



NVE

Virkingen av klimaendringer på tilsiget til vannkraften i Norge

VANNKRAFTVERKENE I NORGE FÅR MER TILSIG

Desember 2019 Nr. 50/19

Rapport, bokmål nr 50-2019

Vannkraftverkene i Norge får mer tilsig

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat
Redaktør: Valentin Koestler
Forfatter: Valentin Koestler, Ann Østenby, Christine Birkeland, Fredrik Arnesen, Ingjerd Haddeland

Trykk: NVEs hustrykkeri
Forsidefoto: Energitilsigsprofil for Norge, glidende 30 års gjennomsnitt 1990-2100
ISBN: 978-82-410-1975-3
ISSN: 1501-2832

Sammendrag: De siste tiårene har vannkraftverkene i hele Norge fått mer tilsig som følge av en økning i nedbør. Dette har ført til mer vannkraftproduksjon. Økningen i tilsig har vært størst om vinteren, samtidig har snøsmelteflommen blitt litt mindre.

Fremover vil et varmere og våtere klima føre til at tilsiget fortsetter å øke. Mesteparten av økningen i tilsig kan utnyttes til vannkraftproduksjon. Tilsiget har økt raskere de siste tiårene enn klimaframskrivningene. Det kommer i

Emneord: klimaendringer, tilsig, kraftsystemet, vannkraftverk, vannkraftproduksjon, kraftverk,

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

Telefon: 22 95 95 95
Epost: nve@nve.no
Internett: www.nve.no

17.12.2019

Vannkraftverkene i Norge får mer tilsig

Virkingen av klimaendringer på tilsiget til
vannkraften i Norge

Valentin Koestler, Ann Østenby, Fredrik Arnesen, Christine Birkeland, Ingjerd Haddeland

Innhold

1	Vannkraftverkene har fått mer tilsig de siste tiårene	6
1.1	Økt tilsig gir økt produksjon	8
1.2	Det har kommet mer tilsig om vinteren og snøsmeltingen har blitt mindre	9
1.3	Tilsiget har økt over hele landet.....	10
2	Tilsiget øker sannsynligvis videre	12
2.1	Tilsiget har økt raskere enn i klimaframskrivningene	16
2.2	Det kommer enda mer tilsig om vinteren og mindre om sommeren	18
2.3	Bretilsiget blir kraftig redusert mot slutten av århundret.....	20
2.4	Tilsiget om vinteren varierer mer mellom årene	21
A	Vedlegg.....	22
A.1	Tabeller og grafer	22
A.2	Modellering og forutsetninger	25
A.2.1	Vannkraftsystemet	25
A.2.2	Kraftpris.....	25
A.3	Tilsig og klimaframskrivninger.....	26
A.4	Sammenligning av observert og klimaframskrevet tilsig	28

Forord

Denne rapporten er laget for å bygge kunnskap om hvordan klimaendringer kan endre kraftproduksjonen fra norske vannkraftverk. Dette er viktig for at NVE kan jobbe for et fortsatt sikkert og robust energisystem. Selv om mange av effektene som omtales først vil inntreffe om flere tiår, har vannkraftverk svært lang levetid og vil derfor bli utsatt for et endret klima i framtiden.

Vi har også tidligere undersøkt hvordan kraftproduksjonen fra norske vannkraftverk blir påvirket av klimaendringer. Vi har blant annet publisert rapportene "Et væravhengig kraftsystem – og et klima i endring", "Klimaendringer i Glommavassdraget – påvirkning på kraftverk og produksjonssystemet" og "Virkninger av klimaendringer på BKKs kraftproduksjon". I denne rapporten har vi utvidet analysen til å se på hele Norge.

Vi har denne gangen også sett tilbake i tid og analysert hvordan tilsiget har endret seg fra 60-tallet og frem til i dag. Vi kan allerede se at tilsiget endrer seg. Selv om endringene kan skyldes værvariasjoner istedenfor klimaendringer, har utviklingen vi ser de siste tiårene en klar retning. Derfor er det viktig at vi tar med disse endringene inn i vurderingene våre.

Analysene gir ingen uttømmende kunnskap om hvilke konsekvenser klimaendringer vil ha for vannkraft. Dette gjelder blant annet hvordan vassdragene er rustet til å håndtere økninger i kortvarig kraftig nedbør, og hvordan dette bør tas hensyn til i fremtidige opprustnings- og utvidelsesprosjekter.

Vi tar gjerne imot tilbakemeldinger på rapporten, og håper at konklusjonene vil bidra til gode diskusjoner og inspirasjon til nye analyser av flere aspekter ved dette temaet.

Oslo, desember 2019

Kjetil Lund

Vassdrags- og Energidirektør

Anne Vera Skrivarhaug

Direktør Energiavdelingen

Sammendrag

De siste tiårene har vannkraftverkene i hele Norge fått mer tilsig som følge av en økning i nedbør. Dette har ført til mer vannkraftproduksjon. Økningen i tilsig har vært størst om vinteren, samtidig har snøsmelteflommen blitt litt mindre.

Fremover vil et varmere og våtere klima føre til at tilsiget fortsetter å øke. Mesteparten av økningen i tilsig kan utnyttes til vannkraftproduksjon. I analysene våre har vi tatt utgangspunkt i dagens vannkraftsystem med fremtidens klima.

Hovedkonklusjonene fra analysen av klimaframskrivningene er:

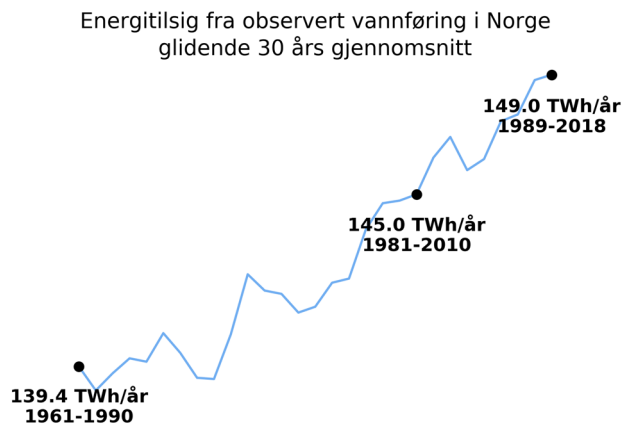
- **Tilsiget har økt raskere de siste tiårene enn klimaframskrivningene.** Dette gjelder både med et moderat (RCP4.5) og et høyt utslippsscenario (RCP8.5).
- **Det kommer i gjennomsnitt mer tilsig om vinteren, men det varierer mer fra år til år.** Mot slutten av århundret vil mye av nedbøren komme som regn om vinteren. Dette gir mye mer tilsig om vinteren. Samtidig blir det fortsatt vintre med nesten like lite tilsig som i dag. Dette fører til at spennet mellom de våteste og tørreste vintrene nesten dobler seg fra i dag og frem mot slutten av århundret.
- **Bretilsiget blir kraftig redusert mot slutten av århundret.** I de områdene som i dag får mye av tilsiget fra bresmelting, kommer det først mer vann mens isbreene smelter. Deretter reduseres tilsiget etter hvert som breene blir mindre.
- **Det blir mindre tilsig om sommeren.** Det blir mindre tilsig på sommeren på grunn av mindre snø- og bresmelting, i tillegg til at høyere temperaturer bidrar til økt fordampning.

1 Vannkraftverkene har fått mer tilsig de siste tiårene

I Norge har vi over 1600 vannkraftverk fordelt over hele landet. Vannkraftverkene står for mer enn 90 prosent av kraftproduksjonen i Norge, og er helt sentrale for forsyningssikkerheten i landet.

I denne rapporten kommer vi til å snakke om både energitilsig og vannkraftproduksjon, men mest om energitilsig. Tilsig er den vannmengden som renner til magasinene og kraftverkene. Når man regner om tilsiget til potensialet det har til vannkraftproduksjon, kalles det energitilsig¹. Det meste av energitilsiget blir realisert som vannkraftproduksjon, men siden det også er en del vann som slippes forbi kraftverkene, er vannkraftproduksjonen lavere enn energitilsiget. Det kan være flere grunner til å slippe vann forbi kraftverket, for eksempel at det kommer mer vann enn kraftverkets slukeevne, eller for å opprettholde minstevannføring i elveløp.

Energitilsiget i Norge har økt de siste tiårene. For perioden 1989-2018 har det kommet 10 TWh/år mer energitilsig enn det gjorde i 1961-1990 (Figur 1). Dette er en økning på 7 prosent.

