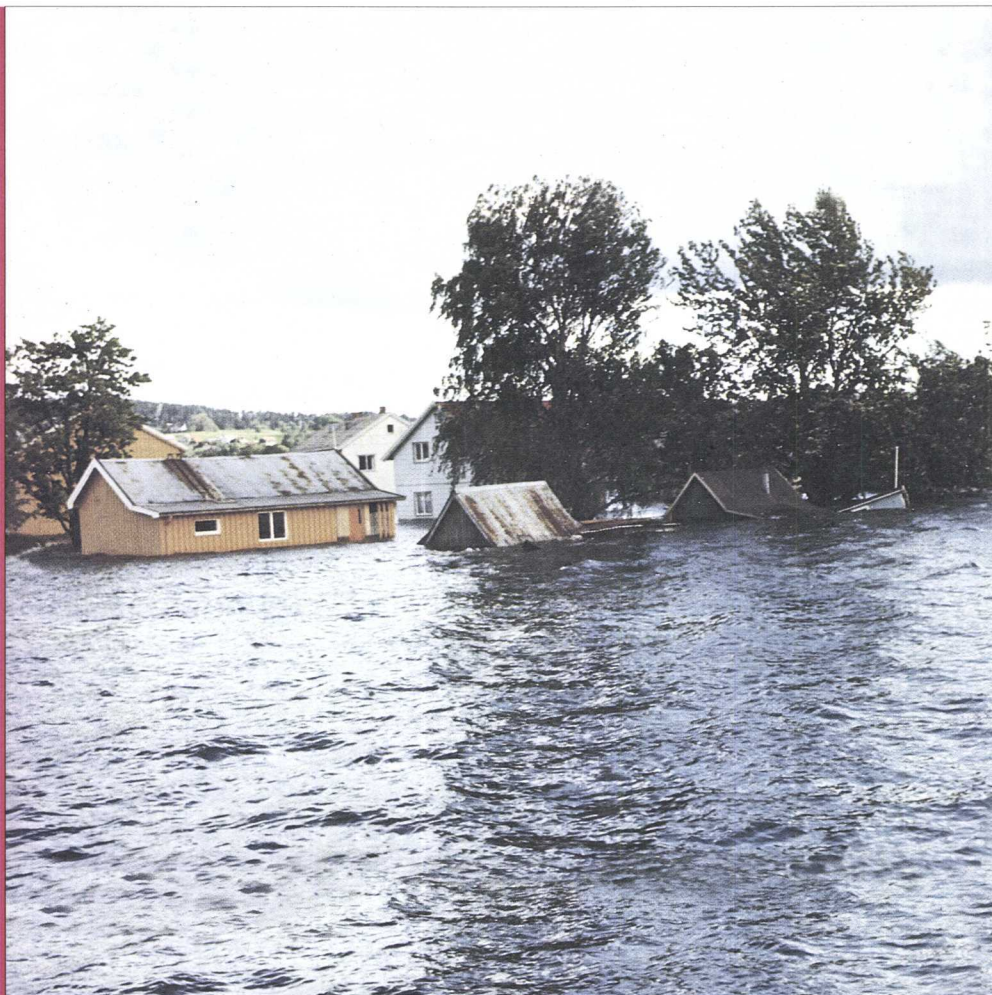




Vannlandet i 2050

Vann, natur og samfunn i et endret klima



Vannlandet i 2050

Vann, natur og samfunn
i et endret klima

Norges vassdrags- og energidirektorat
2003

Vannlandet i 2050

Vann, natur og samfunn i et endret klima

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat
2003 i forbindelse med konferansen Vannlandet i 2050. Vann, natur og samfunn i et endret klima, Bergen, 6. mai 2003

Redaktør: Ivar Berthling

Referansegruppe:

Halvor Kr. Halvorsen, Grethe Holm Midttømme, Geir Taugbøl

Sammendrag: Vi vil møte betydelige klimaendringer i de nærmeste tiår. Nye beregninger utført ved NVE og Meteorologisk Institutt viser at klimaendringene fører til store endringer i de hydrologiske forhold. Over det meste av landet blir det mer nedbør og det blir større sannsynlighet for store nedbørshendelser. Vestlandet får størst økning, og her kan store områder forvente seg mellom 450 og 1100 mm mer nedbør pr. år.

Selv om fordampningen også øker noe, gir nedbørøkningen en betydelig større avrenning. På Vestlandet vil avrenningen øke med mellom 400 og 1100 mm året (spredt jevnt utover landoverflata), mens endringene for Østlandsområdet og i Finnmark er betydelig mindre. Forskjellene mellom landsdelene blir dermed forsterket. Det vil også bli sesongendringer i avrenningen. Om høsten øker avrenningen i de fleste områdene, men spesielt langs kysten av Vestlandet og i Trøndelag. Avrenningen om vinteren øker i lavlandet på Østlandet og langs kysten av Vestlandet til Trøndelag. Avrenningen om våren vil øke i fjellområder i Sør-Norge, i innlandet i Nord-Norge og langs kysten av Finnmark. Minst endringer er det for sommerforholdene.

Snømengdene vil øke i fjellet i Sør-Norge og i Øst-Finnmark, mens resten av landet stort sett får mindre snøakkumulasjon. Spesielt lavereliggende fjellstrøk og kystnære områder langs kysten av Vestlandet, Trøndelag og Nordland får mindre snø. Økte snømengder i fjellområdene vil mer enn kompensere for økt smelting på isbreene, slik at disse etter hvert vil rykke fram både kystnære strøk og i innlandet. På elver og innsjøer vil den islagte perioden bli kortere. Mer variable værforhold kan gi økt fare for isganger i elvene vinterstid. En del av permafrostarealene i fjellområdene vil begynne å tine. Økt avrenning vinterstid vil gi økt erosjon og mer transport

Bidragstydere: Lars Harald Blikra (NGU)

Lillian Øygarden (Jordforsk) Bernt Matheussen (NTNU) Randi Pytte Asvall, Stein Beldring, Jim Bogen, Rune Engeset, Torodd Jensen, Jan Henning L'Abée-Lund, Per Tore Jensen Lund, Lars Roald, Thomas Skaugen (alle NVE)

Opplag: 500

Forsidefoto: Lillestrøm 1967

Foto: NVE

Rapporten er lagt ut på internett på www.nve.no

av løsmateriale med elvene, og større utvasking av næringsstoffer både fra landbruksarealer og landoverflata ellers.

Klimaendringene vil ha betydelige ringvirkninger for natur og samfunn. Endringer i de hydrologiske forholdene vil sannsynligvis få større og videre effekter enn de rene temperaturendringene. Skader og problemer vil være knyttet både til større naturulykker under til ekstreme forhold og til gjennomsnittsforholdene.

Den direkte faren for flommer vil øke, som følge av mer akkumulert snø i fjellet, større fare for intense lokale regnskyll og akkumulasjon av grus og stein i elveløpene. Mindre utglidninger og erosjon langs bekker og elver kan gi økte problemer med skred i leirområdene, hvor mange av de mest befolkede arealene i Norge ligger. En økt forekomst av jordskred og snøskred er sannsynlig, muligens også økt fare for store fjellskred.

Det bebygde miljø i Norge vil få økte belastninger på konstruksjonen fra nedbør og fuktighet, mer vind og større snølaste, skred og flomhendelser og fra overbelastede avløpsanlegg i tettbygde strøk. Samferdselssektoren vil oppleve hyppigere stengning av veier som følge av ulike former for skred og flom. Kraftlinjer og damanlegg vil bli mer utsatt for klimapåkjenninger som gir økt sårbarhet for skader, brudd og produksjons- og energitap. På den annen side vil produksjonspotensialet for elektrisk kraft vil øke, selv om det er store forskjeller mellom landsdelene knyttet både til økningen i avrenning og i vannkraftanleggenes kapasitet.

Innhold

Forord	4
Sammendrag	4
Innledning	5
Om å lage langtidsvarsler	5
Langtidsvarsel for Norges vannbalanse	6
Det frosne landet	11
Snø	11
Breer	11
Is på elver og innsjøer	11
Permafrost	12
Erosjon, jordtap og forurensning	16
Skred	17
Klimaendringer og norsk natur	19
Livet i vassdrag	19
Skog og fjellvegetasjon	19
Samfunnets sårbarhet mot klimaendringer	21
Bebyggelse	21
Samferdsel	21
Elforsyning	21
Konklusjon	23

Forord

I vannlandet Norge tar vi vanntilgang for gitt. Betydningen av vann for vår kultur, historie og økonomiske utvikling kan ikke understrekes sterkt nok! ¹⁾

2003 er proklamert som FN's internasjonale år for ferskvann, og Norges Vassdrags og Energidirektorat (NVE) markerer dette blant annet gjennom konferansen og rapporten "Vannlandet i 2050. Vann, natur og samfunn i et endret klima".

Klima og klimaendringer står i dag sentralt i samfunnsdebatten. Vann er en viktig del av klimasystemet. Det er derfor god grunn til å fokusere på direkte effekter av klimaendringer på de hydrologiske forhold i Norge. Basert på tilgjengelig forskningsmateriale gir denne rapporten et "langtidsvarsel" for de hydrologiske forholdene i Norge fram mot midten av dette århundre, og dernest en vurdering av de indirekte effektene endringer i de hydrologiske forholdene kan påføre natur og samfunn. Rapporten retter seg mot allmennhet og forvaltning. Vi avgrenser oss til å omtale det norske fastlandet.

Av hensyn til framstillingen vil kildehenvisninger og referanser bli gitt som fotnoter.



Kjell Repp
Avdelingsdirektør

1) Professor Terje Tvedt (UiB/UiO) gir en leseverdig oversikt i "Ferskvann – kilden til liv" som NVE gav ut som annonsebilag til Aftenposten på verdens vanndag 22. mars 2003. Bilaget kan fåes ved henvendelse til NVE.

