



# Klimaendring og framtidige flommer i Norge

*Deborah Lawrence*

81  
2016



R  
A  
P  
P  
O  
R  
T

## Rapport nr 81-2016

# Klimaendring og framtidige flommer i Norge

**Utgitt av:** Norges vassdrags- og energidirektorat

**Redaktør:**

**Forfattere:** Deborah Lawrence

**Trykk:** NVEs hustrykkeri

**Opplag:** 100

**Forsidefoto:** Heddøla ved Omnesfossen, sep. 2015; Foto: Eydis Dale, NVE

**ISBN** 978-82-410-1534-2

**ISSN** 1501-2832

**Sammendrag:** Et ensemble av regionale klimaframskrivninger fra EURO-CORDEX brukes sammen med HBV-modellen til å vurdere mulige effekter av klimaendringer på flommer i Norge for to framtidsperioder, 2031–2060 og 2071–2100. Flomfrekvensanalyse basert på simulerte vannføringsdata for 115 nedbørfelt gir sannsynlige endringer i middelflom, 200- og 1000-årsflom og i flomsesong. Regional veiledning for bruk av et 'klimapåslag' i forbindelse med klimatilpasningsarbeid er også presentert med grunnlag i resultatene og nedbørfeltetegenskaper.

**Emneord:** Klimatilpasning, hydrologisk modellering, usikkerhet, flomrisiko, klimapåslag, snøsmelteflom, regnflom

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

Telefon: 22 95 95 95  
Telefaks: 22 95 90 00  
Internett: [www.nve.no](http://www.nve.no)

September, 2016

# **Klimaendring og framtidige flommer i Norge**



# Innhold

<b>Forord</b> .....	<b>4</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Innledning</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Metoder og modeller</b> .....	<b>8</b>
2.1 Ensemblemetode .....	8
2.2 EURO-CORDEX-klimaframskrivninger .....	10
2.3 Biasjustering av temperatur- og nedbørtidsserier .....	12
2.4 Hydrologisk modellering .....	12
2.5 Flomfrekvensanalyser .....	14
<b>3 Hydrologiske framskrivninger for endring i flom</b> .....	<b>16</b>
3.1 Middelflom .....	17
3.2 Endringer i flomsesong .....	19
3.3 200-årsflom .....	20
3.4 1000-årsflom .....	22
3.5 Sammenligning med 2011 framskrivninger .....	23
<b>4 Usikkerhet i ensemble-framskrivninger</b> .....	<b>24</b>
4.1 Spredning rundt medianen .....	24
4.2 Forskjell mellom 10- og 90-persentilene .....	25
4.3 Usikkerhet i hydrologiske framskrivninger .....	26
<b>5 Nedbørfeltgenskaper og lokale variasjoner</b> .....	<b>27</b>
5.1 Nedbørfeltareal .....	27
5.2 Bratthet .....	28
5.3 Medianhøyde .....	29
5.4 Avstand til kysten .....	30
5.5 Flomgenererende prosess .....	31
5.6 Foreløpig analyse på regionalisering av resultatene .....	33
5.7 Oppsummering av nedbørfeltgenskaper og lokale variasjoner .....	36
<b>6 Anbefalinger for bruk av rapportens resultater</b> .....	<b>37</b>
6.1 Troms og Finnmark .....	39
6.2 Nordland .....	40
6.3 Trøndelag .....	42
6.4 Møre og Romsdal, Sogn og Fjordane, og Hordaland .....	44
6.5 Rogaland og Agder .....	46
6.6 Østlandet .....	47
<b>7 Behov for videre arbeid</b> .....	<b>49</b>
<b>8 Referanser</b> .....	<b>50</b>
<b>Vedlegg A – Endring i 200-årsflom for 115 HBV nedbørfelt</b> .....	<b>54</b>
<b>Vedlegg B – Anbefalte klimapåslag for flomsonekart</b> .....	<b>60</b>

# Forord

Hydrologisk modellering og flomfrekvensanalyse er blitt brukt sammen med data fra EURO-CORDEX klimaframskrivninger for å beregne estimater for virkningen av klimaendring på flom i et framtidig klima. Noen resultater finnes allerede i Klima i Norge 2100 (NCCS report no. 2/2015 s. 123–126). Det vitenskapelige grunnlaget for arbeidet om framtidige flommer som finnes der, en mer grundig oversikt over resultatene og noen nyere resultater er presentert i denne rapporten. Rapporten er dermed en oppdatering av de hydrologiske framskrivningene for flom som tidligere er rapportert av NVE (dvs. Lawrence og Hisdal, 2011). Regionvise anbefalinger som tar høyde for mulige endringer i flom av lange gjentaksintervaller (f.eks. 200 års- og 1000 års-flom) er også presentert i denne rapporten. Disse anbefalingene bidrar til NVEs klimatilpasningsstrategi med hensyn til flomrisiko og damsikkerhet.

Oslo, september 2016



Morten Johnsrud  
Avdelingsdirektør



Stein Beldring  
Fungerende seksjonssjef

# Sammendrag

Ensemblemodellering basert på biasjusterte nedbør- og temperaturdata fra 20 regionale klimaframskrivninger fra EURO-CORDEX er blitt brukt til å utvikle hydrologiske framskrivninger for flom for to framtidspersoder (2031–2060) og (2071–2100) sammenlignet med en referanseperiode (1971–2000). Klimaframskrivningene kommer fra ti ulike kombinasjoner av globale og regionale klimamodeller kjørt under to ulike utslippsscenarioer som beskriver middels (RCP 4.5) og høyt (RCP 8.5) utslipp i framtiden. De biasjusterte klimadataene er kjørt som inngangsdata til kalibrerte hydrologiske HBV-modeller for 115 nedbørfelt fordelt over hele Norge. De simulerte hydrologiske tidsseriene er analysert ved bruk av flomfrekvensanalyser for å vurdere endringer i flomstørrelse av gitte gjentaksintervaller mellom referanseperioden og framtidspersodene.

Sannsynlige endringer i middelflom, 200-årsflom og 1000-årsflom er beregnet for hvert nedbørfelt basert på medianen av ensemblet av 500 hydrologiske framskrivninger for nedbørfeltet. Det er ganske stor variasjon i estimatene for enkelte nedbørfelt, men samtidig er det et konsistent regionalt mønster i endringene. De største økningene i flomstørrelse finnes hovedsakelig på Vestlandet og i Nordland, og økningene kan bli opp mot 40–60 % noen steder for RCP 8.5. Det finnes også økninger i flomstørrelse noen steder på Sørlandet, på Østlandet, i Trøndelag og i Troms. I innlandet er det små økninger (dvs. < 10 %) eller en reduksjon de fleste stedene. Likevel finnes det økninger på 20–30 % også i noen høytliggende nedbørfelt på Østlandet og på 10–20 % noen steder i Sør-Trøndelag. Disse mulige økningene ble ikke vist i de tidligere framskrivningene som ble rapportert av NVE (Lawrence og Hisdal, 2011). Nedbørfelt lokalisert nær kysten har en tendens til å vise økt flomstørrelse i alle regioner, med unntak av Finnmark, og dette er overensstemmende med tidligere resultater.

Forskjellene mellom regionene gjenspeiler i stor grad de relative rollene av snøsmelting versus kraftig nedbør som den dominerende prosessen som fører til flomvannføring. Varmere temperatur om vinteren og våren i et framtidig klima betyr redusert snømagasinerings og tidligere snøsmelting, og dette vil i de fleste tilfellene føre til en reduksjon i snøsmelteflommer. Samtidig vil økning i høst- og vinter-nedbør i hele Norge bety flere flommer i regioner som allerede er dominert av høst- og vinterflom i dagens klima. Det finnes også områder som i dag domineres av snøsmelteflommer om våren, og der høst- og vinter-regnflom kommer til å bli stadig viktigere i framtiden. I noen tilfeller vil denne endringen i sesong for høy vannføring også føre til en generell økning i størrelsen på middelflom og flommer med lengre gjentaksintervaller.

Variasjoner i forventede endringer i flomstørrelse blant nedbørfelt i samme region er også vurdert med hensyn til nedbørfeltareal, bratthet, medianhøyde, flomgenererende prosess og avstand til kysten. Det er en sterk sammenheng mellom antall regnflommer i dagens klima og forventning om økt flomstørrelse i framtiden. Økt flomstørrelse forventes også i mindre nedbørfelt, dvs. med areal < 100 km<sup>2</sup>. Nedbørfelt med middelhøyde < 500 m.o.h. og nedbørfelt som ligger < 100 km fra kysten viser også økte flomstørrelser i framtiden i de fleste tilfellene.

På grunn av usikkerheten i de detaljerte estimatene for nedbørfeltene og fordi det er et behov for å generalisere resultatene til områder med umålte nedbørfelt, er tre brede

inndelinger foreslått for bruk i klimatilpasning: 0 %, 20 % og 40 % endring. Regional veiledning for bruk av disse tre kategoriene er presentert i kapittel 6 av denne rapporten.



# 1 Innledning

Klimaframskrivninger for Norge viser endringer i både temperatur- og nedbørforhold i framtiden (Hanssen-Bauer, m.fl., 2015). Det er ventet en økning mellom 1,7 og 3,7 °C under middels utslipp (RCP 4.5) og mellom 3,4 og 6,0 °C under høyt utslipp (RCP 8.5) fra 1971-2000 til 2071-2100 ifølge klimaframskrivningene. (RCP 4.5 tilsvarer økt utslipp fram mot 2060 og en stabilisering deretter, og RCP 8.5 tilsvarer økt utslipp fram mot 2100.) Samtidig er den forventede forandringen i årsnedbør mellom 3 og 14 % for RCP 4.5 og mellom 7 og 23 % for RCP 8.5. Det er likevel store variasjoner mellom sesonger og regioner. De største absolutte økningene i nedbørmengde (i mm) er ventet om høsten og vinteren på Vestlandet, i Midt-Norge og i Nordland, mens de største relative økningene (i %) er ventet om våren og vinteren på Østlandet og i Finnmark. I tillegg er antall dager med kraftig nedbør ventet å øke i hele landet i alle sesonger. I noen tilfeller er de forventede økningene i overkant av 100 % for RCP 8.5 mot slutten av århundret, dvs. mer enn en dobling av antall dager med kraftig nedbør.

De forventede endringene i temperatur- og nedbørregimer vil føre til endringer i avrenning, og de hydrologiske framskrivningene presentert i Hanssen-Bauer, m.fl. (2015) forutsier en betydelig relativ (dvs. prosentvis) endring i sesongavrenning som også varierer mellom de ulike regionene i Norge. På grunn av de viktige bidragene fra innsjøer, snø, vegetasjon, markvann og grunnvann til vannmagasinering er det ikke en enkel én-til-én sammenheng mellom forventede forandringer i nedbør og tilsvarende endringer i avrenning. For å se på dette må en hydrologisk modell kjøres med lokalt justerte inndata fra klimaframskrivninger slik at effekten av endringer i nedbør og temperatur på landoverflateprosesser som har en betydning for avrenning kan vurderes. På dette grunnlaget kan mulige endringer i flomforhold i et endret klima også analyseres.

I denne rapporten er de mulige konsekvensene av klimaendringer på flomhendelser med lange gjentaksintervall (f.eks. 200-årsflom) evaluert basert på resultatene av hydrologiske modellsimuleringer med HBV-modellen for 115 steder fordelt over hele landet. Stedene representerer uregulerte nedbørfelt med en tilstrekkelig lang observert vannføringstidsserie som danner grunnlaget for kalibrering av HBV-modellen for historiske tidsperioder. Inndata fra flere klimaframskrivninger (dvs. de samme klimaframskrivningene som er anvendt i Hanssen-Bauer, m. fl., 2015) er brukt i de kalibrerte hydrologiske modellene for å simulere avrenningstidsserier for en referanseperiode (1971–2000) og to framtidige perioder (2031–2060 og 2071–2100). De simulerte tidsseriene er da analysert med flomfrekvensanalyse på års-maksimalverdier, og prosentvise endringer i middelflom, 200-årsflom og 1000-årsflom er estimert. Mulige endringer i flomsesong er også vurdert fra de simulerte vannføringstidsseriene.

Klimatilpasningsarbeid er avhengig av modellsimuleringer for framtidige forhold fordi observerte data selvsagt ikke er tilgjengelige for framtidige perioder. Bruk av modellsimuleringer innfører en usikkerhet man ikke har i observerte data. Derfor stoler enkelte mindre på modellsimuleringene. Dette kan av og til føre til skepsis på slike resultater i forhold til de som er basert på observerte data. Samtidig må det minnes om at flomfrekvensanalyser av observerte data representerer en type ‘modell’ for observasjoner, og modellen er ofte basert på en mindre tidsperiode (typisk 30–50 år) enn gjentaksintervallet (f.eks. 200-årsflom). I dette tilfellet er verken kort- eller

langtidsvariasjoner i klima, enten menneskeskapte eller ikke, godt representert av tilgjengelige observerte data som anvendes i analysen. De fleste flomfrekvensanalysene forutsetter stasjonærhet. Dette innebærer at både de observerte tidsseriene og framtidige tilstandene ikke har trender. Et slikt krav er ikke oppfylt når klimaendring begynner å endre nedbør- og avrenningsmønstre over tidsperiodene som analyseres. Begge faktorer, dvs. lengden på og trender i tidsserier, kan svekke påliteligheten av flomestimer basert på observerte data. Flomfrekvensanalyser basert på simulerte data gjør derfor et viktig bidrag i vurdering av flomfare. En betydelig ulempe med bruk av simulerte data er imidlertid at resultatene kan variere mellom modeller og, i forbindelse med studier av klimaendringer, utslippsscenarioene som ligger bak klimamodellkjøringer. For studien som presenteres i denne rapporten har vi derfor brukt en såkalt "ensemble"-metode der flere klimamodeller, to biasjusteringsmetoder, og flere hydrologiske modellkalibreringer er brukt til å utvikle en rekke estimer av endring i flomstørrelse i et framtidig klima. Dette er gjort for klimamodeller kjørt under to forskjellige scenarioer for framtidig utvikling av globale klimagass- og aerosolutslipp (dvs. RCP 4.5 og 8.5).

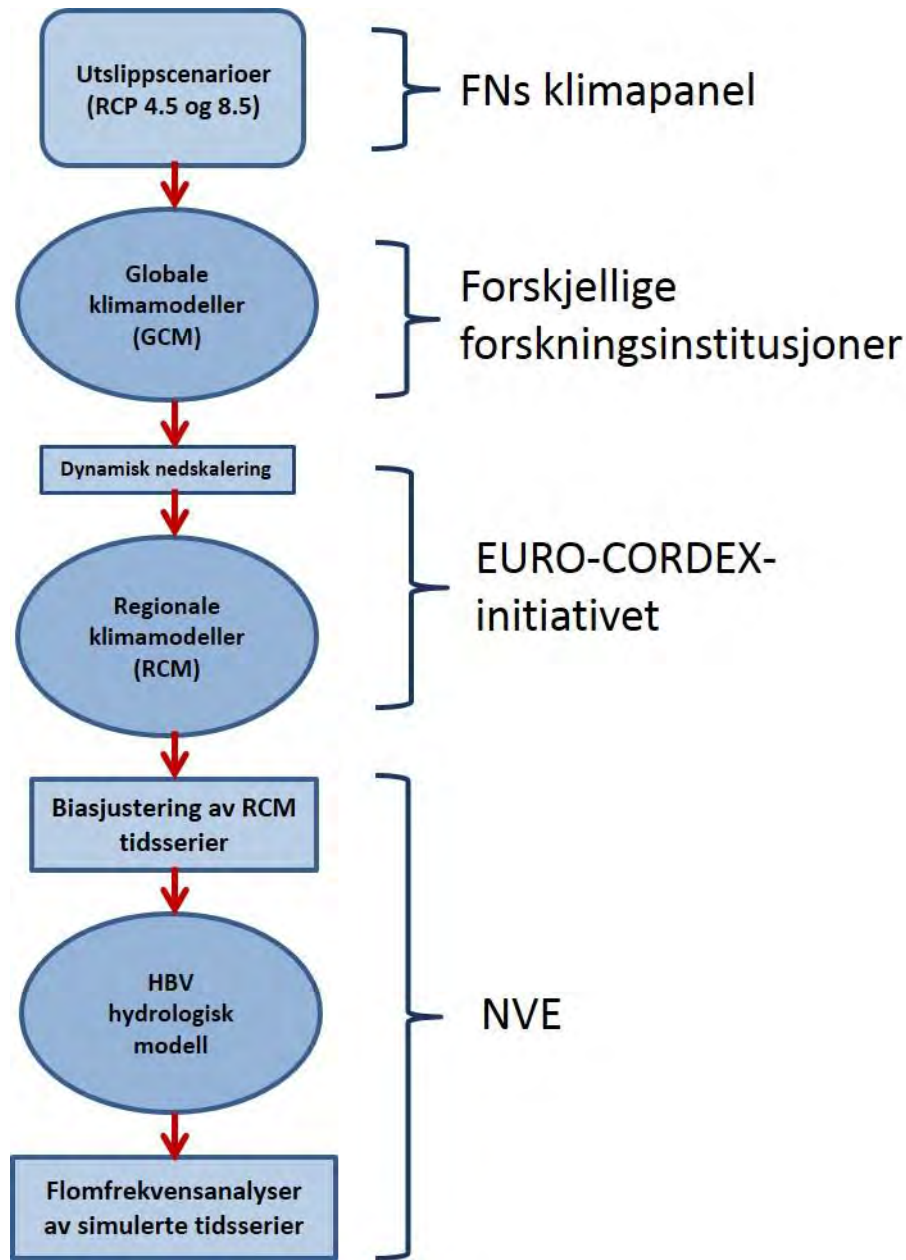
De detaljerte resultatene presentert i kapitler 3 og 4 av denne rapporten er basert på 115 uregulerte nedbørfelt der det er mulig å kalibrere en hydrologisk modell for bruk i simuleringer. For å bruke slike resultater i praktiske anvendelser, for eksempel for flomsonekartlegging og analyser for damsikkerhet, må resultatene regionaliseres til andre nedbørfelt uten vannføringsdata, dvs. umålte nedbørfelt. Derfor er det også presentert en vurdering av forventede endringer i flomstørrelse for ulike regioner i Norge, tolket fra det romlige mønstret av resultater for de 115 nedbørfeltene og fra nedbørfeltens egenskaper som areal, medianhøyde, bratthet, flomgenererende prosess og avstand til kysten. Dette finnes i kapittel 5 av rapporten. Anbefalinger blir deretter presentert i kapittel 6 for seks regioner i Norge med bruk av tre ulike klimapåslag: 0 %, +20 % og +40 % for ulike typer nedbørfelt. På grunn av usikkerhet i simuleringene for framtidige perioder, er det ikke utviklet mer detaljerte estimer basert på, for eksempel, regionale regresjonsligninger. Klassifiseringen av sannsynlige endringer basert på tre enkle kategorier anses derfor for å være den mest robuste bruken av tilgjengelig kunnskap om effekt av klimaendring på framtidige flommer.

## 2 Metoder og modeller

### 2.1 Ensemblemetode

For å vurdere mulige endringer i flomforhold i et framtidig klima må man benytte en rekke koblede modeller og analyser (figur 2.1). Globale klimamodeller (GCM) simulerer prosesser og vekselvirkninger i klimasystemet på global skala. For å se på endringer i klimasystemet i framtiden er GCMene kjørt med noen forutsetninger om hvordan de menneskeskapte utslippene utvikler seg framover, dvs. såkalte 'Representative Concentration Pathways' (RCP). Resultatene av GCM-kjøringer, bl.a. temperatur- og nedbørtidsseriene, har en for grov romlig oppløsning (typisk 100 x 100 km gridruter) for analyser på lokal skala. Derfor er dynamisk nedskalering gjennomført ved å kjøre en regional klimamodell (RCM) for et begrenset område, med mindre gridruter, bedre beskrivelse av topografi, og i noen tilfeller, mer detaljerte fysiske prosesser. På hvert skritt i dette modelleringskjedet kan ulike kombinasjoner av RCP, GCM og RCM gir ulike resultater. Det er derfor anbefalt av FNs klimapanel at resultatene av flere

modellberegninger samles som et ensemble slik at spredningen i beregningene også kan vurderes.



Figur 2.1 Modeller og analyser som anvendes for å beregne å beregne endring i flomforhold. Arbeidsgruppene og institusjonene som har gjennomført modelleringen og analysene er vist.

For hydrologiske analyser på nedbørfeltskala (som kreves for vurdering av flomforhold) må temperatur- og nedbørtidsseriene fra RCMer videre justeres mot observasjoner for å få god overensstemmelse med lokale data, for eksempel mot observerte temperatur- og nedbørtidsserier. Denne justeringen kan utføres på flere måter som tilpasser statistiske momenter eller kvantiler med en justeringsfaktor utviklet ved å sammenligne de observerte og modellerte tidsseriene (se for eksempel Gudmundsson, m.fl. 2013 for videre detaljer). De forskjellige metodene har både fordeler og ulemper for forskjellige

analyser slik at det kan bli vanskelig å velge en ‘beste’ metode. Derfor er det også anbefalt at flere metoder brukes som en del av et ensemble av resultater (Sunyer, m.fl. 2015).

Hydrologisk modellering og flomfrekvensanalyser er også metoder som kan gi ulike resultater avhengig av hvilken parameterisering og metodikk som benyttes. Dette gjenspeiler delvis at forskjellige kombinasjoner av parametere og prosesser gir like gode tilpasninger til observerte data og det kan bli vanskelig å skille mellom alternativene. Når modellene er kjørt med simulerte data for en framtidsperiode kan resultatene likevel avvike, særlig om flomgenererende prosesser endrer seg i et gitt nedbørfelt (Lawrence og Haddeland, 2011; Brigode, m.fl., 2013; Vormoor, m.fl., 2015). Forskjellige hydrologiske modeller kan også gi ulike resultater på grunn av forskjeller i modellstruktur (Karlsson m.fl., 2016), og det er også anbefalt at om man har mulighet bør resultatene av flere hydrologiske modeller vurderes. På lignende måte er det usikkerhet både i parameterne som estimeres i en flomfrekvensanalyser og i valget av ekstremverdifordeling.

På grunn av faktorene nevnt ovenfor er hvert trinn i figur 2.1 forbundet med et utvalg av alternative modeller, metoder og framgangsmåter. Derfor er det blitt brukt en ensemblemetode hvor data fra ti GCM/RCM-kombinasjoner brukes i hydrologisk modellering. I tillegg er to alternative metoder for biasjustering av temperatur- og nedbørtidsserier også benyttet for å finjustere RCM-data til lokale forhold, og hydrologisk modellering er basert på 25 ulike kalibrerte parametersett for et gitt nedbørfelt. Dette ensemblet av 500 hydrologiske framskrivninger for hvert nedbørfelt fanger opp en del av den mulige variasjonen, men ikke all. Betydningen av hydrologisk modellstruktur, for eksempel, er ikke vurdert i denne analysen. Ensemblet er kjørt for to alternative RCPer, slik at endringer i flomforhold under et middels og et høyt utslippsscenario kan sammenlignes. En slik sammenligning var ikke mulig for de tidligere publiserte klimaskrivningene for flom i Norge (Lawrence og Hisdal, 2011) fordi et fullstendig ensemble av RCM-kjøring for forskjellige utslippsscenarioer ikke var tilgjengelig på den tiden.

## **2.2 EURO-CORDEX-klimaframskrivninger**

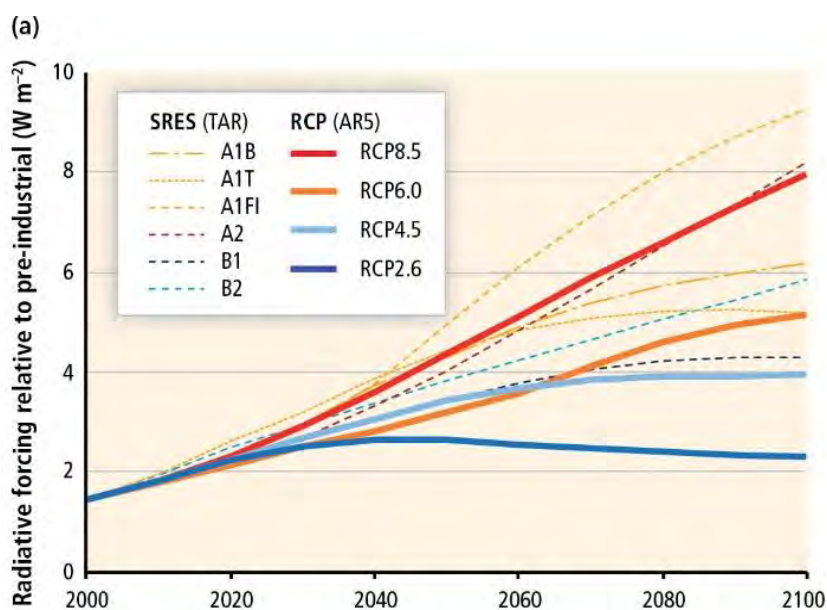
De globale klimamodellene (GCMene) som danner grunnlaget for de hydrologiske framskrivningene i denne rapporten er presentert i tabell 2.1. Disse modellene har blitt nedskalert til en finere romlig oppløsning (dvs. mindre gridruter) ved bruk av en regional klimamodell (RCM) som også vises i tabellen. RCMene ble kjørt i forbindelse med et internasjonalt samarbeid (EURO-CORDEX – European Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment; Jacob, m.fl., 2014) der GCMer nedskaleres til bl.a. gridruter på ca. 12 x 12 km. Alle RCMene er dermed kjørt på det samme domenet, og dette gjør RCM-kjøringene mer sammenlignbare enn modeller kjørt med forskjellige romlige oppløsninger på forskjellige domener.

De ti klimaframskrivningene nevnt i tabell 2.1 er alle tilgjengelige for utslippsscenarioene RCP 4.5 og RCP 8.5, der RCP 4.5 tilsvarer økt utslipp fram mot 2060 og en stabilisering deretter, og RCP 8.5 tilsvarer økt utslipp fram mot 2100 (Figur 2.2). Dermed er det mulig å sammenligne resultater for hver av disse to utslippsscenarioene med hensyn til mulige endringer i flomforhold. Dette var ikke mulig med klimaframskrivningene som var tilgjengelige for den tidligere rapporten (Lawrence og Hisdal, 2011), og resultatene som

vises der kommer fra et ensemble som er en blanding av tre utslippsscenarioer, dvs. A1, A1B, og B2 (Figur 2.2), men hovedsakelig A1B.

