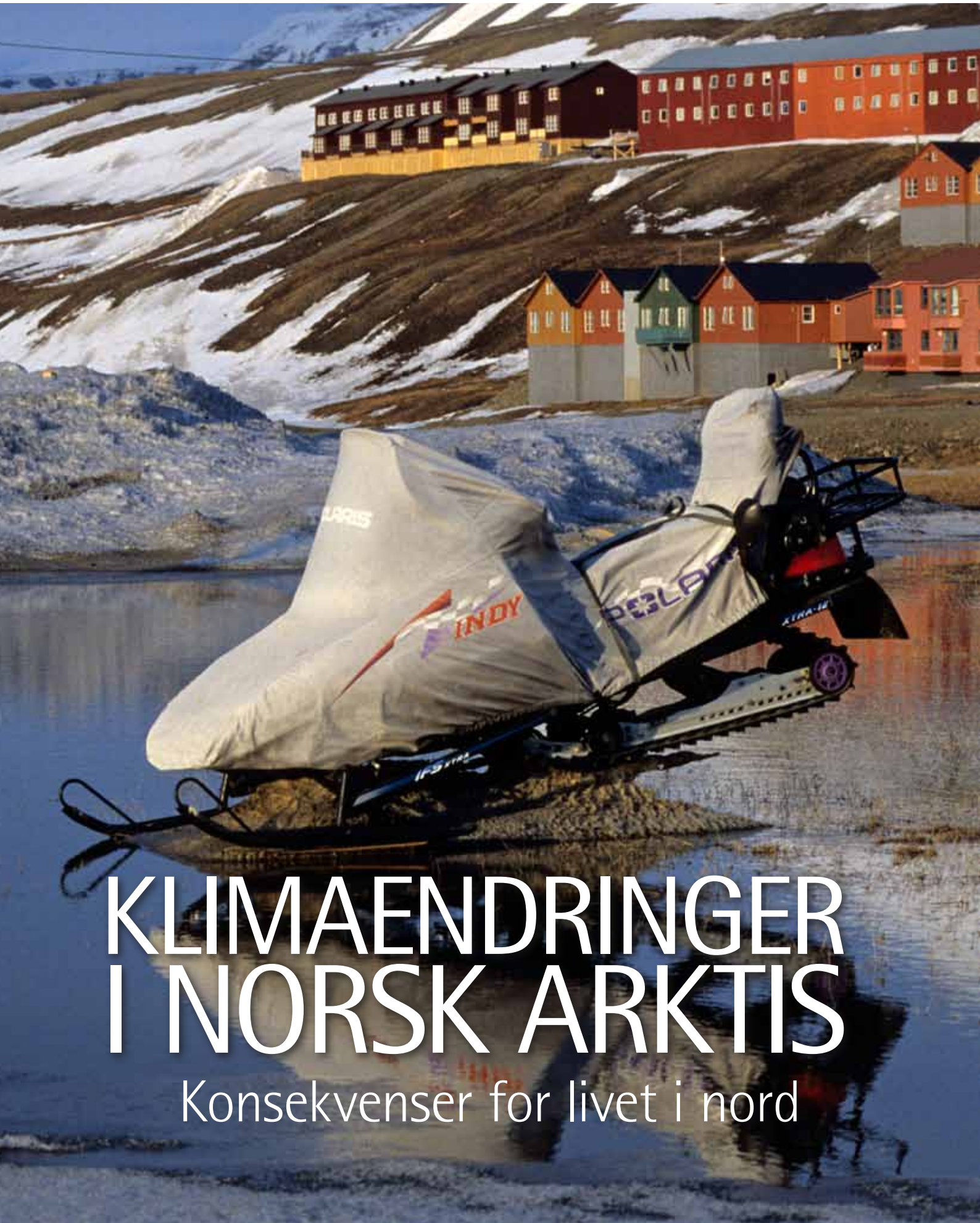


136

RAPPORTSERIE
NORSK POLARINSTITUTT

NorACIA
www.noracia.npolar.no



KLIMAENDRINGER I NORSK ARKTIS

Konsekvenser for livet i nord

KLIMAENDRINGER I NORSK ARKTIS

Konsekvenser for livet i nord

Adresse

NorACIA sekretariat
Norsk Polarinstitut
Polarmiljøsentret
NO-9296 Tromsø
noracia@npolar.no
www.noracia.npolar.no

© Norsk Polarinstitut

Forfatter: Ellen Øseth, Norsk Polarinstitut

Teknisk redaktør: Marte Lundberg, Norsk Polarinstitut

Design/layout: Rudi Caeyers

Forsidefoto: Øystein Overrein

Trykket: Mars 2010, Grøseth Trykk AS

ISBN: 978-82-7666-273-3

ISSN: 0803-0421

Rapporten siteres: Øseth E 2010. Klimaendringer i norsk Arktis – Konsekvenser for livet i nord.
Norsk Polarinstitut Rapportserie 136



Trykk: GRØSET™ - Produksjonen er klimanøytral, CO₂-utslippet er kompensert.

Forord

Global oppvarming er en av de største utfordringer jordens befolkning står overfor. Klimaet i Arktis er viktig for det globale klimaet, og de siste årene har det blitt kartlagt store endringer i regionen. Nordområdene er i fokus, og det er viktig at beslutningstakerne har den beste og mest oppdaterte informasjonen om de pågående og fremtidige klimaendringene i Arktis.

Norwegian Arctic Climate Impact Assessment (NorACIA) er et initiativ tatt av den norske regjering for å følge opp Arctic Climate Impact Assessment (ACIA), et prosjekt underlagt Arktisk Råd. ACIAs hovedrapport i 2004 var den første helhetlige sammenstilling av kunnskap om klimaendringer i Arktis og etterlyste flere studier og en bedre forståelse av klimaendringene på regional skala. NorACIA søker i tråd med disse anbefalingene å samle og synliggjøre eksisterende kunnskap og utvikle ny kunnskap om klimaforhold i den norske delen av Arktis, samt identifisere hvilke kunnskapshull som bør tettes. Innenfor rammen av NorACIA er det fokus på formidling, forvaltningsrådgivning og sammenstilling av kunnskap om klimaendringer i norsk Arktis. Hovedsiktemålet for NorACIA er å samle kunnskap om klimaendringer i regionen, som kan danne basis for videre vurderinger av tiltak forbundet med klimaendringer og konsekvensene av disse.

NorACIA har levert fem delutredninger innen fem temaer, som alle har undertittelen «Klimaendringer i norsk Arktis»:

Delutredning 1: Klimautvikling i Nord-Norge og på Svalbard i perioden 1900–2100.

Delutredning 2: Fysiske og biogeokjemiske prosesser.

Delutredning 3: Effekter på økosystemer og biologisk mangfold.

Delutredning 4: Effekter på folk og samfunn.

Delutredning 5: Tilpasning og avbøtende tiltak.

I tillegg ble det i 2008 utarbeidet en egen utredning knyttet til klimaendringer i Barentshavet.

Denne synteserapporten er basert på disse delutredningene og annen relevant kunnskap. Siktemålet har vært å samle tilgjengelig kunnskap om norsk Arktis – i betydningen Nord-Norge, Svalbard og havområdene utenfor – for å danne et grunnlag for beslutninger om tiltak, tilpasninger og videre studier for å bedre forstå sammenhenger og effekter i det arktiske klimasystemet. Synteserapporten presenterer elleve nøkkelfunn fra NorACIA-prosessen, og tematikken er presentert i en form ment å treffe en bred lesergruppe.

NorACIA-arbeidet og arbeidet med denne synteserapporten har vært organisert gjennom en styringsgruppe ledet av Miljøverndepartementet (MD), med representanter fra Direktoratet for naturforvaltning (DN), Klima- og forurensningsdirektoratet (Klif) og Norsk Polarinstitut (NP). Følgende medlemmer har deltatt i arbeidet med synteserapporten: Håvard Toresen (MD), Else Løbersli (DN), Øyvind Christophersen (Klif) og Bjørn Fossli Johansen (NP). Norsk Polarinstitut har vært sekretariat for arbeidet og har hatt det praktiske ansvaret for sammenstilling av rapporten.

Oslo, mars 2010

Håvard Toresen

Leder for NorACIAs styringsgruppe

Innhold

Sammendrag av nøkkelfunn	7
Anbefalinger til beslutningstakere	16
Klimaendringer i et regionalt perspektiv – bakgrunn	18
Nøkkelfunn 1: Norsk Arktis blir varmere og våtere, men med store lokale variasjoner	24
Nøkkelfunn 2: Selvfosterkende mekanismer i Arktis øker globale klimaendringer	43
Nøkkelfunn 3: Klimaendringene gjør Arktis mer sårbar for miljøgifter og ultrafiolett stråling	48
Nøkkelfunn 4: Havisen minker og isavhengige arter trues	57
Nøkkelfunn 5: Havet blir varmere og økosystemene forandres	62
Nøkkelfunn 6: Havet forsures og korallene kan forsvinne	74
Nøkkelfunn 7: Skogen brer seg nordover og i høyden	80
Nøkkelfunn 8: Økosystemene i ferskvann er sårbare for klimaendringer	88
Nøkkelfunn 9: Infrastrukturen i nord er utsatt	95
Nøkkelfunn 10: Naturbaserte næringer får nye muligheter – og utfordringer	103
Nøkkelfunn 11: Samfunnet kan og må tilpasse seg	111
Vi vet mye – men ikke nok	123
Det faglige grunnlaget for denne rapporten	128
Tilleggsinformasjon er hentet fra følgende kilder	129
Referanser til figurene	130



Sammendrag av nøkkelfunn

Klimaendringene kommer til å påvirke både økosystemene og samfunnene i nord. Her presenteres et sammendrag av de elleve nøkkelfunnene som er identifisert i NorACIA (Norwegian Arctic Climate Impact Assessment) for Svalbard, Nord-Norge og havområdene utenfor. Modellberegninger søker å forutsi fremtidig klimautvikling. Mekanismene som styrer klimaet er imidlertid så mange, sammensatte og komplekse, at vi kanskje aldri klarer å lage detaljerte og fullstendig korrekte beregninger av alle effekter som følger med et endret klima. Usikkerheten, som alltid vil være til stede, må ikke føre til at man lar være å redusere utslipp og forberede seg på klimaendringer og effektene av dem. Denne rapporten er derfor en sammenstilling av mulige fremtidige hendelser og sannsynlige effekter og konsekvenser for de nærmeste 90 årene basert på kunnskap som er tilgjengelig i dag.



Foto: Odd Harald Hansen, Norsk Polarinstitutt

Nøkkelfunn 1: Norsk Arktis blir varmere og våtere, men med store lokale variasjoner

- Gjennomsnittlig årstemperatur kan øke med hele 8°C mot slutten av dette århundret nord-øst av Svalbard. På Fastlands-Norge beregnes en økning på 2,5–3,5°C, med lavest økning ved kysten og høyest på Finnmarksvidda. Alle årstider vil oppleve temperaturøkning, men økningene ser ut til å bli størst om høsten og vinteren, og høyere over land enn hav.
- Nedbøren forventes å øke over hele regionen til alle årstider, men mest om høsten og vinteren. De regionale forskjellene blir imidlertid store. Mot slutten av dette århundret kan det bli en merkbar reduksjon i snøsesongen, med over to måneder kortere sesong per år i kystområdene av Nord-Norge, og én måned per år på Finnmarksvidda.
- Ekstremvær i form av sterk vind og ekstreme nedbørsmengder kan forekomme oftere.
- Permafrosten tiner raskere enn tidligere beregnet, og tiningen er intensivert de siste ti årene. Generelt forventes en fortsatt gradvis oppvarming av permafrosten. Med en økende frekvens av ekstremt høye temperaturer kan oppvarmingen imidlertid i større grad bli irregulær.

Nøkkelfunn 2: Selvførsterkende mekanismer i Arktis øker globale klimaendringer

- Is og snø har en lys overflate som reflekterer sollyset og motvirker oppvarming. Temperaturøkningen fører til smelting av is og kortere snøsesong, noe som igjen bidrar til at oppvarmingen øker.
- Når sot avsettes på is og snø, forsterkes smelteprosessene. Det finnes kommersielt tilgjengelig teknologi som kan bidra til å redusere sotutslipp som kommer fra energiproduksjon, industri og skip, og en slik reduksjon kan være et bidrag til å bremse klimaendringene på kort sikt.
- Skyenes innvirkning på klimasystemet i Arktis er komplisert og ikke godt nok forstått. Sikre beregninger av fremtidig skydekke er ennå ikke laget for Arktis.
- Beregningene for klimaendringenes effekter på havstrømmer og luftsystemer er usikre, og mer kunnskap er nødvendig for bedre å forstå hvordan disse nøkkelprosessene i det globale klimasystemet vil endre seg.



Død polarmåke på reir med sine fortsatt levende unger, trolig død på grunn av miljøgiftbelastning. Foto: Hallvard Strøm, Norsk Polarinstitutt

Nøkkelfunn 3: Klimaendringene gjør Arktis mer sårbar for miljøgifter og ultrafiolett stråling

- Noen miljøgifter øker i norsk Arktis på tross av stor nedgang i internasjonal bruk, og endringer i klimasystemet kan være en årsak til dette.
- Transport med luft- og havstrømmer og avsetning av miljøgifter til norsk Arktis kan øke avhengig av hvordan disse transportmekanismene endrer seg med klimaet.
- Miljøgifter som tidligere har blitt fanget opp og lagret i for eksempel permafrost, isbreer og havis kan bli frigjort og øke nivåene av miljøgifter i arktiske elver, fjorder og vann.
- Klimaendringene kan på lavere breddegrader føre til en økning i skogbranner – noe som kan øke tilførselen av miljøgifter til Arktis via luft.
- Dyr som allerede er stresset på grunn av klimarelaterte forhold, for eksempel tap av isdekke eller sult, blir mer sårbare for miljøgifter.
- Arktiske organismer er sårbare for ultrafiolett stråling (UV-stråling). Det slippes ikke lengre ut store mengder ozonnedbrytende gasser, og i 2003–2004 ble det for første gang registrert en nedgang i konsentrasjonen av viktige ozonødeleggende gasser over Svalbard. Det er imidlertid ikke ventet at ozonlaget vil være tilbake på 1980-nivå før omkring 2050–2070.

Nøkkelfunn 4: Havisen minker og isavhengige arter trues

- Nyere studier tyder på at havisutbredelsen minker raskere enn beregnet i modeller som har vært lagt til grunn for ACIA (Arctic Climate Impact Assessment) og den fjerde hovedrapporten til FNs klimapanel (IPCC).
- Havisens fravær i seg selv fører til raskere oppvarming på grunn av selvforsterkende mekanismer knyttet til solinnstrålingen.
- Trenden for havisutbredelse i Arktis siden målingene startet i 1979 er nedadgående, og de siste tre årene har utbredelsen vært på et historisk minimum.
- Det blir stadig mindre av den tykke flerårsisen i Barentshavet og Arktis som helhet. Dette forsterker smeltingen, ettersom den tynne ettårsisen er mer utsatt for smelting.



- Smelting av havisen kan føre til tap av biologisk mangfold. Flere arter er sterkt knyttet til isen, for eksempel isalger som vokser under og i isen, seler som trenger is for å føde unger, isbjørn som lever av sel, og flere arter sjøfugl som har mye av livssyklusen knyttet til isen.



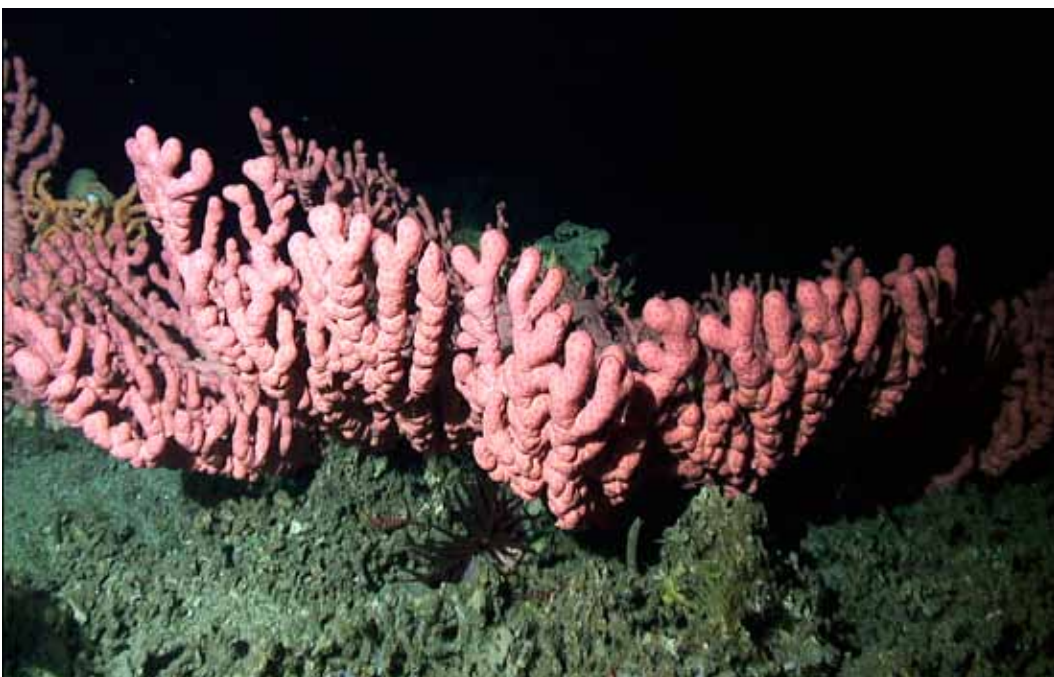
Lodde (*Mallotus villosus*). Foto: Universitetet i Tromsø, Fakultet for biovitenskap, fiskeri og økonomi

Nøkkelfunn 5: Havet blir varmere og økosystemene forandres

- Varmere havvann kan gi større forekomst av planteplankton og dyreplankton, men det er ikke gitt at fisk og andre dyr kan nytte seg denne ekstra tilgangen på mat.
- Med stadig økende havtemperatur kan mer varmekjære arter trekke inn i de arktiske områdene og utkonkurrere enkelte av artene som lever der i dag.
- Raudåte er svært viktig i de polare økosystemene i havet, og med økt vanntemperatur står den i fare for å bli utkonkurrert av en sørligere art som ikke er en like næringsrik matressurs for fisk. Tilsvarende kan raudåte erstatte mer fettrike, arktiske arter dyreplankton lenger nord og gi dårligere næringsgrunnlag for blant annet arktisk fisk.
- Kommersielt viktige fiskearter som torsk og lodde kan endre sin utbredelse mot nord og øst, og inn i russiske områder.
- Økosystemene i havene har utviklet seg under og tilpasset seg de naturlige klimavariasjonene hittil, og ser ut til å ha en ganske stor tåleevne før det fører til dramatiske endringer. Dersom temperaturen beveger seg ut over den normale klimavariasjonen, øker usikkerheten knyttet til økosystemets respons og tåleevne. Klima er likevel bare en av flere faktorer som påvirker økosystemene, og det er den samlede påvirkningen som avgjør effektene.

Nøkkelfunn 6: Havet forsures og korallene kan forsvinne

- Økt CO₂-konsentrasjon i atmosfæren forventes å føre til en havforsuring de nærmeste hundre årene som ikke har forekommet de siste 20 millioner år.
- Vannkjemien i havet endres slik at kalkdannelse blir vanskelig for organismer med skall av kalk, for eksempel koraller. Store deler av dypvannskorallene i Norge vokser på dyp der vannkjemien kan nå kritiske verdier ved slutten av dette århundret.



Hornkorallen sjøtre (*Paragorgia aborea*). Foto: Havforskningsinstituttet



Øvre Pasvik nasjonalpark i Sør-Varanger, Finnmark. Foto: © Ove Bergersen, Samfoto

- Organismer med skall av kalk forventes å måtte trekke til andre områder eller kan få sterkt redusert utbredelse som en konsekvens av havforsuringen.
- I et globalt perspektiv er de arktiske havene mest sensitive for denne typen endringer.

Nøkkelfunn 7: Skogen brer seg nordover og i høyden

- Bjørkeskogen og barskogen forventes å trekke nordover og i høyden på bekostning av fjell og vidde. Økt planteproduksjon og lengre somre kan gi økte bestander av mange planteetere.
- Det kan komme til å bli flere skadedyr- og parasittangrep på skogen. Det forventes også flere parasittangrep på dyr.
- Fenomenet lemenår kan forsvinne, og dyr som lever av smågnagere, som fjellrev og snøugle, vil kunne dø ut i Nord-Norge.

Nøkkelfunn 8: Økosystemene i ferskvann er sårbare for klimaendringer

- De forventede klimaendringene vil påvirke innsjøer og elver på ulike måter, blant annet gjennom endringer i vanntemperatur, permafrosten i bakken rundt innsjøene, istykkelsen gjennom vinteren, isens sammensetning av snø og islag, hvor lenge isen ligger, næringstilførsel fra land og mulige effekter fra isbreer og flom. Alt dette vil bidra til å svekke stabiliteten i ferskvanns-økosystemene.
- Klimaendringene vil kunne begrense vandringsmulighetene for sjørøye på Svalbard.



Fiskelykke i Tanaelva. Foto: Øystein Overrein



Sørpeskred over E6 i Illhulia i Rana. Foto: Øyvind Bratt, Rana Blad

- Mildere klima i kystområdene i Nord-Norge kan gi kortere isdekke i elvene og høyere dødelighet hos laksunger. Høyere vanntemperatur i elvene i sommerhalvåret kan imidlertid føre til økt vekst, og dermed økt produksjon av laks i elvene.
- Med økende havtemperatur åpnes muligheten for at nye arter kan vandre opp i vassdragene, for eksempel stingsild på Svalbard.

Nøkkelfunn 9: Infrastrukturen i nord er utsatt

- Effektene av klimaendringer på transportsektoren ser i stor grad ut til å være negative; større farer for skred og flom, og utfordringer i forhold til regularitet i trafikken.
- Kommunale installasjoner som vann og avløp og bygninger er utsatte for flom, større nedbørsmengder og mer ekstremvær.
- Et isfritt Polhav sommerstid åpner muligheter for nye seilingsruter, og det forventes økt skipstrafikk både ved Svalbard og langs norskekysten.
- Nyere studier tyder på at det globale havnivået kan forventes å øke mer enn det IPCC forventet i 2007. Dette kan gi en økning i havnivået i Nord-Norge på 40–95 cm (korrigert for landhevning) innen utgangen av århundret, noe som kan gjøre infrastrukturen langs kysten mer utsatt for slitasje og ødeleggelser, spesielt ved stormflo.

Nøkkelfunn 10: Naturbaserte næringer får nye muligheter – og utfordringer

- Jordbruket i Nord-Norge kan, gitt at det klarer å tilpasse seg de nye forholdene, muligens profitere på klimaendringene, for eksempel dersom det blir mulig å gjennomføre to slåtter i året i stedet for bare én.
- Nordlig økologisk planteproduksjon har i dag en særfordel på grunn av klimaet. Denne særfordelen kan bli svekket på grunn av økt temperatur og økt fuktighet, som fører til større sannsynlighet for sykdom og parasittangrep.
- Omfanget av beiteområdene for reindriften forventes å krympe når skogen trekker oppover i fjellet og nordover, og kan blant annet medføre skjerpede konflikter rundt arealbruk. I tillegg



Oppdrettsanlegg ved Purkevik, Loppa i Finnmark. Foto: © Per Eide, Samfoto

kan temperatursvingninger rundt frysepunktet gjøre at reinen ikke får tak i maten på grunn av ising, og økt temperatur sommerstid gi mer sykdoms- og parasittplager. Både næringen i seg selv og grunnlaget for reindriftssamenes kultur utfordres av klimaendringene.

- Fiskeriene vil måtte forholde seg til fiskeartenes nye utbredelse. Nye fiskearter, for eksempel makrell, vil kunne bli vanligere i området.
- Havbruk i Nord-Norge kan tjene på økt havtemperatur, i og med at varmere vann opptil en viss temperatur fører til raskere vekst hos fisk. Lengre sør i Norge kan vanntemperaturen bli for høy for eksempelvis laks. Økt vanntemperatur kan imidlertid også medføre økt sårbarhet for sykdom og angrep av parasitter.

Nøkkelfunn 11: Samfunnet kan og må tilpasse seg

- Havisens smelting i Arktis åpner mulighetene for ny næringsvirksomhet og nye seilingsruter. Dette medfører behov for økt regulering av menneskelig aktivitet i de nordlige havområdene, fokus på utslipp og potensielle ulykker, og det kreves en bedre beredskap enn i dag. Økt skips-trafikk kan gi ytterligere press på økosystemer og arter som er sårbare for klimaendringer.
- Økt temperatur, havnivåstigning, økt nedbør og dermed økt fare for ras og flom gjør at infrastruktur som veier, flyplasser, jernbane, vann- og avløpssystemer, kraftledninger og bygninger i Nord-Norge må tilpasses en ny klimasituasjon.
- Jordbruket kan med riktig tilpasning klare å utnytte klimaendringene til å øke produksjonen i Nord-Norge.
- Fiskeriene kan flytte til andre områder når fiskeartene trekker nordover og østover, og det kan bli aktuelt å utnytte nye arter kommersielt.
- Reindriftens etablerte vandringsruter utfordres av tidlig tining. De samlede effektene på reindriften kan medføre behov for endringer i både arealbruk og flokkstruktur.
- De samiske næringsveiene (reindrift, kystfiske, landbruk, mv.) spiller viktige roller som bærere av den samiske kulturen. Denne sterke sammenkoblingen mellom næringsvei og kultur innebærer at klimaendringer og konsekvensene av disse utgjør et betydelig press på den samiske kulturen, og tilpasning blir spesielt utfordrende.



Anbefalinger til beslutningstakere

Å fatte de rette beslutningene i en situasjon hvor det foreligger en rekke usikkerhetsfaktorer er krevende. Vi vet imidlertid at klimaet alt har endret seg, og vi har mye kunnskap om fremtidige klimaendringer og mulige effekter av disse. Videre gjør infrastrukturens lange levetid og tregheten knyttet til endringer i samfunns- og næringsstruktur at det på mange områder er nødvendig å handle nå for å være forberedt på de forventede klimaendringene. Det videre arbeidet med klimaendringer i norsk Arktis bør blant annet ta hensyn til:

- Klimaendringene i norsk Arktis bestemmes først og fremst av klimagassutslipp i andre regioner. Likevel er det slik at de fysiske effektene av klimaendringer i Arktis påvirker hele jordkloeden. Utslipp direkte i Arktis, for eksempel av sot, kan også ha en effekt på klimaet i Arktis. I tillegg til nødvendigheten av reduksjoner i de globale utslippene er det derfor behov for også å fokusere på utslippene lokalt og i omkringliggende områder.
- Begrensning av sotutslipp både regionalt og globalt er mulig, og kan bremse klimaendringer på kort sikt. Et slikt tiltak vil ikke erstatte behovet for dramatiske kutt i globale klimagassutslipp, for å begrense og forhindre klimaendringer på lang sikt.
- Økt skipstrafikk og næringsaktivitet i Arktis er en mulig tilpasning til et endret klima, men kan også forsterke klimaendringene, gjennom for eksempel utslipp av klimagasser og sotpartikler.
- Det er nødvendig å sikre et rammeverk som på en god måte tar høyde for mulig økt aktivitet i Arktis som følge av økt tilgjengelighet. Det er både behov for å redusere utslipp fra denne aktiviteten og for økt overvåkning og beredskap mot ulykker langs kysten og på det åpne havet, som svar på større miljørisiko.
- Klimaendringene gjør Arktis mer sårbar overfor både gamle og nye miljøgifter. Det er derfor økt behov for overvåkning av miljøgiftens virkninger. Globalt reduseres nå utslippene av mange gamle miljøgifter, og det innføres stadig reguleringer av nye miljøgifter. Til tross for dette kan miljøgifttilførselen i Arktis komme til å øke på grunn av endringer i klimasystemet. Strengere reguleringer av de globale utslippene av miljøgifter må vurderes, spesielt for de stoffene som ikke er tilstrekkelig regulert i dag.
- Utviklingen i sentrale klimaparametre, sammensetningen av atmosfæren og økosystemene i Nord-Norge, på Svalbard og i havområdene må sikres en helhetlig overvåkning. Uten dette vil det være vanskelig å kartlegge og forstå effektene av klimaendringene.
- Det bør foretas en gjennomgang av vernepolitikken med sikte på å etablere en sammenheng mellom verneområder fra kysten, gjennom dalførene og opp på fjellet. Slike sammenhengende verneområder letter spredningsveiene for de artene som må tilpasse seg klimaendringene.
- På flere områder er det behov for å starte arbeidet med tilpasning til klimaendringene. Selv om vi ikke kjenner alle detaljene rundt fremtidig klimautvikling, har vi et godt nok grunnlag som utgangspunkt for samfunnsplanleggingen. Spesielt på de områder der vi har kunnskap til å vite at konsekvensene kan bli store av ikke å sette i verk tiltak, som for eksempel innen infrastrukturbygging og -oppgradering, kan tilpasningsarbeidet starte raskt. Tilpasning bremser ikke klimaendringene, men uten tiltak mot klimaendringene kan samfunnet møte utfordringer som ikke kan løses ved hjelp av tilpasning.



Porten til Nord-Norge over E6 på grensen mellom Nord-Trøndelag og Nordland fylker. Foto: © Bjørn Jørgensen, Samfoto

- Tinende permafrost, økte nedbørmengder, skred, flom og ekstremvær vil utfordre eksisterende infrastruktur. Fremtidig klimautvikling må danne et grunnlag for planlegging, vedlikehold og bygging av all ny infrastruktur.
- Kunnskapshullene på en rekke områder kan tettes. Det må settes av nok ressurser til forskning for å oppdatere kunnskapsgrunnlaget om klimaendringene og effektene av disse.
- Lokal- og urfolkskunnskap må tas med i vurderingene av hvilke utfordringer og muligheter fremtidige klimaendringer vil føre til. Dette vil kunne forbedre vår forståelse av klimaeffekter og handlingsrommet for tilpasning.

Klimaendringer i et regionalt perspektiv – bakgrunn

FNs klimapanel har siden 1990 lagt frem fire hovedrapporter som dokumenterer vitenskaplige resultater om klimaendringer i verden.

FNs klimapanel – IPCC

FNs Klimapanel – IPCC (the Intergovernmental Panel on Climate Change) – ble grunnlagt av FNs miljøprogram og Verdens meteorologi-organisasjon i 1988, og har som formål å frembringe best mulig faglig kunnskap om klimaendringene og deres potensielle miljømessige og sosioøkonomiske konsekvenser. Panelets rapporter utarbeides av verdens fremste klimaforskere. De gjennomgår og sammenligner all ny forskning, teknisk og sosioøkonomisk informasjon som er relevant for forståelsen av klimaendringer. IPCC utfører ikke selv noen forskning eller overvåking, men tusenvis av forskere fra hele verden bidrar til arbeidet.

Grundige prosedyrer for kvalitetssikring av rapportene og prosesser hvor både forskere og medlemslandenes utsendinger inngår, gjør klimapanelet til et unikt redskap for å få frem nøyaktig og balansert vitenskaplig informasjon til beslutningstakerne. Arbeidet i IPCC er dermed relevant for politikktutvikling, men det utvikles ikke politiske løsninger gjennom IPCC.

IPCCs fjerde hovedrapport slo i 2007 enda klarere fast enn tidligere rapporter sammenhengen mellom global oppvarming og menneskeskapte utslipp av klimagasser. Den påpekte også at temperaturen i Arktis har steget nesten dobbelt så raskt som det globale gjennomsnittet de siste 100 årene. Faktaboksen under oppsummerer noen av hovedfunnene i IPCCs fjerde hovedrapport.

IPCCs fjerde hovedrapport 2007

«Det er meget sannsynlig at mesteparten av økningen i globale gjennomsnittstemperaturer siden midten av det 20. århundre skyldes den observerte økningen i menneskeskapte klimagasskonsentrasjoner.»

«Tydelig menneskeskapt innflytelse utvides nå til andre aspekter ved klimaet, inkludert varmere hav, gjennomsnittstemperaturer over kontinenter, ekstreme temperaturhendelser og vindmønstre.»

«Klimapanelet regner det som sannsynlig at rundt 20–30% av alle arter er i stor fare for ugjenkallelig utryddelse om den globale gjennomsnittstemperaturen stiger med mer enn 1,5–2,5°C.»

«Menneskeskapt oppvarming kan føre til brå eller irreversible konsekvenser, avhengig av hastigheten og omfanget av klimaendringene.»

«Om vi skal nå målet om å begrense den globale temperaturøkningen til 2°C, må utslippsveksten snus til reduksjoner innen år 2015 og utslippene reduseres med 50–85% i forhold til 2000-nivået.»

«Stabiliseringsnivåene kan nås med teknologi som enten er kommersielt tilgjengelig i dag, eller forventes å bli det i de nærmeste tiårene. Det krever imidlertid at de nødvendige insentiver er på plass og at man reduserer barrierene for å ta i bruk slik teknologi.»

«Mer omfattende tilpasning er mulig og nødvendig for å redusere sårbarheten for klimaendringer. Det vil være hindringer, begrensninger og kostnader knyttet til dette.»

«FNs klimapanel regner Arktis som en region som er særlig utsatt for klimaendringene, og tundraen som et særlig utsatt system. Utbredelsen av sjøisen og permafrosten minker i Arktis, samtidig som opptiningen av permafrosten går dypere om sommeren. Isbreer og innlandsisen i Antarktis og på Grønland reduseres i tykkelse og utbredelse.»

I 2004 kom en omfattende regional rapport fra ACIA – Arctic Climate Impact Assessment – et prosjekt gjennomført i regi av Arktisk råd. Analysen tok for seg klimaendringene i Arktis spesielt, og presenterte mulige effekter på natur og samfunn. Dette var den første helhetlige gjennomgang av temaet for nordområdene, og bidro til en bedre forståelse av klimaendringene i Arktis og deres konsekvenser globalt og regionalt. ACIA-prosessen bidro med viktige innspill til IPCCs fjerde hovedrapport. ACIA var et viktig initiativ også sett fra et norsk perspektiv. Norge er i en nokså spesiell situasjon i arktisk sammenheng på grunn av sitt relative milde og nedbørsrike klima. Våre nordlige områder vil som øvrige arktiske områder være utsatt for klimatiske endringer, men typen konsekvenser vil trolig skille seg ut. Dette har gjort det spesielt viktig å være en aktiv part og bidragsyter i den omfattende internasjonale ACIA-prosessen.



Storm på kysten. Foto: Stein Ø Nilsen

Flere av hovedforfatterne og medforfatterne i den internasjonale ACIA-prosessen kom fra norske fagmiljøer. I tillegg til dette ble det i Norge også iverksatt en egen nasjonal prosess, først kalt ACIA-Norge. Det ble nedsatt en egen nasjonal styringsgruppe som ble ledet av Miljøverndepartementet, med Norsk Polarinstitutt som sekretariat. I løpet av høsten 2001 og vinteren 2002 avholdt den nasjonale styringsgruppen for ACIA tre fagmøter relatert til konsekvenser av klimaendringer i Nord-Norge, og i april 2002 ble det avholdt et fjerde møte om konsekvenser av klimaendringer på Svalbard. På disse møtene var deltakere fra ulike etater og organisasjoner med interesser innen de aktuelle temaene samlet for å diskutere problemstillingene ut fra sine ståsteder. Konklusjonene fra diskusjonene ble videreformidlet til den internasjonale ACIA-prosessen, samt til relevante norske myndigheter.

Siden ACIA startet opp ved årtusenskiftet, har det fra norsk side vært en intensjon at denne utredningen skulle være starten på et langsiktig nasjonalt og internasjonalt arbeid for å bedre kunnskapen om klimaprosesser, klimaendringer og effekter av disse i Arktis. I ACIA ble det pekt på et behov for å følge opp med regionale studier i Arktis, og Miljøverndepartementet etablerte på bakgrunn av dette NorACIA – Norwegian Arctic Climate Impact Assessment. Norge har en overordnet visjon om å være ledende i klimaarbeidet, og vil derfor bidra til oppfølgingen av ACIA både nasjonalt og internasjonalt. NorACIA har som mål å bidra til å utvikle, sammenstille og formidle kunnskap om klimaendringer, effekter og tilpasninger i norsk del av Arktis.



NorACIAs geografiske fokusområde

Det geografiske området definert for NorACIA er norsk Arktis. I denne sammenheng er Arktis definert i tråd med den definisjonen som ble brukt i ACIA-prosessen, og området omfatter dermed de tre nordnorske fylkene, samt Svalbard, Barentshavet og den nordlige delen av Norskehavet. Innenfor dette området finnes mange forskjellige typer natur, planter, dyr og andre organismer, og ulike samfunn der folk lever, jobber og bor. Utredningen tar for seg endringer i de fysiske systemene og endringer i økosystemene i havet, på land og i ferskvann. I tillegg omtales effekter på samfunnene i Nord-Norge og på Svalbard, og tiltak for å møte utfordringene.

For noen temaer, sammenhenger og sektorer er det ikke mulig å behandle norsk Arktis isolert fra Arktis som helhet, eller fra Norge som helhet. Dette kan enten være fordi vi ikke har kunnskaper om regionale sammenhenger ennå, eller det kan være tematikk som ikke egner seg å studere på så liten skala. Den menneskeskapte klimautviklingen i norsk Arktis styres også hovedsakelig av utslipp i resten av verden.

Prosjektet har gjennom sine fem delutredninger og flere rapporter synliggjort forventede klimaendringer og effektene av disse i norsk Arktis. Tidshorisonten for beregningene og diskusjonene er frem mot år 2100.



Figur 1: Kart over området som i NorACIA-sammenheng er definert som norsk Arktis. Kilde: Norsk Polarinstitutt

Fordi tidligere klimamodeller har sitt hovedfokus på de mer befolkningsrike områdene av Europa, har norsk Arktis blitt liggende i utkanten av modellene. NorACIAs klimamodeller setter derimot Nord-Norge, Svalbard og havområdene i nord i sentrum. Slik blir treffsikkerheten bedre for disse områdene, og lokale forskjeller i klima kan avdekkes.

Regionale perspektiver på klimaendringer gjør det mulig å være forberedt på de faktiske endringene vi står overfor i norsk Arktis. NorACIA har gjennom sitt regionale fokus vist at dette er avgjørende for å forstå effekter i naturen og på samfunnene. De globale trendene er nødvendige som bakteppe, men på lokalt og regionalt plan har klimaendringene svært ulike utslag. For at Norge best mulig skal kunne bremse og tilpasse seg klimaendringene må vi forstå bedre hvordan de virker, også lokalt og regionalt. Da er det ikke tilstrekkelig med et nasjonalt fokus, men oppmerksomheten må også rettes mot virkninger for de enkelte regioner og lokale områder.



Usikkerhet

Klimamodeller og vurderinger av effekter av klimaendringene bygger på mange pålitelige og godt forståtte forutsetninger, men samtidig er usikkerhet i modellene en generell utfordring med hensyn til klimaendringer. NorACIAs resultater utgjør i så måte ikke noe unntak.

Det er usikkerhet i klimamodellenes beregning av fremtidens klima. Dette skyldes at vi ikke vet nok om hvordan de naturlige variasjonene vil foregå, vi vet ikke nok om hvordan menneskenes bidrag til klimaendringene vil bli og vi vet ikke hvor godt mange av de grunnleggende forutsetningene i klimamodellene våre stemmer med virkeligheten. Forståelsen av prosessene som styrer klimautviklingen er fremdeles ikke fullstendig. Et eksempel er skyenes innvirkning på klimaet. På grunn av at vi ikke forstår alle mekanismene rundt skyenes bidrag til klimautviklingen, kan de forutsetningene som er lagt inn i klimamodellene være upresise eller direkte feil. Det kan også finnes prosesser i naturen som vi ikke kjenner til ennå, og følgelig ikke har inkludert i modellene. Modeller kommer alltid til å være forenklinger av de kjente prosessene. I det komplekse klimasystemet er det også mange mekanismer som virker sammen, hvor enkeltelementer kan forsterke eller svekke hverandre.

