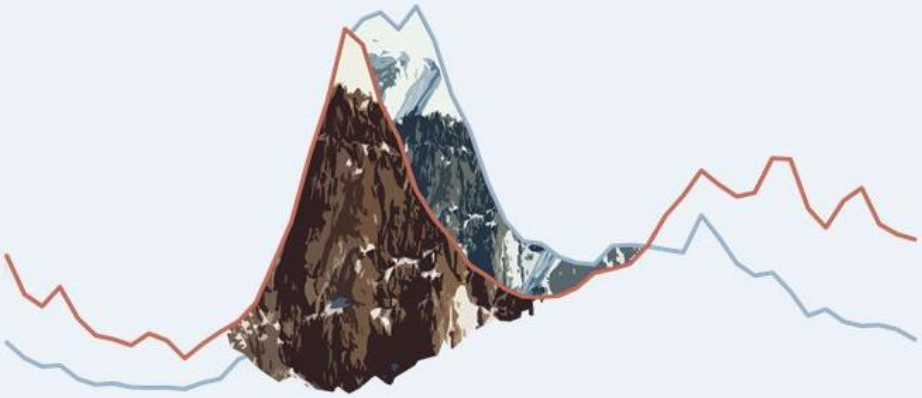
Et væravhengig kraftsystem - og et klima i endring

85
2015



RAPPORT

Et væravhengig kraftsystem
- og et klima i endring

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør: Christina Stene Beisland og Henriette Birkelund

Forfattere: Christina Stene Beisland, Henriette Birkelund, Harald Endresen, Ingjerd Haddeland og Martin Andreas Vik

Trykk: NVEs hustrykkeri
Opplag: 200
Forsidefoto: Internt
ISBN 978-82-410-1136-8

Sammendrag: Konsekvenser av klimaendringer på det norske kraftsystemet.

Emneord: klima, klimatilpasning, kraftsystem, kraftproduksjon, samkjøringsmodellen

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

2015

FORORD 2

SAMMENDRAG 3

1. KLIMA OG KRAFTSYSTEMET 4

TEMPERATURER OG TILSIG 4
ÉN AV MANGE MULIGE FREMTIDER - USIKKERHET OG UTFALLSROM 5

2. MODELLFORUTSETNINGER 6

KRAFTMARKEDSMODELL 6
NETT OG UTVEKSLING 6
FORBRUK 7
PRODUKSJON 7

3. HAR VI ET KRAFTSYSTEM FOR FREMTIDEN? 8

TILSIG 8
PRODUKSJON OG FLOMTAP 9
MAGASINDISPONERING 9
REGIONAL UTVIKLING 10

4. HVORDAN PÅVIRKER KLIMAENDRINGENE VERDIEN AV NORSK VANNKRAFT? 13

VERDIEN AV REGULERBARHET 13

5. FORBRUK 15

ENERGI 15
EFFEKT 15

6. NORSK KRAFTBALANSE 16

7. KONKLUSJON 16

8. REFERANSER 17

Forord

NVE har nylig, sammen med sju andre institusjoner, gitt ut rapporten «Klima i Norge 2100». Rapporten analyserer utviklingen i klimaet frem mot slutten av århundret og konsekvensene av klimaendringer for Norge. I forlengelsen av dette har vi benyttet noe av datamaterialet fra klimastudiet inn i vår kraftmarkedsmodell for å analysere hvilke virkninger klimaendringene vil kunne ha på det norske kraftsystemet. Prosjektet er utført av Energiavdelingen i NVE, med god støtte fra Hydrologisk avdeling.

Denne rapporten tar først og fremst for seg hovedtrendene vi vil se i kraftsektoren som følge av et varmere og våtere klima. Dette er dermed ikke en beskrivelse av hvordan klimaet vil utvikle seg, men en analyse av hvordan kraftsystemet vil respondere på endringer i klimavariabler. Når og i hvor stor grad endringene vil skje ligger utenfor rammene for analysen som presenteres i denne rapporten. Dette er imidlertid godt beskrevet i «Klima i Norge 2100».

Som forvaltningsetat på energiområdet er NVE interessert i at analysene som presenteres i rapporten blir gjenstand for drøfting, diskusjon og forbedring. Med tanke på videre arbeid på klimatilpasningsfronten vil NVE systematisk ta imot og vurdere synspunkter.

Oslo, oktober 2015

Anne Vera Skrivarhaug

Avdelingsdirektør

Sammendrag

Et varmere og våtere klima vil gjennom endringer i temperaturer og nedbør påvirke det norske kraftsystemet. Kort oppsummert fører dette til:

- **Økt tilsig til det norske produksjonsapparatet.** Mer nedbør bidrar til at vannkraftpotensialet utvides.

- **Jevnere tilsig over året.** Ettersom temperaturene øker vil nedbøren komme som regn istedenfor snø i en større del av året. Dette vil bidra til mer høst- og vintertilsig, mens tilsigstoppen som i dag kommer i forbindelse med snøsmeltingen vil komme tidligere og minke i omfang.

- **Økt vannkraftproduksjon.** Høyere tilsig bidrar til at kraftproduksjonen øker. Oppgangen er størst i områdene med mye regulert kraftproduksjon, ettersom tilsiget øker mest i disse landsdelene.

- **Økte flomtap.** Produksjonsapparatet klarer ikke å håndtere de store tilsigsøkningene som kommer på høsten. Dette fører til en betydelig økning i flomtapet i denne perioden, hovedsakelig i mindre og mellomstore magasiner. Til tross for at flomtapet om våren reduseres, øker de totale flomtapene utover i århundret.

- **Økt produksjon og reduserte flomtap i de mer uregulerte vassdragene.** Når tilsiget fordeler seg jevnere over året unngår man de store flomtapene i forbindelse med snøsmeltingen, samtidig som høst- og vinterproduksjonen øker. Jevnere tilsig over året bidrar med andre ord til at en får en høyere utnyttelse av produksjonsapparatet gjennom året i områdene med mye uregulert produksjon.

- **Flatere magasindisponering.** Klimaendringer bidrar til at behovet for å flytte vann mellom sesonger går ned. Avviket mellom ressurstilgangen og ressursbehovet blir mindre når temperaturene øker.

- **Lønnsomheten ved å flytte vann mellom år øker ettersom sesongvariasjonene bli mindre.** Det blir større variasjon i magasindisponeringen fra år til år, fordi de største magasinene i større grad disponeres som flerårsmagasiner. Magasinene tappes lenger ned i de tørreste årene og fylles mer opp i de våteste årene.

- **Mindre sesongvariasjon i kraftprisene.** Jevnere tilsig bidrar til at de sesongmessige prisvariasjonene reduseres. Dette endrer konkurranseforholdet mellom ulike typer kraftproduksjon.

- **Redusert vinterforbruk.** Temperaturene øker utover i århundret, og øker relativt mer på vinteren, noe som kan senke kraftetterspørselen i den kalde årstiden.

1. Klima og kraftsystemet

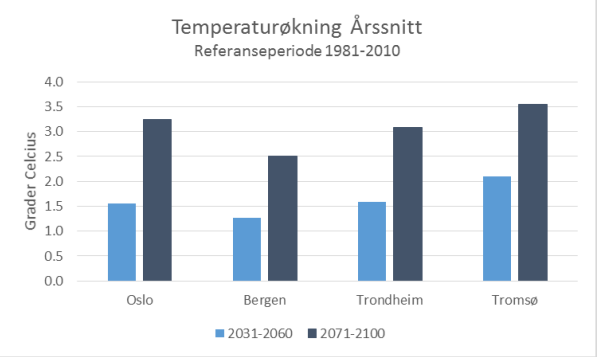
Formålet med denne analysen er ikke er å forutsi hvordan klimaet vil utvikle seg eller hvordan det fremtidige kraftsystemet vil se ut, men å øke forståelsen av hvordan *dagens* kraftsystem vil kunne respondere på ulike forutsetninger om tilsig og temperaturer. Med utgangspunkt i det norske kraftsystemet per 2015 har vi ved hjelp av Samkjøringsmodellen simulert hvordan dagens kraftsystem tilpasser seg endringer i klima. Analysen vil kunne gi oss en bedre forståelse av hvilke utfordringer som vil kunne oppstå i det norske kraftsystemet som følge av klimaendringene.