Tabell 2.1 Klimamodeller (dvs. GCM/RCM kombinasjoner) som er brukt i denne analysen og instituttene som har levert RCM-kjøringen til EURO-CORDEX-initiativet.

Global klimamodell (GCM)	Regional klimamodell (RCM)	Institutt
CNRM-CM5	CCLM	CLM-Community
EC-EARTH	CCLM	CLM-Community
EC-EARTH	HIRHAM5	Danish Meteorological Institute (DMI)
EC-EARTH	RACMO22E	Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI)
MPI	CCLM	CLM-Community
CNRM-CM5	RCA4	Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)
EC-EARTH	RCA4	Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)
IPSL-CM5A	RCA4	Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)
MPI	RCA4	Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)
HADGEM2	RCA4	Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)



Figur 2.2 Estimert framtidig klimapådriv ('radiative forcing') sammenlignet med førindustriell tid. Tidligere framskrivninger for flom i Norge (Lawrence og Hisdal, 2011) brukte klimamodeller kjørt under SRES A2, A1B og B2. I denne rapporten er alle klimamodellene kjørt under både RCP 4.5 og 8.5. (Kilde: Fig. 1-4a fra IPCC AR5, WGII, Chapter 1, 2014).

## 2.3 Biasjustering av temperatur- og nedbørtidsserier

Av flere grunner kan det oppstå systematiske avvik mellom simulerte variabler fra klimamodeller (f.eks. temperatur og nedbør) og observert klima på et gitt sted. Dette har særlig betydning når man trenger realistiske absoluttverdier og antall dager med regn over en terskel slik at for eksempel endringer i flomforhold kan vurderes. Det finnes forskjellige metoder for lokal justering av temperatur- og nedbørtidsserier for å gjøre data fra klimamodeller bedre egnet som inngangsdata til en kalibrert hydrologisk modell (Madsen, m.fl., 2014), og metodene er blitt mye forbedret de siste årene med hensyn til analyser som fokuserer på ekstremverdier. For de tidligere publiserte klimaframskrivningene for flom i Norge (Lawrence og Hisdal, 2011) ble to metoder brukt: 1) den såkalte 'Delta Change'-metoden (Renard m. fl., 2001) der observerte tidsserier for temperatur og nedbør er justert med en månedlig klimafaktor beregnet fra klimamodellen; og 2) en 'Empirical Adjustment'-metode (Engen-Skaugen, 2007) der temperatur- og nedbørtidsseriene fra klimamodeller er justert for å få en bedre overenstemmelse med månedlige gjennomsnitts- og standardavviksverdier i forhold til observerte data.

I de siste årene er det blitt utviklet forskjellige 'Quantile mapping'-metoder som justerer hele den kumulative fordelingsfunksjonen, også ekstremverdiene. Gudmundsson, m.fl. (2012) gir en bred oversikt og en sammenligning av 'Quantile mapping'-metoder med fokus på hvordan forskjellige metoder fungerer for norske nedbørsserier. En av disse metodene, 'Empirical Quantile Mapping'-metoden, treffer de høyeste kvantilene bedre enn andre metoder, for eksempel de høyeste nedbørverdiene, for en kalibreringsperiode. Dette er metoden som er blitt brukt for de hydrologiske framskrivningene som finnes i Klima i Norge 2100 (Hanssen-Bauer, m.fl., 2015), og det er også blitt brukt for å biasjustere både temperatur- og nedbørtidsserier fra framskrivningene til EURO-CORDEX (tabell 2.1) i dette arbeidet. Likevel er det ikke helt tydelig at metoden alltid passer best med hensyn til de høyeste verdiene som må justeres. Dette er fordi det er mye usikkerhet knyttet til disse ekstremverdiene, og bruk av en empirisk metode for å modellere sannsynlighet kan i noen tilfeller føre til upålitelige resultater for de høyeste kvantilene. Derfor har vi også brukt en 'Quantile Mapping'-metode som er basert på en teoretisk fordeling, dvs. en 'Distribution-based' metode utviklet av SMHI (Yang, m.fl., 2010) for å biasjustere tidsseriene fra RCMene. Metoden tilpasser en gammafordeling til nedbørverdier opp til og med 95 %-kvantilen og en annen gammafordeling for verdier > 95 %-kvantilen. Antall regndager er også justert i begge metoder med bruk av en Bernoulli-funksjon, slik at sannsynligheten for regndager stemmer med den observerte sannsynligheten for referanseperioden. Biasjusteringen som er utviklet for referanseperioden er også brukt for å justere klimadata for framtidsperioder.

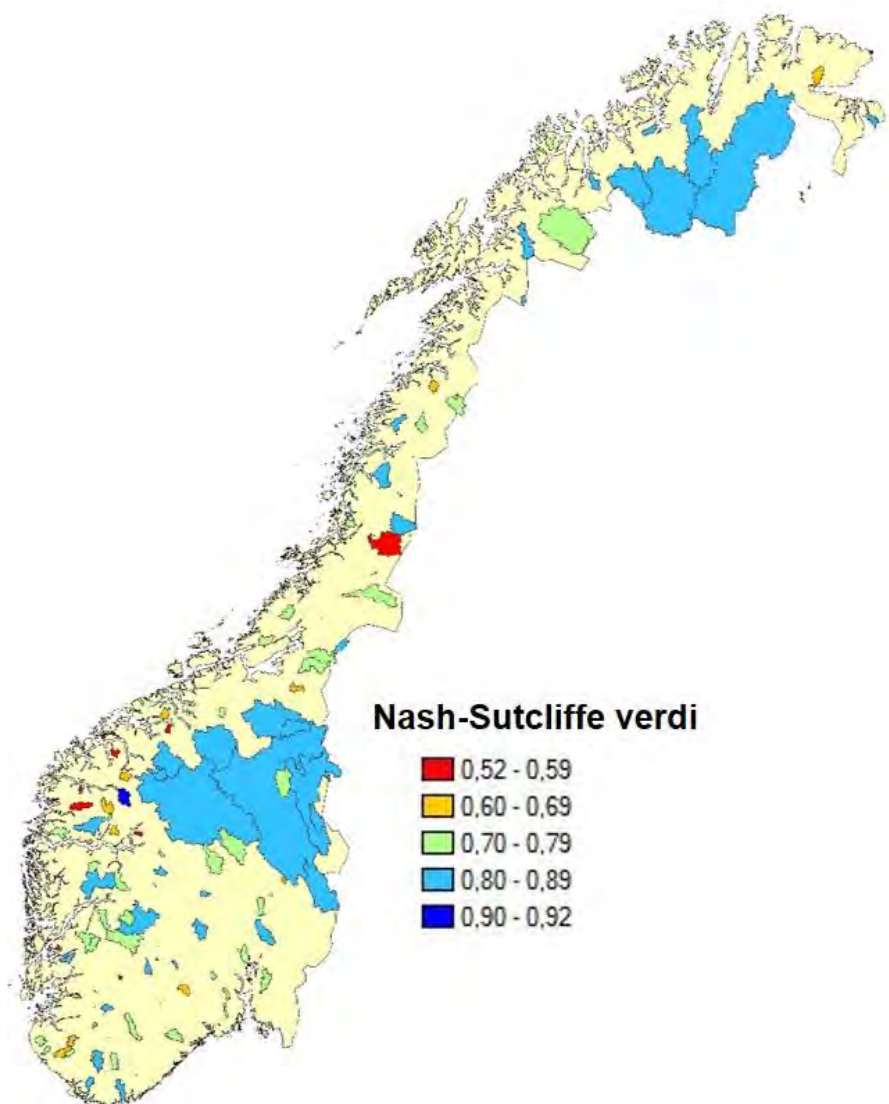
## 2.4 Hydrologisk modellering

De hydrologiske analysene som kreves for å vurdere mulige endringer i flomforhold er gjennomført på simulerte tidsserier beregnet med en hydrologisk modell. For dette arbeidet ble den hydrologiske modellen HBV (Bergström, 1995; Sælthun, 1996) benyttet, og modellen ble kalibrert og validert for 115 uregulerte nedbørfelt fordelt over hele landet (Figur 2.3). Disse nedbørfeltene er også brukt for hydrologisk simulering i forbindelse med NVEs flomvarslingstjenester. Nedbørfeltenes areal varierer fra ca. 3 til ca. 15450

km<sup>2</sup>, og median areal er på 190 km<sup>2</sup> (Vedlegg A). Dermed er mindre nedbørfelt ganske godt representert. Blant de 115 nedbørfeltene finnes det 25 med areal < 55 km<sup>2</sup> og 51 med areal < 150 km<sup>2</sup>. Generelt er den romlige fordelingen av nedbørfeltene rimelig jevn, men de fleste store nedbørfeltene finnes i innlandet og i Finnmark. Noen av disse store nedbørfeltene består av mindre nedbørfelt som også er tatt med i analysene. Et slikt nestet hierarki er dessverre ikke mulig i andre områder på grunn av regionale fysiografiske forskjeller og behovet for lange tidsserier uberørt av regulering for kalibrering av den hydrologiske modellen.

HBV-modellen ble kalibrert og validert for hvert nedbørfelt mot vannføringsdata fra utløpet til nedbørfeltet og med observerte temperatur- og nedbørdata fra 1 x 1 km seNorge-grid for perioden 1961–2008 som inndata til modellen. (Se Lawrence, m.fl., 2009 for videre detaljer om kalibrerings- og valideringsprosessen.) Perioden 1972–1995 ble brukt til å kalibrere modellen, og de andre årene for modellvalidering. Den hydrologiske modellen ble kjørt med et daglig tidskritt slik at modellerte avrenningsverdier representerer daglige gjennomsnittsverdier istedenfor momentanverdier. Dermed kan de høyeste vannføringsverdiene bli noe underestimert i de minste nedbørfeltene.

Optimiseringsrutiner med metoden PEST (Skahill and Doherty, 2006) ble benyttet for modellkalibrering, og både Nash-Sutcliffe-kriteriet (N-S) og volumetrisk bias er blitt brukt som objektive funksjoner i kalibreringen. 150 forskjellige parametersett ble optimert for hvert nedbørfelt, og de 25 beste ble valgt for videre bruk. For et gitt nedbørfelt varierer N-S-kriteriet med mindre enn 3 % blant de 25 parametersettene. N-S-verdier for de 115 nedbørfeltene i figur 2.3 tyder på gode til ypperlige kalibreringer av modellene sammenlignet med observerte vannføringsdata. De beste modellene (dvs. med N-S-verdier > 0.85) finnes hovedsakelig i store nedbørfelt hvor årets største flomstort sett skyldes snøsmelting om våren og tidlig på sommeren. Nedbørfelt på Vestlandet og kystnære områder der bratt topografi og store lokale gradienter i nedbør bidrar til en høyere grad av modellusikkerhet har ofte lavere N-S-verdier. Hydrologiske simuleringer for framtidige klimaforhold ble gjennomført ved bruk av de 25 best tilpassede parametersettene for hvert nedbørfelt.



*Figur 2.3 Kalibrerte verdier med hensyn til Nash-Sutcliffe-kriteriet for de 115 nedbørfeltene brukt i klimasimuleringer. Kalibrering er gjennomført med grunnlag i observerte vannføringsdata for perioden 1961–2008, og perioden 1972–1995 ble brukt som kalibreringsperiode og de andre årene for modellvalidering.*

## 2.5 Flomfrekvensanalyser

For å estimere sannsynligheten for flom med en viss størrelse eller omvendt, for å vurdere størrelse på en høy vannføring med en gitt sannsynlighet, må flomfrekvensanalyser anvendes. Disse metodene er blitt brukt i mange år i hydrologi for å beregne sannsynlighet for ekstreme hendelser med lange gjentakintervall. I praksis er de observerte hydrologiske tidsseriene vanligvis mellom 20 og 50 år, dvs. noe kortere enn gjentakintervallene som ofte er av interesse. I Norge er flomfrekvensanalyse foretatt bl.a. i forbindelse med flomberegninger for flomsonekartlegging. For dette formålet er 200-årsflommen brukt, som er den flomstørrelsen med en 0,5 % sannsynlighet for forekomst i et gitt år. For dimensjonerende flom for damsikkerhet, blir 500- og 1000-årsflommen

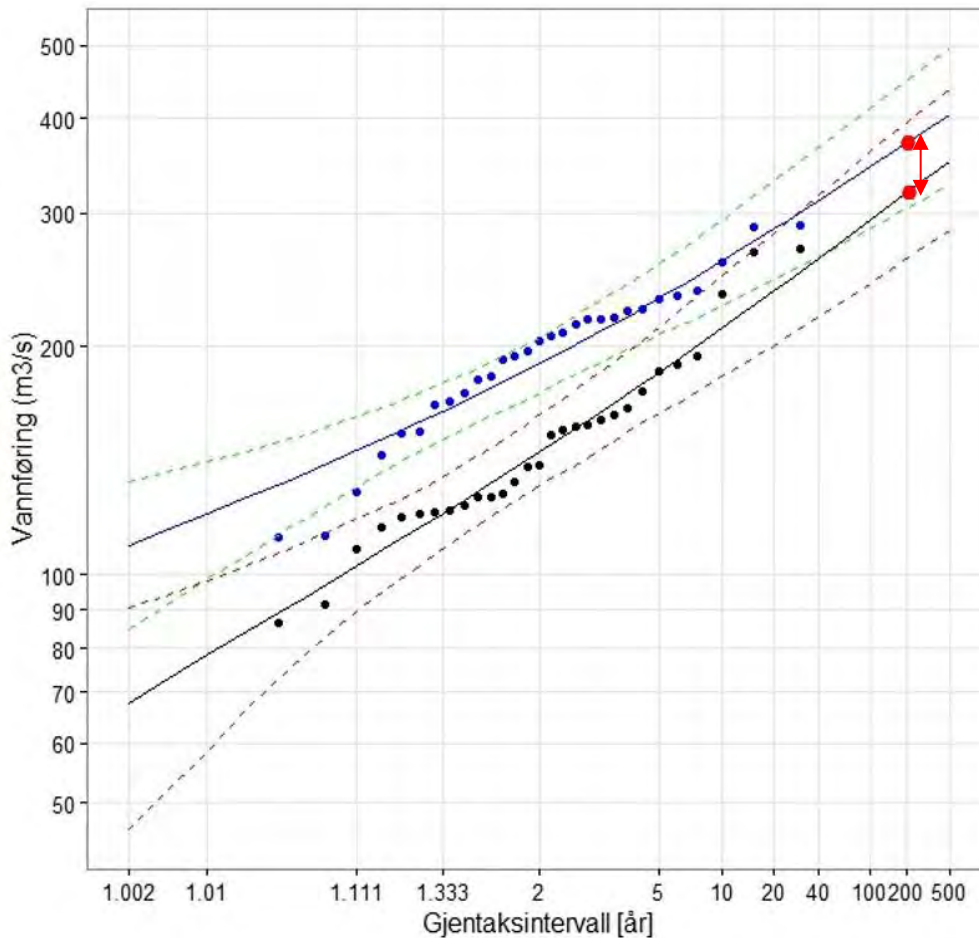


brukt, avhengig av damklasse, og disse representerer flom med sannsynligheter for forekomst på 0,2 % og 0,1 %, respektivt.

Som for alle type modeller, enten statistisk eller en numerisk simulering, er flomfrekvensanalyse forbundet med usikkerhet. For analyser av historiske tidsserier kan observerte data ha betydelige feil eller bias. I analysene som presenteres her er simulerte hydrologiske data analysert, og i dette tilfellet, kan mangel på en helt perfekt hydrologisk modell (dvs. figur 3.2) også introdusere feil i estimatet. I tillegg er det ukjent om hvor godt en modell som er kalibrert med grunnlag i dagens klima fungerer for å simulere framtidens klima. Flomfrekvensanalyse innebærer også noen forutsetninger, bl.a. 1) hendelsene som analyseres er uavhengige av hverandre; 2) hendelsene skyldes den samme flomgenererende prosessen (dvs. regn- eller snøsmelteflommer); og 3) det finnes ikke noen trender i tidsseriene. I praksis er de to siste kravene sjeldent helt oppfylt, og dermed kan avvik fra disse forutsetningene også introdusere feil. Dessuten kan valget av ekstremverdifordelingen som benyttes for analysen, metoden for å estimere parametere for ekstremverdifordelingen, og formelen som er brukt for å plote hendelser medføre usikkerhet (Wilson, m.fl., 2011). Som for alle statistiske analyser, øker usikkerheten i de statistiske modellparameterne når antallet observasjoner tilgjengelige for analysen minkes, dvs. når en kortere tidsserie brukes for flomfrekvensanalysen. I tillegg øker usikkerheten med økende gjentakintervall, på grunn av den større forskjellen mellom lengden på tidsserien som benyttes og gjentakintervallet.

Vanligvis er den såkalte 'årsflommetoden' brukt for flomfrekvensanalyser i Norge, og den analyserte tidsserien består av de årlige maksimalvannføringsverdiene fra den observerte dataserien. En statistisk fordeling (f.eks. 'Lognormal' eller 'Generalised Extreme Value', dvs. 'GEV') tilpasses maksimalverdi-serien, og kurven brukes for å estimere størrelsen på vannføring (figur 2.4). Usikkerheten som skyldes estimering av parametere for fordelingen kan også estimeres, og den er også vist i figur 2.4. For å analysere prosentvis endring i størrelsen på vannføring med et gitt gjentakintervall (f.eks. 200-årsflom) i framtiden, blir flomfrekvensanalysen gjennomført på maksimalverdi-serien fra den simulert daglige vannføringen for hver av to perioder, en referanseperiode (1971–2000) som representerer dagens forhold og en framtidsperiode (2030–2060 eller 2071–2100).

En to-parameter Gumbel-fordeling (som tilsvarer en Type I GEV-fordeling) er brukt her til å modellere maksimalverdi seriene, og den prosentvise endringen i flomstørrelse er beregnet som differansen mellom de to kurvene (figur 2.4) delt på flomstørrelsen for referanseperioden (1971–2000) og ganget med 100 for å få en prosentvis verdi. Gumbel-fordelingen er valgt for analysen på grunn av den begrensende lengden på dataseriene (dvs. 30 verdier for hver tidsperiode på 30 år) som gjør tilpasning av en tre-parameterfordeling meget usikker. Den er også en passende fordeling i følge ekstremverditeori (Coles, 2001), og har blitt mye brukt, også i andre nyere studier av effekten av klimaendring på flom i Europa (Madsen, m.fl., 2014). Gumbel-fordelingen ble tilpasset maksimalverdi-seriene ved bruk av metoden 'Probability Weighted Moments' som var implementert via fExtremes pakken i programmeringsspråket R. En viktig forutsetning er imidlertid at denne underliggende ekstremverdifordelingen som benyttes er egnet både for dagens- og for framtidens klima.



Figur 2.4 Eksempel på bruk av flomfrekvensanalyse for å estimere endring i 200-årsflommen. De svarte prikkene viser års-maksimalverdier for referanseperioden (1971–2000), og de blå prikkene for framtidsperioden 2071–2100. De svarte linjene er de tilpassede Gumbel-fordelingene, og de stiplede linjene viser 95 % konfidensintervallene (brunt for perioden 1971–2000 og grønt for 2071–2100). Prosentvis endring i 200-årsflommen er beregnet som differansen mellom kurvene delt på 200-års flommen for referanseperioden 1971–2000 og ganget med 100 for å få en prosentvis verdi.

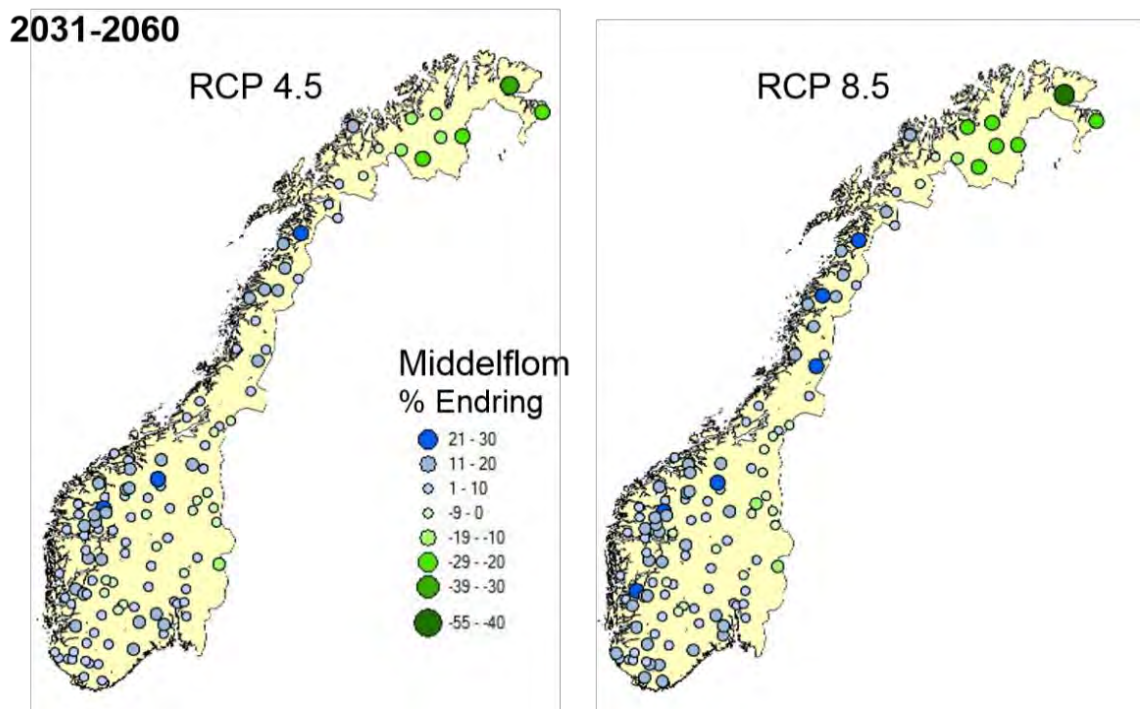
### 3 Hydrologiske framskrivninger for endring i flom

Modellene og metodene beskrevet i kapittel 2 ble brukt for å simulere døgnmiddel-vannføring for referanseperioden 1971–2000 og de to framtidsperiodene, 2031–2060 og 2071–2100. Dette gir et ensemble på 500 simuleringer for hvert nedbørfelt, som kommer fra de 10 klimafamskrivningene (kap. 2.2), de to metodene for biasjustering (kap. 2.3), og de 25 HBV parametersettene (kap 2.4), for hver utslippsscenario (RCP 4.5 og 8.5). For hver simulering, var prosentvis endring beregnet ved å sammenligne estimerer for referanseperioden og framtidsperioden. Resultatene for alle simuleringer for et gitt nedbørfelt var da samlet som en kumulativ fordelingsfunksjon, og dette gir fordelingen av resultatene for nedbørfeltet. De hydrologiske framskrivningene for endringer i

middelflom, 200-årsflom og 1000-årsflom som vises her er basert på medianverdien av ensemblet på 500 framskrivninger for hvert nedbørfelt. Medianen er verdien som deler ensemblet i to, slik at omtrent halvparten av framskrivninger gir høyere verdier og halvparten gir lavere verdier enn medianen. Dermed viser figurene verdien slik at halvparten av framskrivningene er større og halvparten av framskrivningene er mindre enn verdien som er vist. Spredning av resultatene rundt medianverdien er selvsagt også av interesse fordi det viser nivå på overenstemmelse mellom de forskjellige framskrivningene, dvs. i både retning og størrelse på forventede endringer. Denne variabiliteten i ensemblet og usikkerhetskilder som bidrar til den er presentert og diskutert i kapittel 4.

### 3.1 Middelflom

En variabel som ofte blir brukt for å beskrive flomforhold er den såkalte middelflommen. En middelflom defineres som gjennomsnittet av de høyeste døgnmiddelvannføring hvert år i en gitt periode, dvs. års-maksimalverdiene. Denne variabelen er også aktuell fordi års-maksimalverdiene er grunnlag for beregning av høyere gjentaksintervaller (fig. 2.4), f.eks. 200-års- og 1000-årsflom ved bruk av flomfrekvensanalyse. De beregnede endringene i middelflommen er vist i figur 3.1 og 3.2 for de to framtidsperiodene, 2031–2060 og 2071–2100. Endringene er i forhold til referanseperioden 1971–2000, og estimatene er vist for både RCP 4.5 og 8.5.

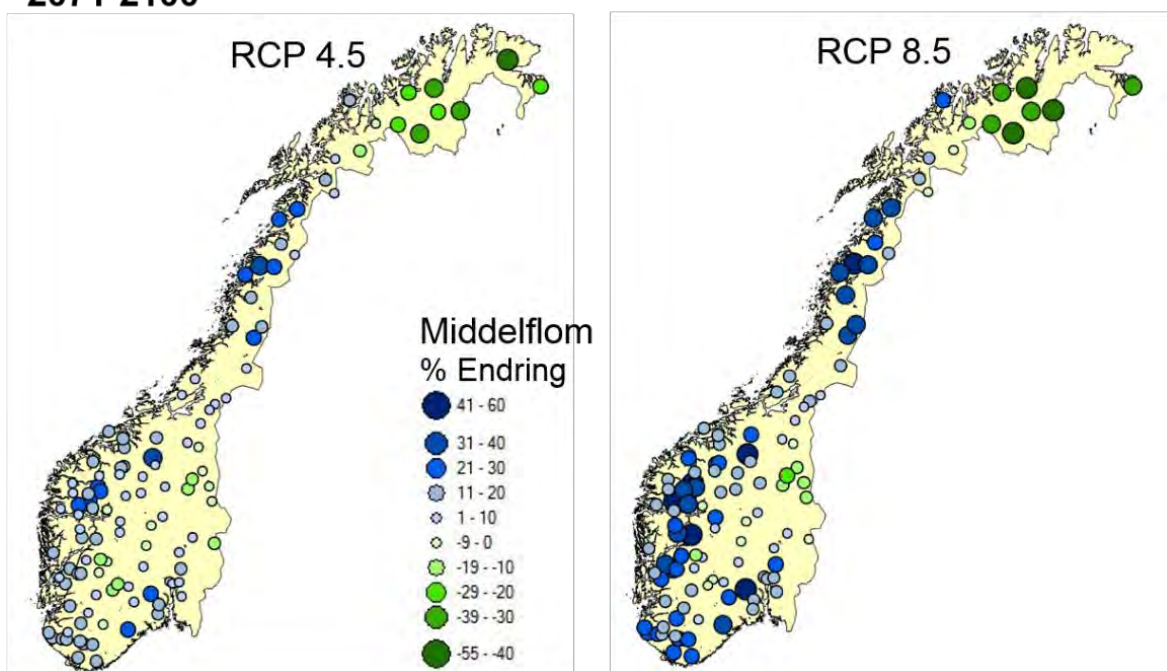


Figur 3.1 Prosentvis endring i middelflom mellom referanseperiode 1971–2000 og framtidsperiode 2031–2060. Estimatene er basert på medianen av et ensemble av 500 framskrivninger for hvert nedbørfelt. Grønt betyr en reduksjon i størrelsen på middelflommen i framtiden og blått indikerer en økning.