Innledning

De fleste forskere er enige i at vi har en global oppvarming, og at dette hovedsakelig skyldes menneskelig aktivitet gjennom utslipp av klimagasser. Noen miljøer mener imidlertid at også solen spiller en betydelig rolle. Klimamodeller viser at vi i tiårene framover vil stå overfor klimatiske endringer, selv om vi oppnår de målsetningene om utslippsbegrensinger som Kyoto-avtalen legger opp til ²⁾. Følgelig pågår det en debatt om **klimaeffekter** (dvs. ringvirkninger av klimaendringer på natur og samfunn), samfunnets **sårbarhet** eller **robusthet** overfor klimaendringer og mulige **tilpasninger** til et endret klima. Sårbarheten gjelder alle nivåer og områder innenfor natur og samfunn, og vi må ta stilling til tiltak for hvordan vi globalt, nasjonalt og lokalt kan tilpasse oss et nytt klima. Norge som helhet blir gjerne betraktet som klimarobust. Men dette gjelder ikke ved store klimaendringer, utover det som klimamodellene i dag forutsier, som for eksempel dersom Golfstrømmen svekkes vesentlig eller ved overgang til en ny istid.

Klimaet på jorda har alltid vært i endring. Den geologiske perioden vi er inne i nå (de siste 2-3 millioner år) er kjennetegnet av forholdsvis regelmessige svingninger mellom istider og mellomistider. Dette skyldes periodiske forandringer i jordas bevegelse rundt sola. Også over kortere tidsrom har klimaet kunnet endre seg betydelig. Studier av iskjerner fra Grønland viser for eksempel endringer av årlig gjennomsnittstemperatur på 7° C eller mer i løpet av få tiår ³⁾ mot slutten av siste istid. Raske klimaendringer er dramatiske for økosystemene, og for oss mennesker. For eksempel regner en i dag med at Mayakulturen gikk til grunne som følge av en rask endring mot tørrere klima.

2) Mer informasjon for eksempel på www.cicero.uio.no og www.nilu.no/regclim

3) IPCC Third Assessment Report, www.grida.no/climate/ipcc_tar

4) www.nilu.no/regclim

5) Lars Roald m.fl. (2002): Scenarios of annual and seasonal runoff for Norway based on climate scenarios for 2030-49. Oppdragsrapport A nr. 10-02, NVE

Vann er en nødvendighet for samfunnet, og vannbehovet øker med samfunnets utviklingsgrad. Vann har videre stor betydning for mange fysiske prosesser i naturen. Dette gjelder enten vannet er i form av vanndamp, regn eller is/snø, og enten det er på eller i bakken, elver, innsjøer eller havet. Spesielt er vannet knyttet til klimasystemet, både direkte og gjennom biologiske prosesser. Derfor vil endringer i de hydrologiske forholdene ha betydelige ringvirkninger.

Om å lage langtidvarsler

Det heter seg at det er vanskelig å spå – spesielt om fremtiden. Ikke desto mindre er nordmenn nesten alltid interessert i været for morgendagen, kommende helg eller for sommeren. Vi er imidlertid vant til at jo lenger inn i framtiden vi går, jo vanskeligere er det å få et korrekt varsel. Det er gjerne bare ulike "værprofeter" som ønsker å uttale seg til media om været uker eller måneder fram i tid. Kan det da ha noen mening å gi et langtidsvarsel for Norges vannhusholdning flere tiår framover? Vi mener det, men varselet må leses på en korrekt måte! Arbeidsmåten bør derfor forklares først.

Klimascenarier blir laget på forskjellig detaljnivå og med forskjellige antagelser om framtidig utslipp av drivhusgasser, ved hjelp av globale klimamodeller. Modellene har grov oppløsning, det vil si at data fra modellen gjelder for et stort område (for eksempel 250 km x 250 km). Dette er ikke tilstrekkelig til å beskrive klimaet innenfor en region på størrelse med Skandinavia. En må derfor "nedskalere" resultatene fra de globale klimamodellene.

Slik nedskalering blir utført innenfor RegClim-prosjektet ⁴⁾. Våre varsler er utarbeidet av NVE i samarbeid med Meteorologisk institutt ⁵⁾, og baserer seg på klimascenarier fra RegClim. Data fra en global klimamodell er lagt inn i en værvarslingsmodell som genererer dataserier for døgnlige gjennomsnittstemperatur og nedbør, for en kontrollperiode (1980-2000) og for en scenarieperiode (2030-50). De modellerte dataseriene for kontrollperioden er ikke identiske med observerte dataserier, men representerer den

naturlige variasjonen i dagens klima. For scenarieperioden gir modellen et bilde på hvordan temperatur og nedbør vil variere (gjennomsnittsverdi og fordeling rundt gjennomsnittet). Disse dataseriene gir et sikrere bilde av gjennomsnittsforholdene (mange hendelser i dataseriene) enn for ekstremstasjonene (få hendelser i dataseriene). Omtale av usikkerhet i scenariene er å finne på hjemmesidene til RegClim.

For å omsette klimascenariene til et varsel for de hydrologiske forholdene brukes en hydrologisk modell. En hydrologisk modell beregner avrenning og fordampning fra et gitt område på et gitt tidspunkt, på bakgrunn av informasjon om nedbør og energitilførsel. Modellen må da ta hensyn til hvor mye vann som er i bakken, frost, om nedbøren kommer som snø eller regn, eventuell smelting fra snø eller is, oppholdstid i innsjøer og mange andre komponenter. Disse kan igjen være avhengig av andre faktorer som høydefordeling innenfor området, vegetasjon, eller hva slags løsmateriale bakken består av. Modellene må derfor tilpasses de lokale forhold.

De hydrologiske modellene ble kalibrert basert på lange serier for observasjonsdata. Deretter ble det lagt inn modellerte dataserier for nedbør og temperatur for kontrollperioden 1980-2000 og scenarieperioden 2030-50. Resultatene er vist på kart som framstiller endringer i nedbør, avrenning (både i årlig middel og sesongvariasjonene) og for snøforholdene pr. 1. april.

Langtidsvarsel for Norges vannbalanse

Med vannbalansen mener vi hvordan nedbøren fordeles seg på fordampning og avrenning fra overflaten, samt ulike kortere eller mer langsiktige "lagre" som snø, breer og grunnvann.

Figur 1 viser endringen i årlig nedbør. Det blir mer nedbør over hele landet, men økningen er størst på Vestlandet der store områder kan forvente seg mellom 450 og 1100 mm mer nedbør pr år. Selv om fordampningen øker (Fig. 2) som følge av høyere temperaturer, vil den økte nedbøren også gi mer avrenning. Figur 3. viser endringen i avrenning fra hver arealenhet (i millimeter vann, antatt jevnt fordelt over land-overflaten) fra kontrollperioden til scenarioperioden. For de aller fleste områdene vises en økt avrenning, men endringen er klart størst på Vestlandet.

En økning på for eksempel 200 mm betyr at avren-

ningen fra en kvadratkilometer vil øke med 200000 m³ pr år. Forskjellene i avrenningsforhold mellom landsdelene vil dermed forsterkes (Figur 4).

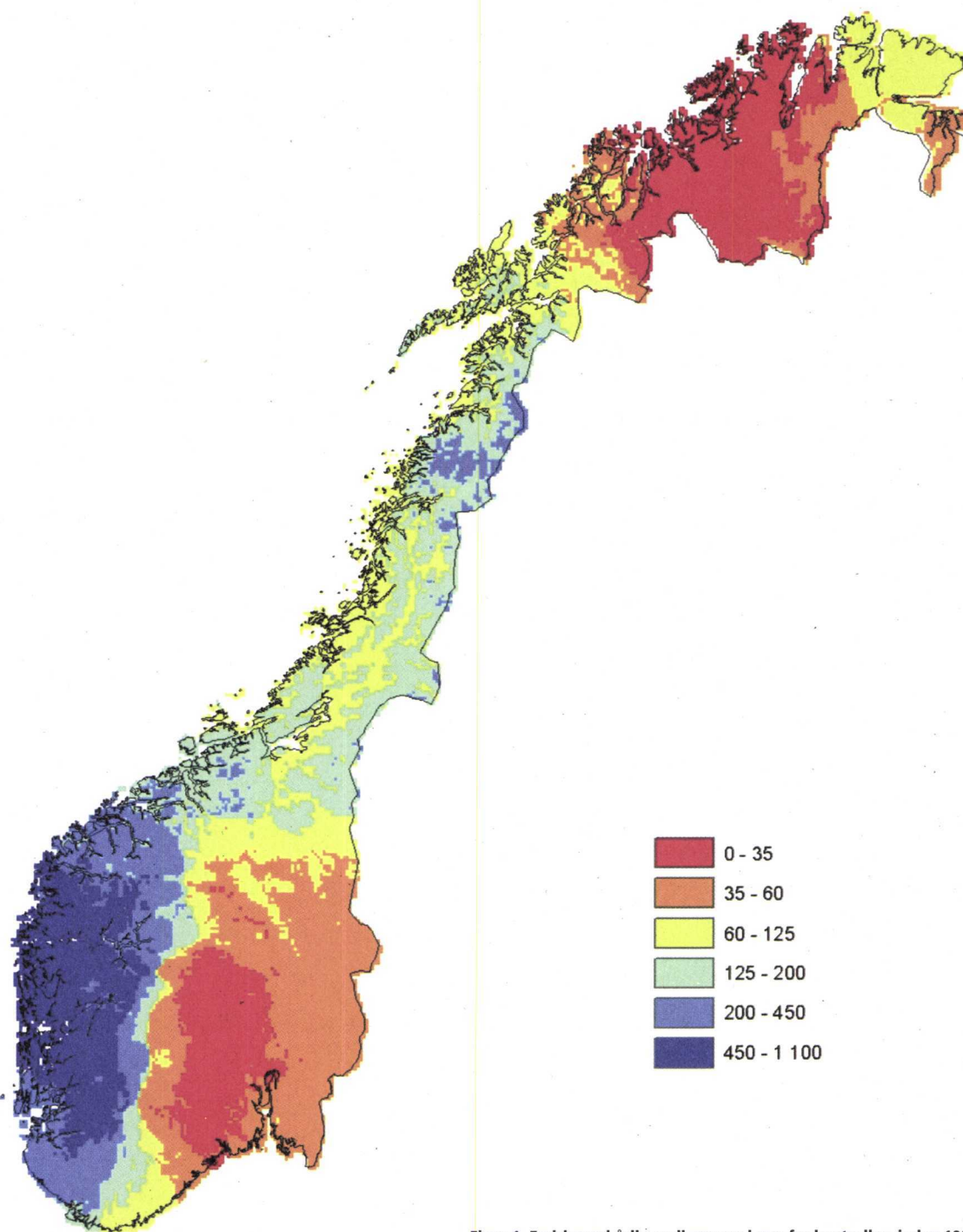
Hydrologiske modeller er også brukt til å vurdere hvordan avrenningen vil fordele seg gjennom året (Fig. 5). I tillegg til nedbøren, vil temperaturen ha stor innvirkning på avrenningen fordi den styrer fordelingen mellom snø og regn. Resultatene fra RegClim viser at temperaturen vil øke mest høst og vinter. Dette medfører at avrenningen om vinteren vil øke betraktelig i lavlandet på Østlandet og langs kysten fra Vestlandet til Trøndelag. Vinterflommer kan bli mer vanlig i disse områdene. Avrenning om våren i fjellområdene i Sør-Norge, i innlandet i Nord-Norge og langs kysten av Finnmark vil øke, delvis som følge av mer snø, men først og fremst fordi våren kommer tidligere. Avrenningen vil stort sett minske om sommeren men øke på høsten.

