

CICERO Report 2007:03

Utviklingen av naturulykker som følge av klimaendringer

Utredning på oppdrag fra Statens Landbruksforvaltning

Redigert av

Eirik J. Førland, met.no

Helene Amundsen, CICERO Senter for klimaforskning

Grete K. Hovelsrud, CICERO Senter for klimaforskning

Mars 2007

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



CICERO

Senter for Klimaforskning
Center for International
Climate and Environmental
Research—Oslo

CICERO Report 2007:03

Utviklingen av naturulykker som følge av klimaendringer

Utrekning på oppdrag

fra Statens Landbruksforvaltning

Bidragstere til rapporten:

- Randi Pytte Asvall, NVE
- Rasmus E. Benestad, met.no
- Jens Debernard, met.no
- Knut Harstveit, met.no
- Jan Erik Haugen, met.no
- Kjetil Isaksen, met.no
- Christian Jaedicke, ICG/NGI
- Kalle Kronholm, ICG/NGI
- Joe LaCasce, met.no
- Lars Otto Næss, CICERO
- Lars Andreas Roald, NVE
- Kari Sletten, NGU
- Knut Stalsberg, NGU

Tittel: Utviklingen av naturulykker som følge av klimaendringer: Utredning på oppdrag fra Statens Landbruksforvaltning

Forfatter(e): Eirik J. Førland, Helene Amundsen, og Grete K. Hovelsrud (red.)

CICERO Report 2007:03
71 sider

Finansieringskilde: Statens Landbruksforvaltning
Prosjekt: Utvikling av naturulykker som følge av klimaendringer.

Prosjektleder: Eirik J. Førland, met.no

Kvalitetsansvarlig: Sjur Kasa

Nøkkelord: naturskade, sårbarhet, ekstrem nedbør, skred, flom

Sammendrag:

Rapporten er laget på oppdrag fra Statens Landbruksforvaltning. Utredningen beskriver hvilken utvikling i hyppighet og omfang av naturskader vi kan forvente i forhold til dagens situasjon, som følge av klimaendringer. Scenariene tyder på en svak økning i ekstreme nedbørverdier de neste 25 år over store deler av landet, men med en kraftigere økning frem til år 2050. Scenariene tyder på at vårfloppen vil bli redusert, som følge av flere mildværperioder om vinteren og dermed mindre snømengder enn før. Variabiliteten fra år til år er imidlertid stor og det kan derfor fortsatt være enkelte år med stort snøfall og påfølgende storflom. Klimamodellene gir foreløpig ingen entydig indikasjon om stormaktivitet over våre områder. Langs Norskekysten vil konsekvensene av den globale havnivåøkningen motvirkes av at landområdene fortsatt stiger. I den største regionen med innlandsklima, samt de nordlige kystregionene, forventes det en liten øking i hyppigheten av skred. Endret klima vil trolig ikke føre til noen endring i opptreden av jordskjelv eller undersjøiske skred. Tinende permafrost gjør utsatte fjellpartier både i Sør- og Nord-Norge mer ustabile. Samfunnets sårbarhet for naturulykker kan bli endret gitt ventet økning i hyppighet av alle værtyper som fører til naturhendelser. Vi mangler tilstrekkelig detaljert informasjon til å si med sikkerhet hvor sårbarheten vil være størst, og hvilke typer naturhendelser denne sårbarheten vil være knyttet til.

Språk: Norsk

Rapporten kan bestilles fra:
CICERO Senter for klimaforskning
P.B. 1129 Blindern
0318 Oslo

Eller lastes ned fra:
<http://www.cicero.uio.no>

Title: Utviklingen av naturulykker som følge av klimaendringer: Utredning på oppdrag fra Statens Landbruksforvaltning

Author(s): Eirik J. Førland, Helene Amundsen, and Grete K. Hovelsrud (eds)

CICERO
71 pages

Financed by: Norwegian Agricultural Authority
Project: Utvikling av naturulykker som følge av klimaendringer

Project manager: Eirik J. Førland, met.no

Quality manager: Sjur Kasa

Keywords: natural hazards, vulnerability, extreme precipitation, slides, flood

Abstract:

This report is written for the Norwegian Agricultural Authority. The report gives an overview of developments in frequency and extent of natural hazards, as a result of climate change. The scenarios indicate a weak increase in extreme precipitation events the next 25 year, and a stronger increase up to 2050. The flooding during spring will be reduced, as a result of milder winters and less snow. The variability year on year is large, and we expect some years with heavy snowfall and resulting large flooding. The climate models are not giving any single indication of changes in storm activities. Along the Norwegian coast the consequences of the global sea level rise is contrasted by the land rising. An increased frequency of slides is expected in inland and northern coastal regions. A change in climate is not likely to change the occurrence of earth quakes and sub-sea slides. Thawing permafrost makes exposed mountain areas in Southern and Northern Norway more unstable. Society's vulnerability to natural hazards could change given the expected changes in frequency in weather conditions that lead to natural hazards. We lack sufficiently detailed information to be able to say with certainty where the vulnerability will be the strongest, and to which natural hazards.

Language of report: Norwegian

The report may be ordered from:
CICERO (Center for International Climate and Environmental Research – Oslo)
PO Box 1129 Blindern
0318 Oslo, NORWAY

Or be downloaded from:
<http://www.cicero.uio.no>

Innhold

1	INNLEDNING	9
1.1	BAKGRUNN	9
1.2	SÅRBARHET FOR KLIMAENDRINGER SKYLDES MANGLENDE TILPASNING	10
2	DATA, METODER OG USIKKERHET	11
2.1	KLIMADATA	11
2.2	SKREDDATA	11
2.3	MODELLERING AV EKSTREMVÆR	11
2.4	USIKKERHET I SIMULERING AV FREMTIDIG KLIMAUTVIKLING	12
3	ENDRING I EKSTREME NEDBØRFORHOLD	13
3.1	OBSERVERTE ENDRINGER I EKSTREMNEDBØR	13
3.2	SCENARIER FOR ENDRING I EKSTREMNEDBØR	16
4	ENDRING I EKSTREME NEDBØR- OG FLOMFORHOLD	18
4.1	FLOMÅRSAKER	18
4.2	FLOM OG INNGREP I VASSDRAGENE	18
4.3	KAN VI FORVENTE EKSTREMT MYE NEDBØR SLIK AT VASSDRAG/ELVER/BEKKER GÅR OVER SINE BREDDER OG SKAPER FLOMSITUASJON?	25
4.4	VIL DET BLI KLIMAENDRINGER SOM KAN MEDFØRE MYE SNØ OG DERETTER RASK SNØSMELTING SOM IGJEN KAN FØRE TIL ISGANG I VASSDRAG OG/ELLER EN FLOMSITUASJON?	26
5	ENDRING I HYPPIGHET AV STORMER OG STORMFLO	28
5.1	KAN VI FORVENTE HYPPIGERE TILLØP TIL VIND AV STORM STYRKE, DVS. MER ENN 20.8 M/S?	28
5.1.1	<i>Observerte endringer i stormhyppighet</i>	28
5.1.2	<i>Scenarier for endring i ekstreme vindforhold.</i>	30
5.2	VIL DET BLI ØKT HYPPIGHET AV SPRINGFLO KOMBINERT MED STERK VIND, S. K. STORMFLO?	31
6	ENDRING I HYPPIGHET AV SKRED: Vil faren for ulike typer skred øke?	33
6.1	REGIONAL FORDELING AV SKREDULYKKER	33
6.2	ENDRINGER OG VARIABILITET AV SKREDFREKVENNS I TIÅRENE SIDEN 1960	35
6.3	VURDERING AV SAMMENHENGEN MELLOM VÆR OG FORSKJELLIGE TYPER SKRED, BASERT PÅ HISTORISKE HENDELSER	36
6.3.1	<i>Datagrunnlag</i>	36
6.3.2	<i>Typer skred</i>	36
6.3.3	<i>De viktigste meteorologiske faktorer som påvirker utløsning av snøskred</i>	36
6.3.4	<i>De viktigste meteorologiske faktorer som påvirker utløsning av jordskred</i>	36
6.3.5	<i>De viktigste meteorologiske faktorer som påvirker utløsning av steinsprang/steinskred</i>	36
6.3.6	<i>Konklusjon vedrørende meteorologiske faktorer</i>	37
6.4	KVANTIFISERING AV ENDRINGER I SKREDFREKVENNS OG SKREDTYPER PÅ BAKGRUNN AV FORVENTEDE KLIMAENDRINGER	37
6.4.1	<i>Beskrivelse av forventede regionale forskjeller ved eventuelle endringer</i>	37
7	ENDRING I PERMAFROST	47
7.1	OMFANG AV PERMAFROST I NORGE OG EVT. SKADEVOLDENDE UTVIKLING AV DENNE	47
7.2	HOVEDKONKLUSJONER FOR ENDRINGER I PERMAFROST	47
8	ENDRING I HYPPIGHET AV ANDRE NATURULYKKER	50
8.1	JORDSKJELV OG UNDERSJØISKE SKRED	50
8.2	FLODBØLGER SOM FØLGE AV FJELLSKRED	50
9	ENDRING I SÅRBARHET FOR NATURULYKKER	51
9.1	KARTLEGGING AV SKADER SOM DEKKES AV NATURSKADELOVEN – OMFANG OG FORDELING	51
9.1.1	<i>Lovens omfang</i>	52
9.2	NATURSKADER: SÅRBARHET OG SKADEOMFANG	52
9.2.1	<i>Sårbarhet</i>	52
9.2.2	<i>Skadeomfang og fordeling av naturskader 1996-2005</i>	53
9.2.3	<i>Scenarier for naturhendelser</i>	58
9.3	ENDRINGER I SÅRBARHET OVERFOR NATURSKADER	59
9.3.1	<i>Forhold som utløser naturhendelser</i>	60
9.3.2	<i>Regional sårbarhet og naturhendelser</i>	61
9.3.3	<i>Erfaringer med naturhendelser og tilpasning til framtidig risiko</i>	67
9.4	VIDERE UTFORDRINGER	69

LISTE OVER FIGURER OG TABELLER

Figur 4.2. Mulige årsflommer i to kystnære vassdrag på Sørvestlandet	20
Figur 4.3. Mulige årsflommer i to høfjellsvassdrag på i Jotunheimen og Dovrefjell.....	20
Figur 4.4. Beregnet endring i 50-årsflommen i 23 stasjoner i norske vassdrag	21
Figur 4.8. Beregnet endring i 50-årsflommen om høsten i 23 norske vassdrag	23
Figur 4.9. Største daglige vannføring i året i Stordalsvatn i Etneelv.....	24
Figur 4.10. Snøens vanninnhold i Aursundens nedbørfelt	26
Figur 5.1. Stormvariasjon i perioden 1961-2006.....	28
Figur 5.2. Ekstreme vindhastigheter over de Britiske øyer, Nordsjøen og Norskehavet.	29
Figur 5.3 Økning i antall døgn per år med vind sterkere enn hhv. sterk kuling og liten storm. Figuren er basert på kombinerte data fra Hadley og MPI-modellene med utslippsscenario B2, og viser projiserte endringer fra perioden 1961-90 til perioden 2071-2100.	30
Figur 5.4. Økning i globalt havnivå fra 1990 til 2100.....	31
Tabell 5.1. Verdier for 99 persentil for stormflonivå langs Norskekysten. Scenariene for 2030-2049 er basert på MPI-IS92a simuleringer, med to estimater av økning i midlere havnivå (25 og 50 cm) i løpet av de neste 50 år. Verdiene er korrigert for forventet landheving i 50 års perioden: Oslo: 20 cm, Mandal og Bergen: 5cm, Kristiansund: 10 cm, Bodø: 15 cm og Nordkapp: 10 cm.....	32
Figur 6.1. Antall skadeskred i Norge siste 100 år pr region fordelt mellom de ulike typer skred.....	34
Figur 6.2. Antall omkomne i skadeskred pr region de siste 100 år fordelt mellom de ulike typer skred.	35
Tabell 6.1: Forklaring av forkortelser av de viktigste meteorologiske utløsningselementer.....	38
Figur 6.3. Nedbørregioner brukt av met.no og i denne analysen.	39
Figur 6.4. Registrerte snøskred (mørkeblå sirkler) og antall snøskred i hver nedbørregion	40
Figur 6.5. Viktigste meteorologiske utløsningselementer for snøskred i hver nedbørregion.....	41
Figur 6.6. Registrerte jordskred (mørkebrune sirkler) og antall jordskred i hver nedbørregion	42
Figur 6.7. Viktigste meteorologiske utløsningselementer for jordskred i hver nedbørregion.	43
Figur 6.8. Registrerte steinskred (mørke sirkler) og antall steinskred i hver nedbørregion	44
Figur 6.9. Viktigste meteorologiske utløsningselementer for steinsprang	45
Figur 6.10. Antatt relativ økning i hyppigheten av skred totalt pr nedbørregion.	46
Figur 7.1. Områder med permafrost i Norge.....	48
Figur 7.2. Temperaturprofiler i permafrost på Juvvasshøe, Jotunheimen	49
Figur 7.3. Temperaturutvikling i permafrosten på Juvvasshøe	49
Figur 9.1. Skadetakst for jord- og leirskred for perioden 1996-2005 fordelt på fylke	54
Figur 9.2. Skadetakst for steinskred/steinsprang for perioden 1996-2005 fordelt på fylke.....	55
Figur 9.3. Skadetakst for snøskred for perioden 1996-2005 fordelt på fylke.....	56
Figur 9.4. Skadetakst for storm og stormflo for perioden 1996-2005 fordelt på fylke.	57
Figur 9.5. Oversikt over samlet skadetakst for de ulike naturskadene i perioden 1996-2005.....	58
Figur 9.6. Forventede endringer i naturhendelser.....	59
Tabell 9.1. Forventede naturhendelser fordelt på landsdeler.....	62

FORORD

Statens landbruksforvaltning (SLF) skal utrede lov om sikring mot og erstatning av naturskade, med henblikk på en fullstendig gjennomgang av bakgrunnen for og formålet med den statlige naturskadeordningen. I den forbindelse er kunnskap om utviklingen av vær og klimaforhold, og det norske samfunnets sårbarhet for endringer i værforholdene, av stor betydning.

På grunnlag av dette ønsket SLF en utredning av hvilke klima- og værforhold vi ut i fra dagens kunnskap kan forvente i Norge i fremtiden, med en tidshorisont på 30-50 år. Utredningen skal beskrive hvilken utvikling i hyppighet og omfang av naturskader vi kan forvente i forhold til dagens situasjon, som følge av eventuelle endringer i værforholdene. I dagens situasjon er flom, storm og skred de typiske skadevoldende naturulykker som naturskadeordningen omfatter. Utredningen skal derfor kunne gi svar på om samfunnets sårbarhet for naturulykker vil endre seg, innenfor et tidsperspektiv på 30-50 år, som følge av klimaendringer.

Utredningen bør gi svar på hvilke endringer i frekvens, omfang og alvorlighetsgrad av skadevoldende naturulykker det ut i fra dagens kunnskap er grunn til å forvente. Som nevnt stikkordsmessig i mandatet vedlagt SLFs brev av 20. desember 2005 forventes det at utredningen skal gi økt kunnskap i forhold til:

- *Om det som følge av endringer i vær og klima kan forventes økt antall naturulykker i fremtiden*
- *Om det kan forventes flere større naturulykker*
- *Om den geografiske fordelingen av naturulykker vil endre seg*
- *Om fordelingen av naturulykker mellom skadeårsaker og skadetyper vil endre seg*

For å belyse problemstillingene i utredningen var det nødvendig å innhente informasjon fra en rekke miljø i Norge. For noen av problemstillingene var det nødvendig å knytte sammen forskningsresultat fra flere institusjoner og for andre tema måtte det utføres nye analyser. Institusjonene som står bak utredningen har derfor valgt å samle det omfattende bakgrunnsmateriale for utredningen i en separat faglig rapport (Førland et al., 2007: *Climate change and natural disasters in Norway – An assessment of possible future changes*). Denne rapporten er skrevet på engelsk, fordi en stor del av resultatene vil ha interesse også internasjonalt.

For problemstillinger vedrørende skred har denne utredningen tatt i bruk midlertidige resultater fra GeoExtreme-prosjektet, et fireårs prosjekt som startet i 2005. De endelige resultatene fra dette prosjektet vil foreligge ved utgangen av 2008, og vil vesentlig forbedre grunnlaget for å si noe om fremtidig utvikling av skredulykker. Hovedmålene for prosjektet er å vurdere sammenhengen mellom vær og forskjellige typer skred, basert på historiske hendelser; å vurdere skredpotensialet i fire områder i Norge og å se dette i lys av den forventede klimautviklingen de neste 50 år; å lage nye, detaljerte klimascenarier for de fire aktuelle områdene for de neste 50 år; å vurdere de samfunnsøkonomiske konsekvensene av så vel de historiske hendelsene som av fremtidige hendelser, samt tiltak (som endret arealplanlegging) og opplæring og vurdering av samfunnets evne til å tilpasse seg endrede naturgitte forhold og øke påpasseligheten ved å ”lære av erfaring”. Resultater vil bli publisert på www.geoextreme.no.

SAMMENDRAG

Det er lagt vekt på at utredningen skal gi svar på de spørsmål som er nevnt i Mandatet (vedlagt SLFs brev av 20. desember 2005): ”hvilke endringer i frekvens, omfang og alvorlighetsgrad av skadevoldende naturulykker det ut i fra dagens kunnskap er grunn til å forvente”, og videre at utredningen skal gi Statens Landbruksforvaltning (SLF) økt kunnskap i forhold til:

- Om det som følge av endringer i vær og klima kan forventes økt antall naturulykker i fremtiden
- Om det kan forventes flere større naturulykker
- Om den geografiske fordelingen av naturulykker vil endre seg
- Om fordelingen av naturulykker mellom skadeårsaker og skadetyper vil endre seg

Resultatene fra utredningen kan summeres i de følgende problemstillingene SLF ønsket belyst:

1. Kan vi forvente ekstremt mye nedbør?

Scenariene tyder på en svak økning i ekstreme nedbørverdier de neste 25 år over store deler av landet, med en kraftigere økning frem til år 2050. Den projiserte økningen er størst i deler av Vestlandet, Sør-Trøndelag og Nordland. Over Østlandet tyder scenariene på små endringer i ekstrem 1-døgns nedbør i de neste 50 år. Mer detaljer er gitt i kapittel 3.

2. Vil det bli økning i flommer i vassdrag/elver/bekker p.g.a. intens nedbør, snøsmelting, isgang, eller lignende?

Scenariene tyder på at vårfloppen vil bli redusert, som følge av flere mildværperioder om vinteren og dermed mindre snømengder enn før. Snøsmeltefloppene vil komme tidligere enn før. Variabiliteten fra år til år er imidlertid stor og det kan derfor fortsatt være enkelte år med stort snøfall og påfølgende storflom. Sene høstflommer vil bli vanligere, likeså mindre vinterflommer. Med høyere temperaturer kan lokale regnskyll med påfølgende skadeflopper bli vanligere, ikke minst i innlandsområder der årsnedbøren er lav og vassdragene er dårlig tilpasset kraftige regnskyll. Gitt scenariene for økt nedbørintensitet vil antallet og omfanget av regnfloppene øke langs kysten. Om høsten kan denne økningen forsterkes ved at mindre nedbør enn før faller som snø under ekstremsituasjoner. Isganger er mest typiske for kjølige perioder med innslag av mildvær. Det kan fortsatt skje isganger i elver som følge av kraftige mildværsepisoder om vinteren. Sonen hvor isganger kan utløses vil rykke lenger inn i landet enn før. Økt smelting på isbreene vil føre til betydelig økt sommervannføring i breelvene. Det er også fare for at det kan skje brå uttømminger av bredemte sjøer etter hvert som breene blir tynnere. Mer detaljer er gitt i kapittel 4.

3. Kan vi forvente hyppigere tilløp til vind av storm styrke, det vil si mer enn 20,8 meter per sekund?

Resultat fra ulike studier gir forskjellige svar. Noen antyder en økning i stormaktiviteten mens andre indikerer mindre stormaktivitet over våre områder. Klimamodellene gir foreløpig heller ingen entydig indikasjon på verken øket eller svekket lavtrykksaktivitet. Mer detaljer er gitt i kapittel 5.1.

4. Vil det bli økt hyppighet av springflo kombinert med sterk vind, s. k. stormflo?

Langs norskekysten vil konsekvensene av den globale havnivåøkningen motvirkes av at landområdene fortsatt stiger. Men hvis havnivået stiger med mer enn 0,5 meter i løpet av de neste 50 årene vil vannstander som i dag oppleves problematiske forekomme langt hyppigere og stormflonivået bli høyere enn dagens nivå. Mer detaljer er gitt i kapittel 5.2.

5. Vil det bli økning i ulike typer skred: snøskred, jord-, leire-, stein- og sørpeskred?

På bakgrunn av analyser kan vi lage en foreløpig vurdering av forventede endringer i hyppigheten for alle skredtyper. I en del regioner foreligger det ikke nok data til en sikker vurdering. I den største regionen med innlandsklima, samt de nordlige kystregionene, forventes det en liten øking i hyppigheten av skred. I de sørlige kystregionene forventes det en moderat til sterk øking i hyppigheten av skred. Mer detaljer er gitt i kapittel 6.

6. Er det grunn til å forvente økte forekomster av andre skadevoldende naturulykker, som jordskjelv over styrke 5 på Richters skala og tsunami som følge av slike jordskjelv eller undersjøiske skred?

Endret klima vil trolig ikke føre til noen endring i opptreden av jordskjelv eller undersjøiske skred. Endringer i permafrostens utbredelse vil kunne føre til en økt hyppighet av store fjellskred og der ustabile fjellpartier ligger over vann vil dette medføre en økt risiko for flodbølger. Mer detaljer er gitt i kapittel 8.

7. Omfanget av permafrost i Norge og eventuell skadevoldende utvikling av denne.

Permafrost er utbredt i deler av høyfjellsområdene i Sør-Norge og i de fleste fjellområdene i Nord-Norge. Det har de senere år foregått en betydelig oppvarming av permafrost i de øverste 10-20 meterne av bakken. Permafrost som tiner gjør utsatte fjellpartier både i Sør- og Nord-Norge mer ustabile, men det kreves videre analyser før en kan konkludere med hvilken skadeutvikling dette kan medføre. Mer detaljer er gitt i kapittel 7.

8. Vil det bli endringer i samfunnets sårbarhet for naturulykker?

Klimascenarier gir en klar indikasjon om at vi venter en økning i hyppighet av alle værtyper som fører til naturhendelser. Regionale analyser viser klare trender i utvikling av naturhendelser, men vi mangler tilstrekkelig detaljert informasjon til å si med sikkerhet hvor sårbarheten vil være størst, og hvilke typer naturhendelser den vil være knyttet til. Det er ikke nødvendigvis en sammenheng mellom høy skadetakst og størrelsen på naturhendelsen; en stor naturhendelse (snøskred) i et område med lite infrastruktur og bebyggelse kan gi lav eller ingen skadetakst, og en mindre naturhendelse i et tettbebygde område kan føre til høye skadetakster. Satsing på sikring, god arealplanlegging og god byggeskikk er alle viktige elementer for å begrense skader fra naturhendelser. Mer detaljer er gitt i kapittel 9.

9. Usikkerhet

Klimascenarier er beheftet med en betydelig grad av usikkerhet. De viktigste kildene til usikkerhet er tilfeldige klimavariasjoner, manglende kunnskap om ytre pådriv, unøyaktighet i klimamodeller og ukjente forhold. Simuleringer med ulike klimamodeller og utslippsscenarier kan derfor gi forskjellig resultater. Spesielt stor usikkerhet er heftet til scenarier for ekstreme episoder på enkeltlokaliteter. Mer detaljer er gitt i kapittel 2.4.

1 INNLEDNING

1.1 Bakgrunn

Klimaet er i endring, både globalt og i Norge. Ifølge FNs klimapanel (IPCC, 2001a) steg den globale middeltemperatur med ca. 0,6 grader i det 20. århundre og mye tyder på at middeltemperaturen på den nordlige halvkule nå er den høyeste på over 1000 år. Resultater fra ulike globale klimamodeller og med ulike scenarier for utslipp av drivhusgasser og aerosoler projiserer en økning i global middeltemperatur på mellom 1,4 og 5,8 grader frem til år 2100. Den store spredningen skyldes dels sprik mellom modellene og naturlige variasjoner, men særlig forskjellene mellom de ulike scenariene for utslipp av drivhusgasser. I det norske RegClim-prosjektet (<http://regclim.met.no>) er data fra globale klimamodeller nedskalert for å gi regionale og lokale klimascenarier for Norge 50-100 år frem i tid.

I utredningen om ny naturskadelov ønskes en vurdering av om samfunnets sårbarhet for naturulykker vil endre seg som følge av klimaendringer innenfor et tidsperspektiv på 30-50 år. I Nord-Europa er klimaforholdene påvirket av store naturlige variasjoner, både fra år til år og over tiår. Spesielt over så små regioner som Skandinavia vil tilfeldige variasjoner være betydelige. Disse variasjonene vil i de nærmeste tiårene kunne overskygge påvirkningen fra storstilte globale klimaendringer. Imidlertid viser beregninger med IPCCs antatte scenarier for utslipp av drivhusgasser og aerosoler at systematiske forandringer på en tidshorisont over 30-50 år frem i tid vil overstige de nåværende naturlige variasjonene.

Ekstreme værforhold med relevans for naturskader er i vår region ofte nært knyttet til dannelse, bevegelse, utvikling og utstrekning av lavtrykk. Disse dannes og utvikles over Nord-Atlanteren, og deres fremherskende bevegelse og utvikling i forhold til Norges fjellkjeder og de vestvendte kystene avgjør fordeling av nedbør, vind og ekstremvær mellom Norges landsdeler. I løpet av de siste 30-40 årene har det vært en betydelig endring av lavtrykkenes systematiske oppførsel, noe som kan forklare mye av de "uvanlige" værtypene som har inntruffet de siste 10-15 årene. Man kan ikke si med sikkerhet om dette skyldes økning i klimagasser eller om det har vært en naturlig svingning som uansett ville funnet sted.

For å ha sammenligningsgrunnlag for projiserte klimaendringer 30-50 år frem i tid er det viktig å ha kunnskap om observert variabilitet i hyppighet av naturulykker og klimaekstremer i løpet av de siste 50-100 årene. I utredningen er det derfor også sett på observert klimautvikling gjennom de siste 100 årene, og spesielt på om klimaforholdene i de siste tiårene avviker fra verdiene for perioden 1961-1990. Perioden 1961-90 er en såkalt "klimatologisk standard-normal periode" og data fra denne perioden danner grunnlag for en rekke dimensjonerende verdier, blant annet for påregnelige ekstreme nedbørverdier for flomberegninger.

Meteorologiske faktorer er i mange tilfeller avgjørende for utløsning av skred. For hver skredtype er det forskjellige faktorer som fører til utløsning og ulike tidsperioder som må tas hensyn til. Flomskred er et eksempel på en type skred som oppstår i direkte tilknytning til stor nedbørsintensitet. Regner det nok i løpet av en time kommer det flomskred nedover bekkeløpene. Store snøskredkatastrofer skjer derimot etter en kombinasjon av langvarige og kortvarige værforhold. Under en lengre kald periode bygger det seg opp et svakt sjikt nederst i snøen. Faller det store mengder snø på dette, kan det medføre at store snømasser løsner fra det svake fundamentet. Ved å finne en sammenheng mellom skredhendelser og vær er det mulig å belyse hvordan frekvensen av ulike skredtyper vil endres ved klimaendringer. Denne problemstilling er sentral i GeoExtreme prosjektet (www.geoextreme.no). Når konklusjonene fra dette prosjektet foreligger ved utgangen av 2008 vil grunnlaget for å si noe om fremtidig utvikling av skredulykker bli vesentlig forbedret.

1.2 Sårbarhet for klimaendringer skyldes manglende tilpasning

Jordens klima over valgte tidsperioder beskrives dels ved globale gjennomsnitt og dels ved typiske variasjoner mellom regioner. Naturen, og tradisjonelt også samfunnet, har gjennom generasjoner tilpasset seg regionens klima. Klimaforskjeller kan følgelig forklare mange kontraster mellom ulike regioner i så vel flora og fauna som folks byggeskikk, kultur og næringsgrunnlag.

Neglisjert risiko for skader av vær kan medføre at noen områder har dårlig klimatilpasset bebyggelse og infrastruktur. Dette vil være tilfelle dersom boliger bygges med hensyn til utsikt, uten en vurdering av hvor utsatt boligen vil være for sterk vind. Urbanisering kan føre til økt flomrisiko gjennom utstrakt asfaltering, avskogning og fjerning av bekker, slik at avrenningen blir sterkt redusert. Skader trenger derfor ikke bare skyldes klimaendringer. Ekstreme værforhold er per definisjon sjeldne. Følgelig kan natur og samfunn være dårlig forberedt på de påvirkningene ekstremvær kan ha, og kostnadene i form av liv og verdier kan bli formidable.

Samfunnets sårbarhet overfor klimaendringer varierer geografisk. For eksempel krever man ikke samme sikring mot storm på Østlandet som på Vestlandet og i Nord-Norge. Skulle storm bli mer vanlig på Østlandet, øker derfor risikoen for skade, selv om slik vind kan være uproblematisk i andre landsdeler. Relevante bransjer (bygg, vannkraft, forsikring, osv.) vurderer nå scenarier for fremtidig regionalt klima ved utvikling av strategier for klimatilpasning.

Verden rundt finnes det mange eksempler på ekstremvær de siste 10 årene. Økt forekomst av ekstremvær kan skyldes at været varierer omkring et annet gjennomsnitt enn før eller at variasjonsbredden øker. Flere klimascenarier antyder at vær som nå klassifiseres som ekstremt kan bli mer vanlig i de neste hundre årene. Regioner som er dårlig forberedt er sårbare og kan bli utsatt for flere dramatiske naturulykker i fremtiden.

Rapporten er bygget opp som følger: Kapittel 2 beskriver data, metoder og usikkerhet i forhold til å modellere klimaendringer. Kapittel 3 beskriver både observerte endringer i ekstremnedbør og scenarier for ekstremnedbør. Kapittel 4 – 8 tar for seg endringer av ulike naturhendelser; flomforhold, storm og stormflo, skred, permafrost og andre naturulykker. Det siste kapittelet bygger på erfaringer fra de foregående kapitlene og analyserer endringer i samfunnets sårbarhet for naturulykker.

2 DATA, METODER OG USIKKERHET

2.1 Klimadata

Historiske klimadata fra Meteorologisk Institutt's klimadatabase er brukt for å belyse klimautvikling og ekstremvær i perioden 1900-2005. Scenarier for regionale og lokale klimaendringer i Norge er basert på data fra RegClim prosjektet, der det er utført nedskalering av globale klimasimuleringer fra Max-Planck Instituttet i Tyskland og Hadley-senteret i England. Data fra de to sentrene er benyttet for å dekke opp for regional variabilitet i lavtryksbaner, slik at resultatene blir mer robuste overfor tilfeldigheter. Simuleringene er basert på IPCCs SRES utslippsscenarioer¹ (IPCC, 2001a), og nedskalerte data er beregnet for en kontrollperiode som representerer dagens klima og for ulike scenarieperioder frem til år 2100. En stor del av beregningene som danner bakgrunn for projeksjonene for klimautviklingen de neste 50 årene i denne utredningen er basert på en simulering fra Max-Planck instituttet med IPCCs utslippsscenario IS92a. Denne simuleringen er dynamisk nedskalert i RegClim for en kontrollperiode 1980-2000 og en scenarieperiode 2030-2050.

Empirisk nedskalerte scenarier er utført for en rekke klimamodeller og utslippsscenarioer, og for lengre sammenhengende perioder. Selv om empirisk nedskalering ikke egner seg til direkte beskrivelser av ekstremhendelser, kan man gjennom denne teknikken beregne endringer i hyppighetsfordelingen av enkelte klimaelementer (som for eksempel 24-timers nedbør og vindhastighet). Empirisk nedskalering gir verdier som beskriver helt lokale forhold der man har historiske målinger, mens dynamisk nedskalering gir en beskrivelse av gjennomsnittet for et gitt område (typisk 50x50 km²). Dynamisk og empirisk nedskalering har ulike styrker og svakheter, men metodene er helt uavhengige av hverandre og dersom de gir lignende svar kan scenariet ha større troverdighet.

2.2 Skreddata

Det finnes per i dag ca. 30.000 elektronisk registrerte skred i Norge. Disse registreringene blir forvaltet av ulike statlige og private etater. På NGI er disse skredhendelsene, blant annet gjennom GeoExtreme prosjektet, samlet i én database. Databasen gir informasjon om tidspunkt, sted og type skred for hver registrerte skredhendelse. Dessuten registreres andre relevante parametere, slik som skader på personer, bygninger eller annen infrastruktur. De registrerte skredene i databasen er benyttet til å undersøke endringer og variabiliteten av skredfrekvens i tiårene siden 1960. I tillegg er de historiske hendelsene i skreddatabasen blitt koblet mot klimadatabasen ved Meteorologisk Institutt for å hente ut informasjon om været under og opp til utløsningen av hver enkelt skred. Omfattende statistiske analyser er brukt for å identifisere vørelementer som er relevante for utløsning av forskjellige skredtyper. Nedskalerte klimascenarier beskriver hvordan de kritiske vørelementene kan endres i fremtiden.