Resultatene for framtidsperiode 2031–2060 (fig. 3.1) tyder på en liten økning (dvs. mindre enn 20 %) eller ingen endring (dvs. mindre enn 10 %) i størrelsen på

middelflommen de fleste stedene i Norge. Unntakstilfeller finnes i Troms og Finnmark der flere nedbørfelt viser en betydelig reduksjon, dvs. større enn 20 %, noen få nedbørfelt i innlandet med en reduksjon mellom 10 og 20 %, og noen få nedbørfelt på Vestlandet og i Nordland med en økning på 20 til 30%. Resultatene for de to utslippsscenarioene, RCP 4.5 og 8.5, er veldig like, og det er fordi forskjellen i utslippet ikke er så stor i perioden 2031–2060 sammenlignet med slutten av århundret (fig. 2.2). Man kan likevel se flere nedbørfelt som har litt større endringer for RCP 8.5 enn for 4.5. For framtidspersiden 2071–2100 er endringene større og et regionalt mønstre er mer tydelig (fig. 3.2), særlig for det høyere utslippsscenarioet, RCP 8.5. Framskrivningene tilsier både større økning på Vestlandet, i Nordland og langs hele kysten (opp mot 40–60 % noen steder) or reduksjon på Finnmarksvidda og i Hedmark. Økninger på 20–30 % finnes også i noen høytliggende nedbørfelt på Østlandet, og på 10–20 % i Sør-Trøndelag for RCP 8.5.

## 2071-2100



Figur 3.2 Prosentvis endring i middelflom mellom referanseperiode 1971–2000 og framtidsperside 2071–2100. Estimaten er basert på medianen av et ensemble av 500 framskrivninger for hvert nedbørfelt. Grønt betyr en reduksjon i størrelsen på middelflommen i framtiden og blått indikerer en økning.

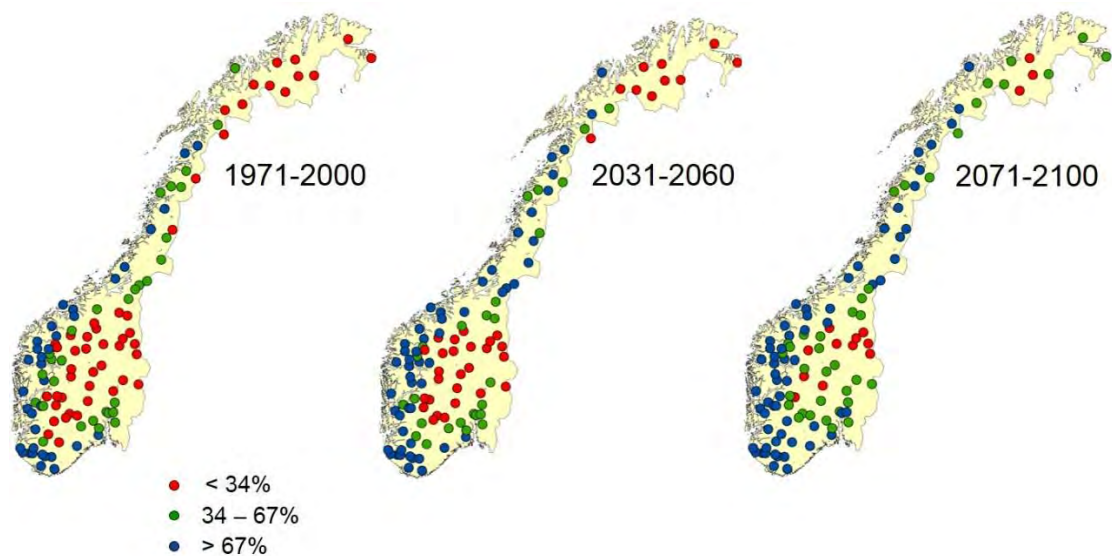
Forandringer i flomforhold i framtiden har flere årsaker, bl.a. endringer i sesongnedbør, i sekvens av dager med kraftig nedbør og i nedbørintensitet. Endringer i snømagasin og periode med snøsmelting har i tillegg en særlig betydning for sannsynligheten av sammenfall av høy vannføring og kraftig nedbør. Det regionale mønstret av økninger og reduksjoner vist i figurer 3.1 og 3.2 gjenspeiler i stor grad balansen mellom disse forskjellige faktorene. De store økningene på Vestlandet og i Nordland henger tett sammen med en økning i antall dager med kraftig nedbør og nedbørintensitet særlig om høsten og vinteren mot slutten av århundret (Hanssen-Bauer, m.fl., 2015). Samtidig vil reduksjonen i snømagasinet og en tidligere vårflom føre til en reduksjon av de største flommene i Finnmark og i noen store vassdrag på Østlandet til tross for økt

nedbørmengde og kraftigere nedbørhendelser i framtiden. Det finnes likevel mindre nedbørfelt i høyereliggende områder der økt nedbør om vinteren kan forårsake et økt snømagasin slik at høyere temperatur om våren og tidlig sommeren fører til en økt flomstørrelse. Derfor er det en ganske komplisert sammensetning av forskjellige prosesser i forandring som bidrar til store variasjoner, både lokale or regionale, i effekt av klimaendring på flomforhold.

### 3.2 Endringer i flomsesong

I tillegg til endringer i flomstørrelse er endringer i flomsesong også forventet som følge av klimaendring og dens betydning for flomgenererende prosesser. Sesongendring kan forekomme av to forskjellige grunner: 1) høyere temperatur om vinteren og våren og en tilsvarende reduksjon i snømagasinet som fører til en tidligere og mindre vårflom; og 2) økt nedbør om høsten og vinteren i områder som er dominert av vårflommer i dagens klima slik at regnflommer blir større enn snøsmelteflommer i framtiden. Slike endringer vil ikke nødvendigvis føre til en økt årlig flomstørrelse, men i noen tilfeller vil dette skje.

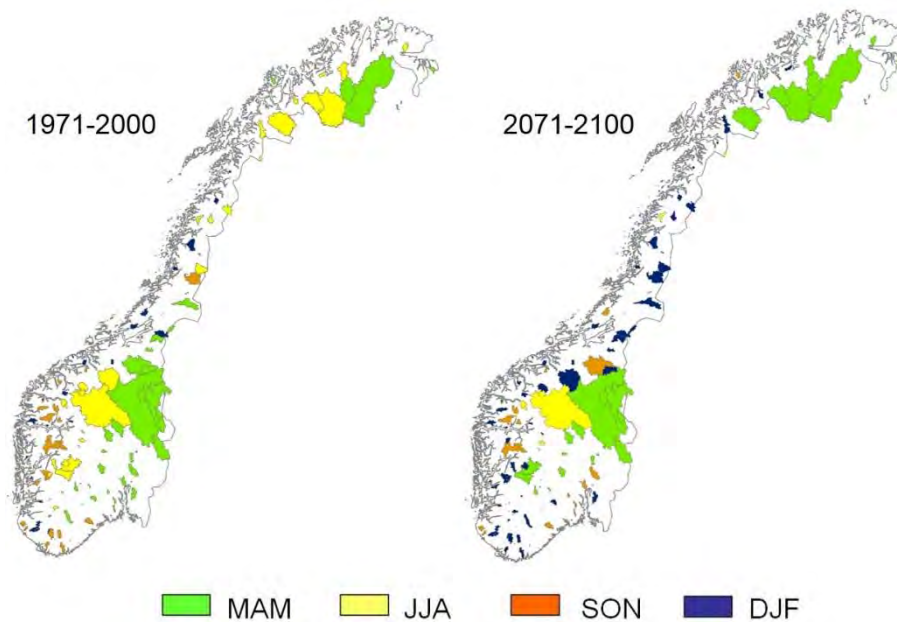
For å se på endring i flomsesong er sesongen for års-maksimalvannføring blitt analysert for både referanseperioden og de to framtidsperiodene (fig. 3.3). Analysen beregnet prosentandel av års-maksimalverdier som forekommer utenfor perioden mars-juli, som stort sett er perioden snøsmeltevann kunne ha en betydning for den årlige maksimalvannføringen. Selv om det er mye lokal variasjon i dette var det ønskelig for denne grove analysen å bare bruke én periode for hele landet. For de fire nedbørfeltene der > 25 % av feltareal er dekket av isbre, er perioden likevel satt til mars-august. Høy vannføring utenfor perioden mars-juli/august er antatt å skyldes hovedsakelig nedbør som kommer som regn, men raskt snøsmelting kan også bidra i tillegg i noen områder.



Figur 3.3 Prosentdelen av års-maksimalverdier som forekommer i perioden august-februar (september-februar for nedbørfelt der > 25 % areal er dekket av isbre).

Resultatene vist i figur 3.3 tyder på en betydelig utvidelse i framtiden av både områder som er dominert av høy vannføring om høsten og vinteren (blå prikker) og områder som har en blanding av vår- og høstflommer (grønne prikker). Mot slutten av århundret (dvs.

framtidspersiden 2071–2100) er det bare noen få nedbørfelt i innlandet i Sør-Norge og i Finnmark som fortsatt har mer enn to-tredjedeler av års-maksimalverdier som forekommer om våren og tidlig sommeren (røde).



Figur 3.4 Sesong for den høyeste simulerte vannføringen i 30-års perioden nevnt.

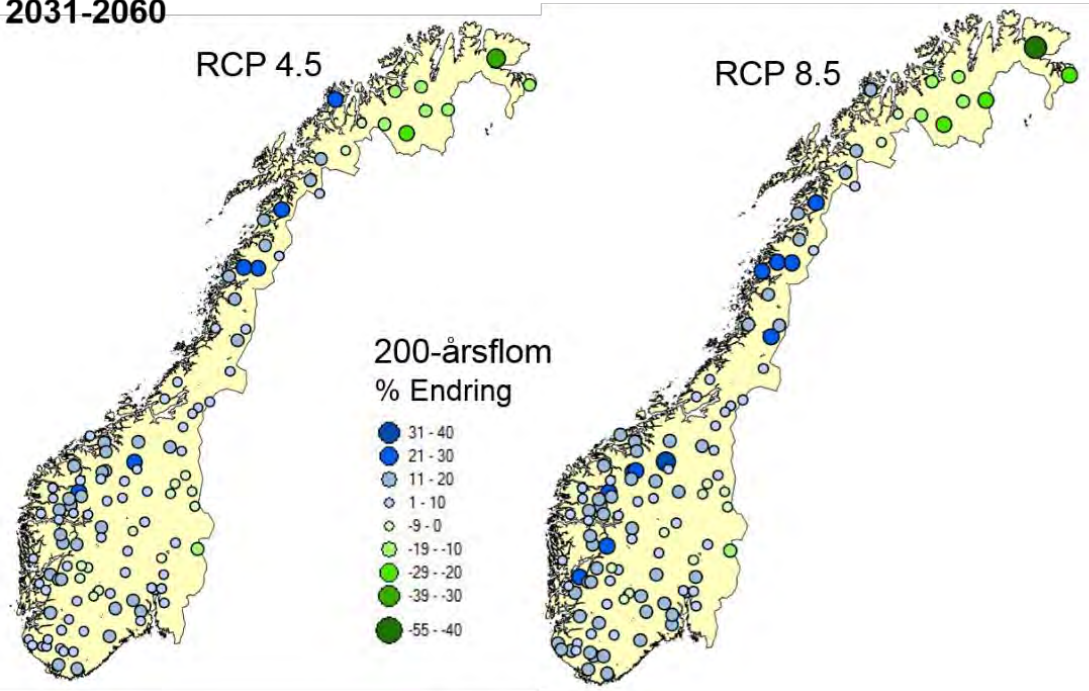
En enkel metode for å se på regional sesongendring med fokus på ekstremflom er å vurdere sesong av forekomst av den høyeste simulerte vannføringen i en hel 30-årsperiode. Dette er vist i figur 3.4 for referanseperioden 1971–2000 og framtidspersiden 2071–2100. (Sesonginndelinger er: MAM er vår, JJA er sommer, SON er høst og DJF er vinter.) En sammenligning av de to figurene viser en økning i antall nedbørfelt der den høyeste vannføringen i perioden forekommer i sesong MAM (vår) istedenfor JJA (sommer) i perioden 2071–2100. I tillegg er det flere nedbørfelt med den høyeste vannføringen på vinteren i framtiden, og i noen tilfeller er dette en endring fra en høyeste vannføring på våren i referanseperioden. Slike forskjeller tyder på en forandring i den dominerende prosessen som fører til ekstremflom (dvs. snøsmelting mot kraftig nedbør). Prosessene ikke er blitt analysert for denne figuren, men de er diskutert i kapittel 5.

### 3.3 200-årsflom

Resultatene presentert ovenfor er basert på års-maksimalverdier fra de simulerte tidsseriene for hvert nedbørfelt for hver periode. Det som er vist i figurene 3.1-3.4 er estimert direkte fra tidsseriene, dvs. uten bruk av en ekstremverdianalyse.

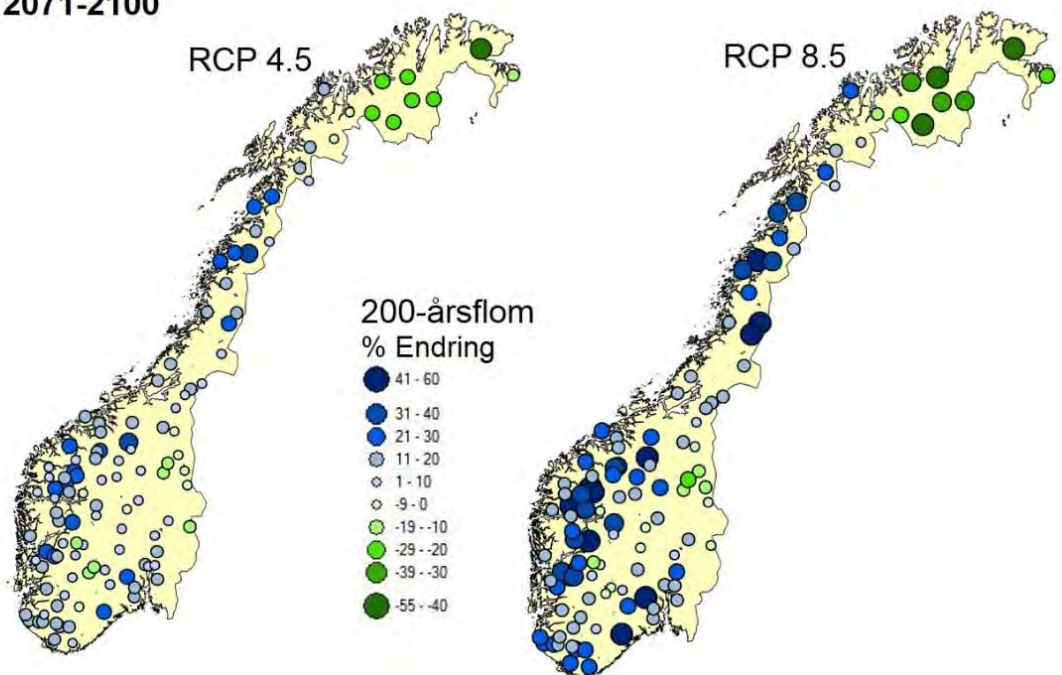
Arealplanlegging og damsikkerhet krever likevel estimerer på flom med lengre gjentaksintervaller, og dermed er det nødvendig å tilpasse en ekstremverdifordeling (se beskrivelse i underkapittel 2.5). For dette arbeidet har vi benyttet en to-parameter Gumbel-fordeling på grunn av den begrensede lengden på tidsseriene (dvs. 30 år) istedenfor en mer generell tre-parameter ekstremverdifordeling. Forandring i flomstørrelse på 200-års flom er beregnet som forskjellen mellom de teoretiske kurvene for høyere gjentaksintervaller (fig. 2.4). Dette er gjort for alle 500 framskrivningene for hvert

2031-2060



Figur 3.5 Prosentvis endring i 200-årsflom mellom referanseperioden 1971–2000 og nærframtidsperiode 2031–2060. Verdien som er vist er medianen av 500 framskrivninger for hvert nedbørfelt. Grønt betyr en reduksjon i størrelse på 200-årsflom og blått indikerer en økning.

2071-2100



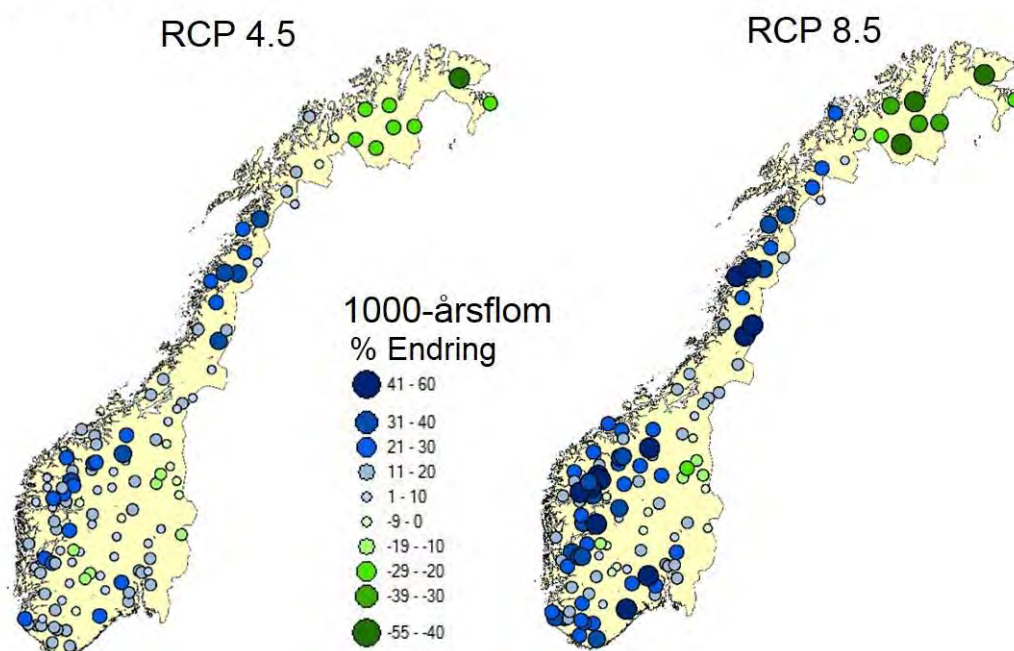
Figur 3.6 Prosentvis endring i 200-årsflom mellom referanseperioden 1971–2000 og framtidsperiode 2071–2100. Verdien som er vist er medianen av 500 framskrivninger for hvert nedbørfelt. Grønt betyr en reduksjon i størrelse på 200-årsflom og blått indikerer en økning.

nedbørfelt, og medianverdien av prosentvis endring i 200-årsflom er vist i figur 3.6 for periode 2031–2060 og 3.7 for periode 2071–2100. Generelt er resultatene ganske lik dem for middelflom (fig. 3.1 og 3.2), men de største endringene (både reduksjoner og økninger) er omtrent 2 til 5 prosentenheter større enn resultatene for middelflom. Resultatene tyder på betydelige økninger i flomstørrelse på Vestlandet, i Nordland, og langs kysten i sørøst Norge mot slutten av århundret, særlig for RCP 8.5. Små økninger mellom 10 og 20 % er også ventet i Sør-Trøndelag, og økninger opp mot 20–30% er ventet for noen få nedbørfelt i innlandet (Oppland). En reduksjon i størrelse på 200-årsflom finnes hovedsakelig på Finnmarksvidda og i Hedmark.

### 3.4 1000-årsflom

De tilpassede ekstremverdifordelingene er også blitt brukt for å estimere endring i 1000-årsflom på grunn av dens betydning for flomberegninger for damsikkerhet (fig.3.7). Det regionale mønstret av forandringer i flomstørrelse ligner veldig mye på resultatene for 200-årsflom (fig. 3.6). Dette skyldes delvis bruk av en to-parameter ekstremverdifordeling (fig. 2.4) slik at for høyere gjentaksintervaller er kurvene ganske parallelle. Man bør ikke se bort fra den store usikkerheten i denne ekstrapoleringen, og andre metoder bør også brukes for å undersøke mulige forandringer i flomprosesser ved høye gjentaksintervaller i et endret klima. Dette temaet er diskutert videre i det siste kapittelet av rapporten.

#### 2071-2100

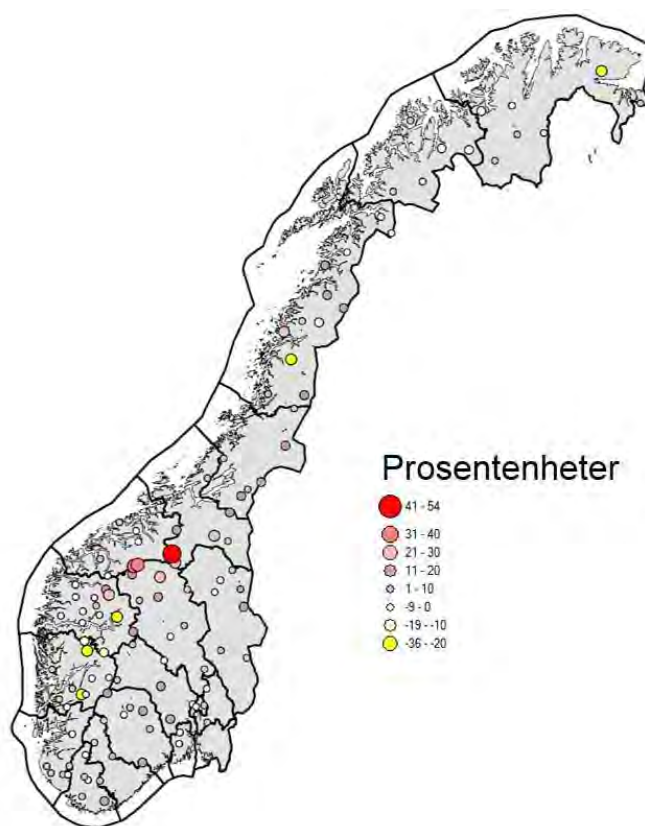


Figur 3.7 Prosentvis endring i 1000-årsflom mellom referanseperioden 1971–2000 og framtidsperiode 2071–2100. Verdien som er vist er medianen av 500 framskrivninger for hvert nedbørfelt. Grønt betyr en reduksjon i størrelse på 200-årsflom og blått indikerer en økning.



### 3.5 Sammenligning med 2011 framskrivninger

Det finnes tidligere framskrivninger for forventede endringer i 200-årsflom i Norge (Lawrence og Hisdal, 2011), og derfor er det av interesse å sammenligne de nye resultatene med resultatene beregnet med grunnlag i en tidligere generasjon av klimamodeller. Forskjell mellom prosentvis endringer som vises på fig. 3.6 (for RCP 8.5) i denne rapporten og på fig. 5.7 i den 2011 rapporten er vist nedenfor i fig. 3.8. Her er det forskjell i prosentenheter som er vist, for eksempel om prosentvis endring beregnet i denne rapporten er 25 prosent for et gitt nedbørfelt og i 2011-rapporten var det 34 prosent, er forskjellen da -9 prosentenheter. Denne sammenligningen viser at for de fleste nedbørfeltene er forskjellen mellom de gamle og de nye framskrivningene mindre enn  $\pm 10$  prosentenheter. Avvik fra dette viser en regional sammenheng idet de største positive forskjellene (dvs. der dagens estimer er høyere enn de som ble beregnet i 2011) finnes på begge sider av vannskillet ved fylkesgrensene mellom Sogn og Fjordane, Oppland, Møre og Romsdal og Sør-Trøndelag. Her er det flere nedbørfelt der økning er minst 21 prosentenheter høyere enn før (dvs. røde og lysrøde prikker). Det er også noen nedbørfelt i sørøst-Norge, i Trøndelag og i Nordland der estimatene er mellom 11 og 20 prosentenheter høyere enn i 2011. Det finnes også noen få nedbørfelt der de nye klimaframskrivningene gir betydelig lavere estimer enn før (dvs. gule prikker).



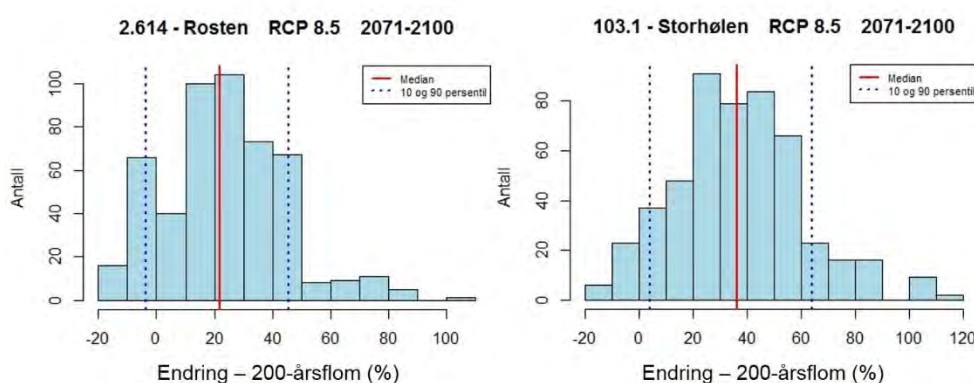
Figur 3.8 Forskjell mellom prosentvis endring i 200-årsflom beregnet i denne rapporten (fig. 3.6 for RCP 8.5) og som er beregnet tidligere (dvs. Lawrence og Hisdal, 2011). Forskjellen er vist som prosentenheter slik at hvis prosentvis endring beregnet i denne rapporten er 25 prosent og i 2011 rapporten 34 prosent er forskjellen -9 prosentenheter.

