

Kombinasjon av to scenarier for 2030-2050: Ekstremene nedjusteres

Forskningsprosjektet RegClim har beregnet hvordan to forskjellige globale klimascenarier kan slå ut i Norge. Ved å kombinere de to scenariene får vi sikrere risikovurderinger.

**Trond Iversen, Jan Erik Haugen,
Asgeir Sorteberg, Viel Ødegaard,
RegClim**

Som nevnt i en tidligere artikkel i *Cicerone* (Trond Iversen, nr. 3/2003, side 20-23), er stikkordene for den nystartede fase III av RegClim *risiko* og *usikkerhet*. Med risiko mener vi fare for at sjeldne værtyper blir mer vanlig. Med usikkerhet tenker vi på mer eller mindre kjente svakheter i de globale klimamodellene, som spesielt kan ha betydning i vår region. Risiko og usikkerhet henger nøye sammen, fordi modellsvakheter øker spredningen i de beregnede klimaendring-

ene og slik overdriver risikoen for ekstremt vær.

Uten modellfeil ville beregningene av framtidig risiko bare skyldes naturlige fluktuasjoner i klimasystemet ("kaos"), og antagelsene om framtidens naturlige (for eksempel solstråling) og menneskeskapt ytre pådriv (for eksempel drivhusgasser og partikler). Men modellene er ikke perfekte, og vi kan ikke skille godt mellom effekter av modellfeil og andre kilder til variasjoner i modellresultatene.

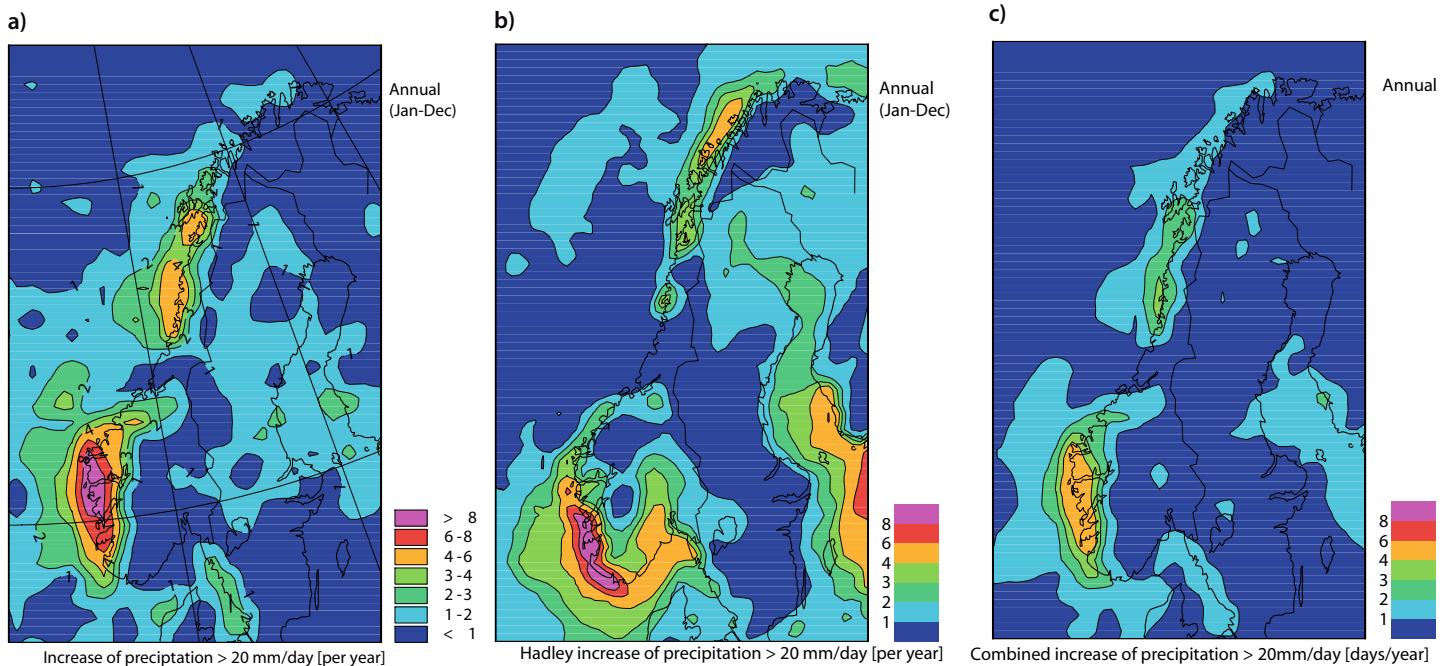
Vi ønsker å ha med mest mulig av de naturlige variasjonene og en realistisk variasjon i scenariene for framtidens klimautslipp. Derfor må vi ta med en lang rekke beregninger av klimaets utvikling

