

# Konsekvenser av endret manøvrering av Fosser dam

Modellering av scenarioer

## Rapport nr 2-2012

# Konsekvenser av endret manøvrering av Fosser dam – Modellering av scenarier

**Oppdragsgiver:** Vannområdet Haldenvassdraget

**Forfatter:** Péter Borsányi

**Trykk:** NVEs hustrykkeri

**Opplag:** 1

**Forsidefoto:** Fosser dam (Foto: Péter Borsányi)

**Sammendrag:** Det er utført simuleringer som er basert på en historisk flomhendelse som skjedde vinteren 2007-2008. Simuleringene omfatter ulike begynnelsestilstander og fysiske endringer i utløpet til magasinet Bjørkelangen. Resultatene vises i forhold til LRV og HRV i hvert magasin og er sammenlignet med historiske målte verdier.

Studiet viser at det er ikke mange muligheter til å forbedre dagens situasjon gitt dagens regelverk, praksis og fysiske muligheter. Studiet viser imidlertid at en vesentlig endring i utløpet, samt en endring av manøvreringspraksis antagelig vil medføre færre oversvømmelser rundt Bjørkelangen. De faktiske mulighetene til å utføre slike tiltak er ikke undersøkt i denne rapporten.

**Emneord:** Regulering, Scenarier, Mike11, Haldenvassdraget, Hydraulisk modellering

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](http://www.nve.no)

Desember 2011

# Innhold

<b>Forord</b> .....	<b>4</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Innledning</b> .....	<b>6</b>
<b>2 Metoder</b> .....	<b>7</b>
2.1 Modellverktøyet .....	7
2.2 Scenarier .....	7
2.2.1 Scenario 1 .....	7
2.2.2 Scenario 2 .....	8
2.2.3 Scenario 3 .....	8
2.2.4 Scenario 4 .....	8
2.3 Simuleringsperiode .....	8
2.4 Referansemålinger.....	10
<b>3 Resultater</b> .....	<b>11</b>
3.1 Forbedring av modellverktøyet.....	11
3.2 Scenariokjøringer.....	14
3.2.1 Bjørkelangen .....	15
3.2.2 Øgderen.....	16
3.2.3 Aspern og Ara.....	17
3.2.4 Scenario 1 .....	18
3.2.5 Scenario 2 .....	21
3.2.6 Scenario 3 .....	25
3.2.7 Scenario 4 .....	28
3.3 Vurdering .....	31
3.3.1 Enkelte magasiner .....	31
3.3.1.1 Bjørkelangen .....	31
3.3.1.2 Øgderen.....	32
3.3.1.3 Aspern og Ara .....	32
3.3.2 Enkelte scenarier.....	32
3.3.2.1 Scenario 1 .....	32
3.3.2.2 Scenario 2 .....	33
3.3.2.3 Scenario 3 .....	33
3.3.2.4 Scenario 4 .....	33
3.4 Konklusjon .....	33
<b>4 Vedlegg</b> .....	<b>34</b>
4.1 Justerte vannføringskurver ved alle magasiner .....	34
4.1.1 Hemnes dam .....	34
4.1.2 Fosser dam.....	35
4.1.3 Kolstadfoss dam .....	36
4.1.4 Ørje dam.....	37
4.1.5 Strømsfoss dam .....	38
4.1.6 Brekke dam .....	39
4.1.7 Svanedam .....	40
4.1.8 Store Erte dam .....	41
4.1.9 Bøen dam.....	42
4.2 Endrede vannføringskurver ved Fosser dam i Scenario 3 .....	43
4.3 Tidligere rapport.....	44

# Forord

På oppdrag for Vannområdet Haldenvassdraget har NVE, Hydrologisk avdeling, utført kjøring av ulike scenarioer ved hjelp av en tidligere utviklet vassdragsmodell for hele Haldenvassdraget med fokus på de største magasiner.

Undersøkelsene har omfattet forbedringer av modellverktøyet og kjøring av simuleringer for ulike scenarioer. Utløpet til Bjørkelangen ved Fosser dam var i hovedfokus.

Arbeidet er blitt utført i perioden september 2011 – desember 2011 .

Péter Borsányi har vært ansvarlig for oppdraget fra NVEs side, i tillegg har Paul Christen Røhr, Tharan Fergus (kvalitetskontroll) og Thomas Væringstad (tilsigmodell) arbeidet på prosjektet.

Oslo, desember 2011



Sverre Husebye  
seksjonssjef



Péter Borsányi  
forsker, prosjektleder

# Sammendrag

Det er utført simuleringer som er basert på en historisk flomhendelse som skjedde vinteren 2007-2008. Simuleringene omfatter ulike begynnelsestilstander og fysiske endringer i utløpet til magasinet Bjørkelangen. Resultatene vises i forhold til LRV og HRV i hvert magasin og er sammenlignet med historiske målte verdier.

Studiet viser at det er ikke mange muligheter til å forbedre dagens situasjon gitt dagens regelverk, praksis og fysiske muligheter. Studiet viser imidlertid at en vesentlig endring i utløpet, samt en endring av manøvreringspraksis antagelig vil medføre færre oversvømmelser rundt Bjørkelangen. De faktiske mulighetene til å utføre slike tiltak er ikke undersøkt i denne rapporten.

# 1 Innledning

Vannområdeutvalget Haldenvassdraget ba NVE Hydrologisk avdeling, om å utføre en studie ved hjelp av et tidligere utviklet modellverktøy til å vurdere konsekvensene ved ulike scenarioer. Scenarioene omfatter ulike hydrologiske forhold og tiltak ved Fosser dam, som er utløpet til Bjørkelangen i Haldenvassdraget. Konsekvensene er vurdert basert på utviklingen av magasin vannstander over en begrenset tidsperiode (ca. 2 måneder) i magasinene i modellen.

## 2 Metoder

### 2.1 Modellverktøyet

En forbedret versjon av modellen som tidligere er utviklet av NVE, ble tatt i bruk. Forbedringen besto i tilpassning av utløpskurver til historiske målte verdier (etterkalibrering), men det ble ikke utført fysiske målinger i tillegg. Utløpskurvene i magasiner kan derfor fremdeles være noe unøyaktige eller være i uoverenstemmelse med ulike datakilder. Se 4.1 pcr for detaljer.

Modellen er utviklet i Mike11 verktøyet i form av en endimensjonal hydraulisk datamodell. Modellen består hovedsaklig av tverrprofiler, deres absolutte høyde, utløpsgeometri fra magasiner, manøvreringsregler, hydraulisk ruhet, tilsiget, vannstand og vannføring ved oppstarten. Tilsiget er gitt som en tidsserie for hvert magasin og viktige sidevassdrag i simuleringperioden. Modellen beregner vannlinjer ved alle tverrprofiler men siden utviklingen er fokusert på magasiner, har vannlinjene utenfor magasiner større usikkerhet. Dette skyldes blant annet beskrivelsen til geometrien som stort sett mangler utenfor magasinene.

Manøvreringsreglene er noe forenklet, og er bygget opp som et enkelt hierarkisk system av regler. Logikken er et enkelt valg mellom reglene. Er forutsetningen til første regelen oppfylt, så gjelder regel nr. 1. Hvis ikke, så sjekkes regel nr. 2, osv. I praksis ser denne slik ut:

For hvert tidspunkt i simuleringen, sammenligner modellen vannstanden i hvert magasin med HRV og LRV. Avhengig av denne relasjonen, velger modellen en forhåndsdefinert vannføringskurve, som tilsvarer enten lukkede luker, åpne luker eller en erfaringsbasert utløpsfunksjon som gjelder utenfor flom og tørkeperioder.

1. Er vannstanden over HRV, brukes vannføringskurve med åpne luker.
2. Er vannstander under LRV, brukes vannføringskurver med lukkede luker.
3. Ellers brukes den erfaringsbaserte kurven.