Så langt har vi vurdert gjennomsnittsførhold. Minst like interessant er ekstremene. Vil vi få flere og/eller større flommer? Kan vi få flere kombinasjoner av for eksempel tørr vinter og tørr sommer, slik at vannkraftmagasinene ikke blir fylt? Scenarier for ekstremnedbør er utarbeidet av NVE i samarbeid med Meteorologisk institutt⁶⁾, basert på den samme kontroll- og scenarieperiode som for varslene presentert over. Data knyttet opp mot 16 klimastasjoner spredt rundt i Norge ble valgt ut. Endringene i ekstremnedbør med gjentakintervall på 1, 5, 50, 100 og 1000 år ble beregnet. Det ble sett på summen av nedbør gjennom henholdsvis ett døgn og fem døgn. Resultatene gir et inntrykk av at vi kan forvente større ekstremverdier og sesongmessige endringer, særlig for summen av nedbør over ett døgn. Som et eksempel viser vi fordelingen av endringer for ett døgns nedbør, beregnet for gjennomsnittlig ekstremnedbør (Fig. 6) og 50 års gjentakintervall (Fig. 7).

Det er alltid vanskelig å vite hvor mye vekt en skal legge på slike beregninger. Generelt viser RegClim-scenariene en klar tendens mot mer ustabil klima og hyppigere forekomster av kraftig nedbør. Et varmere klima vil gjøre at lufta kan inneholde mer fuktighet og bringe mer energi inn i klimasystemet i vårt område. De siste årene har mye nedbør på kort tid ført til store ødeleggelser i andre europeiske land. I september 2002 falt det 600 mm nedbør i løpet av 10 timer i Provence, og rett over grensa mot Sverige øst for Trysil falt det i slutten av august 1997 over 400 mm nedbør i løpet av et døgn, heldigvis i et ubebodd område. Samtidig kan vi også få perioder med tørre forhold enn vi er vant med. Vi bør derfor være forberedt på overraskelser!

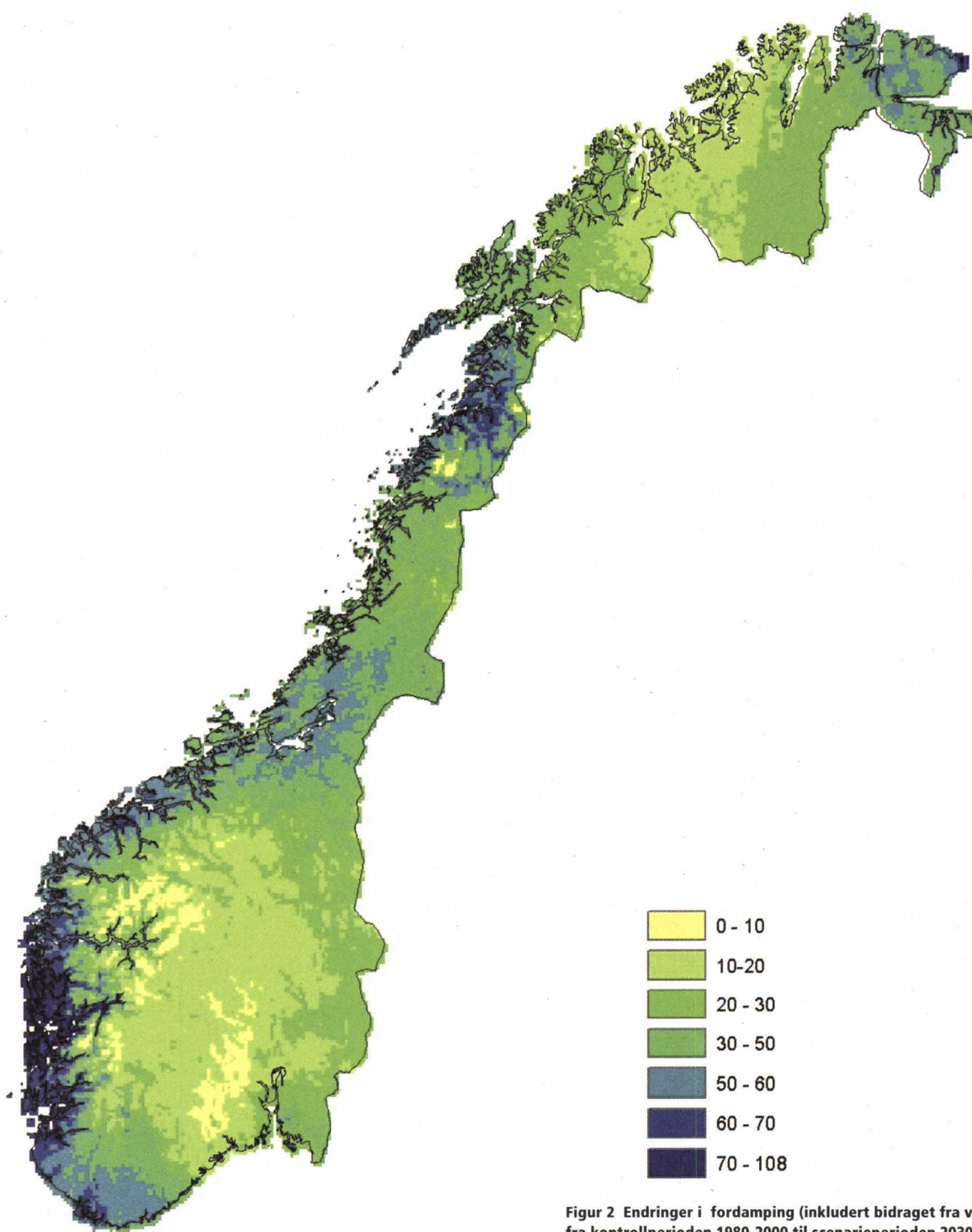
6) Thomas Skaugen m. fl. (2002). Scenarios of extreme precipitation of duration 1 and 5 days for Norway caused by climate change. NVE consultancy report A 7/2002

Endringer i årlig nedbørssum i mm fra kontrollperioden 1980 -2000 til scenarieperioden 2030-2050



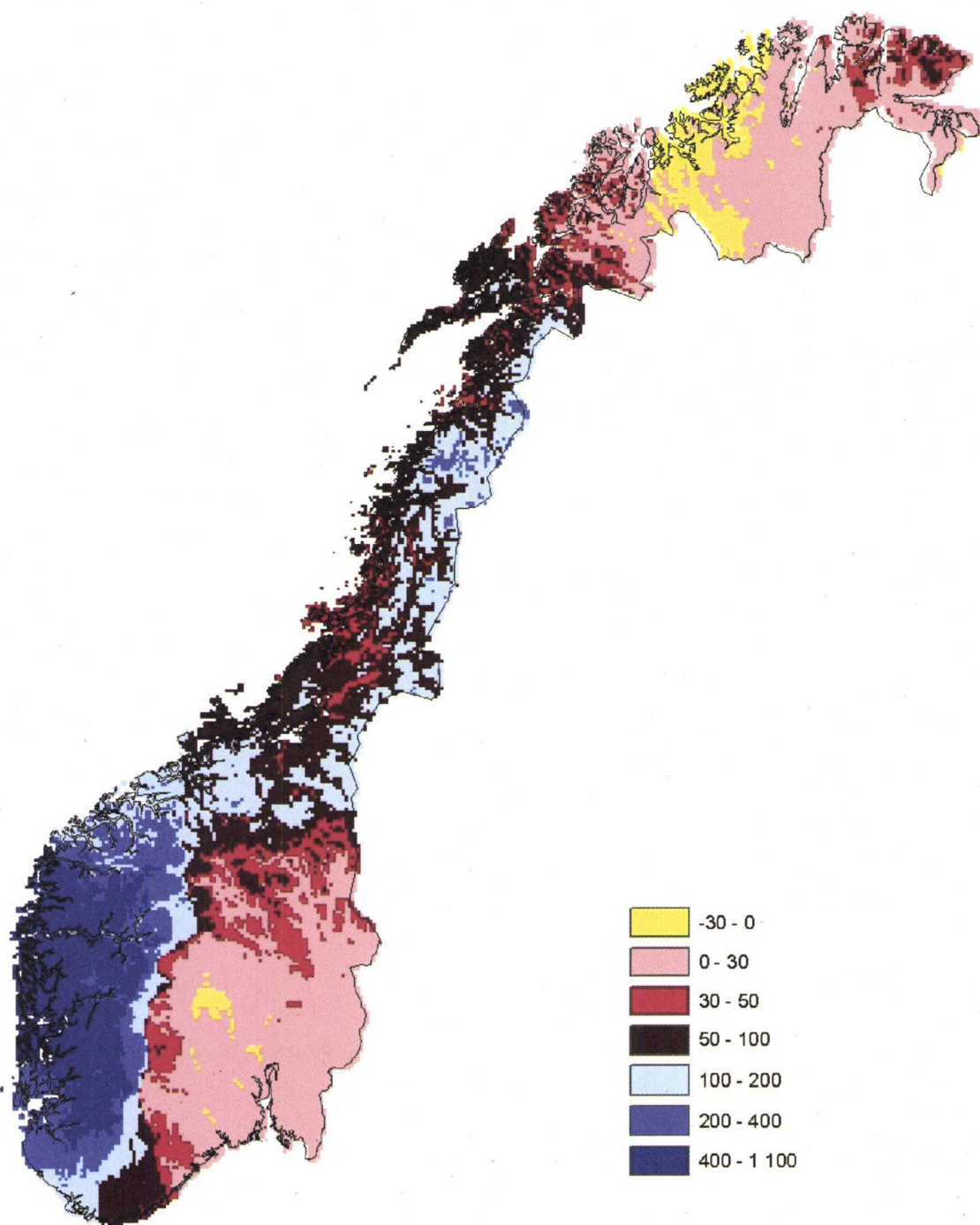
Figur 1 Endringer i årlig nedbørssum i mm fra kontrollperioden 1980 - 2000 til scenarieperioden 2030-2050. Hele landet viser en økning.