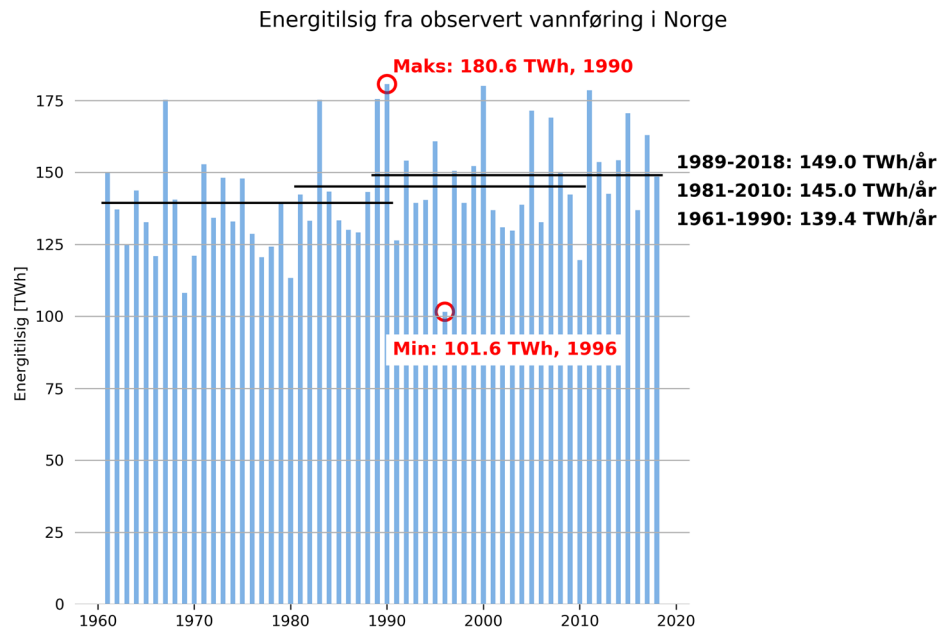


Figur 1 Energitilsig fra observert vannføring i Norge, glidende 30 års gjennomsnitt.

¹ I denne rapporten er energitilsig definert som alt vann som kommer inn i kraftverkssystemet vektet med energiekvivalenter (brutto). Det vil si at energitilsiget også inneholder det vannet som ikke nyttes til kraftproduksjon. Dette avviker fra energitilsiget som publiseres i kraftsituasjonsrapporten hver uke og av NordPool som kun oppgir netto eller nyttbart energitilsig.

Det er stor variasjon i energitilsiget fra år til år. 1996 var det tørreste året i perioden 1961-2018, med kun 102 TWh, mens det våteste året var 1990 med 181 TWh (Figur 2). Vi kan ikke vite på forhånd om vi går inn i et tørt eller et vått år, og dette gjør det vanskelig å planlegge produksjonen til vannkraftverkene.

I Norge har vi flere vannkraftverk med svært store magasiner som kan lagre mye vann over lang tid. Dette kan hjelpe til med å dempe svingningene i tilsig, noe som gir oss en unik mulighet til å planlegge produksjonen slik at tilsiget kan utnyttes effektivt.



Figur 2 Energitilsig per år fra observert vannføring i Norge 1961-2018.

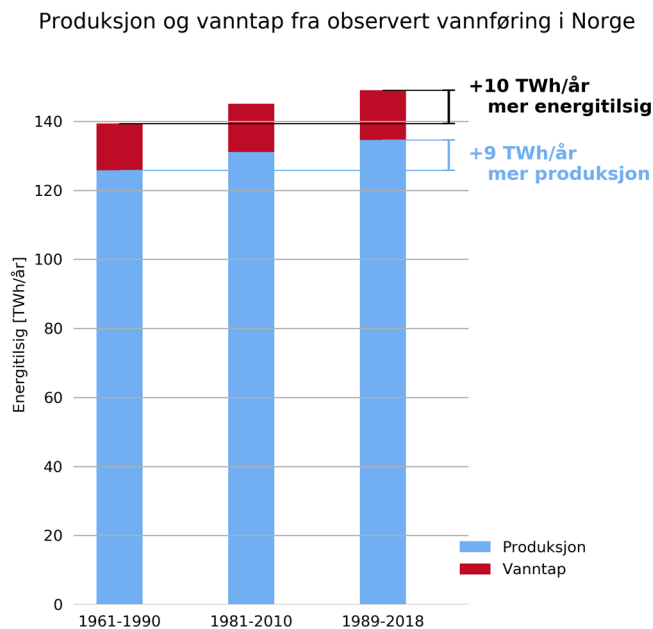
1.1 Økt tilsig gir økt produksjon

Denne analysen brukte vi også til å framskrive hvordan endring i klima kan påvirke vannkraftproduksjon framover i [NVEs langsiktige kraftmarkedsanalyse](#) og «[Kraftproduksjon i Norden til 2040](#)».

I tillegg til tilsigsanalysene har vi også modellert hvordan vannkraftsystemet i Norge kan utnytte det økte tilsiget til kraftproduksjon. Energittilsig kan deles i vannkraftproduksjon og vanntap. Vanntap er den delen av tilsiget som ikke kan utnyttes til vannkraftproduksjon. Modelleringen av vannkraftproduksjonen er mer usikker enn energittilsiget, fordi den også er avhengig av blant annet kraftpris² og størrelsen til kraftverkene. Likevel gir den modellerte vannkraftproduksjonen en indikasjon på hvor mye av det økte tilsiget som kan nyttes til kraftproduksjon. I analysen gjenspeiler vannkraftsystemet dagens utbygde vannkraftverk, og er likt i alle årene.

Årsgjennomsnittet for den modellerte vannkraftproduksjonen har økt med 9 TWh fra 1961-1990 til 1989-2018, kun på grunn av økt tilsig og endret tilsigsprofil (Figur 3). Vannkraftverkene klarer i stor grad å utnytte økningen i energittilsig til kraftproduksjon fordi økningen i tilsig hovedsakelig kommer om vinteren (se kapittel 1.2). Om vinteren er det fra før lite tilsig, slik at vannkraftverkene har kapasitet til å produsere kraft fra økningen i tilsig.

energittilsig =
produksjon + vanntap



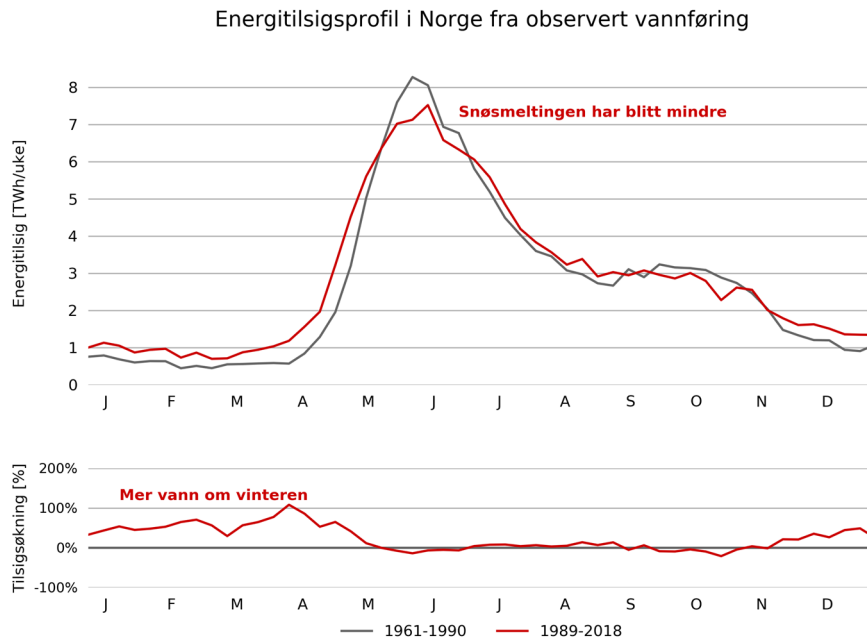
Figur 3 Energittilsig delt opp i modellert vannkraftproduksjon og vanntap fra observert vannføring i Norge for 1961-1990, 1981-2010, 1989-2018.

² Antakelser om kraftpris og modelloppsett vi har brukt er beskrevet i vedlegget.

1.2 Det har kommet mer tilsig om vinteren og snøsmeltingen har blitt mindre

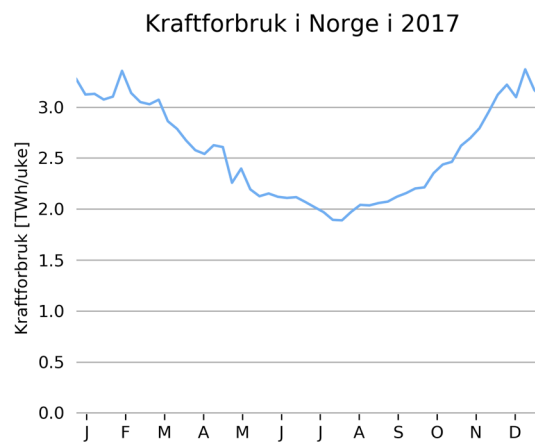
En tilsigsprofil viser hvordan tilsiget er fordelt over året.

I tillegg til at det har kommet mer tilsig, har også tilsigsprofilen endret seg. Den største endringen er at det kommer mer vann om vinteren. Fra 1961-1990 til 1989-2018 har energitilsiget økt mellom 50-100 prosent i desember-april (Figur 4). Selv om den prosentvise endringen er stor, kommer det fortsatt vesentlig mindre tilsig om vinteren enn resten av året.