Det er viktig å påpeke at modellen ikke tar hensyn til forventede eller fremtidige (i forhold til simuleringstidspunkt) tilsigsverdier. Det vil si at i hvert tidspunkt i simuleringen vil vannstandene i det foregående tidstrinnet bestemme hvilke regel brukes ved dammene. Det betyr at den aktuelle versjonen av modellen bruker samme logikk både i en flom- eller tørkesituasjon. Modellen kan ikke ta hensyn til andre faktorer som i virkeligheten ellers vil påvirke manøvreringen, for eksempel meteorologiske prognoser.

### 2.2 Scenarier

Det er testet fire scenarier, hver for ulike formål. Bort sett fra de spesielle endringene beskrevet nedenfor, er modellen satt opp og kjørt som tidligere, med noen forbedringer i forhold til tidligere levert versjon. Se også kapittelet Forbedring av modellverktøyet.

#### 2.2.1 Scenario 1

Vannstander i alle magasiner ved begynnelsen av flomhendelsen er omtrent på LRV, inklusive Bjørkelangen. Dette scenarioet forutsetter at Bjørkelangen holdes uvanlig lavt før flommen kommer. Ut fra erfaring er dette lite sannsynlig. Formålet til dette scenarioet er å undersøke om en slik endring i reguleringsrutiner vil forbedre situasjonen rundt Bjørkelangen.

### **2.2.2 Scenario 2**

Vannstander i alle magasiner ved begynnelsen av flomhendelsen er omtrent på LRV bortsett fra Bjørkelangen, som ligger på LRV + 1 m. Dette scenarioet likner mest på dagens tilstand. Ut fra erfaring er det kjent at Bjørkelangen ikke senkes på LRV før flommen kommer. Formålet til dette scenarioet er derfor å undersøke om en vanlig tilstand nødvendigvis vil forårsake at vannet stiger over HRV som i følge av modellens reguleringslogikk.

### **2.2.3 Scenario 3**

Vannstander i alle magasiner ved begynnelsen av flomhendelsen er omtrent på LRV. Bjørkelangen har både 1 m lavere LRV og HRV i forhold til dagens regulering, og senket terskler slik at vannføringskurven som gjelder er 1 m lavere enn i dag. Dette scenarioet forutsetter både fysiske tiltak ved Fosser dam og endringer i reguleringen. Formålet er å undersøke om dette vil medføre vesentlige endringer i vannstandsvariasjonen rundt Bjørkelangen og andre magasiner i forhold til scenario 2.

### **2.2.4 Scenario 4**

Vannstander i alle magasiner ved begynnelsen av flomhendelsen er omtrent på HRV, altså fulle magasiner. Denne hendelsen har lav sannsynlighet. Formålet til dette scenarioet er å undersøke om en slik situasjon vil medføre noe vesentlige endringer i forhold til andre scenarioer.

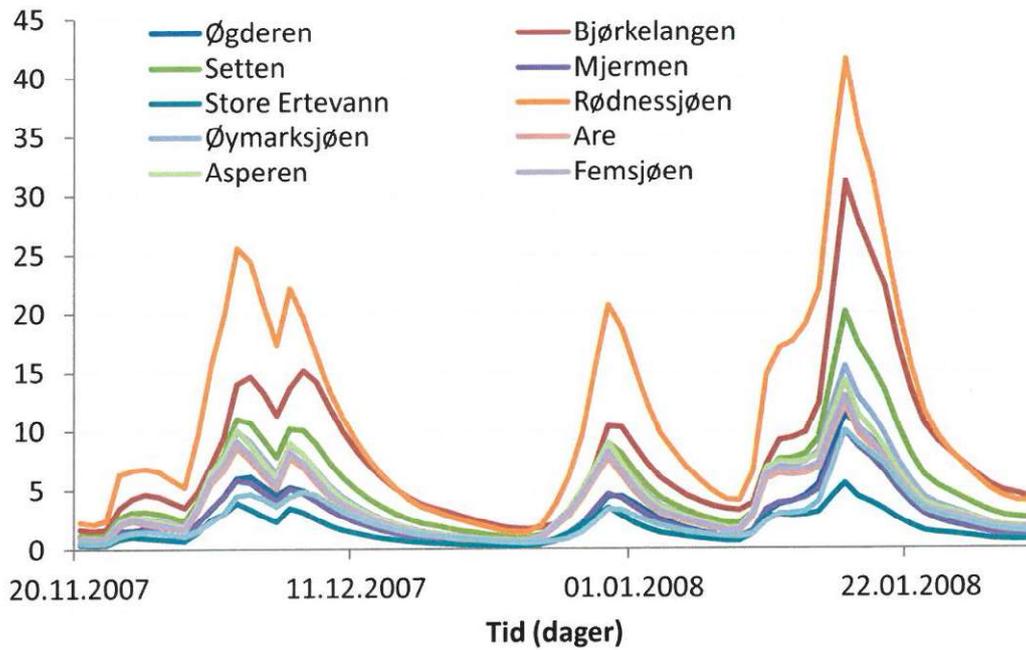
## **2.3 Simuleringsperiode**

Det er simulert en historisk flomhendelse fra 21.11.2007 til 31.01.2008. Figur 1 viser tilsigsseriene som er benyttet i simuleringen. Tilsiget i denne sammenheng forstås som uregulert overflatevann som samles fra deler av nedbørsfeltet ved utvalgte punkter. Figur 2 viser samme data men akkumulert, slik at verdiene viser totaltilsiget til hele vassdraget.

Tilsigsserier til magasinene er en av de viktigste inndataene som må beregnes på forhånd. Det foreligger ikke noe informasjon eller målinger av tilsiget fra perioden og det er derfor benyttet en tilsigsmodell. Tilsigsmodellen beregner tilsiget til magasinene og fra de største sidevassdragene, basert på målinger ved NVEs målestasjoner i vassdrag utenfor Haldenvassdraget. Øvrige detaljer om tilsigsmodellen kan leses i forrige rapport i prosjektet (NVE 200901304-4).

Tilsg delfelt  
(m<sup>3</sup>/s)

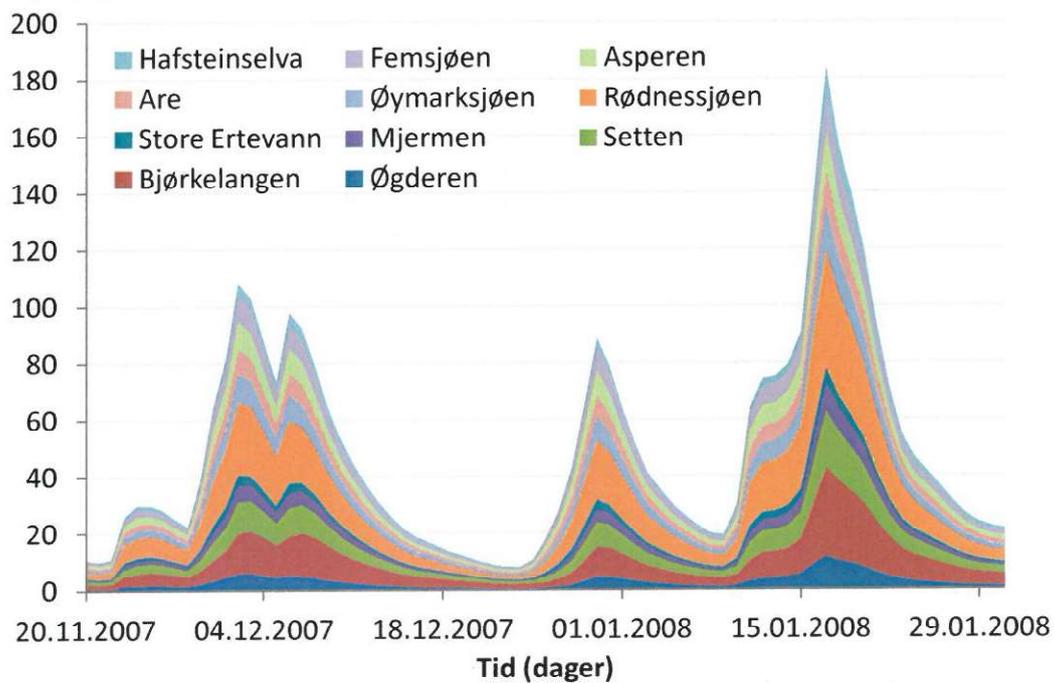
## Enkelte tilsigsserier til magasinmodellen



Figur 1: Tilsigsserier som er brukt i magasinmodellen for hvert delfelt

Totaltilsg  
(m<sup>3</sup>/s)

## Akkumulerte tilsiget til magasinmodellen



Figur 2: Akkumulerte tilsigsserier som er brukt i magasinmodellen

## 2.4 Referansemålinger

Det foreligger rapporterte daglige vannstandsverdier for hvert magasin enten i NN1954 høydesystemet eller i meter over LRV. Vannstanden steg over HRV i perioden. Tabell 1 viser et sammendrag av variasjonene.

