

CICERO Report 2001:1

Virkninger av klimaendringer i Norge

Oppsummeringsrapport fra seminaret i Oslo,
30. og 31 oktober 2000

Linda Sygna og Karen O'Brien

5 februar 2001

CICERO

Center for International Climate
and Environmental Research
P.O. Box 1129 Blindern
N-0318 Oslo, Norway
Phone: +47 22 85 87 50
Fax: +47 22 85 87 51
E-mail: admin@cicero.uio.no
Web: www.cicero.uio.no

CICERO Senter for klimaforskning

P.B. 1129 Blindern
0318 Oslo
Telefon: 22 85 87 50
Faks: 22 85 87 51
E-post: admin@cicero.uio.no
Nett: www.cicero.uio.no

Forord

Denne rapporten oppsummerer et seminar arrangert av CICERO Senter for klimaforskning om "Virkninger av klimaendringer". Seminaret fant sted på Håndverkeren i Oslo, 30.- 31. oktober 2000.

Bakgrunnen for seminaret er et ønske om å fokusere på virkninger av klimaendringer i våre områder. Dette bygger igjen mye på nye resultater fra forskningsprosjektet RegClim, der det blant annet presenteres regionale scenarier for klimaendringer i Norge. Resultatene er foreløpige og må selvfølgelig tolkes med stor forsiktighet. Ikke desto mindre mener vi at slik informasjon om de fysiske klimaendringene vi kan forvente de kommende 50 årene nå gir grunnlag for å se nærmere på de virkningene vi kan komme til å oppleve som følge av dette i form av endringer i ulike biofysiske systemer, og konsekvenser av dette på samfunnet lokalt og nasjonalt.

Virkningene er mange og sammenhengene mellom endringer i klimaforhold og konsekvenser for samfunnet svært komplekse. I studier om virkninger av klimaendringer må man derfor trekke inn fagkompetanse fra mange ulike hold. Seminaret var ment å gi en oversikt over hva vi vet i dag samt en forsøksvis rangering av hva man bør prioritere i det videre arbeidet. I tillegg kommer det faktum at å samle mange ulike fagfolk til et to-dagers faglig seminar hjelper til å knytte bånd mellom forskere på tvers av egne faglige sirkler. Vårt håp er at slike bånd i sin tur vil lette etablering av tverrfaglig samarbeid i framtiden.

Den foreliggende rapport sammenfatter kort det som kom frem på seminaret i form av oversikter over kunnskapsstatus samt tanker om videre arbeid. Vårt håp nå er at dette nedfelles i forslag til finansierbare prosjekter, slik at vi om ett års tid kan møtes på nytt for å diskutere Virkninger av klimaendringer, og da legge frem nye forskningsresultater.

I våre øyne var seminaret vellykket, og hovedæren for dette tilfaller selvfølgelig de enkelte fagfolk som deltok med stor entusiasme. Vi ønsker med dette å rette en stor takk til dem alle. På den tekniske plan ble konferansen ledet av Karen O'Brien og Linda Sygna fra CICERO Senter for klimaforskning med hjelp av Tone Veiby. En stor takk til dere også!

Knut H. Alfsen
Direktør

Innholdsfortegnelse

1	INNLEDNING	1
2	SÅRBARHET OVERFOR KLIMAENDRINGER	3
3	FREMTIDIGE KLIMAENDRINGER I NORGE	7
4	VIRKNINGER FOR ULIKE ØKOSYSTEM OG SEKTORER.....	9
4.1	Vassdrag	9
4.2	Naturlige terrestre økosystemer.....	11
4.3	Jordbruk.....	12
4.4	Skogbruk	15
4.5	Skogsjord.....	17
4.6	Marine økosystemer	18
5	INTERNASJONAL EFFEKTFORSKNING I NORGE.....	21
5.1	Arctic Climate Impact Assessment (2000–)	21
5.2	Climate Change Experiment (1993–1998).....	22
5.3	Climate Change and Energy Production (1991–1996).....	23
5.4	THERMocline Oriented Studies (1998–).....	24
6	KONKLUSJON	26
	APPENDIX I: SEMINARPROGRAM.....	I
	APPENDIX II: SEMINARDELTAKERE	III
	APPENDIX III: LITTERATURLISTE.....	VI

1 Innledning

Tidlig på nittitallet var mange norske forskningsmiljøer opptatt av hvilke konsekvenser klimaendringer vil ha. I regi av Miljøverndepartementet ble det dengang utarbeidet en rapport om mulige virkninger av drivhuseffekten og hvilke tiltak som bør settes iverk på ulike områder (Miljøverndepartementet (1991), "Drivhuseffekten, virkninger og tiltak"). Dette til tross: Et tiår har passert uten at man har hatt omfattende effektstudier for Norge. Det er riktignok en rekke eksempler på smalere studier som tar for seg effekter på enkeltarter. Det foreligger også eksempler på sektorstudier innenfor landbruk, havbruk, energiproduksjon og turisme. Men Norge mangler fortsatt et helhetsperspektiv når det gjelder effekter av klimaendringer, spesielt hvordan det norske samfunn og økonomi vil påvirkes av klimaendringer, dvs. hvilke ringvirkninger som kan forventes. Likeledes vet vi lite om hvilke områder av landet som er mest sårbare overfor endringer.

Det er flere forhold som gjør at vi har et bedre utgangspunkt for å gjøre effektstudier i dag enn for ti år siden. For det første er de globale klimamodellene nå langt bedre enn det de var tidlig på 90-tallet. Med utgangspunkt i disse globale modellene kan forskningsprosjektet Regional Climate Development Under Global Warming (RegClim)¹ si noe om mulig klimautvikling i våre områder. For det andre er det internasjonalt stor aktivitet når det gjelder effektforskning. Helhetlige effektstudier er gjennomført i USA, en rekke europeiske land, og i over 60 utviklingsland og land med overgangøkonomier. Studiene understreker viktigheten av å forstå hvordan klimaendringer og klimavariasjon påvirker natur og samfunn. Sist men ikke minst har høstens vær-situasjon vært en påminnelse om at natur og samfunn er sårbare overfor klimavariasjoner og ekstremt vær. RegClims resultater viser at vi også i fremtiden kan forvente mer ekstremt vær.

Derfor var det på tide å bringe effektforskningen inn på banen igjen og stille seg spørsmålet: *Hva vet vi om mulige virkninger i Norge av klimaendringer?* Den 30. – 31. oktober arrangerte derfor CICERO seminaret "Virkninger av klimaendringer" på Håndverkeren i Oslo.

Seminarets første dag var satt av til presentasjoner fra deltagende institusjoner. Avdelingssjef Jesper W. Simonsen fra Norges forskningsråd snakket om Forskningsrådets prioritering av effektforskning. Tross manglende finansieringsprogram for effektforskning per dags dato påpekte Simonsen at Forskningsrådet arbeider for en betydelig satsing fra 2002. Han viste bl.a. til anbefalingene fra Samarbeidsutvalget for klimaforskning om økt satsning på forskning knyttet til effekter av endret klima. Karen O'Brien og Linda Sygna fra CICERO gjennomgikk motivene for en helhetstudie av effekter, samt den metodemessige tilnærming til denne type studier. Jan Erik Haugen og Eirik Førland fra Meteorologisk Institutt presenterte RegClims klimascenarier for Norge og metodene bak disse scenariene. De

¹ Informasjon om RegClims aktivitet og resultater kan finnes på Internett adressen www.nilu.no/regclim eller i tidsskriftet *Cicerone*.

to sistnevnte presentasjonene vil bli omtalt i mer detalj i henholdsvis kapittel 2 og kapittel 3.

Med de innledende presentasjonene var scenen satt for de mange ekspertene som arbeider med virkninger av klima og klimavariasjon. Presentasjonene favnet om effekter på bl.a. naturlige terrestre økosystemer, marine økosystem, skogbruk og skogsjord, jordbruk, vassdrag, flom, avrenning, vasskraftproduksjon og fenologi. På seminarets andre dag ble deltagerene inndelt i grupper for å diskutere biofysiske og sosioøkonomiske virkninger av framtidig klimaendring for ulike økosystemer og sektorer. Seminaret ble avsluttet med presentasjoner av gruppearbeidene.

Rapporten tar for seg utfallet av presentasjoner, gruppearbeid og diskusjoner som fant sted i løpet av seminaret. Først følger en gjennomgang av *sårbarhetskonseptet* og studier av virkninger av klimaendringer i kapittel 2 "Sårbarhet overfor klimaendringer". I kapittel 3 "Fremtidige klimaendringer i Norge" presenterer vi metoden benyttet i RegClim og hovedresultatene fra arbeidet. Rapportens hoveddel er å finne i kapitlet 4 "Virkninger for ulike økosystemer og sektorer". Dette er en gjennomgang av mulige biofysiske og sosioøkonomiske konsekvenser for vassdrag, naturlige terrestre økosystemer, jordbruk, skogbruk, skogsjord og marine økosystemer. Deretter følger en kort gjennomgang av eksisterende internasjonal effektforskning som har relevans for Norge i kapittel 5. Til slutt i rapporten følger det en oversikt over seminarets program samt deltagerliste. Vi har også valgt å inkludere en liste over litteratur vi finner relevant for effektstudier innenfor ulike områder.

2 Sårbarhet overfor klimaendringer

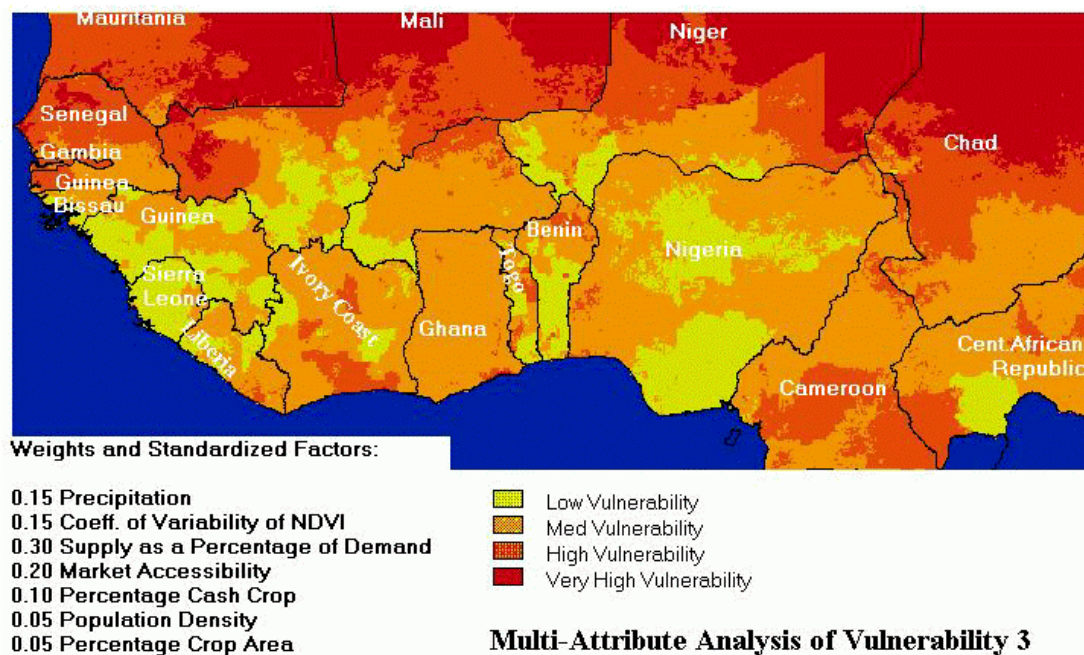
FNs klimapanel gir sterke indikasjoner på at klimaet er i endring og at denne endringen er menneskeskapt. Klimaendringer kan få alvorlige konsekvenser globalt. Hvordan konsekvensene vil manifesteres i ulike land er usikkert, men mye tyder på at mange utviklingsland og lavtliggende øysamfunn er mer sårbare overfor endret temperatur, havnivåstigning, og endret nedbørsmønster enn de fleste industrialiserte land. Det er ingen grunn til å tro at klimaendringene vil ramme Norge urovekkende hardt. Tvert imot blir det av mange sett på som positivt at Norge får et varmere klima (om da ikke de varme havstrømmene i Nord Atlanteren svekkes for mye. Scenariene fra RegClim indikerer imidlertid at temperaturøkningen ikke kommer alene, men blir fulgt av mer nedbør og økt vindaktivitet. Den forventede økningen i middeltemperatur skyldes dessuten i all hovedsak økte minimums-temperaturer i vintermånedene.

Norge er et langstrakt land med store klimatiske variasjoner mellom landsdeler og årstider. Hvordan klimaet manifesteres lokalt er derfor svært geografisk bestemt og avhengig av årstiden. Denne variasjonen mellom nord og sør, kyst og innland, og ulike topografier vil også gjøre seg gjeldene ved klimaendringer. Samtidig er det sektorer, regioner og sosiale grupper som er mer sårbare overfor endringer i klima enn andre. Med fokus på *sårbarhet* kan områder og grupper med høy risiko identifiseres.