2.3 Modellering av ekstremvær

Ekstreme værforhold inntreffer sjelden, men kan forårsake voldsomme problemer og skader. Ettersom slike ekstreme hendelser ofte har en lokal karakter og inntreffer over korte tidsperioder, blir de ofte ikke fanget opp av nettet av meteorologiske målestasjoner. Det er derfor vanskelig å lage sikker statistikk over hvordan ekstreme værforhold har endret seg over tid.

¹ Det er benyttet fire ulike IPCC SRES utslippsscenarioer (IS92a, A2, B2 og A1b) i denne utredningen. Ifølge IPCC (2001) gir disse en økning i globaltemperatur frem til år 2050 (2100) på hhv.:

IS92a: 1.1°C (2.4), A2: 1.3 (3.6), B2: 1.3 (2.6) og A1b: 1.4 (2.9)

Globale klimamodeller, som hovedsaklig er basert på et teoretisk grunnlag men også bruker empiriske data for å kunne beskrive virkeligheten, er ett av de viktigste verktøyene for å lage fremtidsscenarioer. På grunn av begrenset regnekapasitet kan ikke de globale klimamodellene simulere klima med høy romlig oppløsning og detaljrikdom. Man kan likevel bruke lokale eller regionale klimamodeller med finere skala over et begrenset område for å simulere klimaet med mer detaljer enn en global klimamodell kan. Men på grunn av den lokale karakter og korte varighet er det generelt stor usikkerhet knyttet til modellering av ekstreme naturhendelser. Det er derfor spesielt stor usikkerhet i scenarier for ekstreme værforhold på enkeltlokaliteter.

2.4 Usikkerhet i simulering av fremtidig klimautvikling

I modellering av klimavariasjoner er det fire hovedkilder til usikkerhet (RegClim, 2005): Tilfeldige klimavariasjoner, manglende kunnskap om ytre pådriv, unøyaktighet i klimamodeller og ukjente forhold. De tre første er kjente kilder som det tas hensyn til i simulering av fremtidig klimautvikling ("scenarier"). Den fjerde er i sin natur helt ukjent. Usikkerhet betyr ikke uvitenhet, men at det er risiko for et avvik.

- 1. Tilfeldige klimavariasjoner.** Til forskjell fra klimaendringer skyldes tilfeldige variasjoner kaotiske bevegelser i atmosfæren og havet. En forandring i temperatur, nedbør, vind og så videre kan skyldes både tilfeldigheter og ytre pådriv. Hvorvidt en forandring er en tilfeldig klimavariasjon eller en klimaendring kan bare sannsynliggjøres.
- 2. Manglende viten om ytre pådriv.** Ytre pådriv skapes når jorden ikke mottar og avgir samme varmemengde. De siste tiårenes ytre pådriv er godt kjent fra målinger av drivhusgasser og stråling, samt data fra antropogene utslipp. Man har også gode antagelser om antropogene bidrag til ytre pådriv de neste dekadene. Dette skyldes at det tar tid å endre verdenssamfunnets energikilder og at det minst tar flere tiår for drivhusgassene i atmosfæren å opptas i havet. Etter ca. 2050 øker usikkerheten raskt. Fremtidige endringer i naturlige ytre pådriv (vulkanutbrudd, solstråling etc.) er lite kjent, med unntak av syklusene i solens aktivitet.
- 3. Unøyaktigheter i klimamodeller.** Klimasimuleringer fra én enkelt modell vil ha systematiske feil knyttet til at de bare gir én fremstilling av usikre prosesser. Bruk av kombinasjon av flere modeller retter bare delvis på dette. Det pågår omfattende forskning på usikre prosesser og deres representasjon i klimamodeller. Modellering av aerosoler og skyer er spesielt usikker.
- 4. Ukjente forhold.** Mulige prosesser i klimasystemet som ikke er kjent kan aldri modelleres. Derfor er klimaforskerne åpne for nye innfallsvinkler.

3 ENDRING I EKSTREME NEDBØRFORHOLD

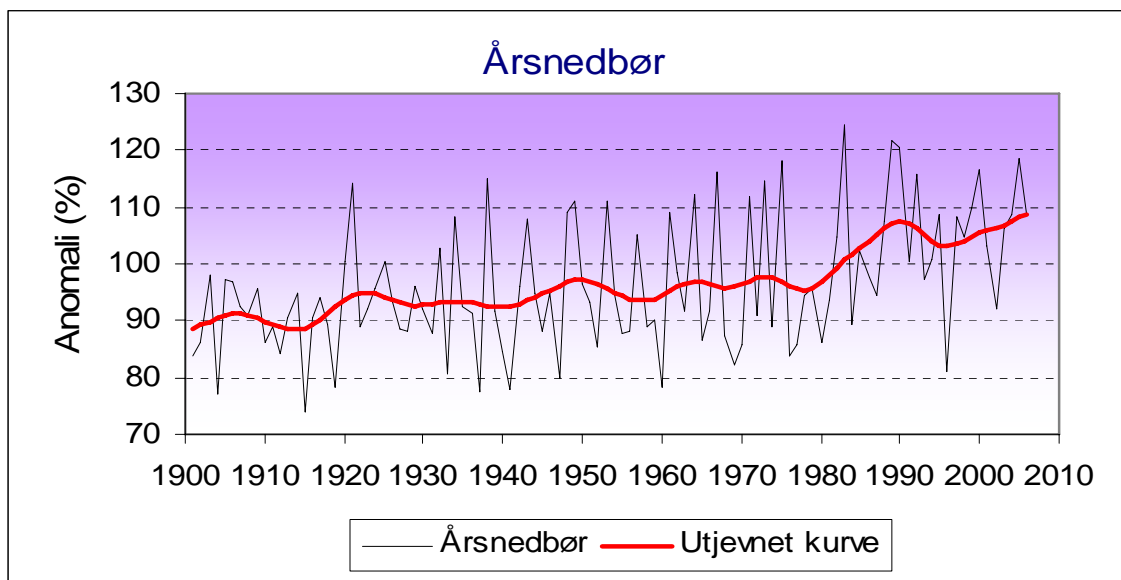
Eirik J. Førland, Rasmus Benestad og Jan Erik Haugen, met.no

Sammendrag

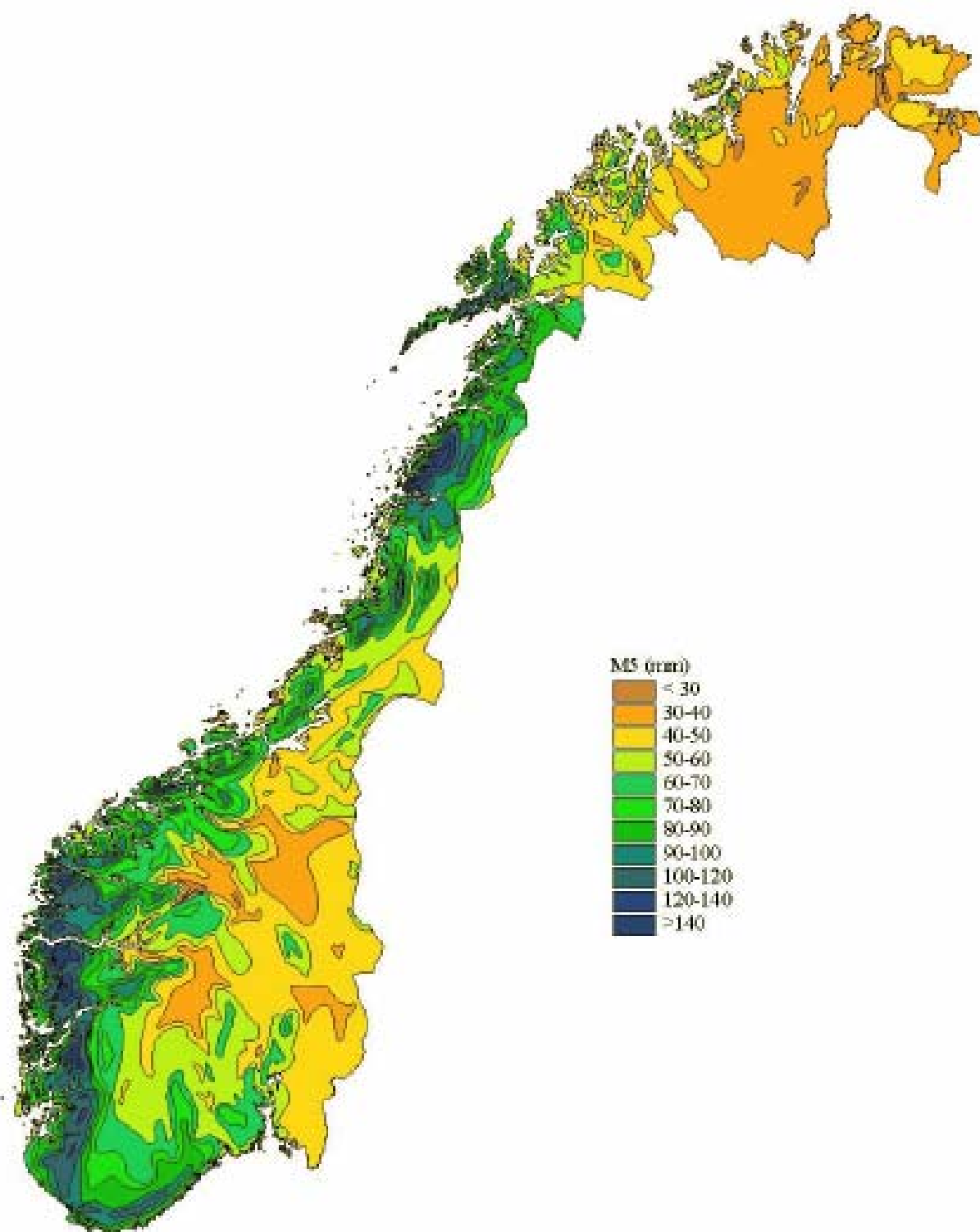
På Vestlandet har det vært en svak tendens til høyere maksimal 1-døgns nedbør de siste dekadene. Ellers i landet har det vært små endringer. Scenariene tyder på en svak økning i ekstreme nedbørverdier de neste 25 år over store deler av landet, men med en kraftigere økning frem til år 2050. Den projiserte økningen er størst (15-20%) i deler av regionene Vestlandet, Sør-Trøndelag og Nordland. Over Østlandet tyder scenariene på små endringer i ekstrem 1-døgns nedbør i de neste 50 år. Det må presiseres at det er stor usikkerhet beheftet med scenarier for ekstrem nedbør, og at ulike klimamodeller og utslippsscenarier kan gi forskjellig resultat.

3.1 Observerte endringer i ekstremnedbør

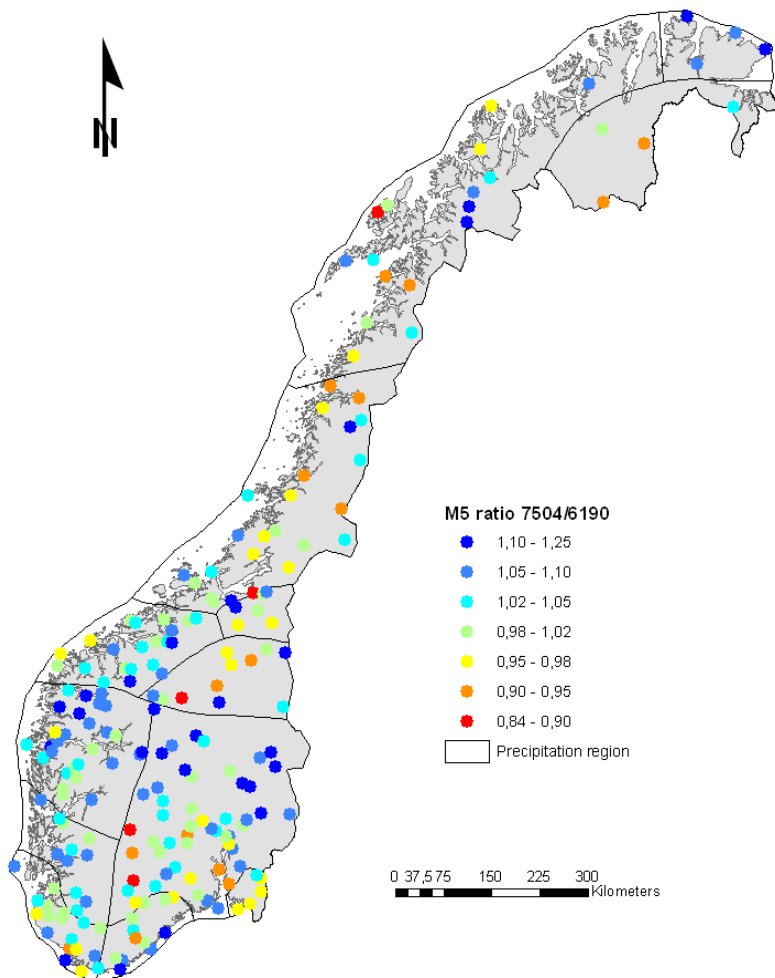
Årsnedbøren har økt i alle deler av Norge de siste hundre årene. I de fleste landsdeler er økningen størst vinter og vår. Figur 3.1 viser variasjoner i årsnedbør for fastlands-Norge siden 1900. Den tynne, svarte kurven viser hvordan årsnedbør i hvert enkelt år avviker fra middelverdien ("normalverdien") for perioden 1961-1990. Den utjevnete røde kurven illustrerer variasjoner på dekadnivå, og viser at mens årsnedbøren i begynnelsen av det 20. århundre var ca. 10 prosent lavere enn normalverdien har den i de siste tiårene vært ca. 5 prosent høyere. Det fremgår at årsnedbøren har økt spesielt sterkt etter ca. 1970.



Figur 3.1. Variasjoner i årsnedbør for fastlands-Norge 1900-2006. Kurven er basert på arealvektet nedbør for hele fastlands-Norge. Anomaliene er forholdstall (i prosent) relativt til 1961-1990 middelverdien ("normalen"). Den utjevnete kurve viser variasjon på dekadnivå, mens den tynne linje indikerer verdi for enkeltår. De siste 3-4 verdier på den utjevnete kurven viser bare foreløpige resultat ettersom verdiene kan endres når nye år blir lagt til.



Figur 3.2. Påregnelige ekstreme ett-døgns nedbørverdier (M5 i mm) med 5 års returperiode for normalperioden 1961-90.



Figur 3.3 Endringer (forholdstall) i påregnelig ett-døgns nedbør med 5 års returperiode fra normalperioden 1961-90 til perioden 1975-2004.

Den siste IPCC-rapporten (IPCC, 2001a) konkluderte med at det i løpet av den siste halvdel av det 20. århundre trolig har vært en 2 til 4 prosent økning i frekvensen av kraftige nedbørsepisoder på midlere og høyere bredder på den nordlige halvkule. For Norge fant Alfnes & Førland (2006) at det de siste hundre år var stor hyppighet av høye 1-døgns nedbørverdier i alle regioner på 1920- og 1930-tallet. For Vestlandet og Trøndelag har hyppighetene av ekstreme nedbørsepisoder vært spesielt høye i 1980- og 1990-årene.

En stor del av infrastrukturen i Norge er dimensjonert etter estimat av påregnelige ekstreme flommer og nedbørsepisoder basert på lange måleserier. Det er store lokale forskjeller i dimensjonerende nedbørverdier over Norge. Eksempelvis er påregnelig 1-døgns nedbørverdi med returperiode på fem år mindre enn 40 mm i indre dalstrøk på Østlandet og på Finnmarksvidda, og over 130 mm i de mest nedbørrike områdene på Vestlandet og i Nordland (figur 3.2). Et nøkkelspørsmål er om disse

estimatene fortsatt er gyldige, eller om klimautviklingen under den pågående og fremtidige globale oppvarming tilsier en revisjon av de eksisterende dimensjonerende verdier.

I en undersøkelse av mulige endringer i dimensjonerende 1-døgns nedbørverdier fra normalperioden 1961-90 til perioden 1975-2004 for Norge, fant Alfnes & Førland (2006) en generell økning i regionene Vestlandet / Møre & Romsdal (se figur 3.3). I resten av landet var det ingen klare regionale trekk. Trendanalyser av årlig maksimal 1-døgns nedbør indikerer en økning siden 1900 for 2/3 av stasjonene som ble undersøkt. Trendverdiene er imidlertid små for de fleste stasjonene og er kun statistisk signifikant på et fåtall stasjoner. Generelt ble den største økningen i maksimal 1-døgns nedbør funnet på Vestlandet. Imidlertid er det stasjoner uten trend og endog med negativ trend også i denne regionen. Alfnes & Førland (2006) konkluderte med at hyppigheten av de mest ekstreme nedbørepisoder har minket, mens hyppigheten av ”middels kraftige nedbørepisoder” har økt. En annen analyse for hele Norden basert på forekomsten av nye rekordverdier for maksimal 1-døgns nedbør ga ingen klare indikasjoner på at det de senere år er satt uvanlig mange nye klimarekorder (Benestad, 2003).

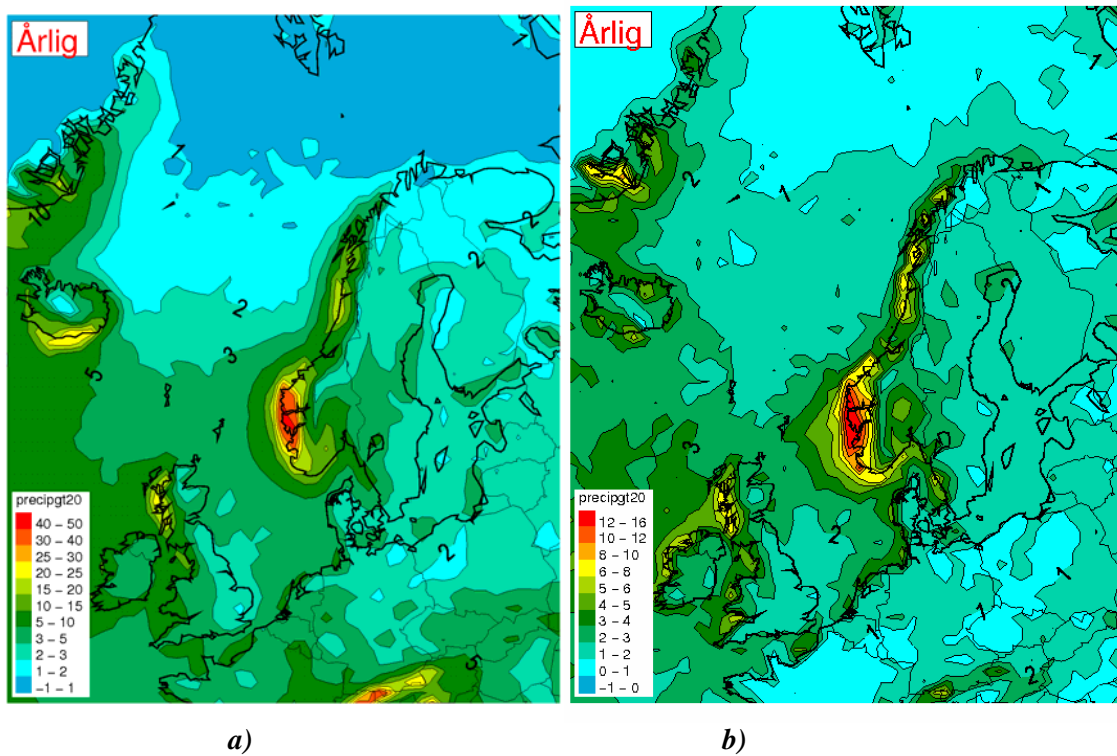
3.2 Scenarier for endring i ekstremnedbør

Resultat fra RegClim for endringer i ekstrem 1-døgns nedbør er gjengitt i figur 3.4 og 3.5. Beregningene er basert på kombinerte resultater fra simuleringer med Hadley og MPI modellene med utslippsscenario B2, og viser endringer fra perioden 1961-90 til perioden 2071-2100. Figur 3.4b viser at det i midtre strøk av Vestlandet kan bli opptil 15 flere døgn per år med nedbør over 20 mm, noe som er en betydelig økning fra de ca. 50 døgn/år denne simuleringen viser for dagens klima (Figur 3.4a). Figur 3.5b viser simuleringer av hvor ofte årets høyeste 1-døgns nedbørverdi med nåværende klimaforhold (Figur 3.5a) vil forekomme i scenarieperioden 2071-2100. Scenariene indikerer at ekstreme nedbørverdier vil forekomme oftere over størstedelen av landet, og at verdier som i dagens klima forekommer i gjennomsnitt en gang per år i enkelte områder i fremtiden kan forekomme ca. tre ganger per år.

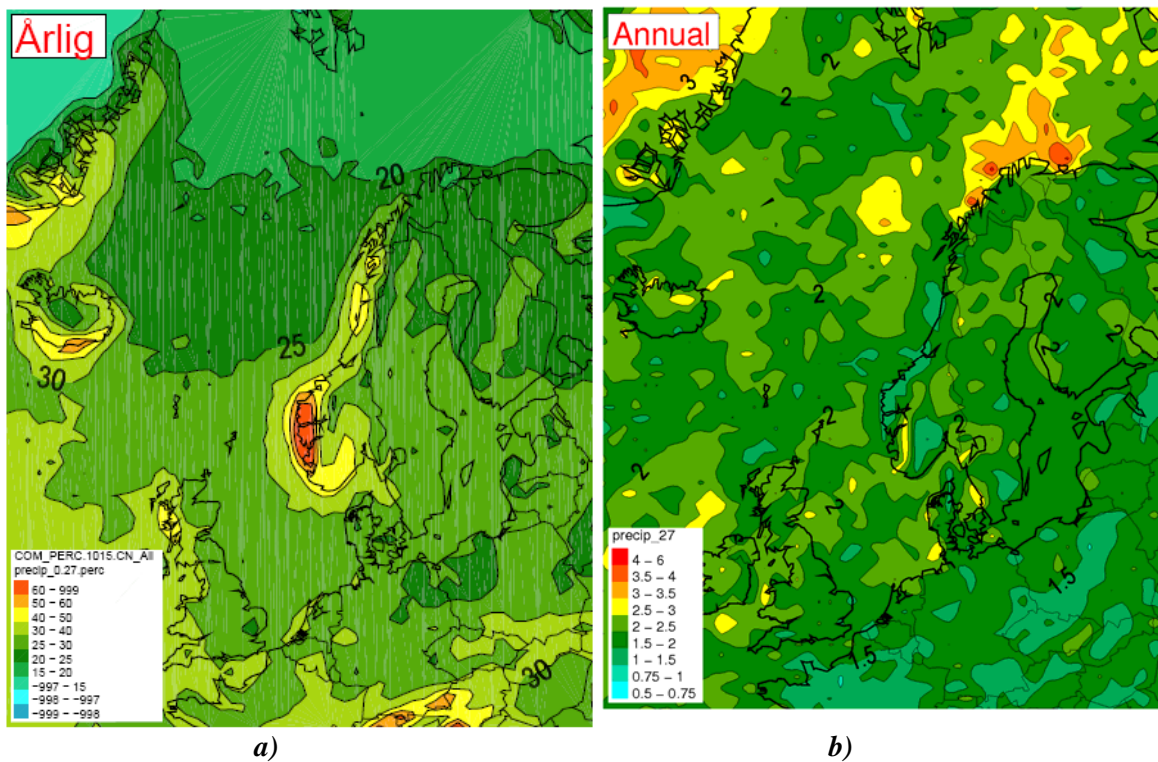
Også analyser basert på statistisk-empirisk nedskalering av de siste klimasimuleringene gjort med utslippsscenario SRES A1b for den neste IPCC rapporten (blir publisert 2007) antyder en økning i intensiteten for ekstremnedbør og økt sannsynlighet for store nedbørmengder over Nord-Europa (Benestad, 2006). En analyse av Frei et al. (2006) basert på dynamiske nedskaleringer gir et lignende bilde. Deres resultater (basert på utslippsscenario SRES A2) indikerte at 40-100-års hendelser i Europa i dag vil få et gjentakintervall på ca. 20 år for perioden 2071-2100.

Basert på dynamisk nedskalerte resultater fra RegClim frem til år 2050 for utslippsscenario IS92a, er modellerte nedbørverdier for en rekke lokaliteter justert til å representere lokale klimaforhold i Norge (detaljer er gitt i Førland et al., 2007). Resultatene fra denne analysen tyder på en svak økning i ekstreme nedbørverdier de neste 25 årene over store deler av landet, men med en kraftigere økning frem til år 2050. Den projiserte økningen i ekstrem 1-døgns nedbør er størst (15-20 prosent) i deler av regionene Vestlandet, Sør-Trøndelag og Nordland.

En analyse gjort av Benestad & Haugen (2006) tyder på at man om våren vil kunne forvente at en kombinasjon av mye nedbør og høye temperaturer vil forekomme oftere (2050), men tar man snødybde med i beregningene, ser man at det blir færre hendelser med høye temperaturer og mye nedbør på snø. Årsaken er at man i lavereliggende områder kan forvente mindre snø i fremtiden. Snøberegningene i de regionale klimamodellene er imidlertid beheftet med betydelig usikkerhet (Vikhamar-Schuler & Førland, 2006). Det er også viktig å ha i mente at dagens regionale klimamodeller har en romlig oppløsning på ca. 50x50km² og derfor har begrenset mulighet for å beskrive lokale ekstreme nedbørepisoder.



Figur 3.4. Antall døgn med nedbør over 20 mm/døgn. a). Simulering for perioden 1961-90 og b). Scenario for endring frem til perioden 2071-2100.



Figur 3.5. a). Årlig maksimal nedbørmengde (mm/døgn) simulert for perioden 1961-90 b). Antall ganger per år som nedbørmengdene i figur 3.5a vil forekomme i perioden 2071-2100. Tall større enn 1 betyr at dagens ekstremer blir mer vanlige i fremtiden.

4 ENDRING I EKSTREME NEDBØR- OG FLOMFORHOLD

Lars Andreas Roald og Randi Pytte Asvall, NVE

Sammendrag

Store vårflommer har særlig rammet de store vassdragene på Østlandet, Sørlandet, i Trøndelag og i Nord-Norge. Dessuten dominerer de i fjellet. Det er meget sannsynlig at de fleste årlige snøflommene vil bli mindre, spesielt i et lengre tidsperspektiv. Snøflommene vil også komme tidligere; på senvinteren og tidlig vår i lavlandet, og om våren heller enn om sommeren i fjellet. I enkelte snørike år kan det likevel fortsatt forekomme store snøflommer.

Mildvær i løpet av vinteren vil sammen med økt vinternedbør gi flere vinterflommer, spesielt i lavlandet. Disse vil normalt være mindre enn de tidligere vårflommene, men kraftig regnvær kan forårsake store vinterepisoder, som i Trøndelag i månedsskiftet januar/februar 2006. Det er meget sannsynlig at det vil bli flere vinterflommer som følge av mildere vær.

Det vil bli flere regnflommer på sensommer og høst, delvis som følge av økt nedbørintensitet og delvis som følge av senere snølegging om høsten. Langvarige regnflommer vil ha stor utbredelse mens skybrudd vil ramme lokalt. Klimamodellene er dårlig egnet til å simulere lokale regnskyl og forventet endring i kraftige regnvær er mer usikker enn i forventet endring i temperaturen. Siden 1987 har det likevel vært langt flere regnflommer forårsaket av kraftig nedbør enn i kaldere perioder, og det samme var tilfelle i de varme 1930-årene. Store flommer om høsten kan komme på fulle magasiner. Disse kan da ikke brukes til å dempe flommene som i verste fall kan øke sammenliknet med naturlig flomvannføring.

Isganger har spesielt rammet vassdrag i innlandet i Øst-Norge og i Trøndelag og Nord-Norge i kalde perioder. Mildvær kombinert med mye regn kan føre til isganger som fører til sammenskyvninger av ismasser slik at det oppstår iskorker og oversvømmelser ovenfor iskorken og eventuelt utenfor elveleiet. Hyppigere endringer i temperatur- og nedbørforhold vil kunne øke faren for isgang.

Nedsmelting av isbreer vil føre til økt sommervannføring i breelver. Tilbakegang av isbreene kan også føre til uttømming av bredemte sjøer (jøkullhlaup) på kjente eller nye steder.

Klimaendring er bare en av flere årsaker til endring i flomregimet i Norge. Endring i arealbruk og i utnyttelse av vann i kraftproduksjon betyr svært mye for størrelsen av framtidige flommer. Flere regnflommer vil særlig ramme urbane strøk, der ledningsnettets kapasitet kan avgjøre om det blir flomskade eller ikke. Kraftregulering virker normalt flomdempende, spesielt i de store elvene, men for de største flommene er muligheten til å dempe flommene mindre.

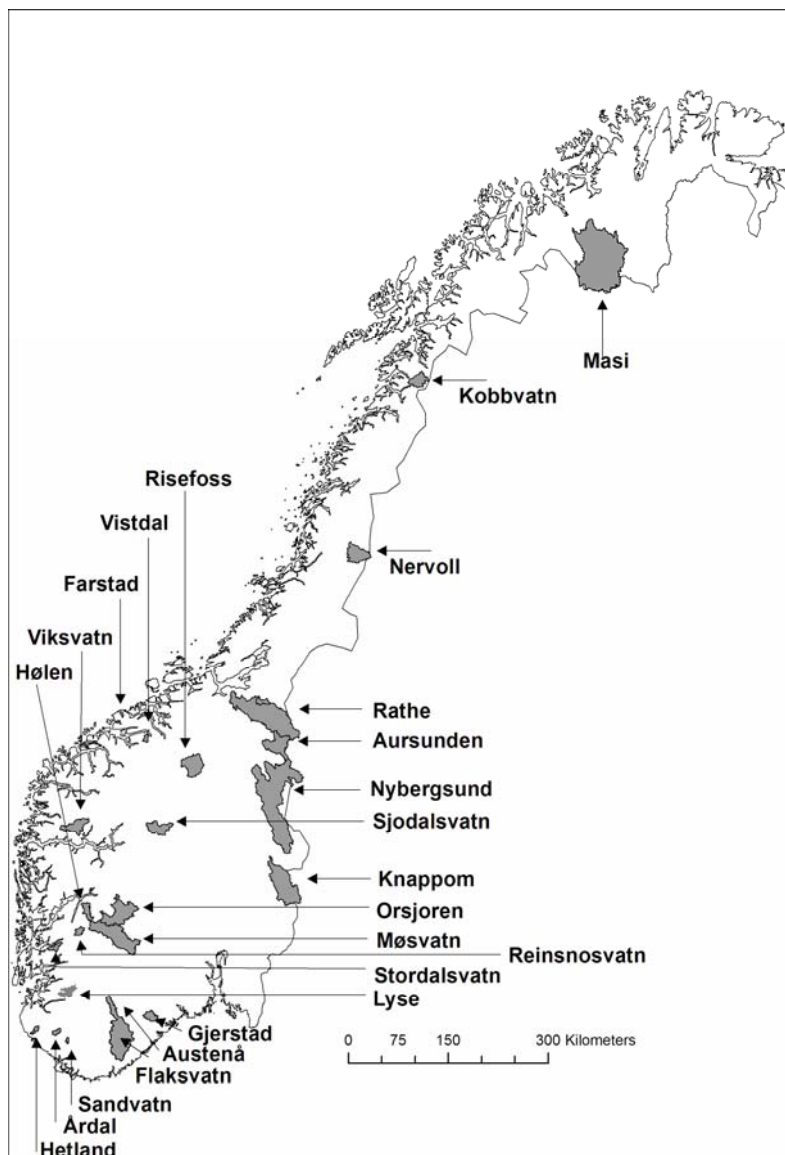
4.1 Flomårsaker

Flommer skyldes snøsmelting, langvarig eller lokale høyintense regnvær eller en kombinasjon av snøsmelting og regn. Flomstørrelsen er avhengig av nedbørfeltets flomdempende egenskaper og av initialtilstanden i feltet, det vil si forekomst av snø, mark- og grunnvannsinholdet og om bakken er frosset. Store flommer inntreffer når flere faktorer virker sammen. Store snømengder eller sterkt regnvær fører derfor ikke nødvendigvis til flom.