NorACIAs klimaberegninger baserer seg på nedskaleringer av globale klimamodeller, noe som innebærer at eventuelle unøyaktigheter eller feil i de globale modellene kan gi store utslag i beregningene av det lokale og regionale klimaet. Når de lokale og regionale beregningene i tillegg baserer seg på få modeller, er usikkerheten knyttet til beregningene enda større.

Når så grunnlaget for å beskrive klimautvikling er usikkert, vil usikkerheten øke i forhold til effektene for økosystemene og det biologiske mangfoldet. Vi har i dag heller ikke en perfekt forståelse av hvordan de ulike artene eller hele økosystemet endrer seg med et endret klima.

Hvordan samfunnene påvirkes av endringene er enda mer usikkert. Enkelt og generelt forklart kan man si at usikkerheten øker fra nivå til nivå. Den usikkerheten som skyldes usikre klimaberegninger får et tillegg av usikkerhet når klimaeffektene på økosystemer og biologisk mangfold beskrives. Samfunnseffektene er i sin tur enda mer usikre på grunn av usikkerheten på begge nivåer under, i tillegg til usikkerheten rundt samfunnets reaksjoner og tilpasning.

I NorACIA er det ikke forsøkt å estimere noen prosentvis vurdering av sannsynligheten av ulike konsekvenser. På mange områder ville dette i seg selv være en øvelse som innebærer usikkerhet. Fokus er heller rettet mot hva som må til for å redusere usikkerheten i forhold til klimaendringer i området, altså en identifisering av hvilke kunnskapshull som bør tettes.



Foto: Norsk Polarinstitutt

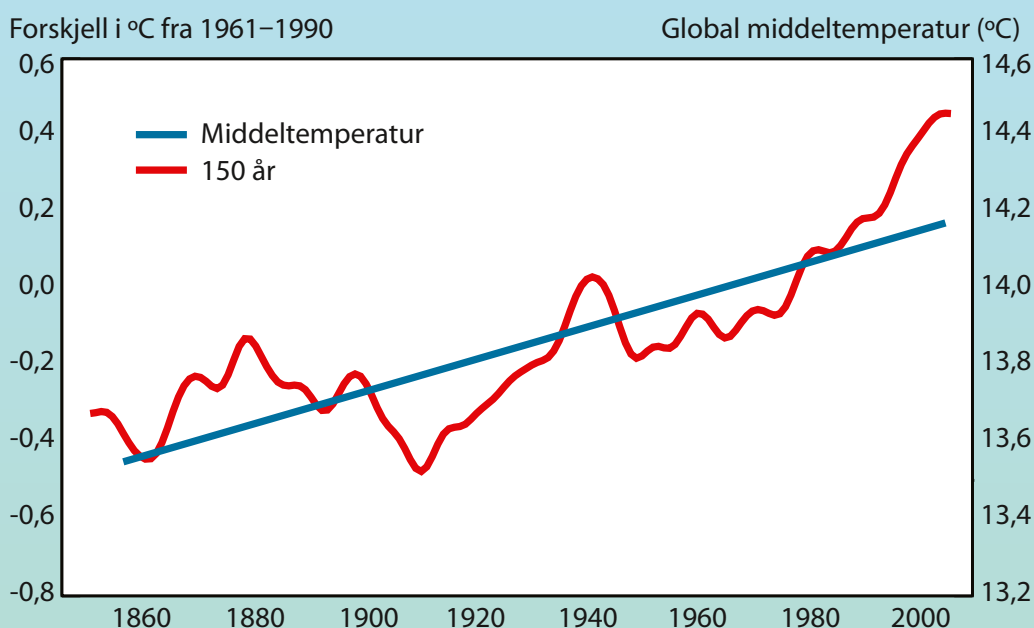
Forskningen oppdateres stadig, og nye funn i forhold til forventet klimautvikling offentliggjøres hyppig. Systemene som påvirker klimaet vårt er så komplekse at det er vanskelig å si noe sikkert om fremtiden. Likevel forbedres vår forståelse av klimasystemet hele tiden, noe som bidrar til utvikling og forbedring av klimamodellene. Slik styrker vi stadig vår evne og mulighet til å forstå og forberede oss på de endringer som kommer.

Samtidig er det viktig å ha i mente at de regionale modellberegningene som er utviklet gjennom NorACIA har sine svakheter. Arbeidet med å forbedre modellene og fremskaffe mer kunnskap om sammenhengene som styrer klimaet vil gjøre alle beregninger av effekter mer robuste og treffsikre. Til tross for usikkerheten vet vi nok til å handle.

Variasjoner i klimaet er naturlig, og kan dekke over menneskeskapt klimaendring

Klimaet har alltid variert, uansett hvilken tidsskala man ser på. Dette er særlig tydelig i nordområdene. Temperatur varierer fra dag til dag, år til år, tiår til tiår, mellom hundreår og i fleretusenårsperspektiv. Av klimaforskere betegnes ofte denne naturlige variasjonen som støy fordi variasjoner over et kortere tidsperspektiv kan kamuflere langtidsutviklingen i klima; klimasignalene. Beregninger av fremtidig temperaturutvikling beskrives gjerne som forventet endring i gjennomsnittsverdier. Vi kommer også i fremtiden til å oppleve store variasjoner rundt disse gjennomsnittsverdiene. Dette er det avgjørende å være klar over for at vi bedre skal forstå hva som faktisk skjer. Hvis de naturlige variasjonene heller mot en avkjøling, kan menneskeskapt oppvarming skjules og fremstå som en situasjon uten endring, hvis man studerer det i et kort tidsperspektiv. Selv om vi de neste ti årene skulle oppleve at temperaturene i Nord-Norge og på Svalbard faktisk ikke stiger, kan vi likevel ikke trekke den konklusjon at det ikke nå foregår menneskelig påvirkning på klimaet. Når de naturlige variasjonene heller mot en oppvarming, kan dette på sin side bidra til et overdrevet bilde av menneskeskapt temperaturøkning. Klimaet må derfor studeres i lange tidsperspektiver for å muliggjøre pålitelige konklusjoner om menneskeskapt klimaendring.

Global middeltemperatur



Figur 2: Observerte temperaturvariasjoner rundt et stigende gjennomsnitt. Den blå linjen betegner et 150-års gjennomsnitt, mens den røde kurven viser årgjennomsnitt i global temperatur. Kilde: Omarbeidet fra IPCC 2007



Nøkkelfunn 1: Norsk Arktis blir varmere og våtere, men med store lokale variasjoner





Landområdene i Arktis har de siste 20–30 årene opplevd større oppvarming enn noe annet område på jorden. FNs klimapanel (IPCC) konkluderte med at mesteparten av den globale temperaturøkningen siden 1950 skyldes økning i konsentrasjon av menneskeskapt drivhusgasser. Klimamodellene beregner at menneskeskapt oppvarming fortsatt vil være sterkere i Arktis enn andre steder, på grunn av selvforsterkende mekanismer. Klimaendringene i Arktis har allerede ført til store endringer i miljøet, og har påvirket den økonomiske aktiviteten. Dersom klimaendringene fortsetter som beregnet, vil vi kunne se større effekter, både på økosystemer, kultur, livsstil og økonomi over hele Arktis. En rekke særegne arktiske forhold og prosesser har betydelig innvirkning på det globale klimaet.



Nordenskiöldbreen i Billefjorden på Spitsbergen. Foto: Norsk Polarinstitutt

Klimautvikling de siste 100 år: Naturlige variasjoner og starten på en menneskeskapt oppvarming

I forhold til breddegrad er både Norskehavet og Barentshavet varme hav. Norskehavet er isfritt hele året, med unntak av den nordligste delen ved Framstredet. I Barentshavet er de atlantiske vannmassene isfrie, mens de arktiske vannmassene er isdekket deler av året. Isutbredelsen varierer naturlig mye fra år til år. De senere år har Barentshavet vært isfritt sommerstid, med unntak av et lite område i nordøst.

Kysten av Nord-Norge har normalt ganske mildt vinterklima og kjølige somre, mens innlandet har mer kontinentalt klima med lave temperaturer om vinteren og relativt høye temperaturer sommerstid. Det er store regionale forskjeller i årsnedbør. I deler av Nordland faller det mer enn 3000 mm per år, mens enkelte målestasjoner i indre strøk av Nord-Norge har årsnedbør på under 300 mm per år.

I Svalbard-området er det spesielt store variasjoner, noe som har sammenheng med isforholdene på og rundt øygruppen. Når det ligger is på sjøen, er klimaet kaldere og tørrere, altså mer kontinentalt, mens det er mildere og mer fuktig når sjøen er isfri. Dette er fordi havisen isolerer for varmetilførsel fra vannet, samt at den bidrar til å reflektere mer av solstrålingen. Det faller vanligvis ikke mye nedbør i Svalbard-området på grunn av stabile luftmasser med lavt vanninnhold. Over Spitsbergen, den største øya på Svalbard, faller det mest nedbør i sørvest og minst i de nordøstlige områder.

Når man studerer klimaendringer i Arktis er det viktig å være klar over at det er stor naturlig variasjon i klimaet i disse områdene, både fra år til år, tiår til tiår og på lengre tidsskalaer. Selv

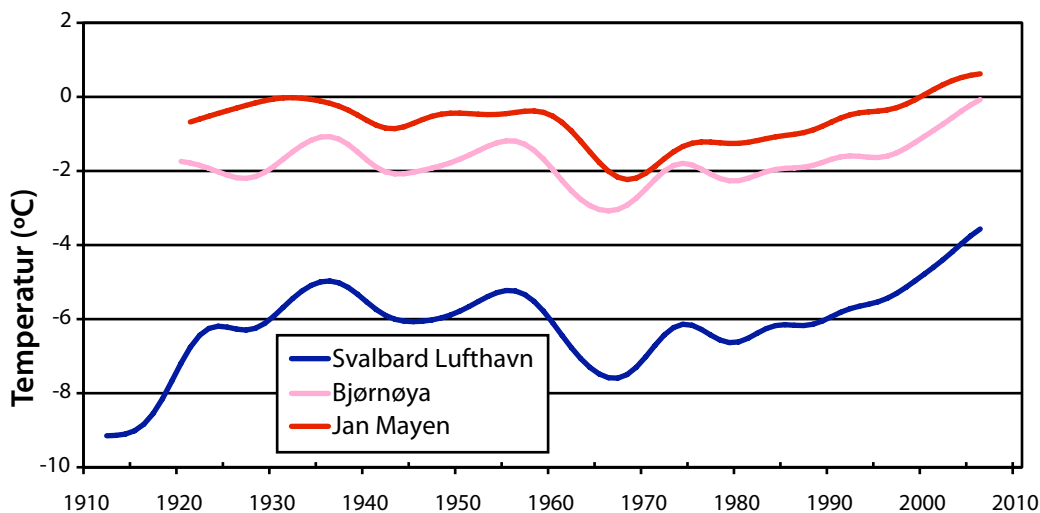


Vengsøya i Troms. Foto: Rudi Caeyers, rudicaeyers.com

om klimamodeller beregner betydelige menneskeskapt temperaturøkninger i Arktis, vil det fortsatt være store naturlige variasjoner. I tillegg er det en utfordring at det finnes få værstasjoner over et relativt stort område, og at tøffe værforhold kan gjøre nøyaktige målinger av for eksempel nedbør vanskelig.

Temperatur

Oppvarmingen som pågår er global, men oppvarmingen er størst på høye, nordlige breddegrader. Lufttemperaturen i Arktis som helhet har økt med ca. 0,1°C i gjennomsnitt per tiår det siste

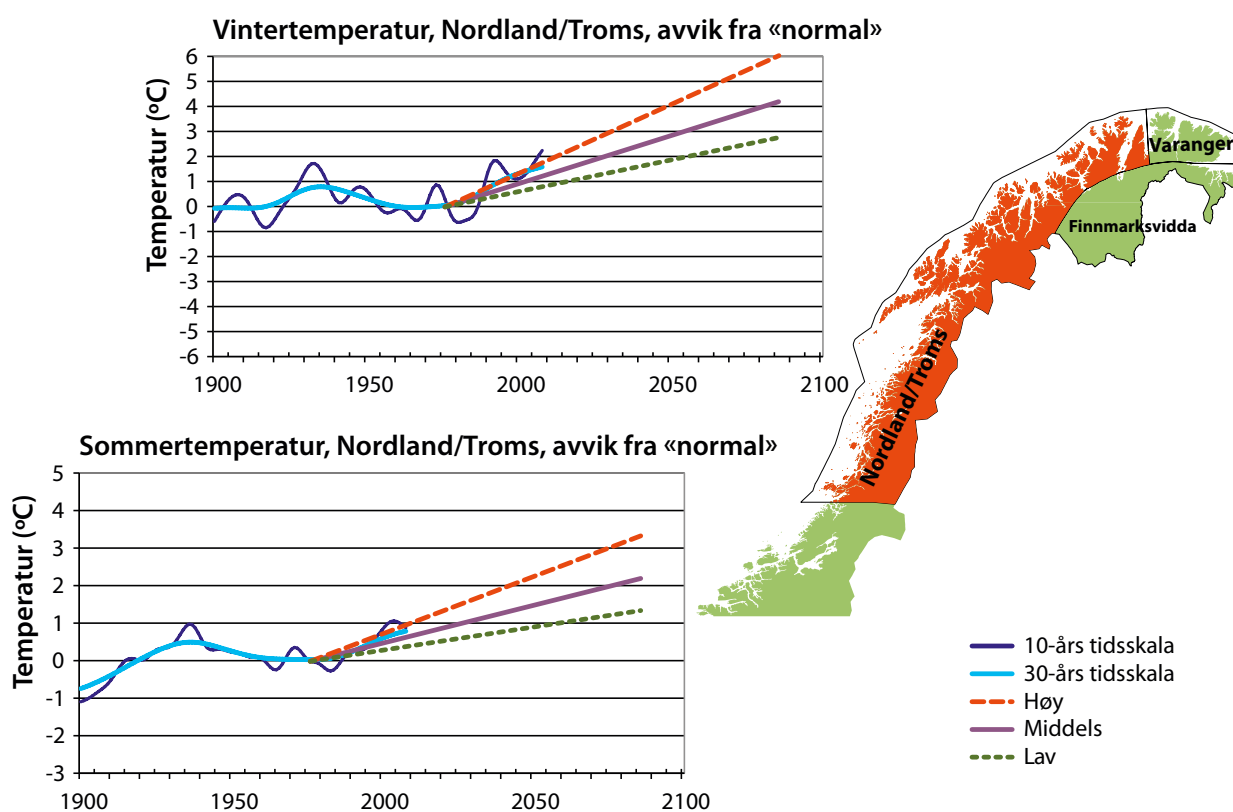


Figur 3: Langtidsvariasjoner i årsmiddeltemperatur ved målestasjoner på Svalbard, Bjørnøya og Jan Mayen. Kurvene viser glattede verdier på 10-årsskala, og dermed vises ikke de tre siste års verdier. Kilde: Førland et al. 2010

århundret, men det har vært perioder både med oppvarming og avkjøling. På samme måte som for resten av kloden var det i Arktis en temperaturøkning fra 1920-tallet og frem til midten av 1940-tallet, så en nedgang frem til midten av 1960-tallet, og deretter har det vært en betydelig økning på 0,4°C per tiår. På 1930-tallet var det nesten like høye lufttemperaturer i Arktis som det vi har opplevd de siste årene. FNs klimapanel påpeker imidlertid at den geografiske fordelingen av oppvarmingen på 1930-tallet var annerledes enn nå.

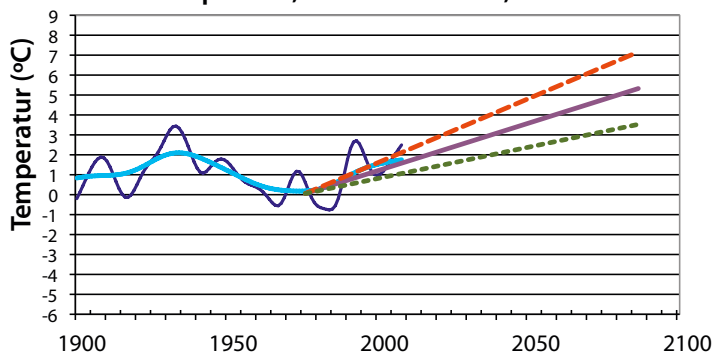
I Nord-Norge har gjennomsnittlig temperatur økt med ca. 0,1°C per tiår de siste 100 årene, tilsvarende gjennomsnittet for Arktis som helhet. For alle deler av Nord-Norge, unntatt Finnmarksvidda, har det vært en økning i temperaturen både i vår-, sommer- og høstsesongene.

Også de norske høyarktiske målestasjonene viser en temperaturøkning. I Longyearbyen har den gjennomsnittlige årstemperaturen økt med ca. 0,23°C per tiår siden målingene startet i 1912, det vil si noe høyere enn gjennomsnittet for Arktis som helhet i samme periode. Tidsseriene fra Svalbard viser en økning frem til 1930-tallet, en forholdsvis varm periode de neste to tiårene, et temperaturfall på 1950- og 1960-tallet, og deretter en generell temperaturøkning. Etter år 2000 har det vært flere usedvanlig varme år på Svalbard og Jan Mayen.

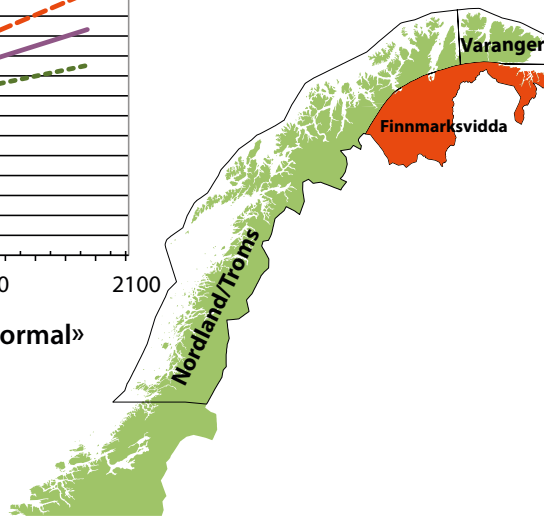
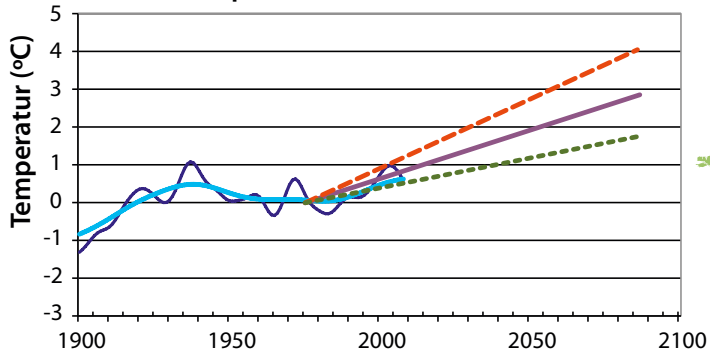


Figur 4: Observert historisk og beregnet fremtidig temperaturutvikling vinter og sommer for Nordland/Troms, Finnmarksvidda og Varanger. Innad i hvert område har langtidsutviklingen i temperatur vært noenlunde lik. Verdiene er gitt som avvik fra observert middeltemperatur i perioden 1961–1990. Observert temperaturutvikling (1900–2008) er vist som glattede variasjoner på 10-års (mørk blå) og 30-års (lys blå) tidsskala. Fremskrivning av temperaturutvikling for det 21. århundret er vist som beregnet gjennomsnittlig trend. Høy (rød) og lav (grønn) fremskrivning er stiplet, mens middels fremskrivning er heltrukken linje. Alle fremskrivninger er basert på et stort antall beregninger. Kilde: Omarbeidet fra Hanssen-Bauer et al. 2009

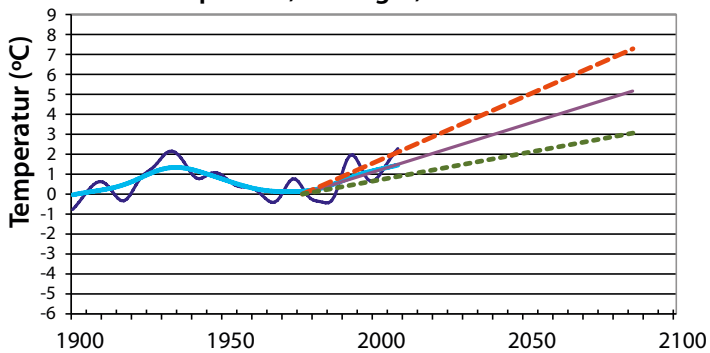
Vintertemperatur, Finnmarksvidda, avvik fra «normal»



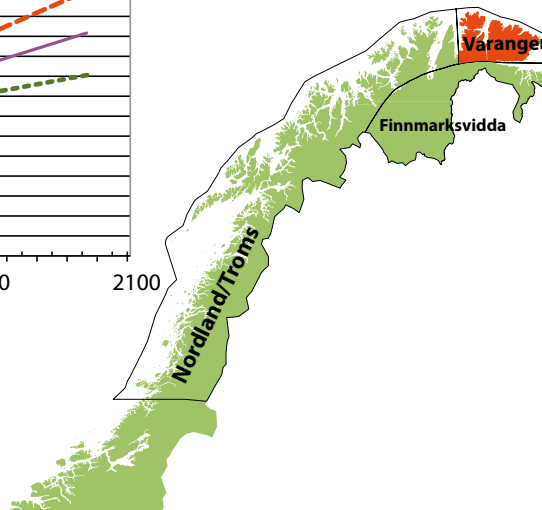
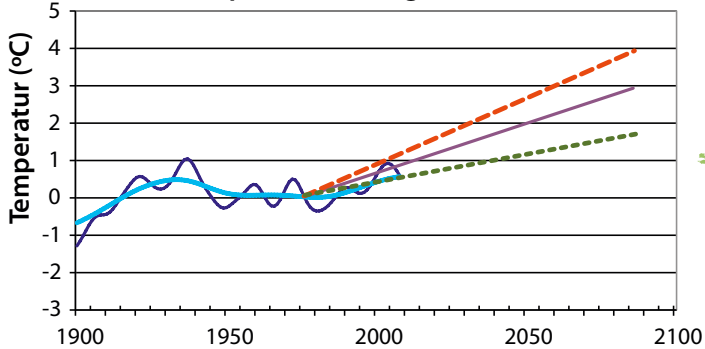
Sommertemperatur, Finnmarksvidda, avvik fra «normal»



Vintertemperatur, Varanger, avvik fra «normal»

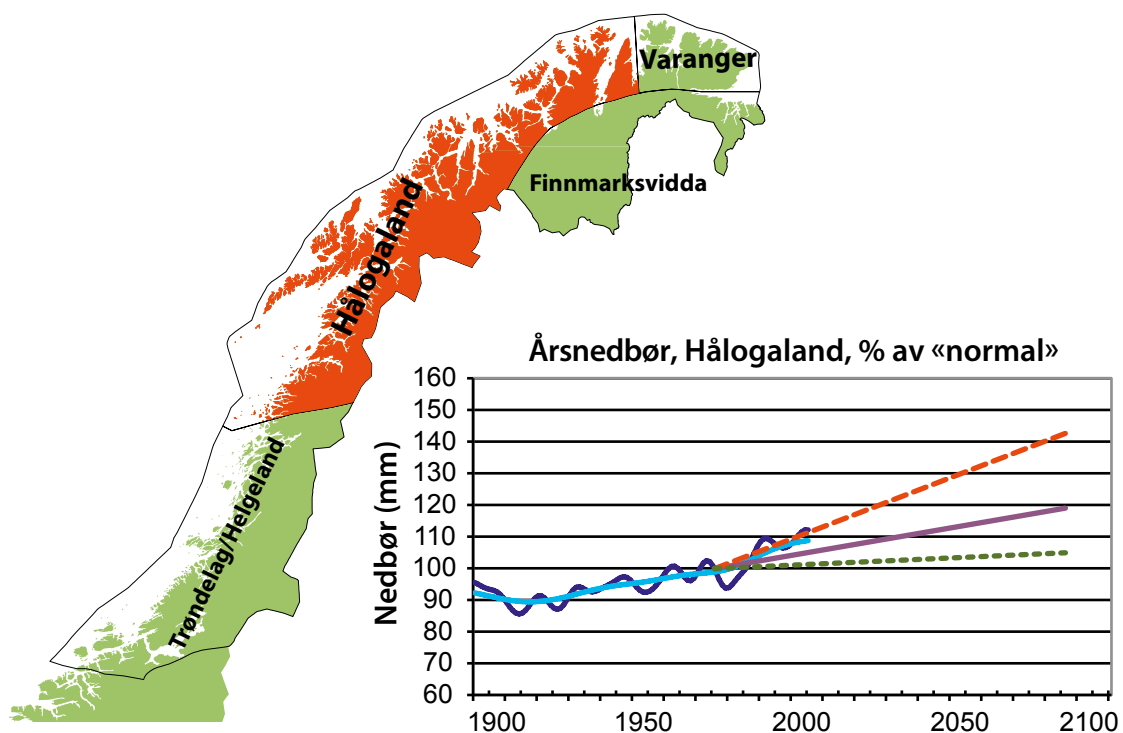
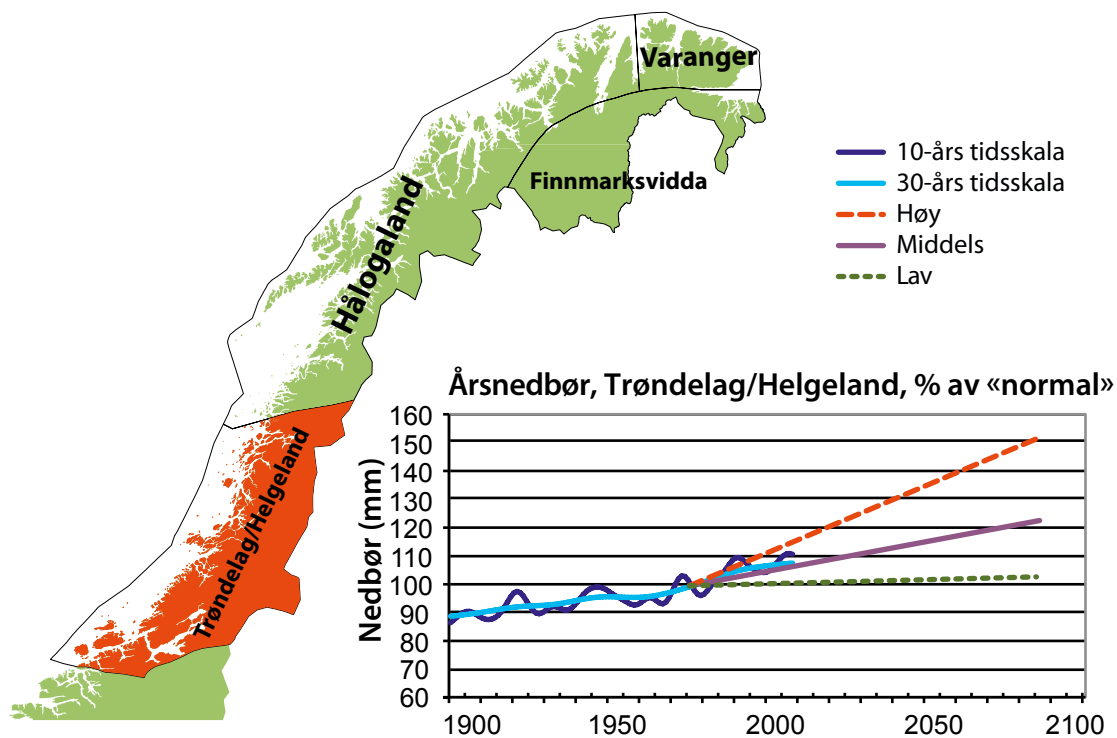


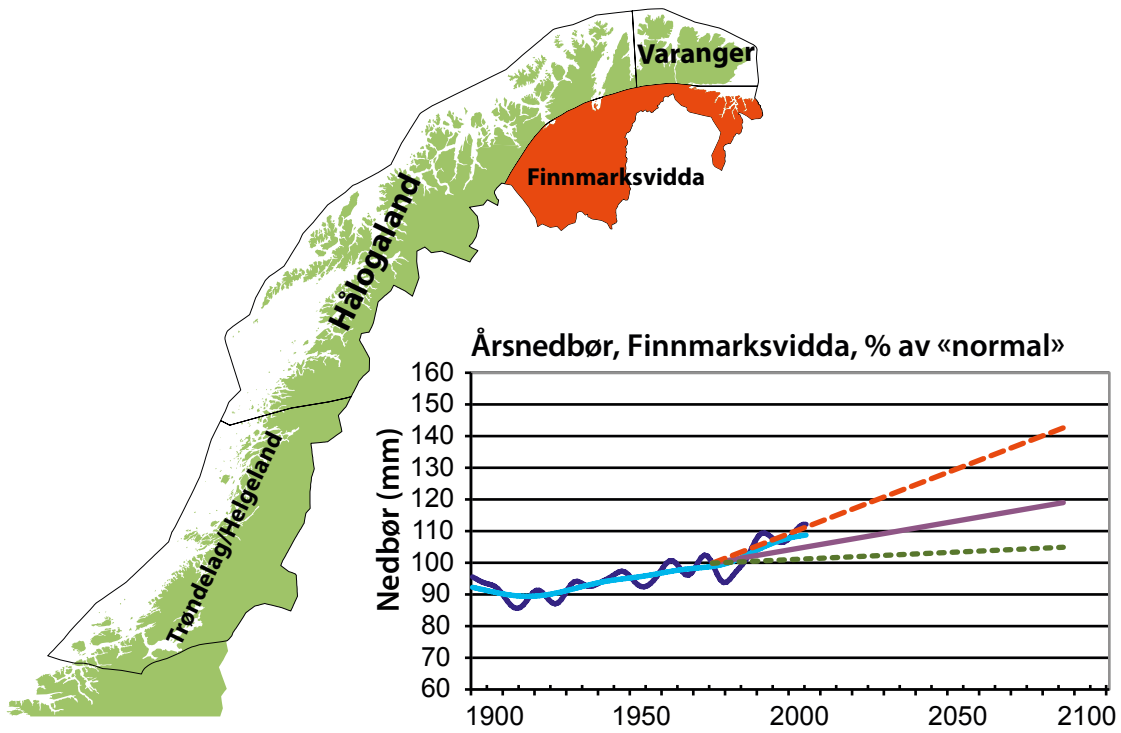
Sommertemperatur, Varanger, avvik fra «normal»



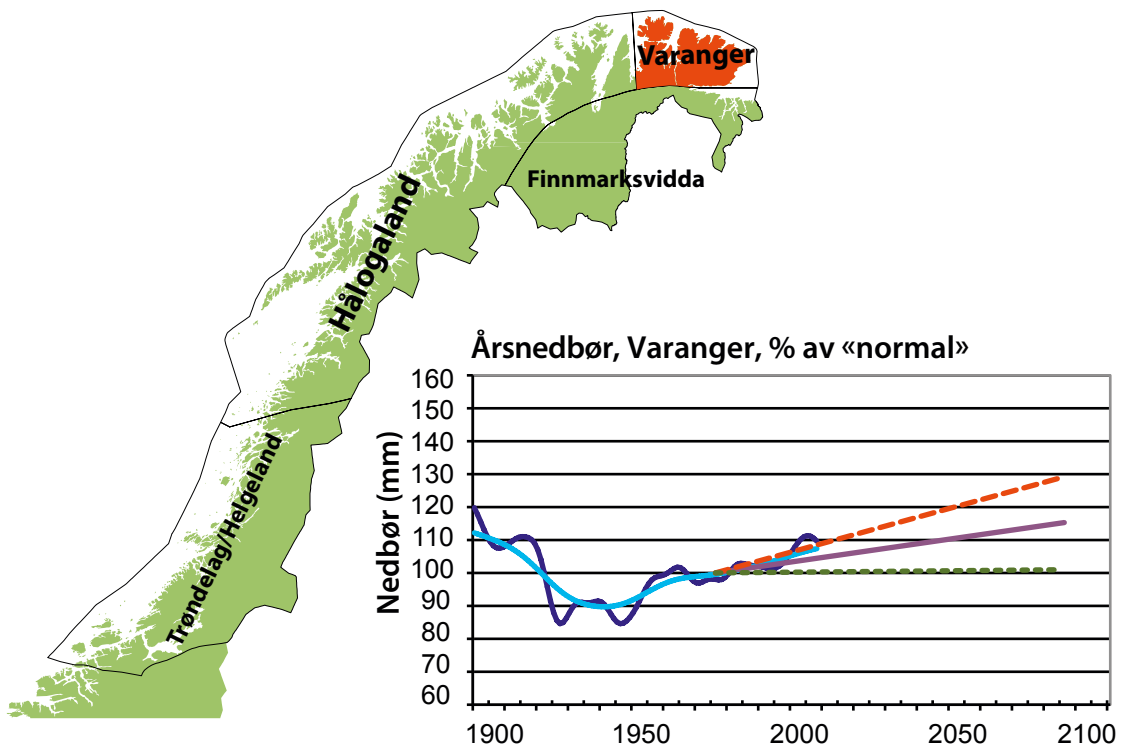
Nedbør

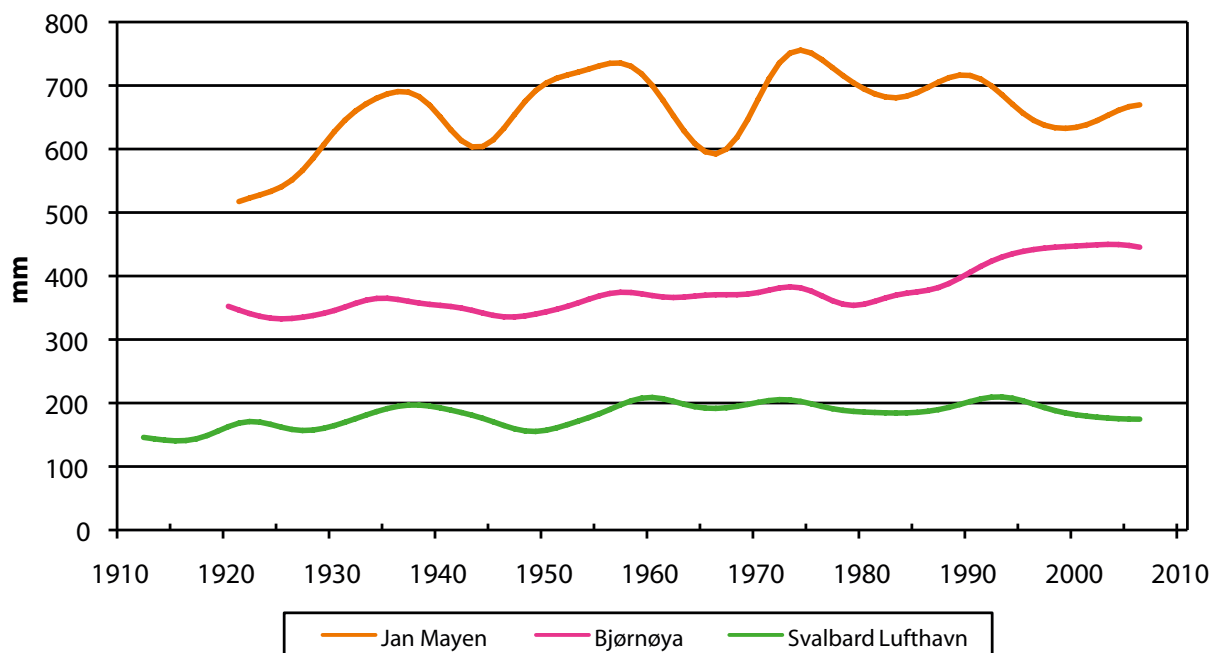
Årlige gjennomsnittlige nedbørsmengder har økt i hele Arktis i løpet av det siste århundret. I Nord-Norge, unntatt på Varangerhalvøya, har årsnedbør økt med ca. 2% per tiår de siste 100 årene. Alle målestasjoner på Svalbard og Jan Mayen viser en økning i nedbør i løpet av den tiden stasjonene har vært i drift. Ved Svalbard Lufthavn har det vært en økning i årsnedbør på 2 % per tiår, på Bjørnøya 3% per tiår.





Figur 5: Observert historisk og beregnet fremtidig utvikling av årsnedbør for Trøndelag/Helgelandssregionen, Hålogaland, Finnmarksvidda og Varanger. Innad i hver region har langtidsutviklingen i nedbør vært noenlunde lik. Verdiene er gitt i prosent av observert middelnedbør i perioden 1961–1990. Observert nedbørutvikling (1900–2008) er vist som glattede variasjoner på 10-års (mørk blå) og 30-års (lys blå) tidsskala. Fremskrivningene er vist som beregnet gjennomsnittlig trend. Høy (rød) og lav (grønn) fremskrivning er stippet, mens middels fremskrivning er heltrukken linje. Alle fremskrivninger er basert på et stort antall beregninger. Kilde: Omarbeidet fra Hanssen-Bauer et al. 2009





Figur 6: Langtidsvariasjoner i gjennomsnittlig årsnedbør ved målestasjoner på Jan Mayen, Bjørnøya og Svalbard. Kurvene viser glattede verdier på 10-årsskala, og dermed vises ikke de siste tre års verdier. Kilde: Førland et al. 2010

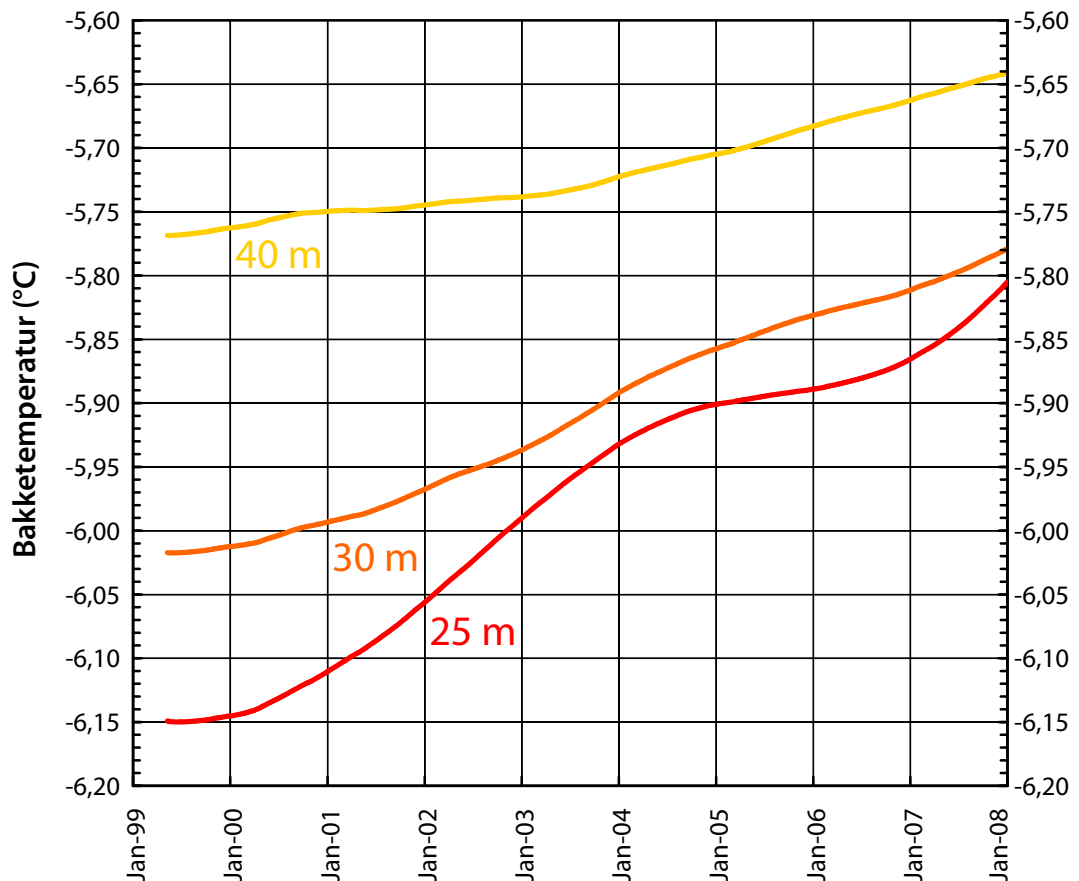
Permafrost

Temperaturen i toppen av permafrostlaget øker. Eksempelvis har den ved Longyearbyen (Janssonhaugen) økt med ca. 0,7°C per tiår i løpet av de siste 30 år på ca. 2 meters dybde. Temperaturen ved 30 meters dyp i permafrostlaget øker nå med ca. 0,35°C per tiår og ved 60 meters dyp 0,05°C per tiår. Det er også observert en intensivert temperaturøkning i permafrostlaget, spesielt i løpet av de siste ti år. Dette kan bety at med et Arktis som opplever raske klimaeendringer og en økende hyppighet av høye temperaturer, kan den fremtidige oppvarmingen av permafrostlaget skje raskere enn tidligere beregnet.