Vi har i hovedsak benyttet resultater fra én av totalt 20 klimaframskrivninger fra rapporten «Klima i Norge 2100». I kraftsystemanalysen er klimaendringer representert ved to variable: hydrologisk tilsig og temperaturer. Vi har sett på resultater fra tre 30-årsperioder; 1981-2010, 2031-2060 og 2071-2100, og endringene mellom disse, det vi si endringene fra i dag og frem mot midten, og slutten av århundret. Av inngangsdataene er det dermed kun variablene tilsig og temperatur som endrer seg fra en periode til neste.

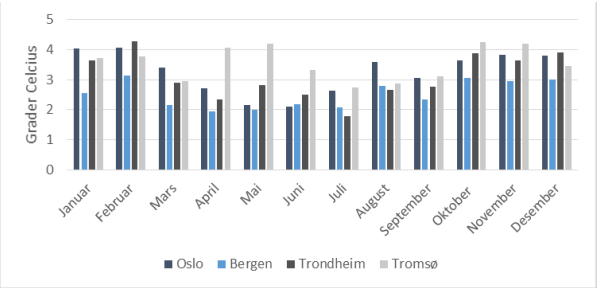
Temperaturer og tilsig

Utover århundret vil temperaturene øke ettersom klimaet endrer seg. Vi har brukt temperaturserier for fire norske byer; Oslo, Bergen, Trondheim og Tromsø.

Figur 1 viser gjennomsnittlige temperaturøkninger for de fire byene mot midten og slutten av århundret sammenlignet med referanseperioden 1981-2010. I klimaframskrivningen vi har benyttet øker de årlige gjennomsnittstemperaturene med 1 til 2 grader mot midten av århundret og fra 2,5 til i overkant av 3,5 grader mot slutten av århundret. Økningene er imidlertid større enn dette i vintermånedene, som vist i Figur 2.

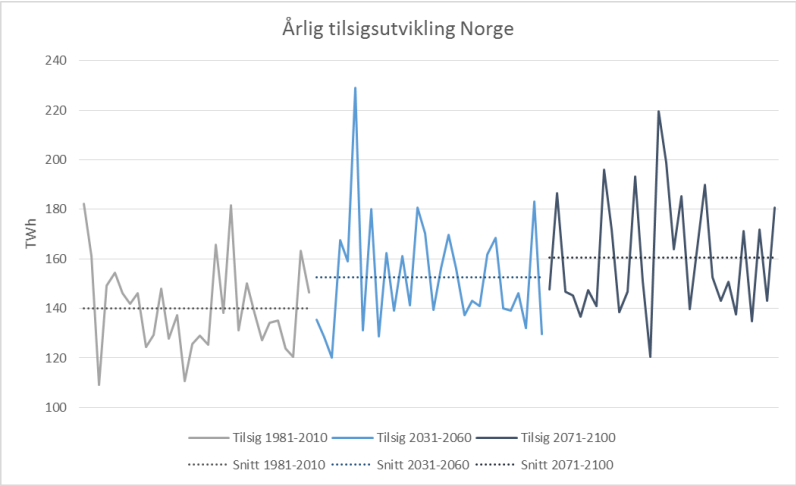


Figur 1: Økning i gjennomsnittlige årstemperaturer i perioden 2031-2060 og 2071-2100 sammenlignet med i perioden 1981-2010.



Figur 2: Økning i månedstemperaturer mot slutten av århundret sammenlignet med i perioden 1981-2010.

Isolert sett vil det temperaturavhengige forbruket reduseres når det blir varmere. Videre vil snøsesongen bli kortere, ettersom en større del av nedbøren faller som regn på høsten og vinteren. Dette vil endre tilsigsprofilen. I tillegg vil tilsigsvolumet øke ettersom klimaet blir våtere. Økte temperaturer vil også føre til høyere fordampning i sommermånedene og til at brearealene minker. Andelen bre er trinnvis redusert utover århundret, men er holdt konstant innenfor hver analyseperiode. Brearealet er satt til 100 prosent av dagens areal i perioden 1981-2010, 70 prosent i 2031-2060 og 20 prosent i den siste perioden.



Figur 3: Årlig tilsigsutvikling i de tre periodene 1981-2010. 2031-2060 og 2071-2100 og gjennomsnittet for hver periode.

Tilsiget som er benyttet som inngangsdata i Samkjøringsmodellen utvikler seg som i Figur 3 for periodene 1981-2010, 2031-2060 og 2071-2100. Gjennomsnittlig årlig tilsig øker med i overkant av 12 TWh fram mot midten av århundret og rundt 20 TWh mot slutten av århundret, sammenlignet med i dag. Samtidig som at tilsiget øker fra periode til periode, øker også tilsigsvariasjonen fra år til år. Både det tørreste og det våteste året vil imidlertid bli våtere, slik at det jevnt over blir økt ressurstilgang også i tørre år.

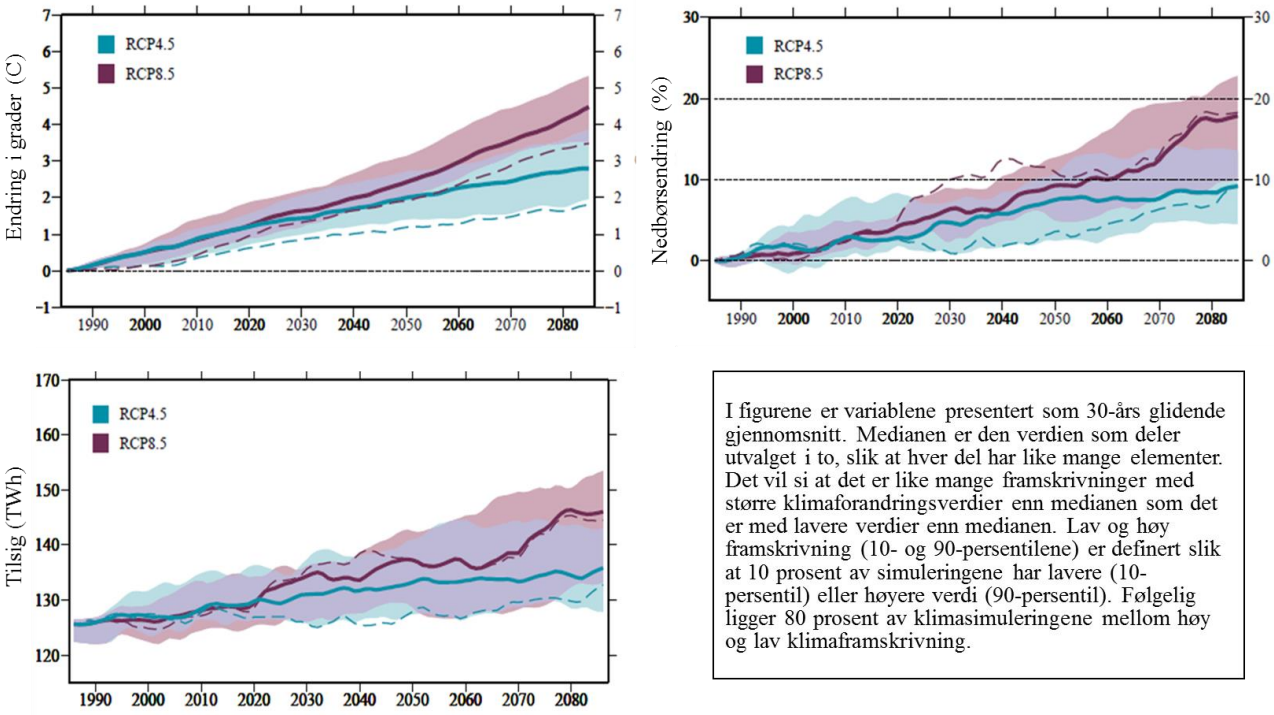
Én av mange mulige fremtider - usikkerhet og utfallsrom

Alle beregninger av fremtidens klima er usikre. Dette er i stor grad fordi vi ikke vet hvor store utslippene av klimagasser vil bli. I tillegg er det usikkerhet knyttet til naturlig klimavariasjoner og hvordan prosessene i klimasystemet er modellert.[1] Forskerne er sikre på at vi vil se en økning i temperaturene, og at temperaturøkningene vil være større jo lenger nord man kommer. Akkurat hvor stor økningen blir er mer usikkert. Det er større usikkerheter knyttet til hvordan nedbøren vi utvikle seg. Usikkerheten i størrelsen på tilsigsendringene er også svært avhengig av hvordan fordampningen modelleres. Som presisert innledningsvis har vi i denne rapporten kun analysert konsekvensene for kraftsystemet av én enkelt klimaframskrivning. Resultatene som blir presentert i rapporten bør derfor tolkes i lys av hvordan denne framskrivningen plasserer seg blant de alternative framskrivningene.

