

TIL: Vilårsrevisjonsteamet

FRA: Anne Bakke Aasen og Tone Gammelsæter

KOPI

VÅR REF:

DERES REF:

DATO: 24.01.2019

ANSVARLIG:

POSTADRESSE
Skagerak Kraft AS
Postboks 80
3901 Porsgrunn

Storgt. 159
3915 PORSGRUNN

SENTRALBORD
35 93 50 00

TELEFAX
35 55 97 50

INTERNETT
www.skagerakenergi.no

E-POST
firmapost@skagerak.no

ORG. NR.: 979 563 531 MVA

Vrenga kraftverk – Vurdering av magasinrestriksjoner

Innhold

Innledning	1
Tilsigsanalyse	4
Hølseter kraftverk	4
Vrenga kraftverk totalt	5
Forutsetninger for modellsimuleringene	7
Simuleringer med dagens reglement	8
Simuleringer med magasinrestriksjoner	12
Kjørkjevatt – konsekvenser ved innføring av sommervannstand	12
Hanavatt – konsekvenser ved innføring av sommervannstand	14
Våtvatt – konsekvenser ved innføring av sommervannstand	16
Hoppestadvatt – konsekvenser ved innføring av sommervannstand	17
Oppsummering/drøfting	19
Referanser	21

Innledning

Dette dokumentet er laget som vedlegg til revisjonsdokumentet som regulanten Skagerak Kraft (SK) utarbeider i forbindelse med revisjon av konsesjonsvilkårene for reguleringen av Vrengja, Gjuva og Høymyrselva.

I forbindelse med revisjon av konsesjonsvilkårene for denne reguleringen har det blant annet blitt framsatt krav om at man vurderer magasinfyllingen om sommeren, dog uten at krav om sommervannstand er konkretisert.

Innledningsvis påpeker SK prinsipielt at reguleringsgrensene (HRV/LRV) er en del av selve konsesjonen og derfor ikke kan endres ved en vilkårsrevisjon. Det innebærer for eksempel at magasinkrav som resulterer i at man ikke kan benytte seg av magasinenes LRV eller HRV ikke kan pålegges ved en vilkårsrevisjon.

Vannstandene som er benyttet som sommerrestriksjoner i analysene er valgt på bakgrunn av hvordan magasinene historisk har vært manøvrert om sommeren. Historisk manøvrering er dokumentert i Skagerak Kraft-notatet «*Gjennomgang av magasin vannstander i reguleringen av Vrengja, Gjuva og Høymyrselva i perioden 1960-2017*» (Ref 1). Ved å se på modellresultater i sammenheng med historisk tilsig mener vi at det skal være et godt grunnlag for å kunne vurdere generelle konsekvenser ved innføring av magasinrestriksjoner om sommeren. Det er viktig å vurdere magasinrestriksjoner i lys av at en eventuell restriksjon skal kunne fungere i alle år og hele året, dvs i år med både lite, mye og normalt tilsig, og i mange år framover.

Skagerak Kraft har benyttet regnemodeller for å belyse hvilke konsekvenser en eller flere magasinrestriksjoner vil kunne få. Forutsetninger og begrensninger i modeller som er benyttet til beregningene er belyst i avsnittet «Forutsetninger for modellsimuleringene».

Tilslagsgrunnlaget som benyttes i analysene er utarbeidet av dr.ing. Trond Rinde, Norconsult (rapport: «*Tilslagsserier Vrenga-Gjuva*», 2011-10-25, (Ref 2) og er senere utvidet til å omfatte årene 2012 og 2013.). Dette tilsiget brukes sammen med Skagerak Krafts modeller som benyttes i daglig drift for langsiktig og kortsiktig optimalisering av kraftproduksjonen.

Først presenteres en analyse av tilsiget med hovedvekt på tilsiget i sommerperioden slik at leseren får et inntrykk av tilsigets betydning i dette reguleringsområdet. Det er viktig å være klar over at tilsigsseriene som er utarbeidet ikke kan brukes i flomberegninger siden de er basert på HBV-modell som underestimerer flomtopper. Det betyr at utfordringer med høyt tilsig og flom som vises i resultatene fra tilsigsanalysen og modellkjøringene i realiteten er noe underestimert. Det er også viktig å være klar over at tilslagsgrunnlaget som benyttes ikke tar inn over seg følgene av forventede fremtidige klimaendringer som for eksempel at episoder med kraftig nedbør øker vesentlig i både i hyppighet og intensitet.

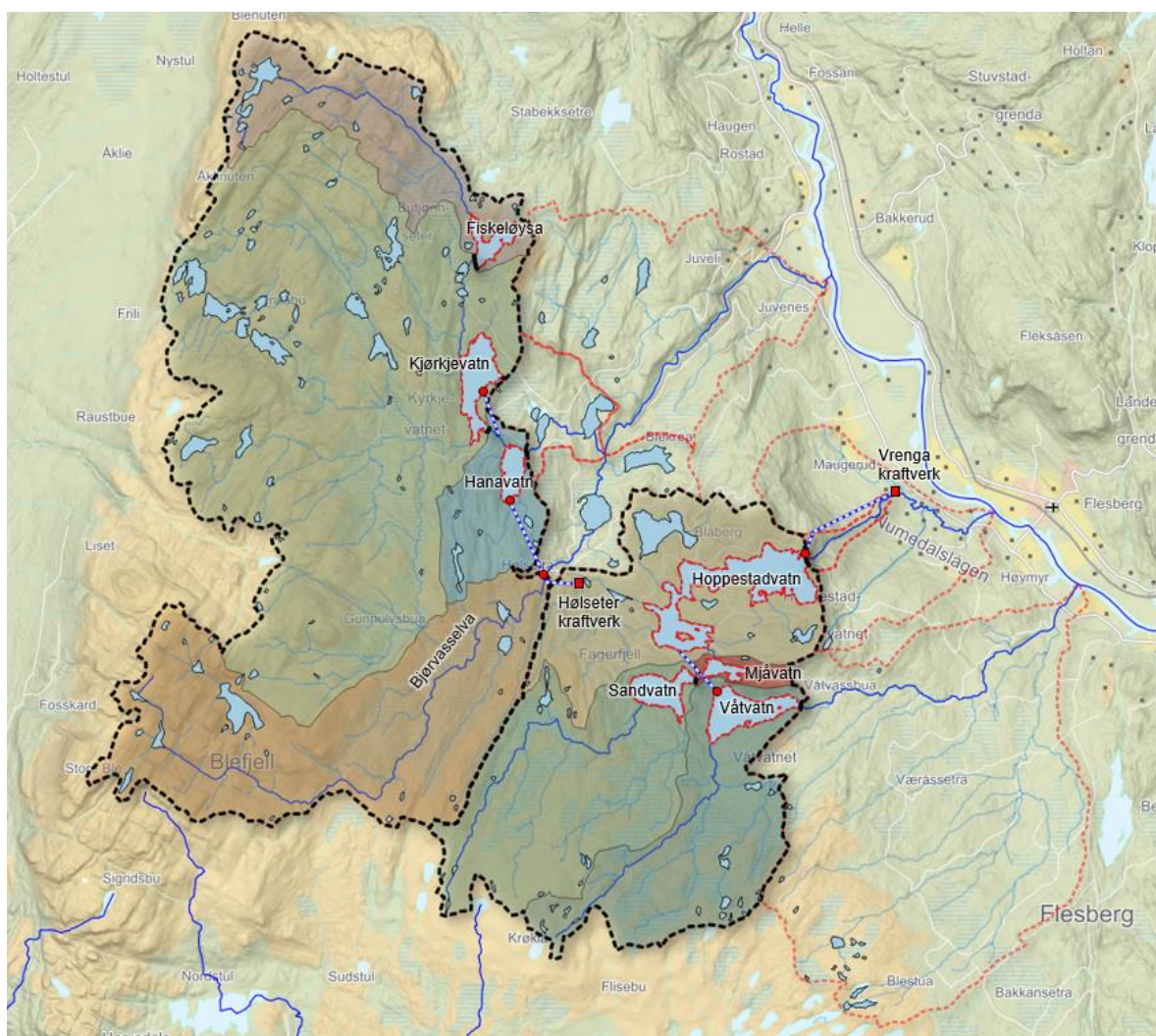
I dette dokumentet presenteres resultater fra analysene av konsekvensene ved innføring av sommervannstand i Kjørkjevatn, Hanavatn, Våtvatn og/eller Hoppestadvatn. Resultatene er presentert i grafer og kommentarer til hvert enkelt magasin og en samlet diskusjon til slutt. For å gjøre det lettere for leseren å følge med i resonnementet er det inkludert nøkkeldata for magasinene i Tabell 1 og kart i Figur 1.

På grunn av den lave reguleringsgraden i magasinene vil et krav i et magasin få konsekvenser for disponeringen i alle magasiner. Dette vurderes i forhold til dagens manøvreringspraksis.

Tabell 1: Nøkkeldata

	Mag. Vol.	HRV	LRV	Reg. høyde	Midlere årstilsig	Midlere årstilsig	Lokal reg. grad	Total reg. grad
	[Mm ³]	[m.o.h.]	[m.o.h.]	[m]	[m ³ /s]	[Mm ³]	[%]	[%]
Fiskeløysa	1	788,0	784,0	4	0,3	9,0	11	11
Kjørkjevavn	6,7	675,0	660,0	15	1,5	46,5	14	12
Hanavann	2,3	653,0	644,0	9	0,1	2,2	105	4
Hølseterbekken					0,7	23,6		
Hølseter krv totalfelt	10				2,6	81,3		
Våtvann	5,25	581,0	571,0	10	0,3	10,1	52	52
Mjåvann	0,4	590,0	587,0	3	0,02	0,6	67	3
Sandvatn	2,1	602,0	597,0	5	0,4	13,3	16	16
Hoppestadvatn	11,5	563,0	550,0 ¹⁾	13 ¹⁾	0,3	9,3	124	10
Vrenga krv totalfelt	29,25				3,6	114,6		

1) LRV i Hoppestadvatn praktiseres med 551



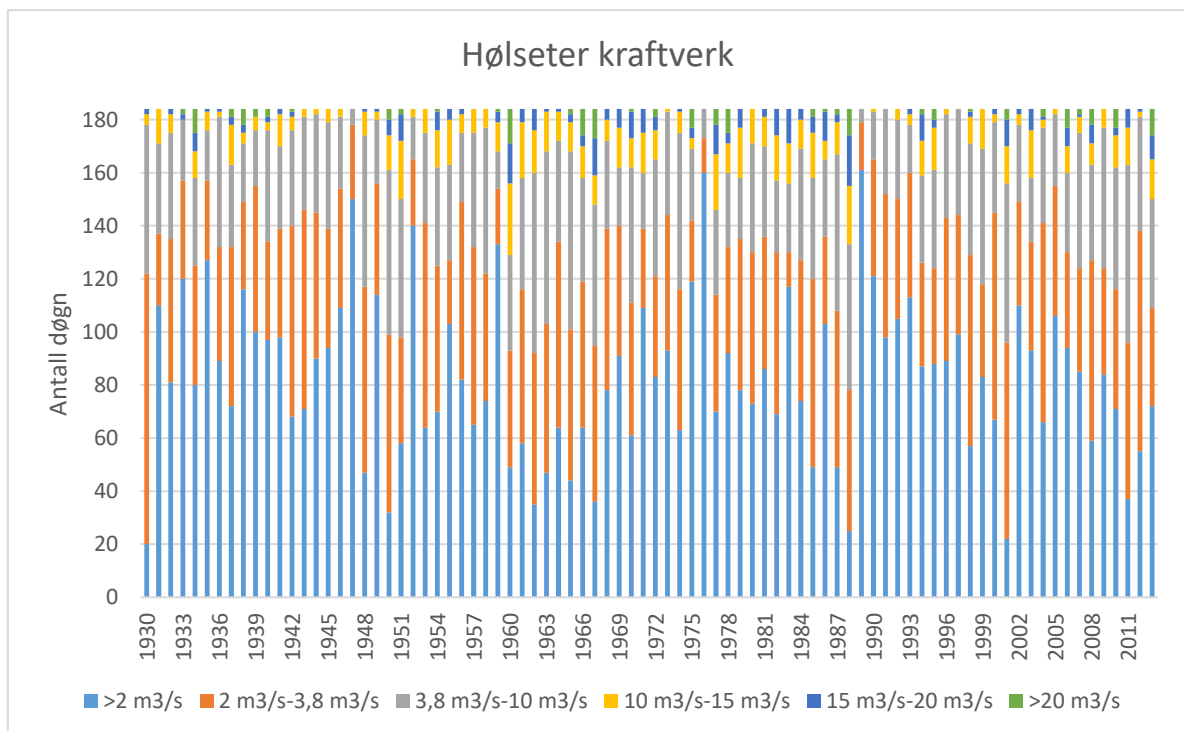
Figur 1: Kart over magasiner, vannveier, bekkeinntak og kraftverk i reguleringen for Vrenga, Gjuva og Høymyrselva.