## 4 Usikkerhet i ensemble-framskrivninger

Bruk av en ensemblemetode gir mulighet for å vurdere hele fordeling av resultater for et nedbørfelt, og dermed får man en antydning på variabilitet blant framskrivningene som er tatt med i ensemblet. Figurene i kapittel 3 som viser forventede endringer i flomstørrelse er basert på medianverdien av alle framskrivningene for et gitt nedbørfelt. Medianen er brukt her som den mest representative verdien fra ensemblet om man ønsker bare ett tall. Likevel er det av interesse å også se på andre kvantiler av fordelingen, fordi de beskriver mer ekstreme tilfeller og framhever nivå på overenstemmelse mellom framskrivningene med hensyn til både størrelse på og retning av forventede endringer.

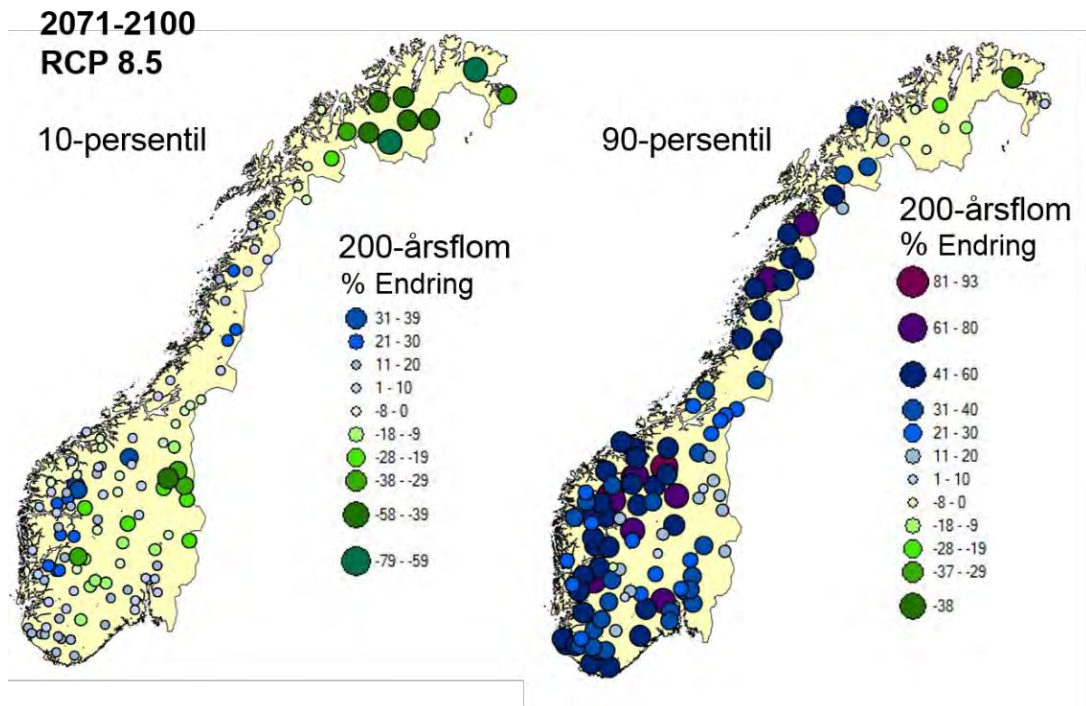
### 4.1 Spredning rundt medianen

To eksempler på fordelingen av de 500 framskrivningene for prosentvis endring i 200-årsflom mot slutten av århundret (for RCP 8.5) vises i figur 4.1 for to utvalgte nedbørfelt. I begge tilfeller rekker fordelingen av resultater fra  $< -10\%$  til  $> 100\%$  prosentvis endring, dvs. spredningen er veldig stor blant framskrivningene om man tar hensyn til hele fordelingen av resultater. I tillegg er fordelingen ikke symmetrisk i forhold til medianen, dvs. spredningen av verdier høyere enn medianen er større enn blant verdier som er mindre. Resultatene som vises i figur 4.1 er typisk også for de andre 113 nedbørfeltene brukt i simuleringene.



Figur 4.1 Fordeling av de 500 framskrivningene for prosentvis endring i 200-årsflom i perioden 2071–2100 (for RCP 8.5) for to nedbørfelt (Lågen ved Rosten i Oppland og Ulvåa, sideelva til Rauma, ved Storhølen i Møre og Romsdal). Den røde linjen viser medianen og de blå prikkede linjene viser 10- og 90-persentilene av fordelingen.

10- og 90-persentilene av ensemblefordelingen for prosentvis endring i 200-årsflom er vist for alle nedbørfeltene i fig. 4.2. 10-persentilen er verdien slik at 90 prosent av alle framskrivningene gir en høyere verdi (dvs. en mindre reduksjon eller en større økning) enn verdien som er vist på kartet, og 90-persentilen er verdien slik at bare 10 prosent gir en høyere verdi. Dermed ligger 80 prosent av framskrivningene mellom de lave (10-persentil) og de høye (90-persentil) verdiene (se også fig. 4.2).



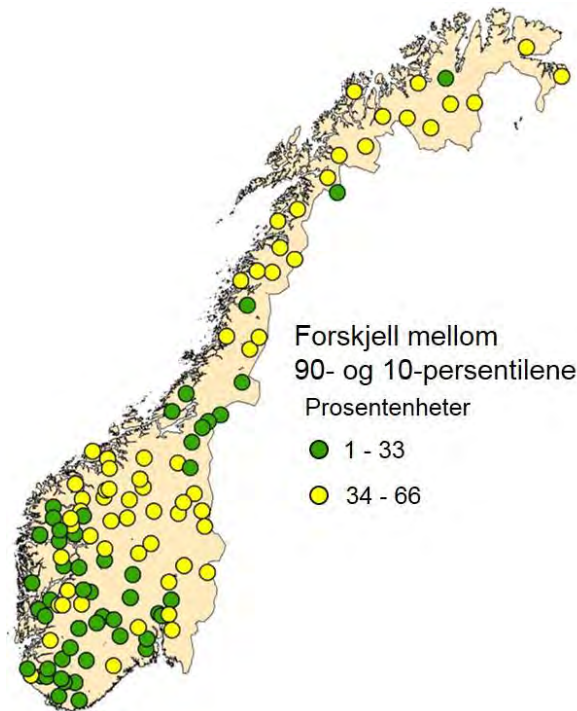
Figur 4.2 Prosentvis endring i 200-årsflom mellom referanseperioden 1971–2000 og framtidsperiode 2071–2100 for RCP 8.5 basert på den 10-persentilen (venstre) og den 90-persentilen (høyre). Grønt betyr en reduksjon i størrelse på 200-årsflom og blått/rødt indikerer en økning.

Litt over halvparten av de 10-persentilverdiene gir en prosentvis endring mellom -8 og +20 %, men det finnes også flere steder med en reduksjon opp mot 30 til 79 % i innlandet og særlig på Finnmarksvidda. Noen nedbørfelt på Vestlandet og i Nordland viser en økning mellom 21 og 39 % på 10-persentilen, dvs. 90 % av framskrivningene tyder på en større økning i flomstørrelse enn dette for disse nedbørfeltene. I motsetning til dette, viser 90-persentilverdiene store økninger i flomstørrelse over hele landet, med unntak av Finnmark der verdiene fortsatt tyder på en reduksjon og i Hedmark der verdiene gir en økning mellom 1 og 20 %. Over halvparten av 90-persentilverdiene gir en økning høyere enn 30 %, og på Vestlandet og i Nordland er det mange nedbørfelt med økninger > 60 %. Om vi vurderer de to bildene i fig. 4.2 sammen, kan vi si at det er god overenstemmelse mellom framskrivningene med hensyn til retning på endring i flomstørrelse (dvs. økning mot reduksjon) de alle fleste stedene i Norge. I tillegg viser figuren at det er Vestlandet og Nordland som er utsatt for de største økningene, dvs. at det regionale mønstret av endringer i 200-årsflom som er vist i figur 3.7 basert på ensemblemedianen er ganske robust.

## 4.2 Forskjell mellom 10- og 90-persentilene

Spredningen rundt medianverdien er vist i figur 4.3, der spredningen er beregnet som forskjell mellom 90- og 10-persentilene av ensemblet (dvs. verdiene som er vist for hvert nedbørfelt i figur 4.2). Forskjellen er gitt som prosentenheter slik at, for eksempel, hvis 90-persentilen (fig. 4.2, høyre side) er 46 % og 10-persentilen (fig. 4.2, venstre side) er 10 % er forskjellen da 36 prosentenheter. Spredning i ensemblet (fig. 4.3) viser et tydelig regionalt mønstre, og generelt er det ganske god overensstemmelse blant

framskrivningene i den sørlige halvdel av Sør-Norge og i Sør-Trøndelag. Her er forskjellen mellom 90- og 10-persentilene mindre enn 34 prosentenheter de fleste stedene. Andre steder er forskjellen mellom 34 og 65 prosentenheter.



Figur 4.3 Forskjell mellom 90- og 10-persentilene i ensemblet av 500 hydrologiske framskrivninger for hvert nedbørfelt for RCP 8.5 for 200-årsflom i perioden 2071-2100. Forskjellen er gitt som prosentenheter (se tekst i underkapittel 4.2 for videre detaljer).

### 4.3 Usikkerhet i hydrologiske framskrivninger

Hanssen-Bauer m.fl. (2015) nevner tre typer usikkerhet knyttet til klimaframskrivninger: 1) usikkerhet knyttet til framtidige utslipp (dvs. er det f.eks. RCP 4.5 eller RCP 8.5 eller et annet utslippsscenario som gjelder?); 2) usikkerhet knyttet til naturlige variasjoner, både internt til klimasystemet og eksterne pådrag som variasjoner i solinnstråling og vulkanaktivitet; og 3) modellusikkerhet. Spredningen som er vist i figur 4.1–4.3 representerer modellusikkerhet idet de 500 hydrologiske framskrivningene som danner ensemblet for hvert nedbørfelt kommer fra ulike kombinasjoner av klimamodeller (underkapittel 2.2 og tabell 2.1), bias justeringsmetoder (underkapittel 2.3) og parameterisering av den hydrologiske modellen (underkapittel 2.4). Vi har bare brukt en type hydrologisk modell (dvs. HBV), og dermed har vi ikke vurdert usikkerhet som skyldes hydrologisk modellstruktur, men bare usikkerhet som skyldes parameterisering av den HBV modellen. I tillegg er det usikkerhet som kommer fra tilpasning av flomfrekvenskurven (underkapittel 2.5) og fra valget av ekstremverdifordelingen som tilpasses. Disse faktorene er ikke tatt med i ensemblet som er brukt i denne rapporten, men andre analyser (Lawrence, 2016) antyder at i mange tilfeller er dette av betydning. Valget av en to-parameterfordeling for flomfrekvensanalysen er, for eksempel, blitt gjort på grunn av den korte lengden på tidsserien for hver periode (dvs. 30 år), men dette valget gjør det også umulig å se på endringer i de høyeste gjentakintervallene (f.eks. 1000-årsflom) på en helt pålitelig måte.

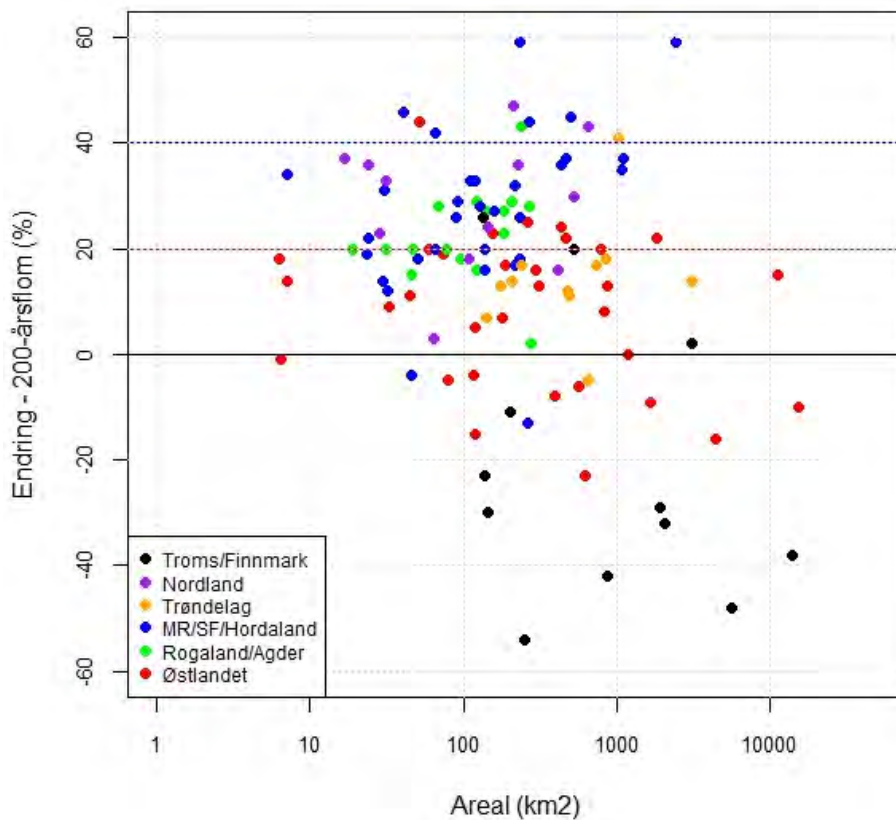
# 5 Nedbørfeltegenskaper og lokale variasjoner

Resultatene for prosentvis endring i 200-årsflom (fig 3.6) viser tydelig regionale forskjeller som gjenspeiler betydningen av snøsmelting versus regn som hovedkilde for høy vannføring, dvs. den såkalte 'flomgenererende prosessen', i tillegg til regionale variasjoner i sesongendringer i temperatur og nedbør i et framtidig klima. De viser også en del variasjon mellom nedbørfelt i hver region som skyldes bl.a. lokale nedbørfeltetegenskaper. Enkelte vassdrag i en gitt region vil ha forskjellige følsomheter til klimaendring avhengig av egenskaper og beliggenhet av nedbørfeltet oppstrøms av elven. Høydefordeling i nedbørfeltet og særlig høyden på de øvre delene har en viktig innvirkning på både størrelse på og årstiden for høy vannføring som forårsakes av snøsmelting. Sesongtemperatur varierer også med avstand til kysten innenfor en gitt region, og dette vil ha betydning for balansen mellom snøsmelte- versus regnflommer og for hvordan klimaendring påvirker dette. På lignende måte har nedbørfeltareal stor betydning for følsomhet til flom som forårsakes av ekstremnedbør, slik at vi forventer at mindre nedbørfelt er mer utsatt for flom som følge av økning i forekomst av ekstrem korttidsnedbør i framtiden.

Flere nedbørfeltetegenskaper som bidrar til variasjoner i respons til klimaendring er vurdert i dette kapittelet med bruk av seks regioner: 1) Finnmark og Troms; 2) Nordland; 3) Trøndelag; 4) Møre og Romsdal, Sogn og Fjordane, og Hordaland (MR/SF/Hordaland); 5) Rogaland og Agder; og 6) Østlandet. Nedbørfeltetegenskapene omfatter areal, bratthet, middelhøyde, avstand til kysten, og flomgenererende prosess. Variablene er analysert for den forventede endringen i 200-årsflom i perioden 2071–2100.

## 5.1 Nedbørfeltareal

Prosentvis endring i 200-årsflom som en funksjon av nedbørfeltareal er vist i figur 5.1 med forskjellige farger for de seks regionene. Figuren viser at de fleste nedbørfeltene med areal  $< 100 \text{ km}^2$  får økt flomstørrelse i framtiden (dvs. at endringen er større enn 0 %) og at økningen er minst 10 %. Dette gjenspeiler delvis en såkalt 'seleksjonsskjevhet' i det to regioner, som hovedsakelig har en reduksjon eller en liten økning i flomstørrelse (Troms/Finnmark og Trøndelag), ikke er representert blant nedbørfeltene med areal  $< 100 \text{ km}^2$ . I tillegg bør det nevnes at simuleringsmetoden som danner grunnlag for denne rapporten er basert på nedbørdata med tidsoppløsning på ett døgn. Dermed vil ikke simuleringene nødvendigvis fange opp økningen i korttidsnedbør og innvirkningen dette har på små nedbørfelt som reagerer raskt. Likevel viser figuren at Østlandet, som har både små og store nedbørfelt en god fordeling av nedbørfeltstørrelse representert i simuleringene, har en svak tendens til en avtagende prosentvis endring med økt nedbørfeltareal. Figuren framhever også at de fleste nedbørfeltene med store økninger, dvs. mer enn 30 %, i 200-årsflom ligger på Vestlandet og i Nordland.



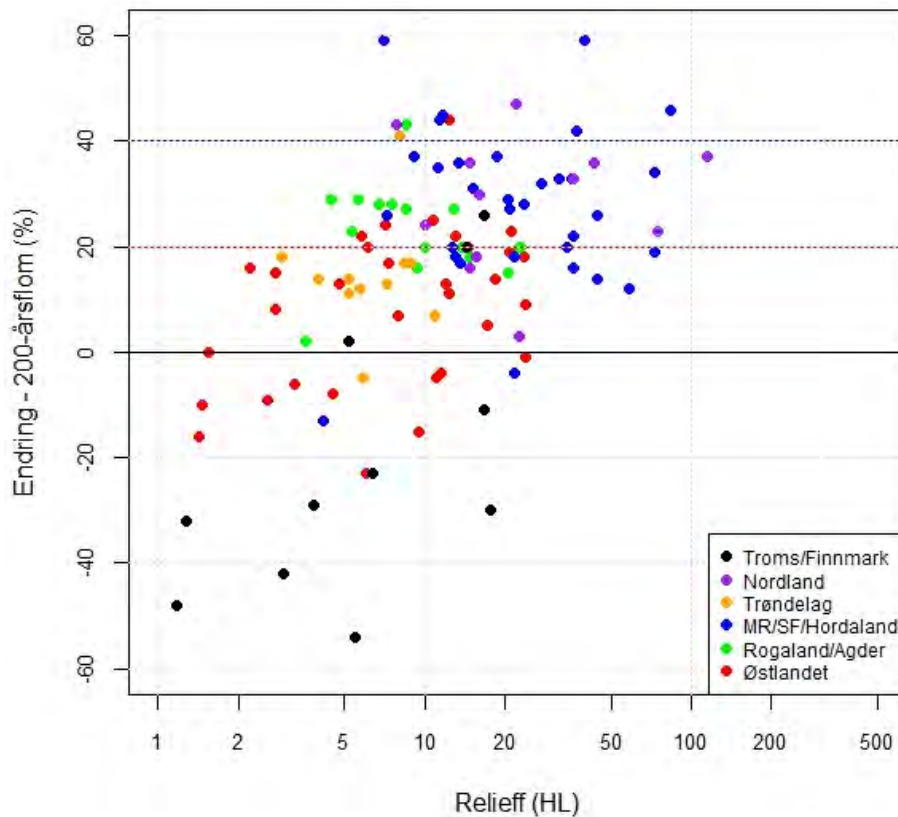
Figur 5.1 Prosentvis endring i 200-årsflom som en funksjon av nedbørfeltareal for hvert nedbørfelt. Fargene viser forskjellige regioner.

## 5.2 Bratthet

For å vurdere betydning av bratthet i et nedbørfelt for endring i flomstørrelse, har vi brukt variabelen  $H_L$ , som også benyttes i forbindelse med flomberegninger for damsikkerhet (Midttømme, m.fl., 2011). Dette defineres som

$$H_L = (H_{75} - H_{25})/L_F$$

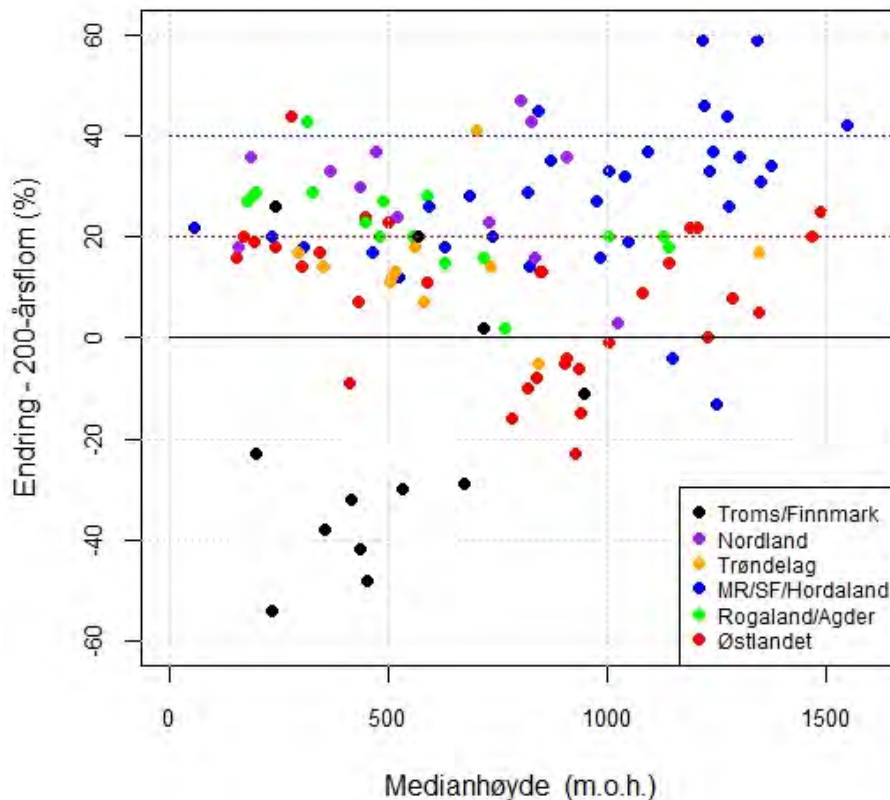
der  $H_{75} - H_{25}$  er høydeforskjell [m] mellom 25- og 75-persentilen på den hypsografiske kurven til nedbørfeltet.  $L_F$  er feltaksens lengde [km] og måles som en rett linje fra utløpet til det fjerneste punktet på vannskillet. Prosentvis endring i 200-årsflom mot variabelen  $H_L$  er vist i figur 5.2 for de forskjellige regionene. Om alle resultatene betraktes som en helhet, er det en klar tendens for større økninger i bratte elver. Denne tendensen kan også skyldes seleksjonsskjevhet, fordi alle nedbørfeltene med de høyeste  $H_L$ -verdiene ligger på Vestlandet og i Nordland og nedbørfeltene med de lave  $H_L$ -verdiene ligger i Finnmark og på Østlandet. Likevel er det tre regioner, Troms/Finnmark, Østlandet og MR/SF/Hordaland som hver for seg viser en svak tendens til større økninger i flomstørrelse med høyere verdier av relieff-forhold, dvs.  $H_L$ -verdier.



Figur 5.2 Prosentvis endring i 200-årsflom som en funksjon av relieff-forhold  $H_L$  for hvert nedbørfelt. Fargene viser forskjellige regioner. Fargene viser forskjellige regioner.

### 5.3 Medianhøyde

Prosentvis endring i 200-årsflom som en funksjon av medianhøyden på nedbørfelt er vist i figur 5.3. Om alle punktene vurderes som en helhet, er det ingen tydelig avhengighet av endringen i 200-årsflommen på nedbørfeltets medianhøyde. Likevel om man bare ser på nedbørfelt med medianhøyde mindre enn ca. 700 m.o.h., viser resultatene (med unntak av Troms/Finmark og ett nedbørfelt på Østlandet) en avtagende prosentvis endring med høyere medianhøyde, uavhengig av region. I tillegg har alle disse nedbørfeltene en prosentvis endring som er større enn 0 %. Fem av de seks regionene er representert i denne gruppen av lavtliggende nedbørfelt slik at dette ikke nødvendigvis er en konsekvens av en seleksjonsskjevhet med hensyn til regionene som er representert.

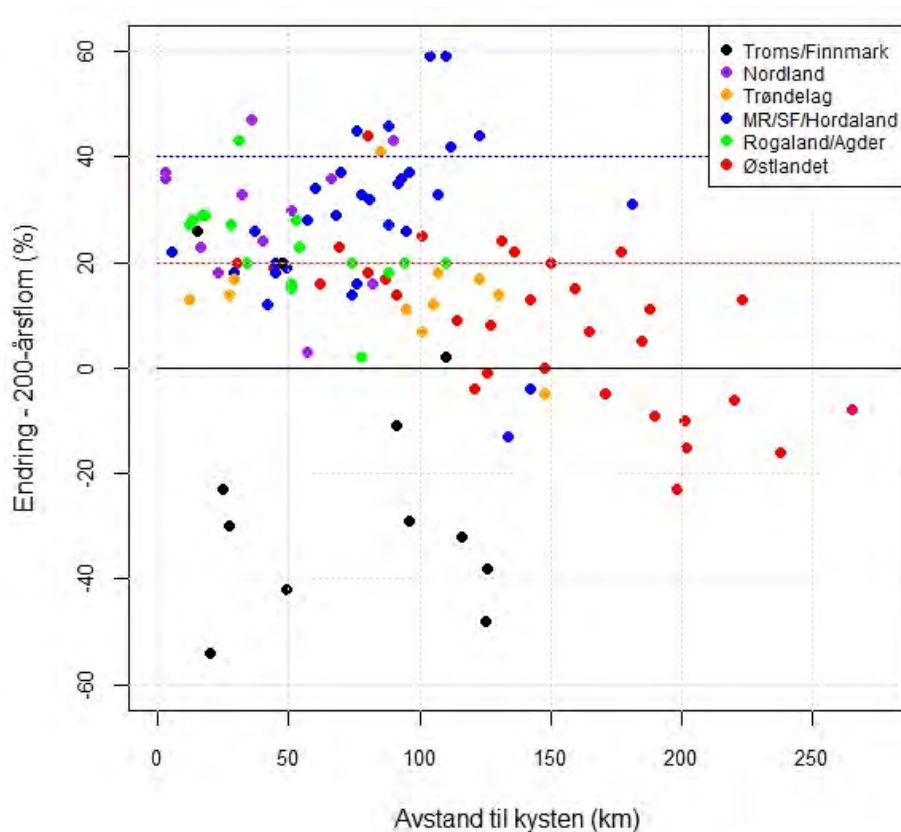


Figur 5.3 Prosentvis endring i 200-årsflom som en funksjon av medianhøyde for hvert nedbørfelt. Fargene viser forskjellige regioner.