som gjelder for de samme tidsrom. Dette er såkalte ensembler av klimascenarier. Siden modellenes feil dessverre bidrar med utilsiktet variasjon i forutsigelsene, blir den totale variasjonsbredden da overdrevet. Derfor må modellene forbedres, slik at klimaforskerne ikke "roper ulv" i utide.

For å øke tilfanget av naturlig variasjon i anslagene for Norges framtidige klima, har RegClim nå gjort flere beregninger av hvordan globale scenarier for framtidens klima vil slå ut i Norge. Fra før er globale beregninger fra Max-Planck-Instituttet i Hamburg (MPI) publisert og gjort tilgjengelige for virkningsstudier. Nå er dette komplettert med en beregning

KlimaProg-Forskningsprogram om klima og klimaendringer (2002-2011) dekker naturvitenskapelig forskning som sikter på å øke forståelsen av klimasystemet og klimaendringer. Programmet hører inn under Norges forskningsråd og finansierer blant annet de store, koordinerte forskningsprosjektene AerOzClim, NOCLim, NORPAST og RegClim.

KlimaProg har sin egen redaksjon for å informere om forskningen i samarbeid med CICERO Senter for klimaforskning, og har egne sider i hvert nummer av tidsskriftet *Cicerone*.



Figur 1. Beregnet økning i antall dager per år med nedbør over 20 mm per døgn: (a) MPI-scenariet om femti år, (b) HAD-scenariet om 110 år, samt (c) den kombinerte statistikken av MPI og HAD om 50 år (se forklaring i ramme).

ing basert på globale beregninger fra Hadley-senteret i England (HAD). Ved å kombinere de to scenariene får vi sikrere anslag om bl. a. endret risiko for ekstremt vær over de neste femti årene (se ramme).

Enkelte foreløpige resultater vises i denne artikkelen. Vi gjør oppmerksom på at resultatene er ferske og ikke publisert vitenskapelig ennå, og vi må ta forbehold om at feil kan forekomme. Resultatene vil bli fyldigere presentert senere etter ytterligere kvalitetskontroll. Lenger ut i prosjektet vil det komme flere beregninger som trolig vil modifisere disse resultatene ytterligere. Noen av disse skal brukes til å anslå bidragene fra modellusikkerheter.

Strømningsmønstre slår sterkt ut i Norge

De to scenariene fra MPI og HAD viser svært forskjellige endringer i luftstrømmer om vinteren over Skandinavia, Norskehavet og Barentshavet. MPI øker lavtrykksaktiviteten i Norskehavet og Barentshavet, mens HAD øker aktiviteten over De Britiske øyer, Nordsjøen og Sør-Skandinavia (se *Cicerone* 3/2003). MPI forsterker trenden fra de milde vintrene med stormer og mye nedbør over vestkysten på 1990-tallet, mens HAD likner mer på situasjonen høsten 2000, da det var mye nedbør over Sør- og Østlandet.