Tabell 1: Målte vannstander (referanser) fra simuleringsperiode og manøvreringsgrenser i m (NN1954)

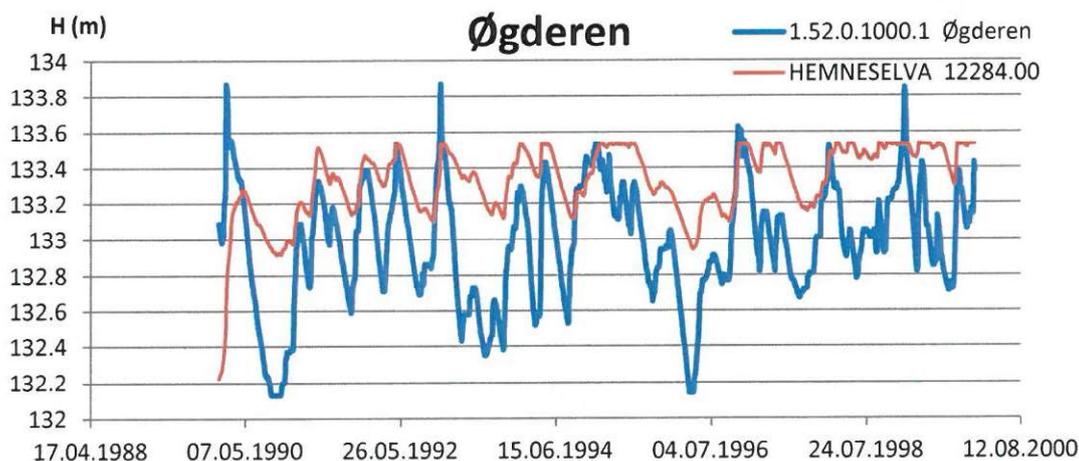
parameter	Bjørkelangen	Rødenessjøen	Øymarksjø	Aspern og Ara	Femsjø	Setten	Mjermen	Øgderen	Store Erte
min	123.73	117.93	107.97	105.20	78.75	167.13	164.90	132.89	108.09
maks	124.95	119.45	109.14	106.21	79.43	167.92	165.18	133.83	108.54
LRV	122.67	117.29	107.36	104.24	78.30	165.40	163.84	132.13	104.96
HRV	123.23	118.23	108.36	105.87	79.30	167.49	164.97	133.53	108.96

## 3 Resultater

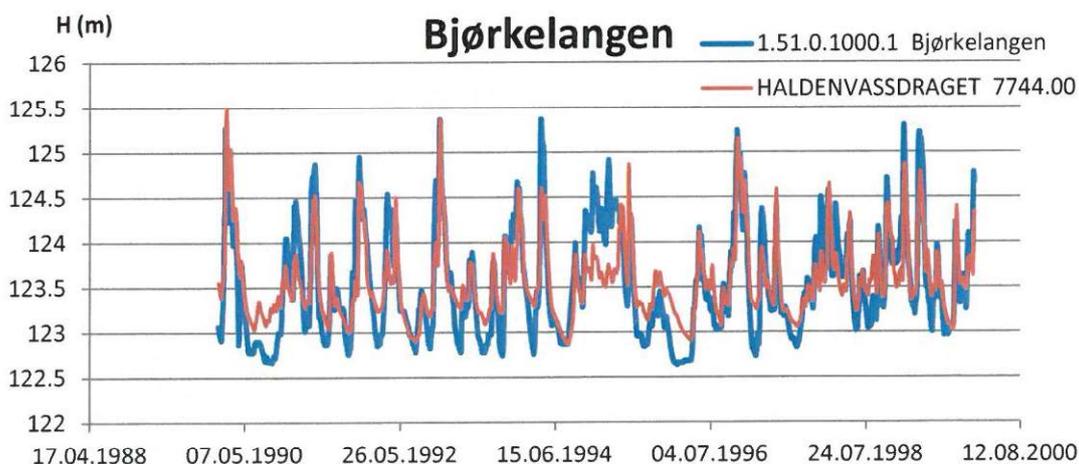
### 3.1 Forbedring av modellverktøyet

Det var en del unøyaktigheter i den opprinnelige modellversjonen på grunn av uoverensstemmelser mellom ulike datakilder. Disse ble betraktet noe mer pragmatisk i gjeldende versjon ved å se bort fra kildene som er vurderte som mest usikre. I praksis betyr denne "pragmatisk tilpasning" forandringen av vannføringskurver ved utløpene til magasiner. Samtidig gjenstår det en del usikkerhet som kan ikke fjernes, som for eksempel unøyaktigheten knyttet til tilsigsmodellen.

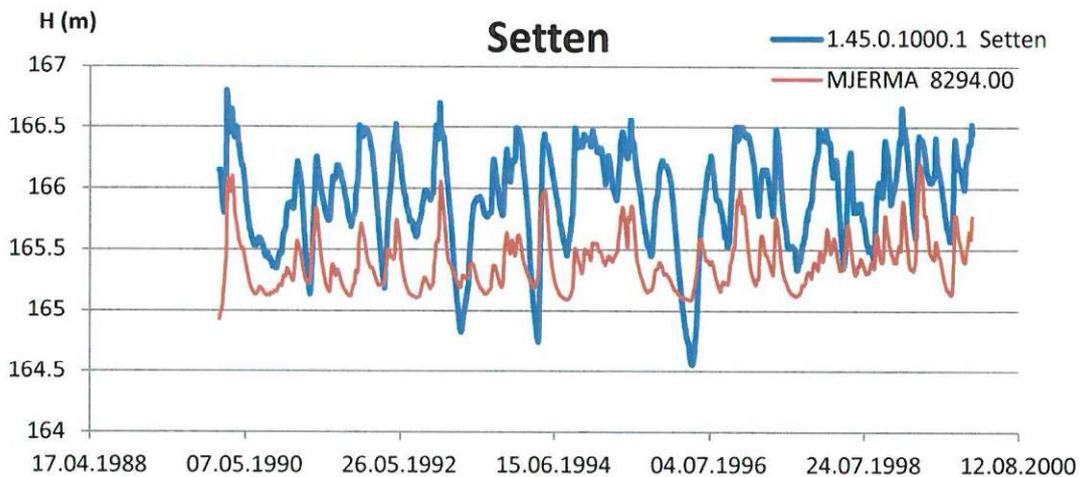
Simuleringsperioden for sammenligning var fra 1990 til 1999. Figur 3 til Figur 11 viser simulerte og målte vannstandsverdier for hvert magasin i vassdraget over 10-års perioden 1990-1999 etter at endringene ble satt inn i modellen. Se også kapittel 4.3.



