

## Notat

TIL: Vassdrag og utbygging

FRA: Energidisponering og handel

KOPI

VÅR REF: Kristian Grimstvedt

DERES REF:

DATO: 12.05.2017

ANSVARLIG:

POSTADRESSE  
Skagerak Kraft AS  
Postboks 80  
3901 Porsgrunn

Floodeløkka 1  
3915 PORSGRUNN

SENTRALBORD  
35 93 50 00

TELEFAX  
35 55 97 50

INTERNETT  
www.skagerakenergi.no

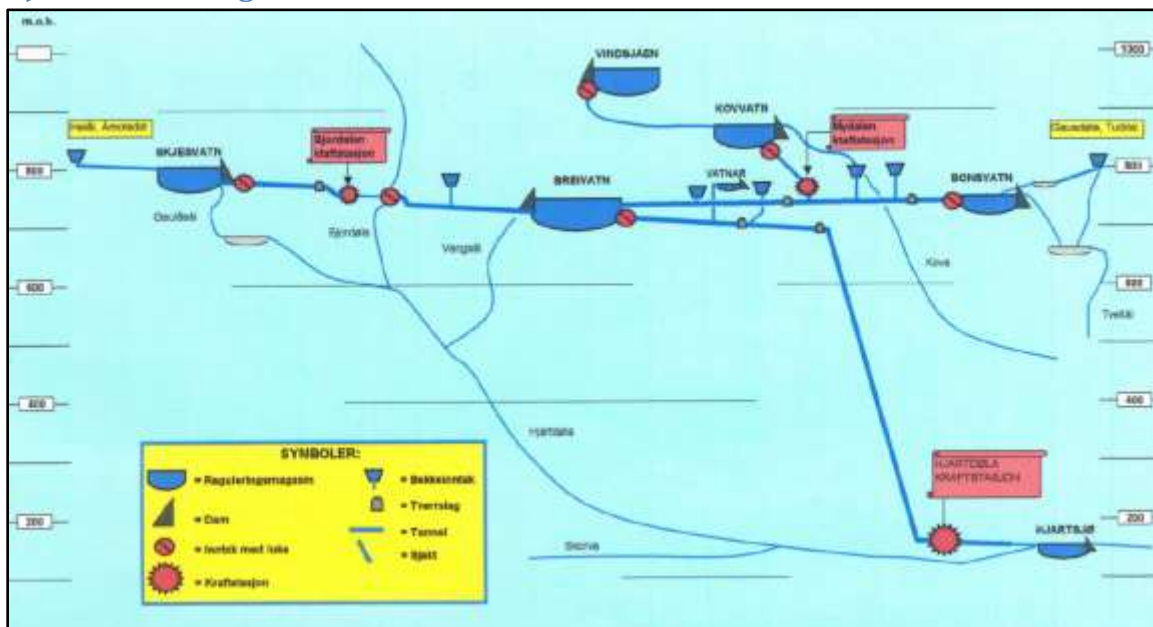
E-POST  
firmapost@skagerakenergi.no

ORG. NR.: 979 563 531 MVA

## Konsekvenser ved innføring av nye magasinrestriksjoner og minstevassføringskrav i Hjartdøla og Tuddalsvassdraget.

Hjartdøla reguleringen består av 6 magasiner med ulik reguleringsgrad og forskjellig tappemønster. Vannet produseres i tre kraftverk; Mydalen kraftverk på 7 MW, Bjordalen kraftverk på 3 MW og Hjartdøla kraftverk på 120 MW.

### Hjartdølavassdraget



Figur 1 Oversikt over Hjartdøla vassdraget med reguleringer.

## Magasinenes egenskaper og regulering

Som inntaksmagasin til Hjartdøla kraftverk ligger Breidvatn som er et godt regulert magasin og trenger tilførsel av vann fra ovenforliggende magasiner for å sikre oppfylling i fyllingssesongen. Breidvatn har en reguleringsgrad på 83 %. Dette tilsier at man trenger 83 % av midlere årstilsig fra lokalt nedslagsfelt og fra overførte felt for å fylle opp magasinet. Magasinene som overføres til Breidvatn har en lavere reguleringsgrad, og disse fylles to til tre ganger i løpet av sesongen. Vannet må derfor overføres til Breidvatn i fyllingssesongen, både for å få fylt opp Breidvatn og for å unngå tap fra disse magasinene. Bonsvatn har en reguleringsgrad på 30 % og er koblet til Breidvatn med en tappe- /overføringstunnel, vannet må overføres til Breidvatn i oppfyllingsperioden for å kunne nyttiggjøre vannet. Tilsvarende tapper man fra Kovvatn og Skjessvatn ned til Breidvatn ved å produsere i h.h.v. Mydalen og Bjordalen kraftverk. Magasinene har h.h.v. 61 % og 52 % reguleringsgrad. I oppfyllingsperioden er det behov for å produsere i Hjartdøla kraftverk for å holde kontroll på fyllingen i vassdraget totalt sett.

Vindsjøen er et flerårsmagasin med god reguleringsevne og har dermed en svært viktig funksjon i tørrår. Dette både for ivaretagelse av produksjonsinteresser, eksisterende og eventuelt nye minstevassføringsbestemmelser og for å kunne bidra til fylling av de øvrige 4 reguleringsmagasinene, og da spesielt Kovvatn og Breidvatn.

I år med mye snø og høyt tilsig er det ekstra viktig å overføre vann til Breidvatn i oppfyllingsperioden, og å produsere i Hjartdøla kraftverk for å redusere flomrisikoen i hele reguleringsområdet. I et høyt tilsigsscenario er det også viktig å holde Breidvatn lavt, fordi man trenger tilstrekkelig høydeforskjell mellom Breidvatn og Bonsvatn for å få overført mer vann gjennom tunnelen.

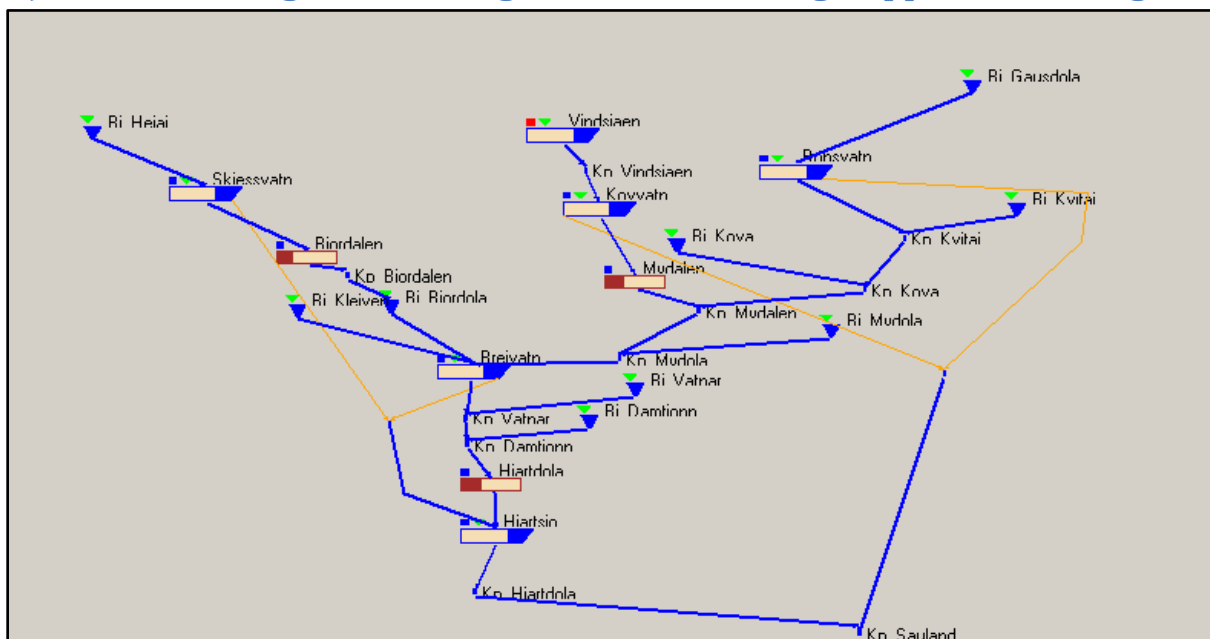
I år med lite snø og lavt tilsig er det også nødvendig/ønskelig å overføre vann til Breidvatn for å holde magasinet høyt av hensyn til kraftproduksjon i Hjartdøla kraftverk og landskapet rundt Breidvatn.

## Minstevassføringer

Med simuleringsmodellen simuleres virkningene av minstevassføringsslipp på magasinoppfyllingen. Dette er drøftet for et tørrår (1996) for å vise hvordan dette påvirker magasin vannstanden på sommeren. Resultatene er også drøftet i eget kapittel her.

Minstevassføringer er basert på 5-persentil, sommer/vinter, for hvert enkelt delfelt. Feltene som har avrenning til samme elveleie som naturlig vannvei summeres og tappes fra respektive magasin. For metodikk, feltavgrensninger og nivå på minstevassføringer vises det til vedlegg 6, "*Hydrologi – Vassføringsindekser og estimat av produksjonstap ved slipp av minstevassføring*".

## Hjartdølavassdraget med innlagte minstevassføringslipp fra hvert magasin



Figur 2 Hjartdøla vassdraget vist som simuleringmodell med innlagte vannveier for minstevassføring med gule linjer.

### Beskrivelse av simuleringalternativ

De ulike scenarioene er belyst ved å simulere oppfylling av magasinene i sommerhalvåret fra 1.mai og over sommeren for enkelte tilsigsår. Det er forutsatt at vannet kan utnyttes gjennom vinteren og frem til 1.mai innenfor konsesjonsgitte reguleringsgrenser gitt av HRV og LRV for hvert magasin. Fra 1.mai går alt tilsig til oppfylling av magasinene inntil vannstanden når HRV – 2,5 meter. Det må bemerkes at de scenarioene som vises ikke er Skageraks ønskede operative planlegging, men visning av konsekvenser for restriksjoner gitt av innspill i konsesjonsprosessen for Hjartdølavassdraget.

Scenario for utvalgte tilsigsår med konsekvens for magasinopplysning er sammenfattet i tabell 1. Resultatene for hvert magasin er beskrevet og drøftet under hver figur i framstillingen for hvert scenario. Selvpålagte restriksjoner av hensyn til båtutsett i Kovvatn og Skjessvatn er ikke hensyntatt i simuleringene.

Tabell 1. Oversikt over scenarioene som er lagt til grunn i simuleringer for å belyse forhold ved oppfylling av magasiner i vår- /sommerperioden.

År	Type tilsigsår
Scen. 1	2004 Normalt totaltlig med tidlig intens vårflom
Scen. 2	1991 4. tørreste år 1931 - 2010
Scen. 3	1996 Tørrår
Scen. 4	1958 4. våteste år 1931 - 2010
Scen. 5	1996 Tørrår simulert m/minstevassf.

**Tabell 2. Reguleringsgrenser i magasinene, magasinvolum, midlere årstilsig (NVE-Atlas) og reguleringsgrad**

Magasin	LRV (moh)	HRV (moh)	Mag, vol, (Mm <sup>3</sup> )	Midl, års, (Mm <sup>3</sup> /år)	Regulerings-grad (%)	Areal (km <sup>2</sup> )
Hjartsjå	155	157	2,1	82,9	3 %	117
Breidvatn	723	749	61,4	73,0	84 %	75
Bonsvatn	740	754	29,8	106,04	28 %	93
Skjessvatn	791	805,5	45,6	88,8	52 %	90
Kovvatn	859	875	39,2	65,04	61 %	59
Vindsjåen	956	971	58,0	54,09	107 %	44

## Scenario 1

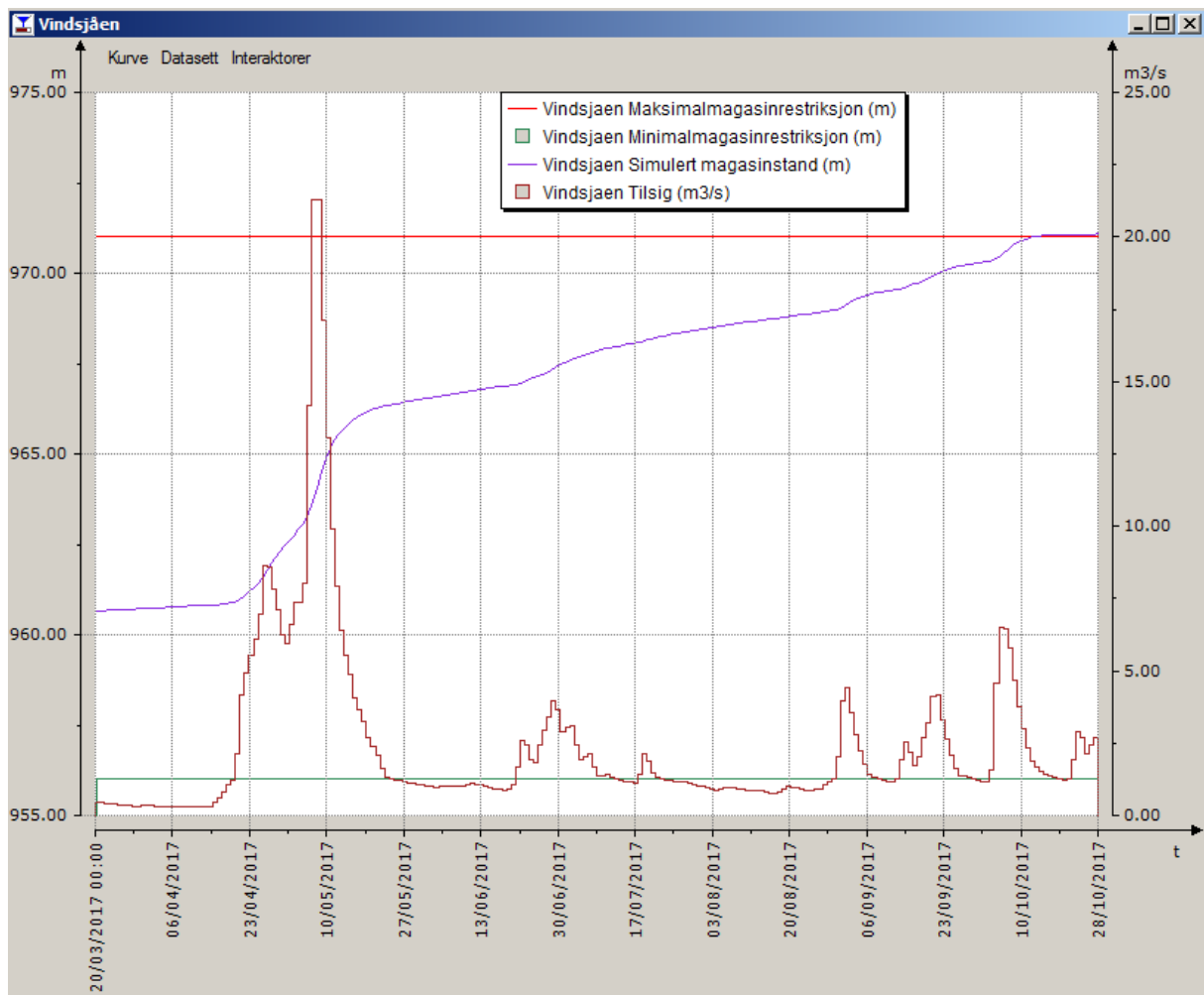
### Simulering av Hjartdøla-magasinene med tilsigsåret 2004

Drøfting av oppfylling av magasinene i Hjartdøla-reguleringen med tilsig som i 2004 hvor man hadde en normal snøvinter, men tidlig og høye verdier på vårfloppen. Forutsetningen i simuleringene er normal regulering av magasinene før 1. mai, og at det ikke tappes eller produseres fra magasinene etter 1.mai før man har nådd magasin høyde HRV – 2,5 meter.

### Vindsjåen med oppfylling av magasinet uten tapping hele perioden tilsigsåret 2004

Magasinet får en rask oppfylling tidlig i mai, og fylles opp til HRV før man tapper fra magasinet fra 1.november.

Simulering vist i figur 3 viser magasinutvikling i Vindsjåen (lilla linje) i perioden fra 20. mars til slutten av oktober. I den samme figuren vises HRV (971,0moh), og LRV (956,0 moh), grønn prikk. Tilsiget er vist med brun linje, og er relatert til høyreaksen. Vi ser at tilsiget har en topp i smelteperioden i april/mai.

