Klimaendring og damsikkerhet:

En pilotstudie av 24 dammer

Deborah Lawrence, Erik Holmqvist, Grethe Holm Midttømme

89
2014

RAPPORT

Klimaendring og damsikkerhet: En pilotstudie av 24 dammer

Norges vassdrags- og energidirektorat
2015

Rapport nr 89 - 2014

Klimaendring og damsikkerhet: En pilotstudie av 24 dammer

Forfattere: Deborah Lawrence, Erik Holmqvist, Grethe Holm Midttømme

Trykk: NVEs hustrykkeri
Opplag: 50
Forsidefoto: Fundin, Kilde: NVE
ISSN: 1501-2832

ISBN: 978-82-410-1038-5

Sammendrag: Denne rapporten presenterer resultatene fra en pilotstudie av betydningen av økt ekstremnedbør i et fremtidig klima for flomberegninger utført med nedbør-avløpsmodellen PQRUT. Estimater for ekstremnedbør basert på seks klimafremskrivninger er brukt som inndata for modellen, og den beregnede tilløpsflommen er rutet gjennom magasinet for 24 dammer fra ulike deler av landet. Resultatene er sammenliknet med PQRUT-beregninger der dagens tilløpsflom er gitt et påslag på 20%. I de fleste tilfellene samsvarer resultatene ganske bra. Det er likevel mye usikkerhet rundt estimater av ekstremnedbør basert på klimafremskrivninger, og det er derfor behov for videre studier av dette. Dagens praksis med å vurdere klimaendringers effekt bare på dimensjonerende flom og tilhørende dimensjonerende flomvannstand (ikke på Q_{PMF} /ulykkesflom), bør videreføres inntil nye forskningsresultater foreligger.

Emneord: Klimaendring, flomberegninger, damsikkerhet, PQRUT, ekstremnedbør, dimensjonerende flom, ulykkesflom

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

Innhold

Forord **4**

Sammendrag **5**

1 Innledning **6**

2 Utvalg av dammer **6**

3 Metoder **8**

3.1 Nedbør-avløpsmodell 8
3.2 Ekstremnedbør i dagens- og fremtidens klima 9
3.3 Flomsesong og bidrag fra snøsmelting 10
3.4 Ruting gjennom magasin 12

4 Resultater **13**

4.1 Sammenligning med tidligere beregninger 13
4.2 Fremskrivninger for ekstremnedbør 16
4.3 Betydning av økt ekstremnedbør for vannstand i magasin 19
4.4 Sammenligning med 20 % økning i tilløpsflom 21

5 Oppsummering og diskusjon **22**

6 Anbefalinger **24**

7 Referanser **25**

Vedlegg A **26**

Forord

Normalt benyttes en nedbør-avløpsmetode, PQRUT, for å beregne påregnelig maksimal flom, Q_{PMF}, som kreves for dammer i konsekvensklasse 3 og 4 (dammer med størst bruddkonsekvenser). Metoden benytter estimater for ekstremnedbør for nedbørfeltet til et gitt magasin. I denne rapporten er betydning av økt ekstremnedbør i et fremtidig klima for beregninger med PQRUT vurdert med eksempler fra 24 dammer. Studiet er finansiert av et internt FoU-prosjekt *Klimaendring og fremtidige flommer* i perioden 2011-2014.

Oslo, desember 2014

Morten Johnsrud
avdelingsdirektør

Hege Hisdal
seksjonssjef

Sammendrag

Resultater av hydrologiske fremskrivninger for flom i et endret klima har tidligere blitt publisert (Lawrence og Hisdal, 2011), og de danner grunnlaget for anbefalinger for klimatilpasning med hensyn til flomberegninger basert på flomfrekvensanalyser, for eksempel for dimensjonerende flom for dammer (Midttømme, m.fl. 2011). Det er ikke avklart om/hvordan slike anbefalinger kan brukes når beregningsmetoden er den hendelsesbaserte nedbør-avløpsmodellen PQRUT. Modellen anvendes særlig i forbindelse med beregninger av påregnelig maksimal flom (Q_{PMF}), som er definert som kontrollflom for sikkerhet mot dambrudd (også kalt ulykkesflom) for dammer i konsekvensklasse 3 og 4. I noen tilfeller benyttes også PQRUT for beregning av dimensjonerende flom, og/eller man benytter Q_{PMF} som ulykkesflom også i konsekvensklasse 1 og 2. Det betyr at relativt mange flomberegninger gjennomføres med bruk av PQRUT. På grunn av dette har en pilotstudie blitt gjennomført der betydning av økt ekstremnedbør i et endret klima er vurdert for flomberegninger basert på PQRUT. Grunnlaget for studien er 24 dammer fordelt over hele landet, og de fleste er dammer i konsekvensklasse 3 eller 4.

Engen Skaugen og Førland (2011) har estimert arealverdier for ekstremnedbør fra gridbasert nedbør for nedbørfeltene til de 24 dammene. Verdiene er estimert både for observert nedbør og for seks klimafremskrivninger for en kontrollperiode (1961-1990) og en framtidsperiode (2071-2100). Verdiene ble brukt som inndata til PQRUT for hver dam, og endringer i stigning over HRV i magasinet ble vurdert. Resultatene ble også sammenlignet med stigning over HRV estimert med et 20% 'klimapåslag' lagt til hele tilløpsflommen. I de fleste tilfellene (16 av 21) gir et 20% påslag på hele tilløpsflommen en litt høyere økning i vannstandsstigning enn vannstandsstigning beregnet fra den største økningen i ekstremnedbør for et gitt nedbørfelt. I andre tilfeller var økning basert på ekstremnedbør litt høyere.

Det er mye usikkerhet knyttet til analysene med PQRUT basert på fremskrivninger for ekstremnedbør. Dette skyldes, bl.a.: 1) metodikk brukt for å estimere ekstremnedbør; 2) pålitelighet av ekstremnedbørverdiene tolket fra klimamodeller; og 3) mulige endringer i flomsesong og bidrag fra snøsmelting som ikke er tatt med i denne analysen. Med hensyn til det siste er det vanskelig å ta høyde for endringer i forhold som fører til Q_{PMF} på en systematisk måte med en hendelsesbasert modell (som PQRUT), og det er et behov for videre arbeid på dette. Videre ser det ut til at dagens praksis med å vurdere klimaendringers effekt bare på dimensjonerende flom og tilhørende dimensjonerende flomvannstand (ikke på Q_{PMF} /ulykkesflom), bør videreføres inntil nye forskningsresultater foreligger.

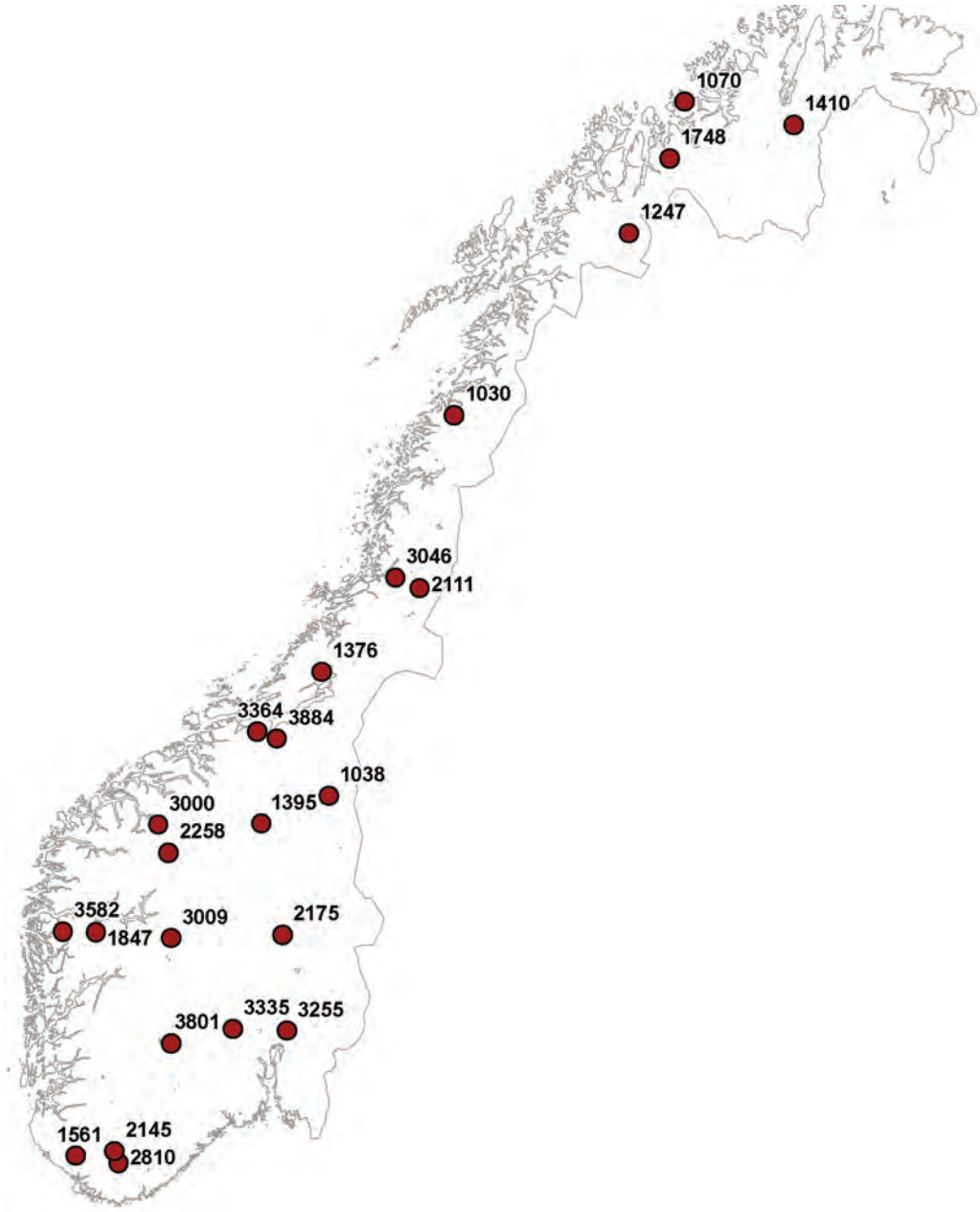
1 Innledning

Klimafremskrivninger for Norge tyder på økninger i nedbørmengde og -intensitet som vil føre til økt maksimal vannføring mange steder i Norge. Hydrologiske fremskrivninger har blitt brukt til å dele Norge inn i forskjellige regioner: 1) hvor en økning i flomstørrelse er forventet på grunn av økt nedbør, og 2) hvor ingen endring eller en reduksjon er forventet (Lawrence og Hisdal, 2011). For alle mindre nedbørfelt (dvs. mindre enn 100 km^2), uavhengig av region, er det i tillegg forventet en økning i flomstørrelse som en direkte konsekvens av økningen i nedbørintensitet. På grunn av dette har NVE utviklet en klimatilpasningsstrategi for flom som benyttes med hensyn til flomsonekartlegging, (Hamarsland, m.fl., 2010) der tre inndelinger (0%, 20% og 40%) er brukt for å ta høyde for forventede endringer i maksimal vannføring. Tilsvarende er det gitt anbefalinger om å vurdere effekter av klimaendring i forbindelse med flomberegninger for damsikkerhet (Midttømme m.fl., 2011).

To metoder er tilgjengelige for å beregne tilløpsflom for vurdering av damsikkerhet: 1) flomfrekvensmetode basert på observerte tidsserier; og 2) nedbør-avløpsmetode der en bestemt ekstremnedbørsekvens er brukt som inndata for en hydrologisk modell for nedbørfeltet til dammen. For beregning av påregnelig maksimal flom, Q_{PMF}, som kreves for dammer i konsekvensklasse 3 og 4 (dammer med størst bruddkonsekvenser), er nedbør-avløpsmetoden den eneste metoden som er aktuell. Inndelingen i regioner som angir endringer i flommer i et framtidig klima kan brukes både for flomberegninger til flomsonekartlegging og damsikkerhet, men gjelder primært for flomberegninger der flomfrekvensmetoden er benyttet. Per i dag skilles det ikke på valg av beregningsmetode når det gis anbefalinger om klimatillegg på beregning av dimensjonerende flom for dammer. Det er derfor av interesse å studere betydningen av klimaendringer for flomberegninger basert på nedbør-avløpsmetoden, og det er dette som har vært hovedfokus i pilotstudien som beskrives i denne rapporten.

2 Utvalg av dammer

I pilotstudien er 24 eksisterende dammer med tidligere gjennomførte flomberegninger brukt som grunnlag. To hovedprinsipper har styrt valget av dammene. Først og fremst var det viktig å ta med dammer fra ulike deler av landet på grunn av regionale forskjeller i forventede effekter av klimaendring. Det var også ønskelig at de eksisterende flomberegningene (uten klimatillegg), som måtte reproduseres for hver enkelt dam, ikke var for tidkrevende. Det betydde at dammer med kompliserte sammensatte felt, og/eller flere regulerte magasiner oppstrøms, ble unngått. NVEs fire regionkonterer ble bedt om å foreslå mulige dammer som egnet seg for pilotstudien. Det endelige utvalget av 24 dammer er vist i Figur 1, og damnavn, ID-nummer i NVEs damdatabase og dammens konsekvensklasse finnes i tabell 1.



Figur 1. Beliggenhet av dammer brukt i pilotstudien

Tabell 1. Damnummer, navn, klasse og areal på nedbørfelt for de 24 dammene brukt i pilotstudien.

Dam nr	Dam navn	Dam klasse	Areal (km^2)
1030	Arstaddalen	3	66
1070	Bergsfjordvatn	2	15.5
1247	Devdisvatn	2	251
1038	Aursunden	2	830
1376	Follavatn	3	251
1395	Fundin	3	252
1410	Gaggavatn	2	513
1561	Haukland-Stemmevatn	3	15
1748	Kildalen	2	158
1847	Kvilesteinsvatn	3	21
2111	Namsvatn	3	700
2145	Skjerkevatn	3	198
2175	Nord Mesna	4	219
2258	Raudalsvatn	4	147
2810	Tungefoss	3	1110
3000	Zakariasvatn	3	181
3009	Øljusjøen	3	40
3046	Øvre Ringvatn	0	13
3255	Ørfiske	3	13
3335	Soneren	2	590
3364	Våvatn	3	38
3582	Hommelvatn	1	60
3801	Møsvatn	3	1509
3884	Djupsjøen	1	3

3 Metoder

3.1 Nedbør-avløpsmodell

Analysene i pilotstudien er basert på nedbør-avløpsmetoden og den enkle flommodellen PQRUT der de tre parameterne som beskriver flomforløp er estimert med bruk av empiriske ligninger (tabell 5.3, Midttømme m. fl., 2011) utviklet av Andersen m.fl. (1983). Ligningene for modellparametrene er

$$K_1 = 0{,}0135 + 0{,}00268\, H_L - 0{,}01665 \ln A_{SE}$$

$$K_2 = 0{,}009 + 0{,}21\, K_1 - 0{,}00021\, H_L$$

$$T = -9{,}0 + 4{,}4\, K_1^{-0{,}6} + 0{,}28\, q_N$$

der H_L [m/km] er relieff-forholdet (defineres som H_{50}/L_f, der H_{50} er høydeforskjell mellom 25- og 75- % passasjen på feltets hypsografiske kurve og L_f er feltaksens lengde), A_{SE} er effektiv sjøprosent [%], og q_N er midlere spesifikt årsavløp [l/s/km^2]. Modellen kjøres vanligvis med tidskritt på 1 time, men for store nedbørfelt med lengre konsentrasjonstider er tidsskritt på 4-6 timer brukt. PQRUT er en hendelsesbasert modell som betyr at flomvarighet også må spesifiseres i forhold til både nedbørfeltstørrelsen og magasinstørrelsen.

I denne studien har vi benyttet de tidligere flomberegningene for dammene som grunnlag for våre nye beregninger, så flomvarigheten som ble brukt i den opprinnelige beregningen ble også brukt her. På liknende måte ble det tatt utgangspunkt i PQRUT-parametrene fra de opprinnelige flomberegningsrapportene. Disse ble kontrollert mot parametre beregnet fra feltegenskaper hentet fra NVEs Lavvannskartverktøy for hvert nedbørfelt. Avvikene som fantes var små, så derfor var parametrene fra rapportene brukt. I noen tilfeller var parametrene ikke rapportert, og da var parametrene beregnet fra feltegenskaper. I prinsippet vil verdier for q_n endres i et framtidig klima, men på grunn av at parameteren T er svært lite følsom, for eksempel for en 20 % økning i q_n, har vi brukt samme verdi for T for både dagens og framtidens klima. For å vurdere betydning av klimaendringseffekter på avrenningsprosesser i et gitt nedbørfelt, må man anvende en full hydrologisk modell som for eksempel HBV, jf. Lawrence og Hisdal (2011).

Nedbørfeltene til Aursunden (1038) og Møsvatn (3801) er ganske store og dermed ikke egnet for PQRUT-beregninger, men de er likevel inkludert i studien. Den tidligere beregningen for Aursunden er basert på flomforløpet i juni/mai 1995, og verdiene er skalert med grunnlag i flomfrekvensanalyser. For Møsvatn ble HBV-modellen brukt i den opprinnelige flomberegninger. For disse to dammene har vi derfor bare sett på betydning av en 20% økning i dagens tilløpsflom (dvs. det som er rapportert i flomberegningen) for avløpet fra magasinet. For Tungefoss (2810) ble PQRUT bare brukt for å vurdere mulige endringer i tilløpsflommen. Den er likevel ikke brukt videre for å beregne avløpsflom på grunn av flere oppstrøms magasiner som gjør en slik beregning ganske tidskrevende. For avløpsflommen er det bare brukt en 20 % økning i dagens tilløpsflom til Tungefoss i likhet med Møsvatn.

3.2 Ekstremnedbør i dagens- og fremtidens klima

Nedbørdata til bruk i PQRUT kommer vanligvis fra verdier beregnet for forskjellige gjentaksintervaller (opp til påregnelig maksimal nedbør, dvs. PMP) og varigheter (fra 1 til 480 timer) av Meteorologisk institutt (MET). Metodikken er basert på den såkalte NERC-metoden (NERC, 1975; Førland, 1992) der 1-døgnsnedbør med fem års returverdi, dvs. M5 er grunnlag for skalering av høyere gjentaksintervaller og PMP. Fem års returverdi er estimert ved bruk av en 2-parameter Gumbel-fordeling, og skalering til høyere gjentaksintervaller er basert på empiriske ligninger. De estimerte nedbørverdiene er beregnet som representative punktverdier for nedbørfelt og må omregnes til arealverdier ved hjelp av en arealreduksjonsfaktor som også avhenger av varighet.

I de siste årene har MET også undersøkt bruk av gridbasert arealnedbør med 1 x 1 km romlig oppløsning som grunnlag for beregninger (f.eks. Alfnes, 2007). Verdiene som brukes for inndata til PQRUT i dette pilotstudien ble beregnet av MET (Engen Skaugen og Førland, 2011) fra gridbasert arealnedbør for nedbørfeltene til de 24 dammene. Noen

små avvik mellom nedbørdata (inndata) som er brukt her, og det som ble brukt i de opprinnelige beregningene, er derfor forventet.

For å vurdere effekten av klimaendringer på ekstremnedbørverdier i framtiden har Engen Skaugen og Førland (2011) også beregnet gridbaserte verdier fra klimafremskrivninger for de 24 nedbørfeltene. Seks fremskrivninger for framtidsperioden 2071-2099/2100 var tilgjengelige (tabell 2), og disse kommer fra 3 forskjellige globale klimamodeller (GCM), HadAM3H, ECHAM4/5, og BCM kjørt under forskjellige utslippscenarier (A2, B2 og A1B). Fremskrivningene er også dynamisk nedskalert ved bruk av ulike regionale klimamodeller (RCM), HIRHAM4, HIRHAM5 og RCAO, med romlig oppløsning på ca. 55 x 55 km^2 eller ca. 25 x 25 km^2. RCM-fremskrivningene ble videre interpolert til 1 x 1 km og korrigert i forhold til gridbasert arealnedbør beregnet fra observerte nedbørdata. Korrigeringen var gjort med 'Empirical Adjustment'-metoden (Engen-Skaugen, 2007) som tilpasser månedlige gjennomsnitt og standardavvik for nedbørdata fra klimafremskrivninger for å få bedre overenstemmelse med observerte verdier.

Ekstremnedbørverdier ble så beregnet av Engen Skaugen og Førland (2011) for de korrigerte gridbaserte klimafremskrivningene for de 24 nedbørfeltene på samme måten som beskrives i Alfnes (2007) for gridbasert arealnedbør. Verdiene fra fremskrivningene som brukes her var beregnet for to perioder, 1961-1990 som en kontrollperiode og 2071-2099 eller 2100 som en framtidsperiode. Effekt av endringer i ekstremnedbør er tolket fra en sammenligning av resultatene av flomberegninger basert på ekstremnedbørverdier for de to periodene.

Tabell 2 – Fremskrivninger brukt for å beregne endringer i ekstremnedbør fra kontrollperiode (1961-1990) til framtidsperiode (2071-2100). GCM – Global klimamodell; RCM – Regional klimamodell

GCM	RCM	SRES utslipp scenario	Romlig oppløsning (km)
HadAM3H	HIRHAM4	A2	55 x 55
HadAM3H	HIRHAM4	B2	55 x 55
ECHAM4	HIRHAM4	B2	55 x 55
ECHAM4	HIRHAM4	B2	25 x 25
ECHAM5	HIRHAM5	A1B	25 x 25
BCM	RCAO	A1B	25 x 25

3.3 Flomsesong og bidrag fra snøsmelting

Tabell 3 gir en oversikt over valgt ulykkesflom og flomsesong som lå til grunn for PQRUT-kjøringer i de opprinnelige flomberegningene for dammene. De fleste dammene tilhører konsekvensklasse 3 eller 4, og dermed er Q_{PMF} definert som kontrollflom for dammens sikkerhet mot brudd (ulykkesflom). Q_{PMF} har også blitt brukt som ulykkesflom for dammer som tilhører klasse 2. I andre tilfeller er ulykkesflommen satt til 1,5 ganger dimensjonerende flom (Q_{500} eller Q_{1000}, avhengig av konsekvensklasse for dammen), i henhold til kravene i retningslinjer for damsikkerhet (dvs. Midttømme, m.fl., 2011).