Tilsigsanalyse

For å gi leseren et inntrykk av i hvor stor grad tilsiget påvirker produksjonen om sommeren og høsten er det laget en oversikt over døgntilsiget i årene 1930-2013 (samme tilsigsserier som er benyttet i modellsimuleringene). I figurene i dette avsnittet viser vi en oversikt der vi har beregnet hvor mange døgn man har tilsig av en viss størrelse i perioden fra 1. mai til 1. november. Dette er den perioden i løpet av året hvor tilsiget har størst kortsiktig innvirkning på produksjonen.

Hølseter kraftverk

Hølseter kraftverk har driftsvassføring på 3,8 m³/s ved full produksjon. Det betyr at alle døgn hvor tilsiget er større enn 3,8 m³/s vil ikke kraftverket klare å holde unna selv med full produksjon døgnet rundt, og magasinutfyllingen vil øke oppstrøms kraftverket. Figur 2 viser hvordan tilsiget fordeler seg i størrelsesintervaller for hvert av tilsigsårene fra 1930-2013 når man tar med alle døgntilsigene i perioden fra 1. mai til 1. november (ser av figuren at man har samme antall døgn for alle tilsigsårene). Selv om grafen viser at tilsiget de fleste døgn er under slukeevnen til kraftverket, er det et betydelig antall dager hvor tilsiget er større enn slukeevnen. Det vil gi stigning i vannstanden i magasinene oppstrøms Hølseter kraftverk. I gjennomsnitt er tilsiget 3,7 m³/s i perioden 1.5 til 1.11, og 2,8 m³/s i snitt i perioden 1.7 til 1.11. Dette påvirker produksjonen i Hølseter kraftverk og vannstandsutviklingen i magasinene i svært stor grad.

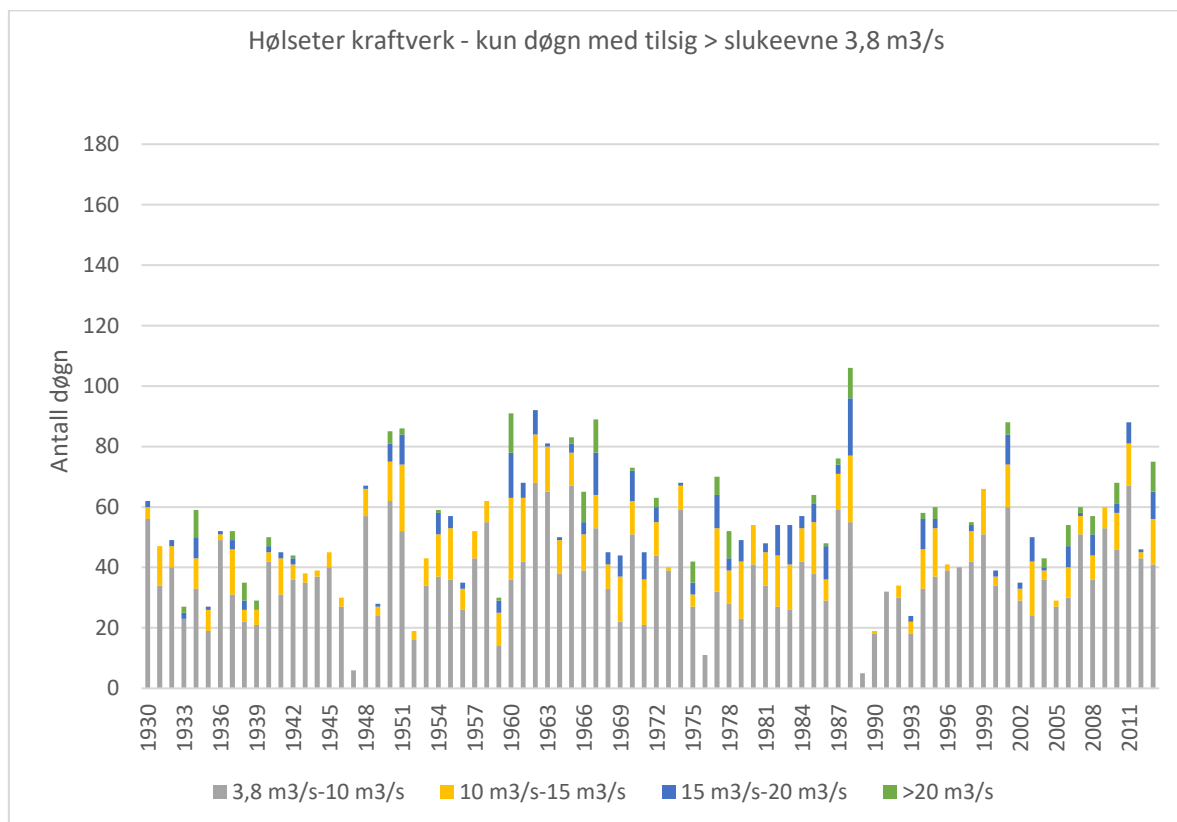


Figur 2. Figuren viser hvordan beregnet døgntilsig til Hølseter kraftverk i perioden 1. mai til 1. november fordeler seg i størrelse. Vi har gruppert tilsiget for perioden 1. mai til 1. november i 6 intervaller for hvert av årene med tilsigshistorikk fra 1930-2013.

Figur 3 viser kun observasjoner med døgntilsig større enn slukeevnen på 3,8 m³/s og gjør det litt lettere å se hvordan disse observasjonene fordeler seg. Vi ser at det er svært store variasjoner fra år til år.

5 tilsigsår har færre enn 20 døgn med døgntilsig høyere enn slukeevnen til kraftverket, mens hele 61 tilsigsår har mer enn 40 døgn med høyere døgntilsig enn det som Hølseter kraftverk kan bruke til produksjon. Mange av observasjonene er døgn med tilsig over 10 m³/s. I 24 av de 84 tilsigsårene har det vært mer enn 60 døgn med tilsig > 3,8 m³/s.

To døgn på rad med 10 m³/s i tilsig summeres til totalt 1,73 Mm³ med vann. Dette tilsvarer 75 % av den totale magasinkapasiteten i Hanavann, eller 25 % av magasinkapasiteten i Kjørkjevatt. Regnestykket illustrerer hvor stor innvirkning nedbør og tilsig får på produksjon og magasinutvikling. Tilsig av denne størrelsen gir altså kraftig økning i magasinbeholdningen, selv om det er langt unna å kunne kalles ekstremvær.



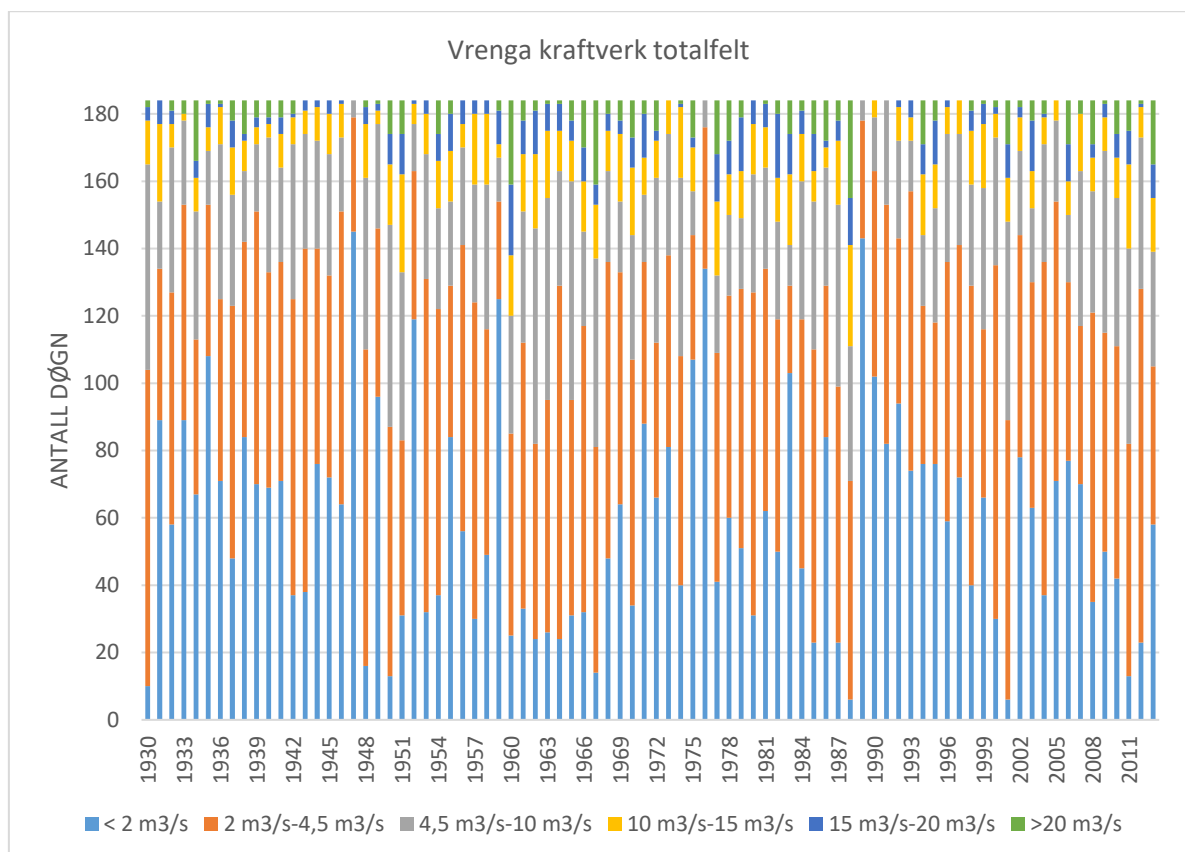
Figur 3. Figuren viser hvordan beregnet døgntilsig til Hølseter kraftverk i perioden 1. mai til 1. november fordeler seg i størrelse. Vi har gruppert tilsiget for perioden 1. mai til 1. november i intervaller for hvert av årene med tilsigshistorikk fra 1930-2013. I denne figuren er det kun døgn med døgntilsig > slukeevnen til Hølseter kraftverk (3,8 m³/s) som vises.