Dette kan vi se direkte i Figur 1, som viser økningen i antall dager per år med nedbørmengder over 20 mm fra de to scenariene. For Norge sin del er det store forskjeller i Nord-Norge, men særlig på Sør- og Østlandet er de betydelige. HAD gir 4-6 flere dager per år med nedbør over 20mm, mens MPI ikke gir noen økning. MPI gir på sin side en økning på mer enn 8 slike dager per år på det nordlige Vestlandet, mens HAD gir tilsvarende tall for det sørlige Vestlandet. Resultatene følger av modellenes ulike endringer i luftstrømmene i forhold til de norske fjell og kyster. Figur 1c viser den kombinerte statistikken for begge scenariene (se forklaring i ramme). MPI-scenariet dominerer den kombinerte trenden over 50 år, men tilfellene av store nedbørmengder øker mindre enn anslaget fra MPI alene. Dette kan bekreftes av tilsvarende figurer for nedbør over 50 mm per døgn.

Som nevnt i innledningen kan det diskuteres i hvilken grad forskjellene mellom resultatene skyldes ulikheter mellom modellene (altså modellusikkerhet), eller om de kan tilskrives naturlig klimavariabilitet. Om det siste er tilfelle, kan forskjellen betraktes som tilfeldig. Flere beregninger med en og samme modell (Bergen Climate Modell, BCM, utviklet i RegClim) med de samme ytre

betingelser (CO_2 øker med 1 % per år), men med ulike utgangsbetingelser for havets tilstand, er gjort for blant annet å undersøke dette. De ulike utgangsbetingelsene er tatt fra en 300 år lang kontrollberegning med BCM der de ytre betingelsen er konstante, og alle variasjoner er tilfeldige. De skyldes kun modellens simulering av naturlige variasjoner i klimasystemet.

Beregningene med BCM viser at forskjellene mellom MPI og HAD faktisk kan betraktes som tilfeldige. De globale BCM-beregningenes kontraster over Norge er riktignok svakere enn de nedskalerte resultatene. Vi har derfor holdpunkter for at de to nedskaleringene er like realistiske og behandler dem som likeverdige.

To av BCM-beregningene er gjort ut fra to ytterligheter i den vertikale omveltning av overflate- og dypvann i Atlanterhavet. En beregning starter med en sterkere omveltning enn vanlig (19 Sverdrup = 19 mill. kubikkmeter per sekund), og med en fordobling av CO_2 -innholdet i atmosfæren, beregnes da en endring som likner MPI. Oppvarmingen av det Eurasiske kontinent blir betydelig (mer enn 5 grader), og Figur 2a viser at nedbørøkningen blir sterkere på vestsiden av de Skandinaviske fjell enn på østsiden. Når modellen starter med en

Kombinasjon av to scenarieberegninger

I en artikkel av Palmer og Räisänen i Nature Vol. 415, s. 512 (2002), ble det vist at det er nyttig å anse resultatene fra ulike globale beregninger som likeverdige beskrivelser av det framtidige klima. Hyppighetsfordelingene fra hver beregning kombineres da til en felles fordeling. Dersom man i stedet hadde valgt å lage en gjennomsnittlig statistikk, ville vi mistet mye informasjon om sjeldne hendelser.

I RegClim har met.no gjort flere dynamiske nedskaleringer (se *Cicerone* 6/1999) av et scenario fra Max-Planck-Instituttet i Hamburg (MPI) for de to 20-års periodene 1981-2000 ("dagens klima") og 2031-50 ("om 50 år"). Vi har valgt et beregningsområde som er minst mulig uten at dette gir vesentlige feil i den region vi er interessert i. I det samme området er et annet scenario fra Hadleysenteret i England (HAD) nedskalert for 30-års periodene 1961-90 og 1971-2100. Det er ikke det beste valget å sammenlikne data fra de to ulike periodene, men det var praktisk uunngåelig. Mindre viktig er det at utslippene av drivhusgasser og partikler avviker fra MPI. At

HAD er en annen klimamodell er også mindre viktig, slik vi har sett fra BCM-resultatene.

