskebankene i Arktis. Det er sannsynlig at høyere havtemperatur vil medføre en nordlig forflytning av mange fiskearter samt til endringer i vandringsstidspunkt, mulig utvidelse av gyteområde og økt veksttempo. Under et scenario med moderat oppvarming er etablering av en verdifull torskestamme ved Vest-Grønland mulig dersom larvene driver over fra Island og dersom fiskeriene begrenses lenge nok til at en stor nok gytestamme kan etableres. Under slike forhold vil man på den annen side kunne forvente en 70 % reduksjon i det rekefisket ettersom reke er en viktig del av torskens diett. Mer sørlige fiske-slag, som makrell, kan forflytte seg inn i regionen og gi rom for nye muligheter, men loddefisket sannsynligvis ville svinne hen.

Skogbruk

Skogbruket har allerede blitt påvirket av klimaendringer, og det er sannsynlig at konsekvensene vil bli enda større i årene som kommer. Skogpest i den russiske delen av regionen har forårsaket de største skadene. Den røde furubarvepsen har påvirket en rekke områder som alle er på mer enn 5000 hektar. Det årlige antallet insektangrep i perioden 1989-1998 var 3,5 ganger høyere enn i perioden 1956-1965, og det gjennomsnittlige skadeomfanget i skogen ble fordoblet. Mens det meste av regionen har sett en beskjeden vekst i skogbruket, har Russland opplevd en nedgang som følge av politiske og økonomiske faktorer. Disse faktorene vil sannsynligvis forsterkes av oppvarming som på kort sikt vil ha negative konsekvenser for tømmerkvaliteten på grunn av insektskade og for infrastruktur og vintertransport på grunn av tining av grunn.

...For menneskene

Reindrift

Reindrift utøvd av samer og andre urfolk er en viktig økonomisk og kulturell aktivitet i denne regionen, og reingjeterne er bekymret for konsekvensene av klimaendringer. I de senere årene har høstværet i noen områder vekslet mellom regn og frost slik at bakken ofte har vært dekket med is som vanskeliggjør reinsdyrenes tilgang til lav. Forholdene har vært svært ulikt det som har vært normalt, og har, i enkelte år, ført til store tap i flokken. Endrede snøforhold skaper også problemer. Når reindriften nå er blitt motorisert, må de som er avhengige av snøscooter ofte utsette flytting av flokkene til den første snøen kommer. I noen år har det ført til utsettelse til midten av november. Det har også ofte vært vanskelig å ferdes i terrenget når snølaget har vært tynt. Fremtidige endringer i snøforhold og -utbredelse kan føre til store negative konsekvenser for reindriften og for de fysiske, sosiale og kulturelle sidene ved reingjeterens liv.

Sosioøkonomiske endringer

Utsikten til og muligheten for å få tilgang til viktige naturressurser har lokket mange mennesker til denne regionen. Den relativt intense industrielle aktiviteten, spesielt på Kolahalvøya, har ført til de høyeste befolkingskonsentrasjonene i det sirkumpolare nord. Etter hvert som det fortsetter å bli varmere forventes det at det vil bli økte muligheter for jordbruk. Følgene av klimaendringene og påfølgende konsekvenser for tilgang til ressurser, kan føre til omfattende endringer i de økonomiske forholdene og dermed forskyvninger i demografi, sosial struktur og kulturelle tradisjoner i regionen.

«Været er blitt dårligere. For oss er dette ille. Det påvirker vår mobilitet i arbeidet. I gamle dager la isen seg i oktober... I dag kan man dra ut på isen først i begynnelsen av desember. På denne måten har tingene endret seg.»

Arkady Khodzinsky
Lovozero, Russland



DE VIKTIGSTE KONSEKVENSENE – SUBREGION II

Sibir og tilliggende havområder



...For miljøet

Elvene i Sibir

Klimaendringene vil påvirke de store sibirske elvene som renner ut i Arktis betydelig. Den forventede økningen i vinternedbør vil føre til økt avrenning fra elvene med en økning på 15 % per år i mengden ferskvann som renner ut i Polhavet mot slutten av dette århundret, og vårflommenes maksimum forventes tidligere på våren enn før. Større avrenning vinter og vår vil føre til større transport av næringsstoffer og sedimenter inn i Polhavet, noe som vil gi både positive og negative følger. Våtmarksområdene ved kysten og myrøkosystemene vil sannsynligvis øke i omfang. Dette vil utvide leveområdet for enkelte arter, samtidig som det vil frigi økte mengder metan. Det forventede økte tilsiget av ferskvann i havet vil sannsynligvis få betydelige konsekvenser for de forholdene som påvirker havstrømmene og havisen, noe som i sin tur vil gi både regionale og globale konsekvenser. De økte vannmengdene i de kystnære landområdene vil også føre til raskere tining av permafrosten i kystområdene og under havet i det meste av regionen.

Nedbør og jordsmonn

Den forventede økningen i nedbør vil, generelt sett, føre til våtere jord når den ikke er frossen og til mer is i de øverste lagene av jordsmonnet om vinteren. Det er sannsynlig at det vil bli mer snø om vinteren, men den snødekte perioden forventes å bli kortere fordi den økt nedbør ledsages av oppvarming. Den forventede økningen i fuktighetstilgang vil sannsynligvis være en fordel for plantevekst i områder hvor det ellers er begrenset tilgang på fuktighet.

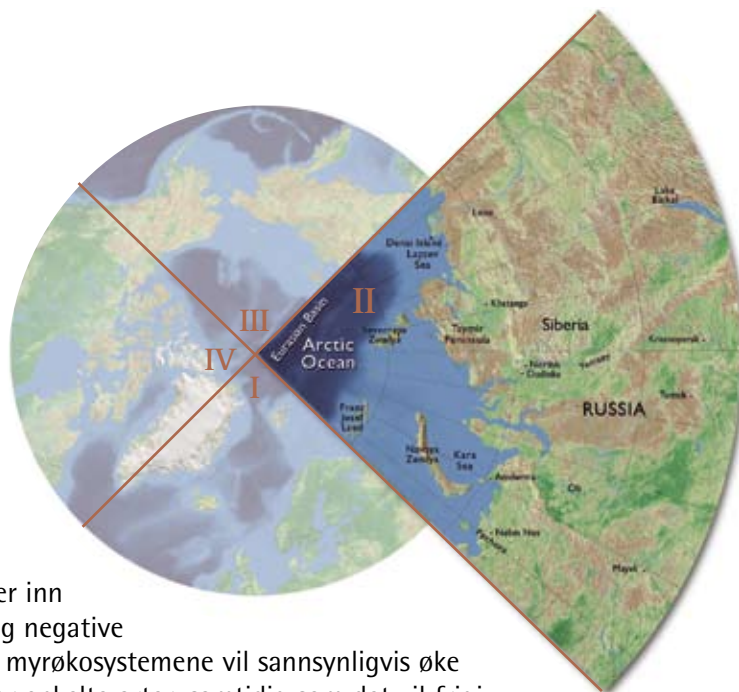
...For økonomien

Åpning av Den nordlige sjørute (NSR)

Åpning av Den nordlige sjørute for kommersiell skipsfart vil potensielt kunne ha betydelig innvirkning på den regionale økonomien. Det forventes at atkomsten til kyststrøkene i det eurasiske Arktis vil bli totalt isfri om sommeren i løpet av få tiår, og med enda mer omfattende avsmelting senere i århundret. Etter hvert som den flerårige isen i Polhavet fortsetter å trekke seg tilbake, vil trolig alle havområdene i det eurasiske Arktis bli dominert av førsteårsis om vinteren, og færre tilfeller der den flerårige isen trenger seg inn i de kystnære områdene og mer mer åpent vann om sommeren. En slik endring vil sannsynligvis få store konsekvenser for valget av skipsleie i denne regionen. Mot slutten av dette århundret vil lengden på seilingssesongen (den perioden av året med haviskonsentrasjon på mindre enn 50 %) langs Den nordlige sjørute sannsynligvis ligge på 120 dager mot 20-30 dager i dag.

Transport av kull og mineraler

Kull- og mineralutvinningen er viktig for Russlands økonomi. Transport av kull og mineraler vil sannsynligvis bli påvirket både positivt og negativt av klimaendringer. Gruver i Sibir som bruker skipstransport til eksport vil svært sannsynlig få reduserte kostnader siden det blir mindre havis og seilingssesongen blir lengre. Gruver som er avhengig av transport over permafrostgrunn vil svært sannsynlig få høyere vedlikeholdsutgifter etter hvert som permafrosten tiner. Olje- og gassindustrien vil også sannsynligvis påvirkes, med lettere atkomst til sjøs og vanskeligere atkomst på land.



Det forventede økte tilsiget av ferskvann i havet vil sannsynligvis få betydelige konsekvenser for de forholdene som påvirker havstrømmene og havisen, noe som i sin tur vil gi både regionale og globale konsekvenser.

...For menneskene

Vannressurser

Det er sannsynlig at overgangen til et våtere klima vil føre til økte vannressurser for innbyggerne i regionen. I områder uten permafrost vil vannspeilet svært sannsynlig ligge nærmere overflaten, og det forventes at mer vann vil bli tilgjengelig for jordbruksproduksjon. Om våren, når det er svært sannsynlig at økt nedbør og avrenning vil forhøye vannstanden i elvene, vil faren for oversvømmelser øke. Lavere vannivå er forventet om sommeren, og det er sannsynlig at dette vil påvirke navigasjon og vannkraftproduksjon negativt samt at det vil øke faren for skogbrann.

Skader på infrastrukturen

Kombinasjonen av økt bakketemperatur, dårlig utformings- og byggetekniske prosedyrer for bygging på permafrost, har ført til store skader på infrastrukturen i Sibir i de siste tiårene. Undersøkelser gjennomført i området i 1990-årene viste at nesten halvparten av alle bygningene var i dårlig stand, og at antall bygninger som ble ansett som farlige varierte fra 22 % i landsbyen Tiksi til 80 % i byen Vorkuta. I løpet av det siste tiåret har antall skadede bygninger økt til 42 % i Norilsk, 61 % i Jakutsk og 90 % i Anderma. Landtransportrutene har også store problemer. I begynnelsen av 1990-årene var 10–16 % av den dårlig vedlikeholdte strekningen på Bajkal-Amur-jernbanen som ligger i permafrostområde deformert som følge av permafrosttining. I 1998 var dette økt til 46 %. De fleste rullebanene på flyplassene i Norilsk, Jakutsk, Magadan og andre byer er i dag i en kritisk forfatning. Skader på olje- og gassrørledninger i permafrostområder utgjør en særlig alvorlig situasjon, og 16 brudd ble registrert på rørledningen mellom Messojakha og Norilsk fjor. I Khanty-Mansisjk autonome område var det 1702 hendelser som omfattet oljesøl og i løpet av bare ett år ble mer enn 640 km² land tatt ut av bruk pga. av grunnforurensning.

Lavere utgifter til oppvarming

En reduksjon i oppvarmingsbehovet er en potensielt positiv effekt av klimaoppvarmingen i denne og andre subregioner. I Øst-Europa og Russland er de fleste bygningene i byene utrustet med sentraloppvarmingssystem som går hele vinteren. I følge scenariene for videre klimaoppvarming er det sannsynlig at lengden på perioden i året når oppvarming er påkrevd, og mengden brensel som trengs for denne oppvarmingen, reduseres. Energisparingen i nord vil sannsynligvis bli utjevnet av økt bruk av klimaanlegg i sørligere områder på grunn av høyere temperaturer og lengre varmesesong.