Figur 4, på neste side, viser utfallsrommet for de tjue framskrivningene av henholdsvis temperatur-, nedbør- og tilsig som brukes i «Klima i Norge 2100». Framskrivningene er generert av ulike kombinasjoner av klimamodeller. Halvparten av disse har lagt til grunn en utslippsbane som gir en global temperaturøkning nær 2-gradersmålet til FN (RCP4.5)[2]. Den andre halvparten har lagt til grunn et høyt utslippsscenario (RCP8.5) som langt på vei korresponderer med hva vi vil se dersom dagens utslippsvekst fortsetter.

Klimaframskrivningen som ligger til grunn i vår analyse er basert på det høyeste utslippsscenarioet, og er markert som en lilla stiplet linje i figurene. Som en kan se er temperaturøkningen i denne framskrivningen konservativ sammenlignet med de andre med tilsvarende utslippsnivå. Når det kommer til nedbør ligger det imidlertid blant de framskrivningene med størst økning. Høy fordampning bidrar imidlertid til at tilsigsøkningen blir moderat, og det er i hovedsak tilsigsutviklingen som driver resultatene i vår analyse.

[1] For en detaljert beskrivelse av usikkerheten knyttet til klimaframskrivningene vises det til kapittel 6 i "Klima i Norge 2100"
[2] RCP4.5 og 8.5 står for Representative Concentration Path. Tallene angir økning i innstråling mot slutten av århundret.



Figur 4: Figuren viser temperatur-, nedbør- og tilsigsutvikling for de tjue klimaframskrivningene i «Klima i Norge 2100» over perioden 1971-2100. Den lilla stiplede linjen er framskrivningen som er benyttet i kraftsystemanalysen.

2. Modellforutsetninger

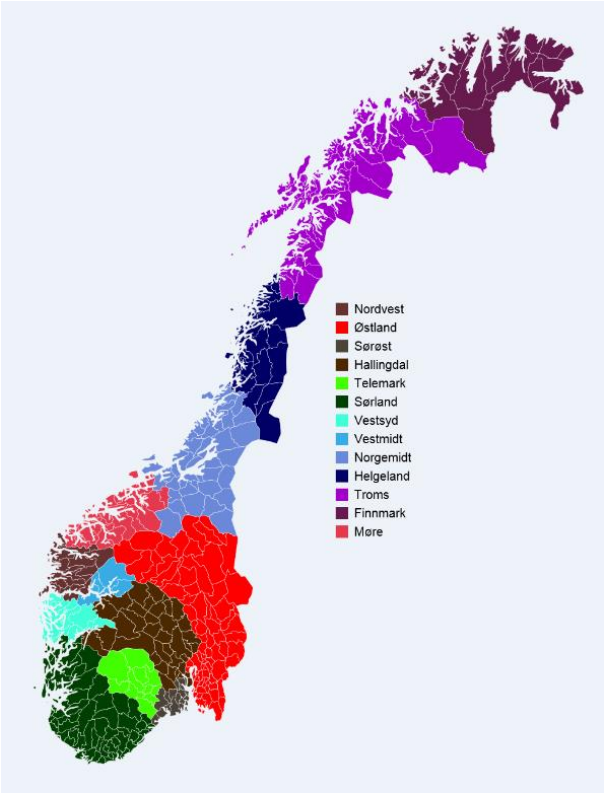
Kraftmarkedsmodell

Vi har benyttet Samkjøringsmodellen som verktøy for å simulere effektene av klimaendringer på det norske kraftsystemet. Vi har holdt kraftsystemet konstant på 2015-nivå og endret klimavariablene tilsig og temperatur. På denne måten er det den isolerte virkningen av klimaendringer som kommer frem i analysen.

Fordi vi ikke har hatt tilgang på klimakorrigerte inngangsdata for de andre nordiske landene, er det i hovedsak virkningene på det norske vannkraftsystemet som står i fokus i denne analysen. Vi har valgt å bygge opp en modellversjon der det norske systemet er detaljert modellert, men der områdene Norge handler mot er lagt inn som prisrekker.

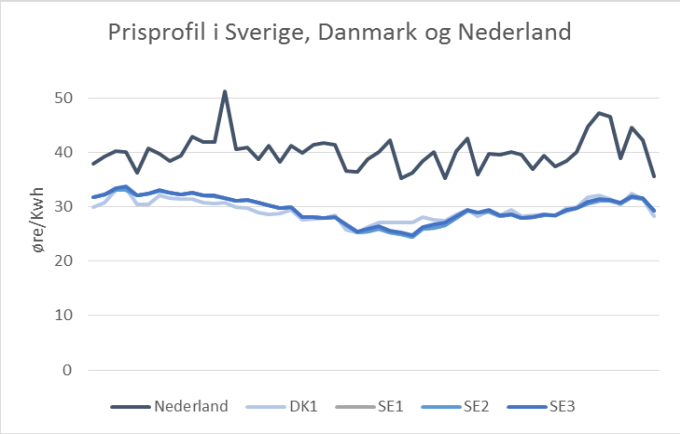
Nett og utveksling

Norge er i modellen delt inn i 13 delområder som utveksler med hverandre, som vist i Figur 5. Utvekslingskapasiteten mellom områdene er satt til kapasiteten per 2015.



Figur 5: I Samkjøringsmodellen er Norge delt inn i 13 delområder som utveksler kraft med hverandre.

Dagens utvekslingskapasitet har gjennom analysen vist seg å være en begrensende faktor, særlig i Vest-Norge. Blant annet ser en at noe av flomtapet som oppstår i Vest-Norge ikke skyldes mangel på produksjonskapasitet, men kan forklares av at det i perioder blir kraftoverskudd i området. For å undersøke hvor stor del av flomtapet som skyldes «manglende marked» har vi gjort en testsimulering der vi har lagt inn linja mellom Ørskog og Sogndal, som er under bygging. Simuleringen viste at en ekstra linje løser opp mange av flaskehalsene på Vestlandet, og dermed gir noe lavere flomtap enn det som er tilfellet med dagens nettkapasitet. Hovedtrendene er likevel de samme i begge simuleringer.



Figur 6: Ukepriser gjennom året for områdene Norge handler med.

Norge handler i dag kraft med Sverige, Danmark og Nederland. I analysen er disse representert ved faste prisrekker som er lagt inn i modellen. Prisrekkene er generert av kjøringer i en versjon av Samkjøringsmodellen for 2015 der alle de nordiske landene er modellert. Disse er så lagt inn i versjonen av Samkjøringsmodellen som er bygd opp til denne analysen.

Figur 6 viser ukepriser for områdene Norge handler med. Både gjennomsnittsprisen og prisprofilene er sammenlignbare med historikk fra de siste årene.

Ulempen med faste prisrekker er at en ikke fanger opp prisdynamikken som ville oppstått i det faktiske kraftmarkedet. I virkeligheten ville prisene i utlandet variert med den norske ressurssituasjonen og dermed forsterke de isolerte priseffektene av klimaendringene. En konsekvens av de faste prisrekkene er dermed at det norske prisnivået blir kunstig høyt i de våteste årene, og motsatt i tørrere år.