Gitt den store økningen i antatte utslipp av drivhusgasser utover i det 21. århundre, er den viktigste årsaken til systematiske forskjeller mellom HAD og MPI de ulike perioder. Vi har valgt å skalere endringene over 110 år fra HAD til de samme 50 årene som MPI ved å bruke HAD-modellens globale gjennomsnittstemperatur på bakken som indikator. Endringene fra HAD multipliseres da med 0,32. Samme teknikk ble brukt i NordEnsClim-scenariene (Christensen m. fl. 2001, *Geophysical Research Letters*, Vol. 28, s. 1003-6; *Cicerone* 4/2000).

Etter skaleringen av HAD behandles de to scenariene som likeverdige, men det tas hensyn til at HAD har 30 år med data mens MPI bare har 20. Dette kompenseres for ved å lage statistikk for endring per gjennomsnittlige år for hver modell før de kombineres.

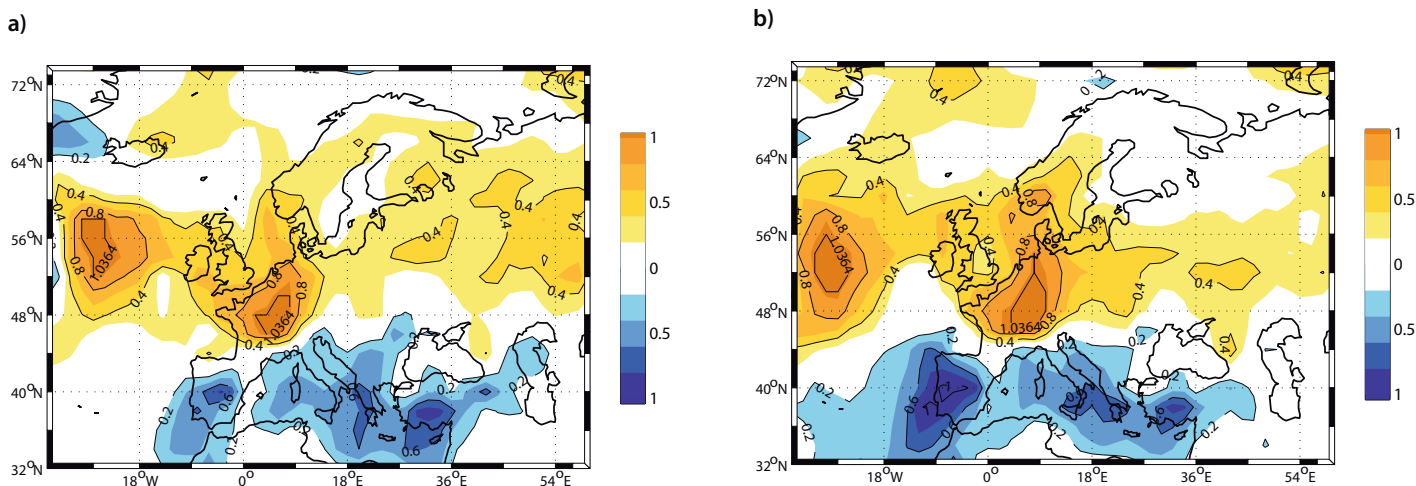
svakere omveltning (16 Sverdup), ligner endringene mer på resultatene fra HAD. Kontinentet varmes langsommere og de østlige deler av de Skandinaviske fjell får økt nedbør, særlig over Sørøst-Norge (Figur 2b). Det er verdt å merke seg at mange andre områder i Nord-Europa er mindre følsomme for disse variasjonene enn Norge.