Følger for urfolkene

Mange urfolk i denne regionen er reingjeterne. Store beiteområder går nå tapt til olje- og gassindustrien og annen industriell virksomhet. Klimaendringer vil sannsynligvis føre til ytterligere stress. Det meste av regionen er preget av frossen mark, og dersom en oppvarming fører til at permafrosten brytes ned, vil de tradisjonelle reintrekkene svært sannsynlig bli ufarbare. En oppvarming forventes også å føre til tidligere tining og senere innfrysing av havisen i Obs elvedelta, noe som kan føre til at atkomsten mellom sommer- og vinterbeitene forsvinner. I tillegg vil havis som trekker seg tilbake øke tilgangen til området gjennom Den nordlige sjørute. Dette vil sannsynligvis føre til økt utvikling, med medfølgende potensielt negative effekter for lokale innbyggere og deres tradisjonelle kulturer.



DE VIKTIGSTE FØLGENE – SUBREGION III

Tsjukotka, Alaska, det vestlige canadiske Arktis og tilliggende havområder

...For miljøet

Endringer i skogen

Denne subregionen, og spesielt Alaska og canadisk Yukon, har opplevd den mest dramatiske oppvarmingen av alle subregionene. Dette har medført omfattende miljøkonsekvenser. Økt temperatur har ført til at den boreale skogen i enkelte områder har utvidet seg nordover, det har ført til en betydelig økning i skogbrannhyppighet og –intensitet, og til insektangrep av tidligere ukjent omfang. Disse trendene forventes å øke. En beregning viser en tredobling av det totale areal som utsettes for skogbrann hvert tiår på Seward Peninsula i Alaska. Dette vil ødelegge barskogen og føre til fremvekst av et løvskogsdominert landskap i et område som i dag domineres av tundra. Noen skogområder kommer sannsynligvis til å omdannes til myrer når permafrosten tiner. Den observerte økningen på 20 % i antall vekstdøgn har vært en fordel for jordbruk og skogproduktivitet i enkelte områder samtidig som det har ført til redusert vekst i andre områder.

Virkninger på marine arter

Nyere klimarelaterte virkninger observert i Beringhavet omfatter sterk nedgang i bestandene av sjøfugl og marine pattedyr, uvanlige algeoppblomstringer, unormalt høye vanntemperaturer og lav fangst av laks som returnerer til gyteplassene. Fiskeriene i Beringhavet har blitt et av verdens største i løpet av de siste tiårene, men antallet sjøløver har gått ned med mellom 50 og 80 %. Antall pelsel-unger på Pribilof Island, det viktigste yngleområdet i Beringhavet, er blitt halvert mellom 1950-tallet og 1980-tallet. Enkelte sjøfuglbestander har gått betydelig tilbake, blant annet lomvi, polarlomvi og krykkje (to arter). Det har vært betydelig færre laks enn forventet, fisken har vært mindre enn gjennomsnittet og dens tradisjonelle vandringsruter ser ut til å ha endret seg. Fremtidige beregninger for Beringhavet antyder en produktivitetsøkning i bunnen av næringskjeden, at noen kaldtvannarter trekker nordover og negative virkninger på de isavhengige artene.

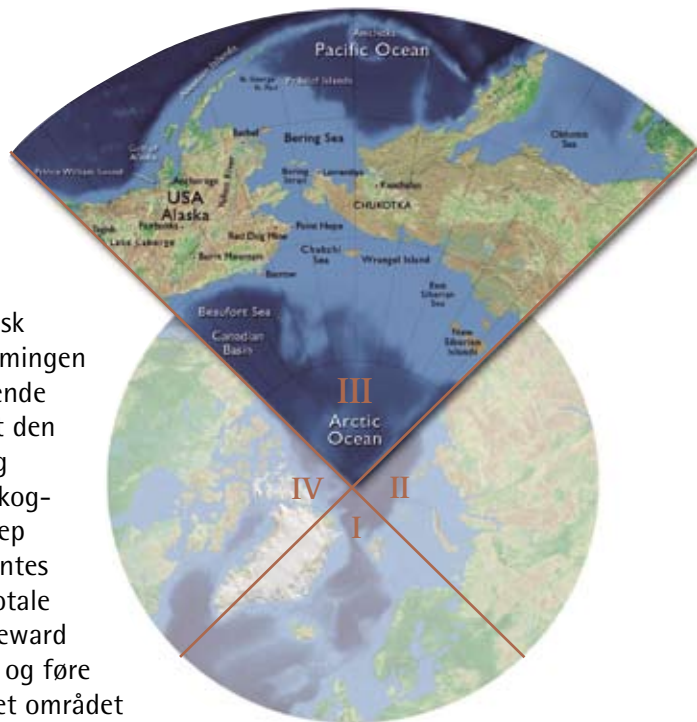
Trusler mot det biologiske mangfoldet

Det arktiske biologiske mangfoldet er svært konsentrert i denne regionen med mer enn 70 % av de sjeldne arktiske plantene som ikke vokser noe annet sted på jorda. Denne regionen er også hjem til betydelig flere truede dyre- og plantearter enn noen annen sub-region. Det i sin tur gjør det biologiske mangfoldet i regionen spesielt sårbar overfor klimaendringer. Arter som er konsentrert på små områder, som Wrangel-øya, er spesielt utsatt for de direkte følgene av klimaendringer koblet med trusselen skapt ved at fremmede arter flytter inn og konkurrerer med de stedbundne etter hvert som klimaet blir varmere. Utvidelse av kratt og tredominert vegetasjon nordover og ut på Wrangel-øya, kan føre til tap av mange plantearter. Denne regionen har en lang liste med truede arter, inkludert Wrangel-lemen, trompetetrane, Stellerhavørn, dverggås og skjesnipe.

...For økonomien

Olje- og gassvirksomhet

Det er blitt funnet store olje- og gassreserver i Alaska langs Beauforthavets kyst og i Canadas Mackenzie River/Beauforthav-område. Klimakonsekvenser for olje- og gassutviklingen i regionen



kommer sannsynligvis til å gi både økonomiske fordeler og kostnader i fremtiden. For eksempel vil offshore-utvinning av olje sannsynligvis dra fordeler av tynnere og mindre utbredt havis, selv om utstyret må utformes for å motstå større bølger og isbevegelse.

Det er sannsynlig at lengden på perioden da isveiene som i dag brukes for enkel atkomst til installasjonene kan benyttes vil reduseres og at de vil bli mindre trygge. Det samme gjelder transport på snø der det er mindre snø over kortere perioder. Som et resultat av oppvarmingen siden 1970 har antallet dager hvor olje- og gassundersøkelser har vært tillatt på tundraen i Alaska iht. statlige standarder gått ned fra 200 til 100 dager i året. Standarden, som tar utgangspunkt i tundraens hardhet og snøforholdene er ment å begrense skadene på tundraen. Permafrosttining i områder der bygninger, rørledninger, flyplasser og kystinstallasjoner for olje- og gassutvinning er lokalisert, vil svært sannsynlig påvirke disse strukturene betydelig og øke vedlikeholdskostnadene.

Fiskeriene

Det er vanskelig å beregne virkningene for de lukrative fiskeriene i Beringhavet ettersom en rekke andre faktorer spiller inn i tillegg til klimaet, blant annet fiskeripolitikk, markedsetterspørsmål og priser samt fiskeriteknologi og -metoder. Etter hvert som klimaet blir varmere forventes det at en rekke fiske- og skalldyrarter vil spre seg nordover. Forflytting av fiskeriinfrastrukturen, deriblant skip, havner og foredlingsfabrikker kan derfor bli nødvendig, med medfølgende kostnader. Varmere vann vil sannsynligvis føre til økt primærproduksjon i enkelte områder, men samtidig gi en nedgang for kaldtvannarter som laks og sei.

...For menneskene

Tradisjonelle leveveier

Leveveier som bidrar til å opprettholde urfolkssamfunnene omfatter jakt, sanking og fiske. I tillegg til at disse leveveiene er svært viktige for mange urfolks kosthold og helse, spiller de også en betydelig sosial og kulturell rolle. Disse leveveiene er allerede truet av en rekke klimarelaterte forhold, blant annet reduserte eller fortrenkte bestander av sjøpattedyr, sjøfugl og andre dyrearter samt reduksjon og uttynning av havisen, noe som gjør jakt vanskeligere og farligere. Porcupine caribou-flokken er svært viktig for urfolkene i Alaska og det canadiske Yukon og Northwest Territories, og klimarelaterte endringer i denne flokken er allerede observert.

Laks og annen fisk som går opp i elvene for å gyte utgjør 60 % av de naturressursene som forsyner den lokale befolkningen med mat. Den pågående reduksjonen i disse fiskebestandene har derfor hatt en direkte effekt på både kostholdet og økonomien til disse folkene. Klimaendringer vil sannsynligvis få betydelige konsekvenser for tilgangen til de viktigste matvarene gjennom en forskyvning av leveområde og tallrikhet for laks, sild, hvalross, sel, hval, caribou, elg og en rekke sjø- og våtmarksfuglarter. En fortsatt reduksjon i havisen om sommeren vil sannsynligvis drive isbjørn- og ringselbestander mot utryddelse i løpet av dette århundret, med vesentlige påfølgende følger for de folkene som er avhengige av disse artene.

Kystinfrastrukturen er truet

Økning i stormflohyppighet og -styrke har ført til økt kysterosjon, og dette truer allerede flere landsbyer langs kysten av Bering- og Beauforthavet. Den eneste muligheten er å legge til rette for forflytting av disse landsbyene, noe som vil koste mye. Stormflo har svekket små barrierøyers og landtungenes evne til å beskytte kystområdene siden disse er spesielt utsatt for erosjon og bølgenedbrytning. Det er forventet en fortsatt økning i klimarelaterte endringer i infrastrukturen i bosetningene. Permafrosttining truer vann- og sanitærinfrastruktur mange steder. Veier, bygninger, rørledninger, kraftlinjer og annen infrastruktur trues også av kysterosjon og tinende permafrost.

«Vårt samfunn har opplevd reelle og dramatiske følger av den oppvarmingen som forekommer i havområdene i Arktis og i det arktiske miljøet. Om våren ser vi at isen forsvinner hurtigere, noe som reduserer perioden vi kan jakte på hvalross, sel og hval.»

*Caleb Pungowiya
Nome, Alaska*



DE VIKTIGSTE FØLGENE – SUBREGION IV

Det sentrale og østlige Canada, Vest-Grønland og de tiliggende havområdene

...For miljøet

Utbredt tining

Havisens maksimale nordlige tilbaketrekkingen om sommeren forventes å øke fra dagens 150–200 km til 500–800 km i løpet av dette århundret. Tykkelsen på fastisen (havis som forblir sittende fast i kysten eller på den grunne havbunnen) i Nordvestpassasjen forventes å minske betraktelig fra dagens tykkelse på 1–2 meter. På innlandsisen på Grønland er det registrert rekordstor smelting de senere årene og dette kommer sannsynligvis til å bidra betydelig til havnivåøkning og også til mulige fremtidige endringer i havstrømmene. Nyere forskning viser at smelting av innlandsisen på Grønland sannsynligvis kan komme til å skje raskere enn tidligere forventet.