Forbruk

Forbruket som er lagt inn i modellen er simulert forbruk for 2015, og det er benyttet 2015-verdier for temperaturfølsomhet og prissensitivitet. I inngangsdataene er det dermed lagt inn like forutsetninger for forbruk i alle analyseperiodene. Vi har kun analysert endringer i det modellerte forbruket som konsekvens av at temperaturene øker, som kan tolkes som direkte endringer i forbruk som følge av et varmere klima. I analysen har vi valgt å se bort fra effekten på forbruket av et endret prisbilde, siden dette er en mer uklar og indirekte konsekvens av klimaendringer. Det er ikke tatt hensyn til at forbruksmønsteret kan endre seg, som for eksempel ved at behovet for kjøling i sommermånedene vil øke når klimaet blir varmere, eller et økt behov for å ha på varme for å hindre fukt i hus når klimaet blir våtere. Det er heller ikke tatt hensyn til en økt befolkning, endrede behov for effekt eller endret bygningsmasse og industristruktur. Resultatene på forbrukssiden i denne analysen er derfor ikke en framskrivning, men kun en partiell vurdering av hvordan dagens forbruk ville endret seg med fremtidens temperaturer.

Produksjon

Det er lagt inn et produksjonsapparat i Norge med en installert effekt på i underkant av 32 GW. Vindkraftproduksjonen er lagt inn som et representativt vindår, og vil dermed være gitt og lik 3 TWh hvert år gjennom alle analyseperiodene. Dagens termiske produksjonskapasitet ligger inne i modellen, men vi har ikke sett på endringer i termisk produksjon i denne analysen.

3. Har vi et kraftsystem for fremtiden?

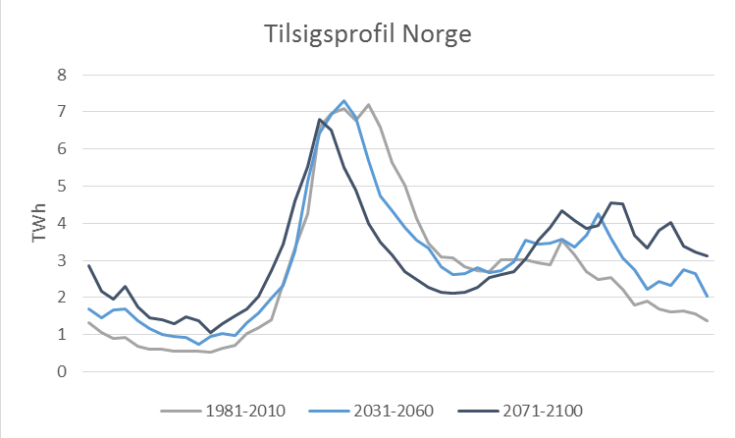
Som presisert i innledningen har vi holdt kraftsystemet konstant og kun endret klimavariablene, temperatur og tilsig. Analysen kan dermed tolkes som en test på om vi har et kraftsystem som er tilpasset fremtiden eller om en bør gjøre større eller mindre justeringer for å takle, eller dra nytte av, de endringene som følger av at klimaet forandrer seg.

Det norske vannkraftsystemet er dimensjonert for å ha nok energi. Et slikt system vil vanligvis ha rikelig med effektkapasitet fordi det er dimensjonert for utnytte den tilgengelige energien over året. Dette betyr at kraftsystemet har en viss buffer på kapasitetssiden som gjør det mulig å utnytte tilsiget i perioder med høyere ressurstilgang enn normalt. Spørsmålet er hvorvidt denne fleksibiliteten er nok til å håndtere tilsiget i fremtiden. For å undersøke dette har vi sett på hvordan produksjon og flomtap utvikler seg i forhold til hverandre etter hvert som klimaet endrer seg. Dersom flomtapet øker relativt mer en produksjonen vil dette kunne indikere at mye potensiell energi går til spille på grunn av begrensninger i produksjonsapparatet.

Modellapparatet som er benyttet har en relativt grov tidsoppløsning, og egner seg dårlig til å analysere virkningen av kortsiktige tilsigsvariasjoner. Når vi i rapporten skriver at tilsiget kommer jevnere er det viktig å huske på at dette er basert på tilsigsvariasjoner fra uke til uke. Utfordringer forbundet med økt nedbørintensitet vil med andre ord ikke blir fanget opp i vår analyse. Det er grunn til å anta at intens nedbør over korte perioder, for eksempel innenfor timer eller døgn, vil kunne gi utslag i betydelige flomtap, spesielt i vassdrag med begrensede lagringsmuligheter.

Tilsig

Klimaendringer fører hovedsakelig med seg to viktige endringer for tilsiget. For det første vil tilsiget til norske magasiner og kraftverk øke utover i århundret som følge av økt nedbør. Samtidig vil tilsigsprofilen endre seg ettersom temperaturene øker.



Figur 7: Tilsigsprofil for Norge i de tre 30-årsperiodene 1981-2010, 2031-2060 og 2071-2100.

En økning i temperaturene vil korte ned snøsesongen. Dette gir store endringer i sesongprofilen til tilsiget. Det vil først og fremst bety en forskyvning av tilsig fra vår og sommer til høst og vinter, som Figur 7 tydelig illustrerer. Nedbøren som i dag faller som snø på høsten og vinteren vil i større grad komme som regn, noe som vil bidra til å øke tilsiget i disse periodene. Sammenlignet med i dag vil snøsmeltingen komme tidligere, og tilsigstoppen i forbindelse med vårløsningen vil minke i omfang ettersom snømagasinet bli mindre. Dette vil redusere sommertilsiget ettersom temperaturene øker utover århundret. Sommertilsiget vil også reduseres som følge av økt fordamping.

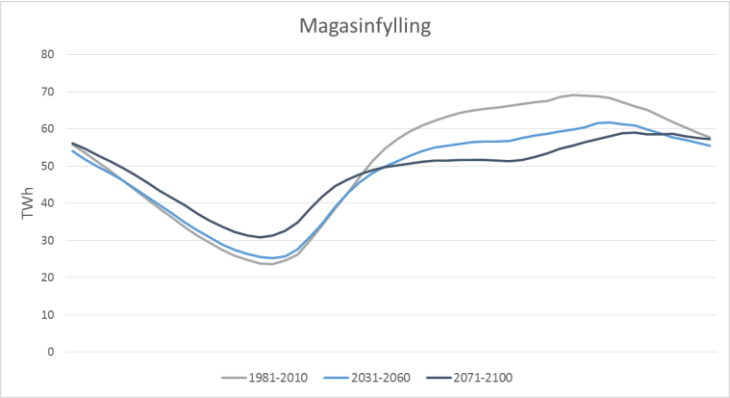
Høyere temperaturer vil videre føre til økt tilsig fra isbreer. Energien som ligger lagret i breene vil føre til økt tilsig i en periode, før det avtar ettersom breene smelter bort. I klimaframskrivningen som ligger til grunn i denne analysen ser vi at bretilsiget først og fremst har en rolle i tilsigsøkningen i midten av århundret.

Produksjon og flomtap

Den gjennomsnittlige vannkraftproduksjonen i Norge øker med i overkant av 10 TWh mot midten av århundret og ytterligere 5 TWh i siste periode. Flomtapene øker med 2 TWh mot midten, og ytterligere 2 TWh i siste periode. Ettersom flomtapene i stor grad følger samme mønster som tilsiget, slår klimaendringene ut tilsvarende. Til tross for at flomtapet blir lavere om våren, øker tapene totalt sett fordi en ikke har tilstrekkelig lagring- eller produksjonskapasitet til å nyttiggjøre seg av alt tilsiget på høsten og vinteren. I enkelte områder, der vårflommen i dag utgjør den største utfordringen, ser en imidlertid at de totale flomtapene går ned etter hvert som klimaet forandrer seg.