Ekstrem tining av permafrost i 2006

Gjennomsnittlig vinter- og vårtemperatur var ekstremt høy på Svalbard sesongen 2005/06. Værstasjonene registrerte et av de største temperaturavvikene som noensinne er målt i nyere tid. Effekten på permafrosten var betydelig – på Janssonhaugen ved Longyearbyen hadde gjennomsnittstemperaturen ved 2 meters dybde steget med 1,8°C i forhold til gjennomsnittet for de seks foregående årene. I tillegg var temperaturen på 15 meters dybde 0,3°C høyere enn gjennomsnittet for perioden 1999–2005. Dette inntraff etter en lang periode med kraftig og stadig akselererende temperaturøkning i permafrosten, noe som gjør denne hendelsen alarmerende. Dybden på det øverste jordlaget som tinte sommeren 2006 var den største som er målt på Janssonhaugen, og hadde økt med ca. 11% i forhold til gjennomsnittet for de seks foregående årene, og var hele 1,8 meter på det dypeste.





Figur 7: Observerte temperaturendringer siden 1998 på 25, 30 og 40 meters dybde i bakken på Janssonhaugen ved Longyearbyen. Kilde: Isaksen et al. 2007

Konsekvenser av tinende permafrost

Bosetningene på Svalbard er bygget på permafrost, og er dermed avhengige av at permafrosten ikke tiner, fordi infrastruktur som veger og hus kan bli ødelagt. Når permafrosten tiner blir bakken ustabil, og dette vil på sikt kunne medføre behov for omlegging av infrastrukturen på øygruppen. Tinende permafrost har allerede medført store materielle skader av denne typen i Sibir (Russland), der mange bygninger har fått setningskader. I tillegg finnes det flere eksempler fra andre steder i Arktis på at tinende permafrost fører til at grunne innsjøer og elver endres eller forsvinner.

Globalt sett har de store områdene i Arktis med tinende permafrost en stor betydning i klimasystemet. Når grunnen tiner kan det frigis store mengder metan (CH_4) og karbondioksid (CO_2) som tidligere var innefrosset i bakken. Disse gassene forsterker drivhuseffekten og bidrar til å øke temperaturen enda mer. Det er begrenset med organisk materiale i permafrosten på Svalbard, og klimagassbidraget fra tinende permafrost vil her trolig ha begrenset betydning. Likevel kan det være grunn til å undersøke hvilken rolle lokale kilder kan ha for metanutslipp på Svalbard.





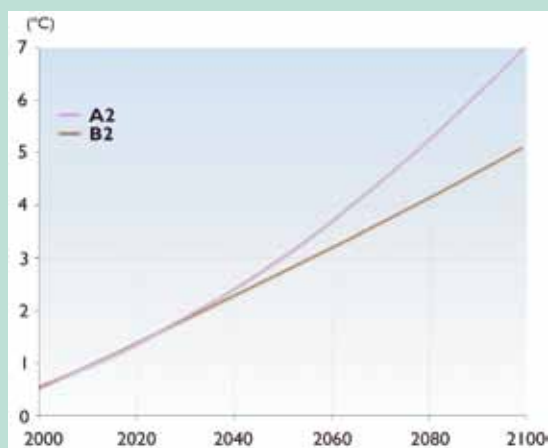
Longyearbyen på Svalbard. Foto: Tor S Larsen, Norsk Polarinstitut

Fremtidsutsikter for klimautvikling i dette århundret: Varmere og våtere

Utslippsscenarioer fra IPCC

To scenarier er spesielt omtalt både i ACIA og NorACIA, nærmere bestemt A2 og B2. I Special Report on Emissions Scenarios (SRES) har IPCC presentert en rekke utslippsscenarioer for det 21. århundre basert på ulike antakelser om hvordan befolkning, økonomisk vekst, teknologisk utvikling og andre relevante faktorer vil utvikle seg. I alle scenariene er det forventet at de globale CO₂-nivåene, den gjennomsnittlige bakketemperaturen og havnivået kommer til å stige i løpet av det 21. århundre. Fra år 2000 til 2100 ventes oppvarmingen å ligge mellom 1,4 og 5,8°C. Ingen av scenariene tar høyde for kraftige politiske grep for å redusere klimagassutslippene, men de baserer seg på antakelser om andre forhold som kan komme til å påvirke utslippene av klimagasser.

B2-utslippsscenarioet antar at verden vil være opptatt av miljøvern og sosial likhet med fokus på regionale og lokale løsninger. Innen 2100 vil befolkningstallet i verden være på 10,4 milliarder mennesker, det vil være en midtøkonomisk utvikling og ulike teknologiske endringer vil foregå verden over. Kull vil innen 2100 stå for 22% av primærenergien, mens 49% av all energi vil komme fra kilder uten CO₂-utslipp. Utslipp av CO₂ vil ligge litt under gjennomsnittet for SRES-scenariene.



Figur 8: Utslippsscenarioer fra IPCC. Kilde: ACIA 2004

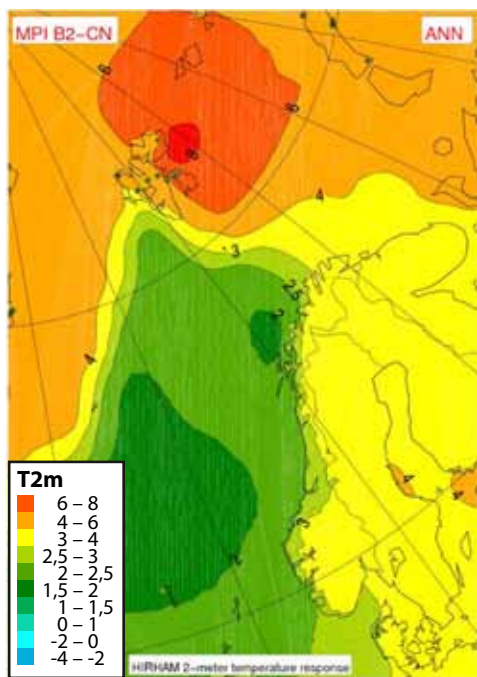
A2-scenarioet beskriver, i likhet med B2-scenarioet, en verden med fokus på selvhjulpenhet og bevaring av lokal identitet. A2-scenarioet har imidlertid et sterkere fokus på økonomisk vekst enn på miljøvern og sosial likhet. Innen år 2100 vil befolkningstallet nå 15 milliarder globalt, og den økonomiske veksten vil være skjev fordelt mellom regionene. De teknologiske endringene skjer langsomt og fragmentert. Kull står for 53% av verdens primære energibehov i 2100, og bare 28% av verdens energi produseres fra kilder uten CO₂-utslipp. Utslipp av CO₂ vil i dette scenarioet ligge litt over gjennomsnittet for SRES-scenariene.

I tilknytning til arbeidet med IPCCs neste hovedrapport utvikles det nå nye scenarier som ventes å gi en forbedret representasjon av forventede utviklingstrekk.

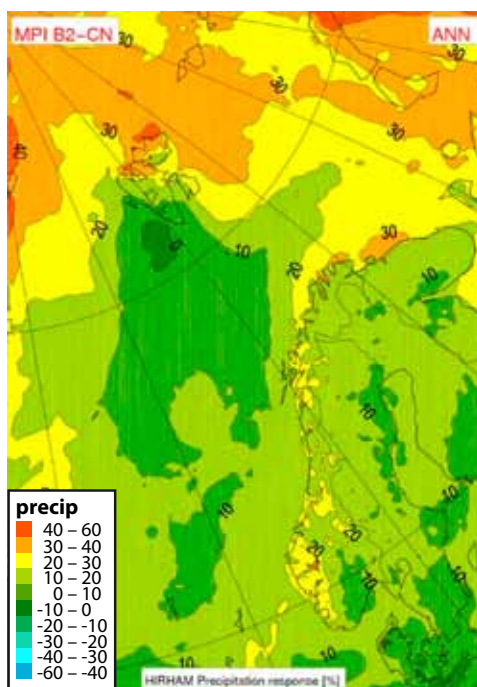
I NorACIA har man benyttet avanserte modellverktøy for å beregne fremtidig klimautvikling og gjort globale klimamodeller anvendelige på regional skala. Simuleringer med både globale og regionale klimamodeller beregner at temperaturen i Arktis vil stige med henholdsvis 7°C og 5°C frem mot slutten av dette århundret for henholdsvis A2 og B2-utslippsscenarioene fra IPCC. Den sterkeste oppvarmingen vil finne sted om høsten og vinteren.

Ved hjelp av resultater fra den regionale klimamodellen NorACIA-RCM er det beregnet klimastatistikk (middelverdier, ekstremer, osv.) for «dagens klima» (tilsvarende perioden 1961–1990) og for en fremtidig trettiårsperiode (2071–2100). Forskjellene mellom modellverdiene for «dagens klima» og fremtidig klima er brukt til å beskrive hvordan vi forventer at klimaet skal utvikle seg.

Simuleringer frem mot år 2050 viser en økning i årsmiddeltemperatur på ca. 1°C i kystområdene i Nordland og Troms, og 1,5–2,0°C i østlige deler av Finnmark og sørvest for Spitsbergen. Over



Figur 9: Forventet endring i årsmiddeltemperatur fra 30-årsperioden 1961–1990 til 30-årsperioden 2071–2100 basert på NorACIAs regionale klimamodell, NorACIA-RCM. Grønn farge viser minst forventet temperaturøkning og rødt viser størst forventet økning. Legg merke til den sterke temperaturøkningen som forventes lengst øst på Svalbard og den store ulikheten tvers over Svalbard. Kilde: Førland et al. 2010



Figur 10: Forventet endring i årsmiddelnedbør fra 30-årsperioden 1961–1990 til 30-årsperioden 2071–2100 basert på NorACIAs regionale klimamodell, NorACIA-RCM. Merk at dette er prosentvis økning og reduksjon. Kilde: Førland et al. 2010

Svalbard er det en betydelig forskjell i temperaturøkning fra sørvestlige områder (ca. 2°C) til nordøstlige deler (over 4°C). Her har endring i havisutbredelse stor innvirkning på de geografiske forskjellene i oppvarming.

Den beregnede endringen frem mot slutten av dette århundret viser at oppvarmingen fortsetter etter 2050. For store deler av Nord-Norge beregnes en temperaturøkning innen utgangen av dette århundret på 2,5–3,5°C, med minst økning i vestlige kystområder og størst økning i Varanger-området og indre deler av Finnmark. For Svalbard er økningen i gjennomsnittlig årstemperatur ca. 3°C i sørvest og ca. 8°C i nordøst. Modellen gir minst oppvarming om sommeren og størst høst og vinter, særlig for innlandsområdene. For havområdene mellom Svalbard og Novaja Semlja beregnes også en betydelig økning i lufttemperatur, spesielt i perioden september til mai. Det er i disse områdene, hvor havis forventes å bli erstattet av åpent hav, vi vil se de største økningene i temperatur. Lenger sør i regionen forventes det at temperaturøkningene blir større over land enn over hav.

IPCC slo i 2007 fast at det svært sannsynlig vil bli mer nedbør på høyere breddegrader. Beregningene med NorACIA-RCM viser for store deler av Nord-Norge en økning på 20–30% i årsnedbør innen slutten av dette århundret. For de nordøstlige deler av Spitsbergen vil den beregnede økningen bli opp mot 40%. Nedbøren øker over hele regionen til alle årstider, men man ser størst økning om vinteren og våren. Her er det imidlertid viktig å være klar over at det i dag er små nedbørsmengder om vinteren på Spitsbergen, og at den absolutte nedbørsøkningen derfor utgjør bare få millimeter. På fastlandet vil den absolutte nedbørsøkningen være større, ettersom det faller mer nedbør i utgangspunktet. Beregningene indikerer også at det vil bli flere døgn med relativt sett store nedbørsmengder over hele regionen. Det forventes færre dager med kraftig snøfall, det vil si over 10 cm per døgn, i kystområdene i Nord-Norge og i sørvestlige deler av Svalbard-regionen. I indre strøk av Nord-Norge og i nordlige deler av Svalbard ventes antall døgn med kraftig snøfall å øke.

Klimascenariene i ACIA tilsier at snødekket i Arktis vil fortsette å avta, med størst reduksjon om våren og om høsten. I løpet av de siste 30 år har utbredelse av snødekke på høyere nordlige breddegrader minket med ca. 10%, og modellene viser en ytterligere reduksjon på 10–20% innen utgangen av dette århundret.

For Nord-Norge viser modellene at snøsesongen vil bli betydelig kortere frem til slutten av dette århundret. Den største reduksjonen, på mer enn to måneder per år, vil komme i kystområdene i Nord-Norge, mens perioden med snødekke på Finnmarksvidda vil reduseres med ca. én måned. Det er et paradoks at i første del av dette århundret vil maksimal snødybde kunne øke over deler av Finnmarksvidda, i fjellområder i Nord-Norge og for deler av Svalbard-regionen. Årsaken er at selv om snøsesongen blir kortere i et varmere klima, vil dette kompenseres av betydelig mer nedbør i form av snø vinterstid.

Beregningene av fremtidige endringer i vindforhold gir ikke pålitelige resultater. For Nord-Norge tyder simuleringene på små endringer i vindhastighet. Nord og øst for Svalbard er det en tendens til økning i gjennomsnittlig maksimal vindstyrke per døgn. Beregningene tyder også på at ekstreme vindhastigheter vil forekomme hyppigere enn i dagens klima. Norskehavet og Barentshavet er områder hvor det kan forekomme farlige vær-situasjoner på grunn av såkalte polare lavtrykk, forårsaket av kaldluftsutbrudd over forholdsvis varmt hav. Slike utbrudd er ofte observert i kald luft på vestsiden («baksiden») av et vanlig lavtrykk over Nord-Europa. Modellberegninger viser at det kan bli færre polare lavtrykk utenfor kysten av Nord-Norge i fremtiden. Dermed kan det bli færre tilfeller av plutselig omskiftende vær og vind til havs som skyldes dette vær-phenomenet.

Det er en vanskelig øvelse å beregne forekomst av uvær med sterk vind og mye nedbør. Regionale klimamodeller viser hyppigere forekomst av ekstremvær i dette århundret i mesteparten av området, men det er store usikkerheter knyttet til beregningene spesielt i forhold til vind.

En havsimulering, det vil si en beregning av fremtidige forhold i Polhavet og Barentshavet, er foretatt med et regionalt modelleringssystem. Disse simuleringene viser at det kan komme til å strømme noe mindre atlantehavsvann inn i Barentshavet rundt midten av dette århundret, men fordi dette vannet er varmere enn dagens atlantehavsvann, vil samme mengde varme transporteres inn i disse havområdene.

Det er viktig å være klar over at alle beregningene av lokale og regionale klimaendringer er usikre. Dette skyldes både at klimamodellene er forenklinger av virkeligheten og at det finnes store naturlige variasjoner i de faktorene som påvirker klimaet.





Finnmarksvidda nær Kautokeino. Foto: © Bård Løken, Samfoto



Nøkkelfunn 2: Selvforsterkende mekanismer i Arktis øker globale klimaendringer

Klimaendringene kommer først, raskest og vil være omfattende i Arktis sammenlignet med mange andre områder på jorden. Når snø eller is smelter, blir overflaten mørkere. Den mørkere overflaten absorberer mer sollys, noe som fører til ytterligere oppvarming og økt smelting. Slike selvforsterkende mekanismer finnes det mange av, og de spiller en viktig rolle i jordens klimasystem, fordi klimaet i Arktis er nært knyttet til flere fysiske prosesser som har sentral betydning for det globale klimaet. Derfor er det viktig å forstå de fysiske prosessene som styrer klimautviklingen i Arktis.

Jordoverflatens albedo er i endring

Albedo

Albedo beskriver hvor mye sollys som reflekteres fra en overflate. En lys overflate reflekterer mye mer solstråling og har dermed en høyere albedo enn en mørk overflate. Albedoskalaen går fra 0 til 1, hvor 1 betegner maksimal refleksjon og 0 betegner ingen refleksjon. Albedo er en viktig parameter for klimasystemet i Arktis. Det utgjør en stor forskjell i energibalansen om overflaten er dekket av snø og is, eller ikke. Er det mye snø på en overflate vil den kunne ha albedo på ca. 0,9 – mens en mørk havoverflate har albedo på under 0,1. Dette betyr at en isfri havoverflate absorberer betydelig mer energi enn en is- og snødekt overflate. Når så havisdekket eller snø- og breoverflater i Arktis blir mindre, medfører dette igjen en reduksjon i albedo. Mer strålingsenergi absorberes og oppvarmingen av havoverflaten øker. Høyere temperatur fører igjen til at mer is smelter, og det blir enda større områder med lav albedo. Åpent vann i råker og mellom isflak, eller snøfrie flekker på tundraen, vil derfor absorbere energi og gjøre at de snø- og isfrie områdene blir enda større. Dette er en selvforsterkende effekt som er med på å drive opp tempoet på issmelting og temperaturøkning.



Optisk måling av albedo i Framstredet. Foto: Sebastian Gerland, Norsk Polarinstitutt

Albedo, og den selvforsterkende effekten knyttet til den, er en viktig faktor i forklaringen og forståelsen av is- og snøsmelting i Arktis. Hvorvidt det faller mye eller lite snø, og hvordan snøen forandrer seg på grunn av de fysiske forholdene, er viktig i forståelsen av albedoeffekter. Dette har ikke vært detaljert nok behandlet i klimamodeller tidligere. Fordi disse detaljene spiller en så viktig rolle i klimasystemet, utvikles i dag klimamodellene til å inkludere stadig mer informasjon knyttet til effektene av albedo. For is- og snødekte områder i Barentshavet, Grønlandshavet og på Svalbard er albedo en betydelig forklaring på smelteprosessene, spesielt om sommeren når det er høy solinnstråling i området. Det siste tiåret har det blitt utført en rekke studier av albedo og hvordan endringer i albedo påvirker klimaendringene i norske arktiske områder.

Kan sot fremskynde oppvarmingen?

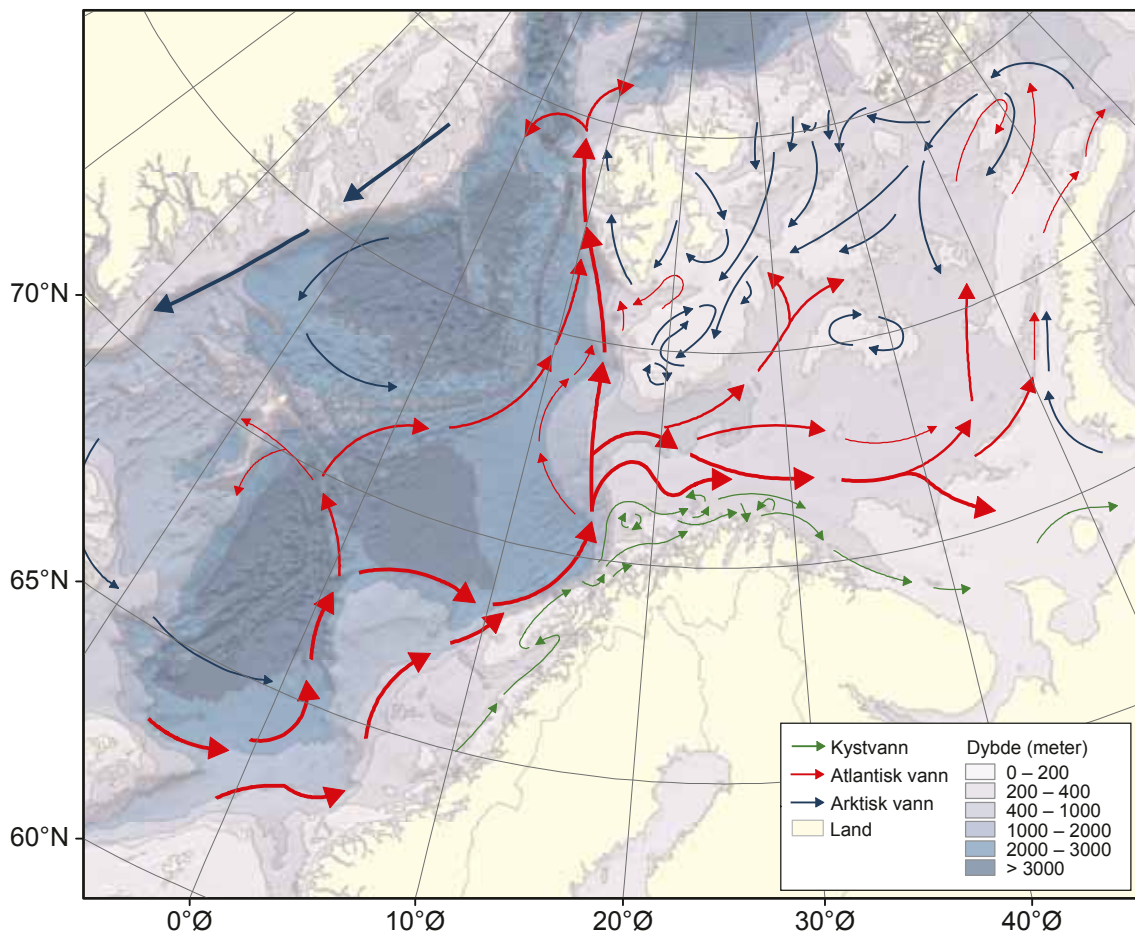
Menneskelig aktivitet kan påvirke albedo i Arktis gjennom avsetning av sot i snø- og isdekket, noe som medfører en mer direkte påvirkning på klimaet enn man tidligere har antatt. Sot er små, svarte partikler som dannes når biomasse eller fossilt brensel forbrennes ufullstendig. På grunn av den mørke fargen på disse partiklene, vil de absorbere energien fra sola og kan påvirke klimaet direkte. I tillegg kan slike partikler påvirke skyenes egenskaper, noe som indirekte påvirker klimaet. Mesteparten av sotpartiklene avsettes nær stedet de slippes ut. Globalt slippes det ut mest sot på midlere og lavere breddegrader. Der bor det mer folk, der brukes store mengder fossilt brensel, og skogbranner forekommer oftere. Noe av sotet blir transportert til Arktis. Her avsettes det på snø og is, og selv svært små mengder sot kan påvirke albedo i overflaten betydelig. Sot kan også være med på å drive oppvarming gjennom at partiklene tar opp solenergi mens de føres med luftstrømmene og slik fører til en oppvarming i atmosfæren. Klimapåvirkningen fra sot i Arktis kan være stor, ettersom klimasystemet er meget sensitivt for albedoendringer gjennom den selvforsterkende effekten det har. Flere studier av sot i Arktis er imidlertid nødvendig for med større sikkerhet å kunne beregne størrelsen på effektene.

De største kildene til sotutslipp globalt sett finnes i Kina, særlig knyttet til bruk av kull som energikilde, samt Europa, Nord-Amerika og noen andre deler av Asia. Utslippene av sot er minskende, da utslippsreducerende tiltak er satt i verk i flere land for å redusere dem. I Russland og deler av Øst-Europa utgjør brenning av biomasse i landbruket (avbrenning på åkrene og skogbranner) en stor kilde. I Europa er ellers bidraget til sotutslipp størst fra transportsektoren og husholdningene.

I 2007 viste en undersøkelse på Svalbard store geografiske variasjoner i sotmengde i snø, men totalt sett var konsentrasjonene relativt lave. Det er en klar trend at det er mer sot avsatt på østre del av Svalbard, sammenlignet med vestre del, noe som har sammenheng med landskapsformasjoner og vindretninger. Fra Barentshavet finnes det ikke gode sotmålinger, men det er vist at skipstrafikken allerede påvirker atmosfæren i Arktis om sommeren. Prøver fra isbreer har gitt oss gode bilder av sotkonsentrasjon bakover i tid. En isprøve fra Grønland, som hovedsakelig er påvirket av Nord-Amerikanske sotkilder, viser at mengden sot i nedbør syvdoblet seg på 100 år fra 1850 til 1950. Sot som avsettes i norsk Arktis kommer hovedsakelig fra russiske og europeiske kilder. Bare en liten del av soten som slippes ut lenger sør transporteres til Arktis. En reduksjon av mengden sot som avsettes i Arktis kan være med på å bremse oppvarmingen av atmosfæren og smelting av snø og is. I områder der det foregår stor skipstrafikk i Arktis i dag er det målt betydelig økt sotforekomst. Mindre havis og dermed mulighet for økt skipstrafikk gjennom Polhavet, vil kunne medføre økt sotutslipp direkte i Arktis. Dette medfører at det er viktig å begrense og regulere utslipp fra skipstrafikk, petroleumsnæringen eller annen aktivitet som slipper ut sot direkte i Arktis. Det finnes kommersiell teknologi tilgjengelig som kan redusere utslippene av sot betraktelig for de fleste kilder.

Havstrømmer

Den viktigste havstrømmen i havområdene utenfor Nord-Norge og i Barentshavet er den norske Atlanterhavsstrømmen, forlengelsen av Golfstrømmen. Den bidrar til at Norge og havområdene rundt har et eksepsjonelt varmt klima i forhold til breddegrad. Atlanterhavsstrømmen kommer inn i Norskehavet fra Atlanterhavet på begge sider av Færøene, og går nordover til Barentshavet i to grener. I tillegg har den norske kyststrømmen sitt utspring i Østersjøen og går nordover langs Norskekysten, hvor den får påfyll av ferskvann fra elver. Det finnes tre typer vannmasser i norsk Arktis; atlantehavsvann som er varmt og salt, kystvann som er varmere og mindre salt, og arktisk vann som er kaldt og har lav saltholdighet. Ulike vannmasser blander seg bare til en viss grad i havet, og det kan danne seg ganske klare skiller mellom vann med forskjellig temperatur og saltholdighet. Slike skiller ser vi ikke med det blotte øye, men de kan utgjøre klare barrierer for organismer som lever i havet.

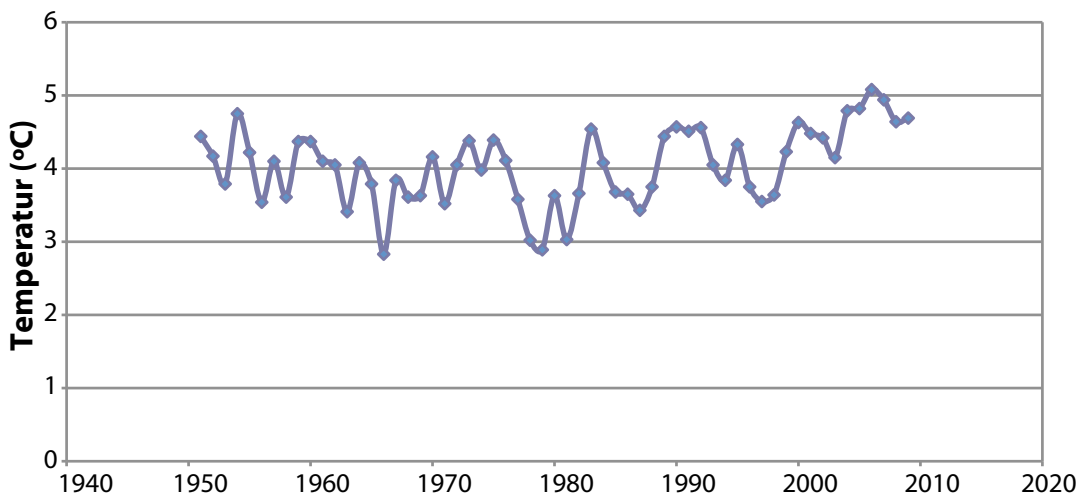


Figur 11: Forenklet bilde av havstrømmene i de norske havområdene. Det er på grunn av Atlanterhavsstrømmen at vi har såpass høy temperatur i Norge. Kilde: Loeng & Drinkwater 2007

Atlanterhavsvannet som strømmer inn i Barentshavet fra sørvest bringer med seg plankton og fiskelarver. Gjennomsnittlig strømmer det 1,7 millioner kubikkmeter vann i sekundet inn i Barentshavet med Atlanterhavsstrømmen. Det er store variasjoner i innstrømningen, både fra sesong til sesong og fra år til år, noe som hovedsakelig styres av variasjoner i vind. Ettersom atlantehavsvannet er varmere enn det arktiske vannet, er det innstrømningen som styrer varme-transporten inn i Barentshavet.

Atlanterhavsvannet og det arktiske vannet møtes i en front kalt polarfronten. På grunn av de store forskjellene i disse to vannmassene markerer polarfronten en ganske klar grense for utbredelsen

Figur 12: Gjennomsnittlig årstemperatur fra 0–200 meters dyp i Kolasnittet i årene 1951–2009. Kolasnittet ligger nordover langs meridianen fra 33° 30'Ø til 75°N, rett nord for Kolabukta. Det russiske havforskningsinstituttet PINRO har overvåket temperatur der siden tidlig på 1900-tallet. Kilde: Data fra PINRO



av mange arter plankton og fisk. I det vestlige Barentshavet er polarfronten stabil fordi den følger bunnforholdene i skråningene fra Spitsbergen til Sentralbanken, mens det i den østlige delen er en bredere og mer variabel front. I de mer stabile vestlige områdene forventes det ikke at polarfronten skal flytte noe særlig på seg, men i øst viser modelleringer at fronten skyves nordover når klimaet endrer seg. Når hav fryser til is avgis salt, noe som fører til dannelse av salt og tungt vann som synker mot bunnen. Dette vannet synker ut og forlater Barentshavet gjennom Bjørnøyrenna og bidrar til dypvannet i Norskehavet. Klimamessig er denne prosessen viktig fordi det vannet som synker ut av Barentshavet erstattes av vann fra Norskehavet eller Polhavet. Endringer i strømmystemene i Barentshavet kan virke selvforsterkende. Ved økt innstrømning av varmt atlantehavsvann vil Barentshavet bli varmere, noe som medfører økt smelting av havis. Mindre havis fører til økt oppvarming av atmosfæren i området, noe som igjen påvirker lufttrykk og vind. Endring i vind påvirker i sin tur innstrømningen av atlantehavsvann. Likevel er hovedtrekkene i strømmønsteret knyttet til formasjonene på havbunnen, så det forventes ikke å endre seg mye i fremtiden.

Mulig metanutslipp fra metanhydrater

Globalt sett er store mengder metan lagret i frossen form – metanhydrat – på relativt grunne dyp i kalde havsedimenter. Dersom temperaturen i vannet ved havbunnen øker med noen få grader, kan dette føre til nedbrytning av metanhydrat og dermed frigjøring av metan til atmosfæren. Det er fremdeles stor usikkerhet knyttet til denne typen metanutslipp. Den potensielle effekten på klimasystemet er imidlertid stor, siden metan er en meget sterk drivhusgass. Det pågår studier i de norske arktiske havområdene som vil gi oss mer kunnskap om i hvilken grad oppvarmingen av våre havområder vil kunne bidra til en økning i slike klimagassutslipp.



Foto: Norsk Polarinstitutt

Skyer

Store deler av Arktis er dekket av is og snø i hele eller deler av året. Denne lyse overflaten reflekterer kortbølget innstråling fra sola. På lavere breddegrader uten snø- og isdekke er ikke overflaten så lys, slik at bakken tar opp mer solstråling. Ved lave, hvite skyer over lavere breddegrader reflekterer skyene solstrålingen før den når jordoverflaten, og skyene virker dermed avkjølede i disse områdene. I Arktis vil ikke lave, hvite skyer ha en slik effekt, ettersom overflaten allerede er lys og reflekterer mye av innstrålingen. Derfor

er Arktis spesielt, der alle skyer (og ikke bare de høye og tynne som på lavere breddegrader) vil kunne virke oppvarmende i Arktis, fordi de reflekterer langbølget jordstråling tilbake til jorden. Fremtidig fordeling og typer av skyer er dermed en stor usikkerhet i vår kunnskap om hvordan klimaendringene i Arktis kommer til å utvikle seg. For eksempel har det vist seg at arktiske skyer inneholder langt mer flytende vann enn vi kunne forvente ut fra de lave temperaturene i området. På grunn av skyenes effekt på oppvarming i Arktis, er det viktig at vi får økt kunnskap om deres rolle i klimasystemet. Hvordan skyenes egenskaper og deres innvirkning på strålingen vil endre seg videre under global oppvarming har vi begrenset kunnskap om. Klimamodellene utvikles stadig for i større grad å inkludere skyer og deres vekselvirkning i forhold til stråling, men dette er fortsatt et av de aspekter det knytter seg størst usikkerhet til for beregning av fremtidens klimautvikling.

Isbreer

De fleste isbreene i norsk Arktis ligger på Svalbard, der breene har et totalt volum på ca. 7000 km³ og et areal på 36 000 km². I Nord-Norge utgjør breenes volum bare 64 km³ og har et areal på 1000 km². Det er dermed isbreene på Svalbard som er viktigst når det gjelder kobling til klimasystemet. Endringer i isbreene i Nord-Norge vil ha mindre betydning i en slik sammenheng på grunn av begrenset utbredelse og volum. I og med at Svalbard ligger på det nordlige ytterpunktet av den varme Nordatlantiske strømmen, er breene følsomme for endringer i klima. Tidlig på 1990-tallet foregikk det en vesentlig oppvarming, og Svalbards isbreer begynte å trekke seg tilbake. Tilbaketrekningen har pågått over flere tiår over hele øygruppen, og for nesten alle isbreer. Det viser seg at sommersmeltingen har ført til reduksjon av mengden is i breene, mens oppbyggingen av dem om vinteren har vært mer konstant. Isbreene på Svalbard er viktige bidragsyttere til havnivåstigning, ettersom øygruppen har ca. 11% av den arktiske landisen utenom Grønland. Ismeltingen på Svalbard er vesentlig, og er helt i overensstemmelse med både globale trender og utviklingen i Arktis for øvrig. Isbreenes hvite overflate reflekterer solstråling, og hvis isbreene blir mindre, og eksponerer mørke overflater, vil det føre til at temperaturen øker ytterligere.



Utsikt over isbreen Kongsvegen som munner ut i Kongsfjorden på Svalbard. Foto: Kim Holmén, Norsk Polarinstitutt

Nøkkelfunn 3: Klimaendringene gjør Arktis mer sårbar for miljøgifter og ultrafiolett stråling

Miljøgifter er stoffer som selv i små konsentrasjoner kan gi skadevirkninger på naturmiljøet. Miljøgifter transporteres inn i våre nordlige områder via atmosfæren og havet. Storskala endringer i klimasystemet, som for eksempel endringer i luft- og havstrømmer, og forhold som temperatur og nedbør, vil innvirke på transport til og avsetning av miljøgifter i arktiske områder. I tillegg til økt transport til Arktis, vil også miljøgifter som har vært lagret i for eksempel snø- og isbreer, permafrost og havis frigjøres når disse smelter og tiner. Tilknyttede dyre- og plantearter kan dermed bli eksponert for høyere nivåer av enkelte miljøgifter. Klimaendringer kan også føre til nye sammensetninger av plante- og dyreplankton i det marine miljøet og således kan også flyten av miljøgifter gjennom næringsnettene berøres. Miljøgifter har allerede i norske områder vist seg å virke inn på flere sjøfuglarters helsetilstand, hekkeadferd, næringssøk og evne til å få frem avkom. Noen arter i norsk Arktis har vist seg å ha de høyest målte nivåene av miljøgifter. Arter som polarmåke, ismåke og havhest kan nevnes. Isbjørn har lenge vært i fokus på grunn av påvirkning fra miljøgifter. Polarreven på Svalbard har tre ganger så høyt nivå av miljøgifter i kroppen enn polarrev i andre deler av Arktis.





Koblingen mellom klimaendringer og miljøgifter er meget kompleks. Dette skyldes både de svært forskjellige fysiske, kjemiske og biologiske egenskapene til miljøgifter, samt det kompliserte samspillet mellom atmosfære, hav, havis, ferskvann og land – med varierende vegetasjon og isdekke – og organismer som alle har en rolle i de relevante prosessene, på tidskalaer fra få dager til tiår.

Ozonlaget har blitt svekket av utslipp av en rekke ozonnedbrytende gasser de siste 60 årene. Det er nå kraftige reduksjoner i disse utslippene, men det er ikke ventet at ozonlaget vil være tilbake på 1980-nivå før i andre halvdel av dette århundret.

Miljøgifter

Persistente organiske miljøgifter (POPs – forkortelse for det engelske navnet persistent organic pollutants) kjennetegnes ved at de er giftige, lite nedbrytbare, lagres i organismer og akkumuleres oppover i næringskjeden, og spres over store avstander. PCB og dioksiner er eksempler på POPs (se faktaboks for flere eksempler). Organiske miljøgifter er fettløselige og lite nedbrytbare og lagres i organismers fettvev, og overføres til neste ledd i næringskjeden når dyret blir spist. Konsentrasjonen av miljøgifter blir derfor større jo høyere opp i næringskjeden man kommer, og er størst i næringskjeder med tilknytning til havet. Dette kan skyldes at næringskjedene i havet ofte har flere ledd. Som et resultat har blant annet fettrike, arktiske dyr høyt i næringskjeden høye nivåer av miljøgifter. Lav temperatur i Arktis gjør at de lite nedbrytbare stoffene kan lagres over lang tid i miljøet.

Mange andre giftige stoffer som også skader miljøet, som for eksempel karbonmonoksid (CO), hydrogensulfid (H₂S), nitrogenoksider (NO_x) og svoveldioksid (SO₂), er ikke betegnet som miljøgifter selv om de kan være både giftige og forurensende. Dette er fordi de er lettere nedbrytbare og dermed ikke øker i konsentrasjon oppover i næringskjeden.



Miljøgifter

Miljøgifter er lite nedbrytbare, samler seg opp og lagres i levende organismer og er svært giftige selv i små konsentrasjoner. De kan føre til irreversible skader på helse og miljø, og noen av disse stoffene kan gi langtidsvirkninger som kreft, forplantningskader og arvestoffskader.

HCB

Heksaklorbenzen (HCB) er et hvitt krystallisk stoff, som blant annet ble brukt som plantevernmiddel i enkelte land frem til 1965, og som i naturen har hatt en global spredning. HCB kan gi alvorlige skader på miljø, og kan føre til kreft og alvorlig helseskade ved lengre tids påvirkning. Fra 1995 til 2006 ble de norske utslippene redusert med 90%. Bruk av HCB er i dag forbudt i de fleste land, og konsentrasjonen i naturen er redusert. Flere internasjonale avtaler forplikter til utfasing av HCB.