Vrenga kraftverk totalt

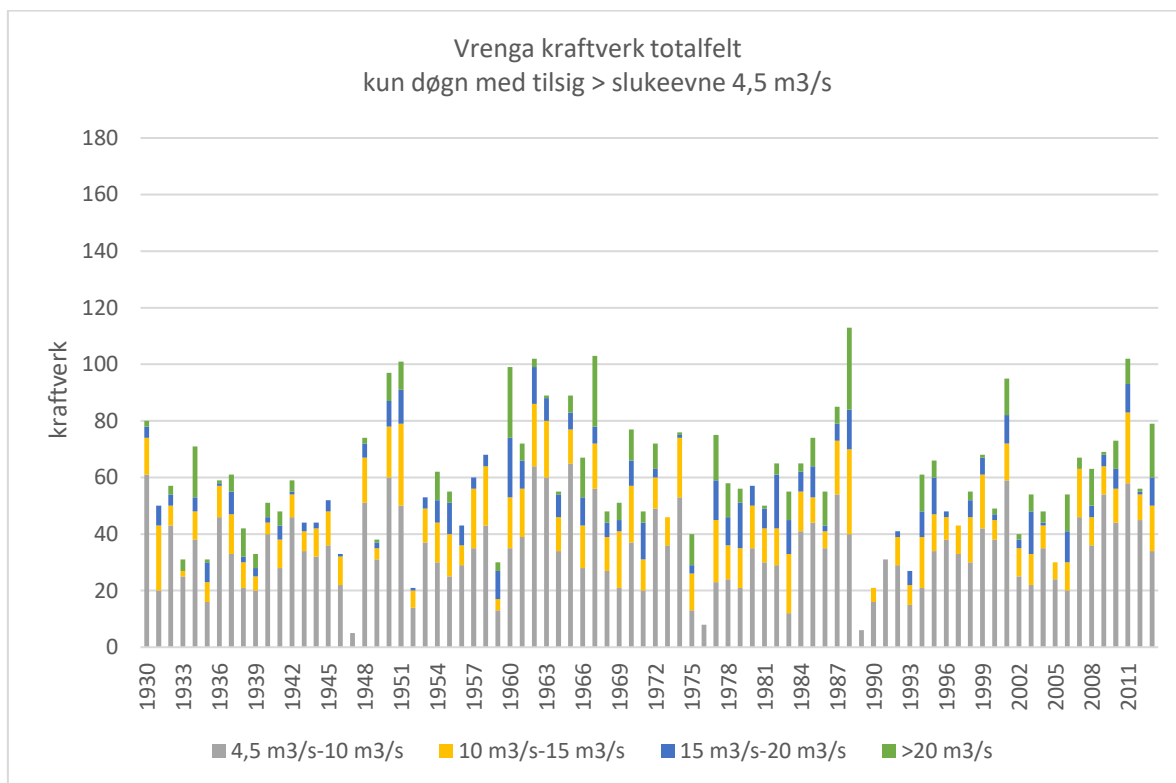
Vrenga kraftverk har en driftsvassføring på 4,5 m³/s ved full produksjon. Det betyr at i alle døgn hvor totaltilsiget til Vrenga kraftverk er større enn 4,5 m³/s vil ikke kraftverket klare å holde unna selv med full produksjon døgnet rundt. Magasinfyllingen vil øke.

Figur 4 Figur 2. Figuren viser hvordan beregnet døgntilsig til Hølseter kraftverk i perioden 1. mai til 1. november fordeler seg i størrelse. Vi har gruppert tilsiget for perioden 1. mai til 1. november i 6 intervaller for hvert av årene med tilsigshistorikk fra 1930-2013. viser hvordan tilsiget fordeler seg i størrelsesintervaller for hvert av tilsigsårene fra 1930-2013 når man tar med alle døgntilsigene i perioden fra 1. mai til 1. november (ser av figuren at man har samme antall døgn for alle tilsigsårene). Selv om figuren viser at tilsiget de fleste døgn er lavere enn slukeevnen til kraftverket, så er det også for Vrenga kraftverk et betydelig antall dager hvor tilsiget er større enn slukeevnen. I gjennomsnitt er tilsiget 4,9 m³/s i perioden 1.5 til 1.11, og 3,9 m³/s i snitt i perioden 1.7 til 1.11. Figur 5 viser observasjoner med døgntilsig større enn slukeevnen på 4,5 m³/s og gjør det litt lettere å se hvordan disse observasjonene fordeler seg. Vi ser at det er svært store variasjoner fra år til år.

Kun tre tilsigsår har færre enn 20 døgn der tilsiget er større enn slukeevnen til Vrenga kraftverk, mens man i 34 år har hatt mer enn 60 døgn med tilsig større enn de 4,5 m³/s som er maksimal vassføring gjennom Vrenga kraftverk. Dette synliggjør at produksjonen i Vrenga kraftverk i sommerhalvåret i stor grad er avhengig av nedbør og tilsig. Sommerproduksjonen i Hølseter og Vrenga kraftverk er en betydelig andel av den årlige produksjonen.



Figur 4. Figuren viser hvordan beregnet døgntilsig til Vrenga kraftverk totalt (sum av Hølseter kraftverk sitt tilsig og lokalfeltet til Vrenga kraftverk) i perioden 1. mai til 1. november fordeler seg i størrelse. Vi har gruppert tilsiget for perioden 1. mai til 1. november i 6 intervaller for hvert av årene med tilsigshistorikk fra 1930-2013.



Figur 5. Figuren viser hvordan beregnet døgntilsig til Vrenga kraftverk totalt i perioden 1. mai til 1. november fordeler seg i størrelse. Vi har gruppert tilsiget for perioden 1. mai til 1. november i intervaller for hvert av årene med tilsigshistorikk fra 1930-2013. I denne figuren er det kun døgn med døgntilsig > slukeevnen til Vrenga kraftverk ($4,5 \text{ m}^3/\text{s}$) som vises.

Forutsetninger for modellsimuleringene

Vi har benyttet Sintefs modeller; Vansimtap og Prodrisk, for å belyse konsekvenser ved innføring av eventuelle magasinrestriksjoner i et eller flere av magasinene Kjørkjevatt, Hanavatn, Våtvatt og Hoppestadvatn. Prodrisk er en optimaliseringsmodell der disponeringen av vannkraften beregnes med hensyn til alle fysiske restriksjoner i systemet. I tillegg er usikkerhet i markedspris og tilsig hensyntatt. En begrensning med modellen er at den beregner magasinbalanser på ukeoppløsning. Det innebærer at den ikke klarer å få fram utfordringene ved kortvarige tilsigstopper på for eksempel 2-5 dager.

Resultatene fra modellkjøringene illustrerer magasinutvikling, produksjonsmønster og flomfare ved innføring av magasinrestriksjoner i sommermånedene. Modellen er god til å analysere absolutte restriksjoner i vannveien, men håndterer i utgangspunktet ikke tilstandsavhengige restriksjoner slik som «myke restriksjoner». Et eksempel på en myk restriksjon kan være «at man ikke skal produsere før magasinet når en viss vannstand».

Modellene inkluderer ikke magasinene Fiskeløysa, Mjåvatn og Sandvatn, siden de historisk har hatt lite å si for disponeringen av de andre magasinene i reguleringsområdet. Disse magasinene vil i sommerhalvåret normalt ligge med naturlig overløp og kan i denne analysen sees på som uregulerte magasin der alt tilsig vil gå til magasinene nedstrøms. Magasinene tappes normalt ned på senhøsten og ligger tomme i vinterhalvåret, se også

beskrivelse av manøvreringspraksis i notatet «Gjennomgang av magasin vannstander i reguleringen av Vrengja, Gjuva og Høymyrselfva i perioden 1960-2017» (Ref 1).

I regnemodellen Prodrisk benyttes tilsigsgrunnlaget som ble utarbeidet av dr.ing. Trond Rinde, Norconsult (Ref. 2) og er senere utvidet til å omfatte årene 2012 og 2013. Dette er det samme tilsiget som er brukt i avsnittet om Tilsigsanalyse. Det er viktig å være klar over at tilsiget som er utarbeidet ikke kan brukes i flomberegninger siden de er basert på en HBV-modell som underestimerer flomtopper. Det betyr at utfordringene med høyt tilsig og flom som vises i resultatene fra modellkjøringene i realiteten er noe underestimert.

For å vurdere eventuelle vannstandsrestriksjoner har vi valgt å sammenligne resultater fra modellkjøringer med dagens reglement med resultatene fra modellkjøringer basert på fire mulige scenarioer med ulike vannstandsrestriksjoner i perioden 1. juni til 30 august, se oversikt i Tabell 2 **Feil! Fant ikke referanse kilden..** Magasin volum og fyllingsgrad i magasinene ved de forskjellige alternativene for sommervannstand er vist i Tabell 3. Når vi henviser til de ulike scenariene i den videre presentasjonen av resultater og drøftingen av konsekvenser vil vi bruke navnene Basis og Scenario A, B, C og D.

Tabell 2: Oversikt over restriksjoner for sommervannstander som er lagt inn i modellen.

	Kjørkjevatt	Hanavatn	Våtvatt	Hoppestadvatt
Basis	-	-	-	-
Scenario A	-	651 (HRV-2m)	580 (HRV-1m)	561,5 (HRV-1,5m)
Scenario B	-	651 (HRV-2m)	580 (HRV-1m)	560 (HRV-3m)
Scenario C	672 (HRV-3m)	651 (HRV-2m)	580 (HRV-1m)	561,5 (HRV-1,5m)
Scenario D	672 (HRV-3m)	651 (HRV-2m)	580 (HRV-1m)	560 (HRV-3m)

Tabell 3. Magasin volum og fyllingsgrad i magasinene ved sommervannstand.

	Vannstand [moh]	Magasin volum (magasinkapasitet) [Mm3]	Fyllingsgrad [%]
Kjørkjevatt	672.0	4.85 (6.7)	72
Hanavatn	651.0	1.70 (2.3)	74
Våtvatt	580.0	4.60 (5.25)	88
Hoppestad	561.5	8.93 (11.5)	78
Hoppestad	560.0	6.58 (11.5)	57

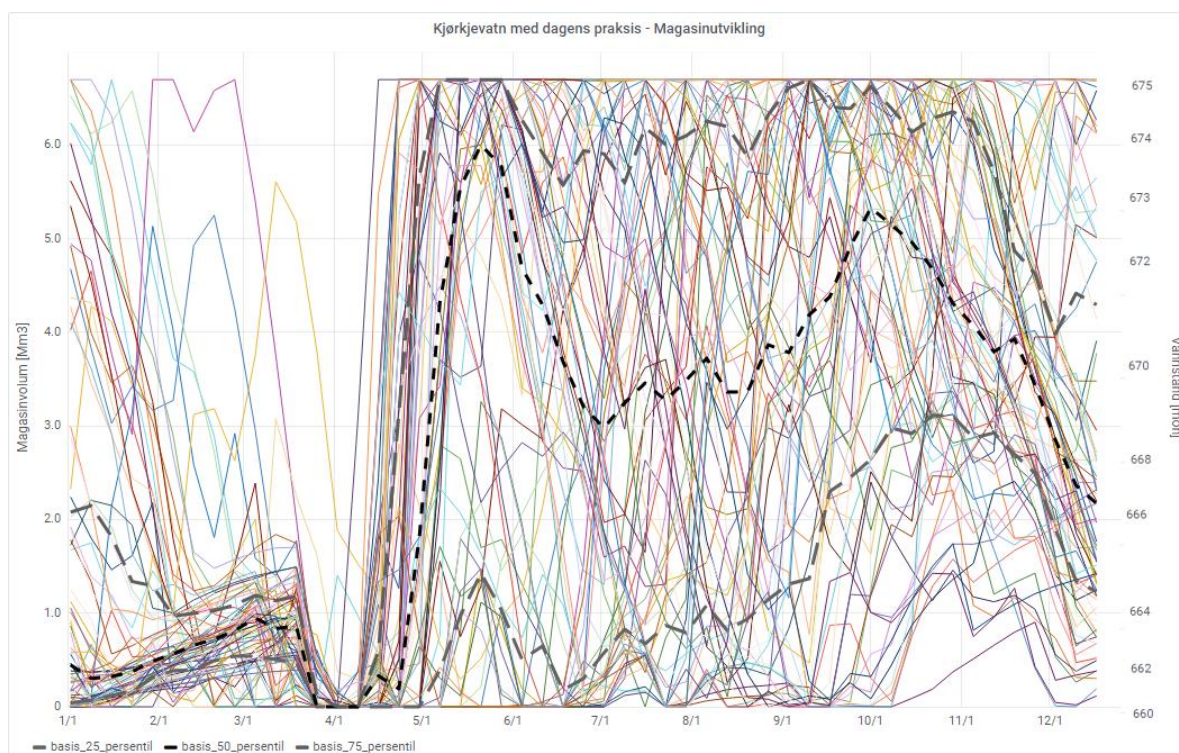
Simuleringer med dagens reglement

Figur 6 til Figur 11 viser hvordan modellen vil disponere vannet med dagens reglement for magasin vannstand. Resultater for alle tilsigsårene som vi har i modellen vises samt 25-, 50- og 75-persentil. Denne disponeringen vil benyttes som basisalternativ.