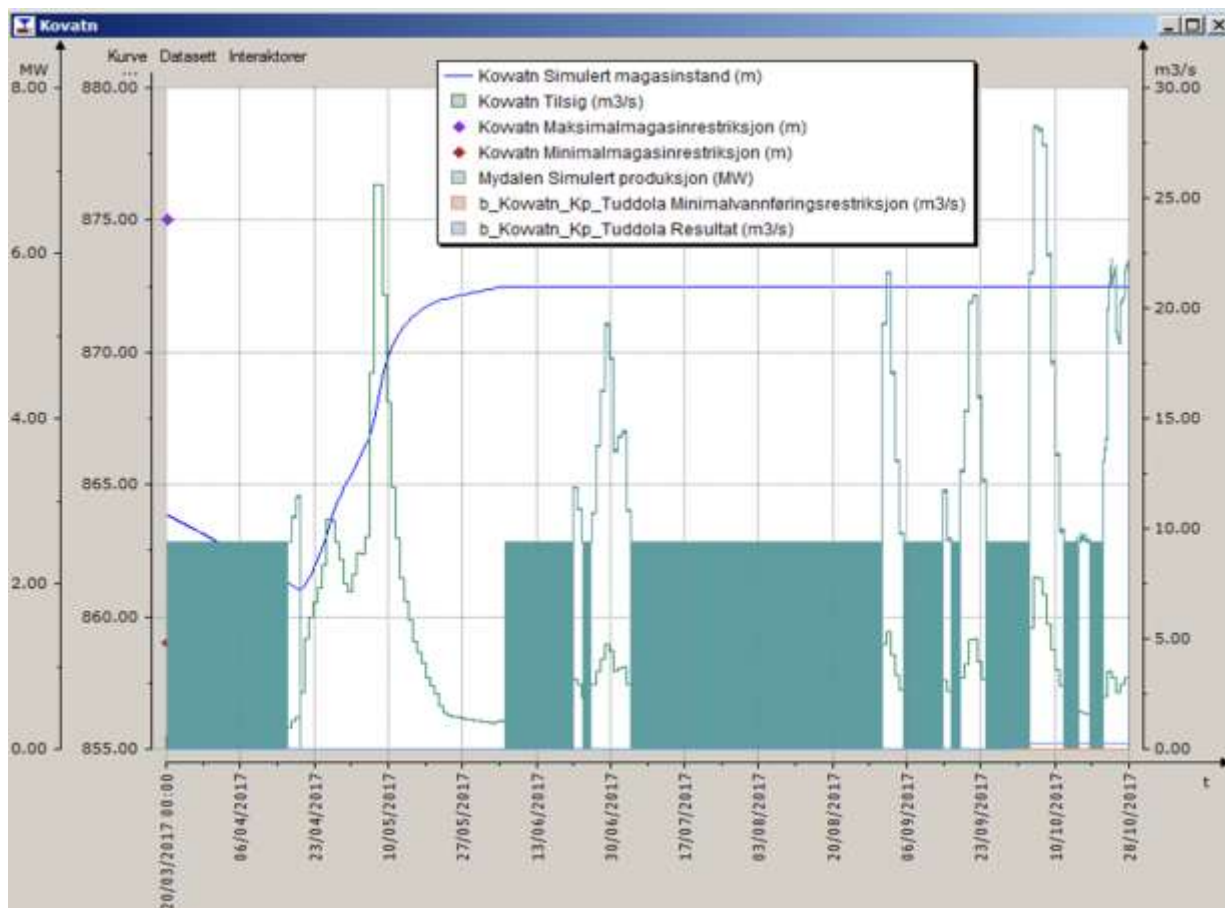


**Figur 3. Simulert oppfylling av Vindsjåen uten tapping fra magasinet i perioden fra 20.03. – 28.10. med tilsig som i 2004.**

### Kovvatn med oppfylling av magasinet fra 1.5. tilsigsåret 2004

Med tilsig som i 2004 fylles Kovvatn opp i løpet av mai. Med tidlig og kraftig vårflom ville man ved operativ planlegging, holde vannet igjen i magasinene inntil flommen har kulminert. Hvis det blir overført mye vann fra Bonsvatn til Breidvatn i flomperioden, vil det være begrenset hvor mye man kan produsere i Mydalen kraftverk p.g.a. begrenset kapasitet i tunnelen, hele tilsiget magasineres i Kovvatn inntil det har avtatt. Dette medfører at man ofte ikke får produsert fra Mydalen i denne perioden, og Kovvatn vil stige raskere i vårflommen. Det vil derfor være viktig å tappe/produsere fra Kovvatn når det er kapasitet til dette i tunnelen.

Figur 4 viser magasinutvikling i Kovvatn (blå linje) i perioden fra 20. mars til slutten av oktober. I den samme figuren vises HRV (875 moh), lilla prikk og LRV (859 moh), brun prikk. Tilsiget er vist med grønn linje og er relatert til høyreaksen. Vi ser at tilsiget har en topp i smelteperioden 8. – 10. mai. Produksjon i MW er vist med blågrønne linjer. De fremstår som helfarget felt når effekten varierer av og på hele tiden, denne er relatert til akse helt til venstre.

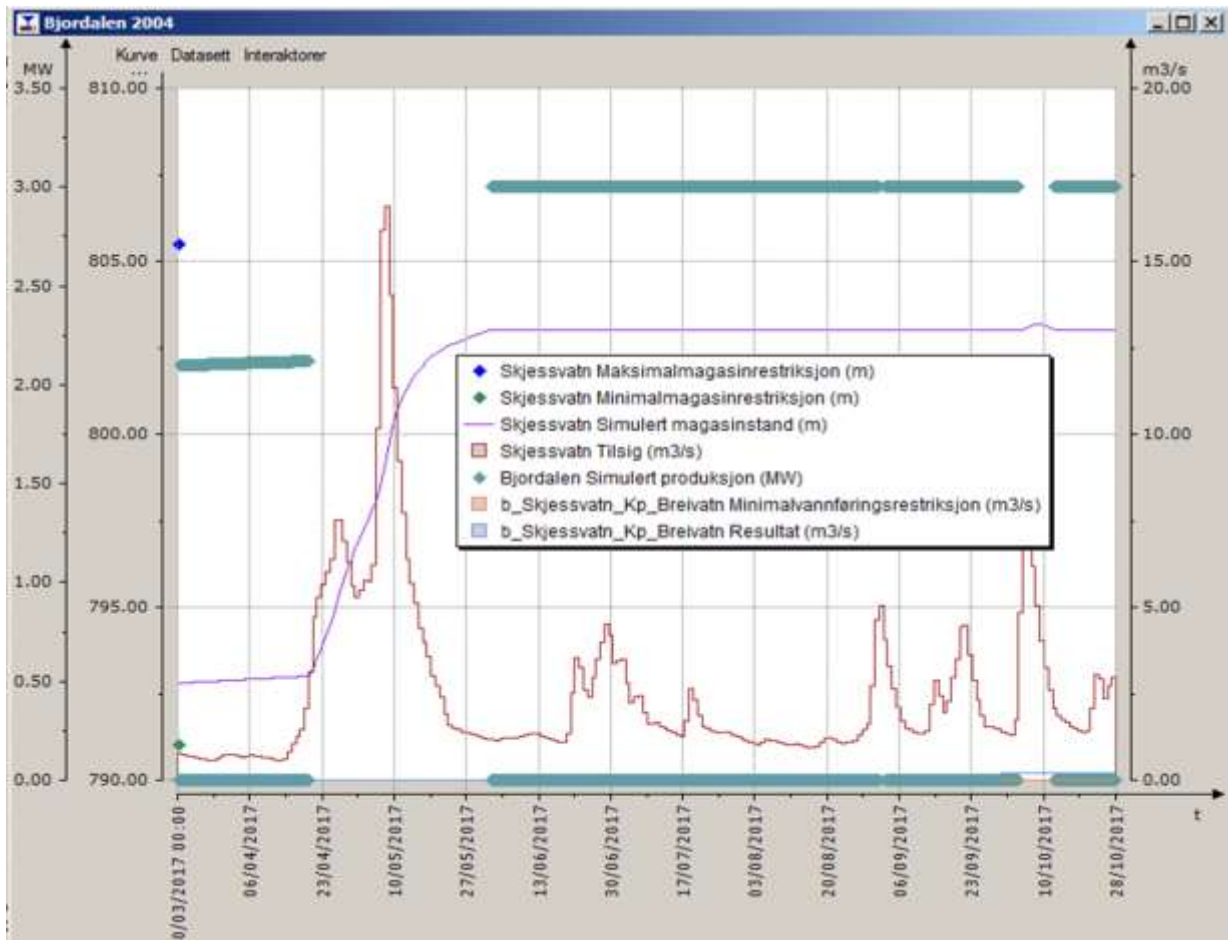


**Figur 4. Simulert oppfylling av Kovvatn med sommerkrav på HRV – 2,5 meter i perioden fra 1.05. – 1.9. med tilsig som i 2004.**

### Skjessvatn med oppfylling av magasinet fra 1.5. tilsigsåret 2004

I et år med tidlig vårflo som det var i 2004, observerer vi at Skjessvatn fylles raskt opp til HRV-2,5 meter. Det ville ha vært naturlig å produsere så mye som mulig til Breidvatn i oppfyllingsperioden. Man burde ha produsert i Hjartdøla kraftverk for å holde Breidvatn lavt nok, for å få god overføringskapasitet i tunnelen mellom Bonsvatn og Breidvatn. Man burde også ha produsert i Bjordalen kraftverk så lenge Breidvatn er tilstrekkelig lavt. Når man ser at flommen fyller magasinene burde man ha benyttet dempingen i Skjessvatn og overtoppet magasinet under flommen.

Simulering vist i figur 5 viser magasinutvikling i Skjessvatn (lilla linje) i perioden fra 20. mars til slutten av oktober. I den samme figuren vises HRV (805,50moh), blå prikk og LRV (791moh), grønn prikk. Tilsiget er vist med brun linje og er relatert til høyreaksen. Vi ser at tilsiget har en topp i smelteperioden i april/mai. Produksjon i MW er vist med blågrønne diamanter og er relatert til akse helt til venstre.



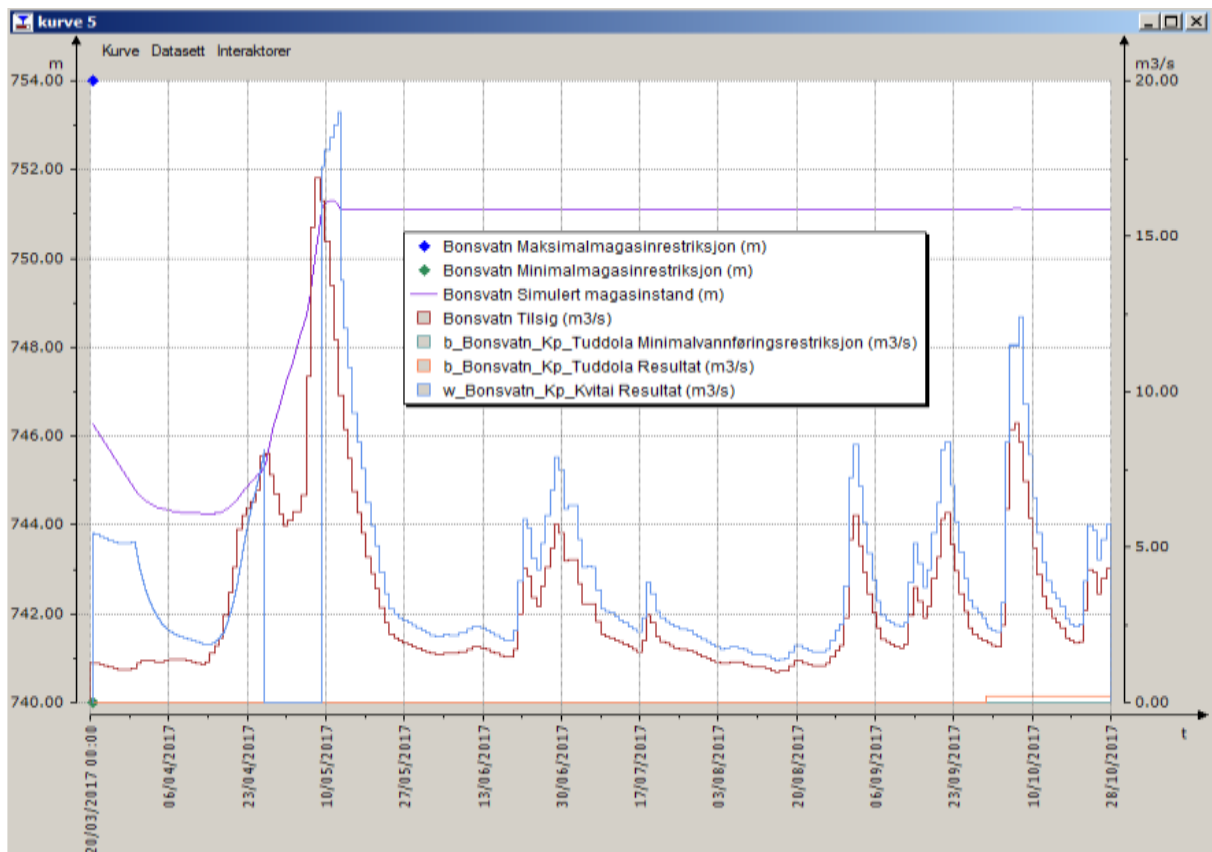
Figur 5. Simulert oppfylling av Skjessvatn med sommerkrav på HRV – 2,5 meter i perioden fra 1.05. – 1.9. med tilsig som i 2004.

### Bonsvatn med oppfylling av magasinet fra 1.5. tilsigsåret 2004

Simuleringen viser at Bonsvatn fylles spesielt raskt opp under vårflommen i 2004, og man burde ha overført vann i tunnelen til Breidvatn i oppfyllingsperioden slik at flomrisikoen i vårflommen kunne blitt fordelt mellom magasinene. Det ville også ha vært viktig å produsere i Hjørdøla kraftverk, og holdt Breidvatn nede slik at man hadde opprettholdt overføringskapasiteten i tunnelen.

Overføringskapasiteten reduseres etter hvert som Breidvatn fylles opp, noe som medfører at Bonsvatn fylles enda raskere opp, fordi overføringskapasiteten i tunnelen avtar med lavere høydeforskjell mellom de to magasinene.

Figur 6 viser magasinutvikling i Bonsvatn (lilla linje) i perioden fra 20. mars til slutten av oktober. I den samme figuren vises HRV (754,0 moh) som blå prikk og LRV (740 moh) som grønn prikk. Tilsiget er vist med brun linje og er relatert til høyreaksen. Vi ser at tilsiget har en topp i smelteperioden 8. – 10.mai. Tapping fra magasinet i m<sup>3</sup>/s er vist med blå kurve.



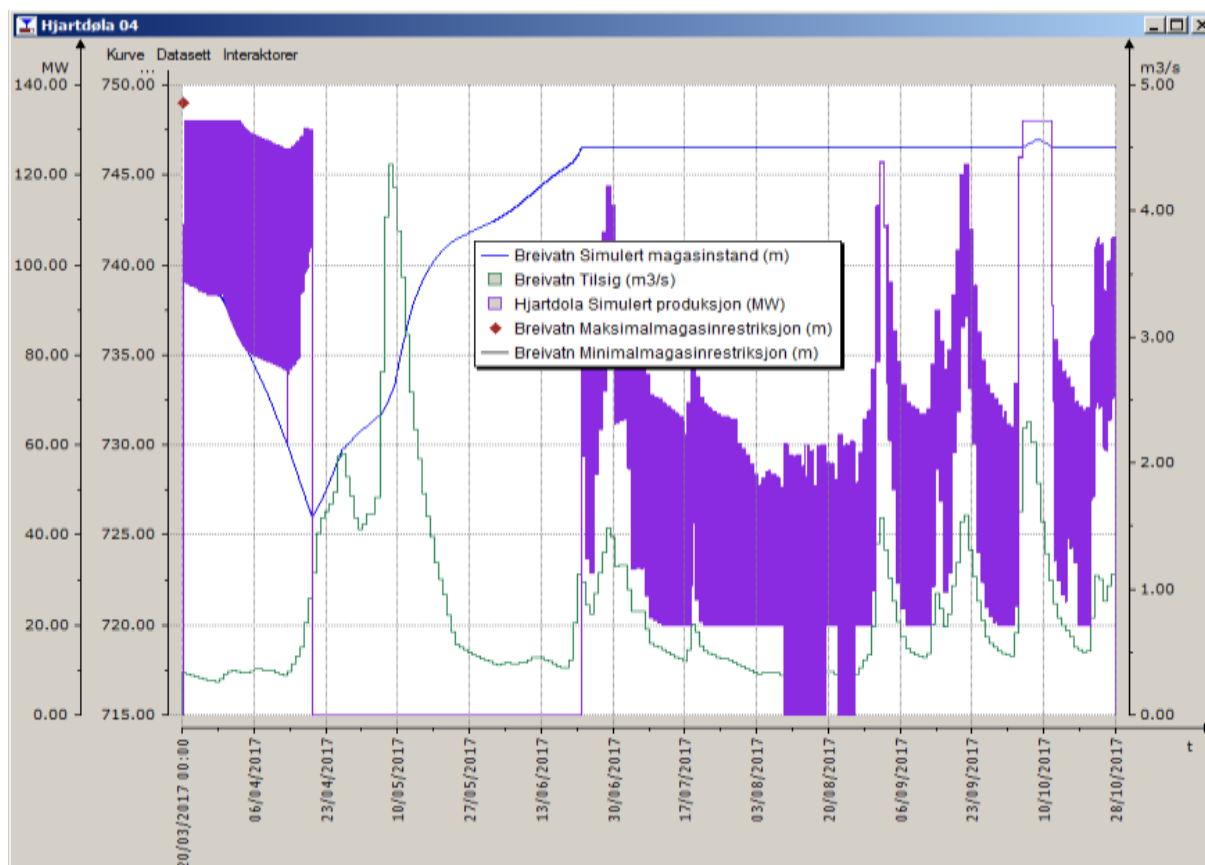
**Figur 6. Simulert oppfylling av Bonsvatn med sommerkrav på HRV – 2,5 meter i perioden 1.05. – 1.10. med tilsig som i 2004.**

### Breidvatn med oppfylling av magasinet fra 1.5. tilsigsåret 2004

Breidvatn fylles ganske raskt opp i tilsigsår som 2004 fordi det var tidlig vårflom dette året. I slike tilfeller burde man ha produsert i Hjartdøla kraftverk under vårflommen og i oppfyllingsperioden for å unngå vanntap i ovenforliggende magasiner, og for å dempe flommen. Det er derfor uheldig å ha restriksjoner/manøvrerings-regler som hindrer konsesjonæren i å kjøre unna vann i oppfyllingsperioden.

Figur 7 viser magasinutvikling i Breidvatn (blå linje) i perioden fra 20. mars til slutten av oktober. I den samme figuren vises HRV (749 moh) som brun prikk, mens LRV (723 moh) ikke vises. Tilsiget er vist med grønn linje og er relatert til høyreaksen. Vi ser at tilsiget har en topp i smelteperioden i 8. – 10. mai. Produksjon i MW er vist med lilla kurve og viser variasjon i effekten når man har heldekkende farge.





Figur 7. Simulert oppfylling av Breidvatn med sommerkrav på HRV – 2,5 meter i perioden fra 1.05. – 1.10. med tilsig som i 2004.