Sårbarhet kan defineres som en tilstand der man lett kan bli skadet eller påvirket av et objekt eller en hendelse. *Biofysisk sårbarhet* refererer til områdets fysiske tilstand og hvordan denne påvirker mennesker og biologisk mangfold. I et biofysisk perspektiv kan mennesker som lever i utsatte kystområder eller i rasutsatte områder karakteriseres som sårbare. *Sosial sårbarhet* refererer til de politiske, sosiale og økonomiske forholdene i samfunnet. Områder som f.eks. er svært avhengig av en næringssektor, eller har høy generell arbeidsledighet, eller opplever store demografiske endringer kan karakteriseres som sosialt sårbare. Innenfor dette ligger det også en viktig distinksjon mellom *individuell* og *kollektiv sårbarhet*.

De fleste eksemplene på sårbarhetsanalyser er relatert til matvaresikkerhet eller naturkatastrofer. Figur 1 viser et sårbarhetskart over Vest-Afrika med vektete indikatorer som f.eks. nedbør, markedstilgang, befolkningstetthet, som er viktig for matsikkerhet. Hvor høyt tilbudet av mat er relativt til etterspørsel etter mat er svært avgjørende blant annet for matvaresikkerheten i et område. Samtidig er markedstilgangen avgjørende for om mennesker faktisk får muligheten til å kjøpe maten som er tilgjengelig. Områdene som er mørke er mest sårbare med hensyn til mattilgang.

Figur 1. Sårbarhetskart over Vest-Afrika, matvaresikkerhet (kilde: Ramachandran and Eastman 1997).



Lignende kart kan utarbeides for *sårbarhet* overfor klimaendringer. For å kunne utforske samfunnets *sårbarhet* overfor klimaendringer trenger vi imidlertid kunnskap om virkninger av klimaendringer. En kan skaffe seg denne kunnskapen på flere måter. Å basere seg på scenarier er en metode mye brukt internasjonalt, og er beskrevet av Parry og Carter (1998).

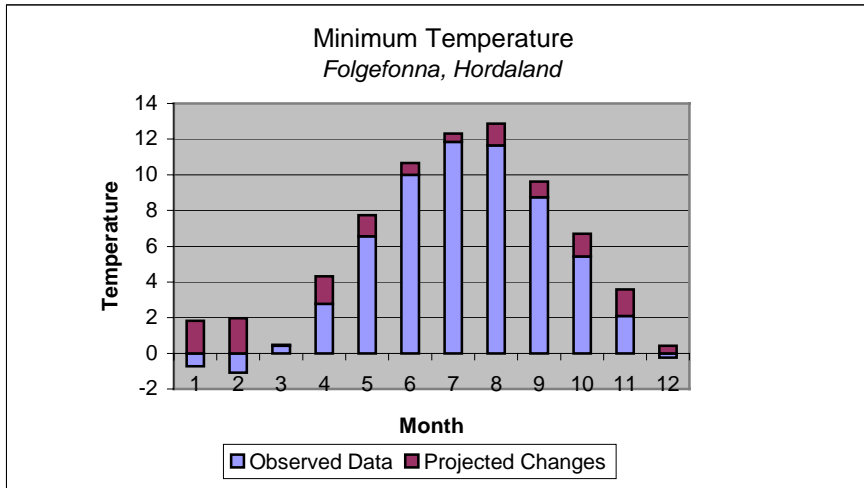
De fleste klimascenariene kommer fra generelle sirkulasjonsmodeller (GCMs), og endringer i klimavariabler finner en ved å sammenligne kontrollkjøringer for dagens klima med referansekjøringer for fremtiden. Den lave oppløsningen og mangel på regionale detaljer har vært de største problemene med de tradisjonelle modellscenariene. Samtidig har modellene ikke kunnet gi endringer i styrke og hyppighet av ekstremt vær.

I 1997 ble derfor forskningsprosjektet RegClim initiert for å utarbeide detaljerte klimascenarier for våre områder. RegClims analyser gjør det mulig å studere konsekvenser for ulike årstider og regioner. Scenariene kan gi informasjon om snødekke, sesonglengde, nedbørsintensitet, minimum- og maksimumtemperaturer, første og siste døgn med frost osv. for ulike områder i Norge. Det er denne typen informasjon (klimaindikatorer) en trenger for å analysere biofysiske og sosioøkonomiske konsekvenser av klimaendringer.

Med nye regionale modeller kan en utvikle regionale klimascenarier med informasjon om ekstremvær som f.eks. antall dager i året med regn over 20 mm, høyest vindstyrke i løpet av en periode, sannsynlighet for frost osv. Tross modellforbedringer er kontrollkjøringen fortsatt så grove at det ikke er mulig å fange opp lokalt klima i detalj og den fremtidige kjøringen blir derfor urealistisk og lite anvendelig.

Endringene som modellen kalkulerer blir derfor lagt til de observerte klimadataene for å få spesifikke lokale scenarier for klimaendringer. Figur 2 viser dette for fremtidig temperaturutvikling i Sogn og Fjordane.

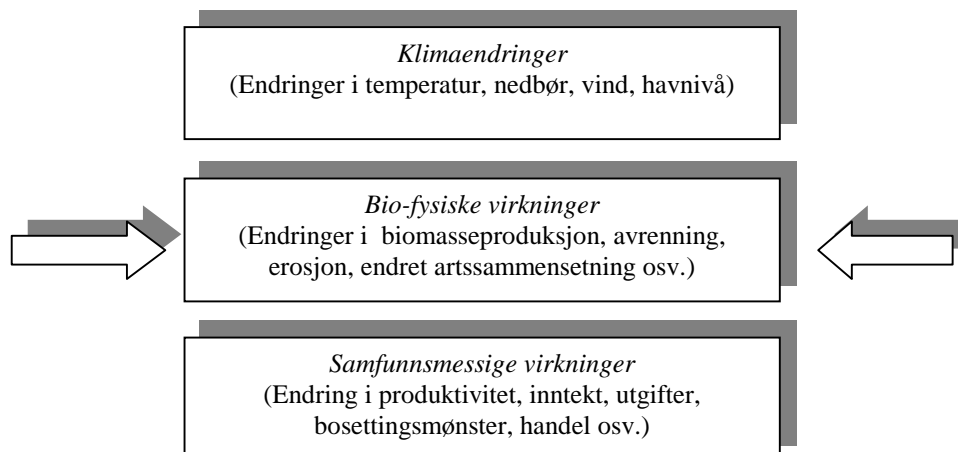
Figur 2. Scenarier for minimumstemperaturer på Folgefonna for perioden 2030 til 2050.



For å kunne studere virkninger av klimaendringer og klimavariabilitet trenger man for det første kunnskap om dagens økonomiske, sosiale og demografiske situasjon, samt kunnskap om de miljørelaterte problemer som ulike sektorer eller regioner står overfor. For det andre må man ha en formening om i hvilken retning samfunnsutviklingen går. Det gir f.eks. ikke mening å studere hvordan dagens landbruk blir påvirket av klimatiske endringer om 50 år da vi kan anta at dette er en av mange sektorer som vil gjennomgå store endringer over tid.

Ser vi regionale klimaendringer i sammenheng med regionale sosioøkonomiske trender og biofysiske virkninger kan vi finne hvilke sektorer og områder som trolig er mest utsatt for skade som følge av endret klima.

Figur 3. Virkninger av klimaendringer.



Metoder basert på scenarier kan imidlertid suppleres med studier av analogier. Studier av virkninger av klimavariasjon i dag kan hjelpe oss til å forstå konsekvensene av klimaendringer i det lange løp. Selv uten klimaendringer er enkelte aspekter ved samfunnet *sårbart* overfor klimavariasjon og ekstremt vær. Å redusere denne *sårbarheten* er i utgangspunktet viktig uavhengig av fremtidige klimatrender.

3 Fremtidige klimaendringer i Norge

Regional Climate Development Under Global Warming (RegClim) er et nasjonalt forskningsprosjekt som startet i 1997 og involverer seks institusjoner (Det norske meteorologiske institutt, Havforskningsinstituttet, Institutt for geofysikk (UiO), Geofysisk institutt (UiB), Nansen Senteret for Miljø og Fjernmåling, og Norsk institutt for luftforskning). Målsetningen med prosjektet er å beregne detaljerte regionale scenarier for klimaets utvikling i Norden, tilgrensende havområder og deler av Arktis ut fra globale beregninger. Prosjektet benytter to typer metoder for å beregne klimascenarier; **empirisk nedskalering** og **dynamisk nedskalering**. Dynamisk nedskalering anvender en klimamodell, men kun innenfor et begrenset geografisk område. Basert på randbetingelser fra globale sirkulasjonsmodeller kan man beregne scenarier for det regionale klimaet. Ved empirisk nedskalering utarbeides statistiske sammenhenger mellom observasjoner av lokalklima og observerte atmosfæriske forhold på stor skala, som deretter benyttes til å utarbeide scenarier. Resultatene fra de to metodene er i stor grad sammenfallende. Hovedresultater for RegClims første klimascenarie er gitt i Tabell 1.

Tabell 1. Gjennomsnittlig temperatur- og nedbørsendring fra perioden (1980–2000) til (2030–2050).

		Temperaturøkning (°C)	Nedbørsøkning (mm/døgn)	Nedbørsøkning (prosent)
Nord-Norge	hele året	1,6	0,3	7,8
	vår	1,4	0,2	5,0
	sommer	1,2	0,1	1,5
	høst	1,7	0,8	18,2
	vinter	2,0	0,2	5,2
Vestlandet	hele året	1,0	0,8	13,5
	vår	0,9	0,1	1,2
	sommer	0,7	1,0	18,2
	høst	1,1	1,5	23,5
	vinter	1,2	0,6	9,3
Østlandet	hele året	1,1	0,2	4,3
	vår	1,0	-0,1	-4,1
	sommer	0,6	0,1	1,7
	høst	1,3	0,3	6,9
	vinter	1,3	0,4	13,1

RegClim har prognostisert at årsmiddeltemperaturen i ulike deler av Norge vil øke med 0,2–0,5 °C per tiår. Temperaturøkningen vil være størst om vinteren og minst om sommeren. Det er særlig Nord-Norge som får økte minimumstemperaturer. Generelt vil middeltemperaturen øke mest i innlandet sammenlignet med kyststrøkene. Når på året temperaturendringene skjer er interessant med hensyn til lengden av sesonger. Langs kysten vil vintersesongen bli kortet ned med 25–35 dager. I innlandet er trenden at vinteren blir 15–25 dager kortere.

Årsnedbøren vil øke de fleste steder i Norge og i gjennomsnitt ca. 10 prosent for hele landet. Økningen vil være størst på Vestlandet, særlig sommer og høst. På østlandet kan en faktisk oppleve en nedgang i nedbørsmengden om våren, mens høsten er

forventet å bli relativt fuktig. Det er verdt å merke seg at nedbørsøkningen skyldes mer intenst regn og ikke nødvendigvis flere dager med regn. På Vestlandet vil antall dager med nedbør over 20 mm øke med mer enn 6 dager i perioden fra september til november.

Også gjennomsnittlig vindhastighet vil øke litt de fleste steder i vinterhalvåret. Økningen blir størst i Langfjella, på kysten av Møre og Trøndelag og i Barentshavet øst for Finnmark. Minst økning får vi ventelig sør for Bergen og øst for Lindesnes. Antall stormer vil øke noe, og da mest på kysten av Møre og Trøndelag.

RegClims analysearbeid kan gi oss informasjon om en rekke klimaindikatorer som er av betydning for de biofysiske effektene av klimaendringer på regionalt nivå. Hvorvidt samfunnet blir påvirket av endringer i f.eks. økosystemer og vegetasjonstyper er avhengig av selve endringen og hvor sårbart samfunnet er overfor slike endringer.

4 Virkninger for ulike økosystem og sektorer

Oppsummeringen som følger er basert på presentasjoner, gruppearbeid og diskusjoner angående effekter på vassdrag, naturlige terrestre økosystemer, marine økosystemer, jordbruket, skogbruket og skogsjord.

4.1 Vassdrag

Norske vassdrag bli påvirket av endringer i klima gjennom en rekke prosesser. Endringer i nedbør og temperatur er avgjørende for totaleffekten av klimaendringer i vassdrag. Økt nedbør øker *tilsaget* til vassdragene. Samtidig vil økte temperaturer resultere i økt fordamping. I noen sammenhenger er også vind relevant, fordi dette påvirker sirkulasjonen i vassdragene. Det er særlig i forbindelse med intense nedbørsperioder at effektene blir store.

Flom er en av mange direkte biofysiske konsekvenser av endret nedbørsmønsteret både med hensyn til frekvens og intensitet. Mange områder har vist seg sårbare overfor flomhendelser og mye tyder på at dette også vil gjelde større og flere områder i fremtiden. Hvordan flomregimer blir påvirket av klimatiske endringer er likevel høyst regionalt forskjellig. I noen områder vil en kunne få flere høst- og vinterflommer. Det er særlig i innlandselver som i dag har stabilt isdekke at vinterflommer med isgang kan bli mer vanlig. Faren for erosjon og sedimenttransport tiltar som følge av flom på barmark. NVE forventer at det er enkeltflommene på Østlandet som vil resultere i størst påregnelig skade. Innslaget av leirjord er stort i flatbygdene på østlandet og leirjorda er særs sårbar overfor store vannmengder.