Endringer i fordamping (inkludert bidraget fra vegetasjon)



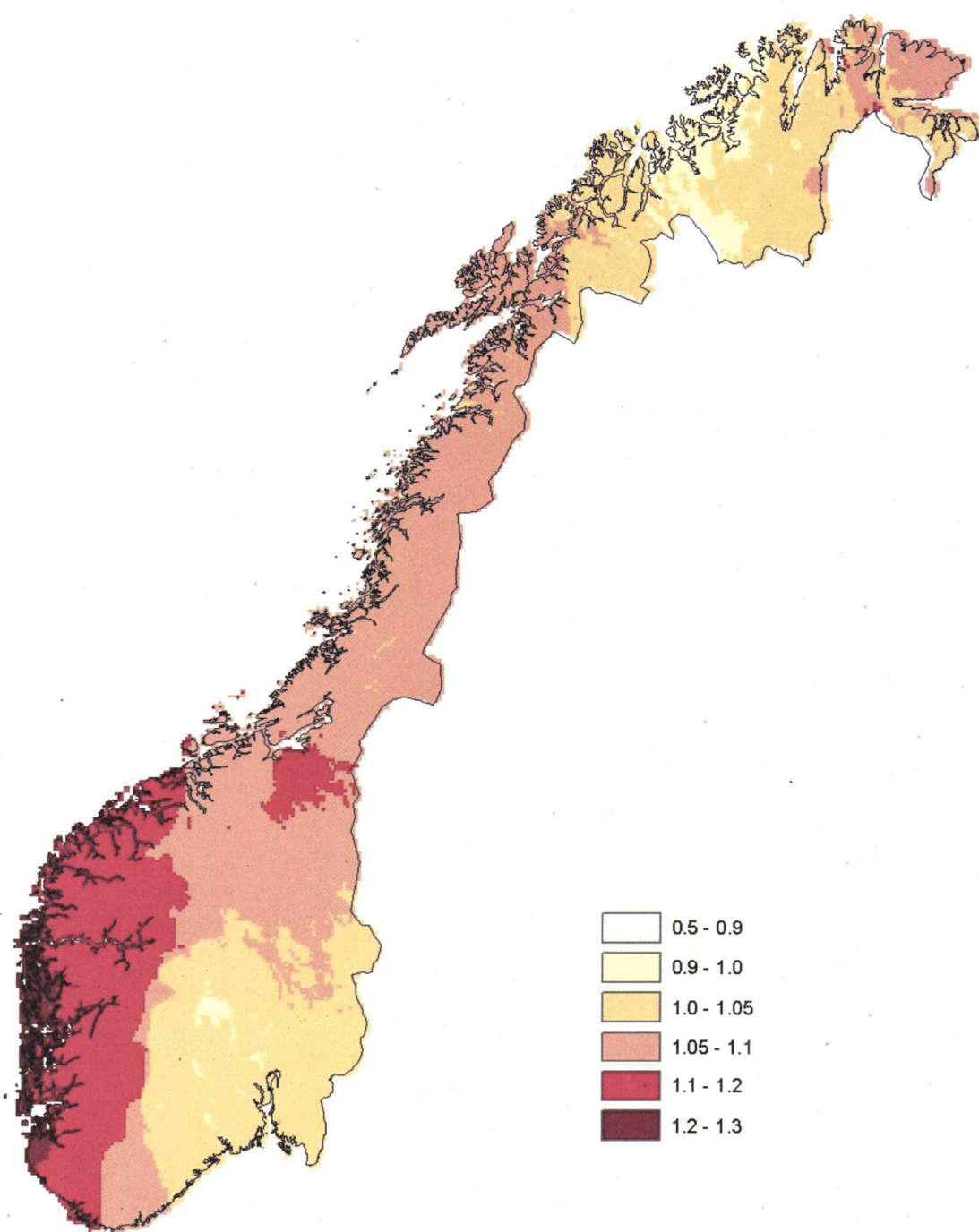
Figur 2 Endringer i fordamping (inkludert bidraget fra vegetasjon) i mm fra kontrollperioden 1980-2000 til scenarieperioden 2030-2050.

Endringer i avrenning



Figur 3 Endringer i avrenning i mm fra kontrollperioden 1980-2000 til scenarieperioden 2030-2050. En økning på 400 mm betyr at avrenningen øker med 0,4 m³ fra hver kvadratmeter av bakkeoverflaten (400 mm jevnt fordelt utover hver arealenhet).

Den relative endringen i avrenning fra perioden 1980-2000 til 2030 – 2050



Figur 4 Den relative endringen i avrenning fra perioden 1980-2000 til 2030 – 2050. En verdi på 1.2 tilsvarer at avrenningen i scenarieperioden er 120 % av kontrollperioden.

Det frosne landet

Vann opptrer også som snø og is. Dette gir et vannlager som kan tømmes etter kortere eller lengre tid. Viktigst i den sammenhengen er snøen om vinteren. Noe vann bindes om vinteren også som is i bakken og på vassdragene. I tillegg har Norge store arealer med permafrost i fjellområdene. Isen har svært ulike egenskaper og påvirker eller påvirkes av helt forskjellige prosesser om den er i en isbre, på vassdrag eller i bakken.

Snø

Figur 8 viser endringene i akkumulert snømengde mot slutten av vinteren fra kontrollperioden 1980-2000 til scenarieperioden 2030-2050. Snømengdene vil sannsynligvis minske i lavlandet både på Østlandet og Vestlandet. Selv om temperaturen øker slik at vintersesongen blir kortere, vil snømengdene bli større i fjellområdene i Sør-Norge og i Øst-Finnmark. Mer snø om våren i fjellområdene i Sør-Norge kan gi store vårflommer enkelte år.

Breer

De økte snømengdene i fjellet vinterstid vil gi bedre vilkår for de fleste breene, både langs kysten og i innlandet. Modelleringer fra Nigardsbreen (en utløper fra Jostedalsbreen) viser en økning i snøoverskuddet for kontrollperioden 1980-2000 til scenarieperioden 2030-50 fra 0.58 m til 0.75 m vannekvivalent. Dette vil si at det hvert år akkumuleres snø og is på breen som spredt utover hele brearealet tilsvarer 0.75 m vann. Breene vil da etter hvert også rykke fram. Hvor raskt og hvor dramatisk dette foregår vil variere sterkt fra bre til bre. Enkelte breer, som for eksempel Briksdalsbreen (en utløper av Jostedalsbreen), reagerer i løpet av noen få år, mens det for andre breer kan gå ti-år. Voksende breer kan gi spektakulære former og brefronter, og et vakkert syn for turister. Samtidig kan rasfaren langs brefrontene øke og ferdselsforholdene på breene bli vanskeligere.

Is på elver og innsjøer

I store deler av Norge er vi vant til å ha islagte vassdrag vinterstid. Tidligere var bruk av isen av stor be-

tydning for ferdsel og transport i nyttesammenheng, mens isen nå først og fremst er viktig for fritidsaktiviteter. Isen kan skape store problemer langs vassdragene. Isforholdene kan også være viktig for livet i ferskvann, som skal omtales senere.

Når overflatevannet i en innsjø er avkjølt til frysepunktet vil isdannelsen på en innsjø kunne begynne, og ved kaldt og stille vær vil store innsjøer kunne islegges på kort tid. I strømmende vann må hele vannmassen avkjøles til frysepunktet før isdannelsen kan starte. Ved stabil og tilstrekkelig kulde vil det dannes underkjølte iskrystaller, sarr, som virvles inn i vannmassen. Ved kontakt med bunnen og oppstikkende steiner vil sarret fryse fast og danne bunnis, og noen steder bunnisdammer som kan demme opp lange elvestrekninger i et trappeformet profil. Dette gir stillere vann og bedre vilkår for islegging oppstrøms dammene. Ved mildere vær og økning i vannføringen kan slike bunnisdammer løsne. Dette fører til raskt stigende vannføring og kan dermed gi en dominoeffekt nedover i vassdraget ved at nye bunnisdammer løsner. Vannmassene vil da ta med seg is og forårsake en større eller mindre isgang. Ved hindringer i elveleiet, innsnevringer, svinger, bruer eller mindre fall, vil ismassene stanse opp og lage en iskork som kan demme opp store vannmasser. En isgang er i seg selv dramatisk og kan føre til ødeleggelse av bruer og andre installasjoner i eller langs elva, men de oppdemninger og avløpsforstyrrelser som iskorkene medfører gir vanligvis de største skadene. Isganger kan også forekomme om våren dersom vannføringen i elva øker tilstrekkelig raskt til at isen løsner fra land og blir ført med nedover. I Tanaelva er vårisgangen en årviss og spektakulær hendelse. Værforholdene er helt avgjørende for utviklingen av isforholdene, skiftinger mellom mildvær og kulde kan ikke gi stabile isforhold. Videre påvirker vassdragsreguleringer isforholdene, oftest ved at det blir mindre is.

