

CICERO Rapport 2009:09

# **Forventede klimaendringer og effekter i Norge med mulig betydning for kraftforsyningen**

## **Utredning på oppdrag fra Norges vassdrags- og energidirektorat**

**Linda Innbjør**

**Lisbet Jære**

November 2009

### **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](mailto:admin@cicero.uio.no)  
Web: [www.cicero.uio.no](http://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](mailto:admin@cicero.uio.no)  
Nett: [www.cicero.uio.no](http://www.cicero.uio.no)

CICERO Rapport 2009:09  
**Forventede klimaendringer og effekter i Norge med mulig betydning for  
kraftforsyningen**

---

**Tittel:** **Title: Forventede klimaendringer og effekter i Norge med mulig betydning for kraftforsyningen**

**Forfatter(e):** **Author(s): Linda Innbjør, Lisbet Jære**  
CICERO  
24 pages

**Finansieringskilde:** **Financed by: Norges Vassdrags- og Energidirektorat**

**Prosjekt:** **Project:**  
**Prosjektleder:** **Project manager: Linda Innbjør**  
**Seniorrådgiver**

**Kvalitetsansvarlig:** **Quality manager: Jan Erik Haugen**  
**Metrologisk institutt**

**Nøkkelord:** **Keywords:**

**Sammendrag:** **Abstract:** Rapporten bygger på sammenstilling av kunnskap om hvordan klimaendringene vil bli i Norge fram mot 2100, bygget på IPCCs hovedrapport fra 2007 samt nedskalerte scenarier for Norden og Norge. Også nyere klimaforskning og effekter av de forventede endringene er del av kompetansegrunnlaget som presenteres. Rapporten beskriver risiko for uforutsigbare og hittil ukjente vær fenomener i Norge og de (stadig økende) utfordringer som dette innebærer både for ulike typer infrastruktur og med hensyn til samfunnsplanlegging.

**Språk:** **Language of report: Norsk**

---

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

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

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

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

---

## Contents

The table of contents should look something like this:

1	Innledning.....	1
1.1	KLIMAMODELLER, SCENARIER OG OBSERVERTE KLIMAENDRINGER .....	1
2	Temperaturutviklingen i Norge .....	2
2.1	BEREGNET TEMPERATURØKNING I NORGE.....	2
2.2	TØRKE OG HETEBØLGER .....	4
2.3	DAGER MED EKSTREMTEMPERATUR .....	4
2.4	FRYSE - TINE SYKLER.....	4
2.5	FROSTSPRENGNING.....	6
2.6	TINING AV PERMAFROST .....	7
3	Beregning av nedbør og endringer i nedbørsmønster.....	8
3.1	BERGNINGER AV ENDRET AVRENNING .....	9
3.2	EKSTREMNEDBØRSDAGER .....	10
3.3	KORTTIDSNEDBØR OG TIMES NEDBØR .....	10
3.4	ENDRINGER I VINTERNEDBØR .....	11
4	Ekstremvær og klimarelaterte natur- og skadehendelser .....	11
4.1	FLOMHEDELSE – ET ENDRET FLOMREGIME TAR FORM .....	12
4.2	ØKT HYPPIGHET AV SKREDHEDELSE.....	13
4.3	ENDRING I VINDSTYRKE OG ØKT FOREKOMST AV STERK VIND.....	15
4.4	LYNAKTIVITET OG TORDENVÆR .....	16
4.5	ENDRINGER I LUFTFUKTIGHET OG SALTKRYSTALLISERING .....	17
4.6	HAVNIVÅSTIGNING .....	19
4.7	ØKT STORMFLONIVÅ OG –AKTIVITET.....	21
5	Vegetasjonsendringer .....	22
6	Oppsummering .....	23

## 1 Innledning

### 1.1 Klimamodeller, scenarier og observerte klimaendringer

Klimaet på jorda har alltid vært i endring og det er flere faktorer som er med å bestemme jordas klima. Både solinnstråling, innhold av klimagasser i atmosfæren, jordoverflatens egenskaper som snø- og isdekke samt ulike former for vegetasjonsdekke har innvirkning på klimaforhold.

For å skille mellom menneskeskapt klimaendringer og de naturlige er kunnskap om hvordan klimaet var før den industrielle revolusjon viktig. Å studere fortidens klima er nødvendig for å si noe om de framtidige klimaendringene. Forskingen har, både ved hjelp av observasjoner og utvikling av klimamodeller funnet vitenskapelig belegg for at det har skjedd en menneskeskapt påvirkning av klimaet, særlig de siste 50 årene (IPCC 2007). Farlig temperaturøkning blir av mange definert som en økning på over 2 grader celsius.

I Norge har vi pålitelige meteorologiske data fra ca. 1860. Klimaet beregnes oftest ut fra normaler som er middelveier for bestemte 30-års perioder. Perioden 1961 til 1990 er internasjonalt anerkjent referanseperiode. Det er viktig å være klar over at målinger av reelle utslipp nå viser at disse har økt med 40 % siden 1990, som er referanseår for Kyotoavtalen<sup>1</sup>. Fra 2000 og frem til i dag har utslippet økt med 3,4 % i årlig gjennomsnitt. Samtidig viser målinger at stadig mer av CO<sub>2</sub>-utslippene blir værende i atmosfæren. Dette tyder på at naturens evne til CO<sub>2</sub>-opptak er svekket. Våre utslipp av klimagasser kan dermed få en langt større oppvarmingseffekt på atmosfæren enn det vi hittil har trodd.<sup>2</sup>

Met Office Hadley Centre har laget en oppdatert oversikt over hvilke konsekvenser en oppvarming på 4 grader vil få for de befolkede områdene i verden på bakgrunn av den økningen i utslipp av klimagasser som har funnet sted globalt. Det beregnes her at man vil nå 4 grader oppvarming globalt langt tidligere enn ved år 2100 om utslippene ikke reduseres drastisk. Landområdene vil varmes opp betydelig raskere enn verdenshavene og oppvarmingen over land vil bli på hele 5,5 grader over førindustrielt nivå. Norge ligger langt mot nord, og det er i polområdene endringen forventes å gå raskest og gi størst utslag.<sup>3</sup>

Beregninger av klimaendringer i Norge bygger på globale klimaendringsmodeller. RegClim har nedskalert scenarioene fra FN's Klimapanel (IPCC 2007) for å gi et bilde av klimautviklingen fremover i våre områder, prosjektet er nå videreført i NorClim som arbeider videre med utvikling av modellene.<sup>4</sup> For å gi et bilde av hvordan framtidens klima vil bli benyttes klimaframskrivninger, også kalt klimascenarier. Rapporten "Klima i Norge 2100" inneholder en sammenstilling av hvordan klimaendringene vil bli i Norge fram mot 2100. I hovedsak er rapporten basert på resultater fra FN's klimapanel i 2007 og en videre nedskalering til vår del av verden og til Norge.

---

<sup>1</sup> Referanse: [http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/items/2830.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php)

<sup>2</sup> Peters, Glenn; Nature Geosciences, 2009: "Trends in the sources and sinks of carbon dioxide" <http://www.nature.com/ngeo/journal/vaop/ncurrent/abs/ngeo689.html> se også: <http://www.cicero.uio.no/webnews/index.aspx?id=11238>

<sup>3</sup> <http://www.actioncopenhagen.decc.gov.uk/en/ambition/evidence/4-degrees-map/>

<sup>4</sup> <http://regclim.met.no> og <http://www.norclim.no>

<sup>5</sup> Norsk Klimasenter (2009): "Klima i Norge 2100"

## Forventede klimaendringer og effekter i Norge med mulig betydning for kraftforsyningen

---

Rapporten opererer med tre scenarier for temperatur- og nedbørsforandring - et lavt (L), et middels (M) og et høyt (H) scenario. For Norges gjennomsnittstemperatur gir det lave scenariet en oppvarming på 2,3 grader, det midterste 3,4 grader og det høye 4,6 grader<sup>6</sup>. "Klima i Norge" presenterer samlede tall for temperatur- og nedbørutviklingen på regionalt nivå helt fram mot år 2100. Rapporten fokuserer på tre ulike perioder - de nærmeste 10 til 20 årene, perioden fra 2021 til 2050, samt 2071-2100.

Grunnen til at en opererer med ulike framskrivninger eller scenarier er flere. En faktor er at en ikke vet hvordan de framtidige klimagass- og partikkelutslippene vil bli. Det vil alltid være risiko for avvik tilknyttet klimamodellene. I denne fremstillingen vil det vises til forventede klimaendringer både for lav (L), middels (M) og høy (H) framskrivning.

## 2 Temperaturutviklingen i Norge

Med økt temperatur øker energimengden i atmosfæren og dermed øker selve aktivitetsnivået i klimasystemet. En varmere atmosfære inneholder mer fuktighet på grunn av det hydrologiske kretsløpet som består av prosesser som fordampning, avrenning, nedbør og snøsmelting. Dette er et evig kretsløp der vannet som fordampes fra bakken og havet kommer igjen som nedbør. Oppvarmingen fører til mer fordampning som igjen fører til mer nedbør. Det utvikles klimamessige forhold som er mer ekstreme enn de vi er vant til og det oppstår en uforutsigbarhet i forhold til historisk klima. Dette viser seg for eksempel gjennom en økt frekvens av lavtryksaktivitet, der stormer blir sterkere og mer intense nedbørssystemer opptrer. Det er mer fuktighet til rådighet i atmosfæren, noe som frigjør mer energi. Globalt registreres det også ekstreme hendelser knyttet til kortidsnedbør.

Temperatur fungerer dermed som en driver for klimaendringene, og oppvarmingen av atmosfæren påvirker en rekke faktorer som blant annet nedbørsmønster og intensitet, vannføring og avrenning, snø og isdekke og endringer i biologisk mangfold og livsmiljø.

Det er store ulikheter med hensyn til hvor mye temperaturen vil øke i de ulike regionene i Norge og det er også naturlige klimavariasjoner her til lands. Årsmiddeltemperaturen for Norge er på det nåværende tidspunkt beregnet til å være ca. +1 grad og varierer fra +6 grader langs kysten på Vestlandet mens den er lavere enn -4 grader på høyfjellet. Vinterstid er det varmest langs kysten, mens det om sommeren måles høyest temperatur i innlandet. Det varmeste området på årsbasis er kystsonene fra Lista til Stadt, mens det kaldeste området i lavere strøk er Finnmarksvidda med -3,1 (Norsk klimasenter: 2009).

### 2.1 Beregnet temperaturøkning i Norge

På landsbasis er temperaturøkningen beregnet til å bli størst om vinteren og minst om sommeren. Det beregnes at økningen blir størst i Nord-Norge med mellom 3,1 (L) til 5,2 (H) grader på Finnmarksvidda.

Minst temperaturøkning får Vestlandet med mellom 1,9 og 4,2 grader på årsbasis (perioden 2070-2100).