Når vinterflommen øker vil dette resultere i større tilførsel av næringsstoff til vannmassene i fjordene. Produksjonen i fjordene er lav i vinterhalvåret, det er derfor usikkert om de ekstra tilførte næringsstoffene blir tatt opp av de levende organismene. I andre områder kan en oppleve å få kraftigere vårflom som følge av at store mengder snø i høyfjellet smelter om våren. Varmere vår kombinert med store snømengder i fjellet kan få store følger for noen vassdrag. Sammenligner vi regulerte vassdrag med vassdrag der *tilsaget* har fritt leie så vil en endring i flomregime være mest kritisk for regulerte vassdrag mht. damsikkerhet.

I urbane strøk vil endret flomregime f.eks. kunne få konsekvenser for avløpsvann og drikkevannskvalitet. Høsten 2000 fikk vi demonstrert at avløpssystemet i Oslo ikke er dimensjonert for slike mengder med nedbør som kom i løpet av oktober og november. Sommerstid vil en nedbørsøkning være positivt for vassdrag som i utgangspunktet har lav vannføring i sommermånedene. I tett befolkede områder kan vannmangel i de tørreste månedene være et problem. I følge prognosene fra RegClim vil nedbøren om sommeren (juni – august) øke med 9,5 prosent. Dette vil redusere potensialet for brukerkonflikt i sommerhalvåret når vannbehovet er større enn resten av året. Hvor tørt det blir er imidlertid også avhengig av temperatur.

For terrestriske flora og fauna er det ikke nødvendigvis styrken på flommen og maksimal vannføring som har størst effekt. Mye tyder på at vannkjemien er desto viktigere. Hydrologiske og klimatiske forhold i forkant av en flom er ofte langt

viktigere for vannkjemien enn vannføringen under en flom. Mengden av svovelsyre og salpetersyre (sur nedbør) eller natriumklorid (sjøsalter) i snø eller regn er f.eks. helt bestemmende for vassdragets vannkvalitet. Ved endrede klimatiske forhold vil vassdragene få en endret oksygen- og næringstilgang (endret eutrofiering). Hvorvidt endringene vil føre til tap av arter er usikkert, men en kan forvente at enkelte arter vil forsvinne fra noen lokaliteter eller regioner. En kan imidlertid forvente endrede konkurranseforholdet mellom arter. En rekke vestlandsvassdrag er preget av store nedbørsmengder, rask avrenning og tynt jordsmonn. Med forsterking av eksisterende meteorologiske trender, med mye nedbør, kan den kjemiske vannkvaliteten variere betydelig innenfor et vassdrag. Når vann med ulik pH blandes i vassdragenes nedre områder kan vannmassene bli svært giftige på grunn av ustabil aluminiumskjemi. Dette er særlig vanlig med vårflommene. De nedre delene av vassdragene er laksens viktigste oppholds- og reproduksjonsområder.

Hva betyr eventuelle klimaendringer som økt nedbør, vind og temperatur for innsjøene våre? Endret vind- og temperaturregime vil komme til å endre sjiktningsforholdene i innsjøene, siden de fleste norske innsjøer er sjiktet i et overflatelag og et bunnlag i sommersesongen. Varmeinnstråling (lufttemperatur) og vind er de hovedfaktorer som bestemmer for hvor dypt og hvor stabil denne sjiktningen (termoklinen) vil være i hver enkelt innsjø fra år til år. Dette vil kunne ha stor betydning for innsjøers kjemiske og biologiske forhold generelt, og hvordan innsjøer responderer på kjemiske forurensninger som næringsstoffer, sur nedbør og andre uorganiske og organiske miljøgifter.

Endrete nedbørforhold både kvantitativt og kvalitativt vil også være av stor betydning for innsjøers og nedbørfelts evne til takle forurensninger, siden vannets oppholdstid i økosystemene endres, og dermed også innsjøers og nedbørfelts tålegrenser. Vannets kjemiske sammensetning er også avgjørende for hvor godt egnet vannet er som drikkevann. Selv om tilførsler av klassiske forurensninger som metaller og sure komponenter har avtatt og forventes å avta ytterligere i framtiden, vil økt nedbør kunne medføre høyere grunnvannstand noe som videre betyr lengre oppholdstid/kontaktstid mellom vann og organiske sjikt i nedbørfeltet. Dette vil medføre høyere humuskonsentrasjon (farge) i vannet, noe som vil sette begrensinger for flere drikkevannskilder i Norge.

Vasskraft er hovedbestanddelen i norsk elektrisitetsforsyning med en dekning på 99 prosent. Det meste av denne produksjonen er å finne i Telemark, Hordaland, Sogn og Fjordane og Nordland. Med økt årsnedbør vil middelproduksjonen av kraft øke. I år 2000 var norsk elproduksjon på rekordstore 142 TWh (normalproduksjonen er 113 TWh) som følge av de store nedbørsmengdene. Sesongfordelingen av nedbøren vil være avgjørende for når og i hvilken grad kraftsektoren kan utnytte vannressursene. I noen områder vil f.eks. vintervannføringen øke og dermed erstatte høy vårvannføring. Kraftsektoren må da endre magasindisponering og mye tyder på at planlegging blir vanskeligere med større variabilitet i nedbørsmengden. Samtidig kan økte nedbørsmengder føre til tiltagende belastning på dammer og sikkerheten vil reduseres. På sikt kan det vise seg at sektoren må endre dimensjoneringskriteriene utfra forventede klimaendringer. I kraftsektoren er det særlig ytterpunktene for nedbør som er interessante. En kan forvente at antall toppflommer vil øke i deler av Norge og i brefelt.

Det er mulig at fremtidige klimatiske endringer resulterer i tilsig som er bedre tilpasset sesongvariasjoner i elektrisitetsforbruket. En klimatisk endring vil også kunne påvirke energisektoren indirekte gjennom endrede forbruksmønstre hos konsumenter. Med økte minimumstemperaturer vil behovet for oppvarming reduseres. I de nordiske landene vil reduksjonen i oppvarmingsbehov vinterstid sannsynligvis oppveie økt energiforbruk til avkjøling sommerstid, slik at totaleffekten kan bli energisparing.

4.2 Naturlige terrestre økosystemer

En klimaendring vil få konsekvenser for enkeltarter av planter og dyr, og hele økosystemer. Virkningene vil være størst for de arter som nettopp har sin utbredelsesgrense i våre områder. Arter i Norge som lever på grensen for sin nordlig utbredelse vil potensielt kunne vandre vertikalt og horisontalt. Arter som har sin grense for sørlig utbredelse i Norge vil kunne oppleve at leveområdet blir mindre ved at artene blir presset til kaldere områder i høyden og nordover.

Sesonglengde, snøgrense og –dekke, frost og fuktighet er klimaindikatorer som kan være helt avgjørende for enkeltarters evne til overlevelse og formering, og artens utbredelse. Studier av hjort i sør Trøndelag viser at hjortekoller som blir født etter en varm og våt vinter er mer fertile enn hjortekoller født i kalde og tørre år. Med høye temperaturer om vinteren og våren vil snøen trekke seg fortere tilbake om våren og næringsrikt fôr blir tilgjengelig for hjorten. De gode beiteforholdene kan forklare at hjortekollene kalver allerede som to-åringer. Det viser seg også at disse oppnår en høyere levealder enn hjortekollene født i kalde år. Varme vintre resulterer altså i en forsinket effekt for hjortestammens størrelse og sammensetning.

Fenologi er studiet av periodiske fenomener i planters livssyklus bl.a. hvordan disse påvirkes av ulike biotiske og abiotiske faktorer. Fenomener som løvsprett, blomstring, fruktsetting og løvfall kan brukes som indikatorer på klimavariasjon over tid. I Norge foreligger fenologiske observasjons-serier fra omkring midten av forrige århundre. Observasjoner for Oslo området indikerer en tidligere vår og en lengre høst i dette århundre sammenlignet med det forrige. Det viser seg at varmekjære planter på østlandet blomstret tidligere enn før, mens planter med en alpin eller nordlig utbredelse reagerer motsatt. Responsen kan være forskjellig fra art til art og provenienser imellom (dvs. imellom individer av samme art, men med forskjellig geografisk opprinnelse).

Klimaendringene vil kunne resultere i relativt store endringer i vegetasjonssammensetningen, insektsamfunn og fuglesamfunn, spesielt i randsonen mellom skog og fjellområder/fjellskogen. Hvorvidt disse endringene resulterer i tap av biologisk mangfold avhenger av hvilken tilpasningsevne artene og natursystemene innehar. I noen tilfeller kan det dessuten være naturlige barrierer for eventuell vandring. Det er også tenkelig at vi mennesker har forkludret noen av rømmingsveiene med vår rikholdige infrastruktur.

Hvordan vil vi mennesker oppleve endringene i naturlige økosystem som følge av endringer i klima? Endret vegetasjonssammensetning vil kunne få konsekvenser for

utmarksnringer som f.eks. beite og skogsdrift. Rent estetisk vil noen kanskje kunne oppleve endring i landskapstyper som negativt ved at nye landskapstyper er mindre severdige. Samtidig kan interaksjonen mellom ville arter og landbruk introdusere nye skadeorganismer til disse to systemene ved endrede klimatiske forhold. Forflytting av vegetasjonstyper samt et varmere og fuktigere klima kan resultere i gode etableringsforhold for uønskede skadeorganismer. Dette kan være organismer som systemet ikke selv ikke greier å hankses med. Mye tyder derfor på at bruken av plantevernmidler vil øke i fremtiden. En annen konsekvens av vegetasjonsendringer og forflytting av enkeltarter er at vernede naturområder kan miste sin funksjon, fordi artene simpelthen forsvinner fra det regulerte området. Det kan vise seg at nokså mange verneområder er feilplassert.

Noen av endringene i naturen vil få konsekvenser for menneskers helse. Som følge av økte temperaturer og økt CO₂-nivå i atmosfæren vil pollenmengden kunne øke, samtidig kan en forvente at pollensensongen starter tidligere på våren. Dette kombinert med økt vindaktivitet vil forbedre mange arters spredningspotensial og evne til overlevelse. Tidligere start på pollensesongen samt økte pollenmengder vil få innvirkning på antall og geografisk fordeling av allergikere i Norge.

Det er flere forhold som kompliserer studier av virkninger av klimaendringer for naturlige økosystem. For det første så er det stor usikkerhet knyttet til hvordan klima skal beskrives på en relevant måte for arter og økosystemer. Økosystemene er komplekse i sin oppbygning og de mange interaksjonene mellom ulike prosesser er vanskelig å forstå. Samtidig er arter så forskjellige i hvordan de responderer på klimaendringer at en generalisering blir vanskelig. For det andre har vi ikke fullgode tidsserier over biologiske trender. For å forstå samspillet mellom klima og økosystem og samfunn trenger en nettopp historiske tidsserier fra alle disse. Dette er helt avgjørende informasjon dersom vi ønsker å si noe om framtidig utvikling. Det er derfor et stort behov for å vedlikeholde og utvide eksisterende serier og etablere nye serier.

4.3 Jordbruk

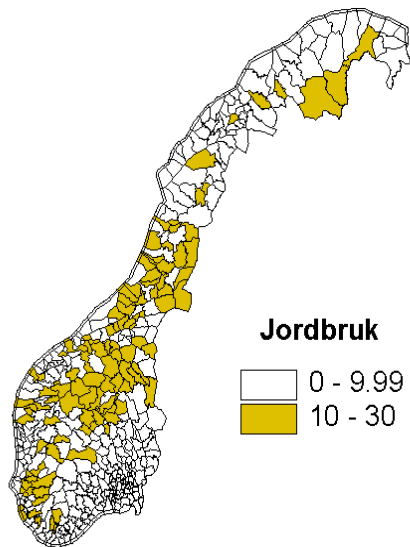
Jordbruksnæringen er en viktig pilar i mange distrikt. Figur 4 viser at jordbruksnæringen sysselsetter mellom 10 og 30 prosent av totalt sysselsatte i svært mange kommuner.

Høyere temperaturer blir generelt sett på som positivt for planteproduksjonen ved at vekstsesongen blir lengre og at overvintringsforholdene blir bedre. På et fenologisk felt på Kvithamar, i Stjørdal, har Planteforsk registrert tid for knoppsprett, blomstring og bladfall siden 1963. Registreringene viser at vekstsesongen er forlenget med 10 dager siden 1963 og at tidligere vår er mest markant.

Et varmere klima vil øke planteproduksjonen i landbruket betraktelig gitt at tilgangen på fuktighet ikke blir svekket. Forlenget vekstsesong kan gi mulighet for høsting både to og tre ganger for noen arter. Samtidig kan det tenkes at nye plantearter kan introduseres mange steder i landet. Blir temperaturen et par grader høyere i

vekstsesongen kan fruktdyrkere i Hardanger dyrke mer eksotiske fruktsorter av *eple*, *pærer* og *plommer* samtidig som at *fersken* og *aprikos* produksjonen kan bli mulig.