Tabell 3. Ulykkesflom (kontrollflom), flomsesong og bidrag fra snøsmelting brukt i den opprinnelige flomberegningen (MAM – mars, april, mai; JJA – juni, juli, august; SON – september, oktober, november; AAR – årlig verdier brukt istedenfor sesongverdier)

Damnr	Damnavn	Ulykkesflom	Flomsesong	Snøsmelting (mm/d)
1030	Arstaddalen	Q_{PMF}	SON	37.5
1038	Aursunden	Q_{1000}*1.5	--[1]	--
1070	Bergsfjordvatn	Q_{PMF}	SON	50
1247	Devdisvatn	Q_{PMF}	JJA	32
1376	Follavatn	Q_{PMF}	AAR	32
1395	Fundin	Q_{PMF}	AAR	50
1410	Gaggavatn	Q_{PMF}	SON	24
1561	Haukland-Stemmevatn	Q_{PMF}	SON	32
1748	Kildalen	Q_{PMF}	JJA[2]	0
1847	Kvilesteinsvatn	Q_{PMF}	SON	32
2111	Namsvatn	Q_{PMF}	JJA	55
2145	Skjerkevatn	Q_{PMF}	SON	45[3]
2175	Nord Mesna	Q_{PMF}	AAR	32
2258	Raudalsvatn	Q_{PMF}	SON	0
2810	Tungefoss	Q_{PMF}	SON	44[3]
3000	Zakariasvatn	Q_{PMF}	MAM	40
3009	Øljusjøen	Q_{PMF}	MAM	30
3046	Øvre Ringvatn	Q_{500}	AAR	25
3255	Ørfiske	Q_{PMF}	SON	33
3335	Soneren	Q_{500}*1.5	SON	0
3364	Våvatn	Q_{PMF}	AAR	40
3582	Hommelvatn	Q_{1000}*1.5	AAR	45
3801	Møsvatn	Q_{PMF}	--[4]	--
3884	Djupsjøen	Q_{500}	AAR	0

[1]Tilløpsflommen har flomforløp basert på 1995 mai/juni flommen med verdier justert basert på statistisk flomfrekvensanalyse for Q_{1000} i den opprinnelige beregningen

[2]Verdiene for JJA var brukt uten snøsmelting istedenfor SON med snøsmelting i den opprinnelige beregningen

[3]Bidrag fra snøsmelting avtar etter det første døgnet på grunn av begrenset snømagasinering om høsten

[4]Tilløpsflommen har flomforløp basert på 1967 vårflommen med døgnverdier beregnet med HBV og fordelt over 6 timer i den opprinnelige beregningen

For å se på betydningen av klimaendring har samme sesong som ble brukt i den opprinnelige flomberegningen også blitt brukt for PQRUT-simulering for kontrollperioden 1961-1900, og for framtidsperioden 2071-2100, der årlige verdier ikke var brukt i den opprinnelige beregningen (tabell 3). Grunnen for dette er at det ikke er mulig å tolke endringen i flomsesongen uten også å vurdere endringer i temperatur og betydning for snøsmelting, og dette var ikke blitt gjort for dette pilotstudien. Forholdstallet mellom sesongverdier og årsverdier endret seg lite fra kontroll- til framtidsperiode, noe som kan ha en sammenheng med metoden som var brukt for å estimere ekstremnedbør. Dette er diskutert videre i kapittel 5 (Oppsummering og diskusjon) og kapittel 6 (Anbefalinger) senere i rapporten.

De fleste flomberegningene gjelder nedbørfelt som er utsatt for ekstremflommer som skyldes en kombinasjon av ekstremnedbør og snøsmelting i dagens klima. Verdiene som ble brukt i de opprinnelige flomberegningene for bidraget fra snøsmelting til tilløpsflommen er også vist i tabell 3. Det er mye variasjon mellom verdiene, og det gjenspeiler forskjeller i flomsesong, beliggenhet i forhold til kysten og middelhøyde av nedbørfeltet. I tillegg er det en del skjønn som brukes til å fastsette verdiene. I noen tilfeller er ganske høye (dvs. konservative) verdier brukt, mens i andre tilfeller er det beregnet i tett samsvar med den anbefalte estimeringsmetoden som finnes i retningslinjene. Derfor er det vanskelig å ta høyde for mulige endringer i bidraget fra snøsmelting i framtiden i denne vurderingen. Det kan hende at sannsynlighet av en gitt verdi for snøsmelting er mindre i framtiden, men det kan også i noen tilfeller bli større på grunn av økt temperatur, særlig i mindre, høytliggende nedbørfelt. Bidraget fra snøsmelting til tilløpsflommen i framtidens klima er derfor forutsatt å bli likt det som ble brukt for beregning i dagens klima (tabell 3). Fokuset i dette pilotstudien er dermed bare på betydning av mulige endringer i ekstremnedbør.

3.4 Ruting gjennom magasin

Tilløpsflommen beregnet med PQRUT, både for ekstremnedbør estimert fra observerte data og for ekstremnedbør estimert for kontroll- og fremtidsperioder fra klimafremskrivninger (tabell 2), ble rutet gjennom magasinet til dammen. Kapasitetskurven (vannføringskurven/avløpskurven) for dammenes flomløp, fra den opprinnelige flomberegningsrapporten, ble benyttet for ruting gjennom magasinet etter at kurven var omregnet til standard format for PQRUT, dvs.

$$Q_{avl} = c * L * (h - h_0)^n + konst$$

Magasinkurvene som ble brukt i de opprinnelige beregningene ble også brukt her. Startvannstand for alle beregninger, for både dagens og framtidens klima, var HRV, med unntak av Møsvatn (1038) der startvannstand for flomberegningen er 2.3 m under HRV.

4 Resultater

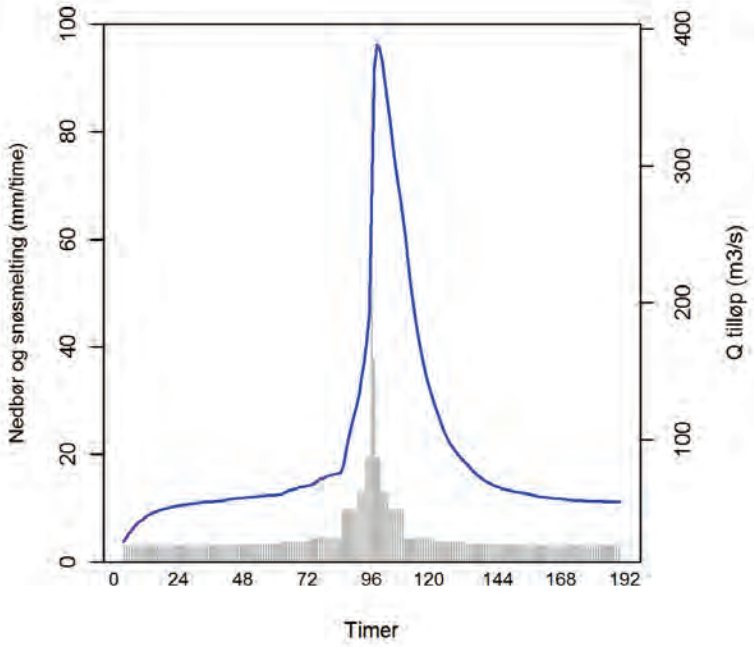
4.1 Sammenligning med tidligere beregninger

Flomberegningene for de første 20 dammene nevnt i tabell 1-3 var gjort på nytt med metodene og inndata beskrevet i kapittel 3 (Metoder). Tabell 4 viser vannstandsstigning over HRV for både 1) den opprinnelige beregningen; og 2) den nye som er basert på ekstremnedbør estimert fra gridbasert nedbør for perioden 1961-1990. I de fleste tilfellene er verdiene ganske like og uten systematisk bias, dvs. noen er litt mindre og noen er litt høyere. Unntak er 1) Fundin (1395); 2) Gaggavatn (1410); 3) Haukland-Stemmevatn (1561); 3) Skjerkevatn (2145) og 4) Soneren (3335). Av disse er det bare forskjellene i beregningene for Gaggavatn, i Finnmark, som skyldes forskjeller i nedbørverdier. Her er gridbasert arealverdier for nedbør 15-31% høyere enn de som ble brukt i den opprinnelige beregningen for varigheter mellom 2 og 24 timer. Verdiene for varigheter > 24 timer er ganske like. I nedbørfeltene til Fundin, Haukland-Stemmevatn, og Skjerkevatn finnes det mindre magasiner oppstrøms som ikke ble tatt hensyn til i de nye beregningene, dvs. tilløpsflommen ble beregnet uten flomdempning. Dermed er verdiene beregnet for totalfeltet høyere enn i de opprinnelige beregningene. For Soneren var PQRUT ikke brukt i den opprinnelige beregningen, og i tillegg er dette et ganske stort nedbørfelt (590 km^2) som ikke er egnet for bruk av PQRUT. Sammenligning av beregninger for Soneren er derfor mellom et flomforløp fra frekvensanalyser og et flomforløp beregnet med PQRUT.

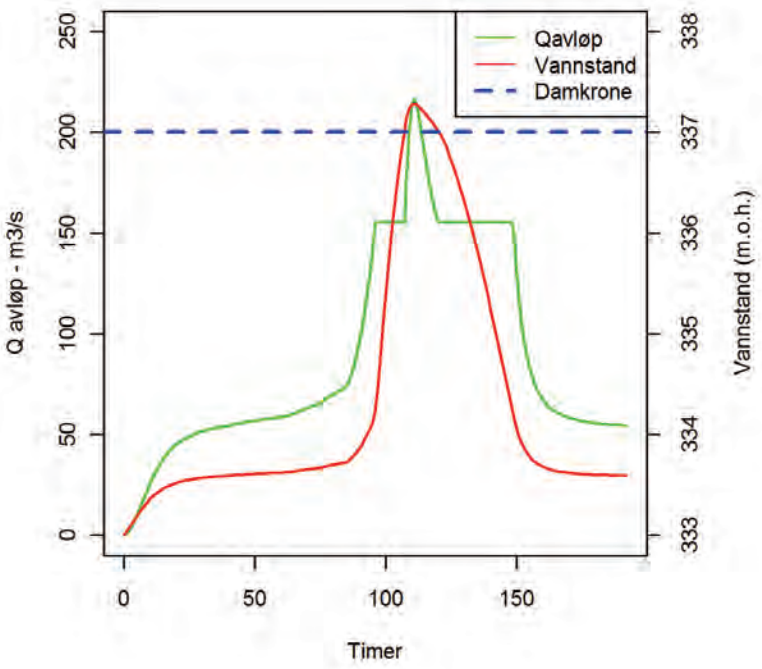
Figurer som viser forhold mellom a) ekstremnedbørsekvens og tilløpsflom, og b) avløpsflom og vannstand er blitt laget for alle de nye beregningene med grunnlag i gridbasert nedbørdata for perioden 1961-1990. Et eksempel er vist nedenfor i figurer 2 og 3 for Arstaddalen (1030), og lignende figurer finnes for alle dammene i vedlegg 1.

Tabell 4. Sammenligning av maksimal vannstand som vannstandsstigning over HRV for den opprinnelige beregningen med verdier beregnet på nytt med PQRUT og ekstremnedbør estimert fra gridbasert nedbør for perioden 1961-1990 for de 21 dammene der PQRUT ble brukt både for tilløpsflommen og videre ruting gjennom magasinet.

Damnr	Damnavn	Vannstandsstigning over HRV fra opprinnelig rapport (m)	Vannstandsstigning over HRV for ny beregning basert på 1961-1990 gridbasert nedbør (m)	Forskjell (m)
1030	Arstaddalen	4.33	4.28	-0.05
1070	Bergsfjordvatn	2.07	1.92	-0.15
1247	Devdisvatn	5.24	5.26	0.02
1376	Follavatn	2.78	2.57	-0.21
1395	Fundin	1.53	1.79	0.26
1410	Gaggavatn	2.35	2.69	0.34
1561	Haukland-Stemmevatn	1.02	1.36	0.34
1748	Kildalen	2.28	2.40	0.12
1847	Kvilesteinsvatn	0.97	0.88	-0.09
2111	Namsvatn	2.89	2.77	-0.12
2145	Skjerkevatn	1.55	1.80	0.25
2175	Nord Mesna	2.31	2.10	-0.21
2258	Raudalsvatn	2.31	2.18	-0.13
3000	Zakariasvatn	2.56	2.69	0.13
3009	Øljusjøen	0.89	0.92	0.03
3046	Øvre Ringvatn	0.79	0.64	-0.15
3255	Ørfiske	1.43	1.40	-0.03
3335	Soneren	3.75	4.59	0.84
3364	Våvatn	1.11	1.19	0.08
3582	Hommelvatn	2.98	2.76	-0.22
3884	Djupsjøen	0.26	0.32	0.06



Figur 2. PMP nedbørsekvens fra gridbasert observert nedbør for perioden 1961-1990 og snøsmelting for nedbørfeltet til Arstaddalen (1030) og tilhørende tilløpsflom beregnet med PQRUT (ny beregning).



Figur 3. Avløpsflommen og vannstanden i magasinet ved Arstaddalen (1030) for Q_{PMF}*, beregnet fra PMP nedbørsekvens og tilløpsflom vist i figur 2.*

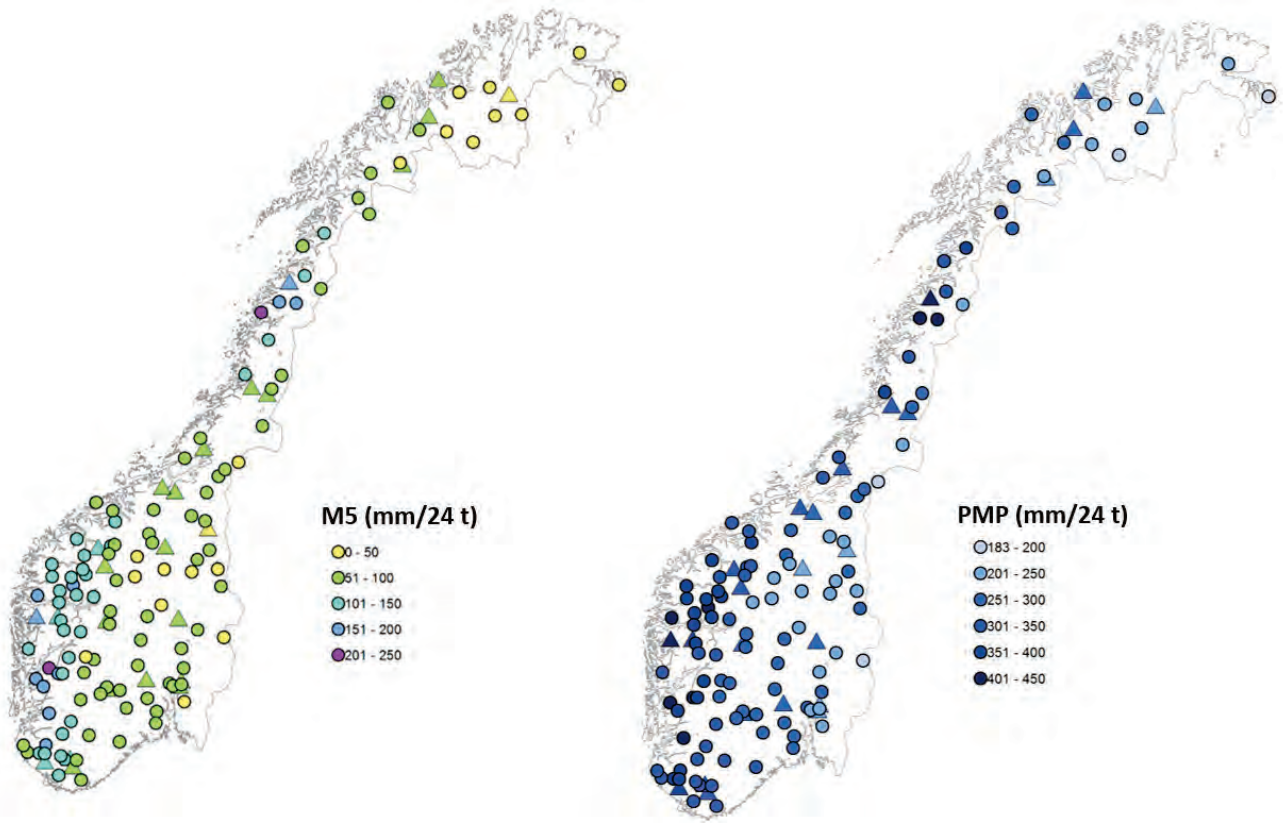
4.2 Fremskrivninger for ekstremnedbør

Estimater for ekstremnedbør beregnet med NERC-metoden avhenger av M5-verdien for nedbøren, dvs. døgnnedbør med 5-års gjentaksintervall estimert ved bruk av en 2-parameter Gumbel-fordeling. Arealverdiene for M5, beregnet av Engen Skaugen og Førland (2011) fra gridbasert observert nedbør for perioden 1961-1990, er vist i figur 4 for flere nedbørfelt i Norge. Tilsvarende PMP-verdier er også vist i figuren.

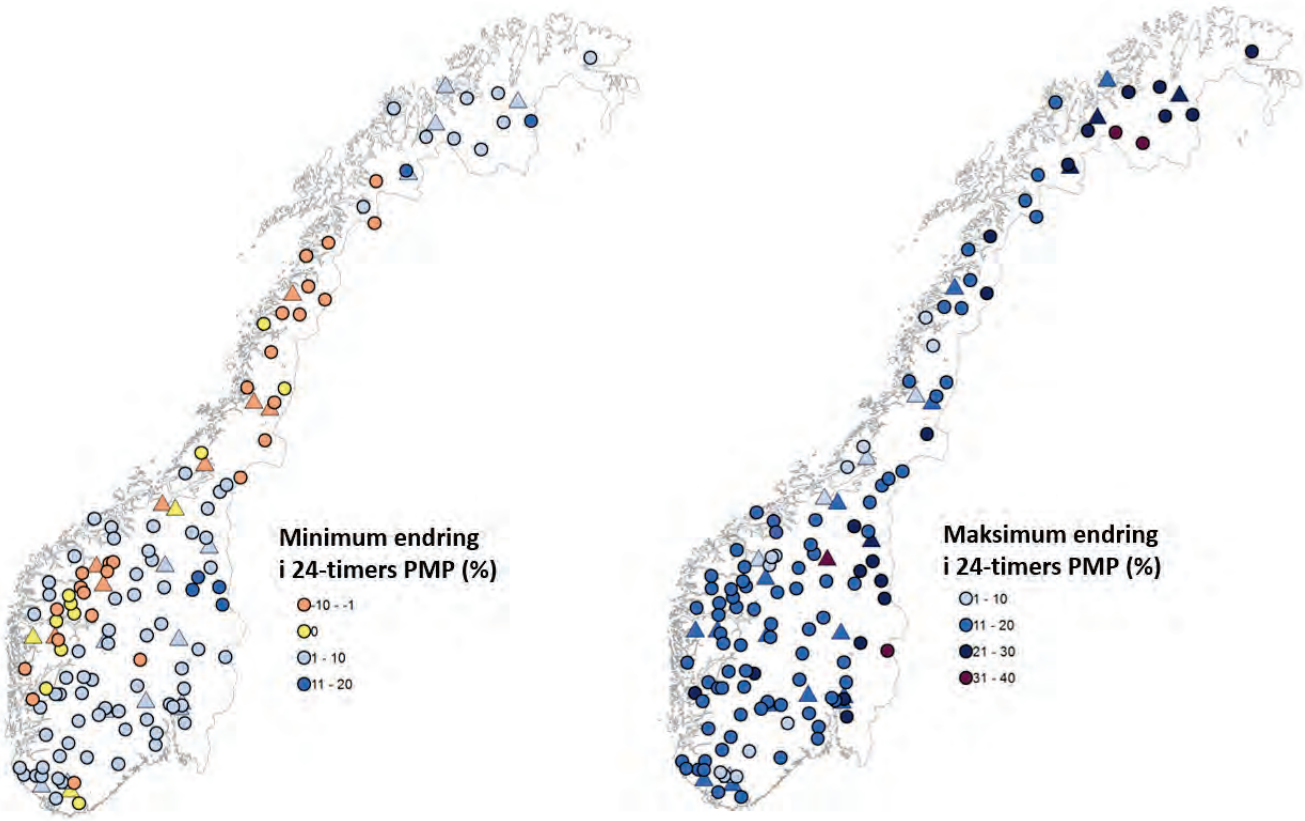
Arealverdiene for M5 og PMP viser de regionale forskjellene i ekstremnedbør. De høyeste M5- (> 150 mm/24 t) og PMP-verdiene (> 350 mm/t) forekommer på Vestlandet og noen steder i Vest Agder og Nordland, og de minste M5- (< 50 mm/24 t) og PMP-verdiene (< 200 mm/t) forekommer i Finnmark og noen steder i innlandet i Sør- og Midt-Norge. Det er en tett sammenheng mellom den romlige fordelingen av verdiene for M5 og PMP, og det er som forventet, på grunn av at M5 er grunnlaget for beregning av PMP.

Arealverdier av ekstremnedbør ble også beregnet for de seks klimafremskrivningene nevnt i tabell 2. Nedbørverdier fra de regionale klimamodellene var først biaskorrigert med metoden av Engen Skaugen (2007) i forhold til de observerte gridbasert verdiene (se Engen Skaugen og Førland, 2011, for videre detaljer). En arealverdi av M5 var beregnet for et gitt nedbørfelt basert på de biaskorrigerte gridbasert nedbørverdiene, og M5 verdien var brukt til å beregne høyere gjentaksintervaller med metoden av Førland (1992). For å estimere endring i ekstremnedbørverdiene var forskjellen mellom verdiene for kontroll- og framtidsperiode beregnet for hver varighet for et gitt gjentaksintervall og for hver fremskrivning. Det er ganske store forskjeller mellom fremskrivningene, og figur 5 viser minimum og maksimum endringer i PMP med 24-timer varighet beregnet ut fra de seks fremskrivningene.

Endringene som vises i figur 5 varierer mellom minimumsverdier i størrelsesorden 0-10% og maksimumsverdier i størrelsesorden 11-20% for de fleste stedene. I noen få tilfeller, dvs. for noen nedbørfelt på Vestlandet, Nord-Trøndelag og Nordland, er det beregnet en reduksjon i 24-timers PMP for en av de seks klimafremskrivningene. De høyeste minimums- og maksimumsverdiene finnes hovedsakelig i innlandet i Sør-Norge og i Nord-Norge der maksimum prosentendring i 24-timers PMP er > 30%.