---

<sup>6</sup> Den lave framskrivningen bygger på gjennomsnittet av de 10 prosent laveste verdiene fra tilgjengelige klimamodeller. Modellen for dette scenariet forutsetter en svært rask utslippsreduksjon med overgang fra bruk av olje, kull og gass til fornybare energikilder og en begrenset befolkningsvekst. Høy framskrivning viser et gjennomsnittet av de 10 prosentene som viser høyest temperaturstigning på modellene. Middels framskrivning er de 80 prosent resterende verdiene.

## Forventede klimaendringer og effekter i Norge med mulig betydning for kraftforsyningen

Til sammenligning er det ventet en oppvarming mellom 1,7 og 2,8 grader på Finnmarksvidda for perioden 2021-2050. På Vestlandet er oppvarmingen beregnet å ligge mellom 1 og 2,3 grader i samme periode.<sup>7</sup>

**Tabell 1. Middels, lav og høy temperaturøkning (i grader) angitt som årsgjennomsnitt for perioden 2071-2100 (Referanseperiode: 1961 – 1990) KILDE: Norsk klimasenter: Klima i Norge 2100, 2009**

	Middels	Lav	Høy
<b>Norge</b>	<b>3,4</b>	<b>2,3</b>	<b>4,6</b>
<b>Østlandet</b>	3,4	2,3	4,8
<b>Vestlandet</b>	3,1	1,9	4,2
<b>Trøndelag</b>	3,2	2,2	4,4
<b>Nordland/Troms</b>	3,4	2,3	4,6
<b>Finnmarksvidda</b>	4,2	3,1	5,2
<b>Varanger</b>	4,2	3,0	5,4

Som vi ser av tabellen er det beregnet høyeste temperaturstigningen i Varanger. Med høy framskrivning (H) ventes også temperaturstigningen for vintersesongen her å bli høyest i landet med hele 7,3 grader mot slutten av dette århundredet. Dette er en svært dramatisk økning, og selv middels framskrivning (M) gir en oppvarming på hele 5,2 grader vinterstid. Folk bosatt i kystområder i Finnmark vil etter disse fremskrivningene oppleve de største temperaturendringene. Deres årlige fyringssesong ventes å bli redusert med mer enn 50 dager på 60 år.<sup>8</sup>

**Økning i grader 2021 – 2050 på landsbasis:**  
Årsmiddel: 1,2 – 2,5

<b>Vinter</b>	1,5 – 3,3
<b>Vår</b>	1,2 – 2,6
<b>Sommer</b>	0,8 – 1,9
<b>Høst</b>	1,3 – 2,6

**Økning i grader 2071 – 2100 på landsbasis:**  
Årsmiddel: 2,3 – 4,6

<b>Vinter</b>	2,8 – 6,0
<b>Vår</b>	2,3 – 4,8
<b>Sommer</b>	1,4 – 3,5
<b>Høst</b>	2,4 – 4,8

Som det går frem av tabellene over, forventes det en stigning av temperatur i Norge utover i scenarieperioden frem mot 2100.

<sup>7</sup> Se tabell s. 77: "Klima i Norge 2100"

<sup>8</sup> Fyringssesongen defineres som perioden fra og med den dagen døgnmiddeltemperaturen synker under 10 °C om høsten til den stiger over 10 °C om våren.

## Forventede klimaendringer og effekter i Norge med mulig betydning for kraftforsyningen

---

### 2.2 Tørke og hetebølger

Faren for tørke om sommeren kommer til å øke, særlig fra 2050, mens det på kort sikt beregnes små endringer i tørke som påvirker markvannsunderskuddet<sup>9</sup>. Høyere temperatur øker fordampningen fra jorda, og gjør at markvannsunderskuddet etter hvert vil bli betydelig større om sommeren. I praksis betyr dette økt risiko for tørke.<sup>10</sup> Dette har konsekvenser for jord- og skogbruk, og øker skogbrannfaren.

Cicero og Cowi (2008)<sup>11</sup> omtaler hvilke konsekvenser tørke kan komme til å få for Norge. De største temperaturøkningene er i denne rapporten beregnet til å opptre i Sørøst-Norge, hvor også vanntilgangen forventes å legge begrensninger for trevekst. Tørke kan føre til at arter som krever høyere temperatur, ekspanderer på bekostning av gran. Videre er tørkerammede trær mer utsatt for angrep fra skadedyr og brann. På 1970-tallet ødela granbarkebiller 4 millioner kubikkmeter med grantrær, noe som tilsvarer omtrent halvparten av normal årlig hugst i Norge i dag. I tillegg kan tørkeperioder komme til å øke forekomsten av setningsskader på bygg og andre konstruksjoner.

Et varmere og tørrere klima kan også øke faren for skogbrann, blant annet fordi det såkalte markvannsunderskuddet øker. Vi har imidlertid ikke funnet studier som indikerer hvor store volumer dette kan dreie seg om i Norge.

Tørke har tradisjonelt vært ansett som et problem som først og fremst rammer utviklingsland, de senere årene har det vokst fram en erkjennelse av at det også kan ramme industriland. I 2003 ble store deler av Europa rammet av langvarig hetebølge som resulterte i 30 000 dødsfall og skader for rundt 12 milliarder Euro. Ifølge FNs klimapanel (IPPC 2007) har det blitt vanligere med varme dager og hetebølger inntreffer oftere.<sup>12</sup>

### 2.3 Dager med ekstremtemperatur

En beregning av antall døgn i året som har middeltemperatur over 20 grader brukes for å se på endringen i antall dager med ekstremtemperatur. I perioden 1961 – 1990 (referanseperioden) forekom dette en til to dager per år i et begrenset område langs Oslofjorden. I perioden 2070 til 2100 vil forekomsten av døgn med over 20 grader øke med over 30 dager flere steder på Østlandet. Bortsett fra på høyfjellet og i områder langs kysten, forventes det også å forekomme dager med middeltemperatur på over 20 grader over hele Norge.<sup>13</sup>

### 2.4 Fryse - tine sykler

Det er stor interesse knyttet til hvor mange flere dager en vil få der temperaturen beveger seg rundt 0, det som kalles 0-gradspassing. Haugen og Iversen (2008) har gjort noen beregninger av dette på grunnlag av dynamisk nedskalerte framskrivninger<sup>14</sup>. I kystnære strøk vil antall dager som blir kaldere enn 0-grader avta mellom 10 og 60 prosent mot 2050. I innlandet og fjellområdene vil endringene ligge mellom -10 til 10 prosent. Figur 1 (under)

---

<sup>9</sup> Markvann er et uttrykk for mengden av vann i jordlaget mellom grunnvannsnivå og jordoverflaten.

<sup>10</sup> På landsbasis forventes det mer nedbør og økt avrenning i Norge men i et varmere klima vil tørkeperioder bli mer vanlig og slike perioder vil tørken kunne bli mer intens, særlig i de sørøstlige deler av landet.

<sup>11</sup> Cicero og COWI. 2008. *Betydningen for Norden av 2 grader global oppvarming* (2008:507).

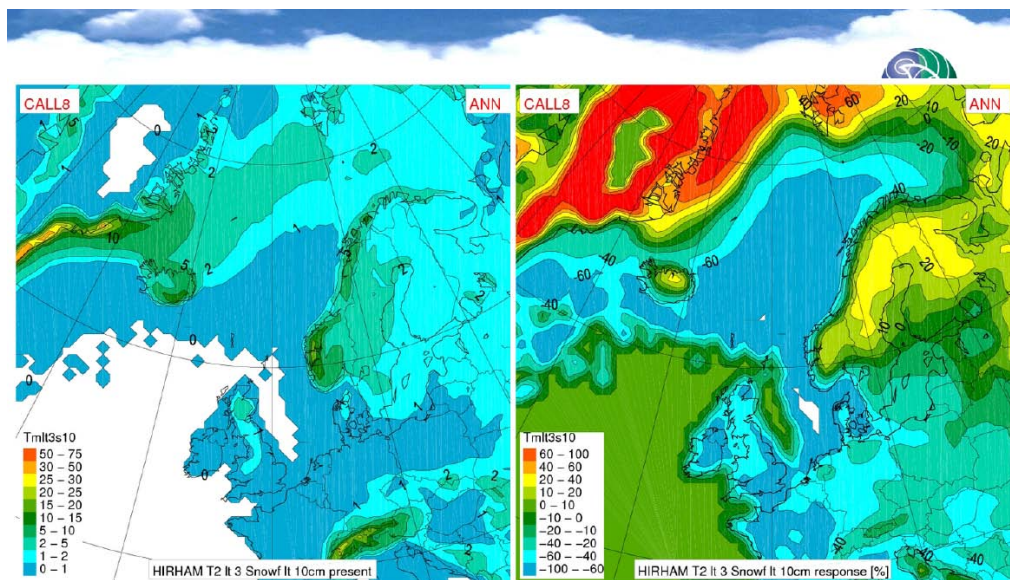
<sup>12</sup> Cicero, ECON Pöyry og Vestlandsforskning (2009): "Konsekvenser av klimaendringer, tilpasning og sårbarhet i Norge"

<sup>13</sup> "Klima i Norge 2100", kart s. 80.

<sup>14</sup> Haugen, J.E. og T. Iversen (2008): Tellus 60A «Response in extremes of daily precipitation and wind from a downscaled multi-model ensemble of anthropogenic global climate change scenarios.» (s.411–426)

viser at det er en viss økning i antall dager med temperatur rundt null (10-20%) i indre/høyereliggende områder, og færre tilfeller i kystnære områder.

**Figur 1: Endringen i antall dager med temperaturer rundt null kombinert med snøfall.**



### Endring av temperatursvingninger rundt 0 C og snøfall

Venstre: Gjennomsnittlig antall døgn per år med  $T_{max} < +3C$  og  $T_{min} > -3C$  kombinert med snøfall  $> 10cm$  1961-90

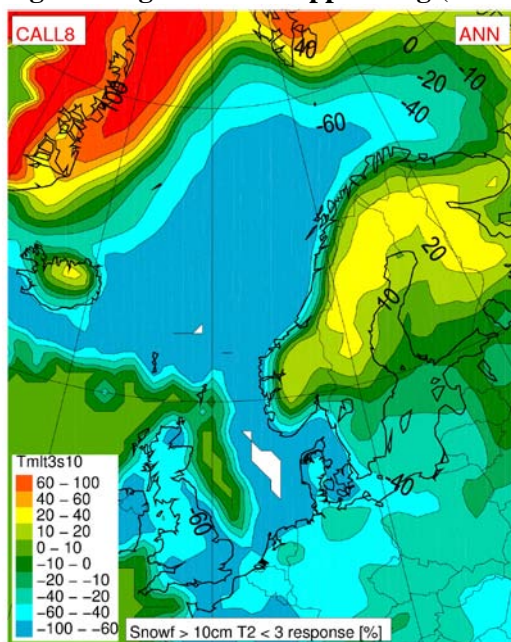
Høyre: Prosentvis relativ endring ca 2050

(8 scenarier, RegClim, 2007)

Norwegian Meteorological Institute [met.no](http://met.no)

**KILDE:** Jan Erik Haugen ([met.no](http://met.no)), presentasjon på EBL nettkonferanse i Molde (des. 2007)

**Figur 2: Fig. 1 i bedret oppløsning (KILDE: samme som over)**







**Ising:** Raske temperaturskifter kan føre til rask nedfrysing av store nedbørsmengder og påfølgende tung islast.

## **2.5 Frostsprengning**

Frostsprengning er ikke et nytt fenomen i Norge, men det er forventet at dette vil bli et stadig større problem etter som temperaturen stiger. Spesielt utsatt er de områdene som tidligere har vært preget av et vinterklima med temperaturer stabilt under frysepunktet og som i framtida, med en gjennomsnittlig temperaturøkning på minst 2-3 grader, vil få en vintertemperatur som beveger seg rundt frysepunktet. Dette gjelder spesielt i innlandet og i Nord-Norge. Vann som suges opp av bygningsmaterialene vil kunne fryse og tine gjentatte ganger i løpet av vintrene, og forårsake frostsprengning i større grad enn før.<sup>15</sup>

Raske temperatursvingninger mellom pluss og minusgrader fører også til at fuktighet kan fryse til is på kort tid. Infrastruktur og tekniske installasjoner kan berøres i større grad i tiden fremover av slike værforhold og et av problemene denne type situasjoner skaper er at vekten av is fører til sammenbrudd.