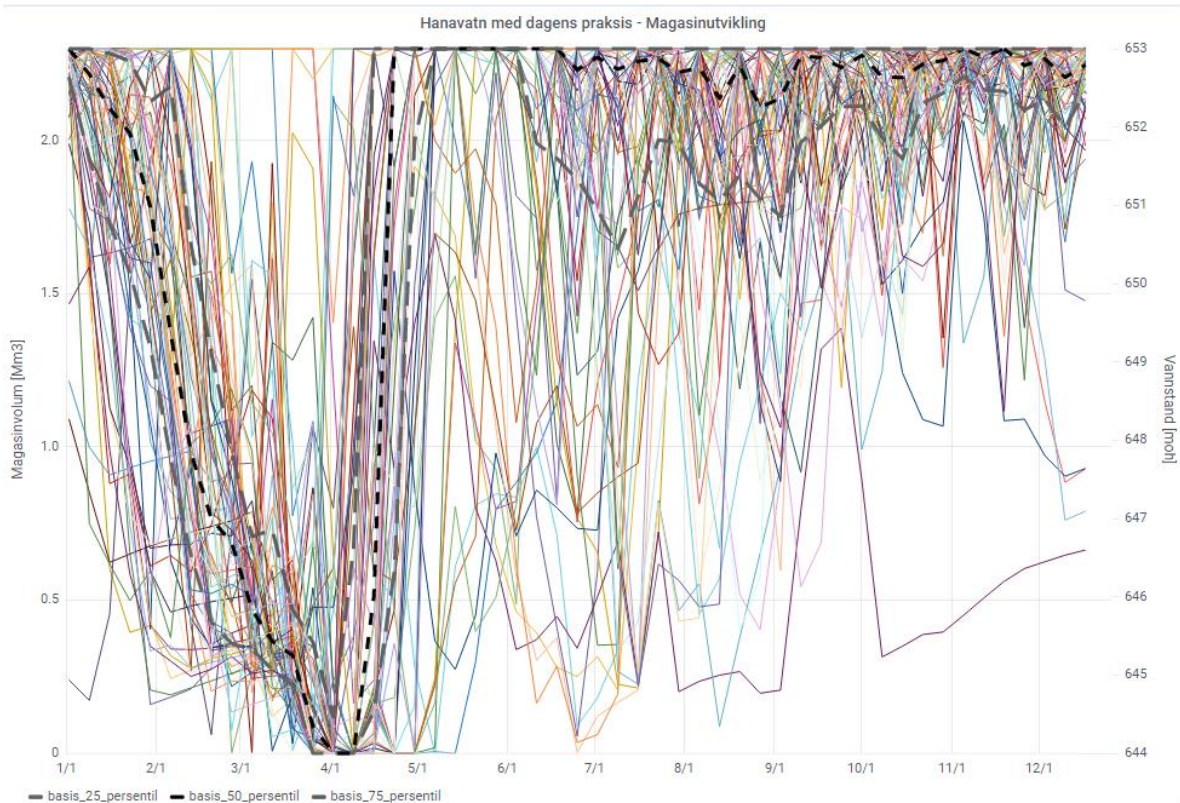
Modellen ønsker å ligge høyt i inntaksmagasinerne og ta dempingen i Kjørkjevatt og Våtvatt. For alle tilsigsbaner tappes magasinene ned til LRV i løpet av vinteren for så å fylles raskt opp igjen under vårmeltingen. Det kommer tydelig fram at det er ønskelig å ha demping i både Våtvatt og Kjørkjevatt før høstflommene. Inn mot vinteren forsøker modellen å holde fallhøyden i Hoppestadvatt og Hanavatt lengst mulig og tømmer både Kjørkjevatt og Våtvatt før inntaksmagasinerne kjøres tomme i mars/april.

Det er viktig å være klar over at modellen Prodrisk har kontroll på framtidig tilsig i sine beregninger, og at modellen derfor er komfortabel med å ligge høyt i magasininfylling når den vet at det kommer en periode med lavt tilsig. Dette ser vi spesielt med at Prodrisk verdsetter fallhøyde og tilstreber høyest mulig vannstand i inntaksmagasinene. Samtidig velger modellen å ha god demping i magasinene som ikke er inntaksmagasinene siden den her ser verdi i det. Det er noen avvik mellom vannstandsutvikling i modellkjøringen og historisk manøvrering. Vi ser spesielt at modellen ser verdi i å ha større demping i Våtvatt enn det som har vært praksis de siste årene. Med demping i Våtvatt kan modellen ligge noe høyere i Hoppestadvatt. Tilsvarende velger modellen å ha god demping i Kjørkjevatt for å lette presset på Hanavatt.

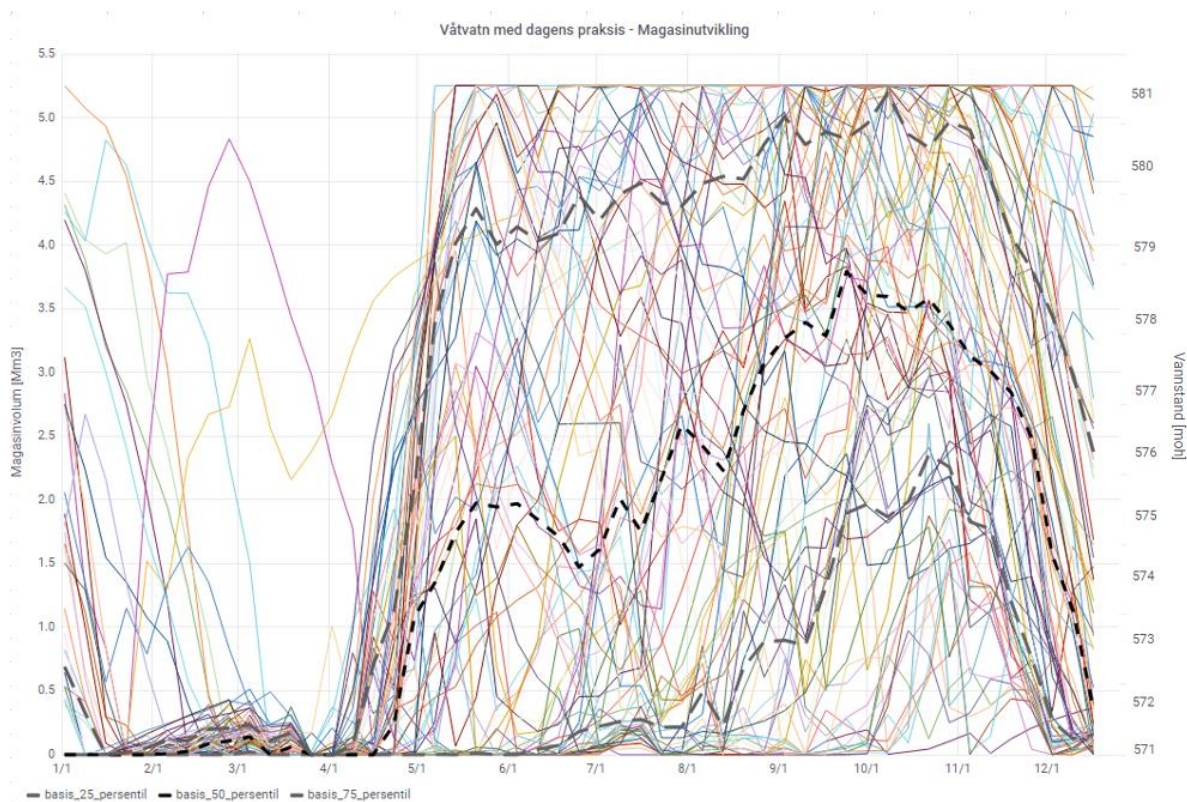
Figur 10 og Figur 11 viser produksjonsmønsteret for henholdsvis Hølseter og Vrenga kraftverk. Det er høy produksjon i begge kraftverkene i oppfyllingsperioden, siden snømagasinet/vårtilsiget ofte er større enn magasinkapasiteten. Om sommeren kjører modellen unna tilsig og skaper i tillegg demping i Våtvatt og Kjørkjevatt i forkant av høsten.



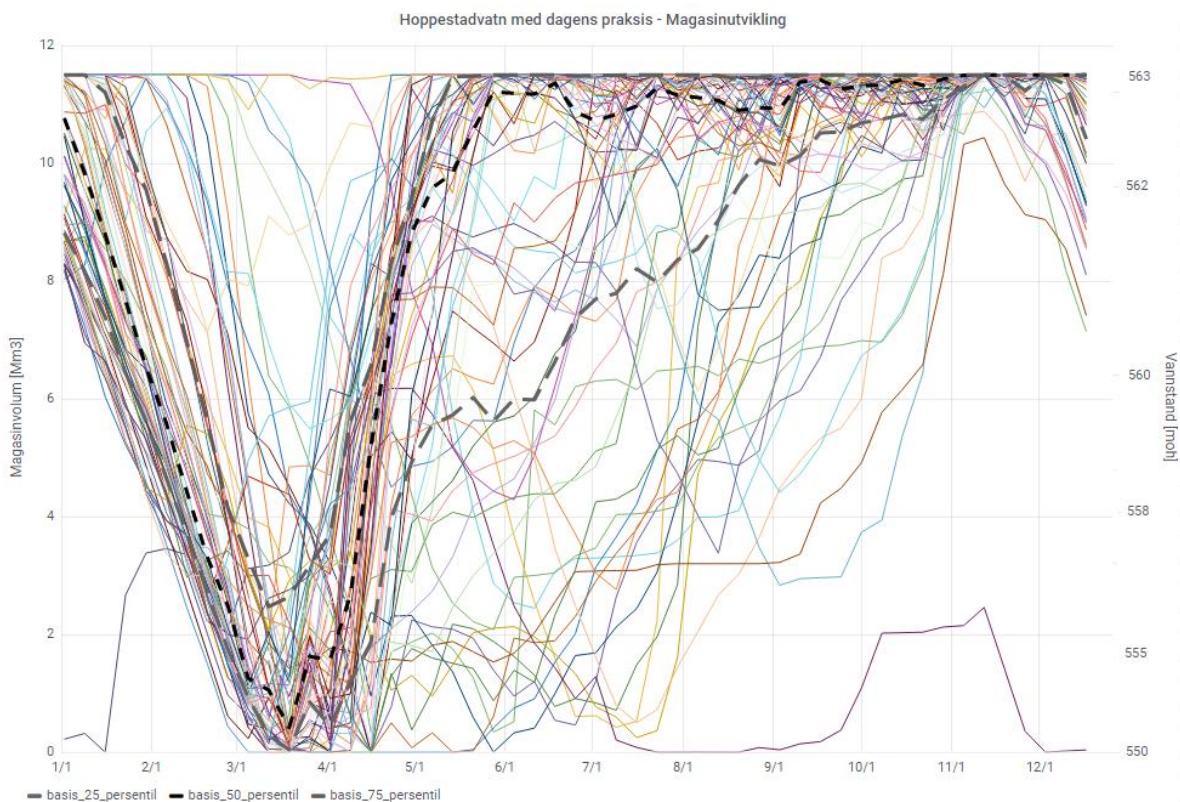
Figur 6. Simulert magasinutvikling i Kjørkjevatt med dagens reglement. Figuren viser magasinivolum og tilhørende vannstand for alle tilsigsår samt 25-, 50- og 75-persentiler.