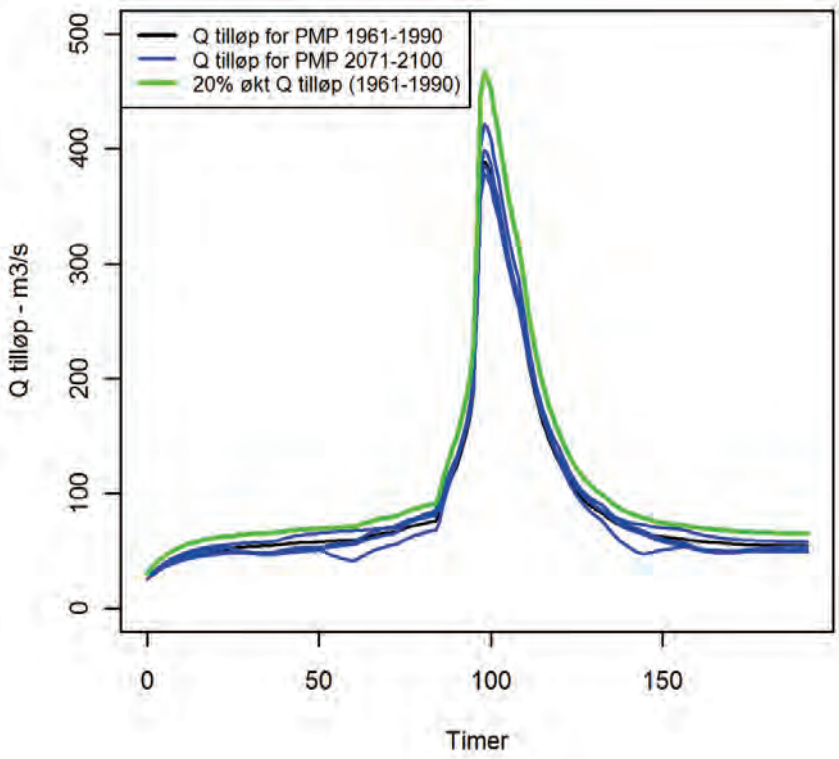
Figur 4. Arealverdier av M5 og PMP beregnet for 115 nedbørfelt fra gridbasert observert nedbør for perioden 1961-1990. Verdiene for nedbørfeltene til de 24 dammene er også vist som trekanter. Verdiene var beregnet av Engen Skaugen og Førland (2011).



Figur 5. Prosentendring i PMP for varighet 24 timer. Minimum- og maksimumverdiene beregnet for de seks klimafremskrivningene er vist for de 115 nedbørfeltene (prikker) og de 24 dammene (trekanter).

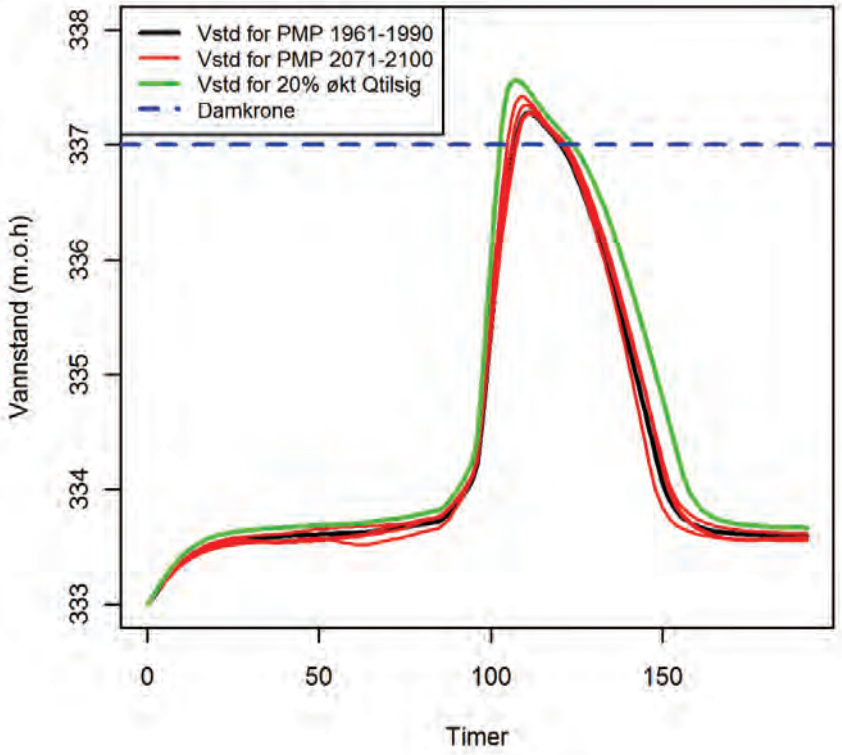
4.3 Betydning av økt ekstremnedbør for vannstand i magasin

Beregnede endringer i ekstremnedbør for forskjellige varigheter (dvs. 1-time opp til 240-timer) ble brukt til å beregne prosentendring i ekstremnedbør for en gitt varighet for hver av de seks klimafremskrivningene. Disse prosentendringene ble så lagt til ekstremnedbør-sekvensen for perioden 1961-1990 (dvs. det som er vist, for eksempel, i figur 2 for Arstaddalen), og tilløpsflommen ble kjørt på nytt med PQRUT. Dette ble gjort for 22 av de 24 dammene, dvs. alle dammene unntatt Møsvatn og Aursunden på grunn av at de opprinnelige beregningene for disse dammene er basert på andre metoder. Et eksempel på dette er vist i figur 6 for Arstaddalen.



Figur 6. Tilløpsflommen beregnet med PQRUT basert på a) gridbasert observert ekstremnedbør for periode 1961-1990 (sort linje); b) gridbasert observert ekstremnedbør for perioden 1961-1990 korrigert med prosentendringer beregnet fra seks klimafremskrivninger for perioden 2071-2100 (blå linjer); og c) en 20% økning i tilløpsflommen beregnet for perioden 1961-1990.

Tilløpsflommene vist i figur 6 ble deretter rutet gjennom magasinet, og et eksempel på den resulterende vannstanden i magasinet er vist i figur 7 for Arstaddalen. Lignende figurer for endret tilløpsflom og vannstand finnes i vedlegg A for andre dammer.



Figur 7. Vannstand i magasinet for PQRUT kjøringer basert på a) gridbasert observert ekstremnedbør for periode 1961-1990 (sort linje); b) gridbasert observert ekstremnedbør for periode 1961-1990 korrigert med prosentendringer beregnet fra klimafremskrivninger for gridbasert ekstremnedbør (røde linjer); og c) en 20% økning i tilløpsflommen beregnet for periode 1961-1990 (grønn linje).

Den maksimale økningen (fra de seks fremskrivningene) i vannstandsstigning over HRV er vist i tabell 5 for 21 av de 24 dammene der PQRUT ble brukt. Resultatene tyder på en maksimum økning på 2 – 24 % i vannstandsstigning over HRV basert på tilløpsflommen beregnet fra de seks klimafremskrivningene. Variasjonen i økning mellom dammene skyldes i stor grad forskjeller i magasinets flomdempende virkning, men både regionale forskjeller i forventede endringer i ekstremnedbør (figur 5) og forskjeller i tilløpsflommen beregnet med PQRUT, bidrar også til spredningen i beregnede endringer i vannstandsstigning over HRV.

Tabell 5. Vannstandsstigning og økning i stigning over HRV for maksimum økt ekstremnedbør basert på seks klimafremskrivninger (a og b) og for 20% økning i 1961-1990 tilløpsflom (c og d). Røde tall (i kursiv) angir dam/magasin der vannstandsstigning beregnet fra økt ekstremnedbør er høyere enn vannstandsstigning basert på en 20% økning i 1961-1990 tilløpsflom. I andre tilfeller gir 20% påslag på tilløpsflommen en høyere vannstandsstigning

Damnr	Damnavn	a) Stigning (m) over HRV for maksimum økt ekstremnedbør	b) Økning i stigning (m) over HRV for økt ekstremnedbør	c) Stigning (m) over HRV for 20 % økt tilløpsflom	d) Økning i stigning (m) over HRV for 20 % økt tilløpsflom
1030	Arstaddalen	4.50	0.22	4.56	0.28
1038	Aursunden	Ikke tilgjengelig	Ikke tilgjengelig	1.88	0.34
1070	Bergsfjordvatn	2.18	0.26	2.18	0.26
1247	Devdisvatn	5.51	0.25	5.54	0.28
1376	Follavatn	2.63	0.06	2.85	0.28
1395	Fundin	2.13	0.34	2.15	0.36
1410	Gaggavatn	2.90	0.21	2.96	0.27
1561	Haukland-Stemmevatn	1.46	0.10	1.50	0.14
1748	Kildalen	2.59	*0.19*	2.56	*0.16*
1847	Kvilesteinsvatn	0.97	0.09	1.00	0.12
2111	Namsvatn	2.93	0.21	3.17	0.40
2145	Skjerkevatn	1.90	0.07	2.03	0.20
2175	Nord Mesna	2.30	0.20	2.36	0.26
2258	Raudalsvatn	2.66	*0.48*	2.48	*0.30*
2810	Tungefoss	Ikke tilgjengelig	Ikke tilgjengelig	4.92	0.54
3000	Zakariasvatn	2.75	0.06	2.97	0.28
3009	Øljusjøen	0.99	0.07	1.06	0.14
3046	Øvre Ringvatn	0.70	0.06	0.73	0.09
3255	Ørfiske	1.52	0.12	1.58	0.18
3335	Soneren	5.67	*1.08*	5.50	*0.91*
3364	Våvatn	1.26	0.07	1.33	0.14
3582	Hommelvatn	3.16	*0.40*	3.12	*0.36*
3801	Møsvatn	Ikke tilgjengelig	Ikke tilgjengelig	4.36	30
3884	Djupsjøen	0.38	*0.06*	0.36	*0.04*

4.4 Sammenligning med 20 % økning i tilløpsflom

Retningslinjer for flomberegninger (Midttømme, m.fl., 2011) anbefaler at en måte å vurdere betydning av klimaendring for dimensjonerende flom på er å gjøre følsomhetsanalyser av resultater fra flomberegninger med bruk av de tre inndelingene som finnes i Lawrence og Hisdal (2011), dvs. 0, 20 eller 40 % økning. I praksis blir

økningen lagt på tilløpsflommen som er beregnet med basis i dagens klima. I denne studien er det derfor gjort en sammenligning mellom økt vannstand over HRV basert på fremskrivninger for ekstremnedbør (dvs. det som gir maksimum endring av de 6 fremskrivningene) og det som er beregnet fra en 20 % økning i hele tilløpsflommen (tabell 5). Resultatene er ganske like, og i de fleste tilfellene gir en 20 % økning i tilløpsflommen en litt høyere vannstand over HRV enn det som er basert på fremskrivninger for ekstremnedbør. Det er likevel flere unntak (dvs. 5 av de 21 dammene) der bruk av et 20 % klimapåslag ville ha underestimert økning i vannstand i forhold til det som er beregnet fra den største økningen i ekstremnedbør fra de seks klimafremskrivningene. Disse tilfellene er vist med røde tall (og kursiv) i tabell 5. I tre tilfeller (Kildalen - 1748, Hommelvatn – 3582, og Djupsjøen - 3884) har dette liten betydning, da forskjellene bare er 2 - 4 cm, og det er mindre enn avviket mellom beregningene med grunnlag i dagens klima (tabell 4). Avviket mellom de to beregningene for Soneren (3335) er litt høyere, dvs. 17 cm, men dette er også mindre enn forskjellen vist i tabell 4 som skyldes forskjellige metoder for beregningene (kapittel 4.1). Raudalsvatn (2258) er det eneste tilfellet der bruk av fremskrivninger for ekstremnedbør gir en vesentlig høyere økning i vannstandsstigning enn ved bruk av et 20% klimapåslag på tilløpsflommen (dvs. økt vannstandsstigning av 0.48 m mot 0.30 m).

5 Oppsummering og diskusjon

Denne rapporten beskriver en pilotstudie av hvordan økt intensitet av ekstremnedbør i framtidens klima innvirker på flomberegninger for damsikkerhet, og spesielt beregning av Q_{PMF} og tilhørende maksimal vannstand. Grunnlaget er de opprinnelige flomberegningene for 24 utvalgte dammer, som i de fleste tilfellene var utført med bruk av PQRUT (nedbør-avløpsmodell). Modellen ble satt opp på nytt for hver dam, basert på opplysningene som finnes i flomberegningsrapportene for dammene, og utført for en kontrollperiode (1961-1900) med bruk av gridbaserte estimater for arealverdier av ekstremnedbør. En sammenligning av maksimale vannstander fra de nye beregningene og de som finnes i de opprinnelige flomberegningsrapportene viser et godt samsvar (tabell 5) for de 21 dammene der en sammenligning var aktuell. I noen få tilfeller er vannstanden noe høyere for de nye beregningene, og det er hovedsakelig på grunn av at det ikke er tatt hensyn til flomdempningseffekten av oppstrøms magasiner. For tre dammer ble sammenligningen ikke gjort fordi PQRUT-modellen ikke var brukt i den opprinnelige beregningen (Møsvatn og Aursunden), eller fordi forskjellen mellom beregning med og uten oppstrøms magasiner var for stor (Tungefoss).

I tillegg til nye beregninger av Q_{PMF} og tilhørende vannstand for kontrollperioden 1961-1990, ble det gjort beregninger basert på klimafremskrivninger for endringer i nedbørsintensitet for perioden 2070-2100. Klimafremskrivninger for endringer i nedbørintensitet for gitte varigheter (fra 1 til 240 timer) beregnet av Engen Skaugen og Førland (2011) ble brukt for å beregne prosentendringer i hver varighet for hver av de seks klimamodellene (tabell 2). På de fleste stedene er den maksimale endringen i 24-timer nedbørintensitet mellom 10 og 20%. De største endringene i 24-timer nedbørintensitet for PMP, basert på disse fremskrivningene, finnes i innlandet i Sør-Norge og i Finnmark. Det vil si at i de delene av landet der det i utgangspunktet er lavest nedbørintensitet, gir noen fremskrivninger endringer opp til 34%.

Prosentendringene beregnet for hver fremskrivning ble lagt til nedbørdata som ble brukt i PQRUT-modellen for å kjøre seks nye tilløpsflommer, som også var rutet gjennom magasinet til dammen. Resultatene fra beregningene ble også sammenlignet med beregninger basert på en 20 % økning av tilløpsflommen for hele flomforløpet (basert på data fra perioden 1961-1990). Beregnet økning i vannstandsstigning over HRV er ganske lik for de to metodene. I de fleste tilfellene (dvs. 16 av 21 dammer der komplette beregninger var gjennomført) gir en 20 % økning av tilløpsflommen basert på perioden 1961-1990 en litt høyere økning i vannstandsstigning enn det som er beregnet med grunnlag i endringer i ekstremnedbør fra klimafremskrivninger. I fem tilfeller gir maksimum økt ekstremnedbør et høyere utslag enn 20% økning av tilløpsflommen. Endringene i vannstandsstigning over HRV varierer fra 2-24 % (for 21 dammer der PQRUT var brukt) for beregninger basert på økt ekstremnedbør, til 5-30% (for alle 24 dammene) for beregninger der 20 % var lagt på tilløpsflommen. Variasjonen gjenspeiler selvsagt ulike magasin- og vannføringskurver for de 24 dammene, dvs. hvor mye flommene dempes under ekstreme flomforhold, dvs. at det ikke er mulig å forutse betydningen av økt tilløp uten å se på de enkelte dammene.

Det er mye usikkerhet knyttet til beregningene som er blitt lagt til grunn i denne studien. Dette skyldes hovedsakelig tre årsaker: 1) metodikk brukt for å beregne ekstremnedbør; 2) pålitelighet av ekstremnedbørverdiene tolket fra klimamodeller; og 3) implementering av PQRUT for de 24 dammene. Alle har betydning for tolkning av resultatene med hensyn til videre arbeid i forbindelse med klimatilpasning, og de er derfor kommentert i de neste tre avsnittene. Den såkalte 'NERC' metoden (NERC, 1975; Førland, 1992) er en metode som benytter empiriske kurver for å skalere nedbørintensitet for et gitt gjentaksintervall og for PMP basert på intensiteten av 24-timers nedbør med et 5-års gjentaksintervall. De empiriske kurvene ble utviklet basert på observerte verdier som var tilgjengelige da metoden ble utviklet og videre tatt i bruk i Norge. Det er likevel ukjent om slike empiriske kurver gjelder i et endret klima der de dominerende stormbanene kan ha endret seg slik at kurvene kanskje er en del brattere enn de som var utviklet med grunnlag i gårsdagens klima. I tillegg har WMO (2009) anbefalt at PMP-verdier estimeres med dynamiske metoder, for eksempel metoder basert på en atmosfærisk modell, fremfor empiriske metoder for dagens klima. Det er også noe usikkerhet i beregningen av M5-verdiene, særlig med hensyn til endringer i ekstremverdier. Et nyere studium i Frankrike (http://extraflo.cemagref.fr/), som sammenlignet bl.a. metoder for å beregne ekstremnedbør, konkluderte med at 2-parameter Gumbel-fordelingen er en robust metode (dvs. at den ikke er påvirket av avvikende observasjoner slik at den gir det samme estimatet hver gang den er implementert), men at det er problemer med pålitelighet av metoden (dvs. at den ikke nødvendigvis gir et riktig estimat av ekstremverdier). Alle disse forholdene må undersøkes videre før man kan stole på fremskrivninger av ekstremnedbør beregnet med dagens implementering av NERC metoden-i Norge. MET har nå flere prosjekter som tar dette videre.

Inndata for beregning av ekstremnedbør kommer fra daglige nedbørtidsserier fra seks regionale klimamodeller med romlig oppløsning på 25 – 50 km^2. Den grove oppløsningen gjør at hydroklimatologiske prosesser som for eksempel varierer mye med topografi, ikke er beskrevet på en riktig skala, slik at nedbørtidsserier må finjusteres etterpå. For denne studien har dette blitt gjort av Engen Skaugen og Førland (2011) med bruk av 'Empirical Adjustment'-metoden (Engen Skaugen, 2007) som tilpasser månedlige

gjennomsnittsverdier og standardavvik for å få bedre overensstemmelse med observerte verdier. Det er likevel ikke tatt særlig hensyn til endringer i ekstremverdier med denne metoden. En sammenligning med nyere metoder som også er blitt publisert av MET (Gudmundsson, m. fl., 2012) tyder på at metoder som korrigerer hele kumulativfordelingskurven gir bedre estimater for ekstremverdier enn tilpasning av månedlige gjennomsnittsverdier og standardavvik. Det må imidlertid også nevnes at noen klimatologer mener at slik korrigering av data fra regionale klimamodeller bør unngås på grunn av at det kan ødelegge klimasignalet med hensyn til mulige endringer. Dermed er det fortsatt mye usikkerhet rundt bruk av klimafremskrivninger for å tolke endringer i ekstremnedbør, og det er også mye pågående forskning på dette emnet.

Implementeringen av PQRUT for beregning av tilløpsflommen har også noen begrensninger i dette pilotstudien. Det viktigste av disse er a) mulige endringer i snøsmelting, som ikke er tatt med; og b) endringer i flomsesongen, som har en tett sammenheng med snøsmelting. I noen tilfeller kan det kanskje ventes at sannsynlighet av snøsmelting samtidig med maksimal ekstremnedbør vil bli mindre i framtiden. Dette gjelder særlig nedbørfelt med høstflommer der et begrenset snømagasin allerede er brukt i beregningen for dagens klima. Samtidig er det viktig å huske at Q_{PMF} -beregninger handler om å finne den størst tenkelige flommen i et nedbørfelt. I tillegg er det økt sannsynlighet for høyere temperaturer til alle årstider i framtidens klima, og dette kan føre til raskere snøsmelting om magasinert snø finnes i nedbørfeltet. Derfor er det vanskelig å foreslå en reduksjon (eller en økning) i bidraget fra snøsmelting til en hendelsesbasert modell som PQRUT, uten en nøye vurdering av hvordan både ekstremnedbør, snømagasin og temperatur vil utvikle seg over tid. Dette er en årsak til at resultatene som vises i tabell 5 gir en økt tilløpsflom uansett hvor et nedbørfelt ligger i landet, mens resultatene til Lawrence og Hisdal (2011) tyder på regionale forskjeller, med både økninger og reduksjoner siden dette arbeidet nettopp tar hensyn til mulige endringer i flomsesong og snøsmeltebidrag. Dette kan også undersøkes i videre arbeid med bruk av simuleringsmetoder/modeller som også tar hensyn til betydning av endringer i temperatur for snømagasinering og smelting. Aktuelle metoder/modeller kan være HBV (f.eks. Vormoor, m.fl., 2014) eller andre metoder (f.eks. Lawrence, m.fl., 2014) istedenfor hendelsesbaserte simuleringer.

6 Anbefalinger

Beregninger for Q_{PMF}, dvs. kontrollflommen for damsikkerhet (ulykkesflommen) med bruk av PQRUT basert på a) seks fremskrivninger for ekstremnedbør under et endret klima (dvs. 2071-2100) og b) et 20% klimapåslag på hele tilløpsflommen gir ganske like resultater. Metodikken som har blitt brukt for å estimere ekstremnedbør fra klimafremskrivninger er basert på dagens standard praksis. Resultatene tyder på at et 20% påslag på tilløpsflommen gir en litt høyere tilløpsflom enn det som er beregnet fra den høyeste økningen i ekstremnedbør i de fleste tilfellene. Dermed ser det ut til å være gode grunner til å bruke et 20 % klimapåslag på tilløpsflommen for å vurdere mulige effekter av klimaendring på Q_{PMF} (avløpsflom) og tilhørende maksimal flomvannstand. Det er likevel mye usikkerhet rundt både a) bruk av dagens metoder for å beregne ekstremnedbør; b) mulige økninger i nedbørintensitet tolket fra klimafremskrivninger; c) sannsynlighet av en kombinasjon av rask snøsmelting og ekstremnedbør i et endret klima; og d) betydning av endringer i snøforhold for forskjellige flomsesonger. Disse

usikkerhetene gjør det vanskelig å gi presise anbefalinger om hvordan vi skal ta hensyn til klimaendringenes virkning på Q_{PMF} og tilhørende maksimal flomvannstand ved vurdering av dammers sikkerhet mot brudd, for eksempel på regional basis, jf. anbefalinger som finnes i Lawrence og Hisdal (2011). Det konkluderes derfor med at det er behov for videre forskning på disse emnene som er nevnt her (a-d). Videre ser det ut til at dagens praksis med å vurdere klimaendringers effekt bare på dimensjonerende flom og tilhørende dimensjonerende flomvannstand (ikke på Q_{PMF} /ulykkesflom), bør videreføres inntil nye forskningsresultater foreligger.