Kombinert ekstremstatistikk

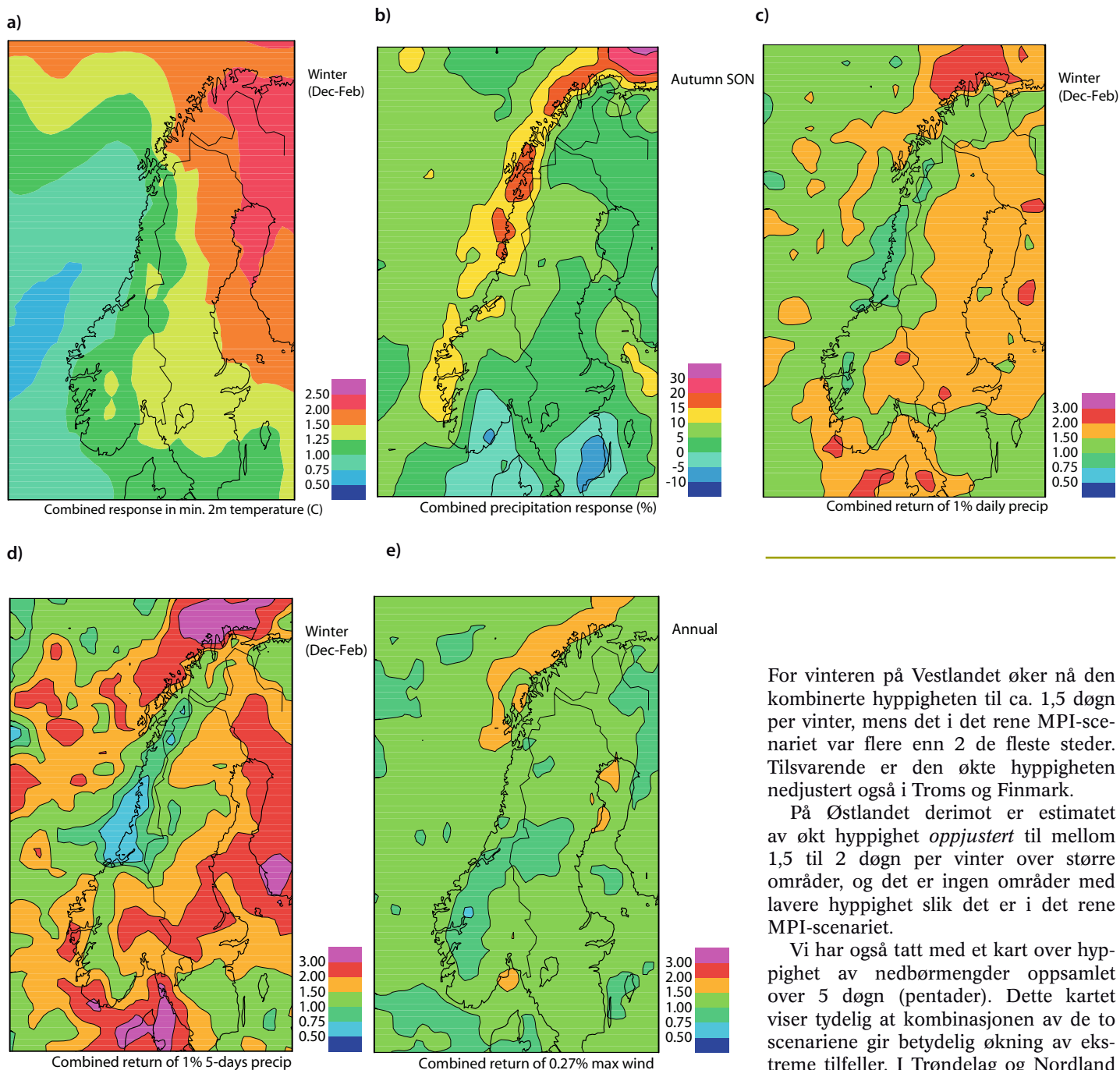
Figur 3 viser fem eksempler på kombinert statistikk med både MPI- og HAD-scenariene, som kan sammenliknes med tidligere publisert statistikk fra RegClim-prosjektet (se under Presse og Media på regclim.met.no). Ifølge de kombinerte

beregningene er økningen av vinterens minimumstemperatur størst i nord og større i innlandet enn ved kysten. Det samme mønsteret så man fra MPI alene, men tallene er nå mindre. Fremdeles er det slik at vinterens minimumstemperatur øker mer enn sommerens maksimum.