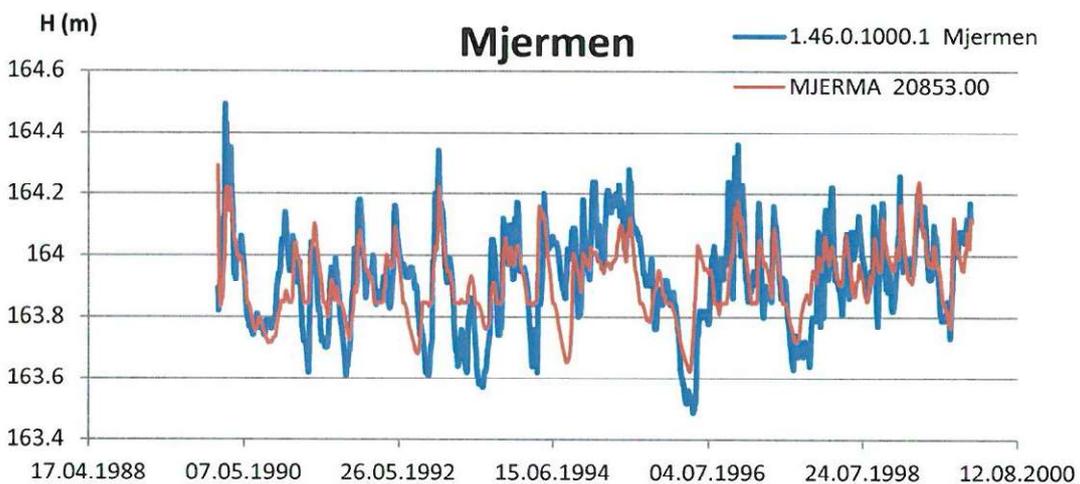
Figur 3: Simulerte og målte vannstander i Øgderen - modellversjon 2. Blå linje viser målinger. Rød linje viser simulerte vannstander med justerte vannføringskurver



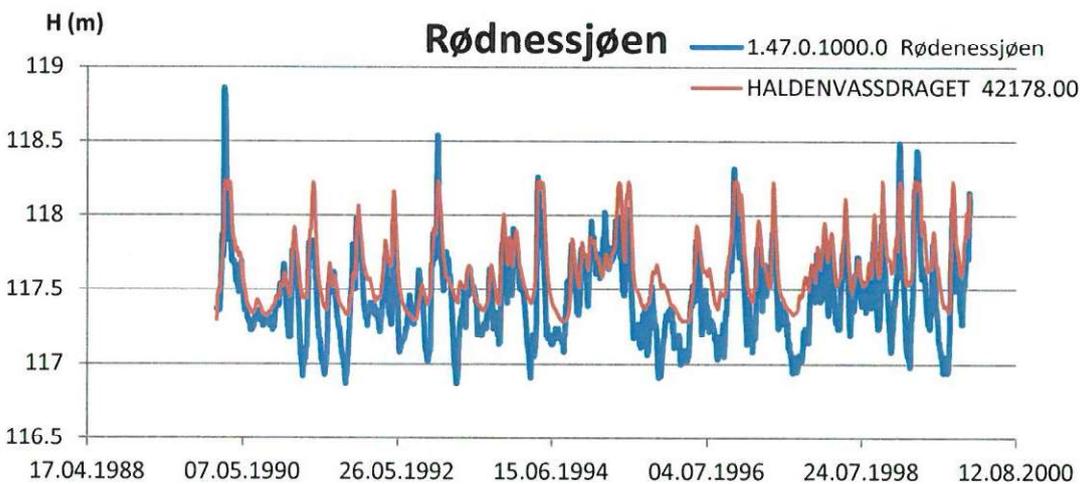
Figur 4: Simulerte og målte vannstander i Bjørkelangen - modellversjon 2. Blå linje viser målinger. Rød linje viser simulerte vannstander med justerte vannføringskurver



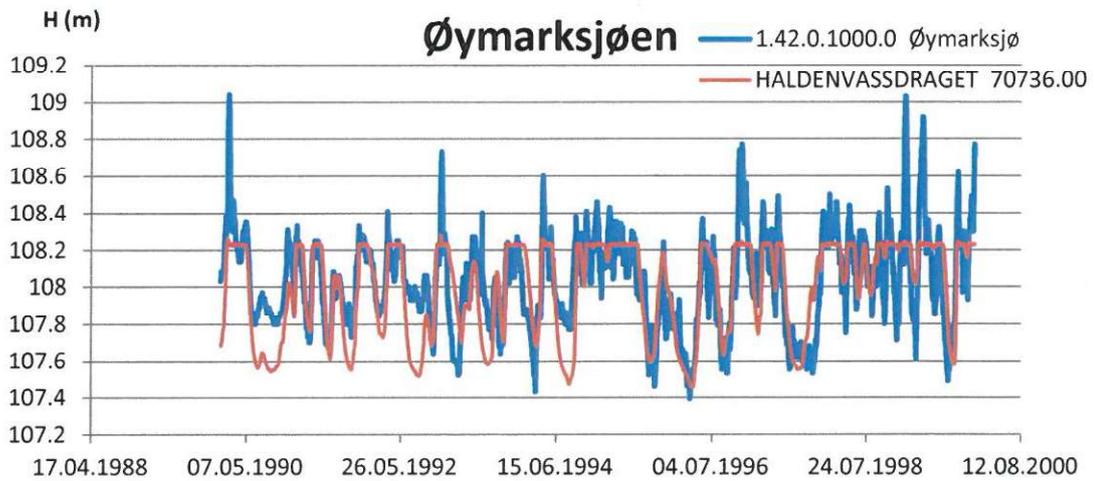
Figur 5: Simulerte og målte vannstander i Setten - modellversjon 2 Blå linje viser målinger. Rød linje viser simulerte vannstander med justerte vannføringskurver



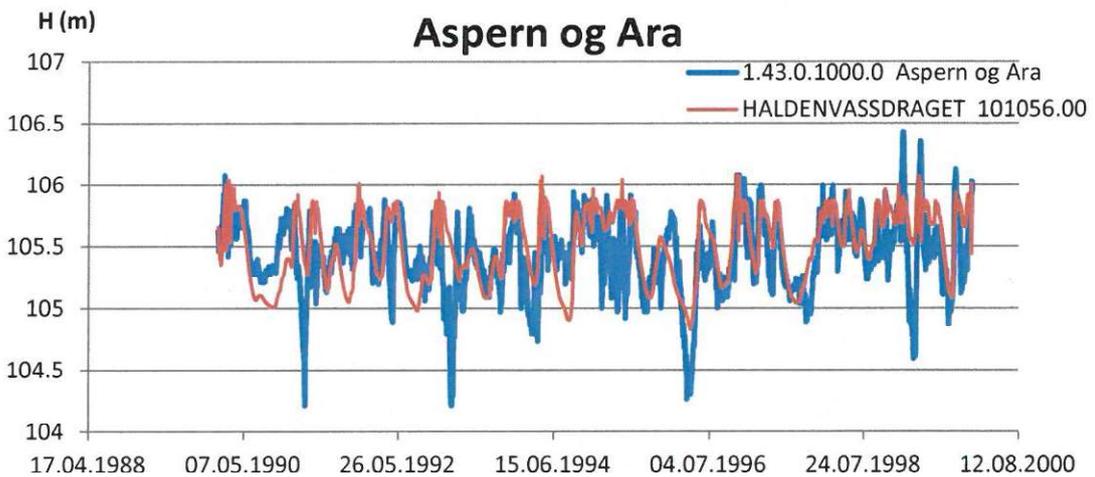
Figur 6: Simulerte og målte vannstander i Mjermen - modellversjon 2 Blå linje viser målinger. Rød linje viser simulerte vannstander med justerte vannføringskurver