PCB

Polyklorerte bifenyler (PCB) er en gruppe syntetiske klorforbindelser. I Norge har PCB vært forbudt siden 1980, men utlekking fra jord og sedimenter gjør at PCB fortsatt spres til miljøet. I tillegg føres PCB til Norge via de globale luft- og havstrømmene, transportert over store avstander fra andre deler av verden. Nivåene i miljøet blir stadig lavere, men fortsatt er det påvist mye PCB enkelte steder, og PCB er årsaken til at høsting av matressurser fra flere norske fjorder er pålagt restriksjoner. I Norge finnes PCB i luft, vann, sedimenter, jord, matvarer og i de fleste levende organismer. Mennesker, rovdyr og rovfugler er spesielt utsatte. Spedbarn og fostre er særlig sårbare, da PCB overføres gjennom brystmelken og til fostre fra mor. I norsk Arktis er det funnet klart forhøyede nivåer i rovfuglegg, i polarmåker, polarrev, isbjørn og andre arter på toppen av næringskjeden. PCB kan medføre svekket immunforsvar, det kan skade nervesystemet, gi leverkreft og fosterskader og skade forplantningsevnen. PCB har også vist seg å ha negativ innvirkning på menneskets læringsevne og utvikling. Flere internasjonale avtaler forplikter til å redusere bruken av PCB.

HCH

Hexachlorocyclohexane (HCH) ble brukt som insektsmiddel i mesteparten av den vestlige verden inntil det ble forbudt i 1990-årene. Stoffet finnes i forskjellige utgaver, kalt isomerer, og de har ulike effekter og forskjellig evne til å akkumulere i næringskjeden. Den gjennomgående trenden er at forekomsten av HCH i naturen blir lavere. Flere internasjonale avtaler forplikter til å fase ut bruken av HCH.

DDT

Diklor-difenyl-trikloretan (DDT) ble brukt i insekts- og plantevernmidler etter andre verdenskrig. Stoffet kan forårsake nedsatt formeringsevne, spesielt hos dyr øverst i næringskjeden. DDT kan også transporteres via luft- og havstrømmer. I 1970 kom det forbud mot bruk av DDT i Norge, og i de følgende tiårene ble forbud innført i en rekke land over hele verden. Bruken er forbudt i henhold til flere internasjonale avtaler. DDT er viktig for malariabekjempelse, og derfor er dette bruksområdet unntatt og DDT brukes fortsatt i store mengder i Afrika.

PAH

Polyaromatiske hydrokarboner (PAH) består av mange forskjellige forbindelser. Noen av disse er giftige, arvestoffskadelige og kreftfremkallende. De dannes ved ufullstendig forbrenning av organisk materiale, og aluminiumsindustrien og vedfyring er de største kildene til utslipp av PAH i Norge. Tiltak i industrien har redusert forekomsten av stoffene i dyr som blåskjell og oskjell i flere norske fjorder. Langtransportkonvensjonen forplikter til reduksjon av PAH.

Kvikksølv

Kvikksølv forekommer som uorganiske og organiske kjemiske forbindelser og kan gi kroniske giftvirkninger, selv i meget små konsentrasjoner. Kvikksølv kan transporteres over store avstander og tilførsel av kvikksølv til norske





områder er anslått å være tre ganger så stor som de norske utslippene av kvikksølv. Langtransport av kvikksølv med hav og elver til Arktis fører til at kvikksølvnivået i miljøet er spesielt høyt der. Kvikksølvforbindelser er svært giftige for mange vannlevende organismer og for pattedyr. Stoffet kan gi nyreskader og motoriske og mentale forstyrrelser som følge av skader på sentralnervesystemet. De organiske kvikksølvforbindelsene er særlig giftige og kan gi fosterskader. En global kvikksølvavtale er under utvikling.

«Nye» miljøgifter

Stadig nye miljøgifter får oppmerksomhet, enten fordi de opptrer i mengder som er overraskende høye, eller at de opptrer i områder som er uventet. Bromerte flammehemmere og perfluoroktyl-sulfonater (PFOS) regnes blant disse nye stoffene. Etersom miljøgifter er lite nedbrytbare har de potensial for å ende opp i Arktis. Det er derfor viktig med overvåkning av nye miljøgifter, men også å øke kunnskapen om deres egenskaper.

Langtransport av miljøgifter er et alvorlig problem i Arktis, spesielt i den norske og europeiske delen. Transporten skjer med luftstrømmer, havstrømmer og gjennom næringskjeden og dyr som forflytter seg. Endringer i klima og i de store luft- og havsystemene har dermed stor betydning for spredningen av miljøgifter til Arktis. Det har også betydning for lagrene av miljøgifter som er bundet opp i permafrosten, i isen og havmassene i Arktis, lagre som er bygd opp som et resultat av tidligere tilførsel av forurensende stoffer.

Internasjonalt har man redusert bruken av noen av de verste miljøgiftene, og dette har også hatt effekt på nivåene i Arktis. Langtidstrender i Arktis viser en klar nedgang i nivåene i miljø og organismer rett etter reduksjon i bruken. Målinger i luft viser at forekomsten av disse ble redusert i løpet av 1990-tallet og tidlig på 2000-tallet. Men fra 2002 til 2006 har PCB, HCB og DDT igjen vist en økning i norsk Arktis på tross av at bruken ikke har økt, og stadig flere land reduserer bruken av disse stoffene. Flere mulige forklaringer kan knyttes til endringer i klima, luft- og havstrømmer, samt isutbredelse. Den mest sannsynlige forklaringen er at transportveiene og transportmekanismene for miljøgifter har endret seg. Dette må i så tilfelle knyttes opp mot endringer i storskala vær fenomener, for eksempel store strømsystemer som har vist uregelmessige mønstre de siste årene. Likevel er ikke dette alene en fullgod forklaring på de endrede konsentrasjonene i enkelte sesonger og år.

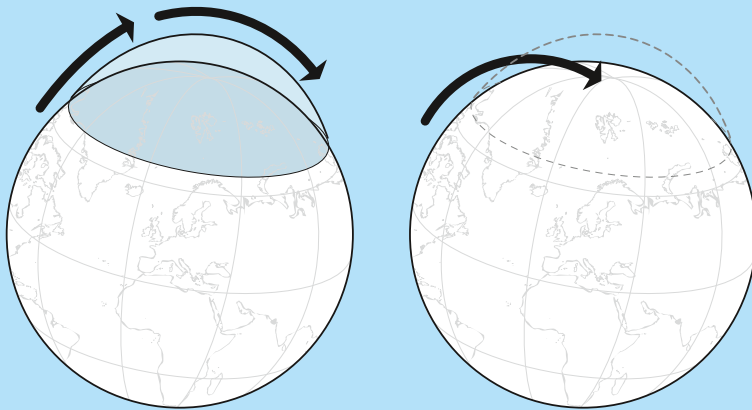
Det er nylig kommet indikasjoner på at Polhavet i seg selv kan være en kilde til miljøgifter. Havvannet tok opp store mengder av stoffene i de periodene de fantes i høyere konsentrasjon i atmosfæren. Miljøgiftene slippes nå gradvis ut i atmosfæren igjen. Denne prosessen styres av omveltningstiden i havet og kontakten mellom havoverflaten og atmosfæren. Denne kontakten varierer gjennom året og fra år til år på grunn av variasjonen i havisutbredelse. Is danner et beskyttende lokk på havet, noe som motvirker avgivelse av miljøgiftene til luften. Men med drastisk mindre havisutbredelse i Polhavet har fordampningen og dermed avgivelsen av miljøgifter til luften økt.

En annen mulig kilde til miljøgifter som ligger nært Arktis er de store skogene i Eurasia og Nord-Amerika. Trær kan ta opp miljøgifter, som igjen kan frigis til luft ved forbrenning av biomasse. Denne teorien støttes av målinger som viser økte forekomster blant annet av enkelte typer PCB i luften i Arktis om sommeren, forekomster som er mulig å knytte til skogbranner i Alaska. En slik hendelse opptrådte i månedsskiftet april-mai 2006, da sterkt forurenset luft fra forbrenning av biomasse i Øst-Europa ble transportert til Svalbard, der den forårsaket smog (tåke som er blandet med og forurenset av røyk). Det ble etter dette målt betydelig høyere nivåer av PCB-er i luften på Svalbard.



Den arktiske domen

Luftstrømmer transporterer forurensning inn i Arktis. Den sterke nedkjølingen rundt Nordpolen om vinteren medfører at varm, forurenset luft fra lavere breddegrader glir over den kalde luften slik at forurensningen ikke avsettes i Arktis. Dette kalles den arktiske domen – ettersom kald luft legger seg som et beskyttende lokk i den nedre troposfæren. I perioder med unormal oppvarming, som for eksempel vinteren 2006, fungerte ikke denne kaldluft-isoleringen og forurenset luft kunne trenge inn i det sentrale Arktis nært bakken og dermed avsette forurensning. Hvis slike varmere vintre inntreffer hyppigere på grunn av tilbaketrekning av havisen, vil det kunne øke denne mengden avsatt forurensning dramatisk.



Figur 13: Den arktiske domen. Et kaldt luftlokk over Arktis beskytter mot avsetning av luftbåren forurensning. Ved kalde forhold bidrar den arktiske domen til en isolering, og de forurensete luftmassene passerer over Arktis, uten å avsette forurensningen, mens forurensning avsettes når luftlokket er fraværende. Et oppvarmet Arktis kan miste effektene av den arktiske domens, og dermed vil mer luftbåren forurensning avsettes. Illustrasjon: A Igesund, Norsk Polarinstitutt

Varmere klima vil føre til tap av permafrost og føre til endringer som gir økt tilførsel av jord og organisk materiale til elver, vann og fjorder. Mange miljøgifter er bundet til jord og organisk materiale, som da blir frigjort og mer vannløselig på grunn av økt temperatur.

Smelting av isdekket kan frigjøre miljøgifter som er bundet i isen og øke tilførselen til vannet under, hvor de blir mer tilgjengelige for vannorganismene. Flere av miljøgiftene man finner i Arktis er meget giftige for vannlevende organismer, og har potensial til å kunne gi skadelige langtidsvirkninger i vannmiljøet. Snø- og ismasser i Arktis inneholder lagre av miljøgifter, som er bundet i isstrukturen, oppløst i vannlommer i isen, eller bundet til organisk materiale. Det er fare for at smelting av isdekke og snø kan gi store tilførsler av lagrede miljøgifter til miljøet. Langtidsstudier av isbreer i Arktis har også vist at stor nedsmelting av is har ført til stor økning i miljøgifter – som PCB, HCH og DDT – i smeltevannet. Fordi mange isbreer ble dannet i førindustriell tid, antar man at det i hovedsak gjelder nyere is. Studier viser at issmeltingen har mest betydning for nivåene av DDT lokalt i havvann nært isbreene, og i en begrenset tidsperiode.

Varmere klima kan øke lufttransporten til og avsetning av miljøgifter i norsk Arktis. Økt temperatur vil påvirke fordelingen av miljøgifter mellom hav, jord og luftmasser. Større mengder miljøgifter vil da kunne overføres fra jord og hav til luftmassene over. Flere miljøgifter som er knyttet til luftpartikler vil bli frigjort og transportert raskere til Arktis. Noen miljøgifter kan brytes ned av sollys. Dersom klimaendringene fører til mer skyer, kan denne nedbrytningen bli mindre. Det er funnet at endrede luftstrømmer og mer nedbør vil kunne føre til økt nedfall av PCB, PAH og tungmetaller i norsk Arktis.



Måsøy, Finnmark. Foto: © Bård Løken, Samfoto

Når dyrene som lever i Arktis utsettes for stress på grunn av klimaendringer, både gjennom endringer i deres naturlige leveområder og vanskeligere tilgang på byttedyr, kan spesielt dyr øverst i næringskjeden bli mer sårbare for miljøgifter. Stress og sult gjør dyrene mer utsatt for sykdommer og virkningen av miljøgifter. I tillegg kan miljøgifter som PCB svekke immunforsvaret. Når dyrene sulter, starter nedbrytning av fett, og miljøgiftene kommer ut i kroppens blodomløp, og det blir så mye av dem at det blir skadelig. Isbjørn er særlig utsatt når de ikke kan jakte sel på isen, ved særlig varme vårperioder. Den har en cocktail av de verste miljøgiftene vi kjenner lagret i fettreservene, og er allerede påvirket av miljøgifter som PCB.

Sammenhengen mellom klima og transport av miljøgifter og avsetning i Arktis er komplisert og ikke fullt ut forstått. Det er mange forskjellige prosesser som må tas i betraktning for å kunne si noe sikkert om den effekten klimaendringer kan ha på miljøgiftbelastningen i norsk Arktis. Dette gjelder særlig kvikksølv, hvor mekanismene for avsetning i Arktis er komplekse og avhenger av mange faktorer som påvirkes av klima. For å forstå hvorfor konsentrasjonen av miljøgifter i lufta over Arktis varierer, og hvordan det i neste runde påvirker dyr og planter i området, er det viktig å få mer kunnskap om prosessene som leder til transport og avsetning av miljøgifter i Arktis og hvordan klimaendringene påvirker dem. Mer kunnskap om miljøgiftkonsentrasjoner både i gammel og nydannet havis, i hav med helårs isdekke og hav med isdekke deler av året trengs også. Det samme gjelder i barskog og jordsmonn i nordlige områder. Det er også viktig å få mer kunnskap om hvilken effekt klima kan ha på hvor sårbare dyr i Arktis er overfor miljøgifter, og sammenhengene mellom klimapåvirkning på økosystemene, belastning fra miljøgifter og biomangfold.

UV-stråling og ozonlaget

Ozonlaget beskytter livet på jorden mot skadelig UV-stråling, som er den mest energirike delen av solstrålingen som treffer jorden. Det ble ikke satt i gang regelmessige UV-målinger før på midten av 1990-tallet. Derfor fins det ennå ikke lange nok tidsserier med data som kan danne grunnlag for å beregne pålitelige trender og fremskrivninger. Modellberegninger viser en svak nedgang i UV-strålingen i norsk Arktis de siste 30 årene, og målinger de siste elleve år underbygger dette. Mest sannsynlig henger dette sammen med en økning i mengden skyer i den samme perioden. Noen år har det vært perioder med høyere UV-stråling på grunn av reduserte ozonnivåer, som for eksempel i 1997.

Utslipp av klorfluorkarboner (KFK) og andre menneskeskapt kjemikalier de siste 60 årene har ført til fortykning av ozonlaget. Montrealprotokollen fra 1987 har medført en rask reduksjon av KFK-utslippene, men siden ozonreducerende stoffer har lang levetid i atmosfæren, kan det likevel ta tid før ozonlaget forbedres. Det er derfor fremdeles knyttet stor usikkerhet til ozonutviklingen fremover, og større i Arktis enn globalt. Den største ozonnedbrytning i Arktis de siste 15 årene ble observert vinteren 2004/05, forårsaket av lave temperaturer i stratosfæren og ozonnedbrytende forbindelser. Det er observert store variasjoner i ozonlaget over Arktis. Målinger ved Ny-Ålesund på Svalbard viste i 2003 og 2004 for første gang en nedgang i konsentrasjonen av de viktige ozonødeleggende gassene KFK i atmosfæren på Svalbard. Haloner, som også bryter ned ozonlaget, viser ikke en nedgang. Det er imidlertid målt en økning for hydroklorfluorkarboner (HKFK), som er erstatningsstoff for KFK. I følge Montrealprotokollen skal produksjon og forbruk av HKFK i utviklingsland fryses innen 2013. Det er for tidlig å friskmelde ozonlaget, og det er ikke ventet at ozonlaget vil være tilbake på 1980-nivå før i 2050–2070. Dette avhenger av at alle land faser ut ozonnedbrytende stoffer i henhold til de frister som er satt i Montrealprotokollen.

Montrealprotokollen

Det globale samarbeidet om beskyttelse av ozonlaget startet med Wienkonvensjonen i 1985. To år senere ble Montrealprotokollen undertegnet. Utslippene av ozonreducerende stoffer har blitt kuttet med over 95% siden avtalene ble underskrevet.

Montrealprotokollen har konkrete mål med tidspunkt for reduksjon og stans av hvert enkelt ozonreducerende stoff. Protokollen er endret flere ganger og kravene har blitt skjerpet underveis. Siste endring var i 2007. Alle verdens land har ratifisert Montrealprotokollen av 1987. Senere endringer i protokollen er ratifisert av færre land. Montrealprotokollen har en økonomisk støtteordning til utviklingsland som bistår dem økonomisk og teknisk med utfasing av ozonreducerende stoffer.

UV-stråling kan være skadelig for enkelte marine organismer med tilhold nær havoverflaten, som for eksempel fiskelarver. Mange arktiske arter er tilpasset lave nivåer av UV-stråling, de har for eksempel ofte mindre pigment til beskyttelse. Skadelige virkninger av økt UV-stråling kan dermed bli større i arktiske strøk enn andre steder. Isdekke på havet beskytter marine organismer mot UV-stråling. Studier viser at reduksjonen av isdekke fører til betydelige endringer i UV-nivået og dermed fare for skader på arktiske marine økosystemer. På samme måte kan organismer i innsjøer og elver skades av økt UV-stråling hvis isdekket minsker eller forsvinner.

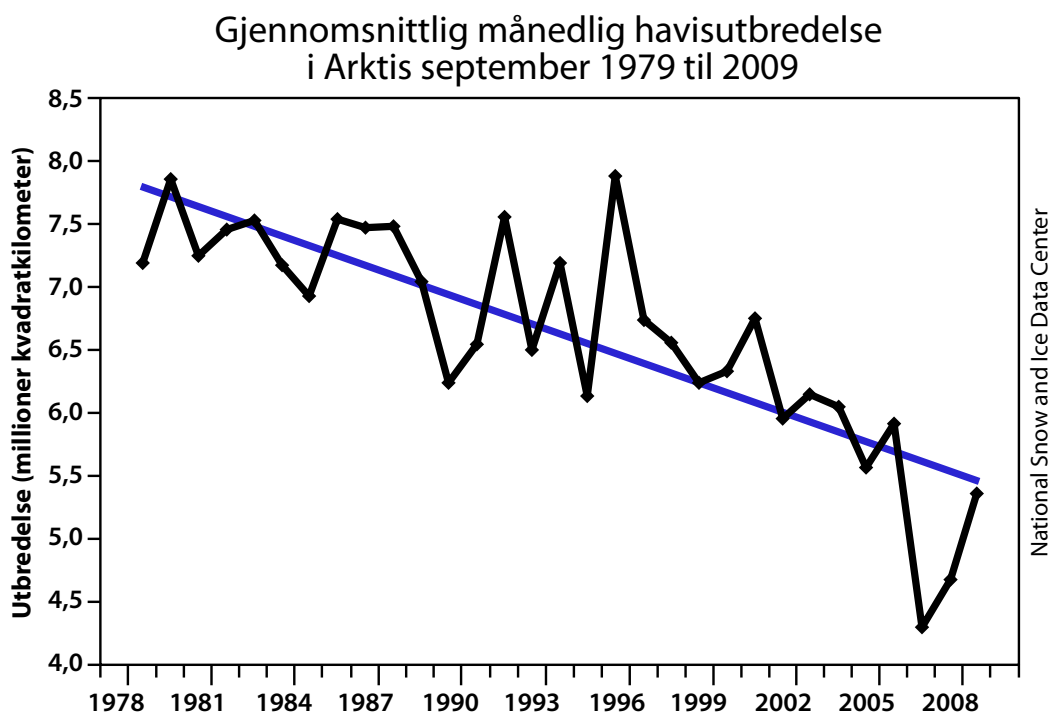


Miljøgifter kan forstyrre hormonbalansen hos krykkje (Rissa tridactyla). Foto: Stein Ø Nilsen, tromsotfoto.net



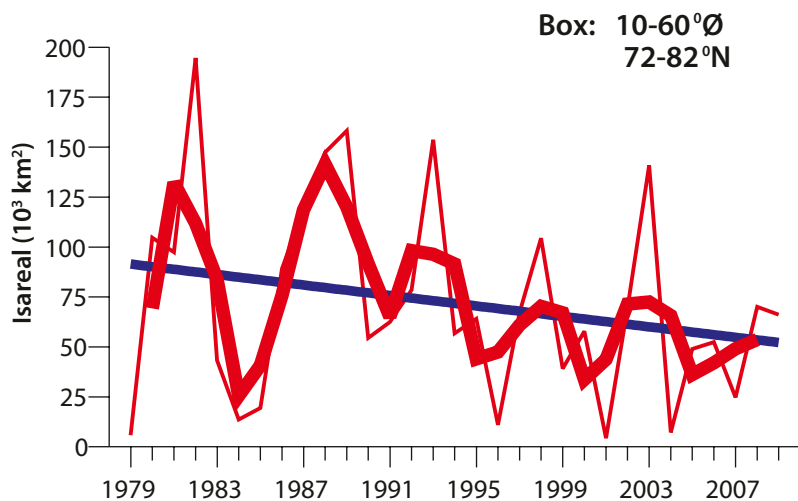
Nøkkelfunn 4: Havisen minker og isavhengige arter trues

Havis er is som dekker deler av havet i polare områder, og utbredelsen av den varierer med årstid, havstrømmer, atmosfæriske forhold og andre faktorer. I utgangspunktet dannes havis ved at sjøvann fryser til is, men i tillegg kan det komme bidrag til havisen fra nedbør. Flere dyr og plantearter er avhengige av havis. Noen arter lever på, under eller inni selve isen, mens andre lever i vannmassene i isfylte farvann. Mindre havis i Barentshavet vil kunne medføre store økologiske endringer i havet. Lysforholdene i vannet vil endres sterkt når isen reduseres eller forsvinner, og dette påvirker vekstforholdene for planteplankton. Redusert isdekke i seg selv medfører økt lysinnstrømning og dermed større vekst. Uten is på havet øker fordampningen av sjøvann, og dette fører til økt skydannelse. Mer skyer reduserer lysinnstrømning i vannet og dermed veksten av planteplankton. Den fullstendige effekten av redusert havis er ikke klarlagt, men det kommer til å påvirke sammensetningen av og produksjonen i de marine økosystemene.



Figur 14: Havisutbredelse i hele Arktis i september, når isutbredelsen normalt er ved sitt minimum, årene 1979–2009.

Kilde: National Snow and Ice Data Center 2010



Figur 15: Isutbredelse i Barentshavet i september 1979–2009. Isdekket hav er definert som hav med mer enn 15% isdekket. Tynn rød kurve viser månedsmiddeler, tykk rød linje viser løpende middeler over tre år og den blå linjen viser lineær trend. Det er tydelig at den mellomårige variasjonen er stor, samtidig som trenden gjennom perioden viser at isdekket avtar. September er vanligvis måneden med minst isutbredelse i Barentshavet. Kilde: Oppdatert etter Holmén & Dallmann 2010

Det har allerede blitt mindre havis

Havisen i Arktis er helt klart i endring. De siste 30 årene er det registrert en betydelig nedgang i havisutbredelse, spesielt sommerstid. De tre siste årene har utbredelsen av havis i Arktis i september (årets minimum) vært lavere enn gjennomsnittet for perioden 1979–2009. I 2007 var utbredelsen på sitt laveste noensinne. Havisens alder er også av betydning – da flerårig havis ofte er tykkere og dermed smelter saktere enn tynn ettårsis. De tre siste årene har total mengde is vært betydelig mindre, noe som har vakt stor oppmerksomhet. Store mengder havis flyter ut av Polhavet med havstrømmene, noe som sammen med smelteprosesser bidrar til at havisen til en viss grad fornyes hver vinter. Dermed er havis sjelden mer enn noen år gammel, og noen ganger er den bare få uker gammel før den smelter. Forskjellige målinger viser en reduksjon i havistykkelse i Polhavet og noen steder i Barentshavet, mens andre steder – som nord for Sibir – kan man ikke spore noen tydelige

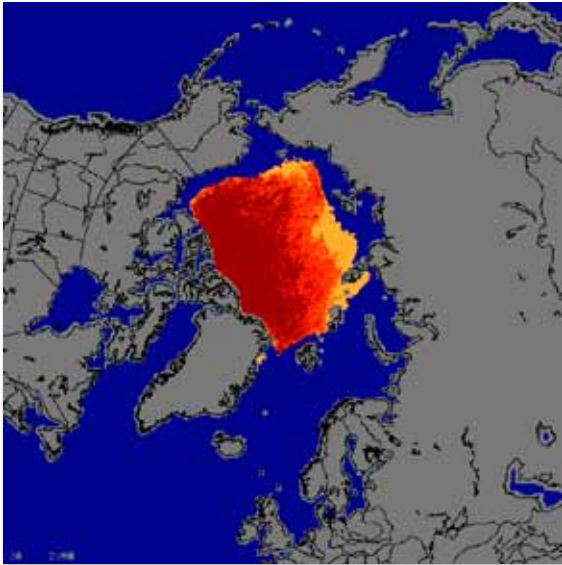
trender. Problemet er at overvåkingen av havistykkelse ikke er tilfredsstillende og dekker verken Barentshavet, norsk Arktis eller hele Arktis godt nok. Dermed har vi ikke tilstrekkelig informasjon om faktisk ismengde og tykkelse av isen, noe som er viktig for å si noe om havisens totale tilstand. Metoder for en mer presis overvåking av disse parametrene er under utvikling, men det vil fortsatt ta noe tid før de kan gi kontinuerlige og pålitelige resultater.

Hvis man ser på mindre regioner i norsk Arktis, ser man at endring i isutbredelse er tydelig på en annen måte enn for Arktis som helhet. Noen områder kan forandre karakter totalt fordi de går fra å være dekket av is stort sett hele året, til å være dekket bare deler av året. Dette får mange konsekvenser, både for økosystemet og for menneskelig aktivitet i området. Havisutbredelsen i Grønlandshavet og Barentshavet, har blitt redusert over de siste 30 år. Isen i Grønlandshavet er forskjellig fra isen i Barentshavet. Grønlandshavisen består i stor grad av is som er transportert ut av Polhavet, i tillegg til litt is som dannes lokalt i vinterhalvåret. I Barentshavet består isen hovedsakelig av is som er dannet lokalt om høsten og vinteren, og som delvis smelter der om sommeren, og bare minimale mengder is fra Polhavet.

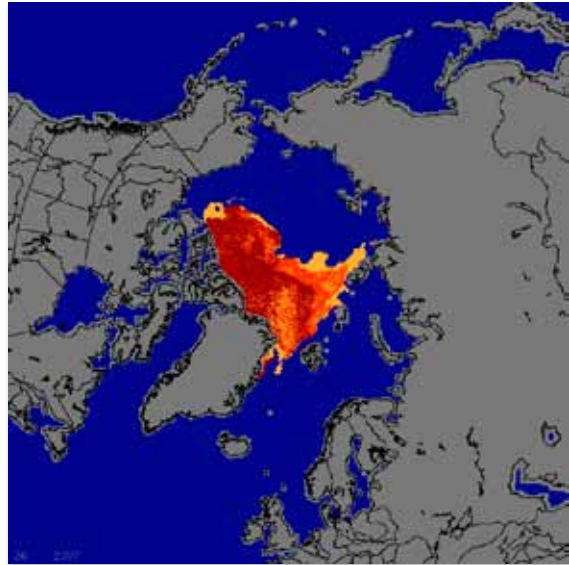
Det jobbes med å finne årsaken til hvorfor og hvordan isen i Arktis har blitt så redusert de siste årene, samt å forsøke å fremskrive hvordan utviklingen vil bli. Dette gjøres ved å sammenstille alle de krefter som påvirker, og kan komme til å påvirke, isforholdene i de forskjellige regionene. En ting som allerede er avdekket, er at modellene for isutvikling i større grad må ta hensyn til samvirkningen mellom forskjellige faktorer, som også kan forsterke hverandre, for eksempel at smeltesdammer på overflaten av havis øker tempoet i smelteprosessen.

I smeltesesongen vil det ferske vannet fra smeltet havis stabilisere overflatelaget i havet, etter som det ferske vannet er lettere enn sjøvann. Det fysiske skillet mellom overflatelaget og de dypere vannmassene hindrer planktonalger i å synke ut av det produktive, lyse overflatelaget, og fremmer dermed planktonproduksjonen. Flere arter krepsdyr lever av plankton og er selv viktige byttedyr for fisk, fugl og sjøpattedyr. Under isen er det alger som vokser som tråder eller matter,

1981–2000 gjennomsnitt



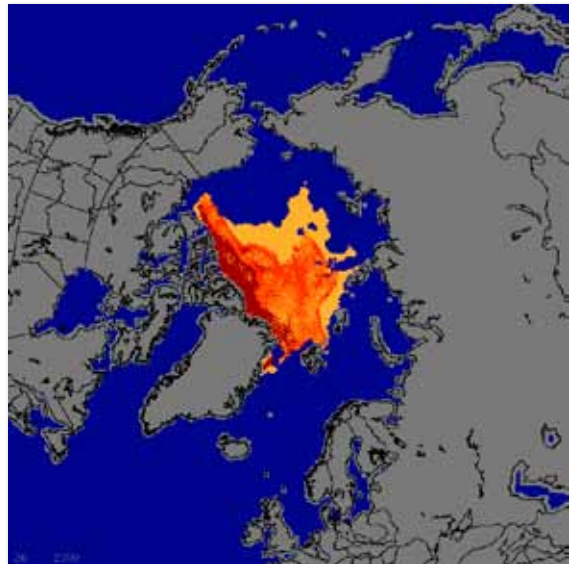
2007



2008



2009



Figur 16: I Arktis erstatter nå tynn ettårsis den tykkere flerårsisen. Kartene sammenligner isens alder beregnet ut fra tykkelse i 2007, 2008, 2009 og gjennomsnittet for 1981–2000. I 2009 hadde mengden toårsis økt sammenlignet med 2008, og ved slutten av sommeren 2009 utgjorde den 32% av isdekket. Is som var tre år eller eldre utgjorde bare 19% av det totale isdekket, den laveste andelen siden satellittovervåkning av havistykkelse startet i 1979. Kilde: National Snow and Ice Data Center, med tillatelse fra C Fowler & J Maslanik ved University of Colorado, Boulder

og på flerårsis kan disse algetrådene bli et par meter lange og danne tykke matter. Is med den rikeste iskantfloraen og -faunaen kan bli redusert eller forsvinne helt.

Uten is forsvinner isalgene

I Barentshavet finnes det flere arter alger som vokser på, i eller under havisen. Alder og tykkelse på isen har stor betydning for artsmangfoldet og produksjonen, og det er store variasjoner både fra år til år og fra område til område. Disse algene er næringsgrunnlag for beitende dyr i havet. Isalgene utgjør i dag ca. 20% av den totale primærproduksjonen i den nordlige delen av Barentshavet. Den forventede reduksjonen i havisutbredelse og -typer vil redusere artsmangfoldet i området, dersom enkelte typer isalgesamfunn forsvinner helt eller delvis.



Kvitunge på isen. Foto: Bjørn Frantzen, Norsk Polarinstittutt

Isbjørn, sel og hval i Arktis trenger havis

Klimatrusselen er mest sannsynlig større for marine pattedyr enn for de fleste pattedyr som lever på land. Dette skyldes at mange av sjøpattedyrene i arktiske økosystemer er spesialtilpasset et liv ved iskanten. Havis er livsviktig for disse dyrene, og en reduksjon eller total bortsmelting av is vil kunne endre arktiske marine økosystemer slik vi kjenner dem i dag. Det er for eksempel forventet at det vil bli færre isbjørn allerede i løpet av de kommende tiårene.

Istilknyttede selarter som ringsel, storkobbe, grønlandssel og klappmyss vil trolig oppleve en reduksjon i utbredelsesområde og en nedgang i bestandsstørrelse. For grønlandssel og ringsel, som føder unger på isen, har unge-

produksjonen vært svært lav i de varme sesongene den senere tid, og ungedødeligheten hos grønlandssel har vært høy. Disse artene har vanskelig for å tilpasse seg en situasjon med mindre havis. Dersom isgrensen flyttes og forblir i Polhavet hele året, vil trolig arter som grønlandssel, narhval og hvithval kunne følge etter og bare flytte sitt leveområde nordover. Arter som storkobbe, ringsel og hvalross derimot, profiterer på næringsproduksjonen ved iskanten når denne befinner seg i nærheten av kysten eller i grunne områder, og kan få minsket både utbredelse og bestandsstørrelse.

Vesterisen (vest for Norge, men øst av Grønland) er en drivisodde som fryser til hvert år i Jan Mayen-strømmen. Temperaturstigning har ført til forandringer i isdannelsen i Vesterisen. Det har vært fangst på både grønlandssel og klappmyss der, og bestandene er mindre nå enn før sel-fangsten tok til. Begge selartene føder ungene på isen, og ungene lever på is helt til dieperioden er over. Når Vesterisen forsvinner eller reduseres kraftig i omfang, må disse selene finne et annet, kanskje mindre egnet, område å føde ungene i. Ungeproduksjonen for klappmyss i Vesterisen var i 2005 bare 60% av produksjonen i 1997. Dette kan ikke forklares med selfangsten i perioden, ettersom det ikke ble tatt ut nok dyr til å skape en slik effekt. Reduksjon kan være en konsekvens av redusert isutbredelse og/eller endret iskvalitet.

Isbjørnene som lever i Barentshavområdet er en av de mest truede isbjørngruppene i verden. Dietten deres er dominert av isavhengige selarter, slik at redusert havisutbredelse påvirker bytte-dyrtilgangen deres negativt. Havisen er også viktig som transportvei for å nå egnede hiområder på land for å føde unger.

Vil hvalene forsvinne?

Det er kun tre hvalarter som finnes året rundt i norsk del av Barentshavet; hvithval, narhval og grønlandshval. Disse tilbringer mye tid under isen eller ved iskanten. Hva som eventuelt vil skje med disse artene når isen smelter er usikkert, for man vet ikke sikkert hvorfor de er så sterkt knyttet til is. Istilknyttede dyr utgjør dietten til hvalene, og isen kan gi dem nødvendig beskyttelse, og kan muligens forklare tilknytningen. De er alle sentvoksende hvaler som blir over 100 år gamle, grønlandshvalen så mye som 200 år. De produserer få avkom gjennom livet, slik at et varmere klima kan føre til større konkurranse fra andre arter som reproduserer raskere og dermed har et konkurransefortrinn. I tillegg kan arktiske hvaler utsettes for større trusler gjennom angrep fra for eksempel spekkhogger, som man forventer vil øke i antall i et varmere klima. De marine pattedyrene som i dag er sesonggjester vil sannsynligvis endre sine utbredelsesområder i nordlig retning etterhvert som isen forsvinner. En økning i antall observasjoner av finnhval nord for Svalbard er allerede registrert og tyder på at en slik utvikling allerede er i gang. Det er også observert flere mer sørlige hvalarter som seiqual og nise svært langt nord.



Foto: Rudi Caeyers, rudicaeyers.com

Istilknyttet sjøfugl blir påvirket av klimaendringene

Det er liten tvil om at en omfattende endring i klima vil gi store konsekvenser for artssammensetningen hos sjøfugl. Med stadig minkende havis vil arter som er avhengige av havis i enkelte tilfeller kunne forsvinne helt. Flere arktiske sjøfuglarter er avhengige av is i deler av eller hele sin livssyklus. Ismåke for eksempel, finner maten sin i iskanten eller i råker inne i isen. For andre arter vil en klimaendring kunne være positiv. Hvis en reduksjon i isdekket medfører økt tilgang på mat kan enkelte sjøfuglarter klare å nyttiggjøre seg denne ekstra maten og bestandene kan vokse.

Is som forsvinner gir nye muligheter – og utfordringer – for menneskelig aktivitet

Havisen fungerer som en effektiv barriere for menneskelig aktivitet. En reduksjon i isutbredelsen vil delvis fjerne denne barrieren og åpne for nye muligheter. Blant annet kan skipsfarten (både transport og turisme) potensielt finne nye seilingsområder og -ruter og dermed øke i omfang, og det kan bli bedre betingelser for eventuell petroleumsaktivitet i nye områder. Ny og økt aktivitet vil medføre en rekke utfordringer knyttet til miljørisiko og beredskap. Denne problematikken er nærmere beskrevet under nøkkelfunn 11.



Nøkkelfunn 5: Havet blir varmere og økosystemene forandres

Store deler av Norges nordlige områder er dekket av hav. Havet har til alle tider vært viktig for folk som bor i Nord-Norge, og også i dag lever mange folk langs kysten av verdiene havet byr på. Klimaendringene vil med høy sannsynlighet endre økosystemene i havene fra slik vi kjenner dem i dag, men det er betydelig usikkerhet forbundet med hva disse endringene vil innebære. Det er to store havområder i norsk Arktis; Barentshavet og Norskehavet. Disse to havene er noe forskjellige både i forhold til vannmasser og hvilke arter som lever der, men det er også flere arter som finnes begge steder, bare til forskjellige tider på året eller i forskjellige faser av livet.





Hva er et økosystem?

En art eller en bestand av en art må sees i sammenheng med det totale økosystemet den er en del av. Et økosystem er planter, dyr og mikroorganismer i et område hvor samspillet mellom dem og det ytre miljøet i samme område utgjør et funksjonelt system. Økosystemene er ikke lukkede og avgrensede systemer, men for å studere sammenhengen mellom ulike arter og deres miljø definerer vi en avgrensning, enten ut fra hvilken art vi studerer eller ut fra det fysiske miljøet. Ofte er denne avgrensningen gjort til et område – for eksempel en innsjø, en fjord, et spesielt havdyp eller en type skog.



Figur 17: Forenklet bilde av økosystemet i Barentshavet. I forhold til hvor langt nord Barentshavet ligger, er det biologiske mangfoldet stort. Bare av virvelløse bunndyr er det registrert godt over tre tusen arter. I tillegg kommer et stort antall arter av plankton, fisk og andre grupper organismer. Det finnes også flere typer issamfunn, hvor alger på, i eller under isen er en viktig del. Kilde: Havforskningsinstituttet

Klimaendringene påvirker havet

Klimaendringene kan påvirke organismene i havet gjennom mange ulike prosesser, og sammenhengene kan være komplekse og vanskelige å beregne. Klimaeffekter i havet avhenger blant annet av hvor stor oppvarming vi får. Også de neste 100 årene kan vi forvente at andre typer menneskeskapte effekter kan bli viktige, som for eksempel fiskepress og havforsuring. Slike effekter kan virke sammen og utløse større endringer enn summen av hver enkelt effekt alene. Det er derfor vanskelig å si eksakt hva konsekvensene av all menneskeskapt påvirkning på økosystemene i havet vil bli.

De siste seks årene har atlantehavsvannet i Norskehavet vært uvanlig varmt og salt. I 2007 var temperaturen 0,8°C varmere enn normalt, og det varmeste registrert etter 1977 da målingene startet. Det har vært en nedgang i mengden dyreplankton i Norskehavet de siste årene, og i

2009 ble det registrert et minimum for de siste ti årene. Årsaken til dette kan være store bestander av dyreplanktonspisende fisk. Det er også observert sporadiske forekomster av fremmede dyreplanktonarter som kommer inn fra sør i Norskehavet, og forekomstene ser ut til å øke i hyppighet. Dette kan henge sammen med høyere temperatur eller større innstrømning av vann sørfra som tar med seg de sørlige artene.

Planteplankton – gresset i havets økosystemer

Høyere temperatur i havet forventes i utgangspunktet å medføre økt produksjon av planteplankton, den såkalte primærproduksjonen. Selv om en oppvarming isolert sett skal medføre økt produksjon, vil andre konsekvenser av denne oppvarmingen kunne motvirke dette eller medføre at produksjonen flytter seg til nye områder. Nøyaktige beregninger for produksjon av planteplankton under endrede klimaforhold er ikke tilgjengelige i dag. Økt stormaktivitet vil kunne føre til mer ustabile vekstforhold for planteplankton fordi lysforholdene i vannet blir dårligere, og tilførsel av næring kan reduseres. Artssammensetning av alger kan også endre seg. Hvilke konsekvenser dette får for dyreplankton som beiter på dem, vet vi ikke. Vi kjenner heller ikke eventuelle videre konsekvenser oppover i næringskjeden. Varmere vann gjør at noen arter av planteplankton vokser raskere. En temperaturøkning vil også kunne ha en indirekte effekt på planteplankton gjennom endret isutbredelse og omrøring i vannet. Dette er sannsynligvis av større betydning enn den direkte effekten gjennom raskere vekst. Undersøkelser av plankton-sammensetning i Norskehavet de senere år har vist at innslaget av mer sørlige arter langs norskekysten øker.