Figur 2. Beregnet økning av gjennomsnittlig nedbør (mm per døgn) om vinteren med Bergen Climate Modell etter dobling av CO₂-konsentrasjonene. Beregningene antar 1 % økning av CO₂ per år. Under ellers like vilkår er to beregninger gjort ut fra to ulike tilstander for den vertikale omveltning av havvann i Atlanterhavet. (a) viser resultatene når det startes med en sterk omveltning (19 Sverdup), mens (b) er resultatene med start fra en svak omveltning (16 Sverdup).



Figur 3. Kombinerte statistikker fra MPI- og HAD-scenariet for 50-års klimaendringer for perioden 2031-50. (a) Økt minimumstemperatur om vinteren. (b) Økt høstnedbør i % av dagens. (c) Økt forekomst av store nedbørmengder per døgn om vinteren (2 betyr dobbelt så ofte). Store mengder er slike som i dag forekommer en dag per vinter. (d) Samme som (c) men for nedbørmengder samlet opp over 5 døgn. (e) Økt forekomst av sterk vind (2 betyr dobbelt så ofte). Sterk vind er den maksimale styrke per døgn som i dag forekommer en gang per år.



For vinteren på Vestlandet øker nå den kombinerte hyppigheten til ca. 1,5 døgn per vinter, mens det i det rene MPI-scenariet var flere enn 2 de fleste steder. Tilsvarende er den økte hyppigheten nedjustert også i Troms og Finmark.

På Østlandet derimot er estimatet av økt hyppighet *oppjustert* til mellom 1,5 til 2 døgn per vinter over større områder, og det er ingen områder med lavere hyppighet slik det er i det rene MPI-scenariet.

Vi har også tatt med et kart over hyppighet av nedbørmengder oppsamlet over 5 døgn (pentader). Dette kartet viser tydelig at kombinasjonen av de to scenariene gir betydelig økning av ekstreme tilfeller. I Trøndelag og Nordland anslås riktignok lavere sannsynlighet for store pentader, mens hyppigheten på Østlandet, Vestlandet, Troms og Finmark øker betydelig (mer enn 1,5 ganger så ofte de fleste steder og mer enn dobbelt så ofte mange steder).

Til slutt vises et kart over den kombinerte hyppighet om 50 år av den maksimale vindstyrke per døgn som i dagens klima kun overstiges en gang per år. Økt hyppighet beregnes over hele kyst-Norge og store deler av innlandet. Økningen er størst ved kysten av Troms og Finmark til mellom 1,5 og 2 ganger per år. Det er

Økningen av høstnedbøren er vesentlig nedjustert over Vestlandet og Trøndelag i forhold til de tidligere MPI beregningene. Vestlandet har nå 10-15 % økning i høstnedbøren, mens den tidligere var over 20 %. I Trøndelag er nedjusteringen enda større, mens den er nær uforandret

i store deler av Nord-Norge. På Sørøstlandet er det en nedgang i nedbørmengden slik det var i det rene MPI-scenariet.

Nedjusteringen av nedbørøkningen får også innvirkning på endret hyppighet av nedbørmengder som i dagens klima kun forekommer en dag per år eller sesong.

også økning i Skagerrak. Den økte hyppigheten i Nord-Norge er en del mindre enn det rene MPI scenariet gir.