Figur 4: Energitilsigsprofil over året for observert energitilsig i Norge per uke, gjennomsnitt for 30 år. Basert på observert vannføring, sammenlignet med 1961-1990.

I Norge bruker vi mye strøm til oppvarming. Dette gjør at vi bruker mer strøm om vinteren enn om sommeren (Figur 5). Økt vintertilsig gjør at det er mer vann tilgjengelig til vannkraftproduksjon om vinteren, slik at det er litt mindre behov for å bruke lagret vann fra magasinene.



Figur 5 Faktisk kraftforbruk i Norge per uke i 2017.

Kapittel 2 beskriver hvordan et varmere klima kan påvirke tilsiget i Norge.

Samtidig som det kommer mer tilsig om vinteren, har snøsmeltingen om våren blitt litt mindre i gjennomsnitt (Figur 4). Det akkumuleres mindre snø om vinteren slik at flomtoppen blir lavere når snøen smelter. Snøsmeltingen starter også tidligere. Tidligere og mindre snøsmelting stemmer overens med at klimaet har blitt varmere.

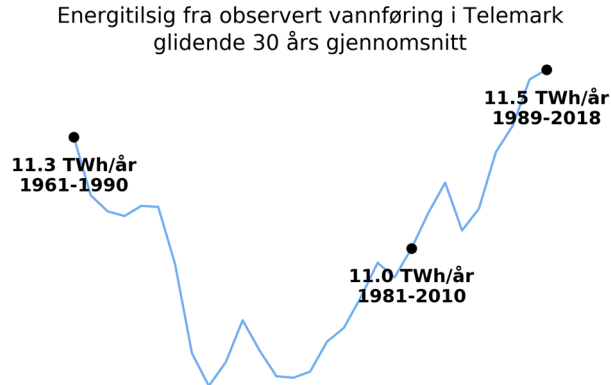
I mange deler av landet er snøsmelteflommen i dag så stor at det må slippes mye vann forbi vannkraftverkene om våren. Når snøsmelteflommene blir mindre, gjør det at volumet som må slippes forbi kraftverkene blir mindre og dermed kan mer av vannet nyttes til kraftproduksjon.

1.3 Tilsiget har økt over hele landet

Vi har delt Norge inn i 14 områder for å se på regionale forskjeller. Områdene er delt inn etter hvordan kraftnettet i Norge henger sammen, slik at kraftverkene innenfor et område er koblet godt sammen.

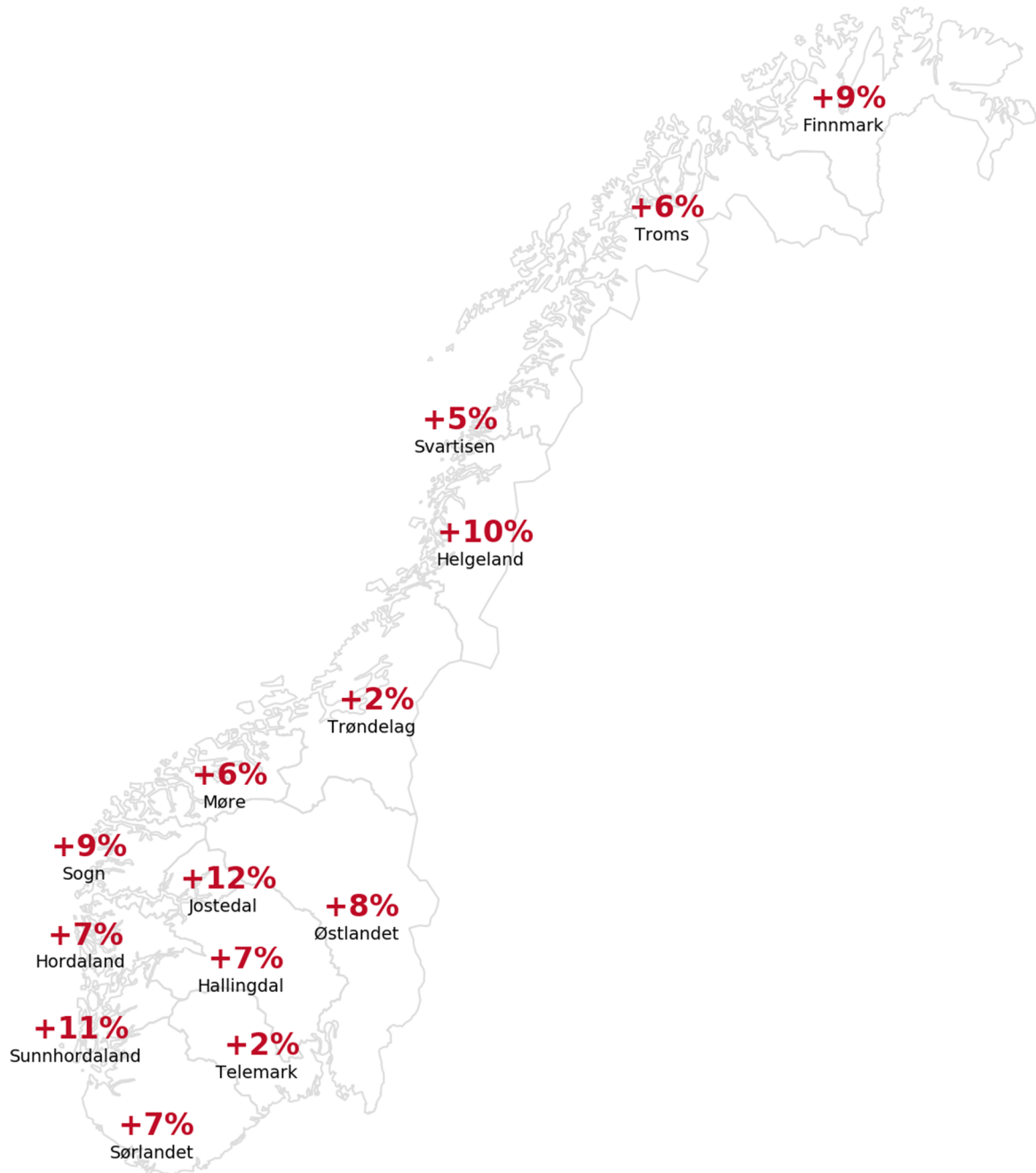
Mellom 1961-1990 og 1989-2018 har det vært en økning i alle de 14 områdene (Figur 7). I områdene Helgeland, Sunnhordaland og Jostedal har energitilsiget økt med over 10 prosent. I andre områder har økningen vært liten, for eksempel har energitilsiget i Telemark og Trøndelag bare økt med 2 prosent mellom disse periodene.

Det er vanskelig å skille værvariasjoner fra klima, spesielt når man ser på perioder som er tett opp i hverandre i tid. For eksempel hadde Telemark en liten nedgang i energitilsiget fra 1961-1990 til 1981-2010, mens i årene 1989-2018 har energitilsiget økt igjen (Figur 6).



Figur 6 Energitilsig fra observert vannføring for området Telemark, glidende 30 års gjennomsnitt fra 1961 til 2018.

Endring i energitilsig fra observert vannføring 1961-1990 til 1989-2018



Figur 7 Kart over Norge med endring i energitilsig fra observert vannføring per område fra 1961-1990 til 1989-2018.

2 Tilsiget øker sannsynligvis videre

Utslippsscenarioene og klimamodelleringen er forklart på neste side.



Økt nedbør



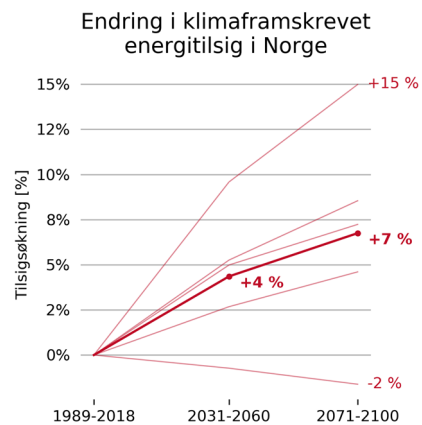
Økt temperatur

Klimaendringer fører i hovedsak med seg to viktige endringer for tilsiget i Norge. For det første vil det årlige tilsiget til magasiner og vannkraftverk øke som følge av mer nedbør. Samtidig vil tilsigsprofilen endre seg ettersom temperaturene blir høyere. Økt temperatur gjør at nedbøren i større grad kommer som regn i stedet for snø lenger utover høsten og tidligere på våren.

Vi har allerede sett antydninger til effektene av økt nedbør og økt temperatur på tilsiget i den observerte vannføringen (kapittel 1.2). Klimaframskrivningene viser at disse effektene sannsynligvis blir forsterket utover århundret.

I det høye utslippsscenarioet (RCP8.5) øker energitilsiget gjennomsnittlig med 4 prosent mot midten av århundret og 7 prosent mot slutten av århundret (Figur 8). Det er stor spredning mellom de fem klimaframskrivningene vi har brukt; dette illustrerer noe av usikkerheten i modellene og i hvordan framtidens klima kommer til å bli. Den laveste framskrivningen har en nedgang i energitilsiget på to prosent, mens i den høyeste øker det med 15 prosent.