## 5.4 Avstand til kysten

Prosentvis endring i 200-års flom mot avstand til kysten er vist i figur 5.4, der avstanden er beregnet som en rett linje fra midtpunktet på nedbørfeltet til en regionalt utjevnet kystlinje. Om man ser bort fra punktene for Troms/Finmark (i likhet med de andre variablene vurdert ovenfor), kan man se en svak reduksjon i prosentvis endring med økt avstand til kystlinjen. Trenden er tydeligere for regionene Østlandet og Rogaland/Agder enn for de andre regionene. Det bør også nevnes at de største avstandene til kysten (mer enn 180 km) kun finnes på Østlandet, og uten disse punktene er trenden for de samlede punktene mindre synlig.





Figur 5.4 Prosentvis endring i 200-årsflom som en funksjon av avstand til kysten for hvert nedbørfelt. Fargene viser forskjellige regioner.

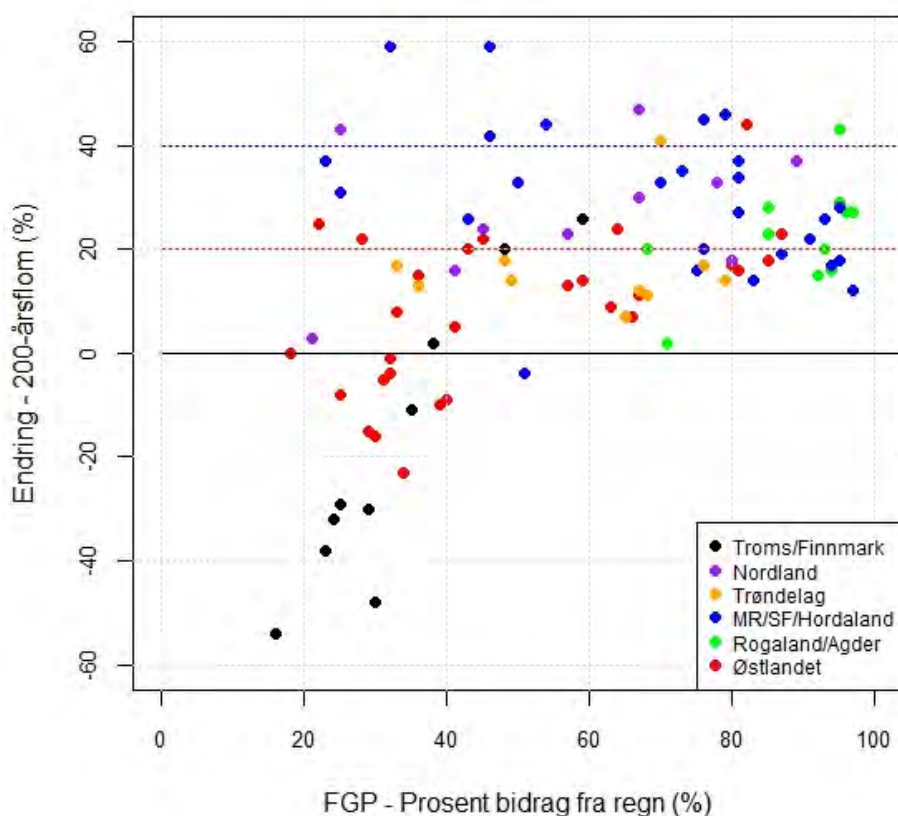
## 5.5 Flomgenererende prosess

Alle variablene som er illustrert i 5.1 – 5.4 ovenfor er nedbørfeltetegnenskaper som lett kan estimeres direkte fra terrengdata med bruk av for eksempel GIS-programvare ('Geographic Information System') i forbindelse med en DTM ('Digital Terrain Model'). De representerer derfor mulige variabler for bruk i en regionalisering av resultatene fra de 115 nedbørfeltene som er med i simuleringene til for eksempel umålte nedbørfelt. Likevel er det også av interesse å se på variabler som har en mer entydig sammenheng med flomforhold og hvordan flomforhold kan endre seg i framtiden. Et eksempel på dette er den såkalte 'flomgenererende prosess' (FGP) som nylig er blitt brukt for å vurdere årsaken til trender i flom i dagens klima (Vormoor, m.fl., 2016) og sesongendringer i flom i framtiden (Vormoor, m.fl., 2015) i norske nedbørfelt. Dette er ganske enkelt en kvantifisering av i hvilken grad flomvannføring er forårsaket snøsmelting eller nedbør. På grunn av at snøsmelteflommer hovedsakelig forekommer om våren og tidlig sommeren og regnflommer om høsten og vinteren, vil FGP har en sterk korrelasjon med flomsesong, som vanligvis brukes for å skille mellom flomtyper (f.eks. Midttømme, m.fl., 2011).

For denne analysen er FGP beregnet fra den årlige maksimalverdi-serien for hvert nedbørfelt for dagens klima, og bidrag fra regn er estimert som prosentandel av flomvolum (dvs. summen av avrenning over varighet av vannføring over en viss nivå terskel) for hver hendelse (se Vormoor, m.fl., 2015 og 2016 for videre detaljer).

Gjennomsnittverdien er da beregnet fra alle hendelsene i den årlige maksimalverdi-serien, slik at FGP er det gjennomsnittlige bidraget fra regn til den årlige maksimalvannføringen i dagens klima.

Prosentvis endring i 200-årsflom som en funksjon av FGP er vist i figur 5.5. Figuren viser at alle nedbørfelt, med unntak av ett, som har et gjennomsnittlig bidrag på mer enn 40 % fra regn til den årlige maksimalvannføringen får en økt flomstørrelse i framtiden. Nedbørfelt med > ca. 70 % bidrag fra regn får minst 13 % økning i flomstørrelse. Litt overraskende er det bare på Østlandet og i Troms/Finnmark at noen nedbørfelt med et bidrag fra regn på mer enn 40 % får en reduksjon i størrelsen på 200-årsflom i framtiden. Det er flere nedbørfelt på Østlandet og i andre regioner som viser en økning også i nedbørfeltene som er dominert av snøsmelting i dagens klima. Dette er fordi FGP er beregnet med grunnlag i dagens klima, og det er flere nedbørfelt over hele landet som er utsatt for en endring i flomsesongen, dvs. den flomgenererende prosessen, mot slutten av århundret (figur 3.3). Denne endringen i flomprosessen i framtiden er ikke tatt med i analysen for figur 5.5, men resultatene for seks nedbørfelt der endringer i flomprosesser er også beregnet for framtiden finnes i Vormoor, m.fl. (2015).



Figur 5.5 Prosentvis endring i 200-årsflom som en funksjon av FGP beregnet som det gjennomsnittlige prosentvise bidraget fra regn til årlig maksimalvannføring. Fargene viser forskjellige regioner.

## 5.6 Foreløpig analyse på regionalisering av resultatene

Figurene 5.1 – 5.5 viser avhengighet mellom prosentvis endring i 200-årsflom og forskjellige variabler som beskriver nedbørfeltetegenskaper (nedbørfeltareal ( $A$ ), bratthet (relieff-forhold  $H_L$ ), medianhøyde ( $H_{50}$ ), avstand fra kysten ( $Avst$ )) og flomgenererende prosess ( $FGP$ ), for de seks regionene. Flere av disse variablene påvirker nedbørfeltets følsomhet til klimaendring, men det er ikke en én-til-én sammenheng mellom bare én variabel og prosentvis endring i flomstørrelse. For å se nærmere på dette, er det blitt kjørt en såkalt ‘stegvis’ regresjonsanalyse der alle mulige kombinasjoner av variablene er sammenlignet for å finne den kombinasjonen som best forklarer variasjon i prosentvis endring blant nedbørfeltene. I tillegg er en slik analyse nyttig for å utforske muligheten for en regionalisering av resultatene med grunnlag i nedbørfeltetegenskapene. De fem variablene nevnt ovenfor ble derfor vurdert som forklarende variabler for prosentvis endring i 200-årsflom (mellom referanseperioden 1971–2000 og framtidsperioden 2071–2100). I tillegg var det ønskelig å ta hensyn til forskjeller i klimasignalet mellom regionene, og til dette var den gjennomsnittlige endringen i 200-årsflom for alle nedbørfelt i en gitt region brukt som en forklarende variabel ( $Reg$ ). Tallene for dette er vist i tabell 5.1.

Tabell 5.1 Prosentvis endring i 200-årsflom mellom 1971–2000 og 2071–2100 som gjennomsnitt av alle nedbørfeltene i den nevnte regionen

Region	Troms/Finnmark	Nordland	Trøndelag	MR/SF/Hordaland	Rogaland/Agder	Østlandet
Endring	<b>-21.6</b>	<b>28.8</b>	<b>14.5</b>	<b>28.0</b>	<b>22.8</b>	<b>8.38</b>

Analysen ble gjennomført med bruk av ‘LEAPS’ pakken i det statistiske programmeringsspråket R, og ‘Akaike Information Criterion’ (AIC) ble benyttet for å sammenligne alle kombinasjoner av variablene som mulige statistisk modeller. AIC kan brukes til å velge en modell basert på hvor mye informasjon som går tapt når en variabel ikke er tatt med som en forklarende variabel, men samtidig favoriseres mulige modeller med få parametere framfor modeller med mange parametere. Dersom FGP inkluderes i forklaringsvariablene gir den ‘beste’ modellen, ifølge AIC-kriteriet, en justert  $R^2$  verdi på 0.58. Den består av

$$\text{Median endring i 200-årsflom} = -17.54 + 0.6178 (Reg)^{***} + 0.2783 (FGP)^{**} + 0.1812 (H_{50})^{***} - 0.07193 (Avst)^{*} \quad (5.1)$$

Antall stjerner angir signifikansnivået til regresjonskoeffisientene: \*\*\* (<0.001), \*\*(<0.01), og \* (<0.05). Variablene som ikke er valgt ut som forklarende variabler er nedbørfeltareal og relieff-forhold.

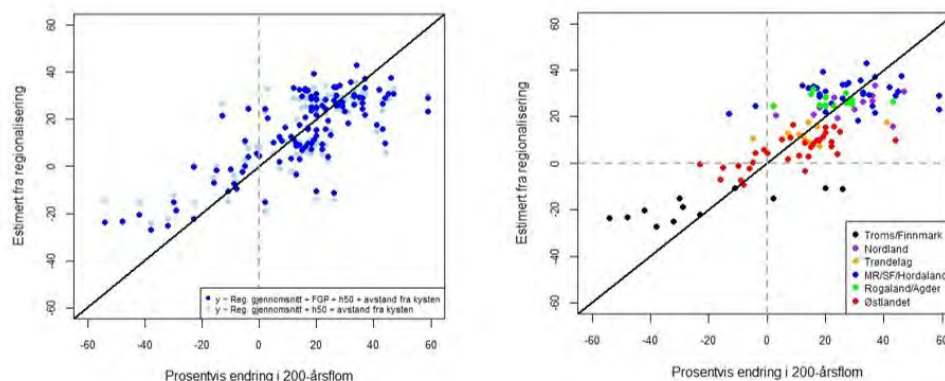
På grunn av korrelasjon mellom FGP og andre nedbørfeltetegenskaper og fordi FGP ikke kan beregnes direkte fra et kartografisk grunnlag, er det også ønskelig å finne den beste modellen uten bruk av FGP som en forklarende variabel. Da blir den beste modellen

$$\text{Median endring i 200-årsflom} = 3.922 + 0.8690 (\text{Reg})^{***} - 0.09885 (\text{Avst})^{**} + 0.0094 (H_{50})^* \quad (5.2)$$

med en justert  $R^2$  verdi på 0.54. Dette betyr at nedbørfeltegenskaper vurdert i 5.1–5.5 sammen med et regionalt estimat på prosentvis endring kan forklare mellom 54 og 58 % av variasjonen i estimater for prosentvis endring i 200-årsflom. Estimater på 200-årsflom basert på disse to statistiske modellene (dvs. ligningene 5.1 og 5.2) er vist i figur 5.6, der de to modellene er sammenlignet på venstre side og på høyre side er resultatene for modellen med FGP (ligning 5.1) vist for hver region. Den svarte linjen i figur 5.6 viser én-til-én-enighet mellom prosentvis endring i 200-årsflom beregnet fra klimaframskrivningene (x-aksen) og fra nedbørfeltegenskaper (y-aksen). Figuren viser at bruk av FGP gir en liten forbedring framfor ligningen uten FGP (ligning 5.2), men at dette hovedsakelig gjelder nedbørfelt i Troms/Finnmark regionen (svarte prikker). De er to grunner til dette:

- 1) For denne regionen er det slått sammen både nedbørfelt med store reduksjoner på Finnmarksvidda og med økning langs kysten av Troms. Dermed er den regionale gjennomsnittlige endringen uegnet som en forklarende variabel for hele regionen.
- 2) Det er generelt liten sammenheng mellom prosentvis endring i 200-årsflom og de andre nedbørfeltegenskapene (se figur 5.1–5.4) i Troms/Finnmark-regionen.

Figur 5.6 viser også at modellen basert på nedbørfeltegenskaper fungerer best for Østlandet (røde prikker), Trøndelag (gule prikker) og Nordland (fiolette prikker), men det er mindre sammenheng mellom prosentvis endring og nedbørfeltegenskaper på Vestlandet og i Agder (blå og grønn). Dette stemmer også med figur 5.1–5.4.



Figur 5.6 Sammenligning av estimater for prosentvis endring i 200-årsflom basert på nedbørfeltegenskaper (y-aksen) med prosentvis endringen beregnet fra klimaframskrivningene. Figuren på venstre side sammenligner to mulige statistiske modeller (se tekst), og på høyre side er resultatene for ligning 5.1 vist for hver region.

Resultatene antyder at den statistiske modellen vist i figur 5.6 (høyre side) kunne forbedres dersom modeller en modell var utviklet for hver region, i stedet for å slå alle sammen. På den annen side er det for få tilfeller (dvs. tilgjengelige nedbørfelt som kan brukes for modellering) for hver region for å bygge en robust statistisk modell. I tillegg bør man vurdere bruk av regioner som egner seg bedre med hensyn til nedbørfeltegenskaper og flomtyper enn de politiske enhetene som nå ligger til grunn for

de seks regionene. Dette bør utforskes i videre arbeid. Imidlertid er et enkelt alternativ for en mulig forbedring å dele nedbørfeltene i to grupper, avhengig av flomsesongen i dagens klima (dvs. 1971–2000), og å utvikle en statistisk modell for hver gruppe. Dette ble gjort for de 115 nedbørfeltene med bruk av to enkle sesonger: 1) Vår og sommer, dvs. MAM og JJA; og 2) høst og vinter, dvs. SON og DJF. Den statistiske modellen for gruppe 1), dvs. flomsesong i vår og sommer i dagens klima, tar formen

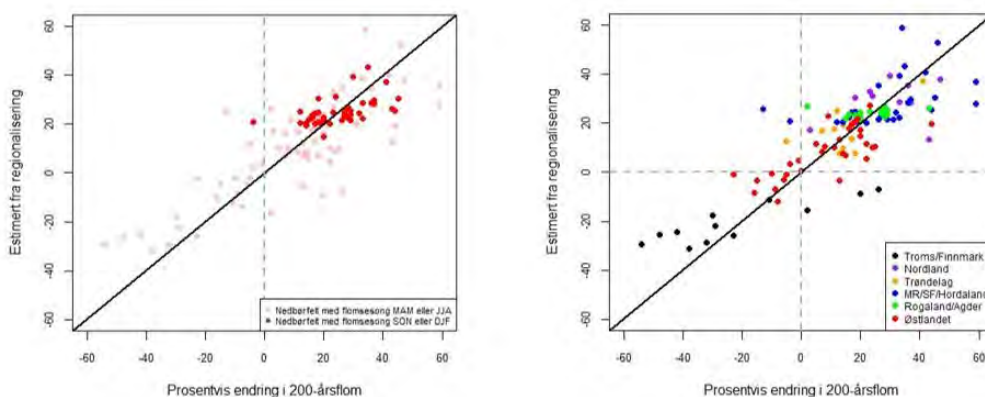
$$\begin{aligned} \text{Median endring i 200-årsflom} = & -26.50 + 0.6442 (\text{Reg})^{***} + 0.5067 (\text{FGP})^* \\ & + 0.1812(H_{50})^{**} - 0.07927 (\text{Avst})^* \end{aligned} \quad (5.3)$$

med en justert  $R^2$  verdi på 0.65, som er en forbedring over (5.1) og (5.2). Den beste modellen for gruppe 2, dvs. høst og vinter flomsesong, er

$$\text{Median endring i 200-årsflom} = -17.00 + 0.0215(A)^{***} + 1.518(\text{Reg})^* \quad (5.4)$$

med en justert  $R^2$  verdi av 0.31, dvs. at mindre enn en tredjedel av variasjonen i den prosentvise endringen i høst/vinterflommer, som hovedsakelig er regnflommer, kan forklares fra nedbørfeltetegenskaper. Det bør likevel bemerkes at nedbørfeltareal bidrar som en forklarende variabel, men i dette tilfellet er det en økt median endring med økt størrelse på nedbørfelt.

Resultatene for de sesongbaserte analysene er vist i figur 5.7, der figuren på venstre side sammenligner resultatene for de to gruppene og på høyre side er resultatene vist for hver region. Den justerte  $R^2$  verdien for de to modellene (ligning 5.3 og 5.4) tatt sammen er 0.68. Generelt viser resultatene en forbedring over analysene i figur 5.6, særlig for Østlandet der spredning i flomsesong og flomtype er ganske stor, men også for de fleste nedbørfeltene på Vestlandet, dvs. regionen MR/SF/Hordaland. Det er likevel ingen forbedring av estimatene for Finnmark, men dette er på grunn av årsaken nevnt tidligere, dvs. at det ikke finnes en sammenheng mellom nedbørfeltetegenskaper og den forventede reduksjonen i flomstørrelse.



Figur 5.7 Sammenligning av estimater for prosentvis endring i 200-årsflom basert på nedbørfeltetegenskaper (y-aksen) med prosentvis endringen beregnet fra klimaframskrivningene. Figuren på venstre side skiller mellom nedbørfelt med vår eller sommer flomsesong og høst eller vinter flomsesong, og på høyre side er resultatene vist for hver region.

## 5.7 Oppsummering av nedbørfeltegenskaper og lokale variasjoner

Resultatene vist i underkapittel 5.1–5.6 tyder på at det, i noen tilfeller, finnes en sammenheng mellom nedbørfeltegenskaper og prosentvis endring i 200-årsflommen, men at sammenhengen er ganske sammensatt og varierer både med region og med flomsesong. I tillegg viser statistiske analyser basert på flere variabler (underkapittel 5.6) at variabelen *Reg*, som er den gjennomsnittlige prosentvise endringen for alle nedbørfelt i en gitt region (tabell 5.1), betydelig bidrar til å forklare variasjonen i prosentvis endring i 200-årsflommen blant nedbørfeltene. Dermed er det viktig å vurdere regionene hver for seg om man for eksempel vil bruke resultatene til klimatilpassningsarbeid.

Generelt viser resultatene at nedbørfelt mindre enn 100 km<sup>2</sup> vil få en økt størrelse på 200-årsflom i framtiden (figur 5.1), men det er bare nedbørfelt med høst/vinter-flommer i dagens klima som viser en (svak) statistisk sammenheng mellom hvor stor økningen kommer til å bli og størrelsen på nedbørfeltet. Mangelen på en tydelig statistisk sammenheng mellom areal på nedbørfelt og prosentvis endring i flomstørrelse kan likevel delvis skyldes bruk av inndata fra klimamodeller med tidsoppløsning på ett døgn. Endringer i korttidsnedbør, som trolig vil ha en betydning for styrtflom i små nedbørfelt, er ikke tatt med i simuleringene. Dette undersøkes nå i videre arbeid. Figur 5.2 viser en tydelig tendens til for en større endring i 200-årsflom med økt relieff-forhold  $H_L$ , men resultatene av de statistiske analysene tyder på at andre variabler, f.eks. *Reg*, kan brukes for å forklare denne sammenhengen bedre. Det kan likevel hende at små, bratte nedbørfelt som reagerer raskt på korttidsnedbør ville vise en mer entydig sammenheng mellom økning i 200-årsflom og bratthet i nedbørfeltet, men simuleringsmetoden som er blitt brukt og antall nedbørfelt som er vurdert ikke er tilstrekkelige for å vise en slik effekt.

Analysene peker ut både medianhøyden på nedbørfelt (figur 5.3) og avstand til kysten (figur 5.4) som forklarende variabler. Figur 5.3 viser at nesten alle nedbørfelt (med unntak av de som ligger i Troms/Finmark) med en medianhøyde mindre enn ca. 700 m.o.h. har en forventet økning i 200-årsflom. Med hensyn til avstand til kysten viser figur 5.4 en svak reduksjon i størrelse på den forventede økningen med avstand for Østlandet, Trøndelag og Rogaland/Agder. De statistiske analysene er blitt kjørt både med og uten FGP (dvs. flomgenererende prosess, tolket som prosentvis bidrag av regn til årsmaksimalvannføring i dagens klima) som en mulig forklarende variabel. Resultatene tyder på at man får en bedre modell om dette inkluderes, med unntak av nedbørfelt med en flomsesong i perioden september-februar i dagens klima (ligning 5.4). Likevel kan man forklare mer enn 50% av variasjonen i prosentvis endring i 200-årsflom uten bruk av FGP (ligning 5.2).

I tillegg til nedbørfeltegenskapene som er vurdert her finnes det andre lokale egenskaper som også kan ha betydning for et nedbørfelts følsomhet til klimaendring (f.eks. arealdekke og effektiv sjøprosent). Det er også mye å hente fra bruk av lokale klimavariabler, f.eks. forventet endring i vintertemperatur, som mulige forklarende variabler i analyser på endringer i flomstørrelse. Dette bør undersøkes i videre arbeid med fokus på muligheter for en regionalisering av resultatene til andre nedbørfelt, f.eks. umålte nedbørfelt.

## 6 Anbefalinger for bruk av rapportens resultater

Resultatene presentert i kapittel 3 er basert på detaljert hydrologisk modellering for 115 uregulerte nedbørfelt fordelt over hele landet. Spredningen i de hydrologiske framskrivningene for et gitt nedbørfelt er stor (figur 4.1), særlig når alle faktorene som bidrar til usikkerhet er vurdert. Likevel viser resultatene som helhet et tydelig og konsistent bilde av hvilke regioner som er mest utsatt for en økt sannsynlighet for flom. Det er imidlertid ikke hensiktsmessig å gi presise anbefalinger for enkelte vassdrag på grunn av usikkerheten i resultatene (kap. 4) og fordi det er mye arbeid som fortsatt kreves med hensyn til behov for regionalisering av resultatene (kap. 5). På samme måte som i den tidligere rapporten om klimaendring og flom i Norge (Lawrence og Hisdal, 2011) er bruk av tre ulike klimapåslag foreslått: 0 % endring, +20 % endring, og +40 % endring. Den prosentvise endring angir den sannsynlige endringen i maksimal døgnmiddelvannføring.

I dette kapitlet er det gitt generelle anbefalinger for bruk av denne inndelingen for nedbørfelt med forskjellige egenskaper og beliggenheter i seks regioner i Norge. Et kart er presentert for hver region. Det viser nedbørfeltene som ligger til grunn for de hydrologiske projeksjonene, sammen med en markering av midtpunktetene i nedbørfeltene som viser forventede prosentvis endring i flomstørrelsen. Den forventede endringen som en funksjon av feltegenskapene beskrevet i kapittel 5 er også vist for hvert nedbørfelt. Resultatene for hvert av de 115 nedbørfelt finnes også som en tabell i Vedlegg A av denne rapporten.

Grunnlaget for anbefalingene er den prosentvise endring i 200-årsflom i perioden 2071–2100, (figur 3.6) for utslippsscenarioet RCP 8.5 (dvs. høyre side i figur 3.6). Bruk av resultatene for RCP 8.5 som grunnlag istedenfor RCP 4.5 eller et annet utslippsscenario er i samsvar med anbefalingen i Meld. St. 33 «Klimatilpasning i Norge», som sier at en for å være «føre var» skal legge til grunn høye alternativer fra de nasjonale klimafamskrivningene når konsekvensene av klimaendringer vurderes. På grunn av samsvaret mellom resultatene for middelflom (figur 3.2), 200-årsflom (figur 3.6), og 1000-årsflom (figur 3.7), gjelder anbefalinger også for andre gjentaksintervall, for eksempel 100-, 500-, og 1000-årsflom. Resultatene er allerede brukt til å foreslå et klimapåslag som skal brukes i forbindelse med ajourføring av eksisterende og planlagte flomsonekart utgitt av NVE. Disse anbefalingene finnes i Vedlegg B av denne rapporten.

For alle regionene anbefaltes det at minst 20% endring benyttes for 'små' nedbørfelt, uavhengig av hvor i landet det ligger. Dette gjelder alle nedbørfelt med nedbørfeltareal mindre enn 100 km<sup>2</sup> og andre nedbørfelt som reagerer raskt til styrtregn. Grunnen til dette er vist i figur 5.1 der de aller fleste nedbørfeltene med areal < 100 km<sup>2</sup> får en økt flomstørrelse. I tillegg viser foreløpige analyser av mulige endringer i nedbørintensitet i framtiden, økninger på 19–26 % for 1-døgns nedbør og 20–38 % for 3-timers nedbør for RCP 8.5 (tabell 5.2.6 i Hanssen-Bauer, m.fl., 2015). Fordi resultatene tyder på at endringen i korttids ekstremnedbør kan bli vesentlig større enn for døgnet nedbør, kan anbefalt klimapåslag for momentanverdier i enkelte små vassdrag være 40 % selv om en i større vassdrag anbefaler 20 %. Det er behov for en individuell vurdering hvor en også tar hensyn til hvor fort vassdraget reagerer på nedbør.

Anbefalingene som er gitt her gjelder flommer i elver. Effekten av havnivåstigning på vannstanden i en elv og mulige endringer i stormflonivåer i kystområder er ikke tatt med. En rapport av Simpson, m.fl. (2015) dekker dette temaet. Den er basert på de nyeste GCM-framskrivningene, dvs. CMIP5, for tre utslippsscenarioer, RCP 2.6, 4.5 og 8.5 (figur 2.2). I tillegg er det utgitt en veileder om hvordan man bør ta hensyn til disse resultatene i planleggingen (DSB, 2016).