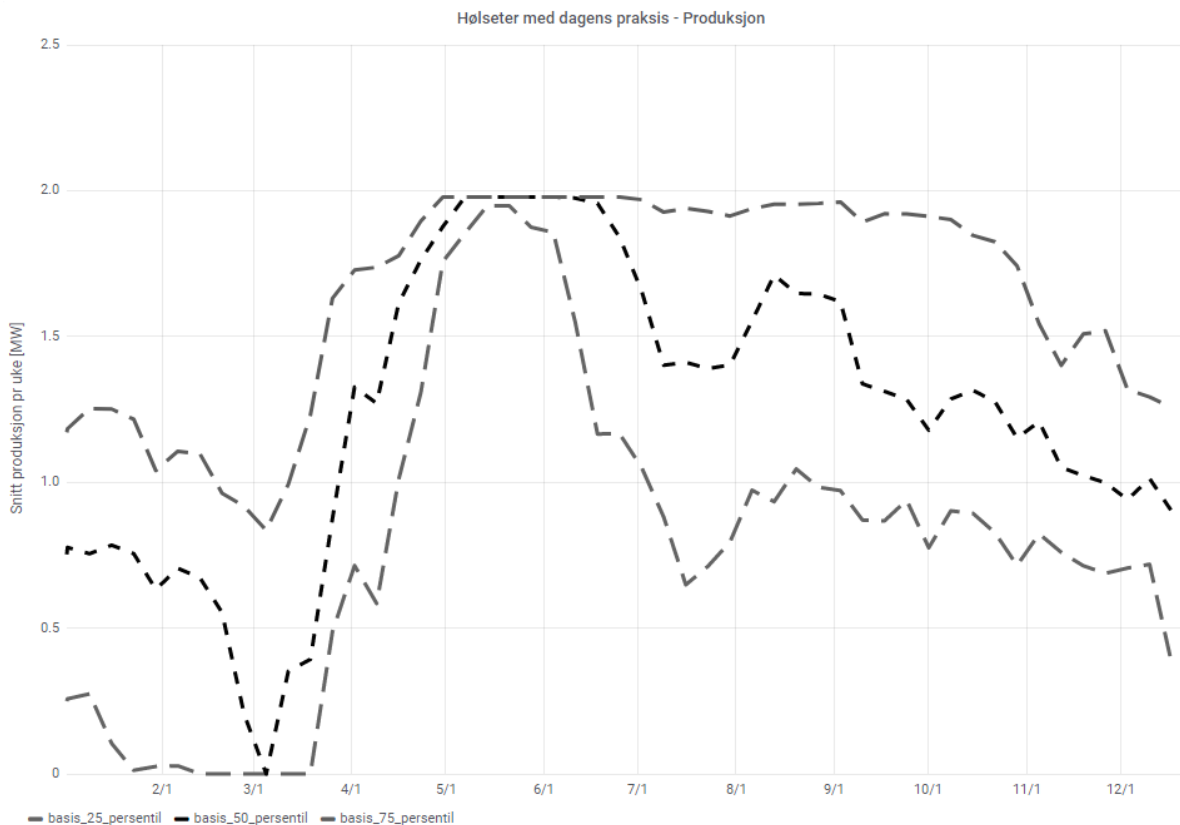
Figur 7. Simulert magasinutvikling for Hanavatn med dagens reglement. Figuren viser magasinivolum og tilhørende vannstand for alle tilsigsår samt 25-, 50- og 75-persentiler.



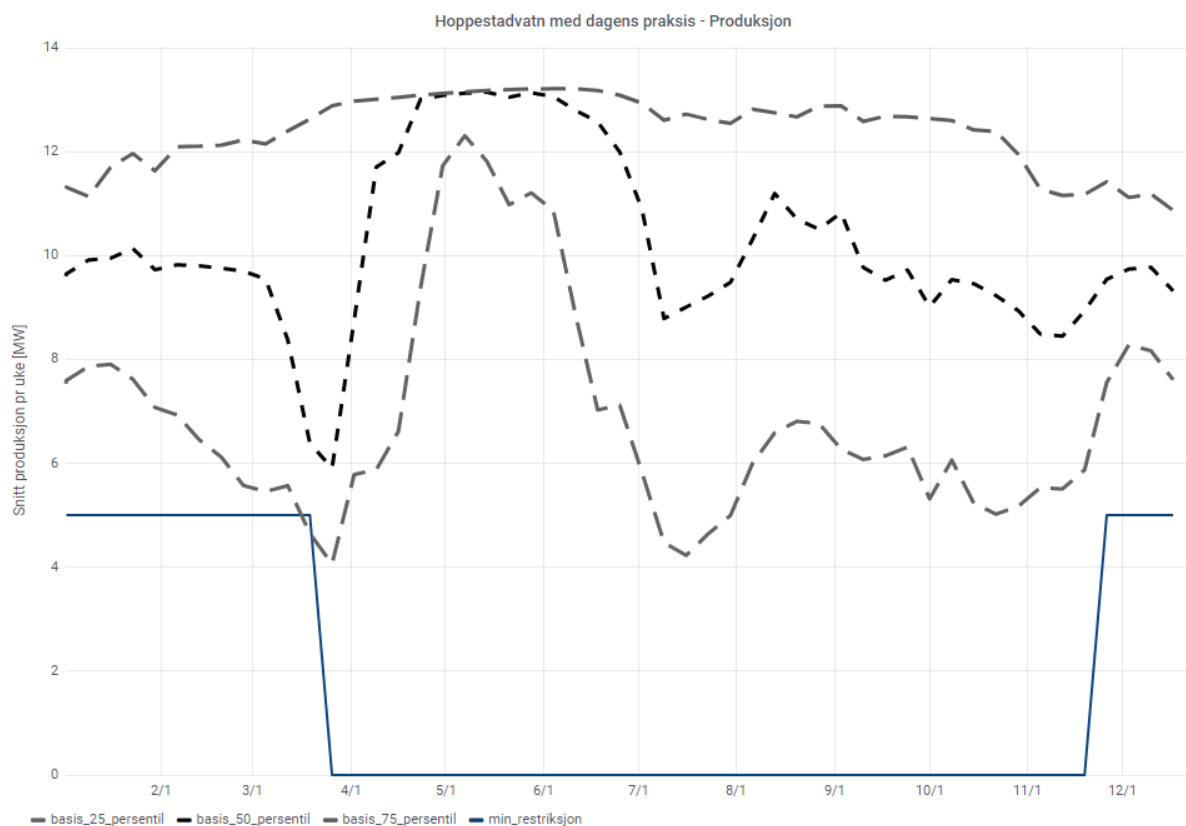
Figur 8. Simulert magasinutvikling for Våtvatn med dagens reglement. Figuren viser magasinivolum og tilhørende vannstand for alle tilsigsår samt 25-, 50- og 75-persentiler.



Figur 9. Simulert magasinutvikling for Hoppestadvatn med dagens reglement. Figuren viser magasinivolum og tilhørende vannstand for alle tilsigsår samt 25-, 50- og 75-persentiler.



Figur 10. Simulert produksjon for Hølseter kraftverk med dagens reglement. Figuren viser 25-, 50- og 75-persentiler.



Figur 11. Simulert produksjon for Vrenga kraftverk med dagens reglement. Figuren viser 25-, 50- og 75-persentiler.

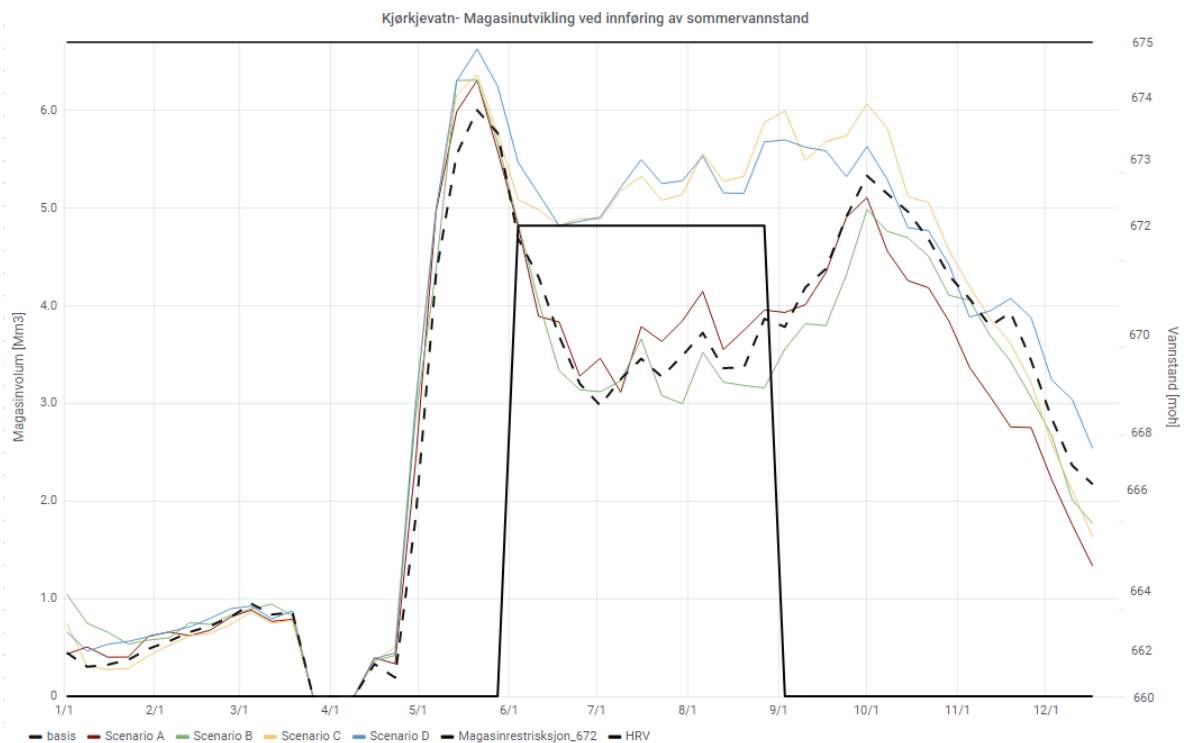
Simuleringer med magasinrestriksjoner

Vannstandene som er lagt inn som sommerrestriksjoner er vist i Tabell 2 er valgt på bakgrunn av historisk sommervannstand. Vi mener resultatene fra disse scenariene vil gi et godt bilde av konsekvensene ved innføring av en restriksjon i sommervannstand.

Vi har valgt å vise simuleringsresultatene for 50-persentilen fordi vi mener at det gir et godt bilde av en gjennomsnittlig utvikling. Det er imidlertid viktig å være klar over at man i praksis må ta høyde for at det er stor usikkerhet i tilsig og nedbør ved manøvrering av magasinene, og at variasjonene i vannstandsutvikling vil være store fra år til år.

Kjørkjevatn – konsekvenser ved innføring av sommervannstand

Kjørkjevatn har 41% av totaltilsiget til Vrenga kraftverk og fylles fort ved nedbør. I tillegg kommer tilsiget til Fiskeløysa som renner naturlig ned til Kjørkjevatn hele sommeren og høsten siden Fiskeløysa da ligger på HRV. Sum midlere årstilsig til Fiskeløysa og Kjørkjevatn er over 55 Mm³. Det betyr at Kjørkjevatn fylles opp ca 8 ganger i et normalår.



Figur 12. Simulert magasinutvikling for Kjørkjevatt for basis og de ulike scenarioene. Figuren viser magasinivolum og tilhørende vannstand for 50-persentil.

Figur 12 viser 50-persentilen for simulert magasinutvikling i Kjørkjevatt ved innføring av sommervannstand på 672 moh. for basiskjøring (svart stiplet linje) og alle scenariene som er analysert.

Scenario A og B er uten sommerrestriksjon i Kjørkjevatt og resultatene viser at de får omtrent samme vannstandsutvikling som basiskjøringen. Scenario C og D, som begge har sommervannstand på 672 moh., blir liggende høyere i magasinet inn mot høsten og vinteren. Det fører til høyere sannsynlighet for flom ved tilsigstopper, spesielt om høsten.