Tilsiget øker i alle delene av landet unntatt Finnmark (Figur 11), der reduseres tilsiget med 4 prosent frem mot slutten av århundret. På Sør- og Vestlandet øker tilsiget med over 10 prosent, det er også denne delen av landet hvor det er størst spredning mellom klimaframskrivningene.



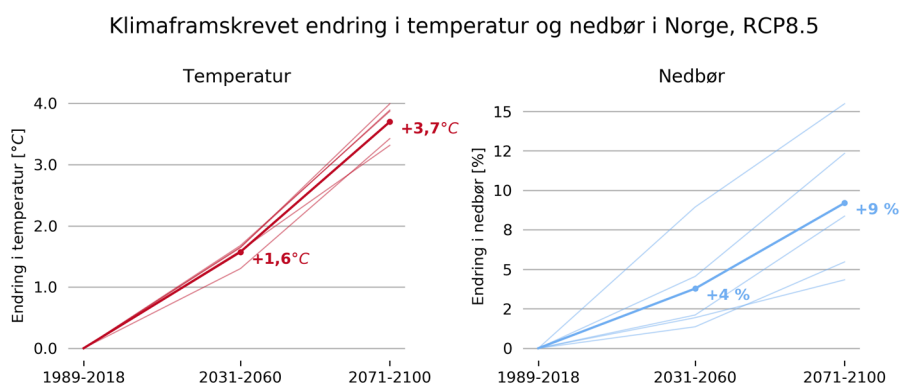
Figur 8 Endring i klimaframskrevet energitilsig i Norge fra 1989-2018 frem til 2071-2100 for RCP8.5. De tynne strekene viser hver av de fem klimaframskrivningene, den tykke viser gjennomsnittet.

Figur 9 Modellering av framtidens klima.

Utslippsscenarioer og modellering av framtidens klima

Vi har brukt et utvalg av klimaframskrivningene som er beskrevet i rapporten [Klima i Norge 2100](#). Klima i Norge 2100 forklarer hvordan klimaet er forventet å endre seg fremover, med mange detaljer om blant annet temperatur og nedbør. NVE er med i [Norsk Klimaservicesenter](#) som arbeider med å forstå hvordan fremtidens vær og klima blir.

Vi har brukt to utslippsscenarioer for å representere fremtiden; et moderat og et høyt. Scenarioet med moderate utslippsøkninger (RCP4.5) tilsvarer en utvikling med en global temperaturøkning på rundt 2,5 °C mot år 2100. Det høye utslippsscenarioet (RCP8.5) representerer en utvikling som følger dagens utslippsvekst, og gir en global temperaturøkning på om lag 4,5 °C. Temperaturøkningene i de to utslippsscenarioene er sammenlignet med før-industriell tid (ca. 1850-1900). For hvert av de to utslippsscenarioene har vi brukt 5 ulike regionale klimamodeller for å få en spredning som illustrerer noe av usikkerhetene ved å modellere klimaet langt fram i tid.



Figur 10 Klimaframskrevet endring i temperatur og nedbør i Norge for RCP8.5, gjennomsnitt av nedbør og temperaturendring. De tynne strekene er hver av de fem klimaframskrivningene, den tykke røde er gjennomsnittet av disse. Endring relativt til 1989-2018.

For hele Norge gir disse 5 klimamodellene i gjennomsnitt en temperaturøkning på snaut 4 °C og en nedbørsøkning på ca. 9 prosent for RCP8.5 for 2071-2100 i forhold til 1989-2018 (Figur 10). De tilsvarende tallene for RCP4.5 er 2 °C og 4 prosent. Nedbørsøkningen i de fem klimaframskrivningene som er benyttet i denne rapporten ligger i gjennomsnitt noe lavere enn gjennomsnittet for de ti framskrivningene som er beskrevet i "Klima i Norge 2100". Vedlegg A.3 forklarer mer om modelleringen av klima.

Modellering er utfordrende

Det er knyttet usikkerhet både til klimamodeller og hydrologiske modeller, i tillegg til usikkerheten rundt framtidige utslipp av klimagasser. Denne usikkerheten skyldes til dels metodevalg for å redusere kjente, systematiske feil, men også til måten de fysiske prosessene beskrives i modellene. For eksempel er fordampning beskrevet i modellene, men mangel på måledata gjør at det er vanskelig å verifisere modellens fordampningsberegninger.

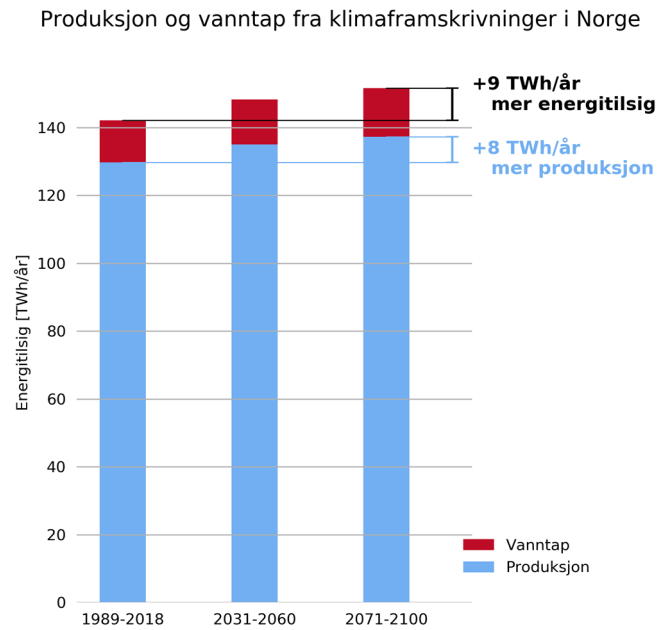
Isbreenes utvikling framover er en annen prosess som er vanskelig å estimere nøyaktig, og som har stor betydning for framskrivninger av tilsig i flere områder i Norge. I denne analysen har vi valgt å trinnvis redusere brearealet utover i det 21. århundret, se vedlegg A.3.

Endring i energitilsig fra klimaframskrivninger RCP8.5, 1989-2018 til 2071-2100



Figur 11 Kart over Norge med endring i energitilsig klimaframskrevet vannføring per område fra 1989-2018 til 2071-2100. De tynne strekene er hver av de fem klimaframskrivningene, den tykke røde er gjennomsnittet av disse. Tallet viser økning fra 1989-2018 til 2071-2100.

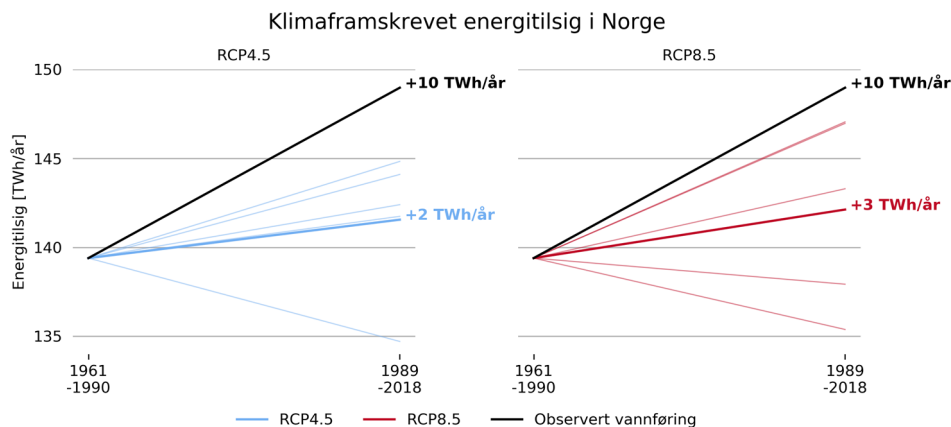
Vannkraftproduksjonen øker utover århundret som følge av økt tilsig. Mot slutten av århundret blir vannkraftproduksjonen 8 TWh/år høyere enn i dag (Figur 12). Dette er modellert med dagens vannkraftsystem og økningen i produksjon kommer kun fra endret tilsig. Frem mot slutten av århundret vil det sannsynligvis skje betydelige endringer, både i vannkraftverkene som er bygget og hvilke behov de fyller i kraftsystemet. Dette er ikke en del av den analysen vi har gjort.



Figur 12 Energitilsig og modellert vannkraftproduksjon fra klimaframskrivninger i Norge 1989-2018, 2031-2060 og 2071-2100 for RCP 8.5.

2.1 Tilsiget har økt raskere enn i klimaframskrivningene

De siste tiårene har energitilsiget i Norge økt raskere enn i klimaframskrivningene. Dette gjelder både når vi sammenlikner med det moderate og det høye utslippsscenarioet (Figur 13). Endringene i tilsigsprofil over året i klimaframskrivningene ligner på de fra observert vannføring; det blir mer vann om vinteren og mindre snøsmelting. Dette tyder på at klimamodellene gjenskaper de samme effektene som vi observerer, men at de ikke helt treffer på størrelsen.