Frostsprengning fører til en mekanisk nedbryting eller oppsprekking av fjell på grunn av trykk fra vann som fryser i sprekker, svakhetssoner eller porerom i fjellet. Frostsprengning skjer i fjellparti som utsettes for gjentatte tine-fryse sykler. Når vann fryser til is, utvider det seg med 9 prosent. Vann som fryser nede i sprekker eller i pore-rom i fjellet vil derfor utøve et trykk på fjellet rundt. Trykket blir størst hvis fjellet er vannmettet og nedfrysningen skjer raskt.

---

<sup>15</sup> Kilde:

[http://www.klimakommune.no/kulturarv/Frostsprengning\\_av\\_bygningsmaterialer\\_i\\_kulturminner.shtm](http://www.klimakommune.no/kulturarv/Frostsprengning_av_bygningsmaterialer_i_kulturminner.shtm)

1

”Tilpasning til ekstremvær i Norske kommuner”, CIENS /CICERO

## Forventede klimaendringer og effekter i Norge med mulig betydning for kraftforsyningen

---

Gjentatte fryse-tine sykler fører med tiden til oppsprekking og oppsmuldring av fjellet 16. Frostsprengning er en langsom prosess som fører til at nye sprekker dannes og gamle utvides. Dette bidrar til å svekke stabiliteten i fjellet og kan forklare utløsning av enkelte fjellskred. Hvis vann trenger inn i sprekker og /eller porer i et bygningsmateriale og deretter fryser til is, vil ekspansjonen gjøre at materialene sprenges i stykker.

### 2.6 Tining av permafrost

Historisk sett har smelting av permafrost ført til at mange fjellskred er blitt utløst, slik som i perioden like etter siste istid. Smelting av permafrost foregår også i dag som følge av endringer i klima, og kan spille en rolle for stabiliteten av enkelte fjellparti i Norge. Nye resultater viser kraftig oppvarming av permafrosten på Svalbard og i høyfjellet i Skandinavia. Analyser fra tre målestasjoner viser at temperaturen stiger i gjennomsnitt 0,4–0,7 °C per tiår<sup>17</sup>. Teorien er at permafrost låser fjellpartier som i en skrustikke. Dersom isen smelter øker trykket i porer og sprekker, og store fjellpartier kan bli mer ustabile og i verste fall gli ut. Årsaken til endringene i palsmyrene er hovedsakelig knyttet til klimaendringene, der både temperatur og økning i nedbør har vært avgjørende for minking i størrelse og forekomst. Palsmyrene anses således å være gode klimaindikatorer, og disse resultatene varsler om at klimaendringer har pågått en stund og påvirker norsk natur. Permafrost som tiner er den største geotekniske utfordringen ingeniører står overfor i arktiske strøk.

I Sibir har opptiningen forårsaket store endringer i livsvilkår for folkegrupper i området - med store vannmengder som kommer til overflaten og ødelegger jordbruksområder og fangstmuligheter. Skader på bygningsmassen, ødeleggelse av infrastruktur som vegger og strømforsyningssystemer skaper store vanskeligheter.<sup>18</sup>

Det er først og fremst temperatur som bestemmer utbredelsen av permafrost, den dannes vanligvis i områder som har en årstemperatur på gjennomsnitt -2 grader eller kaldere. Nedre grense for permafrost i Jotunheimen er rundt 1450 meter, mens den for eksempel er 1350 på Dovrefjell. Sporadisk permafrost finnes 300-400 meter lavere i terrenget, gjerne i myrområder i form av palser. Palser er is bevart under dekke av torv. Det finnes også en del permafrost i Troms og Finnmark. Kjennskap til permafrostens utbredelse og nedsmelting er viktig for å lokalisere potensielle ras- og skredutsatt områder. Permafrost på steder der temperaturen er nær smeltepunktet er spesielt følsom for et varmere klima. Når bakken oppvarmes fører det til stor ustabilitet<sup>19</sup>. NGU har opprettet en permafrostdatabase i 2009 (<http://www.ngu.no/kart/permafrost>), men denne har ingen oppføringer i Sør-Norge. I Troms er det initiert et forskningsprosjekt for å kartlegge permafrostområder hvor tining kan få konsekvenser for infrastruktur og bebyggelse kalt "Fjellskred i Troms."<sup>20</sup>

En annen alvorlig konsekvens av oppvarming av permafrost er at permafrosten lagrer et sted mellom 500 og 1000 gigatonn karbon i organisk materiale. Forskning om dette er publisert etter at grunnlagsarbeidet til den fjerde rapporten fra FNs klimapanel fra 2007 ble gjort. Til

---

<sup>16</sup> Kilde: [www.grunnvanninorge.no](http://www.grunnvanninorge.no)

<sup>17</sup> Isaksen, Ketil mfl, "Permafrosten tiner", Klima 3 2007

<sup>18</sup> Foredrag Klimaforum 16.11.09: Susan A Crate, Assistant Professor of Human Ecology, Department of Environmental Science and Policy George Mason University David King Hall, MS 5F2 4400 University

<sup>19</sup> Cicerone nr 4 2002: Isaksen, Ketil og Sollid, Johan Ludvig (2002)

[http://retro.met.no/met/klima\\_2050/forskning/permafrost\\_norge.html](http://retro.met.no/met/klima_2050/forskning/permafrost_norge.html)

<sup>20</sup> Cicero Rapport 2009:4, Cicero, ECON Pöyry og Vestlandforskning (2009): "Konsekvenser av klimaendringer, tilpasning og sårbarhet i Norge"

## Forventede klimaendringer og effekter i Norge med mulig betydning for kraftforsyningen

sammenligning utgjør de menneskeskapte CO<sub>2</sub>-utslippene rundt 35 gigatonn karbon årlig. Når permafrosten begynner å smelte starter forråtningsprosessen og karbonet frigis<sup>21</sup>.

### 3 Beregning av nedbør og endringer i nedbørsmønster

Klimaforskningsgrunnlaget er i dag svært solid i forhold til sammenhengen mellom menneskeskapte klimagassutslipp og den oppvarmingen av atmosfæren som vi har sett de siste 50 årene (IPCC 2007). Det er nå også publisert forskningsresultater som viser til at også endringer i *nedbørsmønstre kan tilskrives endringer skapt av klimagassutslipp*. I disse arbeidene skisseres også både temperatur og nedbørsendringer som *irreversible klimaendringer* på bakgrunn av at endringene henger sammen med store atmosfæriske systemendringer som det vil ta flere tusen år å reversere. Endringer fører også til at de store lavtrykkssystemene får en mer nordlig bane, noe som vil få virkninger for Norge – særlig i kystnære strøk, med påfølgende nedbørsaktivitet og vind.<sup>22</sup>

En av konsekvensene av de forventede globale temperaturendringene, med påfølgende oppvarming i Norge, er at det også blir økt nedbør fram mot 2100. I dag er gjennomsnittlig årsnedbør for Norge beregnet til 1486 mm. Rundt 346 mm av dette fordampes, mens 1140 går til avrenning. Minst nedbør er det i øvre del av Gudbrandsdalen og indre Troms med mindre enn 300 mm. Årsnedbøren i Norge er størst i midtre strøk på Vestlandet. Størst målt normal årsnedbør (3575 mm) har stasjonen Brekke i Sognefjorden. Men den aller største nedbørsmengden faller i fjellområdene hvor det er vanskelige måleforhold. Deler av de vestlige breområdene i Norge har trolig en normal årsnedbør på godt over 5000 millimeter (Norsk klimasenter: 2009).

#### Økning i nedbør for periodene 2021-2050 og 2071-2100 (beregnet i %)

Årsgjennomsnitt: 2,4(L) – 14 (H) %    5,4 (L) – 30,9 (H) %

	2021-2050	2071-2100
<b>Vinter</b>	3,8 (L) – 18,4 (H)	8,5 (L) – 39,9 (H)
<b>Vår</b>	3,7(L) 20(H)	7,2 (L) – 41,5 (H)
<b>Sommer</b>	-1,6 (L) – 9,7 (H)	-3,2 (L) – 17,4 (H)
<b>Høst</b>	2,1 (L) – 16,1 (H)	4,6 (L) – 33,4 (H)

Nedbøren i Norge har økt med 18 prosent de siste 100 år. Denne økningen kommer til å fortsette over hele landet fram mot 2100. Størst økning vil vi få på de stedene der det allerede i dag faller mye nedbør. Rapporten "Klima i Norge 2100" har delt landet inn i tretten ulike nedbørsregioner, og variasjonene mellom regionene er store<sup>23</sup>.

<sup>21</sup> Garberg, Audun (2007); Miljøjournalen "Permafrosten kan få klimaet til å løpe løpsk"

<sup>22</sup> National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Solomon S. et al., 2009: "Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions"

<sup>23</sup> Klima i Norge 2100 (tabell s.:93-94)

## Forventede klimaendringer og effekter i Norge med mulig betydning for kraftforsyningen

**Tabell 2. Middels, lav og høy forandring i årsnedbør (i prosent) for perioden 2071-2100 (Referanseperiode 1961-1990) KILDE: Norsk klimasenter: Klima i Norge 2100, 2009**

	Middels	Lav	Høy
Norge	18	5	31
Østfold	12	3	22
Østlandet	12	6	19
Sørlandet	9	-2	17
Sør-Vestlandet	19	3	33
Sunnhordaland	19	6	33
Sogn og Nordhordaland	22	3	36
Dorve/Nord-Østerdal	18	6	26
Møre og Romsdal	22	-1	43
Innrøndelag	23	3	40
Trøndelag/Helgeland	23	1	52
Hålogaland	19	5	43
Finnmarksvidda	17	7	27
Varanger	15	2	29

Spennet i nedbørsøkningen ligger fra 5 prosent økning med lav framskrivning og over 30 prosent økning med høy framskrivning. Det er viktig å være klar over at *den faktiske nedbørsøkningen i Norge de siste 30 årene ligger nær den høye framskrivningen.*

Nedbøren er beregnet å øke minst om sommeren, spesielt gjelder dette Øst- og Sørlandet. På Østlandet er det ventet at nedbøren vil avta med rundt 5 prosent (M) om sommeren mot slutten av århundredet. Dersom utviklingen for nedbør fortsetter å følge høy framskrivning (H) vil vinternedbøren øke med 40-50 prosent i deler av Øst-, Sør-, og Vestlandet i perioden 2071-2100. Dette er en stor økning, og konsekvensene vil bli merkbare.