Magasindisponering

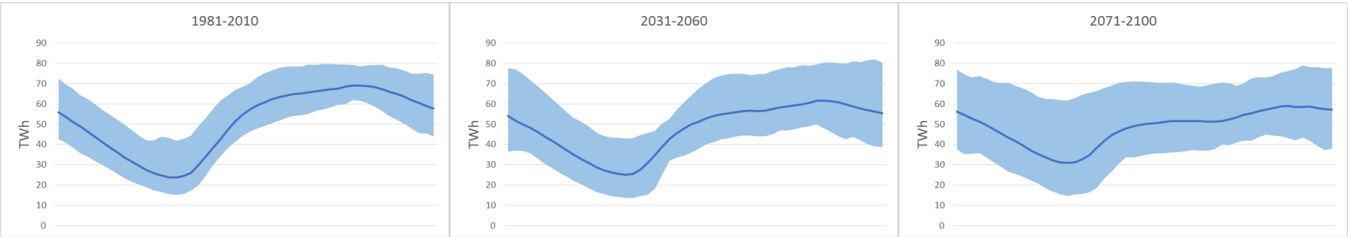
Klimaendringene bidrar til at behovet for å flytte vann mellom sesonger går ned. Grunnen til dette er at avviket mellom ressurstilgangen og ressursbehovet blir mindre etter hvert som temperaturene øker. For det første fordeler tilsiget seg jevnere over året, noe som gjør at skillet mellom tappesesong og fyllesesong blir mindre markant. Samtidig vil også det temperaturavhengige forbruket gå ned, noe som bidrar til å redusere de sesongmessige variasjonene på etterspørselssiden. Klimaendringene fører dermed til at en i gjennomsnitt får flatere magasindisponering over året.



Figur 8: Gjennomsnittlig magasinfylling for Norge per uke for periodene 1981-2010, 2031-2060 og 2071-2100.

Som allerede vist vil tilsigstoppen forbundet med vårløsningen gå ned, samtidig som det oppstår en ny tilsigstopp, om enn noe lavere, i forbindelse med høstnedbøren. Som en kan se i Figur 8 blir det tilsynelatende to fyllesesonger i løpet av året. Fordi snøsmeltingen gjennom sommeren blir lavere, stabiliserer fyllingsgraden seg i en mellomperiode før magasinene fylles opp ytterligere etter hvert som høsttilsiget setter inn.

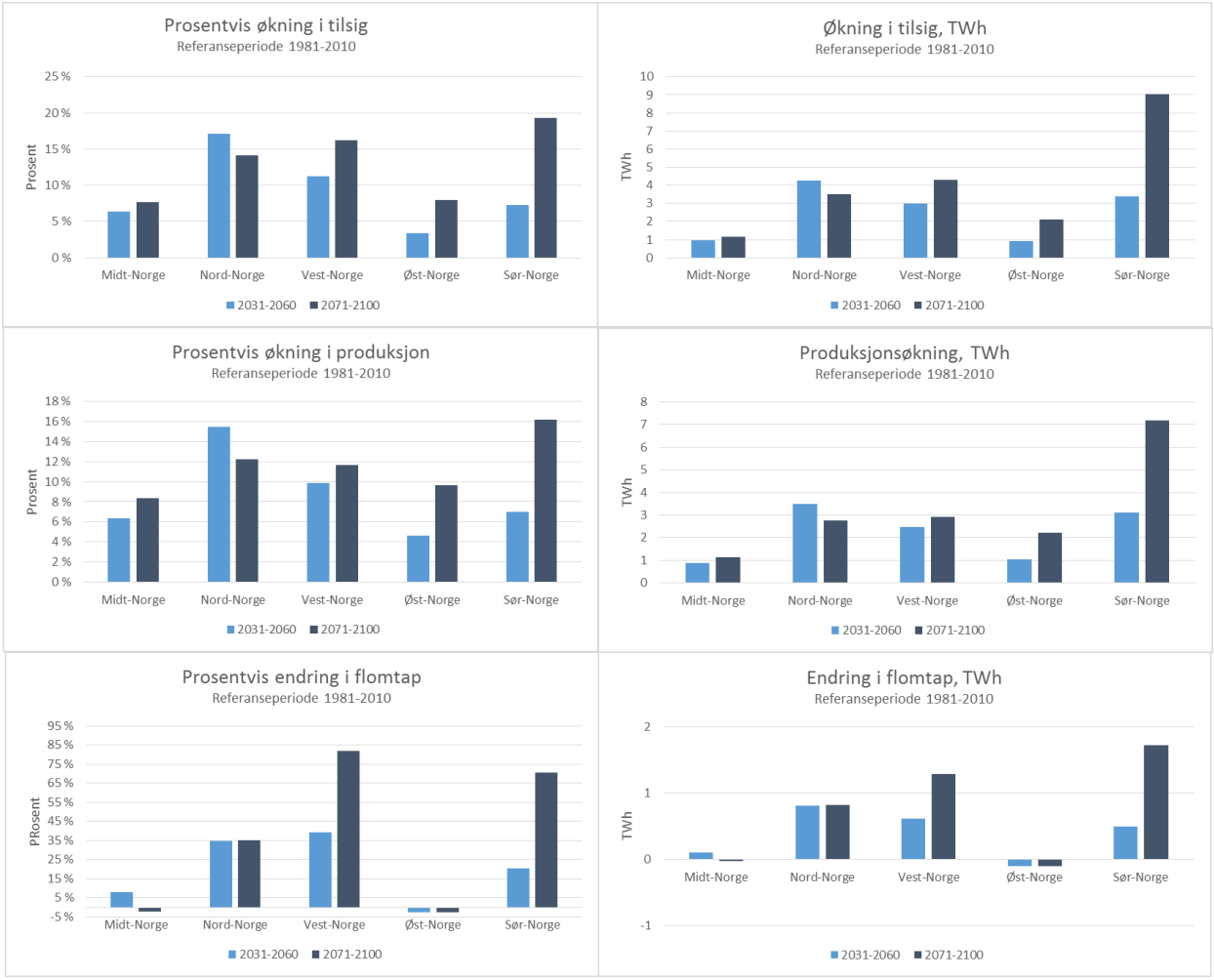
Figur 9 viser maksimal, minimal og gjennomsnittlig fyllingsgrad over året i de tre referanseperiodene. Som det kommer fram av figuren øker utfallsrommet utover århundret, noe som tyder på at det blir større variasjoner i magasindisponeringen fra år til år. Selv om noe av endringen kan forklares av økt tilsigsvariasjon, tyder analysene på at utfallsrommet også øker fordi de største magasinene i større grad disponeres på tvers av år mot slutten av århundret. Magasinene tappes lenger ned i de tørreste årene, og fylles opp mer i de våte. Dette indikerer at det blir mer lønnsomt å flytte vannet mellom år etter hvert som sesongvariasjonene blir mindre.



Figur 9: Maksimal, minimal og gjennomsnittlig norsk magasinfylling per uke for periodene 1981-2010, 2031-2060 og 2071-2100.

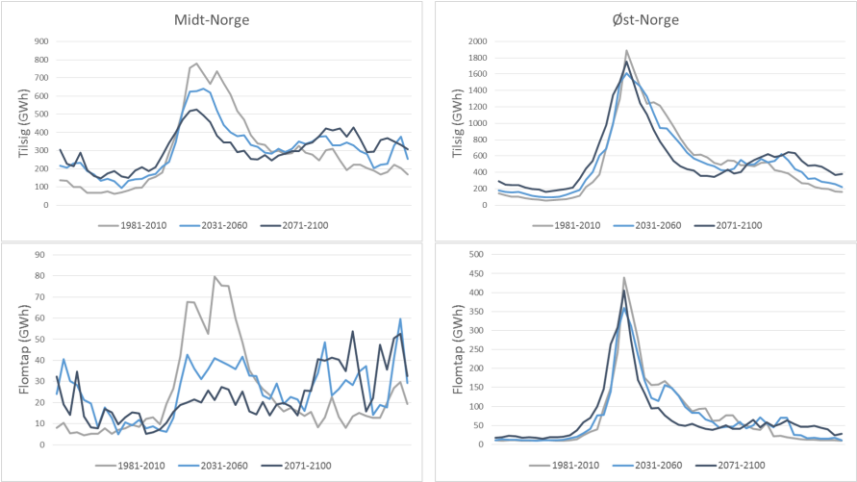
Regional utvikling

Konsekvensene av klimaendringer er ulike i forskjellige deler av landet. Dette skyldes både at tilsigsutviklingen varierer fra region til region, men henger også sammen med at produksjonsapparatet i de forskjellige landsdelene har ulike egenskaper. Figur 10 oppsummerer endringene i tilsig, produksjon og flomtap i prosent og TWh for de fem norske landsdelene. Som en kan se øker produksjonen i takt med tilsiget i alle områder, mens flomtapet utvikler seg i forskjellig retning. Årsakene til dette vil kunne gi innsikt i hvordan kraftsystemet er rustet i møtet med fremtidens klima.