Isalger lever på og i isen, og er viktige i økosystemet knyttet til iskanten. Ved endring i iskanten og smelting av havis kan disse artene reduseres kraftig eller i verste fall forsvinne helt.

Dyreplankton – havets «gressere»

Klimaendringene vil kanskje ha større direkte effekt på planteplankton enn på dyreplankton. Den indirekte effekten på dyreplankton kommer gjennom effektene på maten det spiser, nemlig planteplankton. Ulike arter plante- og dyreplankton har ulik evne til å tilpasse seg klimaendringene i havet. Derfor vil forholdet mellom artene påvirkes og sammensetningen i økosystemene kunne endre seg. En faktor som begrenser mengden dyreplankton er fisk og andre dyr som spiser dem. De fysiske omgivelsene som temperatur, lys og strømninger i vannet vil også være viktige. Et varmere klima kan komme til å øke dyreplanktonbestandene, både på grunn av muligheten for økte mengder planteplankton og på grunn av økt vekst hos dyreplankton selv. Generelt er det slik at dyreplankton vokser fortere når temperaturene er høyere, og hurtig vekst gjør at dødeligheten reduseres. Dette skyldes at dyreplankton vokser seg så store at de blir mindre utsatt for å bli spist.

Noen beregninger viser at de endrede klimaforholdene vil føre til mer dyreplankton i norsk Arktis, mens andre beregninger viser det motsatte. Beregninger er vanskelige fordi det er flere klimaeffekter som virker sammen og til dels mot hverandre. Temperaturøkning isolert sett kan medføre både bedre mattilgang og bedre vekst for dyreplankton. Temperaturøkning kan også medføre en annen effekt, nemlig at mindre mengder varmt atlantehavsvann, og dermed mindre dyreplankton, føres inn i Barentshavet med havstrømmene. I tillegg kan en økning i temperatur gi grunnlag for større mengder fisk som beiter på dyreplankton, for eksempel makrell og kolmule, både i Norskehavet og i de vestlige deler av Barentshavet. Både temperaturøkning og fravær av is kan endre artssammensetningen av dyreplankton, slik at det blir flere av de artene som er små og mindre energirik. For dyrearter som har spesialisert seg på enkelte dyreplanktonarter, vil dette gi alvorlige konsekvenser for næringstilgangen.



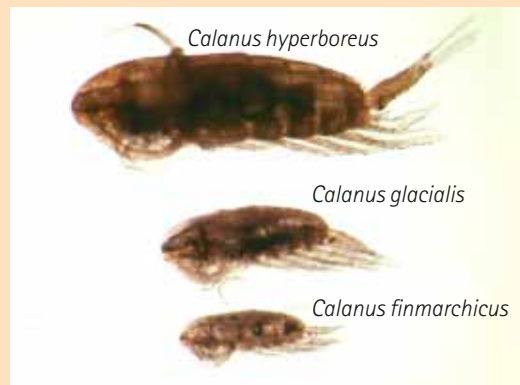
Nøkkelarten raudåte

Den dominerende arten dyreplankton i atlantisk vann i Norskehavet og Barentshavet er den lille hoppekrepsen raudåte (*Calanus finmarchicus*). Den finnes i det meste av Norskehavet, og de største mengdene finnes i sentrale deler der temperaturen ligger på 4–7°C. Raudåta er godt tilpasset et liv i den nordlige delen av Nord-Atlanteren, og den har så stor betydning i økosystemet at en endring i mengden raudåte vil kunne få store konsekvenser for mange organismer i havområdene i Norskehav-Barentshav-regionen. Det er også slik at både klekkesid for dyreplanktonegg og utviklingstid frem til voksen dyreplankton avhenger av temperatur (gitt god mattilgang). Enkelt sagt; jo høyere temperatur jo forttere går det. Når dyreplankton er avgjørende føde for flere fiskearter mens de er små, sier det seg selv at tilgang på dyreplankton på det tidspunktet fiskeyngelen skal starte og spise er avgjørende. Forstyrrelser i det samspillet som eksisterer mellom tidspunkt og sted for planteplanktonoppblomstring, dyreplanktonutvikling og klekking av fiskeegg vil føre til endringer i økosystemet.

Med økende havtemperatur er det i tillegg fare for at raudåta kan bli erstattet av den mer sørlig utbredte slektningen *C. helgolandicus*. Denne er ikke så næringsrik som raudåta, og en slik utskiftning kan virke negativt på kommersielt viktige fiskebestander. På samme måte kan de enda mer næringsrike artene ishavsåte (*C. glacialis*) og feitåte (*C. hyperboreus*) erstattes av raudåte lenger nord.



Raudåte (*Calanus finmarchicus*)
Foto: Malin Daase, Norsk Polarinstitutt



Den store feitåta (*Calanus hyperboreus*), ishavsåte (*C. glacialis*) og raudåte (*C. finmarchicus*).
Størrelsesforskjellen mellom de tre er påfallende.
Foto: Slawek Kwasniewski, Polish Academy of Sciences

Dyr og planter på havbunnen

Det er flere faktorer som påvirker utbredelse og vekst av tang og tare; havtemperatur, saltholdighet, lys, sjøis, strømforhold og bølgeaktivitet. Temperaturen i vannet er den viktigste faktoren for utbredelse av tang og tare i Arktis, men den spiller en mindre rolle når det gjelder å regulere veksten. Dette betyr at økt temperatur i første omgang vil påvirke artssammensetning av tareskog. Tang og tare er som andre planter avhengig av lys for å vokse, og dersom vannet skulle slippe mindre lys ned til bunnen, vil dette redusere tareveksten. En slik reduksjon i lys kan komme av mer oppløst bunnsediment eller større mengder planteplankton i vannet. Sjøis begrenser også lysinnstrømning, slik at redusert isdekke vil føre til økt vekst hos tang og tare. Økt ferskvannstilførsel fra land når snø og is smelter, kan føre til redusert saltholdighet i tidevannssonen og dermed dårligere vekstforhold. Resultatet av dette kan være at en del arter som i dag vokser i tidevannssonen forsvinner eller trekker ned på større dyp enn der de finnes i dag.

Ved iskanten i Barentshavet er det stor biologisk produksjon, ofte i en kort tidsperiode. Ikke alt beites i vannsøyla, og deler av plante- og dyreplanktonet synker til bunnen og gir økt mattilgang for bunndyr i området. Mindre vinteris og en isgrense lenger nord vil redusere og flytte dette næringsbidraget for bunndyrsamfunnet i Barentshavet.

Fisken flytter

Ved høyere vanntemperatur over lengre tid forventes det for det første at de arter som allerede finnes i arktiske områder vil kunne få en utvidet utbredelse. For det andre vil arter som hittil har hatt en mer sørlig utbredelse kunne etablere seg i Norskehavet. I et lengre tidsperspektiv er det særlig én faktor som er svært viktig for utviklingen av fiskebestandene i norsk Arktis – nemlig hva som skjer med raudåtas utbredelse. Raudåte er det viktigste byttedyret for fiskeyngel som driver nordover, og den vil dermed være avgjørende for fiskebestandenes oppvekstvilkår. Det er vanskelig å forutsi hvordan hver enkelt fiskeart vil respondere på klimaendringene. Isolert sett skal et varmere og mer isfritt Barentshav medføre økt utbredelse, men i tillegg er fiskene avhengig blant annet av å finne egnede gyteplasser og ikke minst beskyttelse mot rovdyr.



Torsk (*Gadus morhua*). Foto: © Fredrik Naumann, Samfoto

Lodda er i dag sterkt knyttet til faste gyteplasser utenfor Troms, Finnmark og Kolahalvøya. En forskyvning av bestanden øst- og nordover er det mest sannsynlige resultat av et varmere hav. På grunn av at lodda neppe er i stand til å foreta lange vandringer til gyteplassene, betinger dette imidlertid at lodda finner nye egnede områder å gyte i, for eksempel de grunne områdene vest for Novaja Semlja, og rundt Svalbard og øygruppene i det nordlige Barentshavet, som kan se ut til å passe lodda. En sannsynlig konsekvens av dette vil være at loddebestanden vil forsvinne fra de sørvestlige delene av Barentshavet der den har sin utbredelse i dag.

Torskebestanden har historisk sett vist betydelige svingninger over tid. Dette kan, sammen med fiskepress, forklares med variasjoner i klima. En temperaturøkning i størrelsesorden som forventet i løpet av dette århundret skal i utgangspunktet kunne føre til økt torskebestand. Hvis temperaturen øker ut over torskens optimale temperaturintervall vil bestanden likevel kunne reduseres.



Polartorsk (*Boreogadus saida*). Foto: Erling Svensen, UWPhoto.no

Polartorsk er en av de mest tallrike fiskeartene i Arktis. Den er det viktigste byttedyret for ringsel, hvithval og en rekke sjøfuglarter, og den utgjør rundt en tiendedel av maten til torskbestanden i området. Dette gjør den til en viktig brikke i økosystemet i Barentshavet. Polartorsken er en arktisk art tilpasset et liv i kaldt vann, og når havet blir varmere vil utbredelsen trolig forskyves mot nord og øst. I tillegg er det fare for at andre arter som trekker nordover kan gi polartorsken konkurranse om maten.



Figur 18: Forventet endring i utbredelse for våre viktigste fiskearter. Kilde: AMAP 2003

Sjøfuglene trues fra flere hold

Sjøfuglene i norsk Arktis livnærer seg hovedsakelig på dyreplankton og små fiskearter som lodde, tobis, sild og polartorsk. Dersom byttedyrenes utbredelse og forekomst endrer seg med endret klima, vil dette få konsekvenser for sjøfuglene. Man forventer at fuglene, så langt det er mulig, vil følge byttedyrene til nye områder.

Endringer i klima forventes å ha større effekt på reproduksjon og ungenes overlevelse enn direkte på den voksne bestanden. Dette vil særlig være tilfelle dersom klimaendringene fører til mindre tilgang på mat. Sjøfuglene er avhengige av å finne mat nært egnede hekkeplasser. Hvis klimaendringene fører til at sjøfuglene må fly lenger bort fra hekkeplassene for å finne mat, vil dette kunne få dramatiske konsekvenser for bestandene. Hekkesuksessen til sjøfuglene, altså om hekkingen gir levedyktige unger, er også avhengig av at tidspunkt for hekking og tilgang på mat faller sammen i tid. For lundefuglene er det påvist en



Lundefugler (*Fratercula arctica*) på Bjørnøya. Foto: Odd H Hansen, Norsk Polarinstitutt

sammenheng mellom hekkesuksess og tilgjengelighet av små sild som driver nordover utenfor norskekysten. Hvis ikke lundefuglene hekker samtidig som ungsilda er tilgjengelig i det aktuelle området, kan det føre til at langt færre unger overlever.

Nye arter i havet – ubudne gjester med ukjente konsekvenser

Endringer i artssammensetning i et område kan skje på flere måter. Fremmede arter er arter som er innført ved menneskelig hjelp, og er altså kommet til et område enten ved et uhell, for eksempel gjennom ballastvann, eller med overlegg, ved utsetting eller lignende. Nye arter er arter som selv har forflyttet seg til et nytt område, enten fordi det har åpnet seg nye vandringsmuligheter, eller på grunn av at miljøbetingelsene har endret seg slik at dette blir mulig. I tillegg kan en art etablere seg ved en kombinasjon av disse; en art som er introdusert i Nordsjøen av mennesker kan for eksempel selv spre seg og invadere Norskehavet og Barentshavet. Den viktigste transportveien for nye arter inn i norsk Arktis er havstrømmene.

Det kanskje mest kjente tilfellet av en fremmed art i norske farvann er kongekrabbe i Barentshavet. Etter at russiske forskere hentet millioner av kongekrabbelarver og flere tusen voksne krabber i Stillehavet og satt dem ut i Barentshavet på slutten av 1960-tallet, har kongekrabben nå spredt seg langs kysten av Nord-Norge. Krabben har nå en utbredelse til Nord-Troms som man kan regne med skyldes larvedrift og egenvandring. Enkeltindivider er observert så langt sør som utenfor Bergen, men dette dreier seg med all sannsynlighet om krabber som har fulgt med fiskebåter dit. I Varangerfjorden er det observert store effekter av kongekrabbe på bunndyrfauna, spesielt på de store bunndyrsartene. Kongekrabben er også mellomvert for en parasitt som kan smitte til torsk, og økte mengder kongekrabbe kan gi økt smitte. Samlet sett er det stor usikkerhet knyttet til hvilke effekter kongekrabben kan ha på økosystemet i Barentshavet. I utgangspunktet er kongekrabben en kaldtvannsart som foretrekker temperaturer mellom 2 og 7°C, men den overlever temperaturer opp til 18°C og har vist seg å være særdeles hardfør og tilpasningsdyktig til sine nye omgivelser.



Kongekrabbe (*Paralithodes camtschaticus*). Foto: Andrey Nekrasov, UWPPhoto.no

Snøkrabbe ble første gang observert langt øst i Barentshavet av russiske forskere i 1996. Senere har det blitt gjort flere observasjoner, også utenfor Finnmark. Man vet ikke hvordan snøkrabben har kommet seg til Barentshavet fra sitt naturlige utbredelsesområde på øst- og vestsiden av USA, men det er ingenting som tyder på at den har blitt satt ut med overlegg slik som kongekrabben. Effektene av klimaendringer på videre utbredelse av kongekrabbe og snøkrabbe er usikre, men siden snøkrabben foretrekker temperaturer under 3°C, vil den allerede med dagens havtemperatur neppe spre seg sørover i stort antall. Ytterligere temperaturøkning forventes å begrense sørlig utbredelse av både kongekrabbe og snøkrabbe, men grenser for nordlig utbredelse er ukjent.



Snøkrabbe (*Chionoecetes opilio*)
Foto: Eva Farestveit, Havforskningsinstituttet

Når det gjelder dyr som lever på bunnen, har artene som lever i tempererte havområder ofte større toleranse for endringer i temperatur enn de arktiske artene. En oppvarming av havene vil dermed medføre at sørlige arter raskt vil kunne etablere seg i Barentshavet. Sannsynligheten for dette økes også av at bunnlevende dyr som i dag lever i Norskehavet, men ikke i Barentshavet, ofte har larver som kan leve lenge i frie vannmasser og dermed transporteres med havstrømmene inn i Barentshavet. Er temperaturforholdene i Barentshavet innenfor grensene av hva disse organismene tåler, vil de kunne etablere seg der.



Sild (*Clupea harengus*) i stim. Foto: Erling Svensen, UWPhoto.no

Flere nye arter har etablert seg i, eller i grenseområdene til Norge, for eksempel japansk drivtang, japansk sjølyng, japansk spøkelseskreps og ribbemaneten *Mnemiopsis leidyi*. Det er ikke enkelt å forutsi konsekvensene av at nye arter eventuelt sprer seg nordover med Atlanterhavsstrømmen eller kyststrømmen, men det er grunn til å tro at det vil kunne ha betydelig effekt.

Klimaendringene i et økosystemperspektiv

Det er vanskelig å si noe sikkert om hvordan de enkelte deler av økosystemet i havet vil endre seg på grunn av klimaendringene. Dermed blir det enda mer komplisert å si noe sikkert om hvordan helhetsbildet kommer til å bli. Økosystemene i Barentshavet, utenfor Svalbard og utenfor Nord-Norge har utviklet seg under og tilpasset seg de naturlige klimavariasjonene, og ser ut til å ha en ganske stor tåleevne før det blir dramatiske endringer. Dersom temperaturen beveger seg utover normal klimavariasjon øker usikkerheten knyttet til økosystemets respons og tåleevne.

Uansett må vi regne med at klimaendringene fører til forandring i balansen mellom artene, og jo fortere klimaet endrer seg, jo større kan konsekvensene bli. Arter som enkelt kan endre diett ved endret byttedyrtilgang vil stå langt sterkere enn dem som har spesialisert seg og er avhengige av en eller få typer byttedyr. Høyere temperatur kan føre til økt antall arter i norsk Arktis, men det kan samtidig bli færre individer av hver art. I tillegg til de direkte klimaeffektene som høyere temperatur, må økosystemene også forholde seg til de indirekte effektene av en mulig endret sammensetning og utbredelse av arter. Økosystemene må altså tilpasse seg den samlede effekten av påvirkninger. Dermed er det viktig å poengtere at ytterligere menneskeskapt påvirkning på økosystemene, i tillegg til klimaendringene, øker sannsynligheten for negative konsekvenser. Slik påvirkning kan være overfiske, utslipp fra petroleumsvirksomhet og skipstrafikk og annen forurensning.

Variasjoner i klima gir klare utslag på bestandsstørrelsen til arter i nordområdene. Et eksempel er silda, hvor bestandene helt typisk øker de årene det er varmere enn normalt. Silda beiter på lodde-larver når den er til stede i Barentshavet, og dermed reduserer den loddebestanden. Dette har skjedd flere ganger. Hvis et varmere klima fører til økte bestander av sild, kan dette gi effekter også på andre fiskearter. Lodde er viktig mat også for torsken, og variasjoner i loddebestanden gir utslag i torskebestanden.

De forventede endringene i utbredelse av fisk kan også påvirke økosystemene i Barentshavet, for eksempel hvis sørligere arter som kolmule og makrell trekker inn i de vestlige deler av havet og beiter ned dyreplanktonet som bringes inn med strømmen. For de artene som lever lenger øst og er avhengig av dyreplankton, kan dette føre til mindre tilgang på mat. Ved en oppvarming av havene vil vi også kunne se en forflytning av grensene mellom arktisk og atlantisk vann. Disse grenseområdene har høy produksjon, og fisk, sjøfugl og marine pattedyr finner maten sin der. Konsekvensene av en slik forflytning er vanskelig å fastslå.



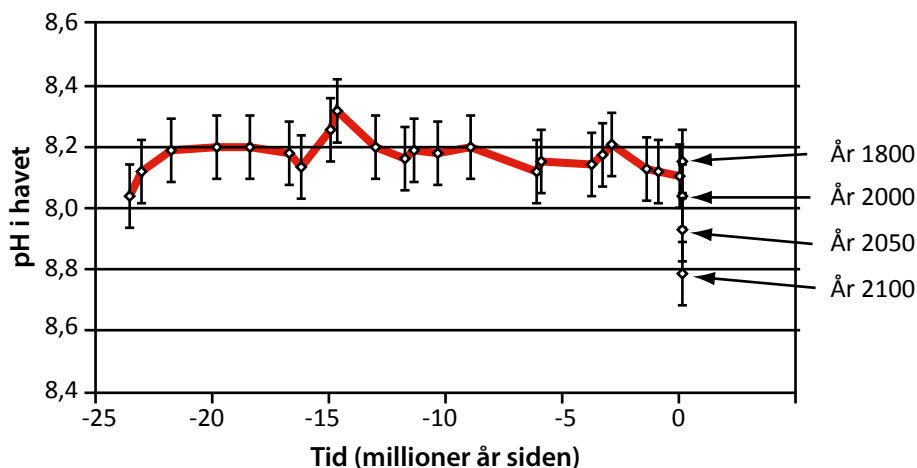


Nøkkelfunn 6: Havet forsures og korallene kan forsvinne

Frem til nå har havene vært en effektiv buffer for klimaendringer ved at de har absorbert mer enn 25% av den menneskeskapte CO₂ vi har sluppet ut siden starten av den industrielle revolusjon på slutten av 1700-tallet. Havene er enorme CO₂-lagre, men prisen for lagringen er høy: CO₂ oppløst i havvann reduserer pH, altså blir havvannet surere av våre utslipp.

Rask og målbar forsuring

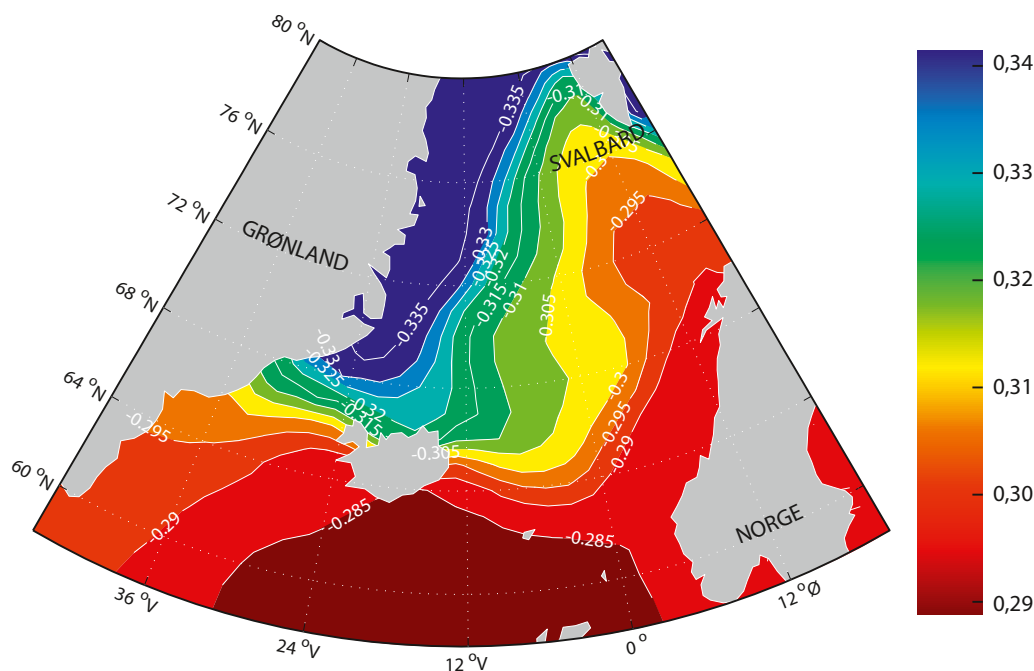
Havene er allerede blitt målbart surere flere steder, og det forventes en nedgang på 0,2–0,3 pH-enheter i overflatelagene de neste 100 år dersom utslippene av CO₂ fortsetter å øke som i dag. Forsuringen forventes i tillegg å bli større i kaldt, arktisk vann enn ved tropene. Dette gjør at vi kommer til å se effekter tidligere i de nordligste norske havområdene. Mest sannsynlig har ikke gjennomsnittlig pH i havet vært under 8,0 på mange millioner år. Beregninger for de neste 100 år viser at vi vil kunne få surhetsgrader i havene som ikke har forekommet de siste 20 millioner år.



Figur 19: Sannsynlig forhistorisk utvikling av pH i havet kombinert med beregninger for fremtiden. Kilde: Blackford & Gilbert 2007, modifisert etter Pearson & Palmer 2000

Hvor lav kan pH'en komme til å bli?

Modellberegninger viser at det kommer til å bli surere i både Norskehavet og Barentshavet, men nivåene vil variere regionalt. Dette henger sammen med de store strømsystemene og vannmassenes kjemiske og fysiske egenskaper.



Figur 20: Endring i overflate-pH i Norskehavet fremskrevet for året 2075, forutsatt doblet konsentrasjon av CO₂ i atmosfæren. Havforsuringen vil bli mest alvorlig i de arktiske områdene. Kilde: Omarbeidet fra Bellerby et al. 2005

Det viser seg at den største reduksjonen i overflate-pH kan komme i den vestlige delen av Norskehavet, og den minste sør for Island-Færøyene-ryggen. Det største problemet med forsuring er at den ser ut til å øke raskt, samtidig med at vi ikke vet nok om hvilke konsekvenser det vil ha verken for enkeltarter eller økosystemer. Parallelt med innsatsen for å bremse forsuring utviklingen må det derfor forskes på området. Det er blant annet begrenset kunnskap om forsuring i regional målestokk, slik at utslag i de enkelte deler av havet ikke er mulig å beskrive. Noen arter viser seg også å være mer tolerante for reduksjon i pH, slik at forsuring kan gi lokale og regionale utslag i endringer i artssammensetning.

Dobbelt trøbbel

Forsuringa er en trussel som kommer på toppen av klimaendringene, og de arter som trues av forsuring presses da fra to hold. Forsuring vil være en utfordring for marine kalkdannende organismer, fordi det blir mer energikrevende å danne kalkskall, skjell og koraller, ettersom vannets kalsiumkarbonat blir vanskeligere tilgjengelig for dem. Kalkskall dannes av to typer kalk, aragonitt (hos for eksempel koraller og vingesnegl) og kalsitt (hos mange planktonarter, snegler og skjell). Aragonitt er lettere løselig enn kalsitt, slik at de organismene som bygger sine skall av aragonitt tidligere vil kunne oppleve effekter som følge av forsuring. Hvis havet når kritiske verdier kan skallet til skjell og snegl til slutt gå i oppløsning. Det er allerede prosesser i gang som medfører at havvannet tærer på for eksempel vingesnegl. Koraller er blant de bunndyrene som først vil merke konsekvensene av forsuring og endringer i CO₂-mengden i vannet. En videre utvikling i denne retning er derfor bekymringsfull. Sannsynligvis vil vi se en effekt på koraller allerede innen 2025. Store deler av dypvannskorallene i Norge vokser på dyp der vannkjemien kan nå kritiske verdier ved slutten av dette århundret. Redusert pH kan også påvirke algene, både planteplankton og tang og tare. Spesielt alger som danner kalkskall er utsatt. Som for dyrene vil det koste mer å bygge kalkskall og får vi kritiske pH-verdier kan vi risikere at noen arter forsvinner fra våre økosystemer. For de bunndyrene viser det seg at larvene er mer følsomme for forsuring enn de voksne individene, noe som kan endre sammensetningen av bunndyr.



Glasskoraller (*Lophelia pertusa*). Foto: Pål B Mortensen, Havforskningsinstituttet



Vingesnegl (*Limacia helicina*). Foto: Erling Svensen, UWPhoto.no

Mange av dyreplanktonartene i norsk Arktis har skall av kalk, så de kan være sårbare for forsuring. Det ventes både direkte fysiologiske og indirekte økologiske effekter av forsuringen, men foreløpig er det stor usikkerhet om hva som kommer til å skje. De organismene man har gjort forsøk med viser stor variasjon i respons på redusert pH, både mellom beslektede arter og innen samme art. Flere studier er også gjort på mye lavere pH-nivåer enn det som er beregnet for havene i norsk Arktis, og resultater derfra kan ikke overføres direkte i forhold til forventet pH-utvikling i norsk Arktis.

I tillegg til en negativ effekt på skall og skjell vil forsuring kunne påvirke andre organismers tilstand, ved at de fysiologiske prosessene kan bli mer energikrevende i et havmiljø med lavere pH. Dette betyr at de bruker mer energi på å opprettholde de normale livsfunksjonene. Voksen fisk er sannsynligvis mindre sårbar for forsuring av havet enn bunnlevende, kalkdannende dyr, og ingen studier viser påvirkning på fisk ved den forsuringen som er forventet frem til 2025. Det er likevel allerede utført forsøk som viser at anemonefisk mister luktesansen ved lav pH og høy CO_2 , og at torsk bruker mer energi på å opprettholde livsnødvendige funksjoner. Tidlige livsstadier som embryoer og larver kan imidlertid være langt mer sårbare for forsuring enn voksen fisk. Hvis så er tilfelle er det et problem, for bestandsstørrelsen kan reduseres dersom mange embryo og larver dør. I tillegg vil fisk kunne bli påvirket indirekte hvis byttedyrene blir påvirket og etablerte næringskjeder bryter sammen.



Grøt fjorden på Kvaløya ved Tromsø. Foto: © Bjørn Jørgensen, Samfoto

A close-up photograph of a green evergreen tree branch, likely a spruce or fir, with numerous small water droplets clinging to the needles. The background is a soft, out-of-focus green forest. The lighting is natural, highlighting the texture of the needles and the glistening water droplets.

Nøkkelfunn 7: Skogen brer seg nordover og i høyden

Kysten av Nord-Norge har et ganske mildt og fuktig klima, mens innlandet har et tørt og betydelig kaldere klima. Landskapet i Nord-Norge domineres av store fjellområder, skogbevakste daler og kyststrøk. Sammenlignet med resten av Norge, har Nord-Norge noe mindre vernet areal, men store områder er likevel lite påvirket av menneskelige inngrep. 72% av de villmarkslignende områdene i Norge befinner seg i de tre nordligste fylkene.



Økosystemene på land endres

Klima påvirker de landlevende artenes utbredelse og tetthet. Plante- og dyrearter har en grense for hvor lave temperaturer de kan tåle, og de er avhengige av egnede snøforhold og lengde på snøsesongen. Et mildere klima vil kunne gi økt utbredelse av mange arter inn i tradisjonelt kaldere områder. Generelt kan vi si at et varmere og fuktigere klima kommer til å gi store effekter på økosystemene. Dette gjelder både for sammensetningen av arter, hvordan de ulike artene påvirker hverandre og hvilke arter som vil dominere. De største forandringene vil komme på grunn av lengre sommersesong når temperaturen øker. Dette vil generelt sett gi planter bedre vekstvilkår, og gi mulighet for at sørlige arter etablerer seg lenger nord og at arter som allerede finnes i området kan vokse høyere opp i fjellet enn de kan i dag.

Tidligere vår vil gi tidligere sesongstart for både planter og dyr, og vekstsesongen øker også i lengde. Den totale effekten av klimaendringene er vanskelig å forutsi ettersom artene er tett knyttet sammen i et økosystem. De konkurrerer om føden eller vokse- og leveområdene, noen arter er føde for andre arter og de påvirkes av eventuelle oppblomstringer av parasitter. Disse tette forbindelsene kan gi helt andre konsekvenser enn forventet. I tillegg er det til en viss grad også tilfeldigheter som styrer hvilke arter som immigrerer fra sør og hvilke lokale arter som dør ut, men slike endringer kan gi en overraskende utvikling for økosystemene.

Skogen trekker inn i nye områder og dyrene følger etter

Den tydeligste forandringen i Nord-Norge vil være økt utbredelse av barskog. Barskogen vil bre seg nordover og høyere opp i fjellene de neste 100 år som følge av økt temperatur. På samme måte forventes bjørkeskogen å bre seg nordover og oppover i fjellet, slik at skogdekket areal i Nord-Norge øker betydelig. En temperaturøkning på 2°C kan flytte skoggrensa med ca. 300 meter opp i fjellet. I Nordland og Troms utgjør høydesonen mellom 300 og 600 moh. nesten 30% av landarealet som antas å kunne dekkes av produktiv skog. I Finnmark er potensialet for økt skogsareal større, der ligger 95% av arealet under 600 moh. og 42% under 300 moh. I tillegg til klimatiske forhold begrenses bjørkeskogens utbredelse av beitepress fra rein og insektlarver i høyden. Bjørkeskogen begrenses nedenfra av en ekspanderende barskog. Hvis bjørkeskogene reduseres og deles opp, vil bestandene av blant annet lav, sopp og insektarter som er spesielt knyttet til bjørkeskog kunne bli redusert. Bestanden av lirype vil også kunne bli skadelidende, noe som blant annet vil påvirke mulighetene for jakt. En reduksjon i arealet av fjellområder og bjørkeskog vil kunne ha effekter på arter som jerv, rein, hare og lemen. Dyr og planter som er knyttet til barskog vil øke sin utbredelse og oppnå større bestander når barskogen ekspanderer. I Nord-Norge gjelder dette dyr som bjørn, elg, mår, ekorn, storfugl og orrfugl. Rådyr finnes i dag i meget små bestander og er sannsynligvis begrenset av lange vintre og mye snø i skogene, men mildere og kortere vintre med mindre snø vil kunne gi både dem og hjorten et grunnlag for voksende bestander i Nord-Norge.

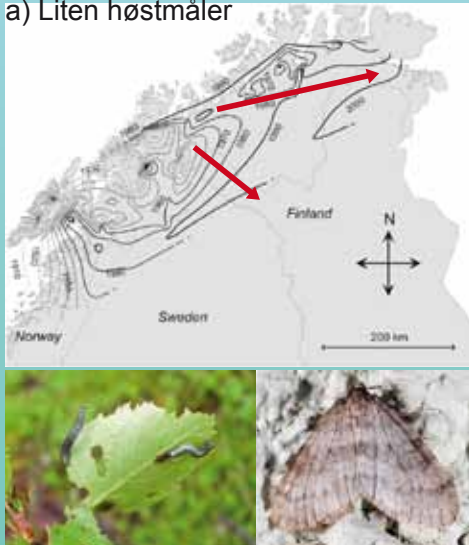
Snø beskytter vegetasjonen mot vær, vind og nedbeiting. Både snøens dybde og snøens struktur er viktig for mange arter. Blåbær, for eksempel, er avhengig av et beskyttende snødekke, og snømangel om vinteren kan gjøre store skader på blåbærplanter. Små dyr som lever under snøen får beskyttelse mot rovdyr. Rein og andre dyr som er avhengig av å beite på bakken under snøen kan oppleve at maten er vanskelig å få tak i når det er mye snø. Når varme perioder med smelting og regn vinterstid etterfølges av kulde, kan det dannes isdekke på bakken. Mildere vintre øker sannsynligheten for ising på barmark, som kan forårsake at planter dør på grunn av isbrann, og gjøre det vanskelig for planteetere å få tilgang til mat.



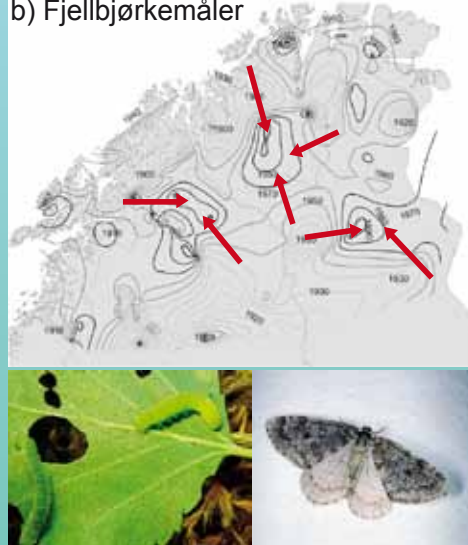
Larveangrep på nordnorske skoger

Sommerfuglene liten høstmåler og fjellbjørkemåler har begge økt sin utbredelse betydelig de siste 100 årene på grunn av økte vintertemperaturer. Disse sommerfuglene kan medføre massiv skogsdød når larvene deres beiter ned bladverket i bjørkeskogen flere år på rad. Liten høstmåler har hatt en markant økning mot nord og øst, mens fjellbjørkemåleren har trukket inn i de kaldeste innlandsområdene i Nord-Norge. Dette medfører at vi nå kan oppleve målerutbrudd med betydelige effekter på bjørkeskogen over hele Nord-Norge. Begge disse sommerfuglartene overvintrer som egg, og eggene har høy dødelighet ved lave temperaturer. De siste 15 år har antall tilfeller av ekstremt lave vintertemperaturer blitt redusert, noe som synes å være hovedårsak til sommerfuglenes økte utbredelse.

a) Liten høstmåler



b) Fjellbjørkemåler



Figur: 21 a) Liten høstmåler og b) fjellbjørkemåler kan forårsake betydelige skader på bjørkeskogen ved at larvene beiter ned bladverket. Konturlinjene viser år for første rapporterte utbrudd, mens de røde pilene antyder i hvilke retninger artene har økt sin utbredelse. Kilde: Omarbeidet etter Jepsen et al. 2008. Foto av larver fra www.birchmoth.com, foto av voksne målere Arne C Nilssen

Mange insekter og andre virvelløse dyr vil påvirkes sterkt av økt vår- og sommertemperatur da de gjerne utvikler seg raskere fra egg til voksent stadium ved høyere temperatur. Dette kan føre til større forekomst av insekter som klarer å formere seg flere ganger gjennom sesongen enn det de gjør i dag. En tidligere vår har vist seg å få mange fuglearter til å trekke tidligere til hekkeområdene. Det er viktig for de fleste fuglearter at hekkeperioden sammenfaller med perioder med god mattilgang, for å sikre tilstrekkelig mat til oppfostring av unger. Særlig er mengden insekter viktig for mange fuglearter. Trekkfuglearter som har klart å justere hekkesesongen etter tidspunktene for god mattilgang har klart seg bra de siste 50 årene, mens de som ikke har gjort det har klart seg tilsvarende dårlig.

Effekter på rovdyrbestandene vil sannsynligvis først og fremst komme indirekte gjennom klima-effekter på byttedyrbestandenes størrelse. I tillegg vil arter knyttet til skog – for eksempel gaupe – kunne øke sin utbredelse og bestandsstørrelser. Det forventede bortfallet av lemenår vil ha stor betydning for fjelløkosystemet i Nord-Norge slik vi kjenner det i dag, der mange av artene – som fjellrev, snøugle, røyskatt og fjelljo – i stor grad lever av lemen og andre smågnagere.



Lemenårene er kanskje omme

Smågnagerne i nordområdene er kjent for sine relativt forutsigbare variasjoner i bestandsstørrelse og store betydning i økosystemene. Siden begynnelsen av 1990-tallet kan det se ut som om variasjonene i smågnagerbestandene har avtatt i Nord-Norge, ettersom det ikke har vært observert store lemenår siden slutten av 1980-tallet. Dårlige snøforhold på grunn av milde vintre kan være en hovedårsak til at lemenårene har uteblitt både i Sør-Norge og Nord-Norge.

De enorme tetthetene av smågnagere man kan oppleve i toppårene, kalt muse- og lemenår, kan både ha betydelig effekt på vegetasjonen og utgjøre økt matgrunnlag for middels store rovdyr. Fortsatt uteblivelse av lemenår vil ha stor betydning for fjelløkosystemet i Nord-Norge slik vi kjenner det i dag. Mange av rovdyrene, slik som fjell-



Lemen (*Lemmus lemmus*). Foto: © Pål Hermansen, Samfoto

rev, snøugle, røyskatt og fjelljo har spesialisert seg på smågnagere og kan oppleve nedgang i bestandene. Det er grunn til å tro at snøugle og fjellrev på fastlandet kan forsvinne helt uten en betydelig og kontinuerlig forvaltningsinnsats.

Barfjellsområdene krymper

Fjelløkosystemene, som ikke er skogbevokst, forventes altså å reduseres på grunn av skogen som brer seg nordover og oppover i fjellene. Dette vil gi mer begrensede områder for de artene som lever i fjellet. I tillegg er disse økosystemene allerede i dag sterkt påvirket av klimaforandringene gjennom reduserte smågnagerbestander, som igjen gir reduserte bestander av de rovdyrene som i stor grad lever av smågnagere. En videre utvikling mot mildere vintre gir lite håp om at for eksempel bestandene av snøugle og fjellrev vil kunne reddes uten en betydelig og kontinuerlig forvaltningsinnsats. Reinen vil også kunne oppleve negative effekter av reduserte barfjell- og bjørkeskogsområder, og mildere vintre kan gjøre maten vanskeligere tilgjengelig på vinterbeite, blant annet på grunn av ising. Om sommeren vil derimot økt temperatur kunne føre til bedre tilgang på føde, men samtidig større problemer med parasitter og mygg. Det er ingen grunn til å tro at reindriften vil måtte legge ned på grunn av disse forholdene, men det er sannsynlig at deler av arealet som benyttes i dag blir uegnet for reindrift. Vierkratt er viktig for en lang rekke arter i fjellet, både som mat og beskyttelse. Dette gjelder for rype, hare, spurvefugler og mange insekter. Totalt i hele Arktis har vierkrattens utbredelse økt med høyere temperaturer, men for Nord-Norge ser utviklingen ut til å gå i motsatt retning. Årsakene er ikke klare, men det kan skyldes beitepresset fra den økte reinbestanden i området. I så tilfelle kan reinbestandene være med på å holde nede størrelsen på rype- og harebestandene.