Figur 4. Andel sysselsatte i jordbruket fordelt på kommuner (som prosent av totalt sysselsatte) (kilde: PANDA).



Alle konsekvenser er imidlertid ikke utelukkende positive for landbruket. Med hyppigere og mer intense nedbørsbyger vil avrennings- og erosjonsmønsteret endre seg. Kraftigere nedbørsbyger vil kunne overstige jordas infiltrasjonsevne og vil dermed føre til økt overflateavrenning som igjen kan føre til erosjon i utsatte lokaliteter. For å kunne analysere hvordan klimaet virker inn på erosjon trenger man detaljert informasjon om nedbørsperioder både når det gjelder når på året disse kommer og med hvilke frekvens og intensitet.

Hvor sårbart et areal er overfor økt nedbør er bestemt av jordtype og jordbearbeiding. I 1990 kom våren tidlig og nedbørsmengdene var store. For areal som lå brakk i denne perioden var resultatet betydelig erosjon. Faktorer som vær, jordart og agronomisk praksis er helt avgjørende for hvor alvorlig erosjonsproblemet vil bli i fremtiden. Med en utvidet vekstsesong om våren vil høstingen kunne foregå tidligere på høsten. Med høstpløying vil da jorda være utsatt for erosjon i lengre perioder. En annen kritisk klimaindikator for erosjon er variasjoner rundt frost og tining. Med økt nedbør på senhøsten og vinterstid vil mangel på tele i jorda kunne resultere i økt fare for erosjon og utvasking. Økt avrenning og erosjon vil kunne være en belastning for ferskvannskilder og grunnvannskvalitet i mange områder.

Mye tyder på at vi får et endret plantesykdomsbilde med endrede klimatiske forhold. Stigende temperaturer og mer nedbør vil generelt føre til gunstigere utviklingsvilkår for ugras, plantesykdomer og skadedyr. I sør-Sverige og store deler av Danmark er potetnæringen plaget med stadige billeangrep. Med varmere sommertemperaturer kan

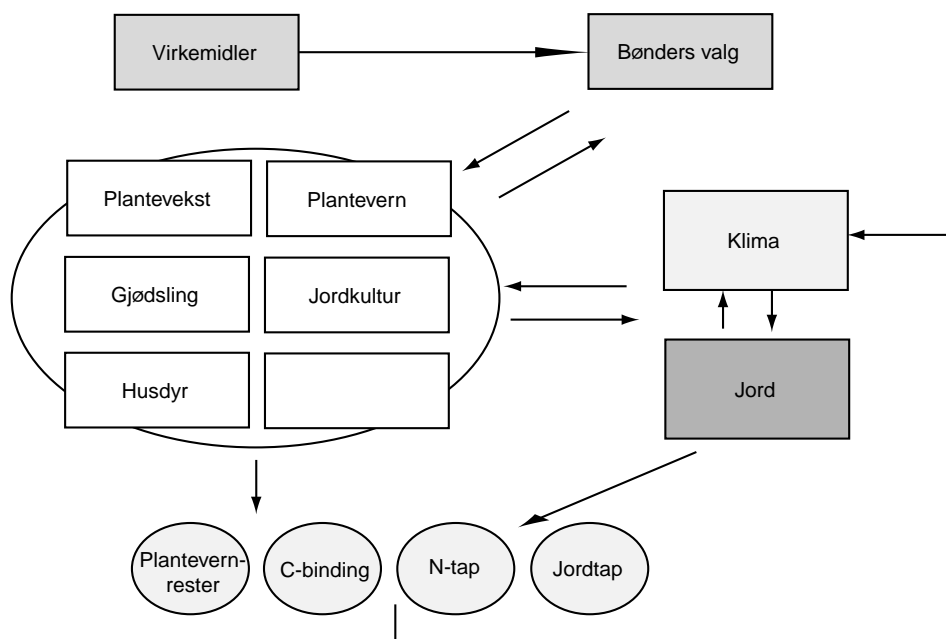
det tenkes at denne billearten vil spre seg til jordbruksområdene på det sentrale østland.

Jordbruksarealet er i interaksjon med omkringliggende systemer som eng og skog. Endringer i disse biotopene vil også påvirke agroøkosystemet. Det kan tenkes at dette vil endre konkurranseforholdet mellom planteproduksjon og dyrehold. I jordbruket er kulturlandskapet et viktig element. Med økt utbredelse av skog kan det tenkes at dette vil skje på bekostning av f.eks. utmarksbeite.

For å kunne fange opp noe av kompleksiteten i agroøkosystemets respons til klimatiske endringer og ekstremer er det viktig å bruke alternative scenarier der en kombinerer ulike klimatiske parametre. Viktige parametere er vinter-, sommer-, og middeltemperatur, fryse/tineforhold, lengden på sommersesong, nedbørsfordeling, intensitet, bygeforløp, ekstreme værforhold, stråling, luftfuktighet osv. Jordbruket er et kompleks system der de biofysiske virkningene blir bestemt av en rekke biologiske, kjemiske og fysiske prosesser og hvordan klima og værforhold virker inn på disse. Å forstå hvordan disse prosessene virker inn på hverandre er helt avgjørende for å forstå klimaets innvirkning på landbruket.

Norsk landbruk er også en kompleks næring når det gjelder politiske og økonomiske rammer. Enhver analyse av klimatiske konsekvenser i jordbrukssektoren må ta hensyn til eksisterende og mulige fremtidige rammer for denne næringen. Landbrukspolitikken styrer i stor grad hva næringen dyrker og hvor mye. Over tid kan politikken endre seg og med dette mister analysen sin relevans. Hvorvidt en er i stand til å utnytte potensialet for økt planteproduksjon er avhengig av bondens beslutninger, som igjen er avhengig av eksisterende rammebetingelser, og regionale aspekter.

Figur 5. Agroøkosystemet og prosesser som bestemmer konsekvenser av klimatiske endringer (Kilde: Bakken og Vatn).



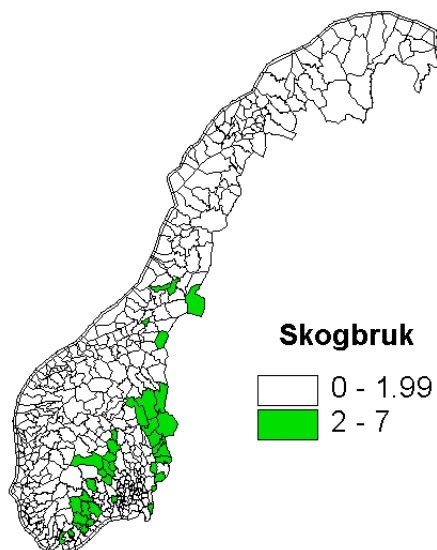
I klimasammenheng har landareal en sentral funksjon. Arealene disponeres av et stort antall aktører som bønder/skogeiere og stat/kommune. Klimaet vil være en av de faktorene som påvirker hva som er/blir lønnsom produksjon i jord- og skogbruk (se Figur 5). Virkemidler som rettes mot samspillet klima–areal må derfor baseres på logikken i samspillet arealer–produsenter. Påvirkningen går likevel ikke bare fra klima til areal, men arealet påvirker også klimaet. Det er bonden som tar beslutningen vedrørende arealet. Dette er beslutninger vedrørende valg av plantesorter, husdyr, gjødselplan, jordbearbeiding, plantevern osv. Beslutninger fattet i det agronomiske system vil få konsekvenser for miljøet generelt og klimaet spesielt gjennom plantevernrester, arealets evne til å binde karbon, nitrogenutvasking og jordtap. Et areal med kornvekster binder f.eks. mindre CO₂ enn et areal med engvekster.

For å kunne analysere konsekvenser i jordbrukssektoren må en utvikle bedre prediktive modeller basert på empiriske og modellmessige resultater som har en relativt høy oppløsning og stor grad av presisjon. Dette innebærer at en må kunne si noe om vekstsesongens lengde, temperatur og nedbør i vekstsesongen (sum og fordeling) og sykdomsbilde ved endrede klimatiske forhold. En rekke modeller som f.eks. dynamisk modellering av plantevekst, erosjonsmodellering, modeller av klimagassutveksling, karbon- og nitrat-modellering, modeller av jorddynamikk, og modeller av systemets *sårbarhet* overfor sykdom, skade og skadedyr vil være nødvendige for å gjøre en helhetlig analyse. Dette er analyser som vil bidra til å forbedre kunnskapsgrunnlaget for teknologiutvikling og ”presisjonsjordbruk”.

4.4 Skogbruk

Skogbruk er en viktig næring i Hedemark, Oppland og Buskerud, og gran utgjør hoveddelen av avvirkningen. Figur 6 gir en oversikt over kommuner som har en skogbruksnæring av betydning med hensyn til andel sysselsatte.

Figur 6. Andel sysselsatte i skogbruket fordelt på kommuner (som prosent av totalt sysselsatte) (kilde: PANDA).



I motsetning til jordbruket har skogbruket en svært lang omløpsti, bortimot hundre år, og sektoren er derfor mindre fleksibel når det gjelder tilpasninger til endringer i f.eks. klimatiske betingelser. På tross av treghet i systemet synes det som at det allerede i dag er tegn til endringer i skogens utbredelse og sammensetning. Generelt blir det rapportert om økte skogsareal både i høyden, mot kysten og nordover.

Klimaendringene vil forsterke allerede manifesterte effekter. Økt temperatur og høyere CO₂-konsentrasjon i atmosfæren vil stimulere til økt tilvekst i skogen. Ved en temperaturøkning på 3 °C indikerer studier at klimasonen vil vandre nordover med ca 250 km og oppover i høyden med ca 500 m. Hvilke treslag vil så vinne slaget om fremtiden? Ingen av våre trearter er i stand til å endre utbredelse i den takt som den indikerte forflytningen av klimasonen tilsier. Det viser seg likevel at treslagene har lettere for å spre seg enn å tilpasse seg. Det fleste norske arter sprer seg med mellom 10 og 40 km per hundreår. "Toppnoteringen" har grana med 200 km per hundreår. Paleobotaniske undersøkelser viser at migrasjon og frøspredningen er avgjørende for treslagets evne for tilpasning. Generelt har arter med kort generasjonstid, stor genetisk variasjon, krysspollinering og stor frøproduksjon en betydelig evne til å tilpasse seg klimaendringer med evolusjonær tilpasning. Mye tyder på at den boreale barskogen vil tape konkurransen med løvtrærne. Det er særlig arter med liten genetisk variasjon og som fremstår som små øyer i skogøkosystemet som er sårbare overfor skjerpet konkurranse. Resultatet kan bli reduserte populasjonsstørrelser og også tap av genetiske variasjonen i skogøkosystemet. Treslag med små populasjoner, som *asal*, *lind* og *lønn*, kan forsvinne lokalt.

Klimaendringer vil resultere i en kraftig økning i skogsarealet og tilhørende økt tømmerutgang. I hvilken grad den økte tømmerutgangen er økonomisk realiserbar er usikkert da en kan forvente en økt dødlighet som følge av økt vind og skadedyrangrep. Økt risiko kan næringen oppleve også som følge av høye temperaturer tidlig på våren. Tidlig vår kan være et problem for noen skogstrær ved at risikoen for frostskaider øker. En forsmak på effekter av global oppvarming får vi i studiet til Heide (1993) (Tabell 2). Studiet tok for seg skuddskyting for en del treslag på Ås i Akershus, for vinteren 1990 og 1991. Vinteren 1990 var uvanlig mild sammenlignet med vinteren 1991.

Tabell 2. Tidspunkt for skuddskyting for Hegg og Svartor (kilde: Heide 1993).

	Løvsprett		
	1990 (mild)	1991 (normal)	Δ90-91
Hegg	18. mars	20. april	33 dager
Svartor	25. april	5. mai	11 dager

Den milde vinteren resulterte i løvsprett langt tidligere enn det som er normalt. *Hegg* skyter i midten av mars og *svartor* fem uker senere. Arter med kort vinterkvile, som *hegg*, starter veksten tidlig og er dermed også mer utsatt for vårfrostskaider. I motsetning er *svartor* relativt upåvirket av vintertemperaturforskjellene fra år til år. Over tid vil derfor genotyper som *svartor* ha et fortrinn.

En forflytting av klimasonene nordover for de nordlige og tempererte skogområdene og en heving av klimasonene vertikalt vil endre skogens sammensetning. Naturen vil

selektere de treslag som best tilpasser seg de endrede forholdene. Dette innebærer at barskogen vil ta over for fjellskogen i fjellområdene og løvtrærne vil bli mer synlige i lavlandet. Denne vridningen i skogens sammensetning vil gi skogsnæringen store utfordringer når det gjelder å utnytte nye geografiske områder og løvskogen. Dette vil også innebære at trelastindustrien må omstille seg til å håndtere nye treslag og operere i markeder som Norge tradisjonelt ikke har handlet i tidligere.

Biologisk mangfold vil endre seg med endringer i skogøkosystemets sammensetning og utbredelse. Endringer i artssammensetningen vil få konsekvenser for mulighetene for rekreasjon og jakt. Arter som i dag har sitt livsgrunnlag i fjellet som f.eks. *villrein* og *rype* vil få redusert leveområde ved en marginalisering av fjellskogen og fjellområdene. I motsetning til bestanden av storvilt som *elg*, *hjort* og *rådyr*, som vil øke i takt med økt skogsareal.