Framover i dette århundre vil kortere og varmere vintre generelt gi kortere islagt periode både på elver og innsjøer, og andelen innsjøer i lavlandet uten regelmessig isdekke vil øke. Samtidig som vinteren forsinkes er et mulig scenario større variabilitet

innenfor vintersesongen. Dette gir en lengre periode med vekslende isforhold og kan gi økt antall vinterisganger. En forskyvning av de områder det blir hyppig skifting mellom mildvær og kulde vil også kunne påvirke hvilke lokaliteter som er mest utsatt for isgang

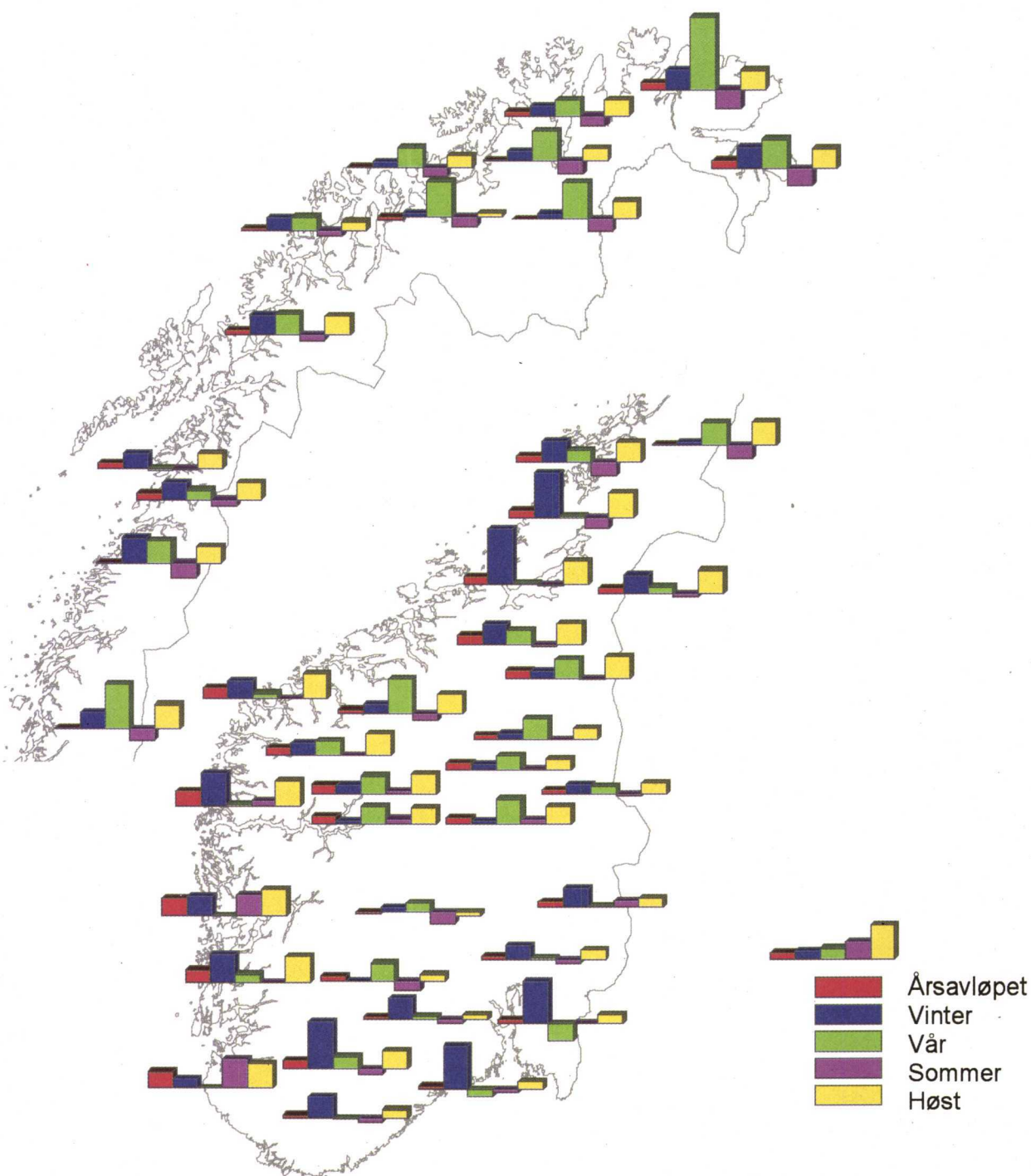
Permafrost

I et permafrostområde vil temperaturen i bakken være lavere enn 0° C gjennom hele året, bortsett fra i et tynt overflatelag som tiner hver sommer (det aktive laget). I Sør-Norges fjellområder er utbredelsen av permafrost godt kjent, og i sentrale fjellstrøk (Jotunheimen-Dovre) kan en forvente permafrost over 1400-1500 moh. Denne grensen faller ned mot 1000 moh østover mot Sølen-traktene og stiger til om lag 1600 moh vest i Jotunheimen. I Nord-Norge er utbredelsen av permafrost derimot lite undersøkt. Permafrostens tykkelse vil i Norge variere fra nær null til flere hundre meter. I enkelte områder kan bakken inneholde store mengder is, men i Norge har dette liten effekt for vannbalansen. Derimot påvirker permafrosten flere prosesser i naturen, blant annet knyttet til drenering av vann. I et permafrostområde vil overflatevann sjelden kunne trenge ned til grunnvannet. Smeltevann og nedbør vil derfor låses til det aktive laget, og gi betydelig våtere forhold enn dersom permafrosten ikke var tilstede.

Permafrosten har en komplisert respons til klimaendringer. Temperaturen nær overflaten vil kunne endres raskt, mens det tar lang tid før en oppvarming forplanter seg ned på større dyp ⁷⁾. Dersom permafrosten inneholder mye is nær overflaten vil det ta lang tid før den smelter ut. En oppvarming fram mot år 2050 vil derfor ha liten betydning for utbredelsen av permafrost. Derimot vil en del områder bli utsatt for begynnende utsmelting, og dette kan påvirke stabiliteten i skråninger og øke risikoen for ulike typer skred i høyfjellet.

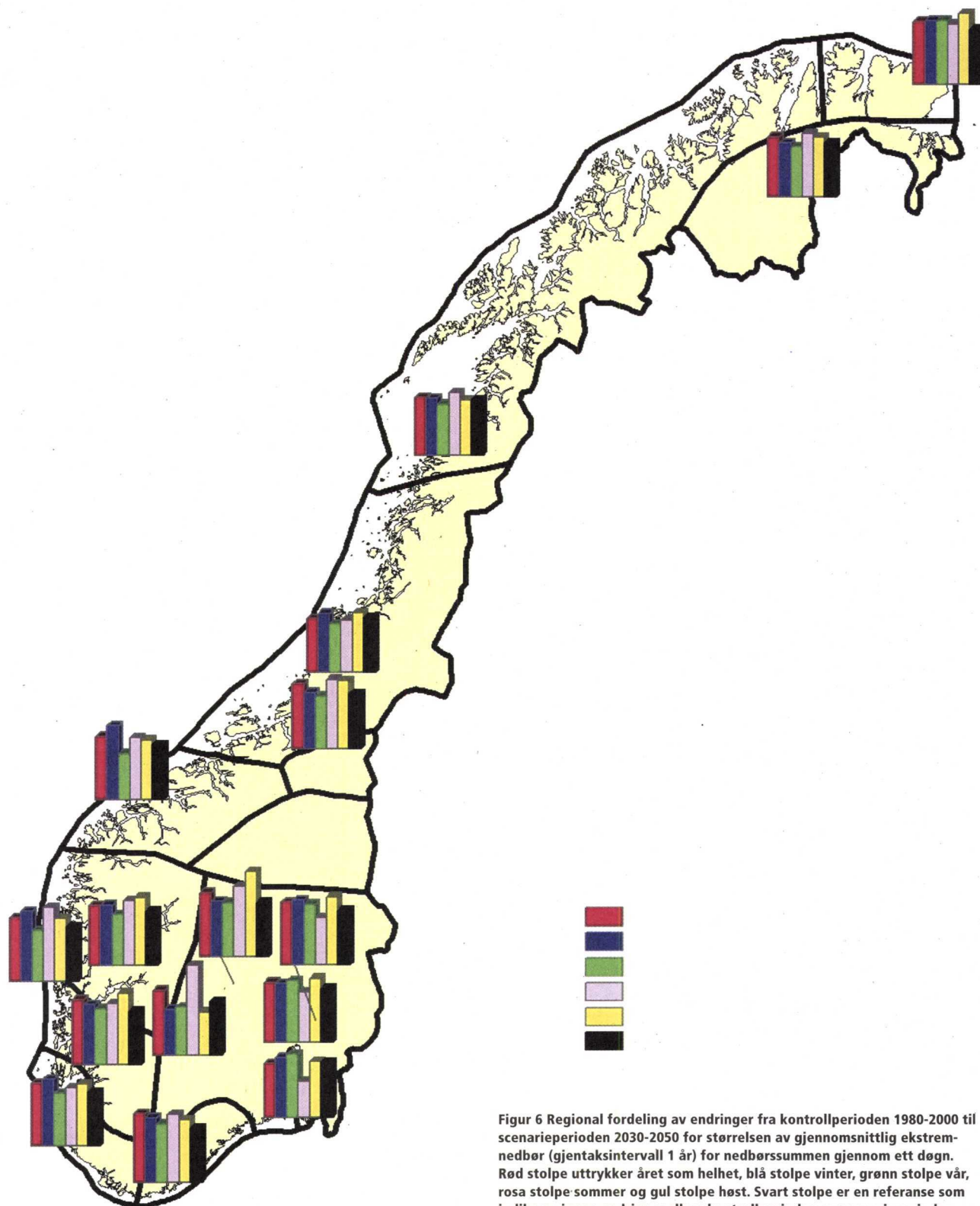
7) Se for eksempel Ketil Isaksen og Johan Ludvig Sollid (2002): Permafrosten tiner. Cicerone 4/2002: www.cicerone.no/cicerone/02/4/cicerone02-04.pdf

Endring i sesongavrenning i ulike nedbørfelt i fra kontrollperioden 1980-2000 til scenarieperioden 2030-2050