## Scenario 2

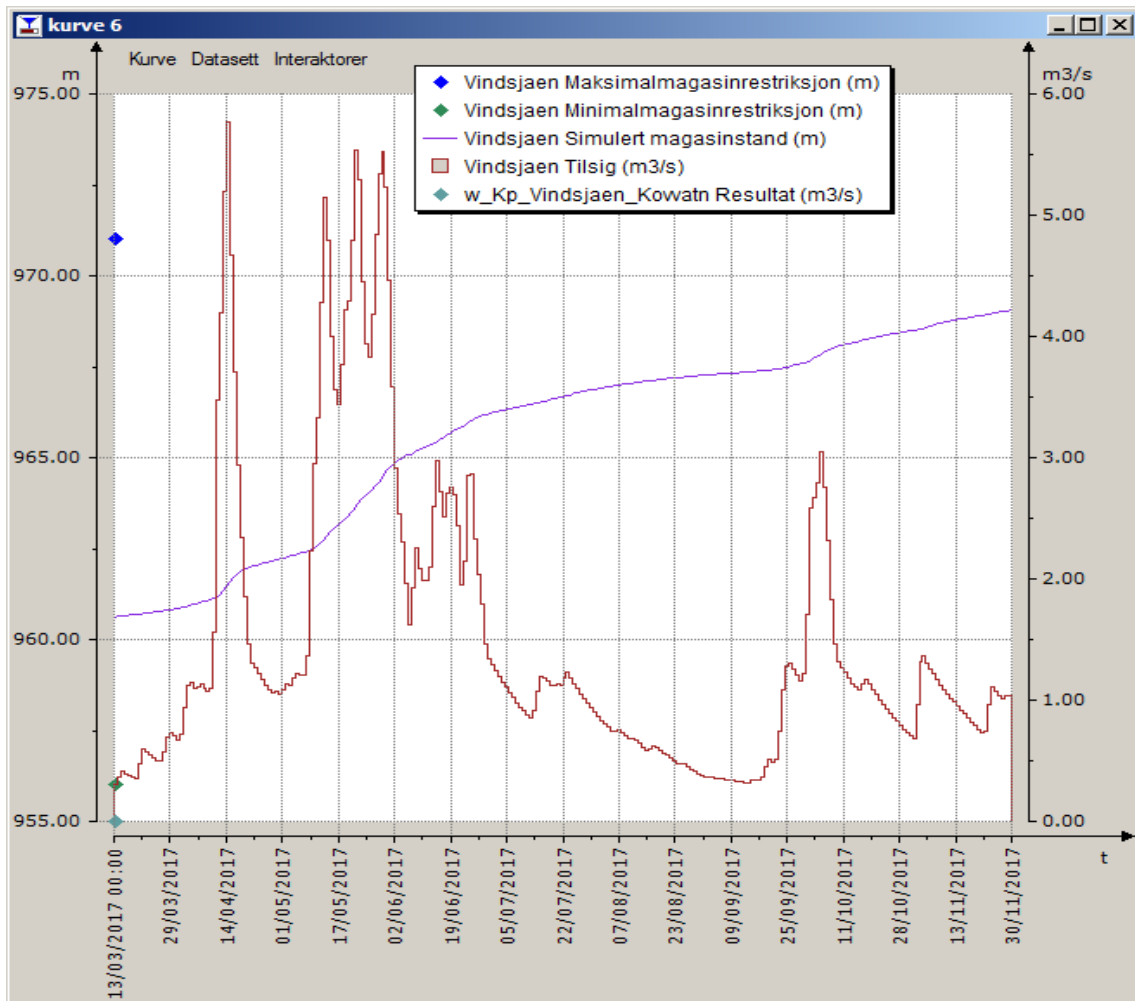
### Simulering av Hjartdøla-magasinen med tilsigsåret 1991

Drøfting av oppfylling av magasinene i Hjartdøla-reguleringen med tilsigsåret 1991, som er det fjerde tørreste året i perioden 1931- 2010. 1991 hadde likevel en vårflom bare noe under normalt, men høstflommen var forholdsvis liten. Forutsetningen i simuleringene er normal regulering av magasinene før 1. mai, og at det ikke tappes eller produseres fra magasinene etter 1.mai før man har nådd magasinshøyde HRV – 2,5 meter.

### Vindsjøen med magasinutvikling tilsigsåret 1991

Vindsjøen er et flerårsmagasin som normalt tappes på vinteren. Med tilsig som i 1991 når Vindsjøen HRV-2,0 meter når tappingen tar til på høsten.

Figur 8 viser magasinutvikling i Vindsjøen (lilla linje) i perioden fra 20. mars til slutten av oktober. I den samme figuren vises HRV (971,0 moh) som blå prikk og LRV (956,0 moh) som grønn prikk. Tilsiget er vist med brun linje og er relatert til høyreaksen. Vi ser at tilsiget har en topp i april og hovedtyngde i mai/juni. Nederste grønne prikk på akse til venstre viser at tappingen er 0 m<sup>3</sup>/s i hele perioden.

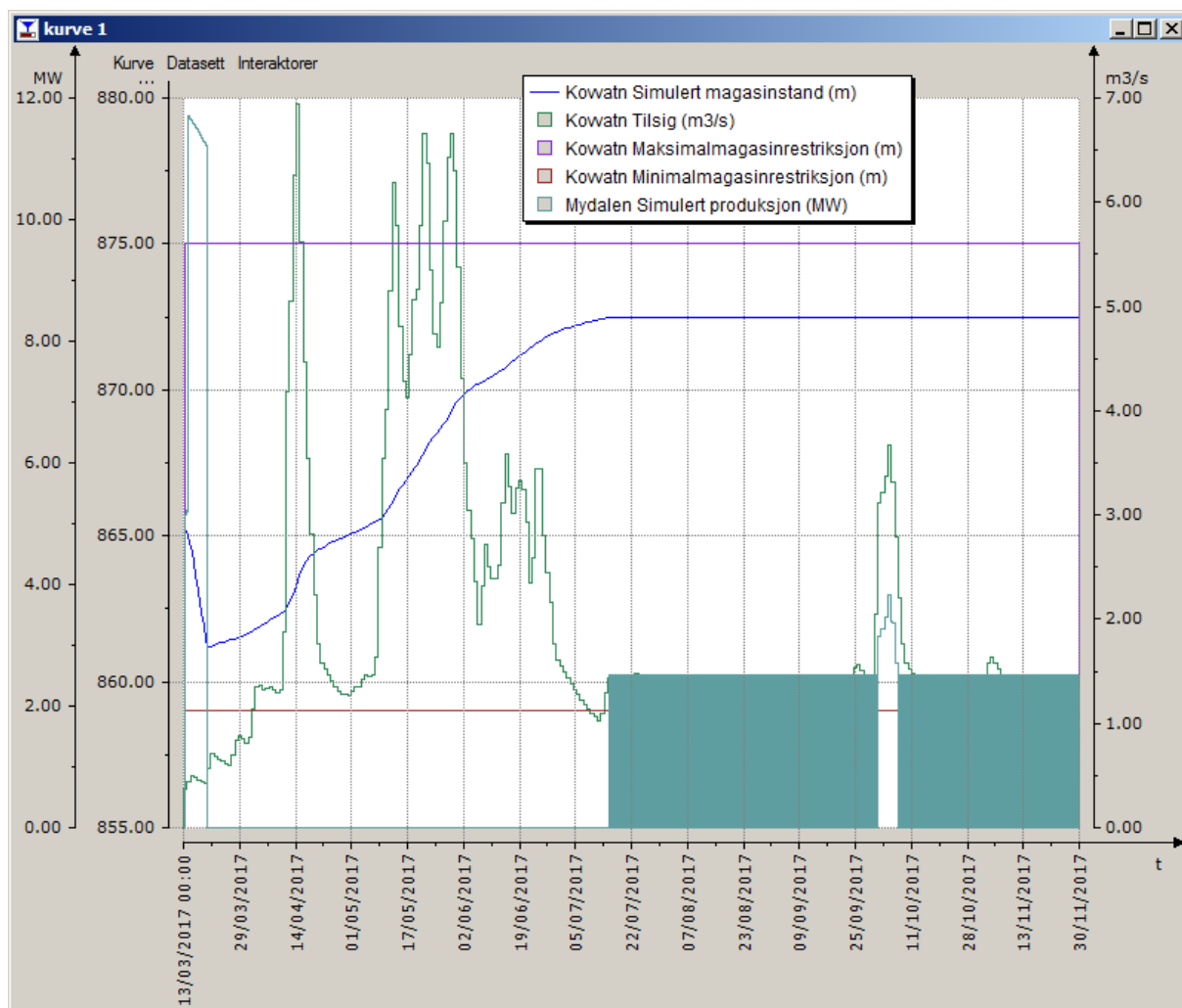


Figur 8. Simulert oppfylling av Vindsjåen med tilsig som i 1991, uten tapping fra magasinet i perioden. Tapping for vinteren starter normalt i slutten av oktober/november.

### Kovvatn med oppfylling av magasinet fra 1.5. tilsigsåret 1991

I et tørt år som 1991 kommer vannstanden i Kovvatn opp til kravet (HRV-2,5 m) innen midten av juli.

Figur 9 viser magasinutvikling i Kovvatn (blå linje) i perioden fra 20. mars til slutten av oktober. I den samme figuren vises HRV (875,0 moh) som lilla linje og LRV (859,0 moh) som brun linje. Tilsiget er vist med grønn linje og er relatert til høyreaksen. Vi ser at tilsiget har en topp i april og videre utvikling i mai/juni. Blågrønn kurve viser produksjon i Mydalen i MW relatert til venstre akse, heldekket felt på produksjonskurven vises når effekten på kraftverket går av og på i perioder.

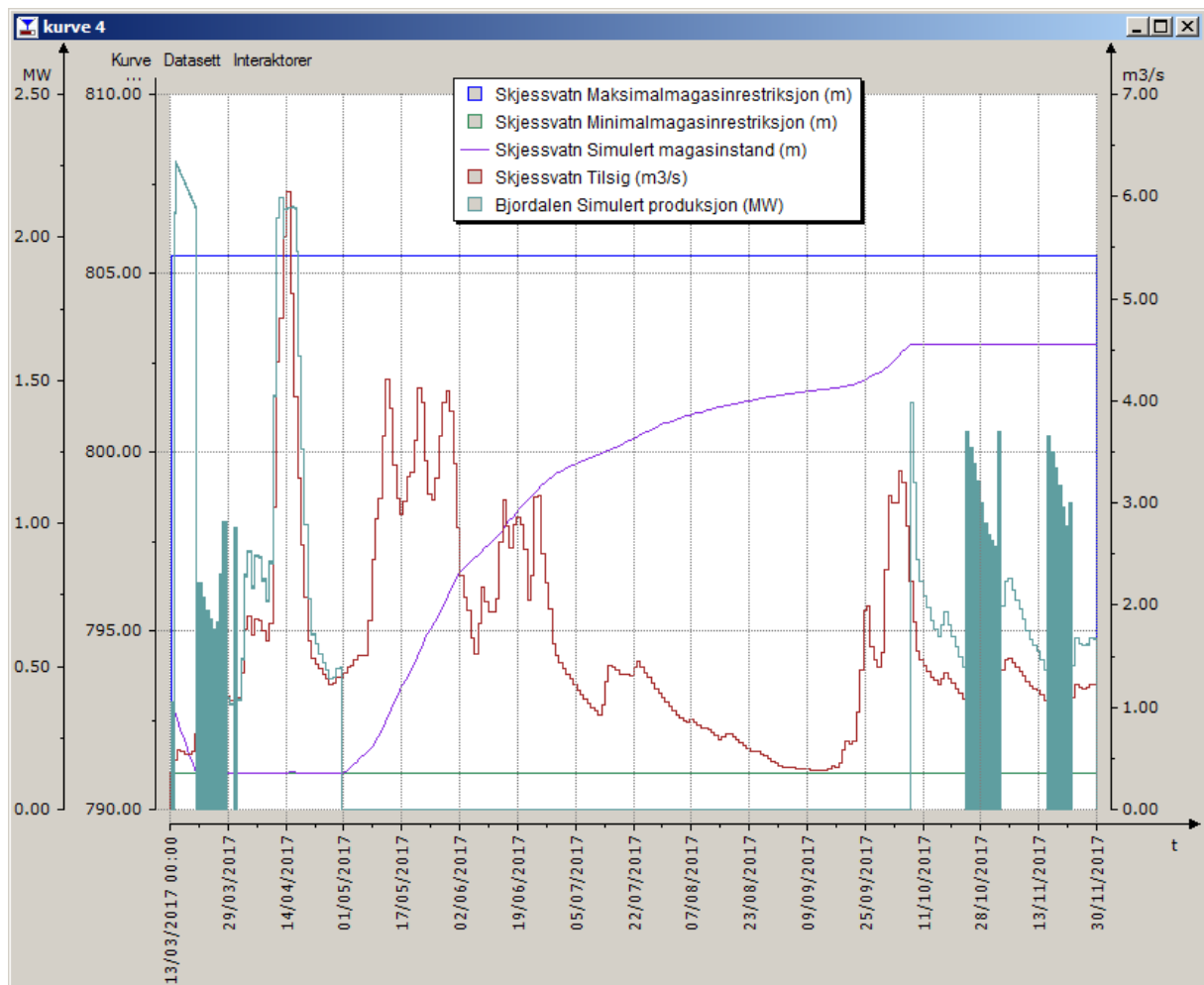


**Figur 9. Simulert oppfylling av Kovatn med sommerkrav på HRV – 2,5 meter i perioden fra 1.05. – 1.9. med tilsig som i 1991.**

### Skjessvatn med oppfylling av magasinet fra 1.5. tilsigsåret 1991

Simuleringsresultatet viser at tar langre tid å fylle opp Skjessvatn i et tørt år, og at man med restriksjoner på tapping, ikke får overført vann til Breidvatn i oppfyllingsperioden. Det burde ha blitt produsert i Bjordalen kraftverk for å ta noe av vannet over til Breidvatn.

Figur 10 viser magasinutvikling i Skjessvatn (lilla linje) i perioden fra 13. mars til slutten av november. I den samme figuren vises HRV (805,5 moh) som blå linje og LRV (791,0 moh) som grønn linje. Tilsiget er vist med brun linje og er relatert til høyreaksen. Vi ser at tilsiget har en topp i smelteperioden i april og videre utvikling i mai/juni. Produksjon i MW er vist med blågrønn linje og er relatert til akse helt til venstre. Diagrammet viser at det ikke produseres fra Bjordalen kraftverk i hele oppfyllingsperioden fra 1.mai til ca 1.oktober.

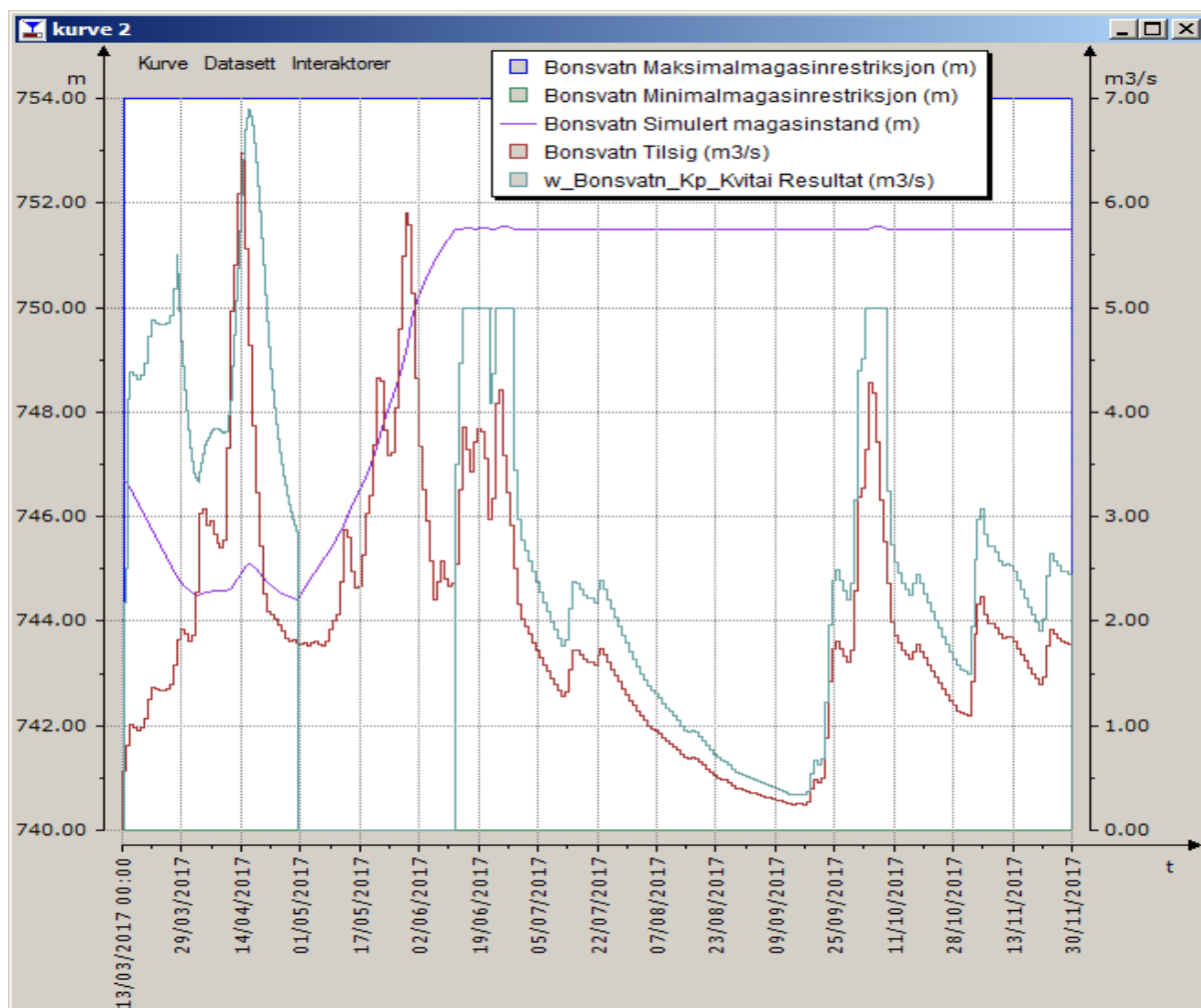


**Figur 10. Simulert oppfylling av Skjessvatn med sommerkrav på HRV – 2,5 meter i perioden fra 1.05. – 1.10. med tilsig som i 1991.**

### Bonsvatn med oppfylling av magasinet fra 1.5. tilsigsåret 1991

Bonsvatn fylles ganske raskt opp uansett tilsigsår p.g.a. stort nedslagsfelt, og lite magasin i forhold til nedslagsfeltet. Det er derfor hensiktsmessig å overføre vann til Breidvatn i oppfyllingsperioden for å sikre at man får hevet Breidvatn, det ville ellers ha tatt lang tid å fylle opp Breidvatn.

Figur 11 viser magasinutvikling i Bonsvatn (lilla linje) i perioden fra 20. mars til slutten av oktober. I den samme figuren vises HRV (754,0 moh) som blå linje og LRV (740 moh) som grønn linje i bunn. Tilsiget er vist med brun linje og er relatert til høyreaksen. Vi ser at tilsiget har en topp i april og videre i mai/juni. Tapping fra magasinet er vist med grønn linje. Kurvene viser at det ikke tappes fra magasinet i perioden fra 1.mai til magasinutfyllingen er HRV – 2,5 meter som tilsvarer kote 751,5 moh.