4.2 Flom og inngrep i vassdragene

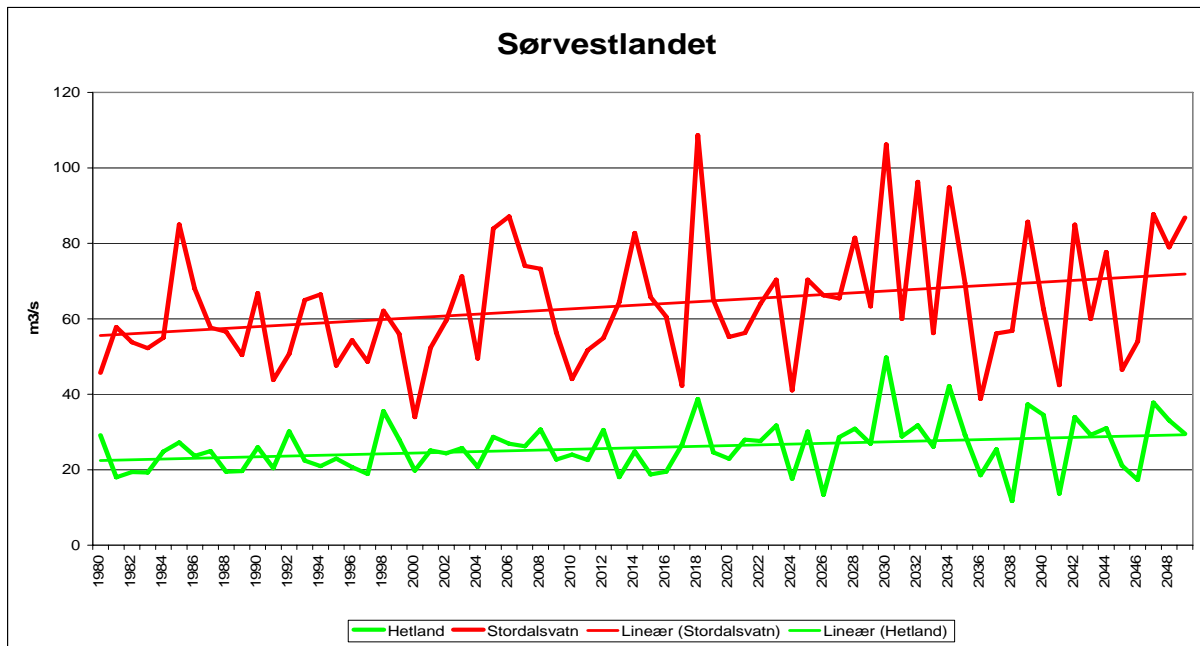
Det er beregnet tidsserier for daglig vannføring for 23 norske nedbørfelt for en kontrollperiode som representerer nåtidsklima og en scenarieperiode som representerer framtidsklimaet basert på klimascenarier. Beregningene er gjort med en romlig fordelt hydrologisk modell som gir tidsserier for hele det norske landarealet med en oppløsning på 1 x 1 km². Det forutsettes at de utvalgte nedbørfeltene representerer naturtilstanden, det vil si at de fleste ikke er påvirket av

reguleringsinngrep. I figur 4.1 er det vist hvor disse nedbørfeltene ligger. For regulerte felt er dataene korrigert for virkningen av reguleringen.

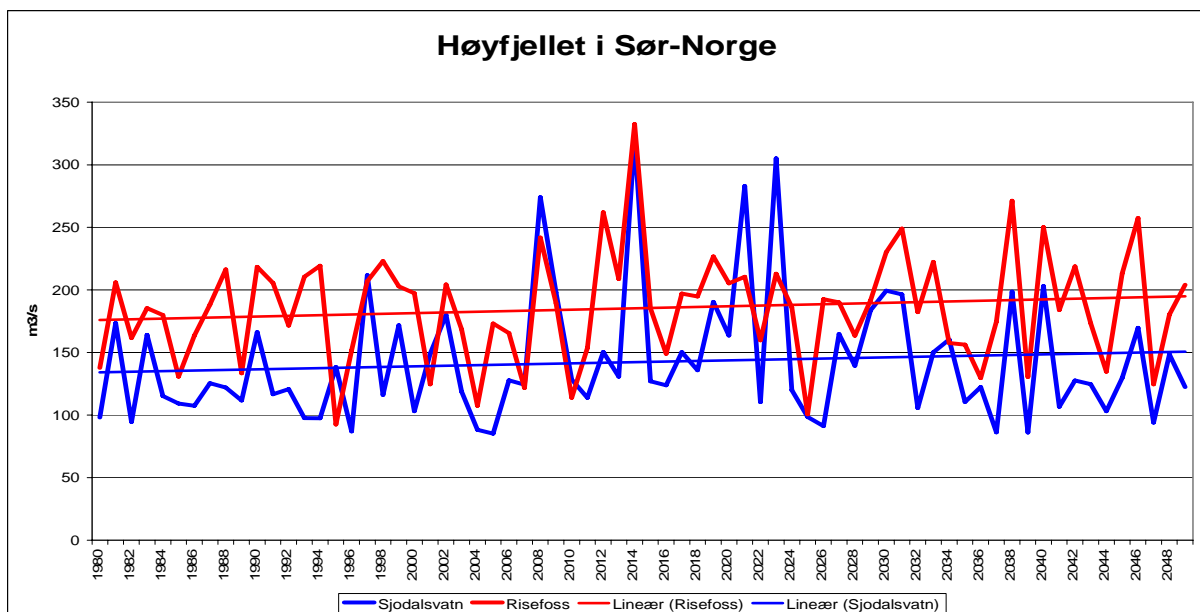


Figur 4.1. Oversikt over nedbørfelt med scenarier for endret avrenning som følge av klimaendringer.

Simulering av endring i daglig vannføring er gjort for perioden 2039-49 med perioden 1980-99 som kontrollperiode basert på utslippsscenarioer IS92A (Roald et al., 2002). En sammenlikning av flomstørrelsene viser at 50-årsflommen vil øke moderat (1-2 prosent) i mange nedbørfelt. Dette bygger på en sammenlikning av to 20-års perioder, som er svært korte tatt den naturlige klimavariabiliteten i betraktning. Basert på en simulering for hele perioden 1980-2049 med gradvis økning i konsentrasjonen av drivhusgasser (transient simulering) finner vi at andre 20-års perioder gir betydelig høyere 50-årsflom enn den siste perioden innenfor de 70 årene beregningene omfatter, som vist i figur 4.2 og 4.3. I figurene er det lagt inn trendlinjer. Mange av de transiente seriene viser en moderat tendens til større årsflommer, men også enkelte år med svært lave flommer selv mot slutten av scenarieperioden. Dette gjenspeiler den naturlige variabiliteten som hele tiden er til stede.

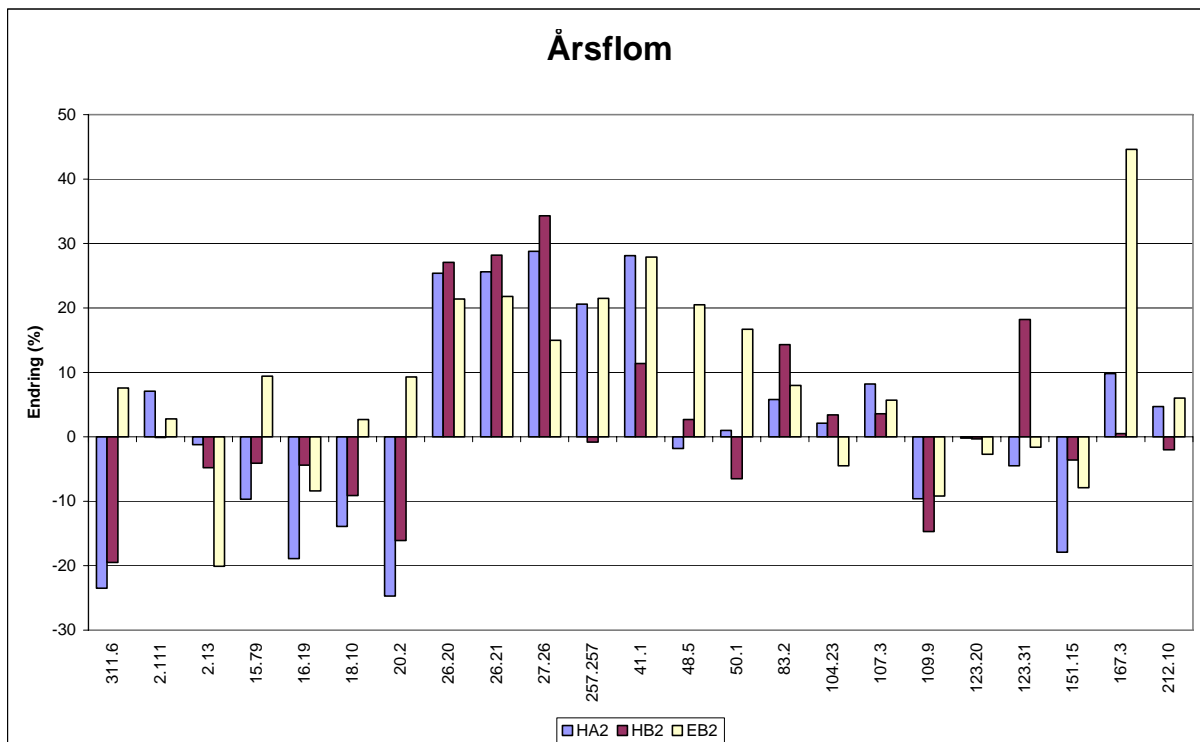


Figur 4.2. Mulige årsflommer i to kystnære vassdrag på Sørvestlandet basert på ECHAM4-modellen og utslippsscenario IS92a.

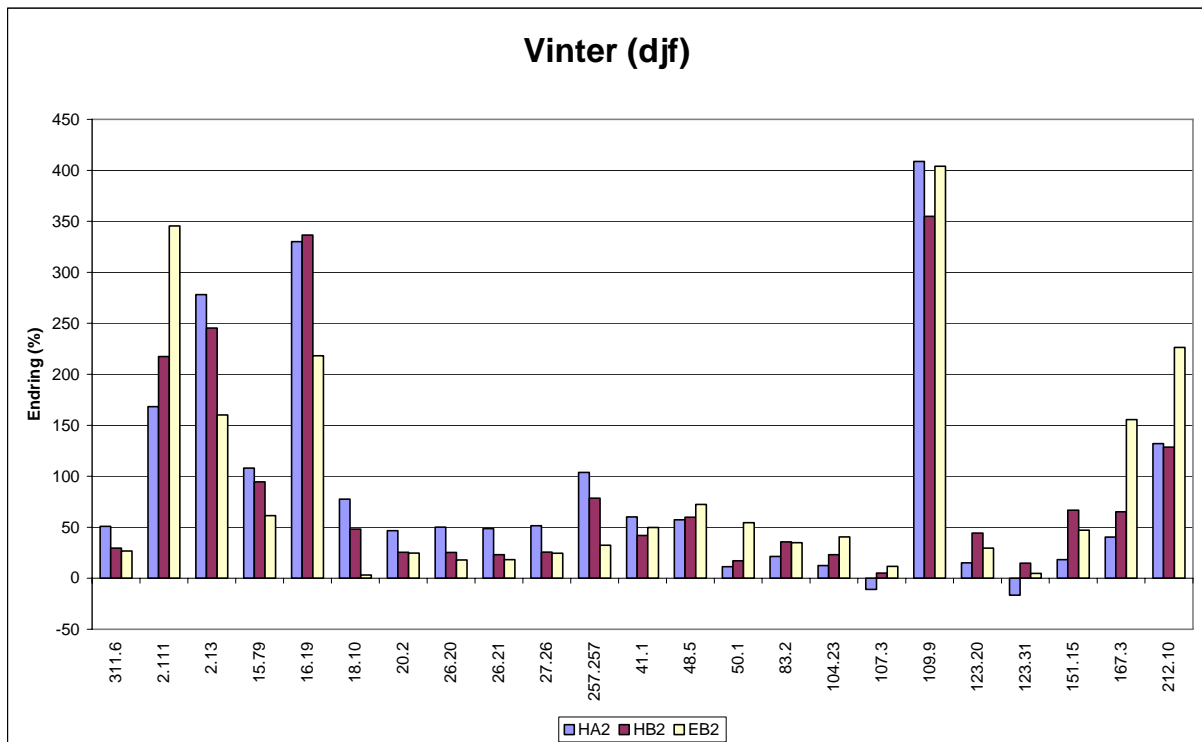


Figur 4.3. Mulige årsflommer i to høyfjellsvassdrag i Jotunheimen og Dovrefjell basert på ECHAM4-modellen og utslippsscenario IS92a. Legg merke til de store flommene fra 2008 til 2024 som illustrerer variabiliteten i scenariene.

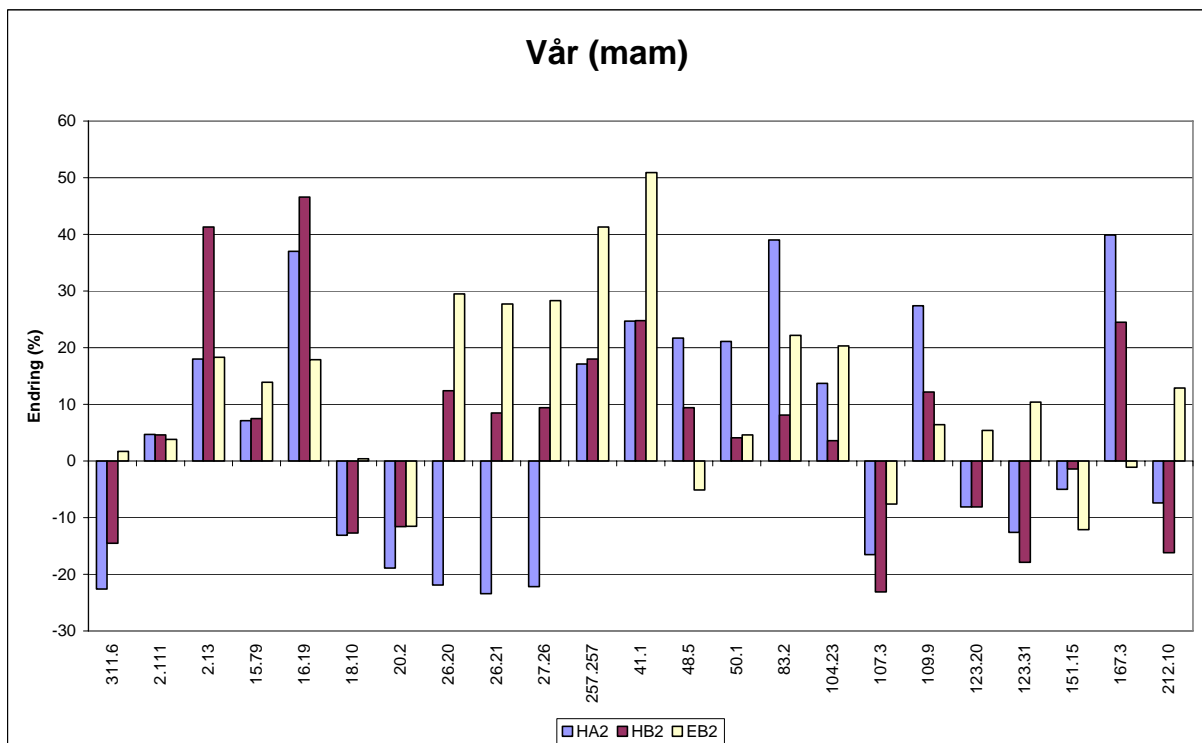
Scenariene for 2071-2100 med 1961-90 som kontrollperiode (Roald et al. 2006) bygger på en forbedret metode for justering av nedskalerte klimadata fra regional klimamodell til klimastasjoner som er grunnlaget for den hydrologiske modellen. Modellen er i tillegg justert slik at den gir bedre simuleringer for de utvalgte nedbørfeltene enn scenariene for 2030-49. Figur 4.4-4.8 viser beregnede endringer i 50-årsflommen i 23 norske nedbørfelt for årsflommen (figur 4.4) og flommene i hver av de fire årstidene (figur 4.5-4.8). Endringene i de største årlige flommene (figur 4.4) er forholdsvis moderate og størst på Sørvestlandet. Vinterflommene (figur 4.5) vil øke over alt som følge av flere mildværsepisoder i vintermånedene. De store prosentvise endringene skyldes at vinterflommene oftest er små i dagens klima, ikke minst i fjellet. Om våren (figur 4.6) vil flommene øke i fjellområder som Jotunheimen, Hardangervidda og Dovrefjell. Dette skyldes at flomtidspunktet forskyves fra tidlig sommer til inn i våren som følge av tidligere snøsmelting. I Trysilvassdraget og på Sørlandet reduseres flommen noe, på Vestlandet er det en moderat økning og i Trøndelag og Nord-Norge spriker resultatene noe. De prosentvise endringene er mindre enn om vinteren. Om sommeren (figur 4.7) avtar flommene i vassdragene i Sør-Norge mens det kan være både større og mindre flommer i Nord-Norge. Om høsten (figur 4.8) vil flommene øke overalt, mest om det moderate B2-scenariet legges til grunn for beregningene.



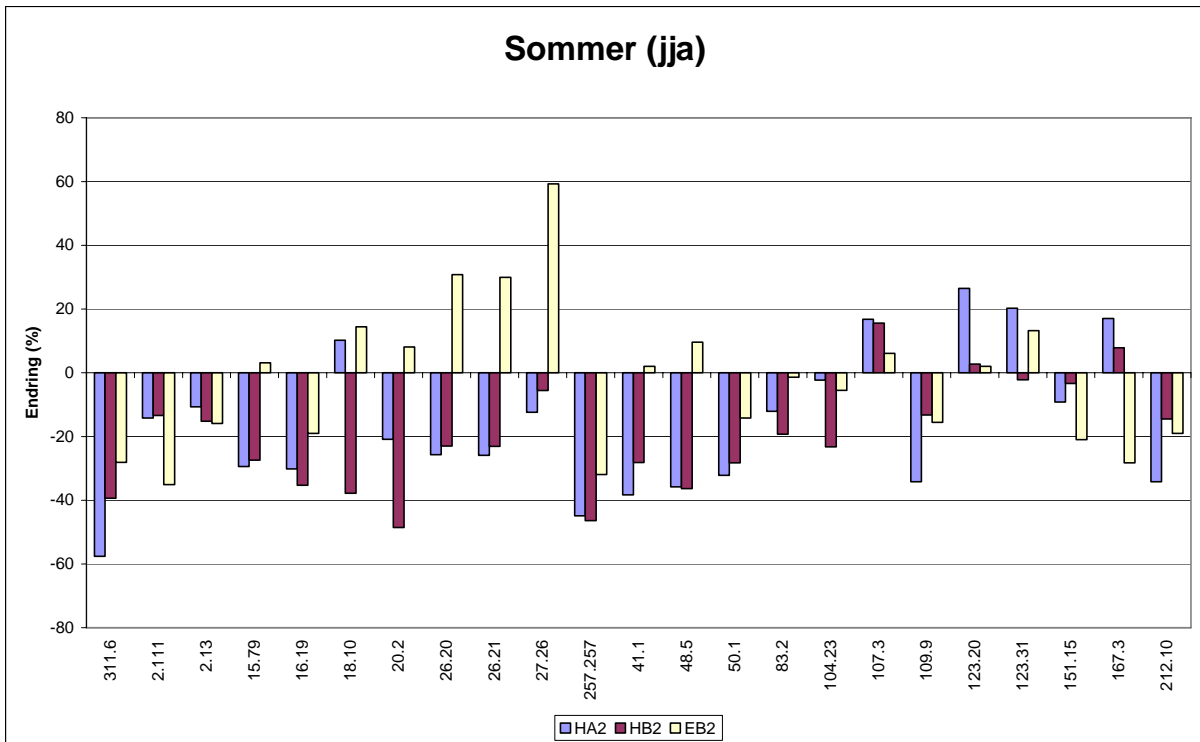
Figur 4.4. Beregnet endring i 50-årsflommen i 23 stasjoner i norske vassdrag. 311.6 er i Trysilelva, 2.111 øverst i Glomma, 2.13 i Sjøa, 15.79 i Numedalslågen på Hardangervidda, 16.19 Møsvatn i Måna, 18.10 i Gjerstadelva, 20.2 i Tovdalselva, 26.20 og 26.21 i Sira, 27.26 i Ognå, 257.257 i Lyse, 41.1 i Etneelv, 48.5 i Opo, 50.1 i Kinso, 83.4 i Gaular, 104.23 i Visa i Vistdal, 107.3 på Fræna, 109.9 i Driva, 123.20 Rathe, i Nidelva, 123.31 Kjelstad i Nidelva, 151.15 i Vefsna, 167.3 i Kobbelv og 212.10 i Alta.



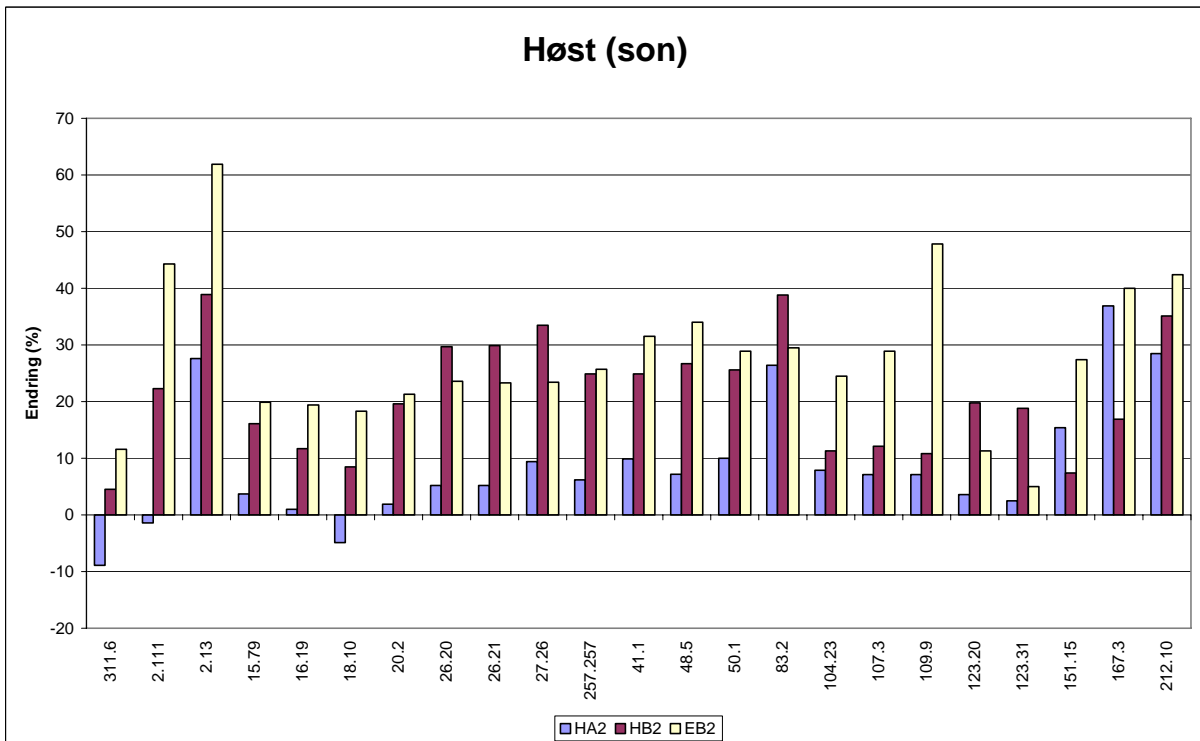
Figur 4.5.. Beregnet endring i 50-års flommen om vinteren i 23 norske vassdrag.



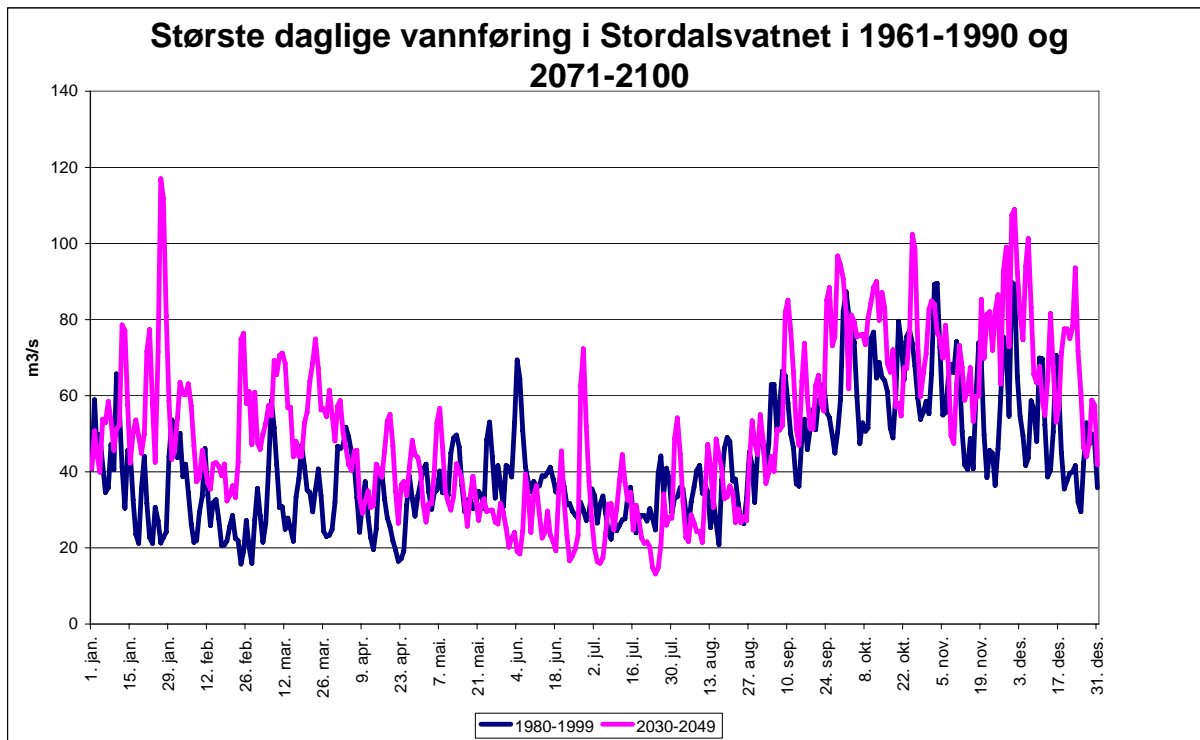
Figur 4.6. Beregnet endring i 50-årsflommen om våren i 23 norske vassdrag.



Figur 4.7. Beregnet endring i 50-årsflommen om sommeren for 23 norske vassdrag.



Figur 4.8. Beregnet endring i 50-årsflommen om høsten i 23 norske vassdrag.



Figur 4.9. Største daglige vannføring i året i Stordalsvatn i Etneelv i kontrollperioden 1961-1990 og i scenarieperioden 2071-2100 basert på utslippsscenario B2. Feltet ligger i Sørvest-Norge, regionen som ser ut til å ha den største økningen i årsflommene.

Figur 4.9 viser endring i største daglige vannføring i året i Stordalsvatnet i Etneelv for kontrollperioden og et scenario basert på B2 (lavt utslippsscenario). Figuren viser at det vil skje en forskyvning av flommene over året mot større flommer på senhøsten og vinteren. Selv om sommerflommene jevnt over blir lavere vil det være enkelte regnflommer på høyde med eller større enn i kontrollperioden.

Sesongfordelingen av flommene blir altså endret vesentlig, men graden av endring avhenger sterkt av høyden over havet. Mens lavtliggende deler av vassdraget kan få et flomregime preget av vinterflommer uten skikkelige vårflommer, vil regimet endres mindre i fjellfelt. Tidspunktet i året en flom kan inntreffe vil likevel utvides mye. Flom kan derfor komme på tidspunkter de i dag ikke forekommer. Tidspunktet for vårflommen forskyves fra vår til inn i vintermånedene i lavlandet nær kysten, og fra sommer inn i vårmånedene i fjellet. Høstflommene vil kunne forekomme senere enn normalt i dagens klima. Dette skyldes forkorting av sesongen med snødekke som følge av høyere temperatur og dermed senere snølegging og tidligere smelting. Vinterflommene blir flere og større, men den store prosentvise økningen i størrelse skyldes at vinterflommene i kontrollperioden var svært små i mange vassdrag. Vårflommen blir større i fjellet, der største snøsmelting kommer på forsommeren. Om sommeren blir flommene mindre som følge av forskyvning av smeltetidspunktet, økt fordampning og markvannsunderskudd. Sterke regnskyll kan likevel bli vanligere om sommeren, men oppløsningen i klimamodellene gjør at slike regnskyll vanskelig kan modelleres. Høstflommene vil øke moderat.

Utslaget av klimaendringer på flomforhold vil avhenge av om vassdraget er regulert eller uregulert. Reguleringer innebærer bruk av magasiner og overføringer for å utjevne tappingen over året. Dette medfører normalt en reduksjon av flommene og en heving av lavvannsføringene. I sterkt regulerte

vassdrag er flomvannføringene redusert i alle år sammenliknet med naturtilstanden, men reduksjonen er minst for de største flommene, spesielt de hvor volumet av smeltevann fra snøen og regnvær er størst. I mindre vassdrag med mange innsjøer kan langvarig regnvær føre til flom selv om nedbøren i enkelt døgn ikke er ekstrem, som i høsten 2000 og i 2006.

Endret arealbruk påvirker også så vel infiltrasjonsegenskapene som skadepotensialet, spesielt der det foregår urbanisering uavhengig av de endringene endret klima medfører. Utbygging av boliger, bedrifter, veier og jernbane på elvesletter fører til økt risiko for oversvømmelser og flomskade uavhengig om flommene blir større som følge av klimaendringer. Ved kysten vil flom i mindre kystvassdrag kunne inntreffe samtidig med stormflo, noe det har vært flere tilfeller av med betydelig skade i senere år.

Hvilke utslag en klimaendring vil medføre for flom og påfølgende naturskade avhenger av egenskapene til hvert enkelt nedbørfelt. Et skadekart vil utgjøre en mosaikk av områder med ulike egenskaper selv innenfor de enkelte vassdragene. Det foreligger oftest lite målinger i de områdene som kan forventes å få de største skadene i et endret klima. Konklusjonene må derfor trekkes på basis av de feltene vi har beregnet scenarier for, i kombinasjon med erfaringer basert på historiske flommer i perioder med klimaforhold som likner på de scenariene indikerer.

4.3 Kan vi forvente ekstremt mye nedbør slik at vassdrag/elver/bekker går over sine bredder og skaper flomsituasjon?

Historiske data viser at intense regnflommer oftest oppstår i varme perioder, slik som den vi nå er inne i. Klimascenariene tilsier at hyppigheten av intense nedbørtilfeller vil øke. Disse inntreffer fra sensommeren til tidlig høst i innlandet på Østlandet, og fra august til juletider på Vestlandet. I kystnære områder nordover til Lofoten strekker perioden med sterke nedbørepisoder seg inn i januar. Store nedbørepisoder forårsaker ikke alltid flom, men dersom bakken er mettet vil flommen likevel gjerne bli stor. Under større nedbørepisoder sent på høsten kan nedbøren falle som snø i deler av nedbørfeltet, og dette vil også føre til at flommen blir liten eller uteblir om ikke temperaturen blir så høy at snøen smelter. Økt hyppighet av større nedbørepisoder vil føre til flere flommer, spesielt dersom temperaturen blir så høy at mer av nedbøren faller som regn.

Regnflom i urbane strøk er årsak til de største årlige skadene forårsaket av flom. Stadig utbygging av nye områder og fortetting av eldre områder fører til økt risiko for skade. Med økende forekomst av intense regnflommer vil dimensjoneringen av avløpssystemer og kulverter i byområder fort vise seg å være for små. Økt nedbørintensitet vil også føre til mer skade i nye hytteområder i fjelliene, der historiske data forteller at det tidligere har vært lokale regnflommer og skred. Adkomstveiene utgjør en særlig fare om ikke kulverter og dreneringssystem er i stand til å ta unna skybrudd.

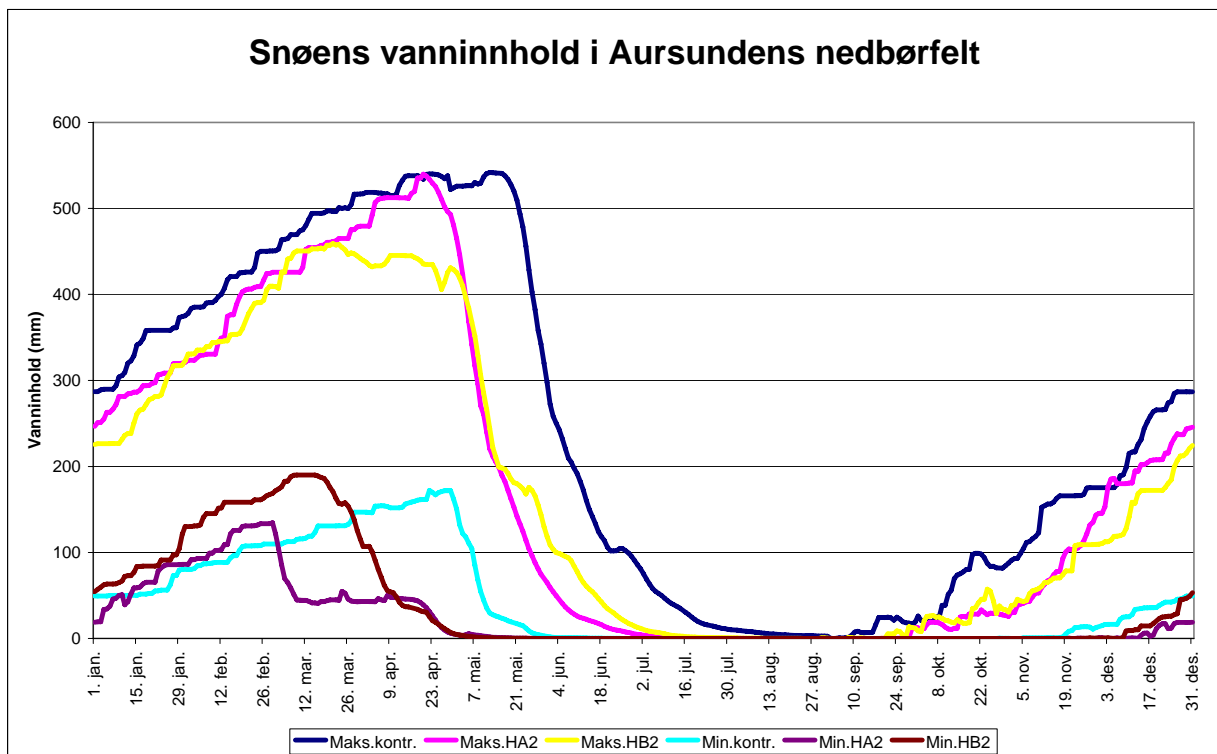
De bratte sideelvene utgjør et spesielt faremoment der de løper sammen med storelver i bunnen av de store dalene på Østlandet, Sørlandet og i Trøndelag. Det ligger tettsteder på elveviftene mange steder. Ved flom og stor massetransport i sideelvene kan dette påføre tettstedene stor skade, som på Tretten ved samløpet mellom Lågen og med Moksa i 1995. Steder som Vågåmo har blitt rammet voldsomt av storflommer i 1340-årene, 1789, 1860 og 1938. Alle disse flommene skyldtes helt eller delvis høy og langvarig nedbørintensitet selv om også snøsmelting bidro i 1789 og 1860. Det har vært lokale regnflommer med stor skade en rekke steder i Norge de siste årene, oftest på sensommeren. Uværet øst for Garmo 30. august i 2006 hadde motstykker i 1938 og spesielt under Storofsen. Skadepotensialet er særlig stort i områder hvor årsnedbøren er lav og elver og bekker ikke er tilpasset slike vannføringer som regnskylle forårsaker. Selv på Vestlandet hvor nedbøren på forhånd er høy, vil flere og større regnflommer i bratte lier føre til økende flomskade. Det samme er tilfelle i kystnære vassdrag i Nordland.