Isolerte økosystemer på Svalbard og Jan Mayen

Svalbard er en isolert øygruppe dekket av store fjellområder som er oppdelt av fjorder, daler og isbreer. Over halvparten av arealet på øygruppen er vernet som nasjonalparker og naturreservat. Alle områder på øygruppen er preget av arktisk klima, permafrost og lite vegetasjon.

Nye arter må evne å spre seg til øygruppen for å kunne etablere seg. Planter, mikroorganismer, virvelløse dyr og fugler vil generelt sett kunne klare å spre seg til og etablere seg på fjerntliggende øyer dersom de klimatiske forholdene der tillater det. Pattedyr som lever på land har derimot større problemer med å forflytte seg over større havområder. Dette beskytter de landlevende pattedyrene på Svalbard mot økt konkurranse fra invaderende sørlige arter. Særlig fjellreven kan ha nytte av dette, da den på Svalbard ikke vil presses av invaderende rødrev, slik bestander i kontinentale områder nå blir. På den andre siden, hvis fremtidige klimaendringer medfører at landlevende pattedyr dør ut, er det liten grunn til å tro at nye tilsvarende arter kommer til. Deres viktige funksjoner i økosystemene kan dermed bli helt borte, med det resultat at økosystemene forandres helt. Dersom byttedyrene til fjellreven påvirkes, vil dette også kunne ramme fjellreven. Særlig vil bestandsutviklingen til de viktigste byttedyrene om vinteren være avgjørende; sel, rein og rype. Vi har i dag for liten kunnskap om svalbardrypa til å kunne si noe om hvordan den vil reagere på klimaendringer. Svalbardreinen vil kunne tjene på at det vokser mer planter og at somrene blir lengre, men på en annen side vil det kunne medføre problemer at vintrene blir mildere og mer regnfulle. Økt sommertemperatur vil medføre økt mygg- og parasittplage. Nye parasitter kan også etablere seg og føre til problemer for reinen. Bestandsvekst over de siste ti årene tyder på at den positive effekten av bedre fødetilgang sommerstid kan ha vært større enn de negative effektene av økt ising vinterstid, men man vet ikke hvordan dette vil kunne utvikle seg. Bestandsutviklingen må følges over lengre tid for å kunne trekke sikre konklusjoner.

Ved økt sommertemperatur og forlenget vekstsesong vil plantene kunne vokse mer og bedre, noe som vil redusere den nåværende mosedominansen. Vi kan også oppleve at en del sørligere plantearter vil klare å etablere seg på øygruppen, men det er ikke grunn til å tro at klimaet vil tillate etablering av stående trær og vierkratt på Svalbard de neste 50 årene.

Jan Mayen ligger isolert i havet og kan i all hovedsak karakteriseres som upåvirket villmark. Klimaet er relativt mildt om vinteren og kaldt med mye tåke om sommeren. Kunnskapsgrunnlaget om Jan Mayen er begrenset, men sannsynligvis vil mer varmekjære planter, sopp, lav og virvelløse dyrearter øke sin utbredelse på øya i et varmere klima.

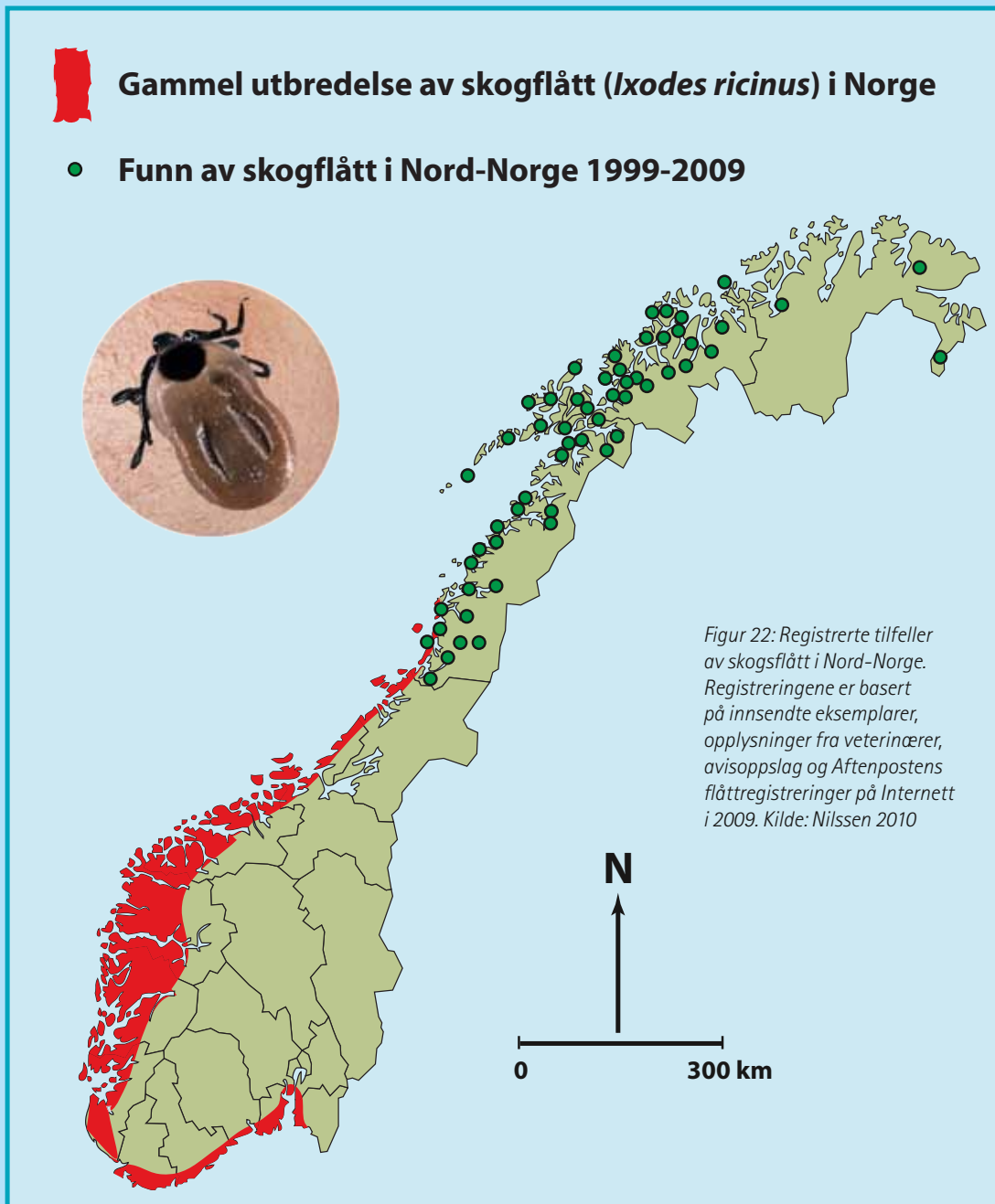
Parasitter – vinnerne i et nytt klima?

En parasitt er en organisme som lever på eller i en annen organisme, både planter og dyr, og som medfører skade for verten. Som for så mange andre organismetyper vil klima kunne påvirke også parasitters utbredelse og tetthet. Mange parasitter vil utvikle seg raskere, og oppsøkende arter vil kunne bli mer aktive når det blir varmere. Mange parasitter lever også deler av livet i bitende leddyr som mygg, knott eller flått, og spres av disse. Mellomvertene er også mer aktive ved høy temperatur enn ved lav. Slike forhold medfører at flere av de parasittene som lever på og i rein opptrer i større mengder ved høyere temperatur. De fleste parasitter er avhengig av spesifikke arter som de lever på og i, og de smitter lettere ved høye tettheter av vertsartene. Når klimatiske forandringer bidrar til etablering av nye arter eller økte bestandsstørrelser i et område, medfører dette gjerne også at nye parasittarter etablerer seg i området, og at infeksjonsnivået øker. Klimatiske forhold kan i tillegg redusere vertenes motstandsdyktighet mot parasittsmitte. Et eksempel på dette er knopp- og greintørkesopp hos furu. Den angriper vanligvis trærne bare når trærne har fått skader gjennom vinteren.



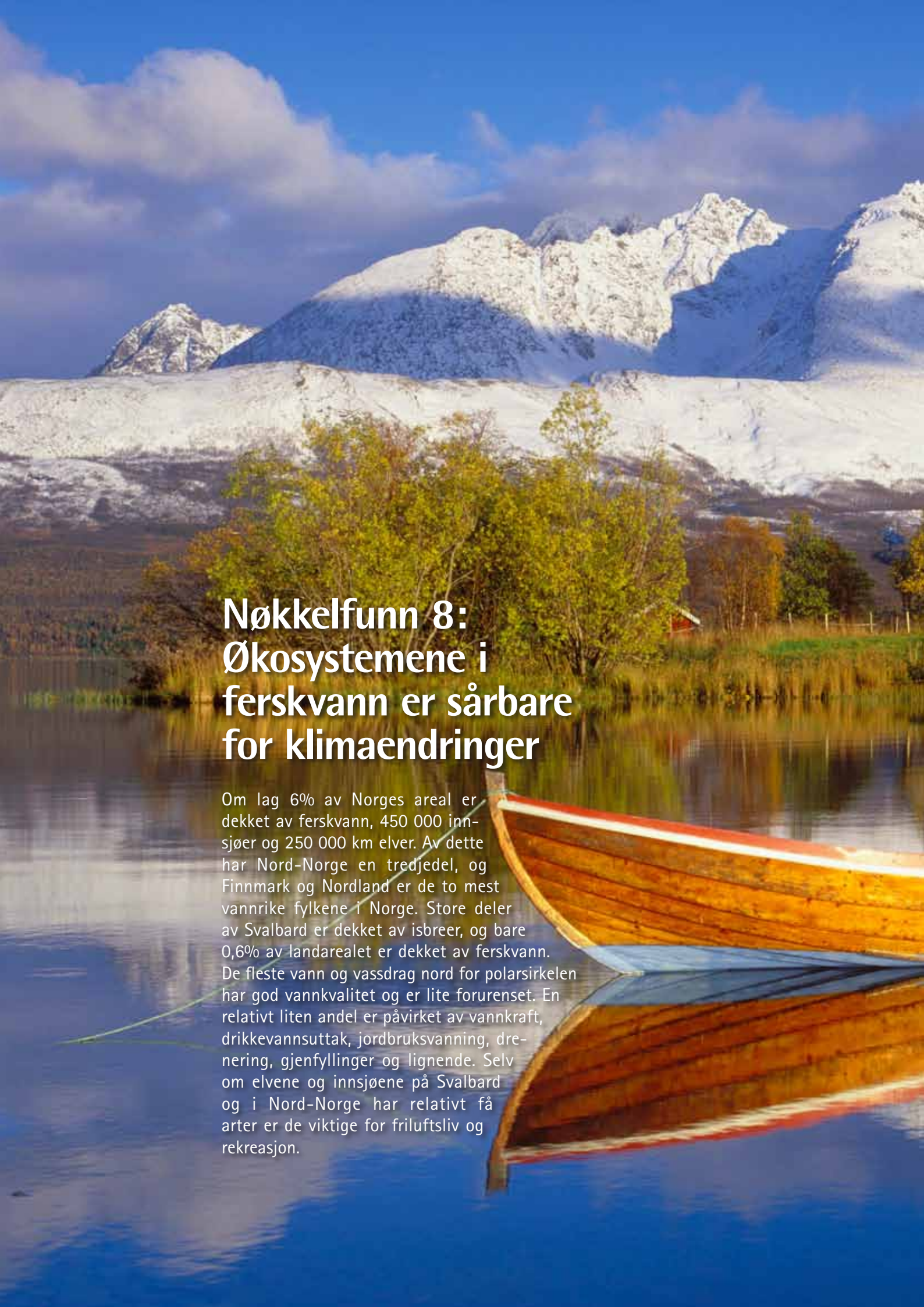
Flåtten – en liten blodsuger på vei inn i Nord-Norge?

Flåtten er en liten blodsugende parasittisk midd som man de siste årene har registrert flere ganger i Nord-Norge helt opp til Finnmark. Man vet ikke om det økte antallet observerte flått betyr at arten har etablert seg, eller om det er spredte forekomster som bringes til regionen av fugler eller på andre måter. Et fuktig og mildt kystklima synes å gjøre det lettere for flåtten å etablere seg, og tyder på at den vil kunne utvide sitt leveområde etterhvert som klimaet endres. Hjort og rådyr er sluttvert for flått i Sør-Norge. I Nord-Norge er det et mysterium hvilken art som eventuelt er sluttvert, ettersom det er så sparsomt med hjort og rådyr. Rein og elg synes ikke å være gode verter for flått. Flåtten kan være bærer av alvorlige sykdommer, og det er de siste årene registrert et økende antall av den bakterielle sykdommen borreliose i Norge, som kan overføres via flått. Antall registrerte flåttangrep i Nord-Norge øker også.





Midnattsol i Skjellesvikskaret i Ballangen, Nordland. Foto: © Bård Løken, Samfoto

A scenic landscape featuring snow-capped mountains in the background, a forest of trees with autumn foliage in the middle ground, and a wooden boat on a calm lake in the foreground. The sky is blue with some clouds.

Nøkkelfunn 8: Økosystemene i ferskvann er sårbare for klimaendringer

Om lag 6% av Norges areal er dekket av ferskvann, 450 000 innsjøer og 250 000 km elver. Av dette har Nord-Norge en tredjedel, og Finnmark og Nordland er de to mest vannrike fylkene i Norge. Store deler av Svalbard er dekket av isbreer, og bare 0,6% av landarealet er dekket av ferskvann. De fleste vann og vassdrag nord for polarsirkelen har god vannkvalitet og er lite forurenset. En relativt liten andel er påvirket av vannkraft, drikkevannsutttak, jordbruksvanning, drenering, gjenfyllinger og lignende. Selv om elvene og innsjøene på Svalbard og i Nord-Norge har relativt få arter er de viktige for friluftsliv og rekreasjon.





Foto: Øystein Overrein

Livet i ferskvann styres av miljøforholdene

Økosystemer i ferskvann er følsomme for klimaendringer. Det er mengden næringsstoffer som danner grunnlag for produksjon av alger og andre planter. Plantematerialet er næringsgrunnlag for bunndyr og virvelløse dyr som igjen er føden til fisk. Økt vanntemperatur kan gi økt oppblomstring av alger, og dette kan påvirke alle andre deler av økosystemet. Næringsforholdene i innsjøene i Nord-Norge og på Svalbard, og dermed veksten til organismene som lever der, varierer med de klimatiske forholdene. I tillegg til at mengden næringsstoffer avgjør grad av algeoppblomstring i vannet, påvirker temperatur og snømengde også økosystemene. Noen innsjøer mottar store næringsmengder fra havet, slik som Ellasjøen på Bjørnøya. Der hekker tusenvis av alkekonger i fuglefjell like ved havet, mens krykkjer bruker innsjøen som badeplass. Sjøfuglene lever av fisk og krepsdyr fra havet, og tilfører Ellasjøen store mengder organisk materiale gjennom guano (fugleskit). Ellasjøen er derfor spesielt næringsrik, men også andre innsjøer i norsk Arktis har noe høyere næringsproduksjon på grunn av sjøfugl i nærområdet.

Generelt er det få arter i ferskvannssystemene i Nord-Norge og på Svalbard. Dette skyldes begrensede spredningsmuligheter etter siste istid, artenes miljøkrav og de spesielle miljøforholdene. På vest- og nordvestkysten av Svalbard er det flere vassdrag med røye, som er den eneste ferskvannsfisken som finnes på Svalbard. I noen av disse vassdragene foretar røye beitevandring til havet om sommeren dersom elvene er åpne. Endringer i klima vil både kunne påvirke levestandardene til fisk og dyr i innsjøene, samt vandringsmulighetene for disse sjørøylene.

Isforhold om vinteren

Miljøforhold som temperatur, nedbør og solinnstråling varierer mye fra område til område i norsk Arktis. De fleste innsjøene på Svalbard og Bjørnøya er isfrie omtrent to måneder i året, og vanntemperaturen kan stige opp mot 6–7°C på sensommeren. I flere av innsjøene på Nordaustlandet på Svalbard tiner ikke isen hvert år, og vanntemperaturen sommerstid ligger oftest mellom 0 og 4°C. Tilførsel av næringsstoffer er svært lav i disse innsjøene. Kystnære



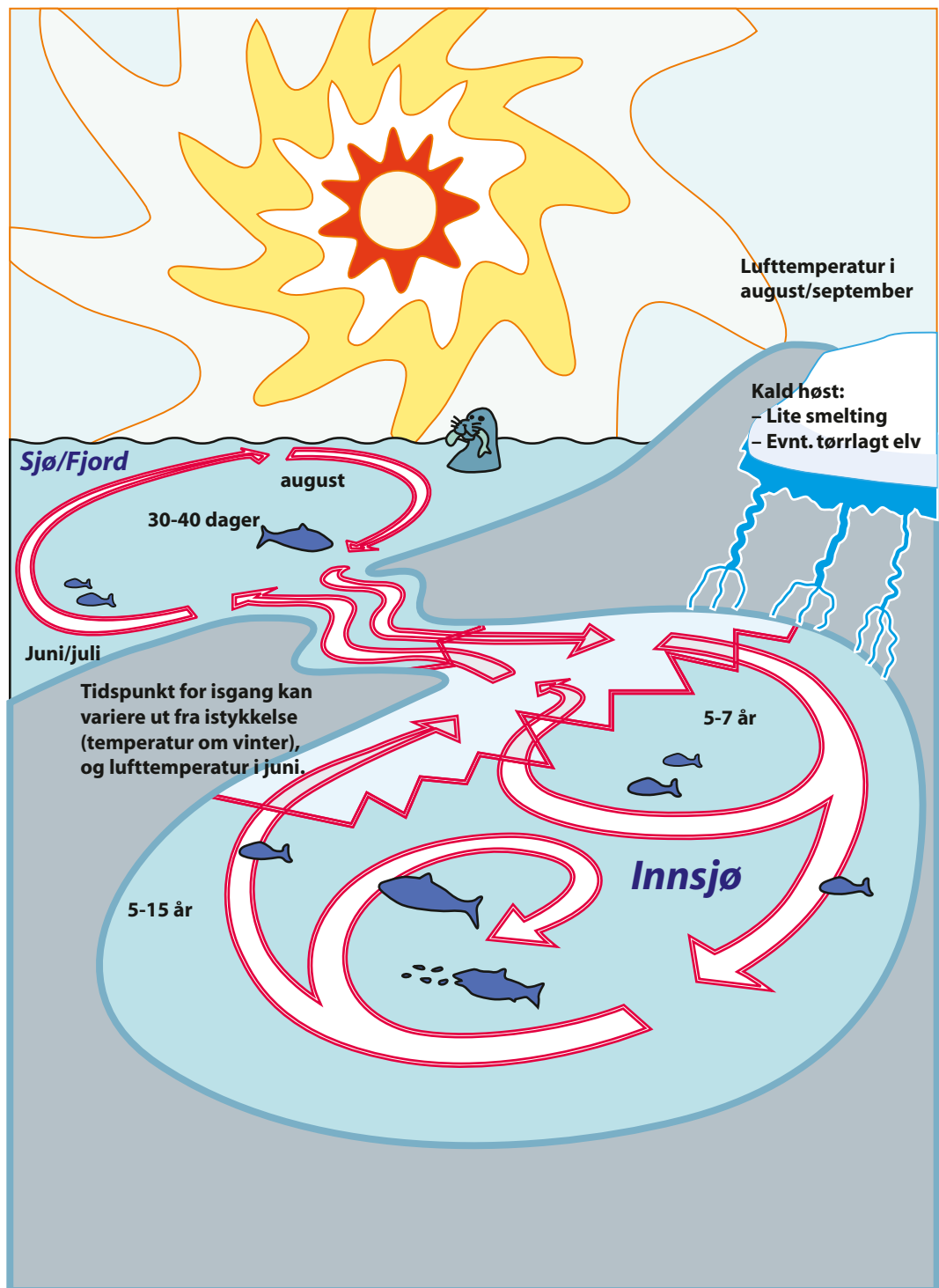
Røye (*Salvelinus alpinus*) i en glassklar elv i indre Troms. Foto: ©Henrik Strømstad, Samfoto

innsjøer i nordre Nordland og Sør-Troms derimot, kan være isfrie i seks måneder fra midten av mai til midten av november og overflatetemperaturen kan komme opp i 20°C på sensommeren. Innsjøer i Nord-Troms og Finnmark, samt innsjøer som ligger høyt til fjells, skiller seg ikke så mye fra typiske Svalbard-sjøer, bortsett fra på ett punkt: Det er mer nedbør på fastlandet enn på Svalbard, noe som har stor innvirkning på næringsforhold og isforhold i innsjøene. Isen på innsjøene på Svalbard er normalt tykk, klar og gjennomsiktig på grunn av lite nedbør og lav temperatur under tilfrysning. I områder med mer nedbør fryses snølag inn i isen som gjør den hvit og mindre gjennomtrengbar for sollyset. Dette har betydning for produksjon i innsjøene, da produksjon av planteplankton forutsetter sollys til fotosyntese.

Økt temperatur og mer nedbør

De neste 100 årene forventes det at både temperatur og nedbør vil øke i norsk Arktis, noe som vil påvirke vanntemperaturen i innsjøer og elver, permafrosten i bakken rundt innsjøene, istykkelsen gjennom vinteren, isens sammensetning av snø og islag, hvor lenge isen ligger, nærings-tilførsel fra land og mulige effekter fra isbreer og flom. Lengden av sommersesongen, og vanntemperatur i samme periode synes å være viktigst. Innsjøene langs kysten av Nord-Norge forventes å få en lengre isfri periode og en høyere vanntemperatur sommerstid. For innsjøene lengst øst i Finnmark, enkelte innsjøer på Svalbard, samt innsjøene høyt til fjells i Nord-Norge, forventes derimot at den økte nedbørsmengden kommer som snø, noe som faktisk kan føre til en lengre periode med isdekke.

De fleste større elvene i Nord-Norge vil trolig fryse til senere på året, miste isen tidligere og oppleve høyere flomnivåer på grunn av økt nedbør. På Svalbard er forholdene i elvene litt annerledes. Elvene er åpne bare et par måneder i året på grunn av permafrost og lite nedbør. Generelt vil de beregnede klimaendringene med økt nedbør og høyere temperatur om sommeren gi større vannføring i elvene og bedre vandringsmuligheter for sjørøya. Det mest kritiske på lengre sikt er imidlertid om breene eventuelt minker så mye at avsmeltingen om høsten stopper opp og



Figur 23: Røya gyter i ferskvann på senhøsten og yngelen klekker neste vår. Når røya blir seks-syv år og 15–20 cm foretar noen av fiskene en næringsvandring ut i havet på sommerstid, det vil si at de blir sjørøyer. Etter fem-seks uker vandrer de tilbake til innsjøen igjen for å overvintre. Neste sommer gjentas sjøvandringen og etter noen år med slike vandringer er sjørøyene blitt store, gytemodne og av flott kvalitet. På grunn av den gode mattilgangen i sjøen kan sjørøyene doble kroppsvekten i løpet av bare et kort sjøopphold. Utløpselvene i innsjøene på Svalbard er frosset eller tørre i omlag ti måneder av året og fungerer derfor som transportårer for sjørøya i knappe to måneder hvert år. Fisken vandrer ut i havet så snart isen på innsjøene smelter, slik at den etter en kort og hektisk periode skal rekke å vandre tilbake til ferskvann før elvene fryser til (tørker inn) igjen. Tidspunktet for når elvene åpner vil avhenge av istykkelse, snømengde og lufttemperatur. Om høsten vil små endringer i lufttemperatur direkte påvirke hvor lenge isbreene gir smeltevann og dermed oppvandringsmuligheter for røya. I enkelte år tørker/fryser elvene så tidlig at store mengder sjørøye dør under sjøoppholdet. De fremtidige klimaendringene, med høyere lufttemperatur og mer nedbør, vil kunne endre vandringsmulighetene til sjørøya. Kilde: Loeng et al. 2010

elvene tørrlegges før sjørøyene har vandret opp i ferskvann. Den antatt større snømengden om vinteren kan gi senere vårmelting og føre til at den perioden sjørøyene kan vandre ut i fjorden for å beite, ikke sammenfaller med tilgjengeligheten av byttedyr.

For innsjøer på Svalbard og i høyfjellet i Nord-Norge vil økt nedbør i form av snø kunne bidra til lavere primærproduksjon, senere isgang, lavere vanntemperatur og senere elveisløsning. Dette er fordi isen blir tykkere av at det fryses inn snølag i den. Hvit, ikke gjennomsiktig is reflekterer dessuten i større grad sollyset, og dermed smelter den senere enn klar, gjennomsiktig is. I mer lavtliggende kystvassdrag langs kysten av Nord-Norge vil imidlertid nedbør og høyere temperatur trolig føre til lengre isfrie perioder og høyere sommertemperatur i vann. Dette kan medføre økt dødelighet hos laksunger, ettersom de mister isens beskyttelse mot rovdyr og siden de bruker mer energi ved høyere vanntemperatur enn ved lav. Fettreservene laksungene danner om sommeren er avgjørende for overlevelsen om vinteren. Dersom vannet er varmere om vinteren, brukes disse reservene forttere opp. Høyere vanntemperatur i sommerhalvåret kan gi økt vekst hos laks, noe som vil kunne øke bestandene.

En stor andel av eksisterende innsjøer i Arktis er grunne dammer. Hvis permafrosten tiner, kan dette føre til at disse dammene forsvinner fordi vannet trekker ned i bakken. I Sibir og Alaska finner vi allerede i dag eksempler på dette.

Med økende havtemperaturer, slik vi har opplevd i havområdene utenfor Svalbard de siste årene, trekker mer varmekjære arter nordover. Stingsilda er en art som kan leve både i havet og i ferskvann, og de siste årene har det vært funnet stingsilda i to innsjøer i Isfjord-området på Svalbard. Det er fortsatt uvisst om stingsilda vil klare å etablere seg på øygruppen, men høyere havtemperatur vil øke sannsynligheten for at nye arter kan vandre opp i vassdragene.

Oppsummert kan vi si at endringene i klima trolig vil ha store og vidtrekkende effekter på flere deler av økosystemene i ferskvann i Nord-Norge og på Svalbard. Økningen i temperatur og nedbør vil påvirke økosystemene på en sammensatt måte, og den kan ha både kortvarige og langvarige effekter. Til nå er ferskvannsystemene i Arktis generelt lite kartlagt og undersøkt, det er derfor en stor utfordring å kunne konkretisere de samlede effektene av klimaendringene.



Nøkkelfunn 9: Infrastrukturen i nord er utsatt

Infrastruktur er fasiliteter av permanent art som er essensielle i et samfunn, for eksempel bygninger, jernbane, veger, flyplasser, havner, kraftanlegg, kraftlinjer, vannforsyning og avløp. Klimaendringene vil kunne påvirke store deler av samfunnets infrastruktur, både når det gjelder utforming, lokalisering og materialvalg. Forskjellige typer infrastruktur påvirkes ulikt av klimaendringene. For eksempel vil noen bygninger og installasjoner påvirkes av økning i nedbør, mens andre bygninger vil bli mer påvirket av flere ekstreme vinterstormer. I mange tilfeller er det en kombinasjon av ulike klimaforhold, for eksempel endring i nedbørmengde og vindretning samtidig, som får størst konsekvens. En effektiv beredskap på alle områder er avhengig av en god infrastruktur. Det er nødvendig med en kritisk gjennomgang av vegnett og strømforsyning, særlig med tanke på økt hyppighet av ekstremvær. For veg- og transportsektoren i nordområdene vil klimatilpasningen medføre tekniske utfordringer. En mindre sårbar infrastruktur kan komme til å kreve nye løsninger og nye materialer, for eksempel vegbyggingsmaterialer som er mindre følsomme for de forventede temperatur- og vannforholdene. Slike utfordringer gir også potensial for å utvikle kaldtklimateknologi og tekniske løsninger på enkelte av klimautfordringene. Klimaendringene kommer til å medføre spesielt én utfordring for transportsektoren: behov for økte investeringer til vedlikehold og drift av veg, jernbane, havne- og flyplassanlegg. Det er nødvendig å gjøre infrastrukturen mer robust for klimaendringer samt å styrke beredskapen for uønskede hendelser.



Havnivået kan utfordre i strandsonen

Sammenlignet med andre deler av verden vil ikke Nord-Norge og Svalbard oppleve en dramatisk effekt av havnivåstigningen ettersom landet fortsatt hever seg etter siste istid og kysten er forholdsvis bratt. Områder som Bangladesh, med lavtliggende deltaarealer, vil miste langt større landområder enn Norge. I slike områder vil et økt havnivå gi dramatiske konsekvenser for dem som bor der. Data fra tidevannsmålinger viser en global havnivåstigning på 1–2 mm per år gjennom 1990-tallet, og rekonstruksjoner viser at havet begynte å stige allerede på 1800-tallet, og med stadig større fart. Etter 1992 har man benyttet satellittobservasjoner for å overvåke det globale havnivået, og disse målingene viser en økning på litt mer enn 3 mm per år i perioden 1993 til 2008. Havnivåøkningen på 1900-tallet forklares hovedsakelig med at overflatevannet har utvidet seg ved oppvarming, samt at isen på Grønland, i Antarktis og flere mindre isbreer smelter. Nyere studier viser at det nå har skjedd et skifte hvor avsmelting av is på land er den dominerende faktoren som styrer havnivåøkningen, og i mindre grad utvidelse av vannet gjennom temperaturøkning.

↓ Hvorfor hever landet seg?

På slutten av den siste istiden var deler av Nord-Europa og Nord-Amerika dekket av et islag som var opptil tre kilometer tykt. På grunn av isens tyngde ble jordskorpen presset ned i jordmantelen, som er et seigtflytende lag av delvis smeltede bergmasser under jordskorpen. Da isen smeltet, begynte landet å stige igjen. Jordmantelen er så seig i de ytterste lagene at denne prosessen tar tusenvis av år. Landhevingen var størst straks isen hadde forsvunnet, men den pågår ennå. Man regner med at landhevingen kommer til å fortsette i ca. 10 000 år til.



Beerenberg på Jan Mayen. Foto: Johan Hustadnes, Norsk Polarinstitutt

Lokale og regionale beregninger av havnivået vil være nødvendig ettersom havet ikke forventes å stige likt over hele kloden. Studier viser at Norge kan forvente ca. 10 cm mer havnivåstigning enn det globale gjennomsnittet innen år 2100. Også internt i landsdelen forventes små forskjeller. Forskjellige beregninger av fremtidig havnivå kommer frem til noe forskjellige resultater. Dette henger sammen med at det legges ulike fremtidige nivåer av klimagassutslipp til grunn, og at beregning av smelting av for eksempel iskapen på Grønland varierer noe i ulike studier. Slik sett behefter det usikkerhet omkring størrelsesorden på havnivåstigningen, men det er stor enighet om at havet kommer til å stige.

Beregninger av havnivå er vanskelig å foreta, og i Arktis er det spesielt krevende fordi overvåknings satellitter ikke registrerer godt nok på de høye breddegradene. Ved fremskrivning av havnivåutviklingen må vi legge til grunn ulike globale utslippsberegninger, fordi de er med på å styre klimautviklingen. Landhevingen som fortsatt foregår etter siste istid varierer i Nord-Norge og på Svalbard, og havets lokale varmeopptak varierer også. Alt dette medfører usikkerheter i fremskrivning av havnivået. IPCC beregnet en global havnivåstigning på 10–90 cm i løpet av dette århundret. I tillegg tyder nyere studier på at vi kan forvente høyere havnivåøkninger globalt, ettersom temperaturøkningen og smelting av isbreer ser ut til å skje raskere enn IPCC konkluderte med i 2007. I rapporten som ble utarbeidet for NOU Klimatilpassing i 2009 (se faktaboks under Nøkkelfunn 11), beregnes rundt 40–95 cm havnivåøkning i Nord-Norge for perioden frem til 2100, korrigert for landheving. Dette vil kunne føre til utfordringer langs kysten, spesielt ved stormflo.

Mer flom og skred påvirker veg og jernbane

Mer nedbør og høyere temperatur forventes å medføre hyppigere flom i Nord-Norge. Store deler av dagens fylkes- og riksveger har mangelfullt og dårlig dreneringssystem, og de preges



Nytt boligkompleks bygd på fyllinger like over havnivå. Tomasjordnes i Tromsø. Foto: Torgrim Rath Olsen, Nordlys

også av et betydelig etterslep på vedlikehold. Når vi kan forvente hyppigere flom og endret nedbørsmønster som gir større mengder på kort tid, vil vegstandarden bli enda dårligere, og vi må kunne forvente at veger blir stengt oftere enn i dag. Mer ekstremvær kommer til å kreve større investeringer i vedlikehold og drift av veger og jernbane. I tillegg kan vi forvente flere vinterstengte veger på grunn av snøskred. Dette vil i sin tur påvirke varetransport og fremkommelighet for øvrig. Broer kan svekkes når de utsettes for høyere vannstand og sterkere strøm. Flere skred hele året vil også kunne begrense fremkommelighet på vegene. De mest skredutsatte nordnorske kommunene, Moskenes og Flakstad, opplever to-tre ganger hyppigere skred mot veg enn andre nordnorske kommuner. Det er behov for mer inngående studier av hva dette har å si for brukerne av vegene, og hvilke effekter dette har på økonomi, trygghet og mobilitet.

På samme vis som for vegene kan vi forvente at hyppigere flom og skred kan begrense fremkommeligheten for tog på Nordlandsbanen. I og med at jernbaner med fjelloverganger er spesielt utsatt for skred, er Nordlandsbanen en av de strekninger som vil bli mest berørt av klimaendringene, og det kommer til å bli behov for mer ressurser til vedlikehold på grunn av dette. Økt nedbør og høyere temperatur vil over tid redusere jernbanenettets bæreevne. I tillegg forventes det hyppigere fryse- og tineperioder i innlandet fra Nord-Trøndelag og nordover. Dette kan føre til mer frostsprengning i fjellet, og det stiller høyere krav til kontroll av fjellkvalitet i tunneler, fjellskjæringer og langs bratte partier. Økt vekst av vegetasjon kan føre til større behov for rydding av skog langs skinnegangene, men dette kommer også an på om vi vil oppleve større beitepress fra dyr og hvordan utviklingen i skogbruket kommer til å bli.

Forsinkede fly

Alle lufthavner i Norge forventes å bli berørt av klimaendringene, men flyplassene i Nord-Norge og langs kysten for øvrig blir mest sannsynlig mer berørt enn dem som ligger på innlandet og på Østlandet. Mange flyplasser er plassert på lave fyllinger eller flate partier nær sjøen, flere med bare få meters klaring til havet. Dermed er de i perioder utsatt for påvirkning fra havet, og denne typen påvirkning forventes å øke med klimaendringene. I tillegg vil driftsforholdene ved flyplassene påvirkes av andre forhold rundt klimaendringene: mer nedbør, endringer i vindretninger og vindstyrke, flere stormer, variasjoner i temperatur, intense lavtrykk, ising og tåke.

Nye seilingsruter og nye utfordringer

Reduserte mengder eller fravær av havis vil kunne føre til økt skipstrafikk gjennom Nordøstpassasjen, som forventes å være åpen for skipstrafikk større deler av året. Skip til og fra Øst-Asia vil kunne redusere reisestrekningen med inntil 40% ved å seile gjennom Nordøstpassasjen og enda mer ved å seile tvers over Polhavet, noe som kan medføre økonomiske og tidsmessige innsparinger. Økt skipsfart i nord medfører økte utslipp av skadelige stoffer direkte i Arktis, økt behov for sjøkartlegging, oljevernberedskap og annen beredskap og havnefasiliteter. Det vil også føre til utfordringer knyttet til havrett og ansvarsforhold ved eventuelle ulykker og utslipp. Utenfor den nordnorske kysten forventes skipstrafikken å øke, og dette gjelder også oljetransporten. Klimaendringene kan føre til vesentlige endringer i vind- og bølgeaktivitet i Barentshavet, samt flere og sterkere stormer. Samlet sett vil dette gjøre opprydding etter ulykker vanskeligere enn i dag, og medføre behov for styrket oljevernberedskap og annen beredskap mot ulykker. Økosystemene i disse sårbare områdene er spesielt utsatt for belastningene eventuelle ulykker kan medføre. Skip som ikke er bygget for høye bølger vil ikke kunne seile med samme regularitet som i dag, og hurtigbåt vil kanskje være den type fartøy som påvirkes mest av klimaendringer. Moloer som er bygget for dagens klima- og værforhold kan komme til å være underdimensjonerte for fremtidens ekstremvær.

Med økt skipstrafikk øker også risikoen for introduksjon av nye arter, blant annet ved ballastvann og dyr og alger som vokser på skipsskrog. Mange marine organismer har utviklingsstadier



Nordlandsbanen ved Skonseng, Nordland. Foto: © Espen Bratlie, Samfoto

hvor de flyter fritt i vannmassene, og kan dermed transporteres til nye områder i ballastvann-tanker. Økt skipstrafikk kan på denne måten gi et ytterligere press på økosystemer og arter som er sårbare for klimaendringer.

Økt petroleumsvirksomhet med nye utfordringer?

Økt havnivå, mer stormflo og eventuelle skiftninger i vindretninger kan gjøre havner og andre olje- og gassinstallasjoner mer utsatt for bølger. Dette vil øke behovet for endringer i de konstruksjonene som brukes i dag, og kan på sikt føre til økte kostnader for utvinning av olje og gass. Ising vinterstid er også en stor utfordring ved drift i arktiske strøk. Havområdene i det nordlige Barentshavet er i dag isdekket deler av året, og det er bare den sørlige delen av Barentshavet som er åpnet for petroleumsvirksomhet. Hovedbegrunnelsen for dette er konsentrasjonen av viktige og sårbare biologiske ressurser knyttet til polarfronten og iskanten. Hvis havisen forsvinner vil dette kunne føre til økt interesse for å få åpnet også dette området for petroleumsvirksomhet. En slik utvikling vil medføre betydelige utfordringer knyttet til regulering av virksomheten både med hensyn til utslipp og beredskap.

Effekter på vann og avløp

De kommunale rør- og ledningsnettene for vannforsyning og avløp vil påvirkes av større nedbørmengder. Flom kan føre til at nedgravde ledninger forskyves, skades eller tilstoppes av slam. Flom er også forventet å kunne skade pumpestasjoner og renseanlegg for avløp. Hvis pumpestasjoner faller ut kan resultatet bli utslipp av urensset kloakk og skader på eiendom og varer.

Vannforsyningen i kommunene er utsatt for ekstremnedbør og endringer i temperatur, nedbørmengde og havnivå. Effektene er knyttet til fare for redusert hygienisk sikkerhet, økt innhold av



Kraftledninger i fjellandskap, Nordland. Foto: © Jørn Areklett Omre, Samfoto

organisk materiale i drikkevannet, forekomst av alger og giftstoffer og forurensning gjennom høyere havnivå. Vannkildene i seg selv kan påvirkes, samt at ledningsnettet kan være mer utsatt for dannelse av algebelegg og mikroorganismer inni rørene dersom vannkvaliteten blir dårligere. Svikt i vannforsyning vil kunne ha meget store konsekvenser for folk og samfunn.