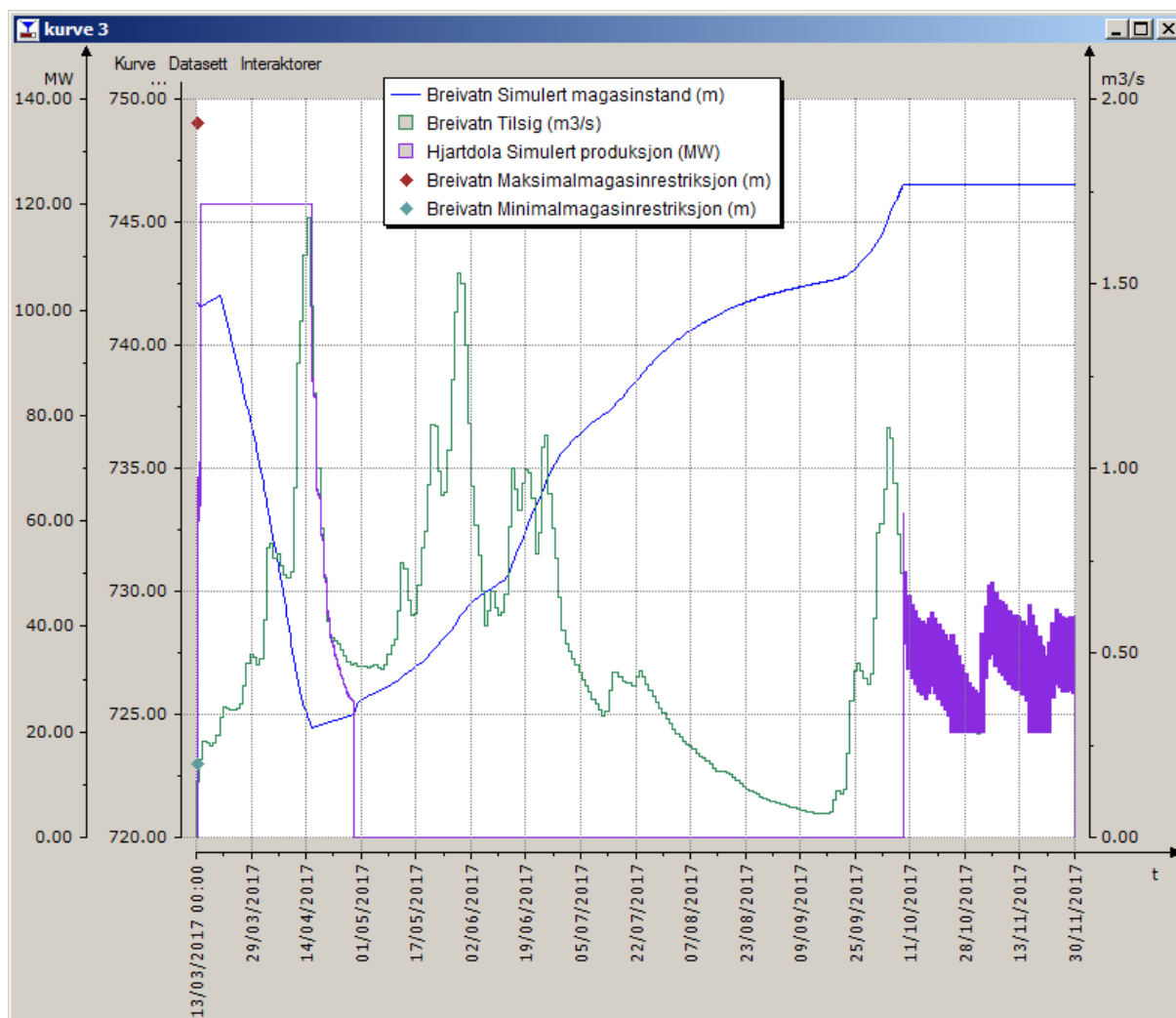


**Figur 11. Simulert oppfylling av Bonsvatn med sommerkrav på HRV – 2,5 meter i perioden fra 1.05. – 1.10. med tilsig som i 1991.**

### Breidvatn med oppfylling av magasinet fra 1.5. tilsigsåret 1991

I et typisk tørrår vil det ta hele sommeren å fylle opp Breidvatn hvis man ikke tapper vann ned fra ovenforliggende magasiner. Det ville ha vært naturlig å overført vann fra Bonsvatn til Breidvatn med overføringstunnelen og produsert fra Skjessvatn og Kovvatn med Bjordalen og Mydalen kraftverk, for å ha fordelt vannet over til Breidvatn og hevet dette magasinet.

Figur 12 viser magasinutvikling i Breidvatn (blå linje) i perioden fra 13. mars til slutten av november. I den samme figuren vises HRV (749,0 moh) som brun prikk og LRV (723moh) som grønn prikk. Tilsiget er vist med grønn linje og er relatert til høyreaksen. Vi ser at tilsiget har en topp i smelteperioden i april og videre utvikling i mai/juni. Produksjon i MW er vist med lilla linje og er relatert til akse helt til venstre. Figuren viser da at det ikke blir produsert i oppfyllingsperioden fra 1.mai til magasinet når kote 746,0 i oktober.



Figur 12. Simulert oppfylling av Breidvatn med sommerkrav på HRV – 2,5 meter i perioden fra 1.5. – 1.9. med tilsig som i 1991.

## Scenario 3

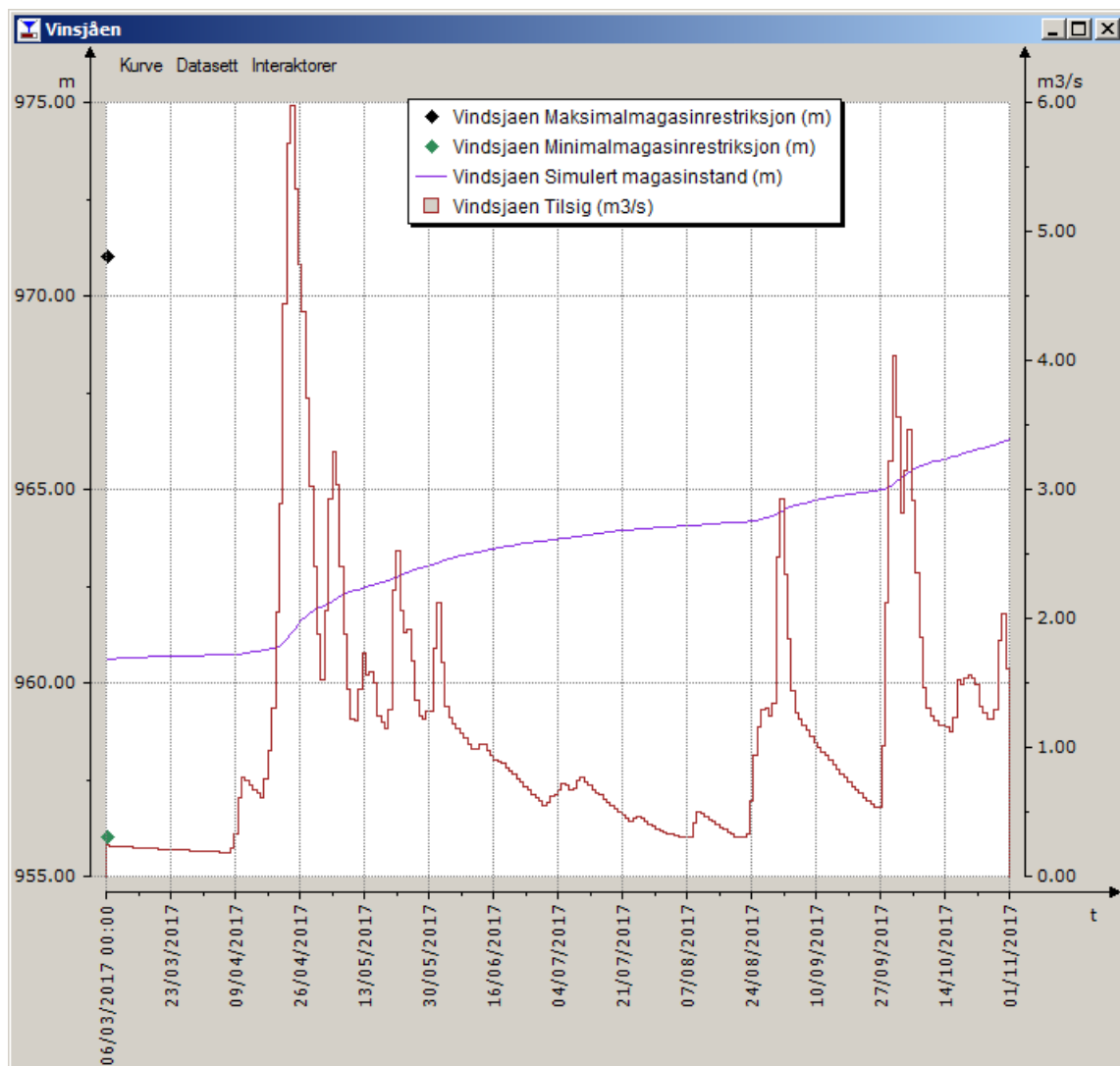
### Simulering av Hjartdøla-magasinene med tilsigsåret 1996

Drøfting av oppfylling av magasinene i Hjartdøla-reguleringen med tilsig som i 1996, som er det tørreste året i perioden fra 1931 - 2010. Det er gitt som forutsetning av innspill til konsesjonsrevisjonen at man utnytter magasinene som normalt før 1.mai, og at en ikke skal tappe fra magasinene etter 1.mai før man har nådd nivået som tilsvarer HRV – 2,5 meter.

### Vindsjøen med magasinutvikling tilsigsåret 1996

Vindsjøen er et flerårsmagasin som normalt tappes kun på vinteren, og vannet benyttes for vinterproduksjon. Med tilsig som i 1996 når Vindsjøen kote 966,21 moh når tappingen tar til på høsten. I mange tørrår vil det være slik at det ligger lite snø i feltene til de lavereliggende magasinene. Vindsjøen feltet vil ofte ha mer snø pga. høydenivået og som flerårsmagasin ha en høyere fyllingsgrad. Dette gjør at hensiktsmessig å tappe ned vann fra Vindsjøen ut på våren til oppfylling av Kovvatn og Breidvatn.

Figur 13 viser magasinutvikling i Vindsjøen (lilla linje) i perioden fra 20. mars til slutten av oktober. I den samme figuren vises HRV (971,0 moh) som svart prikk og LRV (956,0 moh) som grønn prikk. Tilsiget er vist med brun linje og er relatert til høyreaksen. Vi ser at tilsiget har en topp i april og rest avrenning i mai/juni. Tappingen er null i hele perioden.

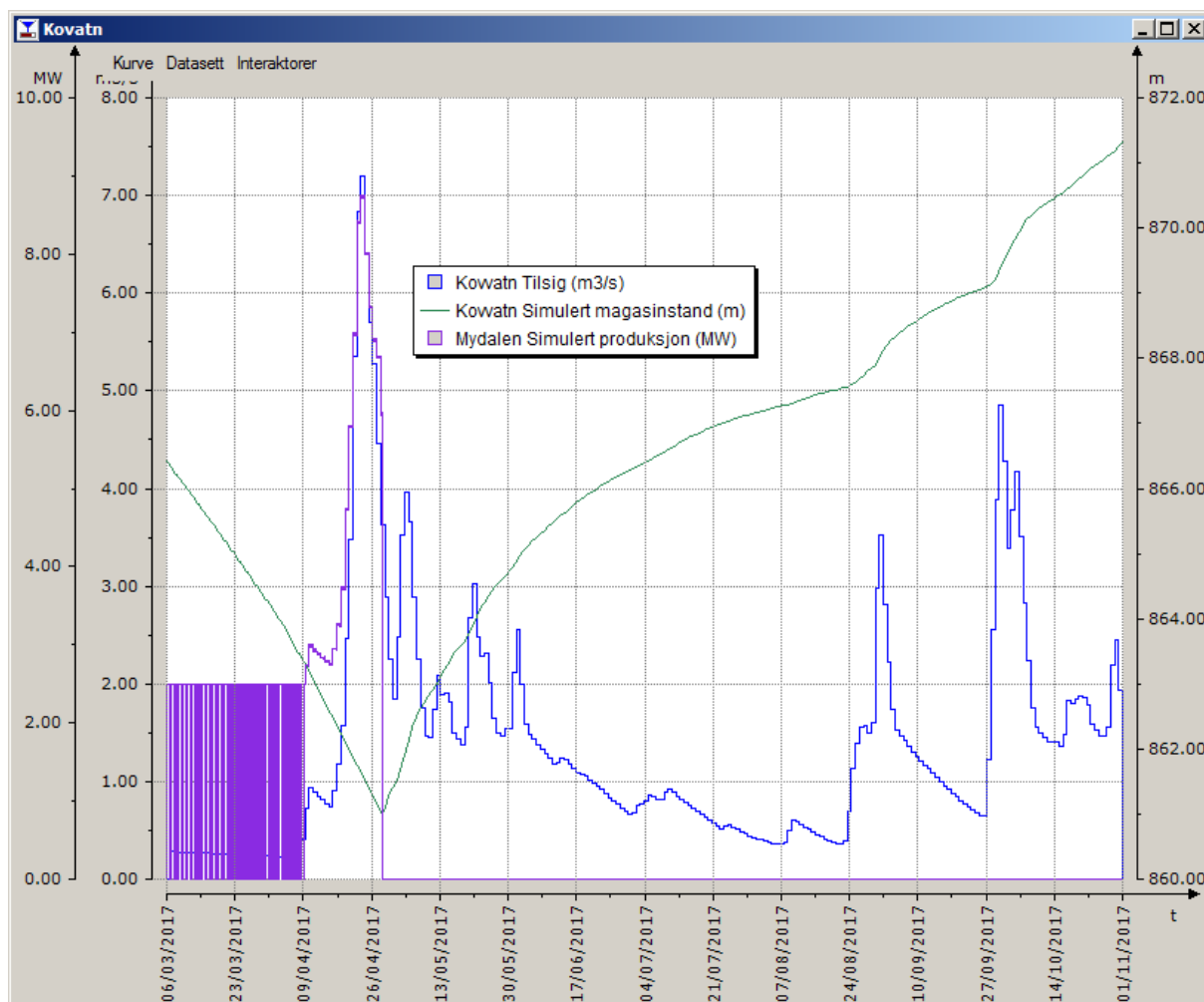


Figur 13. Simulert oppfylling av Vindsjøen i perioden fra 6.03. – 1.11. med tilsig som i 1996.

#### Kovvatn med oppfylling av magasinet fra 1.5. tilsigsåret 1996

Kovvatn fylles seint opp i et tørt år som 1996. Med lite tilsig i hele perioden, vil det ha vært ønskelig å overført vann til Breidvatn for produksjon i Hjartdøla kraftverk, men også for å få hevet Breidvatn. Det ville også ha vært en mulighet å ta vann fra Vindsjøen hvis der hadde vært mer snø og tilsig å fordele enn i nedenforliggende magasiner.

Figur 14 viser magasinutvikling i Kovvatn (grønn linje) i perioden fra 6. mars til 1. november. HRV (875,0 moh) eller LRV (859,0 moh) vises ikke i denne presentasjonen. Tilsiget er vist med grønn linje og er relatert til venstreaksen. Vi ser at tilsiget har en topp i april og videre utvikling i mai/juni. Lilla kurve viser produksjon i Mydalen i MW relatert til venstre akse. Heldekket felt på produksjonskurven vises når effekten på kraftverket går av og på i perioder. Det går frem av kurven for produksjon at det ikke produseres i kraftverket hele sesongen.



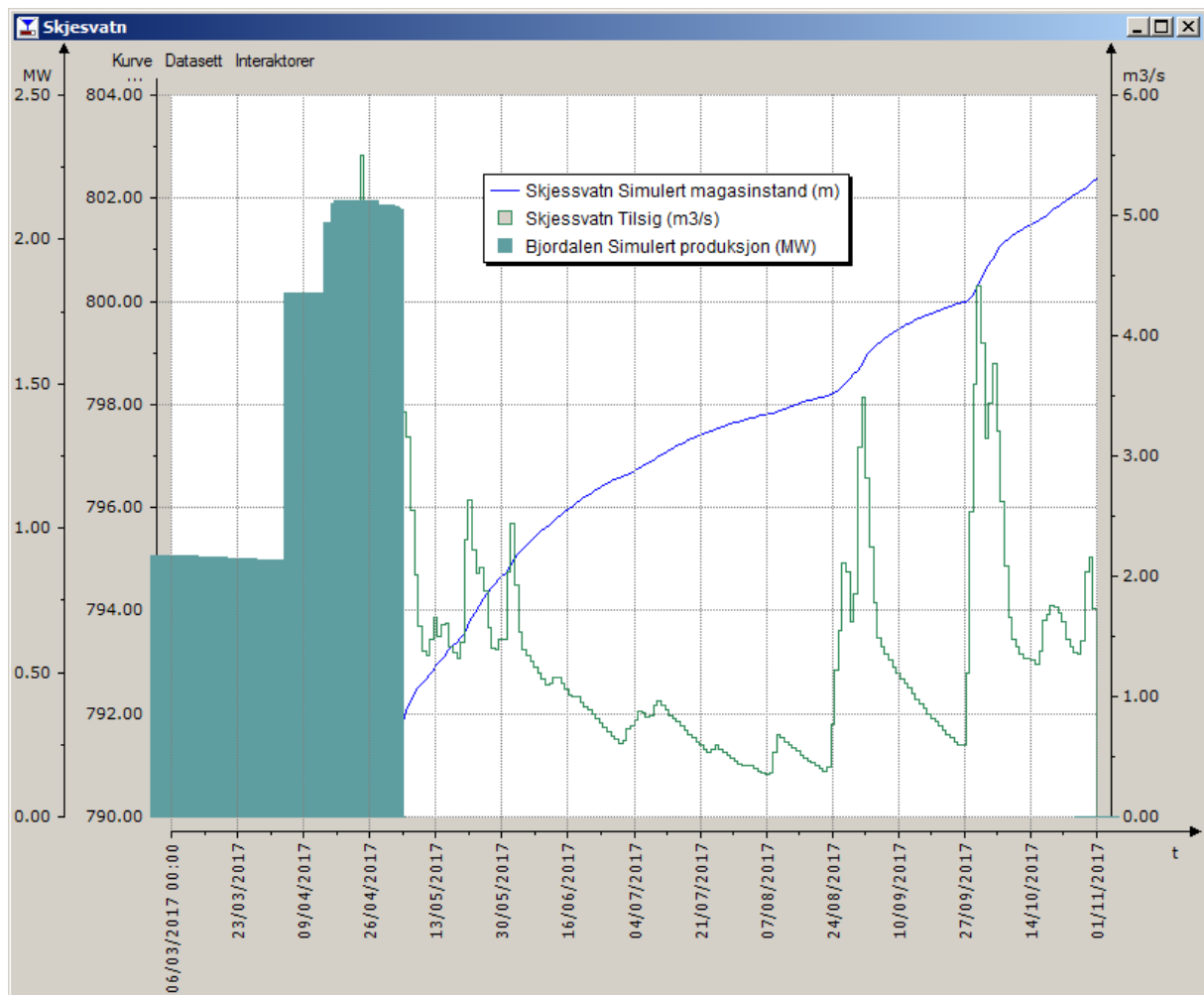
**Figur 14. Simulert oppfylling av Kovvatn med sommerkrav på HRV – 2,5 meter i perioden fra 1.05. – 1.9. med tilsig som i 1996.**

### Skjessvatn med oppfylling av magasinet fra 1.5. tilsigsåret 1996

Også i Skjessvatn vil oppfyllingen ta lang tid i et tørt år, men noe av vannet burde likevel ha blitt overført til Breidvatn til bruk for oppfylling og kraftproduksjon i Hjartdøla kraftverk.