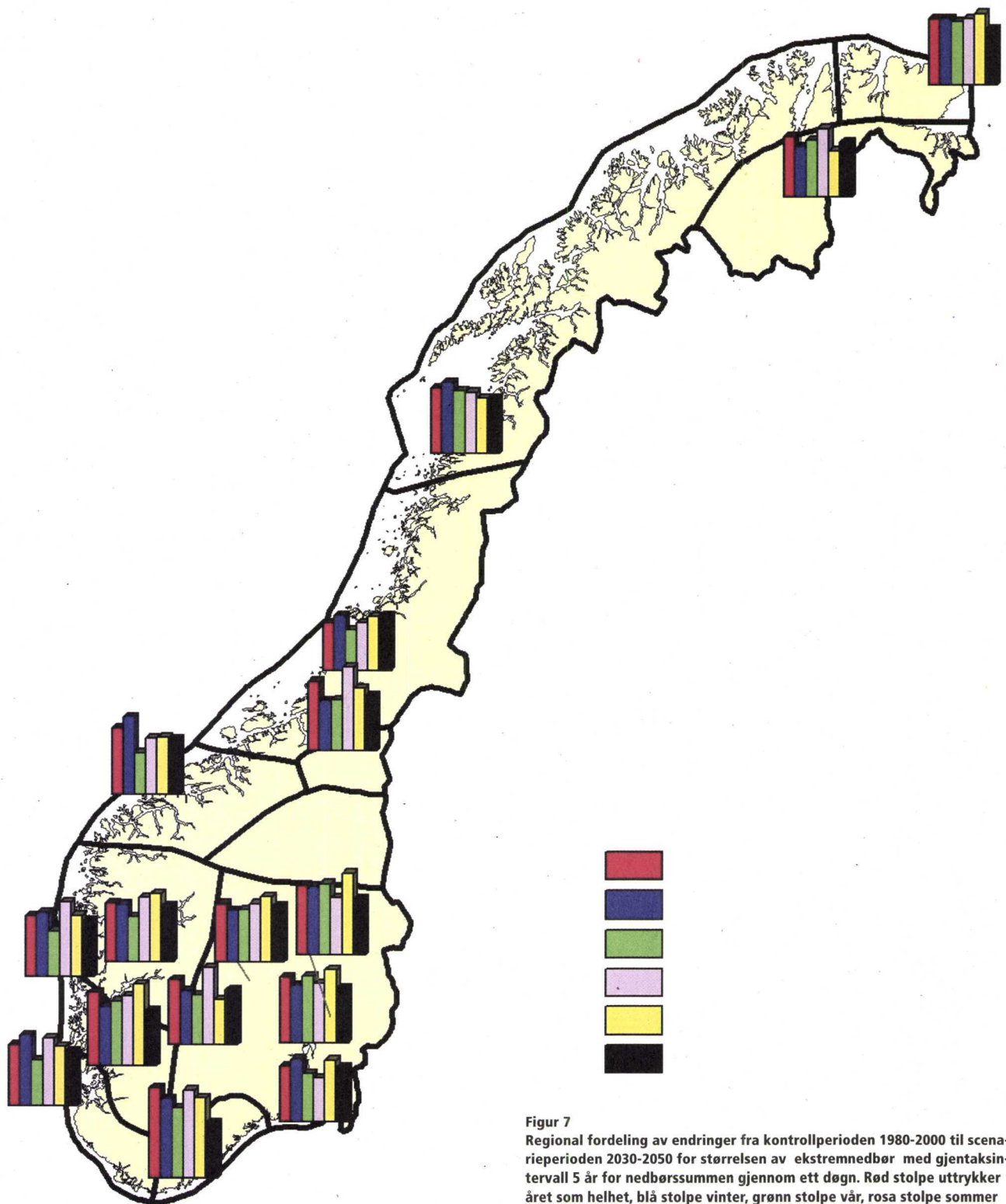
Figur 5 Endring i sesongavrenning i ulike nedbørfelt i fra kontrollperioden 1980-2000 til scenarieperioden 2030-2050. Stolper nedover viser lavere sesongavrenning i scenarieperioden enn i kontrollperioden.

Regional fordeling av endringer fra kontrollperioden 1980-2000 til scenarieperioden 2030-2050 for størrelsen av gjennomsnittlig ekstremnedbør (gjentakintervall 1 år) for nedbørssummen gjennom ett døgn.



Figur 6 Regional fordeling av endringer fra kontrollperioden 1980-2000 til scenarieperioden 2030-2050 for størrelsen av gjennomsnittlig ekstremnedbør (gjentakintervall 1 år) for nedbørssummen gjennom ett døgn. Rød stolpe uttrykker året som helhet, blå stolpe vinter, grønn stolpe vår, rosa stolpe sommer og gul stolpe høst. Svart stolpe er en referanse som indikerer ingen endring mellom kontrollperioden og scenarieperioden. Stolper større enn referansen indikerer større nedbørsmengder.

Regional fordeling av endringer fra kontrollperioden 1980-2000 til scenarieperioden 2030-2050 for størrelsen av ekstremnedbør med gjentakintervall 5 år for nedbørssummen gjennom ett døgn.



Figur 7

Regional fordeling av endringer fra kontrollperioden 1980-2000 til scenarieperioden 2030-2050 for størrelsen av ekstremnedbør med gjentakintervall 5 år for nedbørssummen gjennom ett døgn. Rød stolpe uttrykker året som helhet, blå stolpe vinter, grønn stolpe vår, rosa stolpe sommer og gul stolpe høst. Svart stolpe er en referanse som indikerer ingen endring mellom kontrollperioden og scenarieperioden. Stolper større enn referansen indikerer større nedbørsmengder.

Erosjon, jordtap og forurensning

Vannet utfører et betydelig arbeid på sin vei, spesielt under flom. Vannet graver, frakter og legger fra seg løsmateriale, og omformer på denne måten landskapet. Vannets arbeid skaper fruktbare elvesletter og varierte våtmarksområder av stor betydning for det biologiske mangfold. Det kan imidlertid også forårsake store skader. Under ekstreme forhold kan liv gå tapt og eiendom og kommunikasjonslinjer bli ødelagt, enten direkte ved erosjon og endringer i elvas leie eller ved at erosjonen utløser jord- eller leirskred. I tillegg blir mye forurensning fraktet ut i innsjøer og havet med partikler i vannet, fordi forurensningen bindes til partiklenes overflate og fraktes bort med disse. Mye næringsstoff fraktes også oppløst i vann, og kan bidra ytterligere til forringelse av vannkvalitet og forurensning av vassdrag og hav. Alt dette er naturlige prosesser, men de påvirkes av utslipp, inngrep, vegetasjon og arealbruk i og langs vassdragene, og av klimaendringer.

Når vi nå skal forsøke å gi en vurdering av hvordan disse prosessene vil bli påvirket av klimaendringer vil vi bare omtale erosjon og sedimenttransport i eller langs elveløp og erosjon fra landbruksarealer. Disse prosessene er sterkest knyttet til endringer i de hydrologiske forholdene.

Erosjon og sedimenttransport i elveløp påvirker menneskelig aktivitet i stor grad. De største skadene og de mest dramatiske situasjonene under flommer skjer helst når elvene tar nye løp, eller når erosjon utløser store skred. Ett eksempel så vi under 1995-flommen da Moksa tok nytt løp gjennom Tretten sentrum. Siden erosjon og sedimenttransport i elveløp er nært knyttet til vannføring er det god grunn til å anta høyere erosjon utover i dette århundret. Den økte sannsynligheten for store flommer og kraftig lokal nedbør er av stor betydning i denne sammenhengen. Intensiv lokal nedbør kan lett føre til kraftig erosjon av materiale som avsettes på elveviftene i dalbunnen. Elveleiene fylles da opp med stein og grus slik at vannet spres ut over store arealer, som i Vågåmo i 1938. Viktig er også den antatte forskyvning mot flere

vinterflommer. Dette gir mer erosjon fra områdene rundt elveleiene, pga avrenning på delvis frossen eller ufrossen mark med redusert vegetasjonsdekning. Økt sannsynlighet for ekstremepisoder vil også påvirke erosjonsrisikoen. Det vil også kunne bli større erosjon gjennom høstperioden. De store erosjonstapene som ble registrert den våte høsten 2000 kan tjene som eksempler. Samtidig førte dette til en ustabilitet av hydrotekniske anlegg, dreneringssystemer og utrasinger av skråninger i bekkeløp. Slike effekter kan være vanskelige å forutsi, men kan ha betydelige konsekvenser.

Studier viser at det kan være relativ høy erosjon av jord og tap av næringsstoffer fra jordbruksarealer i Norge, men med store forskjeller knyttet til driftsform og naturforhold⁸⁾. Det er en klar sammenheng mellom nedbør/avrenning og utvasking av jord, næringsstoffer og pesticider, og dette tapet kan derfor forventes å øke dersom driftsformene i jordbruket forblir uendret. Spesielt utsatt er områder med korndyrking på leirjord. Slike områder ble tidligere ofte pløyd om høsten, slik at jorda lå bar og utsatt for erosjon utover høsten, gjennom vinteren i snøfattige år og i snøsmeltingen under vårløsningen. Endret jordarbeiding har vært med å redusere erosjonsrisikoen. Det har nå blitt vanligere å så høsthvete for og etablere et vegetasjonsdekke gjennom denne perioden, men dette har også vist seg å kunne gi stor erosjon. Dette har spesielt vært et problem når plantedekket har vært dårlig utviklet om høsten, fordi jordbearbeidingen før såing av høsthvete gjør jorda mer utsatt for erosjon. Spesielt kritisk er dette i kombinasjon med snøfri mark med et tint jordlag over tele. Uheldigvis gir klimascenariene økt sannsynlighet for nettopp slike situasjoner. Redusert snødekning kan gi etablering av tele i bakken i den vanligvis kalde perioden tidlig på vinteren, mens variable værforhold utover vinteren gir kombinasjon av mildvær med tining av topplaget og nedbør som regn på bar mark. Det er spesielt vekslende regnvær i kombinasjon med vekslende fryse- og tineperioder som kan gi stor erosjon. Tele med tining av topplaget er mer ugunstig i denne sammenhengen enn ufros-

8) JOVA-programmet, Jordforsk: www.jordforsk.no

sen jord, fordi telen både gir en ugunstig jordstruktur og mindre vann-nedtrengning mot grunnvannet.