7 Referanser

Alfnes, E. 2007. Ekstremnedbør beregnet fra serier med gridbasert arealnedbør. *Met.no Report No. 1/2007 Climate.*

Andersen, J.H., Hjukse, T., Roald, L., Sælthun, N.R. 1983. Hydrologisk modell for flomberegninger. *NVE Rapport nr.* 2-83.

Engen Skaugen, T. og Førland, E.J. 2011. Future changes in extreme precipitation estimated in Norwegian catchments. *Met.no Report No. 13/2011 Climate.*

Engen-Skaugen, T. 2007. Refinement of dynamically downscaled precipitation and temperature scenarios. *Clim. Change, 84,* 385-382.

Førland, E.J. 1992. Manual for beregning av påregnelige ekstreme nedbørverdier. *DNMI klima Rapport Nr. 21/92.*

Gudmundsson, L., Bremnes, J.B., Haugen, J.E., 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.

Hamarsland, A.T. (Red.) 2010. Klimatilpasning innen NVEs ansvarsområder – Strategi 2010-2014. *NVE Rapport nr. 15-2010.* 68 s.

Lawrence, D. og Hisdal, H. 2011. Hydrological projections for floods in Norway under a future climate. *NVE Report No. 5-2011.*

Lawrence, D., Paquet, E., Gailhard, J., Fleig, A.K. 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.

Midttømme, G. og Pettersson, L. E. (Red.) Retningslinjer for flomberegninger. NVE, Retningslinjer 04/2011.

NERC. 1975. Flood Studies Report, Vol. II. Natural Environment Research Council, London.

Vormoor, K., Lawrence, D., Heistermann, M., Bronstert, A. 2014. Climate change impacts on the seasonality and generation processes of floods in catchments with mixed snowmelt/rainfall flood regimes: projections and uncertainties, *Hydrol. Earth Sys. Sci. Discuss,* 11, 6273-6309.

WMO (World Meteorological Organization. 2009. Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP). WMO-No. 1045.

Vedlegg A

Figurer som viser resultatene av PQRUT kjøringer for de 24 dammene finnes på s. 28-51. Rekkefølge er med hensyn til damnummer (Tabell 1, s. 8). For de fleste dammene er det vist:

a) Nedbør- og snøsmeltesekvens og tilløpsflom beregnet med grunnlag i gridbasert nedbør for periode 1961-1990. Gridbaserte nedbørverdiene for denne perioden er utviklet av Meteorologisk institutt fra observerte nedbør for samme perioden (Engen-Skaugen og Førland, 2011). Derfor kan nedbørsekvensen og tilløpsflommen avvike litt fra det som finnes i flomberegningsrapporten for dammen. Grunnlaget for nedbørsekvensen benyttet i rapporten var beregnet direkte fra nedbørstasjoner, ikke fra gridbasert nedbør.

b) Avløpsflom og vannstand i magasinet for 1961-1990 tilløpsflommen vist i a).

c) Tilløpsflom basert på seks klimafremskrivninger for ekstremnedbør (Engen-Skaugen og Førland, 2011) for periode 2071-2100. Disse er også sammenlignet med tilløpsflommen for 1961-1990 vist i figur a) og en tilløpsflom beregnet med et 20% påslag på 1961-1990 tilløpsflomforløpet.

d) Vannstand i magasinet i forhold til damkrone for tilløpsflommene vist i c).

Unntak:

For Aursunden (1038) og Møsvatn (3801), var PQRUT ikke kjørt (se s.9 for forklaring). Derfor viser figuren:

a) Tilløpsflom fra flomberegningsrapporten.

b) Avløpsflom og vannstand i magasinet for tilløpsflommen.

c) Vannstand for en tilløpsflom beregnet med et 20% påslag på tilløpsflommen i b).

For Tungefoss (2810) var PQRUT kjørt for å beregne tilløpsflom, men resultatene var ikke rutet gjennom oppstrømsmagasiner (se s.9 for forklaring). Derfor viser figuren:

a) Nedbør- og snøsmeltesekvens og tilløpsflom beregnet med grunnlag i gridbasert nedbør for periode 1961-1990.

b) Tilløpsflom basert på seks klimafremskrivninger for ekstremnedbør (Engen-Skaugen og Førland, 2011) for periode 2071-2100.

c) Tilløpsflom fra flomberegningsrapporten (med ruting gjennom oppstrømsmagasiner).

d) Avløpsflom og vannstand i magasinet for tilløpsflommen i c).

e) Vannstand for en tilløpsflom beregnet med et 20% påslag på tilløpsflommen i d).

For Skjerkevatn (2145) var PQRUT kjørt for å beregne tilløpsflom uten hensyn til oppstrømsmagasiner, og tilløpsflommen var rutet gjennom magasinet. Det er derfor forskjeller mellom den opprinnelige og denne beregningen. Derfor viser figuren:

a) Nedbør- og snøsmeltesekvens og tilløpsflom beregnet med grunnlag i gridbasert nedbør for periode 1961-1990.

b) Avløpsflom og vannstand i magasinet for 1961-1990 tilløpsflommen vist i a).

c) Tilløpsflom basert på seks klimafremskrivninger for ekstremnedbør (Engen-Skaugen og Førland, 2011) for periode 2071-2100. Disse er også sammenlignet med tilløpsflommen for 1961-1990 vist i figur a) og en tilløpsflom beregnet med et 20% påslag på 1961-1990 tilløpsflomforløpet.

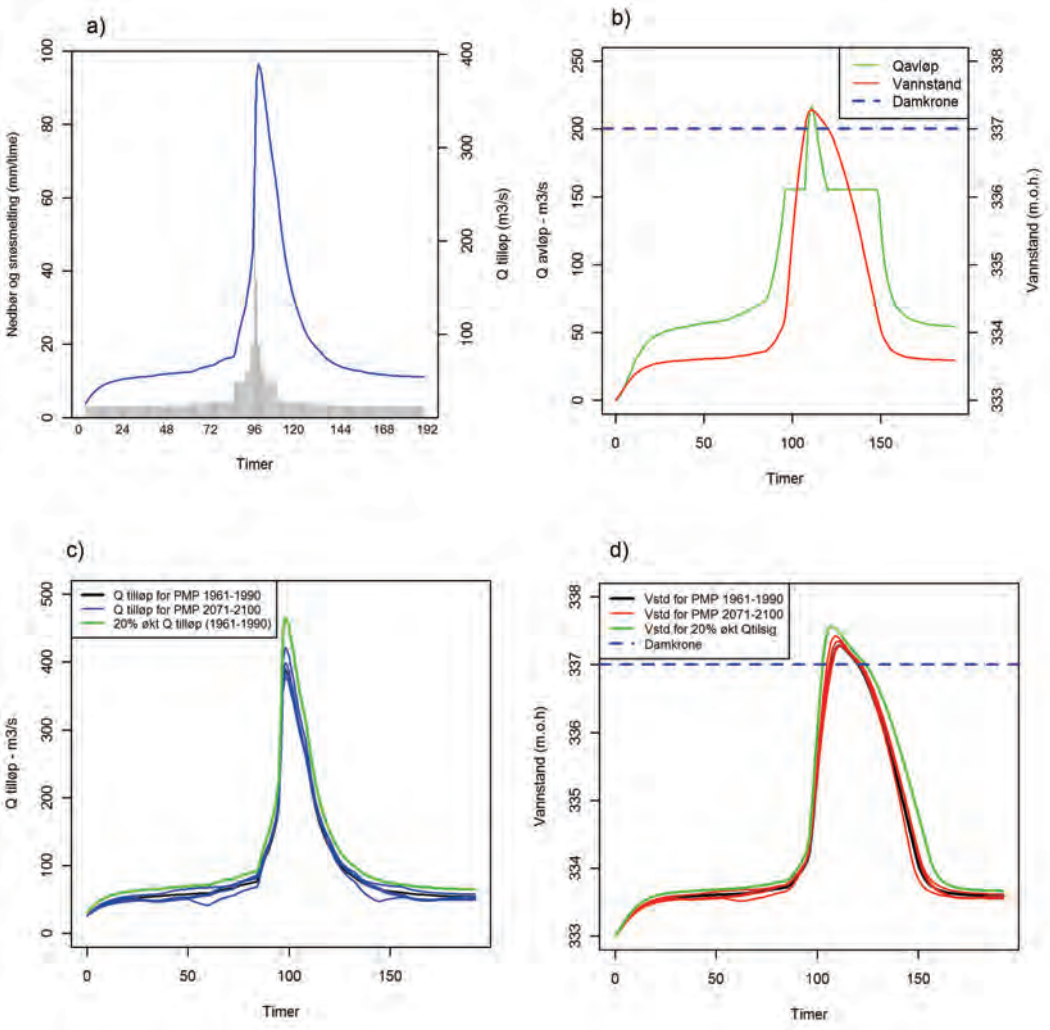
d) Vannstand i magasinet for tilløpsflommene vist i c).

e) Tilløpsflom fra flomberegningsrapporten (med ruting gjennom oppstrømsmagasiner).

f) Avløpsflom og vannstand i magasinet for tilløpsflommen i e).

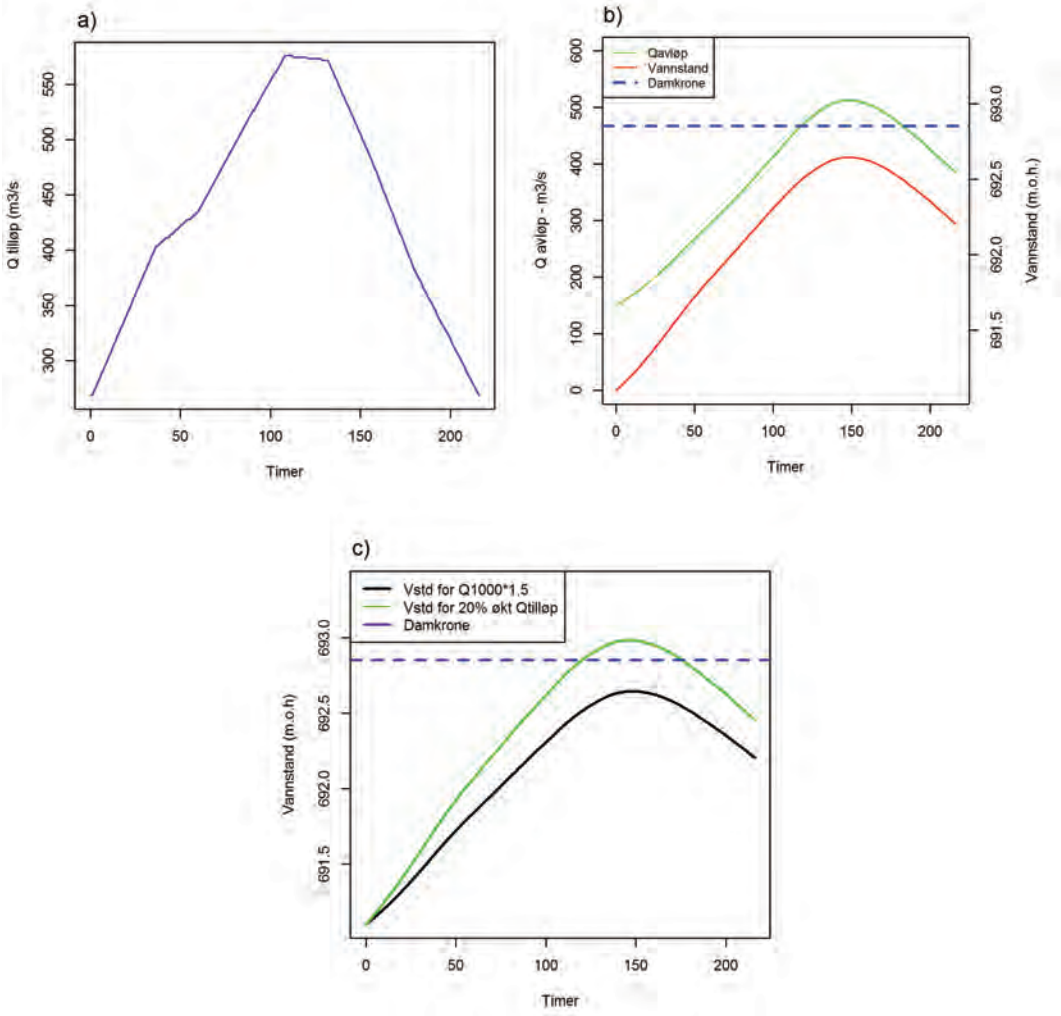
g) Vannstand for en tilløpsflom beregnet med et 20% påslag på tilløpsflommen i e).

1030 - Arstaddalen



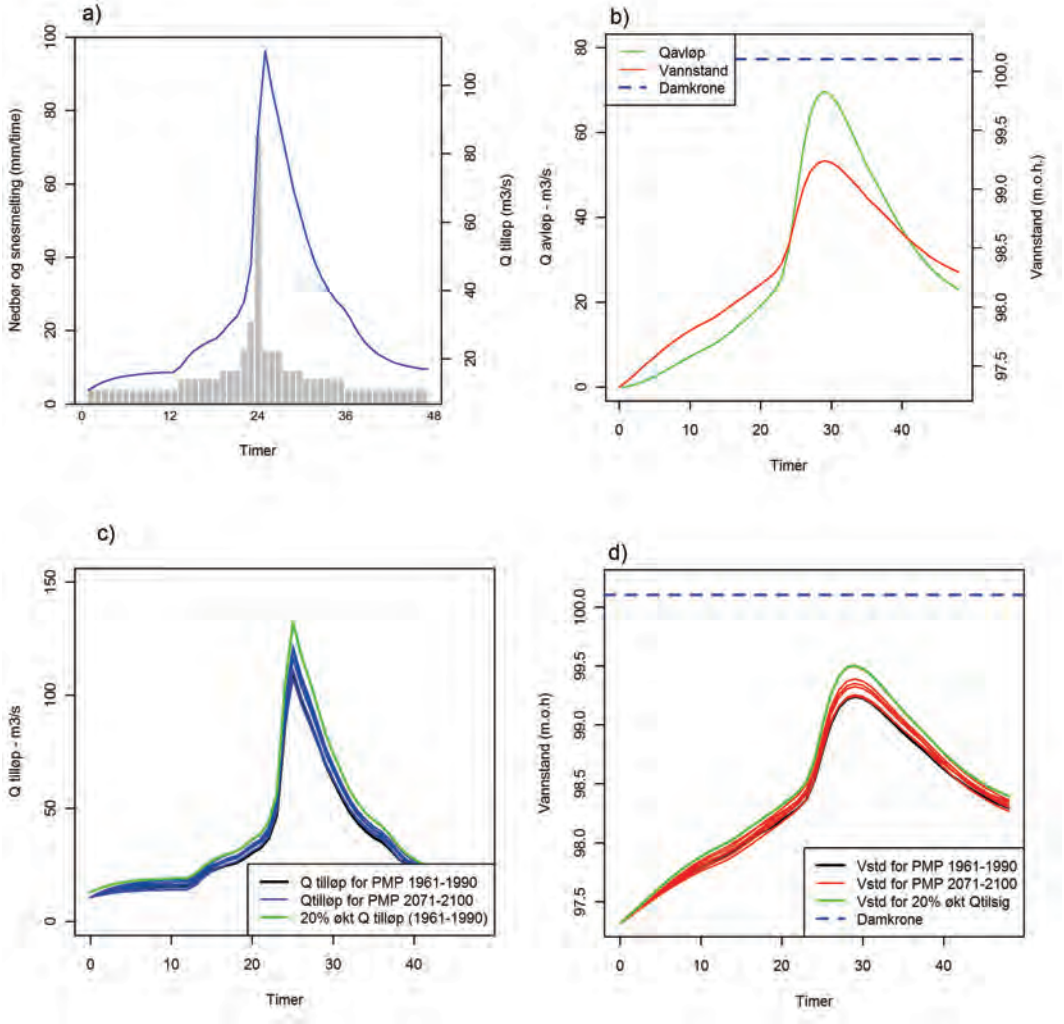
Figur A1. PQRUT kjøring for Arstaddalen (1030): a) Nedbør- og snøsmeltesekvens og tilløpsflom beregnet med grunnlag i gridbasert observerte nedbør for periode 1961-1990; b) Avløpsflom og vannstand i magasinet for 1961-1990 tilløpsflommen; c) Tilløpsflommer basert på klimafremskrivninger for PMP for 2071-2100 sammenlignet med en 20% økning i 1961-1990 tilløpsflommen; og d) vannstand i magasinet for tilløpsflommene vist i c).

1038 - Aursunden



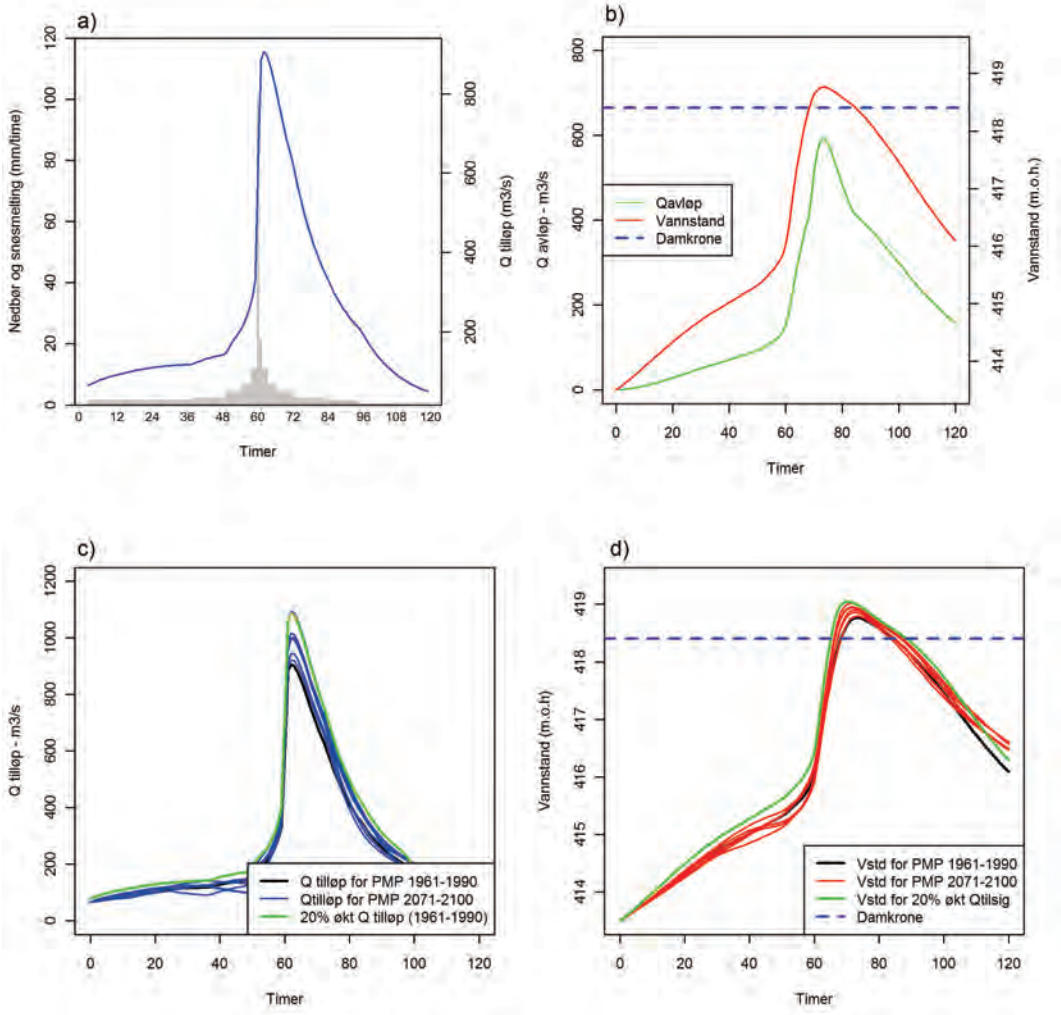
*Figur A2. PQRUT kjøring for Aursunden (1038): a) Tilløpsflom (Q1000 * 1.5) fra flomberegningsrapport; b) avløpsflom og vannstand i magasinet for tilløpsflommen vist i a); og c)vannstand for 20% økt tilløpsflom.*

1070 – Bergsfjordvatn



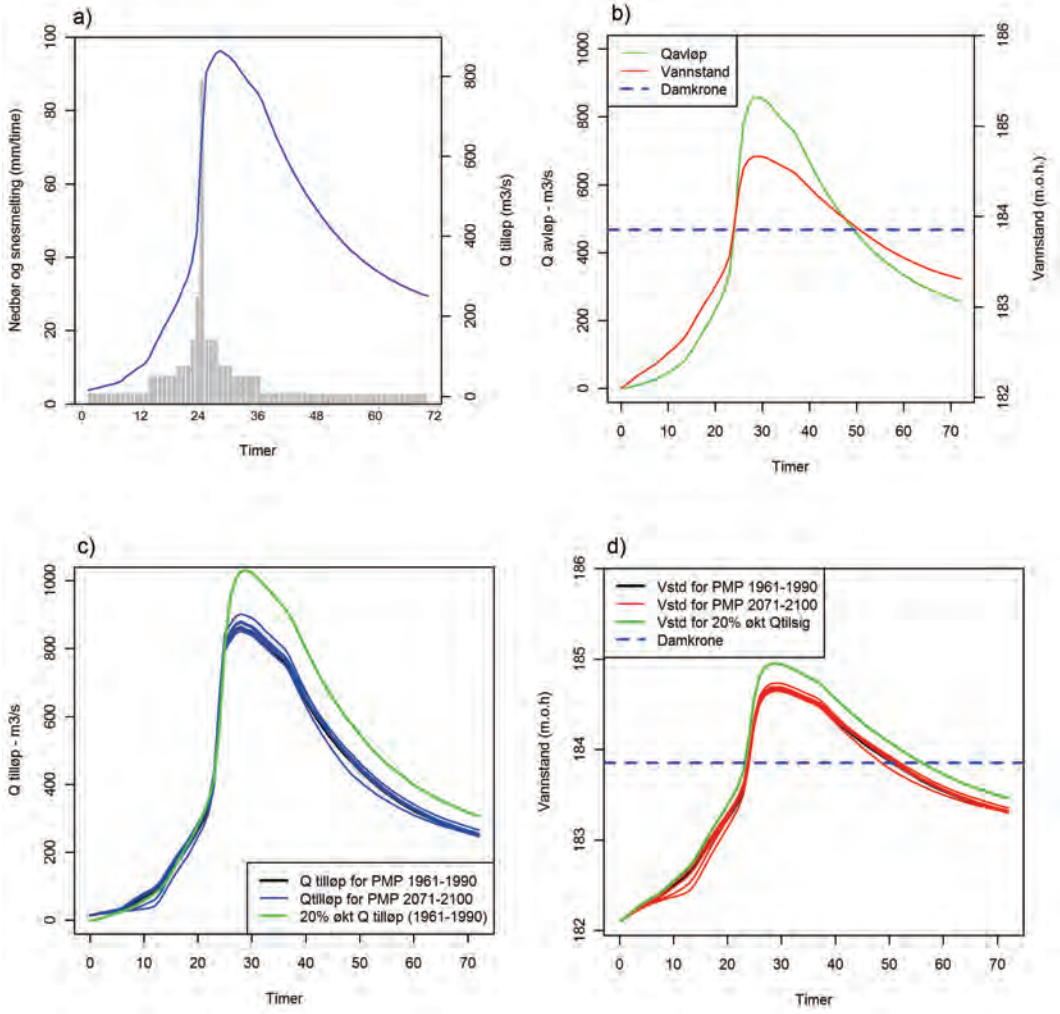
Figur A3. PQRUT kjøring for Bergsfjordvatn (1070): a) Nedbør- og snøsmeltesekvens og tilløpsflom beregnet med grunnlag i gridbasert observert nedbør for periode 1961-1990; b) Avløpsflom og vannstand i magasinet for 1961-1990 tilløpsflommen; c) Tilløpsflommer basert på klimafremskrivninger for PMP for 2071-2100 sammenlignet med en 20% økning i 1961-1990 tilløpsflommen; og d) vannstand i magasinet for tilløpsflommene vist i c).