### 3.1 Bergninger av endret avrenning

Lehner et al. (2001)<sup>24</sup> har i studien *European droughts today and in the future* analysert i hvilke av Europas elver med tilhørende tilførselsområder man kan forvente flere tilfeller av tørke som følge av klimaendringer. I studien har de blant annet sett på Skandinavia. Analysen tyder på at Skandinavia kan komme til å oppleve en forskyvning i nedbørssesongen, ved at måneden med lavest gjennomsnittlig nedbør inntreffer 1 til 2 måneder tidligere på året. Dette betyr fortsatt tørkeperioder på vinteren. Kyststrøkene på Vestlandet kan imidlertid, ifølge denne analysen, rundt 2070 komme til å oppleve en forskyvning av den mest nedbørfattige måneden fra januar/februar til juni/juli eller oktober.

Økt avrenning om vinteren vil sannsynligvis redusere intensiteten på vintertørke. Tidligere snøsmelting og varmere sommere med mindre nedbør, kan komme til å forårsake mer intense tørkeperioder om sommeren. Forskerne mener også å se ut fra historiske data at sommertørke

<sup>24</sup> Lehner, B., Döll, P. 2001: Eurowasser Kassel World Water Series Report 5. "Europe's droughts today and in the future".

## Forventede klimaendringer og effekter i Norge med mulig betydning for kraftforsyningen

---

har blitt mer intens på Østlandet enn tidligere. For resten av landet finner de ingen klare mønstre. Når det gjelder scenarier for fremtiden (2071-2100), mener forskerne at lengden på sommertørke kan komme til å øke på Østlandet, mens den vil reduseres i Nord-Norge (Cicero Rapport 2009:4).

I rapporten "Klima i Norge 2100" beregnes gjennomsnittlig avrenning til å øke med hele 45 % i vintermånedene (frem mot 2050). Vintrene blir våtere som følge av høyere temperatur og økt nedbør som fører til mildvær med snøsmelting og regn. Den prosentvise økningen er størst i fjellet der det beregnes opp til 200 % økt avrenning vinterstid. I lavtliggende områder ses endringer i tidspunktet for vårflokk fra vår til vinter.

Det forventes redusert avrenning i store deler av landet sommerstid, med størst endring i Troms og Finnmark med opp til 60 % mindre avrenning. Avrenning i Sør-Norge vil avta sommerstid, med så mye som 40 til 60 % i Aust-Agder og Telemark. Både økt fordampning grunnet økt temperatur samt redusert sommernedbør bidrar til denne utviklingen. Disse forholdene vil føre til økt tørke i disse områdene. I ytre strøk på Vestlandet vises en 40 % økning i avrenning sommerstid (s 97 - 98).

### 3.2 Ekstremnedbørsdager

Det ventes en økning på 75 prosent flere dager (M) med ekstremnedbør fram mot 2100 på landsbasis. Med utgangspunkt i referanseperioden 1961 – 1990, beregnes ekstremnedbørsdager ut fra den ene dagen av 200 da det faller mest nedbør.

Økningen av disse helt spesielle dagene med mye nedbør er drastisk, spesielt om vinteren. På Østlandet er økningen beregnet å være fra 188,3 prosent (L) til 335,5 prosent økning (H) om vinteren. Dersom en ser på årgjennomsnittet for Østlandet, er det ventet fra 34,8 prosent økning (L) til 94,8 prosent økning (H) av ekstremnedbørsdager (s. 89 – 93, Norsk Klimasenter: 2009).

Selve nedbørmengden på disse dagene med høy nedbør vil også øke ytterligere. Om en ser på samme eksempel med vinter på Østlandet, vil økningen i selve mengden nedbør på disse ekstremnedbørsdagene være fra 17,5 til 34,6 prosent 25. Denne kombinasjonen, fordobling eller tredobling av ekstremnedbørsdager, samt at selve nedbørmengden på disse dagene vil øke med et gjennomsnitt på cirka 25 prosent i forhold til i dag, er alvorlig.

I de senere årene har spesielt Agderfylkene opplevd store problemer med ekstreme snøfall om vinteren. De har også vært rammet av langvarig tørke som har forårsaket skogbrann, regnværflomer og orkan/kraftig vind. Grunnen til det er at de er spesielt utsatte for et værphenomen som kalles kystkonvergens – som kan beskrives som en "oppkopning av luft". Slike situasjoner kan særlig inntreffe på Sørlandet når vinden blåser fra øst eller sørøst inn mot kysten.<sup>26</sup>

### 3.3 Korttidsnedbør og times nedbør

Det er ventet at hendelser med ekstrem nedbør kommer til å endre seg mer enn midlere (gjennomsnittlig) nedbør. Meteorologisk institutt har utarbeidet detaljert statistikk, det som kalles IVF-kurver 27 over nedbørsintensitet som ventes fra ett minutt til 24 timer. Publikasjonen, som er en analyse av korttidsnedbør i Norge 1968-2008, er foreløpig under

---

<sup>25</sup> Tabeller på side 93 i "Klima i Norge 2100".

<sup>26</sup> Breiteig, Tarjei (2008) "Når himmelen faller ned"

Kilde: [www.bjerknes.uib.no/pages.asp?kat=113&id=1529&lang=1](http://www.bjerknes.uib.no/pages.asp?kat=113&id=1529&lang=1)

<sup>27</sup> Intensitet-Variighet-Frekvens

## Forventede klimaendringer og effekter i Norge med mulig betydning for kraftforsyningen

---

arbeid<sup>28</sup>. Før den publiseres fins det ikke samlet beskrivelse av korttidsnedbør i Norge, men generelle målinger har vi hatt i 150 år. De foreløpige analysene fra met.no viser i hovedtrekk at det er Østlandet som har de største nedbørsverdiene i varighet fra et minutt til én time. Sørlandet har de høyeste målingene av nedbør i løpet av 2 til 6 timer, mens Vestlandet dominerer for høyeste målinger med varigheter fra 12 timer og mer. Også i andre landsdeler kan det forekomme svært kraftig nedbør i ekstreme byggesituasjoner. Times nedbør er ofte, i hvert fall om sommeren, forbundet med bygenedbør, og dagens klimamodeller er ikke godt egnet for å simulere verken ”timing” eller romlig utstrekning av bygenedbør. Internasjonalt og i Europa er det likevel et gyldig resultat at ekstrem nedbør er forventet å endre seg forholdsvis mer enn midlere nedbør.<sup>29</sup>

### 3.4 Endringer i vinternedbør

I dag har så godt som alle steder i Norge snødekke en gang i løpet av vinteren. Snødekket varierer fra rundt 0 til over 3 meter. Noen steder i høyfjellet ligger snøen 300 dager i året. I en analyse av langtidsvariasjon i snøforhold fant Dyrredal og Vikhamar-Schuler<sup>30</sup> ut at snøsesongen er blitt kortere på de fleste steder i landet, den begynner senere og slutter tidligere.

På grunn av at temperaturøkningen er spesielt høy om vinteren, ventes det at mye av nedbøren som tidligere har falt som snø nå vil komme i form av regn eller sludd. Snøsesongen vil bli betydelig kortere over hele landet. Reduksjonene blir størst i lavlandet hvor det forventes en snøsesong reduksjon på to til tre måneder ved middels temperaturframskrivning. I kalde områder, som i fjellet i innlandet, kan vinternedbør øke – fra midten av århundret – på grunn av mer vinternedbør. Men mot 2100 vil den avta også i høyfjellet fordi temperaturen da er så høy.

Samtidig vil ekstremår med spesielt store snømengder forekomme. Det er også viktig å være klar over at økt belastning i forhold til infrastruktur kan forventes ved at det vil bli mer forekomst av våt og tung snø på grunn av lengre perioder med temperaturer rundt null grader. Tung snølast vil bli ytterligere et problem når det forekommer flere hendelser med ekstreme nedbørsmengder vinterstid.

Snøfall har betydning i mange sammenhenger, for alt fra vedlikehold av veier, til bygninger, kraftledninger og for vegetasjon. På grunn av økt vinternedbør vil det kunne forekomme ekstremår med spesielt store snømengder. Fordi korttidsnedbøren også er ventet å øke kan det bli flere hendelser av de vi har hatt på Sørlandet de siste årene, med store snøfall på kort tid. Det forventes flere smelteepisoder om vinteren.

## 4 Ekstremvær og klimarelaterte natur- og skadehendelser

Ekstremvær er vær som kan skade naturen, mennesker og verdier. Skader oppstår når samfunnet ikke er tilpasset de ekstreme værforholdene. Manglende tilpassning kan skyldes at dette er værforhold man ikke har erfart tidligere eller at værphenomenene opptrer i områder der de ikke har forekommet tidligere.<sup>31</sup>

<sup>28</sup> Mamen, J. og K.A. Iden (2009): «Analyse av korttidsnedbør i Norge 1968–2008.» *met.no report, under arbeid*

<sup>29</sup> Intervju med Jan Erik haugen, Met.no, 25.11.09

<sup>31</sup> RegClim 2005:” Norges klima om 100 år - Usikkerhet og risiko”, <http://regclim.met.no>

## Forventede klimaendringer og effekter i Norge med mulig betydning for kraftforsyningen

---

Oversikt over ekstremværhendelser viser at både ekstreme temperaturer, forekomsten av hetebølger, økning i vindstyrker samt ekstremnedbør er blitt vanligere flere steder på kloden. Vær som til nå er klassifisert som ekstremt opptrer oftere og blir dermed vanligere. Denne utviklingen fører til at grensene for hva som klassifiseres som ekstremt endres. Bakgrunnene er at været varierer rundt et annet gjennomsnitt en tidligere (jf. skisserte endringer i gjennomsnittstemperatur og – nedbørsmønstre) og ”ytterpunktene” for registrerte værfenomener endres. Endringene vil imidlertid ikke følge en proporsjonalitet, økningen av energien i atmosfæren fører som tidligere nevnt klimasystemet ut i en generell mer ustabil tilstand.<sup>32</sup>

Førland et al. (2007) ”Utvikling av naturulykker som følge av klimaendringer” skisserer utviklingen av naturulykker i Norge som følge av klimaendringer<sup>33</sup>. Utredningen ser på hvilke klima- og værforhold vi ut i fra daværende kunnskap kan forvente i Norge om 30-50 år. Rapporten skisserer forskningsresultater fra en rekke fagmiljøer, herunder resultater fra forskningsprogrammet GeoExtreme.<sup>34</sup> Prosjeksjonene for klimautviklingen er hovedsakelig 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 scenarioperiode 2030-2050.