Skred

Skred eller ras kan forekomme i mange ulike former og utløses av forskjellige årsaker. Værforhold er en viktig faktor for utløsning av de fleste typer skred, men problemet er ofte at det ikke bare er de aktuelle værforholdene som spiller inn men også forholdene i dagene og ukene før skredet blir utløst. Det er ofte ugunstige kombinasjoner av naturlige hendelser, eventuelt kombinert med ytre påvirkninger fra menneskelig aktivitet, som fører til skred. Det kan derfor være nyttig å se bakover i tid for å se om det er et mønster i skredaktivitet som er knyttet til klimatiske forhold.

Erfaringer fra slik forskning viser klart at klimaendringer kan påvirke skredfaren, og at dette kan slå forskjellig ut for ulike regioner ⁹⁾. På Vestlandet har jordskredhyppigheten vært størst i den kaldeste og siste delen av perioden etter siste istid, og dette avspeiler trolig hyppigheten av kraftige regnskyll. På Østlandet derimot er jordskred mest knyttet til intensiv snøsmelting, og skredaktiviteten har vært høy gjennom hele denne perioden. Hyppigheten av snøskred henger sammen med kraftige vinterstormer og perioder med høy vinternedbør.

Kombinerer vi denne informasjonen med varslene for nedbør, temperatur, snømengder på slutten av vinteren fram mot 2050, ser vi at hyppigheten av både jordskred og snøskred kan komme til å øke i flere områder av landet, mens det i lavereliggende områder på Vestlandet sannsynligvis blir færre snøskred. Flomskred er knyttet til ekstreme nedbørhendelser. Disse kan være lokale, eller være knyttet til en svært ugunstig regional vær-situasjon, lik som den som skapte Stor-Ofsen i 1789. Det er en reell fare for at også slike hendelser kan bli mer hyppige.

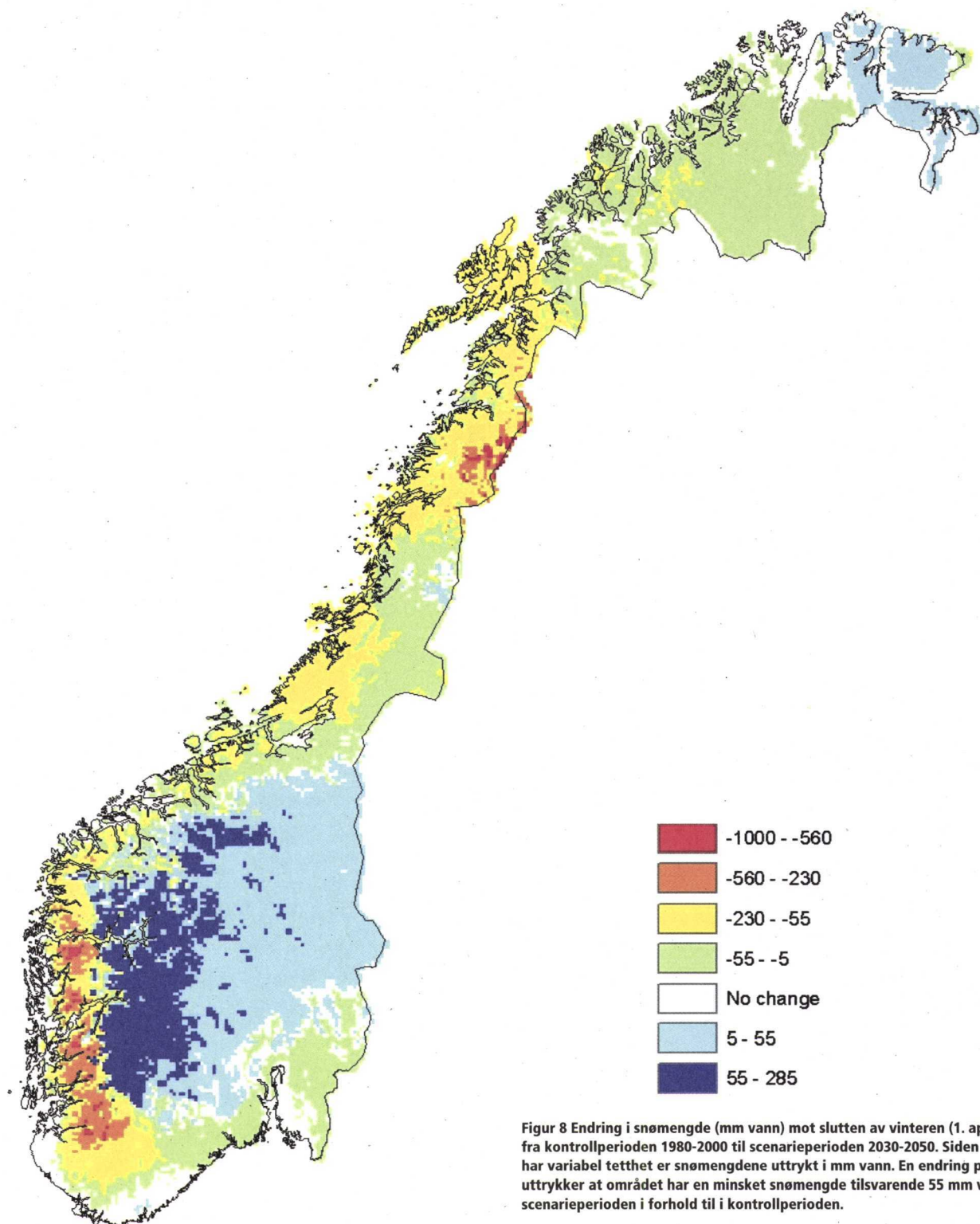
De mest befolkede områdene i Norge ligger på mektige avsetninger av leire. I forbindelse med kraftige nedbørsperioder er det ofte store stabilitetsproblemer i leirområder både i Trøndelagsfylkene og i de sentrale Østlandsområdene. Mindre utglidninger og erosjon langs bekker og elver kan videre utløse store kvikkleireskred som kan få dramatiske konsekvenser. Et fremtidig klima med økt nedbør og flere situasjoner med ekstreme nedbørsmengder kan derfor føre til økte problemer med skred i leirområdene.

Noen av de verste naturkatastrofene i Norge har vært knyttet til store fjellskred, spesielt når skredet har

generert ødeleggende flodbølger i innsjøer og fjorder. Dette skjedde i Tafjord og Loen i forrige århundre. En kjenner lite til hva som utløser slike skred, men en generell økning i nedbør vil føre til mer vann og økt vanntrykk fjellsprekker. Dette kan føre til større problemer med denne skredtypen. I enkelte områder, spesielt i Nord Norge, kan smelting av permafrost også føre til stabilitetsproblemer i enkelte fjellpartier.

9) Lars Harald Blikra og Kari Sletten (2002): Klimaendringer kan påvirke skredfaren. Cicerone nr. 1/2002 www.cicero.no/cicerone/02/1/cicerone02-01.pdf

Endring i snømengde (mm vann) mot slutten av vinteren (1. april) fra kontrollperioden 1980-2000 til scenarieperioden 2030-2050



Figur 8 Endring i snømengde (mm vann) mot slutten av vinteren (1. april) fra kontrollperioden 1980-2000 til scenarieperioden 2030-2050. Siden snøen har variabel tetthet er snømengdene uttrykt i mm vann. En endring på -55 uttrykker at området har en minsket snømengde tilsvarende 55 mm vann i scenarieperioden i forhold til i kontrollperioden.

Klimaendringer og norsk natur

De aller fleste fysiske og biologiske prosesser i naturen er på en eller annen måte knyttet til de klimatiske betingelser, og klimaendringer vil derfor ha effekter for mange aspekter ved naturen. I det foregående har klimaendringenes virkning på mange prosesser knyttet til vann og vannets arbeid vært omtalt, uten at listen er komplett. For eksempel har forhold som grunnvann, markvann og tele knapt vært nevnt. Dette har sammenheng med hvilke faktorer det er utarbeidet scenarier for, eller hvor det har vært gjort spesifikk forskning knyttet til effekter av klimaendringer.

Mangelen på scenarier for enkeltfaktorer i den fysiske delen av naturen gjør det vanskeligere å forutsi responsen til planter og dyr overfor klimaendringer. Det finnes ingen utfyllende samlet vurdering av klimaeffekter for planter og dyr i Norge, selv om det i dag foregår mye forskning på dette feltet. IPCC TAR Working group II: Impacts, Adaption and Vulnerability gir en oversikt over klimaeffekter, deriblant også for planter og dyr, men der er Europa minste geografiske enhet som behandles ¹⁰⁾. For den levende delen av naturen vil vi derfor bare peke på noen hovedpunkter, knyttet til dyreliv i vassdrag og vegetasjon på landjorda.

Livet i vassdrag

Klimaendringer har betydelig innvirkning på livet i ferskvann gjennom variasjon i varmetilførsel, endringer i vannmengdene og indirekte gjennom effekter på avrenning av næringsstoffer og forurensning. I våre områder spiller is på vassdragene en vesentlig rolle for økosystemenes funksjon. Etter snørike vintre, hvor isen ligger lenge, er det vist fra Hardangervidda at ørretens lengdetilvekst er om lag 50 % lavere enn etter en snøfattig vinter. I de mest snørike årene har den yngste årsklassen dødd helt ut ¹¹⁾.

10) www.grida.no/climate/ipcc_tar/

11) Borgström, R. (2001). Relationship between spring snow depth and growth of brown trout, *Salmo trutta*, in an alpine lake: predicting consequences of climate change. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 33.

12) J.I. Holten, J.I. Log P.D. Carey, 1992: Responses of climate change on natural terrestrial ecosystems in Norway. NINA Institute Research Report, 29.

13) www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2/500.htm

Variasjoner i isdekket på innsjøer og temperaturforholdene influerer også på vekst og artssammensetning av planteplankton. Høy sommertemperatur og stabil lagdeling i vannmassene i innsjøer kan føre til oppblomstring av blågrønnalger, og høyere vanntemperatur på vårparten vil kunne føre til økt produksjon av dyreplankton. På den annen side kan høyere vanntemperatur om vinteren endre konkurranseforholdet mellom ulike arter dyreplankton, slik at viktige næringsdyr for fisk blir utkonkurrert av mindre viktige arter. For bunndyr er det få studier, men det er dokumentert at milde, fuktige vintre gir ustabile bunndyrsamfunn, og det er derfor vanskelig å forutsi utviklingen av artssammensetningen. Generelt er vanntemperaturen den fysiske parameteren som virker sterkest inn på en fiskebestands utvikling. Den har en direkte innvirkning på forhold som gytetidspunkt, eggutvikling og vekst, samtidig som endringer i vanntemperaturen kan endre styrkeforholdet mellom arter.