Sikkerheten til dammer kan også påvirkes av klimaendringer. Økt nedbør når magasinene er fylt opp om høsten kan føre til økt fare for overtopping av disse. Med et tilsigsforløp som svarer bedre til energiforbruket gjennom året, spesielt til oppvarming om vinteren, er det mulig at noe av magasinkapasiteten kan utnyttes til flomdempning, men den store år til år variabiliteten i den delen av

tilsaget som kan utnyttes i vannkraftproduksjon gjør at dette ikke er realistisk nå. Om en regnflom kommer på fullt magasin må hele tilløpet passere. I slike situasjoner vil flommen kunne forsterkes i forhold til slik den ville ha vært i uregulerte felt. Dette vil fortrinnsvis kunne skje om høsten og tidlig på vinteren. Sikkerhet av dammer for utvalgte klimascenarier er undersøkt i Sverige og Finland i det nordiske prosjektet *Climate and Energy* (se www.os.is/ce for mer informasjon). Dette vil også bli undersøkt nærmere i oppfølgingsprosjekter for norske magasiner.

4.4 Vil det bli klimaendringer som kan medføre mye snø og deretter rask snøsmelting som igjen kan føre til isgang i vassdrag og/eller en flomsituasjon?

Klimascenariene indikerer at vinternedbøren vil øke. På kort sikt kan dette føre til økt snømengde i høyereliggende innlandsstrøk, men på lang sikt vil også snømagasinet bli redusert i disse områdene (Roald et al., 2006, Vikhamar-Schuler et al., 2006). Endringen i maksimal årlig vannverdi av snøen vil bli noe redusert, men varigheten av snøsesongen vil bli betydelig mer redusert. År til år variasjonen vil likevel være stor. Figur 4.10 viser høyeste og laveste daglige vannekvivalent av snøen i nedbørfeltet til Aursunden øverst i Glomma for kontrollperioden 1961-1990 og for to scenarier basert på utslippssceniariene A2 (høyt) og B2 (lavt). På landsbasis reduseres varigheten av snødekket med 50 til 65 døgn i kystnære områder ved Oslofjorden, 80 til 100 dager i de høyereliggende områdene på Sørvestlandet, 65 til 80 dager i kystmaksimumssonen videre nordover mot Finnmark, med reduksjon på 80 til 100 dager på kysten fra Salten til Finnmark. I innlandet i sør og på Finnmarksvidda reduseres varigheten med 20 til 50 døgn, minst nord på Østlandet.



Figur 4.10. Snøens vanninnhold i Aursundens nedbørfelt. Figuren viser høyeste og laveste vannverdi av snøen for hver dag i året i Aursundfeltet i kontrollperioden 1961-1990 og i scenarieperioden 2071-2100. Resultatene er vist for to utslippssceniariene A2 (høyt) og B2 (lavt). På figuren er høyeste og laveste verdi vist for kontrollserien og de to scenariene. Variabiliteten fra år til år er betydelig, men figuren viser at varigheten reduseres kraftig i scenariene. Figuren viser at maksimalverdien avviker lite mellom de to utslippssceniariene, og at snøsmeltingen avsluttes tidligere i det varme A2-scenariet. I snøfattige år kulminerer snømagasinet tidligere enn i kontrollperioden.

Så vel analysene som erfaring fra de varme 1930- og 1990-årene viser at størrelsen av vårflommen i de store elvene på Østlandet og i Trøndelag vil avta, men at det fortsatt er mulig at enkelte år kan gi stor flom som følge av en og annen snørik vinter. Hvor stor flommen blir avhenger også av reguleringsgrad og av manøvreringen av vassdraget før og under flommen. I 1995 ville flommen vært større i Østerdalen enn under Storofsen i 1789 om det ikke hadde vært noen magasiner i vassdraget og det hadde vært gjennomført forhåndstapping i noen av disse. En forutsetning for å få de aller største flommene i felt som Glomma er at begge hovedgrener av vassdraget, det vil si Østerdalen/Glåmdalen og Vorma/Mjøsa/Gudbrandsdalen bidrar samtidig til flommen. Dette forutsetter at flommen kommer så sent at snøsmeltingen har kommet skikkelig i gang i høyfjellet vest for Gudbrandsdalen. Flommen kom så vidt tidlig under storflommene i 1967 og 1995 at bielvene vest for Gudbrandsdalen bidro lite til flommen. Det var betydelige snømengder igjen i høyfjellet da disse flommene kulminerte. Storflommen i 1860 kom i midten av juni og med høy temperatur og sterk sønnvind selv høyt til fjells, og under Storofsen som inntraff 21.-23. juli 1789, var utvilsomt smeltebidraget meget betydelig i høyfjellet, selv om det meste av flomskadene skyldtes ekstremnedbør og uttallige skred.

Vårflommen vil komme tidligere og det vil være flere mindre vinterflommer som følge av mildvær og regn i lavlandet. Disse kan forårsake betydelig jordtap og kan utløse isganger dersom elven på forhånd er islagt. I de milde vintrene 1988/89 og 1990/91 var det stadige flomhendelser på Østlandet, og de er representative for hva som kan forventes i et varmere vinterklima.

Mindre uregulerte sidefelt kan forårsake lokale skadeflommer om feltet fortsatt er snødekket når kraftig regnvær setter inn tidlig på våren. Dette skjedde flere steder 7.mai 2004 ved Hallingdalselva i Ål, på Rjukan, i Bøverdalen og på Dovre. Med varme og regnvær tidligere om våren vil dette føre til problemer mange steder i de store innlandsdalførene. Dette kan bli vanligere enn før. Slike brå smelteflommer kan inntreffe når vassdraget er islagt. Dette førte til tilstopping av Juvasså i Jotunheimen og nesten brudd på RV55 i Bøverdalen da isdemningen gav etter. På veien inn til Leirvassbu ble en veibro tatt av flommen.

I islagte vassdrag kan det utløses isganger ved rask øking i vannstand og vannføring. Isen vil begynne å drive og mer eller mindre tette til elveleiet. Dette vil forårsake oversvømmelser ovenfor isdemningen. Klimascenariene viser at temperaturen vil øke og at kuldeperiodene om vinteren vil bli kortere og mindre kalde. Det er imidlertid en betydelig år til år variabilitet og derfor fare for fortsatte isganger (Asvall & Kvambekk, 2006). Litt inn fra kysten er det en sone hvor det ofte skifter mellom mildvær og kulde, og hvor isen kan komme og gå flere ganger i løpet av en vinter. Denne sonen vil flytte seg lenger inn i landet og til større høyde over havet. Dette innebærer at isganger kan utløses høyere oppe i vassdraget på steder der det til nå ikke normalt skjer. Etter hvert som ismassene beveger seg nedover elva kan de tette elveløpet på nye steder og forårsake nye oversvømmelser. I innlandet, spesielt i Finnmark, vil det svære små endringer i isgangene i forhold til dagens klima.

Breene vil smelte ned stadig raskere og vil føre til større flommer i breelvene inntil det aller meste av breen er borte (Lappegård et al., 2006). Dette medfører høye vannføringer i elver i Jotunheimen, i Hardanger, rundt Jostedalsbreen, Ålfoten og andre breområder i Sør- og Nord-Norge. Det kan gå nye jøkullhlaup etter hvert som breene blir tynnere, som ved Blåmannsisen i 2001 og 2005 (Engeset et al., 2006).

5 ENDRING I HYPPIGHET AV STORMER OG STORMFLO

Sammendrag

Det er store variasjoner fra år til år og fra tiår til tiår i hyppighet av vind av storm styrke i Norge, men analyser av lange serier av "geostrofisk vind" tyder på at det ikke har vært noen klar trend i stormhyppighet i hav- og kystområdene i Norge siden 1880. Scenariene for endringer i vindforhold de neste 50-100 år gir heller ikke noe entydig resultat, men flere undersøkelser tyder på at de aller kraftigste stormene vil bli mer hyppige i fremtiden.

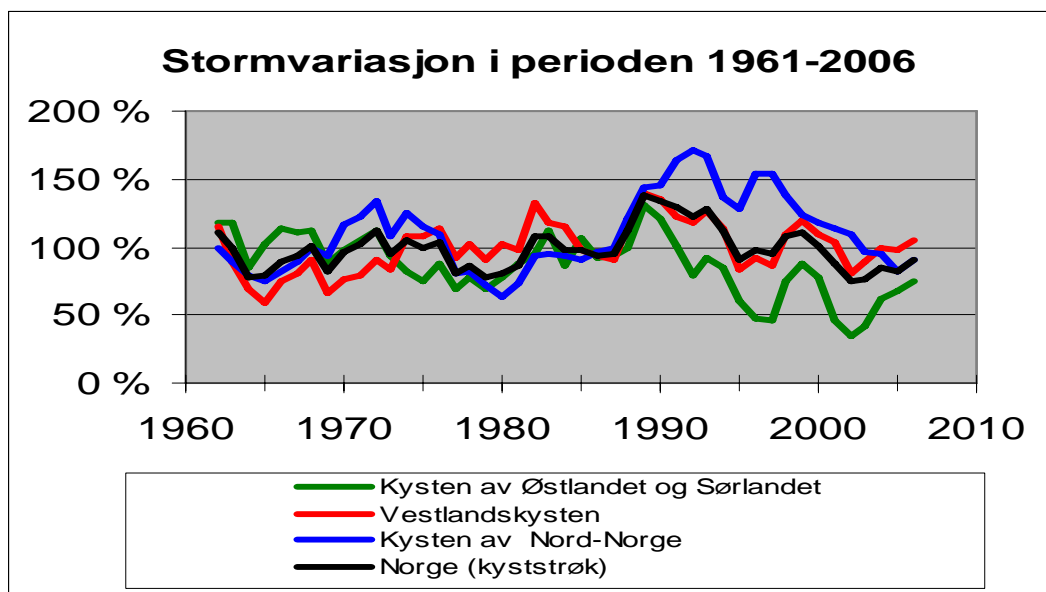
Globale scenarier tyder på at midlere havnivå vil øke på grunn av avsmelting fra isbreer og termisk utvidelse av havvann. RegClim scenariene tyder ikke på betydelige endringer i stormflo-forholdene i våre områder, men det kritiske i denne sammenheng er om den forventede økningen i midlere havnivå langs norskekysten vil bli større enn landhevingen. Dersom havnivået øker med mer enn 25 cm de neste femti årene vil dagens springflo- og stormflo-nivå komme på toppen av en høyere midlere vannstand enn under dagens forhold.

5.1 Kan vi forvente hyppigere tilløp til vind av storm styrke, dvs. mer enn 20.8 m/s?

Rasmus Benestad, Knut Harstveit og Eirik J. Førland, met.no

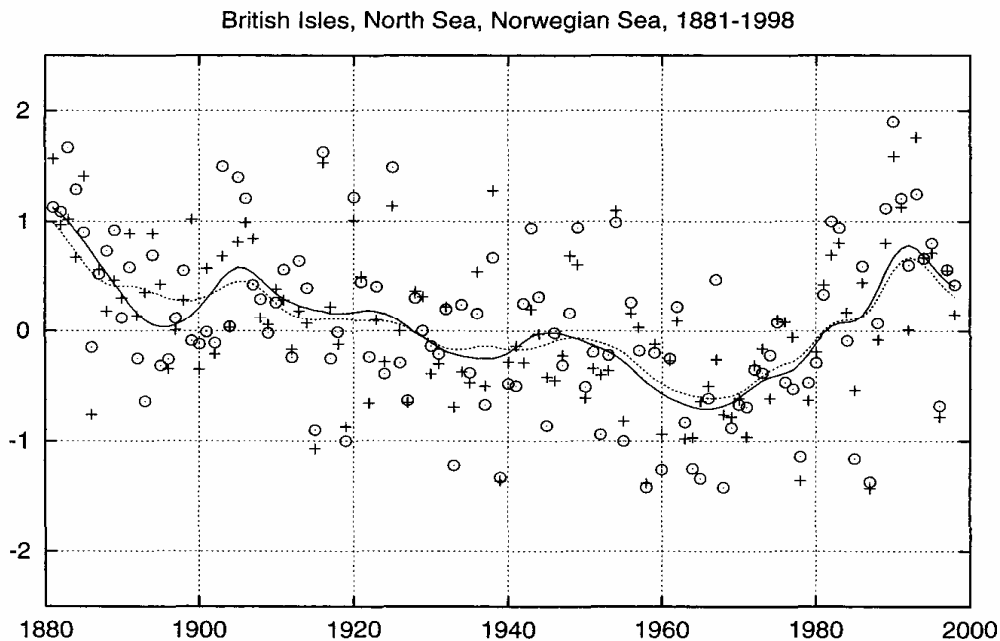
5.1.1 Observerte endringer i stormhyppighet

Det er få lange, homogene serier for vindhastighet i Norge. Figur 5.1 er basert på data fra fire stasjoner i hver av tre norske regioner. Figuren viser at hyppigheten av vind av storm styrke synes å ha sunket over Østlandet i perioden 1960-2002, mens Nord-Norge har en periode omkring 1990 med 50 prosent flere stormdøgn enn middelverdien for perioden 1961-90. På Vestlandet og for landsgjennomsnittet synes en økning frem til ca. 1990 å bli brutt av en fallende tendens de senere år. Hovedkonklusjonen er at vindseriene fra Norge ikke viser noen entydig trend i stormfrekvensen fra 1961 til 2002.



Figur 5.1. Stormvariasjon i perioden 1961-2006. Figuren viser antall stormdøgn i hvert av årene 1961-2006 i prosent av middelverdi for normalperioden 1961-90. Den store variasjonen fra år til år gjør at kurvene er presentert som 3-års glidende middel.

På grunn av mangel på lange, homogene vindserier brukes det ofte i stedet for direkte vindmålinger en såkalt ”geostrofisk vind” beregnet fra lufttrykk ved havoverflaten til å beskrive endringer i vindforhold. I en omfattende undersøkelse av langtidsendringer i geostrofisk vind over Nord-Europa konkluderte Alexandersson et al. (2000) med at det over Nordsjøen og Norskehavet var stor stormhyppighet i perioden 1881-1910, men at hyppigheten i grove trekk avtok frem til ca. 1965 (se figur 5.2). Deretter økte hyppigheten frem til en kulminasjon rundt ca 1990 på om lag samme nivå som hundre år tidligere. Det er verdt å merke seg at siste del av kurven samsvarer bra med hovedtrekkene i figur 5.1. Konklusjonen er at det ikke har vært noen klar trend i stormhyppighet i våre hav- og kystområder siden 1880.



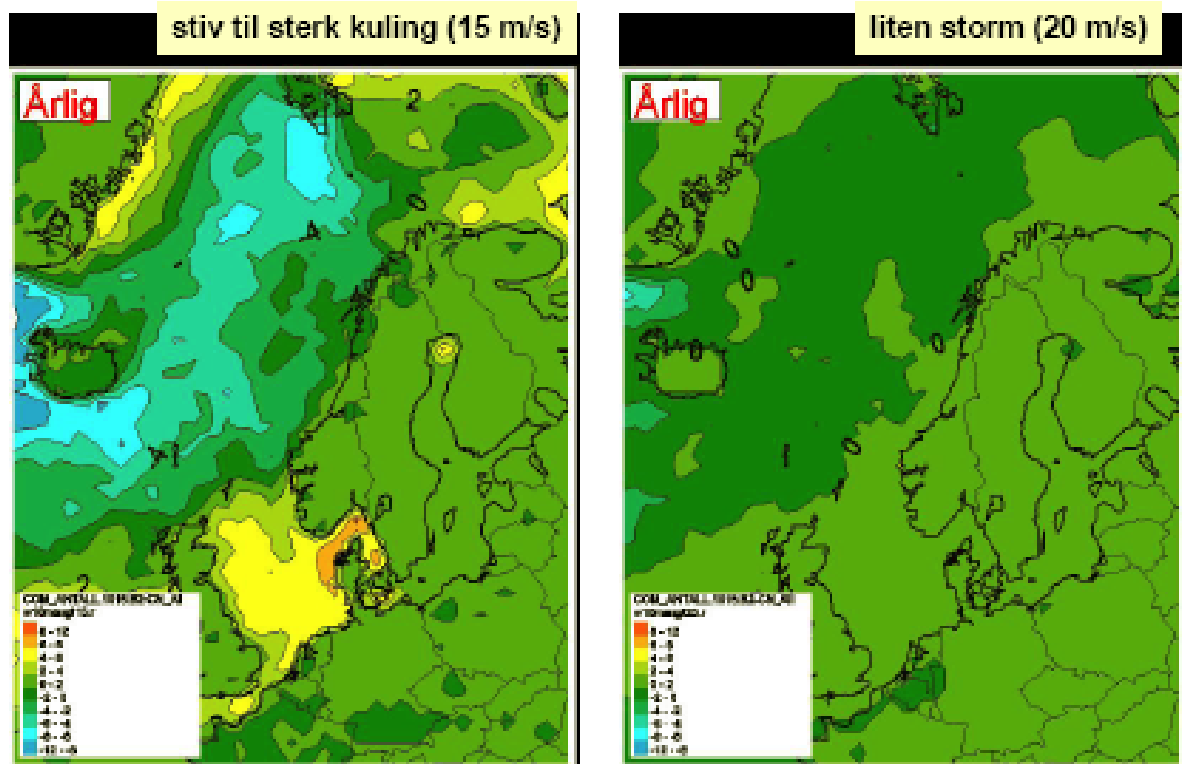
Figur 5.2. Ekstreme vindhastigheter over de Britiske øyer, Nordsjøen og Norskehavet. Middelerverdier av standardiserte 95 (sirkler og heltrukken linje) og 99 (kryss og stiplet linje) persentiler for ekstreme vindhastigheter over de Britiske øyer, Nordsjøen og Norskehavet (fra Alexandersson et al., 2000).

Også Yan et al. (2006) fant en tendens til økning i vindhastigheten over havområdene i Nord-Atlanteren/Nordsjøen i perioden 1958-1998, spesielt om vinteren. En analyse av lavtrykkspaner tyder på at det også har vært en økning i forekomsten av sterke lavtrykk over våre områder de siste 40 årene, og at det samtidig har vært en reduksjon over det europeiske kontinentet (Benestad & Chen, 2006). Hyppigheten av sterk vind og lavtrykkspassasjer over våre områder henger sammen med styrken av det storstilte vestavindsfeltet over Nord-Atlanteren. Styrken av dette feltet er forbundet med den såkalte Nord-Atlantiske Oscillasjonen, ofte referert til som ”NAO”.

5.1.2 Scenarier for endring i ekstreme vindforhold.

Scenarier for endring i vindhastighet er forbundet med større usikkerhet enn de fleste andre klimaelementer. Et vanlig trekk er at geostrofisk vind basert på klimamodellene ikke gir noen god gjengivelse av fordelingen for vindhastighet og at den har en tendens til å undervurdere vindhastighet og endringer i vindhastighet. Dermed vil en gitt grense for vindstyrke som 20,8 m/s (tilsvarende liten storm) ikke være noe godt utgangspunkt. Figur 5.3 tyder på små endringer i hyppighet av kraftige vindstyrker frem til perioden 2071-2100. Analyser ved met.no og en uavhengig studie fra Tyskland (Leckebusch et al., 2006) viser at ulike modeller gir forskjellige svar. Noen antyder en økning i stormaktiviteten mens andre indikerer mindre stormaktivitet over våre områder. Artikkelen til Leckebusch et al. konkluderer imidlertid med at de aller kraftigste stormene vil bli mer hyppige i fremtiden. Denne konklusjonen støttes imidlertid ikke av Bengtsson et al. (2006), som i likhet med Yin (2005) argumenterer med at stormbanene vil flytte seg nordover under en global oppvarming. En slik endring vil ha større betydning lokalt enn endringer i antall stormer globalt sett. Bengtsson et al (2006) estimerer en økning i hyppighet og intensitet av vinterstormer for deler av Sør-Norge, samt en økning i stormaktiviteten i deler av Arktis om sommeren.

Pryor et al. (2005, 2006) utførte empirisk nedskalering av vindhastighet fordeling for ulike fremtidsscenarioer og estimerte kun små endringer for Nord-Europa og tilgrensede havområder. Basert på analyser av flere ulike klimamodeller fant Benestad (2005) ingen entydig indikasjon på verken mer eller mindre aktiv lavtrykksaktivitet over våre områder.

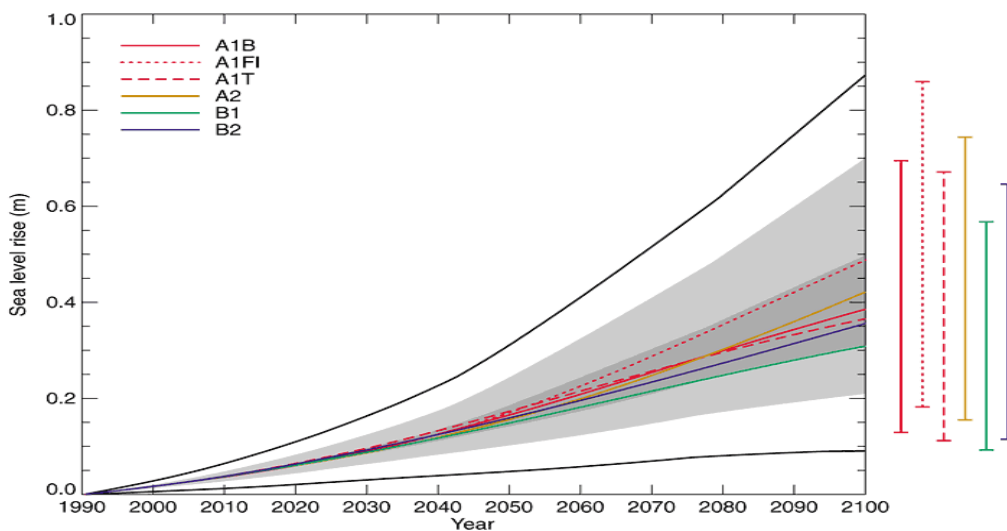


Figur 5.3 Økning i antall dager per år med vind sterkere enn hhv. sterk kuling og liten storm. Figuren er basert på kombinerte data fra Hadley og MPI-modellene med utslippsscenario B2 og viser projiserte endringer fra perioden 1961-90 til perioden 2071-2100.

5.2 Vil det bli økt hyppighet av springflo kombinert med sterk vind, s. k. stormflo?

Joe LaCasce og Jens Debernard, met.no

Det er blitt vurdert hvilke mulige fremtidige endringer som kan forventes i havnivå (SLH, Sea Level Height) langs Norskekysten, både når det gjelder endringer i episoder med stormflo og endringer i midlere havnivå. Analysene er basert på simuleringer fra RegClim-prosjektet og tyder ikke på noen signifikant endring i formen av sannsynlighetsfordelingen av SLH. Dette innebærer at variabilitet og hyppighet av ekstreme stormfloepisoder ikke vil endres signifikant frem mot år 2050. Tidligere analyser antydde en øket hyppighet av ekstreme stormfloepisoder i enkelte regioner, men disse projeksjonene var usikre og varierte med hvilken numerisk modell som var benyttet. Dersom en ser bort fra en forventet økning i midlere globalt havnivå er det derfor ikke klare indisier på mer hyppige stormfloepisoder de nærmeste tiårene.



Figur 5.4. Økning i globalt havnivå fra 1990 til 2100 for 35 klimascenarier benyttet i arbeidet med IPCC 2001-rapporten. Det mørke skraverete området indikerer spredningen for middelverdiene av simuleringene og det lysere området viser spredning fra alle scenariene. De ytterste kurvene tar også hensyn til usikkerhet i endringer i landis fordeling, permafrost og sedimentavsetning, men ikke til endringer i den Vest Antarktiske shelfen (Fra IPCC, 2001a).

Figur 5.1 viser IPCCs scenarier for endring i midlere globalt havnivå frem til år 2100. De regionale resultat fra IPCC (2001a) tyder på at midlere havnivå kan øke med mellom 0,03 og 25 cm langs Norskekysten i løpet av de neste 50 år. Nyere analyser, som tar hensyn til økte estimater av avsmelting fra isen på Grønland og i Antarktis, antyder at havnivåøkningen kan bli det dobbelte av dette, det vil si opp til 50 cm. I våre områder vil konsekvensene av havnivåøkningen bli motvirket av at landområdene i Skandinavia fortsatt stiger etter nedpressingen under istiden. Dette vil løfte kystområdene med 5-25 cm. Følgelig vil det med en generell havnivåøkning på 25 cm bli liten endring i vannstand langs store deler av kysten vår de neste 50 år. Men hvis isavsmeltingen blir stor, slik at havnivået stiger med 50 cm eller mer, vil det bli en betydelig økning i vannstand langs hele Norskekysten.

Lokalitet	1980/1999 (cm)	2030/2049 (25 cm) (cm)	2030/2049 (50 cm) (cm)
Oslo	69	75	100
Mandal	52	70	95
Bergen	56	75	100
Kristiansund	105	120	145
Bodø	134	144	169
Nordkapp	93	109	134

Tabell 5.1. Verdier for 99 persentil for stormflonivå langs Norskekysten. Scenariene for 2030-2049 er basert på MPI-IS92a simuleringer, med to estimater av økning i midlere havnivå (25 og 50 cm) i løpet av de neste 50 år. Verdiene er korrigert for forventet landheving i 50 års perioden: Oslo: 20 cm, Mandal og Bergen: 5cm, Kristiansund: 10 cm, Bodø: 15 cm og Nordkapp: 10 cm.

Tabell 5.1 viser at dersom havnivået langs Norskekysten øker med 50 cm, vil det i ekstreme stormflo episoder 30-50 år fremover i tid kunne bli 30-45 cm høyere vannstand enn nivået i perioden 1980-1999. Det er verd å merke seg at dette betyr at vannstander som i dag oppleves problematiske vil forekomme langt hyppigere ved en stor heving av middelvannstanden. Likevel forventes ikke de virkelige ekstreme situasjonene å bli mye høyere enn det man får ved å ta dagens ekstremisituasjoner og så legge til hevingen i middelvannstand.

6 ENDRING I HYPPIGHET AV SKRED: Vil faren for ulike typer skred øke?

Kalle Kronholm¹, Christian Jaedicke¹, Kari Sletten² og Knut Stalsberg²

¹ ICG/NGI

² NGU

Sammendrag

På bakgrunn av utførte analyser kan vi lage en kvantitativ vurdering av forventede endringer i hyppigheten av de analyserte skredene. Denne vurdering beskriver endringen for alle skredtyper og må ses som en vurdering basert på foreløpige data. I en del regioner foreligger det ikke nok data til en sikker vurdering. I den største regionen med innlandsklima, samt de nordlige kystregionene, forventes det en liten øking i hyppigheten av skred. I de sørlige kystregionene forventes det en moderat til sterk øking i hyppigheten av skred.

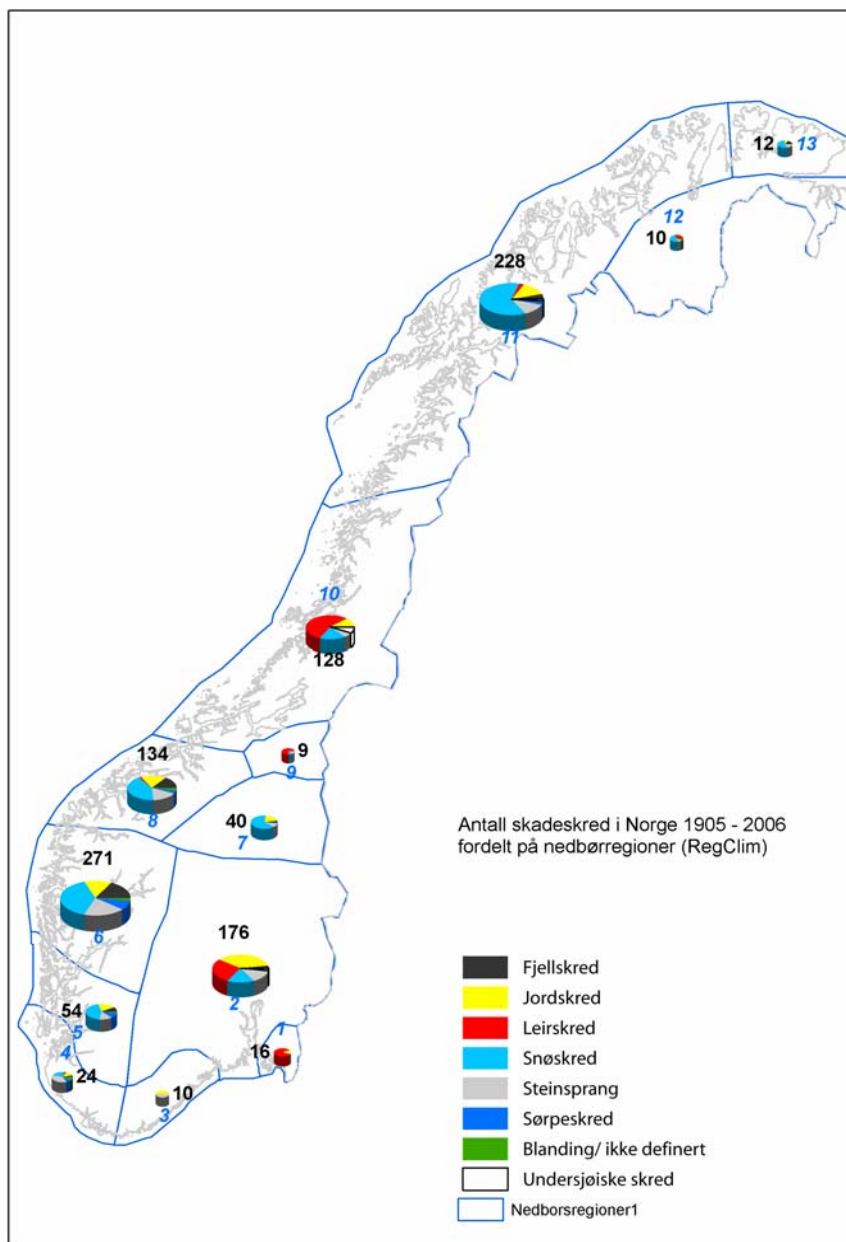
6.1 Regional fordeling av skredulykker.

Denne analysen er basert på Nasjonal skredatabase (www.skrednett.no) som inneholder nedtegnelser om ca 3400 skred i Norge fra år 900 og fram til i dag. Arkivet er basert på skrevne kilder som avisartikler, kirkebøker, bygdebøker og lignende (Furseth, 2006). Dette innebærer at det stort sett er hendelser av økonomisk betydning som er registrert i arkivet. Av svært gamle nedtegnelser (rundt år 900 e. Kr.) finnes bare noen få, men antall hendelser pr. år stiger jevnt fra år 1600 og etter 1850 er det et jevnt nivå på antall skredulykker pr. år. For å unngå at endringer i bosettingsmønster skal ha innflytelse på resultatet har vi valgt å fokusere på de siste 100 år. Vi ser også at antall ulykker pr år i denne perioden er ganske konstant.