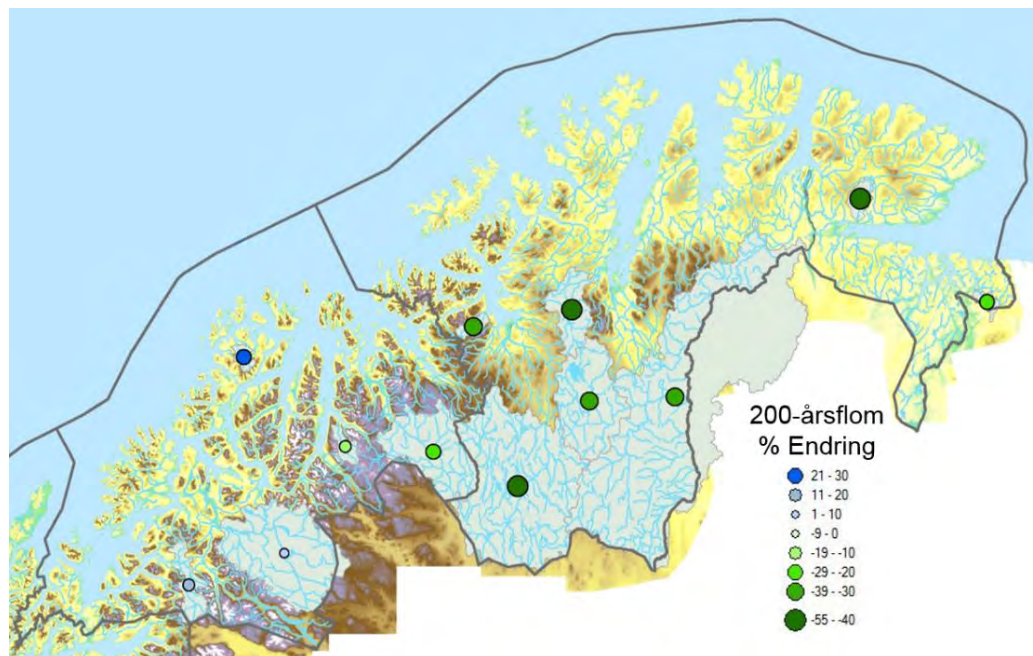
## 6.1 Troms og Finnmark

Grunnlaget for anbefalingene for Troms og Finnmark er resultater for 12 nedbørfelt, 7 i Finnmark og 5 i Troms (figur 6.1 og 6.2). Mye av regionen kjennetegnes av et flomregime dominert av snøsmelteflommer om våren og tidlig på sommeren i dagens klima. Dette forventes å fortsette i framtiden, men flomtoppene vil komme tidligere og bli mindre. De 7 nedbørfeltene i Finnmark viser alle en prosentvis reduksjon i 200-årsflommen på minst 10 %, og 6 av de 7 minst 30 %. I Troms varierer framskrivninger blant de 5 nedbørfeltene, fra en reduksjon på 20–29 % for et nedbørfelt ved grensen til Finnmark, til en økning på 21–30 % for et lite nedbørfelt ved kysten nær Tromsø. I dagens klima kan det forekomme høy vannføring om høsten og vinteren i nedbørfelt ved kysten i Troms, slik at dette området er utsatt for økt høst-/vinternedbør i framtiden som vil føre til en økning i flomstørrelsene. Derfor er følgende «klimapåslag» for flom anbefalt i Troms og Finnmark:

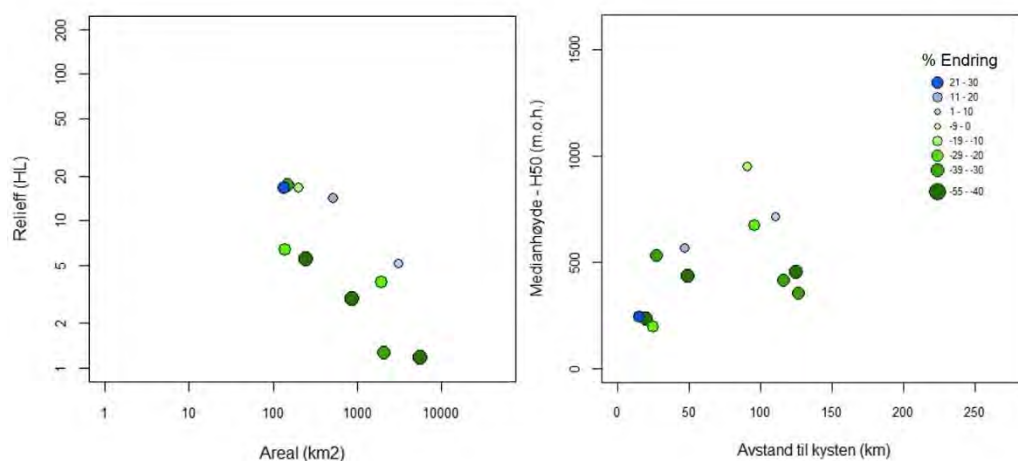
**0% økning** – Nedbørfelt i hele området som er dominert av snøsmelteflommer med få eller ingen flommer om høsten/vinteren i dagens klima.

**20% økning** – Nedbørfelt ved eller i nærheten av kysten, der flom som skyldes regn om høsten/vinteren ikke er uvanlig i dagens klima.

**Minst 20% økning** – Alle nedbørfelt med areal mindre enn 100 km<sup>2</sup> og andre mindre nedbørfelt som reagerer raskt på styrtregn.



Figur 6.1 Prosentvis endring i flomstørrelse for nedbørfelt i Troms og Finnmark. Grønt betyr en reduksjon i flomstørrelse i framtiden og blått en økning.



Figur 6.2 Prosentvis endring som en funksjon av nedbørfeltetegenskaper for nedbørfelt i Troms og Finnmark. Grønt betyr en reduksjon i flomstørrelse i framtiden og blått indikerer en økning.

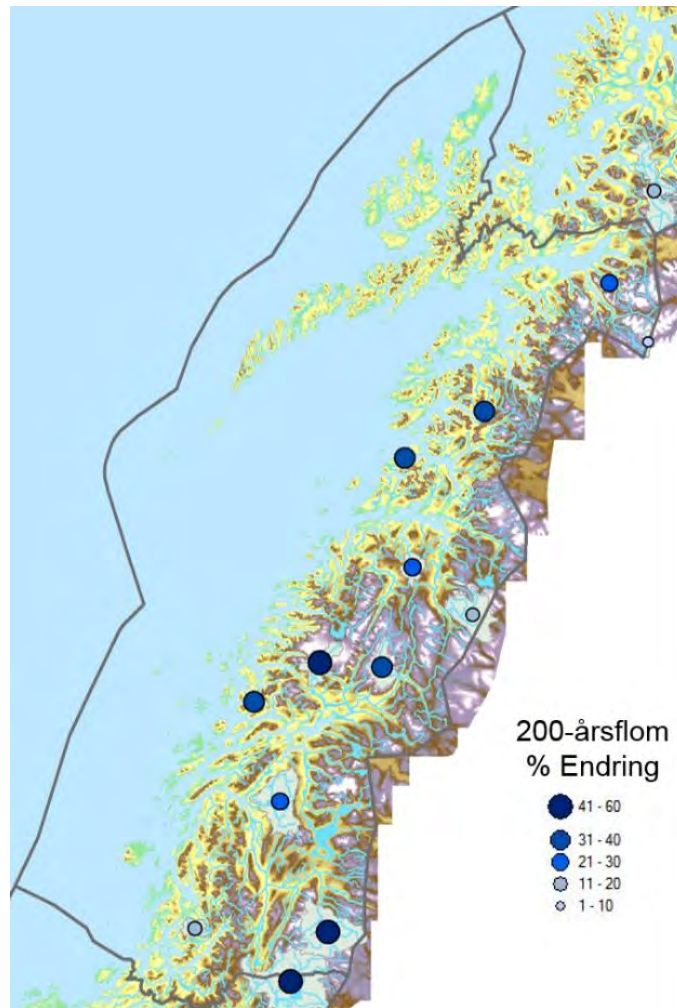
## 6.2 Nordland

Grunnlaget for anbefalingene for Nordland er resultater for 12 nedbørfelt som er ganske jevnt fordelt i fastlandsdelen av Nordland (figur 6.3). Nedbørfeltetegenskapene vises i figur 6.4. Alle nedbørfeltene får en økt flomstørrelse i framtiden. De største økningene er > 40 % og finnes i den sørlige halvdel av fylket. De minste økningene (< 20 %) finnes langs grensen til Sverige og i ett nedbørfelt langs kysten ved grensen til Nord-Trøndelag. De fleste nedbørfeltene i Nordland, særlig de som er i nærheten av kysten, har flom om høsten og vinteren i dagens klima, og både antall og størrelse på flommene forventes å øke i framtiden. I tillegg er det noen nedbørfelt der årlig maksimal vannføring hovedsakelig forekommer om våren og sommeren i dagens klima, men vil forekomme om høsten/vinteren i et framtidig klima (figur 3.5). På grunn av at de fleste nedbørfeltene i den sørlige halvdel viser en økning på 30–50 %, og fordi alle nedbørfeltene i fylket viser en økning, gir vi følgende anbefaling for «klimapåslag» for flom i Nordland:

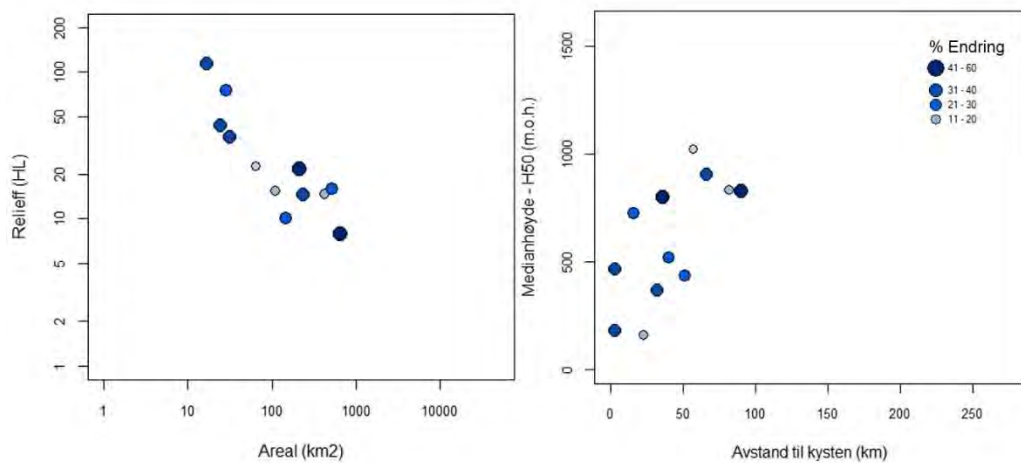
**40 % økning** – Alle nedbørfelt med mesteparten av nedbørfeltet på Helgeland (dvs. sør for Saltdal).

**20 % økning** – Alle større nedbørfelt i andre områder i Nordland.

**Minst 20 % økning** – Alle nedbørfelt med areal < 100 km<sup>2</sup> og andre mindre nedbørfelt som reagerer raskt på styrtregn.



Figur 6.3 Prosentvis endring i flomstørrelse for nedbørfelt i Nordland. Alle nedbørfelt i Nordland viser en økt flomstørrelse i framtiden.



Figur 6.4 Prosentvis endring som en funksjon av nedbørfeltetegenskaper for nedbørfelt i Nordland. Alle nedbørfelt i Nordland viser en økt flomstørrelse i framtiden.

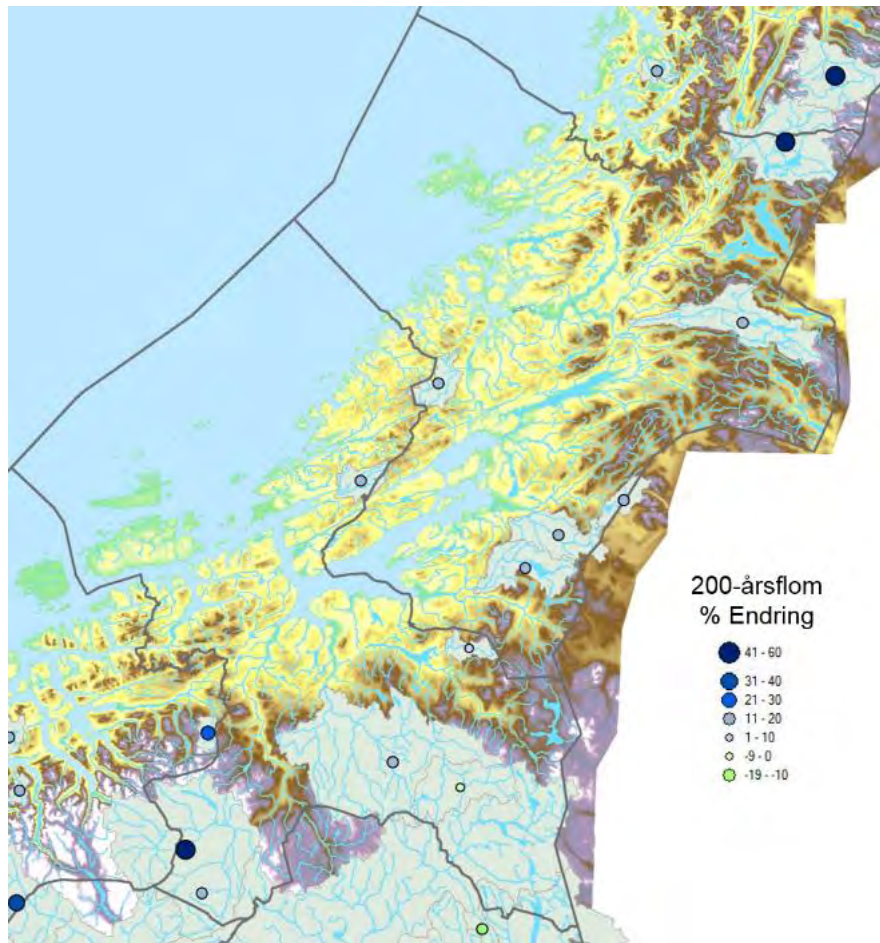
## 6.3 Trøndelag

Tolv nedbørfelt som er tatt med i simuleringene ligger i Trøndelag (figur 6.5 og 6.6). Nedbørfeltene i denne regionen varierer med hensyn til mulig effekt av klimaendring på flom i framtiden, fra en liten reduksjon for ett nedbørfelt i Sør-Trøndelag til en mer enn 40 % økning for ett nedbørfelt ved grensen til Nordland. Likevel har de aller fleste nedbørfeltene i området en økning på mellom 11 % og 20 %. Dette er i motsetning til nedbørfelt både nordover i Nordland og sørover på Vestlandet der økninger er større. Det bør likevel nevnes at Sør-Trøndelag er et område der de nye klimaframskrivningene tyder på en liten økning i noen nedbørfelt, mens de tidligere framskrivningene, rapportert i 2011, ga betydelige reduksjoner i disse nedbørfeltene. Dermed gir vi følgende anbefalinger for «klimapåslag» på framtidige flommer i Trøndelag:

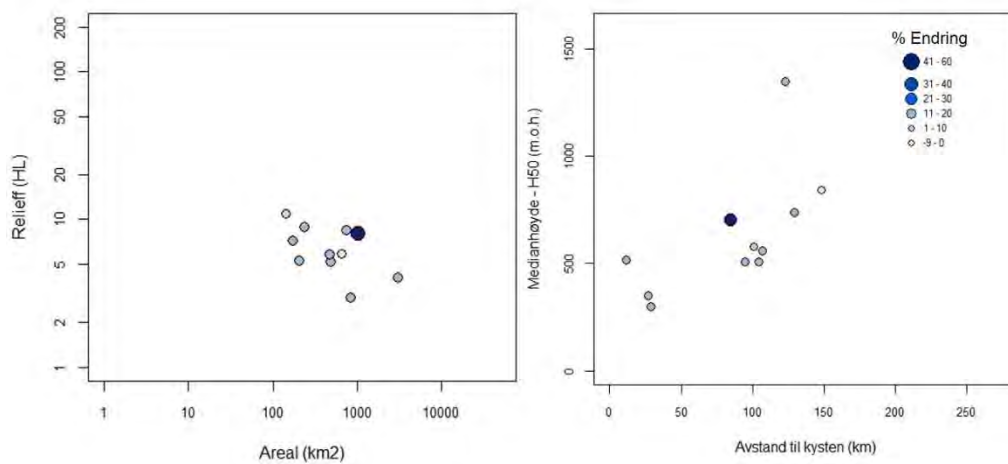
**0 % økning** – Nedbørfelt som er dominert av snøsmelteflommer i dagens klima og som ikke har hatt store historiske flommer om høsten.

**20 % økning** – Alle større nedbørfelt i nærheten av kysten og områder der årlig maksimal vannføring forekommer om høsten og vinteren i dagens klima, og nedbørfelt som er dominert av snøsmelteflommer om våren i dagens klima men som også kan ha stor flomvannføring om høsten/vinteren (f.eks. Gaula-vassdraget).

**Minst 20 % økning** – Alle nedbørfelt med areal  $< 100 \text{ km}^2$  og andre mindre nedbørfelt som reagerer raskt på styrtregn.



Figur 6.5 Prosentvis endring i flomstørrelse for nedbørfelt i Trøndelag. Grønt betyr en reduksjon i flomstørrelse i framtiden og blått indikerer en økning.



Figur 6.6 Prosentvis endring som en funksjon av nedbørfeltetegenskaper for nedbørfelt i Trøndelag. Grønt betyr en reduksjon i flomstørrelse i framtiden og blått en økning.

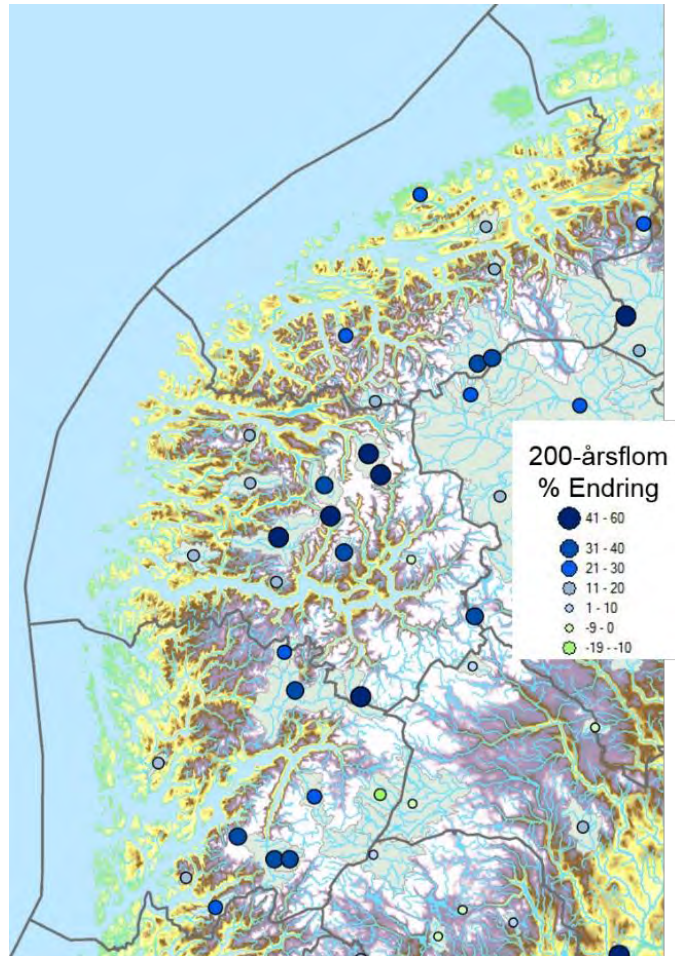
## 6.4 Møre og Romsdal, Sogn og Fjordane, og Hordaland

Det er 30 nedbørfelt som representerer denne regionen (figur 6.7). I likhet med Nordland er helninger noe brattere (figur 6.8) enn i andre regioner. Nesten alle vassdragene (dvs. 28 av 30) får økte flomstørrelser i framtiden, med unntak av to som har store deler av nedbørfeltet i høyfjellet. De største økningene ser en hovedsakelig i Sogn og Fjordane, med flere nedbørfelt med en forventet økning på 41–60 %. Likevel er det nedbørfelt med en økning mellom 31 % og 40 % i hele regionen. Det bør også nevnes at det er noen høytliggende nedbørfelt i Møre og Romsdal der de nye framskrivningene gir økninger i flomstørrelse på 30–60 % mens de tidligere resultatene i 2011 bare ga en liten økning (< 10 %) eller en reduksjon. De store økningene i flomfare i regionen gjenspeiler forventet økning i nedbør om høsten og vinteren i et området som allerede er dominert av regnflommer i dagens klima (figur 3.3). Nedbørfeltene med de største økningene er middels store (200–1000 km<sup>2</sup>) og ligger omtrent 50–125 km fra kysten. De minste økningene i regionen finnes hovedsakelig nærmere kysten, der økningen ligger mellom 11 % og 20 % i Sogn og Fjordane og Hordaland, og mellom 11 % og 30 % i Møre og Romsdal. Dermed gir vi følgende anbefalinger for «klimapåslag» på framtidige flommer for Møre og Romsdal, Sogn og Fjordane og Hordaland:

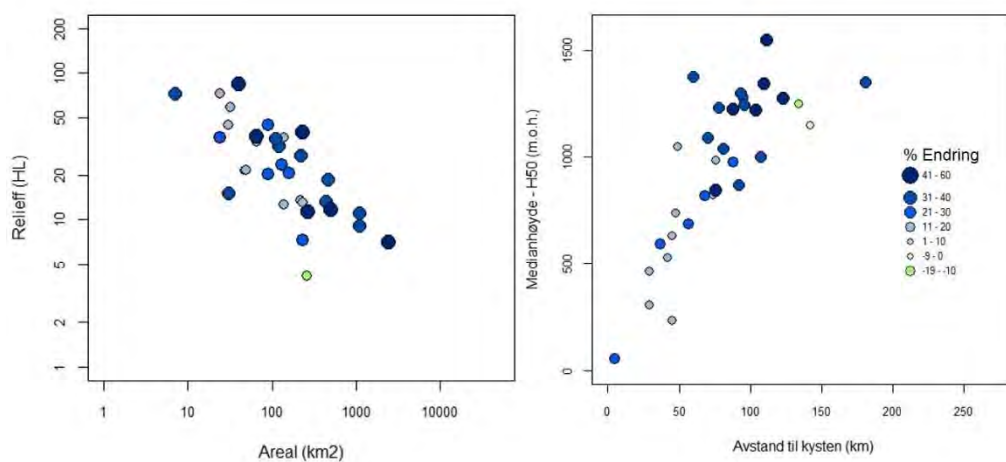
**40 % økning** – Alle elver i Møre og Romsdal, Sogn og Fjordane og Hordaland som ligger i nærheten av og har hoveddelen av nedbørfeltet i områder der resultatene gir en økning på 41–60 % (figur 6.7 og vedlegg A).

**20 % økning** – Alle andre større nedbørfelt i hele regionen.

**Minst 20 % økning** – Alle nedbørfelt med areal < 100 km<sup>2</sup> og andre mindre nedbørfelt som reagerer raskt på styrtregn.



Figur 6.7 Prosentvis endring i flomstørrelse for nedbørfelt i Møre og Romsdal, Sogn og Fjordane, og Hordaland. Grønt betyr en reduksjon i flomstørrelse i framtiden og blått indikerer en økning.



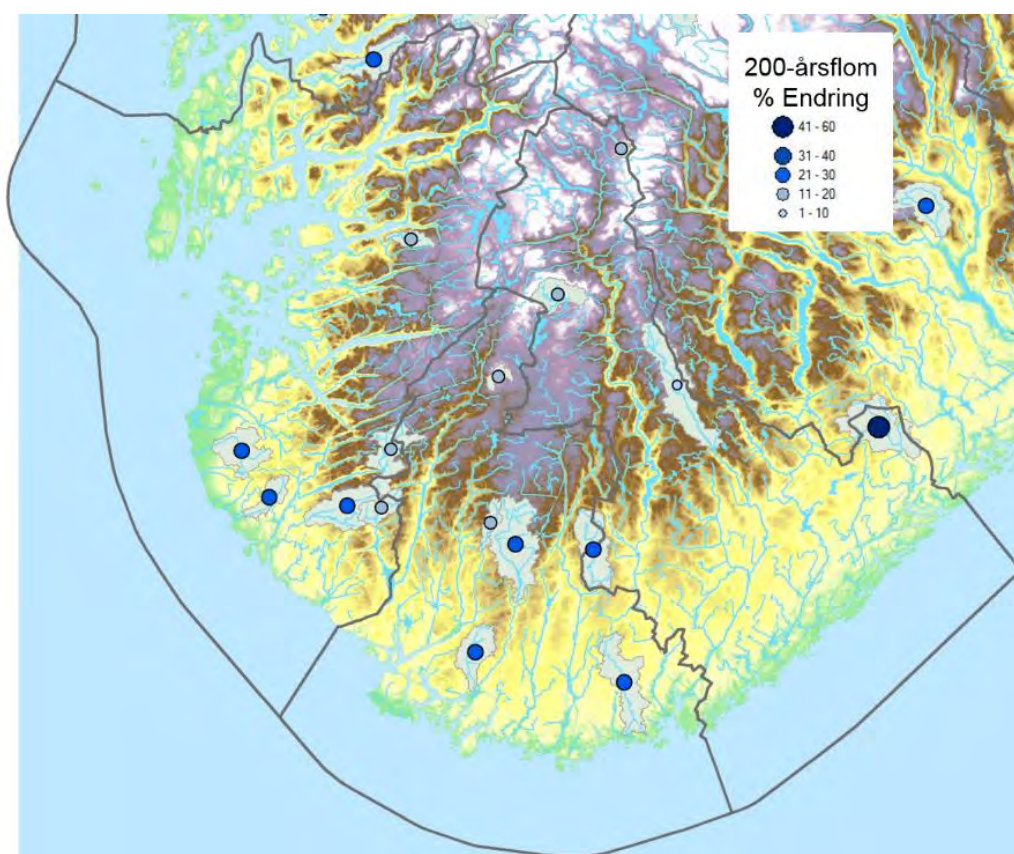
Figur 6.8 Prosentvis endring som en funksjon av nedbørfeltetegenskaper for nedbørfelt i Møre og Romsdal, Sogn og Fjordane, og Hordaland. Grønt betyr en reduksjon i flomstørrelse i framtiden og blått en økning.