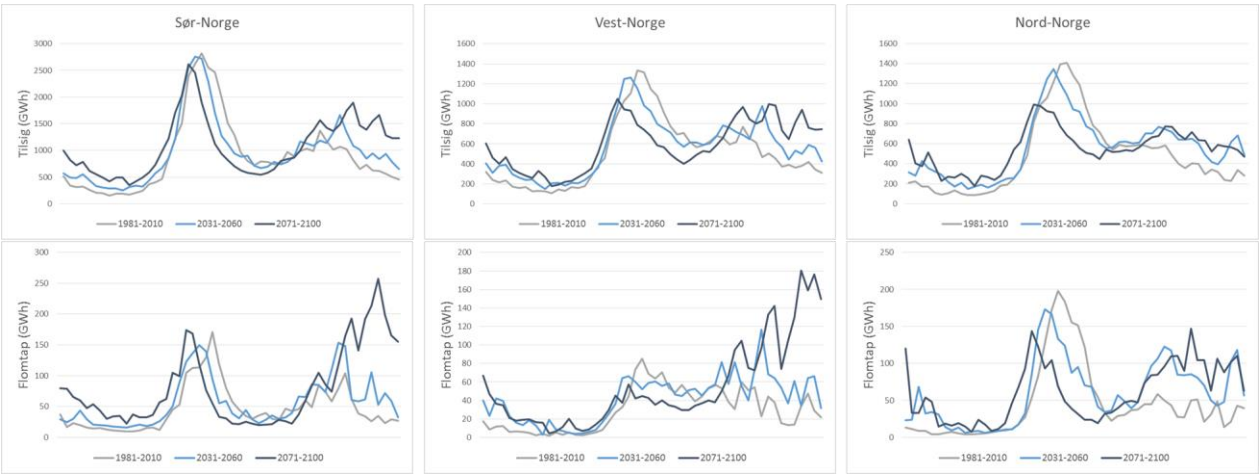
Figur 10: Til venstre vises prosentvis endring i tilsig, produksjon og flomtap i periodene 2031-2060 og 2071-2100 sammenlignet med perioden 1981-2010. Til høyre vises det tilsvarende målt i TWh.

I Midt- og Øst-Norge reduseres flomtapet, noe som tyder på at man i fremtiden bedre klarer å nyttiggjøre seg av tilsiget. Felles for disse områdene er at en stor del av kraftproduksjonen skjer i uregulerte vassdrag. Når tilsiget fordeler seg jevnere over året unngår man de store flomtapene i forbindelse med snøsmeltingen, samtidig som høst- og vinterproduksjonen øker. Klimaendringene bidrar med andre ord til at en får høyere utnyttelse av det eksisterende produksjonsapparatet. Figur 11 viser hvordan produksjon og flomtap utvikler seg gjennom året i henholdsvis Midt- og Øst-Norge. Som en kan se forsvinner flomtapet om våren og sommeren helt i Midt-Norge, mens tapene øker noe på høst og vinter. Mønsteret endrer seg mindre i Øst-Norge, noe som henger sammen med at utjevningen i tilsiget er større i Midt-Norge enn på Østlandet.



Figur 11: Gjennomsnittlig flomtap og produksjon i Midt- og Øst-Norge i de tre periodene 1981-2010. 2031-2060 og 2071-2100.

I Nord-, Sør- og Vest-Norge ser bildet annerledes ut. Her øker flomtapet, noe som i hovedsak skyldes at den prosentvise tilsigsøkningen blir større i disse områdene. Ettersom vannføringen i stor grad reguleres ved hjelp av magasiner, utgjør tapene i utgangspunktet en betydelig mindre andel av den totale produksjonen. Til tross for at en også her får mindre tap i forbindelse med snøsmeltingen, øker likevel flomtapene totalt sett fordi en ikke har lagringskapasitet nok til å håndtere de mest nedbørsrike periodene på høsten og vinteren. Selv om klimaendringene bidrar til at magasinene fylles opp saktere gjennom sommeren, er den tilgjengelige lagringskapasiteten i høst- og vinterukene tilsynelatende ikke nok til å unngå flomtap i vassdrag med mindre og mellomstore magasiner. Det er også verdt å bemerke at de våteste årene slår hardere ut mot slutten av århundret ettersom kraftsystemet er dimensjonert etter dagens klima.

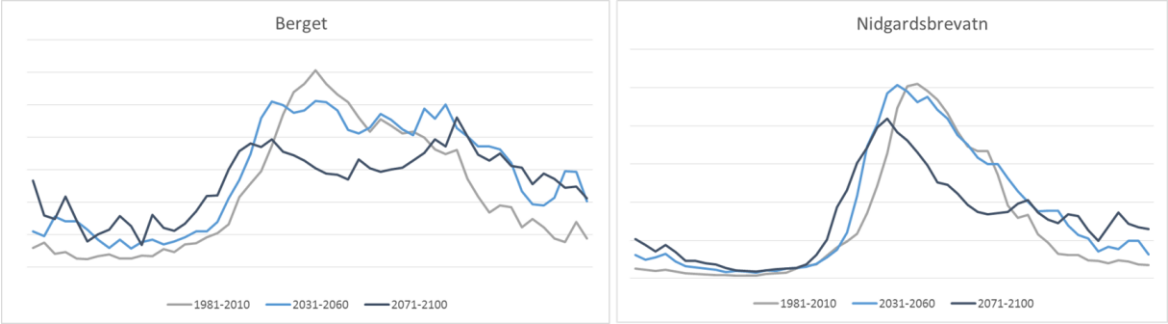


Figur 12: Gjennomsnittlig tilsig og flomtap i periodene 1981-2010, 2031-2060 og 2071-2100 i Nord-, Vest- og Sør-Norge.

Tilsigsutviklingen i Nord- og Vest-Norge skiller seg noe fra det en ser i Sør-Norge. For det første blir tilsigsprofilen betydelig flatere i disse to landsdelene, samtidig som tilsigsøkningen blir størst mot midten av århundret heller enn slutten. Dette henger sammen med utviklingen av breene. To av Norges største breer, Svartisen og Jostedalsbreen, er lokalisert i henholdsvis Nord- og Vest-Norge. Etter hvert som temperaturene øker vil smeltevann fra breene gi økt tilsig til de bre-nære vassdragene. Ettersom bidraget fra bresmelting når en topp mot midten av århundret, før det avtar igjen etter hvert som brearealet minker, påvirker dette de aggregerte tilsigsprofilene i samme retning.

Bresmeltingen har tilsynelatende større betydning for tilsigsutviklingen i Nord-Norge enn i Vest-Norge. Mens det kun blir en svak tilsigsøkning i Vest-Norge mot slutten av århundret, blir det en nedgang i nord. Forklaringen på dette er at en betydelig andel av kraftproduksjonen i nord er tilknyttet Svartisen, mens bretilsig utgjør en mindre andel av det nyttbare tilsiget i vest. I tillegg til at «breeffekten» er noe svakere i Vest-Norge, får en samtidig økt nedbør i de kystnære områdene, noe som kompenserer for redusert smeltetilsig mot slutten av århundret.

I Figur 13 kan en se hvordan tilsigsseriene forbundet med Svartisen (Berget) og Jostedalsbreen (Nidgardsbrevatn) utvikler seg utover i århundret. Høyere temperaturer bidrar i første omgang til at tilsigstoppen om våren varer lenger fordi breene fungerer som et langvarig snømagasin som smelter gjennom hele sommeren. Etter hvert som brearealet blir mindre, faller imidlertid mye av sommertilsiget bort i disse områdene og bidrar til at det totale tilsiget går ned igjen mot slutten av århundret.