Figur 15 viser magasinutvikling i Skjessvatn (lilla linje) i perioden fra 6. mars til 1. november. HRV (805,50moh), og LRV (791,0 moh) er ikke vist. Tilsiget er vist med lys grønn linje og er relatert til høyreaksen. Vi ser at tilsiget har en topp i smelteperioden i april og videre utvikling i mai/juni. Produksjon i MW er vist med blågrønne søyler og er relatert til aksene helt til venstre. Kurven gir at det ikke er produksjon i perioden etter 1.mai.



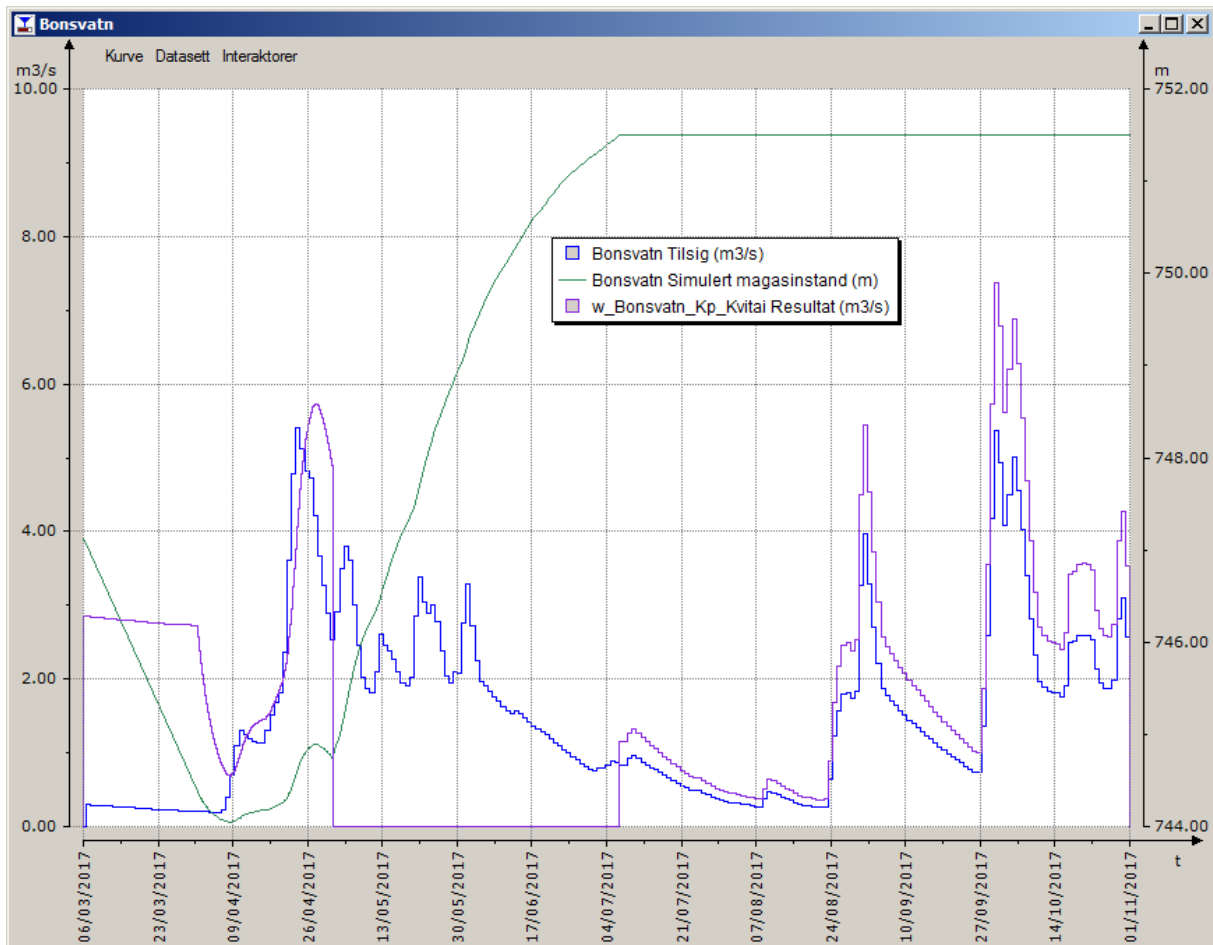


**Figur 15. Simulert oppfylling av Skjessvatn med sommerkrav på HRV – 2,5 meter i perioden fra 1.05. – 1.10. med tilsig som i 1996. HRV og LRV er ikke markert her.**

### Bonsvatn med oppfylling av magasinet fra 1.5. tilsigsåret 1996

Bonsvatn fylles raskt i vårflommen selv i et tørrår som 1996, Bonsvatn fylles da opp til HRV-2,5 meter innen 7.7. og alt tilsiget går med til oppfylling av Bonsvatn. Noe av dette vannet burde ha blitt overført til Breidvatn for raskere oppfylling av magasinet. Dette er naturlig fordi Bonsvatn fylles opp med midlere årstilsig tre ganger i løpet av et år, og Breidvatn har årstilsig til å fylles opp en gang. Man trenger derfor å overføre vann fra Bonsvatn til Breidvatn flere ganger i løpet av fyllingssesongen.

Figur 16 viser magasinutvikling i Bonsvatn (grønn linje) i perioden fra 6. mars til 1. november. Tilsiget er vist med blå linje og er relatert til venstreaksen. Vi ser at tilsiget har en topp i april og videre i mai/juni men med lave verdier. Tapping fra magasinet er vist med lilla linje. Kurvene viser at det ikke tappes fra magasinet i perioden fra 1.mai til magasinutfyllingen er HRV – 2,5 meter som tilsvarer kote 751,5 moh i juli.

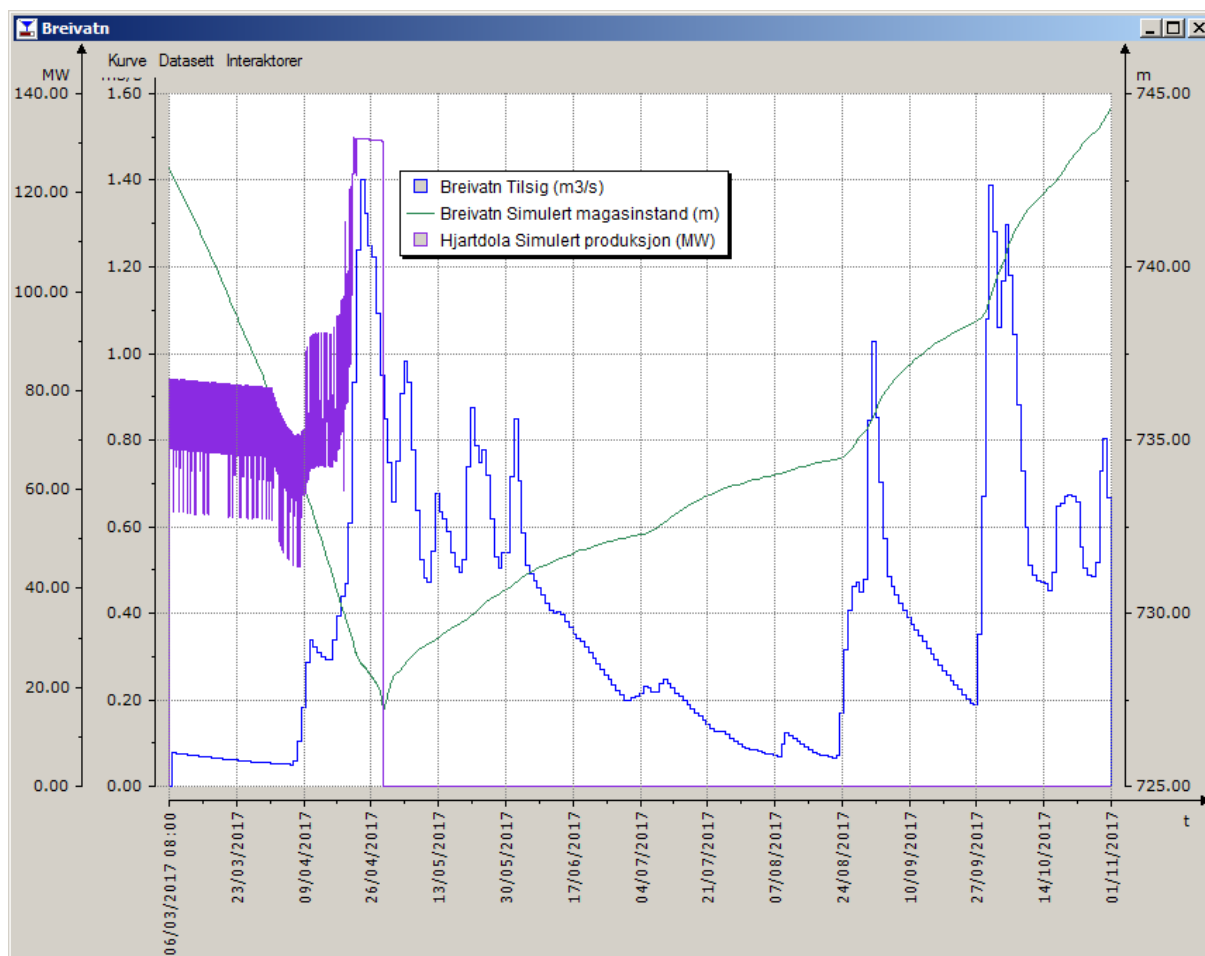


Figur 16. Simulert oppfylling av Bonsvatn med sommerkrav på HRV – 2,5 meter i perioden fra 1.5. – 1.9. med tilsig som i 1996.

### Breidvatn med oppfylling av magasinet fra 1.5. tilsigsåret 1996

I et tørrår som 1996 fylles Breidvatn opp svært seint og magasinet ligger ca 10 – 15 meter under kravet som er HRV-2,5 meter (kote 746,5 moh). Man burde ha overført vann i oppfyllingsperioden fra ovenforliggende magasiner for å oppnå en tilfredsstillende magasinifylling. Dette både av hensyn til estetikk rundt Breidvatn og for å oppnå god fallhøyde til Hjartdøla kraftverk. Fyllingsrestriksjonene som er spilt inn for Hjartdøla systemet vil medføre at Hjartdøla ikke kan produsere eller levere reserver til nettet i hele perioden fra 1.5. til 1.9 i et tørt år som 1996. Dette vil også ha en kostnad for Hjartdøla kraftverk i form av tapte inntekter som er angitt i senere avsnitt om "Kraftverkets egenskaper og leveringsmuligheter".

Figur 17 viser magasinutvikling i Breidvatn (blå linje) i perioden fra 13. mars til slutten av november. I den samme figuren vises ikke HRV (749,0 moh) eller LRV (723 moh). Tilsiget er vist med blå linje og er relatert til venstreaksen. Vi ser at tilsiget har en topp i andre halvdel av april og videre utvikling i mai/juni, men har svært lave verdier. Produksjon i MW er vist med lilla linje og er relatert til akse helt til venstre. Figuren viser da at det ikke blir produsert i oppfyllingsperioden fra 1.mai og ut perioden. Normalt vil det være naturlig å produsere i september for å møte høstflommen med tilstrekkelig demping i magasinene.



Figur 17. Simulert oppfylling av Breidvatn med sommerkrav på HRV – 2,5 meter i perioden fra 1.05. – 1.10. med tilsig som i 1996.

## Scenario 4

### Simulering av Hjartdøla-magasinene med tilsigsåret 1958

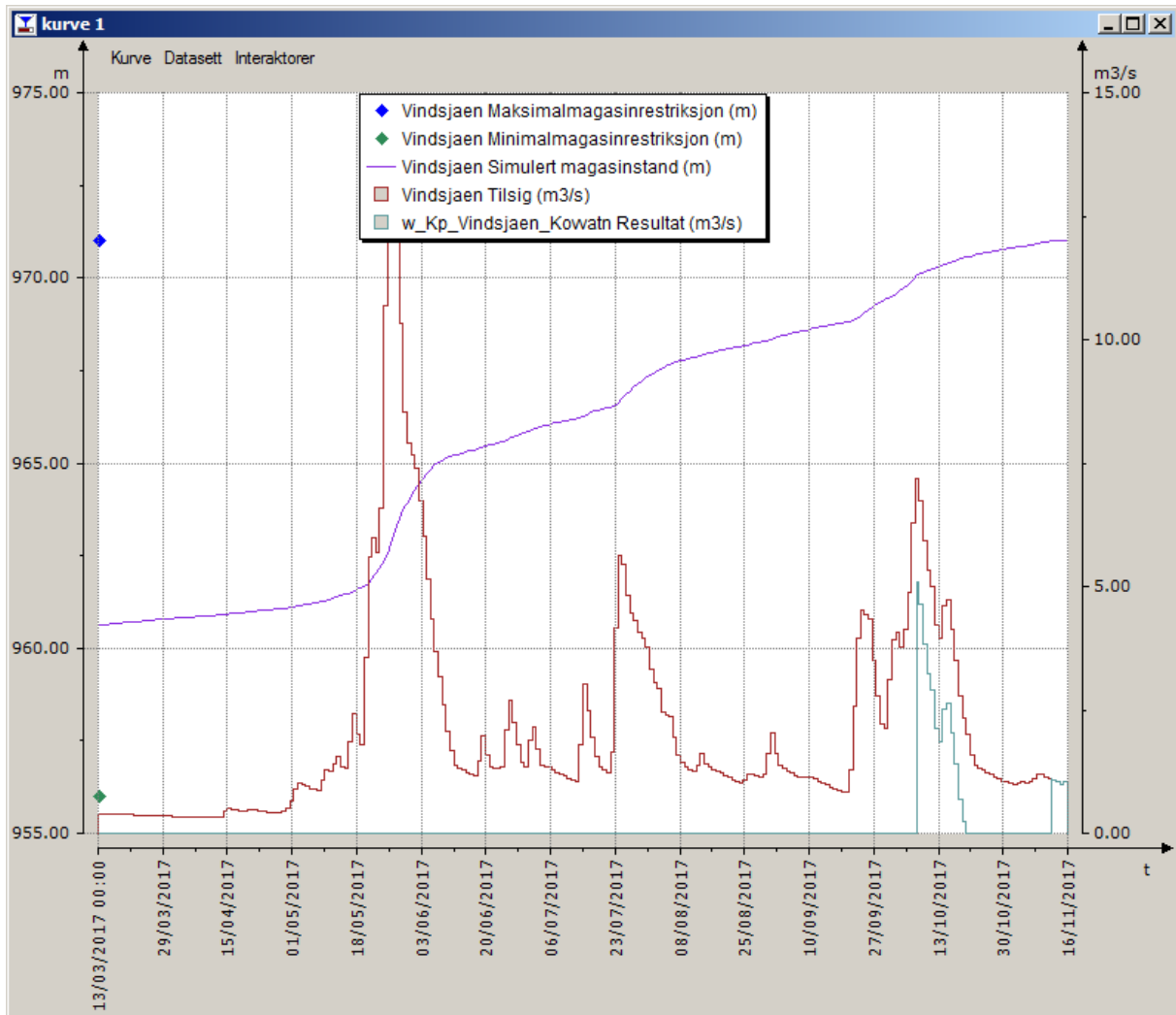
Dette året har det fjerde høyeste tilsiget i perioden 1931 - 2010. Det er gitt som restriksjon at man ikke skal tappe fra magasinene etter 1. mai før man har nådd nivået som tilsvarer HRV – 2,5 meter. Magasinet utnyttes som normalt mellom HRV og LRV i vinterhalvåret og før 1.mai.

### Vindsjøen med magasinutvikling tilsigsåret 1958

Vindsjøen magasinutvikling etter nedtapping på vinteren og oppfylling til HRV ca 1.november. Det kan være fornuftig å ikke tappe ned vatn fra Vindsjøen tidlig i sesongen fordi det kan medføre økt press på nedenforliggende magasiner og økt risiko for vanntap. Når det går mot høsten og magasinet går mot HRV kan det likevel være fornuftig å tappe ned noe vann for å få demping i magasinet slik at man får ekstra flomdemping, og ikke legger all flomdempingen i Kovvatn, noe som medfører at vannstanden blir lavere på høsten enn ønskelig.

Figur 18 viser magasinutvikling i Vindsjøen (lilla linje) i perioden fra 13.mars til midten av november. I den samme figuren vises HRV (971,0 moh) med blå prikk og LRV (956,0 moh) med grønn prikk. Tilsiget er vist med brun linje og er relatert til høyreaksen. Vi ser at tilsiget har en topp i mai, noe

senere enn for de andre magasinene som dette året hadde topp i midten av april, men dette magasinet ligger også høyere. Nederste grønne linje på akse viser tappingen i hele perioden.