1247 - Devdisvatn



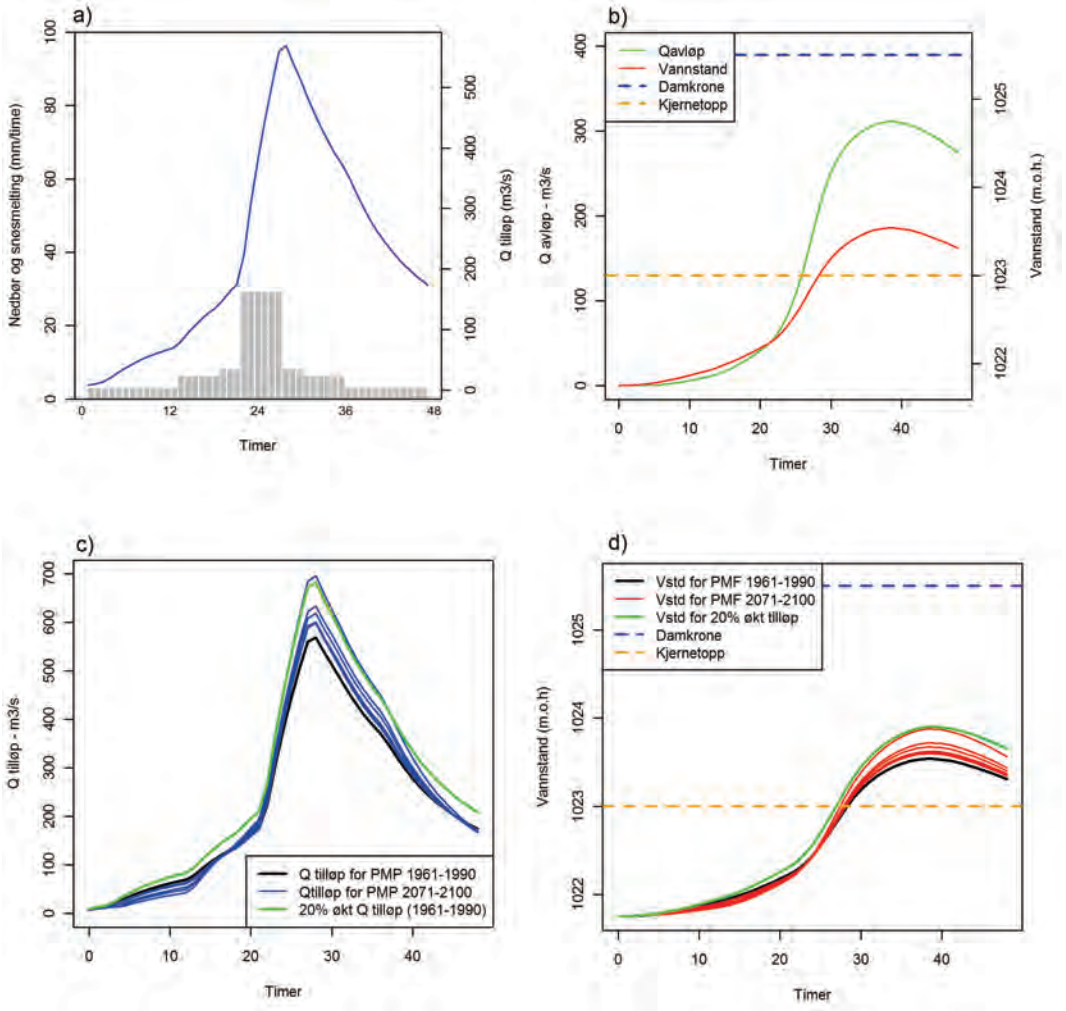
Figur A4. PQRUT kjøring for Devdisvatn (1247): a) Nedbør- og snøsmeltesekvens og tilløpsflom beregnet med grunnlag i gridbasert observert nedbør for periode 1961-1990; b) Avløpsflom og vannstand i magasinet for 1961-1990 tilløpsflommen; c) Tilløpsflommer basert på klimafremskrivninger for PMP for 2071-2100 sammenlignet med en 20% økning i 1961-1990 tilløpsflommen; og d) vannstand i magasinet for tilløpsflommene vist i c).

1376 - Follavatn



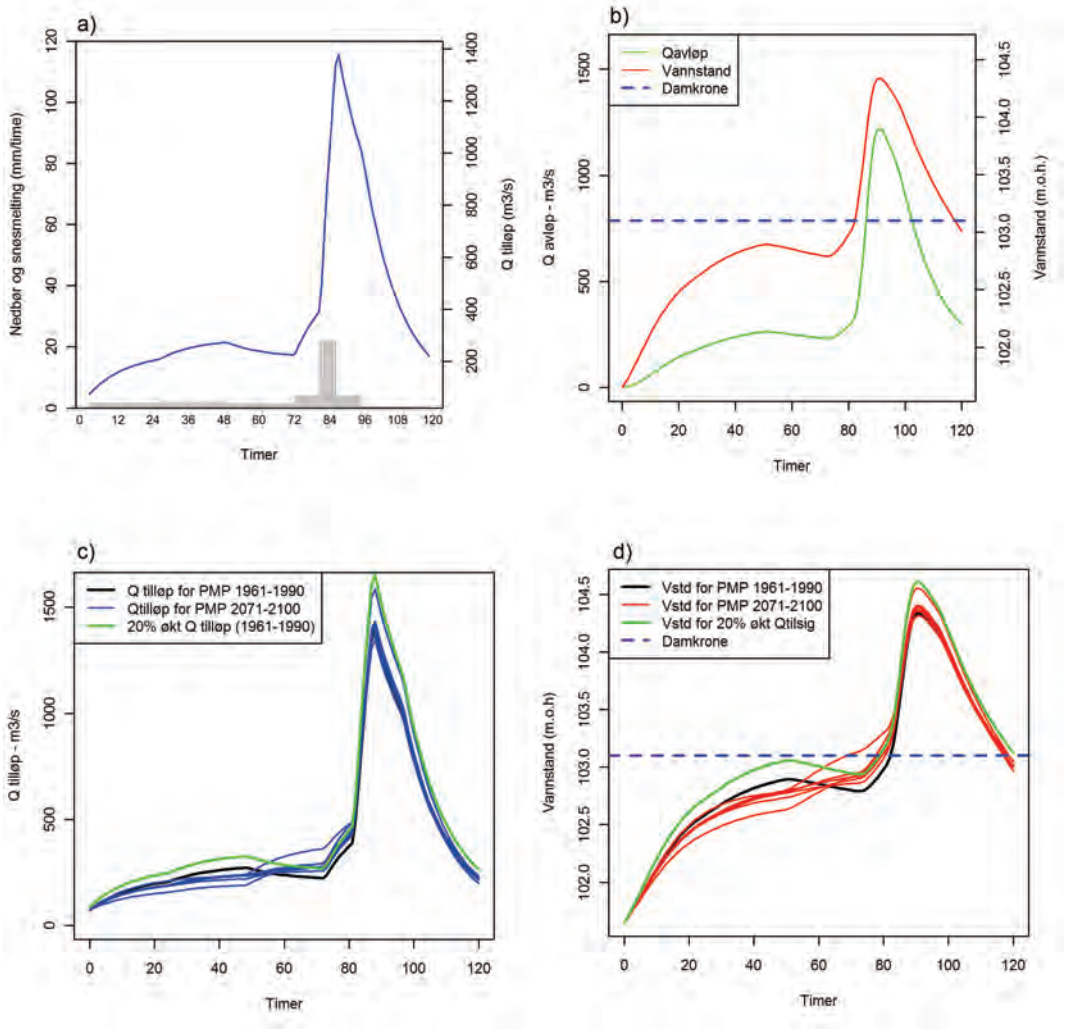
Figur A5. PQRUT kjøring for Follavatn (1376): a) Nedbør- og snøsmeltesekvens og tilløpsflom beregnet med grunnlag i gridbasert observert nedbør for periode 1961-1990; b) Avløpsflom og vannstand i magasinet for 1961-1990 tilløpsflommen; c) Tilløpsflommer basert på klimafremskrivninger for PMP for 2071-2100 sammenlignet med en 20% økning i 1961-1990 tilløpsflommen; og d) vannstand i magasinet for tilløpsflommene vist i c).

1395 - Fundin



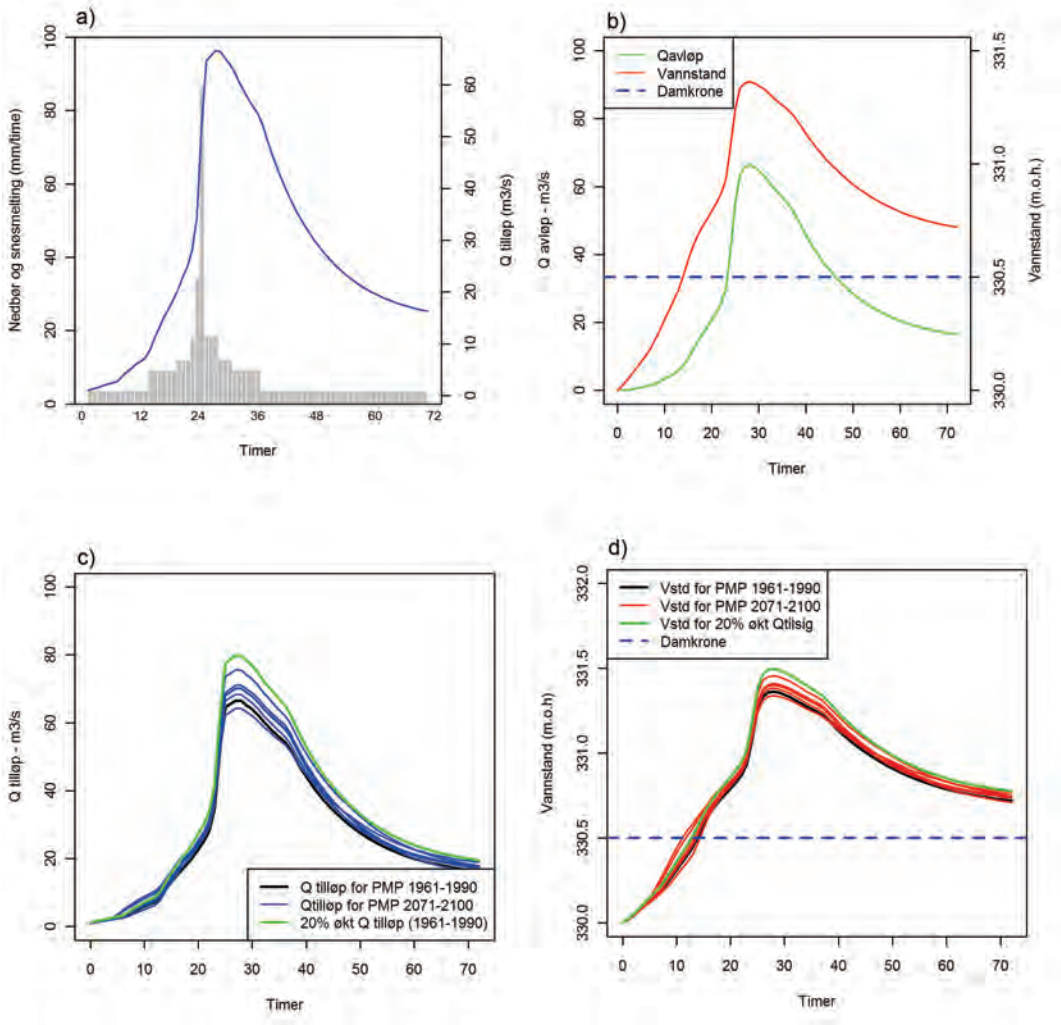
Figur A6. PQRUT kjøring for Fundin (1395): a) Nedbør- og snøsmeltesekvens og tilløpsflom beregnet med grunnlag i gridbasert observert nedbør for periode 1961-1990; b) Avløpsflom og vannstand i magasinet for 1961-1990 tilløpsflommen; c) Tilløpsflommer basert på klimafremskrivninger for PMP for 2071-2100 sammenlignet med en 20% økning i 1961-1990 tilløpsflommen; og d) vannstand i magasinet for tilløpsflommene vist i c).

1410 - Gaggavatn



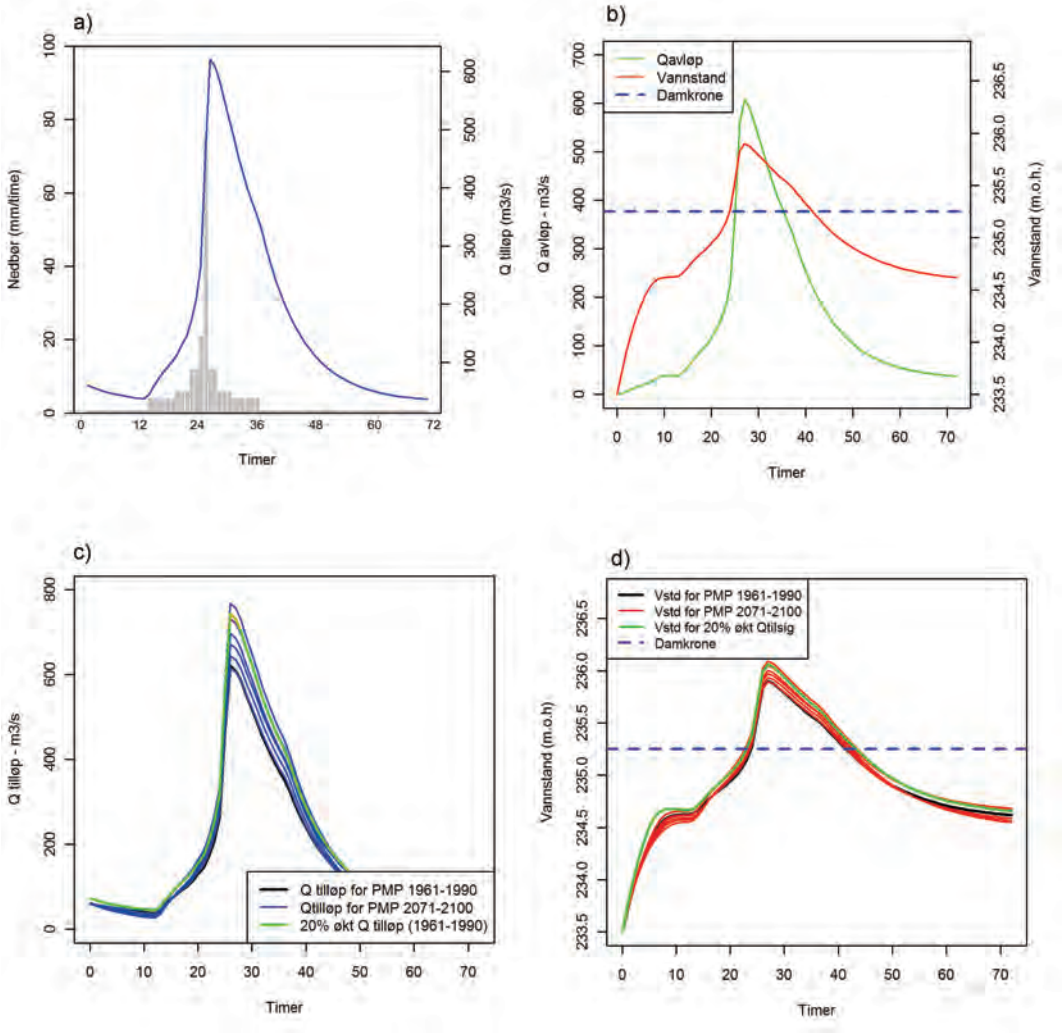
Figur A7. PQRUT kjøring for Gaggavatn (1410): a) Nedbør- og snøsmeltesekvens og tilløpsflom beregnet med grunnlag i gridbasert observert nedbør for periode 1961-1990; b) Avløpsflom og vannstand i magasinet for 1961-1990 tilløpsflommen; c) Tilløpsflommer basert på klimafremskrivninger for PMP for 2071-2100 sammenlignet med en 20% økning i 1961-1990 tilløpsflommen; og d) vannstand i magasinet for tilløpsflommene vist i c).

1561 – Haukland-Stemmevatn



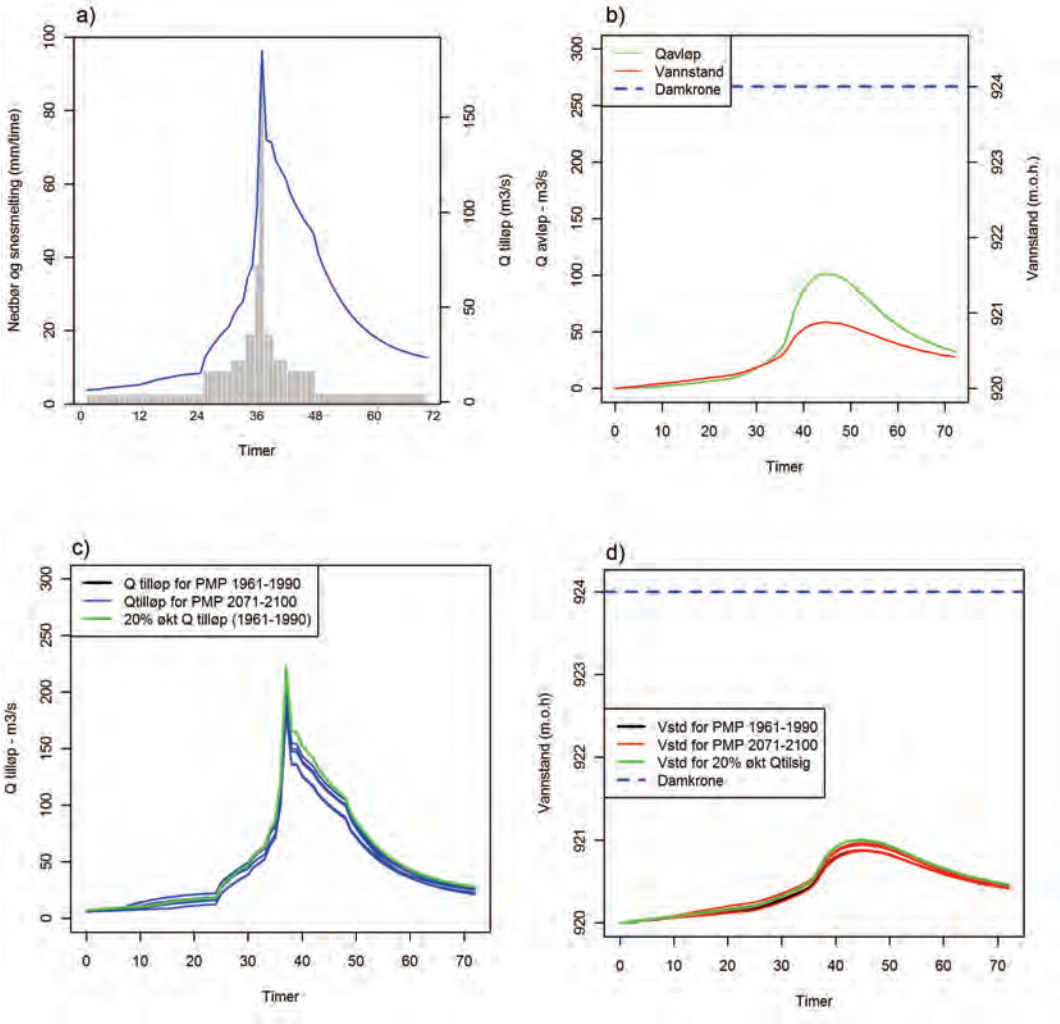
Figur A8. PQRUT kjøring for Haukland-Stemmevatn (1561): a) Nedbør- og snøsmeltesekvens og tilløpsflom beregnet med grunnlag i gridbasert observert nedbør for periode 1961-1990; b) Avløpsflom og vannstand i magasinet for 1961-1990 tilløpsflommen; c) Tilløpsflommer basert på klimafremskrivninger for PMP for 2071-2100 sammenlignet med en 20% økning i 1961-1990 tilløpsflommen; og d) vannstand i magasinet for tilløpsflommene vist i c).