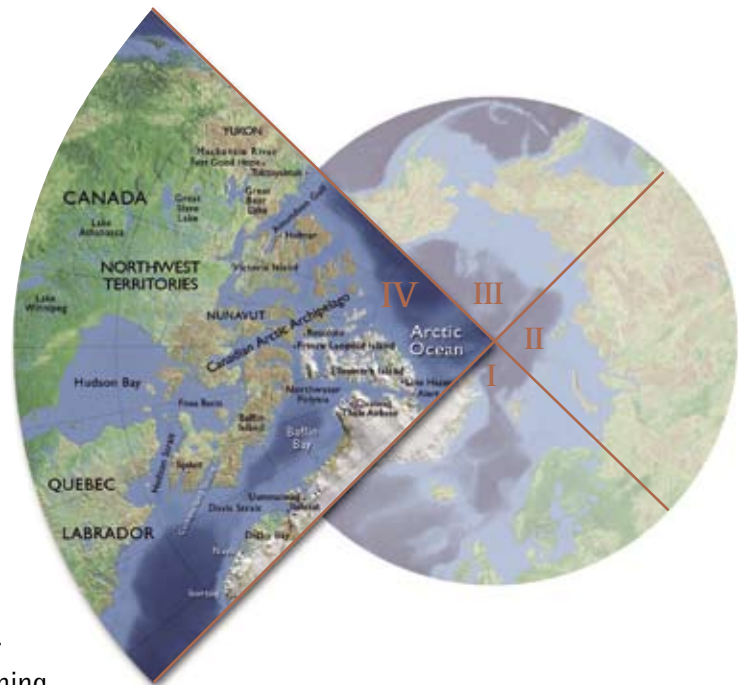
Store områder med permafrost i den canadiske delen av denne subregionen står i fare for å tine etter hvert som lufttemperaturen øker utover i århundret. Grensen mellom kontinuerlig og ikke-kontinuerlig permafrost forventes å trekke flere hundre kilometer nordover, noe som fører til at en stor del av permafrosten i dagens sone med ikke-kontinuerlig permafrost vil forsvinne. Mange permafrostområder vil sannsynligvis utsettes for utbredt termokarsting (der grunn kollapser på grunn av tining og det oppstår kratere eller innsjøer) og redusert stabilitet i skråninger og åssider.

Endringer i økosystemene

Det er forventet store endringer i økosystemene. Det er svært sannsynlig at omfanget av den arktiske tundraen blir mindre etter hvert som tregrensen flytter seg nordover, i enkelte områder med så mye som 750 km. I de siste tiårene har områder med spredt skog på tundraen i det nordøstlige Canada begynt å fylles opp med flere trær, og det dannes skogvekst som er så tett at området ikke lenger er å regne som tundra. Skoghelsen er under press i mange deler av regionen på grunn av insekter, skogbranner og av plantestress, alt som følge av de milde vintrene og økt varme i vekstsesongen de siste årene. Det er svært sannsynlig at fremtidig regional oppvarming vil øke intensitet og omfang av slike skogskader.

Endringer i tidspunkt for og rikelighet av fødetilgang, insektforstyrrelser og parasittangrep vil øke stresset på caribou slik at bestanden reduseres. Nord for fastlandet vil antall høyarktisk Peary caribou og moskus gå ned etter hvert som beite begrenses på grunn av snøforholdene. I enkelte områder vil disse artene kunne komme til å forsvinne helt. Øygruppenes fragmenterte land og de store islagte områdene i denne subregionens høyarktis gjør at mange landbaserte arter ikke kan forflytte seg etter hvert som klimaet endrer seg, noe som gjør dem mer sårbare enn om de var på fastlandet. I Vest-Grønland vil tap av leveområder, forflytting av arter og forsinket innflytting av nye arter fra sør redusere dagens biologiske mangfold.

Dersom passende ruter og leveområder eksisterer, er det sannsynlig at mange fiskeslag i innsjøer og elver vil forflytte seg nordover. Fiskeslag i den sørlige delen av regionen, som for eksempel laks og bekkeroeye, kommer svært sannsynlig til å vandre nordover via kystnære marine farvann. Der vil de utkonkurrere de nordligere artene som ishavsrøye, og føre til lokal utryddelse av disse artene. Mange sjøpattedyrbestander vil sannsynligvis bli redusert ned når isen trekker seg tilbake. Den kortere havsisesongen vil få en negativ effekt på overlevelse av isbjørn og føre til at bestanden går ned, spesielt i den sørlige utkanten av deres leveområde. Dersom de arktiske havområdene forblir isfrie om sommeren i flere år etter hverandre, er det sannsynlig at isbjørnen vil gå mot utryddelse.



...For økonomien

Økt skipsfart

Det vil sannsynligvis bli både betydelige kostnader og fordeler med en forlenget seilingssesong i de canadiske arktiske områdene, men for øyeblikket er det usikkerhet relatert til begge deler. Økt skipstrafikk gjennom Nordvestpassasjen gir økonomiske muligheter, men det vil også føre til økt risiko for skade på miljøet fra oljeutslipp eller utslipp av andre kjemikalier. Det er også sannsynlig at de endringene som må til for å takle de større bølgene, de mulige oversvømmelsene og erosjonstrusselen mot kystfasilitetene vil medføre økte kostnader. Økt sedimentering på grunn av lengre perioder med åpent vann kan føre til økte kostnader i forbindelse med oppmudring.

Endringer i fiskeriene

Innenfor et scenario med moderat og gradvis oppvarming er det sannsynlig at torsk og lodde vil trekke nordover og inn i regionen mens det er sannsynlig med en reduksjon i bestandene av reke og snøkrabbe. Mange eksisterende gyteplasser for lodde kan forsvinne ettersom havnivået stiger, noe som potensielt vil kunne føre redusert overlevelse. Det forventes at selungedødeligheten øker ettersom havisen tynnes og stormene øker i styrke. En reduksjon i havisutstrekning og -varighet vil sannsynligvis gjøre det mulig å fiske lenger nord, mens det samtidig er sannsynlig at det vil føre til en reduksjon i det grønlandske kveitefisket som foregår gjennom fastisen.

I elver og innsjøer er det sannsynlig at ferskvannsfiskproduktiviteten øker i begynnelsen etter hvert som leveområdene varmes opp og mengden næringsstoffer øker. Men når de kritiske terskelen nås (som for eksempel temperaturterskler) forventes det en reduksjon i artene tilpasset arktiske forhold. Noen av disse fiskeriene utgjør en grunnpilar i det lokale kostholdet. På samme måte vil tap av egnede temperaturriktige leveområder for arter som canadarøye resultere i redusert vekst og nedgang i mange bestander, noe som vil få følger både for sportsfiske og for lokal turisme.

Virkninger på infrastruktur

Bruk av isveier i kystnære strøk og transport på snø på land, som er viktig i dag, påvirkes allerede av klimaoppvarmingen, og det er sannsynlig at slik aktivitet vil bli ytterligere forvansket i fremtiden etter hvert som bakken tiner, snødekket reduseres og issesongen blir kortere. Høyere lufttemperatur vil sannsynligvis føre til at det trengs mindre energi til oppvarming av bygninger. Byggesesongen om sommeren forventes å bli lenger. I hvert fall i de neste 100 år forventes først og fremst negative konsekvensene for eksisterende infrastruktur, som de nordlige rørledningene, plattformer som står i permafrost, broer, elvekryssingspunkter for rørledninger, diker, erosjonsvernstrukturer og veggene i dagbrudd.

...For mennesker

Konsekvenser for urfolk

Urfolkenes helse vil sannsynligvis bli berørt gjennom klimaendringenes effekt på kosthold, sosiale, kulturelle og andre forhold, hvorav en rekke effekter allerede kan observeres. Klimaendringer vil påvirke utbredelse av og kvalitet på dyr og andre resurser som er grunnleggende for helsen og livsstilen i mange nordlige bosetninger. En kort vintersesong, økt snøfall og mindre og tynnere havis vil sannsynligvis gjøre det vanskeligere for urfolk å bedrive jakt og fangst. Trusselen mot isbjørnens og selens overlevelse er en betydelig bekymring i denne subregionen.

Tilpasning til klimarelaterte endringer vanskeligjøres under urfolkens rådende sosiale og økonomiske forhold. Tidligere kunne for eksempel inuitene ha flyttet etter dyrene. I dag bor de i faste bosetninger, noe som umuliggjør dette. Konsekvensene av klimaendringene for urfolkene blir ytterligere komplisert ved andre faktorer som ressursreguleringer, industriutvikling og det globale økonomiske presset. Potensialet for økt marin tilgang til noen av regionens ressurser gjennom Nordvestpassasjen vil gi økonomiske fordeler for noen, mens det kan medføre problemer for urfolkene i regionen siden økt utvikling av den økonomiske aktiviteten kan få samlede virkninger for tradisjonelle levemåter.

«Endringene har vært så dramatiske at det i den kaldeste måneden i året, desember 2001, falt store mengder regn i Thuleområdet slik at det kom et tykt lag med is på toppen av havisen og på land... Dette var ikke bra for sledehundenes poter.»

*Uusaqqak Ujaukitsoq
Qaanaaq, Grønland*



Forbedring av fremtidige vurderinger

ACIA er det første forsøket på å foreta en samlet vurdering av klimaendringer og betydningen for Arktis. Som sådan er det begynnelsen på en prosess. Vurderingen har sammenstil arbeid utført av hundrevis av vitenskapsmenn fra hele verden som forsker på arktiske forhold. Den har også omfattet urfolkernes innsikt, en innsikt som er basert på en grundig forståelse av området utviklet gjennom all den tid de har levd i og samlet kunnskap om regionen. Sammenkobling av de vitenskapelige perspektivene med urfolkernes innsikt, er på et svært tidlig stadium, og har klart et potensial i å forbedre forståelsen for klimaendringene og deres konsekvenser. Man har lært mye av ACIA-prosessen og -samspillet, men det er fremdeles mye som må vurderes nærmere og forstås bedre. Denne prosessen burde fortsette, ved å fokusere på å minske usikkerhet, fylle kunnskapshull avdekket i dette arbeidet og mer uttrykkelig ta høyde for forholdene som virker inn på klimaendringene og deres konsekvenser.

En kritisk egengjennomgang av ACIA avslører både prestasjoner så vell som mangler. Rapporten har tatt for seg potensielle miljøkonsekvenser for Arktis som et hele og diskutert dem i detalj. En vurdering av de økonomiske konsekvensene og av virkningene på subregionalt nivå er beskrevet på en mer overfladisk og beskrivende måte, og en videre utvikling av disse vurderingene må være en prioritert oppgave i fremtiden. Studier som integrerer konsekvensene av klimaendringer med konsekvenser forårsaket av andre stressfaktorer (og på denne måten vurdere den kumulative sårbarheten for samfunnene) er bare drøftet helt preliminært i denne rapporten.

Forståelse og kunnskapshull varierer gjennom rapporten. Ikke alle aspekter trenger å gjennomgås på nytt i detalj og ikke alle aspekter trenger å bli vurdert samtidig. Enkelte vitenskapelige utviklinger og enkelte miljøendringer tar lengre tid enn andre. Derfor foreslås det tre hovedprioriteringer for videre analyse: regionale konsekvenser, sosioøkonomiske konsekvenser og sårbarhet. Disse vil alle bidra til å øke forståelsen for virkningene på samfunnet. Innenfor hvert av disse områdene vil involvering av et bredt spekter av eksperter og interessenter, særlig de arktiske urfolkssamfunnene, bidra til å fylle kunnskapshullene og skaffe relevant informasjon for beslutningstakere på alle nivåer.