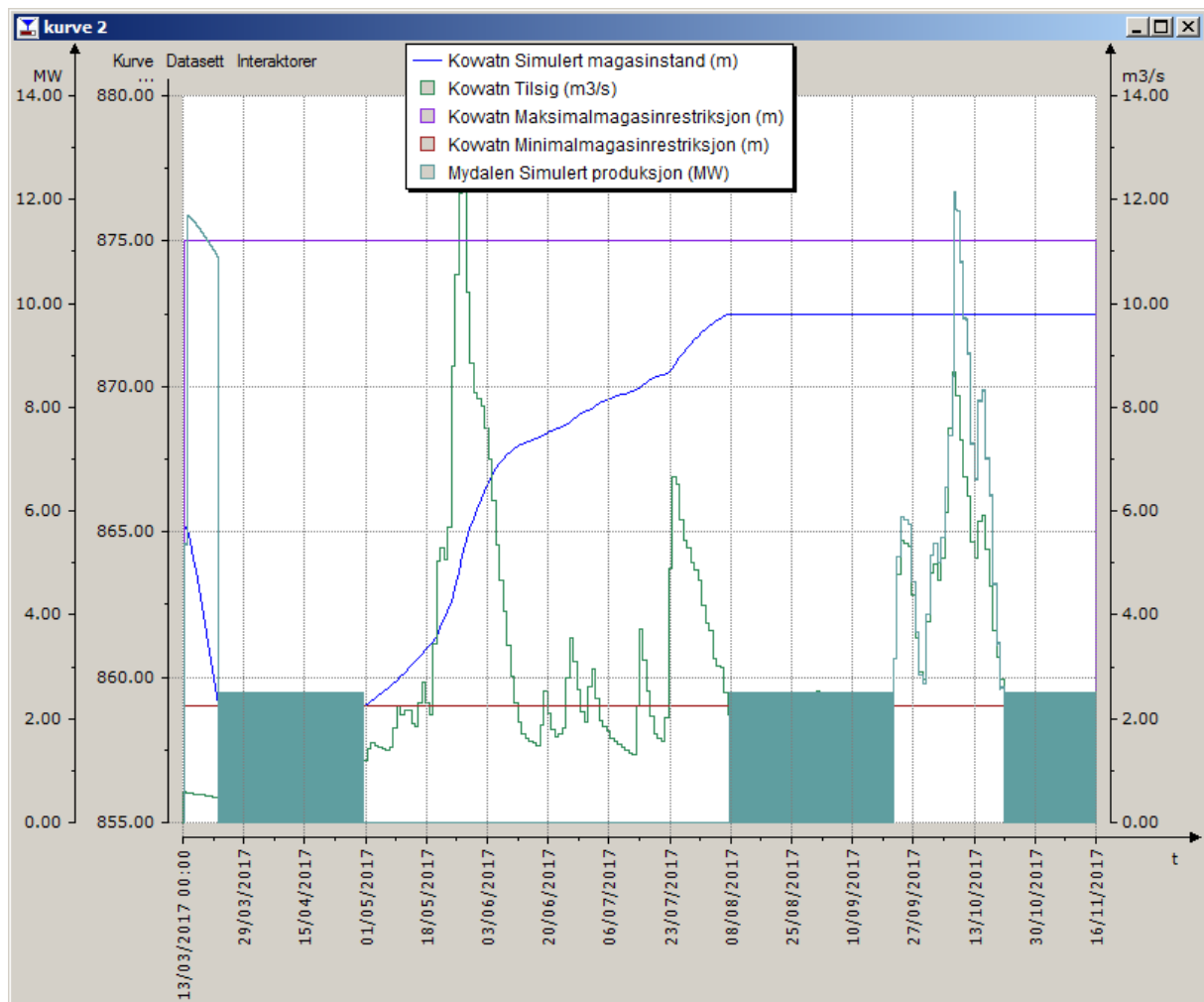


**Figur 18. Simulert oppfylling av Vindsjøen med tilsig som i 1958, uten tapping fra magasinet i hele perioden som vises. Tapping for vinteren starter normalt i november.**

### Kovvatn med oppfylling av magasinet fra 1.5. tilsigsåret 1958

Kovvatn er kjørt ned til LRV før 1.mai. Oppfylling av magasinet vil ta noe tid gjennom sommeren selv om man ikke produserer i Mydalen kraftverk. Høyt tilsig i høstflommen vil gi kjørepress hvis man ligger på vannstands nivå HRV – 2,5 meter. Tapping av vann fra Vindsjøen gjennom Kovvatn vil avhjelpe flompresset i Kovvatn på høsten.

Figur 19 viser magasinutvikling i Kovvatn (blå linje) i perioden fra 6. mars til 1.november. I den samme figuren vises HRV (875,0 moh) med lilla linje og LRV (859,0 moh) med brun linje. Tilsiget er vist med lys grønn linje og er relatert til høyreaksen. Vi ser at tilsiget har en topp i mai og videre utvikling i juni. Blågrønn kurve viser produksjon i Mydalen i MW relatert til venstre akse, heldekket felt på produksjonskurven vises når effekten på kraftverket går av og på i perioder. Det går også frem av produksjonskurven at det ikke produseres i Mydalen Kraftverk i oppfyllingsperioden fra 1.5. – 8.8.

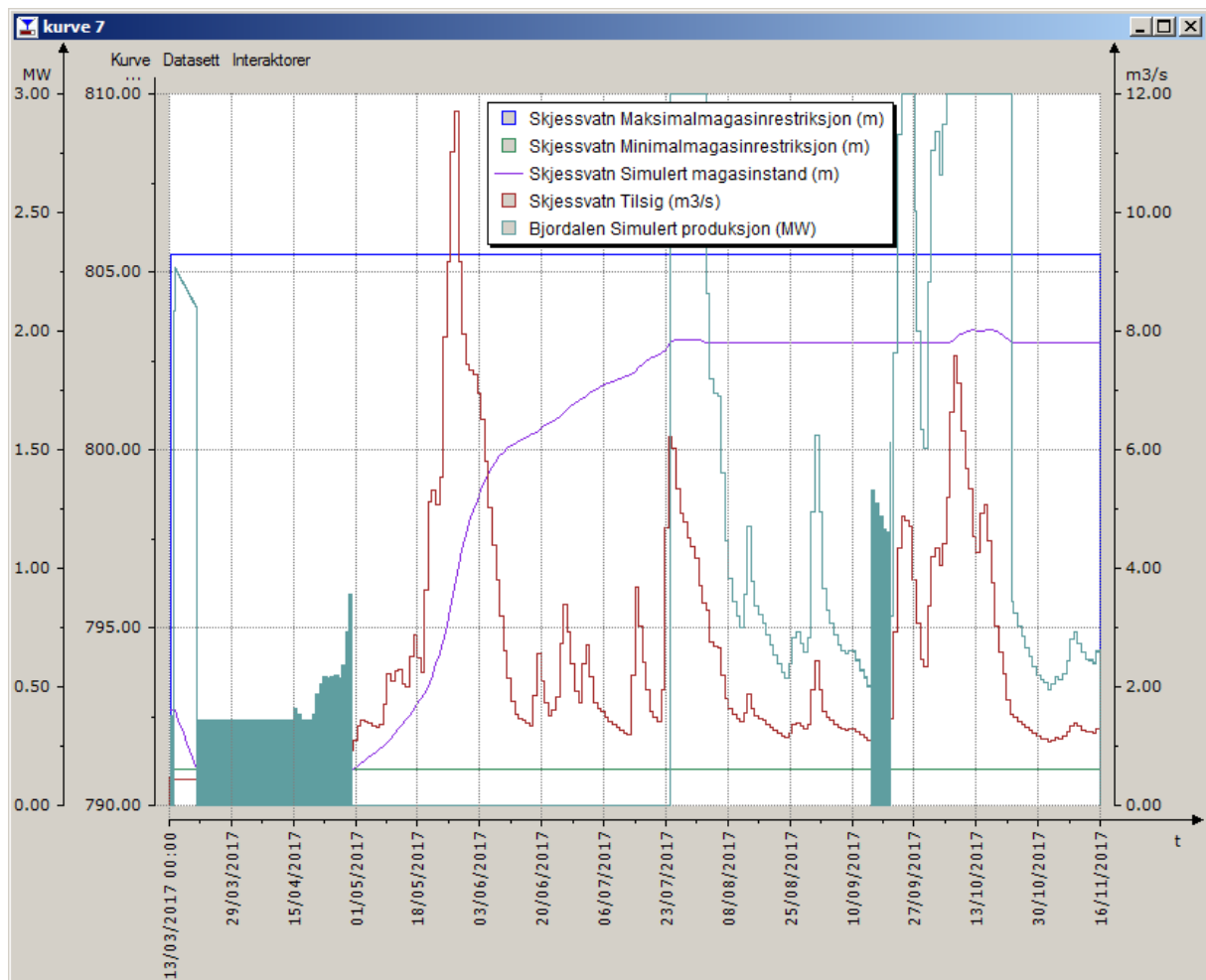


**Figur 19. Simulert oppfylling av Kovatn med sommerkrav på HRV – 2,5 meter i perioden fra 1.05. – 1.10. med tilsig som i 1958.**

### Skjessvatn med oppfylling av magasinet fra 1.5. tilsigsåret 1958

Skjessvatn fylles i dette tilfellet opp i løpet av sommeren til ønsket vannstand HRV-2,5 meter. Man burde ha tappet underveis for å fordele vann over til Breidvatn for å fylle opp magasinet med mulighet for å produsere og levere reservekraft i Hjartdøla kraftverk.

Figur 20 viser magasinutvikling i Skjessvatn (lilla linje) i perioden fra 13. mars til 16. november. I figuren fremgår også HRV (805,5 moh) med blå linje, og LRV (791,0 moh) med grønn linje. Tilsiget er vist med brun linje og er relatert til høyreaksen. Vi ser at tilsiget har en topp i smelteperioden i siste halvdel av mai og videre utvikling i juni. Produksjon i MW er vist med blågrønn kurve og er relatert til aksene helt til venstre. Kurven viser at det ikke er produksjon i perioden etter 1.mai og til magasinet er fylt opp til kote 803 den 23.juli.

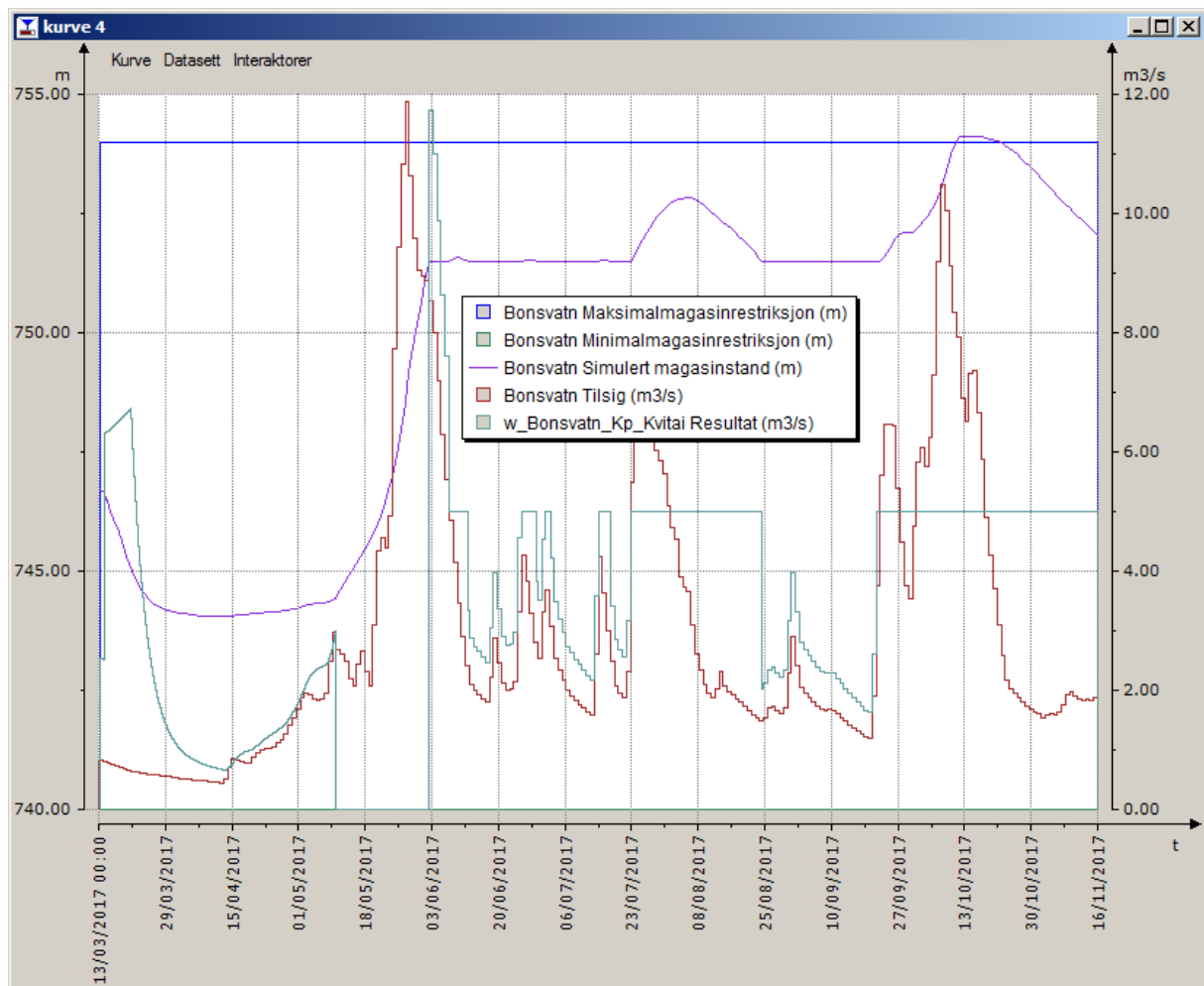


**Figur 20. Simulert oppfylling av Skjessvatn med sommerkrav på HRV – 2,5 meter i perioden fra 1.05. – 1.10. med tilsig som i 1958.**

### Bonsvatn med oppfylling av magasinet fra 1.5. tilsigsåret 1958

Bonsvatn fylles tidlig opp når man ikke tapper fra magasinet i år med høyt tilsig på våren / sommeren. Vannet burde imidlertid ha vært fordelt via overføringstunnelen til Breidvatn i løpet av perioden slik at flomrisikoen fordeles mellom magasinene. Det er også viktig å overføre vann over en periode for å kunne utnytte tunnelens kapasitet og unngå at man får overløp i Bonsvatn når magasinene fylles opp.

Figur 21 viser magasinutvikling i Bonsvatn (lilla linje) i perioden fra 13. mars til slutten av oktober. I den samme figuren vises HRV (754,0 moh) med blå linje og LRV (740 moh) med grønn linje i bunn. Tilsiget er vist med brun linje og er relatert til høyreaksen. Vi ser at tilsiget har en topp i mai. Tapping fra magasinet er vist med grønn linje. Kurvene viser at det ikke tappes fra magasinet i perioden fra 1. mai til magasinutfyllingen er HRV – 2,5 meter som tilsvarer kote 751,5 moh, noe som skjer forholdsvis fort. Når magasinet er på HRV-2,5 meter overføres tilsiget via tunnelen til Breidvatn.

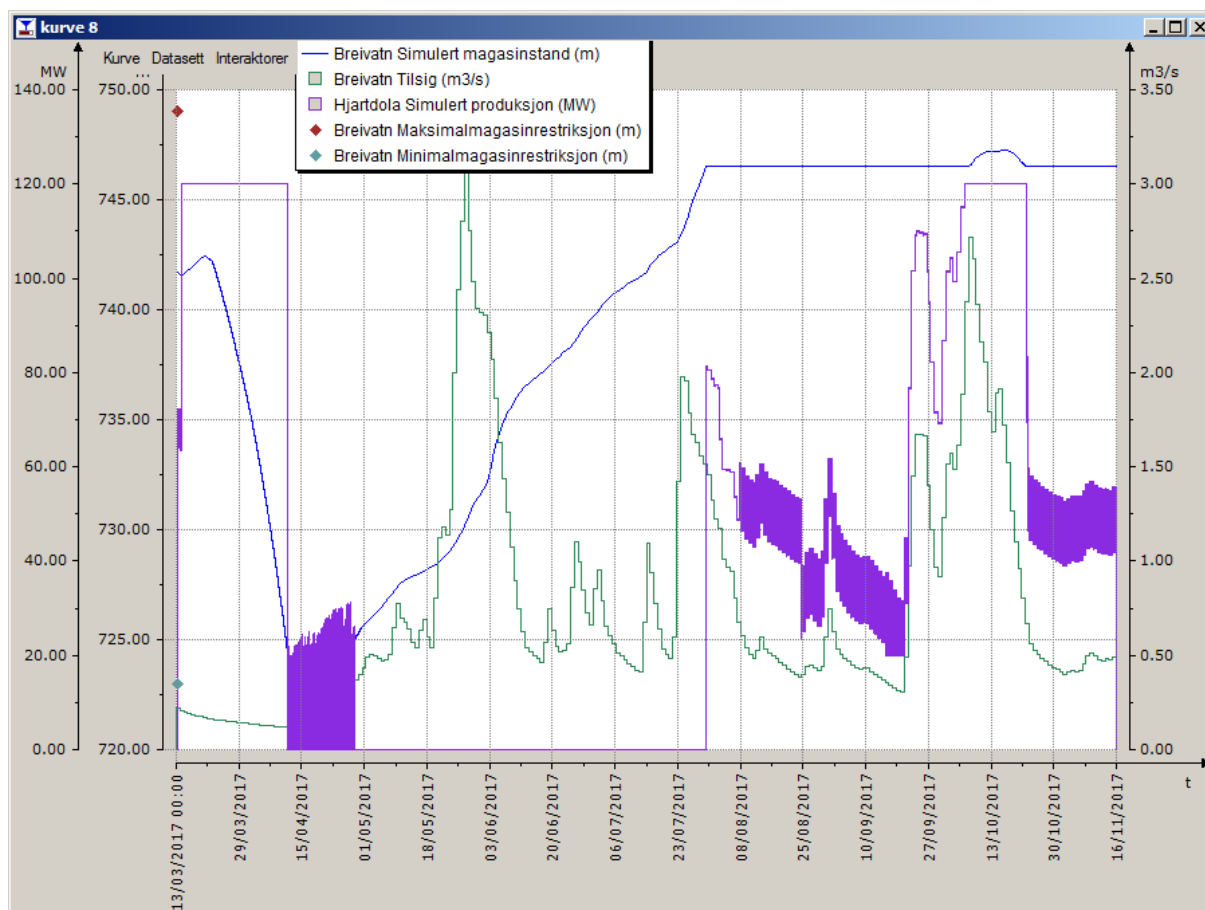


**Figur 21. Simulert oppfylling av Bonsvatn med sommerkrav på HRV – 2,5 meter i perioden fra 1.05. – 1.10. med tilsig som i 1958. HRV og LRV er markert her.**

### Breidvatn med oppfylling av magasinet fra 1.5. tilsigsåret 1958

Selv i et år med høyt tilsig vil det ta lang tid før Breidvatn fylles opp. Av hensyn til landskapsopplevelsen rundt Breidvatn, hensynet til kraftproduksjonen i Hjartdøla og av hensyn til flomdemping oppstrøms, burde vann vært overført fra overforliggende magasin, slik det er forutsatt i reguleringen av Hjartdøla.