Rapporten viser til endringer i økning av naturhendelser og risiko for naturskader og at dette gir en trend mot økt samfunnsmessig sårbarhet overfor naturhendelser. Men det er vanskelig å fastslå hvilket utfall disse hendelsene vil få. 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. En stor hendelse i et område med lite infrastruktur og bebyggelse kan få små effekter, mens en liten hendelse i et område med infrastruktur og bebyggelse kan få store konsekvenser. Satsing på sikring og god arealplanlegging og god byggeskikk er alle viktige elementer for å begrense skader fra naturhendelser (Frøland et al. 2007).

Infrastruktur har ulike type dimensjoneringskrav som tar hensyn til sikkerhet og risiko, også for værhendelser, men dette gjøres ut fra erfaringer med ”historisk klima” i Norge. Imidlertid tar ikke dimensjoneringskravene i dag hensyn til dagens eller fremtidens klimaendringer, med påfølgende økt risiko for ekstremvær av en annen dimensjon og styrke enn det vi er vant med. Risiko- og sårbarhetsanalyser bør videreutvikles slik at disse tar hensyn til økning i klimarelatert risiko. Dette er en viktig del av tilpasningsarbeidet i Norge.

### 4.1 Flomhendelser – et endret flomregime tar form

En følge av høyere temperatur er at flomtidspunktet vil forskyve seg slik at vårfloppen kommer tidligere, og faren for flom om høsten og vinteren øker. Det kan bli økt snømengde i fjellet på Østlandet på grunn av mer vinternedbør, og økt snømagasin i fjellet kan på kort sikt forårsake store fjellflommer. En temperaturøkning på tre grader innebærer at snøgrensen heves med 500 meter. På Vestlandet og i Nordland hvor det er kraftige nedbørsepisoder sent på høsten eller tidlig på vinteren, vil flomfaren øke i brattlendt terreng (Norsk Klimasenter: 2009).

I noen områder forventes det mindre flom, som i lavlandet på Østlandet og nordlige del av Østerdalen og i Finnmark. En kan få kombinasjonsflommer som oppstår ved store nedbørmengder og høyere temperatur om vinteren, og er en kombinasjon av regnflom og

---

<sup>32</sup> Se nærmere statistikk: <http://wlf.ncdc.noaa.gov/oa/reports/weather-events>

<sup>33</sup> CICERO Report 2007:3

<sup>34</sup> GeoExtreme (www.geoextreme.no)

## Forventede klimaendringer og effekter i Norge med mulig betydning for kraftforsyningen

---

smeltevannsflo. Disse vil spesielt være en utfordring for steder langs kysten der det munner ut store elver<sup>35</sup>.

Det er vanskelig å forutsi når og hvor ekstreme flomhendelser vil inntreffe. Flomrisiko påvirkes av mange faktorer utover vær og klima – som for eksempel demografisk utvikling og arealbruk. I omtalen av sårbarhet for flom nevner Cicero og Cowi (2008) at flom og oversvømmelser skjer vanligvis i nærheten av større vassdrag, eller i områder som er utsatt for springflo.

Samtidig sier forskerne at dersom vi får økt nedbørsintensitet, kan det øke sjansen for at flommer oppstår i mindre vassdrag, i sideelver og bekker. Slike nedbørshendelser har vi sett i Norge i de siste årene og de har et stort skadepotensial ved at flommer av denne typen drar med seg jord og steinmasser og kan utvikle flomskred. Dette kan få alvorlige konsekvenser for viktig infrastruktur, bebyggelse og drikkevannskvalitet. For å sikre kvaliteten på drikkevann under flomsituasjoner, bør kapasiteten i avløp og kloakkledninger økes og man bør sikre at ikke store arealer fortettes og bygges igjen. Aall et al. (2006) omtaler i sin rapport om klimasårbarhet i Nord-Norge blant annet hvilke kommuner i regionen som sannsynligvis vil være mest utsatt for flom. Basert på NVEs plan for flomsonekartlegging, hvor de mest flomutsatte vassdragene som har størst skadepotensial er prioritert<sup>36</sup>, gis en skissering av de mest utsatte kommunene.<sup>37</sup>

Aall et al. (2006) tar til orde for å videreutvikle analysene for bedre å kunne vurdere den enkelte kommunes sårbarhet for klimaendringer.

Generelt er det viktig at flomsonekartlegging i dag tar hensyn til et endret klima slik at også småelver og sidevassdrag inkorporeres i kartleggingen. Videre er det nødvendig å ta hensyn til klimautviklingen i kartlegging av flom, samt å ha gode systemer for å registrere flomhendelser som kan settes i sammenheng med klimaendringer, som for eksempel ekstremnedbør.

### 4.2 Økt hyppighet av skredhendelser

Været er en av de viktigste utløsningsfaktorene for skred i Norge, men det finnes kun tommelfingerregler for hvilke vær-elementer og hvilke terskelverdier som må overstiges før man kan regne med skred (Jaedicke 2009). For grunne jordskred i bratt terreng kan store nedbørmengder eller snøsmelting føre til høyt porevannstrykk som reduserer styrken i løsmassene (Kronholm og Stalsberg 2009). For snøskred er det nedbør, temperatur og vindforhold som styrer utløsningsmekanismene (Jaedicke 2009). Kvikkleireskred forekommer ofte i forbindelse med langvarige perioder med intensiv nedbør og stor vannføring (Jaedicke og Kleven 2007). Kompleksiteten for steinsprang og fjellskred er større og til tross for at slike skred kan utløses av en rekke ulike værforhold er det nesten umulig å knytte utløsning av disse skredtypene til entydige værelementer (Jaedicke 2009 og Kronholm and Stalsberg 2009).

GeoExtreme prosjektet har beregnet følgende klimarelaterte endringer i for ulike skredhendelsene:

- *Snøskred*: Nedbør er den viktigste faktoren for utløsning av snøskred. Det forventes derfor økt hyppighet av snøskred i indre strøk av Sør-Norge og i de to nordligste fylkene som følger

---

<sup>35</sup> Inger Hanssen-Bauer, NOU Klimatilpassings møte i Drammen 28.10.09

<sup>36</sup> VFs indikator er km vassdragsstrekning som er prioritert for flomsonekartlegging.

<sup>37</sup> Alta, Nordreisa, Målselv, Grane, Kárásjohka/Karasjok, Vefsn, Saltdal, Hattfjelldal, Hemnes, Beiarn, Deatnu Tana, Guovdageaidnu/Kautokeino, Rana, Sør-Varanger, Bodø



## Forventede klimaendringer og effekter i Norge med mulig betydning for kraftforsyningen

---

av en økning i antall døgn med mye nedbør. I tillegg øker antallet døgn med vindstyrke over 15 m/s i disse områdene, noe som også vil påvirke hyppigheten av snøskred.

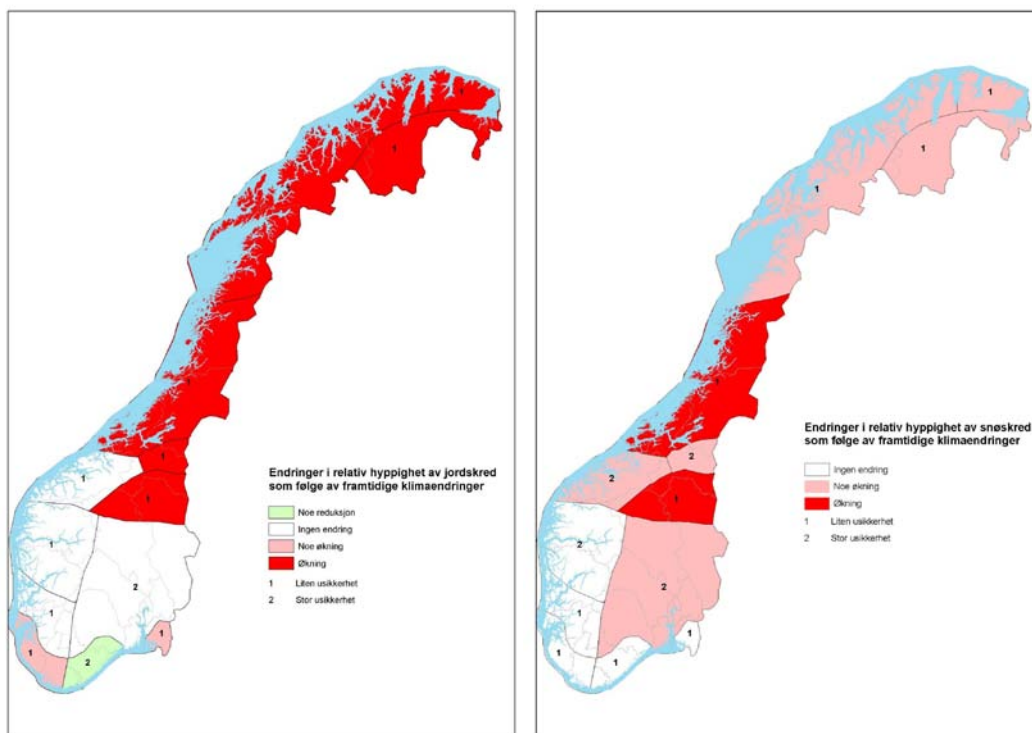
- *Jordskred og flomskred:* blir ofte utløst av nedbør eller snøsmelting. Det antas derfor at frekvensen av de to skredtypene vil utvikle seg likt. Økningen i antall døgn med mye nedbør har betydning for endringen i hyppigheten av jordskred. Skredhyppigheten vil øke mest langs kysten fra Nord-Norge til Vestlandet, da kortvarig og kraftig nedbør er den viktigste utløsningsfaktoren i disse områdene. Det antas imidlertid at hele landet vil oppleve flere døgn med kraftig nedbør og påfølgende økt hyppighet av jordskred.
- *Steinsprang:* Økningen i antall døgn med kraftig nedbør vil antakelig føre til en økning i hyppigheten av steinsprang, og dette vil slå spesielt sterkt ut langs kysten. Som for jordskred, skyldes økningen en kombinasjon av regionale klimaendringer og i hvilke regioner værtypen har størst betydning for utløsning av steinsprang.
- *Leirskred:* Langt de fleste større kvikkleireskred i nyere tid er utløst av menneskelig aktivitet som fyllinger og graving i leirskråninger. Naturlig utløste skred i leirområder langs en del av våre store vassdrag i Trøndelag og på Østlandet er gjerne knyttet til flommer der høy vannstand fører til erosjon og en økning i poretrykket i leira. Flommer er derfor en risikofaktor for leirskred. I lavlandet vil årlige vårflommer generelt komme tidligere i fremtiden, og det vil bli vanligere med vinterflommer slik at faren for leireskred kan øke.

Mer detaljert geologisk kartlegging vil gi mulighet til å lage bedre modeller av effekten av endringer i nedbørmengde, nedbørsintensitet og snøsmelting. Disse tre faktorene har stor betydning for utløsning av *flomskred og jordskred*. Det haster å komme i gang med dette arbeidet. Kartlegging av skredsoner er en forutsetning for å kunne tilpasse seg klimaendringer. Norge er svært dårlig kartlagt, med kun oversiktskartlegging og såkalt *aktsomhetskartlegging*. Slik kartlegging er etter en geologisk standard for usikker til å benyttes i konkret planlegging av utbygging og dekker ikke behovene som kommuneplanleggere har i sin arealplanlegging.