En rekke klimaindikatorer er avgjørende for tilveksten i skogen og skogens sammensetning. Temperaturen er avgjørende store deler av året. Vinterstid er lave temperaturer kritisk for viktige beitetreslag som f.eks. *kristtorn* og *edelløvtrær*. Fra februar og mars måned kan dessuten store temperatursprang være uheldig. Sommertemperaturen bestemmer veksthastigheten til treslaget. For frøsettingen er det dessuten viktig med optimale temperaturer i månedene juni og juli. Kritiske indikatorer for mortaliteten og skade er vind, fuktighet og snø.

Mye tyder på at skogsektoren er sårbar overfor klimaendringer og klimavariabilitet. Det er likevel store kunnskapsmangler innenfor skogforskningen særlig når det gjelder dose-responsammenhenger. Særlig mangler man kunnskap om skogens klimatilpasning og hvordan prosessene i jordbunnen blir påvirket ved klimatiske endringer. Dose-respons sammenhengene kompliseres av de store regionale forskjellene når det gjelder skogens respons til klima. Det er derfor i modellering av f.eks. tilvekst viktig å inkludere skogens lokale og regionale karakteristika. Som følge av regionale forskjeller i klimatiske endringer så må de relevante klimaindikatorer kobles til den aktuelle skogen.

4.5 Skogsjord

Det totale terrestriske karbonlageret (C) i Norge beregnet til rundt 2 milliard tonn. Av dette er hele 85 prosent bundet opp i jorda og 10 prosent er bundet i overjordisk biomasse i skog. Innenfor ulike jordtyper er det særlig skogsjorda som er effektiv mht. karbonbinding og denne jordtypen står for ca 60 prosent av karbonbindingen som foregår i jord.

Næringstilgang, temperatur og fuktighet er bestemmende for jordas evne til binding og frigjøring av karbon. Framtidsutsiktene skissert av RegClim om et varmere og våtere klima vil påvirke det karbonet som er lagret i jorda og det som potensielt kan lagres. Dette vil igjen få andre miljøkonsekvenser. Plantene er hovedkilden for organisk materialet i jorda og alt som påvirker planteveksten vil påvirke tilførselen av karbon til jord. Men i tillegg vil ulike faktorer påvirke nedbrytningen av det organiske materialet og det er nettopp balansen mellom tilførsel og nedbrytning som bestemmer lagringen av karbon i jord. I boreale områder er karboninnholdet i jord betydelig høyere enn karbon bundet i biomassen. Det motsatte er tilfelle i tropiske

områder. I disse områdene er biomasseproduksjonen og strøtilførselen mye større enn i boreale områder, men karbonlageret i jorda er generelt svært lavt på grunn av en rask nedbrytning.

Hvordan påvirker så klimatiske endringer skog og skogsjord? Alt som påvirker biomasseproduksjonen vil øke tilførselen av organisk materiale til jorda. Studier viser at mer enn 60 prosent av variasjonen i karbonlageret i jorda er knyttet til variasjon i biomasseproduksjon. Økt temperatur og nedbør kan øke produksjonen gitt at det er tilstrekkelig med næringsstoffer i jorda. Hvordan klimatiske endringer påvirker nedbrytningen av organisk materiale i jorden er mindre sikkert. Generelt viser ulike forsøk med varmekabler i jorda at økt temperatur øker nedbrytning av det organiske materialet. Denne effekten er imidlertid avhengig av vannivået i jorda. Økt nedbør vil øke jordfuktigheten noe som igjen vil redusere karbonakkumuleringen. Det er likevel slik at systemet har sine terskler. Blir det for tørt eller for fuktig vil dette virke hemmende på nedbrytningen.

Mye tyder på at jordtypen er svært bestemmende for hvorvidt akkumulering av karbon øker ved økt temperatur og nedbør. Med utgangspunkt i den nordiske databasen NORDSOIL har man studert sammenhengen mellom temperatur og nedbør og karboninnhold i jord. Det er funnet at karbonakkumulering ned til 1 meter er positivt korrelert med temperatur og nedbør i jord med grov og medium tekstur. I jord med fin tekstur er det ikke funnet noen sammenheng. I andre klimasoner har en funnet at karbonakkumulering øker med økt nedbør og redusert temperatur, ellers er det ikke noen klar sammenheng mellom klimatiske endringer og karbonbinding.

Det er med andre ord forbundet stor usikkerhet til hvordan jorda blir påvirket av klimaendringer. Det er samspillet mellom en rekke faktorer som endring i temperatur, fuktighetsforhold, nedbryting i jord, biomasse produksjon, endringer i strøkkvalitet, tilgang på næring, atmosfærisk CO₂-nivå mm som gjør at den totale økosystemeffekten mht. karbonlagring er uviss. Over lang tid vil jorda potensielt være sluk for CO₂. Gjennomsnittlig alder på karbon i mineraljord i Birkenes er funnet å være 340 år. Øker likevel fluksen av CO₂ fra nedbryting av organisk materiale mer enn tilførselen vil jorda kunne bli en betydelig CO₂ kilde. En raskere mineralisering vil kunne føre til næringstap, eutrofiering og forsuring av jord, vann og vassdrag.

4.6 Marine økosystemer

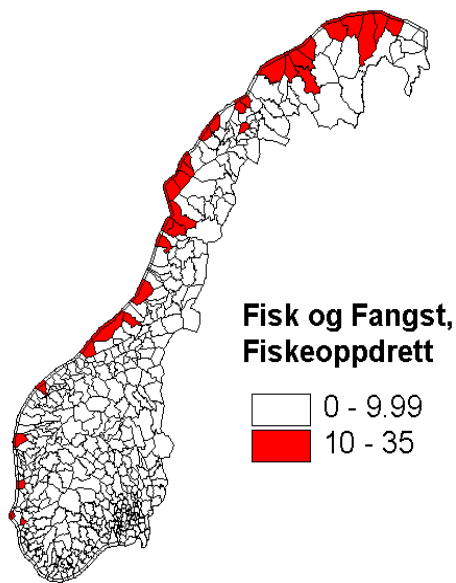
Fiskerinæringen er en basisnæring i mange kystområder. Figur 7 viser andel sysselsatte innenfor fiske, fangst og fiskeoppdrett for kommuner i Norge. Vi ser at det er særlig i Nordland og Møre og Romsdal at fiskerinæringen står sterkt.

Klimaforhold har stor innvirkning på viktige populasjonsparametre som mattilgang, rekruttering, vekst og fordeling for de viktigste fiskebestandene og dynamikken mellom dem. Variasjon i temperatur og vekslinger i strømnings- og sirkulasjonsforholdene er avgjørende for arter som lever i de marine områdene som grenser til vår kyst (Nordsjøen, Norskehavet og Barentshavet). Det eksisterer en rekke studier som tar for seg sammenhengen mellom havtemperaturer og tilvekst og utbredelse. Generelt viser det seg at tilveksten øker i varme perioder mens kalde perioder hemmer veksten. Et studie fra Barentshavet viser at lengden på nordsjøtorsk

er positivt korrelert med temperatur (se Figur 8). Vi ser også at antall fisk øker med økt lengde.

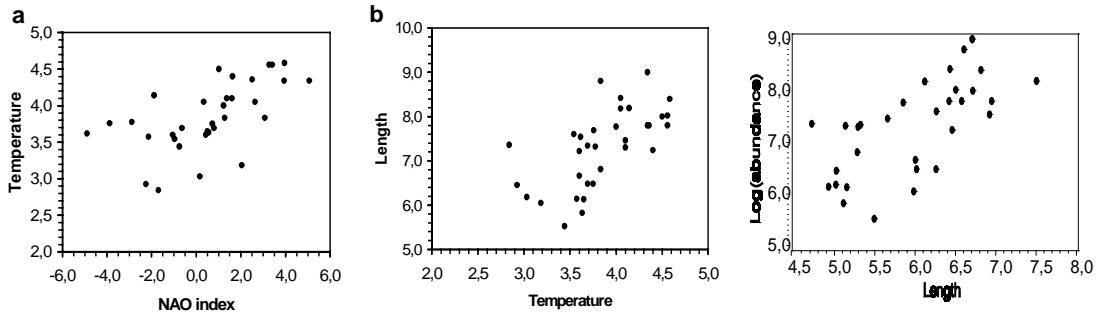
Noen fiskearter svarer på de økte temperaturene ved å flytte til kaldere områder. Det viser seg at loddestammen i Barentshavet vandrer mot nord-øst når varmt Atlanterhavsvann strømmer inn i Barentshavet. Likeledes er det en vandring sør-vest når vannet blir kaldere. Slike vandringer reduserer dermed temperaturens innvirkning på tilveksten. Til tross for evne for tilpasning tyder mye på at klimaendringene vil få store konsekvenser for hele havøkosystemet. Økt produksjon på alle ledd kan

Figur 7. Andel sysselsatte i næringen fisk, fangst og fiskeoppdrett fordelt på kommuner (som prosent av totalt sysselsatte) (kilde: PANDA).



forventes i nordområdene og store havområder i nord og øst vil kolonialiseres av *torsk*, *hyse* og *sild*. Når det gjelder framtidsutsiktene for økt fiske kan vekst i bestandene av sjøpattedyr begrense disse. For Nordsjøen kan en forvente at fiskebestandene generelt vil forflytte seg nordover. Viktige bestander som *nordsjøsil*, *torsk*, *hyse*, og *sei* vil presses ut og må nøye seg med mindre beiteareal lengre nord. Varmere vannmasser i Nordsjøen vil kunne resultere introduksjon av sydlige fiskearter som f.eks. *brisling*, *makrell*, *hestemakrell*, *sild* og *sardin*. I perioder kan én eller noen få av disse bestandene danne hovedbasis for fisket. En kan forvente at fangstmengden vil øke totalt sett. En kan likevel ikke forvente en tilsvarende økning i avkastning da mye av konsumfisket blir erstattet med industrifisk. Med den forespeilede forflytningen av flere fiskeslag, samt introduksjon av mer eksotisk fisk, vil man kunne oppleve en strukturendring i fiskeflåten og tilhørende omstillinger i fiskeforedlingsindustrien. Dette vil igjen få konsekvenser for lokalsamfunn og eksisterende bosettingsmønster.

Figur 8. Sammenheng mellom NAO, temperatur og tidligvekst hos norsk-arktisk torsk (kilde: Ottersen).



Oppdrettsnæringen er i sterk vekst i Norge og da særlig i Nordland, Møre og Romsdal og Hordaland. Oppdrettsfisk kan bli en svært viktig eksportartikkel i fremtiden. Endrede klimatiske forhold vil påvirke hvor det egner seg å plassere oppdrettsanlegg. Ved økt temperatur kan det tenkes at landsdeler som frem til i dag har vært lite egnet for fiskeoppdrett kan bli attraktive. Endret vindaktivitet med hyppigere og kraftigere stormer kan likevel begrense mulighetene, på grunn av økt risiko for anleggshavari. For eksisterende og planlagte anlegg kan økt ferskvannstilsig, som følge av økt nedbør og smelting av innlandsis, bli et problem i noen fjorder. Dette vil innebære at forvaltningen og næringen må fatte beslutninger om lokalisering og type havbruksanlegg på bakgrunn av de klimatiske prognosene både for å utnytte produksjonspotensialet, men også for å redusere anleggsskader.

Selv om næringen til en viss grad kan tilpasse seg de endrede forholdene er det vanskelig å forsikre seg mot plutselige værekstremer. Ekstreme sommertemperaturer og påfølgende introduksjon av sykdommer og algeoppblomstring vil kunne bli mer vanlig med varmere hav. Dette vil i noen områder kunne true noen fiskearter.

Hvordan klimaendringer påvirker havøkosystemet og samspillet mellom ulike prosesser er komplisert og mangefasettert. En rekke klimavariabler som f.eks. temperatur, vind, nedbør, stråling, is og skydekke er avgjørende for livet i havet. En ser derfor behovet for å lage scenarier også for havet. Økt UV stråling vil f.eks. få effekter på organismer som lever i havoverflata. Havet er likevel mer stabilt og tregt enn atmosfæren og dermed kommer klimaresponsen over lenger tid. Likevel betyr vind og nedbør svært mye for denne stabiliteten. For å forstå klimaresponsen i havet trenger man realistiske scenarier for fremtidig havklima inkludert havsirkulasjon, fronter og vertikal stabilitet. Det er likevel behov for å lage forenklete scenarier for økt temperatur, nedbør og vind. Til nå foreligger bare analyser av enkelt bestander og en helhetsstudie er nødvendig for å studere effektene av en klimaendring i havet.