Figur 13: Gjennomsnittlig tilsigsprofil for seriene Berget og Nigardsbrevatn i periodene 1981-2010, 2031-2060 og 2071-2100.

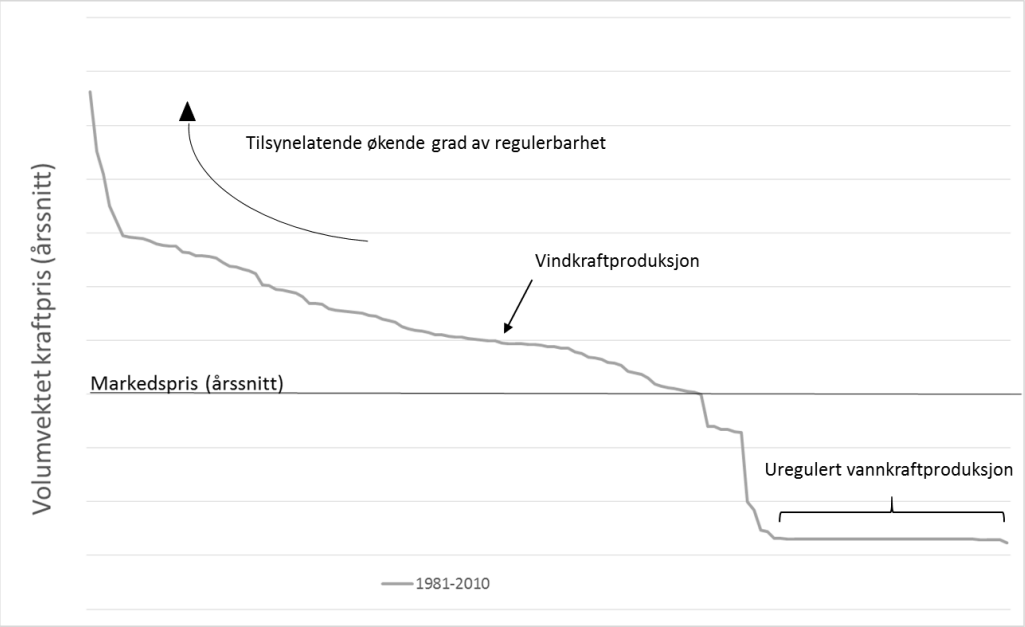
4. Hvordan påvirker klimaendringene verdien av norsk vannkraft?

Den betydelige lagringskapasiteten i de norske vannmagasinene er en forutsetning for forsyningssikkerheten i kraftsystemet. Sesongvariasjonene i det hydrologiske tilsiget gjør at en er avhengig av å lagre vann i perioder med høyt tilsig for å kunne dekke kraftetterspørselen i andre deler av året. Verdien av denne fleksibiliteten kommer blant annet til syne ved at regulerte kraftprodusenter ofte oppnår bedre priser enn den uregulerte delen av markedet. En produsent med lagringsmuligheter vil spare vannet i perioder med lav kraftetterspørsel eller høy uregulert produksjon, for heller å produsere når knappheten, og dermed prisene, er høyere.

Jevnere tilsig vil imidlertid bidra til at det blir mindre sesongmessige prisvariasjonene gjennom året. Spørsmålet blir da hvordan dette påvirker konkurranseforholdet mellom ulike typer kraftproduksjon?

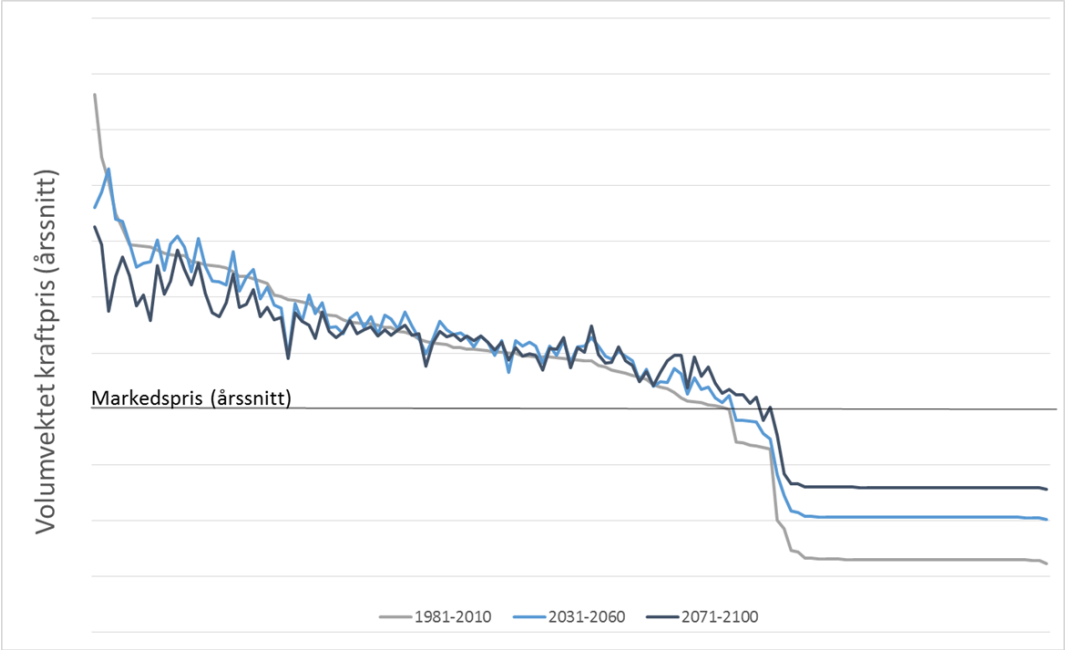
Verdien av regulerbarhet

Volumvektede priser kan brukes til å sammenligne verdien av ulike typer kraftproduksjon. En volumvektet pris reflekterer hvor mye en produsent i gjennomsnitt får for sin produksjon, og beregnes ved å dele total produksjon, for eksempel over et år, på produktet av prisen og produksjonsvolumet i hver enkelt time. Produsenter som har mulighet til å regulere sin produksjon vil typisk produsere mye i perioder med høye priser og på denne måten oppnå en høy volumvektet pris. I figuren under er kraftprodusentene i den sørlige delen av Norge rangert fra høyeste til laveste volumvektet pris. Beregningen er gjort for referanseperioden 1981-2010.



Figur 14: Gjennomsnittlig volumvektet pris i perioden 1981-2010 for produksjonsenheter i modellområdet «sørland», samt gjennomsnittlig områdepris over samme periode.

Som en kan se oppnår de uregulerte vannkraftprodusentene de laveste prisene i markedet, noe som henger sammen med at produksjonsvolumet er størst om våren og sommeren når ressurstilgangen er god og kraftforbruket relativt lavt. Vindkraftprodusentene oppnår på sin side høyere priser enn den uregulerte vannkraften fordi produksjonen er høyest på høsten og vinteren når behovet for kraft er større. I Figur 15 ser en hvordan de volumvektede prisene endres etter hvert som klimaet forandrer seg. Grafene er fortsatt sortert fra høyeste til laveste pris i den første referanseperioden og viser dermed hvordan de volumvektede prisene endres for hver enkelt produsent.



Figur 15: Gjennomsnittlig volumvektet pris i periodene 1981-2010, 2031-2060 og 2071-2100.

Når tilsigstoppen om våren blir lavere vil prisene i forbindelse med vårflommen heves. Dette slår spesielt gunstig ut for de mest uregulerte vannkraftprodusentene som har høy produksjon i denne perioden. I grafen kommer dette fram ved at nivået på de volumvektede prisene øker i de to siste referanseperiodene. Det motsatte er tilfellet for produsentene i det øverste sjiktet; økt ressurstilgang om vinteren gjør at det sjeldnere oppstår knapphetssituasjoner og perioder med høye priser. Dette reduserer konkurransefortrinnet ved å ha muligheten til å tilpasse produksjonen til de best betalte timene. Jevnere tilsig bidrar med andre ord til at forskjellen mellom de høyeste og de laveste kraftprisene blir mindre. Dette kommer til syne i Figur 15 ved at avstanden mellom de som oppnår best priser og de som oppnår de dårligste blir mindre i de to siste referanseperiodene.