Sub-regionale konsekvenser: I fremtidige vurderinger er det behov for å fokusere på mindre regioner, kanskje helt ned på lokalnivå, der en vurdering av klimaendringers konsekvenser har størst relevans og nytte for beboerne og deres aktivitet.

Sosioøkonomiske konsekvenser: Viktige økonomiske sektorer i Arktis inkluderer olje- og gass-utvinning, gruvedrift, transport, fiskeri, skogbruk og turisme. De fleste av disse sektorene vil påvirkes direkte eller indirekte av klimaendringer, men i de fleste tilfeller finnes det i dag bare kvalitativ informasjon om de økonomiske konsekvensene.

Vurdering av sårbarhet: Med sårbarhet forstås i hvilken grad et system er følsom overfor ugunstige påvirkninger forårsaket av flere samspillende stressfaktorer. Vurdering av sårbarhet krever kunnskap ikke bare om konsekvensene av stressfaktorene og samspillet mellom dem, men også om systemets tilpasningsevne.

For å takle disse tre høyprioriterte emnene må det foretas en rekke forbedringer med hensyn til langsiktig overvåking, prosessstudier, klimamodellering og analyser av samfunnskonsekvenser.

Langsiktig overvåking: Lange tidsserier for klima og klimarelaterte parametre finnes fra svært få steder i Arktis. Det er svært viktig å ha slike lange tidsserier samtidig som man oppgraderer og utvider overvåkingssystemene for snø og is, avrenning fra de største elvene, havparametre og endringer i vegetasjonen, biologisk mangfold og økosystemprosesser.

Prosesstudier: Mange prosesser i Arktis må undersøkes mer inngående, både gjennom vitenskapelig forskning og gjennom mer detaljert og systematisk dokumentasjon av urfolkernes kunnskap. Blant de prioriterte oppgavene er innsamling og tolking data om klima og det fysiske miljøet samt studier av hastighet og omfang av endringer for planter, dyr og økosystemfunksjoner. Slike undersøkelser innebærer ofte kobling av klimamodeller med modeller for økosystemprosesser og andre forhold i det arktiske systemet.

Modellering: Det er nødvendig å forbedre modellene for det arktiske klimaet og dets påvirkninger, blant annet inkludering av vannmiksing i havet og forbindelsen til havis, samspillet mellom permafrost, jordsmonn og vegetasjon, viktige tilbakekoblingsprosesser og ekstremhendelser. Modellforbedring og -verifisering er viktig innenfor vitenskapelige disipliner, og det er også nødvendig å knytte sammen og integrere modeller på tvers av vitenskapelige disipliner. Utvikling, verifisering og bruk av koblede regionale modeller med svært høy oppløsning for å forbedre fremskrivingen av regionale klimaendringer, vil også bidra til å fremskaffe mer nyttig informasjon til beslutningstakerne.

Analyse av samfunnskONSEKVENSER: Det å forbedre beregninger av klimaendringenes samfunnskONSEKVENSER, vil til dels være avhengig av fremskritt i klimamodelleringene nevnt over, så vel som utvikling av forbedrede scenarier for befolkningsutvikling og for økonomisk utvikling i Arktis, utvikling og bruk av konsekvensscenarier, bedre kobling mellom forskernes kunnskap og urfolkens kunnskap, og grundigere identifisering og analyse av potensielle tiltak for å dempe og tilpasse seg klimaendringer.

Informasjonsformidling i Arktis

Å finne en effektiv måte å spre den informasjonen ACIA har samlet til de arktiske samfunnene er en tilleggsutfordring. En rekke vitenskapelige, statlige og ikke-statlige organisasjoner har planlagt samarbeid for å gjøre resultatene av ACIA-prosessen tilgjengelige for en rekke ulike interessegrupper, fra de som lever og arbeider i området til de som fatter beslutninger om lokal, nasjonal og internasjonal politikk som har betydning for klimautfordringene.

Internasjonale forbindelser

ACIA har bygd på innholdet og konklusjonene i rapporten som ble utarbeidet av IPCC (FNs klimapanel) som evaluerer og oppsummerer verdens mest autoritative informasjon når det gjelder globale klimaendringer og konsekvensene av dem. IPCCs siste utredning, den tredje utredningsrapporten, ble publisert i 2001. Den neste utredningsrapporten er nå under utarbeidelse og skal etter planen foreligge i 2007. Akkurat som ACIA har bygd på de tidligere utredningene fra IPCC, vil IPCCs 2007-utredning bygge på det ACIA har funnet når det gjelder Arktis, slik at ACIA får en mer global kontekst.

Også andre nasjonale og internasjonale prosesser gir mulighet til å få en dypere forståelse av konsekvensene av klimaendringer og ultrafiolett stråling. For eksempel har FN's miljøprogram (UNEP) og Verdens meteorologiske organisasjon (WMO) organisert et løpende program for undersøkelser av ozonuttyning og konsekvenser av dette. Den andre konferansen for planlegging av arktiske undersøkelser (The international conference on arctic research planning II) bruker resultatene fra ACIA når forskningsagenda for de kommende tiår utarbeides. Det Internasjonale Polåret (IPY) som verdens forskningsmiljø har planlagt å avholde i perioden 2007-09 vil gi en ytterligere mulighet til å rette forskningsoppmerksomheten mot klimaendringer og andre viktige arktiske spørsmål. Det var Det Internasjonale Geogysiske Året i 1957-58 som ga oppstart til de første systematiske målinger av stratosfærisk ozon og atmosfærisk karbondioksid og dermed grunnlaget for oppdagelsen av ozonuttyning og klimagass-induserte klimaendringer. Uten disse tiårene med observasjoner ville det nedadgående trenden for stratosfærisk ozon og den fortløpende økningen i atmosfærisk karbondioksid ha forblitt uopdaget.

De kunnskapshull og behov for forbedret overvåking som ACIA-prosessen har avdekket, har allerede fått betydning for en rekke forskningsprosesser. Undersøkelser og vurderinger av dagens og fremtidens klimaendringer i de polare områdene og globale konsekvenser av dette har allerede blitt vedtatt som et av de viktigste målene for det kommende IPY. ACIAs funn kan bidra til å fokusere forskningsinnsatsen i IPY og andre pågående prosesser. Forskning som er igangsatt av andre kan deretter bidra til å fylle kunnskapshullene identifisert i ACIA-prosessen slik at mer detaljerte undersøkelser av betydningen av klimaendringer for Arktis.

Avsluttende tanker

Som de vitenskapelige resultatene i denne rapporten klart viser, er klimaendringer en viktig og voksende utfordring for Arktis og for hele verden. Uroen over dette er viktig allerede i dag, men konsekvensene vil være enda større for kommende generasjoner som vil arve resultatene av våre handlinger eller mangel på handling. Det kreves rask handling for å redusere utslippene. Bare slik kan utviklingen i forhold til menneskeskapt oppvarming endres. Handling er også påkrevd for å tilpasse seg den oppvarmingen som allerede foregår og som vil fortsette. Funnene i denne første ACIA-prosessen gir et vitenskapelig grunnlag for beslutningstakerne slik at de kan tenke gjennom, utarbeide og implementere de rette handlinger for slik å svare på denne viktige og vidtfaende utfordringen.



Endringer betyr risiko og muligheter

Som denne utredningen har vist, vil klimaendringer svært sannsynlig føre til store miljøendringer som vil medføre risiko så vel som muligheter for hele Arktis. For eksempel vil den kraftige reduksjonen i sommerisen true fremtiden til en rekke isavhengige arter inkludert isbjørn og sel, og slik også true de menneskene som er avhengige av dem. På den annen side er det sannsynlig at enklere marin tilgang til ressursene, til befolknings-sentra og til de fjerne markedene gjennom trans-arktiske sjøruter vil gi grobunn for nye muligheter.

Potensielle overraskelser

Noen av de klimarelaterte endringene som mest sannsynlig vil finne sted i Arktis forventes å ha store implikasjoner. Det inkluderer havisreduksjonen, økningen i kysterosjon og permafrosttiningen. Såkalte "overraskelser", dvs. hendelser som foreløpig ikke synes sannsynlige, men som eventuelt ville ha store konsekvenser, skaper ytterligere bekymringer. På grunn av kompleksiteten i de globale systemene er det mulig at klimaendringene utvikler seg annerledes enn scenariene med gradvise endringer som er benyttet i denne rapporten. For eksempel kan stormenes intensitet og baner endre seg på uforutsette måter eller temperaturen stige eller falle helt plutselig grunnet uventede forstyrrelser i det globale værsystemet. Mulige endringer i den globale termohaline sirkulasjonen og vidtrekkende konsekvenser av slike endringer er et annet eksempel på potensielle klimaoverraskelser. Selv om slike endringer kan få store virkninger, er det i dag svært lite informasjon tilgjengelig for å kunne vurdere slike muligheter.

Til syvende og sist

På tross av det faktum at en relativt liten del av utslippene av verdens klimagasser har sin opprinnelse i Arktis, er de menneskeskapte endringene i det arktiske klimaet blant de største på jorda. Som en konsekvens av det, er de endringer som allerede er i gang i de arktiske landskapene og samfunnene et tidlig varsel for resten av verden når det gjelder den miljø- og samfunnsmessige betydningen av klimaendringene. Som denne utredningen illustrerer, er endringene i klimaet og deres betydning for Arktis noe som allerede observeres og føles, og forventes å øke i omfang. Disse endringene vil ha ringvirkninger langt ut over Arktis og vil påvirke det globale klimaet, havnivået, det biologiske mangfoldet og mange forhold ved menneskenes sosiale og økonomiske systemer. Klimaendringer i Arktis er derfor noe som fortjener og krever umiddelbar oppmerksomhet fra beslutningstakerne og offentligheten verden over.



Vedlegg 1

Utslippsscenariene brukt i denne rapporten

I sin *Special Report on Emissions Scenarios* (SRES) presenterte IPCC en rekke ulike mulige utslippsscenarier for det 21. århundre basert på ulike antakelser om de fremtidige nivåer for befolkning, økonomisk vekst, teknologisk utvikling og andre relevante faktorer. Av de seks «beskrivende scenariene» fra SRES, valgte ACIA å fokusere på ett av disse som lå litt under midt på treet når det gjaldt fremtidige utslipp. Dette scenariet, som kalles B2, er grunnlaget for kartene over beregnede klimaendringer i denne rapporten. Et annet scenario, A2, som ligger litt over midt på treet med hensyn på SRES-scenariene, ble brukt i noen få analyser og det er alltid indikert der det er brukt. Fokus på disse to scenariene gjenspeiler en rekke praktiske begrensninger når det gjelder gjennomføringen av dette arbeidet, og det betyr ikke at dette er de mest sannsynlige resultatene.