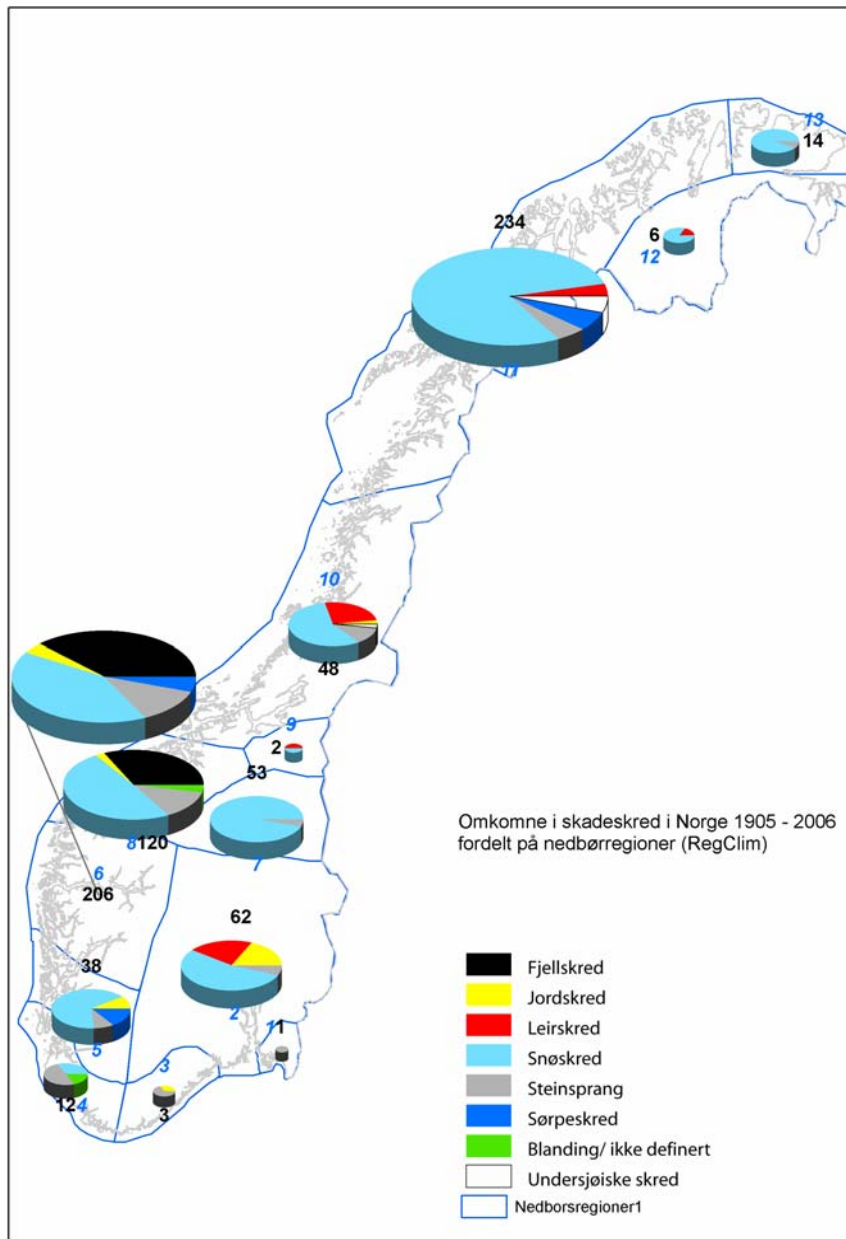
De historiske kildenes natur innebærer at det stort sett er hendelser av økonomisk betydning som er registrert i arkivet. Likevel har vi plukket ut to datasett:

- 1) Alle skadeskred (registrert skade på bygninger, veier, jernbane, husdyr, båter, kjøretøy, dyrkningsjord eller skog), til sammen 1112 hendelser.
- 2) Alle skred mot bygninger (registrert skade på hus og eller omkomne i hus), til sammen 413 hendelser.

Totalt for landet er det snøskred som er den hyppigste registrerte skredtypen og som krever flest menneskeliv. Fordelingen av antall omkomne på skredtype samsvarer stort sett med den relative hyppigheten av skredtypene. Unntakene fra dette er Vest-Norge der et lite antall fjellskred har krevd mange menneskeliv (Figur 6.1 og 6.2).



Figur 6.1. Antall skadeskred i Norge siste 100 år pr region fordelt mellom de ulike typer skred.



Figur 6.2. Antall omkomne i skadeskred pr region de siste 100 år fordelt mellom de ulike typer skred.

6.2 Endringer og variabilitet av skredfrekvens i tiårene siden 1960

Data om hyppighet av skred er hentet fra en database bestående av de fleste registrerte skredhendelser i Norge og er samlet fra Statens vegvesen, NGI og NGU. Totalt inngår 17 362 skredhendelser i analysen (Jaedicke et al., 2006). Det er en økning i registrerte skredhendelser fra 133 det første tiåret til 8190 i perioden 2000 – 2006. Siden graden av innrapportering har økt eksponentielt samt utbygging i potensielt skredutsatte områder har økt i perioden fra 1960, antar vi at endringene i skredfrekvens som skyldes naturgitte forhold for en stor del er skjult av manuelle og samfunnsmessige forhold. Det sterkeste klimarelaterte signalet som ble observert er svak relativ økning i våte snøskred og sørpeskred i forhold til tørre snøskred. Dette kan indikere en økning i frekvensen av mildværsperioder og kraftige

regnskyll samtidig med at det er snø på bakken. Til tross for denne observasjonen må de fleste variasjonene i datasettet tilskrives menneskelige og sosioøkonomiske effekter.

6.3 Vurdering av sammenhengen mellom vær og forskjellige typer skred, basert på historiske hendelser

6.3.1 Datagrunnlag

Skredhendelsene er gruppert i 13 geografiske regioner basert på nedbørsforhold (Figur 6.3). Hver enkelt skredhendelse ble analysert med hensyn på værforhold på utløsningstidspunktet og i perioden før. Døgnverdier og verdier summert over flere døgn (såkalte "meteorologisk elementer") ble analysert for å finne deres betydning for utløsning av skred. I analysen inngikk verdier med temperatur, vind og nedbør. En oversikt over de meteorologiske elementene som viste seg å ha innvirkning på utløsning av skred er gitt i Tabell 1. Følgende tre datasett ga meteorologisk input: To landsdekkende datasett fra 1961 og fram til i dag med daglige verdier for henholdsvis temperatur og nedbør for hver 1x1 km², samt et tredje datasett med modellert vindstyrke og vindretning 10 meter over bakken for hver 250x250 km². Vintersesongen ble definert til å vare fra 1. november til 31. mai.

6.3.2 Typer skred

Denne analysen har sett på endringer i frekvenser for tre hovedtyper av skred; snøskred, jordskred og steinsprang/steinskred.

6.3.3 De viktigste meteorologiske faktorer som påvirker utløsning av snøskred

Til sammen 6531 snøskred ble analysert og gruppert i 13 ulike nedbørregioner (Figur 6.4). Bare for et lite antall har man skilt mellom våte og tørre snøskred ved registrering, og derfor er alle hendelsene behandlet samlet i denne analysen.

Langs kysten av Sør-Norge (region 5, 6, 8 og 10) er det mengden nedbør på skreddagen som er den viktigste utløsningsfaktoren, mens det for kystområdene i Nord-Norge (region 11 og 13) er maksimum vindstyrke på skreddagen som er viktigst. De tre viktigste parametrene for utløsning av snøskred for hver region er gjengitt i Figur 6.5.

6.3.4 De viktigste meteorologiske faktorer som påvirker utløsning av jordskred

Totalt utgjorde 1136 registrerte jordskred grunnlaget for analysen (Fig. 6.6). Det er ikke mange nok hendelser som har detaljerte nok opplysninger til at det lot seg gjøre å gjennomføre separate analyser for undertyper av jordskred. For få hendelser er registrert i region 12 for en statistisk analyse.

Langs mesteparten av kysten, bortsett fra lengst i nord og lengst i sør, er nedbørsmengden på skreddagen den viktigste faktoren (Fig. 6.7). I de sørligste områdene (region 3,4 og 5) er også nedbørsmengden viktigst, men her er det summen i løpet av de siste 10 eller 30 døgn som er avgjørende. Lengst i Nord (region 13) var det bare temperatur som utgjorde en forskjell i forhold til hvorvidt jordskred ble utløst eller ikke. Dette resultatet er sannsynligvis knyttet til frigjøring av vann på grunn av snøsmelting.

6.3.5 De viktigste meteorologiske faktorer som påvirker utløsning av steinsprang/steinskred

Totalt 6873 hendelser dannet grunnlaget for analysen (Fig. 6.8). Det er ikke skilt mellom store og små skredvolum i analysen. Langs kysten er de viktigste meteorologiske faktorene svært like for utløsning av henholdsvis steinsprang/steinskred og jordskred, bortsett fra i regionene 3 og 4 lengst sør. Her er det henholdsvis nedbørsmengden de tre siste døgnene forut for skredet og summen av daglige gjennomsnittstemperaturer over 0 grader i sesongen som er viktigst (Fig. 6.9).

6.3.6 Konklusjon vedrørende meteorologiske faktorer

Intens, kortvarig nedbør er den faktoren med størst betydning for utløsning av de skredene som er med i analysen. For kystområdene er det nedbør på skreddagen som er viktigst, mens det for innlandsområdene er total nedbørmengde de siste tre til ti døgn som er mest avgjørende. De nest viktigste utløsningsfaktorene er henholdsvis dagtemperatur for steinsprang og jordskred, og vindstyrke for snøskred.

6.4 Kvantifisering av endringer i skredfrekvens og skredtyper på bakgrunn av forventede klimaendringer

Registreringene som nå foreligger i skreddatabasen inneholder generelt ikke nok detaljer. Dette kombinert med usikkerheten i de statistiske metodene og begrensningene i data som foreløpig er tilgjengelig fra RegClim, gjør at det ikke er mulig å kvantifisere forventede endringer i skredfrekvens nå.

6.4.1 Beskrivelse av forventede regionale forskjeller ved eventuelle endringer

Hyppigheten av snøskred i et endret klima

Den lave presisjonen i de statistiske modellene utelukker en presis beregning av framtidens hyppighet av snøskred. Med bakgrunn i RegClim-data antar vi imidlertid en økning i nedbørmengden i de fleste regioner, men viktigere enn det er en forventet økning i antall enkeltdager med mye nedbør, spesielt langs kysten. I tillegg til dette forventes det en økning i antall dager med vindstyrke over 15 m/s på kysten av Nord-Norge, Sørlandet og indre strøk av Sør-Norge. Dette vil medføre økt hyppighet av snøskred for regionene 2, 11, 12 og 13 som følge av økt vindtransport av snø.

Ut fra meteorologiske faktorer alene forventes det altså en økning i hyppigheten av snøskred de neste 100 år. Andre naturlige faktorer som hevning av tregrensen og kraftigere skog er ikke tatt i betraktning her.

Hyppigheten av jordskred i et endret klima

Som for snøskredhyppighet har økningen i enkeltdøgn med mye nedbør betydning for endringen i hyppigheten av jordskred. Langs kysten fra Nord-Norge til Vestlandet forventer vi at skredhyppigheten vil øke mest, da det er her kortvarig og kraftig nedbør er den viktigste utløsningsfaktoren og samtidig vil øke mest. Det antas imidlertid at hele landet vil oppleve flere enkeltdøgn med kraftig nedbør og påfølgende økt hyppighet av jordskred.

Hyppighet av steinsprang i et endret klima

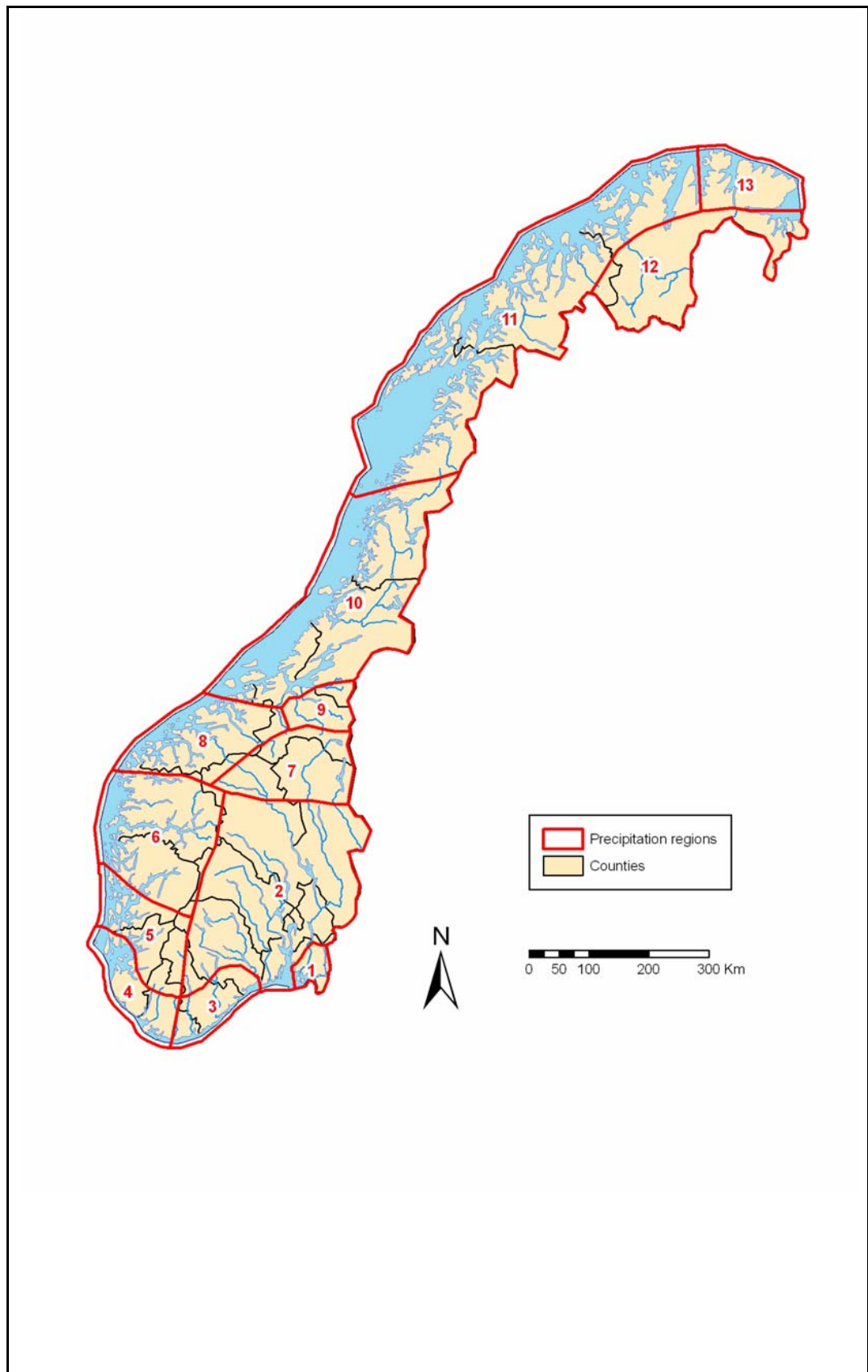
Økningen i antall enkeltdøgn med kraftig nedbør vil føre til en økning i hyppigheten av steinsprang, og dette vil slå spesielt ut langs kysten. Som for jordskred er dette en kombinasjon av forventede regionale klimaendringer og i hvilke regioner denne værtypen har størst betydning for utløsning av steinsprang. Denne analysen har ikke tatt i betraktning ikke-meteorologiske faktorer som kan redusere hyppigheten og skadene av steinsprang.

Hyppighet av skred i et endret klima

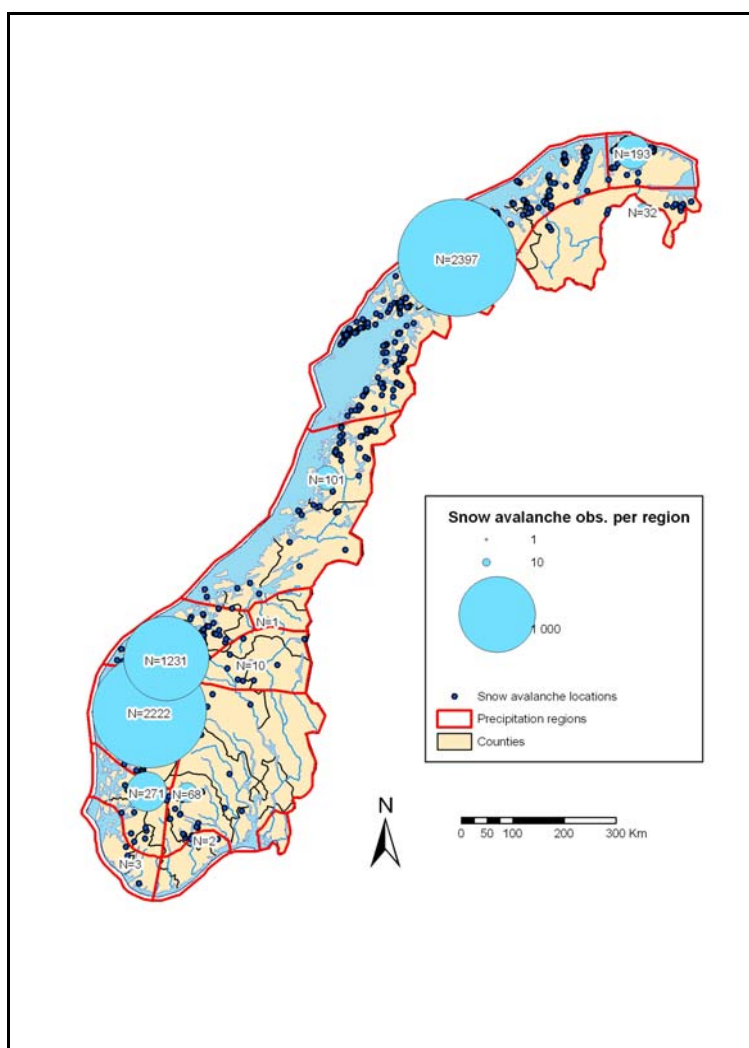
På bakgrunn av analysene kan vi lage en kvantitativ vurdering av forventede endringer i hyppigheten av de analyserte skred. Denne vurdering beskriver endringen for alle skredtyper og må ses som en vurdering basert på foreløpige data (Fig. 6.10). I en del regioner (1, 3, 7, 9 og 12) foreligger det ikke nok data til en sikker vurdering. I den største regionen med innlandsklima (2), samt de nordlige kystregionene (11 og 13) forventes det en liten økning i hyppigheten av skred. I de sørlige kystregionene (4, 5, 6, 8 og 10) forventes det en moderat til sterk økning i hyppigheten av skred.

Tabell 6.1: Forklaring av forkortelser av de viktigste meteorologiske utløsningselementer.

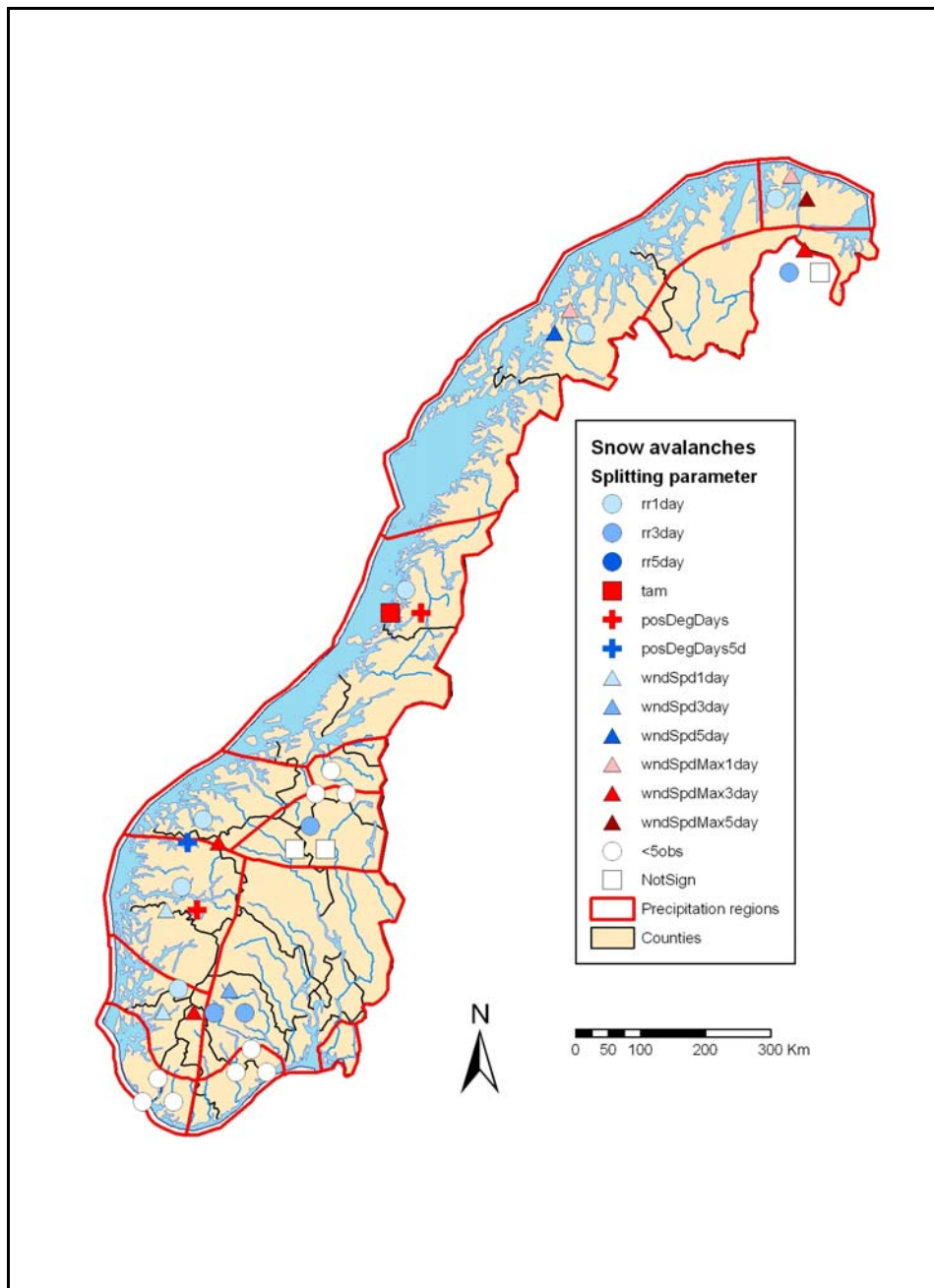
Forkortelse	Beskrivelse
rr1day	Nedbør på skreddagen
rr3day	Summert nedbør de siste tre (3) døgn før skreddagen
rr5day	Summert nedbør de siste fem (5) døgn før skreddagen
rr10day	Summert nedbør de siste ti (10) døgn før skreddagen
rr30day	Summert nedbør de siste tretti (30) døgn før skreddagen
rr60day	Summert nedbør de siste seksti (60) døgn før skreddagen
rr90day	Summert nedbør de siste tre døgn før skreddagen
tam	Døgnets gjennomsnittstemperatur
tam7d	Gjennomsnittstemperatur over syv (7) dager
tam30d	Gjennomsnittstemperatur over tretti (30) dager
posDegDays	Positive graddager siden begynnelsen av sesongen
posDegDays5d	Positive graddager de siste fem (5) døgn før skreddagen
negDegDays5d	Negative graddager de siste fem (5) døgn før skreddagen
wndSpd1day	Gjennomsnittlig vindhastighet på skreddagen
wndSpd3day	Gjennomsnittlig vindhastighet de siste tre (3) døgn før skreddagen
wndSpd5day	Gjennomsnittlig vindhastighet de siste fem (5) døgn før skreddagen
wndSpdMax1day	Maksimum vindhastighet på skreddagen
wndSpdMax3day	Gjennomsnittlig maksimal vindhastighet de siste tre (3) døgn før skreddagen
wndSpdMax5day	Gjennomsnittlig maksimal vindhastighet de siste fem (5) døgn før skreddagen



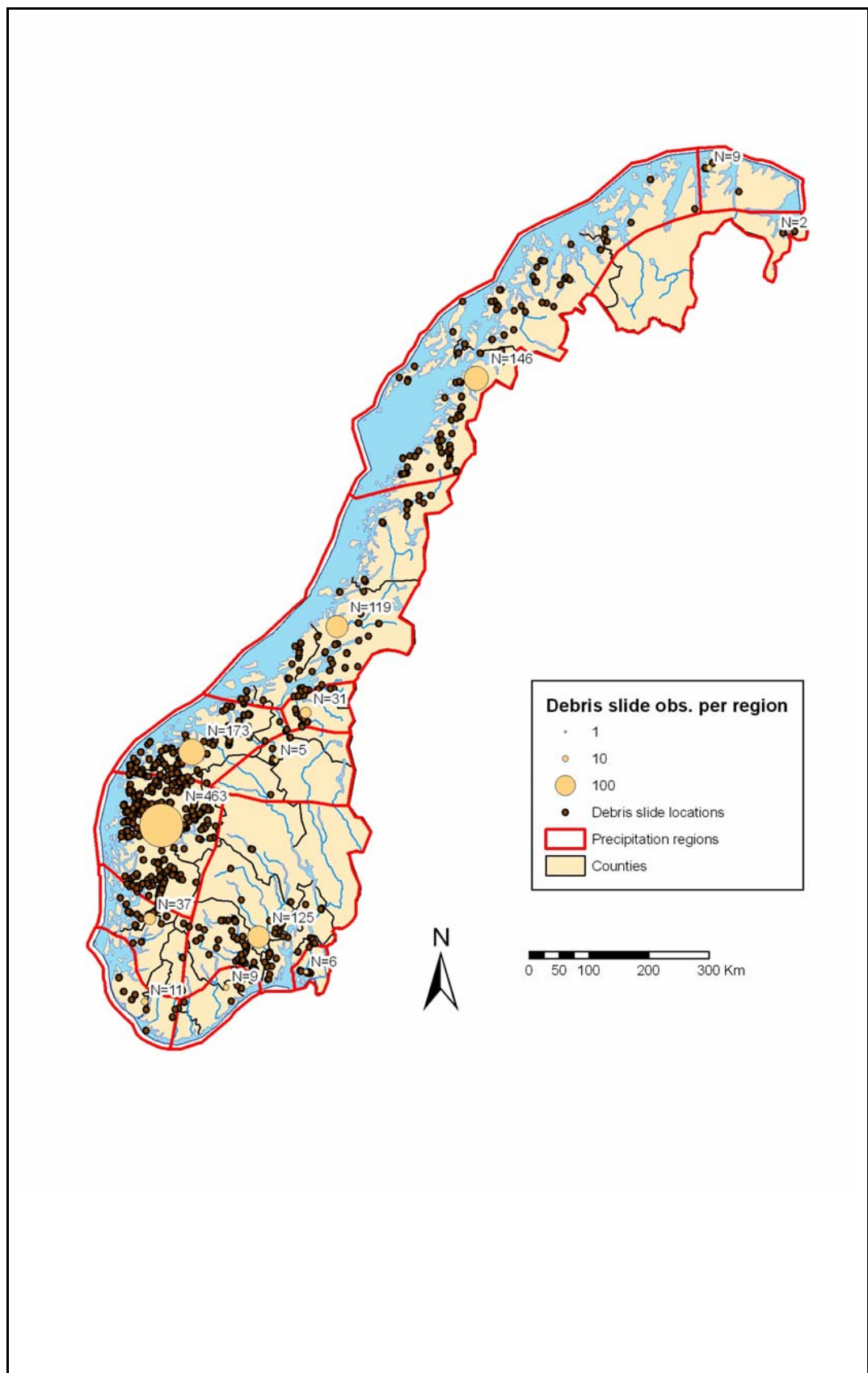
Figur 6.3. Nedbørregioner brukt av met.no og i denne analysen.



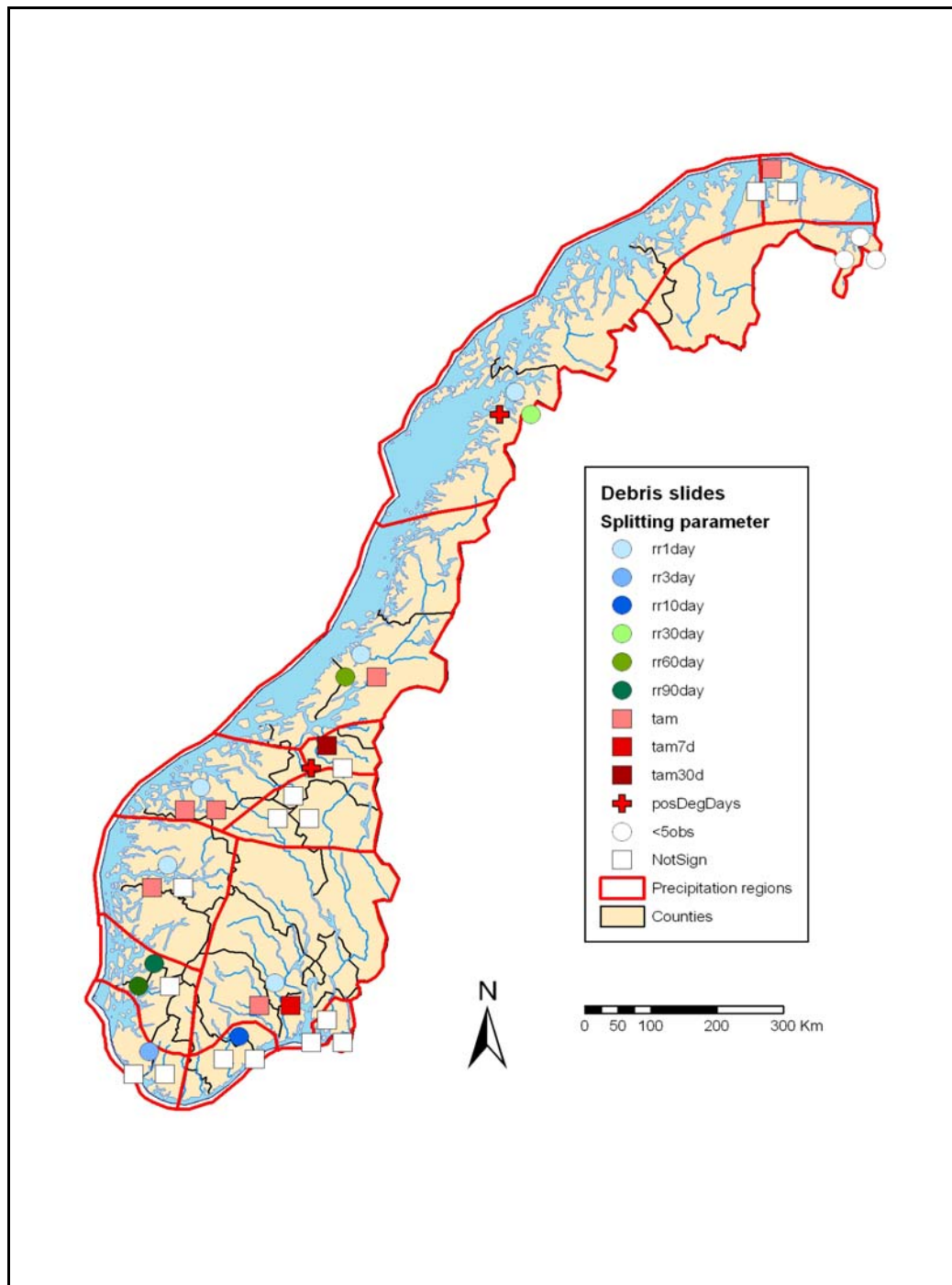
Figur 6.4. Registrerte snøskred (mørkeblå sirkler) og antall snøskred i hver nedbørregion (blå sirkel skalert med antallet).