## 6.5 Rogaland og Agder

Det er 14 nedbørfelt i Rogaland og Agder (figur 6.9) som er tatt med i simuleringene. Alle er små til middels store nedbørfelt med lave til middels bratthet (figur 6.10). Med unntak av ett nedbørfelt i Aust-Agder ved grensen til Telemark har alle nedbørfelt i denne regionen en forventet økning i flomstørrelse som er mindre enn 30 %. Nedbørfelt nær kysten har en 20–30 % forventet økning, mens noe mer høytliggende nedbørfelt i innlandet har mindre enn 20 % forventet økning. De fleste nedbørfeltene i regionen er allerede dominert av regnflommer om høsten og vinteren i dagens klima, men denne tendensen er enda mer markant i framtiden (figur 3.3). Likevel viser resultatene at denne regionen ikke forventes å få de samme store økningene i flomstørrelse som for eksempel i Sogn og Fjordane (figur 6.7). Derfor er følgende anbefalingen for «klimapåslag» gitt for Rogaland og Agder:

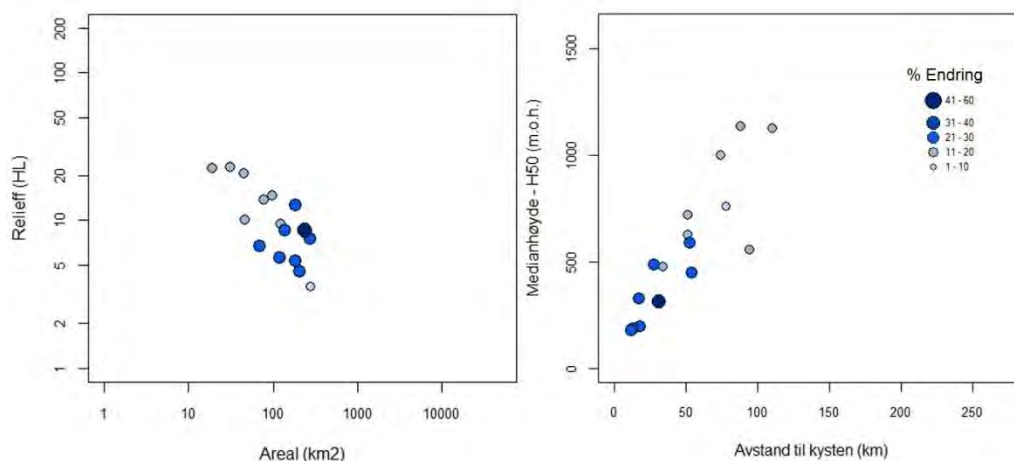
**20 % økning** – Alle større nedbørfelt i hele regionen.

**Minst 20 % økning** – Alle nedbørfelt med areal < 100 km<sup>2</sup> og andre mindre nedbørfelt som reagerer raskt på styrtregn.



Figur 6.9 Prosentvis endring i flomstørrelse for nedbørfelt i Rogaland og Agder. Alle nedbørfelt i Rogaland og Agder viser en økt flomstørrelse i framtiden.





Figur 6.10 Prosentvis endring som en funksjon av nedbørfeltetegenskaper for nedbørfelt i Rogaland og Agder. Alle nedbørfelt i Rogaland og Agder viser en økt flomstørrelse i framtiden.

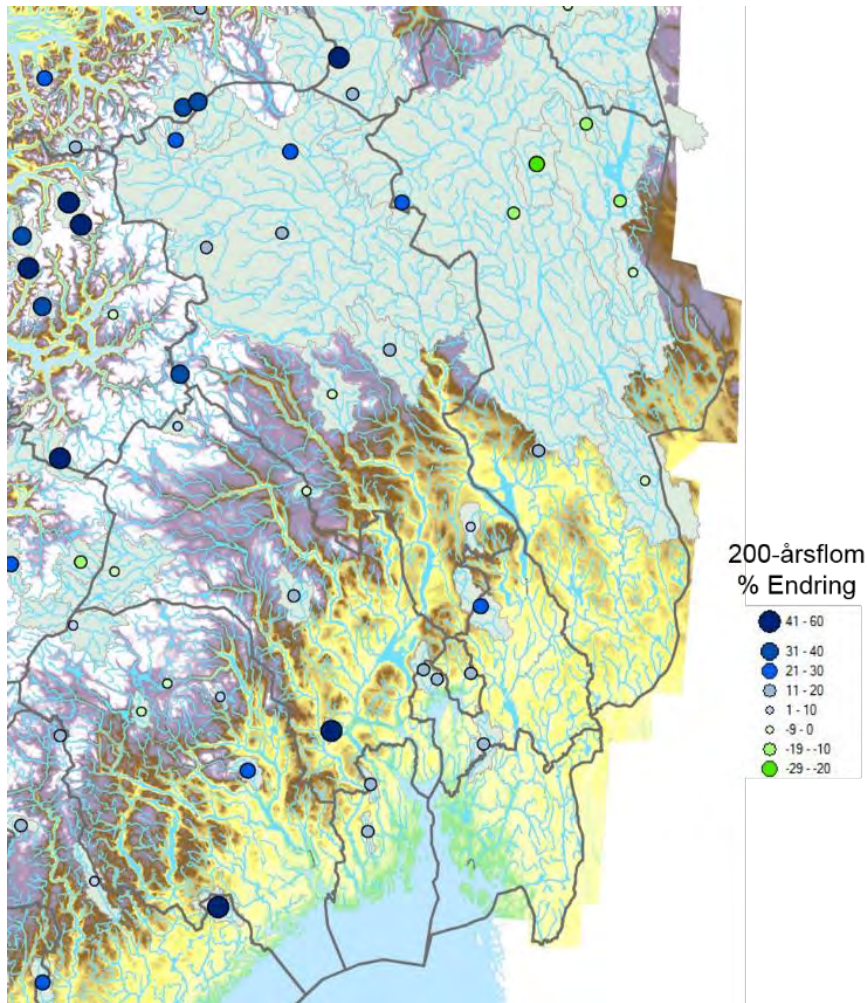
## 6.6 Østlandet

Det er 30 nedbørfelt på Østlandet som er tatt med i simuleringene (figur 6.11). De representerer den største spredningen i nedbørfeltetegenskaper (figur 6.12) av de seks regionene. Både nedbørfelt som er dominert av snøsmelteflommer og regnflommer i dagens klima finnes blant nedbørfeltene på Østlandet (figur 3.3). Framskrivningene tyder på en økt tendens for høst-/vinterflomvannføringen i nedbørfelt som ligger mindre enn 100 km fra kysten. De store vassdragene i innlandet viser både reduksjoner og økninger i flomstørrelsen i framtiden. De største reduksjonene er på 20–29 %, blant nedbørfeltene i Hedmark. I Oppland varierer endringer fra en liten reduksjon til ganske betydelige økninger på 21–30 %. De største økningene finnes i den nordligste delen av fylket (figur 6.11) for noen vassdrag med deler av nedbørfeltet i høyfjellet, og slike økninger ble ikke funnet for dette området i analysen fra 2011. Sør for dette området og i fjellområder i Buskerud og Telemark viser framskrivningene en liten reduksjon i flomstørrelsene i framtiden. Følgende anbefalingene for «klimapåslag» er derfor gitt for nedbørfelt på Østlandet:

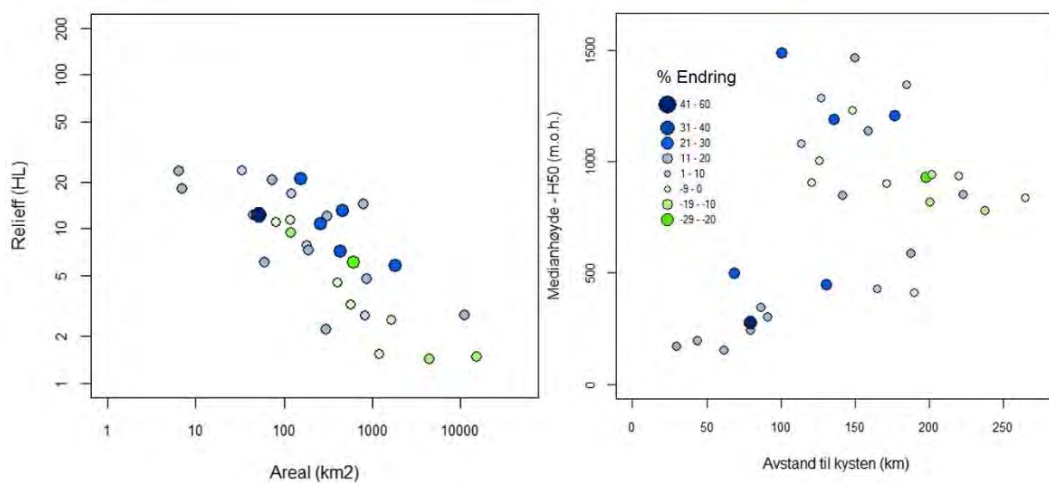
**0 % økning** – Nedbørfelt i innlandet som er dominert av snøsmelteflommer om våren og tidlig på sommeren, sjelden store høst-/vinterflommer i dagens klima. Et unntak er vassdraget Lågen oppstrøms Otta der **20 % økning** er anbefalt.

**20 % økning** – Større vassdrag nær kysten med størstedelen av nedbørfeltet i lavereliggende områder. Dette omfatter, for eksempel, nedbørfelt i Vestfold, Akershus, Oslo og Østfold.

**Minst 20 % økning** – Alle nedbørfelt med areal < 100 km<sup>2</sup> og andre mindre nedbørfelt som reagerer raskt på styrtregn (Numedalslågen ved Kongsberg, for eksempel).



Figur 6.11 Prosentvis endring i flomstørrelse for nedbørfelt på Østlandet. Grønt betyr en reduksjon i flomstørrelse i framtiden og blått indikerer en økning.



Figur 6.12 Prosentvis endring som en funksjon av nedbørfeltetegenskaper for nedbørfelt på Østlandet. Grønt betyr en reduksjon i flomstørrelse i framtiden og blått en økning.

## 7 Behov for videre arbeid

Anbefalingene som gis i kapittel 6 tar utgangspunkt i klimaframskrivninger og metoder som per i dag er tilgjengelige og kan anvendes for slike analyser. Likevel er det mye usikkerhet i resultatene, og det pågår forskning på flere temaer som kan ha betydning for anbefalingene. Først og fremst må det enda en gang framheves at «inndata» fra klimaframskrivningene har en tidsoppløsning på ett døgn, og at disse kjøres gjennom en hydrologisk modell med tidskritt på ett døgn. Foreløpige analyser av 3-timers nedbør fra EURO-CORDEX-klimaframskrivningene tyder på større økninger for korttidsnedbør sammenlignet med døgnedbør (Hanssen-Bauer, m.fl., 2015), og dette vil mest sannsynlig gi større prosentvise økninger i flomstørrelse i små nedbørfelt som reagerer raskt på styrtregn. Slike analyser er også avgjørende for tolkningen av endringer i flomfare i urbane områder i et framtidig klima, og de gjennomføres nå i forbindelse med forskningsprosjektet ExPrecFlood (2015–2018) finansiert av NFRs Klimaforsk-program. I tillegg er det mye usikkerhet forbundet med anvendelsen av flomfrekvensanalyse for å tolke mulige endringer i flomstørrelse. Metodene som er blitt brukt her er ganske enkle, og det er flere emner som bør undersøkes videre, bl.a. 1) bruk av en 3-parameter fordeling som også vil kreve en regionalisering av resultatene for å få robuste estimater; 2) bruk av ikke-stasjonære flomfrekvensanalyser som kan dra nytte av transiente klimaframskrivninger for hele perioden 1971–2100; og 3) simuleringsmetoder for dimensjonerende flom med høye gjentakintervall på 500 og 1000 år (f.eks. Lawrence, m.fl., 2014), som tar høyde for endringer i flomprosesser og -sesonger. Noe av dette undersøkes også i ExPrecFlood-prosjektet og i andre prosjekter med fokus på metoder for flomfrekvensanalyser. Et langsiktig mål er utvikling av anbefalinger for klimatilpasning som gjelder nedbørfelt med forskjellige egenskaper i ulike deler av landet, og som gjøres tilgjengelige via NVEs internettjenester.

Det pågår også mye forskning på, og forbedring av, klimamodeller, blant annet kobling mellom atmosfære- og landprosesser. Resultatene vil gi et bedre grunnlag for analyser av klimaendringens virkning på hydrologiske prosesser. Likevel er en av de største utfordringene ved bruk av «inndata» fra klimamodeller, i kjøring av en hydrologisk modell, behovet for en finjustering av data slik at de egner seg for simulering av vannføring i et gitt nedbørfelt. Dette behovet gjenspeiler delvis forskjellen i romlig skala mellom en klimamodell og nedbørfeltarealet som kan føre til en bias i temperatur- og nedbørverdier, som må justeres. Det er også andre avvik som ikke kan forklares som en konsekvens av skala. Ett eksempel er en forskjøvet sesongfordeling av nedbør, som også er utslagsgivende for simulering av flomvannføring (Osuch, m.fl., 2016). Dette må justeres om man vil ha riktig flomgenererende prosess, flomsesong og flomstørrelse. Metodene som brukes for disse justeringene kan imidlertid påvirke tolkningen av størrelsen på endringer i både ekstremnedbør (Hashmi, m.fl., 2010; Sunyer, m.fl., 2015) og ekstremvannføring (Hundechea, m.fl., 2016). I dette arbeidet har vi brukt to forskjellige metoder for justering av nedbørtidsserier fra klimamodeller, blant annet fordi de gir to alternative justeringer av ekstremverdier. Begge alternativene er tatt med i ensembler av simuleringer for hvert nedbørfelt. Betydningen av tilpasning av data fra klimamodeller for bruk i hydrologiske simuleringer, sammen med alternative metoder for å tolke 'klimasignalet' for bruk i analyser på virkning av klimaendring på en lokal skala,

undersøkes nå i to nye forskningsprosjekter (R3 – ‘Relevant, reliable and robust local-scale climate projections for Norway’ og ‘PostClim’) finansiert av NFRs Klimaforsk-program.

En annen utfordring ved bruk av en rekke klimaframskrivninger, for å danne et ensemble av simuleringer, er kvantifisering av usikkerhet i estimatene fra ensemblet. Det viktigste med dette er å være oppmerksom på at klimaframskrivningene som vanligvis er tatt med i ensemblet, ikke nødvendigvis er uavhengige av hverandre. De representerer de klimaskrivningene som er tilgjengelige. I noen tilfeller kommer disse fra de samme RCMene eller GCMene, eller har en felles bias fordi de er utviklet basert på et felles kunnskapsgrunnlag (von Storch og Zwiers, 2013; Sunyer, m.fl., 2014). Dette er i motsetning til et ensemble som samles fra en rekke simuleringer med tilfeldige initialtilstander som ofte gjøres, for eksempel for å kvantifisere usikkerhet i værprognoser. Dermed er det umulig å forutsette en underliggende teoretisk fordeling for å kvantifisere usikkerheten i estimatene basert på et ‘ensemble’ av klimaframskrivninger. Det er derfor anbefalt at man ikke beregner statistisk signifikans eller konfidensintervaller for slike estimater. Man kan uansett beskrive den faktiske fordelingen med bruk av, for eksempel, medianen slik at ‘halvparten av de utvalgte framskrivningene gir et høyere estimat og halvparten gir et lavere estimat’. I denne rapporten har vi altså benyttet denne ‘forsiktige’ tilnærmingen, men andre alternativer bør også undersøkes. Det er også forsøkt å benytte forskjellige metoder for å legge ulike vekter på de forskjellige framskrivningene med grunnlag i hvor godt de beskriver en gitt variabel i dagens klima (f.eks. Tebaldi, m.fl., 2005; Wilby og Harris, 2006; Najafi og Moradkhani, 2015), istedenfor å gi alle framskrivningene like vekter. Dette forutsetter imidlertid en én til én sammenheng mellom å simulere en gitt variabel og å simulere prosessene som fører til en endring i variabelen, og at det finnes ingen *a priori* grunn for denne forutsetningen. Dette temaet kan muligens bidra mye til å legge til rette for et godt grunnlag for kvantifisering av usikkerhet knyttet til estimater av endringer i flomforhold i et framtidig klima i Norge.

## 8 Referanser

- Bergstrøm, S. 1995. The HBV model. *Computer models of watershed hydrology*, Singh, V.P. (Red.) Water Resources Publications, Highlands Ranch, 443-476.
- Brigode, P., Oudin, L., og Perrin, C. 2013. Hydrological model parameter instability: A source of additional uncertainty in estimating the hydrological impacts of climate change? *J. Hydrol.*, 476, 410-425.
- Coles, S. 2001. *An introduction to statistical modeling of extreme values*. London, Springer-Verlag, Ltd, 208 s.
- DSB (Direktorat for samfunnssikkerhet og beredskap), 2016. Havnivåstigning og stormflo – samfunnssikkerhet i kommunal planlegging. HR 2329, 45 s.
- Engen-Skaugen, T. 2007. Refinement of dynamically downscaled precipitation and temperature scenarios. *Climatic Change*, 84, 365-382.

- Gudmundsson, L., Bremnes, J. B., Haugen, J. E., og Engen-Skaugen, T. 2012. Technical Note: Downscaling RCM precipitation to the station scale using statistical transformations – a comparison of methods, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, 3383–3390.
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E.J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J.E.Ø, Sandven, S., Sandø, A.B., Sorteberg, A., og Ådlandsvik, B. (Red.) 2015. Klima i Norge 2100: Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015. *Norwegian Climate Services Centre report 2/2015*, 203 s.
- Hashmi, M.Z., Shamseldin, A.Y., Melville, B.W. 2010. Comparison of SDSM and LARS-WG for simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25, 475-484.
- Hundecha, Y., Sunyer, M., Lawrence, D., Madsen, H., Willems, P., Bürger, B., Kriaučiūnienė, J., Loukas, A., Martinkova, M., Osuch, M., von Christierson, B., Vormoor, K., Yücel, I. 2016. Inter-comparison of statistical downscaling methods for projection of extreme flow indices across Europe, *J. Hydrol.* (I trykk).
- IPCC. 2014. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Bilir, T.E., Chatterjee, K.L., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, E.S., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, Mastrandrea, P.R., og White, L.L. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp.
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O.B., Bouwer, L.M., Braun, A., Colette, A., Déqué, M., Georgievski, G., Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Haensler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S., Kröner, N., Kotlarski, S., Kriegsmann, A., Martin, E., van Meijgaard, E., Moseley, C., Pfeifer, S., Preuschmann, S., Radermacher, C., Radtke, K., Rechid, D., Rounsevell, M., Samuelsson, P., Somot, S., Soussana, J-F., Teichmann, C., Valentini, R., Vautard, R., Weber, B., Yiou, P. 2014. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change* 14, 563-578.
- Karlsson, I.B., Sonnenborg, T.O., Refsgaard, J.C., Trolle, D., Børgesen, C.D., Olesen, J.E., Jeppesen, E., Jensen, K.H. 2016. Combined effects of climate models, hydrological model structures and land use scenarios on hydrological impacts of climate change. *J. Hydrol.*, 535, 301-317.
- Lawrence, D., Haddeland, I., og Langsholt, E. 2009. Calibration of HBV hydrological models using PEST parameter estimation. NVE report 1-2009, 44 s.
- Lawrence, D., og Haddeland, I. 2011. Uncertainty in hydrological modelling of climate change impacts in four Norwegian catchments. *Hydrol. Res.* 42, 457-471.
- Lawrence, D. og Hisdal, H. 2011. Hydrological projections for floods in Norway under a future climate. NVE report 5-2011, 47 s.

- Lawrence, D., Holmqvist, E., Midttømme, G. 2014. Klimaendring og damsikkerhet: En pilotstudie av 24 dammer. NVE rapport 89-2014, 51 s.
- Lawrence, D., Paquet, E., Gailhard, J., og Fleig, A. 2014. Stochastic semi-continuous simulation for extreme flood estimation in catchments with combined rainfall-snowmelt flood regimes. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 14, 1283-1298.
- Lawrence, D. (2016) Uncertainty introduced by flood frequency analysis in the estimation of climate change impacts on flooding. Geophysical Research Abstracts Vol. 18, EGU 2016-12077. <http://adsabs.harvard.edu/abs/2016EGUGA..1812077L>
- Madsen, H., Lawrence D., Lang, M., Martinkova, M., Kjeldsen T.R. 2014. Review of trend analysis and climate change projections of extreme precipitation and floods in Europe, *J. Hydrol.*, 519, 3634-3650.
- Midttømme, G.H., Pettersson, L.E., Holmqvist, E., Nøtsund, Ø, Hisdal, H., Sivertsgård, R. 2011. Retningslinjer for flomberegninger, NVE Retningslinjer nr. 4/2011, 59 s.
- Meld. St. 33 (2012-2013) Klimatilpasning i Norge, <https://www.regjeringen.no>.
- Najafi, M.R. og Moradkhani, H. 2015. Multi-model ensemble analysis of runoff extremes for climate change impact assessments. *J. Hydrol.*, 352-361.
- Osuch, M., Lawrence, D., Meresa, H., Napiorkowski, J., Romanowicz, R.J. Projected changes in flood indices in selected catchments in Poland in the 21<sup>st</sup> century. 2016. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. doi:10.1007/s00477-016-1296-5
- Reynard, N.S., Prudhomme, C., Crooks, S.M. 2001. The flood characteristics of large UK rivers: potential effects of changing climate and land use. *Climate Change* 48, 343-359.
- Simpson, M.J.R., Nilsen, J.E.Ø, Ravndal, O.R., Breili, K., Sande, H., Kierulf, H.P., Steffen, H., Jansen, E., Carson, M., Vestøl, O. 2015. Sea level change for Norway: Past and present observations and projections to 2100. *Norwegian Centre for Climate Services report 1/2015*, 155 s.
- Skahill, B.E. og Doherty, J. 2006. Efficient accommodation of local minima in watershed model calibration. *J. Hydrol.* 329, 122-139.
- von Storch, H. og Zwiers, F. 2013. Testing ensembles of climate change scenarios for «statistical significance». *Climatic Change* 117, 1-9.
- Sunyer, M., Madsen, H., Rosbjerg, D., Arnbjerg-Nielsen, K. 2014. A Bayesian approach for uncertainty quantification of extreme precipitation projections including climate model interdependency and nonstationary bias. *J. Climate* 27, 7113-7132
- Sunyer, M.A., Hundaecha, Y., Lawrence, D., Madsen, H., Willems, P., Martinkova, M., Vormoor, K., Bürger, G., Hanel, M., Kriauciuniene, J., Loukas, A., Osuch, M., Yücel, I. 2015. Intercomparison of statistical downscaling methods for projection of extreme precipitation in Europe, *Hydrol. Earth Sys. Sci.* 19, 1827-1847.
- Sælthun, N. R. 1996. The Nordic HBV Model. NVE Publication No. 7, 26 s.