Bygninger

Bygninger er utsatt for klimarelatert påvirkning direkte gjennom været, og både langsiktige klimaendringer og brå omslag i været vil kunne påvirke materialene i bygg. På samme måte som for annen infrastruktur vil også endringer i grunnforholdene, flom og skred på grunn av økt nedbør og høyere temperatur, påvirke bygningsmassen. Stormflo kan gi fuktskader på bygninger som er nært havnivået. Sårbarhet varierer mye lokalt. I enkelte byer har det blitt mer vanlig å bygge boliger på fyllinger i strandkanten, og det er store usikkerhetsmomenter knyttet til effektene av havnivåstigning og økt uværsfrekvens på disse bygningene. Jord-, snø- og steinskred som berører bolighus er som regel dramatiske hendelser hvor både mennesker og bygninger kan bli skadet. Ved temperaturvariasjoner rundt frysepunktet kombinert med regn, kan porøse byggematerialer utsettes for frostsprengning, og et mildere og fuktigere klima vil gjøre at bygningsmaterialer råtner lettere. På Svalbard, der all infrastruktur er bygget på permafrost, kan den tinende permafrosten medføre utfordringer i fremtiden.

Energiforsyning og kraftproduksjon

Vannkraft dominerer Norges elektrisitetsforsyning, og både produksjon og distribusjon av vannkraft vil kunne påvirkes av klimaendringer. For det første vil klimaendringer kunne gi endrede nedbørsmengder til alle årstider. De forventede endringene i nedbør i Nord-Norge kan få konsekvenser for overflateavrenning og fyllingsgrad i vannmagasinene. Man kan forvente å måtte endre dimensjoneringen av både anlegg, dammer og overføringsnett. Økt nedbør vil også kunne føre til økt energiproduksjon i regionen, gitt at anleggene oppgraderes til å utnytte dette potensialet. En kombinasjon av is og vind kan representere en trussel for overføringsnettet. Elektrisitetsystemet er sårbart for ekstremvær, og ledningsnettet i ytre strøk av Nord-Norge er mer sårbart enn i indre strøk. Vindkraft vil påvirkes mindre av klimaendringene enn vannkraft, ettersom det store bildet er at endringene i normalvindforholdene forventes å være forholdsvis små. Likevel kan ekstreme vindhastigheter og isdannelse på vindturbinene påvirke hvilke teknologier og materialer vi må ta i bruk i fremtiden, samt hvor man kan plassere vindmøllene.

De største effektene på energisystemet i nord forventes likevel ikke å komme direkte fra klimaendringene, men heller fra globale utviklingstrekk som innebærer økt fokus på energiøkonomisering, energiomlegging og overgang fra fossile til fornybare energikilder. Økt etterspørsel etter fornybar energi kan gi grunnlag for eksport av energi og behov for å bygge ut linjenettet for å føre strøm ut av regionen.



*Havøygavlen Vindpark i Havøysund, Finnmark.
Foto: © Bård Løken, Samfoto*



Strømbruddet i Steigen kommune i januar 2007, som gjorde 1097 husholdningskunder, 134 næringslivskunder og 587 hyttekunder strømløse i nærmere seks døgn, er et eksempel på hvordan eldre og/eller dårlig vedlikeholdt kraftforsyningsinfrastruktur kan være sårbare for ekstreme værhendelser. Her var det sterk vind som var utløsende for direkte skader på linjer og master, samt indirekte via trefall, som førte til brudd på ledningene på distribusjonsnettet. Foto: Nord-Salten Kraftlag



Gårdsbruk i Kassfjorden ved Harstad i Troms. Foto: © Trym Ivar Bergsmo, Samfoto

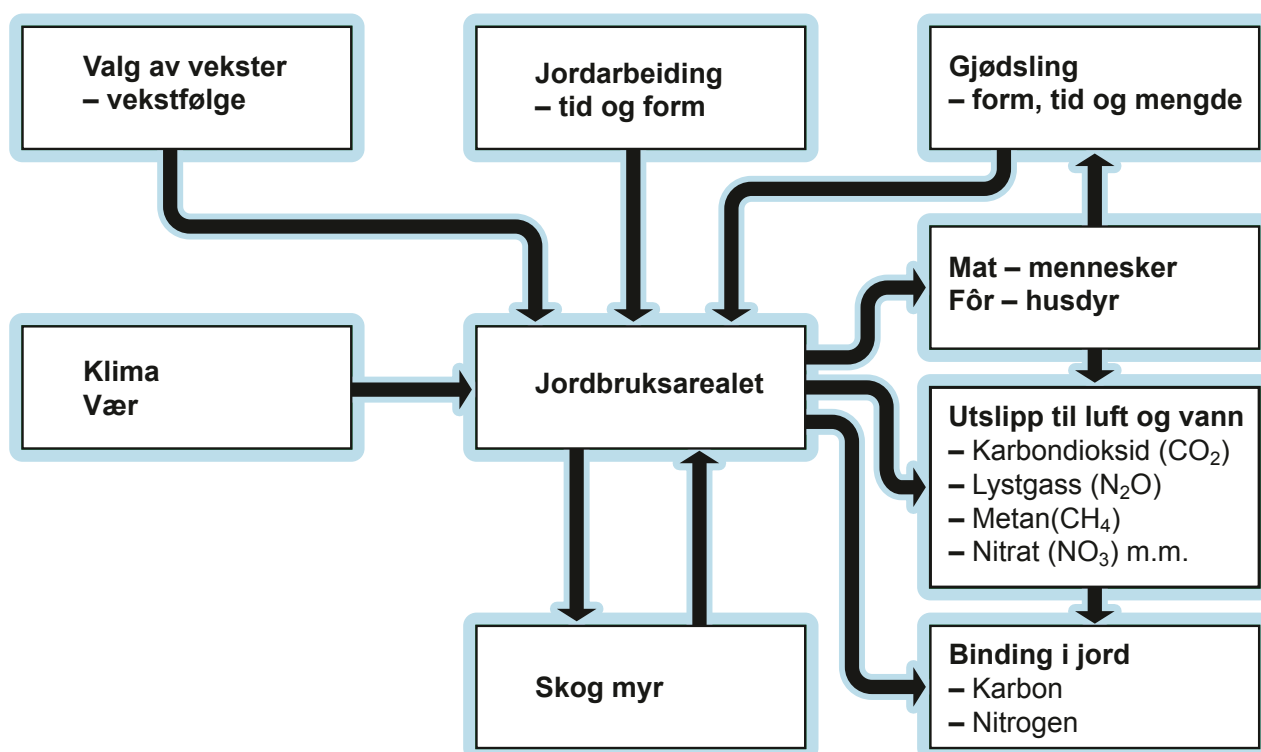
Nøkkelfunn 10: Naturbaserte næringer får nye muligheter – og utfordringer

Klimaendringene i nordområdene vil påvirke grunnlaget for naturbaserte næringer i havet og på land. Effektene kan slå ulikt ut for de forskjellige næringene, og på de fleste områder har vi ikke god nok kunnskap om hva som kommer til å bli konsekvensene av et endret klima.

Jordbruket kan oppleve bedre tider

En viktig faktor som påvirker planteveksten er daglengden, altså hvor mye lys plantene får per døgn. Dette er noe som ikke vil endre seg med et endret klima, slik at plantemateriale som er tilpasset en nordlig årsrytme i daglengde ikke nødvendigvis vil kunne utnytte en lengre vekstsesong selv om klimaet endrer seg og temperaturen øker.

Likevel kan klimaforholdene påvirke landbruket hele året. Klimaet om høsten er viktig for at plantene skal gjøre seg klare til å møte vinteren og overleve vinterfrosten. Vinteren er avgjørende for om plantene overlever fra år til år, ved at teledybde, snødekke, frost på barmark og værforholdene under tining om våren i verste fall kan føre til at vekstene ikke overlever. Været gjennom vekstsesongen kan føre til store variasjoner i avlinger, samt påvirke kvaliteten på avlingene. Klimaendringene gjør at landbruket må bytte ut noe av plantematerialet til fordel for planter som utnytter en lengre vekstsesong, mildere og kortere vintre og varierende tørrværsperioder.



Figur 24: Sammenhenger mellom landbruk og klimaendring. Karbon og nitrogen bindes i jord når dødt plantemateriale blir omdannet til humus. Karbon frigjøres tilsvarende når humus omdannes. Det meste av metanet kommer fra husdyra (drøvtyggerne), 85% fra dyra direkte (utåndingsluft) og resten fra gjødsel. Lystgass (NO_2) er i stor grad et resultat av gjødsling. Tap av lystgass skjer når ammoniakk (i jorden) omdannes til nitrat (nitrifikasjon). Tap skjer også ved såkalt denitrifisering – prosessen der nitrat omdannes til ren nitrogen. Kilde: Buanes et al. 2009

I deler av Nord-Norge er frostskafer en av hovedutfordringene i landbruket. Ved de forventede endringene i klima kan problemer med hyppige vinterskafer forflytte seg innover og nordover i landet, til områder der vinterklimaet historisk har vært stabilt og kaldt. Disse områdene kan forventes å få mer ustabil vinterklima med skiftninger mellom mildvær og kuldeperioder.

Det er mulig å se både positive og negative effekter for landbruket i Nord-Norge. Tidspunkt for snøsmelting om våren kan ha stor betydning for plantenes overlevelse. I områder med tørt klima og kalde, klare vårnetter kan tidligere snøsmelting bidra til at planter og plantedeler tørker ut og dør. I nedbørsrike områder kan vi få oppblomstring av soppangrep som skader plantene dersom snøen blir liggende for lenge. Hvis klimaendringene bidrar til tidligere snøsmelting i disse områdene, vil dette kunne motvirke effektene av soppangrep på avlingene. En tidligere vekststart om våren kan forlenge vekstsesongen og øke avlingene i landbruket. Hvis klimaet endrer seg slik at det blir mulig å ha to slåtter i året, og man får utviklet nytt plantemateriale tilpasset det nye klimaet, kan landbruket bli mer lønnsomt. Det vil også kunne bli mulighet for nye typer og nye arter av planter, poteter, grønnsaker og hagebær i landsdelen. Husdyr som beiter i utmark, særlig sau, følger mange steder ung, næringsrik vegetasjon. Hvis skogen vokser forttere enn i dag, medfører dette at beitesesongen med høy kvalitet kan bli kortere i enkelte beiteområder. Det er ikke mulig å gi entydige og samlede svar på effektene av klimaendringene på det nordnorske landbruket, både fordi det er store lokale forskjeller i klima og store lokale forskjeller i driften. De forventede endringene vil imidlertid medføre betydelige utfordringer med hensyn til plantemateriale og investeringer i driftstiltak og kunnskap. Nye plantevekster som takler de nye forholdene må utvikles, og utfordringer med økende press fra sopp og skadedyr må vurderes nøye. En særfordel med nordlig økologisk planteproduksjon uten behov for syntetiske plantevernmidler kan dessuten bli svekket på grunn av økt temperatur og økt fuktighet. Likevel vil i all hovedsak økt temperatur kunne virke positivt på landbruket i nord.

Effekter på skogbruk

I hele Europa er det bare i Skandinavia og Nordvest-Russland at skog fortsatt dominerer landskapet. Det ventes i utgangspunktet at de positive effektene av klimaendringene blir større enn de negative: det er forventet større tilvekst, større karbonlagring i skog og større produksjon av trevirke og bioenergi. Det er likevel noen aspekter som gjør effektene på skogbruk mer komplekse. På den ene siden viser beregninger at den produktive skogen i Norge forventes å øke betydelig som følge av klimaendringene, med både raskere tilvekst i skog og større skogsareal. På den andre siden vil en økning i vintertemperatur kunne føre til hyppigere fryse- og tinesyklus, noe som gir mer frostskafer på skogen. Dette skyldes at varmeperioder på vinteren reduserer trærnes hardighet og toleranse for frost, og vil spesielt kunne ramme innlandsstrøk i Nord-Norge. Angrep på grunn av sykdommer og skadedyr forventes å bli et større problem i skogbruket i fremtiden på grunn av nye skadegjørere som kan flytte seg raskt nordover ved endret klima. Insekter kan ved økning i temperatur rekke to generasjoner på et år, mot én i dag. Dette er mulig for eksempel for granbarkebillen, som kan gjøre større skader på gran ved et ekstra angrep seint på sommeren. Soppskafer forventes også mer generelt å øke i et fuktigere og varmere klima. Selv om det totalt forventes større tilvekst i skogen, kan selve skogsdriften påvirkes direkte av klimaendringene ved at mindre stabil tele og mer nedbør om vinteren kan gjøre det vanskeligere både å hugge og transportere skogvirke. Kjøring i fuktige områder kan gi kjøreskafer på bakken, samt at skogsbilveier og offentlig vei kan få vanskeligere kjøreforhold.

Reindriften vil oppleve både positive og negative effekter

Reindrift er mer enn en næring, den er også et viktig element i samisk kultur og historie. Reindriften er spesielt avhengig av forholdene i naturen ettersom den er basert på at reinen går på naturlig beite året rundt. Klimaendringene påvirker beiteforholdene og fremkommeligheten i terrenget til alle årstider, og kan medføre skjerpede konflikter rundt arealbruk. I de ulike geogra-



Foto: © Trym Ivar Bergsmo, Samfoto

fiske områdene hvor det drives reindrift i dag kan vi komme til å se ulike utfordringer og endringer. Man kan forvente både positive og negative klimaeffekter på reindriften. For eksempel kan økt plantevekst på grunn av økt temperatur medføre bedre tilgang til mat på sommerbeite, tidligere vår kan gi forlenget beitesesong og snøfattige vintre kan føre til lettere tilgang til mat på vinterbeite. Negative effekter kan komme som følge av ising på bakken om vinteren som gjør maten utilgjengelig. En ustabil førjulsvinter hvor elver og vann ikke fryser skikkelig til gjør det vanskelig å flytte reinen til vinterbeiteområdene. Mer sykdom, insekts- og parasittplager for reinen på grunn av høyere temperatur og økt fuktighet er også negative effekter. Samlet sett er det mye som tyder på at totaleffekten vil bli negativ for reindriften, spesielt på lengre sikt.

Mulighetene for tilpasning er svært ulike. I Finnmark er det tett mellom reinflokkene og alternative beiteområder er få. Selv om klimaendringene skulle føre til bedre vekst og mer vegetasjon, vil flokkstørrelse og tetthet av rein fortsatt begrense tilpasningsmulighetene. I de øvrige reinbeiteområdene i Troms og Nordland kan alternative områder tas i bruk ved behov. Ulempen her er at dette kan komme i konflikt med annen bruk av områdene, som for eksempel hyttebygging, landbruk og skogbruk. Annen tilpasning kan være å utnytte beiteområder mer på tvers av landegrensene mellom Norge, Sverige og Finland, eller å endre flokkstrukturen med hensyn til alders- og kjønns sammensetning. Tilleggsføring av rein når maten er utilgjengelig på grunn av islag på bakken er også en mulig tilpasning. Fysiske arealinngrep og forstyrrelser er tidligere foreslått som den enkeltfaktoren som vil gi reindriften de største utfordringene i fremtiden. Klimaendringene kommer i tillegg til andre problemer og utfordringer reindriften er stilt overfor. Reindriften må tilpasse seg disse endringene fremover, men det er uklart hvilke tilpasningsmuligheter næringen har.

Spesielle hensyn til samene som urfolk

Internasjonalt legger debatten om klimatilpasning i nordområdene avgjørende vekt på involvering av urfolk. Norge har gjennom anerkjennelsen av samenes status som et urfolk med egenart og særlig beskyttelseskrav, en rettslig forpliktelse til å vie samisk næringsutøvelse og næringsliv særlig oppmerksomhet. Norge har ratifisert ILO-konvensjon nr. 169. Denne slår fast at «Håndverk, bygde- og lokalt basert virksomhet, naturalhusholdning og tradisjonell virksomhet for vedkommende folk, som jakt, fiske, fangst og sanking, skal anerkjennes som viktige faktorer for å opprettholde deres kultur, økonomiske selvberging og utvikling. Når det er aktuelt, skal regjeringene sikre at slik virksomhet blir styrket og fremmet, med deltakelse av disse folk.» I og med at de fleste aktiviteter og virksomheter som eksplisitt nevnes i konvensjonen har koblinger til naturgrunnlaget, synes det klart at klimaendringer med særlig negative konsekvenser for de samiske aktiviteter som her er nevnt, må vies særlig oppmerksomhet. En viktig side av dette er også å inkludere den kunnskap om naturforhold som samene historisk har utviklet, og bruke dette i arbeidet med klimatilpasning. Per i dag foregår det ulike prosjekter hvor vitenskapelig kunnskap og urfolks tradisjonskunnskap kobles sammen for å bedre forstå sammenhenger blant annet mellom natur og klima. Resultatene fra disse prosjektene viser at det er stor verdi i et slikt samarbeid fordi forskningsfokuset er relevant for den samiske befolkningen og fordi en slik kobling gir en dypere og bredere forståelse av koblingen mellom menneske og natur. Det vil derfor være viktig å fortsatt koble disse to typene kunnskap i det fremtidige arbeidet med å forstå klimaendringene og effektene av disse.

Større konflikter i fiskeriene?

Fiskeriene har bred samfunnsmessig betydning som arbeidsplass for folk langs kysten, i økonomisk forstand og som en bærer av kystkulturen. På grunn av at båter, fiskere, mottaksanlegg og produksjonsanlegg er ulikt fordelt geografisk, vil også klimaeffekter på næringen som helhet virke forskjellig i ulike områder.

For fiskeriene er det å tilpasse seg variasjoner i ressursgrunnlaget en del av den erfaringsbaserte kunnskapen fiskerne besitter. På generelt nivå kan man si at fiskeriforvaltningen vil være viktig for å sikre kommersielle fiskebestander i god forfatning når klimaendringene skal møtes. Dette innebærer ikke nødvendigvis at dagens forvaltningsordninger kan videreføres, så det er mulig at forvaltningsverktøyene i fiskerisektoren må endres og oppdateres til å håndtere en situasjon med et klima i endring. Det er store kunnskapshull i forhold til effektene klimaendringene kan ha på fiskeriene, så det er viktig å prioritere forskning på dette slik at vi er best mulig rustet til å møte morgendagens utfordringer.

Økt temperatur i havet forventes å føre til utvidet eller nye leveområder for flere fiskearter, også kommersielt viktige arter som torsk og sild. Vi vil for eksempel kunne oppleve at større mengder torsk finnes i «Smuttullet» i Barentshavet, et område som ligger utenfor nasjonal jurisdiksjon, og hvor det dermed er vanskelig å regulere fiskeriene. Avtalene mellom Norge, Russland og andre land i dette området kan bli satt under betydelig press dersom det skulle bli mye større mengder torsk her. En annen konsekvens av endring i geografisk utbredelse er at bestandene som i dag deles mellom Norge og Russland i større grad forventes å befinne seg i russisk område. En slik utvikling kan også påvirke Norges forhold til EU, ettersom fiskeriavtalene mellom Norge og EU, Island, Grønland og Færøyene er basert på at disse landene får adgang til å fiske i nord. Totalt kan fiskeriene komme til å oppleve bedre forhold. Likevel kan enkeltfiskere og fiskerisamfunn ha den motsatte opplevelsen dersom klimaforholdene fører til en forskyvning i hvilke fartøy som har mulighet til å fange fisken i de nye utbredelsesområdene.

Den konkrete betydningen av fiskeriene i forhold til sysselsetting, inntekt og verdiskapning varierer fra lokalsamfunn til lokalsamfunn. Geografisk fordeling av båter, fiskere, mottaks- og



Sjarker i Lofoten. Foto: Tor Ivan Karlsen, arcticphoto.net

produksjonsanlegg fører til at klimaeffekter på fiskeriene vil gi forskjellige konsekvenser i ulike områder. Over tid vil denne fordelingen påvirkes av generelle utviklingstrekk i næringen, som på kort sikt vil være mer preget av økonomi, næringsdynamikk og fiskeripolitikk, enn av klimaendringer. Fiskeripolitikk og fiskeriforvaltning kan bli vanskeligere på grunn av klimaendringene. Dette viser igjen at det er viktig å se på klimaendringene og deres samfunnsmessige konsekvenser i en bredere sosial, politisk og økonomisk sammenheng.

Havbruksnæringen i Nord-Norge kan blomstre

Havbruksnæringen er viktig for Nord-Norge og en rekke lokalsamfunn i regionen. Lakseoppdrett er en viktig distriktsnæring, selv om den direkte sysselsettingen ikke er spesielt høy. Varmere vann i havet vil inntil en viss grense føre til raskere vekst hos fisk i oppdrett. Denne temperaturgrensen kan komme til å bli overskredet i Sør-Norge, mens det i Nord-Norge forventes økt produksjon på grunn av høyere vanntemperatur.

Å redusere eller avvike oppdrettsanlegg i de områder som får dårligere naturgitte forutsetninger, og opprette nye i de områder som får bedre forhold, kan slik sett bli et uttrykk for tilpassning i næringen. Vi vil også kunne se andre strategier som avlsarbeid, genmodifisering og/eller utvikling av ny merdteknologi. Slik utvikling avhenger selvsagt av en generell regulering av matproduksjon og bioteknologi. Likevel er ikke bildet i forhold til oppdrett så enkelt som man kan få inntrykk av. Økt vanntemperatur kan også medføre økt sårbarhet for sykdom og angrep av parasitter. Torskeoppdrett vil for eksempel kunne bli umulig langs store deler av norskysten på grunn av en sykdomsfremkallende bakterie som i dag bare finnes sør for Stadt. De biologiske effektene på havbruksnæringen må sees i sammenheng med andre relevante betingelser for næringen, ikke minst spørsmål knyttet til infrastruktur. Dette gjelder også fiskerisektoren



Oppdrettsanlegg i Brønnøy kommune, Nordland. Foto: © Erlend Haarberg, Samfoto

mer generelt – for eksempel vil fiskerihavner ofte ligge i områder hvor vær og vind kan føre til problemer. Økt havnivå, større bølgehøyde og mer ekstremvær kan føre til økte kostnader for fiskeri- og havbrukssektoren på grunn av skade på infrastruktur.

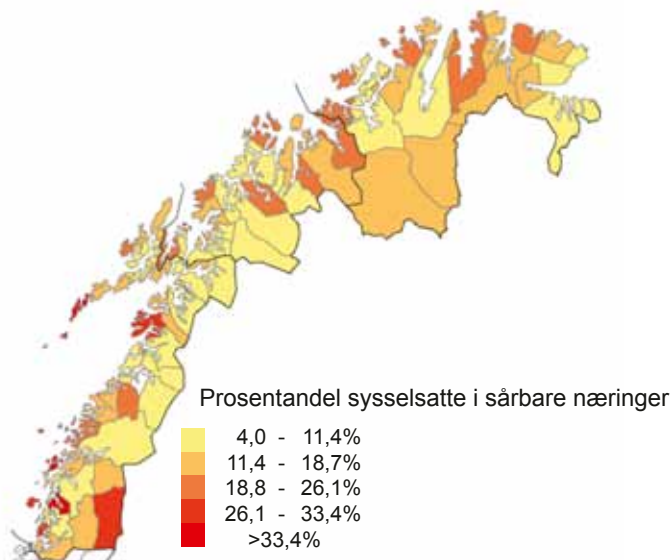
Reiseliv og turisme – opplevelser under endrede forhold?

Reiselivet kan påvirkes av klimaendringene på flere måter. Endringer i været kan påvirke turistens valg av feriested, men også mer langsiktige konsekvenser kan forventes. Endringer i vegetasjonstyper kan påvirke forskjellige områders attraktivitet både positivt og negativt, og nettopp naturopplevelse er den største attraksjonen i store deler av reiselivet i Norge. Forholdet mellom reiseliv og klimaendringer er generelt lite undersøkt, og vi vet ikke nok om hva slags rolle klima eller værforhold spiller når turister velger sine reisemål. Den forventede reduksjonen i snødekke i regionen vil kunne påvirke reiseliv basert på skiturisme negativt, og det er ikke gitt at en reduksjon i vinterturismen vil kunne oppveies av sommerturisme. Vinterdestinasjoner som ligger i grenseområdene for sikkert snødekke og som er vanskelig tilgjengelig med kollektivtransport er dobbelt klimasårbare: Ikke bare risikerer de effektene av en kortere snøsesong, de risikerer også negative effekter på grunn av klimapolitiske tiltak som økte avgifter på fly- og biltransport.

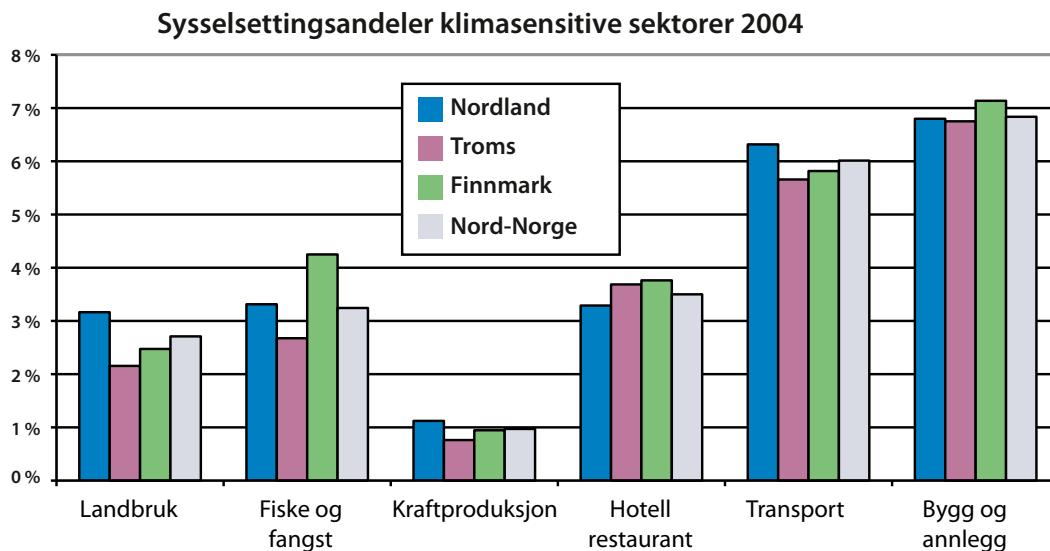
Turismen på Svalbard kan komme til å øke, blant annet fordi det blir mindre is i fjordene på nord- og østsiden av øygruppen. I seg selv gir dette bedre tilgjengelighet, men det kommer an på hvordan næringen blir regulert. Flere cruiseskip, flere passasjerer og flere ilandstigningsmuligheter kan medføre økte utslipp av stoffer som påvirker klima og miljø, økt slitasje på naturen og ødelegging av kulturminner, samt økt risiko for ulykker som kan ha store konsekvenser både for miljø og mennesker. For reiselivet er det en utfordring å ta høyde for og utnytte endrede klimaforhold i driften. Naturen og kulturlandskapet er viktige ressurser for norsk reiselivsnæring, og dette medfører et behov for at naturen og kulturarven ivaretas på en god måte.

Syssetteffekter

På grunn av den store usikkerheten rundt hvilke effekter klimaendringene kan ventes å gi for de ulike næringene, er det ikke enkelt å beregne hvilke effekter klimaendringene kan gi på sysselsetting i Nord-Norge og på Svalbard. Likevel kan en sammenstilling av tilgjengelige beregninger være nyttig for å peke ut regioner som fremstår som særlig klimautsatt med hensyn til sysselsetting.




Figur 25: Kart med andel sysselsatte i klimautsatte sektorer i Nord-Norge. Klimasårbarhet er her målt ut fra en rekke indikatorer, for eksempel sårbarhet for skred og flom, samt vurderinger av næringslivets klimasårbarhet, infrastruktur og kommunens kompetanse, økonomi og befolkningssammensetning. Kilde: Groven et al. 2006



Figur 26: Andel sysselsatte i klimautsatte sektorer i Nord-Norge 2004. Kilde: West & Hovelsrud 2008

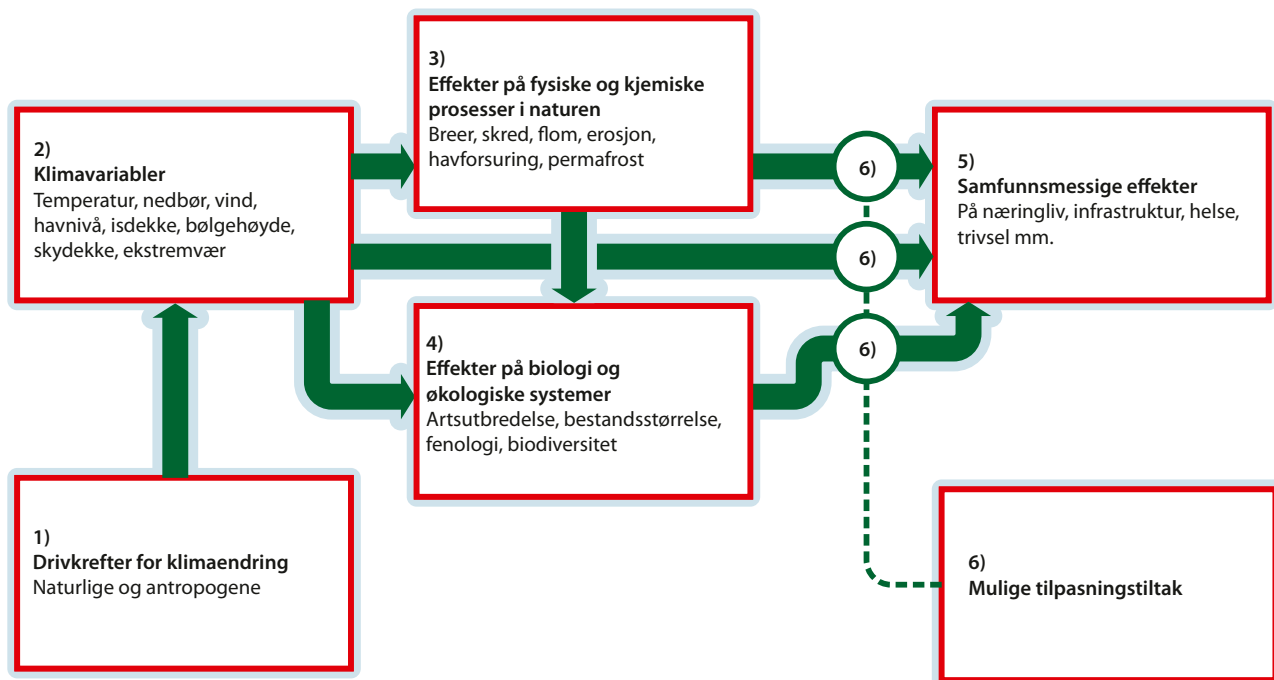




Nøkkelfunn 11: Samfunnet kan og må tilpasse seg

Det er viktig å identifisere hvor sårbart samfunnet er for klimaendringer for å kunne utvikle effektive tilpasningsstrategier og tiltak. Sårbarhet for endringer kan identifiseres på flere nivåer; det kan være enkeltpersoner, lokalsamfunn, næringer, spesifikke samfunnsstrukturer og sektorer som er sårbare for klimaendringene, noe som forutsetter ulike strategiske tilnærminger.

Forventede effekter av klimaendringene på samfunnet er usikre. Ikke bare er det knyttet usikkerhet til graden av klimaendringene i seg selv, men vi vet heller ikke nøyaktig hvordan økosystemene og naturen vil påvirkes av disse endrede forholdene. Når så samfunnsplanleggingen skal basere seg på dette, sier det seg selv at dette blir en øvelse med usikre rammer. På mange måter er tilpasning til klimaendringer planlegging under økt og endret risiko.



Figur 27: Effekter av klimaendringer på natur og samfunn. Boks 6 angir hvor de mulige tilpasningsmulighetene ligger. Kilde: Kleven 2005

Helhetlig samfunnsperspektiv

Når klimaet og økosystemene endrer seg, vil samfunnet forsøke å tilpasse seg disse endringene og komme med ulike mottiltak. Derfor er det ikke slik at vi kan lage en enkel modell som viser en direkte sammenheng mellom en gitt endring i klimaet og en gitt varig endring for samfunnet. De ulike delene av samfunnslivet utvikles gjennom flere prosesser enn klimaendringene, som for eksempel endringer i teknologi, økonomi, kunnskap og sosial- og politisk organisering. Disse prosessene kan også i sin tur gjøre samfunnet mer eller mindre sårbart for klimaendringer. Det er betydelig usikkerhet knyttet til beregninger av klimaeffekter på regionalt nivå, og også i forhold til hvilke effekter dette kommer til å ha på økosystemene og det fysiske miljøet. Når så de kompliserte sammenhengene i samfunnet legges på toppen av dette, fører det til åpenbar usikkerhet i beregningene av effekter for folk og samfunn. Likevel er det mulig å trekke opp forventede effekter, og dette er viktig for å være forberedt på endringer.

Endret natur og endret vær – på kort og lang sikt

Folk og samfunn er utsatt for effekter av klimaendringer gjennom endringer i vær (temperatur, vind og nedbør), gjennom effekter på natursystemer (havnivå, bølger, erosjon, skydekke og økologiske endringer) og gjennom påvirkning på blant annet infrastruktur og næringssektorer.

Mange av de klimarelaterte endringene som er underveis kommer gradvis, som for eksempel økning i havnivå. Gradvise temperaturendringer over flere tiår, forventes også å påvirke både fysiske forhold og økosystemer gradvis. Noen arter og systemer kan likevel ha uforutsigbare grenseverdier som fører til hurtigere og mer omfattende systemendringer. I tillegg forventes det

ikke en jevn og gradvis temperaturøkning, men en svingning rundt et stadig stigende gjennomsnitt. At prosessene tar lang tid kan medføre at man oppfatter det som mindre dramatisk enn for eksempel når det skjer en økning i antall kraftige stormer, men endringene vil likevel kunne ha betydelige konsekvenser for næringer, grupper og lokalsamfunn. Hyppigere og kraftigere stormer, oversvømmelser og skred forventes å bli en økende utfordring med skader på blant annet veger, broer, tunneler og bygninger, og vil trolig påvirke fremkommeligheten i transportsektoren negativt. Ofte og kraftigere ekstremvær er en effekt som kommer på toppen av de mer langsomme og gradvise klimaendringene.

Klimarelaterte utslipp på Svalbard øker

Klimarelaterte utslipp på Svalbard har økt kraftig siden år 2000. I 2007 sto utslippene på Svalbard for bare rundt 1% av Norges utslipp, men lokale utslipp av stoffer som påvirker klimaet i det sårbare Arktis kan vise seg å utgjøre en forskjell både med hensyn til skadelige miljøeffekter og klimaendringer. En nylig utgitt rapport fra Klima- og forurensningsdirektoratet viser at de største utslippene av klimagasser på Svalbard kommer fra kullbasert energiproduksjon og skipstransport, spesielt cruisetrafikken. Utslippene fra skipstrafikk i Svalbardområdet økte med 28% fra 2000 til 2007, og sterkest var økningen knyttet til cruisetrafikken hvor utslippene økte med hele 70%. Beregninger viser at utslippene av klimarelaterte stoffer kan øke kraftig både på kort og lang sikt dersom det ikke tas grep for å redusere utslippene. Utslipp av klimarelatert forurensning vil fortsette å øke med rundt 30% mot 2012 selv om de nåværende planene for halvering av den norske kullproduksjonen fra 2007-nivå realiseres. Utslippene øker på grunn av den antatte veksten i aktiviteter relatert til turisme og forskning.

Ta høyde for økt maritim aktivitet

Havisen i Arktis smelter raskere enn tidligere beregnet (blant annet i ACIA-rapporten). Mindre havis åpner for nye muligheter for skipstrafikk og næringsaktivitet i Arktis. Det kan bli økt skipstrafikk både ved Svalbard og langs norskekysten, økt oljetransport fra Nordvest-Russland, økt cruisetrafikk ved Svalbard og økt seiling både i Nordøstpassasjen og tvers over Polhavet. Nye seilingsruter kan gi betydelige besparelser i tid. Økt aktivitet og trafikk vil imidlertid også kunne øke utslipp av skadelige stoffer, øke risikoen for ulykker og oljesøl langs kysten, og krever bedre beredskap mot ulykker og mer robust oljevernberedskap. Både reduksjoner i havis og andre effekter av klimaendringene kan muliggjøre økt utvinning av petroleumprodukter, samt mineraler og metaller langs de nordlige kystene av Canada og Russland. Utskiping av dette kan bidra til en ytterligere økning i maritim transport i nord. Samlet vil dette stille større krav til overvåking og beredskap, både med hensyn til oljevern i forbindelse med ulykker og til sjøsikkerhet generelt. Ved Svalbard er faren for at cruiseskip eller lasteskip skal grunnstøte og slippe ut olje den største miljørisikoen knyttet til skipstrafikk. Hvis det skulle skje vil konsekvensene kunne bli store. Oljen brytes langsomt ned i det kalde klimaet, og miljøet på Svalbard er sårbart for denne typen forurensning. Et stadig mer isfritt Svalbard øker tilgjengeligheten for cruiseskipene, og dermed også risikoen for ulykker i områder hvor det er dårlig eller ingen sjøkartlegging. Tiltak som allerede er iverksatt omfatter forbud mot seigtflytende tungolje i enkelte områder, mulighet for Syssekmannen å pålegge fartøy å bruke slepebåt og kjentmann i utvalgte områder og prioritering av kartlegging av områder som nå blir tilgjengelig på grunn av mindre is. Det er behov for økt overvåking og styring av ferdsel og annen virksomhet på Svalbard for å begrense påvirkning og redusere risiko for uhell. Totalt fører økt tilgjengelighet og mulighet for mer skipstrafikk i Arktis til et behov for økt regulering av menneskelig aktivitet i de nordlige havområdene, fokus på utslipp og potensielle ulykker, og det kreves bedre beredskap enn i dag. Økt skipstrafikk kan gi ytterligere press på økosystemer og arter som er sårbare for klimaendringer.



Figur 28: Tre potensielle seilingsruter fra Vest-Europa til Beringstredet. Nordøstpassasjen (lengst til høyre) går langs kysten av Russland og trafikkeres deler av året allerede i dag. Ruta i midten representerer korteste vei gjennom is utenom russisk territorialfarvann (basert på gjennomsnittlig isutbredelse). Direkteruta over Nordpolen (til venstre) utnytter det isfrie området langs vestkysten av Svalbard før den krysser det sentrale Polhavet. Kilde: Norsk Polarinstittutt

Infrastrukturen må også tilpasses

Infrastruktur som veier, flyplasser, jernbane, vann- og avløpssystemer, kraftledninger og bygninger i Nord-Norge har til alle tider vært utsatt for et tøft klima med kulde, store snømengder og mye uvær. Likevel er deler av den infrastrukturen som finnes i dag sårbar for endringer i

klimaet. På Svalbard er det en ekstra utfordring knyttet til at all fysisk infrastruktur er bygget på permafrost. Økt tining i det øverste laget av permafrosten kan få alvorlige følger, både for bosetningene og annen infrastruktur. Tinende permafrost må tas med i betraktning når bygninger og annen infrastrukturens skal konstrueres i fremtiden.

Det er igangsatt en kritisk gjennomgang av vegnettet med tanke på sårbarhetsvurderinger i forhold til effektene av klimaendringene. Vegsektoren i Nord-Norge møter morgendagens klimautfordringer med en allerede eksisterende belastning: vegene holder allerede ut fra dagens klimasituasjon for dårlig standard. Statens Vegvesen er i gang med et prosjekt for å planlegge bygging og drifting av veg i en endret klimasituasjon, men etterslepet på vedlikehold gjør at tilpasningen for vegsektoren kommer til å bli krevende. Med et endret klima kommer vegene til å utsettes for mer nedbør, flere områder kan bli utrygge for skred, og veger kan bli oftere stengt vinterstid på grunn av økte snømengder. Derfor er det avgjørende at de retningslinjer som lages for vedlikehold og drift av vegnettet tar høyde for et endret klima, og at dette følges opp med bevilgninger som svarer til behovet.