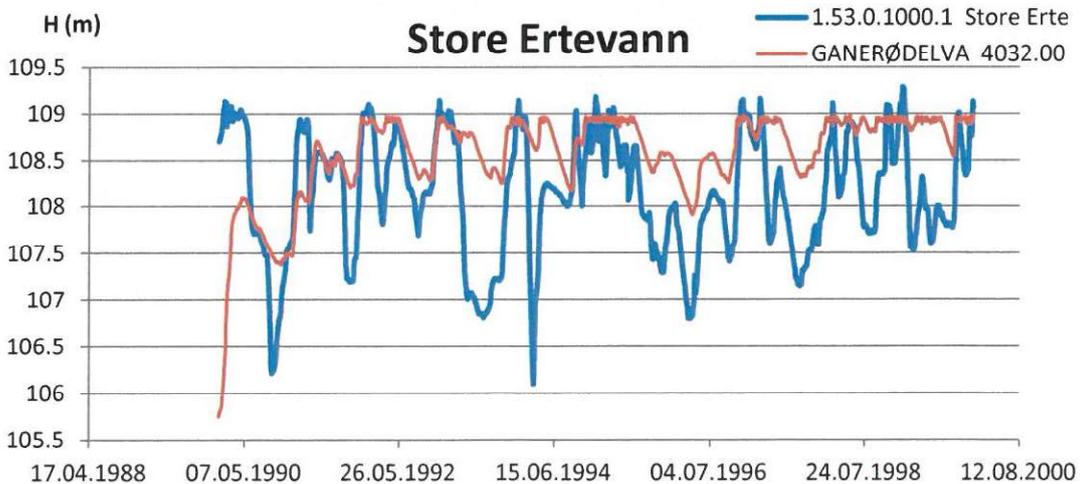
Figur 7: Simulerte og målte vannstander i Rødnessjøen - modellversjon 2 Blå linje viser målinger. Rød linje viser simulerte vannstander med justerte vannføringskurver



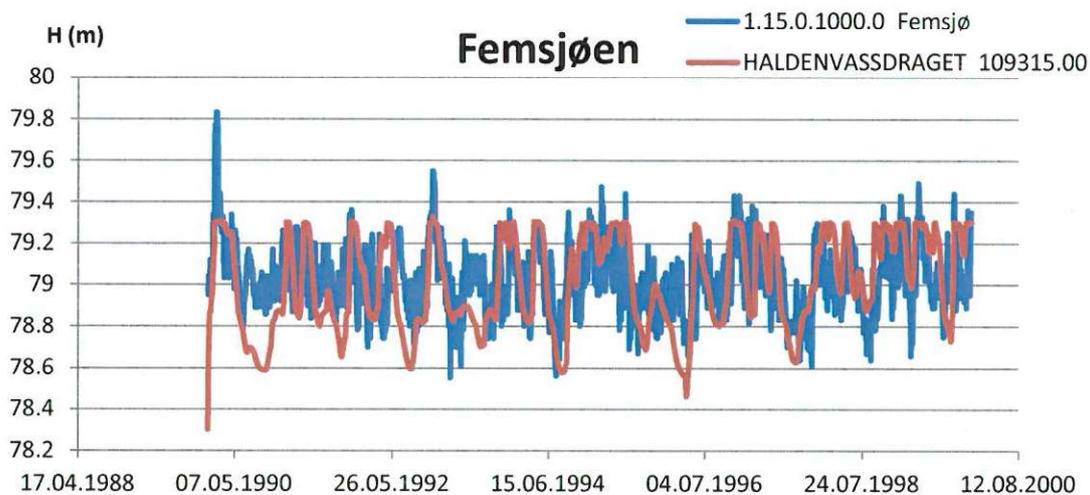
Figur 8: Simulerte og målte vannstander i Øymarksjøen - modellversjon 2 Blå linje viser målinger. Rød linje viser simulerte vannstander med justerte vannføringskurver



Figur 9: Simulerte og målte vannstander i Aspern og Ara - modellversjon 2 Blå linje viser målinger. Rød linje viser simulerte vannstander med justerte vannføringskurver



Figur 10: Simulerte og målte vannstander i Store ertevann - modellversjon 2 Blå linje viser målinger. Rød linje viser simulerte vannstander med justerte vannføringskurver



Figur 11: Simulerte og målte vannstander i Femsjøen - modellversjon 2 Blå linje viser målinger. Rød linje viser simulerte vannstander med justerte vannføringskurver

### 3.2 Scenariokjøringer

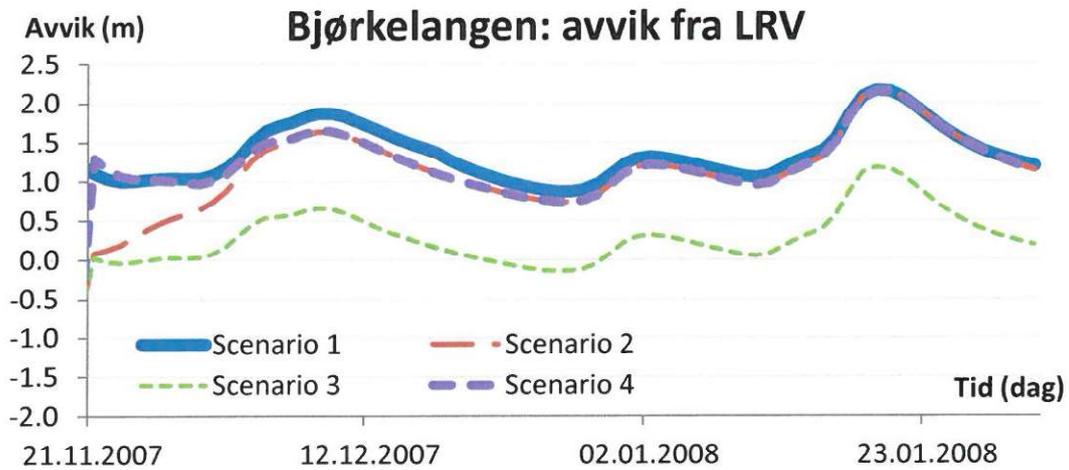
Resultatene fra scenariokjøringer vises som kurver i simuleringsperioden for hvert magasin i forhold til LRV, HRV og målte (historiske) verdier. For enkelte utvalgte magasiner (Bjørkelangen, Øgderen, Aspern og Ara) er det laget figurer for å sammenligne effekten til scenarioene. Ellers vises resultatene for hvert scenario i tre grupper for bedre oversikt.

Sammenligning med LRV viser verdi "0" hvis simulert vannstand er lik LRV, "+1" hvis simulert vannstand er 1 m over LRV og "-1" hvis simulert vannstand er 1 m under LRV. Kurvene viser hvordan vannstanden øker i tid over de laveste tillatte nivåer.

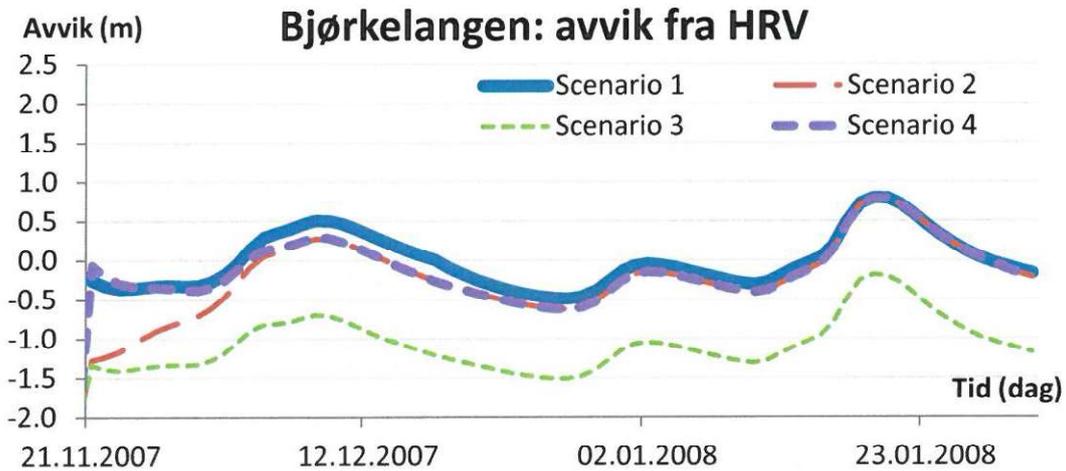
Sammenligning med HRV viser verdi "0" hvis simulert vannstand er lik HRV, "+1" hvis simulert vannstand er 1 m over HRV og "-1" hvis simulert vannstand er 1 m under HRV. Kurvene viser hvordan vannstanden i tid kommer nært opptil og overstiger de største tillatte nivåer.