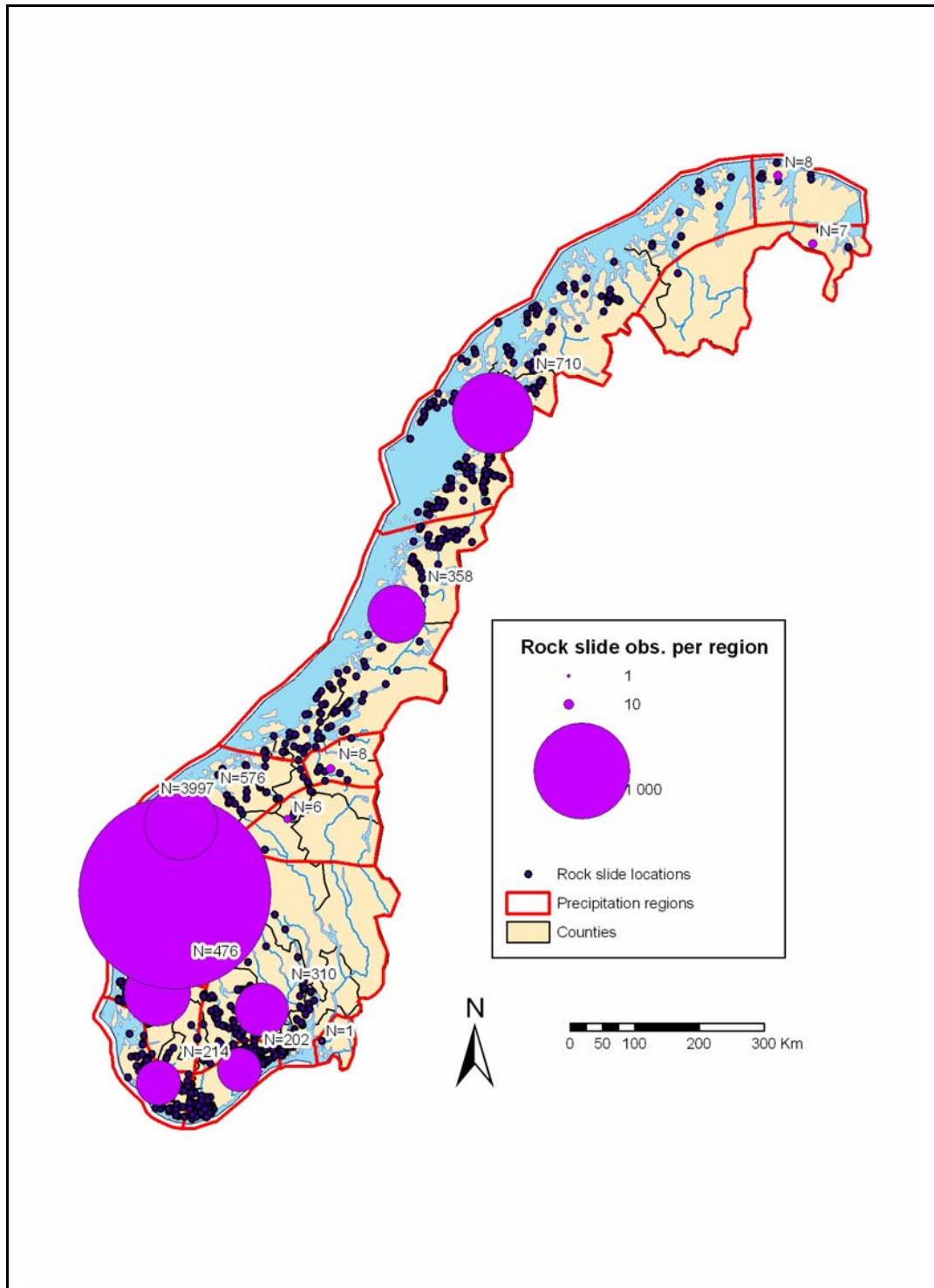
Figur 6.5. Viktigste meteorologiske utløsningselementer for snøskred i hver nedbørregion. I hver region er det viktigste elementet illustrert med det øverste symbolet, det nest-viktigste element med det venstre symbolet og det tredje-viktigste element med det høyre symbolet. Forkortelsene er forklart i Tabell 6.1. Hvit sirkel angir regioner med for få observasjoner til å gjøre analyse. Hvit firkant angir at analysen ikke ga signifikante resultater.



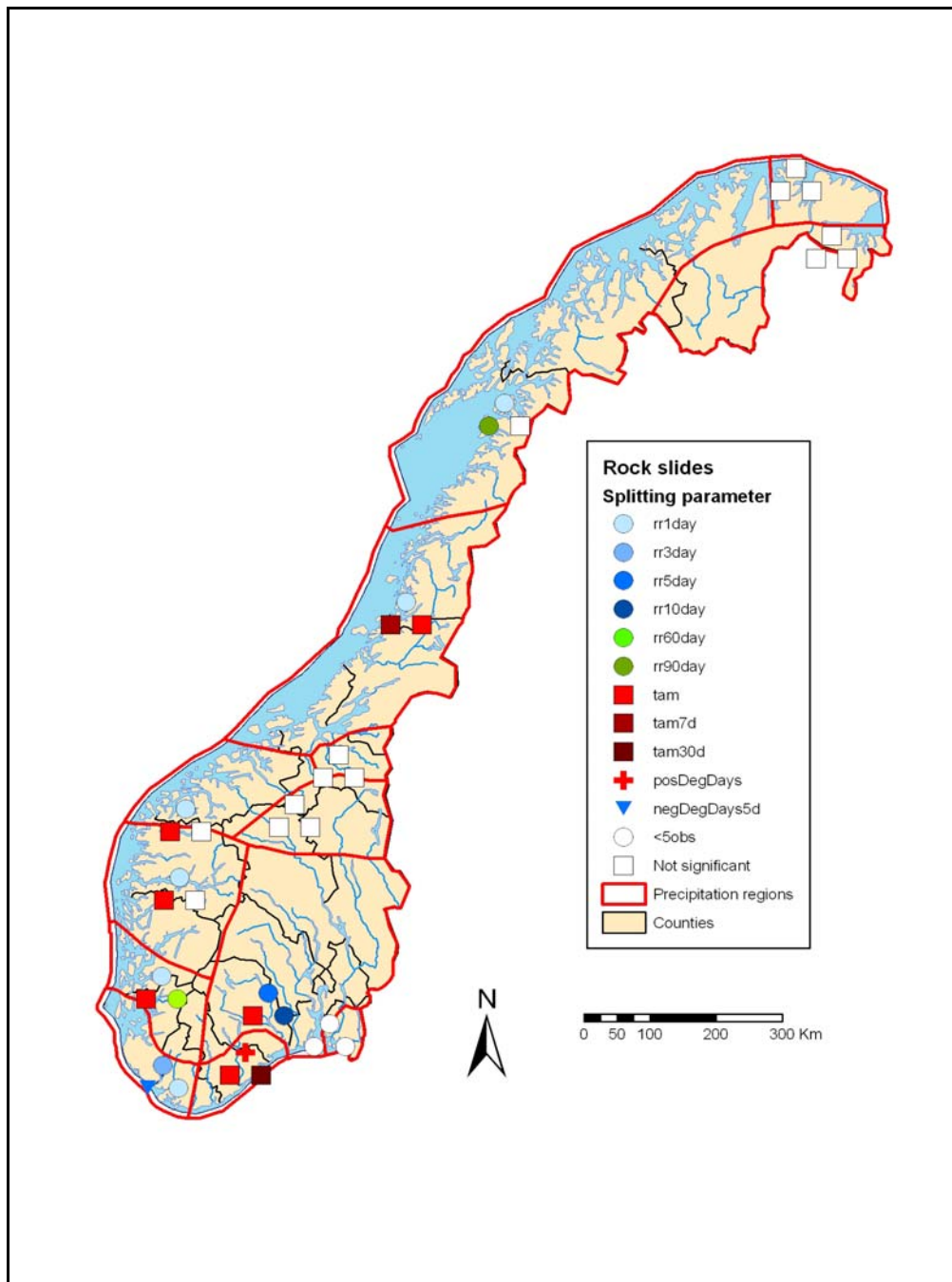
Figur 6.6. Registrerte jordskred (mørkebrune sirkler) og antall jordskred i hver nedbørregion (lysebrun sirkel skalert med antallet).



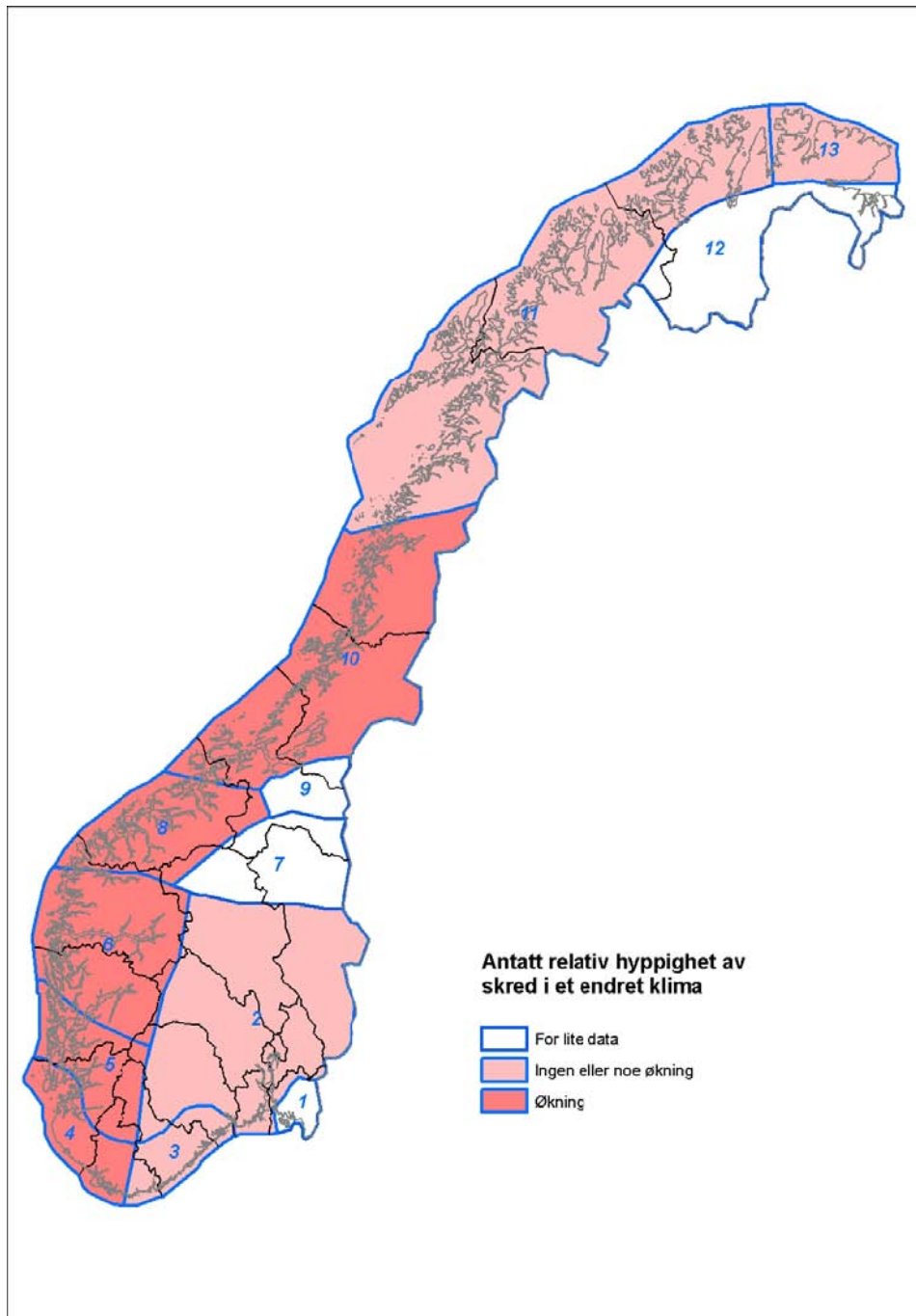
Figur 6.7. Viktigste meteorologiske utløsningselementer for jordskred i hver nedbørregion. I hver region er det viktigste element illustrert med det øverste symbol, det nest-viktigste element med det venstre symbol og det tredje-viktigste element med det høyre symbol. Forkortelsene er forklart i Tabell 1. Hvit sirkel angir regioner med for få observasjoner til å gjøre analyse. Hvit firkant angir at analysen ikke ga signifikante resultater.



Figur 6.8. Registrerte steinskred (mørke sirkler) og antall steinskred i hver nedbørregion (lilla sirkel skalert med antallet).



Figur 6.9. Viktigste meteorologiske utløsningselementer for steinsprang i hver nedbørregion. I hver region er det viktigste element illustrert med det øverste symbol, det nest-viktigste element med det venstre symbol og det tredje-viktigste element med det høyre symbol. Forkortelsene er forklart i Tabell 1. Hvit sirkel angir regioner med for få observasjoner til å gjøre analyse. Hvit firkant angir at analysen ikke ga signifikante resultater.



Figur 6.10. Antatt relativ økning i hyppigheten av skred totalt pr nedbørregion.

7 ENDRING I PERMAFROST

Ketil Isaksen, met.no

Sammendrag

Den forventede fremtidige temperaturøkning vil føre til at permafrosten varmes opp og at permafrostutbredelsen endres i de deler av Norge som har permafrost. Dette gjelder særlig områder over ca. 1200 m o.h. i Sør Norge og over ca. 700 m o.h. i Nord Norge. Den nedre grense for permafrost vil trekke seg høyere opp. Dette kan føre til opptining i fjellpartier som nå er frosset, noe som kan medføre større ustabilitet i utsatte fjellpartier.

7.1 Omfang av permafrost i Norge og evt. skadevoldende utvikling av denne

Permafrost bidrar ofte til å binde ustabile fjellparti sammen. Fjell og løsmasser som ligger i bratte fjellsider i permafrostområder er ofte oppsprukket og har porerom fylt med is. Problemer kan oppstå dersom temperaturen i bakken stiger og permafrosten varmes opp. Når isen tiner vil trykket i porer og sprekker kunne øke, og de store fjellpartiene kan bli mer ustabile og i verste fall gli ut. Ulike studier fra andre land i Europa viser at permafrost som tiner som følge av klimaendringer har ført til stabilitetsproblemer og utglidninger.

Områder i Møre og Romsdal og i Troms er utsatt for store fjellskred. Enkelte av disse områdene har permafrost. Nyere studier viser at permafrosten her ligger flere hundre meter lavere enn tidligere antatt. I Romsdalen ser det ut til at den nedre grensen for permafrost i bratte fjellsider ligger på 1200-1300 meter over havet, med store lokale variasjoner. I Lyngen i Troms indikerer temperaturmålinger at dagens nedre permafrostgrense ligger 700-800 meter over havet. Flere av de store ustabile fjellpartiene som er kartlagt, spesielt i Troms, ser derfor ut til å ligge i dagens permafrostbelte og kan derfor være direkte utsatt som følge av at temperaturen i bakken øker.

Den framtidige forventede økningen i årsmiddeltemperatur, samt i sommerens middel- og maksimumstemperatur og sommerens lengde, vil føre til at permafrosten varmes opp ytterligere og at permafrostutbredelsen endres i de aktuelle områdene. Den nedre grensen for permafrosten vil trekke seg opp i høyden, noe som fører til at fjellpartier som tidligere har vært frosset nå tiner. Dette vil igjen medføre at ustabiliteten vil kunne øke i de aktuelle fjellpartiene.

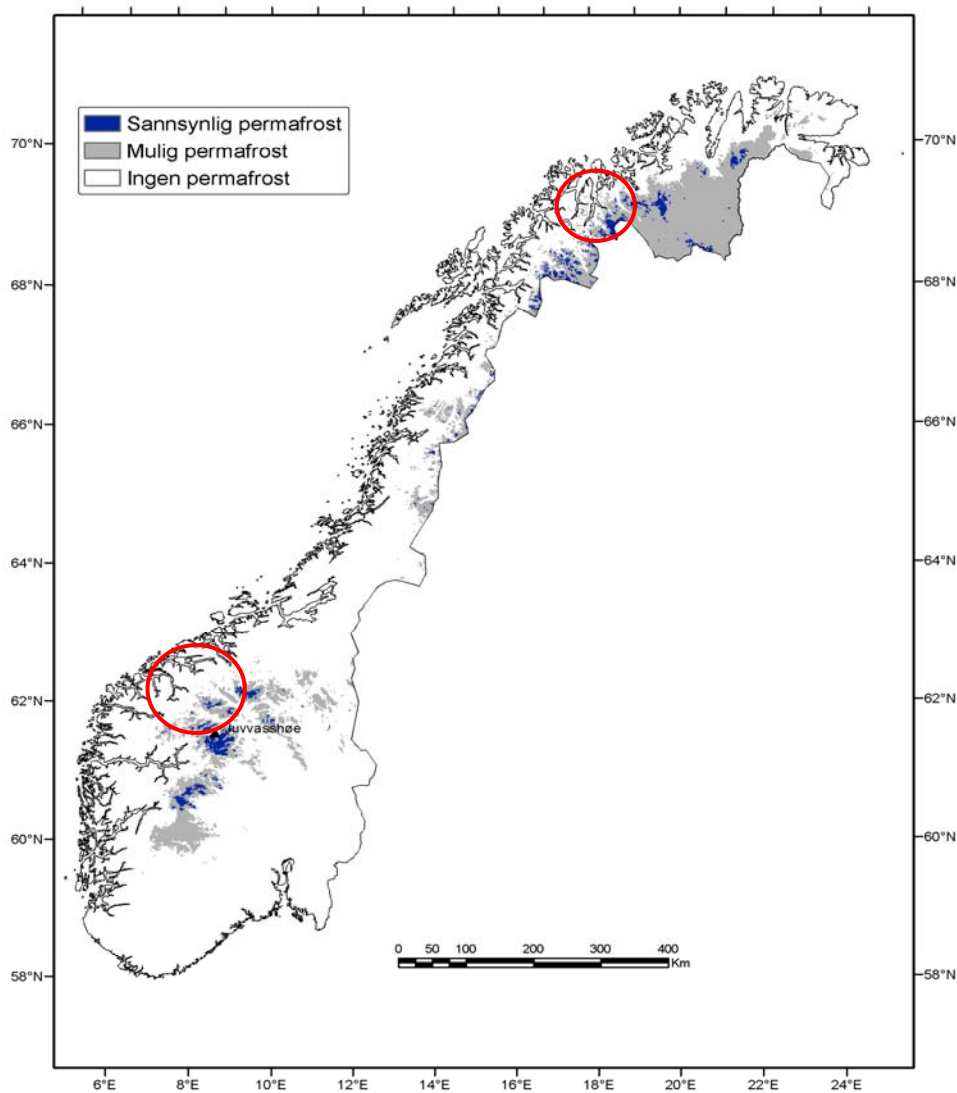
7.2 Hovedkonklusjoner for endringer i permafrost

- Permafrost er utbredt i deler av våre høyfjellsområder i Sør-Norge og i de fleste av fjellområdene i Nord-Norge.
- Nyere studier fra Troms og Møre og Romsdal viser at permafrosten her ligger lavere enn man hittil har trodd.
- Av områdene som så langt er kartlagt er det først og fremst i Lyngen i Troms at en kan finne permafrost i områder hvor det er store ustabile fjellparti. Enkelte ustabile fjellsider i Romsdalen ser også ut til å ligge i dagens permafrostsone.
- Analyser fra et dypt borehull i permafrost på Juvvasshøe i Jotunheimen viser at bakketemperaturer har økt betydelig de siste 30-40 år. For øyeblikket varmes permafrosten opp med en hastighet på 0,3-0,4 grader pr tiår for de øverste 10-20 meterne av bakken. Det finnes ingen direkte data som sier noe om oppvarmingshastigheten i de aktuelle områdene i Møre og Romsdal og i Troms, men basert på analyser av tradisjonelle klimadata og det vi vet om klimautviklingen i området er det grunn til å anta at temperaturøkningen i Romsdalen er

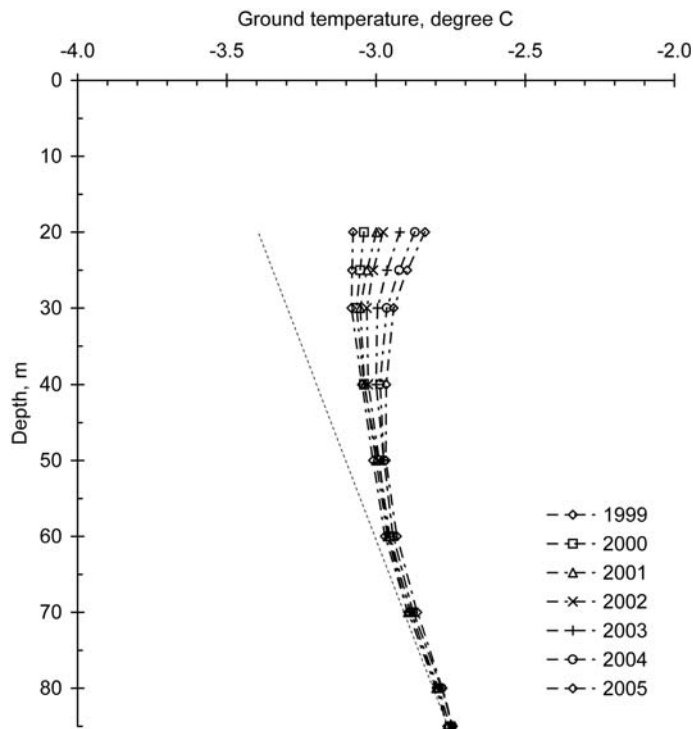
nokså lik den en finner på Juvvasshøe, mens den trolig er noe høyere i Troms, i størrelsesorden 0,4-0,6 grader pr tiår.

- Permafrost som tiner gjør utsatte fjellpartier i Norge høyst sannsynlig mer ustabile, men det kreves videre studier og kartlegging før en kan konkludere sikkert om dette og i hvilke andre områder av landet denne problemstillingen er aktuell.

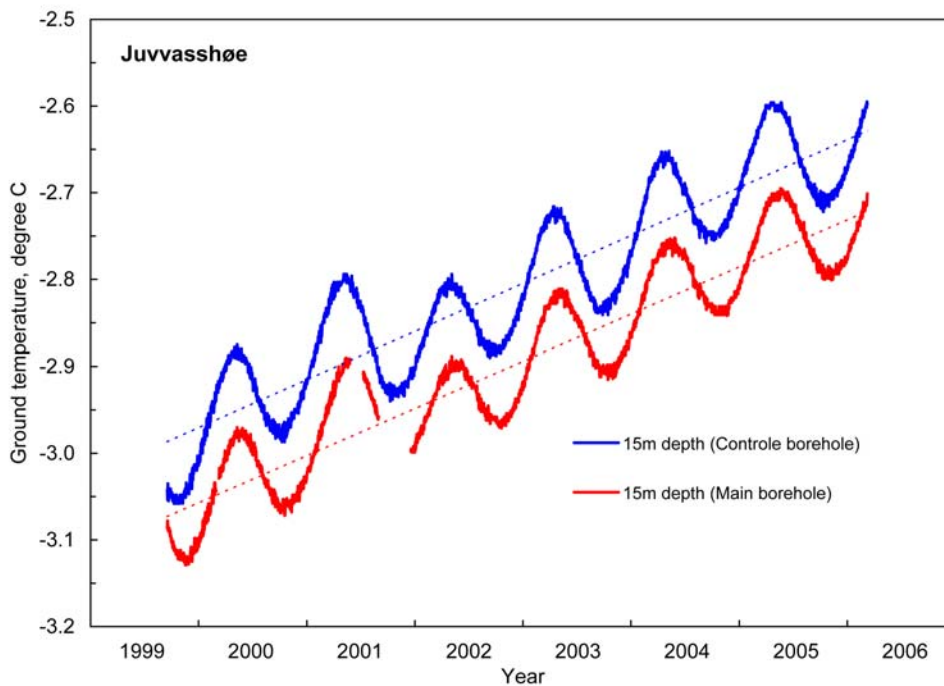
I figur 7.1-7.3 er det gjengitt sentrale data som underbygger denne oppsummeringen.



Figur 7.1. Områder med permafrost i Norge. I Norge dannes det vanligvis permafrost i landområder som har en lufttemperatur (årsmiddel) lavere enn $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$. De grå områdene på kartet viser områder der årsmiddeltemperaturen er mellom $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$. I disse områdene kan en forvente å finne permafrost på eksponerte steder, spesielt i områder som blåses fri for snø om vinteren. De blå områdene har en årsmiddeltemperatur lavere enn $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Her finnes permafrost normalt de fleste steder. Lokaliseringen av et 129 m dypt borehull for langsiktig overvåking av permafrost på Juvvasshøe i Jotunheimen er avmerket på kartet. De røde sirklene angir områdene i Norge der en så langt har studert koblingen mellom permafrost og ustabile fjellsider.



Figur 7.2. Temperaturprofiler i permafrost på Juvvasshøe, Jotunheimen, som viser den markante oppvarmingen av permafrosten her den senere tid. Profilene er registrert 31. desember hver år i perioden 1999-2005.



Figur 7.3. Temperaturutvikling i permafrosten på Juvvasshøe fra september 1999 til mars 2006. Tidsseriene er fra 15m dyp i hovedhullet (rød linje) og et kontrollhull som er lokalisert like ved (blå linje).

8 ENDRING I HYPPIGHET AV ANDRE NATURULYKKER

Kalle Kronholm, NGI og Kari Sletten, NGU

Sammenheng

Endret klima vil trolig ikke føre til noen endring i opptreden av jordskjelv eller undersjøiske skred. Endringer i permafrostens utbredelse vil kunne føre til en økt hyppighet av store fjellskred og der ustabile fjellpartier ligger over vann vil dette medføre en økt risiko for flodbølger.

8.1 Jordskjelv og undersjøiske skred

Endret klima vil trolig ikke føre til noen endring i opptreden av jordskjelv eller undersjøiske skred. Jordskjelv er styrt av jordskorpebevegelser som nok er kontrollert av andre faktorer enn klima. Flodbølger kan bli utløst av undersjøiske skred og fjellskred i fjorder. Undersjøiske skred er trolig heller ikke særlig betinget av de klimatiske forholdene.

8.2 Flodbølger som følge av fjellskred

Utglijning av store fjellmasser (fjellskred) i vann kan danne flodbølger. Disse bølgene kan bli høye (flere titalls meter) og bevege seg over store distanser. De utgjør dermed en risiko for kystnær bebyggelse og annen infrastruktur. Endringer i for eksempel permafrostens utbredelse vil kunne føre til en økt hyppighet av store fjellskred (se kapittel 7) og der ustabile fjellpartier ligger over vann vil dette medføre en økt risiko for flodbølger.

9 ENDRING I SÅRBARHET FOR NATURULYKKER

Helene Amundsen, Grete K. Hovelsrud og Lars Otto Næss, CICERO

Sammendrag

Naturskadeloven dekker skade på gods og eiendom som direkte skyldes en naturhendelse. Hyppigheten og omfanget av naturhendelser er forventet å endre seg som et resultat av klimaendringer. Naturhendelser henger sammen med og kan bli utløst av vær- og klimaforhold. I de tilfellene hvor naturhendelser fører til faktiske naturskader kan det også få konsekvenser for samfunnet og gjøre det mer sårbart. Det er forventet at klimaet vil endre seg utover de naturlige svingingene vi har observert til nå, og det er viktig at Naturskadeordningen tar konsekvensene av dette. Samfunn kan bli mer utsatt og sårbare overfor naturskader som følge av klimaendringer. Samfunnets sårbarhet er her knyttet til en vurdering av om Norge, eller regioner og områder i Norge, vil kunne være mer utsatt for ulike typer naturhendelser i de neste 50 årene. En full analyse av samfunnets sårbarhet for naturskader kan først gjøres ved å koble hvilke områder som er utsatt for naturskader med demografiske og sosioøkonomiske forhold, samt tilpasningskapasiteten ved naturskader i en klimaendringssammenheng. Her vil vi kun belyse hvilke områder i landet som vil være sårbare for hvilke naturskader gitt endringer i klimaet.

Første del av kapitlet tar for seg hvilke skader som er dekket av loven og omfanget av disse de siste ti årene i forhold til skadetakst. Data fra Statens Landbruksforvaltning fra 1996-2005 viser at for hele landet sammenlagt er flom den største skadeårsaken med høyest skadetakst, fulgt av jord- og leirskred og storm og stormflo. Til sammen utgjør disse kategoriene over 90 prosent av samlet skadetakst i perioden 1996-2005. Den andre delen av kapitlet bruker resultatet i kapittel 3 til 8 for å analysere forventede endringer av naturskader fordelt over hele landet. Det er skred og flom som er de mest vanlige naturhendelsene som forårsaker skade i Norge i dag, og dette er en forventet trend også i de neste 50 årene. Det er forventet at flommer vil forekomme på andre tider av året enn det som har vært "vanlig" til nå. For eksempel er det forventet at vårflommene reduseres i omfang, men at det blir flere vinterflommer. I forhold til skred er det usikkerhet omkring hvor disse vil forekomme i fremtiden og det foreligger ennå ingen nøyaktige tall for endringer i hyppigheten av skred. Det er videre usikkert hvorvidt klimaendringer vil føre til en endring i typer skred. Det er behov for mer forskning på forholdet mellom hvilke klimaelementer som utløser ulike typer skred og hvordan disse faktorene endrer seg.

Siste del av kapitlet inneholder en diskusjon om hvilke konsekvenser endringer i mønsteret i naturhendelser kan ha for sårbarheten knyttet til naturskader i Norge. Analysene på regionnivå gir indikasjoner på forventede trender, men vi har ikke detaljert nok informasjon til å si med sikkerhet hvor sårbarheten vil være størst, og hvilke naturhendelser sårbarheten i størst grad vil være knyttet til. I tillegg bør denne type analyser kobles mot sosioøkonomiske og demografiske aspekter for å få en helhetlig forståelse av samfunnets sårbarhet. Generelt gir klimascenarier en klar indikasjon om at vi venter en økning i alle værtyper som fører til naturhendelser. Satsing på sikring, arealplanlegging og byggeskikk er alle viktige elementer for å begrense skader fra naturhendelser.

9.1 Kartlegging av skader som dekkes av Naturskadeloven – omfang og fordeling

Naturskadeordningen baserer seg på Lov om sikring mot og erstatning for naturskader (Lov 1994-03-25 nr.07, Naturskadeloven). I tillegg er Forskrift om taksering og erstatning av naturskader (For 1995-06-02 nr. 515, Forskriften) en oppdatert veiledning for taksering av naturskader.

Denne delen av utredningen inneholder en kartlegging av hvilke skader som dekkes av Naturskadeloven, samt en oversikt over omfanget og fordelingen av disse i Norge. Dette er med andre ord en oversikt over hvilke skader som har vært registrert av naturskadeordningen. Vi har fått tilsendt statistikk fra oppdragsgiver Statens landbruksforvaltning (SLF) over skadetakster for naturskader fra 1996 – 2005, og dette har blitt brukt som bakgrunn for analysen sammen med resultater fra de andre partnerne i prosjektet (met.no, NGI, NGU, NVE).

9.1.1 Lovens omfang

Loven danner grunnlaget for erstatning for skader fra naturhendelser som ikke dekkes av andre forsikringsordninger, samt gir retningslinjer for å fremme og gi midler til sikringstiltak som kan begrense omfanget av naturskader. Naturskade defineres som skade som direkte skyldes naturulykke, for eksempel skred, storm, flom, stormflo, jordskjelv, og vulkanutbrudd. Når det foreligger en naturskade dekker loven skader på fast gods og eiendom som ikke er dekket av andre ordninger. Loven dekker kun skade på privat eiendom, ikke skade på eiendom som tilhører stat, fylkeskommune eller kommune.

Loven dekker ikke skade som direkte skyldes lyn, frost eller tørke, og det erstattes heller ikke for skade som umiddelbart skyldes nedbør eller isgang. Det samme gjelder skade som skyldes angrep av insekter, dyr, bakterier, sopp eller liknende. Der særlig forhold tilsier det kan det likevel ytes hel eller delvis erstatning for slike skader (i datamaterialet er slike hendelser tatt med under 'annen årsak').

Skade på avling på rot samt skade på skip og småbåter, luftfartøy, fiskeredskap, antenner og skilt eller lignende, utstyr for utvinning av olje og gass, kontanter og verdipapirer erstattes ikke gjennom Naturskadeloven. Det kan imidlertid bli gitt hel eller delvis erstatning hvis det foreligger særlige forhold og det ikke er mulig å forsikre seg mot slike skader.

Stormskade på skog faller heller ikke inn under ordningen, med mindre annet er vedtatt av Kongen. Forskriften åpner for erstatning for stormskader på skog hvor skadeomfanget for en enkelt hendelse overskrider 200 millioner kroner. Forsikringsselskapene erstatter skader opp til dette beløpet.

Når vi vurderer naturskader og samfunnets sårbarhet i denne utredningen er det altså snakk om skade på fast gods og eiendom som faller innenfor Lovens bestemmelser. Det er derfor ikke nødvendigvis samsvar mellom størrelsen på en naturhendelse og verditaksten av en naturskade. Dette diskuteres i detalj nedenfor.

9.2 Naturskader: sårbarhet og skadeomfang

På bakgrunn av resultatene presentert tidligere i denne rapporten finner vi det mest hensiktsmessig å dele inn Norge i regioner for å analysere framtidig sårbarhet for naturskader. Statistikken over beregninger av skadetakst føres på fylkesnivå, men fylkesgrensene følger ikke nedbørregioner eller andre større regionale typeområder. Derfor har vi valgt å legge fram resultater i regioner. Vi bruker her met.no sine 13 nedbørregioner (se figur 6.3 fra NGI/NGU) for best mulig synkronisering med de andre delene i utredningen. Disse nedbørregionene er ikke direkte sammenfallende med avrenningsregioner men skiller forholdsvis godt mellom kyst og innland, og mellom fjell og lavland, noe som er vesentlig i forhold til naturhendelser.

9.2.1 Sårbarhet

Sårbarhet er et uttrykk for hvor godt rustet et system er til å håndtere klimaendringer. FN's klimapanel definerer sårbarhet som en funksjon av eksponering, følsomhet og tilpasningsevne (IPCC, 2001b). Med andre ord: sårbarheten overfor klimaendringer bestemmes ikke bare av de fysiske endringene i vind, nedbør og andre klimafaktorer, men også hvor mye skade disse endringene utgjør og evnen til å

takle disse. Et samfunns sårbarhet er derfor et resultat av en rekke faktorer, ikke minst sosiale forhold som aldersstruktur, økonomi og institusjoner.

I denne rapporten begrenses sårbarhetsbegrepet til spørsmålet *hva blir endret sårbarhet for naturhendelser på regionalt nivå gitt klimaendringer?* Dette blir en ufullstendig vurdering av sårbarhet, men er like fullt en vurdering som kan gi en pekepinn på hva slags naturhendelser de utsatte områdene kan eksponeres for, og derfor bør ta inn i sine tilpasningsstrategier for å dempe eventuell skader.