5 Internasjonal effektforskning i Norge

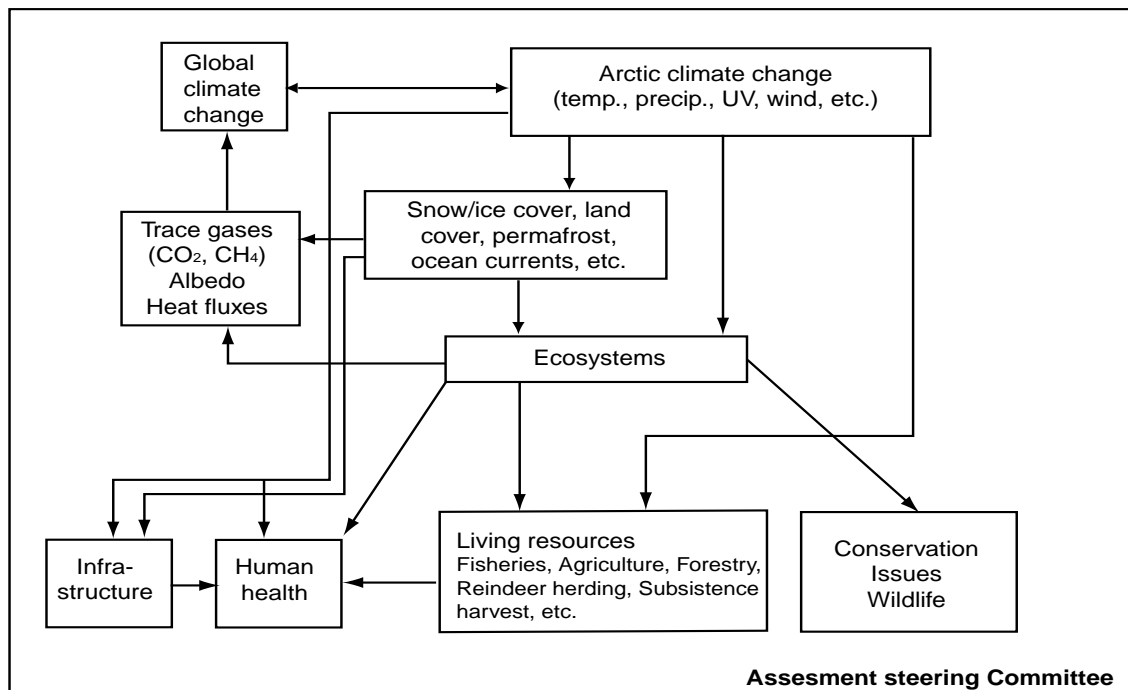
Internasjonalt har effektforskningen kommet lenger enn det den har i Norge. Norske eksperter er imidlertid aktive i multinasjonale samarbeid innenfor sine respektive områder. På seminaret ble ett pågående og to avsluttede prosjekter presentert. Tilslutt i dette kapittelet omtaler vi også det påbegynte prosjektet TERMOS, som foreløpig har fokus på Norge.

5.1 Arctic Climate Impact Assessment (2000–)

ACIA er et samarbeidsprosjekt mellom de åtte arktiske statene (Island, Danmark, Canada, USA, Russland, Finland, Sverige og Norge) for å utrede konsekvensene av klimaendringer i Arktis samt konsekvensene av økt UV-stråling grunnet reduksjon av ozonlaget. I Norge er landområdene fra Trøndelag og nordover, inklusivt Svalbard, av interesse.

Prosjektet har en todelt målsetning. For det første skal prosjektet evaluere og integrere eksisterende kunnskap om klimavariasjon, klimaendringer og økt UV-stråling i Arktis, og konsekvenser av disse. For det andre skal prosjektet bidra til den politiske beslutningsprosessen ved å gi nyttig og pålitelig informasjon til politikere, myndigheter, organisasjoner og befolkningen i nordområdene. ACIA prosjektet vil fokusere på følgende spørsmål (se Figur 9)

Figur 9. Klimaendring og klimaeffekter skissert i ACIA (kilde: ACIA).



- Hvilke indikatorer har vi for klimaendringer og UV stråling i Arktis?
- Hva er de mest sannsynlige klimaendringene i fremtiden i Arktis?
- Hvilke potensielle effekter kan vi forvente i fremtiden som følge av endringer i klima og UV stråling.

Elementer som karakteriserer nordområdene med hensyn til natur, økonomi, sysselsetting, samfunn og trivsel vil være sentrale når effekter skal studeres. Prosjektet vil ha særlig fokus på konsekvenser for økosystemer, areal- og viltforvaltning, fiskerier, reindrift, jord- og skogbruk, helse, urbefolkingskultur og infrastruktur.

Resultatene fra ACIA-prosessen skal presenteres i tre rapporter; en uavhengig vitenskapelig rapport, en synteserapport og et sammendrag for beslutningstakere. De første ACIA rapportene er forventet å være ferdigstilt i 2004. Resultater som fremkommer skal benyttes til å utarbeide strategier som gjør de arktiske stater mer robuste i møte med klimaendringer og effekter av dette.

5.2 Climate Change Experiment (1993–1998)

I 1993 startet det EU finansierte prosjektet Climate Change Experiment (CLIMEX). Målsetningen med prosjektet var å følge virkningen av økte CO₂-konsentrasjoner og temperatur på planter, jord og avrenningsvann i naturlige skogøkosystemer. Forsøket fant sted på Risdalsheia ved Grimstad i et landskap typisk for sørnorske heiområder – tynt jordsmonn, mye bart fjell og myr, og skrinn uproduktiv skog. KIM-feltet (860 m²) var bygget inn i et glasshus og utsatt for økt lufttemperatur og økt CO₂ konsentrasjon. I EGIL-feltet (400 m²) var jorda oppvarmet ved hjelp av varmekabler.

Figur 10. Mulige virkninger på planter, jord og avrenningsvann i skogøkosystemet som følge av klimaendringer (kilde: CLIMEX).



Resultatene som fremkom viser at manipuleringen resulterte i raskere fotosyntese og økt plantevekst. Også nedbrytingen av organisk materiale økte som følge av temperaturøkningen og økosystemets utslipp av klimagasser økte. Vekst og biomasse

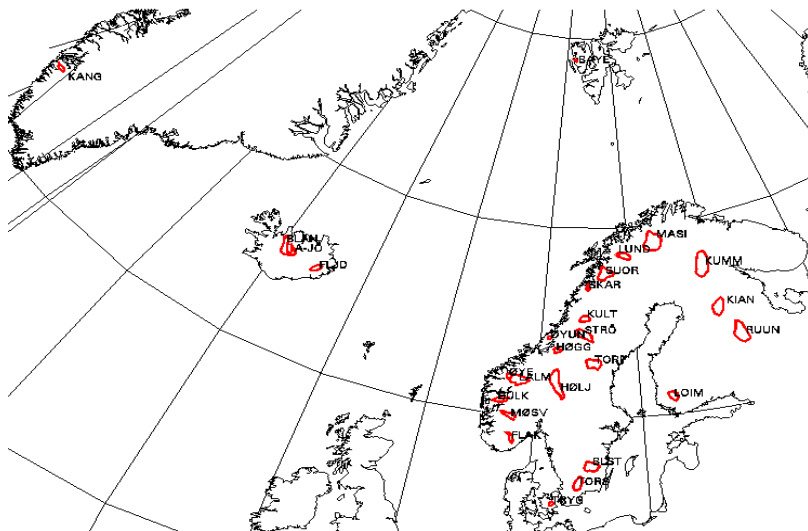
av lyng, blåbær og furu økte med opptil fem prosent. Nedbrytningshastigheten av gammelt organisk materiale i jordsmonnet økte med 15–60 prosent, men det var ingen endring i nedbrytningshastigheten av fersk strø. Som følge av økt temperatur og CO₂ konsentrasjon viste det seg at økosystemene i forsøket gikk fra å være sluk til å være kilde for nitrogen. Avrenningsvannet fikk høyere konsentrasjoner av nitrogen både i form av nitrat og ammonium. Nitrogenet følger avrenningsvannet til innsjøer og elver, og forurening av miljøet blir resultatet. Karbonutslippet fra skogen viste seg også å øke som følge av økte temperaturer.

Det er imidlertid stor usikkerhet knyttet til resultatene. Tre år var ikke nok for at økosystemet under glasstaket skulle tilpasse seg de endrede klimatiske forholdene. CLIMEX er i dag fortsatt verdens eneste eksperiment som har studert både temperatur og CO₂ sin innvirkning på naturlig skogøkosystemer på nedbørfeltsstørrelse. Grunnet manglende finansiering ble CLIMEX avsluttet 31. mars 1998.

5.3 Climate Change and Energy Production (1991–1996)

Forskningsprogrammet *Climate Change and Energy Production* er et samarbeid mellom de hydrologiske tjenestene i Norden og det nordiske vasskraftmiljøet. Målsetningen med programmet var å analysere effektene av framtidige klimaendringer på vasskraftsystemer i Norden (se Figur 11).

Figur 11. Simuleringsfeltet i forskningsprogrammet Climate Change and Energy Production (kilde: Climate Change and Energy Production).



Programmet benyttet scenarier med oppvarming på 0,3 – 0,45 °C per tiår og en nedbørsøkning på 1–2 prosent per tiår. Hydrologiske modeller ble benyttet til å beregne vassføringsscenariene. Noen av hovedresultatene fra programmet er:

Avrenning:

- 20 prosent økning i de våteste områdene (Vest Norge).

- 20 prosent reduksjon i de tørreste områdene (Sør-Sverige).
- 75 prosent økning i et felt på Island (bresmelting).

Flommer:

- Vårflommene reduseres.
- Høst og vinterflommer mer hyppig.
- Økning i toppflommene i Norge og i brefelt.

Vasskraftproduksjon:

- Med økt vinteravrenning og redusert vårflom kan magasinkapasitet benyttes til flomdempning og økt produksjon.
- Svak økning (2,5 prosent) i totalproduksjonen av vasskraft for Skandinavia over 30 år.
- Endret bruk av reguleringsmagasinene: sommer- og høstvannstanden kan bli lavere, mens vannstanden på ettermønten kan bli høyere.
- Redusert elektrisitetsforbruk (2 prosent på 30 år).

I løpet av programmets levetid fant man hvor vanskelig det er å estimere endringer i f.eks. totalproduksjonen grunnet stor usikkerhet i klimascenariene og i modellene. Historisk informasjon om de hydrologiske systemene er ikke nødvendigvis representative for framtiden, og sannsynligvis heller ikke for dagens situasjon. Spørsmål det er relevant å stille seg så i forhold til en global oppvarming er:

- Hva er optimal serielengde for hydrologiske tidsserier som skal brukes i dimensjonering eller driftsplanlegging?
- Er det nødvendig med økte sikkerhetsfaktorer?
- Er det vannverdiene som benyttes i driftsplanleggingen i ekstreme situasjoner korrekte?

Et av det viktigste funnene i programmet var nettopp at de tradisjonelle metodene for bruk av hydrologiske data i dimensjonering av vasskraftsystemer, dammer og andre hydrologiske data ikke lenger er gode nok grunnet usikkerhet i prediksjonene. Fremtidige klimaendringer resulterte i økt usikkerhet i prediksjonene noe som vanskeliggjør dimensjonering spesielt og beslutninger generelt.

Programmet er nå avsluttet (arbeidet ble gjennomført i perioden 1991–1996) og sluttrapporten ”*Climate Change Impacts on Runoff and Hydropower in the Nordic Countries*” oppsummerer resultatene fra programmet.

5.4 THERMocline Oriented Studies (1998–)

Thermos-prosjektet (THERMocline Orientated Studies) er det første prosjektet i Norge hvor endringer i fysisk/kjemisk/biologiske forhold som følge av termoklinendringer, vil bli undersøkt i stor skala. Prosjektet har valgt å manipulere termoklinen i en innsjøen f.o.m. våren 2001, mens en nærliggende innsjø vil fungere som kontrollsjø. Manipuleringen vil gjennomføres med en stor sakte-roterende propell. Bakgrunnsundersøkelser i de to innsjøene (i Lillomarka) har pågått siden våren 1998 og finansieres foreløpig gjennom et strategisk instituttprogram (SIP) og ved egne midler ved Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Prosjektet vil søke

NFR-støtte på det kommende klimaeffektprogrammet som etter planen starter i 2002. Thermos-prosjektet vil utvikle/forbedre termoklinmodeller for innsjøer, samt prøve å finne fram til nøkkelfaktorer som vil være viktig for oppskaleringen av klimaeffekter på norske innsjøer under framtidens klimascenarier.

6 Konklusjon

Enkeltarter av planter og dyr, hele økosystemer og prosessene i disse, samt mennesket og samfunnet det lever i vil bli påvirket av klimaendringer. For noen arter, sektorer og geografiske områder kan påvirkningen være i positiv retning, mens andre vil oppleve forverrede forhold. Det vil være både tapere og vinnere i det norske drivhus.

Det var en gjengs oppfattelse blant seminardeltagerene at vi ikke har tilstrekkelig kunnskap om hvordan natur og samfunn vil bli påvirket av klimatiske endringer. Dette henger bl.a. nært sammen med manglende finansieringsmuligheter for denne typen forskning. Tidlig på nittitallet var mange norske forskere opptatt av hvilke konsekvenser klimaendringer vil ha. De siste ti årene har imidlertid forskningen på dette feltet ikke kommet videre grunnet mangel på koordinerte og langsiktige finansieringskilder. Med etablering det planlagte programmet for effektforskning i NFR kan denne situasjonen imidlertid endre seg.