Det er store utfordringer for energiproduksjon og -forsyning i Nord-Norge i dag, og klimaendringene vil skjerpe utfordringene betydelig. Det er behov for en kritisk gjennomgang av strømforsyningen i landsdelen for å kartlegge svakheter. De fleste vannkraftverkene i Nord-Norge er i utgangspunktet bygget for å sikre lokal og regional strømforsyning, og er bygget for tørrår slik at de ikke utnytter energipotensialet i år med mye nedbør. Ved økte nedbørsmengder bør kraftverk bygges om, både for å forhindre flomskader og for å øke energiutbyttet. Ledningsnettet blir også mer utsatt for påvirkning fra snø og skiftende temperatur rundt frysepunktet. Dette sammen med et behov for å bygge ut kraftnettet i Nord-Norge, gjør at det ligger betydelige investeringsbehov i denne sektoren i nær fremtid.

Naturbaserte næringers tilpasning – et komplekst bilde

Klimaendringene kan føre til vanskeligere dyrkningsforhold i mange viktige jordbruksområder i verden, samtidig som produksjonspotensialet i nord kan bli bedre. Nordlig landbruk kan dermed samlet sett få positive muligheter, men det knytter seg usikkerhet til den geografiske fordelingen av effekter, og den samlede effekten av flere faktorer, for eksempel økt hyppighet av og lengre mildværsperioder, samtidig som det kommer mer nedbør. Dette, sammen med endrede vekstbetingelser og andre forekomster av skadedyr, fører til et behov for mer forskning på både effektene av klimaendringer og landbrukets tilpasning. Hovedutfordringene for landbruket er å utnytte de muligheter som åpner seg ved klimaendringene og samtidig begrense utslipp og øke opptak av klimagasser. Skogen har i dag et netto årlig CO₂-opptak som tilsvarer omtrent halvparten av de samlede norske klimagassutslippene, mens jordbrukets nettobidrag er omkring en tiendedel av Norges totale utslipp. Aktive skogskjøtselstiltak for å øke tilveksten i skog innen forsvarlige rammer for bevaring av biologisk mangfold og friluftsliv- og landskapsverdier, vil kunne bidra til fortsatt vekst i det årlige opptaket av CO₂ i Norge.

Fleire næringer som baserer seg på naturgrunnlaget må belage seg på å foreta skifter rent geografisk i hvor næringen utøves. Fiskeriene kan trekke lenger nord og øst og havbruksnæringen kan under endrede klimaforhold måtte flytte mer av sin virksomhet til Nord-Norge. Fiskeriene har alltid måttet forholde seg til variasjoner i ressursgrunnlaget i forhold til mengde, arter og hvor fisket kunne finne sted. Kunnskap om dette og tilpasning til variasjonene er en del av den erfaringsbaserte kunnskapen fiskerne besitter. I tillegg kan klimaendringene medføre behov for endringer i reguleringen og forvaltningen av fiskeriene, på grunn av den totale belastningen på bestandene. Det kan for eksempel være riktig å redusere fiskepresset på bestander som utsettes for stress fra klimaendringene, ettersom de ofte er mer sårbare for flere stressfaktorer på en gang. Valg av forvaltningsregime vil være viktigere enn effektene av klimaendringene alene

i uoverskuelig fremtid. Dagens forvaltningsverktøy er ikke tilstrekkelig dynamiske til å håndtere de skiftende miljøbetingelsene, og må derfor videreutvikles. For oppdrettsnæringen kan andre mer proaktive strategier som avlsarbeid og genmodifisering også bli aktuelle tilpasningsstrategier. I tillegg vil det være behov for produktutvikling i utstyrsindustrien for å imøtekomme behovet for mer robuste konstruksjoner i oppdrettsnæringen.

Det forventes at reindriften må vurdere andre beitearealer, men konkurransen om arealene er allerede i dag til dels stor, både mellom de forskjellige reindriftsutøverne og mellom reindriften og landbruksinteresser, hytteeiere og friluftslivutøvere. Reindriften møter også konkurranse om utmarksområdene på grunn av arealdisponeringer i henhold til lover og institusjoner eksternt, slik som kommunal arealplanlegging, statlig verneplanlegging og annen regulering som for eksempel rovdyrpolitikk. Moderne motorisert og markedsorientert reindrift har ført til endringer i sammensetning av reinflokkene i alle områder. Andelen simler (hunndyr) i flokken har økt og andelen eldre hanndyr er redusert for å øke kjøttproduksjonen per dyr. En ulempe med denne flokkstrukturen er at den kan redusere mulighetene for tilpasning til klimaendringer. Med økt hyppighet av fryse-tine-sykler kan reinen få problemer med tilgang til maten, ettersom vegetasjonen kan låses inne i et isdekke. Eldre hanndyr, spesielt kasterte dyr, har større styrke til å slå seg gjennom is og snø ved vanskelige beiteforhold. Dermed kan klimaendringene føre til at flokkstrukturen må endres slik at flokkene får en større andel dyr som i seg selv ikke direkte er mest effektive for kjøttproduksjon. Når beiteforholdene er så vanskelige at reinen ikke klarer å slå seg gjennom is og snø, må reinflokkene føres med tilleggsfôr. Dette er et dyrt alternativ til naturlig beite, men kan bli mer nødvendig i fremtiden. Klimaendringene kan også føre til at gamle driftsmønstre innen reindriften, som går på tvers av landegrensene på Nordkalotten, kan bli aktuelle å ta opp igjen for best mulig å tilpasse næringen totalt sett til fremtidens utfordringer.

Kan vernepolitikken begrense negative effekter?

Økt vern kan ikke stoppe klimaendringene, men vern av områder kan bidra til at artene og naturtypene blir mindre truet av andre inngrep. Robuste økosystemer og arter med store nok populasjoner kan også være i stand til selv å tilpasse seg klimaendringer gjennom naturlig seleksjon. På denne måten kan økt vern av naturområder øke sjansen for at det biologiske mangfoldet ivaretas også i fremtiden, og kan dermed også anses for å være en tilpasning i seg selv. Vernepolitikken skal både sørge for at unike naturområder og naturtyper bevares for ettertiden, og begrense skader på kulturminner. Ikke minst er det viktig å inkludere klimahensynet i en helhetlig økosystembasert naturforvaltning; å se klimaendringer i sammenheng med andre faktorer som har betydning for biologisk mangfold, og å bruke denne kunnskapen i planarbeid. Verneområdene i Norge vil, etter at den pågående verneplanen for nasjonalparker og større verneområder er fullført, dekke om lag 15% av Norges fastlandsareal. Utvelgelsen av hvilke områder som skal vernes har pågått over en tidsperiode, men de fleste er valgt ut etter en utredning fra 1986. Dermed var ikke den kunnskap vi har i dag om klimaendringenes betydning for det biologiske mangfoldet en del av grunnlaget for utvelgelsen av områdene. Når temperaturen stiger, «klatrer» planter og dyr opp til høyere liggende områder for å finne tilfredsstillende klimatiske forhold, noe som ofte ikke er tatt hensyn til i utformingen av verneområder. En løsning for å demme opp for denne utviklingen er å sikre såkalte «biologiske krabbefelt». Dette vil si at man også tar hensyn til høydemeter over havet når verneområder utpekes, og sikrer intakte korridorer av natur fra lavland til høyfjell. Slik kan den vernede naturtypen fortsatt være sikret vern etter at den har forflyttet seg oppover fjellsidene. Som tidligere omtalt er det forventet at skoggrensen trekker betydelig opp i fjellet i Nord-Norge innen utgangen av dette århundret, og dette blir i dag innarbeidet i naturforvaltningen. Med det blir vi bedre rustet til å møte klimaendringene, og faren for tap av biologisk mangfold reduseres.



En gammel traktor parkert på stranda i Gipsvika, Svalbard. Foto: Kristin Prestvold, Sysselmannen på Svalbard

Klimaendringene kan påvirke kulturminnene i regionen. Særlig kulturminnene på Svalbard kan trues av tinende permafrost og raskere erosjon. Kulturminnene utsettes også for mer råte, sopp, bakterier og rustdannelse i et varmere og våtere klima. Både faste kulturminner og løse gjenstander i biologisk nedbrytbare materialer står i fare for å forsvinne, og en tilpasning til dette vil kunne være at arkeologiske utgravninger foretas, og at bygninger og gjenstander sikres og/eller flyttes. Samtidig må man innse at mange kulturminner kan gå tapt.

Klimatilpasning gjennom fysisk planlegging i kommunene

Etter den siste revisjonen som nylig ble gjennomført er Plan- og bygningsloven blitt et sentralt virkemiddel for langsiktig håndtering av klimautfordringene. Kommunal planlegging må ta hensyn til samfunnssikkerhet. Samtidig vil det være viktig å utvikle planverktøyet slik at det også sikrer naturmiljøets muligheter for å tilpasse seg et endret klima. Arealplanlegging har en sektorovergrepande karakter, noe som gjør dette til et egnet virkemiddel for å se ulike samfunnssektorer i sammenheng. Den nye Plan- og bygningsloven styrker kommunenes muligheter til å ta klimahensyn i arealplanleggingen. Et endret klima kan endre risikobildet knyttet til stormflo, flom, skred og sterk vind, noe som har betydning for arealdisponering. Ansvar for arealplanleggingen er i utgangspunktet lagt til kommunene, men de er avhengige av å få tilgang til oppdatert kunnskap om sine områder. Fylkesmennene har et særlig ansvar for dette, og de kan varsle kommunene hvis det bli utarbeidet planforslag som ikke tar tilstrekkelig hensyn til de sikkerhetsmessige forhold. Kommunene er gjennom den samme Plan- og bygningsloven pålagt å gjennomføre risiko- og sårbarhetsanalyser, såkalte ROS, og områder med fare, risiko eller sårbarhet skal avmerkes i planene som hensynssoner.

Lønner tilpasningstiltak seg?

De økonomiske effektene av klimaendringer vil være av flere ulike typer. Det er særdeles vanskelig å tallfeste fremtidige økonomiske effekter, ettersom det er usikkerhet forbundet med både de tekniske og de økologiske effektene av klimaendringer. Likevel, hvis man klarer å lage tilfredsstillende kostnadsanslag for hva det vil koste samfunnet ikke å foreta tilpasningstiltak, vil vi kunne gjøre kostnads- og nytteanalyser for å kartlegge hvilke sektorer tiltakene bør settes inn mot. I den regionale rammen for NorACIA, ville en samlet vurdering av de mulige økonomiske effektene av klimaendringene for ulike kommuner og regioner innebære at vi måtte summere opp kostnader og gevinster for alle effekter i alle sektorer. Dette er ikke en mulig strategi i overskuelig fremtid, ettersom vi har begrenset forståelse av mekanismer og kompliserte sammenhenger i samfunnet.

De forventede effektene på infrastruktur medfører kostnader knyttet til skader forårsaket av vind, nedbør, flom, skred, gjengroing og råte. Potensielle gevinster er forbundet med generelle strategier som innovasjon og utvikling av nye materialer og ny teknologi for å styrke infrastrukturen. På grunn av lokaliseringen av de industrielle forskningsmiljøene er det grunn til å tro at uten bevisste grep i utdanningspolitikken og forsknings- og utviklingsinnsatsen, så vil disse positive effektene trolig havne utenfor landsdelen. I landbrukssektoren er de økonomiske konsekvensene mer sammensatt. Det er selvsagt stor usikkerhet knyttet til effektene, men det kan se ut til at landbruket vil kunne være i stand til å tilpasse seg og utnytte mulighetene i en ny klimasituasjon, med økonomisk fordel. Fiskeriene kan komme til å oppleve forbedrede betingelser med et varmere hav, men utfordringene og usikkerhetene knyttet til lokalisering av fiskeresursene under endrede betingelser gjør det vanskelig å tallfeste økonomiske effekter for denne næringa også. Klimaendringer innebærer endret risiko for forsikringsbransjen, og representerer både økt risiko og nye fortjenestemuligheter ved at produktspekteret i bransjen kan utvides. På den ene siden vil en økning i klimagenererte skader gjennom flom, skred og storm gi flere og større skadeerstatningskrav. Samtidig vil utviklingen av klimarelaterte forsikringsprodukter innebære at selskapene setter krav til sine kunder om å iverksette tiltak både for å hindre skade og å redusere konsekvensen av skade, noe som vil bidra til å redusere sårbarheten både for kundene og for selskapene selv.

Urfolks sårbarhet for klimaendringer – og klimatilpasninger?

Den samiske kulturen er i sterk grad knyttet til naturen i de samiske bosettings- og bruksområdene, og de samiske næringsveier (reindrift, kystfiske, landbruk, mv.) spiller viktige roller som bærere av denne kulturen. Denne sterke sammenkoblingen mellom næringsvei og kultur inne-



Enebolig i rasutsatt område i Vestvågøy kommune, Lofoten. Foto: © Dag Røttereng, Samfoto



Samisk brukskunst: Redskaper laget av reinsdyrhorn. Foto: © Trym Ivar Bergsmo, Samfoto

bærer at det er av avgjørende betydning at det samiske folk fortsatt er i stand til å utøve tradisjonell næringsvirksomhet. Samtidig vet vi i dag at de naturbaserte næringene er under press på grunn av blant annet klimaendringene. Internasjonalt har det vært fokus på konsekvenser av klimaendringene for urfolks økonomi og kultur, kanskje spesielt belyst i ACIA-rapporten fra 2004. Klimaendringene utfordrer den fleksibiliteten og tilpasningsdyktigheten som har vært nøkkelen til urfolkens håndtering av variasjon og uforutsigbarhet i naturforhold og klima gjennom mange generasjoner. Sametinget tilkjennega i 2007 en sentral utfordring i klimapolitikken:

«Urfolk har en nær avhengighet og tilknytning til naturen, og berøres derfor sterkere av klimaendringer enn andre. De berøres derfor sterkere av nasjonale strategier for tilpasninger til et endret klima, og til tiltak som bidrar til å nå nasjonale CO₂-reduksjonsmål. Urfolksrettigheter må vektlegges når avbøtende tiltak mot klimaendringer planlegges i sårbare samiske bosetningsområder.»

Klimaendringene er bare en av mange utfordringer som samiske samfunn møter. Hovedprinsippet i ILO-konvensjon nr. 169 om urfolk og stammefolk i selvstendige stater, som Norge ratifiserte i 1990, er urfolks rett til å bevare og videreutvikle sin egen kultur, og myndighetenes plikt til å treffe tiltak for å støtte dette arbeidet. For å kunne oppfylle denne konvensjonen må utforming og valg av strategier og tiltak bygge på analyser av de samlede effektene av slike endringer. Dette stiller krav til utvikling av et velfundert og relevant kunnskapsgrunnlag som gjør det mulig å handle. I den nasjonale og internasjonale fagdebatten om klimatilpasning og urfolk ser vi et økende fokus på samarbeid mellom vitenskapsmiljøer og praktikere innen naturressursbasert produksjon (for eksempel reindriftsutøvere, fiskere, bønder og brukere av utmarksressurser). Formålet er å legge til rette for gjensidig læring mellom vitenskapene og tradisjonell økolo-

gisk kunnskap. Det ligger betydelige utfordringer i slike ambisjoner, men også store muligheter. Utvikling og realisering av disse mulighetene vil også måtte forholde seg til at strategier og tiltak for klimatilpasning i økende grad vil utvikles innenfor en ramme hvor nasjonal og internasjonal urfolkspolitikk og miljøpolitikk møtes og samvirker.



www.klimatilpasning.no

Nettportalen www.klimatilpasning.no skal bidra til å legge til rette for klimatilpasning gjennom informasjon om effekter og konsekvenser av klimaendringer og eksempler på tilpasningstiltak og strategier.



Norsk Offentlig Utredning (NOU) om sårbarhet og klimatilpasning

Regjeringen satte i desember 2008 ned et utvalg som skal utrede samfunnets sårbarhet og behov for klimatilpasning. Utvalgets mandat er å foreta en overordnet gjennomgang av utfordringer og muligheter klimaendringene representerer på ulike samfunnsområder. Fokuset er spesielt rettet mot konsekvenser for:

- Menneskers helse og sikkerhet
- Fysisk infrastruktur og bygninger
- Næringsliv
- Primærnæringer og naturmiljø

Utvalget er bredt sammensatt og skal drøfte virkemidler og tiltak for å redusere samfunnets sårbarhet, styrke tilpasningsevne, vurdere ansvars- og rollefordelingen mellom myndigheter på ulike nivåer, gjennomgå relevante forskningsprogrammer og drøfte hvilke områder hvor det er særlig behov for mer kunnskap om konsekvensene av klimaendringene. Forhold av betydning for tradisjonell samisk kultur- og næringsliv er også av elementene som skal utredes. Arbeidet skal slutføres og aktuelle strategier og tilpasningstiltak skal legges frem som en NOU innen 1. november 2010.



Vi vet mye – men ikke nok

Forskning har frembrakt mye kunnskap om hva som påvirker klimaet, både i global og regional sammenheng, og vi vet nok til å handle på flere områder. Likevel er det fortsatt mye vi ennå ikke vet. Det er klart at et betydelig forandret klima vil kunne ha store konsekvenser for Nord-Norge og norsk Arktis. Sikkerheten i beregningene av klimaendringenes effekter er relativt lav, på grunn av de kompliserte sammenhengene som bestemmer klimaet og som utløser effektene. En stor utfordring er at effekten av de enkelte klimatiske påvirkningsfaktorene ikke enkelt kan legges sammen for å beregne den totale effekten av klimaet. Innviklede mekanismer medfører selvforsterkende effekter, og to forskjellige påvirkningsmekanismer kan forsterke eller svekke hverandre når de finner sted samtidig. Dette, sammen med et stadig større behov både for å begrense klimaendringene og for å tilpasse oss en ny klimasituasjon, gjør at vi må prioritere å skaffe mer kunnskap om klimaendringene også i tiden fremover.

Overvåkning av klimautvikling må sikres

Det er avgjørende at klimaet i Arktis overvåkes over lengre tid, både for å kartlegge faktiske trender, øke forståelsen av prosessene og for å evaluere hvor godt klimamodellene treffer. De norske værstasjonene i Arktis gir en god plattform for å overvåke klimaet på Spitsbergen, Bjørnøya, Hopen og Jan Mayen. Det er viktig at de særegenheter og spesielle forhold som preger klimaet i Arktis blir en del av fremtidige og bedre klimamodeller, spesielt i forhold til havisens virkning på klimaet.

Naturovervåkning generelt blir også viktig i denne sammenheng. Det er bare gjennom en god forståelse av økosystemenes endringer ved nye klima- og miljøforhold at klimamodellene kan brukes til å beskrive effekter i naturen.

Selv om NorACIA-prosessen har frembrakt en egen regional klimamodell for norsk Arktis, NorACIA-RCM, er denne modellen fortsatt for grovmasket til å si noe konkret om lokale vær- og klimaforhold. Modellen opererer med områder på 25 km x 25 km, og faktiske lokale værforhold og lokalt klima bør inkluderes i modellen for å oppnå større presisjon på en mindre skala. Et slikt lokalt forhold er snøfall og snømengder på land. Samkjøring av flere klimamodeller vil også kunne justere bildet slik at vi får mer presise beregninger av klimaet. I tillegg ligger det forutsetninger til grunn i modellen som er hentet fra de globale modellene. Sviktende treffsikkerhet i slike grunnlagsvariabler kan medføre feil i resultatene.

Generelt er det for dårlig forståelse av de store og små fysiske systemene som styrer klimaet i Arktis. Vi forstår fortsatt ikke godt nok hvordan havstrømmene eventuelt kan endre seg med endret temperatur og større avrenning av ferskvann fra land, vi forstår ikke alle effekter av de store luftstrømsystemene og heller ikke skyenes innvirkning på klimaet i norske arktiske områder. Beregningene av tempoet for smelting av isbreer og iskapper på land (og dermed bidraget til havnivåøkning), samt smelting av havisen i Arktis, har ikke fanget opp de raske endringene som faktisk skjer. Det er dermed store kunnskapshull om hva som styrer klimautviklingen. Dette er områder vi er nødt til å prioritere for å kunne lage bedre beregninger av både klimaet i Nord-Norge, på Svalbard og i havområdene, samt hvilke konsekvenser klimaet i disse områdene kan ha på det globale klimaet.

Kartlegging, overvåkning og beredskap

En gradvis tilpasning til et nytt klima stiller krav om vedvarende læring av både inntrufne og forventede klimaendringer, om effekter og sårbarhet for disse, og om kostnadseffektive tiltak som kan bøte på virkningene. Kartlegging og overvåkning av selve klimaendringene og effektene av disse er avgjørende for å ha mulighet til å tilpasse samfunnet og finne de riktige avbøtende tiltakene. Dette må gjøres både gjennom videreføring av de overvåkningsprogrammene som allerede eksisterer, samt at nye programmer kan være påkrevd. Direktoratet for naturforvaltning, Norsk Polarinstitut, Meteorologisk institutt, Havforskningsinstituttet, Riksantikvaren, Klima- og forurensningsdirektoratet og Statens strålevern er sentrale i arbeidet med å samle inn og systematisere miljødata. Samlet sett foregår det et betydelig overvåkningsarbeid innen naturforvaltningen på nasjonalt nivå, men lite av dette er spesielt innrettet mot å se på effekter av klimaendringer. Dagens overvåkningsprogrammer for økosystemene i Nord-Norge er meget begrensede, og gjør det vanskelig å fange opp forandringer som skyldes klimaendringer. For å fange opp viktige forandringer på et tidlig tidspunkt bør det vurderes opprettet overvåkningsprogrammer som fokuserer på overvåkning av de deler av økosystemene der man forventer betydelige forandringer; på utsatte arter eller områder, og som har potensial til å fange opp eventuelle overraskelser. Det forventes store forandringer i økosystemenes funksjon og utbredelse både på fjellet, i bjørkeskogen og i barskogen, som bør gi grunnlag for målrettede overvåkningsprogrammer.



Foto: Rudi Caeyers, rudicaeyers.com

Gjennom MOSJ (Miljøovervåkning av Svalbard, Jan Mayen og tilgrensende havområder) samles data for å overvåke en rekke fysiske og biologiske parametre. Med den store temperaturforskjellen fra vest til øst på Svalbard og den sterke temperaturøkningen som er forventet i øst, vil det være særlig viktig å overvåke endringer i økosystemene på østsiden av Svalbard. Naturrestatene på østsiden av Svalbard er fredet, blant annet som referanseområde for forskning. På Jan Mayen bør flere aspekter ved økosystemet tas inn i et langsiktig overvåkningsprogram, da kjennskapet til økosystemet på øya er for dårlig i dag.

En stor utfordring knyttet til havforsuring er at de biologiske og økologiske effektene ikke er kartlagt godt nok. Undersøkte organismer viser også stor variasjon i hvilken effekt redusert pH har, både mellom beslektede arter og innen samme art. Flere studier er også gjort på mye lavere pH-nivåer enn det som er beregnet for havene i norsk Arktis, og resultater derfra kan ikke overføres direkte til forventet pH-utvikling.

... før det er for sent...

Vi ser allerede en rekke effekter av klimaendringene, som vi har begrenset kunnskap om. Et slikt område er forsuring av havene på grunn av økte utslipp av CO₂. Grundige studier, både av fremtidig pH i havet og effektene på alle typer organismer, er viktig for å kartlegge økosystemeffekter og sekundære effekter på folk, næring og samfunn. Mer detaljerte og pålitelige beregninger av værforhold, havnivå og temperatur både i luft, vann og på landjorden er viktig for å planlegge den fremtidige samfunnsutviklingen på en slik måte at ikke store verdier går tapt. Det er heller ikke slik at alle endringer kommer gradvis og jevnt med de forventede klimaendringene. Enkeltarter og deler av det fysiske miljøet kan også ha tipping points; terskelverdier som med-

fører at en overskridelse gir et ras av effekter. Disse grenseverdiene er det viktig at vi kjenner til, slik at eventuelle tiltak kan settes inn før vi får plutselige effekter med alvorlige konsekvenser på økosystemer og samfunn.

Investeringer i infrastruktur som forventes å ha lang levetid må gjøres i forhold til de forventede klimaendringene. Hvis ikke, kan for eksempel store vegutbygginger og rassikringsprosjekter vise seg å være unødvendige eller feil utført i forhold til fremtidens klima, og samfunnets ressurser er dermed sløst bort. Klima kan også påvirke bosettingsmønstre, for eksempel gjennom endringer i næringer. Dette er også viktig å ta høyde for i forhold til samfunnsplanlegging på andre områder.

Mer tverrfaglig samarbeid for å forstå klimaendringene

For å kunne forstå det kompliserte bildet av naturlige svingninger og klimaendringer, med effekter på de forskjellige økosystemene, kreves et bedre samarbeid innenfor fagområdene oseanografi, havis, meteorologi og biologi. Selv om de globale beregningene av klimaendringene er entydige, er det viktig å ha i mente at de regionale forskjellene kan være store. For videre å forstå konsekvensene for samfunn og næringsutvikling på grunn av endringer i økosystemene, kan også et samarbeid mellom de mer realfaglige deler av klimaforskningen knyttes sterkere opp mot samfunnsvitenskapen. Dette gjøres per i dag i en rekke prosjekter om tilpasning og sårbarhet i nordområdene, som viser hvor viktig slikt samarbeid er for å forstå de kompliserte sammenhengene mellom mennesker og miljø.

Flerfaglig samarbeid vil gjøre det mulig å beregne både direkte og indirekte effekter av klimaendringer mer presist. For eksempel vil et samarbeid mellom meteorologi, oseanografi og biologi bedre kartlegge hvordan de arktiske artene i Barentshavet vil utsettes for konkurranse fra sørligere arter. Dette kunne både gi en forståelse av hvilke miljøforhold som vil være i de ulike deler av havet og koble forventede biologiske effekter til dette. Et eksempel på et kunnskapshull er forholdet til timing og fysisk plassering av biologiske prosesser både på land, i havet og i ferskvann. Hvis algeoppblomstring og dermed forekomst av dyreplankton i havet skjer til tider eller på steder hvor ikke fiskeyngelen er samtidig, får vi en såkalt mismatch i tid og/eller rom som gjør at fiskeyngelen ikke får nyttiggjort seg dyreplankton som mat, med potensielt store konsekvenser for fiskebestandenes rekruttering.



Klima 21

Regjeringen etablerte i 2008 et strategisk forum for klimaforskning, kalt «Klima 21». Dette ledes gjennom en bredt sammensatt styringsgruppe med medlemmer fra forskningsmiljøer, miljøorganisasjoner, offentlige etater og næringsliv. Klima 21 skal konsentrere arbeidet om fire temaområder, som er utpekt som de viktigste kunnskapshullene:

- Klimautviklingen og klimaendringer
- Konsekvenser av og tilpasninger til klimaendringer
- Klimapolitikk
- Tiltak og utslippsreduksjoner

På tvers av disse er globalisering, næringsutvikling og forutsetninger for forskning viktige temaer.

Tilpasning krever også kunnskap

Tilpasning av samfunnet må ta utgangspunkt i den forventede klimasituasjonen. Kunnskap om klimatilpasning må fremskaffes og utvikles i samarbeid mellom eksperter og praktikere, brukere og beboere i de områder som berøres. Det er særlig viktig at det tas hensyn til kunnskap om spesielle lokale forhold som kan være relevant for klimatilpasning, også om disse ikke er direkte knyttet til klimaendringer. Nasjonale eksperter på klimaendringer kan vanskelig se koblinger til alle relevante lokale forhold som innbyggere i et område og næringsutøvere kan se. Kunnskapsgrunnlaget for beslutningene om tiltak og virkemidler i klimatilpasningen vil bli bredere og mer detaljert om lokale beboere og næringsutøvere bidrar.

Det er gjort noen studier av de regionale forskjellene i forventede klimaeffekter. Disse studiene viser at det er viktig å ha et regionalt og lokalt fokus på tilpasning. Noen næringer vil møte helt motsatte utfordringer i ulike deler av Norge. Eksempelvis forventes lakseoppdrett å kunne blomstre i Nord-Norge (gitt at de riktige grep tas i forhold til tilpasning), mens oppdrettsnæringen sør i landet kanskje må tilpasse seg dårligere oppdrettsforhold for laks. På mange områder vil det være viktig å kunne identifisere slike regionale forskjeller for å møte fremtidens utfordringer med de rette grepene.

Senter for klima og miljø i Tromsø

I Regjeringens nordområdestrategi er det understreket at Norge skal være i front internasjonalt når det gjelder utvikling av kunnskap om, for og i nordområdene. Et sentralt tiltak er etableringen av et Senter for klima og miljø i Tromsø i 2010, med ambisjon om å skape et internasjonalt ledende senter i nord. Senteret skal koordineres med eksisterende kompetansemiljøer i Norge, og sees i sammenheng med opptrappingsplanen for klimaforskning og Klima 21.

Regjeringen vil gjennom Senter for klima og miljø tilrettelegge for kunnskapsutvikling som gjør Norge i stand til å forvalte våre ressurser og økosystemer i hav og på land i nord på en bærekraftig måte, og gi viktige bidrag til kunnskap av global betydning knyttet til klima- og miljøendringer i Arktis. Norge har store hav- og landområder i nord og det forplikter oss til å få til en god forvaltning i disse områdene. Urfolk står overfor særskilte utfordringer i nord når det gjelder livsvilkår, kultur og næringsveier. Vi trenger økt flerfaglig/tverrfaglig samarbeid mellom naturvitere, teknologer og samfunnsvitere for å møte komplekse utfordringer i et krevende og værhardt klima. Ved å styrke forskning og utdanning i nord og bygge opp kunnskapsbasert forvaltning kan Norge ligge i forkant av utviklingen og utvikle nye tiltak for å møte utfordringene og bruke mulighetene som oppstår.

Hovedmål for senteret:

- Senter for klima og miljø skal bidra med kunnskap som gjør Norge til den fremste forvalter av miljøet og naturressursene i nordområdene.
- Senteret skal videreutvikles til et internasjonalt ledende senter for forvaltningsrelevant forskning på klima og miljø i nordområdene.

Forslag til faglige flaggskip i Senter for klima og miljø

- Havisen i Polhavet og tilgrensende havområder
- Effekter av klimaendringer på kyst- og fjordøkosystem, inkludert samfunnsutvikling og næringsliv
- Havforsuring
- Effekter av klimaendringer på økosystem på landjorden, inkludert samfunnsutvikling og næringsliv
- Miljøgifter



Tromsdalstind i midnattsol, Tromsø. Foto: Arvid Sveen

Det faglige grunnlaget for denne rapporten

I all hovedsak danner de fem delutredningene i NorACIA grunnlaget for denne rapporten, men på noen områder er det hentet inn ytterligere informasjon. Delutredningene som er produsert i NorACIA er:

Førland EJ, Benestad RE, Flatøy F, Hanssen-Bauer I, Haugen JE, Isaksen K, Sorteberg A & Ådlandsvik B 2010. Klimautvikling i Nord-Norge og på Svalbard i perioden 1900–2100 – Klimaendringer i norsk Arktis. NorACIA delutredning 1. Norsk Polarinstitut Rapportserie 135

Holmen K & Dallmann W (red) 2010. Fysiske og biogeokjemiske prosesser – Klimaendringer i norsk Arktis. NorACIA delutredning 2. Norsk Polarinstitut Rapportserie 134

Loeng H, Ottesen G, Svenning M-A & Stien A 2010. Effekter på økosystemer og biologisk mangfold – Klimaendringer i norsk Arktis. NorACIA delutredning 3. Norsk Polarinstitut Rapportserie 133

Buanes A, Riseth JÅ & Mikkelsen E 2009. Effekter på folk og samfunn – Klimaendringer i norsk Arktis. NorACIA delutredning 4. Norsk Polarinstitut Rapportserie nr. 131

Buanes A, Riseth JÅ & Mikkelsen E 2009. Tilpasning og avbøtende tiltak – Klimaendringer i norsk Arktis. NorACIA delutredning 5. Norsk Polarinstitut Rapportserie 132

Tilleggsinformasjon er hentet fra følgende kilder:

Nøkkelfunn 1: Norsk Arktis blir varmere og våtere, men med store lokale variasjoner

Hanssen-Bauer I, Drange H, Førland EJ, Roald LA, Børsheim KY, Hisdal H, Lawrence D, Nesje A, Sandven S, Sorteberg A, Sundby S, Vasskog K & Ådlandsvik B 2009. Klima i Norge 2100. Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpassing. Norsk klimasenter

Nøkkelfunn 2: Selvforsterkende mekanismer i Arktis øker globale klimaendringer

Hanssen-Bauer I, Drange H, Førland EJ, Roald LA, Børsheim KY, Hisdal H, Lawrence D, Nesje A, Sandven S, Sorteberg A, Sundby S, Vasskog K & Ådlandsvik B 2009. Klima i Norge 2100. Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpassing. Norsk klimasenter

Westbrook GK, Thatcher KE, Rohling EJ, Piotrowski AM, Pälike H, Osborne AH, Nisbet EG, Minshull TA, Lanoisellé M, James RH, Hühnerbach V, Green D, Fisher RE, Crocker AJ, Chabert A, Bolton C, Beszczynska-Möller A, Berndt C & Aquilina A 2009. Escape of methane gas from the seabed along the West Spitsbergen continental margin. *Geophysical Research Letters* 36, L15608, doi 10.1029/2009GL039191

Nøkkelfunn 3: Klimaendringene gjør Arktis mer sårbar for miljøgifter og ultrafiolett stråling

AMAP 2009. Arctic Pollution 2009. Arctic Monitoring and Assessment Programme

AMAP 2009. Update on selected climate issues of concern. Arctic Monitoring and Assessment Programme

AMAP 2003. AMAP Assessment 2002: The Influence of global change on contaminant pathways to, within, and from the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme

Nøkkelfunn 5: Havet blir varmere og økosystemene forandres

Oug E & Sundet JH 2008. Alteration in soft bottom fauna in the Varangerfjord after the red king crab introduction. In Sundet JH & Berenboim B (eds): Research on the red king crab (*Paralithodes camtschaticus*) from the Barents Sea in 2005–2007. Pp. 40–43. IMR/PINRO Joint Report Series 2008 (3)

Nøkkelfunn 6: Havet forsures og korallene kan forsvinne

Caldeira K 2007. What corals are dying to tell us about CO₂ and ocean acidification. *Oceanography* 20 (2), 188–195

Golmen LG, Berge JA, Dale T, Durand D, Johnsen TM, Lømsland E, Pedersen A, Bjørge A, Christensen-Dalsgaard S & Hareide NR 2008. Forvaltningsplan for Norskehavet. Deltema forsuring av havet. NIVA Rapport LNR 5526

Børsheim KY 2008. Forsuring av havet medfører nye utfordringer for biologisk forskning. Fisken og havet 3. Havforskningsinstituttet

Nøkkelfunn 11: Samfunnet kan og må tilpasse seg

Vestreng V, Kallenborn R & Økstad E 2009. Climate influencing emissions, scenarios and mitigation options at Svalbard. Klima- og forurensningsdirektoratet, TA-2552

Referanser til figurene

Figur 2, s. 22: IPCC 2007. Summary for policymakers. In Solomon S et al. (eds): Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press

Figur 3, s. 27, figur 6, s. 32, figur 9 s. 38, figur 10, s. 38: Førland EJ, Benestad RE, Flatøy F, Hanssen-Bauer I, Haugen JE, Isaksen K, Sorteberg A & Ådlandsvik B 2010. Klimautvikling i Nord-Norge og på Svalbard i perioden 1900–2100 – Klimaendringer i norsk Arktis. NorACIA delutredning 1. Norsk Polarinstitutt Rapportserie 135

Figur 4, s. 28–29, figur 5, s. 30–31: Hanssen-Bauer I, Drange H, Førland EJ, Roald LA, Børsheim KY, Hisdal H, Lawrence D, Nesje A, Sandven S, Sorteberg A, Sundby S, Vasskog K & Ådlandsvik B 2009. Klima i Norge 2100. Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpassing. Norsk klimasenter

Figur 7, s. 34: Isaksen K, Sollid JL, Holmlund P & Harris C 2007. Recent warming of mountain permafrost in Svalbard and Scandinavia. *Journal of Geophysical Research* 112, F02S04, doi 10.1029/2006JF000522

Figur 8, s. 37: ACIA 2004. Impacts of a warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment. Cambridge University Press

Figur 11, s. 45: Loeng H & Drinkwater K 2007. An overview of the ecosystems of the Barents and Norwegian Seas and their response to climate variability. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 54, 23–26

Figur 15, s. 58: Oppdatert etter Holmen K & Dallmann W (red) 2010. Fysiske og biogeokjemiske prosesser – Klimaendringer i norsk Arktis. NorACIA delutredning 2. Norsk Polarinstitutt Rapportserie 134

Figur 18, s. 68: AMAP 2003. AMAP Assessment 2002: The influence of global change on contaminant pathways to, within, and from the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme

Figur 19, s. 76: Blackford J & Gilbert F J 2007. pH variability and CO₂ induced acidification in the North Sea. *Journal of Marine Systems* 64, 229–242. Omarbeidet fra Pearson PN & Palmer MR 2000. *Nature* 406, 695–699

Figur 20, s. 76: Bellerby GA, Olsen A, Furevik T & Andersson TG 2005. Response of the surface ocean CO₂ systems in the Nordic Seas and Northern North Atlantic to climate change. In Drange H et al. (eds): *The Nordic seas, an integrated perspective*. AGU Geophysical Monographs

Figur 21, s. 83: Jepsen JU, Hagen SB, Ims RA & Yoccoz NG 2008. Climate change and outbreaks of the geometrids *Operophtera brumata* and *Epirrita autumnata* in subarctic birch forests: evidence of a recent outbreak range expansion. *Journal of Animal Ecology* 77, 257–264

Figur 22, s. 86: Nilssen AC 2010. Er skogflåtten i ferd med å innta Nord-Norge? Ottar 1. Tromsø Museum – Universitetsmuseet i Tromsø

Figur 23, s. 92: Loeng H, Ottesen G, Svenning M-A & Stien A 2010. Effekter på økosystemer og biologisk mangfold – Klimaendringer i norsk Arktis. NorACIA delutredning 3. Norsk Polarinstitutt Rapportserie 133

Figur 24, s. 103: Buanes A, Riseth JÅ & Mikkelsen E 2009. Tilpasning og avbøtende tiltak – Klimaendringer i norsk Arktis. NorACIA delutredning 5. Norsk Polarinstitutt Rapportserie nr. 132

Figur 25, s. 109: Groven K, Sataøen HL & Aall C 2006. Regional klimasårbarhetsanalyse for Nord-Norge. Norsk oppfølging av Arctic Climate Impact Assessment (NorACIA). VF-rapport 4/06. Vestlandsforskning

Figur 26, s. 109: West J & Hovelsrud GK 2008. Climate change in Northern Norway. Toward an understanding of socio-economic vulnerability of natural resource dependent sectors and communities. Cicero Report 2008:04

Figur 27, s. 112: Kleven T 2005. Klimaendringer og lokal såbarhet: Noen faglige overveielser for et forskningsopplegg. NIBR-rapport 2005:15. Norsk institutt for by-og regionforskning





Global oppvarming er en av de største utfordringene jordens befolkning står overfor. Klimaendringene vil bli spesielt merkbare i Arktis, hvor oppvarmingen blir forholdsvis større enn mange andre steder på kloden. Arktis spiller også en viktig rolle i det globale klimasystemet, og endringer der kan gi konsekvenser for hele kloden.

Denne rapporten samler og oppsummerer noen av de viktigste funnene i NorACIA (Norwegian Arctic Climate Impact Assessment), som er den norske oppfølgingen av ACIA (Arctic Climate Impact Assessment) fra 2004 om klimaendringene og deres effekter i Arktis.

Rapporten er en sammenstilling av mulige fremtidige hendelser og sannsynlige effekter og konsekvenser for de nærmeste 90 årene basert på kunnskap som er tilgjengelig i dag, og viser at klimaendringene kommer til å påvirke både økosystemene og samfunnene i nord i tiden fremover.

NorACIA er den første helhetlige sammenstillingen av kunnskap om klimaendringene i norsk Arktis: I Nord-Norge, på Svalbard og havområdene utenfor.