Figur 22 viser magasinutvikling i Breidvatn (blå linje) i perioden fra 13. mars til midten av november. I den samme figuren vises HRV (749,0moh) med brun prikk og LRV (723moh) med grønn prikk. Tilsiget er vist med grønn linje og er relatert til høyreaksen. Vi ser at tilsiget har en topp i midten av mai og videre utvikling i juni. Produksjon i MW er vist med lilla linje og er relatert til akse helt til venstre. Figuren viser at det ikke blir produsert i oppfyllingsperioden fra 1.mai til magasinet når kote 746,0 rundt 1.august.



Figur 22. Simulert oppfylling av Breidvatn med sommerkrav på HRV – 2,5 meter i perioden fra 1.05. – 1.10. med tilsg som i 1958.

## Scenario 5

### Simulering av Hjartdøla-magasinen med tilsigsåret 1996 og slipp av minstevassføring

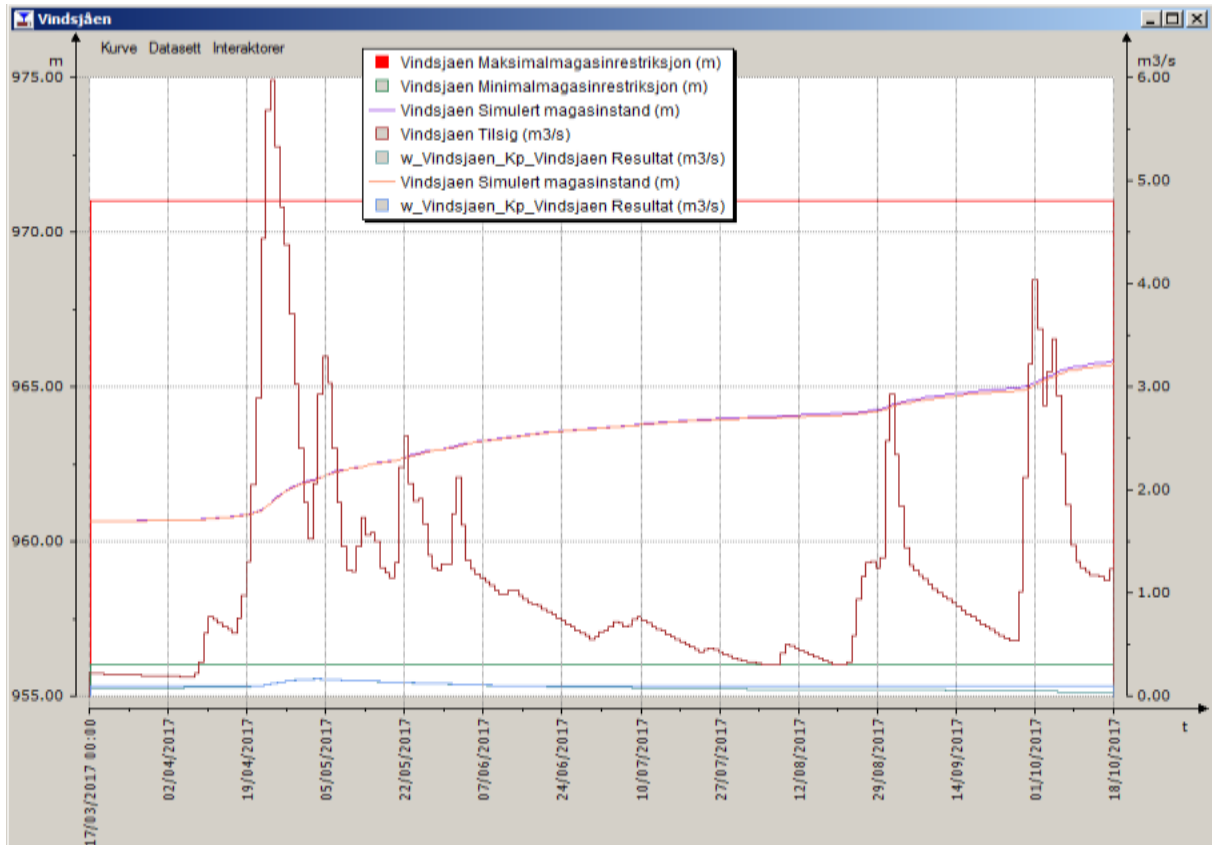
Drøfting av oppfylling av magasinene i Hjartdøla-reguleringen med tilsg som i 1996 og ved slipp av minstevassføring. 1996 er det tørreste året i perioden 1931 - 2010. Det er gitt som restriksjon at man ikke skal tappe fra magasinene etter 1.mai før man har nådd nivået som tilsvarer HRV – 2,5 meter. Magasinet utnyttes som normalt mellom HRV og LRV i vinterhalvåret og før 1.mai. Henviser til Vedlegg 6 angående oversikt over aktuelle beregnede minstevannføringer fra de ulike feltene i vassdraget.

### Vindsjøen med oppfylling av magasinet vinter/vår og tapping av minstevassføring tilsigsåret 1996

Vindsjøen vil normalt ikke nå HRV-2,5 meter i løpet av sommeren. Tapping til vinterproduksjon skjer normalt ikke før i november. Et slipp på 0,1 m<sup>3</sup>/s vil i liten grad påvirke magasinfillingen mot høsten. Dette er for øvrig en lekkasje i luken fra Vindsjøen i dag, som går i vassdraget gjennom sommerhalvåret når man ellers ikke tapper ned vann fra Vindsjøen



Figur 23 viser magasinutvikling i Vindsjøen (lilla linje) i perioden fra 20. mars til slutten av oktober. I den samme figuren vises HRV (971,0 moh) med blå prikk og LRV (956,0 moh) med grønn prikk. Tilsiget er vist med brun linje og er relatert til høyreaksen. Vi ser at tilsiget har en topp i mai, noe senere enn for de andre magasinene som dette året hadde topp i midten av april, men dette magasinet ligger også høyere. Nederste grønne linje på aksene viser tappingen i hele perioden.

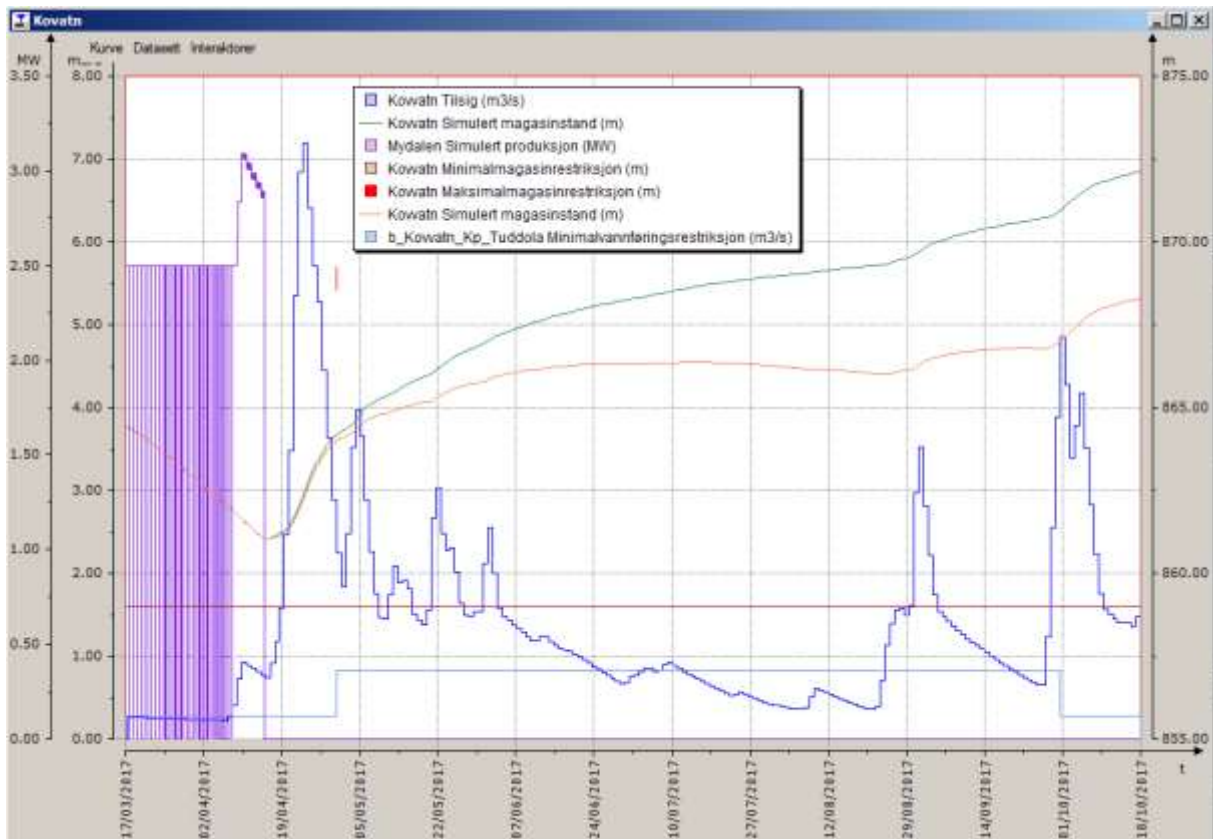


Figur 23. Vindsjøen med fast minstevassføringslipp på 0,1 m<sup>3</sup>/s på sommeren med tilsig som i 1996.

### Kovvatn med oppfylling av magasinet fra 1.5. og minstevassføring i perioden 1.5. - 1.10. tilsigsåret 1996

To kurvekombinasjoner for oppfylling av Kovvatn med og uten minstevassføring, viser at minstevassføringen på 0,83 m<sup>3</sup>/s tar noe av tilsiget på sommeren som ellers skulle gå med til å fylle opp magasinet i et tørt år. Rød kurve viser i dette tilfellet, at Kovvatn ikke fylles opp til kravet som er foreslått til HRV – 2,5.

Figur 24 viser magasinutvikling i Kovvatn (grønn linje) i perioden fra 17. mars til medio oktober og magasinutvikling i Kovvatn med slipp av minstevassføring i oppfyllingsperioden (oransje linje). HRV (875,0 moh) med rød linje og LRV (859,0 moh) med burgunder linje er vist. Tilsiget er vist med grønn linje og er relatert til venstre aksene. Vi ser at tilsiget har en topp i slutten av april og videre utvikling i mai/juni. Lilla kurve viser produksjon i Mydalen i MW relatert til venstre akse, heldekket felt på produksjonskurven vises når effekten på kraftverket går av og på i perioder. Det går frem av figuren at Mydalen ikke vil kunne produsere fra fyllingsstart i april og ut perioden.

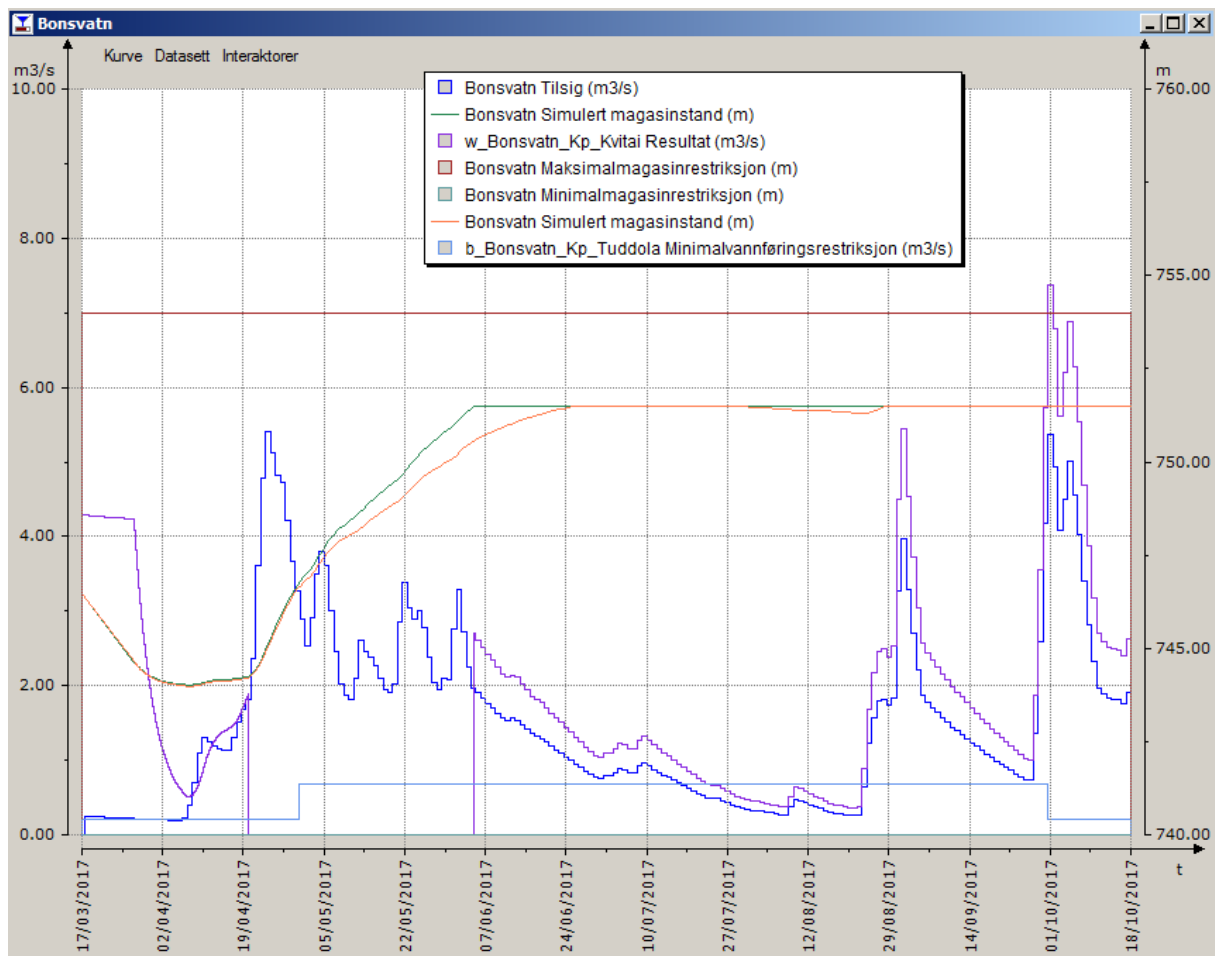


Figur 24. Kovvatn med minstevassføringslipp fra Kovvatn på 0,83 m<sup>3</sup>/s på sommeren med tilsig som i 1996.

### Bonsvatn med oppfylling av magasinet med Minstevassføring tilsigsåret 1996

Med minstevassføringslipp på 0,68 m<sup>3</sup>/s fra Bonsvatn i sommerperioden, vil det ta lenger tid før magasinet fylles opp til kravet på HRV – 2,5 meter. Slippet vil likevel ha forholdsvis liten påvirkning på oppfyllingen av Bonsvatn. Konsekvensen av at man slipper minstevassføring ut av "systemet" får størst konsekvens for oppfyllingen av Breidvatn litt senere i sesongen, noe man kan lese ut av figur 27.

Figur 25 viser magasinutvikling i Bonsvatn i perioden fra 17. mars til medio oktober med og uten slipp av minstevassføring (oransje med og grønn uten). Tilsiget er vist med blå linje og er relatert til venstreaksen. Vi ser at tilsiget har en topp i april og videre i mai/juni, men lave verdier. Tapping fra magasinet er vist med lilla linje. Kurvene viser at det ikke tappes fra magasinet i perioden fra tilsiget tar til i april til magasinutfyllingen er HRV – 2,5 meter, noe som tilsvarer kote 751,5 moh i starten av juni.

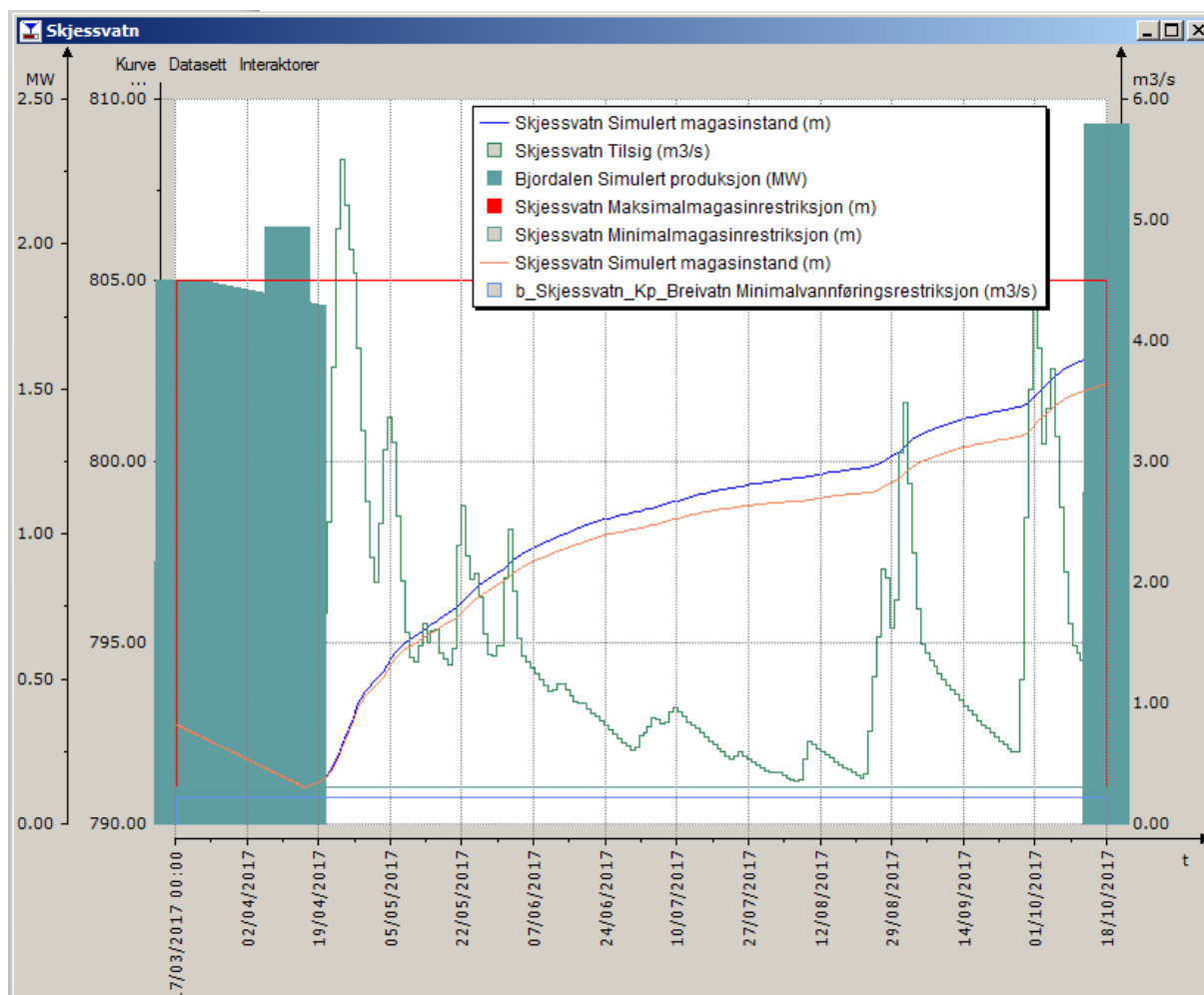


Figur 25. Bonsvatn magasinutvikling med slipp av minstevassføring på  $0,68 \text{ m}^3/\text{s}$  fra 1.5. til 1.10.