En naturhendelse fører ikke nødvendigvis til en naturskade eller ulykke på mennesker og samfunn. Kartlegging av skred og flom som beskrevet i dette dokumentet, og fremskriving av slike hendelser, blir gjort uavhengig av hvorvidt disse hendelsene finner sted der det bor mennesker, eller om de vil ramme befolkningen i et område. For å kunne si noe om lokal sårbarhet er det nødvendig med en detaljert kartlegging av bosetting i forhold til utsatte områder, koblet mot endringer i samfunnsmessige forhold. Imidlertid har vi for lite kunnskap til å si noe om akkurat hvor og når en naturhendelse vil inntreffe. En vurdering av de foregående kapitlene viser at vi imidlertid har for lite kunnskap til å si noe om akkurat hvor og når en naturhendelse vil inntreffe – dette avhenger av en rekke sammenfallende meteorologiske (vær, vind, nedbør osv) og biofysiske forhold (jord, stein, leire, helling på fjellsider, flomsikring osv), og om en slik hendelse nødvendigvis vil føre til naturskader². Generelt sett mangler vi detaljert lokalkunnskap og det begrenser denne vurderingen av sårbarhet på to måter: 1) det er stor usikkerhet i datagrunnlaget, og 2) det er for lav oppløsning for de biofysiske dataene til at detaljerte sårbarhetsvurderinger kan foretas. Det er derfor ikke hensiktsmessig å kombinere kart med fremskrivninger av naturhendelser med bosetningsmønster i Norge. Slike kombinerte kart vil ikke kunne gi den detaljkunnskapen som er nødvendig for å vurdere sårbarhet i forhold til en endring i risiko.

I det følgende ser vi på hvilke sammenfallende fysiske forhold (vind, nedbør, temperatur, topografi) som forårsaker naturhendelser på regionalt nivå, og hvordan endringer i slike forhold vil føre til sårbarhet slik vi har definert det her. Dette blir da en førstegangseffekt som igjen må vurderes sammen med de samfunnsmessige og sosio-økonomiske forhold når en full sårbarhetsanalyse foretas. En vurdering av de forventede endringene i fysiske forhold vil gjøre det mulig å si noe om endring i risikomønster eller sårbarhet på regionalt nivå.

9.2.2 Skadeomfang og fordeling av naturskader 1996-2005

Data fra SLF fra 1996-2005 viser at det for landet som helhet er flom som har høyest skadetakst, fulgt av jord- og leirskred og storm og stormflo. Til sammen utgjør disse kategoriene over 90 prosent av samlet skadetakst i perioden 1996-2005. Andre skadeårsaker er isgang, snøskred, steinskred og ”annen årsak”.

Hvis man skal analysere omfanget av en naturskade med utgangspunkt i data som angir skadetakst, gir ikke det nødvendigvis et representativt bilde av endringer i naturhendelser. Dette fordi det kan være ulike naturhendelser som ikke fører til skader som dekkes av Loven, for eksempel snøskred som ikke skader gods og eiendom. Sikringstiltak har mest sannsynlig innvirkning på omfanget av naturskader, samtidig som utbygging og ny infrastruktur kan øke skadeomfanget ved et skred eller en flom. Høye skadetakster kan skyldes enkelthendelser, som for eksempel flommen på Østlandet i 1995 (Vesleofsen) som var en storflom i Glomma-området og ga utslag i høy skadetakst for flom i 1996 og 1997. Det er umulig å angi noen langsiktig trend basert på datagrunnlaget vi har, siden dette kun gjelder for de siste 10 årene. I tillegg har loven endret seg noe i denne perioden.

² De eksisterende flomsone- og skredkartene viser i mange tilfeller detaljert hvor flom eller skred kan inntreffe. Men disse er utviklet på bakgrunn av historisk materiale og ikke i forhold til meteorologiske fremskrivninger. Slik kartlegging er av stor verdi for planlegging i en region, et fylke eller en kommune, men de er ikke koblet mot fremtidige klimaendringer og blir derfor ikke vurdert i denne sammenhengen.

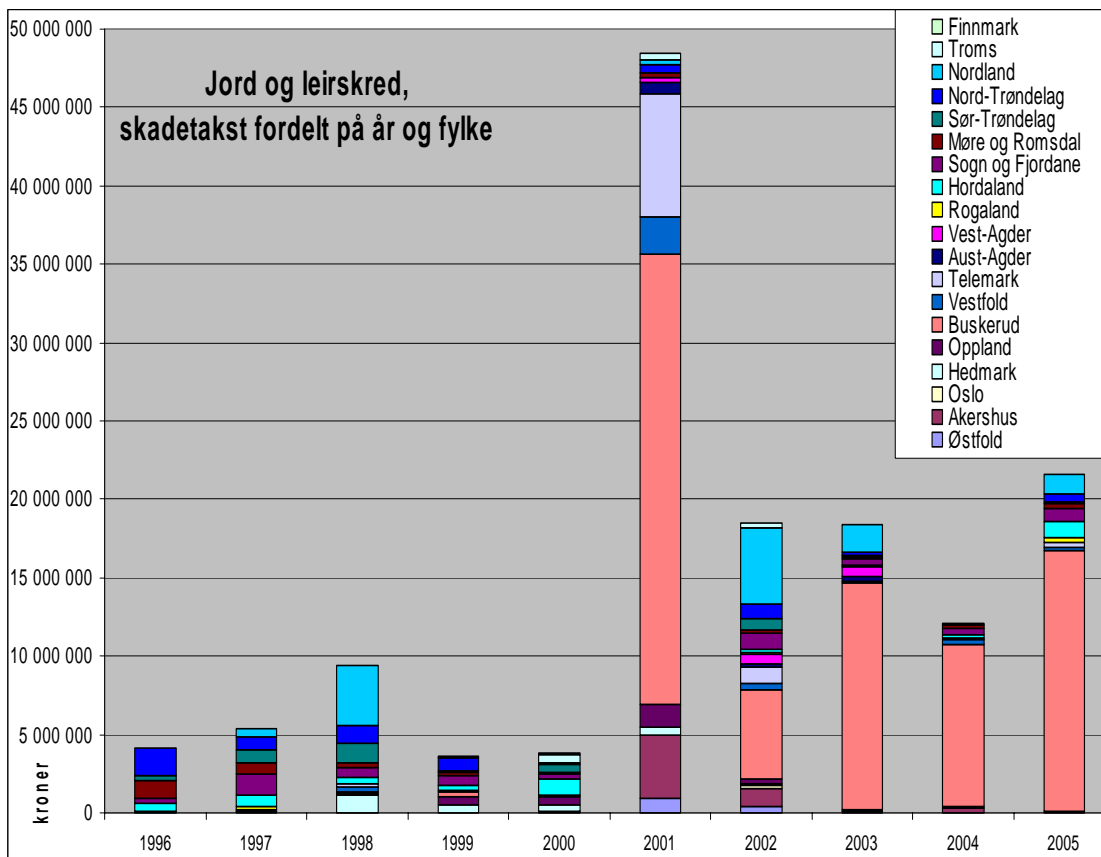
Flom

Fylkene som har vært mest utsatte for flom i perioden 1996-2005 er Møre og Romsdal, Buskerud og Hedmark, fulgt av Oppland og Sør-Trøndelag. Østlandsflommen i 1995 førte til store skadetakster grunnet flom i 1996-97 i Hedmark og Oppland, og storflom i Møre og Romsdal i 2004 førte til store skadetakster i dette fylket i 2004 og 2005. De høye skadetakstene viser at flommer har rammet områder med private eiendommer. Det er ikke nødvendigvis slik at de største skadetakstene betyr de største risikoene for naturhendelser. Det kan være enkelthendelser som gjør stor skade, eller at en hendelse har skjedd der det er bebyggelse og annen infrastruktur slik at det blir høye skadetakster.

Skred

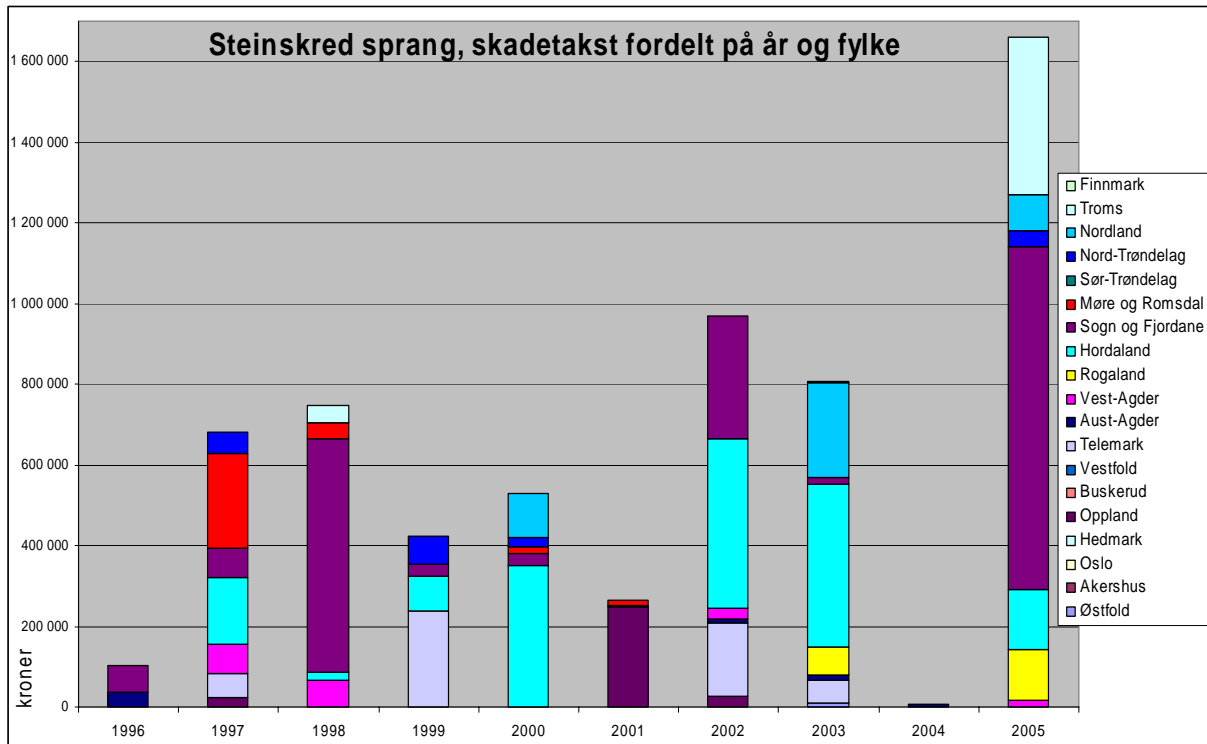
Det har vært en eksponentiell økning i alle typer registrerte skred, både jord-, leire-, snø- og steinskred. Dette skyldes først og fremst bruk av digital database, og med den en økning i rapporterte tilfeller av skred. I tillegg har det vært en sterk økning i utbygging av infrastrukturen, også i skredutsatte områder, slik at skred i større grad har gitt skader og blitt rapportert. En siste grunn til flere registrerte skred er endringer i klimaet. Det har vært registrert en endring av type snøras, fra tørr snø til våtere snø, grunnet mildere værtype og mer regn.

For skred i perioden 1996-2005 gjaldt de høyeste skadetakstene jord- og leirskred. Buskerud har vært spesielt utsatt for denne type skred. I 2001 var det en betydelig økning i skadetakstene sammenliknet med 2000, og i årene 2002-2005 har skadetaksten vært betydelig høyere enn perioden 1996-2000. De nedenstående figurene er basert på data fra SLF og viser skadetakst basert på fylke og naturhendelse. Denne fremstillingen tar ikke hensyn til lovendringer i perioden, fordi dette ikke reflekteres i datagrunnlaget.



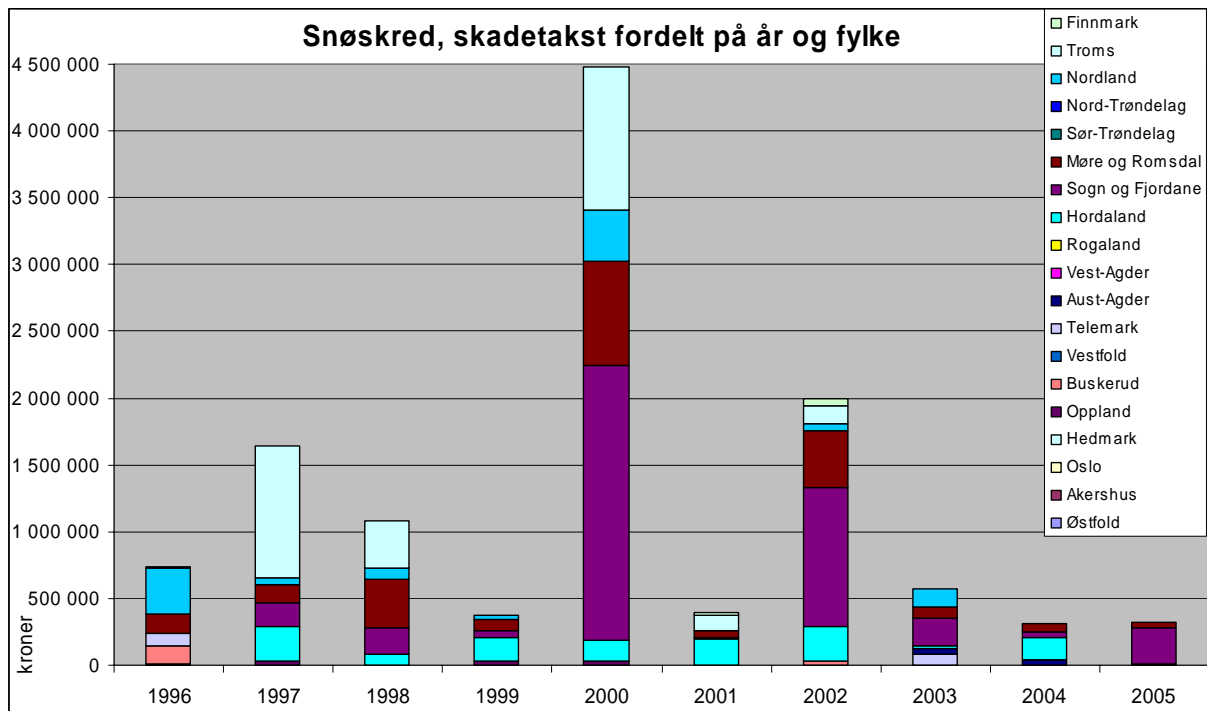
Figur 9.1. Skadetakst for jord- og leirskred for perioden 1996-2005 fordelt på fylke.

Når det gjelder steinskred gir verken data fra SLF eller NGI en klar endringstrend, bortsett fra at Sogn og Fjordane og Hordaland er utsatt for steinskred og har hatt naturskader nesten hvert år i perioden. Det er uvisst om det er enkelthendelser eller flere hendelser som har ført til skadetakst.



Figur 9.2. Skadetakst for steinskred/steinsprang for perioden 1996-2005 fordelt på fylke.

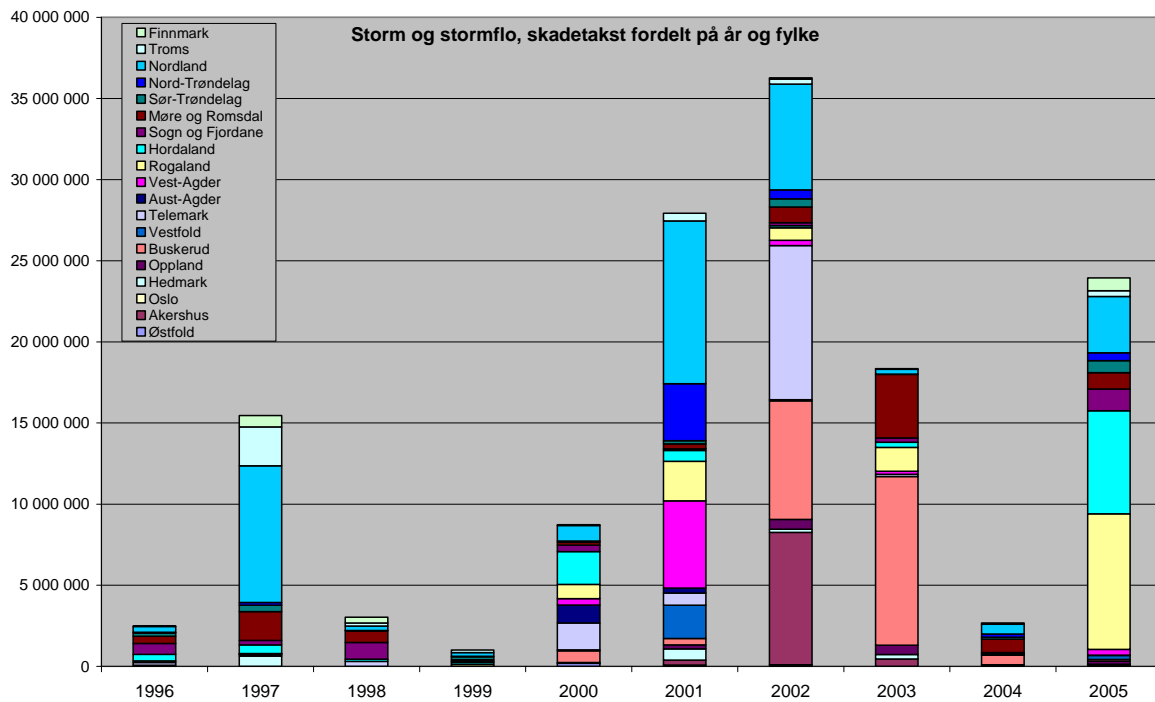
Sogn og Fjordane, Møre og Romsdal og Hordaland er utsatt for skader fra snøskred. Spesielt var det høye skadetakster fra snøskred i disse fylkene i år 2000. Vi trenger mer data for å kunne si noe om hvordan dette vil kunne forandre seg i tiden fremover.



Figur 9.3. Skadetakst for snøskred for perioden 1996-2005 fordelt på fylke.

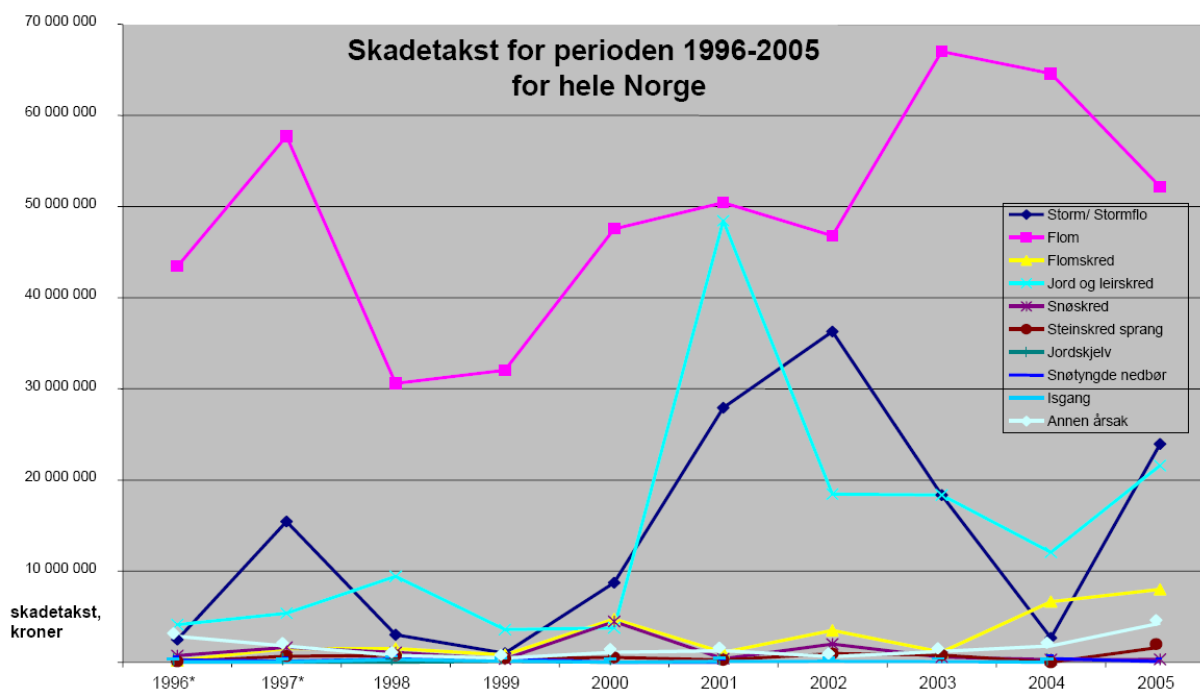
Storm og stormflo

Det har vært høye skadetakster fra naturhendelser som skyldes storm og stormflo. Fylkene hvor det har vært høyest skadetakster i perioden er Nordland og Buskerud. I Nordland, Møre og Romsdal og Sogn og Fjordane var det beregnet skadetakst for hvert år i perioden 1996-2005. Oslo er fylket med lavest skadetakst fra storm og stormflo i denne perioden. Figuren illustrerer hvor mye skadetaksten varierer fra et år til et annet. I 1996 og 1999 var det relativt lave skadetakster for storm og stormflo, mens i 2001 og 2002 førte naturskader til høy skadetakst i alle fylker bortsett fra Oslo, Finnmark (2001) og Aust-Agder (2002).



Figur 9.4. Skadetakst for storm og stormflo for perioden 1996-2005 fordelt på fylke.

Samlet skadetakst for de forskjellige naturskadene gir en indikasjon på hvilke naturskader som i perioden 1996-2005 har ført til de høyeste skadetakstene. Figur 9.5 viser samlet skadetakst per år for ulike skadeårsaker. Det er vanskelig å indikere trender i materialet, siden skadetaksten avhenger av naturskade fra enkelthendelser og disse varierer fra år til år. Figuren illustrerer at det er flom, jord- og leirskred og storm/stormflo som har ført til de klart største skadetakstene i perioden. Samtidig kommer det klart fram at det er store variasjoner fra år til år, og dette betyr at det er enkelthendelsene som er viktige. Det er derfor viktig å ha kunnskap om hvordan mønsteret i naturhendelser kan forventes å endres. Den neste delen tar for seg dette ved å bruke informasjonen lagt fram i kapittel 3 til 8.



Figur 9.5. Oversikt over samlet skadetakst for de ulike naturskadene i perioden 1996-2005.

* Østlandsflommen er inkludert i tallene for flom i 1996 og 1997.

9.2.3 Scenarier for naturhendelser

Denne delen av utredningen bygger på resultatene fra de foregående analysene og vil se hvilke klimaelementer som øker risikoen for de forskjellige typer naturhendelsene, samt vurdere hvordan de sammenfaller med RegClims scenarier for kommende 50 år. Denne informasjonen kan da brukes til å analysere hva dette samlet vil bety for risikoen for naturskader for ulike landsdeler, og analysere om, eller på hvilken måte, samfunnets sårbarhet for naturulykker kan komme til å endre seg.

Ut fra dataene forventes det at skred og flom vil fortsette å være de mest vanlige naturhendelsene som forårsaker skade i Norge. De siste ti årene har flom vært den skadeårsaken som har ført til klart høyest skadetakst for Norge sett under ett. Det er imidlertid forventet at flommer vil skje på andre tider av året enn det som har vært "vanlig" til nå. For eksempel forventes det at vårflommene reduseres i størrelse, men at det blir flere vinterflommer.

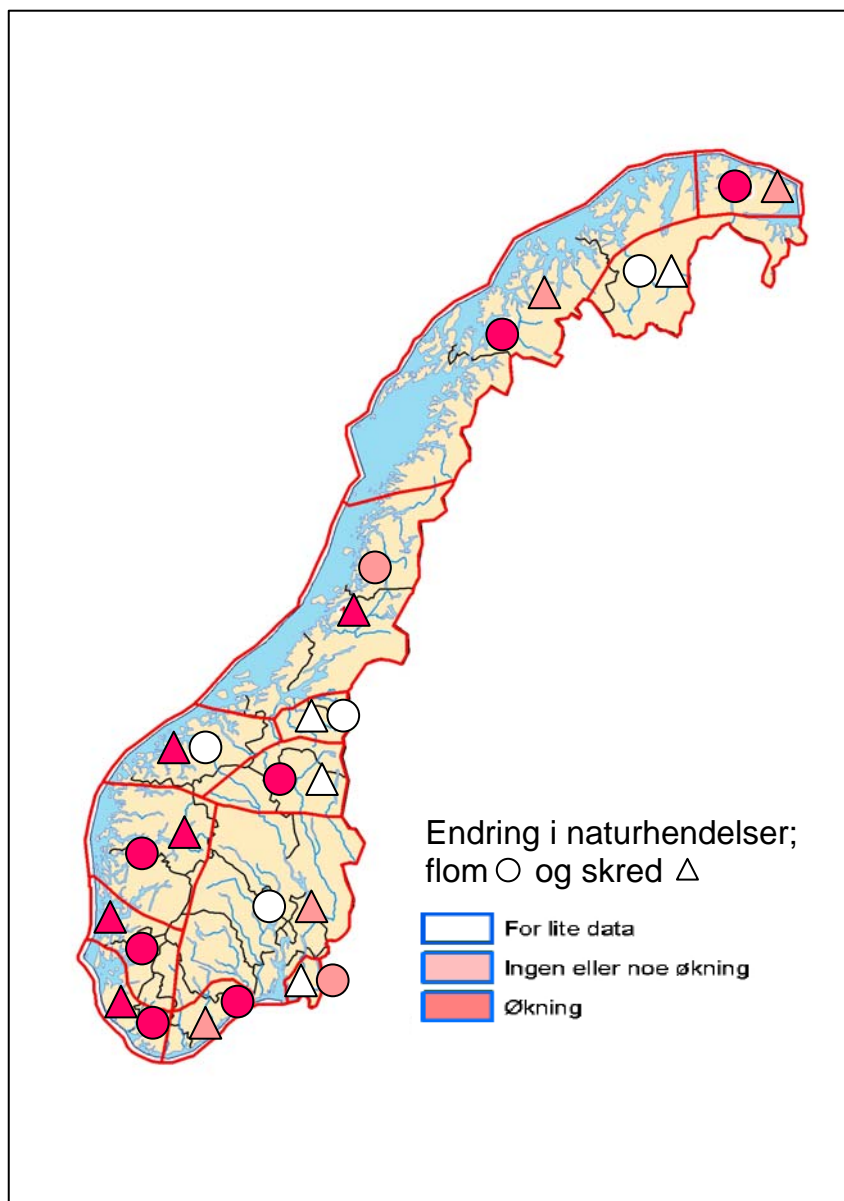
Skredtyper det er mulig å vurdere i forhold til klimaendringer er snøskred, steinskred og jord- og leirskred. Disse utløses av en kombinasjon av nedbør, temperatur og vind, avhengig av faktorer som grunnforhold, og grad av skråning. Naturskader som skjer som et resultat av naturhendelser avhenger av at det skjer en skade på noe, for eksempel om et skred går der det er bygget infrastruktur. Utfordringen her ligger i at det er vanskelig å gi en indikasjon for hvor skredene kommer eller frembringe nøyaktige tall for hvordan hyppigheten av skred kan komme til å bli endret.

Tabell 9.1 viser forventede endringer i naturhendelser fordelt på regioner. Tabellen er basert på resultater fra de foregående kapitlene. For de ulike naturhendelsene diskuteres det hvilke fysiske forhold som bidrar til å utløse disse. Gitt disse forholdene og at forventede klimaendringer inntreffer, blir forventet endring i risikoen for naturskader diskutert.

9.3 Endringer i sårbarhet overfor naturskader

Dataene fra tidligere kapitler gir klare indikasjoner på en økning i naturhendelser som flom, snøskred, steinskred og jord- og leirskred (se figur 9.6 under). Samtidig varierer hyppigheten, omfanget og utbredelsen av disse naturhendelsene med årstid og region. Det er også viktig å forstå at det foreligger stor usikkerhet vedrørende disse resultatene. Når det gjelder stormer viser resultatene per i dag ingen klar trend.

Kartet under viser endringer i skred og flom fordelt på RegClims nedbørregioner. Representasjonen er gjort for gjennomsnittsverdier gjennom året. Det forventes sesongmessige endringer i alle naturhendelser. Dette er nøye beskrevet i de foregående kapitlene. Kartet viser at skred forventes å øke på Vestlandet og i deler av Nord-Norge. Sør- og Vestlandet og kysten av Nord-Norge kan vente en økning i flom. Kartet viser at det er stor usikkerhet knyttet til forventede endringer for disse naturhendelsene, og for mange regioner er det for stor usikkerhet eller for lite datagrunnlag til å kunne trekke konklusjoner om endringer i naturhendelser.



Figur 9.6. Forventede endringer i naturhendelser fordelt på RegClims 13 nedbørregioner, gjennomsnittlig per år.

9.3.1 Forhold som utløser naturhendelser

Det er mange forhold som spiller inn når en naturhendelse utløses og det er vanskelig å gi noe entydig og nøyaktig bilde. De viktigste klimaelementene som spiller inn varierer i hvert tilfelle. På tross av variasjon i de fysiske forholdene som fører til naturhendelser og stor usikkerhet i datagrunnlaget, er det mulig å identifisere noen fellestrekk. De viktigste klimaelementene identifisert i denne rapporten er nedbør, vind, temperatur – fordelt på blant annet mengde, årstid, styrke og sykluser. Gitt hva vi vet om hvilke klimaelementer som bidrar til å utløse de ulike naturhendelsene kan vi gi en oversikt over forventede naturhendelser, samt til en viss grad si hvilken utbredelse og fordeling som kan forventes i de ulike landsdelene. Disse resultatene er presentert i tabell 9.1 og i figur 9.6.

For å kunne gi antydninger om fremtidige naturhendelser er det nødvendig å vite hva som utløser de forskjellige typer hendelser. Her presenterer vi ulike sammenfallende fysiske forhold som kan utløse flom, skred, storm og stormflo og permafrost. Slike forhold vil variere med geografi, årstider og klimaelementer, i tillegg til at de regionale forskjellene vil ha en innvirkning på hyppigheten og omfanget av hendelsene. Det kan være en mindre snømengde som skal til for å utløse et skred på Vestlandet sammenlignet med for eksempel Nord-Norge.

Flom

Intens nedbør fører ikke nødvendigvis til flom. Følgende faktorer er også viktige:

- bakken er mettet eller frosset (kan skape flomsituasjon)
- nedbør faller som snø (liten eller ingen flom – men avhenger av temperaturforhold)
- økt hyppighet av flere store nedbørsepisoder kan medføre flere flommer
- urbane strøk – avløpssystem kan være uegnet til å ta imot store nedbørsmengder
- regulerte og uregulerte vassdrag – regulerte vassdrag kan justere vannmengden
- utbygging av hytteområder og ankomstveier til disse kan bli rammet av flom (og skader kan forekomme i nye felt og omfanget av skaden avhenger av størrelsen av utbyggingen)
- bratte sideelver som løper sammen til storelver i bunnen av dalen (Østlandet, Sørlandet, Trøndelag) hvor det ligger tettsteder på elveviftene. Skadepotensialet er spesielt stort der den årlige nedbøren er lav og elveløpet ikke er tilpasset høye vannføringer etter kraftig regnskyll. Også Vestlandet og Nordland er utsatte områder i denne sammenhengen.

Skred – snø, leire, jord, stein

Viktige faktorer som fører til skred er:

- millimeter nedbør (samme dag som skredet)
- millimeter nedbør i perioden før skredet (fra 3-90 dager)
- gjennomsnittstemperatur
- frostsyklus
- kuldedager
- regn på snø
- vindretning og vindstyrke

For alle typer skred er verdiene for nedbør over en dag mest utslagsgivende, men det er variasjoner i forhold til type skred og mellom regioner. På grunn av usikkerhet i datagrunnlaget er det ikke mulig å kvantifisere forventede skredhendelser. De viktigste meteorologiske parameterne i sammenheng med **snøskred** er nedbør og vindstyrke. For **leir- og jordskred** var det 1-dags nedbør som var utslagsgivende langs kysten, unntatt helt i sør og helt i nord. Det viktigste utløsende parameteret for **steinskred** er, som for leir- og jordskred, nedbør langs kysten. Men nøyaktigheten av klassifikasjonen for steinskred er lavere enn for snøskred og leir- og jordskred. Hvilke faktorer som utløser steinskred varierer mye. En ny problemstilling for denne typen skred er smelting av permafrost, som er omtalt i kapittel 7 (og nedenfor).

Storm og stormflo

Det er ikke ventet store endringer i storm og stormflo, men dette avhenger av utvikling av vind og vindstyrke og havnivåstigning. Det har ikke blitt registrert noen klar trend i utviklingen av vindforhold. Det er også usikkerhet knyttet til havnivåstigning. Prognosene per i dag indikerer små endringer i havnivå langs norskekysten grunnet landheving. Men prognosene justeres i samsvar med ny kunnskap, som for eksempel endringer i innlandisen på Grønland. Det er ikke forventet betydelige endringer i variabilitet og hyppighet av stormflohendelser fram mot 2050. Maksimum vannstand ved stormflo avhenger mye av havnivået, og dersom klimaendringer fører til betydelig økning i havnivået langs kysten kan det ventes større og hyppigere stormflohendelser.