1748 - Kildalen



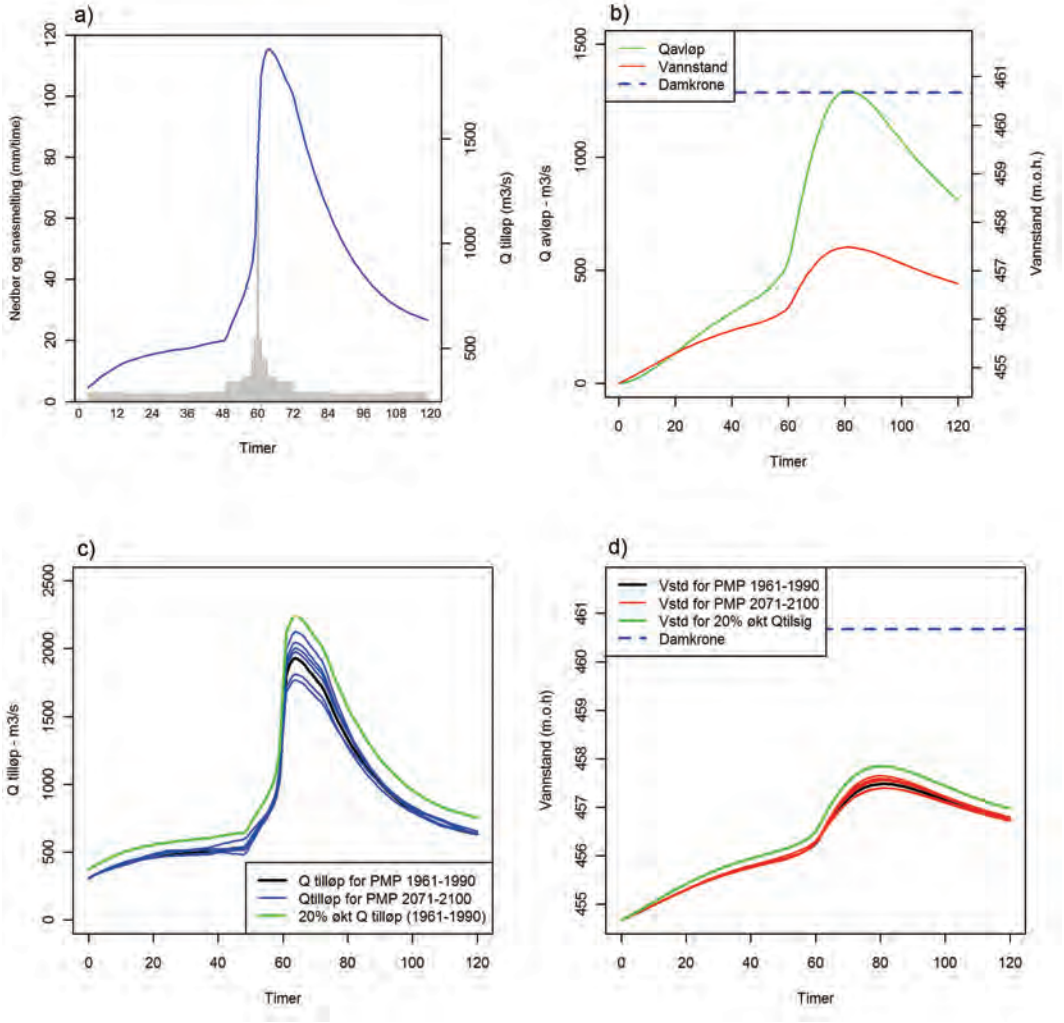
Figur A9. PQRUT kjøring for Kildalen (1748): a) Nedbør- og snøsmeltesekvens og tilløpsflom beregnet med grunnlag i gridbasert observert nedbør for periode 1961-1990; b) Avløpsflom og vannstand i magasinet for 1961-1990 tilløpsflommen; c) Tilløpsflommer basert på klimafremskrivninger for PMP for 2071-2100 sammenlignet med en 20% økning i 1961-1990 tilløpsflommen; og d) vannstand i magasinet for tilløpsflommene vist i c).

1847 - Kvilesteinsvatn



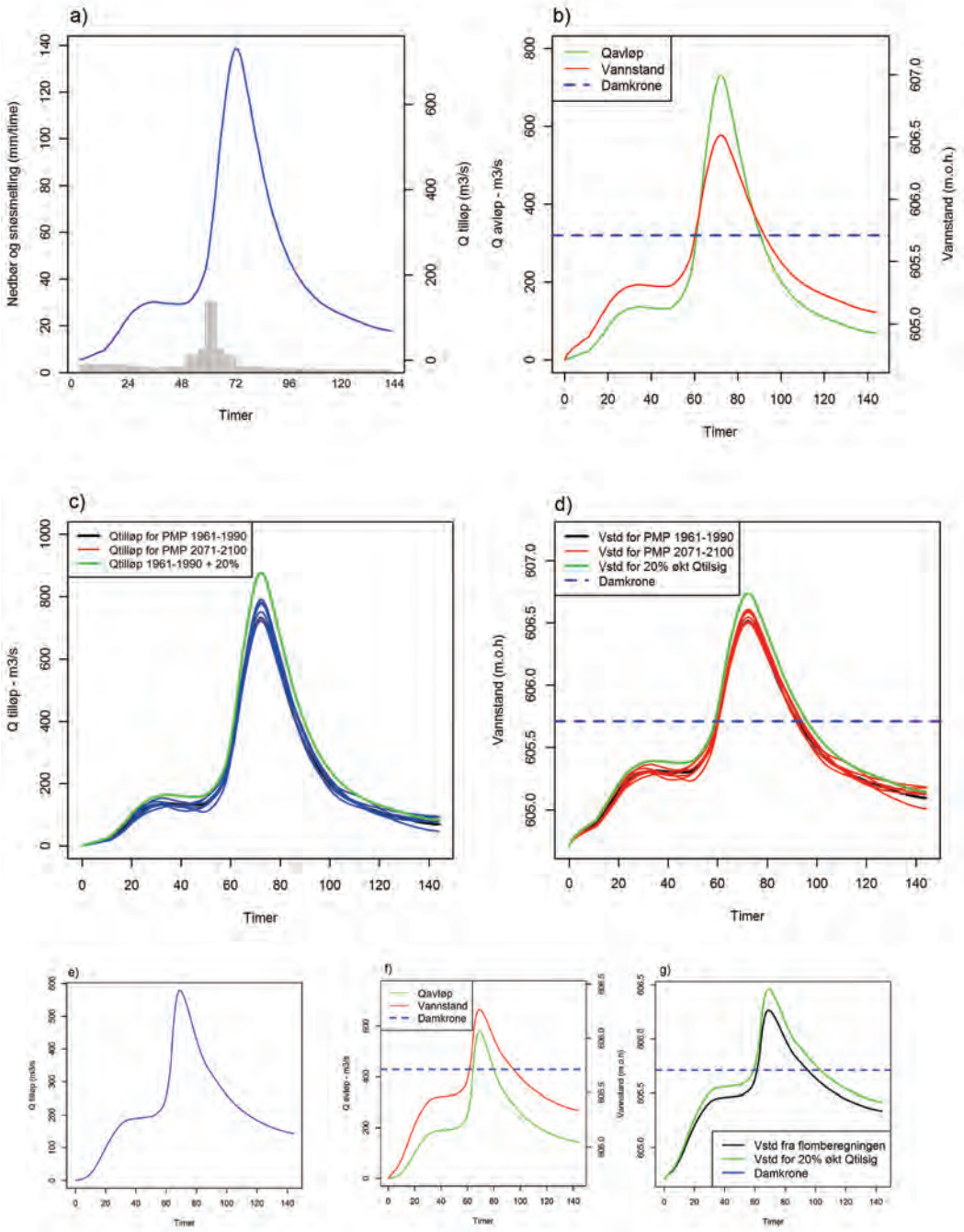
Figur A10. PQRUT kjøring for Kvilesteinsvatn (1847): a) Nedbør- og snøsmeltesekvens og tilløpsflom beregnet med grunnlag i gridbasert observert nedbør for periode 1961-1990; b) Avløpsflom og vannstand i magasinet for 1961-1990 tilløpsflommen; c) Tilløpsflommer basert på klimafremskrivninger for PMP for 2071-2100 sammenlignet med en 20% økning i 1961-1990 tilløpsflommen; og d) vannstand i magasinet for tilløpsflommene vist i c).

2111 - Namsvatn



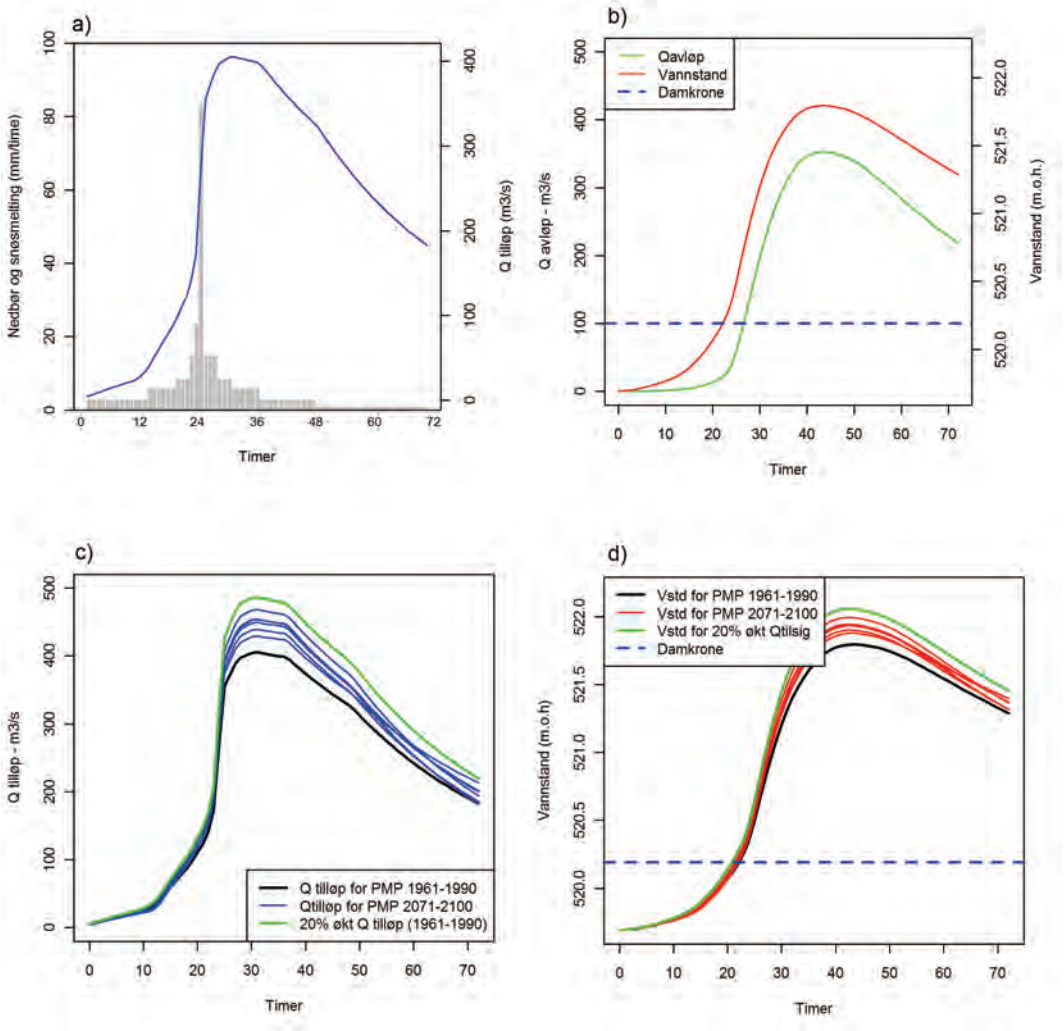
Figur A11. PQRUT kjøring for Namsvatn (2111): a) Nedbør- og snøsmeltesekvens og tilløpsflom beregnet med grunnlag i gridbasert observert nedbør for periode 1961-1990; b) Avløpsflom og vannstand i magasinet for 1961-1990 tilløpsflommen; c) Tilløpsflommer basert på klimafremskrivninger for PMP for 2071-2100 sammenlignet med en 20% økning i 1961-1990 tilløpsflommen; og d) vannstand i magasinet for tilløpsflommene vist i c).

2145 – Skjerkevatn



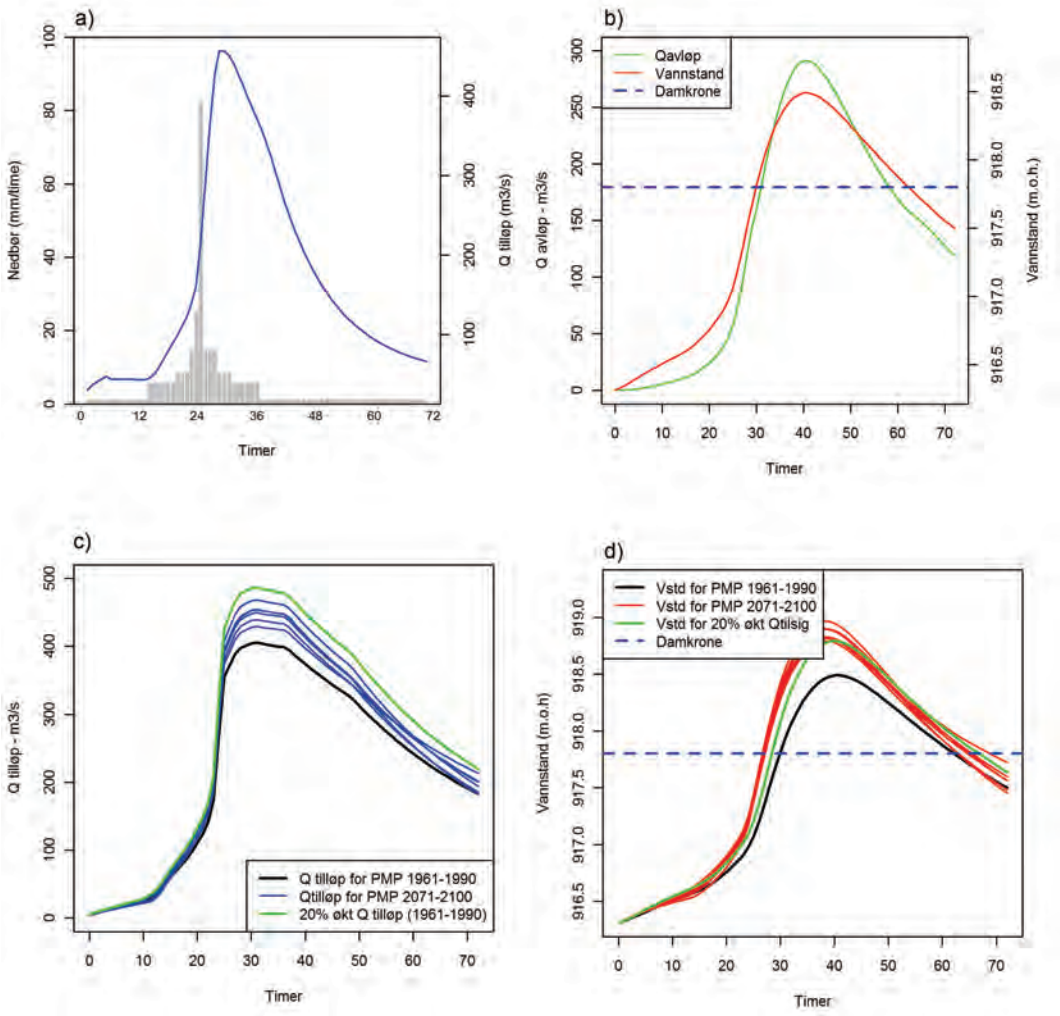
Figur A12. PQRUT kjøring for Skjerkevatn (2145): a) Nedbør- og snøsmeltesekvens og tilløpsflom beregnet med grunnlag i gridbasert observert nedbør for periode 1961-1990; b) Avløpsflom og vannstand i magasinet for 1961-1990 tilløpsflommen; c)Tilløpsflommer basert på klimafremskrivninger for PMP for 2071-2100 sammenlignet med en 20% økning i 1961-1990 tilløpsflommen; d) vannstand i magasinet for tilløpsflommene vist i c); e) tilløpsflommen fra beregningsrapport med ruting gjennom oppstrømsmagasiner; f) avløpsflom og vannstand i magasinet for e); og g) effekt av en 20% økt tilløpsflom på vannstand i magasinet.

2175 – Nord Mesna



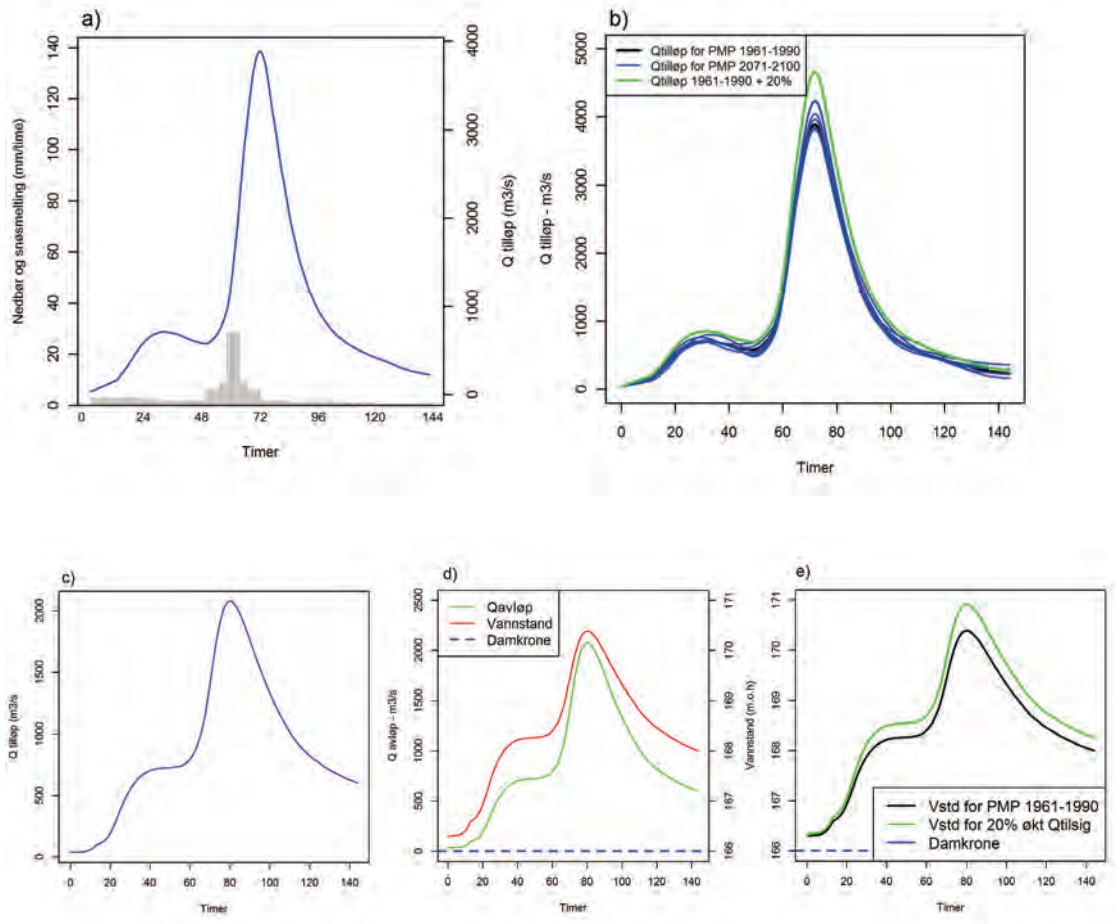
Figur A13. PQRUT kjøring for Nord Mesna (2175): a) Nedbør- og snøsmeltesekvens og tilløpsflom beregnet med grunnlag i gridbasert observert nedbør for periode 1961-1990; b) Avløpsflom og vannstand i magasinet for 1961-1990 tilløpsflommen; c) Tilløpsflommer basert på klimafremskrivninger for PMP for 2071-2100 sammenlignet med en 20% økning i 1961-1990 tilløpsflommen; og d) vannstand i magasinet for tilløpsflommene vist i c).

2258 - Raudalsvatn



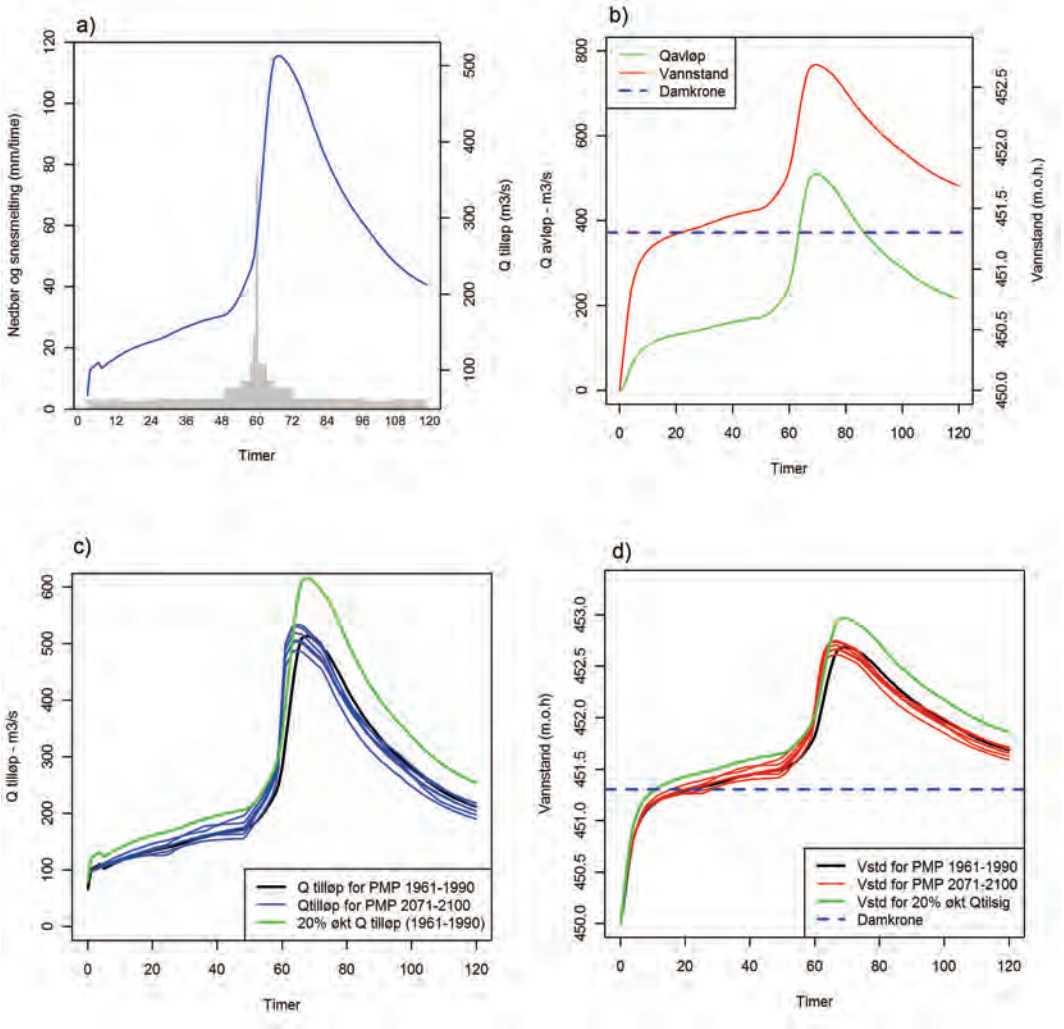
Figur A14. PQRUT kjøring for Raudalsvatn (2258): a) Nedbør- og snøsmeltesekvens og tilløpsflom beregnet med grunnlag i gridbasert observert nedbør for periode 1961-1990; b) Avløpsflom og vannstand i magasinet for 1961-1990 tilløpsflommen; c) Tilløpsflommer basert på klimafremskrivninger for PMP for 2071-2100 sammenlignet med en 20% økning i 1961-1990 tilløpsflommen; og d) vannstand i magasinet for tilløpsflommene vist i c).