### Skjessvatn med oppfylling av magasinet og minstevassføring tilsigsåret 1996

Simuleringen viser magasinutvikling med og uten minstevassføringslipp på  $0,66 \text{ m}^3/\text{s}$  fra Skjessvatn i sommerhalvåret. Simuleringene viser at magasinet blir liggende noe lavere gjennom sommerhalvåret.

Figur 26 viser magasinutvikling i Skjessvatn (blå linje) i perioden fra 17. mars til medio oktober. HRV (805,5 moh), og LRV (791,0 moh) er ikke vist. Tilsiget er vist med lys grønn linje og er relatert til høyreaksen. Vi ser at tilsiget har en topp i smelteperioden i april og videre utvikling i mai/juni. Produksjon i MW er vist med blågrønne søyler og er relatert til akse helt til venstre. Figuren viser at det ikke er produksjon i Bjordalen i perioden fra fyllingsstart i april og ut perioden.



Figur 26. Skjessvatn med minstevassføringslipp på 0,66 m<sup>3</sup>/s 1.05. – 30.09. med tilsig som i 1996.

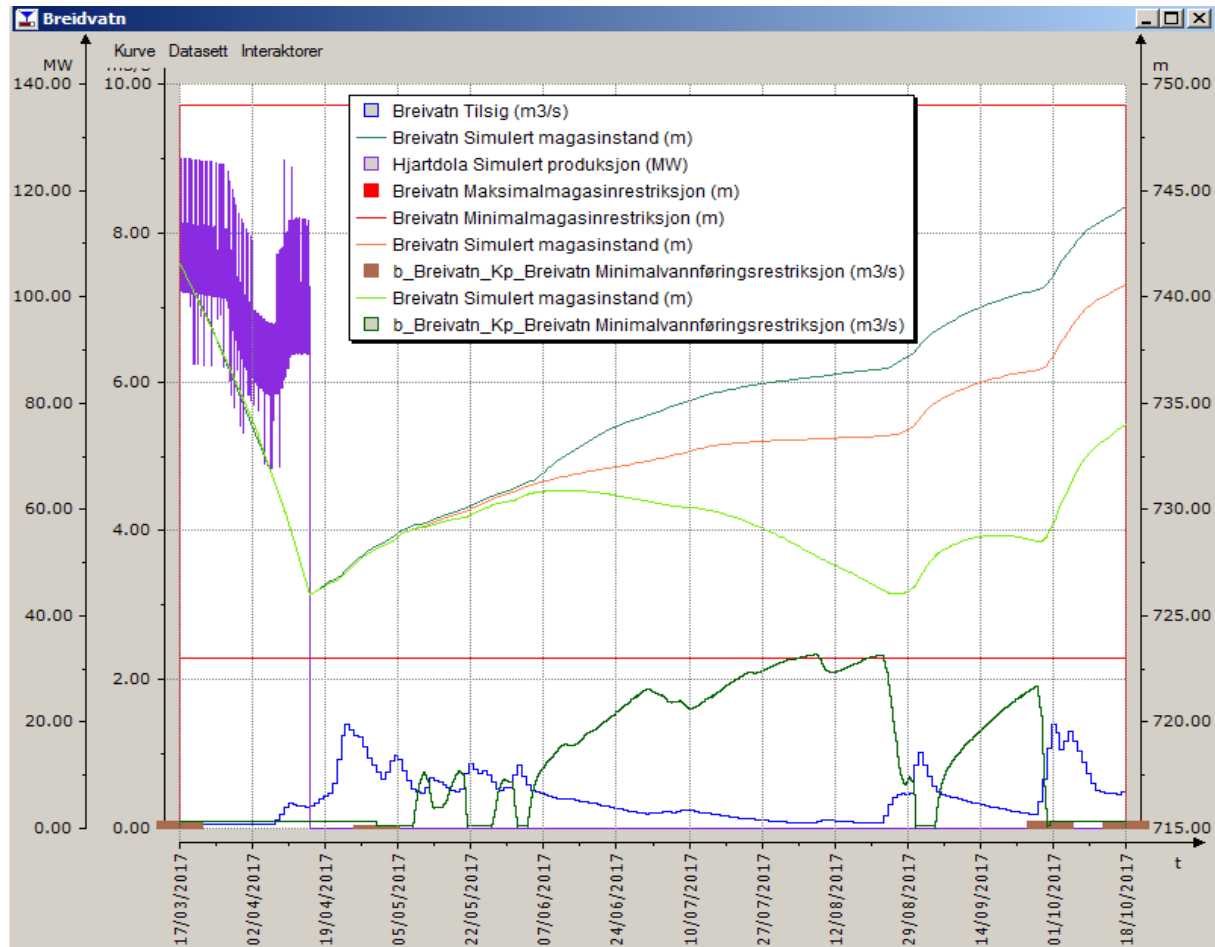
### Breidvatn oppfylling av magasinet og minstevassføringer tilsigsåret 1996

Figur 27 viser magasinutvikling i Breidvatn i perioden fra 17. mars til medio oktober. Mørk grønn kurve viser magasinutvikling uten slipp av minstevassføring og rød kurve viser magasinutvikling med slipp av minstevassføring fra Breidvatn og ovenforliggende magasin. Den nederste lyse grønne kurven viser magasin vannstand i Breidvatn dersom man skal ivareta kravet om slipp av 3,0 m<sup>3</sup>/s ut av Hjartsjø ved tapping fra Breidvatn i tillegg til lokaltilsiget til Hjartsjø. Resultatet viser at summen av minstevassføringer som slippes ut av systemet får størst påvirkning på Breidvatn.

Mørk grønn kurve nederst viser hvor mye man må tappe ekstra fra Breidvatn til Hjartsjø for å oppfylle minstevannførings krav fra Hjartsjø. Vannet kjøres i praksis gjennom Hjartdøla kraftverk, og må kjøres i korte perioder annenhver dag for å fylle etter i Hjartsjø, alternativt hver uke hvis man fyller Hjartsjø opp med produksjonsvann, og at man taper kun minstevassføring til man når laveste vannstand før man fyller opp med produksjonsvann igjen.

I figuren vises HRV (749,0 moh) med rød linje øverst og LRV (723,0 moh) med rød linje nederst. Tilsiget er vist med blå linje og er relatert til venstreaksen. Vi ser at tilsiget har en topp i andre halvdel av april og videre utvikling i mai/juni, men har svært lave verdier. Produksjon i MW er vist med lilla

linje og er relatert til akse helt til venstre.

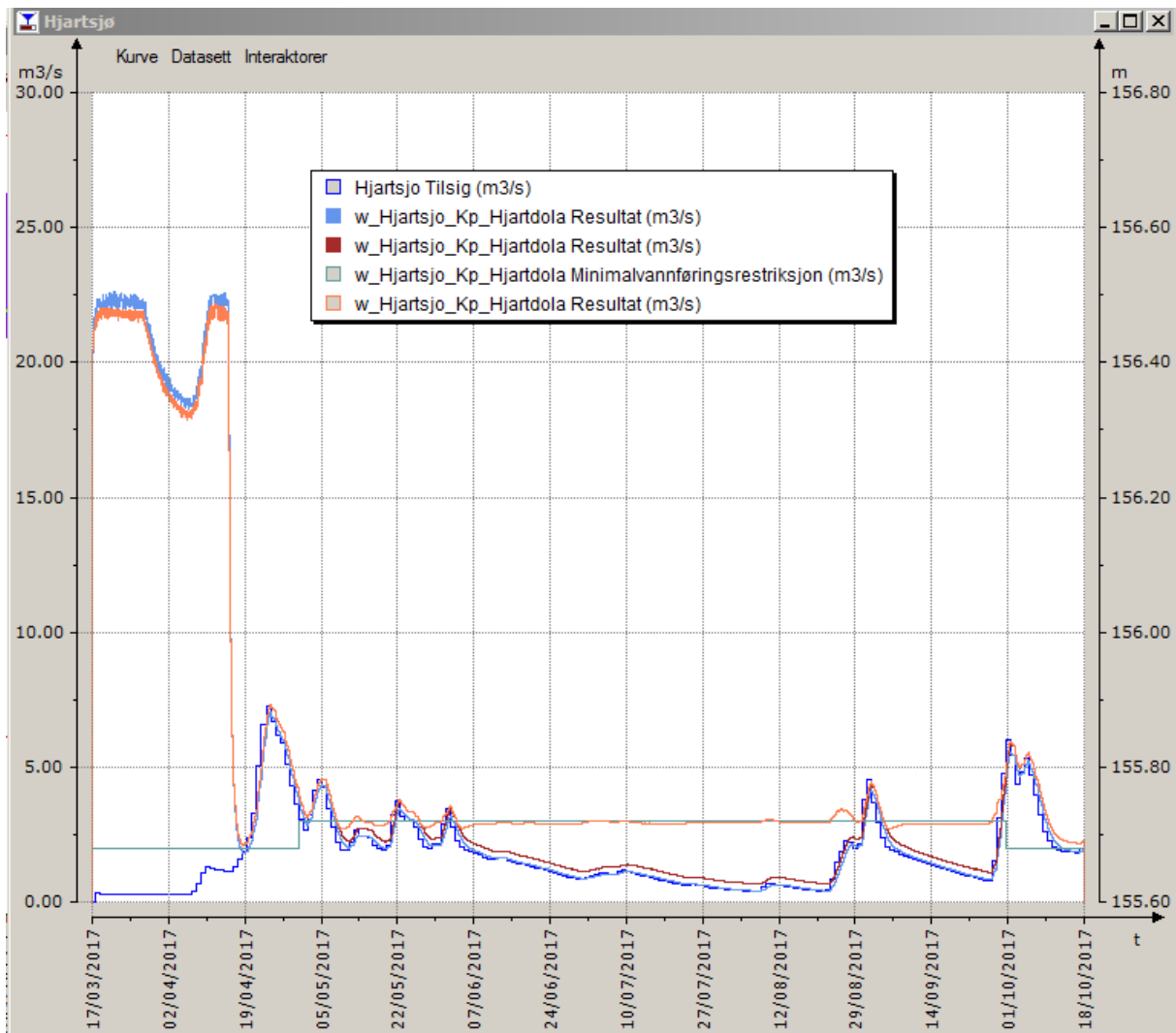


**Figur 27. Breidvatn med minstevassføringslipp på 0,4 m<sup>3</sup>/s 1.05. – 1.10. og etterfylling av Hjartsjå for å oppnå 3 m<sup>3</sup>/s Minstevassføring fra Hjartsjå med tilsig som i 1996**

### Hjartsjå regulert og uregulert tilsig og tapping ut av magasinet med tilsig som i 1996

Figur 28 viser vassføring ut av Hjartsjå på minimum 3,0 m<sup>3</sup>/s, hvorav bidraget fra Breidvatn og Skjessvatn er vist med rød kurve og lokaltilsiget til Hjartsjå er vist med blå kurve. Differansen mellom tilsiget og minstevassføring ut av Hjartsjå viser hvor mye som kreves av tapping fra Breidvatn og Skjessvatn for sikre tilstrekkelig minstevassføring ut av Hjartsjå.

Simuleringen viser at man i et tørt år som 1996 må tappe betydelig mengder vann fra Breidvatn for å sikre et minstevassføringslipp på 3,0 m<sup>3</sup>/s ut av Hjartsjå. Dette er ikke forenlig med ønskene om høye magasin vannstander i ovenforliggende magasiner.



**Figur 28. Simulert avrenning fra Hjartsjø med minstevassføringskrav i perioden fra 1.05. – 1.10. på 3 m<sup>3</sup>/s og 2 m<sup>3</sup>/s på vinteren med tilsig som i 1996.**

### Flom

Simuleringene viser at dersom man har oppfylling av magasinene i vår- og sommerhalvåret uten å tappe vann ut av systemet vil man risikere overløp og flom fra magasinene og forbi kraftverkene. Når man har tilsigsprognoser som viser risiko for flom er det viktig å ha mulighet for å senke Breidvatn under HRV-2,5m for å øke overføringskapasiteten i tunnelen mellom Bonsvatn og Breidvatn i forkant av et flomscenario.

Med foreslåtte restriksjoner vil flomtøpet øke tilsvarende 4 GWh i forhold til dagens disponering og regler. Med en kraftpris på 30 øre/kWh tilsvarer dette et tap på ca. 1,2 mill.kr

Dersom man ikke har lov til å tappe fra magasinene før og under snøsmeltingen, kan dette være uheldig for manøvreringen av magasinene i år med mye snø i feltene, og øker risikoen for flom i vassdraget.

### Kraftverkets egenskaper og leveringsmuligheter.

Hjartdøla kraftverk har peltonturbiner og kan kjøres med lav last og lite vannforbruk for å levere balanse- og systemtjenester. Kraftverket er derfor spesielt godt egnet til å levere balansetjenester for

å regulere frekvensen i kraftnettet. For utnyttelse av kraftverket til slike formål er det viktig at man ikke begrenser muligheten for overføring av vann fra ovenforliggende magasin.

Ved høy import av strøm kreves det regulering av nettet med kraftverkene i hvert leveringsområde. Hjartdøla er et viktig kraftverk for levering av balansetjenester og fleksibel produksjon i sommerhalvåret. Med de fyllingsrestriksjonene som er spilt inn for Hjartdøla-systemet vil det bety at Hjartdøla ikke lenger kan produsere balansetjenester til nettet i perioden 1.5. til 1.9 i tørre og mange normale tilsigsår. Dette vil både ha en kostnad for Hjartdøla kraftverk i form av tapte inntekter og økte priser i markedet ved at en aktør ikke kan bidra med leveranse av kraft og balansetjenester. Verdien av dette vil variere med tilgangen på vann, men som vi ser av kurvene som er gjennomgått vil perioden som det ikke kan produseres, variere fra 4 – 16 uker. Tapte inntekter av ikke å kunne levere balansetjenester vil henholdsvis bli på mellom 0,5 -1 mill. kr og 2 – 4 mill. kr i løpet av sommerhalvåret dette vil da variere med pris og antall timer man vil få leveranse i markedet.

## Oppsummering av scenarioene gitt av simuleringsresultatene

**Scenario 1** viser magasinutvikling i et år med normalt tilsig (2004) totalt for året, men året hadde en intens og tidlig vårflo som satte preg på magasinutviklingen. Simuleringene viser at man burde ha tappet vann ut av systemet slik at man minsker presset på magasiner med lavere reguleringsgrad før flommen. Dette året viser at tapping og produksjon i oppfyllingsperioden er viktig, og at en regel om ikke å tappe inntil man når en viss vannstand kan slå uheldig ut på magasinutvikling og flomrisiko.

**Scenario 2** viser magasinutvikling i et tørt år (1991). Simuleringene viser at tappebegrensninger som foreslått vil slå svært uheldig ut på magasinutviklingen. Dette gjelder spesielt Breidvatn som vil fylles seint opp hvis man ikke får tappe vann fra ovenforliggende magasin. Scenario 3, som viser magasinutvikling i året med lavest tilsig (1996) viser dette enda tydeligere.

**Scenario 2 og 3** viser konsekvensen av foreslåtte tapperegler i tørrår. Dette begrenser utnyttelse av kraften til balansemarkeder og resulterer i at en ikke får produsert fra Hjartdøla kraftverk gjennom hele sommeren. Restriksjonene er også svært uheldige for fyllingen i Breidvatn.

**Scenario 4** viser magasinutvikling i et år med høyt tilsig (1958). Simuleringene viser behovet for tapping av vann fra magasinene og gjennom kraftverkene i oppfyllingsperioden. Dette er nødvendig for å kunne være forberedt på evt. flom som kan oppstå, og for å kunne fordele flomrisikoen ved å overføre vann til Breidvatn. På den måten vil man hele tiden ha bedre kontroll på magasinutviklingen. Det vil også være viktig å ha muligheten til å kjøre ned Breidvatn for å få god overføringskapasitet i tunnelen mellom Bonsvatn og Breidvatn.

**Scenario 5** viser magasinutviklingen i året med lavest tilsig (1996) med slipp av minstevassføring tilsvarende 5-persentil sommer for tilhørende delfelt. Simuleringene viser at minstevassføringsslippen vil forsinke fyllingen av magasinene ytterligere, og da spesielt i Breidvatn. Denne effekten forsterkes med krav til minstevassføring ut av Hjartsjø.

I år med mye snø og høyt tilsig vil det være viktig å overføre vann til Breidvatn i oppfyllingsperioden, og produsere i Hjartdøla kraftverk tidlig i sesongen for å redusere flomrisikoen og vanntap i hele reguleringsområdet. Forslagene til magasinrestriksjoner vil gjøre en slik husholdning med ressursene

umulig. Da er det også viktig å senke vannstanden i Breidvatn under det foreslåtte kravet på HRV – 2,5 meter for å få økt kapasitet i overføringstunnelen, og tilstrekkelig demping i Breidvatn for å kunne kjøre gjennom vann fra de ovenforliggende magasinene. De foreslåtte magasinrestriksjonene vil hindre en slik forhåndstapping og gi større flomtap og økt potensiale for skadeflommer.

I år med lite snø og lavt tilsig er det også ønskelig å overføre vann til Breidvatn, både av hensyn til estetikk, og for utnyttelse i Hjartdøla kraftverk gjennom sommeren. Produksjon om sommeren er avgjørende for å kunne levere reguleringstjenester i balansemarkedet. De foreslåtte magasinrestriksjonene vil hindre denne type magasindisponeringer.