En sommervannstand på 672 moh. tilsvarer en demping på ca 1,9 Mm³, jfr Tabell 3. Dette tilsvarer 2 døgn med tilsig på ca 11 m³/s i snitt. En analyse av det historiske tilsiget for perioden 1930-2013 i Figur 2 og Figur 3 setter dette i perspektiv. Det er i gjennomsnitt 15 døgn av totalt 184 døgn som har tilsig over 10 m³/s. I snitt er det i samme periode 52 døgn som har tilsig over slukeevnen til Hølseter kraftverk. Dette er tilsig til Hølseter kraftverk, men det er i realiteten bare Kjørkjevatt som i dag har mulighet til å ta i mot tilsig siden Fiskeløysa ligger på naturlig overløp og Hanavatn kun har en magasinkapasitet på 2,3 Mm³.

Ved å innføre strenge vannstandsrestriksjoner i Kjørkjevatt som ikke gir mulighet til å kjøre ned magasinene i forkant av revisjoner og perioder der det er ventet mye tilsig, vil det begrense mulighetene for flomdemping og føre til ekstra press på både Hanavatn og Hoppestadvatt både sommer og høst.

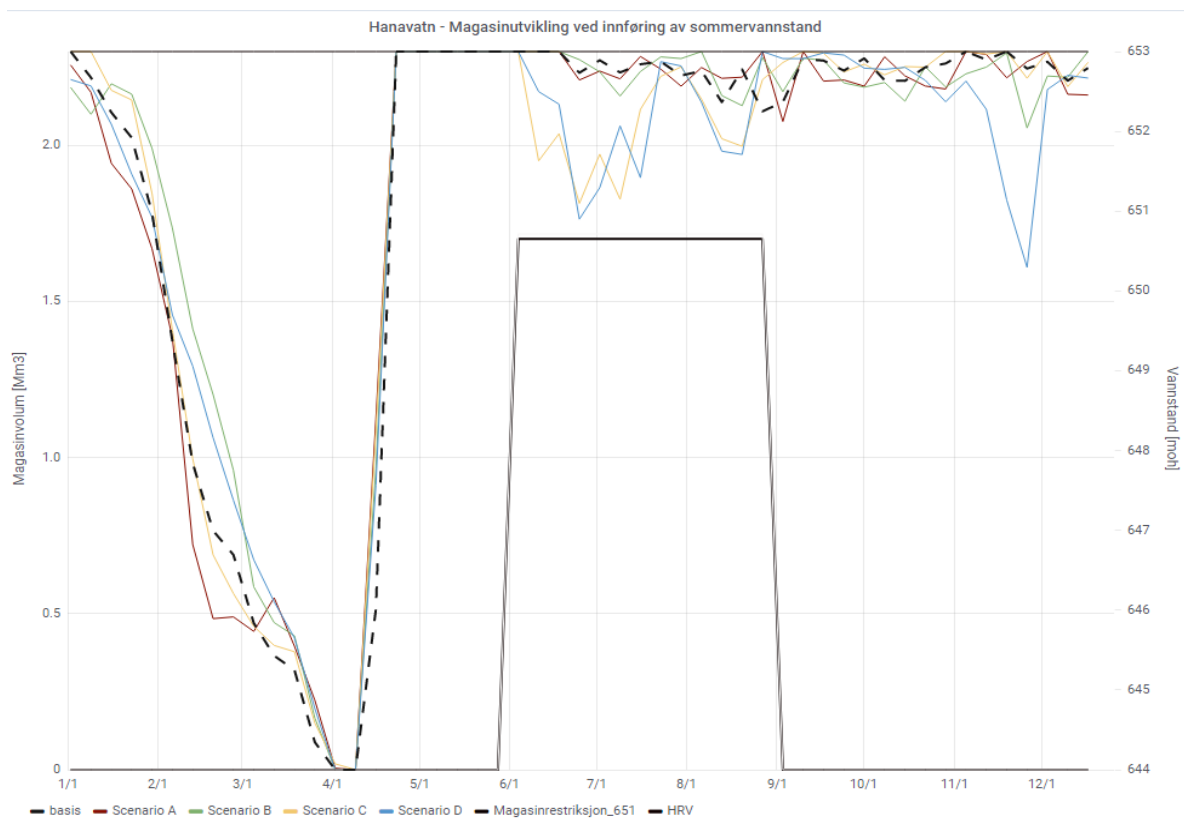
Hanavatn – konsekvenser ved innføring av sommervannstand

Hanavatn ligger nedstrøms Kjørkjevatt og er inntaksmagasinet til Hølseter kraftverk. Sammenlignet med de andre magasinene i reguleringen har lokalfeltet til Hanavatn relativt lavt midlere årsavløp med kun 2,2 Mm³, men sum midlere årsavløp oppstrøms Hanavatn inkludert bekkeinntaket i den uregulerte Bjørvassella er på over 81 Mm³.

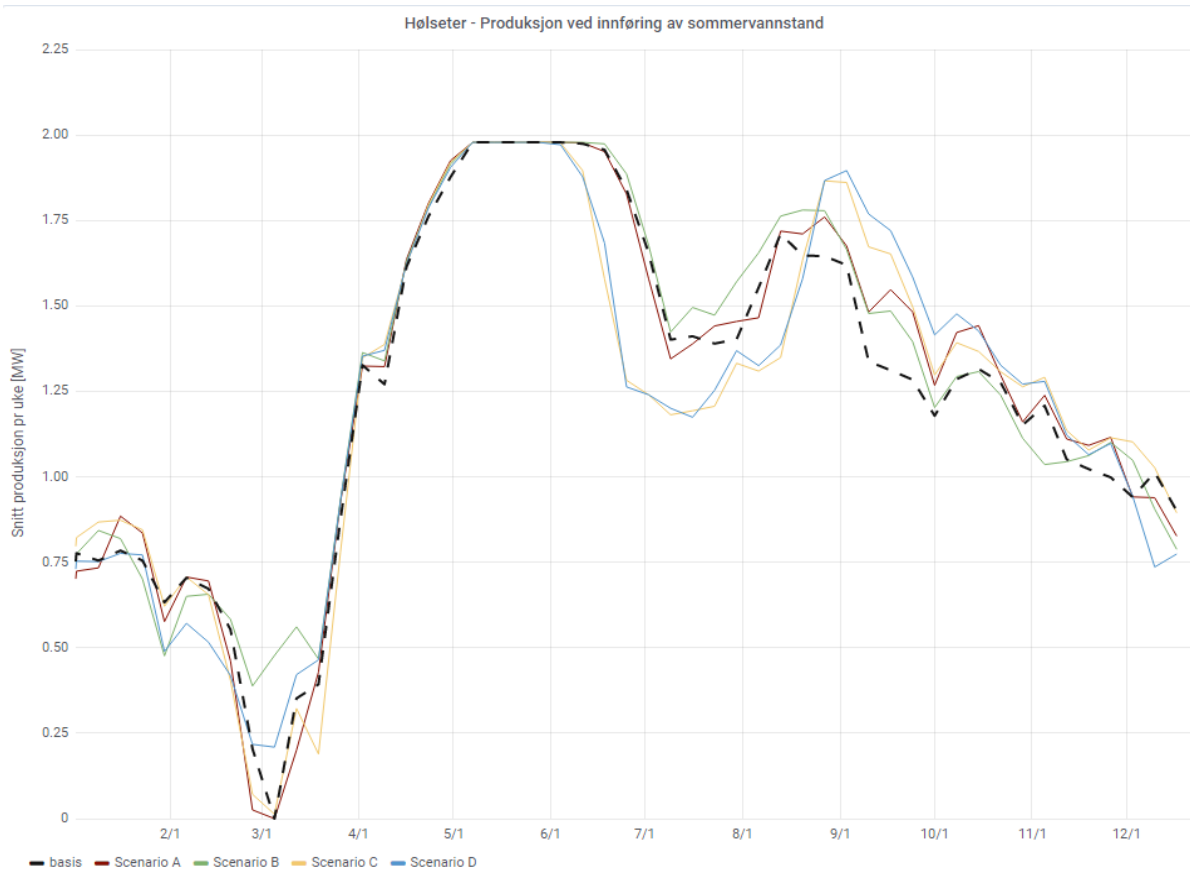
Figur 13 viser magasinutviklingen i Hanavatn ved innføring av sommervannstand på 651 moh. som tilsvarer en demping på 0,6 Mm³. Alle scenarioer har sommerrestriksjon, men det er kun i Scenario C og D hvor det i tillegg er sommerrestriksjon i Kjørkjevatt at vannstandsutviklingen endrer seg i forhold til basiskjøringen. Modellen ønsker å ligge opp mot HRV for å utnytte fallhøyden, men dersom det innføres restriksjoner i Kjørkjevatt blir det også behov for å ha noe demping i Hanavatn.

Figur 14 viser at noe av produksjonen i Hølseter flyttes fra sommeren til høsten ved innføring av sommervannstand i både Kjørkjevatt og Hanavatn. Det vil si at det i perioder med lavt tilsig blir lavere produksjon, mens det i perioder med høyt tilsig blir høyere produksjon. Sannsynligheten for overløp i Hanavatn øker. En ikke kan overføre flom fra Gjuva til Vrengja-vassdraget. Modellen hensyntar ikke at produksjonen i Hølseter må stoppes når det er flomoverløp fra Hoppestadvatt. Eventuelt vanntap og tapt produksjon som følge av dette er ikke med i resultatene i modellen.

I en normalsituasjon benyttes en vannstandsregulator til å justere luka mellom Kjørkjevatt og Hanavatn. Dermed blir tappingen tilpasset det uregulerte tilsiget i bekkeinntaket i Bjørvassella, lokaltilsiget til Hanavatn og ønsket produksjon i Hølseter kraftverk. I perioder med lavt tilsig (typisk vinterhalvåret) vil det være ønskelig å ligge høyere i Hanavatn enn i perioder med stor usikkerhet i tilsig (typisk sommer og høst). Overløp i Hanavatn renner ned i elva Gjuva og videre ned til Numedalslågen og er således tapt vann i både Hølseter og Vrenga kraftverk. Derfor er det også her viktig å ha mulighet til å senke magasinet i forkant av revisjoner og i forkant av perioder med mye tilsig. Selv med demping i Kjørkjevatt vil det kunne bli stort press på Hanavatn på grunn av det uregulerte tilsiget som kommer i Bjørvassella. Dersom det innføres strenge vannstandsrestriksjoner oppstrøms Hølseter kraftverk kan det bli mer aktuelt å åpne luka og slippe vann forbi kraftverket i tillegg til full produksjon.



Figur 13 Simulert magasinutvikling for Hanavatn for de ulike scenarioene. Figuren viser magasinivolum og tilhørende vannstand for 50-persentil.