Sammenligning med målte verdier viser verdi "0" hvis simulert vannstand er lik målinger, "+1" hvis simulert vannstand er 1 m over og "-1" hvis simulert vannstand er 1 m under målte verdier. Kurvene viser hvor mye den faktiske reguleringspraksis avviker fra modellens logikk.

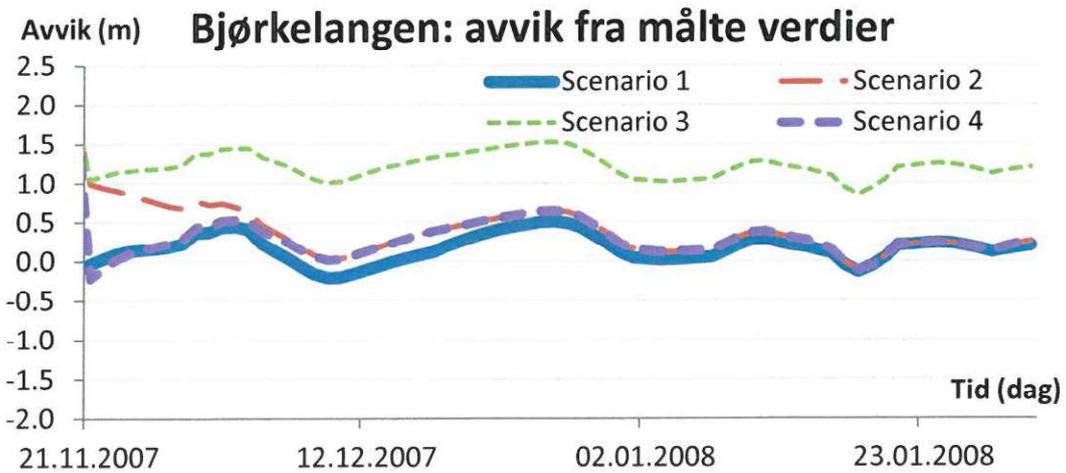
### 3.2.1 Bjørkelangen



Figur 12: Avvik mellom simulerte verdier og LRV ved Bjørkelangen

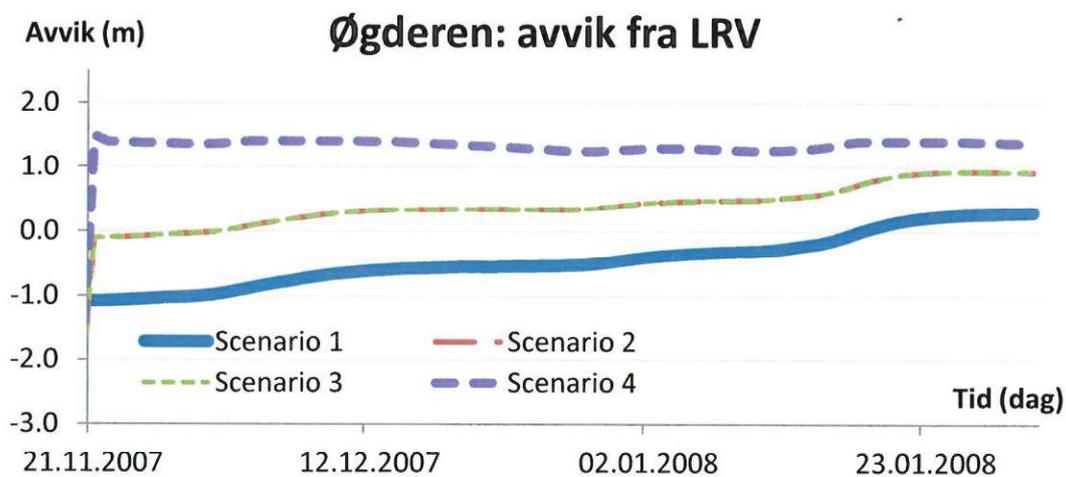


Figur 13: Avvik mellom simulerte verdier og HRV ved Bjørkelangen

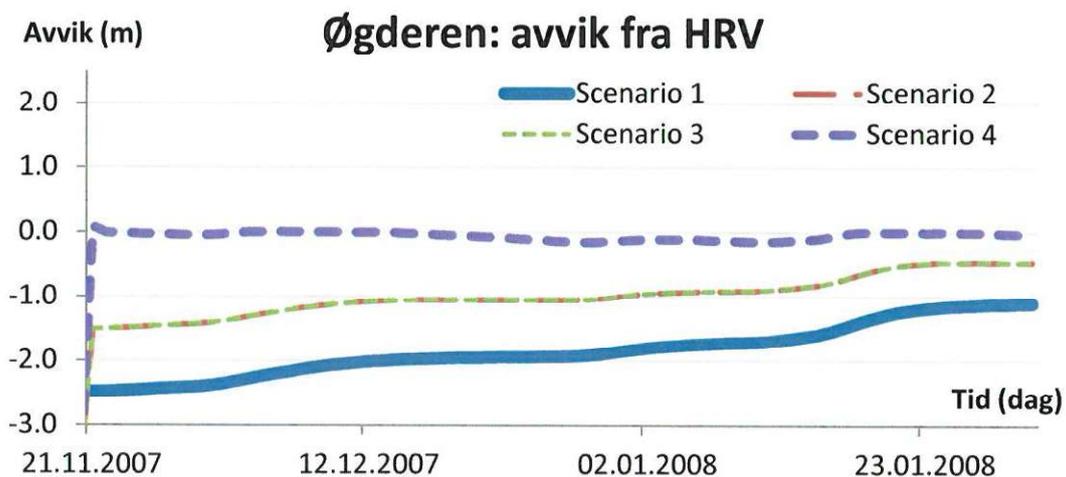


Figur 14: Avvik mellom simulerte verdier og historiske målte verdier ved Bjørkelangen