Figur 13 Sammenligning av endringen i energitilsig fra observert og klimaframskrevet vannføring i Norge 1961-90 og 1989-2018, i utslippsscenarioene RCP4.5 og RCP8.5. De tynne strekene viser de fem forskjellige klimaframskrivningene hver for seg.

I nesten alle delene av landet går energitilsiget fra observert vannføring mer opp enn i klimaframskrivningene (Figur 14). Det er imidlertid to områder som skiller seg ut: Finnmark og Svartisen-området. For området Svartisen har klimaframskrivningene en større økning enn det vi har observert. I Finnmark øker det observerte tilsiget, mens klimaframskrivningene går ned. Det kan være mange årsaker til disse forskjellene, men vi ser for eksempel at nedbørsøkningen i Finnmark er mindre i klimamodellene enn det som er observert. Noen av utfordringene med å modellere klima og vassdrag er beskrevet i boksen på side 13.

De fleste figurene i denne rapporten er kun vist for det høye utslippsscenarioet (RCP8.5), fordi det er denne banen de observerte endringene ligger nærmest (Figur 13). Trendene er stort sett de samme i det moderate utslippsscenarioet (RCP4.5), men ikke like kraftige som i det høye. Dersom klimaet utvikler seg som i RCP8.5, vil det bli føre til store endringer i hele samfunnet utover endringer i tilsig. Dette er ikke en del av denne analysen.

Energitilsig fra observert vannføring og klimaframskrivninger RCP8.5, 1961-1990 til 1989-2018



Figur 14 Kart over energitilsig fra observert og klimaframskrevet vannføring RCP8.5. De tynne strekene er hver av de fem klimaframskrivningene, den tykke røde er gjennomsnittet av disse. Tallet er den observerte endringen i prosent fra 1961-1990 til 1989-2018.

2.2 Det kommer enda mer tilsig om vinteren og mindre om sommeren

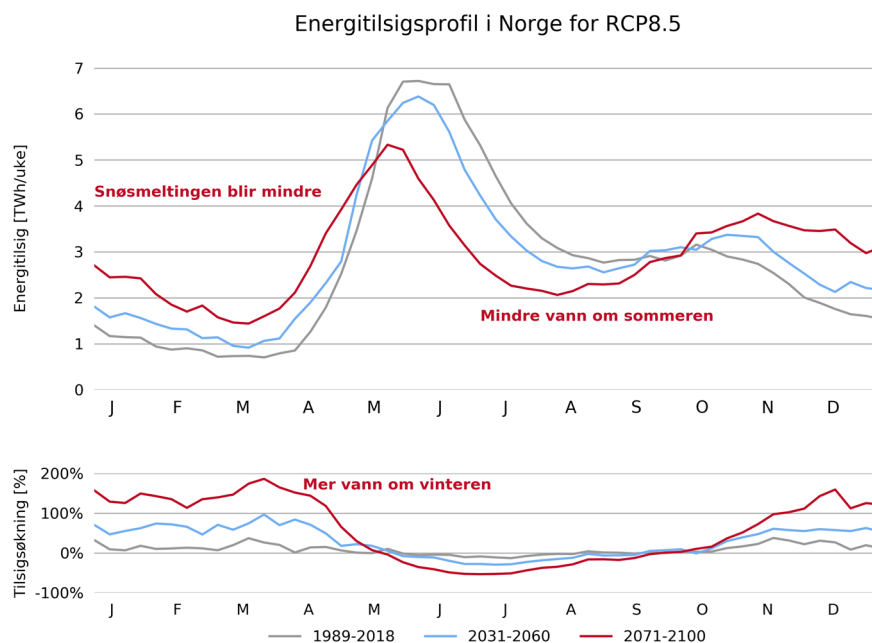


Reduksjon av snødager

Tilsigsprofilen over året endrer seg markant fra i dag og frem mot slutten av århundret (Figur 15). Høyere temperaturer fører til at nedbøren som i dag faller som snø i stadig større grad kommer som regn. Regnet vil da komme direkte som tilsig til kraftverk og magasiner gjennom høsten og vinteren. Dette er tilsig som i dag kommer i forbindelse med snøsmeltingen om våren og tidlig sommer. Økt høst- og vintertilsig kan derfor delvis forklares av en forflytning mellom sesonger, og delvis av økte nedbørmengder.

Tilsigstoppen i forbindelse med snøsmeltingen på våren og tidlig sommer blir mindre. I tillegg kommer tilsigstoppen på våren tidligere når temperaturene øker.

Selv om det kommer mer vann totalt, vil klimaendringene føre til at det blir mindre tilsig om sommeren. Sommertilsiget reduseres i gjennomsnitt med opptil 50 prosent i midtsommerukene. Dette skyldes både mindre tilsig fra snøsmelting, og økt fordampning ettersom temperaturene øker.

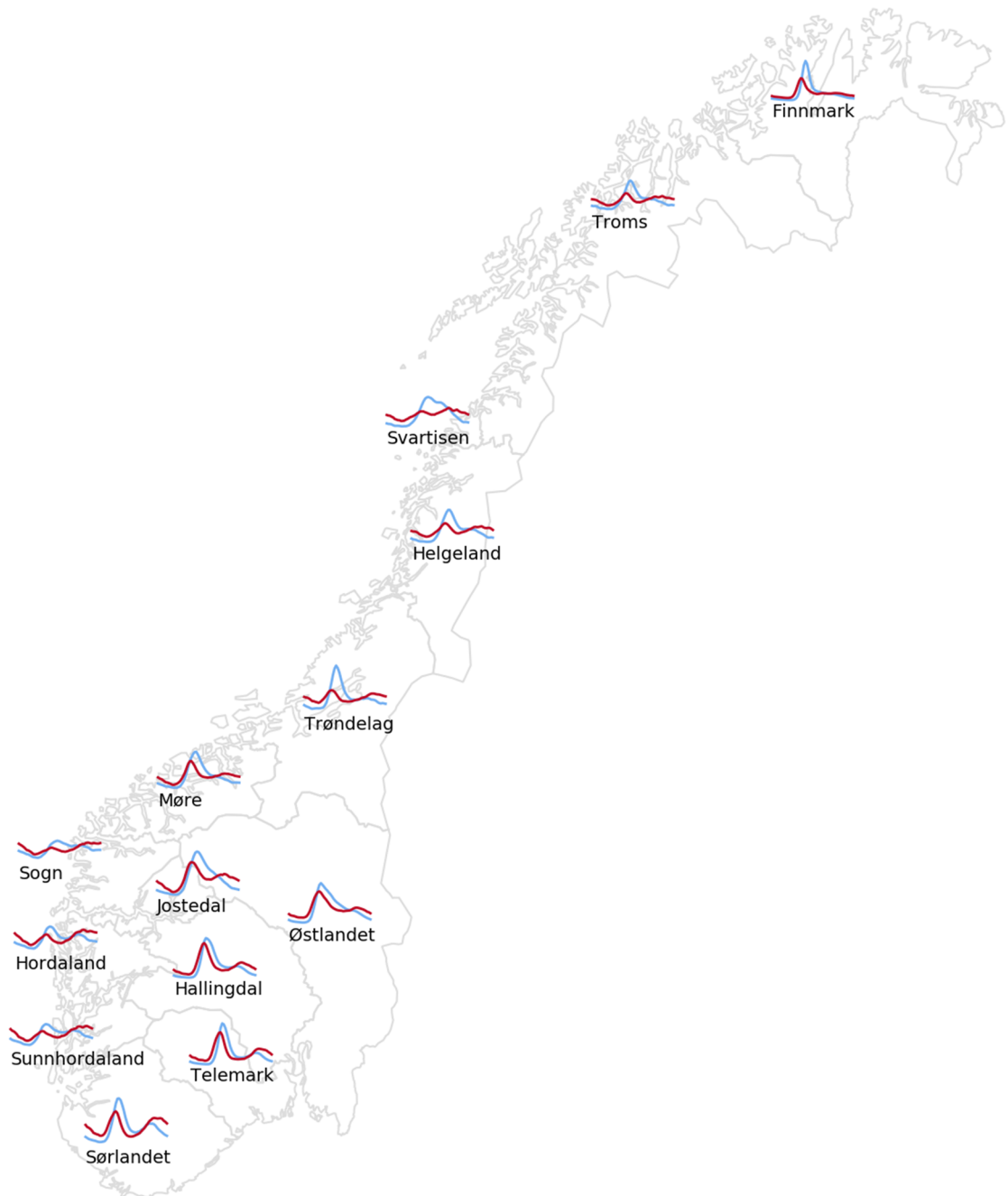


Figur 15: Tilsigsprofilen over året for energitilsiget i Norge for 1989-2018, 2031-2060 og 2071-2100. Gjennomsnitt av klimaframskrivningene for RCP8.5.

Tilsigsprofilen vil endre seg i alle de 14 områdene (Figur 16). På Vestlandet kommer det mye mer tilsig om høsten og vinteren samtidig som snøsmeltingen blir mye mindre. Det samme ser man i Trøndelag. I Innlandet vil det fortsatt komme mye tilsig om våren på grunn av snøsmelting, selv om det også her vil bli mindre snøsmelting. I alle områdene kommer det mer tilsig på høsten og om vinteren.