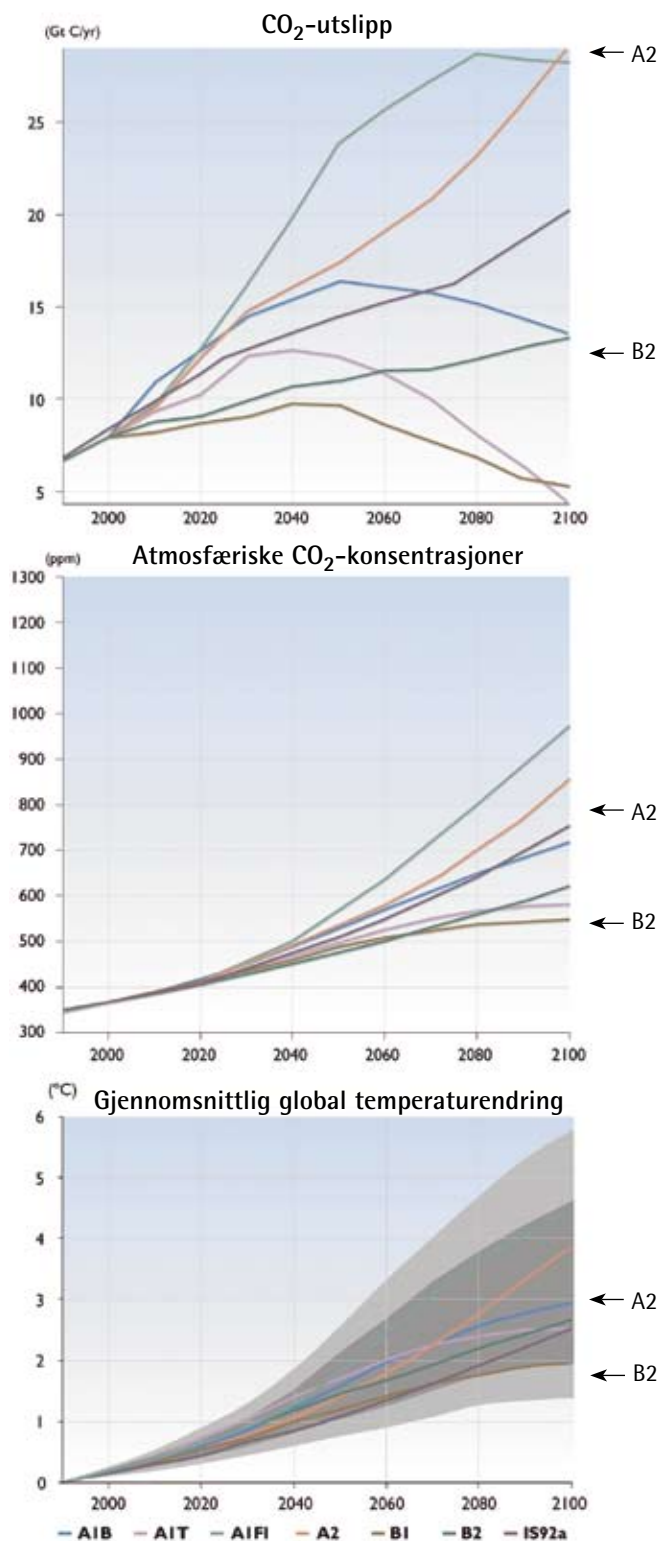
Innenfor alle IPCCs utslippsscenarier er det forventet at de globale karbondioksidnivåene, den gjennomsnittlige temperaturen ved bakken og havnivået kommer til å stige i løpet av det 21. århundre. Fra 2000 til 2100 beregnes oppvarmingen på basis av disse scenariene til å ligge på mellom 1,4 og 5,8 °C. Ingen av disse scenariene inneholder uttrykkelige politiske grep for å redusere klimagassutslippene. På den annen side har de ihensyntatt antakelser som medfører store endringer fra status quo av andre årsaker enn begrensning av klimaendringene, og disse ulike årsakene påvirker nivåene når det gjelder utslipp av klimagasser.

For eksempel antar B2-utslippsscenariet at verden vil være opptatt av miljøvern og sosial likhet og med fokus på lokale og regionale løsninger. Det er en verden der befolkningen globalt innen 2100 vil være på 10,4 milliarder, det vil være en middels økonomisk utvikling og det vil foregå ulike teknologiske endringer verden over. I en B2-verden kull innen 2100 stå for 22 % av primærenergien mens 49 % av all energi vil komme fra kilder uten karbondioksidutslipp.

A2-scenariet beskriver også en verden der man fokuserer på selvhjulpenhet og bevaring av lokal identitet. Men til forskjell fra B2, er en A2-verden mer opptatt av økonomisk vekst enn av miljøvern og sosial likhet. Befolkningsveksten er stor, og 15 milliarder nås innen år 2100. Den økonomiske veksten er primært regionalt orientert og per capita økonomisk vekst og de teknologiske endringene skjer ganske langsomt og fragmentert. Global BNP er litt høyere i 2100 under A2 enn under B2. I en A2-verden står kull for 53 % av verdens primære energibehov i 2100, og 28 % av verdens energi produseres fra kilder uten karbondioksidutslipp.

Andre utslippsscenarier som tar høyde for at det utvikles politiske instrumenter som reduserer klimagassutslippene nok til å stabilisere konsentrasjonene i atmosfæren på ulike nivåer og som dermed begrenser tempoet og omfanget av de fremtidige klimaendringene er også utviklet. Slike scenarier har ikke blitt benyttet i denne utredningen.

Beregninger for seks beskrivende utslippsscenarioer brukt i ACIA



Den første grafen (øverst) viser beregnet CO₂-utslipp for de seks IPCC SRES-scenariene. Den andre grafen (i midten) viser atmosfærisk konsentrasjon av CO₂ som resultat av disse utslippene. Den tredje grafen (nederst) viser de beregnede temperaturendringene som slike konsentrasjoner vil resultere i.

Modeller primært benyttet i ACIA-prosessen

CGCM2 – Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis, Canada

CSM_1.4 – National Center for Atmospheric Research, USA

ECHAM4/OPYC3 – Max Planck-instituttet for meteorologi, Tyskland

GFDL-R30_c – Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, USA

HadCM3 – Hadley Centre for Climate Prediction and Research, Storbritannia

Fem klimamodeller fra verdens ledende forskningsentra ble benyttet i denne utredningen. Navnene deres, og tilhørende forkortelse, er gitt over. Utslippsscenarioet B2, beskrevet i dette vedlegget, ble benyttet for alle modellene. Klimakartene i denne utredningen er basert på disse modellene under et B2-utslippsscenario.

Vedlegg 2

Den vitenskapelige rapporten – kapitler og forfattere

- Kapittel 1: Innledning
- Kapittel 2: Det arktiske klimaet i fortid og fremtid
- Kapittel 3: Arktis i endring: et urfolksperspektiv
- Kapittel 4: Fremtidige klimaendringer: modeller og scenarier for Arktis
- Kapittel 5: Ozon og ultrafiolett stråling
- Kapittel 6: Kryosfæriske og hydrologiske variabilitet
- Kapittel 7: Økosystemene på den arktiske tundra og i den polare ørken
- Kapittel 8: Ferksvannsøkosystemer og fiskeri
- Kapittel 9: Marine systemer
- Kapittel 10: Prinsipper for å bevare det biologiske mangfoldet i Arktis
- Kapittel 11: Forvaltning og bevaring av dyrelivet i et arktisk miljø i endring
- Kapittel 12: Jakt, gjeting, fiske og samling: urfolk og fornybar ressursbruk i Arktis
- Kapittel 13. Fiske og akvakultur
- Kapittel 14: Skog, jordforvaltning og jordbruk
- Kapittel 15: Menneskers helse
- Kapittel 16: Infrastruktur: bygninger, støttesystemer og industrianlegg
- Kapittel 17: Klimaendringer i en kontekst med flere stressfaktorer og robusthet
- Kapittel 18: Sammendrag

Kapittel 1: Innledning

Hovedforfatter

Henry Huntington, Huntington Consulting, USA

Medforfattere

Elizabeth Bush, Environment Canada, Canada

Terry V. Callaghan, Abisko Naturvetenskapliga Station, Sverige; Sheffield Centre for Arctic Ecology, Storbritannia

Vladimir M. Kattsov, Voeikov Geofysiske Laboratorium (GGO), Russia

Mark Nuttall, University of Aberdeen, Scotland, Storbritannia; University of Alberta, Canada

Kapittel 2: Arktisk klima i fortid og fremtid

Hovedforfatter

Gordon McBean, University of Western Ontario, Canada

Medforfattere

Genrikh Alekseev, Arctic and Antarctic Research Institute (AARI) Russland

Deliang Chen, Göteborgs Universitet, Sverige

Eirik Førland, Norsk Meteorologisk Institutt, Norge

John Fyfe, Meteorological Service of Canada, Canada

Pavel Y. Groisman, NOAA National Climatic Data Center, USA

Roger King, The University of Western Ontario, Canada

Humfrey Melling, Fisheries and Oceans Canada, Canada

Russell Vose, NOAA National Climatic Data Center, USA

Paul H. Whitfield, Meteorological Service of Canada, Canada

Kapittel 3: Arktis i endring: et urfolksperspektiv

Hovedforfattere

Henry Huntington, Huntington Consulting, USA

Shari Fox, University of Colorado at Boulder, USA

Medforfattere

Fikret Berkes, University of Manitoba, Canada

Igor Krupnik, Smithsonian Institution, USA

«Case-study»-forfattere

Kotzebue:

Alex Whiting, Native Landsbyen Kotzebue, USA

The Aleutian and Pribilof Islands Region, Alaska:

Michael Zacharof, Aleutian International Association, USA

Greg McGlashan, St. George Tribal Ecosystem Office, USA

Michael Brubaker, Aleutian/Pribilof Islands Association, USA

Victoria Gofman, Aleut International Association, USA

Yukon Territory:

Cindy Dickson, Arctic Athabaskan Council, Canada

Denendeh:

Chris Paci, Arctic Athabaskan Council, Canada

Shirley Tsetta, Yellowknives Dene (N'dilo), Canada

Sam Gargan, Deh Gah Got'ine (Fort Providence), Canada

Chief Roy Fabian, Katloodeeche (Hay River Dene Reserve), Canada

Chief Jerry Paulette, Smith Landing First Nation, Canada

Vice-Chief Micheal Cazon, Deh Cho First Nations, Canada

Diane Giroux, tidl. Sub-Chief Deninu K-ue (Fort Resolution), Canada

Pete King, Elder Akaitcho Territory, Canada

Maurice Boucher, Deninu K-ue (Fort Resolution), Canada

Louie Able, Elder Akaitcho Territory, Canada

Jean Norin, Elder Akaitcho Territory, Canada

Agatha Laboucan, Lutsel'Ke, Canada

Forfattere: Vitenskapelige kapitler

Philip Cheezie, Elder Akaitcho Territory, Canada
Joseph Poitras, Elder, Canada
Flora Abraham, Elder, Canada
Bella T'selie, Sahtu Dene Council, Canada
Jim Pierrot, Elder Sahtu, Canada
Paul Cotchilly, Elder Sahtu, Canada
George Lafferty, Tlicho Government, Canada
James Rabesca, Tlicho Government, Canada
Eddie Camille, Elder Tlicho, Canada
John Edwards, Gwich'in Tribal Council, Canada
John Carmicheal, Elder Gwich'in, Canada
Woody Elias, Elder Gwich'in, Canada
Alison de Palham, Deh Cho First Nations, Canada
Laura Pitkanen, Deh Cho First Nations, Canada
Leo Norwegian, Elder Deh Cho, Canada

Nunavut:

Shari Fox, University of Colorado, Boulder, USA

Qaanaaq, Grønland:

Uusaqqak Qujaukitsoq, Inuit Circumpolar Conference, Grønland

Nuka Möller, Inuit Circumpolar Conference, Grønland

Samene:

Tero Mustonen, Tampere Polytechnic / Snowchange Project, Finland

Mika Nieminen, Tampere Polytechnic / Snowchange Project, Finland

Hanna Eklund, Tampere Polytechnic / Snowchange Project, Finland

Klimaendringer og samene:

Elina Helander, University of Lapland, Finland

Kola:

Tero Mustonen, Tampere Polytechnic / Snowchange Project, Finland

Sergey Zavalko, Murmansk State Technical University, Russland

Jyrki Terva, Tampere Polytechnic / Snowchange Project, Finland

Alexey Cherenkov, Murmansk State Technical University, Russland

Bidragstere:

Anne Henshaw, Bowdoin College, USA

Terry Fenge, Inuit Circumpolar Conference, Canada

Scot Nickels, Inuit Tapiriit Kanatami, Canada

Simon Wilson, Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Norge

Kapittel 4: Fremtidige klimaendringer: modellering og scenarier for Arktis

Hovedforfattere

Erland Källén, Stockholms Universitet, Sverige

Vladimir M. Kattsov, Voeikov GGO, Russland

Medforfattere

Howard Cattle, International CLIVAR Project Office, Storbritannia

Jens Christensen, Danmarks Meteorologiske Institutt, Danmark

Helge Drange, Nansen Environmental and Remote Sensing Center and Bjerknes Centre for Climate Research, Norge

Inger Hanssen-Bauer, Meteorologisk Institutt, Norge

Tómas Jóhannsson, Icelandic Meteorological Office, Island

Igor Karol, Voeikov Main Geophysical Observatory, Russland

Jouni Räisänen, University of Helsinki, Finland

Gunilla Svensson, Stockholms Universitet, Sverige

Stanislav Vavulin, Voeikov GGO, Russland

Bidragstere

Deliang Chen, Göteborgs Universitet, Sverige

Igor Polyakov, University of Alaska Fairbanks, USA

Annette Rinke, Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Tyskland

Kapittel 5: Ozon og ultrafiolett stråling

Hovedforfattere

Betsy Weatherhead, University of Colorado at Boulder, USA
Aapo Tanskanen, Finnish Meteorological Institute, Finland
Amy Stevermer, University of Colorado at Boulder, USA

Medforfattere

Signe Bech Andersen, Danmarks Meteorologiske Institutt, Danmark
Antti Arola, Finnish Meteorological Institute, Finland
John Austin, University Corporation for Atmospheric Research/Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, USA
Germar Bernhard, Biospherical Instruments Inc., USA
Howard Browman, Havforskningsinstituttet, Norge
Vitali Fioletov, Meteorological Service of Canada, Canada
Volker Grewe, DLR-Institut für Physik der Atmosphäre, Tyskland
Jay Herman, NASA Goddard Space Flight Center, USA
Weine Josefsson, Sveriges Meteorologiske og Hydrologiske Institutt, Sverige
Arve Kylling, Norsk Institutt for luftforskning (NILU), Norge
Esko Kyro, Finnish Meteorological Institute, Finland
Anders Lindfors, Uppsala Astronomiske Observatorium, Sverige
Drew Shindell, NASA Goddard Institute for Space Studies, USA
Petteri Taalas, Finnish Meteorological Institute, Finland
David Tarasick, Meteorological Service of Canada, Canada

Bidragstere

Valery Dorokhov, Central Aerological Observatory, Russland
Bjørn Johnsen, Statens Strålevern (NRPA), Norge
Jussi Kaurola, Finnish Meteorological Institute, Finland
Rigel Kivi, Finnish Meteorological Institute, Finland
Nikolay Krotkov, NASA Goddard Space Flight Center, USA
Kaisa Lakkala, Finnish Meteorological Institute, Finland
Jacqueline Lenoble, Université des Sciences et Technologies de Lille, France
David Sliney, U.S. Army Center for Health Promotion and Preventive Medicine, USA

Kapittel 6: Kryosfæriske og hydrologiske variabilitet

Hovedforfatter

John E. Walsh, University of Alaska Fairbanks, USA

Medforfattere

Oleg Anisimov, State Hydrological Institute, Russland
Jon Ove M. Hagen, Universitetet i Oslo, Norge
Thor Jakobsson, Icelandic Meteorological Office, Island
Johannes Oerlemans, University of Utrecht, Nederland
Terry Prowse, University of Victoria, Canada
Vladimir Romanovsky, University of Alaska Fairbanks, USA
Nina Savelieva, Pacific Oceanological Institute, Russland
Mark Serreze, University of Colorado at Boulder, USA
Alex Shiklomanov, University of New Hampshire, USA
Igor Shiklomanov, State Hydrological Institute, Russland
Steven Solomon, Geological Survey of Canada, Canada

Bidragstere

Anthony Arendt, University of Alaska Fairbanks, USA
Michael N. Demuth, Natural Resources Canada, Canada
Julian Dowdeswell, Scott Polar Research Institute, Storbritannia
Mark Dyrgerov, University of Colorado at Boulder, USA
Andrey Glazovsky, Institute of Geography, RAS, Russland
Roy M. Koerner, Geological Survey of Canada, Canada

Forfattere: Vitenskapelige kapitler

Roy M. Koerner, Geological Survey of Canada, Canada
Niels Reeh, Danmarks Tekniske Universitet, Danmark
Oddur Siggurdsson, National Energy Authority, Hydrological Service, Island
Konrad Steffen, University of Colorado at Boulder, USA
Martin Truffer, University of Alaska Fairbanks, USA

Kapittel 7: Økosystemene på den arktiske tundra og i den polare ørken

Hovedforfatter

Terry V. Callaghan, Abisko Naturvetenskaplega Station, Sverige; Sheffield Centre for Arctic Ecology, Storbritannia

Bidragstere

Lars Olof Björn, Lunds Universitet, Sverige
F. Stuart Chapin III, University of Alaska Fairbanks, USA
Yuri Chernov, A.N. Severtsov Institute of Evolutionary Morphology and Animal Ecology, RAS, Russland
Torben R. Christensen, Lunds Universitet, Sverige
Brian Huntley, University of Durham, Storbritannia
Rolf Ims, Universitetet i Tromsø, Norge
Margareta Johansson, Abisko Naturvetenskaplega Station, Sverige
Dyanna Jolly Riedlinger, Dyanna Jolly Consulting, New Zealand
Sven Jonasson, Københavns Universitet, Danmark
Nadya Matveyeva, Komarov Botanical Institute, RAS, Russland
Walter Oechel, San Diego State University, USA
Nicolai Panikov, Stevens Technical University, USA
Gus Shaver, Marine Biological Laboratory, USA

Bidragstere

Josef Elster, University of South Bohemia, Den tsjekkiske republikk
Heikki Henttonen, Finnish Forest Research Institute, Finland
Ingibjörg S. Jónsdóttir, Universitetssenteret på Svalbard, Norge
Kari Laine, University of Oulu, Finland
Sibyll Schaphoff, Potsdam Institute for Climate Impact Research, Tyskland
Stephen Sitch, Potsdam Institute for Climate Impact Research, Tyskland
Erja Taulavuori, University of Oulu, Finland
Kari Taulavuori, University of Oulu, Finland
Christoph Zöckler, UNEP World Conservation Monitoring Centre, Storbritannia

Kapittel 8: Ferksvannsøkosystemer og fiskeri

Hovedforfattere

Fred J. Wrona, National Water Research Institute, Canada
Terry D. Prowse, National Water Research Institute, Canada
James D. Reist, Fisheries and Oceans Canada, Canada

Medforfattere

Richard Beamish, Fisheries and Oceans Canada, Canada
John J. Gibson, National Water Research Institute, Canada
John Hobbie, Marine Biological Laboratory, USA
Erik Jeppesen, National Environmental Research Institute, Danmark
Jackie King, Fisheries and Oceans Canada, Canada
Guenter Koeck, University of Innsbruck, Østerrike
Atte Korhola, University of Helsinki, Finland
Lucie Lévesque, National Water Research Institute, Canada
Rob Macdonald, Fisheries and Oceans Canada, Canada
Michael Power, University of Waterloo, Canada
Vladimir Skvortsov, Institute of Limnology, Russland
Warwick Vincent, Laval University, Canada

Bidragstere

Robert Clark, Canadian Wildlife Service, Canada
Brian Dempson, Fisheries and Oceans Canada, Canada
David Lean, University of Ottawa, Canada
Hannu Lehtonen, University of Helsinki, Finland
Sofia Perin, University of Ottawa, Canada
Richard Pienitz, Laval University, Canada
Milla Rautio, Laval University, Canada
John Smol, Queen's University, Canada
Ross Tallman, Fisheries and Oceans Canada, Canada
Alexander Zhulidov, Centre for Preparation and Implementation of International Projects on Technical Assistance, Russland

Kapittel 9: Marine systemer

Hovedforfatter

Harald Loeng, Havforskningsinstituttet, Norge

Medforfattere

Keith Brander, International Council for the Exploration of the Sea (ICES), Danmark
Eddy Carmack, Institute of Ocean Sciences, Canada
Stanislav Denisenko, Zoological Institute, RAS, Russland
Ken Drinkwater, Bedford Institute of Oceanography, Canada
Bogi Hansen, The Fisheries Laboratory, Færøyene
Kit Kovacs, Norsk Polarinstitutt, Norge
Pat Livingston, NOAA National Marine Fisheries Service, USA
Fiona McLaughlin, Institute of Ocean Sciences, Canada
Egil Sakshaug, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), Norge

Bidragstere

Richard Bellerby, Bjerknæs senter for klimaforskning, Norge
Howard Browman, Havforskningsinstituttet, Norge
Tore Furevik, Universitetet i Bergen, Norge
Jacqueline M. Grebmeier, University of Tennessee, USA
Eystein Jansen, Bjerknæs senter for klimaforskning, Norge
Steingrímur Jónsson, Marine Research Institute, Island
Lis Lindal Jørgensen, Havforskningsinstituttet, Norge
Svend-Aage Malmberg, Marine Research Institute, Island
Svein Østerhus, Bjerknæs senter for klimaforskning, Norge
Geir Ottersen, Havforskningsinstituttet, Norge
Koji Shimada, Japan Marine Science and Technology Center, Japan

Kapittel 10: Prinsipper for å bevare biologisk mangfold i Arktis

Hovedforfatter

Michael B. Usher, University of Stirling, Skottland, Storbritannia

Medforfattere

Terry V. Callaghan, Abisko Naturvitenskapelige Stasjon, Sweden; Sheffield Centre for Arctic Ecology, Storbritannia
Grant Gilchrist, Canadian Wildlife Service, Canada
O.W. Heal, Durham University, Storbritannia
Glenn P. Juday, University of Alaska Fairbanks, USA
Harald Loeng, Havforskningsinstituttet, Norge
Magdalena A. K. Muir, Conservation of Arctic Flora and Fauna, Island
Pål Prestrud, CICERO, Senter for klimaforskning, Oslo, Norway

Kapittel 11: Forvaltning og bevaring av dyrelivet i et arktisk miljø i endring

Hovedforfatter

David R. Klein, University of Alaska Fairbanks, USA

Medforfattere

Leonid M. Baskin, Institute of Ecology and Evolution, Russland

Lyudmila S. Bogoslovskaya, Russian Institute of Cultural and Natural Heritage, Russland