Første skritt mot redusert usikkerhet

Resultatene som er vist her er en utvidelse av det ene MPI-scenariet som hittil har vært nedskalert for forskning om virkninger av klimaendringer i Norge. Vi vet fra et stort antall *empiriske nedskaleringer* (beregning av regionale utslag av globale klimaendringer ut fra statistikk) at resultatene fra MPI bare utgjør en del av de mulighetene som fins. Det nye kombinerte scenariet gir derfor sikrere grunnlag for å si noe om klimaet i Norge om 50 år enn det vi har gitt tidligere.

Men dette er kun et første skritt. Vi ønsker for det første å anslå endringer i hyppigheten av mer sjeldent vær enn det som opptrer en gang per år. Da må datagrunnlaget økes ved å nedskalere et større sett med globale beregninger. Da vet vi at vi får med effekter av uønskede modellfeil på lasset. Disse feilene ønsker vi å anslå og bidra til å minske. For å få til dette planlegges en kombinasjon av dedikerte globale eksperimenter som nedskaleres på samme måte.

Trond Iversen

(trond.iversen@geo.uio.no)
er professor i meteorologi ved Institutt for geovitenskap, UiO. Han er prosjektleder for RegClim.

Jan Erik Haugen

(jan.erik.haugen@met.no) er forsker ved Meteorologisk institutt og arbeider i RegClim med dynamisk nedskalering.

Asgeir Sorteberg

(asgeir.sorteberg@gfi.uib.no) er forsker ved Bjerknessenteret for klimaforskning og arbeider i RegClim med global klimamodellering.

Viel Ødegaard

(viel.odegaard.met.no) er forsker ved Meteorologisk institutt og arbeider i RegClim med dynamisk nedskalering.

Snøskred avslører uvær 9000 år tilbake i tid

Spor etter snøskred gir data om ekstremt vær over flere tusen år. Det er verdifullt – for klimadata om ekstremt vær har en vanligvis bare fra de siste hundre årene.

Atle Nesje, Svein Olaf Dahl, Jostein Bakke og Øyvind Lie,
NORPAST

I FNs klimapanelers tredje hovedrapport fra 2001 står det lite kvantitativt om vær- og klimaekstremer og usikkerheten forbundet med disse. Siden endringer i ekstreme værhendelser som et resultat av klimaendringer vil kunne få dramatiske konsekvenser, vil det imidlertid bli lagt større vekt på disse forholdene i klimapanelets neste rapport (se artikkel av R.E. Benestad i *Cicerone* 5/2002, 27-28).

Ekstremvær og snøskred

Nye beregninger fra forskningsprosjektet RegClim viser at sannsynligheten for mer ekstremt vær i vår region øker i fremtiden, som økt hyppighet av store nedbørmeng-

der og sterk vind (se artikkel av J.E. Haugen i *Cicerone* 6/2002, 22-24 og artikkel av T. Iversen m. fl. i dette nummer). Kraftig uvær eller ekstremvær i form av stormer/orkaner, stormflo, kraftig regnvær og store snøfall fører i vårt land som oftest til ulike typer skred som kan gjøre store ødeleggelser på for eksempel skog, bygninger, folk, veier og jernbane. Gjentatte ekstreme værhendelser kan derfor ha store konsekvenser i et samfunn der utbygging av en stadig mer sammensatt infrastruktur kan medføre økt sårbarhet. Nedskalerte klimamodeller (se artikler i *Cicerone* av forskere tilknyttet RegClim-prosjektet) antyder at det kan forventes økt hyppighet av ekstreme værhendelser både globalt og nasjonalt. Mange forskere hevder at en menneskeskapt drivhusoppvarming er i gang og at dette kan føre til mer ekstremt vær og at noen av værkatastrofene nylig er knyttet til den globale oppvarmingen. Det er likevel vanskelig eller

Figur 1. Snøskredår i indre Nordfjord basert på historiske nedtegnelser og observasjoner.