- Tebaldi, C., Smith, R.L., Nychka, D., Mearns, L.O. 2005. Quantifying uncertainty in projections of regional climate change: A Bayesian approach to the analysis of multimodel ensembles. *J. Climate* 18, 1524-1540.
- Vormoor, K., Lawrence, D., Heistermann, M., Bronstert, A. 2015. Climate change impacts on the seasonality and generation processes of floods – projections and uncertainties for catchments with mixed snowmelt/rainfall flood regimes, *Hydrol. Earth Sys. Sci.*, 19, 913-931.
- Vormoor, K., Lawrence, D., Schlichting, L., Wilson, D., Wong, W.K. 2016. Evidence for changes in the magnitude and frequency of observed rainfall vs. snowmelt driven floods in Norway, *J. Hydrol.*, 538, 33-48.
- Wilby, R.A. og Harris, I. 2006. A framework for assessing uncertainties in climate change impacts. *Water Resour. Res.*, 42, W02419.
- Wilson, D., Fleig, A.K., Lawrence, D., Hisdal, H., Pettersson, L-E., Holmqvist, E. 2011. A review of NVE's flood frequency estimation procedures. NVE report 9-2011, 46 s.
- Yang, W., Andreasson, J., Graham, L.P., Olsson, J., Rosberg, J., Wetterhall, F. 2010. Distribution-based scaling to improve the usability of regional climate model projections for climate change impact studies. *Hydrol. Res.* 41, 211-22

## Vedlegg A – Endring i 200-årsflom for 115 HBV nedbørfelt

Nmr	Stasjonnavn	Areal (km <sup>2</sup> )	RCP 4.5 2031-2060 % endring (figur 3.5)	RCP 4.5 2071-2100 % endring (figur 3.6)	RCP 8.5 2031-2060 % endring (figur 3.5)	RCP 8.5 2071-2100 % endring (figur 3.6)	RCP 8.5 2071-2100 10 persentil (figur 4.2)	RCP 8.5 2071-2100 90 persentil (figur 4.2)
2.11	Narsjø	119	-1	-5	2	-15	-35	12
2.27	Aulestad	866	9	8	7	13	2	42
2.32	Atnasjø	463	7	10	12	22	3	69
2.142	Knappom	1648	-10	-14	-10	-9	-26	19
2.145	Losna	11208	1	4	10	15	0	36
2.265	Unsetåa	621	-5	-13	-7	-23	-39	5
2.268	Akslen	795	4	9	8	20	7	47
2.279	Kråkfoss	433	10	15	12	24	11	40
2.291	Tora	263	9	12	14	25	11	55
2.323	Fura	45	2	5	4	11	0	40
2.604	Elverum	15449	-6	-10	-4	-10	-24	16
2.614	Rosten	1828	5	5	12	22	-3	46
2.634	Lena	181	-1	6	-2	7	-13	27
3.22	Høgfoss	299	3	13	9	16	2	39
6.10	Gryta	7	6	9	7	14	1	35
8.2	Bjørnegårdssvingen	190	5	11	7	17	3	30
8.6	Sæternbekken	6	7	10	9	18	6	39
12.70	Etna	570	-4	-6	-1	-6	-20	14
12.171	Hølervatn	79	3	1	2	-5	-15	8



Nmr	Stasjonnavn	Areal (km <sup>2</sup> )	RCP 4.5 2031-2060 % endring (figur 3.5)	RCP 4.5 2071-2100 % endring (figur 3.6)	RCP 8.5 2031-2060 % endring (figur 3.5)	RCP 8.5 2071-2100 % endring (figur 3.6)	RCP 8.5 2071-2100 10 persentil (figur 4.2)	RCP 8.5 2071-2100 90 persentil (figur 4.2)
12.178	Eggedal	309	10	10	11	13	0	24
12.192	Sundbyfoss	74	12	11	12	19	8	39
12.193	Fiskum	52	20	23	20	44	13	71
12.215	Storeskar	120	2	6	9	5	-5	28
15.74	Skorge	60	9	14	12	20	10	37
15.79	Orsjoren	1177	0	1	3	0	-11	20
16.66	Grosettjern	6	-7	-11	-3	-1	-15	13
16.75	Tannsvatn	118	-7	-10	-3	-4	-13	9
16.132	Gjuvå	33	9	7	11	9	-9	24
16.140	Kvenna	822	-3	1	3	8	-8	35
16.193	Hørte	156	13	9	11	23	11	44
18.10	Gjerstad	236	20	25	20	43	19	58
20.2	Austenå	276	4	0	3	2	-11	13
21.47	Lislefjødd	19	2	5	6	20	6	38
22.16	Myglevatn ndf.	182	8	13	11	23	13	36
22.22	Søgne	206	11	10	17	29	14	47
24.3	Møska	121	12	15	17	29	13	45
24.9	Tingvatn	272	8	15	12	28	15	38
25.8	Mygland	47	9	12	11	20	13	32
25.24	Gjuvvatn	97	1	4	11	18	9	32
26.20	Årdal	77	7	12	7	20	15	35

Nmr	Stasjonnavn	Areal (km <sup>2</sup> )	RCP 4.5 2031-2060 % endring (figur 3.5)	RCP 4.5 2071-2100 % endring (figur 3.6)	RCP 8.5 2031-2060 % endring (figur 3.5)	RCP 8.5 2071-2100 % endring (figur 3.6)	RCP 8.5 2071-2100 10 persentil (figur 4.2)	RCP 8.5 2071-2100 90 persentil (figur 4.2)
26.26	Jogla	31	7	12	7	20	15	39
27.16	Bjordal	124	7	9	8	16	9	25
27.24	Helleland	186	9	14	12	27	19	43
27.26	Ogna v/Hetland	70	9	18	12	28	14	53
28.7	Haugland	140	10	17	13	27	17	49
35.16	Djupadalsvatn	45	13	12	15	15	6	54
41.1	Stordalsvatn	129	10	18	20	28	15	41
42.2	Djupevad	32	7	7	10	12	5	26
46.9	Fønnerdalsvatn	7	15	22	23	34	23	45
48.1	Sandvenvatn	468	15	21	18	37	25	65
48.5	Reinsnosvatn	120	13	18	16	33	22	61
50.1	Hølen	232	7	9	13	26	13	50
50.13	Bjoreio	263	-7	-16	-4	-13	-30	-2
55.4	Røykenes	50	8	13	10	18	3	28
62.5	Bulken (Vangsvatnet)	1094	14	14	17	35	26	59
62.10	Myrkdalsvatn	159	12	11	11	27	13	47
72.5	Brekke bru	267	15	22	22	44	26	59
73.27	Sula	30	13	11	18	31	12	67
75.23	Krokenelv	46	3	-2	2	-4	-20	17
76.5	Nigardsbrevatn	65	16	24	20	42	32	61
77.3	Sogndalsvatn	110	10	14	13	33	18	51

Nmr	Stasjonnavn	Areal (km <sup>2</sup> )	RCP 4.5 2031-2060 % endring (figur 3.5)	RCP 4.5 2071-2100 % endring (figur 3.6)	RCP 8.5 2031-2060 % endring (figur 3.5)	RCP 8.5 2071-2100 % endring (figur 3.6)	RCP 8.5 2071-2100 10 persentil (figur 4.2)	RCP 8.5 2071-2100 90 persentil (figur 4.2)
78.8	Bøyumselv	40	16	24	20	46	28	64
79.3	Nessedalselv	30	6	8	6	14	1	30
82.4	Nautsundvatn	219	7	5	9	17	3	33
83.2	Viksvatn	507	16	21	18	45	30	53
84.11	Hovefoss	235	7	7	7	18	2	35
86.12	Skjerdalselv	24	9	10	9	19	-1	30
87.3	Teita Bru	219	14	16	14	32	15	51
88.4	Lovatn	235	25	30	26	59	39	82
97.1	Fetvatn	89	15	21	18	26	4	57
98.4	Øye ndf.	139	9	8	9	16	-2	38
103.1	Storhølen	437	17	19	22	36	4	64
103.4	Horgheim	1099	18	22	21	37	19	64
104.23	Vistdal	66	12	14	13	20	-3	50
105.1	Osenelv v/Øren	138	12	15	13	20	-5	60
107.3	Farstad	24	9	15	12	22	3	41
109.9	Risefoss	744	6	9	9	17	4	45
109.42	Elverhøy Bru	2442	28	38	33	59	37	93
112.8	Rinna	91	19	20	19	29	8	52
122.9	Gaulfoss	3079	18	13	13	14	-3	34
122.11	Eggafoss	653	6	-1	2	-5	-16	14
123.31	Kjelstad	142	9	7	2	7	-6	22

Nmr	Stasjonnavn	Areal (km <sup>2</sup> )	RCP 4.5 2031-2060 % endring (figur 3.5)	RCP 4.5 2071-2100 % endring (figur 3.6)	RCP 8.5 2031-2060 % endring (figur 3.5)	RCP 8.5 2071-2100 % endring (figur 3.6)	RCP 8.5 2071-2100 10 persentil (figur 4.2)	RCP 8.5 2071-2100 90 persentil (figur 4.2)
124.2	Høggås Bru	495	1	7	1	11	-2	22
127.11	Veravatn	175	4	6	5	13	-6	26
127.13	Dillfoss	480	4	11	2	12	-5	26
133.7	Krinsvatn	207	8	11	10	14	6	28
138.1	Øyungen	239	9	11	8	17	4	32
139.15	Bjørnstad	1036	20	28	23	41	25	59
139.35	Trangen	854	6	8	7	18	5	36
148.2	Mevatnet	109	5	13	16	18	6	41
151.15	Nervoll	653	9	19	18	43	22	60
152.4	Fustvatn	526	11	20	19	30	16	42
156.10	Berget	211	21	30	25	47	26	71
156.19	Bredek	229	22	31	24	36	17	59
157.3	Vassvatn	17	18	23	23	37	16	54
162.3	Skarsvatn	146	16	19	15	24	9	49
163.5	Junkerdalselv	419	7	10	9	16	1	47
165.6	Strandå	24	19	27	19	36	7	58
168.2	Mørsvik Bru	31	23	27	25	33	16	65
173.8	Coarveij	64	6	2	9	3	-8	13
174.3	Øvstevatn	28	14	16	17	23	-3	56
191.2	Øvrevatn	526	11	15	13	20	-4	38
196.35	Malangsfoss	3114	-3	-8	-1	2	-20	38

<b>Nmr</b>	<b>Stasjonnavn</b>	<b>Areal (km<sup>2</sup>)</b>	<b>RCP 4.5 2031-2060 % endring (figur 3.5)</b>	<b>RCP 4.5 2071-2100 % endring (figur 3.6)</b>	<b>RCP 8.5 2031-2060 % endring (figur 3.5)</b>	<b>RCP 8.5 2071-2100 % endring (figur 3.6)</b>	<b>RCP 8.5 2071-2100 10 persentil (figur 4.2)</b>	<b>RCP 8.5 2071-2100 90 persentil (figur 4.2)</b>
200.4	Skogsfjordvatn	135	21	18	13	26	-5	47
206.3	Manndalen Bru	200	0	-7	0	-11	-33	14
208.3	Svartfossberget	1929	-15	-21	-14	-29	-40	-2
212.10	Masi	5626	-20	-29	-22	-48	-62	-8
212.49	Halsnes	145	-18	-23	-18	-30	-41	-6
223.2	Lombola	878	-17	-26	-18	-42	-54	-23
234.13	Vækkava	2078	-17	-25	-19	-32	-50	-5
234.18	Polmak nye	14157	-19	-29	-22	-38	-56	-10
241.1	Bergeby	248	-36	-45	-40	-54	-79	-38
247.3	Karpelva	138	-15	-18	-22	-23	-38	10
311.6	Nybergsund	4420	-7	-8	-5	-16	-33	12
311.460	Engeren	395	-4	-7	-2	-8	-28	20

## Vedlegg B – Anbefalte klimapåslag for flomsonekart

ID	Flomsone strekning	Flomsone navn	Vassdrag/elv	Anbefalt klimapåslag
<b>1 Østfold</b>				
fs002_21	Fredrikstad - Sarpsborg	Fredrikstad	Glommavassdraget	0
fs002_22	Sarpsfossen - oppstrøms	Sarpsborg	Glommavassdraget	0
fs003_01	Moss og Rygge	Moss	Mossvassdraget	20
<b>2 Akershus</b>				
fs002_16	Vorma ved Eidsvoll	Eidsvoll	Glommavassdraget	0
fs002_17	Øyeren ved Lillestrøm	Lillestrøm	Glommavassdraget	0
fs002_17	Nitelva ved Lillestrøm	Lillestrøm	Glommavassdraget	20
fs002_18	Sørumsand til Rånåsfoss	Sørumsand	Glommavassdraget	0
fs002_19	Glomma ved Årnes, Rånåsfoss-Funnefoss	Årnes	Glommavassdraget	0
fs002_20	Leira, Samløpet med Nitelva-Frogner	Leirsund og Frogner	Leira	20
fs002_37	Øyeren og Glomma ved Fetsund, ca 4 km	Fetsund	Glommavassdraget	0
fs002_38	Fjellhammerelva, Fjellhammer Brug - Strø	Fjellhamar	Sagelva	20
fs002_39	Nitelva, fra Rotnes til Hakadal	Nittedal	Nitelva	20
fs002_42	Ellingsrudelva, Langvannet-Ellingrudbru	Ellingsrudelva	Sagelva	20
fs008_1	Sandvika, Sandvikselva og Engavannet	Sandvika	Sandvikselva	20
fs008_2	Sanvikselva og Isiselva, Franzefoss - Sk	Vøyenenga	Sandvikselva	20
fs008_3	Lomma ved Bærumsverk, ca 1 km	Bærumsverk	Sandvikselva	20
fs009_1	Skitthegga, utløp Gjellumvannet - ca 4 k	Skitthegga	Årovassdraget	40
<b>3 Oslo</b>				
fs007_1	Sørkedalselva	Sørkedalselva	Lysakerelva	20
<b>4 Hedmark</b>				
fs002_1	Glomma, Funnefoss-Skarnes-Storsjøen-Kong	Skarnes	Glommavassdraget	0

<b>ID</b>	<b>Flomsone strekning</b>	<b>Flomsone navn</b>	<b>Vassdrag/elv</b>	<b>Anbefalt klimapåslag</b>
fs002_2	Glomma, Kongsvinger-Norfossen + Vingersj	Kongsvinger	Glomma/Vingersnoet	0
fs002_3	Glomma, Åsnes kommune	Flisa	Glomma	0
fs002_4	Glomma, Braskereidfoss-Heradsbygd-Strand	Elverum	Glomma	0
fs002_6	Glomma, Åsta-Rena ved Rena tettsted	Rena tettsted	Glomma/Rena	0
fs002_8	Glomma, Evenstad-Koppang	Koppang	Glomma	0
fs002_9	Glomma/Folla, Kveberg bru-Telneset	Alvdal og Tynset	Glommavassdraget	0
fs002_13	Rena/Mistra ved samløp	Åkrestrømmen	Rena/Mistra	0
fs002_24	Mjøsa ved Hamar, inkl. Åkersvika	Hamar	Vorma/Lågen	0
fs002_36	Glomma, Grue kommune	Kirkenær	Glomma	0
fs002_40	Glomma, Flisa-Braskereidfoss	Våler	Glommavassdraget	0
fs311_1	Trysilelva, Innbygda-Nybergsund	Trysil	Trysilelva	0
<b>5 Oppland</b>				
fs002_26	Mjøsa ved Lillehammer	Lillehammer	Vorma/Lågen	0
fs002_27	Mjøsa ved Gjøvik	Gjøvik	Vorma/Lågen	0
fs002_29	Lågen, Losna-Frya	Ringebu/Fåvang	Lågen	0
fs002_31	Lågen + Otta ved Otta tettsted	Otta	Otta/Lågen	20
fs002_32	Lågen ved Selsmyrene	Selsmyrene	Lågen	20
fs002_33	Finna (+ Otta) ved Vågåmo	Vågåmo	Otta/Finna	20
fs012_9	Vigga ved Brandbu og Gran, 1,5 + 1,5 km	Brandbu - Gran	Vigga	20
fs012_10	Dokka, Dokka sentrum	Dokka	Dokka/Etna/Randselva	0
fs012_12	Etna, Høljerast-Bruflat	Etnedalen	Etna	0
<b>6 Buskerud</b>				
fs011_1	Lierelva, utløpet-ca. 10 km	Kjellstad	Lierelva	20
fs012_1	Dramsleva, utløpet-Hellefoss	Drammen	Drammenselva	0
fs012_4	Storelva, Hønefoss sentrum ca 9 km	Hønefoss	Storelva	0
fs012_5	Hallingdalselv + Rukkedøla	Nesbyen	Hallingdalsvassdraget	20
fs012_6	Hallingdalselva ved Gol	Gol	Drammensvassdraget	0

<b>ID</b>	<b>Flomsone strekning</b>	<b>Flomsone navn</b>	<b>Vassdrag/elv</b>	<b>Anbefalt klimapåslag</b>
fs012_7	Hemsil ved Hemsedal	Hemsedal	Drammensvassdraget	<b>0</b>
fs012_14	Hemsil ved Tuv	Tuv	Drammensvassdraget	<b>0</b>
fs015_1	Numedalslågen ved Kongsberg	Kongsberg	Numedalslaagen	<b>20</b>
<b>7 Vestfold</b>				
<b>8 Telemark</b>				
fs016_1	Skienselva, utløp-Klosterfosse	Skien	Skienselva	<b>0</b>
fs016_3	Heddøla, utløpet-Melås	Tuven	Heddøla	<b>20</b>
fs016_4	Hjartdøla, Skogsåa - Kleppen, ca 1 km	Sauland	Skiensvassdraget	<b>20</b>
fs016_5	Måna, Tinnsjø-Rjukan	Rjukan	Skiensvassdraget	<b>0</b>
fs016_6	Flatdøla, Åse	Flatdal	Skiensvassdraget	<b>20</b>
fs016_7	Bygdaråi ved Seljord, ca 4 km	Seljord	Bygdaråi	<b>20</b>
fs016_8	Tokke, Dalen sentrum	Dalen	Tokkeåi	<b>0</b>
fs016_9	Eidselva og Norsjø ved Ulefoss, ca 2 km	Ulefoss	Skiensvassdraget	<b>0</b>
<b>9 Aust-Agder</b>				
fs019_1	Nidelva, Rygene-Froland krk	Rygene	Arendalsvassdraget	<b>20</b>
fs019_3	Nidelva, utløp-2 km	Arendal	Arendalsvassdraget	<b>20</b>
fs020_1	Tovdal ved Birkeland sentrum, ca 1 km	Flaksvatn	Tovdalsvassdraget	<b>20</b>
<b>10 Vest-Agder</b>				
fs021_1	Otra, ved Mosby, ca 2km	Mosby	Otra	<b>20</b>
fs022_1	Mandalselva ved utløpet	Mandal	Mandalselva	<b>20</b>
fs022_2	Mandalselva ved Øyslebø, ca 3km	Øyslebø	Mandalselva	<b>20</b>
fs022_3	Songdalselva/Søgneelva, utl.-Gjervoldsta	Søgne	Søgneelva	<b>20</b>
fs022_4	Lundeelva, utløp - 4 km	Lunde	Lundeelva	<b>20</b>
fs023_1	Audna, Konsmo sentrum-Helle	Konsmo	Audna	<b>20</b>
fs023_2	Audna, utløp - 4 km	Vigeland	Audna/Kyst Mandal By	<b>20</b>
fs025_1	Kvina, Liknes sentrum	Liknes	Litlåna/Kvina	<b>20</b>
fs025_2	Fedaelva, ved Feda ca 1,5 km	Feda	Fedavassdraget	<b>20</b>



<b>ID</b>	<b>Flomsone strekning</b>	<b>Flomsone navn</b>	<b>Vassdrag/elv</b>	<b>Anbefalt klimapåslag</b>
fs026_2	Sira, utløp fra <Sirdalsvatnet ca 2,5	Tonstad	Siravassdraget	<b>20</b>
<b>11 Rogaland</b>				
fs026_1	Moisåna, Moi sentrum-Hovsvatnet	Moi	Moisani	<b>20</b>
fs026_3	Sokndalselva, Hauge sentrum-Åmot	Hauge	Sokno	<b>20</b>
fs027_2	Bjerkreimsvatnet, Svelavatn Vikeså sentr	Vikeså	Bjerkreimvassdraget	<b>20</b>
fs027_3	Ogna, utløpet - ca 2 km	Ogna	Ognaåni	<b>20</b>
fs027_4	Hellelandselva	Egersund	Bjerkreimvassdraget	<b>20</b>
fs028_1	Figgjoelva, fra Edlandsvatnet til Foss E	Ålgård	Figgjo	<b>20</b>
fs030_1	Oltedalselva, Oltedal sentrum	Oltedal	Oltedalselva	<b>20</b>
fs033_1	Årdalselva, Utløpet - ca 2 km	Årdal	Årdalselva	<b>20</b>
fs033_2	Melsåna ved Årdal	Melsåna	Melsåna	<b>20</b>
fs037_1	Storelva + Åbøelva, Sauda sentrum	Sauda	Saudavassdraget	<b>20</b>
<b>12 Hordaland</b>				
fs041_1	Etneelva og Prestegårdsbekken ved Etne	Etne	Etnevassdraget	<b>20</b>
fs050_1	Eidfjord og Øvre Eidfjord, ca 5km	Eidfjord	Eidfjordvassdraget	<b>20</b>
fs052_1	Øysteseelvi, utløpet til ca 2 km	Øystese	Øysteseelvi	<b>20</b>
fs055_1	Oselva, utløpet til ca 3.5 km	Os	Oselva	<b>20</b>
fs056_1	Nesttunvassdraget, ca 5 km	Nesttun	Bergen og omegn	<b>20</b>
fs056_2	Apeltunvassdraget, ca 1 km	Apeltun	Bergen og omegn	<b>40</b>
fs061_1	Bergsdalsvassdraget, Dale - ca 4 km	Dale	Bergdalsvassdraget	<b>20</b>
fs062_1	Vosso + Vangsvatnet ved Voss	Voss	Vossovassdraget	<b>40</b>
<b>14 Sogn og Fjordane</b>				
fs070_1	Vikja, utløpet - ca 3km	Viksøyri	Vikvassdraget	<b>20</b>
fs073_1	Lærdalselv v/Lærdalsøyri	Lærdal	Lærdalsvassdraget	<b>20</b>
fs074_1	Utle og Tya, ca 4 km	Øvre-Årdal	Årdalsvassdraget	<b>20</b>
fs076_1	Jostedøla ved Gaupne	Gaupne	Jostedøla	<b>20</b>
fs076_2	Jostedøla ved Myklemyr og Fossøy	Myklemyr og Fossøy	Jostedøla	<b>20</b>

<b>ID</b>	<b>Flomsone strekning</b>	<b>Flomsone navn</b>	<b>Vassdrag/elv</b>	<b>Anbefalt klimapåslag</b>
fs076_3	Jostedøla ved Myklemyr og Fossøy	Myklemyr og Fossøy	Jostedøla	20
fs077_1	Sogndalselvi v/sogndal, ca 2 km	Sogndal	Sogndalselvi	20
fs079_1	Daleelv, utløpet - ca 4 km	Høyanger	Daleelva	40
fs083_1	Gaula ved Sande	Sande	Gaularsvassdraget	40
fs084_1	Jølstra og Anga ved Førde	Førde og Angedalen	Jølstra	20
fs084_3	Nausta fra sjøen ca. 2 km	Naustdal	Jølstra	20
fs088_1	Stryneelv, utløp - ca. 6 km	Stryn	Strynevassdraget	40
fs088_3	Hjelledøla, fra Hjelle til Folven	Hjelle	Strynevassdraget	20
fs089_1	Eidselva, utløp - ca 3 km	Nordfjordeid	Hornindalsvassdraget	20
fs089_2	Horndøla ved Grodås	Grodås	Horndøla	20
<b>15 Møre og Romsdal</b>				
fs095_1	Follestadelv/Ørstaelv ved Ørsta ca 4,5 k	Ørsta	Ørstavassdraget/Rossåa	20
fs097_1	Bondalselv, utløpet - ca 3 km	Bondalen	Bondalselva	20
fs097_2	Aureelv, utløpet - ca 3 km	Sykkylven	Aureelva	20
fs100_2	Valldøla, utløpet - ca 1 km	Sylte	Valldøla	20
fs101_1	Spjelkavikelv, ca 1km	Spjelkavik	Spjelkavikelva	20
fs103_1	Åndalsnes (Rauma/Soge)	Rauma	Rauma	40
fs103_1	Åndalsnes (Rauma/Soge)	Rauma	Istra	20
fs105_1	Moldeelva, Molde sentrum	Molde	Moldeelva	20
fs108_1	Batnfjordelv, ca 2 km	Batnfjordsøra	Batnfjordelva	20
fs109_1	Driva, utløpet-inkl. nedre del Grøa	Sunnalsøra	Driva	40
fs112_1	Surna, utløpet - Bolme, ca 20 km	Surnadal	Surna	20
<b>16 Sør-Trøndelag</b>				
fs121_1	Orkla, utløpet til ca 18 km	Orkanger	Orkla	0
fs121_2	Orkla ved Meldal sentrum, ca 15 km	Meldal	Orkla	0
fs121_3	Gjølme, Skjenaldelva utløp ca 2 km	Gjølme	Skjenaldelva	20
fs122_1	Gaula, fra Gaulosen - Gaulfossen, ca 30	Melhus	Gaula	20

<b>ID</b>	<b>Flomsone strekning</b>	<b>Flomsone navn</b>	<b>Vassdrag/elv</b>	<b>Anbefalt klimapåslag</b>
fs122_2	Gaula, Gaulfossen - Sokna, ca 10 km	Støren	Gaula/Sokna	<b>20</b>
fs122_3	Gaula ved Kotsøy, ca 2 km	Kotsøy	Gaula	<b>20</b>
fs122_4	Ålenselva ca. 3.6 km	Ålen	Gaula	<b>20</b>
fs123_1	Selbusjøen + Nea opp til Enjgjardet	Selbu	Nea	<b>0</b>
fs123_2	Nidelva fra utløpet til Sluppe bru, ca 8	Trondheim	Nidelva	<b>0</b>
<b>17 Nord-Trøndelag</b>				
fs124_1	Stjørdalselva, utløpet - Hegra, ca 14 km	Hell	Stjørdalsvassdraget	<b>0</b>
fs126_1	Levanger	Levanger	Verdalsvassdraget	<b>20</b>
fs127_1	Verdalselva, Øra-Vuku	Verdalsøra	Verdalsvassdraget	<b>0</b>
fs128_1	Steinkjer	Steinkjer	Snåsavassdraget	<b>20</b>
fs139_1	Namsen ved Namsos	Namsos	Namsen	<b>20</b>
fs139_2	Namsen ved Grong	Grong	Namsen	<b>20</b>
fs139_3	Namsen, mellom Namsos og Grong	Overhalla	Namsen	<b>20</b>
<b>18 Nordland</b>				
fs151_1	Vefsna og Skjerva ved Mosjøen, ca 2*5 km	Mosjøen	Vefsna	<b>40</b>
fs151_2	Vefsna ved Trofors og Grane, ca 10 km	Trofors-Grane	Vefsna	<b>40</b>
fs151_3	Austervefsna ved Hattfjelldal, ca 3 km	Hattfjelldal	Vefsna	<b>40</b>
fs155_1	Røssåga, Korgen - utløpet, ca 14 km	Korgen	Røssåga	<b>40</b>
fs156_2	Ranaelv, Røssvoll - Skonseng, ca 3 km	Røssvoll	Ranavassdraget	<b>40</b>
fs161_1	Beiarelva, Storjord - utløpet, ca 8 km	Beiarn	Beiarelva	<b>20</b>
fs162_1	Lakselv i Misvær, ca 2 km	Misvær	Skjerstad	<b>20</b>
fs163_1	Saltdalselv ved Rognan	Rognan	Saltdalselv	<b>20</b>
fs163_2	Saltdalselv ved Røkland med Eveneselv	Røkland	Saltdalselv	<b>20</b>
<b>19 Troms</b>				
fs196_1	Målselva ved Moen-Olsborg	Moen	Målselva	<b>0</b>
fs196_2	Målselva ved Rundhaug	Rundhaug	Målselva	<b>0</b>
fs196_3	Målselva ved Øverbygd	Øverbygd	Målselva	<b>0</b>

<b>ID</b>	<b>Flomsone strekning</b>	<b>Flomsone navn</b>	<b>Vassdrag/elv</b>	<b>Anbefalt klimapåslag</b>
fs196_5	Måselva ved Karlstad	Karlstad	Måselva	<b>0</b>
fs199_1	Tromsdalselva, utløp - 1,7 km	Tromsdalen	Tromsdalelva	<b>20</b>
fs208_1	Reisaelva, nedre del+Kildalselv	Storslett	Reisavassdraget	<b>0</b>
<b>20 Finnmark</b>				
fs212_1	Alta-/Eibyelva, samløp og utløp	Alta og Eiby	Altavassdraget	<b>0</b>
fs212_3	Altaelva ved Masi	Masi	Altavassdraget	<b>0</b>
fs212_5	Kautokeinoelva, Kautokeino	Kautokeino	Altavassdraget	<b>0</b>
fs234_1	Tana, Rustefjelbma-Bonakas	Bonakas	Tana	<b>0</b>
fs234_2	Tana, Luftjok-Seida	Seida	Tana	<b>0</b>
fs234_3	Tana, Polmak/Alleknjarg	Polmak	Tana	<b>0</b>
fs234_4	Karasjokka, Karasjok	Karasjok	Karasjokka	<b>0</b>
fs244_1	Neidenelva, Skoltefossen	Skoltefossen	Neidenvassdraget	<b>0</b>



Norges  
vassdrags- og  
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29  
Postboks 5091 Majorstuen  
0301 Oslo

Telefon: 09575  
Internett: [www.nve.no](http://www.nve.no)