Permafrost

Endring i permafrost avhenger av temperatur, spesielt sommertemperatur og lengde på sommeren. Det antas under relativt stor usikkerhet at den nedre grensen for permafrosten heves, og temperaturanalyser fra borehull i Juvasshøe indikerer at temperaturen har økt 0,5-1 grad de siste 30-40 årene.






Permafrostens utbredelse er ikke fullt ut kartlagt i Norge og det jobbes med å utvikle modeller som beskriver permafrostens utbredelse. Dersom den nedre grensen for permafrosten heves er det fare for at ustabile fjellparti sklir ut og forårsaker skader på folk og eiendom.

9.3.2 Regional sårbarhet og naturhendelser




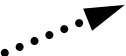
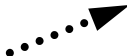






Tabell 9.1 nedenfor viser forventede endringer i naturhendelser som kan føre til naturskader som igjen påvirker sårbarhet. Kartet (figur 9.6) viser tretten nedbørregioner, og noen av disse har blitt slått sammen fordi de viser sammenfallende trender gjennom en analyse av det meteorologiske datagrunnlaget. Tabellen illustrerer forventet økning eller reduksjon i risiko til naturhendelser og kan brukes i videre vurdering av samfunnets sårbarhet fordelt på region.

Tabell 9.1. Forventede naturhendelser fordelt på landsdeler.

Denne tabellen gir en oversikt over forventede naturhendelser som har blitt diskutert i denne rapporten. Pilene illustrer relativ forventet økning eller reduksjon i risiko for naturhendelser i forhold til nåtidens hendelser. Denne tabellen kan lese sammen med kart over forventede endringer. Kartet viser endringer for mindre regioner enn det som er gitt her. Tabellen fortsetter på de to neste sidene.

	Finnmark	Nordland (nord for Saltfjellet) og Troms	Trøndelag og Nordland (sør for Saltfjellet)	Vestlandet	Østlandet
Storm – stormflo					
De aller kraftigste stormene vil bli mer hyppige, men ellers ikke betydelige endringer fram mot 2050. Flom i mindre kystvassdrag kan inntreffe samtidig som stormflo	Usikkert	Usikkert	Usikkert	Usikkert	Usikkert
Flom					
Prognosene for flom gjelder endringer i 50-årsflommen	Stor økning i vinterflom, nedgang i vårflom og flom om sommeren, og økning i høstflom.	Økning i flom i alle årstidene	Økning i vinterflom, nedgang i vårflom, økning i sommer og høstflom.	Endringene i de største flommene er størst på Vestlandet. Økning i vinterflom, nedgang i vårflom og sommerflom. Økning i høstflom.	Stor økning i vinterflom. Prognosene viser både økning og nedgang for vårflom. Nedgang i flom om sommeren og økning i høstflom

CICERO Report 2007:03
Utviklingen av naturulykker som følge av klimaendringer

	Finnmark	Nordland (nord for Saltfjellet) og Troms	Trøndelag og Nordland (sør for Saltfjellet)	Vestlandet	Østlandet
Snøskred En økning i snøskred er ventet, basert på analyse av meteorologiske data, men en økning av tregrensa, tettere skog og mindre bruk av land til beite er faktorer som ikke er tatt med i analysene.					
	Sterkere vind kan føre til flere snøras i denne regionen	Sterkere vind kan føre til flere snøras i denne regionen	Ikke forventet store endringer	Med økt nedbør forventes det en økt hyppighet av snøras	Sterkere vind kan føre til flere snøras i noen områder
Steinskred Forventet økning antatt steinskred de neste 100 år. Mest utslag langs kysten.					
	Usikkert	Økt hyppighet av steinskred er ventet langs kysten	Usikkert	Økt hyppighet av steinskred er ventet langs kysten	Usikkert
Jord- og leirskred Flere ras ventes langs kysten, unntatt sørlige områder					
	Økt hyppighet av jord- og leirskred er ventet	Økt hyppighet av jord- og leirskred er ventet	Økt hyppighet av jord- og leirskred er ventet	Økt hyppighet av jord- og leirskred er ventet	Usikkert

CICERO Report 2007:03
Utviklingen av naturulykker som følge av klimaendringer

	Finnmark	Nordland (nord for Saltfjellet) og Troms	Trøndelag og Nordland (sør for Saltfjellet)	Vestlandet	Østlandet
Jordskjelv Ingen betydelige endringer som følge av klimaendringer	- . ->	- . ->	- . ->	- . ->	- . ->
	Ingen betydelige endringer	Ingen betydelige endringer	Ingen betydelige endringer	Ingen betydelige endringer	Ingen betydelige endringer
Isgang Økning i mindre vinterflommer kan føre til isgang hvis elven er islagt. Isganger kan bli utløst høyere opp i vassdrag enn normalt og føre til skade på nye steder.	- . ->	- . ->			
	Små endringer i isgang	Mer endringer i områder lengre inn i landet med høyere høyde over havet	Usikkert	Usikkert	Usikkert
Permafrost Den nedre grensen for permafrosten heves.		- ->		- ->	- ->
	Usikkert	Det er mulig permafrosten smelter i Lyngen	Usikkert	Det er mulig permafrosten smelter i Romsdalen	I Jotunheimen har bakketemperaturen økt betydelig de siste 30-40 år. Høyere temperaturer om sommeren vil fortsette denne trenden

Tabell 9.1 viser en klar forventet økning og endring av ulike naturhendelser i mange regioner i Norge. Det at det forventes både sesongmessige og geografiske endringer i de ulike naturhendelsene vil føre til større samfunnsmessig sårbarhet og gir en indikasjon om at lokalsamfunn bør vurdere sine tilpasningsstrategier og sin planlegging.

I *Finnmark* forventes det endringer i flere typer naturhendelser, som økning i flom, jord- og leirskred, snøskred og stormer. Fra statistikk over skadetakst for Finnmark de siste 10 årene vet vi at de største skadetakstene i Finnmark har vært for storm og stormflo og flom. Det er uvisst hva som ligger bak tallene når det gjelder fordeling på antall hendelser og på årstid, noe som vil være viktige data i sårbarhetsanalyser. I Finnmark er det ventet en stor økning i vinterflom, økning i høstflom og nedgang i vårflo. Samtidig er det ventet en nedgang i flom i kystområdene, noe som vil redusere sårbarheten til stormflo. Trendene i flommønsteret ser ut til å endre seg og nye områder kan bli sårbare for flom. For eksempel kan vinterflommer føre til stor skade på eiendom når bakken er frosset. De store stormene fører ofte til stor skade, men Finnmark er generelt mer robust og er bedre forberedt på stormer enn andre områder i landet. Det er derfor uvisst om flere stormer vil øke sårbarheten for naturskade i denne regionen. For jord- og leirskred trengs det mer kunnskap om hva som utløser disse skredene i Finnmark. Foreløpige resultater presentert i figur 6.7 viser at døgnets gjennomsnittstemperatur var viktigste parameter for utløsning av jord- og leirskred i Finnmark. Mer analyse av dette er nødvendig for videre vurderinger av endringer i sårbarhet for jord- og leirskred. I Finnmark er det ventet en generell økning av snøskred på grunn av forventet vindøkning i regionen. I Finnmark er 3 døgnmaksimum vindstyrke sammen med nedbør utløsende faktorer for snøskred. Som i resten av landet er det i Finnmark forventet en endring i snøskredtype fra tørrsnøskred til våtsnøskred, og i tillegg sørpeskred, på grunn av mildere temperaturer og mer nedbør i form av regn.

Våte snøskred har mer trykk enn tørre skred men beveger seg ikke like langt. Naturskaden fra et våtsnøskred kan altså være større enn et tørrskred, men dette er igjen avhengig av hvor det utløses i forhold til bosetning og eiendom. Snøskred er den hyppigste skredhendelsen i Norge, men omfanget har hittil ikke ført til høye skadetakster. Koblet mot klimaendringer kan vi forvente en økning i våte snøskred i hele Norge, og disse kan gjøre mer skade på gods og eiendom. Utsatte bosetninger vil bli mer sårbare med denne endringen i de fysiske forholdene.

I *Nordland nord for Saltfjellet og Troms* forventes en økning i snøskred, steinskred og jord- og leirras. Videre forventes en økning i flom gjennom alle årstidene, noe som representerer en ny risiko i dette området. Flom har de siste årene ført til høy skadetakst for denne regionen. Med økt flom er det høyst sannsynlig at regionen blir mer utsatt for naturskader, og dermed blir mer sårbar. Med en økning i vindstyrken vil regionen også få en økning i snøskred. Ett-døgns maksimum vindstyrke er den viktigste parameter for snøskred i denne regionen og hyppigheten av disse hendelsene vil øke. En økt hyppighet av jord- og leirskred er ventet i denne regionen. Fordi det er forventet en økning i nedbør langs kysten, og fordi nedbør er en utløsende faktor for steinskred, kan det forventes at kystsamfunnene i denne regionen vil bli mer sårbare overfor slike former for skred. Det er også ventet en økt hyppighet av jord- og leirskred som følge av økt nedbør og endring i temperaturforholdene. Det er forventet en endring i hvor slike skred finner sted langs kysten i denne regionen, og mange kystsamfunn vil derfor kunne bli mer sårbare overfor slike naturhendelser. En helt ny risiko i denne regionen er faren for at smelting av permafrost kan føre til at fjellpartier raser ut og vil dermed gjøre bosetninger i slike områder mer sårbare. Det er foreløpig begrenset datagrunnlag for å vurdere lokaliseringen av slike fjellpartier i forhold til bosetningsmønsteret.

I *Trøndelag og Nordland sør for Saltfjellet* viser data en økning i flom om vinteren, høsten og sommeren, og en reduksjon i vårflo langs kysten men ikke i innlandet. Det er en sammenheng i denne regionen, som ellers i landet, mellom bosetning på elvevifter og sårbarhet til flom. Elvevifter som er bebodde vil bli mer utsatt for flom og høyere vannstand, og dermed blir disse områdene mer utsatt og antatt mer sårbare. Mange tettsteder ligger på

elveviftene og sammenfallende faktorer, som høyere vannføring i elven om vinteren og hyppigere flom, kan føre til store skader i disse områdene. I denne regionen er det også forventet en økning i jord- og leirskred. Også her er det 1 dags maksimum nedbør som er utslagsgivende. En økning i jord- og leirskred, og en mulig endring i den geografiske fordelingen av slike skred, kan være viktig å se nærmere på i denne regionen. De siste ti årene har det vært høy skadetakst for jord- og leirskred i regionen, og en økning i denne typen skred kan gjøre regionen ytterligere utsatt.

På *Vestlandet* forventes de største endringene i flom på landsbasis. Det er forventet en stor økning i store flommer, i tillegg til en økning i vinterflom og høstflom. I Møre og Romsdal førte en stor flom til høye skadetakster i 2004-2005. Med en økning av flom i denne regionen kan det forventes en økning i naturskader forårsaket av flom. Vinterflommene kan spesielt komme til å øke. En konsekvens av dette kan bli isgang når elven er islagt, eller at isgang skjer lengre inn i landet enn tidligere slik at skadene kan komme andre steder. Økt flom i fjellområder som følge av tidligere snøsmelting om våren får kun konsekvenser for samfunnets sårbarhet hvis flommen skjer samtidig med at elvene er islagt slik at det blir isgang. Dermed er det forventet både en økning av vinterflommer og en endring av selve naturhendelsens karakter. Det er forventet en økning i antall snøskred, og i denne regionen er 1 døgn nedbør den viktigste utløsende faktor for slike skred. Det er forventet økt hyppighet av tung nedbør. Det har i noen år vært høye skadetakster for snøskred og i tillegg tar slike skred liv. Samfunnets sårbarhet til denne type hendelser gjelder derfor ikke bare skade på eiendom. Det er også forventet en økning i hyppighet og omfang av jord og leirskred, spesielt langs kysten, og her er det nedbør over 3, 10 og 30 dager som i tillegg til temperatur er utslagsgivende. Steinskredhendelser er også forventet å øke i denne regionen som følge av økt nedbør og temperaturendringer. Det er forventet at permafrosten vil smelte i denne regionen, noe som kan føre til at ustabile fjellpartier kan rase ut. Romsdalen er spesielt sårbar for slike naturhendelser.

På *Østlandet med Sørlandet* er det forventet en stor økning i antall vinterflommer, som koblet med isgang kan øke sårbarheten betraktelig i de allerede utsatte områdene og endre den i nye områder. Dette avhenger av om elvene er islagte eller om isgangen skjer andre steder enn tidligere. Høstflommene er også forventet å øke, mens vårflommene derimot blir reduserte. Østlandet er tettbebygd og med en økning av flommer og en endring i flommønsteret vil denne regionen bli mer sårbar, med mindre sikringstiltak settes i verk. Hvis flomskader kobles mot skadetakst viser blant annet flommen i 1995 høye skadetakster. Også i denne regionen ligger mange tettsteder på elveviftene og høyere vannføring i elvene og hyppigere flom om vinteren kan føre til store skader og økt sårbarhet. I tillegg vil små elveleier få økt vannføring på grunn av sesongmessige endringer i flommønsteret og økt nedbør på årsbasis, og dermed vil området bli mer utsatt for flom. Det er også forventet at snøskredhendelser vil øke i denne regionen, som følge av sterkere vind. 3 døgn vindstyrke er utslagsgivende i denne regionen, men slik vind må også kobles mot økt nedbør. Smelting av permafrosten er forventet i Jotunheimen og også her kan ustabile fjellpartier rase ut.

En vurdering av de sammenfallende fysiske faktorer viser en økning i omfang og hyppighet av ulike typer skred, flom og smelting av permafrost. Koblet mot bosetning og tilstedeværelse av menneskelig aktivitet vil dette gi økt samfunnsmessig sårbarhet. Som nevnt tidligere gir ikke det fysiske datagrunnlaget nok detaljert lokal informasjon til å koble disse dataene opp mot en detaljert sårbarhetsvurdering. Men det er klare trender både i økning og i endring av naturhendelser som er verdt å merke seg i forhold til en vurdering av økt sårbarhet for samfunn i de fem regionene i Norge. Det er også verdt å merke seg at samme type naturhendelse utløses av ulike fysiske faktorer i de ulike landsdelene. Sammenfallende fysiske faktorer kan derfor være viktige regionale indikatorer for det første steget i forståelsen av fremtidig samfunnsmessig sårbarhet. I tillegg viser vurderingen ovenfor at det er viktig å skille mellom en **økning** og en **endring** i naturhendelser som følge av biofysiske forhold. Klimaendringer vil føre til endrede sesongmessige og geografiske flommønstre, samtidig som hyppigheten vil øke. Det samme er tilfelle for snøskred. De vil endre seg i omfang, type og

hyppighet avhengig av de lokale forhold. En sårbarhetskartlegging av naturhendelser på lokalt nivå må derfor basere seg på en nedskalering av de foregående data for både meteorologiske og fysiske parametere. Jo mer detaljert en slik analyse er, jo bedre bakgrunnsmateriale har lokalsamfunnene til rådighet til å forberede seg til endringer. Koblet med en forståelse av endringer i de sosioøkonomiske forhold vil dette være med på å redusere sårbarhet.

9.3.3 Erfaringer med naturhendelser og tilpasning til framtidig risiko

Det ovenstående demonstrerer at klimaendringer kan gi endret mønster i naturhendelser, og vil med det medføre en økt risiko for naturskader i mange deler av landet. Generelt sett gir klimascenarier en klar indikasjon om at vi venter en økt hyppighet i alle værtyper som fører til naturhendelser. Spørsmålene blir da hva denne informasjonen sier, hvilke mekanismer som finnes for å bruke denne informasjonen for tilpasning, og i hvilken grad dette kan eller vil skje.

Hvis man ser isolert på endringer i naturhendelser og risiko for naturskader, er det en trend mot økt samfunnsmessig sårbarhet overfor naturhendelser. Men som nevnt over: beskrivelser i denne rapporten om forventet økt hyppighet av naturhendelser betyr ikke nødvendigvis flere naturskader. Informasjonen i denne rapporten demonstrerer derfor at klimaendringer kan gi endret mønster i naturhendelser og medføre en økt risiko for naturskader i mange deler av landet. Men den kan ikke si noe om hvilket utfall disse hendelsene vil få. Regionale og lokale analyser av naturulykker tjener som et utgangspunkt for en vurdering av forventede trender, men kan ikke alene gi et fullgodt bilde. Dette er ikke minst på grunn av usikkerheten i scenarier, som er beskrevet tidligere.

Naturhendelser kan projiseres på regionalt nivå, men usikkerheten på lokalt nivå er svært høy. Den siste tiden har det vært flere eksempler på at ekstrem nedbør har skapt problemer for lokalsamfunn. Problemet med å forutsi noe om hvordan utviklingen av ekstremnedbør kommer til å bli i fremtiden er, som diskutert i kapittel 3, at denne typen nedbør er så lokal at det er vanskelig å forutsi. Det er også lite historisk materiale å basere seg på i denne sammenhengen fordi mange ekstreme nedbørshendelser har vært så lokale at målestasjoner ikke har fanget opp hendelsen. Utfallet av ekstrem nedbør avhenger også av beredskap og grad av tilpasning.

Brooks m.fl. (2005) konkluderer med at det i situasjoner med stor usikkerhet kan være bedre å fokusere på områder som gjør samfunnet sårbart enn å basere seg på scenarieframskrivninger. I praksis vil dette si å fokusere på dagens sårbarhet og bosettings- og bygningsmønster, veiplanlegging og andre faktorer. Samfunnet har allerede i dag mange mekanismer for å tilpasse seg naturskader. Sikring av områder, som for eksempel flomsikring, kommer inn under Naturskadeloven og kostnadene kan bli dekket av naturskadefondet.

Andre mer overordnede tilpasningstiltak kan skje gjennom planlegging på kommunalt nivå, fylkesnivå eller statlig nivå. Plan og bygningsloven (PBL) legger føringer for alle disse tre nivåene. Plandelen tar seg av arealplanlegging mens bygningsdelen gir retningslinjer for bygninger, både oppføringer og bestående byggverk. Det arbeides nå med forslag til revidert PBL. PBL inneholder mange føringer som kan ha betydning for tilpasning til risiko for naturhendelser. Kvaliteten på og sikring av bygninger er et område hvor gode retningslinjer kan gjøre byggmassen mindre sårbar for naturskader. Det er per i dag ingen krav i PBL om at kommunene må utrede hvor i kommunen det kan være risiko for naturhendelser som skred. Med et krav om dette vil man unngå utbygninger i områder som er utsatt og sårbarheten for naturhendelser vil kunne reduseres.

Et annet planleggingsverktøy som er tilgjengelig for kommunene er Risiko og sårbarhetsanalyser (ROS-analyser). Noen kommuner har gjennomført slike analyser, men få

av disse analysene tar hensyn til risiko i forhold til naturskader i et endret klima. En tilpasningsstrategi kunne være å lovpålegge ROS-analyse med klimadel.

Beredskapsplaner på de ulike nivåene – kommune, fylke, stat – må foreligge for å kunne håndtere naturskader. Det foreligger såpass mye usikkerhet omkring utvikling av naturskader som følge av klimaendringer at det vil være umulig å tilpasse seg alle tilfeller.

Eksempler på andre virkemidler er NVEs flomsonekart, selv om disse ikke tar med fremtidige klimaendringer i sine vurderinger, og det nå avsluttede FLOWS-prosjektet (Floodplain Land Use Optimising Workable Sustainability). FLOWS-prosjektet hadde som mål å identifisere hva som trengs for at vi skal kunne leve med flomrisiko i en situasjon med klimaendringer. Dette innebærer bl.a. informasjon til beslutningstakere om risiko ved lokalisering av ny bebyggelse, endringer i byggedesign, økt robusthet i eksisterende bebyggelse og bedre flomvarslingsystemer. FLOWS var et samarbeidsprosjekt mellom Tyskland, Nederland, Norge, Sverige og Storbritannia. Den norske komponenten, ledet av NVE, så særlig på befolkningens opplevelse av flomrisiko, spredning av informasjon om flomfare, og hvordan man kan leve med flomfare.³

Et mer grunnleggende spørsmål er imidlertid om vi i stor nok grad bruker informasjonen vi har og lærer av tidligere naturhendelser. To av de største og mest dokumenterte naturhendelsene i Norge over de siste 15 årene er nyttårsorkanen i 1992 på Nordvestlandet og flommen i 1995 på Østlandet. Begge har vært gjenstand for analyse i et klimaperspektiv de senere årene, med fokus på sårbarhet.

Erfaringer fra 1992-orkanen viste at mange av skadene var på nyere bygninger, og at mange av skadene i 1992 kunne vært unngått hvis gjeldende byggeforskrifter hadde vært overholdt (Lisø et al., 2003). For det andre avslørte orkanen alvorlige mangler ved beredskapssystemet i Norge (Aall og Groven, 2003). Etter flommen på Østlandet i 1995 ble det satt i gang en stor innsats for å gjennomgå beredskapsrutiner på ulike nivåer, og et stort program i regi av NVE for kartlegging av flomsoner til bruk i kommuneplanleggingen ble opprettet. Her var det imidlertid mye fokus på tekniske ”engangsløsninger” som flomvoller og lignende, og det er uklart i hvilken grad kommuner har lært av hendelsen (Næss et al., 2005). Det er også mer uklart hvorvidt flommen har medført varige endringer i kommuners rutiner for flomhåndtering. Det er flere eksempler på kommuner som har godkjent utbygging i områder som lå langt under vann under flommen i 1995. Flomtiltak etter 1995 har i stor grad skjedd som tekniske ”engangstiltak” i form av flomvoller, steinlegging og lignende. Tekniske tiltak kan imidlertid bare i begrenset grad redusere flomskadene under de største flommene (Roald, 2004).

Større infrastrukturtiltak mot flom er problematiske blant annet på grunn av at de er mindre fleksible enn for eksempel skjerming av flomutsatte områder mot utbygging eller bruk av mer robuste byggematerialer. De kan også skape problemer hvis flomsituasjonen endrer seg fra å gjelde relativt forutsigbare elflommer til større hyppighet av sterke nedbørssituasjoner og flom i små sideelver (Næss et al., 2005). Det er derfor en økende erkjennelse av at man må lære seg å leve med flom i utsatte områder, enten de er menneskeskapt eller følge av naturlig variasjon.

Disse eksemplene har vist at det er svakheter i hvordan vi takler dagens klimavariasjoner og klimaendringer. Dette kan dels sees på som et resultat av at man ikke hadde gode nok rutiner og god nok kunnskap om varsling og forebygging i forhold til klimavariasjoner. Det synes imidlertid også klart at eksisterende kunnskap ikke brukes i tilstrekkelig grad. I tillegg har Stortingets sjenerøse holdning i etterarbeidet av bl.a. flommen i 1995 bidratt til å løfte ansvaret fra kommunene og i liten grad stimulere til proaktive tiltak (Næss et al., 2005).

³ www.flows.nu

En underliggende, ofte implisitt antagelse for tidlige studier av klimaeffekter var at klimatilpasning ville skje mer eller mindre av seg selv etter at man hadde god nok kunnskap, og ofte uten større kostnader. Det blir imidlertid mer og mer klart at tilpasning vil kreve fokusert innsats over tid (O'Brien et al., 2006).

9.4 Videre utfordringer

For å kunne si mer om sårbarhet til naturhendelser må informasjonen kobles mot demografi og økonomi på et relativt lokalt nivå, som kommunenivået. Det er ikke nødvendigvis en sammenheng mellom høy skadetakst og størrelsen på naturhendelsen. En stor naturhendelse (snøskred) i et område med lite infrastruktur og bebyggelse kan gi lav eller ingen skadetakst, og en mindre naturhendelse i et tettbygd område kan føre til høye skadetakster. Det er viktig å ta hensyn til hvilke områder som kan bli utsatt for naturhendelser når nye boligområder og veier planlegges.

Det foregående materialet legger begrensninger på sårbarhetsvurderinger knyttet til naturhendelser fordi der er relativt stor usikkerhet i datagrunnlaget, og fordi det ikke inneholder informasjon som gir detaljer på lokalt nivå. Usikkerhet knytter seg til tre hovedmomenter:

- 1) Vi har begrensede muligheter til å forutsi eksakte endringer i lokalklimatiske forhold, og spesielt ekstremhendelser og sammenfall av flere klimatiske faktorer (komplekse ekstremer). Det er behov for undersøkelser av hvordan for eksempel snøsmelting og flomfrekvens vil endre seg under framtidig oppvarming.
- 2) Det mangler modell-verktøy for å beregne virkninger av disse endringene på ulike forhold i byer og tettsteder.
- 3) Det knytter seg også usikkerhet til samfunnsmessige faktorer og utvikling, men det har ikke vært et tema innefor rammen av denne rapporten.

Forsøk på sårbarhetskartlegging over de senere årene har avdekket utfordringer i å finne lokalt relevante indikatorer for sårbarhet, måter å sammenligne sårbarhet for hele landet på, metoder for gjensidig opplæring og kommunikasjon mellom "produsenter" og "brukere" av klimascenarier og, ikke minst, å finne koblingspunkter mellom sårbarhetskartlegging og lokale beslutningsprosesser (O'Brien m.fl., 2003; Aall og Norland, 2003).

Det som dermed blir viktig, gitt kunnskapen vi har om at det blir en økning i naturhendelser i tiden som kommer, er å tilpasse samfunnet slik at omfanget av skadene blir så små som mulig. Kunnskap og forskning på dette området må utvikles hvis Norge skal ha mulighet til å tilpasse seg både ventede og uventede klimaendringer og resulterende naturhendelser. Der hvor infrastrukturen ikke er tilpasset kan skadene fra naturhendelser bli større. Østlandsflommen i 1995 er et eksempel på at en enkelthendelse kan føre til høye skadetakster. Mange hendelser er såpass sjeldne at sikringstiltak eller tilpasning til disse ikke finner sted, noe som kan føre til at skadene blir desto større når naturhendelsen faktisk inntreffer. Satsing på sikring, god arealplanlegging og god byggeskikk er alle viktige elementer for å begrense skader fra naturhendelser.

LITTERATURHENVISNINGER

- Alexandersson, H., Tuomenvirta, H., Schmith, T. & Iden, K. (2000) Trends of Storms in NW Europe derived from an updated pressure data set. *Climate Research*, **14** (1), 71-73
- Alfnes, E & Førland, E.J (2006) *Trends in extreme precipitation and return values in Norway 1900-2004*. met.no Report 2/2006 Climate
- Asvall, R.P. & Kvambekk Å.S. (2006) *Ice cover in a changing climate*. The 18th International Symposium on Ice, Sapporo, Japan
- Benestad, R.E (2005) *Storm frequencies over Fennoscandia - relevance for bark beetle outbreak*. RegClim results, met-no report 20/2005, Climate, pp.45
- Benestad, R.E. & D. Chen (2006) The use of a Calculus-based Cyclone Identification method for generating storm statistics. *Tellus series A-dynamic meteorology and oceanography* 58 (4), 473-486
- Benestad, R.E. & J.E Haugen (2006) On Complex Extremes: Flood hazards and combined high spring-time precipitation and temperature in Norway. *Climatic Change*, submitted.
- Benestad, R.E. (2003) [How often can we expect a record-event?](#) *Climate Research* **23**, 3-13
- Benestad, R.E. (2006) *Future Changes in Extreme Rainfall over Northern Europe*, RegClim General Technical Report No. 9, p. 145-158 (innsendt til Climate Research)
- Bengtsson, L., K.I. Hodges & E. Roeckner (2006) Storm Tracks and Climate Change, *Journal of Climate*, **19** (15), 3518-3542
- Brooks, N., Adger, W. N. and Kelly, M. 2005. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. In Adger, W. N., Arnell, N. and Tompkins, E. L. (Eds.) *Adaptation to Climate Change: Perspectives Across Scales. Global Environmental Change Part A* 15, 151-162.
- Engeset, R.V., Vikhamar-Schuler, D., Møen, K., Hjemaas, H.M., Jackson, J. & Kvernhaugen, F. (2006). Climate Change Causes Glacier Lake Outburst Floods in a Hydropower Dam in Norway. *Proceedings*, European Conference on Impacts of Climate Change on Renewable Energy Sources, Reykjavik, Iceland, June 5-9, 2006.
- Frei, C., R. Schöll, S. Fukutomi, J. Schmidli, P. L. Vidale (2006) Future change of precipitation extremes in Europe: Intercomparison of scenarios from regional climate models, *Journal of geophysical research-atmospheres* **111** (D6): Art. No. D06105
- Furseth, A., 2006 *Skredulykker i Norge*. 207 pp. Tun Forlag A/S
- Førland, E.J., Amundsen, H., Asvall, R.P., Benestad, R.E., Debernard, J., Harstveit, K., Haugen, J.E., Hovelsrud, G.K., Isaksen, K., Jaedicke, C., Kronholm, K., LaCasce, J., Roald, L.A., Sletten, K. & Stalsberg, K. (2007) *Climate change and natural disasters in Norway –An assessment of possible future changes*. met.no report xx/2007 Climate
- GeoExtreme, informasjon om prosjektet tilgjengelig på www.geoextreme.no/
- IPCC (2001a) *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the International Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, UK & USA.
- IPCC (2001b) *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contributions of Working Group II to the Third Assessment Report of the International Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, UK & USA.
- Jaedicke, C., Lied, K., Juvet, H. and Kronholm, K., 2006. Integrated database for rapid mass movements in Norway. International Snow Science Workshop, Telluride, Colorado, 1-6 Oct., 2006, 148-156.

- Leckebusch, G.C., Koffi, B., Ulbrich, U., Pinto, J.G., Spanghel, T. & Zacharias, S. (2006) Analysis of frequency and intensity of European winter storm events from a multi-model perspective, at synoptic and regional scales. *Climate Research*, **31**, 59-74
- Lisø, K.R., Aandahl, G., Eriksen, S., Alfsen, K.H., 2003. Preparing for impacts of climate change in Norway's built environment. *Building Research and Information* 31, 200-209.
- Næss, L. O., G. Bang, S. Eriksen og J. Vevatne, 2005. Institutional adaptation to climate change: Flood responses at the municipal level in Norway. *Global Environmental Change*, 15:125-138.
- O'Brien, K., G. Aandahl, G. Orderud og B. Sæther (2003): "Sårbarhetskartlegging – et utgangspunkt for klimadialog". *Plan: Tidsskrift for Samfunnsplanlegging, byplan og regional utvikling*, (5): 12-17.
- Pryor, S.C., School, J.T. & Barthelmie, R.J (2006) Winds of change? Projections of near-surface winds under climate change scenarios. *Geophysical Research Letters* **33** (11): Art. No. L11702
- Pryor, S.C., School, J.T. & Barthelmie, R.J. (2005): Climate change impacts on wind speeds and wind energy density in northern Europe: empirical downscaling of multiple AOGCMs. *Climate Research*, **29**, 183-198
- RegClim (2005) *Norges klima om 100 år. Usikkerheter og risiko*. RegClim-brosjyre, 09/2005. Tilgjengelig på <http://regclim.met.no>
- Roald, L. (2004). *NVE tar mulige klimaendringer på alvor: hva gjøres?* Presentasjon, Veg- og trafikkdagene 2004, NTNU, Trondheim, 7.& 8. september, 2004.
- Roald, L. A., Beldring S., Skaugen T. E., Førland E.J. & Benestad R. (2006) *Climate change impacts on streamflow in Norway*. NVE-Oppdragsrapport A 1 2006.
- Roald, L.A., Skaugen, T.E., Beldring, S., Wæringstad, T., Engeset, R.V. & Førland, E.J. (2002) *Scenarios of annual and seasonal runoff for Norway based on climate scenarios 2030* NVE-report A 10/02, Met.no Report 19/02 Klima.
- Vikhamar-Schuler, D. & Førland, E.J. (2006) *Comparison of snow water equivalent estimated by the HIRHAM and the HBV (GWB) models: - current conditions (1961-1990) and scenarios for the future (2071-2100)*. Met.no Report 06/2006
- Vikhamar-Schuler, D., Beldring, S., Førland E.J., Roald, L.A. & Skaugen, T.E. (2006) *Snow cover and snow water equivalent in Norway: - current conditions (1961-1990) and scenarios for the future (2071-2100)*. Met.no report 1/2006 Climate.
- Yan, Z., Bate, S., Chandler, R.E., Isham, V. & Wheeler, H. (2006) Changes in extreme wind speeds in NW Europe simulated by generalized linear models. *Theoretical and applied climatology* **83** (1-4): 121-137.
- Yin, J. H. (2005) A consistent poleward shift of stormtracks in simulations of 21st century climate. *Geophysical Research Letters* **32** (18): Art. No. L18701
- Aall, C. og I. T. Norland (2003). Indikatorer for vurdering av lokal klimasårbarhet. VF-rapport 15/03. Sogndal, Vestlandsforskning (VF).
- Aall, C. og K. Groven (2003). Institusjonell respons på klimaendringer: Gjennomgang av hvordan fire institusjonelle systemer kan bidra i arbeidet med å tilpasse samfunnet til klimaendringer. VF-rapport 3/03. Sogndal, Vestlandsforskning (VF).