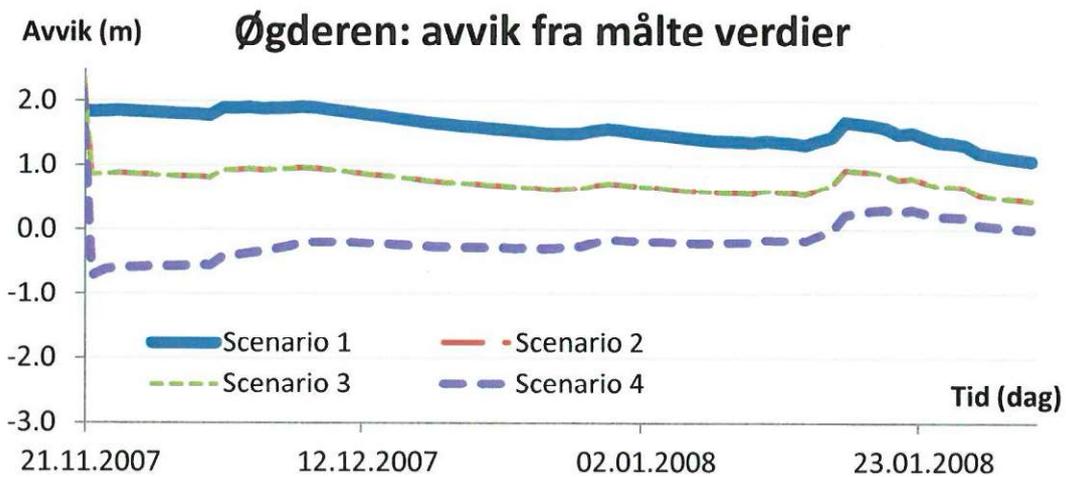
### 3.2.2 Øgderen



Figur 15: Avvik mellom simulerte verdier og LRV ved Øgderen

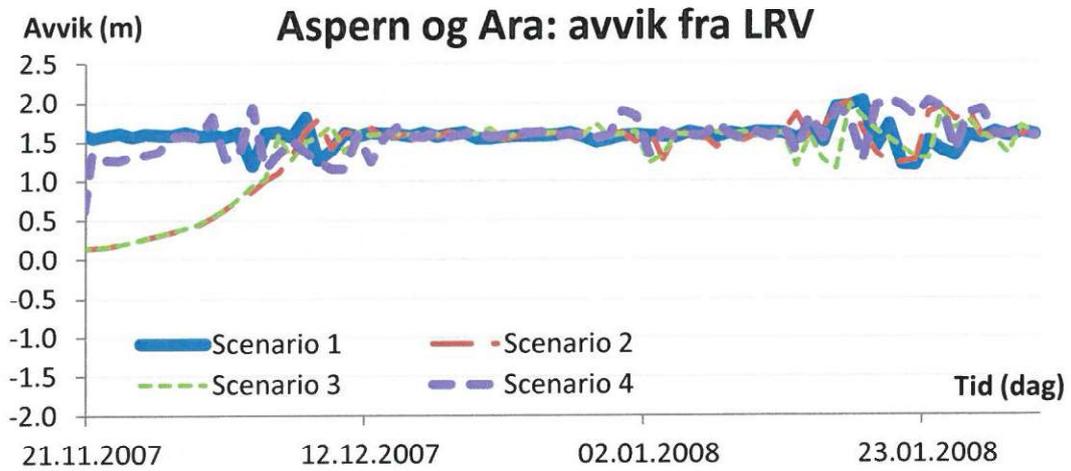


Figur 16: Avvik mellom simulerte verdier og HRV ved Øgderen

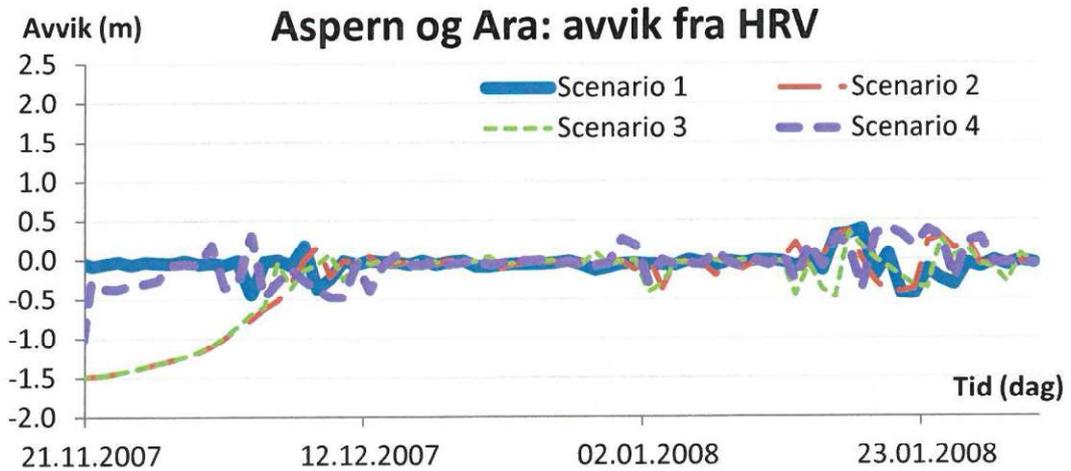


Figur 17: Avvik mellom simulerte verdier og historiske målte verdier ved Øgderen

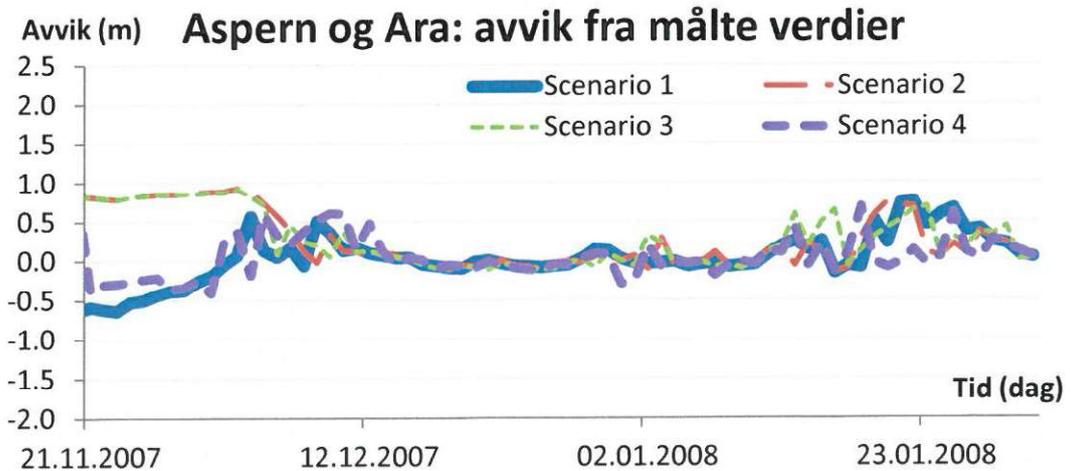
### 3.2.3 Aspern og Ara



Figur 18 Avvik mellom simulerte verdier og LRV ved Aspern og Ara

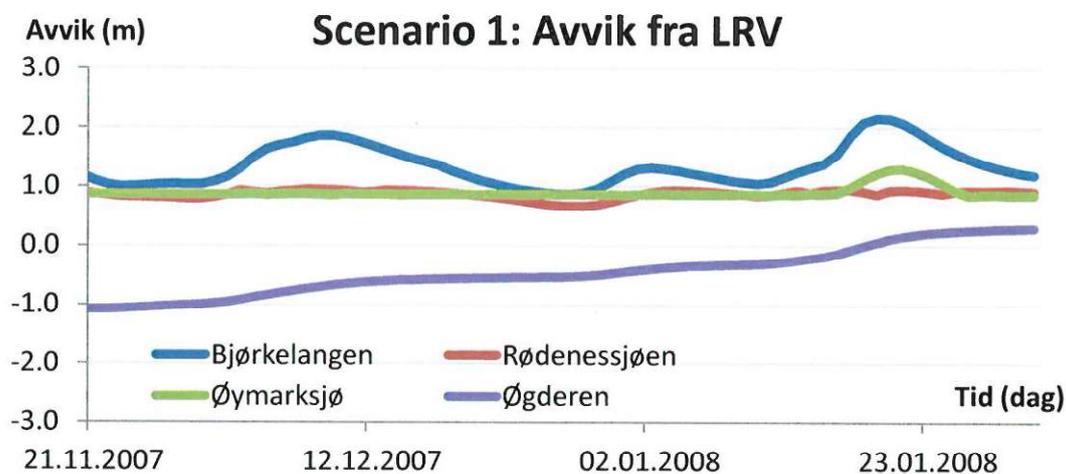


Figur 19: Avvik mellom simulerte verdier og HRV ved Aspern og Ara

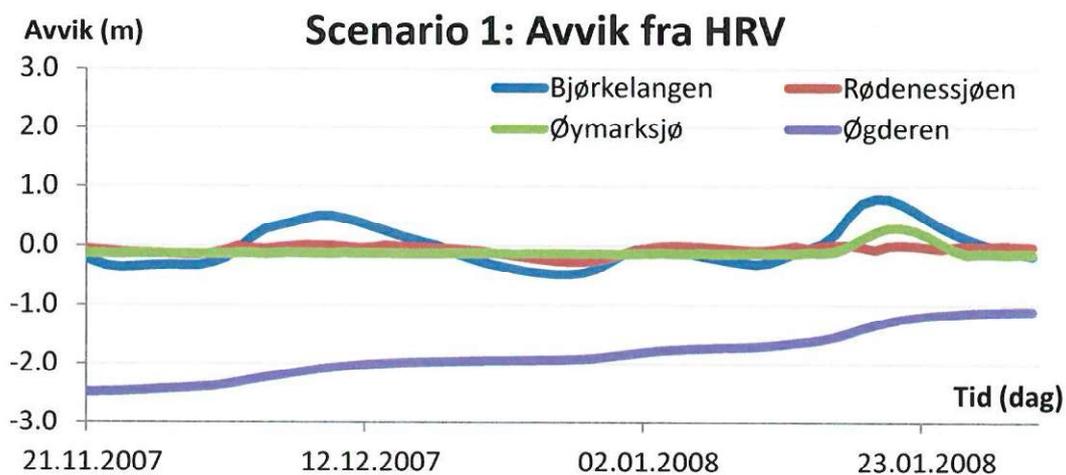


Figur 20 Avvik mellom simulerte verdier og historiske målte verdier ved Aspern og Ara