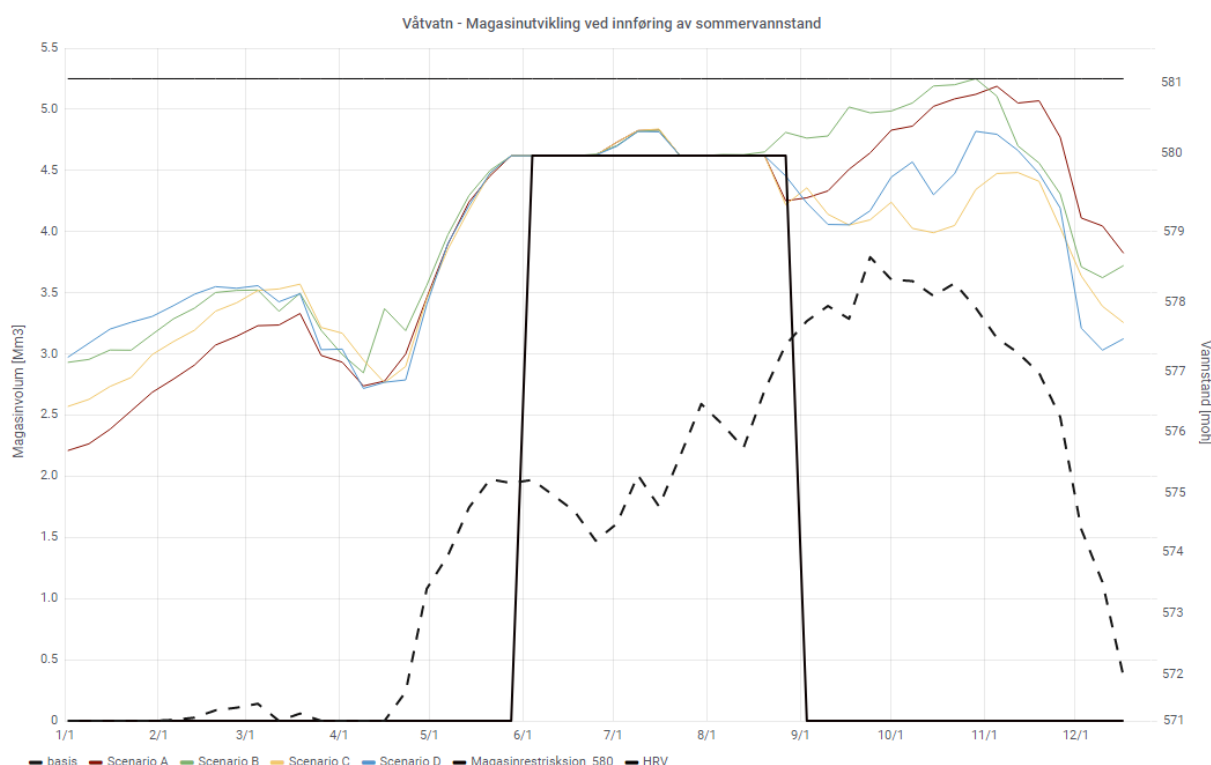


Figur 14 Simulert produksjon for Hølseter kraftverk for de ulike scenarioene. Figuren viser 50-persentilen.

Våtvatn – konsekvenser ved innføring av sommervannstand

Våtvatn har HRV på 581 moh., reguleringshøyde på 10 meter og magasinivolum på 5,25 Mm³. Overløp følger naturlig elveleie ned Høymyrselva og videre ned til Numedalslågen og er tapt vann i Vrenga kraftverk. Våtvatn har relativt lite nedslagsfelt i forhold til magasin størrelsen og fylles litt seinere enn de andre magasinene i reguleringen. Våtvatn kan dermed benyttes til å ta imot vann fra Sandvatn og Mjåvatn dersom det er press i Hoppestadvatn. Likevel er årlig middeltilsig stort nok til å fylle magasinet nesten to ganger.

Figur 15 viser magasinutviklingen i Våtvatn ved innføring av sommervannstand på 580 moh., noe som tilsvarer en demping på 0,85 Mm³. Alle scenarioer har sommerrestriksjon i Våtvatn og Hanavatn, men med ulike restriksjoner i Hoppestad og Kjørkjevatt.



Figur 15 Simulert magasinutvikling for Våtvatn for de ulike scenarioene. Figuren viser magasinivolum og tilhørende vannstand for 50-persentil.

Restriksjonene er modellert slik at magasinet må være oppe på en sommervannstand 1. juni. For å være helt sikker på å nå opp til denne sommerrestriksjonen velger modellen å ikke tømme magasinet før snøsmelteperioden. Dette viser at dersom det innføres en slik «hard» restriksjon for sommervannstand i Våtvatn blir konsekvensen at man ikke kan utnytte LRV i alle år. På grunn av usikkerhet i tilsig må man ta høyde for at tilsiget ikke er tilstrekkelig til å fylle opp magasinet i løpet av mai måned. Dette er som nevnt i innledningen en type krav som ikke kan kreves ved en vilkårsrevisjon, siden det er et magasin krav som resulterer i at man ikke kan benytte seg av magasinets LRV.

Basiskjøringen viser at modellen ser verdi i å benytte Våtvatn som dempningsmagasin for å kunne dempe presset på Hoppestadvatn i en periode med høyt tilsig. Dermed kan man for eksempel holde igjen vann og la vannstanden i Våtvatn stige om høsten når det

normalt er høyt tilsig, slik at man reduserer presset på Hoppestadvatn. Ved innføring av sommervannstand i Våtvatn vil man ikke ha denne muligheten.

Resultatene i Figur 15 viser at alle scenarioene vil ha vannstanden i Våtvatn så lavt som restriksjonen tillater i store deler av sommeren. I scenario C og D som har magasinrestriksjon i alle de fire magasinene senkes vannstanden i Våtvatn med en gang restriksjonen opphører, og tydeliggjør dermed behovet for demping før høsten. Det viser at en restriksjon i Kjørkjevatt fører til endret manøvrering også i Våtvatn. Også i Scenario A som har den strengeste restriksjonen i Hoppestadvatn senkes vannstanden i Våtvatn i etterkant av sommerperioden. Scenariene viser dermed at modellen ønsker å ha så god demping i Våtvatn som restriksjonen tillater. Slik minimaliseres overløpet i Våtvatn samtidig som magasinet kan være en buffer for å lette presset i Hoppestadvatn i perioder med høyt tilsig.

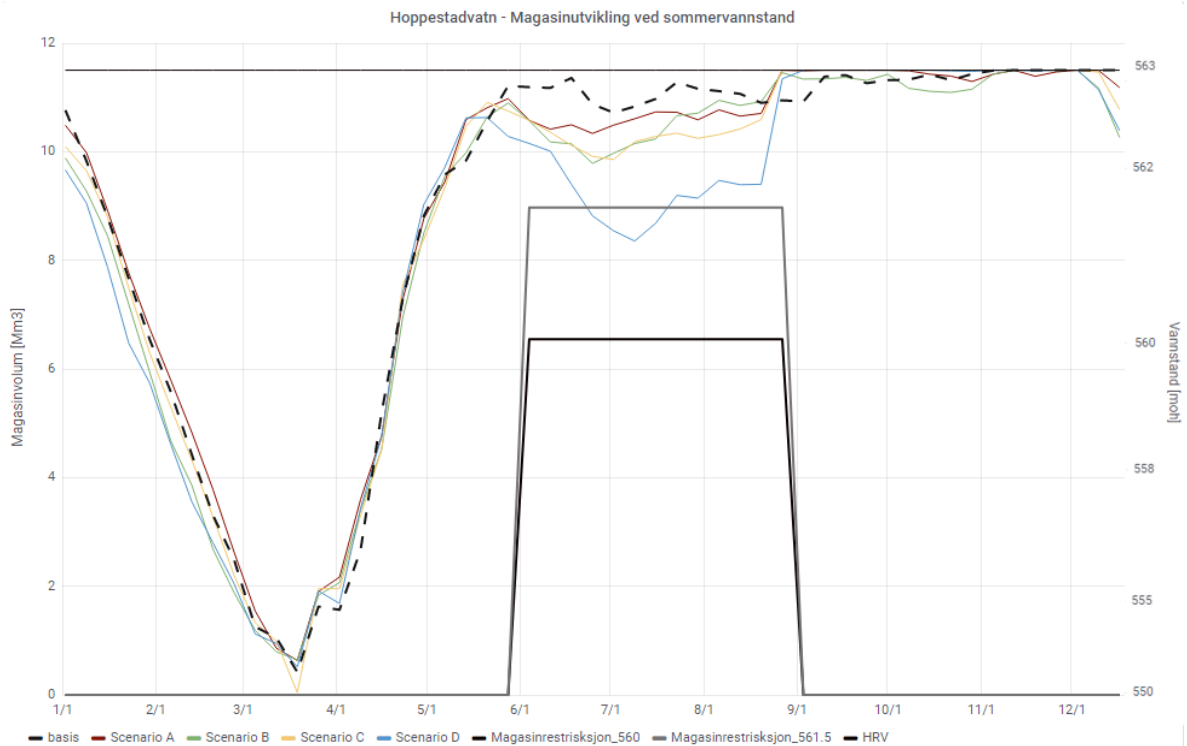
Hoppestadvatn – konsekvenser ved innføring av sommervannstand

Hoppestadvatn/Holmevatn er det største magasinet i reguleringsområdet og inntaksmagasin til Vrenga kraftverk. Hoppestadvatn har HRV på 563 moh., reguleringshøyde på 13 meter og magasin kapasitet på 11,5 Mm³. Hoppestadvatn tar imot vannet fra hele reguleringsområdet og den totale reguleringsgraden er 10%. Overløp fra Hoppestadvatn går i elveløpet til Vrengja og videre ned til Numedalslågen og blir tapt produksjon i Vrenga kraftverk.

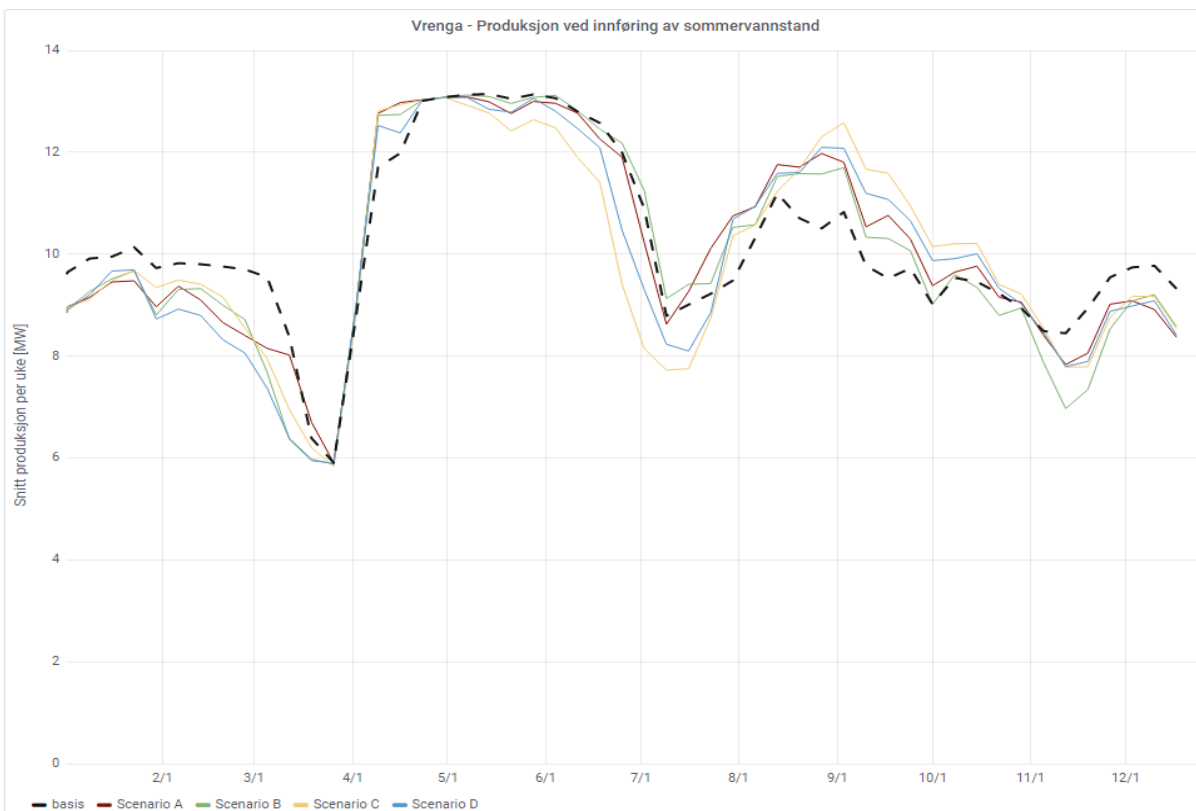
Figur 16 viser vannstandsutviklingen i Hoppestadvatn i de fem simuleringene. I scenario A og C har Hoppestadvatn krav om sommervannstand på HRV-1,5m (561,5 moh.), noe som tilsvarer et dempingsvolum på 2,6 Mm³. I scenario B og D er kravet HRV-3m (560 moh.), dette gir et dempingsvolum på 4,9 Mm³.