Kjell Danell, Sveriges Landbruksuniversitet, Sverige

Anne Gunn, Government of the Northwest Territory, Canada

David B. Irons, U.S. Fish and Wildlife Service, USA

Gary P. Kofinas, University of Alaska Fairbanks, USA

Kit M. Kovacs, Norsk Polarinstitutt, Norge

Margarita Magomedova, Institute of Plant and Animal Ecology, Russland

Rosa H. Meehan, U.S. Fish and Wildlife Service, USA

Don E. Russell, Canadian Wildlife Service, Canada

Patrick Valkenburg, Alaska Department of Fish and Game, USA

Kapittel 12: Jakt, gjeting, fiske og samling: Urfolk og fornybare ressurser i Arktis

Hovedforfatter

Mark Nuttall, University of Aberdeen, Skottland, UK; University of Alberta, Canada

Medforfattere

Fikret Berkes, University of Manitoba, Canada

Bruce Forbes, University of Lapland, Finland

Gary Kofinas, University of Alaska Fairbanks, USA

Tatiana Vlassova, Russian Association of Indigenous Peoples of the North (RAIPON), Russland

George Wenzel, McGill University, Canada

Kapittel 13: Fiske og akvakultur

Hovedforfattere

Hjalmar Vilhjalmsson, Marine Research Institute, Island

Alf Håkon Hoel, Universitetet i Tromsø, Norge

Medforfattere

Sveinn Agnarsson, University of Iceland, Island

Ragnar Arnason, University of Iceland, Island

James E. Carscadden, Fisheries and Oceans Canada, Canada

Arne Eide, Universitetet i Tromsø, Norge

David Fluharty, University of Washington, USA

Geir Hønneland, Fridtjof Nansen Institutt, Norge

Carsten Hvingel, Greenland Institute of Natural Science, Grønland

Jakob Jakobsson, Marine Research Institute, Island

George Lilly, Fisheries and Oceans Canada, Canada

Odd Nakken, Havforskningsinstituttet, Norge

Vladimir Radchenko, Sakhalin Research Institute of Fisheries and Oceanography, Russland

Susanne Ramstad, Norsk Polarinstitutt, Norge

William Schrank, Memorial University of Newfoundland, Canada

Niels Vestergaard, University of Southern Denmark, Danmark

Thomas Wilderbuer, NOAA National Marine Fisheries Service, USA

Kapittel 14: Skog, jordforvaltning og landbruk

Hovedforfatter

Glenn P. Juday, University of Alaska Fairbanks, USA

Medforfattere

Valerie Barber, University of Alaska Fairbanks, USA

Hans Linderholm, Göteborgs Universitet, Sverige

Scott Rupp, University of Alaska Fairbanks, USA

Steve Sparrow, University of Alaska Fairbanks, USA

Eugene Vaganov, V.N. Sukachev Institute of Forest Research, RAS, Russland

John Yarie, University of Alaska Fairbanks, USA

Bidragstere

Edward Berg, U.S. Fish and Wildlife Service, USA

Rosanne D'Arrigo, Lamont Doherty Earth Observatory, USA

Paul Duffy, University of Alaska Fairbanks, USA

Olafur Eggertsson, Icelandic Forest Research, Island

V.V. Furyaev, V.N. Sukachev Institute of Forest Research, RAS, Russland

Edward H. (Ted) Hogg, Canadian Forest Service, Canada

Satu Huttunen, University of Oulu, Finland

Gordon Jacoby, Lamont Doherty Earth Observatory, USA

V. Ya. Kaplunov, V.N. Sukachev Institute of Forest Research, RAS, Russland

Seppo Kellomaki, University of Joensuu, Finland

A.V. Kirdeyanov, V.N. Sukachev Institute of Forest Research, RAS, Russland

Carol E. Lewis, University of Alaska Fairbanks, USA

Sune Linder, Sveriges Landbruksuniversitet, Sverige

M.M. Naurzbaev, V.N. Sukachev Institute of Forest Research, RAS, USA

F.I. Pleshikov, V.N. Sukachev Institute of Forest Research, RAS, Russland

Ulf T. Runesson, Lakehead University, Canada

Yu.V. Savva, V.N. Sukachev Institute of Forest Research, RAS, Russland

O.V. Sidorova, V.N. Sukachev Institute of Forest Research, RAS, Russland

V.D. Stakanov, V.N. Sukachev Institute of Forest Research, RAS, Russland

N.M. Tchebakova, V.N. Sukachev Institute of Forest Research, RAS, Russland

E.N. Valendik, V.N. Sukachev Institute of Forest Research, RAS, Russland

E.F. Vedrova, V.N. Sukachev Institute of Forest Research, RAS, Russland

Martin Wilmsking, Lamont Doherty Earth Observatory, USA

Kapittel 15: Menneskers helse

Hovedforfattere

Jim Berner, Alaska Native Tribal Health Consortium, USA

Christopher Furgal, Laval University, Canada

Medforfattere

Peter Bjerregaard, Nasjonalt Folkehelseinstitutt, Danmark

Mike Bradley, Alaska Native Tribal Health Consortium, USA

Tine Curtis, Nasjonalt Folkehelseinstitutt, Danmark

Ed De Fabo, The George Washington University, USA

Juhani Hassi, University of Oulu, Finland

William Keatinge, Queen Mary and Westfield College, Storbritannia

Siv Kvernmo, Universitetet i Tromsø, Norge

Simo Nayha, University of Oulu, Finland

Hannu Rintamaki, Finnish Institute of Occupational Health, Finland

John Warren, Alaska Native Tribal Health Consortium, USA

Kapittel 16: Infrastruktur: bygninger, støttesystemer og industrianlegg

Hovedforfatter

Arne Instanes, Instanes Consulting Engineers, Norge

Medforfattere

Oleg Anisimov, State Hydrological Institute, Russland

Lawson Brigham, U.S. Arctic Research Commission, USA

Douglas Goering, University of Alaska Fairbanks, USA

Branko Ladanyi, École Polytechnique de Montreal, Canada

Jan Otto Larsen, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), Norge

Lev N. Khrustalev, Moscow State University, Russland

Bidragstere

Orson Smith, University of Alaska Anchorage, USA

Amy Stevermer, University of Colorado at Boulder, USA

Betsy Weatherhead, University of Colorado at Boulder, USA

Gunter Weller, University of Alaska Fairbanks, USA

Kapittel 17: Klimaendringer i en kontekst med flere stressfaktorer og utholdenhet

Hovedforfattere

James J. McCarthy, Harvard University, USA

Marybeth Long Martello, Harvard University, USA

Medforfattere

Robert Corell, American Meteorological Society and Harvard University, USA

Noelle Eckley, Harvard University, USA

Shari Fox, University of Colorado at Boulder, USA

Grete Hovelsrud-Broda, CICERO, Senter for klimaforskning, Norge

Svein Mathiesen, Norges Vetreinerhøgskole og Nordisk Samisk Institutt, Norge

Colin Polsky, Clark University, USA

Henrik Selin, Boston University, USA

Nicholas Tyler, Universitetet i Tromsø, Norge

Bidragstere

Kirsti Støm Bull, Universitetet i Oslo og Nordisk Samisk Institutt, Norge

Inger Maria Gaup Eira, Nordisk Samisk Institutt, Norge

Nils Isak Eira, Fosbakken, Norge

Siri Eriksen, CICERO Senter for klimaforskning, Norge

Inger Hanssen-Bauer, Meteorologisk Institutt, Norge

Johan Klemet Kalstad, Nordisk Samisk Institutt, Norge

Christian Nellemann, Norsk Institutt for Naturforskning (NINA), Norge

Nils Oskal, Samisk Høgskole, Norge

Erik S. Reinert, Hvasser, Tønsberg, Norge

Douglas Siegel-Causey, Harvard University, USA

Paal Vegar Storeheier, Universitetet i Tromsø, Norge

Johan Mathis Turi, Norske Reindrifsamers Landsforbund, Norge

Chapter 18: Oppsummering og synteser

Hovedforfatter

Gunter Weller, University of Alaska Fairbanks, USA

Medforfattere

Elizabeth Bush, Environment Canada, Canada

Terry V. Callaghan, Abisko Naturvitenskapelige Forskningsstasjon, Sverige; Sheffield Centre for Arctic Ecology, Storbritannia

Robert Corell, American Meteorological Society and Harvard University, USA

Shari Fox, University of Colorado at Boulder, USA

Christopher Furgal, Laval University, Canada

Alf Håkon Hoel, Universitetet i Tromsø, Norge
Henry Huntington, Huntington Consulting, USA
Erland Källén, Stockholms Universitet, Sverige
Vladimir M. Kattsov, Voeikov GGO, Russland
David R. Klein, University of Alaska Fairbanks, USA
Harald Loeng, Havforskningsinstituttet, Norge
Marybeth Long Martello, Harvard University, USA
Michael MacCracken, Climate Institute, USA
Mark Nuttall, University of Aberdeen, Skottland, Storbritannia; University of Alberta, Canada
Terry D. Prowse, University of Victoria, Canada
Lars-Otto Reiersen, Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Norge
James D. Reist, Fisheries and Oceans Canada, Canada
Aapo Tanskanen, Finnish Meteorological Institute, Finland
John E. Walsh, University of Alaska Fairbanks, USA
Betsy Weatherhead, University of Colorado at Boulder, USA
Fred J. Wrona, National Hydrology Research Institute, Canada

Observatører akkreditert til Arktisk Råd

Observatørland:

Frankrike
Tyskland
Nederland
Polen
Storbritannia

Internasjonale organisasjoner:

Conference of the Parliamentarians of the Arctic Region
International Federation of Red Cross & Red Crescent Societies (IFRC)
International Union for the Conservation of Nature (IUCN)
Nordisk Ministerråd
Northern Forum
North Atlantic Marine Mammal Commission (NAMMCO)
United Nations Economic Commission for Europe (UN-ECE)
United Nations Environment Program (UNEP)
United Nations Development Programme (UNDP)

Ikke-statlige organisasjoner (NGO-er):

Advisory Committee on Protection of the Seas (ACOPS)
Association of World Reindeer Herders
Circumpolar Conservation Union (CCU)
International Arctic Science Committee (IASC)
International Arctic Social Sciences Association (IASSA)
International Union for Circumpolar Health (IUCH)
International Work Group for Indigenous Affairs (IWGIA)
University of the Arctic (UArctic)
Worldwide Fund for Nature (WWF)

Eksterne kritikere for *Konsekvenser av klimaendringer i Arktis*

Robert White, Washington Advisory Group, USA
Randy Udall, Community Office for Resource Efficiency, Aspen, Colorado, USA
Rasmus Hansson, World Wildlife Federation, Norge
Mary Simon, Forhenværende ambassadør for Circumpolar Affairs and Consultant, Canada
Ted Munn, University of Toronto, Canada
Roger G. Barry, National Snow and Ice Data Center, University of Colorado at Boulder, USA
O.W. Heal, University of Durham, Storbritannia