Klimaframskrevet energitilsigsprofil

— 1989-2018 — 2071-2100



Figur 16 Kart over Norge med klimaframskrevet energitilsigsprofil for områdene i 1989-2018 og 2071-2100 for RCP8.5. Gjennomsnitt av klimaframskrivningene, 3 ukers glatting.



Tørke

I dag er det på vinteren det kommer minst tilsig. Eksempelvis er det nesten alltid mer tilsig i juli enn i februar på Sørlandet (Figur 17). Dette snur utover århundret. Ved midten av århundret blir det mindre vann i juli enn i februar i flere enn 20 prosent av årene. Mot slutten av århundret skjer dette i over halvparten av årene. Den samme tendensen finner vi igjen i de fleste delene av landet.

Andel av år det kommer mer tilsig i februar enn i juli på Sørlandet



Figur 17. Sannsynlighet for at det kommer mer tilsig til vannkraftverkene i området Sørlandet i februar enn i juli. RCP 8.5.

Dersom sommeren er tørr, blir man mer avhengig av vann fra store magasiner for å kunne produsere vannkraft. I tillegg kan det føre til at vannet blir viktigere for andre behov enn kraftproduksjon og at man i større grad må ta hensyn til flere samfunnsinteresser når man skal disponere vannet i magasinene.

2.3 Bretilsiget blir kraftig redusert mot slutten av århundret



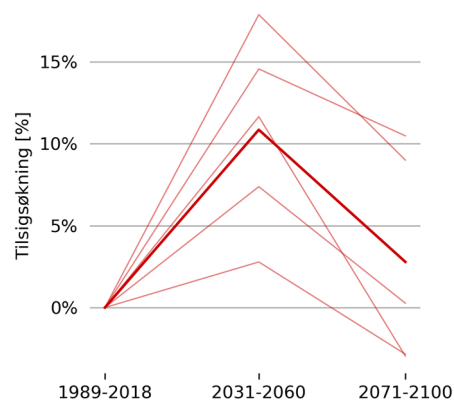
Mindre breer

Når det blir varmere, kommer isbreene gradvis til å smelte bort, og tilsiget fra isbreer blir dermed redusert. Isbreene er et engangsmagasin som med høyere temperaturer vil bidra til en «ikke-fornybar» tilsigsøkning i en periode. I dag er det flere områder hvor vannkraftverkene får en stor andel av tilsiget fra fjellområder med isbreer, både i Sør- og Nord-Norge.

Isbreene bidrar til tilsiget om sommeren etter at snøen har smeltet. I tillegg til færre og reduserte isbreer, vil varmere vær også føre til økt fordampning og dermed mindre tilsig om sommeren.

For området Svartisen (Figur 18) er endringen i bretsigt utover århundret spesielt tydelig. Der kommer mye av tilsiget fra isbreen med samme navn. Tilsiget øker mot midten av århundret, mens det i det høye utslippsscenarioet blir mindre tilsig mot slutten av århundret fordi det er lite isbre igjen. Det er imidlertid stor usikkerhet i modelleringen av isbreer, dette er omtalt i faktaboksen på side 13.

Endring i klimaframskrevet energitilsig i Svartisen



Figur 18 Endring i klimaframskrevet energitilsig i området Svartisen frem mot 2100 for RCP8.5. De tynne strekene viser hver av de fem klimaframskrivningene, den tykke viser gjennomsnittet.

2.4 Tilsiget om vinteren varierer mer mellom årene



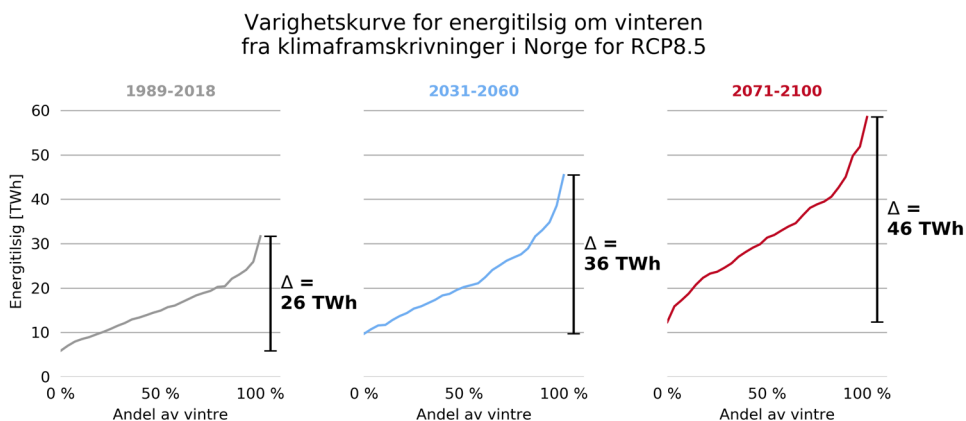
Regnflom

Her er vinteren definert som uke 49 til uke 9.

Når temperaturene øker, vil det forekomme typiske «høstsituasjoner» også midtvinters, med plussgrader som gir mye tilsig også i januar og februar. Det kommer også mer nedbør om vinteren. Dette gjør at vi får noen vintre med veldig mye tilsig, mye mer enn det vi er vant med i dag. Samtidig finnes det fortsatt vintre med nesten like lite tilsig som de tørre og kalde vintrene i dag. Dette gjør at forskjellen i vintertilsig fra år til år øker mye.

Mot slutten av århundret er forskjellen i energitilsig mellom den tørreste og våteste vinteren i Norge hele 46 TWh, mot 26 TWh i dag (Figur 19). Den store usikkerheten i om det blir en vinter med mye eller lite tilsig, vil gjøre det vanskeligere å planlegge driften av kraftverkene og disponeringen av vannmagasinene.

Stort tilsig om høsten og vinteren gjør det vanskeligere for dagens vannkraftverk å nytte vannet, og vanntapene kommer derfor til å øke i denne perioden. I tillegg kan det også bli flere skadeflommer, men det er ikke noe vi har undersøkt i denne analysen.



Figur 19 Varighetskurve for energitilsig fra klimaframskrivninger i Norge for RCP8.5 om vinteren (uke 49-9). Tilsig om vinteren for hvert av årene i 30 årsperiodene er sortert etter størrelse fra minst til størst.

A Vedlegg

A.1 Tabeller og grafer

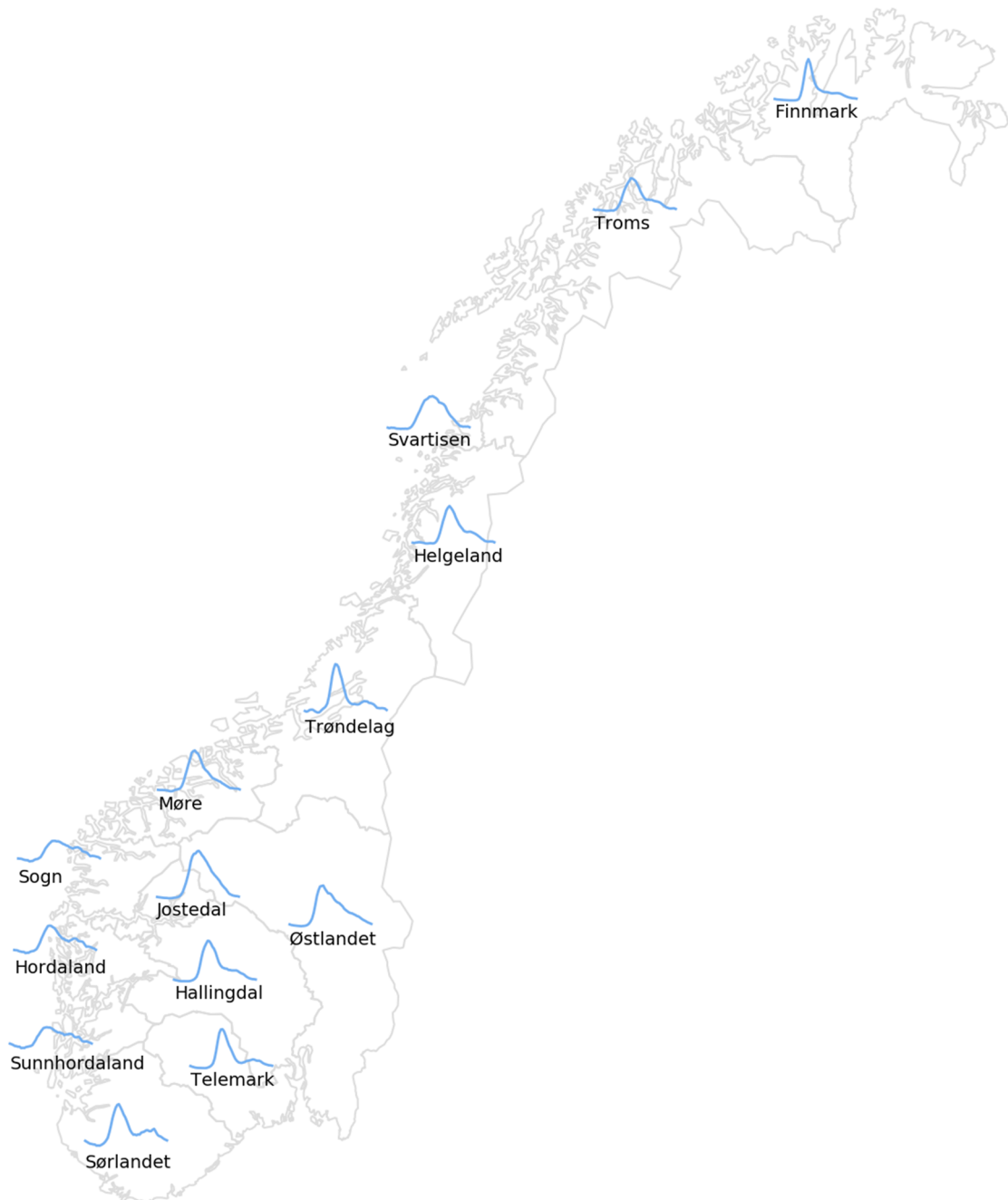
Tabell 1 Energitilsig og modellert vannkraftproduksjon per område fra observert vannføring.