Det er viktig å se disse resultatene i sammenheng med hvordan modellen disponerer de andre magasinene. I basiskjøringen foreslår modellen å ligge høyt i Hoppestadvatn for å ha størst mulig fallhøyde i Vrenga kraftverk. Basiskjøringen legger samtidig opp til at både Kjørkjevatt og Våtvatn ligger med stor demping hele sommerperioden. Modellen ser altså behovet for å ha demping i systemet.

Scenario A og B som ikke har noen restriksjon for Kjørkjevatt velger å ha god demping i Kjørkjevatt, og holde Hoppestadvatn på ca. 1 meter demping. I scenario C og D hvor Kjørkjevatt har sommerrestriksjon, ønsker modellen å ha mer demping i Hoppestadvatn. Muligheten for demping i Kjørkjevatt påvirker altså resultatet også for Hoppestadvatn. I scenario D har Hoppestadvatn sommerrestriksjon på HRV-3 meter. Her velger modellen å ha demping i Hoppestadvatn på 1-2 meter i sommerperioden, mens i scenario C som har et strengere krav i Hoppestadvatn ligger sommervannstanden på 0,5-1m. Det ser altså ut til at modellen velger å ha litt buffer til vannstandsrestriksjonen. Det vil man også måtte planlegge med i en driftssituasjon dersom man har en restriksjon.



Figur 16 Simulert magasinutvikling for Hoppestadvatn for de ulike scenarioene. Figuren viser magasinivolum og tilhørende vannstand for 50-persentil.



Figur 17 Simulert produksjon for Vrenga kraftverk for de ulike scenarioene. Figuren viser 50-persentilen.

Produksjonsmønsteret for Vrenga kraftverk vil i endres alle scenariene. Figur 17 viser at det blir noe lavere produksjon i perioden 1.5 til slutten av juli, mens det blir høyere produksjon om høsten. Det er naturlig siden man da vil ha mindre demping til å ta imot høsttilsiget, og dermed skal det mindre tilsig til før man får kjørepress i systemet.

Oppsummering/drøfting

En oppsummering av resultatene for alle modellkjøringene er vist i Tabell 4. Som før nevnt er det normalt med overløp og vanntap i Vrenga-systemet, dette ser man også av resultatene for Basis-kjøringen. Alle scenarioene gir økt flom og dermed tapt kraftproduksjon. Total flom i Scenario C, som har de strengeste sommerrestriksjonene, gir et totalt flomtap på hele 18,2% i forhold til middel årsproduksjon. Scenario A og B gir økt flomtap på hhv 2,1 og 1,8 GWh. Scenario C og D gir størst økning i flom med hhv 3,0 og 2,6 GWh. Det er en betydelig andel av totalproduksjonen i Vrenga og Hølseter kraftverk som til sammen har en middel årsproduksjon på 92,5 GWh.

Tabell 4: Oppsummering av resultater ved innføring av sommervannstander.

	Basis	Scenario A	Scenario B	Scenario C	Scenario D
	MIDDEL [GWh]	MIDDEL [GWh]	MIDDEL [GWh]	MIDDEL [GWh]	MIDDEL [GWh]
	Basis	Scenario_A	Scenario_B	Scenario_C	Scenario_D
Tilsig	105,2	105,4	105,3	105,5	105,4
Flom	13,2	15,3	15	16,2	15,8
Startmagasin	14,9	16,7	16,6	16,7	16,5
Sluttmagasin	15,3	16,8	17	17	16,9
Levert vannkraft	91,6	89,9	90	89	89,3
Hølseter	10,2	10,3	10,3	10,1	10,1
Vrenga	81,4	79,7	79,7	78,9	79,2
Flomtap i % av middel årsproduksjon	14,4 %	17,0 %	16,7 %	18,2 %	17,7 %
Sum produksjon	91,6	89,9	90	89	89,3

Reguleringen av Vrengja, Gjuva og Høymyrselva er et område med høyt tilsig sammenlignet med magasinkapasiteten. Dette gjenspeiles i at en betydelig andel av produksjonen er sommerproduksjon som er tilsigsavhengig. Prognoser for nedbør og tilsig er usikre, og har store variasjoner gjennom året og fra et år til neste. I analysene er det synliggjort at innføring av et krav om sommervannstand i et magasin vil få konsekvenser for vannstandsutvikling, flom og produksjon i hele systemet.

I diskusjonen av resultatene og i figurene er 50-persentilen vist fram, dette for å vise en «gjennomsnittssituasjon». Det er viktig å være klar over at et system som dette har stort utfallsområde både for vannstandsutvikling og produksjon som følge av at det er så stor variasjon i tilsiget.

Siden gjennomsnittlig tilsig i sommerperioden er høyt i forhold til slukeevnen i kraftverkene, viser både basiskjøringen og scenariene at det er viktig å ha fleksibilitet til å kunne senke magasinene og skape demping i perioder med lavere tilsig. Dermed er man rustet til å ta imot en del tilsig før det blir fare for overløp. Uten demping i systemet vil det veldig raskt bli overløp og tappt produksjon, spesielt i overføringen fra Gjuva gjennom Hølseter kraftverk. Overløp fra Hanavatn gir som kjent tappt produksjon både i Hølseter og Vrenga kraftverk.

Analysene viser at dersom man skal ligge høyt i Hoppestadvatn og Hanavatn så trengs det demping et annet sted. De viser også at dersom man har mulighet til å ha demping i Kjørkjevatt og Våtvatt så kan man ligge med høyere vannstand i Hanavatn og Hoppestadvatn enn om man ikke har denne muligheten.

Demping i Kjørkjevatt er svært viktig for å ha en buffer mot store nedbørsmengder og for å kunne ta unna tilsiget i bekkeinntaket i Bjørvassselva uten å få for stort press på Hanavatn. Det betyr at man må ha mulighet til å kjøre unna vann i perioder med lavere tilsig og skape nødvendig magasinbuffer. Demping i Våtvatt vil kunne lette presset på Hoppestadvatn i perioder med kjørepres på Hølseter kraftverk og samtidig høyt tilsig lokalt til Hoppestadvatn. Våtvatt kan også benyttes til å ta imot tilsiget fra Mjåvatn og Sandvatn og således dempe presset på Hoppestadvatn. Dette forutsetter selvsagt at det er plass i Våtvatt.

Det er svært viktig å kunne manøvrere slik at man minimaliserer flom og tappt produksjon i kraftverkene. Sommertilsiget gir en stor del av årsproduksjonen i begge kraftverkene og da er det viktig å ikke ta bort muligheten til å kunne produsere mest mulig av dette tilsiget. Siden nedbør og tilsig er usikkert og har stor variasjon trengs tilstrekkelig fleksibilitet til å kunne tilpasse magasindisponering og produksjon til den aktuelle situasjonen.

Dagens praksis er beskrevet i avsnitt 4.4 i revisjonsdokumentet og vannstander er utførlig dokumentert i notatet «*Gjennomgang av magasin vannstander i reguleringen av Vrenga, Gjuva og Høymyrselfva i perioden 1960-2017*» (Ref 1). Historien viser at vannstandene i hele Vrengasystemet er tilsigsavhengig og at manøvreringen gjøres med tanke på å skape mest mulig verdi ut av vannet og samtidig minimalisere overløp og flom. Selv om noen av magasinene også historisk har hatt relativ høy vannstand i sommermånedene vil vi advare sterkt mot å innføre formelle magasinrestriksjoner, selv om de skulle bli fastsatt utifra den historiske manøvreringen.

En formalisering av "dagens praksis" til et magasinkrav vil medføre at man alltid må planlegge magasindisponeringen med en buffer i forhold til den gitte vannstandsrestriksjonen. Det betyr, for eksempel, at dersom det innføres en magasinrestriksjon i deler av sommerhalvåret så vil man måtte planlegge med å ligge godt over denne vannstanden slik at man ikke risikerer å bryte restriksjonen i tilfelle tilsiget ikke kommer som prognosert.

Magasinene blir mer flomutsatt og får redusert kapasitet til flomdemping. Dette fordi man ikke har anledning til å produsere i forkant når man har høye tilsigsprognoser men må vente til tilsiget kommer.

Et manøvreringsreglement må også tilpasses framtida. Det må utformes slik at det gir tilstrekkelig fleksibilitet til å tilpasse manøvreringen etter hvert som klimaet endrer seg. Norsk klimaservicesenter publiserte i april 2017 notatet om «Klimaprofil Buskerud» (Ref 3). De påpeker blant annet at det er økt sannsynlighet for kraftig nedbør: «*Det er forventet at episoder med kraftig nedbør øker vesentlig både i intensitet og hyppighet. Dette vil også føre til mer overvann*». De skriver også at det er økt sannsynlighet for regnflommer: «*Det forventes flere og større regnflommer*». Blefjell er et fjellområde som «stikker opp» og har lavereliggende terreng rundt seg. Vi frykter og antar derfor at dette området er ekstra utsatt for endringer i nedbørsmønster.

NVE stiller krav til regulant at man skal følge med og være proaktiv. Da er det viktig å ha nødvendig fleksibilitet til å kunne være det. Vi mener derfor det er viktig å ta høyde for de klimaendringene som kommer og justere dagens praksis for magasindisponering og kraftverksproduksjon etter hvert som verden forandrer seg. Det er ikke nødvendig å innføre formelle magasinrestriksjoner om sommeren for å få til dette. Vi arbeider hele tiden med å finne en god balanse mellom å foredle vannressursene, ivareta miljøhensyn og sørge for god fallhøyde, samt å forebygge flom.

Det er viktig at et manøvreringsreglement gir praktiske og gode driftsvilkår. Dette er et viktig grunnlag for en stabil og forutsigbar drift og for å ivareta både kraftverkseier og allmenheten. Manøvreringsreglementet må fungere i alle år, og det må være slik at produksjonspotensialet og fleksibiliteten ivaretas best mulig. Hensynet til miljøet må balanseres med ønsket om å ha best mulig fallhøyde og samtidig flomdempingskapasitet. En formalisering av magasinrestriksjoner vil medføre behov for å planlegge med tilstrekkelige marginer, som igjen øker flomtap og dermed både produksjonstap og økt fare for skadeflom. Et manøvreringsreglement må være utformet slik at man kan håndtere den store usikkerheten i tilsig på en best mulig måte, både nåtidens variasjoner men også framtidas forventning om endring av intensitet og hyppighet i nedbør. Reglementet må også gi regulanten anledning til å agere proaktivt både med tanke på flom og tørke. Å formalisere praksis kan gi utilsiktede effekter som ingen er tjent med.

Et eventuelt krav til minstevassføring sammen med magasinrestriksjoner vil føre til at konsekvensene ved innføring av magasinrestriksjoner om sommeren blir forverret. En må da planlegge ut fra at det kan oppstå en situasjon hvor tilsiget er lavere enn minstevassføringskravet. I praksis innebærer dette at en må planlegge med en magasinuffer for å sikre at minstevassføringskravet ikke tapper magasinene under fastsatt magasinnivå.

Referanser

1: «*Gjennomgang av magasin vannstander i reguleringen av Vrengja, Gjuva og Høymyrselfva i perioden 1960-2017*», Internt Skagerak Kraft-notat. Anne Bakke Aasen og Tone Gammelsæter, januar 2019.

2: «Tilslgsserier Vrenga-Gjuva. Nye tilslgsserier for bruk i VANSIMTAP for Hølseter og Vrenga kraftverk», Oppdragsnummer 5112702. Trond Rinde, Norconsult, 2011-10-25.

3: «Klimaprofil Buskerud», Utgitt av Norsk Klimasenter, april 2017.
<https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/klimaprofiler/klimaprofil-buskerud/attachment/11417?ts=15b1ed15b73>, lastet ned 24.01.2019