2810 - Tungefoss



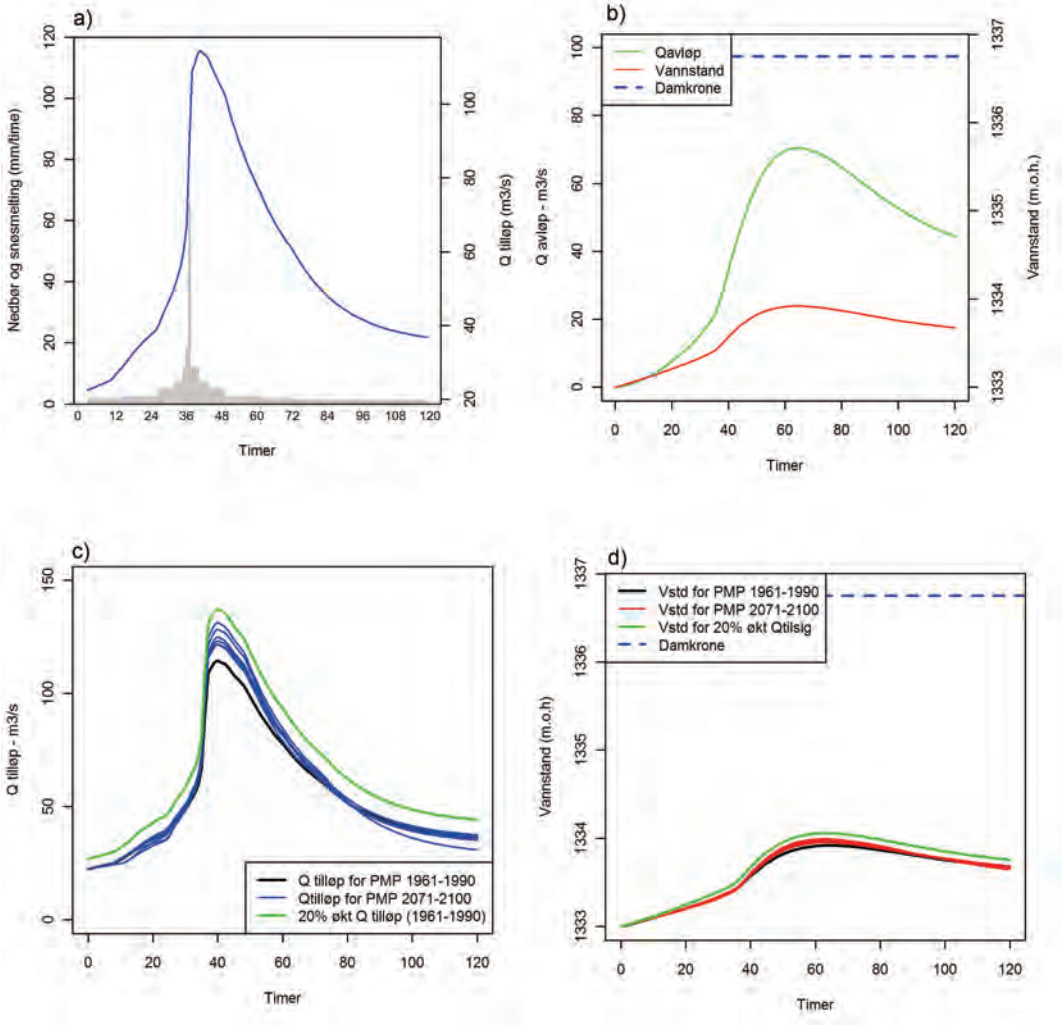
Figur A15. PQRUT kjøring for Tungefoss (2810): a) Nedbør- og snøsmeltesekvens og tilløpsflom beregnet med grunnlag i gridbasert observert nedbør for periode 1961-1990; b) Tilløpsflommer basert på klimafremskrivninger for PMP for 2071-2100 sammenlignet med en 20% økning i 1961-1990 tilløpsflommen; c) tilløpsflom fra beregningsrapport med ruting i oppstrømsmagasiner; d) avløpsflom og vannstand i magasinet for c); og e) effekt av en 20% økt tilløpsflom på vannstand i magasinet.

3000 - Zakariasvatn



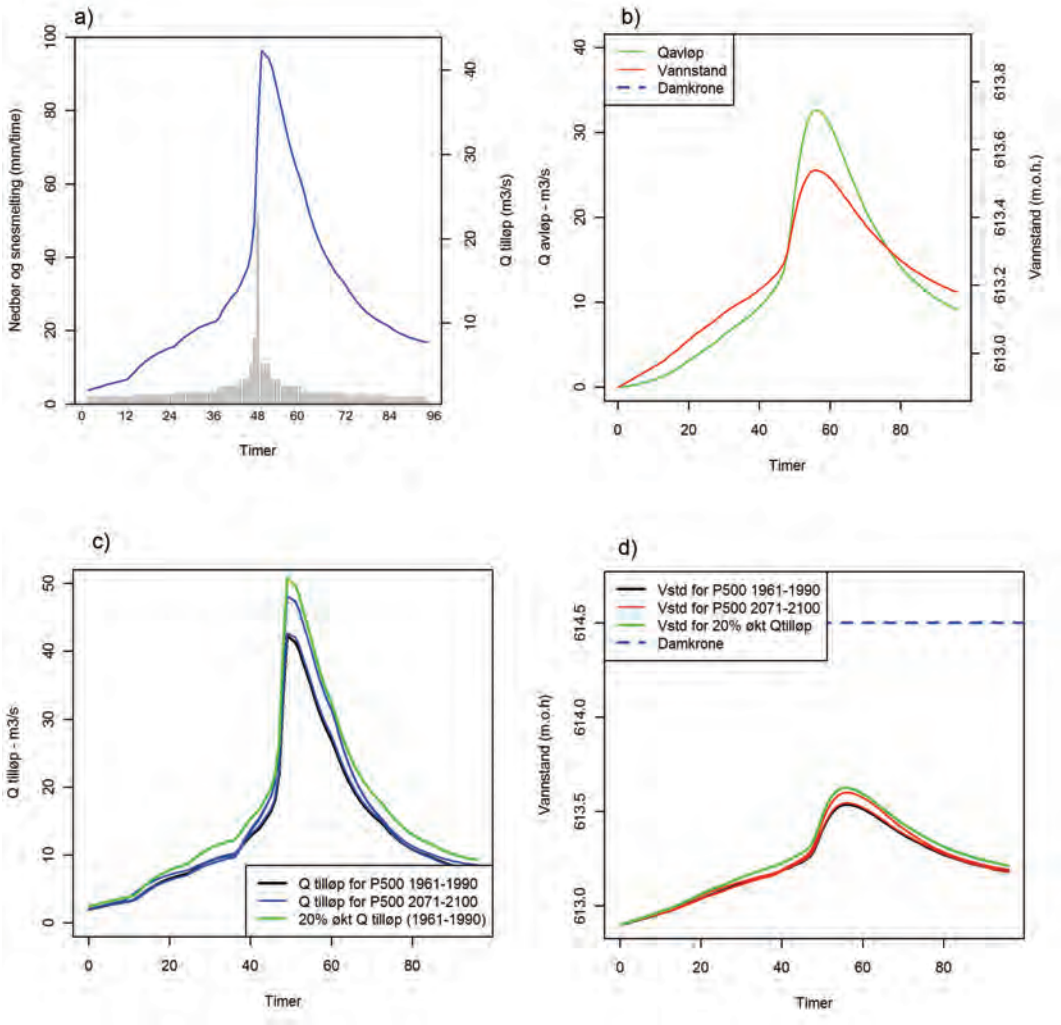
Figur A16. PQRUT kjøring for Zakariasvatn (3000): a) Nedbør- og snøsmeltesekvens og tilløpsflom beregnet med grunnlag i gridbasert observert nedbør for periode 1961-1990; b) Avløpsflom og vannstand i magasinet for 1961-1990 tilløpsflommen; c) Tilløpsflommer basert på klimafremskrivninger for PMP for 2071-2100 sammenlignet med en 20% økning i 1961-1990 tilløpsflommen; og d) vannstand i magasinet for tilløpsflommene vist i c).

3009 - Øljusjøen



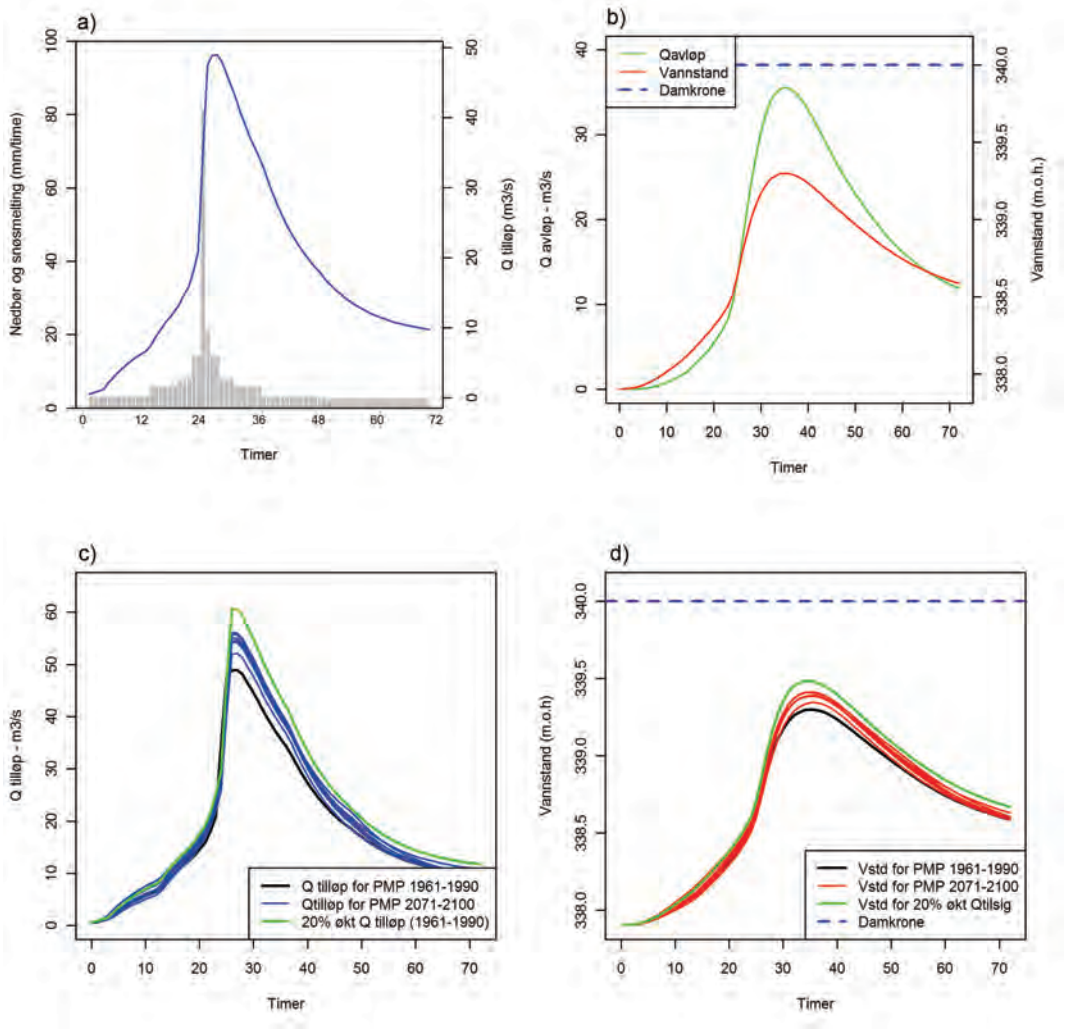
Figur A17. PQRUT kjøring for Øljusjøen (3009): a) Nedbør- og snøsmeltesekvens og tilløpsflom beregnet med grunnlag i gridbasert observert nedbør for periode 1961-1990; b) Avløpsflom og vannstand i magasinet for 1961-1990 tilløpsflommen; c) Tilløpsflommer basert på klimafremskrivninger for PMP for 2071-2100 sammenlignet med en 20% økning i 1961-1990 tilløpsflommen; og d) vannstand i magasinet for tilløpsflommene vist i c).

3046 – Øvre Ringvatn



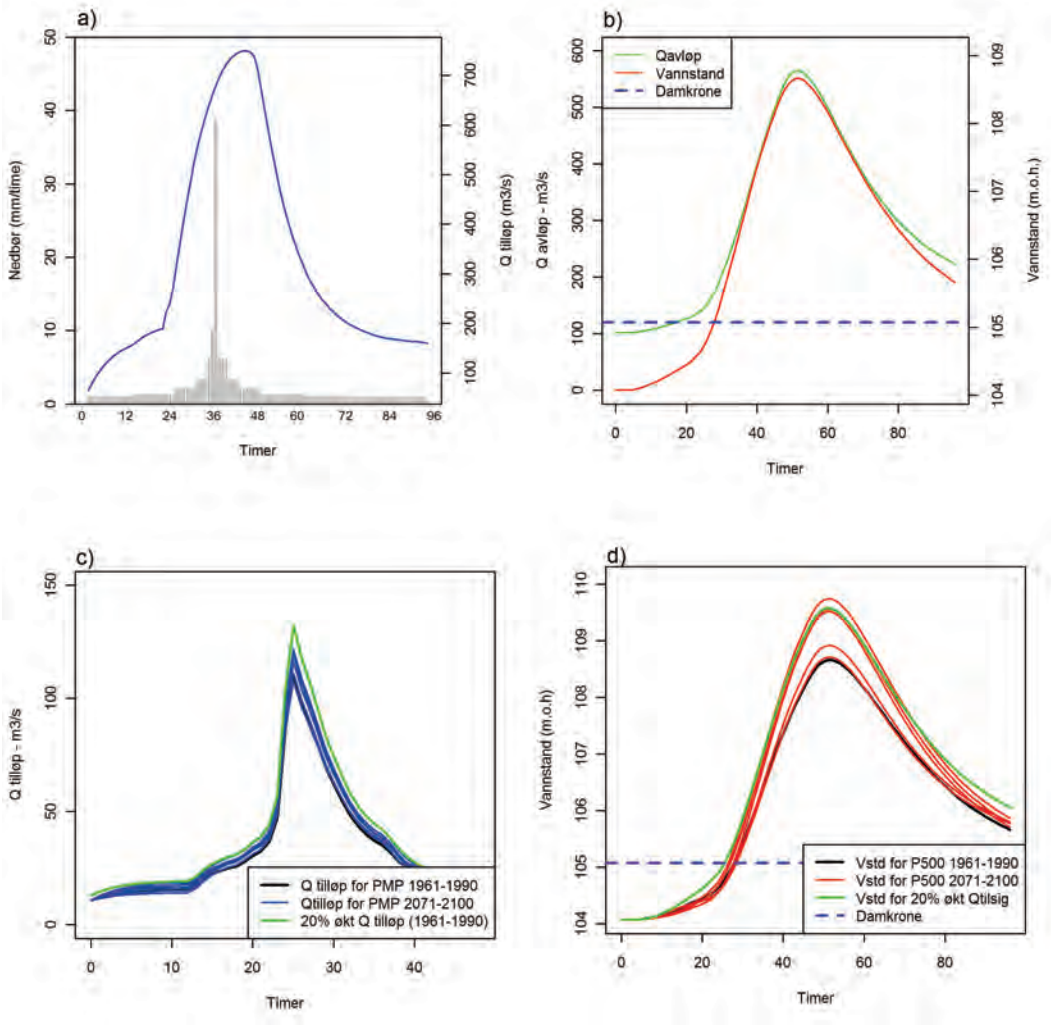
Figur A18. PQRUT kjøring for Øvre Ringvatn (3046): a) Nedbør- og snøsmeltesekvens og tilløpsflom beregnet med grunnlag i gridbasert observert nedbør for periode 1961-1990; b) Avløpsflom og vannstand i magasinet for 1961-1990 tilløpsflommen; c) Tilløpsflommer basert på klimafremskrivninger for P500 for 2071-2100 sammenlignet med en 20% økning i 1961-1990 tilløpsflommen; og d) vannstand i magasinet for tilløpsflommene vist i c).

3255 - Ørfiske



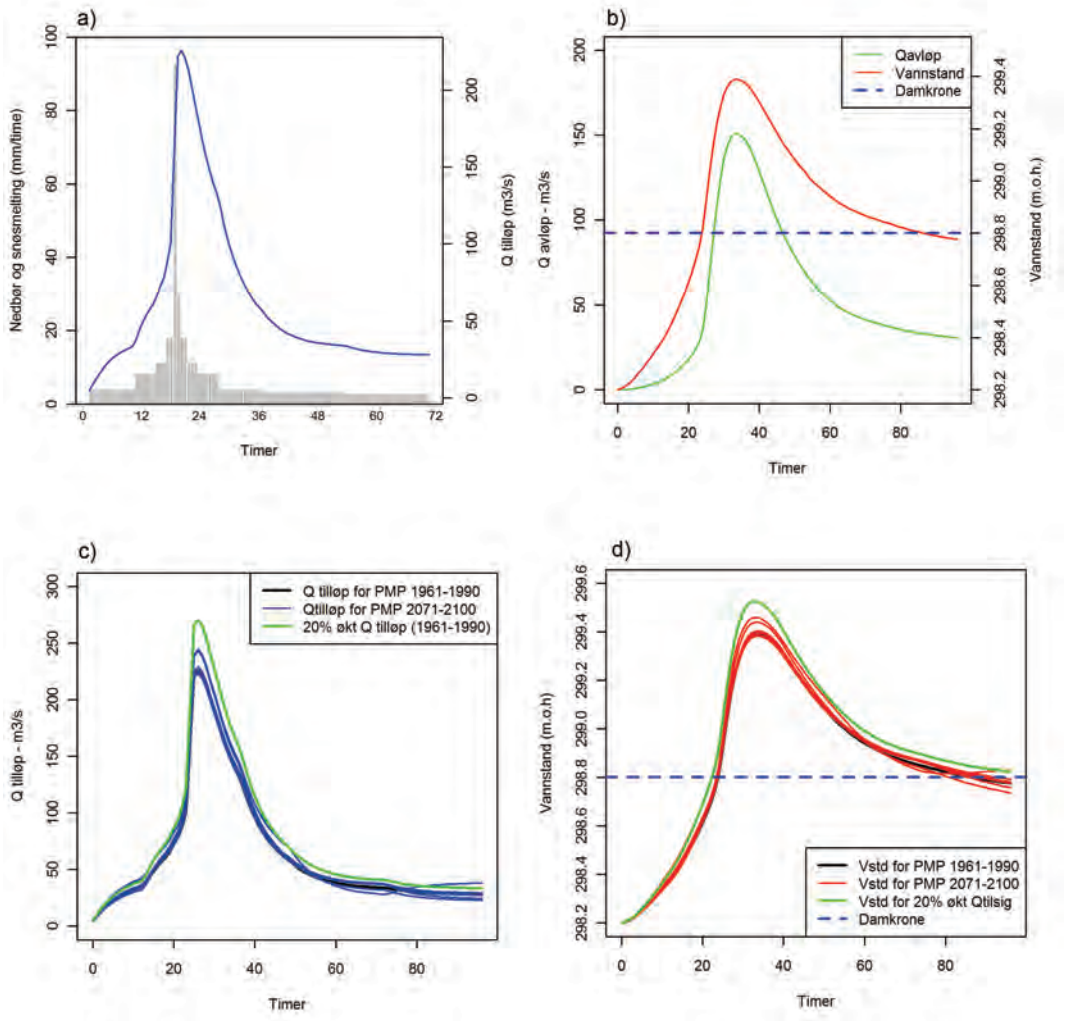
Figur A19. PQRUT kjøring for Ørfiske (3234): a) Nedbør- og snøsmeltesekvens og tilløpsflom beregnet med grunnlag i gridbasert observert nedbør for periode 1961-1990; b) Avløpsflom og vannstand i magasinet for 1961-1990 tilløpsflommen; c) Tilløpsflommer basert på klimafremskrivninger for PMP for 2071-2100 sammenlignet med en 20% økning i 1961-1990 tilløpsflommen; og d) vannstand i magasinet for tilløpsflommene vist i c).