Det er likevel viktig å påpeke at vi her kun ser på den ene av to viktige konsekvenser av at klimaet endrer seg. I tillegg til at tilsiget kommer jevnere over året, vil også den totale tilsigsmengden øke. Vi ser at volumeffekten bidrar til at den totale avkastningen øker, til tross for at prisene går ned.

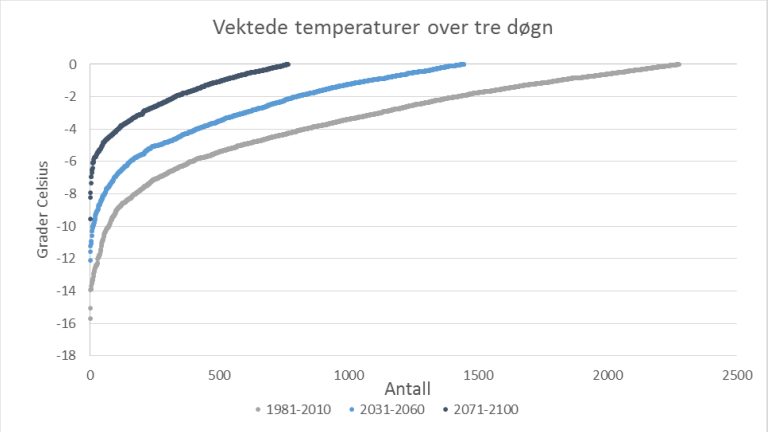
5. Forbruk

Energi

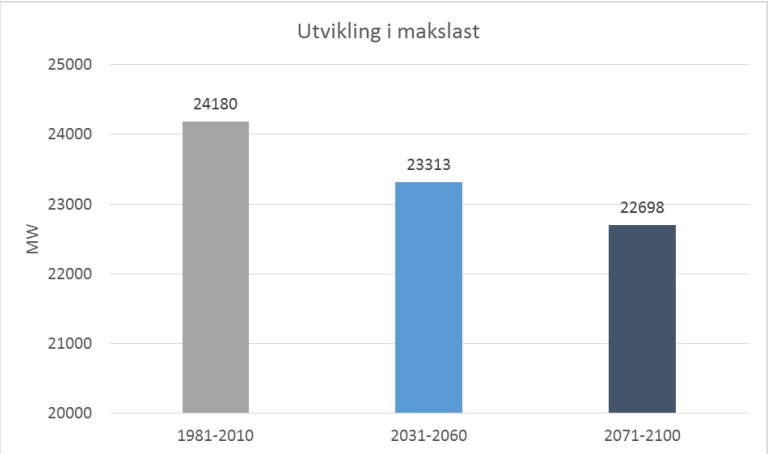
Økte temperaturer fører, isolert sett, til en nedgang i det temperaturavhengige forbruket. I våre analyser bidrar dette til at det årlige forbruket i gjennomsnitt blir 6,5 TWh lavere i slutten av århundret enn i dag. Det er viktig å understreke at dette er en partiell analyse, som ikke tar høyde for at forbruket kommer til å endre seg i fremtiden. Resultatene fra denne analysen må derfor ikke tolkes som en forbruksframskrivning, men kun som en indikasjon på hvordan dagens forbrukere ville respondert på økte temperaturer, alt annet likt.

Effekt

Dimensjoneringen av kraftsystemet må ta utgangspunkt i det høyeste forventede effektuttaket. Historisk sett har makslast blitt utløst av den laveste snittemperaturen over tre døgn. Grunnen til at en ser det over tre døgn er at det tar noe tid før kulde trekker inn i isolasjonen i bygninger.



Figur 16: Vektet snittemperatur over tre døgn i periodene 1981-2010, 2031-2060 og 2071-2100.



Figur 17: Utviklingen i topplast med 240MW/3-døgns C. 24180 MW er referert til temperaturen for 1981-201 0.

Figur 16 viser utviklingen i glidende middelverdi for tre sammenhengende døgn i de tre referanseperiodene. Dersom gjennomsnittstemperaturen er under null grader i fire døgn utgjør dette dermed to punkter i figuren. For å undersøke hvilken virkning utviklingen i temperatur kan ha på maksimallast, er disse sortert fra lavest til høyeste temperatur. Vektingen av temperaturseriene i Figur 16 er basert på fordelingen av forbruket i dagens kraftsystem. Temperaturserien for Oslo utgjør 55 prosent, Bergen 25 prosent, mens Trondheim og Tromsø er vektet henholdsvis 9 og 12 prosent. Figuren viser tydelig at den laveste sammenhengende temperaturen over tre døgn stiger mellom periodene. Antallet av disse som er under 0 grader er 2276 i 30-årsperioden 1981-2010, 1445 i 2031-2060 og 765 perioden 2071-2100.

I 2012 la Statnett til grunn en sensitivitet på 240 MW/C° i sitt arbeid om klimaendringers påvirkning på norsk energi- og effektbalanse. Den historiske makslasten i det norske kraftsystemet er fra 2013 og er på 24180 MW. Med utgangspunkt i Statnett sin metode har vi normalisert makslasten fra 2013 til temperaturene i perioden 1981-2010. Som vist i Figur 17 går makslasten ned ettersom minimumstemperaturen øker utover århundret, alt annet likt. Nedgangen i topplast blir på om lag 850 MW i perioden 2031-2060, og 1500 MW i perioden 2071-2100. Dette stemmer godt med resultatet som Statnett fikk med en forbedring av effektbalansen på 800 MW fra 2010 til 2050.

6. Norsk kraftbalanse

Det norske kraftoverskuddet vil øke fram mot år 2100 som følge av et våtere og varmere klima. Våtere og varmere vær trekker kraftoverskuddet i samme retning, i og med at tilgangen på vannressurser øker samtidig som etterspørselen etter kraft, isolert sett, går ned som følge av et varmere klima. Ut i fra våre analyser vil det gjennomsnittlige kraftoverskuddet øke med 21,5 TWh mot slutten av århundret. Av dette kommer 15 TWh fra økt produksjon, og rundt 6,5 TWh fra redusert temperaturavhengig forbruk. En mulig økning i etterspørselen som følge av potensielt lavere priser er ikke tatt med i beregningene.

7. Konklusjon

Analysene som har blitt presentert i denne rapporten tyder på at verdien av norsk vannkraft kommer til å øke som følge av at klimaet endrer seg. Mer nedbør gjør at vannkraftpotensialet utvides, noe som gir høyere produksjon og forbedret kraftbalanse nasjonalt. Samtidig kommer tilsiget jevnere over året, noe som reduserer faren for knapphetssituasjoner mot slutten av tappesesongen og gjør at flomtapene i forbindelse vårløsningen går ned. Klimaendringene bidrar med andre ord til at verdien av det eksisterende produksjonsapparatet øker, både i form av bedre energisikkerhet og i form av høyere avkastning.

Forutsetningen om at kraftsystemet er dimensjonert som i 2015 vil selvfølgelig begrense hvor mye av tilsigsøkningen en klarer å utnytte. Et naturlig spørsmål som følger av analysen vil derfor være hvilke, og hvor store, investeringer som skal til for å få en samfunnsøkonomisk rasjonell utnyttelse av den økte ressurstilgangen. Etter hvert som tilsiget øker vil det bygge seg opp et kraftoverskudd i Norge. Dette slår ut i lavere priser og demper den potensielle inntektsgevinsten av at ressurstilgangen øker. Dersom etterspørselen etter norsk vannkraft øker i fremtiden, enten i form av økt utvekslingskapasitet eller gjennom høyere nasjonalt forbruk, vil dette kunne absorbere kraftoverskuddet og dermed øke avkastningen på norsk kraftproduksjon.

8. Referanser

Statnett (2012): Klimaendringers påvirkning på norsk energi- og effektbalanse.

I. Hanssen-Bauer, E. J. Førland, I. Haddeland, H. Hisdal, S. Mayer, A. Nesje, J.E.Ø. Nilsen, S. Sandven, A.S. Sandø, A. Sorteberg og B. Ådlandsvik (2015): Klima i Norge 2100

Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no