Myndighetene bør etter GeoExtrems konkluderinger stille tydeligere krav om ansvar i tilfelle skade, ettersom det antas at de fleste naturskades dekkes slik naturskadeerstatningen fungerer i dag, uavhengig av hvilken risiko som er tatt. Man bør se på hvilke insentiver som kan benyttes for å motiverer til å ta tilstrekkelig hensyn til eksisterende skredrisiko, for eksempel ved en utbygging. Utbygging i utsatte områder må vurderes i lys av alternative utbyggingsmuligheter i sikrere områder. Slike vurderinger avhenger av hvem som gjør dem, og dermed kan det i mange tilfeller oppstå interessekonflikter. Samfunnet er best tjent med at *overordnede, nasjonale hensyn tillegges stor vekt*.

Det er ikke bare kunnskapen om skredsannsynlighet, men også kunnskapen om hvor stor skade et eventuelt skred vil gjøre, som representerer usikkerhetsfaktorer for å kunne anslå samfunnsøkonomisk risiko. Samfunnet trenger en åpen diskusjon om hva som er akseptabel skredrisiko for å kunne prioritere tiltak innefor tilpasning. Metoder for risiko- og sårbarhetsanalyser må bedres slik at ikke bare frekvens av tidligere (historiske) hendelser utgjør beregningsvariablene.

## Forventede klimaendringer og effekter i Norge med mulig betydning for kraftforsyningen



**Figur 3. Vurderte endringer i hyppigheten av jordskred og snøskred som følge av klimaendringer (KILDE: Kronholm og Stalsberg 2009)**

NVEs Skredetat er i samarbeid med NGU nå i gang med nasjonalkartlegging som er beregnet å være ferdig i 2010, men oversiktskartlegging av denne typen er ikke detaljkartlegging. Faresonekart eller aktsomhetskartlegging som er neste detaljeringsgrad i prosessen er under utarbeidelse, men dette gjennomføres etter samme metode og med sannsynlighetsberegninger etter historiske hendelser, og arbeidet som nå er i gang fanger dermed ikke opp utfordringene som klimaendringer gir.

Risikokart som skal utarbeides viser konsekvenser av skredhendelser. Utviklingen av et ”nytt skredregime” - der risiko for nye typer skred i tidligere ikke utsatte områder kan utgjøre en økt grad av sårbarhet - kan dermed risikere å ikke bli fanget opp av arbeidet som nå er igangsatt.

### 4.3 Endring i vindstyrke og økt forekomst av sterk vind

Det fins få målinger på vind i Norge, noe som gjør det vanskelig å se på endringer. En studie fra 2000 så på langtidsendringer over Nord-Europa ved å bruke det som kalles ”geostrofisk vind”, som er beregnet fra lufttrykk ved havoverflaten. Konklusjonene er at det ikke har vært noen klar økning i stormhyppighet i hav- og kystområdene siden 1880<sup>38</sup>.

RegClim prosjektet (2005) har gjort beregninger som viser at det beregnes små endringer i gjennomsnittsdøgnet maksimale vindstyrke. Men det er ventet en økning langs kysten av Norge og i Langfjella, med opptil 0,5 m/s for gjennomsnittsdøgnet maksimale vind. I hele landet beregnes det inntil 4 døgn mer med sterkere vind enn 15 m/s (sterk kuling). I Skagerrak og Nordsjøen er det inntil 8 flere døgn, som gir en økning på rundt 20 %.

<sup>38</sup> Alexandersson, H., H. Tuomenvirta, T. Schmith og K. Iden (2000): «Trends of Storms in NW Europe derived from an updated pressure

## Forventede klimaendringer og effekter i Norge med mulig betydning for kraftforsyningen

---

Rapporten Klima i Norge 2100 i liten grad tatt for seg mulige endringer i vindforhold. Årsaken er dels at det ikke ser ut til å være klare signaler i klimamodellene når det gjelder vind i våre områder. I tillegg er vinden nær bakken i utgangspunktet ikke godt modellert i klimamodellene. Haugen og Iversen (2008) analyserte imidlertid et ensemble med åtte framskrivninger med hensyn til blant annet vind. De så på endringer fram mot midten av århundret og konkluderte med at endringene i midlere vindforhold ifølge modellene blir små, men at endringene ser ut til bli større for høye vindhastigheter.<sup>39</sup>

Det er forventet at sterke vinder kan øke i styrkegrad også på bakgrunn av det man ser fra globale klimamodeller der det for tropiske stormer er resultater som tyder på at de sterkeste stormsystemene blir enda sterkere i et varmere klima. Dermed er det sannsynlig at de ekstreme vindhastighetene kan øke når vindstyrken varierer omkring en annen gjennomsnittlig vindstyrke enn tidligere (jf. forvartet økning i forekomsten av ekstremvære).

I rapporten "Konsekvenser av klimaendringer, tilpasning og sårbarhet i Norge" (CICERO: 2009:4) trekkes det frem flere skadevirkninger av økt stormaktivitet. Vanligvis forbindes storm med dramatiske hendelser med skade på mennesker og/eller materielle verdier. Ødeleggelsene kan være i form av skade på bygninger og annen infrastruktur, skog og avlinger eller de kan arte seg som driftsforstyrrelser for ulike samfunnssektorer. Rapporten trekker frem to lite påkattede skadeområder som vanligvis ikke settes i forbindelse med storm, men som opptrer i forbindelse med sterk vind, nemlig slagregn og ising.

Slagregn opptrer ved kombinasjon av sterk vind og regn, slik at regn driver inn på bygningsfasader. Dette er en viktig årsak til fuktskade på bygninger og annen infrastruktur av trevirke. Ising på konstruksjoner som kraftlinjer, skip og oljeinstallasjoner kan utrette stor skade. I Norge oppstår ising i stort omfang gjerne i forbindelse med polare lavtrykk<sup>40</sup>. Dette er små, intensive lavtrykk som kan oppstå der varmt sjøvann og kald luft møtes. Det oppstår normalt 5-15 polare lavtrykk utenfor kysten av Nord-Norge hver vinter. Vinden kan variere fra stiv kuling til orkan styrke, kombinert med kraftige snø- og haglbyger. En regner med at polare lavtrykk vil bli vanligere i nordområdene når havisen får mindre utbredelse. Hyppigere forekomst av dette ekstremvær-fenomenet kombinert med økt aktivitet knyttet til ulik type infrastruktur og petroleumsutvinning og skipstrafikk, vil gi økt sårbarhet.

### 4.4 Lynaktivitet og tordenvær

For Norges del er det gjort lite studier knyttet til en mulig økning av frekvensen av lyn- og tordenvær. Likevel er det i forbindelse med forventet økning i lavtrykksaktivitet og hyppigere forekomst av ekstremvær-fenomenene (grunnet en generell oppvarming av atmosfæren, som fører til økt energi i klimasystemet) logisk å forvente en økt aktivitet i lyn- og tordenvær. Særlig kan dette forventes på bakgrunn av en økning av temperaturen sommerstid. En nedskalering av globale modeller for å kunne si noe nærmere om forventning om økt lynaktivitet er vanskelig på grunn av den lokale karakter som denne typen vær-fenomenene har.

Varme sommere er forventet å forekomme oftere på grunn av globale oppvarming men modellene som benyttes av IPCC (2007) kan likevel ikke si noe om forventning om økt frekvens av lyn.<sup>41</sup> Likevel gir forventet økt grad av lavtrykksaktivitet med kraftigere nedbørssystemer økt lynaktivitet som en naturlig følge. En global studie fra NASA antar en

<sup>39</sup> Haugen, J.E. og T. Iversen (2008): «Response in extremes of daily precipitation and wind from a downscaled multi-model ensemble of anthropogenic global climate change scenarios.» Tellus, 60A, 411–426

<sup>40</sup> Kilde: <http://met.no/?module=Articles;action=Article.publicShow;ID=778>

<sup>41</sup> <http://www.ipcc.ch/sphider/search.php?query=lightning+&search=1>

## Forventede klimaendringer og effekter i Norge med mulig betydning for kraftforsyningen

---

økning på 30 % i lynaktivitet på bakgrunn av forventet oppvarming, mens den samme studien har beregnet en nedgang i forekomsten av lyn- og tordenbyger ved et kaldere klima. Både horisontal og vertikal lynfrekvens er med i studien, men det er særlig vertikale lyn som viser en økning og som dermed er klimasensitive.<sup>42</sup>

### 4.5 Endringer i luftfuktighet og saltkrystallisering

Det forventes at kommende klimaendringer vil skape en generell økning i luftfuktighet grunnet både økt nedbør og temperaturøkning som fører til mer fordamping. En økt sårbarhet for råteskader forventes som en følge av dette. Økt nedbør medfører generelt større risiko for fukt og muggskader samt overskridelse av avløpskapasitet og oversvømmelser.

Behovet for ytre vedlikehold av bygninger og infrastruktur antas derfor å øke. I en studie av klimaendringer i Osloregionen (CIENS: 2007) vises det til at 80 % av dagens skader på bygg skyldes fukt og råte. Slagregn er en annen årsak til fuktskader på bygg som det forventes en økning av.

Saltkrystalliseringen gir skader ved at saltene går fra en tilstand i væskeform til fast form. I denne prosessen krystalliserer og ekspanderer saltene, og dette gir et økt trykk på bygningsmaterialene rundt. Årsak til økt risiko for saltkrystallisering er ofte at vann som kommer inn i konstruksjonen, transporterer med seg salter og deretter tørker opp med krystallisering og saltutslag / saltsprengning som resultat. Skader og situasjoner som kan føre vann inn i konstruksjonene kan være for eksempel skader i mur. For kraftforsyningen vil det særlig være fundamentet av mur som vil være utsatt for denne typen slitasje.

Vanligvis kommer salter i et murverk fra en av følgende fire kilder:

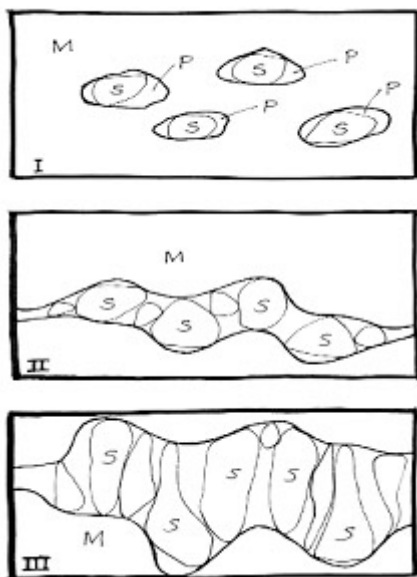
1. Bygningsmaterialer, enten opprinnelige eller reparasjonsmaterialer som for eksempel sement.
2. Grunnvann, for eksempel salter fra veier kan transporteres med grunnvann og trekkes inn i murverk.
3. Luftforurensing, for eksempel gipsutfellinger kan ha sin opprinnelse i luftforurensinger.
4. Salter med biologisk opprinnelse har ofte sin årsak i eldre boplasser der nitrater og klorider har trukket inn i bygningsmaterialene.