	Energitilsig [TWh/år]			Modellert vannkraftprod. [TWh/år]		
	1961-1990	1981-2010	1989-2018	1961-1990	1981-2010	1989-2018
Norge	139.4	145.0	149.0	125.8	131.1	134.6
NO1	15.0	15.6	16.1	12.2	12.8	13.2
NO2	45.7	46.8	48.5	42.5	43.8	45.3
NO3	20.0	20.8	21.0	17.6	18.4	18.6
NO4	24.3	25.7	26.1	22.2	23.3	23.8
NO5	34.4	36.1	37.2	31.2	32.7	33.7
Finnmark	2.0	2.1	2.2	1.5	1.6	1.7
Hallingdal	19.1	19.9	20.5	16.8	17.4	18.0
Sunnhordaland	4.1	4.4	4.6	3.9	4.2	4.3
Helgeland	9.2	9.8	10.1	8.7	9.2	9.5
Hordaland	9.1	9.5	9.8	8.5	8.9	9.1
Jostedal	6.2	6.7	7.0	5.9	6.4	6.6
Møre	7.5	7.9	7.9	6.9	7.4	7.4
Sogn	5.0	5.2	5.4	4.1	4.4	4.5
Svartisen	2.6	2.7	2.7	2.6	2.7	2.7
Sørlandet	30.3	31.4	32.4	27.9	29.1	30.0
Telemark	11.3	11.0	11.5	10.7	10.6	11.0
Troms	10.5	11.0	11.2	9.4	9.8	9.9
Trøndelag	7.5	7.7	7.7	6.5	6.7	6.7
Østlandet	15.0	15.6	16.1	12.2	12.8	13.2

Tabell 2 Energitilsig og modellert vannkraftproduksjon per område fra klimaframskrivninger RCP8.5.

RCP8.5	Energitilsig [TWh/år]				Modellert vannkraftproduksjon [TWh/år]			
	1961-1990	1989-2018	2031-2060	2071-2100	1961-1990	1989-2018	2031-2060	2071-2100
Norge	139.4	142.1	148.2	151.6	127.2	129.7	135.1	137.3
NO1	15.0	15.0	15.4	15.4	12.6	12.8	13.3	13.5
NO2	45.7	46.2	48.4	50.6	43.0	43.4	45.2	46.8
NO3	20.0	20.4	20.8	21.0	17.8	18.2	18.5	18.6
NO4	24.3	25.3	27.0	26.8	22.4	23.3	24.7	24.3
NO5	34.4	35.2	36.7	37.8	31.5	32.1	33.4	34.1
Finnmark	2.0	1.9	2.0	1.9	1.6	1.6	1.6	1.6
Hallingdal	19.1	19.2	19.9	20.6	16.9	17.0	17.5	18.0
Sunnhordaland	4.1	4.3	4.6	4.7	3.9	4.0	4.3	4.3
Helgeland	9.2	9.7	10.3	10.6	8.8	9.2	9.7	9.8
Hordaland	9.1	9.4	9.8	10.3	8.6	8.8	9.1	9.4
Jostedal	6.2	6.6	7.0	6.9	6.0	6.3	6.8	6.7
Møre	7.5	7.6	7.8	8.0	6.9	7.1	7.3	7.3
Sogn	5.0	5.2	5.4	5.4	4.2	4.4	4.6	4.5
Svartisen	2.6	2.8	3.1	2.9	2.6	2.8	3.1	2.9
Sørlandet	30.3	30.6	31.9	33.3	28.2	28.5	29.7	30.8
Telemark	11.3	11.3	11.9	12.6	10.9	10.9	11.3	11.6
Troms	10.5	10.8	11.6	11.4	9.4	9.7	10.3	10.0
Trøndelag	7.5	7.6	7.5	7.6	6.6	6.7	6.6	6.7
Østlandet	15.0	15.0	15.4	15.4	12.6	12.8	13.3	13.5

Energitilsigsprofil 1989-2018



Figur 20 Kart over Norge med energitilsigsprofilen over året for 14 områdene fra observert vannføring 1989-2018, 3 ukers glatting.

A.2 Modellering og forutsetninger

Vi har brukt Vansimtap-modellen for å beregne energitilsiget og modellere vannkraftproduksjon. Forutsetninger som Vansimtap trenger er:

- Vannkraftsystemet
- Kraftpris
- Tilsigsserier

Inngangsdataene vil til sammen gi resultatene av analysen. Det er viktig å forstå hva man legger inn i modellen for å forstå resultatene som kommer ut av modellkjøringene. Det er kun tilsigsseriene som endrer seg fra periode til periode i denne analysen.

A.2.1 Vannkraftsystemet

I analysen har vi tatt utgangspunkt i dagens vannkraftsystem. Vi har brukt NVE sin modell av vassdragene med kraftverk og magasiner i simuleringene som vi også bruker til analysene vi gjør med Samkjøringsmodellen.

Hvert samkjøringsmodellområde er kjørt for seg i Vansimtap slik at modelleringen ligner på hvordan vannkraften kjøres i Samkjøringsmodellen. Imidlertid er vannkraften kjørt med en fast prisrekke hver for seg, slik at det utveksling mellom områdene ikke modelleres. Det er veldig lite vannkraft i modellområdet Sørøst (Skien/Tønsberg), i analysen ble dette området slått sammen med Telemark.

Kraftverk med en maksimal ytelse på over 10 MW, og mindre kraftverk som får vann fra regulerte magasiner, er tatt med i modellen. I noen tilfeller er det også modellert mindre uregulerte kraftverk dersom disse var lagt inn i modellen fra før av. Restriksjoner, som for eksempel minstevannføring og minstefylling av magasiner om sommeren, er i stor grad med i modellen. For mange av restriksjonene har det blitt gjort forenklinger siden det ikke er mulig å gjenspeile manøvreringsreglementet nøyaktig i modellen. Fokus har vært på at restriksjonens hovedformål oppfylles (for eksempel friluft- og fiskeinteresser) og at magasinene disponeres med samme mønster som historiske målinger.

I denne analysen har vi benyttet seriesimulering i Vansimtap med startmagasin satt likt sluttmagasin. Dette gjør at magasinutfyllingen på starten av simuleringen er nesten lik magasinutfyllingen på slutten av simuleringen slik at endring i start- og sluttmagasin.

Modellen vi har brukt har ukeloppløsning for tilsiget. Resultatene fra analysen egner seg derfor ikke til å si noe om konsekvenser av kortsiktige tilsigsvariasjoner innenfor time eller døgn. Dermed er det også vanskelig å si noe om potensialet for flere skadeflommer. Tidsoppløsningen har mindre betydning for de overordnede resultatene i et system med stor magasin kapasitet enn for et uregulert system.

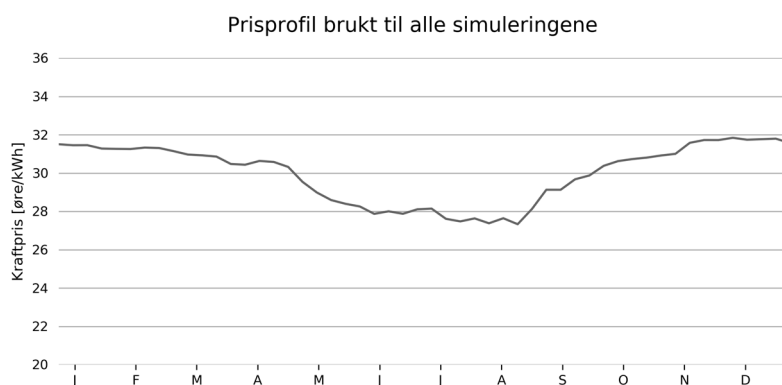
NVE bruker 82 tilsigsserier for å modellere tilsiget i Samkjøringsmodellen og Vansimtap. I modellen benytter vi den tilsigsserien av disse 82 som best gjenspeiler de faktiske egenskapene til nedbørsfeltet til hvert kraftverk og magasin.