Bare med en helhetsforståelse av virkninger av klimaendringer kan samfunnet utforme potensielle tilpasningsstrategier for fremtidige klimaendringer. Vi håper derfor at initiativet fra CICERO er en første spire til et nettverk av fagdisipliner som i tett samarbeid kan øke vår kunnskap om hvilken innvirkning klimaendringer og klimavariasjon har på natursystemer, næringssektorer og samfunnet generelt og om hvordan disse effektene varierer regionalt.

Appendix I: Seminarprogram

Virksomheter av klimaendringer Håndverkeren, Rosenkrantzgt. 7, 5. etasje.

MANDAG 30. OKTOBER

- 8.30 – 9.00 *Registrering og kaffe*
- 9.00 – 9.15 Velkommen og kort introduksjon (Knut H. Alfsen)**
- 9.15 – 9.30 *Forskningsmidler til klimaeffekter? (Jesper W. Simonsen, NFR)*
- 9.30 – 9.50 *Virksomheter i Norge av klimaendringer (Karen O'Brien og Linda Sygna, CICERO)*
- 9.50 – 10.10 *Faktorer bak klimakostnaden for Norge (Asbjørn Aaheim, CICERO)*
- 10.10 – 10.30 *Pause*
- 10.30 – 11.15 *Fremtidige klimaendringer i Norge. RegClim resultater (Jan Erik Haugen, DNMI), RegClim's aktiviteter innen empirisk nedskalering og hydrologiske virkningsstudier (Eirik Førland, DNMI)*
- 11.15 – 11.55 Presentasjoner del I**
- 11.15 – 11.25 *Arctic Climate Impact Assessment (ACIA) – eksempel fra en omfattende internasjonal konsekvensutredning om virksomheter av klima (Pål Prestrud, Norsk Polarinstitutt)*
- 11.25 – 11.35 *CLIMEX-prosjektet (Richard Wright, NIVA)*
- 11.35 – 11.45 *Climate Change Impacts on Runoff and Hydropower in the Nordic Countries (Nils Roar Sæltun, NIVA)*
- 11.45 – 11.55 *Sosioøkonomiske konsekvenser av flom (Hallvard Berg, NVE)*
- 12.00 – 13.00 *Lunsj (Restaurant Kristian IV)*
- 13.00 – 13.50 Presentasjoner del II**
- 13.00 – 13.10 *Forskningsprogrammet Klima–Fisk ved Havforskningsinstituttet (Harald Loeng, Havforskningsinstituttet)*
- 13.10 – 13.30 *Økologiske klimavariasjoner innen terrestre system (hjørt på Vestlandet) og fisk (torsk) (Nils Christian Stenseth og Atle Mysterud, Biologisk institutt, UiO, og Geir Ottersen, Havforskningsinstituttet)*
- 13.30 – 13.40 *Innflytelsen av klimavariabilitet på norske fiskebestander (Geir Ottersen, Havforskningsinstituttet)*
- 13.40 – 13.50 *Temperaturens betydning for konkurransen mellom laksefisk (Bror Johnsson, NINA)*
- 13.50 – 14.05 *Pause*
- 14.05 – 14.55 Presentasjoner del III**
- 14.05 – 14.15 *Kort resyme fra "International Conference on Program in Phenology – Monitoring, Data Analysis and Global Change Impacts" (München, 4–6 Okt 2000) (Dag Klaveness, Biologisk institutt, UiO)*

CICERO Report 2001:1
Virkninger av klimaendringer i Norge

- 14.15 – 14.45 Klimavirkninger på agroøkosystemet (*Lars Bakken*, Institutt for jord- og vannfag, NLH, *Arild Vatn*, Institutt for økonomi og samfunnsfag, NLH og *Arne Oddvar Skjelvåg*, Institutt for plantefag, NLH)
- 14.45 – 14.55 Plantevern (*Leif Sundheim*, Planteforsk)
- 14.55 – 15.20 *Pause*

15.20 – 16.00 Presentasjoner del IV

- 15.20 – 15.30 Bio-økonomiske modeller for analyse av virkninger av klimaendringer på skogsektoren (*Birger Solberg*, Institutt for skogfag, NLH)
- 15.30 – 15.40 Virkning av klimaendringer på trær i nærmiljø og skog (*Atle Håbjørg*, tidl. Institutt for hagebruk, NLH)
- 15.40 – 15.50 Skogøkosystemforskning ved NISK (*Janne Kjønås*, NISK)
- 15.50 – 16.00 Virkninger av klimaendringer på nordlige skoger (*Tor Myking*, NISK)

16.00 – 17.00 Diskusjon

- 18.00 Middag på Cafe Asylet.

TIRSDAG 31. OKTOBER

- 09.00 – 09.15 Introduksjon til gruppearbeidet
- 09.15 – 10.30 Gruppearbeid
- 10.30 – 10.45 *Pause*
- 10.45 – 12.00 Presentasjon av gruppearbeidene og diskusjon
- 12.00 – 12.30 Oppsummering (*Karen O'Brien*)
- 12.30 – 13.30 *Lunsj*
- 13.30 – 15.30 Utvikling av samarbeidsprosjekter (valgfri deltagelse)

ARBEIDSOPPGAVER

1. Hva er de viktigste virkningene av klimaendring i sektorene din gruppe representerer? (f.eks. endring i produktivitet, endring i skadedyr-angrep, endring i artssammensetning osv.)
2. Hva er de viktigste klimaindikatorerne for disse virkningene (jfr. spørsmålet over)? Med andre ord, hvilke typer informasjon om fremtidens klima er mest verdifull? (f. eks. lavest vintertemperatur, nedbørs-mengde i mars, sterk vind osv.)
3. Hvilke sosioøkonomiske følger vil en klimaendring få i de sektorene dere diskuterer?
4. I forbindelse med analyser av virkninger av klimaendringer, hvor er den største kunnskapsmangelen og den største usikkerheten innenfor sektoren dere diskuterer?

Appendix II: Seminardeltakere

Knut H. Alfsen
CICERO Senter for klimaforskning
Postboks 1129 Blindern
0318 Oslo
Tel: 22 85 87 53
E-post: knut.alfsen@cicero.uio.no

Lars Bakken
Institutt for jord- og vannfag
Norges Landbrukshøgskole
Postboks 5028
1432 Ås
Tel: 64 94 82 19
E-post: lars.bakken@jvfh.nlh.no

Jon Barikmo
Direktoratet for naturforvaltning
7485 Trondheim
Tel: 73 58 05 00
E-post: jon.barikmo@dirnat.no

Alena Bartinova
Norsk institutt for luftforskning
Postboks 100
2027 Kjeller
Tel: 63 89 81 52
E-post: alena.bartonova@nilu.no

Hallvard Berg
Norges vassdrags- og energidirektorat
Postboks 5091 Majorstua
0301 Oslo
Tlf: 22 95 90 31
E-post: hbe@nve.no

Terje Berntsen
CICERO Senter for klimaforskning
Postboks 1129 Blindern
0318 Oslo
Tel: 22 85 87 71
E-post: terje.berntsen@geofysikk.uio.no

Dag Bjørge
Det norske meteorologiske institutt
Postboks 43 Blindern
0313 Oslo
Tel: 22 96 33 29
E-post: dag.bjorge@dnmi.no

Eivind Martinsen
Det norske meteorologiske institutt
Postboks 43 Blindern
0313 Oslo
Tel: 22 96 33 07
E-post: eivind.ansgar.martinsen@dnmi.no

Tor Myking
Norsk institutt of skogforskning
Fanaflaten 4
5244 Fana
Tel: 55 11 62 29
E-post: tor.myking@nisk.no

Karen O'Brien
CICERO Senter for klimaforskning
Postboks 1129 Blindern
0318 Oslo
Tel: 22 85 87 62
E-post: karen.obrien@cicero.uio.no

Geir Ottersen
Havforskningsinstituttet/UiO Biologisk Institutt
Universitetet i Oslo
Postboks 1050 Blindern
0316 Oslo
Tel: 22 85 72 88
E-post: geir.ottersen@bio.uio.no

Pål Prestrud
Polarinstituttet
Polarmiljøseneteret
9296 Tromsø
Tel: 77 75 05 30
E-post: Pal.Prestrud@npolar.no

Bård Romstad
CICERO Senter for klimaforskning
Postboks 1129 Blindern
0318 Oslo
Tel: 22 85 87 67
E-post: b.e.w.romstad@cicero.uio.no

Lars Andreas Roald
Norges vassdrags- og energidirektorat
Postboks 5091 Majorstua
0301 Oslo
Tel: 22 95 92 40
E-post: lar@nve.no

CICERO Report 2001:1
Virkninger av klimaendringer i Norge

Siri Eriksen
Climate Research Unit
University of East Anglia
Norwich NR4 7TJ, UK
Tel: +44 1603 592702
E-post: s.eriksen@uea.ac.uk

Jan S. Fuglestedt
CICERO Senter for klimaforskning
Postboks 1129 Blindern
0318 Oslo
Tel: 22 85 87 64
E-post: j.s.fuglestedt@cicero.uio.no

Eirik J. Førland
Det norske meteorologiske institutt
Postboks 43 Blindern
0313 Oslo
Tel: 22 96 31 75
E-post: e.forland@dnmi.no

Sigbjørn Grønås
Geofysisk institutt, UiB
Allegaten 70
5007 Bergen
Tel: 55 58 29 74
E-post: sigbjorn@gri.uib.no

Georg H. Hansen
Norsk institutt for luftforskning
Polarmiljøsentret
9296 Tromsø
Tel: 77 75 03 83
E-mail: Georg.H.Hansen@nilu.no

Jan Erik Haugen
Det norske meteorologiske institutt
Postboks 43 Blindern
0313 Oslo
Tel: 22 96 33 31
E-post: j.e.haugen@dnmi.no

Jarle Inge Holten
Terestrisk Miljøforskning (TERM)
Skogaromveien 19
7350 BUVIKA
Tel: 72 86 53 58
E-post: jiholten@online.no

Atle Håbjørg
Tørfest Gård
1555 Son
Tel: 64 95 79 13

Per Schreiner
Senter for økonomisk analyse
Postboks 6823 St. Olavs plass
0130 OSLO
Tel: 22 98 98 37
E-post: per.schreiner@econ.no

Jesper W. Simonsen
Norges forskningsråd
Postboks 2700 St. Hanshaugen
0131 OSLO
Tel: 22 03 72 70
E-post: jws@forskningsradet.no

Arne O. Skjelvåg
Institutt for plantefag
Norges Landbrukshøgskole
Postboks 5022
1432 Ås
Tel: 64 94 79 10
E-post: arne.skjelvag@ipf.nlh.no

Birger Solberg
Institutt for skogfag
Norges Landbrukshøgskole
Postboks 5044
1432 Ås
Tel: 64 94 89 28
E-post: birger.solberg@isf.nlh.no

Nils Christian Stenseth
Biologisk institutt
Universitetet i Oslo
Postboks 1050 Blindern
0316 Oslo
Tel: 22 85 45 61
E-post: n.c.stenseth@bio.uio.no

Leif Sundheim
Norsk institutt for planteforskning
Postboks 100
1431 Ås
Tel: 64 94 92 44
E-post: leif.sundheim@planteforsk.no

Linda Sygna
CICERO Senter for klimaforskning
Postboks 1129 Blindern
0318 Oslo
Tel: 22 85 87 67
E-post: linda.sygna@cicero.uio.no

Nils Roar Sælthun
Norsk institutt for vannforskning
Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Tel: 22 18 51 21
E-post: nils.saelthun@niva.no

CICERO Report 2001:1
Virkninger av klimaendringer i Norge

Trond Iversen
Leder i RegClim
Institutt for geofysikk
Universitetet i Oslo
Postboks 1022, Blindern
Tel: 22 85 58 21
E-post: trond.iversen@ecmwf.int

Steinar Johansen
Norsk institutt for by- og regionforskning
Postboks 44 Blindern
0313 Oslo
Tel: 22 95 89 91
E-post: steinar.johansen@nibr.no

Bror Jonsson
Norsk institutt for naturforskning
Postboks 736 Sentrum
0105 OSLO
Tel: 23 35 51 14
E-post: bror.jonsson@ninaosl.ninaniku.no

Janne O. Kjønås
Norsk institutt of skogforskning
Høgskoleveien 12
1432 Ås
Tel: 64 94 89 74
E-post: Janne.Kjonaas@nisk.no

Dag Klaveness
Biologisk Institutt
Universitetet i Oslo
Postboks 1066 Blindern
0316 Oslo
Tel: 22 85 45 16
E-post: dag.klaveness@bio.uio.no

Harald Loeng
Havforskningsinstituttet
Postboks 1870 Nordnes
5817 Bergen
Tel: 55 23 84 66
E-post: Harald.Loeng@imr.no

Espen Lydersen
Norsk institutt for vannforskning
Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Tel: 22 18 51 14
E-post: espen.lydersen@niva.no

Jon Teigland
Vestlandsforskning
Postboks 163
6851 Sogndal
Tel: 61 26 98 05
E-post: jon.teigland@vestforsk.no

Bjørn Åge Tømmerås
Norsk institutt for naturforskning
Tungasletta 2
7485 Trondheim
Tel: 73 80 15 52
E-post: bjorn.a.tommeras@ninatrd.ninaniku.no

Arild Vatn
Institutt for økonomi og samfunnsfag
Norges Landbrukshøgskole
Postboks 5003
1432 Ås
Tel: 64 94 86 06
E-post: arild.vatn@ios.nlh.no

Kåre Venn
Norsk institutt for skogforskning
Høgskoleveien 12
1432 Ås
Tel: 64 94 90 31
E-post: Kare.Venn@nisk.no

Haakon Vennemo
Senter for økonomisk analyse
Postboks 6823 St. Olavs plass
0130 OSLO
Tel: 22 98 98 49
E-post: haakon.vennemo@econ.no

Richard F. Wright
Norsk institutt for vannforskning
Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Tel: 22 18 52 04
E-post: richard.wright@niva.no

Asbjørn H. Aaheim
CICERO Senter for klimaforskning
Postboks 1129 Blindern
0318 Oslo
Tel: 22 85 87 61
E-Post: asbjorn.aaheim@cicero.uio.no

Appendix III: Litteraturliste

I denne litteraturlisten har vi ikke tatt sikte på å inkludere alt av skriftlig arbeid relatert til klimaendring og virkninger av denne. Listen gir likevel eksempel på relevant faglitteratur innenfor aktuelle fagområder. For å gjøre denne listen mer komplett ønsker vi tilbakemelding om litteratur vi har utelatt.