Salter løses, transporteres, fordeles og krystalliserer ved forskjellige fuktforhold. Hvert salt har sine spesifikke fuktighetskrav for at denne prosess skal skje. Eksempelvis gir ofte de fuktighetsforhold som oppstår i de nedre delene av et murverk grunnet markfukt grobunn for saltkrystallisering.

---

<sup>42</sup> <http://www.agu.org/pubs/crossref/1994/94JD00019.shtml>

## Forventede klimaendringer og effekter i Norge med mulig betydning for kraftforsyningen



**Figur 4. Saltkrystallisering, prinsippskisse.** (M:mørtel (/stein), P:luftporer, S:saltkrystaller.)

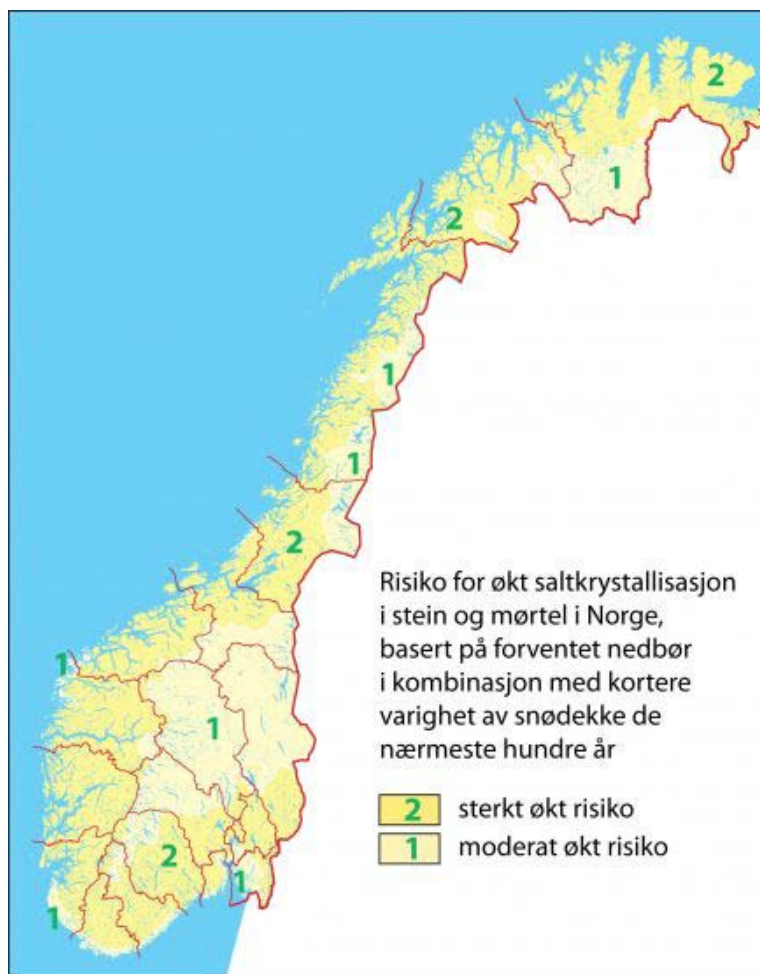
I fase I vokser saltkrystallene inne i porene, i fase II har krystallene brutt gjennom porveggen og i fase III har krystallene blitt så store at hull dannes inne i bygningsmaterialet og dette gir mer fordampning og en akselererende krystallisering. De siste fasene gir tydelige skader i form av avflassing og sprengning i stein og mørtel (KILDE:

[http://www.klimakommune.no/kulturarv/Saltkrystallisasjon\\_i\\_stein\\_og\\_m\\_rtel.shtml](http://www.klimakommune.no/kulturarv/Saltkrystallisasjon_i_stein_og_m_rtel.shtml))

Det er forventet at én effekt av klimaendringene vil være en økning av saltkrystallisering av stein og mørtel i store deler av landet på grunn av økt nedbør og endrede fuktighetsforhold i materialene. Spesielt kan problemet øke i de delene av landet som blir utsatt for kraftig økt nedbør. Dersom mildere klima gjør at mer nedbør kommer som regn i stedet for snø, vil dette også tilføre mer fuktighet i bygningsmaterialene.

Trolig vil Vestkystområdene, områder i Midt-Norge og i kystområdene i Nord-Norge bli mest utsatt for økt saltkrystallisasjon i stein og mørtel på grunn av klimaendringene. De indre delene av Sør-Norge vil trolig ikke bli berørt i like sterk grad av dette problemet<sup>43</sup>.

<sup>43</sup> <http://www.regjeringen.no/nb/dep/md/kampanjer/klimatilpasning-norge/bibliotek/generelle/vann-oker-faren-for-saltkrystallisering-.html?id=581360>



**Figur 5.** Kartet viser hvor i Norge det er høy respektive lav risiko for økt nedbrytning av stein og mørtel grunnet saltkrystallisasjon i de nærmeste 100 årene. Grensene mellom de to sonene må ses som flytende overganger mellom områder med forskjellig risiko for økt nedbrytning. Lokale forhold innenfor sonene vil også påvirke risikoen i stor grad.

#### 4.6 Havnivåstigning

Satellittmålinger viser at vi i dag har en global havnivåøkning på vel 3 mm i året (IPCC 2007), mens det i perioden 1891 – 1990 i gjennomsnitt har vært en økning på ca. 1,4 mm i året. Det er flere muligheter for avvik i modellering av framtidige havnivåendringer, og mange av modellene gir for lav havnivåstigning sammenlignet med det som er observert.

I rapport ”Havnivåstigning – estimater for fremtidig havnivåstigning i norske kommuner” (Bjerknessenteret /DSB: 2008)<sup>44</sup> benyttes en modell som stemmer godt overens med den observerte havstigningen langs norskekysten (Rahmstorf: 2007)<sup>45</sup>. I Rahmstorf presenteres modellerte kurver med utgangspunkt i flere av utslippsscenarioene hentet fra IPCC 2007. I dette arbeidet er data fra scenario A2 brukt, som med Rahmstorfs modell gir en midlere havnivåstigning på 31 cm for år 2050, og 90 cm for år 2100. I disse tallene er det tatt med en

<sup>44</sup> Se: <http://www.dsb.no/no/Ansvarsomrader/Regional-og-kommunal-beredskap/Beredskapsplanlegging/ROS-i-arealplanlegging/Havniva/>

<sup>45</sup> Rahmstorf, S. 2007. A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise. *Science* 315: 368-370

## Forventede klimaendringer og effekter i Norge med mulig betydning for kraftforsyningen

ekstra havstigning på om lag 10 cm langs norskekysten fram mot år 2100, dette som følge av et ujevnt varmeopptak i havet og endringer i havstrømmene (Drange et al. 2007).

I følge "Klima I Norge" er havnivået langs norskekysten forventet å stige med rundt 70 cm langs sør- og vestlandskysten, rundt 60 cm i Nord-Norge og rundt 40 cm innerst i Oslo- og Trondheimsfjorden fram mot 2100. På grunn av spredning i resultater i de ulike bidragene til framtidig havnivåstigning, kan den bli fra 20 cm lavere til 35 cm høyere enn dette (Klimasenteret: 2009).

Landet hever seg fortsatt etter siste istid. Som vist i tabell 2 er den største ved indre Oslofjord og på vestkysten. Ved moderate utslipp av klimagasser kan landhevingen bli større enn den projiserte havnivåstigningen, mens havnivåstigning vil kunne registreres ved høyere utslipp. Alt i alt antas imidlertid ikke stigning i havnivå å utgjøre et stort problem for Norge. Landets topografiske og geomorfologiske trekk, med relativt bratt kystlinje og en kyststripe som er motstandsdyktige mot erosjon, gjør oss heller ikke spesielt sårbare fra naturens side.

**Tabell 3. Beregnet middel havstigning for tre klimascenarioer. Angitt landheving (i cm) er inkludert i tall for havstigning. De tre scenariene for globale klimagassutslipp A2, A1B og B1. Tallene for landheving er fra Vestøl (2006).** (Kilde: Drange et al. 2007, hentet fra CICERO: 2009)

Norske kystbyer	År 2050				År 2100			
	Landheving	Midlere havstigning			Landheving	Midlere havstigning		
		A2	A1B	B1		A2	A1B	B1
Bergen	8	23	25	23	17	73	72	60
Bodø	18	14	15	13	36	54	53	41
Fredrikstad	19	13	14	12	38	52	50	38
Kirkenes	15	16	18	16	30	60	58	46
Kristiansand	8	23	25	23	16	74	72	60
Narvik	23	8	10	8	47	43	42	30
Oslo	24	7	9	7	49	41	40	27
Sogndal	8	24	25	23	16	74	72	60
Stavanger	6	26	27	25	12	78	77	65
Svolvær	13	18	20	18	27	63	62	50
Tromsø	13	18	20	18	27	63	62	50
Trondheim	24	7	9	7	48	41	40	28
Vadsø	13	19	20	18	26	64	62	50
Ålesund	9	22	24	22	19	71	70	58

## Forventede klimaendringer og effekter i Norge med mulig betydning for kraftforsyningen

---

Aunan og Romstad (2008) konkluderer at enkelte områder på Sør-Vestlandet er imidlertid lavtliggende og består av erosjonsutsatte sedimenter. Det faktum at aktiviteter knyttet til havet og kysten som sådan er en viktig bærebjelke for en del kystbyer og tettsteder, gir grunn til å anta at havnivåstigning kan få økonomiske konsekvenser her. På Vestlandet og i Nord-Norge vil trolig deler av lavtliggende infrastruktur, som veier, broer og ferjeleier, være utsatt i forbindelse med en havnivåstigning, spesielt hvis denne sammenfaller med økt risiko og høyde av stormflo. De potensielle økonomiske kostnadene forbundet med å bygge om og flytte infrastruktur og andre konstruksjoner i disse regionene, kan bli betydelige. Rapporten peker på behovet for å utarbeide nye teknikker og materialer som er mer motstandsdyktige mot vann og stormskader

I Sørøst-Norge kan det oppstå problemer ved vann og avløp på grunn av økningen i havnivå. Fredrikstad er en av kommunene som har hatt mest stormfloskader. Det er anslått at stormflonivået i 2100 der kan ligge på mellom 186-217 cm over kote null på landkart, mens høyeste registrerte stormflo i Fredrikstad var 138 cm over landkartnull (Groven *et al.*, 2008).