3335 - Sonoren



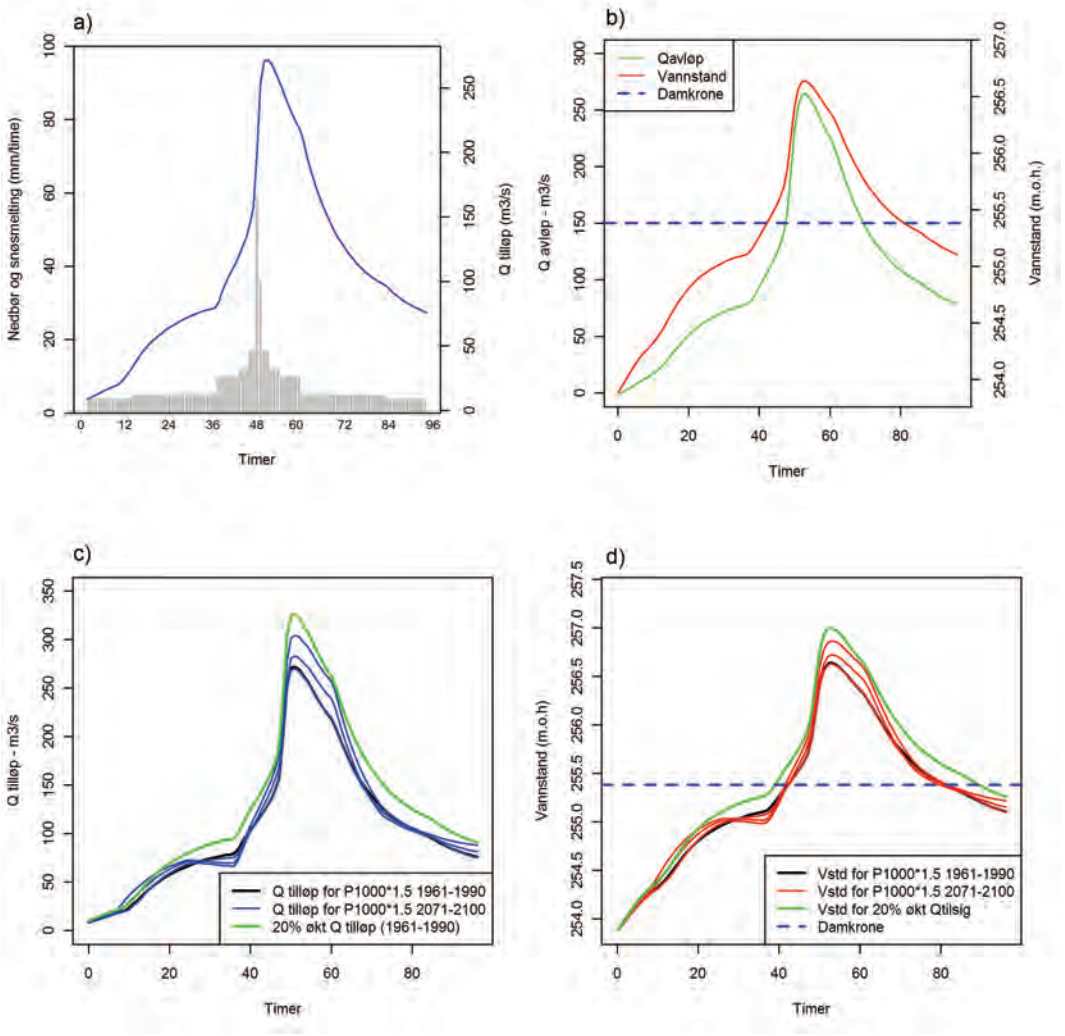
Figur A20. PQRUT kjøring for Sonoren (3335): a) Nedbør- og snøsmeltesekvens og tilløpsflom beregnet med grunnlag i gridbasert observert nedbør for periode 1961-1990; b) Avløpsflom og vannstand i magasinet for 1961-1990 tilløpsflommen; c) Tilløpsflommer basert på klimafremskrivninger for P500 for 2071-2100 sammenlignet med en 20% økning i 1961-1990 tilløpsflommen; og d) vannstand i magasinet for tilløpsflommene vist i c).

3364 - Våvatn



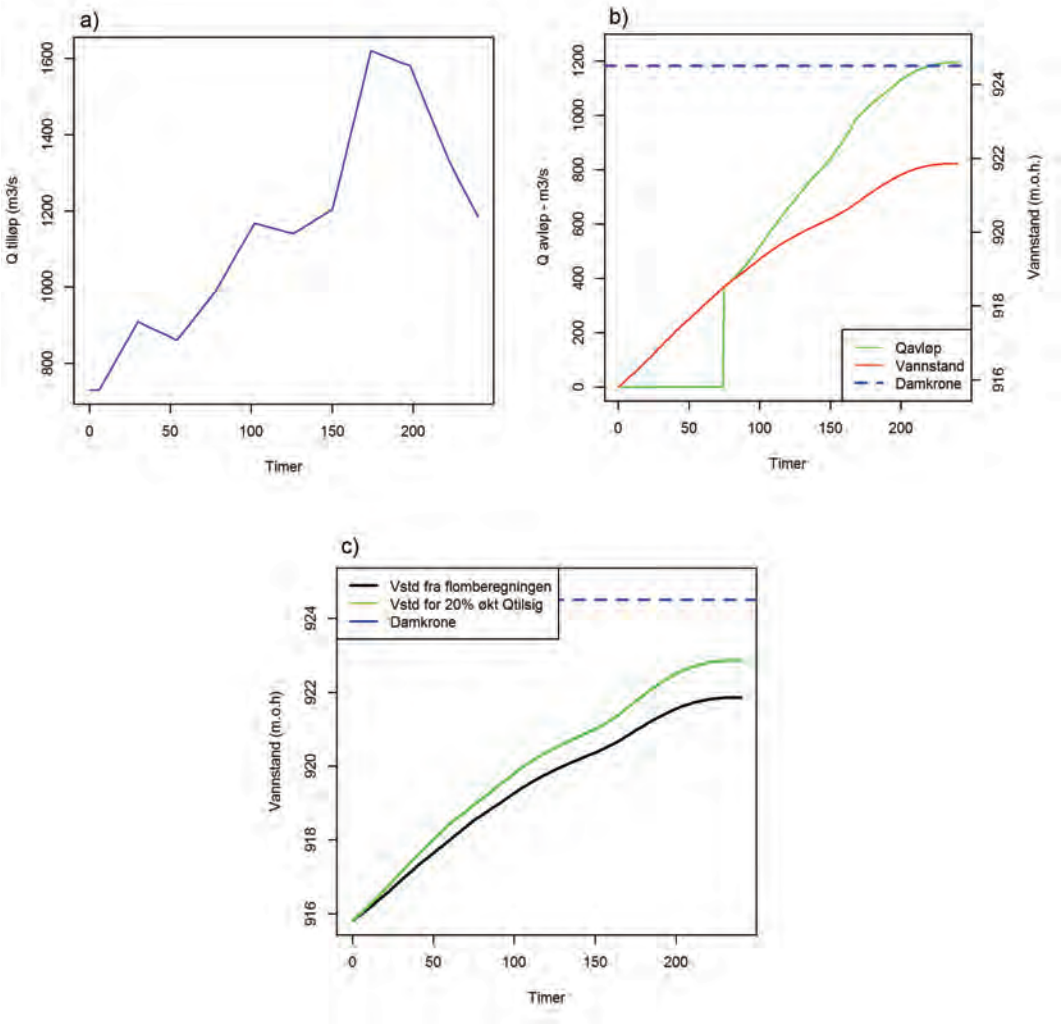
Figur A21. PQRUT kjøring for Våvatn (3364): a) Nedbør- og snøsmeltesekvens og tilløpsflom beregnet med grunnlag i gridbasert observert nedbør for periode 1961-1990; b) Avløpsflom og vannstand i magasinet for 1961-1990 tilløpsflommen; c) Tilløpsflommer basert på klimafremskrivninger for PMP for 2071-2100 sammenlignet med en 20% økning i 1961-1990 tilløpsflommen; og d) vannstand i magasinet for tilløpsflommene vist i c).

3582 - Hommelvatn



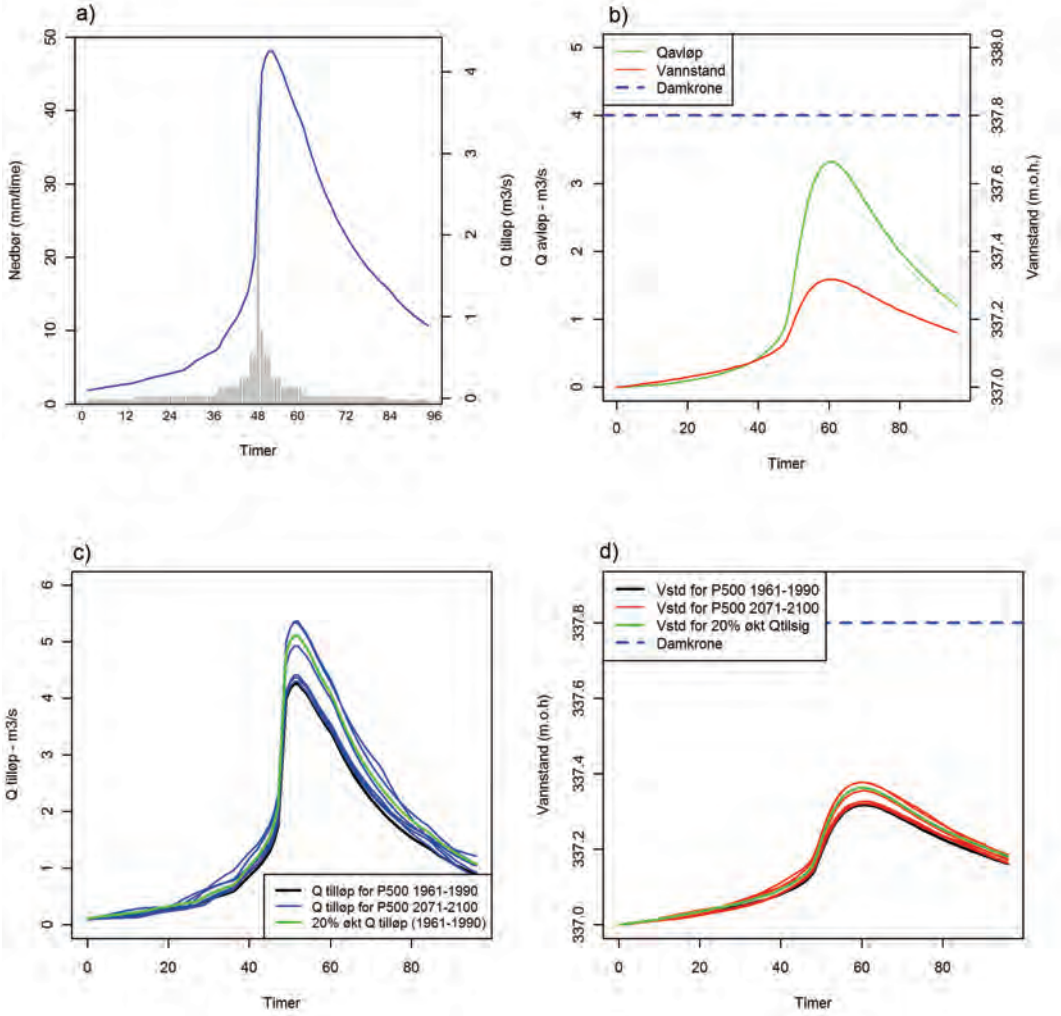
*Figur A22. PQRUT kjøring for Hommelvatn (3582): a) Nedbør- og snøsmeltesekvens og tilløpsflom beregnet med grunnlag i gridbasert observert nedbør for periode 1961-1990; b) Avløpsflom og vannstand i magasinet for 1961-1990 tilløpsflommen; c) Tilløpsflommer basert på klimafremskrivninger for P1000 (Q1000*1.5) for 2071-2100 sammenlignet med en 20% økning i 1961-1990 tilløpsflommen; og d) vannstand i magasinet for tilløpsflommene vist i c).*

3801 - Møsvatn



Figur A23. PQRUT kjøring for Møsvatn (3801): a) Tilløpsflom (Q_{PMF}) fra flomberegningsrapport; b) avløpsflom og vannstand i magasinet for tilløpsflommen vist i a); og c)vannstand for 20% økt tilløpsflom (Q_{PMF}).

3884 - Djupsjøen



Figur A24. PQRUT kjøring for Djupsjøen (3884): a) Nedbør- og snøsmeltesekvens og tilløpsflom beregnet med grunnlag i gridbasert observert nedbør for periode 1961-1990; b) Avløpsflom og vannstand i magasinet for 1961-1990 tilløpsflommen; c) Tilløpsflommer basert på klimafremskrivninger for P500 for 2071-2100 sammenlignet med en 20% økning i 1961-1990 tilløpsflommen; og d) vannstand i magasinet for tilløpsflommene vist i c).

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

Utgitt i Rapportserien i 2014

Nr. 1 Analyse av energibruk i forretningsbygg. Formålsdeling. Trender og drivere
Nr. 2 Det høyspente distribusjonsnettet. Innsamling av geografiske og tekniske komponentdata
Nr. 3 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Dimensjonerende korttidsnedbør for Telemark, Sørlandet og Vestlandet: Eirik Førland, Jostein Mamen, Karianne Ødemark,Hanne Heiberg, Steinar Myrabø
Nr. 4 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 7. Skred og flomsikring. Sikringstiltak mot skred og flom Befaring i Troms og Finnmark høst 2013
Nr. 5 Kontrollstasjon: NVEs gjennomgang av elsertifikatordningen
Nr. 6 New version (v.1.1.1) of the seNorge snow model and snow maps for Norway. Tuomo Saloranta
Nr. 7 EBO Evaluering av modeller for klimajustering av energibruk
Nr. 8 Erfaringer fra ekstremværet Hilde, november 2013
Nr. 9 Erfaringer fra ekstremværet Ivar, desember 2013
Nr. 10 Kvartalsrapport for kraftmarknaden. 4. kvartal 2013. Ellen Skaansar (red.)v
Nr. 11 Energibruksrapporten 2013
Nr. 12 Fjernvarmens rolle i energisystemet
Nr. 13 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Karakterisering av flomregimer. Delprosjekt. 5.1.5
Nr. 14 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. En omforent anbefaling for bruk av anisotropifaktorer i prosjektering i norske leirer
Nr. 15 Tilleggsrapport: Oppsummering av Energimyndighetens og NVEs gjennomgang av elsertifikatordningen
Nr. 16 Flomberegning for Nesttunvassdraget (056.3Z). Thomas Væringstad
Nr. 17 Årsrapport for tilsyn
Nr. 18 Verktøyprosjektet - hydrologi 2010-2013. En oppsummering av aktiviteter og resultater. Erik Holmqvist (red.)
Nr. 19 Flom og jordskred i Nordland og Trøndelag desember 2013. Elin Langsholt, Erik Holmqvist, Delia Welle Kejo
Nr. 20 Vindkraft i produksjon i 2013
Nr. 21 FoU-prosjekt 81072 Pilotstudie: Snøskredfarekartlegging med ATES (Avalanche Terrain Exposure Scale) Klassifisering av snøskredterreng for trygg ferdsel
Nr. 22 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 3.1. Hvordan beregne ekstremverdier for gitte gjentaksintervaller? Manual for å beregne returverdier av nedbør for ulike gjentaksintervaller (for ikke-statistikker)
Nr. 23 Flomsonekart Delprosjekt Tuv. Kjartan Orvedal, Julio Pereira
Nr. 24 Summary of the review of the electricity certificates system by the Swedish Energy Agency and the Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE)
Nr. 25 Landsomfattende mark- og grunnvannsnett. Drift og formidling 2011. Jonatan Haga Per Alve Glad
Nr. 26 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 1 Naturskadestrategi. Sammenligning av risikoakseptkriterier for skred og flom. Utredning for Naturfareprogrammet (NIFS)
Nr. 27 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. Skredfarekartlegging i strandsonen
Nr. 28 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. "Kvistdammer" i Slovakia. Små terskler laget av stedegent materiale, erfaringer fra studietur for mulig bruk i Norge
Nr. 29 Reestablishing vegetation on interventions along rivers. A compilation of methods and experiences from the Tana River valley
Nr. 30 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Karakterisering av flomregimer
Nr. 31 Småkraftverk: Tetthet og reproduksjon av ørret på utbygde strekninger med krav om minstevannføring Svein Jakob Saltveit og Henning Pavels
Nr. 32 Kanalforvaltningen rundt 1814 – del av en fungerende statsadministrasjon for det norske selvstendighetsprosjektet. Grunnlovsjubileet 2014
Nr. 33 Museumsordningen 10 år
Nr. 34 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. Skredfarekartlegging i strandsonen -videreføring
Nr. 35 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Karakterisering av flomregimer Delprosjekt. 5.1.5. Revisjon av rapport 13-2014
Nr. 36 Kvartalsrapport for kraftmarknaden 1. kvartal 2014. Gudmund Bartnes (red.)
Nr. 37 Preliminary regionalization and susceptibility analysis for landslide early warning purposes in Norway

Nr. 38 Driften av kraftsystemet 2013
Nr. 39 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. Effekt av progressivbruddutvikling for utbygging i områder med kvikkleire: Sensitivitetsanalyse basert på data fra grunnundersøkelser på vegstrekningen Sund-Bradden i Rissa
Nr. 40 Naturfareprosjektet DP. 6 Kvikkleire. Effekt av progressiv bruddutvikling for utbygging i områder med kvikkleire: Sensitivitetsanalyse-1
Nr. 41 Bioenergi i Norge
Nr. 42 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Dimensjonerende korttidsnedbør for Møre og Romsdal, Trøndelag og Nord-Norge. Delprosjekt. 5.1.3
Nr. 43 Terskelstudier for utløsning av jordskred i Norge. Oppsummering av hydrometeorologiske terskelstudier ved NVE i perioden 2009 til 2013. Søren Boje, Hervé Colleuille og Graziella Devoli
Nr. 44 Regional varsling av jordskredfare: Analyse av historiske jordskred, flomskred og sørpeskred i Gudbrandsdalen og Ottadalen. Nils Arne K. Walberg, Graziella Devoli
Nr. 45 Flomsonekart. Delprosjekt Hemsedal. Martin Jespersen, Rengifo Ortega, Julio H. Pereira Sepulveda
Nr. 46 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. Mulighetsstudie om utvikling av en nasjonal blokkprøvedatabase
Nr. 47 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. Detektering av sprøbruddmateriale ved hjelp av R-CPTU
Nr. 48 En norsk-svensk elsertifikatmarknad. Årsrapport 2013
Nr. 49 Øvelse Østlandet 2013. Evalueringsrapport
Nr. 50
Nr. 51 Forslag til nytt vektsystem i modellen for å fastsette kostnadsnormer i regionalnettene
Nr. 52 Jord- og sørpeskred i Sør-Norge mai 2013. Monica Sund
Nr. 53 Årsrapport for utførte sikrings- og miljøtiltak for 2013
Nr. 54 Naturfareprosjekt DP. 1 Naturskadestrategi Samarbeid og koordinering vedrørende naturfare. En ministudie av Fellesprosjektet E6-Dovrebanen og Follobanen
Nr. 55 Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Effekt av progressiv bruddutvikling for utbygging i områder med kvikkleire: Numerisk metode for beregning av udrenert brudd i sensitive materialer
Nr. 56 Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Effekt av progressiv bruddutvikling for utbygging i områder med kvikkleire: Tilbakeregning av Vestfossenskredet
Nr. 57 Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Sikkerhet ifm utbygging i kvikkleireområder: Effekt av progressiv bruddutvikling i raviner
Nr. 58 Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Sikkerhet ifm utbygging i kvikkleireområder: Sannsynlighet for brudd med prosentvis forbedring
Nr. 59 Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Likestilling mellom bruk av absolutt material faktor og av prosentvis forbedring: bruk av spenningsendring for å definere lokalskred og områdeskred
Nr. 60 Skredfarekartlegging i Høyanger kommune
Nr. 61 Flaumsonekart Delprosjekt Førde. Kjartan Orvedal og Ivar Olaf Peereboom
Nr. 62 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Regionalt formelverk for flomberegning i små nedbørsfelt Delprosjekt. 5.1.6.
Nr. 63 Naturfareprosjektet DP. 3.2 Datasamordning Ministudie av samordning og deling av flom-og skreddata for tre samarbeidende etater
Nr. 64 Naturfareprosjektet. Delprosjekt 2- Beredskap og krisehåndtering. Delrapport 1 - Beredskapsplaner og krisehåndtering
Nr. 65 Grønne tak og styrtregn. Effekten av ekstensive tak med sedum-vegetasjon for redusert avrenning etter nedbør og snøsmelting i Oslo. Bent C. Braskerud.
Nr. 66 Norges vannbalanse i TWh basert på HBV-modeller. Undertittel: Statistikk og variasjoner 1958-2012. Erik Holmqvist.
Nr. 67 Effekt av lagringstid på prøvekvalitet. Marie Haakensen / NIFS.
Nr. 68 Effect of storage time on sample quality. Marie Haakensen / NIFS.
Nr. 69 Flomsonekart. Delprosjekt Fagernes. Ahmed Reza Naserzadeh og Camilla Meidell Roald.
Nr. 70 Status høsten 2014 - resultater og veien videre. Marie Haakensen / NIFS.
Nr. 71 Aktive vannføringsstasjoner i Norge, Lars Evan Pettersson.
Nr. 72 Smarte målere (AMS) og feedback. VasaaETT og Heidi Kvalvåg.
Nr. 73 Filefjell og Anestølen. Evaluering av måledata for snø, sesongen 2012/2013. Heidi Bache Stranden og Bjørg Lirhus Ree.
Nr. 74 Avbrotsstatistikk 2013. Astrid Ånestad.
Nr. 75 Energibruk i undervisningsbygg. Benedicte Langseth og Multiconsult m.fl.
Nr. 76 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 2. Beredskap og krisehåndtering. Haakensen.
Nr. 77 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6. Kvikkleire. Haakensen.
Nr. 78 Status og prognoser for kraftsystemet 2014.." Synnøve Lill Paulen.
Nr. 79 Snøskredvarslingen. Evaluering av vinteren 2014. NIFS. Emma Barfod.

Nr. 80 Norwegian Avalanche Warning Service. Program Review. NIFS. By Grant Statham. Emma Barfod.
Nr. 81 Oppsummeringsrapporter ifm høring 2-2014. Mi Lagergren.
Nr. 82 Oppsummeringsrapporter ifm høring 2-2014. Mi Lagergren.
Nr. 83 Inventory of glacier-related hazardous events in Norway. Miriam Jackson and Galina Ragulina.
Nr. 84 Evaluering av flomvarslingas modellverktøy. Ingjerd Haddeland.
Nr. 85 Kartlegging av oppvarmingsutstyr i husholdningene. Magnussen.
Nr. 86 Elsertifikat Årsrapport 2013
Nr. 87 Naturfareprosjektet: Droneteknologi. Haakensen/NIFS.
Nr. 88 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6. Kvikkleire. Haakensen/NIFS.
Nr. 89 Klimaendring og damsikkerhet: En pilot-studie av 24 dammer. D.Lawrence.

Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no