Skog og fjellvegetasjon

Det er bred enighet om at tidligere klimaendringer har hatt en sterk innvirkning på mange plantearters leveområder, og det samme kan forventes som følge av dagens globale oppvarming. Varmekjære løvtrær vil øke sin utbredelse fra sør, mens det boreale barskogbeltet forskyves nordover og oppover i høyden. En heving av tregrensa har vært observert de siste generasjonene. Dette skyldes delvis mindre seterdrift, men også klimaendringer. Denne tendensen vil fortsette framover i dette århundret. Under optimale forhold vil grensene for fjellbjørk, furu og gran kunne bli hevet med opp til 300 m, men dette vil ta flere hundre år.

Områdene over tregrensa kan ble redusert med 40-60% ¹²⁾. Det er blitt antatt at snøleiesamfunn i den mellom-alpine sone vil avta drastisk som følge av lengre smeltesesong ¹³⁾. Økte snømengder i fjellet kan imidlertid motvirke dette. I den høyalpine sonen er dagens plantedekning ikke kontinuerlig. Økt kolonialisering av arter fra den mellom-alpine sonen kan forventes i framtiden.

Plantenes respons til klimaendringer er ikke bare en funksjon av temperaturfordelingen gjennom året. Hydrologiske forhold knyttet til snøfordeling, vinterteile og permafrost, markvann og utvasking og tilgjengelighet av næringsstoffer i jorda spiller også en viktig rolle. Samtidig har type vegetasjon stor innvirkning på de hydrologiske forholdene, spesielt fordampningen. For vurdering av klimaeffekter bør derfor modeller for vegetasjonsendringer kobles med hydrologiske modeller.

Samfunnets sårbarhet mot klimaendringer

Flom og ras, gjerne i kombinasjon, har tatt mange liv og forvoldt store materielle skader i Norge, selv om den tradisjonelle bosetningen ofte var godt tilpasset ekstreme forhold. Slike katastrofer vil komme igjen med uforutsigbare mellomrom. Værforhold som har utløst slike hendelser ser ut til å kunne bli mer vanlige utover i dette århundret. Det kan derfor gi grunn til bekymring at dagens bebyggelsesmønster ser ut til å være mindre tilpasset de naturkreftene vi kan bli utsatt for enn hva som var tilfelle tidligere. Vår høye levestandard og et stadig kortere "manns minne" gir fare for at omfattende materielle skader ved ekstreme hendelser. Samtidig er dagens samfunn relativt godt organisert, med en stadig bedre beredskap og varslingsrutiner mot mange typer naturkatastrofer, slik at man har større mulighet til å unngå eller redusere tap av menneskeliv enn for bare noen tiår siden.

Ikke bare de store hendelsene har betydning. Dagens samfunn fordrer stabile kommunikasjonslinjer for mennesker, varer og informasjon, og stabil kraftproduksjon og kraftleveranse. Materielle skader på hus og eiendom er uønsket både for enkeltmennesker og samfunnet. Flere driftsbrudd, økte skader, mer vedlikehold, osv. vil derfor være kostbart for samfunnet selv om vi blir spart for de mest dramatiske flommer og skredhendelser.

Bebyggelse

Bebyggelsen i Norge står overfor flere utfordringer knyttet til klimaendringene. Vi vil få økte belastninger på bygningskonstruksjonen fra mer regn og økt luftfuktighet, mer vind og større snølaster i enkelte områder ¹⁴. Det blir økt risiko for større skred- og flomhendelser. Den mest hensiktsmessige strategien for å møte denne utfordringen er god arealplanlegging. Det har imidlertid vært påpekt at det er kunnskapsmangel innenfor kommunal planlegging og

for svake føringer i regelverk når det gjelder krav om klimavurdering i plansammenhenger ¹⁵.

Gode verktøy er derfor en nødvendighet. NVE har for tiden programmer både for flomsonekartlegging og risikokartlegging av områder med kvikkleire ¹⁶. Resultater fra slike programmer vil være til meget god nytte for de ulike private og offentlige aktører som driver arealplanlegging.

Risikoen for oversvømmelser og skader på bygg i tettbygde strøk vil øke som følge av at ledningsnett for kloakk og overvann er underdimensjonert for et framtidig klima. Dimensjonering av avløpsnett har tradisjonelt tatt utgangspunkt i bygenedbør sommerstid. Flere forskere peker imidlertid på at kombinasjon av nedbør og snøsmelting i vintersesongen kan være like kritisk i våre områder. Både sterkere bygenedbør (korte regnskyll) sommerstid og kombinasjoner av nedbør og snøsmelting vinterstid er sannsynlige scenarier for klimaet fram mot 2050.

Samferdsel

En foreløpig vurdering av klimaeffekter for samferdselssektoren er å finne som en del av Nasjonal Transportplan ¹⁷, og et behov for fremtidige økte ressurser til drift og vedlikehold, beredskap og vintertjenester erkjennes. Utfordringene er knyttet blant annet til økt frekvens av alle typer skred, som gir hyppigere stengning av veier, og økt nedbør og flom som stiller nye krav til kvalitet og dimensjonering av drenerings-systemer i tilknytning til veiene. Økt vinternedbør og større stormfrekvens kan gi økte problemer for fjell-overgangene vinterstid, mens mindre snømengder i lavlandet kan gi minsket ressursbehov til snøbrøyting.

Elforsyning

Det er mange aspekter ved energiforsyning som har stor betydning i klimadebatten, spesielt fordi forbruk av fossile brennstoffer er en meget viktig kilde til klimagasser. Utviklingen av utslippene vil påvirke den faktiske klimautviklingen. I denne sammenhengen vil vi imidlertid kun omtale elforsyning fra vann-

14) Byggforsk har et eget forskningsprogram på dette feltet, se www.byggforsk.no/Prosjekter/Klima2000/

15) www.acia.npolar.no/Moeter/Infra/OppsummeringInfrastruktur.htm

16) Mer informasjon på www.nve.no

17) www.vegvesen.no/ntp/klima.html

kraft, med hensyn til produksjonspotensial, kraftbehov og sårbarhet.

Produksjonspotensialet vil generelt øke som følge av økt avrenning, men det er forskjeller mellom landsdelene både på hvor mye avrenningen øker og hvor stor fleksibilitet vannkraftanleggene har til å nyttiggjøre seg dette. På Sør- og Vestlandet er den estimerte økningen i avrenning størst, og her ligger også de største vannkraftmagasinene. I dette området kan en regne med en potensiell produksjonsøkning på 20-30 %. I Nord-Norge er det også estimert økt avrenning, og den potensielle produksjonsøkningen kan være 15-20 %. På Østlandet derimot er den potensielle produksjonsøkningen lavere, både fordi avrenningen øker mindre og at det er få store magasiner.

Større variabilitet i klimaet og endrede forhold i de enkelte sesongene gjør imidlertid at det kan ligge nye utfordringer i forhold til den praktiske manøvreringen av de regulerte vassdragene, både for å utnytte det økte produksjonspotensialet, for å sikre flomdempning og for å sikre reserver gjennom tørre perioder. Kraftsituasjonen gjennom vinteren 2002-2003 har aktualisert dette siste punktet. Med større klimavariabilitet blir det vanskeligere å planlegge etter forventet gjennomsnittlige tilsig for kraftverkene. Dette gir, sammen med sjansene for større flommer, muligens økt sårbarhet for produksjon av elektrisk kraft.

Energiforsyningen er også avhengig av damanlegg og kraftlinjer, både sentralnettet og det lokale strømmettet. Klimaendringer som inkluderer perioder med kombinasjon av temperaturer rundt 0° C, høyt vanninnhold i lufta, høyere nedbørsintensitet og økt vindhastighet vil øke omfanget av ising på kraftlinjene. Dette representerer en fysisk belastning som gir økt sårbarhet, samtidig som energitapet fra kraftnettet også øker. Hyppigere flommer, økte vindhastigheter og større fare for ras og erosjon langs vassdragene, vil også medføre større omfang og behov for vedlikehold og reparasjon av damanlegg. Konsekvensen kan bl.a. bli økt behov for nedtapping av magasiner (og dermed produksjonstap) pga nødvendige arbeider på damanleggene. Det kan også tenkes at man må etablere større fribord (avstand mellom topp dam og vannstand i magasinet) for lengre perioder, eller på permanent basis, for å kunne dempe større flommer i magasinene. Dette vil kunne bety en reduksjon i magasinkapasitet eller betydelige kostnader ved påbygging av dammer.

Varmere klima gir en reduksjon i fyringssesongen. Dette vil bidra til å dempe etterspørselen etter elektrisk kraft noe.

Næringsliv

Det finnes heller ikke for næringslivet en samlet vurdering av sårbarheten for klimaendringer. Næringslivet blir direkte eller indirekte påvirket av de forhold som er diskutert over, spesielt knyttet til kommunikasjon. Mange næringer er også avhengige av tilstrekkelig tilgang til vann av god kvalitet og det samme gjelder samfunnets behov for drikkevannsforsyning. Videre er selvsagt primærnæringene avhengige både av vannforsyning og nedbør. Endringene i de hydrologiske forhold mot midten av dette århundret vil stort sett slå gunstig ut når det gjelder tilgangen til vann. Økt avrenning av næringsstoffer og pesticider kan imidlertid forringe vannkvaliteten i enkelte områder. Endringer i snømengder kan ha effekter for turistnæringen, spesielt alpinanlegg, men i alle fall på Østlandet og Trøndelag ser endringene ikke ut til å være dramatiske i områdene hvor de største anleggene er lokalisert.

Konklusjon

Klimaendringene vil gi vesentlige endringer i de hydrologiske forhold i Norge. Vårt syn er at mange av de viktigste klimaeffektene for natur og samfunn styres av endringene i hydrologien. Gode scenarier for de hydrologiske forhold vil være av avgjørende betydning for fremtidige vurderinger av klimaeffekter og tilpasninger til klimaendringer.



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 Oslo

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no