### 4.7 Økt stormflonivå og –aktivitet

Stormflo er ekstremt høy vannstand i sjøen, og oppstår som en kombinasjon av astronomiske / gravimetrisk faktorer (springflo pga tidevannskreftene som månen og sola øver på sjøen) og meteorologiske faktorer (kraftig lavtrykk og oppstuvning av vann langs kysten pga. vind). De meteorologiske effektene dominerer særlig i Skagerakområdet og avtar nordover, der de gravimetrisk komponentene dominerer. På grunn av bratt terreng langs kysten og få lavereliggende parti, er Norge lite utsatt for stormflo sammenlignet med mange andre land. I Nederland, der store deler av landområdene ligger under havnivå, er det bygd diker med porter som lukkes for å beskytte landet mot oversvømmelse ved stormflo. Trass i at vi er relativt lite sårbare for forbigående ekstreme vannstands nivåer i Norge, er det mange historiske eksempler på at stormflo har gjort stor materiell skade og tatt menneskeliv. Høy vannstand utretter størst skade når det samtidig er grov sjø. Dette er en vanlig kombinasjon fordi fenomenet oppstår i forbindelse med sterke lavtrykk og vind, noe som gjenspeiles i navnet "stormflo". Den verste episoden i forrige århundre fant sted på Helgelandskysten i januar 1901, da 35 mennesker på fiskeværet Sansundværet ble tatt av sjøen.<sup>46</sup>

Statens kartverk sjø har utarbeidet ekstremvannsanalyse for tidevannstandstasjoner langs norskekysten. Ekstremverdier fra disse stasjonene er brukt i flomsonekartprosjekter slik at disse også viser områder utsatt for ekstremverdier av stormflo. Bølgeeffekter og lokale vindoppstuvninger er ikke lagt til i disse vurderingene.<sup>47</sup>

Klimaendringer vil kunne påvirke de ekstreme vannstandsepisodene på to måter, gjennom generell havnivåøkning og gjennom kraftigere stormer med sterkere lavtrykk og høyere vindstyrke i de kraftigste stormene. Det siste vil føre til at den meteorologiske effekten på havnivået forsterkes under stormfloepisoder, og kan omtales som et forverret stormfloklima. Ettersom en generell havnivåstigning vil komme i tillegg til og forsterke de negative konsekvensene av et forverret stormfloklima, må de to prosessene sees i sammenheng når en skal vurdere følger for folk og samfunn. Selv om stormfloklimaet skulle forbli uendret i framtida, vil utfordringene med et høyere havnivå først og fremst komme til uttrykk i forbindelse med stormfloepisoder.

<sup>46</sup> Kilde: Statens kartverk sjøkartverket. [http://vannstand.statkart.no/stormflo.php?var=side2\\_6A](http://vannstand.statkart.no/stormflo.php?var=side2_6A)

<sup>47</sup> <http://vannstand.statkart.no/harm.php>

<sup>47</sup> Hackett, B. (2001). "Sterkere stormflo i vente." *Cicerone* 6/2001: 14-15.



## Forventede klimaendringer og effekter i Norge med mulig betydning for kraftforsyningen

---

Forskningen rundt effekter av høyere stormflo i Norge er i stor grad avgrenset til meteorologiske projeksjoner av framtidig havnivå og stormfloklima. Disse presenteres først, før vi omtaler andre arbeider som kan belyse sårbarhet for og tilpasning til alvorligere stormfloepisoder som følge av klimaendringer.

I løpet av de to siste tiårene har det blitt presentert ulike scenarier for stormflo som etterlater et uklart bilde av om vi kan vente endringer av stormfloklimaet dette hundreåret. For stormfloklimaet konkluderte Meteorologisk institutt med at i den grad scenarioet var realistisk ville stormflosesongen bli noe lengre og de sterkeste utslagene kraftigere, særlig i den nordlige landsdelen. Middelvannstanden vil øke med 2-4 cm langs kysten pga redusert midlere lufttrykk og økning av vinder som favoriserer stormflo. Videre viste studien at ekstremene vil øke i Nord-Norge med ca 10 cm i vinterhalvåret.<sup>48</sup>

## 5 Vegetasjonsendringer

Veksts sesongen defineres som antall døgn per år med middeltemperatur over 5 °C (Norsk klimasenter: 2009). Vestlandet har i dag opptil 224 dagers veksts sesong, mens veksts sesongen på høyfjellet og deler av Varangerhalvøya er under 70 dager. Den framskrivningen som ligger nærmest middels framskrivning på temperatur, gir en økning i veksts sesongen på inntil en måned i flere steder av landet fram mot 2050. Fram mot slutten av århundredet øker dette til mellom en og to måneder i størsteparten av landet mens det flere steder, spesielt i indre Nordland og Troms og noen steder på Vestlandet øker til opp til tre måneder, i verste fall hele fire måneder<sup>49</sup>.

Skoggrensen har hevet seg i den senere tid. Forskere bak prosjektet "Klimaendringer og fjellskog" konkluderer med at i løpet av de siste 70 årene har skoggrensen hevet seg slik at den i dag ligger der hvor tregrensa lå før. Skoggrensen defineres som det stedet i fjellskogen hvor avstanden mellom de enkelte trærne med høyde over tre meter blir større enn 30 meter, mens tregrensa er definert som det høyeste sted med trær over to meter. Det stedet hvor en fant størst heving i prosjektet var i Ringebu kommune der hevingen utgjorde 50 meter.

Prosjektet "Klimaendringer og fjellskog" undersøker mindre iøynefallende og mer langsiktige forandringene som skjer i naturen rundt oss. Man skal se på hvordan klimaendringene vil påvirke trær og planters utbredelse og sammensetning i skoggrenseområdene opp mot fjellet<sup>50</sup>.

Foreløpige resultater viser at antall arter har vært stabile de siste 70 år, men det er likevel en betydelig endring i artsinnholdet. I snitt ble det funnet syv nye arter i hver vegetasjonsrute, mens ni av artene som ble funnet i 1930, ikke ble funnet igjen. Arter som viste tilbakegang fra 1930 er i hovedsak lyselskende planter og arter som er knyttet til fjellvegetasjonen over tregrensa. Et annet og svært interessant funn er at arter som har høye krav til sommervarme øker i frekvens.

I 1932 ble skoggrensa og tregrensa nøyaktig innmålt og kartfestet. Resultatene i dette prosjektet viser at skoggrensa bare har hevet seg litt i deler av området. Den tydeligste endringen er økt gjengroing på arealet mellom den tidligere skoggrensa og tregrensa. Aldersstrukturen på foryngelsen tyder på at mye av treetablingen foregikk i perioden 1940-1950.

---

<sup>49</sup> Se figurer side 82 i Klima i Norge 2100

<sup>50</sup> [http://www.skogoglandskap.no/forskningsartikler/2007/klimaendringer\\_fjellskog](http://www.skogoglandskap.no/forskningsartikler/2007/klimaendringer_fjellskog)

## Forventede klimaendringer og effekter i Norge med mulig betydning for kraftforsyningen

---

Det er ikke bare klimaet som påvirker skoggrensa, den blir også påvirket av faktorer som insektangrep, soppangrep og beiting. Det er dokumentert en betydelig nedgang i husdyrholdet de siste 50 årene, men samtidig har bestanden av hjortevilt økt - og da særlig elg og reinsdyr.

Økt vegetasjon kombinert med økt fuktig snø (vinternedbør) kan gi utfordringer for ulike typer infrastruktur. Det har vært hendelser med strømutfall flere steder i landet der trær har falt over strømledninger grunnet tyngden fra snø.

## 6 Oppsummering

Gjennom denne fremstillingen ser man at de ulike klimaendringseffektene og utfordringene vi nå kjenner til griper inn i hverandre. Mange effekter av klimaendringen vil få ulike konsekvenser for svært mange deler av vår samfunnsstruktur, og ingen samfunnsområder vil være uberørte.

Denne kompleksiteten viser til et behov for bredere flerfaktoranalyser som kobler de ulike påvirkninger klimaendringer gir, nærmere sammen til større og mer helhetlige fremtidsbilder. Konsekvensanalyser av denne typen vil også gi et mer helhetlig bilde av tilpasningsutfordringer – forhåpentlig både nasjonalt, regionalt og lokalt.

Av utredningen ser man videre at det er behov for videreutvikling av regelverk og dimensjoneringskrav innefor ulike sektorer og kanskje spesielt innenfor kritisk infrastruktur som en førsteprioritet. Med en solid forskningsbasert kompetanse om at prosessen der klima endrer seg går stadig raskere bør all samfunnsplanlegging inkorporere klimakompetanse.

## Litteraturoversikt

- Aall, C., Groven, K., Sataøen, H. L. (2006) Regional klimasårbarhetsanalyse for Nord-Norge. Vestlandsforskning, rapport 4/06.
- Aunan, K. and B. Romstad (2008). "Strong coasts, vulnerable communities: Potential implications of accelerated sea-level rise for Norway." *Journal of Coastal Research* 24(2): 403-409.
- Bjerknessenteret (2008) Havnivåstigning. Estimater av fremtidig havnivåstigning i norske kystkommuner
- Cicero og COWI. (2008). Betydningen for Norden av 2 grader global oppvarming. *TemaNord* 2008:507.
- Cicero, ECON Pöyry og Vestlandsforskning (2009): "Konsekvenser av klimaendringer, tilpasning og sårbarhet i Norge" *Cicero Rapport* 2009:4
- Drange, H., Marzeion, B., Nesje, A. and Sorteberg, A. 2007. Opptil én meter havstigning langs Norskekysten innen år 2100. *Cicerone* 2/2007: 29-31
- Førland et al *CICERO Report* (2007:3) "Utviklingen av naturulykker som følge av klimaendringer" Utredning på oppdrag av Statens Landbruksforvaltning
- Glenn Peters, *Nature Geosciences*; (2009) "Trends in the sources and sinks of carbon dioxide"
- Hackett, B. (2001). "Sterkere stormflo i vente." *Cicerone* 6/2001: 14-15.
- Haugen, J.E. og T. Iversen (2008): «Response in extremes of daily precipitation and wind from a downscaled multi-model ensemble of anthropogenic global climate change scenarios.» *Tellus*, 60A, 411–426
- Haugen, J.E. og T. Iversen (2008): *Tellus* 60A «Response in extremes of daily precipitation and wind from a downscaled multi-model ensemble of anthropogenic global climate change scenarios.» (s.411–426)
- IPCC (2007) Fourth assessment report ([http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_ipcc\\_fourth\\_assessment\\_report\\_synthesis\\_report.htm](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm))
- Jaedicke, C., (2009) "Økt skredfare kan avverges" *Klima* 2009:1 s.30-31
- Kilde: [www.grunnvanninorge.no](http://www.grunnvanninorge.no)
- Kronholm, Kalle and K. Stalsberg, (2009) "Klimaendringer gir endringer i skredhyppigheten" *Klima*: 3 2009, s.34-36.
- Lehner, B., Döll, P. (2001). Europe's droughts today and in the future. *Eurowasser Kassel World Water Series Report* 5.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Solomon S. et al., (2009): "Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions"
- Norsk Klimasenter (2009) "Klima i Norge 2100" (Meteorologisk institutt, Bjerknessenteret, Nansensenteret, Havforskningsinstituttet og Norges vassdrags- og energidirektorat).
- Rahmstorf, S. (2007). A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise. *Science* 315: 368-370
- Vevatne, J. og H. Westskog (red.) (2007). Tilpasninger til klimaendringer i Osloregionen. Rapport til Klimasamarbeidet i Osloregionen. CIENS-rapport. Oslo, CIENS Forskningscenter for miljø og samfunn.