- Andersen, J., 1992. Klimaforandrings innflytelse på faunaen. DN-notat 1992-8.
- Bakken, L.R., 1996. Nitrogen transformations at low temperatures. Proceedings from COST-workshop in Tromø 7.-9. September, 1995, Nitrogen supply and nitrogen fixation of crops for cool and wet climates. pp 17-24.
- Bergesen, H.O., Roland, K. og Sydnes, A.K., 1995. Norge i det globale drivhuset. Universitetsforlaget, Oslo.
- Callaghan, T., Sømme, L. og Sonesson, M., 1993. Impacts of climate change at high latitudes on terrestrial plants and invertebrates. DN-rapport 1993-1.
- Cramer, W., Doherty, R., Hulme, M. og Viner, D., 2000. Climate scenarios for agricultural, forest and ecosystems impacts. ECLAT-2 Workshop Report No. 2, Potsdam, Germany, 13. – 15. oktober,
- Direktoratet for naturforvaltning/Norsk institutt for naturforskning, 1990. Impact of Climatic Change on Natural Ecosystems, with Emphasis on boreal and arctic/alpine areas – Recommendations, Trondheim.
- Direktoratet for naturforvaltning, 1990. Klimaendringer og naturforvaltning. DN-rapport 1990-91, Trondheim.
- Direktoratet for naturforvaltning, 1992. Overvåkning av økologiske effekter av klimaendringer. Referat fra seminar i Trondheim 1. og 2. oktober 1992, DN-notat 1992-8.
- Direktoratet for naturforvaltning, 1994. Kritiske utviklingshastigheter for klimaendringer. DN-rapport 1994-4.
- Direktoratet for naturforvaltning, 1995. Virkninger av økt stormaktivitet på økosystemer. DN-rapport 1995-5.
- Eriksson, G., 2000. To survive and not survive global warming? I: Turok, J. og Geburek, T. (Eds.), International collaboration on forest genetic resources: the role of Europe. Proceedings of the Second EUFORGEN Steering Committee meeting, 26-29 November 1998, Vienna, Austria. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, 36-43.
- Flagstad, A., 2000. Skiturisme – en næring som går ut på dato? CICERO Senter for klimaforskning, Cicerone nr. 4, 2000.
- Heal, O.W., Callaghan, T.V., Cornelissen, J.H.C., Körner, C. og Lee, S.E. (eds), 1996. Global change in Europe's cold regions. Ecosystems Research Report No 27, Report on the Arteri workshops held at the Dansih Polar Centre 8. –10. November, København. Holten, J.I. og Carey, P.D., 1992. Responses of climate change on natural terrestrial ecosystems in Norway. Norsk institutt for naturforskning, forskningsrapport 29.
- Heide, O.M., 1993. Daylength and thermal time responses of bud burst during dormancy release in some northern deciduous trees. *Physiol. Plant.* 88, 531-540.
- Hindar, A., Skjelkvåle, B.L. og Wright, R.F., 1994. Miljøtiltak i skog – effekter på jordvann, avrenningsvann og vannlevende organismer. Norsk institutt for skogforskning, *Aktuelt fra skogforskning* Nr 4-94.
- Hofgaard, A., 1997. Structural changes in the forest-tundra ecotone: a dynamic process. I Past and future rapid environmental changes: the spatial and evolutionary responses of terrestrial biota, Huntley, B., Cramer, W., Morgan, A.V., Prentice, H. C. og Allen, J. R. M (eds): 255-263. Springer Verlag, Berlin.
- Holten, J.I., Paulsen, G. og Oechel, W.C. (eds), 1993. Impacts of climate change on natural ecosystems. Norsk institutt for naturforskning og Direktoratet for naturforvaltning, Trondheim.

CICERO Report 2001:1
Virkninger av klimaendringer i Norge

- Huntly, B., 1991. How plants respond to climate change: Migration rates, individualism and the consequences for plant communities. *Ann. Bot.* 67: 15-22.
- Klavness, D., 1997. Botanisk fenologi på ville planter i Norge – de tidligere norske fenologiske observasjons-seriene og mulighetene for nye serier. *Blyttia* nr. 2, 1997.
- Kverndal, A-I., Elvebakk, A., Jaworowski, Z. og Hanson, R., 1990. Virkninger av klimaendringer i polarområdene. Norsk Polarinstitutt, Rapportserie nr. 62.
- Kystdirektoratet, 1990. Konsekvenser av klimaendringer for havner, fyr og merker. Bidrag til den interdepartementale klimautredningen.
- Lindroth, A., Grelle, A., og Morén, A-S., 1998. Long term measurements of boreal forest carbon balance reveal large temperature sensitivity. *Global Change Biology* 4, 443-450.
- Loeng, H, Bjørke, H. og Ottersen, G., 1995. Larval fish growth in the Barents Sea. *Can. Spec. Publ. Fish Aquat. Sci.* 121, 691-698.
- Meissner, R. og Claussen, T, 1990. Konsekvenser av stigende havnivå i kystsonen. En eksempelstudie fra Jæren. Rogalandsforskning, RF 128/90.
- Miljøverndepartementet, 1991. Drivhuseffekten, virkninger og tiltak. Rapport fra den Interdepartementale klimagruppen, MD.
- Myking, T. og Skrøppa, T., 2000. Bevaring av genetiske ressurser hos norske skogstrær. Norsk institutt for skogforskning.
- Mysterud, A., Yoccoz, N.G., Stenseth, N. C., Langbatn, R., 2000. Relationships between sex ratio, climate and density in red deer: the importance of spatial scale. Sendt til *J Anim Ecol.*
- Nadelhoffer, K.J., Emmett, B.A., Gundersen, P., Kjønnaas, O.J., Koopmans, C.J., Schleppei, P., Tietema, A. og Wright, R.F., 1999. Nitrogen deposition makes a minor contribution to carbon sequestration in temperate forests. *Nature* 398, 145 -148.
- Norges forskningsråd, 1996. Forskningsprogram om klima- og ozonspørsmål. Området for miljø og utvikling. Programnotat, 49-59.
- Norges Vassdrags- og Energiverk, 1990. Klimaendringer og vannressurser. Bidrag til den interdepartementale klimautredningen.
- Norges Vassdrags- og Energiverk, 1990. Klimarelaterte problemstillinger og energisektoren. Avdelingsrapport E2.
- Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning, 1990. Konsekvenser for jordbruksproduksjonen av økte klimagassutslipp. Rapport C-005-90.
- Norsk institutt for luftforskning, 1990. Drivhuseffekten og klimautviklingen. Bidrag til den interdepartementale klimautredningen. NILU rapport 21/90.
- Norsk institutt for naturforskning, 1990. Biologiske og økologiske konsekvenser av klimaforandringer i Norge. Jarle I. Holten (red.). NINA Utredning 11, 1-59.
- Norsk institutt for vannforskning, 1990. Klimaendringer og effekter på akvatisk miljø. NIVA-rapport O-89258. Bidrag til den interdepartementale klimautredningen.
- Norsk institutt for vannforskning, 1993. Betydningen av sjøsultanrikt nedbør i vassdrag og mindre nedbørsfelt, forsuring og fiskedød etter sjøsaltperioden i januar 1993. NIVA rapport, Oslo.
- Ottersen, G, Loeng H. og Raknes A., 1994. Influence of temperature variability on recruitment of cod in the Barents Sea. *ICES mar. Sci. Symp.* 198, 471-481.
- Ottersen, G., Planque B., Belgrano A., Post E, Reid P. C. og Stenseth N. C., 2000. Ecological effects of the North Atlantic Oscillation. Under utarbeidelse.
- Parry, M., og Carter, T., 1998. Climate impact and adaptation assessment. Aguide to the IPCC Approach. Earthscan Publications Limited, UK.
- Post, E., Peterson R.O., Stenseth N.C. og McLaren B.E., 1999. Ecosystem consequences of wolf behavioural response to climate. *Nature* 401, 905-907.

CICERO Report 2001:1
Virkninger av klimaendringer i Norge

- Post, E. og Stenseth, N.C., 1999. Climate variability, plant phenology, and northern ungulates. *Ecology* 80, 1322-1339.
- Raich J.W. og Schlesinger, W.H., 1992. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus* 44, 81-89.
- Ramachandran, M. og Eastman, J.R., 1997. Applications of GIS to vulnerability mapping: A West African food security case study. *Applications of Geographic Information Systems (GIS) Technology in Environmental Risk Assessment and Management*. UNEP og Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis.
- Sakshaug, E., Bjørge, A., Gulliksen, B., Loeng, H. og Mehlum, F., 1994. Structure, biomass distribution, and energetics of the pelagic ecosystem in the Barents Sea: A synopsis. *Polar Biol* (1994) 14, 405-411.
- Sakshaug, E., 1995. Weather and climate: effects on life in the sea. Det Kgl. Norske Videnskabers Selskabs Forhandlinger 1995.
- Skjoldal, H.R., Gjøsæter, H. og Loeng, H., 1992. The Barents sea ecosystem in the 1980s: ocean climate, plankton, and capelin growth. *ICES mar. Sci. Symp.* 195, 278-290.
- Statens institutt for folkehelse, 1990. Mulige helsevirkninger av klimaendringer. Bidrag til den interdepartementale klimautredningen.
- Svendsen, E., Aglen A., Iversen, S.A., Skagen D. W. og Smestad, O., 1995. Influence of climate on recruitment and migration of fish stocks in the North Sea. *Can Spec Publ Fish Aquat Sci* 121, 641-653
- Sykes, M.T. og Prentice, I.C., 1996. Climate change, tree species distributions and forest dynamics: a case study in the mixed conifer/northern hardwoods zone of northern Europe. *Climatic change* 34, 161-177.
- Sælthun, N.R. et al., 1998. Climate change impacts on runoff and hydropower in the Nordic countries. Final report from the project "Climate Change and Energy Production". TemaNord 1998:552, Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 1998.
- Sæther, B.E., Tufto, J., Engen, S., Jerstad, K., Røstad, O.W. og Skåtan, J.E., 2000. Population dynamical consequences of climate change for a small temperate songbird. *Science* 287, 854-856.
- Turunen, M., Hukkinen, J., Heal, O.W., Sælthun, N.R. og Holtén, J.I., 1998. A terrestrial transect for Scandinavia/Northern Europe: Proceedings of the international Scantran conference. International Scantran conference 19. to 23. March 1998, Rovaniemi, Finland, Ecosystem research report No. 31.
- Vatn, A., Bakken, L.R., Botterweg, P. og Romstad, E., 1999. ECECMOD: an interdisciplinary modelling system for analyzing nutrient and soil losses from agriculture. *Ecological Economics* 30, 189-205
- Wathne, M., Skoglund, M. og Eggestad H.O., 1999. Samfunnskostnader på grunn av flom i vassdrag. SINTEF og Jordforsk, HYDRA-rapport nr. R02.
- Wright, R. F., Beier C. og Cosby, B.J., 1998. Effects of nitrogen deposition and climate change on nitrogen runoff at Norwegian boreal forest catchments: The MERLIN model applied to Risdalsheia (RAIN and CLIMEX projects). *Hydrology and Earth System Sciences* 2(4), 399-414.
- Wright, R.F., Emmett, B. A. og Jenkins A., 1998. Acid deposition, land-use change and global change: MAGIC 7 model applied to Aber, UK (NITREX project) and Risdalsheia, Norway (RAIN and CLIMEX projects). *Hydrology and Earth System Sciences* 2(4), 385-397.
- Øiestad, V., 1990. Konsekvenser av klimaendringer for fiskeri- og havbruksnæringen. Havforskningsinstituttet.