A.2.2 Kraftpris

Vi ønsker ikke å fokusere på kraftprisen i denne klimaanalysen. Fokuset er langt frem i tid – helt fram til 2100. Mot slutten av analyseperioden er det vanskelig å se for seg at produksjonssystem, forbruksmønster og kraftmarkedsdesign vil være likt det vi har i dag.

Prisrekker er likevel nødvendig inngangsdata for å kjøre Vansimtap, og er derfor viktig for analysen. I motsetning til i Samkjøringsmodellen, der prisene er en endogen variabel, er prisene en eksogen variabel i Vansimtap, og må derfor legges inn som en av forutsetningene til modellen.

I denne analysen er det brukt med en svært forenklet prisstruktur. Det er kun et prisavsnitt per uke. Vi har brukt en sesongprofil for prisen som er lik i alle år og i alle områder. Sesongprofilen er laget med grunnlag fra prisrekkene til NVEs kraftmarkedsanalyse 2018 i basisåret. Priserekkene skal gi en magasindisponering som ligner den vi har i dag, men er for enkel til at den representerer markedet. Vi har satt gjennomsnittsprisen over året lik 30. Dette gjør at resultatene for kraftproduksjon er av lavere kvalitet enn de tidligere analysene vi har gjort (NVE Rapport 2017-29 og 2017-84), men de kan likevel gi en indikasjon på større trender.



Figur 21: Prisprofil brukt til alle simuleringene.

A.3 Tilsig og klimaframskrivninger

Denne analysen tar utgangspunkt i data fra både observert vannføring og klimaframskrivninger. Klimaframskrivningene er modellresultater, og dermed stemmer ikke tallene i historisk periode (1961-2018) helt overens med observert vannføring fra samme periode. Se mer om dette i vedlegg A.4.

De hydrologiske framskrivningene benytter seg av framskrivninger av nedbør og temperatur fra regionale klimamodeller. Disse benytter seg av forskjellige globale klimamodeller som rammebetingelser når de simulerer klimaet for en region. I «Klima i Norge 2100» (Hanssen-Bauer m fl., 2015) er det brukt resultater fra ti forskjellige kombinasjoner av globale og regionale klimamodeller. Alle kombinasjonene er kjørt i både et høyutslippssenario (RCP8.5) og et utslippsscenario som ligger nær togradersmålet

(RCP4.5)³. Disse er skalert ned og justert for avviket mellom observert og modellert temperatur og nedbør⁴.

Tabell 3: Oversikt over kombinasjonene av globale og regionale klimamodeller som ligger bak framskrivningene av temperaturer og tilsig. Alle kombinasjonene er kjørt i både et høyutslippsscenario (RCP8.5) og et utslippsscenario som ligger nær togradersmålet (RCP4.5).

Global klimamodell	Regional klimamodell	Tidsperiode (tilsigsserier)	Institusjon
CNRM	CCLM	1961-2100	Climate Limited-area Modelling Community
EC-EARTH	CCLM	1961-2100	Climate Limited-area Modelling Community
EC-EARTH	HIRHAM	1961-2100	Danish Meteorological Institute
EC-EARTH	RACMO	1961-2100	Royal Netherlands Meteorological Institute
MPI	CCLM	1961-2100	Climate Limited-area Modelling Community

Denne analysen tar utgangspunkt i fem ulike klimaframskrivninger, kjørt med to ulike utslippsscenarioer (RCP4.5 og RCP8.5). Dette gir 10 ulike sett med tilsigsserier fra i dag og til slutten av århundret. Framskrivningene kan ses på som like sannsynlige, men med ulike beskrivelser av fremtidsklimaet. På denne måten blir det en spredning i resultatene som synliggjør noe av usikkerheten i slike analyser.

Seriene er korrigert for bresmelting utover århundret, siden økt temperatur vil føre til at breene minker. Andelen bre er lik i en analyseperiode, men trappes ned mellom analyseperiodene. Breandelen er redusert forskjellig avhengig av hvilket utslippsscenario som ligger til grunn, og er angitt i tabell 2.

Tabell 4: Breareal (% av opprinnelig) i framskrivningene der breene er trinnvis redusert.

Tidsperiode	RCP4.5	RCP8.5
1961-2030	100	100
2031-2070	80	70
2071-2100	50	20

³ RCP står for Representative Concentration Pathway. For mer informasjon om utslippsscenarioene og klimaframskrivningene se "Klima i Norge 2100" (Hanssen-Bauer et al. 2015)

⁴ Wong et al, NVE-rapport 59-2016

I analysen har vi fokusert på trettiårsperioder for å dempe variasjon i enkeltår. Vi har valgt følgende perioder for observert tilsig:

Tabell 5 Tilsigsperioder brukt for observert tilsig.

Periode	Beskrivelse
1961-1990	Meteorologisk normalperiode og tidligste periode vi har data for.
1981-2010	Referanseperiode for midlere årsproduksjon for norsk vannkraft i NVE.
1989-2018	Nyeste tilgjengelige observerte data. Representerer "i dag"

Tabell 6 Tilsigsperioder brukt for klimaframskrevet tilsig.

Periode	Beskrivelse
1961-1990	Meteorologisk normalperiode og tidligste periode vi har data for.
1989-2018	Nyeste tilgjengelige observerte data. Representerer "i dag"
2031-2060	Representerer "midten av århundret"
2071-2100	Representerer "slutten av århundret"

Midlere årstilsig (mill. m³) for hvert kraftverk er satt lik tilsiget gitt i NVEs avrenningskart for 1961-1990.

Der det er snakk om sesonger har vi definert vinter som uke 49 til uke 9, vår fra uke 10 til uke 22, sommer fra uke 23-35, og høst fra uke 36-48.

A.4 Sammenligning av observert og klimaframskrevet tilsig

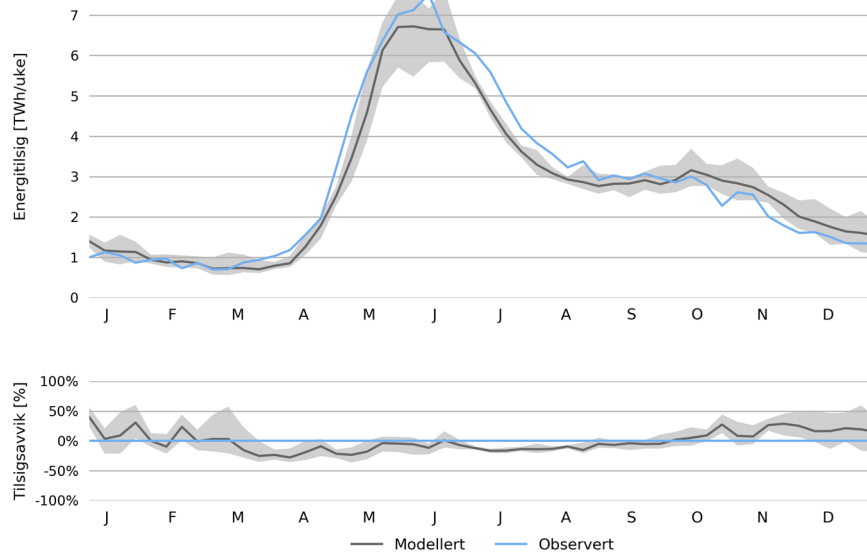
En hydrologisk vannbalansemodell (HBV-modellen) beregner tilsig ut fra temperatur og nedbør. I denne analysen hentes temperatur og nedbør fra framskrivninger omtalt i rapporten *Klima i Norge 2100*. Figur 22 i rapporten viser klimaframskrevet og observert historisk tilsig for perioden 1989-2018.

HBV-modellene som har generert tilsigsseriene til denne analysen er kalibrert mot målestasjoner med måledata langt tilbake i tid. Det er en modell for hvert av de 82 nedbørfeltene, og hvert felt er delt inn i ti høydesoner. Det er sannsynlig med avvik for enkelte nedbørfelt. Tilsiget stemmer imidlertid godt for Norge som helhet.

HBV-modellene har en tendens til å overestimere lave tilsig og underestimere høye tilsig. Dette er også tilfellet for tilsiget her. I historisk periode er høst- og vintertilsiget overestimert, mens vår- og sommertilsiget er underestimert i modelldataene,

sammenlignet med observert statistikk. Vi antar at dette er tilfellet i modellen for alle periodene, og at forskjellen mellom periodene viser riktig tendens og utvikling.

Energitilsigsprofil 1989-2018 i Norge for RCP8.5



Figur 22: Gjennomsnittet av energitilsig til Norge for 1989-2018 både fra observert og klimaframskrevet vannføring. Klimaframskrevet (modellert) tilsig er gjennomsnittet av alle klimaframskrivningene, og det skraverte området er forskjellen mellom framskrivningene.



NVE

Middelthunsgate 29
Pb. 5091 Majorstuen
0301 Oslo
Telefon: + 47 22 95 95 95
Følg oss
på www.nve.no