ASSESSMENT STEERING COMMITTEE

Representanter for organisasjoner

Robert Corell, ASC-formann	International Arctic Science Committee, USA
Pål Prestrud, ASC-viceformann	CICERO, Senter for klimaforskning, Norge
Snorri Baldursson (til august 2000)	Conservation of Arctic Flora and Fauna (CAFF), Island
Gordon McBean (fra august 2000)	Conservation of Arctic Flora and Fauna (CAFF), Canada
Lars-Otto Reiersen	Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Norge
Hanne Petersen (til september 2001)	Arctic Monitoring and Assessment Programme, Danmark
Yuri Tsaturov (fra september 2001)	Arctic Monitoring and Assessment Programme, Russland
Bert Bolin (til juli 2000)	International Arctic Science Committee, Sverige
Rágnvaldur Hannesson (fra juli 2000)	International Arctic Science Committee, Norge
Terry Fenge	Permanente deltakere, Canada
Jan-Idar Solbakken	Permanente deltakere, Norge
Cindy Dickson (fra juli 2002)	Permanente deltakere, Canada

ACIA-sekretariaet

Gunter Weller, Direktør	ACIA Sekretariatet, USA
Patricia A. Anderson	ACIA Sekretariatet, USA

Hovedforfattere

Jim Berner	Alaska Native Tribal Health Consortium, USA
Terry V. Callaghan	Abisko Naturvetenskapliga Station, Sverige
	Sheffield Centre for Arctic Ecology, Storbritannia
Henry Huntington	Huntington Consulting, USA
Arne Instanes	Instanes Consulting Engineers, Norge
Glenn P. Juday	University of Alaska Fairbanks, USA
Erland Källén	Stockholms Universitet, Sverige
Vladimir M. Kattsov	Voeikov GGO, Russland
David R. Klein	University of Alaska Fairbanks, USA
Harald Loeng	Havforskningsinstituttet, Norge
Gordon McBean	University of Western Ontario, Canada
James J. McCarthy	Harvard University, USA
Mark Nuttall	University of Aberdeen, Scotland, Storbritannia
	University of Alberta, Canada
James D. Reist (til juni 2002)	Fisheries and Oceans Canada, Canada
Fred J. Wrona (fra juni 2002)	National Water Research Institute, Canada
Petteri Taalas (til mars 2003)	Finnish Meteorological Institute, Finland
Aapo Tanskanen (fra mars 2003)	Finnish Meteorological Institute, Finland
Hjálmar Vilhjálmsson	Marine Research Institute, Island
John E. Walsh	University of Alaska Fairbanks, USA
Betsy Weatherhead	University of Colorado at Boulder, USA

Samarbeidskontakter

Snorri Baldursson (aug. 2000 - sept. 2002)	Conservation of Arctic Flora and Fauna, Island
Magdalena Muir (sept. 2002 - mai 2004)	Conservation of Arctic Flora and Fauna, Island
Maria Victoria Gunnarsdottir (fra mai 2004)	Conservation of Arctic Flora and Fauna, Island
Snorri Baldursson (fra sept. 2002)	Arctic Council, Island
Odd Rogne	International Arctic Science Committee, Norge
Bert Bolin (til juli 2000)	Intergovernmental Panel on Climate Change, Sverige
James J. McCarthy (juni 2001 - april 2003)	Intergovernmental Panel on Climate Change, USA
John Stone (fra april 2003)	Intergovernmental Panel on Climate Change, Canada
John Calder	National Oceanic and Atmospheric Administration, USA
Karl Erb	National Science Foundation, USA
Hanne Petersen (fra sept. 2001)	Denmark

Vedlegg 3

Illustrasjoner og fotografier

Produksjon, design og layout:

Grabhorn Studio, Inc., 1316 Turquoise Trail, Cerrillos, New Mexico, 87010
United States (505) 780-2554 - grabhorn@earthlink.net

Grafikk og illustrasjoner:

Innsiden av omslaget: kart over Arktis - ©Clifford Grabhorn
Alle kartbakgrunner og kart - ©Clifford Grabhorn/Grabhorn Studio, med unntak av de som er nevnt nedenfor.
Side 2: global bakgrunn - NASA
Side 25: bilder av havsens utbredelse - NASA
Sidene 32-33: flat bakgrunnskart av jorda - NASA
Side 54: barkebilkart over Yukon - Natural Resources Canada, barkebilkart over Kenai-halvøya - USDA Forest Service
Side 109: ©UNEP

Grafer og figurer er originale eller basert på foreløpige filer som er levert av de individuelle bidragsyterne eller instituttene som er listet opp foran i denne rapporten. Referanser til originalkilder er gitt for de korresponderende figurene i den fulle ACIA vitenskapelige rapport.

Fotografier

Omslaget: alle fotografiene - ©Bryan og Cherry Alexander, Higher Cottage, Manston, Sturminster Newton, Dorset DT10 1EZ, England - alexander@arcticphoto.co.uk
Tittelsiden: ©Paul Grabhorn
Forordet: ©Bryan og Cherry Alexander
Innholdsfortegnelsen: alle - ©Bryan og Cherry Alexander
Side 2: bakgrunn av jordkloden - NASA
Side 4: bilder av jorda - NASA
Sidene 6-9: alle fotografiene - ©Bryan og Cherry Alexander
Sidene 10-11: oversvømmelse ved Shismaref - ©Tony Weyionanna, alle de andre - ©Bryan og Cherry Alexander
Side 12: elve- og snølandskap - ©Bryan og Cherry Alexander, permafrost - ©Paul Grabhorn
Side 13: elveis og havis med båt - ©Bryan og Cherry Alexander, isbre - ©Paul Grabhorn, kysterosjon - ©Stanislas Ogorodov, Moskva Universitet
Side 14: skogbrann - BLM Alaska Fire Service, alle andre - ©Bryan og Cherry Alexander
Side 15: stratosfæriske skyer - NASA, urskog - ©Robert Ott, tundra - ©Bryan og Cherry Alexander
Sidene 16 -17: hage - ©Paul Grabhorn, alle andre - ©Bryan og Cherry Alexander
Side 20: snølandskap - ©Bryan og Cherry Alexander, sjøis - NASA
Side 21: Isbreene på Ellesmere Island sett fra verdensrommet - NASA
Sidene 22-24: alle - ©Bryan og Cherry Alexander
Side 25: havis - ©Bryan og Cherry Alexander
Sidene 30-31: havis med skrugard og snødekte trær - ©Bryan og Cherry Alexander
Sidene 33-35: alle - ©Bryan og Cherry Alexander
Sidene 37-38: alle - ©Bryan og Cherry Alexander
Side 39: innsjø og fjell - ©Paul Grabhorn, skogvekst, skogskader etter brann, innsjøer og dammer - ©Robert Ott, pytter på tundraen - ©Paul Grabhorn, phytoplankton - NASA
Side 40-41: luftfoto av isflak - ©Bryan og Cherry Alexander, 1958 McCall-isbreen - ©Austin Post, 2003 McCall-isbreen - ©Matt Nolan
Sidene 42-43: Shismaref-kysten - ©Tony Weyionanna, lavtliggende øyer - ©Paul Grabhorn, solnedgang over sump - US Army Corps of Engineers
Sidene 44-45: fugl i flukt - ©Frank Todd/B&C Alexander, alle andre - ©Bryan og Cherry Alexander
Sidene 46-47: Islands kyst - ©Snorri Baldursson, polarørken, halvørken, tundra med tuer - ©Terry V. Callaghan, alle andre - ©Bryan og Cherry Alexander
Sidene 48-49: smeltepytt i Sverige - ©Terry V. Callaghan, alle andre ©Bryan og Cherry Alexander
Side 50: skog om høsten - ©Robert Ott, luftfoto av innsjø - ©Bryan og Cherry Alexander
Side 52: skog i Sibir - ©Bryan og Cherry Alexander
Side 53: grantrær og fjell - ©Robert Ott
Side 54-55: granbarkbille - The National Agricultural Library Special Collections, knopporm - ©Therese Arcand/Natural Resources Canada, knopporm-angrep - ©Claude Monnier/Natural Resources Canada, grantrær og fjellside - ©Robert Ott
Side 56: skogbrann - ©John McColgan/BLM Alaska Fire Service
Sidene 57-59: alle - ©Bryan og Cherry Alexander
Side 60: isalger og dykker - ©Rob Budd/NIWA
Sidene 61-65: alle - ©Bryan og Cherry Alexander
Sidene 66-67: akvakultur på Færøyene - ©Jens Kristian Vang
Side 69: caribou - ©Bryan og Cherry Alexander
Sidene 70-71: koking av caribou-kjøtt - ©Henry Huntington, alle andre - ©Bryan og Cherry Alexander
Side 72: luftfoto over caribou under flyttingen - ©Bryan og Cherry Alexander, møte i Old Crow og luftfoto - ©Paul Grabhorn
Side 73: caribou som går opp av elv - ©Bryan og Cherry Alexander, fem bilder av klargjøring av caribou-kjøtt - ©Tookie Mercredi
Side 74: luftfoto av elv - ©Bryan og Cherry Alexander
Side 75: Tanana-elven - ©Robert Ott
Sidene 76-77: alle - ©Bryan og Cherry Alexander
Sidene 78-79: St. George-, Nelson Lagoon -
Sidene 80-81: Shismaref storm og strandvoll - ©Tony Weyionanna, stormbølger i Tuktoyaktu - ©Steve Solomon, kysterosjon og oljelager - ©Stanislas Ogorodov, Moskva Universitet
Sidene 82-83: alle - ©Bryan og Cherry Alexander
Sidene 84-85: bilder av oljesøl - Exxon Valdez Oil Spill Trustee Council, alle andre - ©Bryan og Cherry Alexander
Side 86: lastebil som sitter fast - ©Paul Grabhorn, isvei - ©Bryan og Cherry Alexander
Side 88: ©Bryan og Cherry Alexander
Side 89: skadet bygning - ©Vladimir E. Romanovsky, BP-bygningen - ©Bryan og Cherry Alexander, ras -
Sidene 90-91: alle - ©Paul Grabhorn
Sidene 92-93: bilde av tromming - ©Henry Huntington, alle andre - ©Bryan og Cherry Alexander
Sidene 94-97: alle - ©Bryan og Cherry Alexander
Side 98: stratosfæriske skyer - NASA
Side 100: islandskap - ©Henry Huntington, planter - ©Paul Grabhorn
Side 101: stratosfæriske skyer: NASA
Side 102: begge - ©Bryan og Cherry Alexander
Side 103: fugl på reir - ©Bryan og Cherry Alexander, tre bilder av skader etter høstmøll - ©Staffan Karlsson
Side 104-111: alle - ©Bryan og Cherry Alexander
Side 114: høyfjellsvann og eng - ©Paul Grabhorn, alle andre - ©Bryan og Cherry Alexander
Side 115: samisk reingjeter og reinsdyr - ©Bryan og Cherry Alexander, havn og øy - ©Snorri Baldursson
Side 116: alle - ©Bryan og Cherry Alexander
Side 117: skadet bygning - ©Vladimir E. Romanovsky, reingjeter - ©Bryan og Cherry Alexander
Side 118: laksefisker og luftfoto av landskap - ©Paul Grabhorn, landskap og oljetanker i Alaska - ©Bryan og Cherry Alexander
Side 119: begge - ©Bryan og Cherry Alexander
Side 120: øverst: - NASA, caribou på flyttefot og sel - ©Bryan og Cherry Alexander
Side 121: begge - ©Bryan og Cherry Alexander
Side 122-123: NASA
Side 124-125: begge - ©Bryan og Cherry Alexander
Baksiden av omslaget: ©Bryan og Cherry Alexander