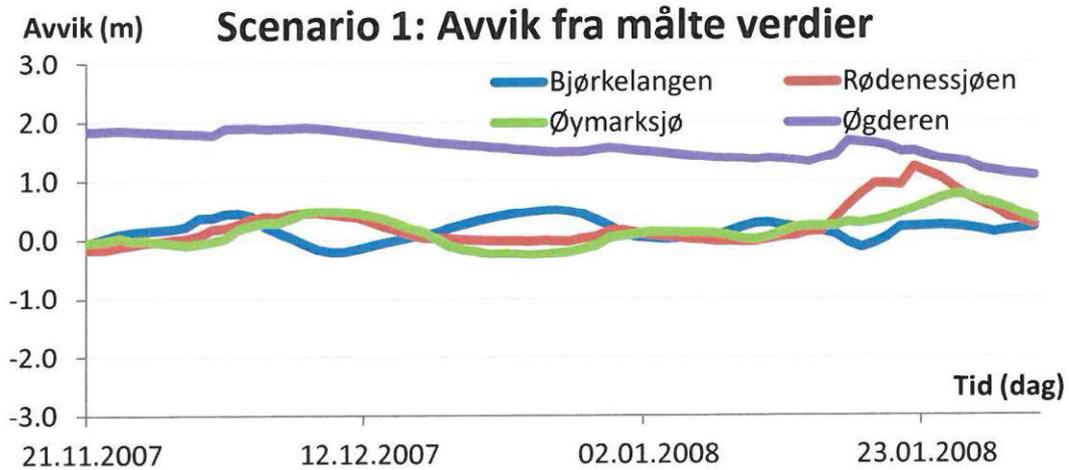
### 3.2.4 Scenario 1



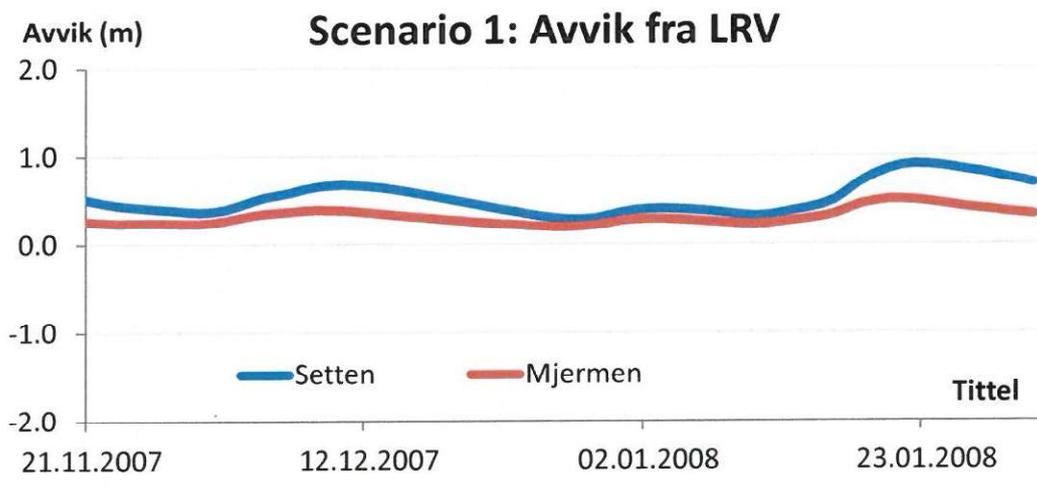
Figur 21: Scenario 1, vannstandsvariasjon i forhold til LRV ved Øgderen, Bjørkelangen, Rødenessjøen og Øymarksjøen



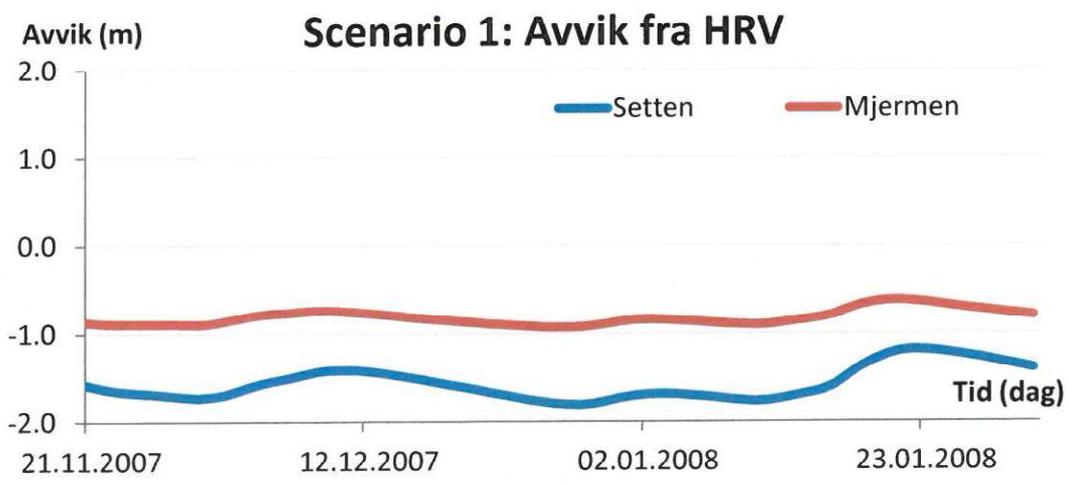
Figur 22: Scenario 1, vannstandsvariasjon i forhold til HRV ved Øgderen, Bjørkelangen, Rødenessjøen og Øymarksjøen



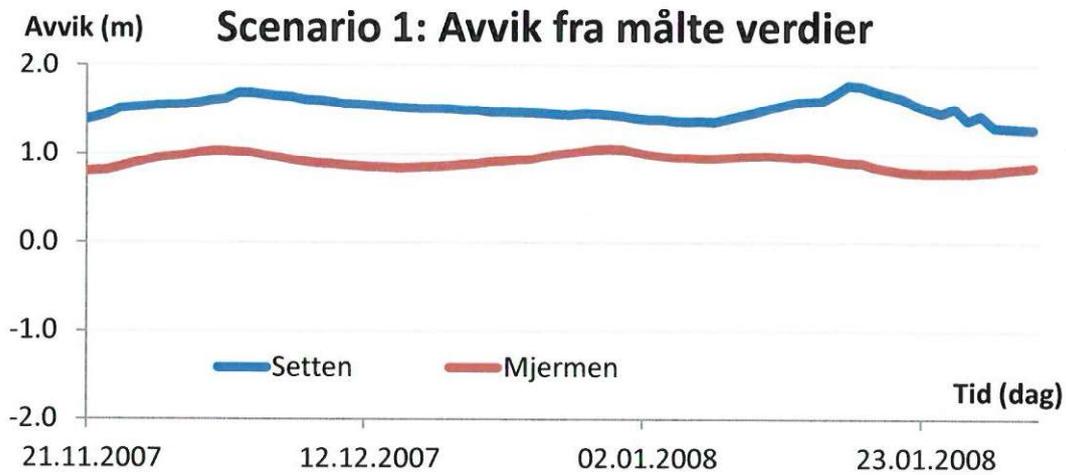
Figur 23: Scenario 1, vannstandsvariasjon i forhold til historiske målte verdier ved Øgderen, Bjørkelangen, Rødenessjøen og Øymarksjøen



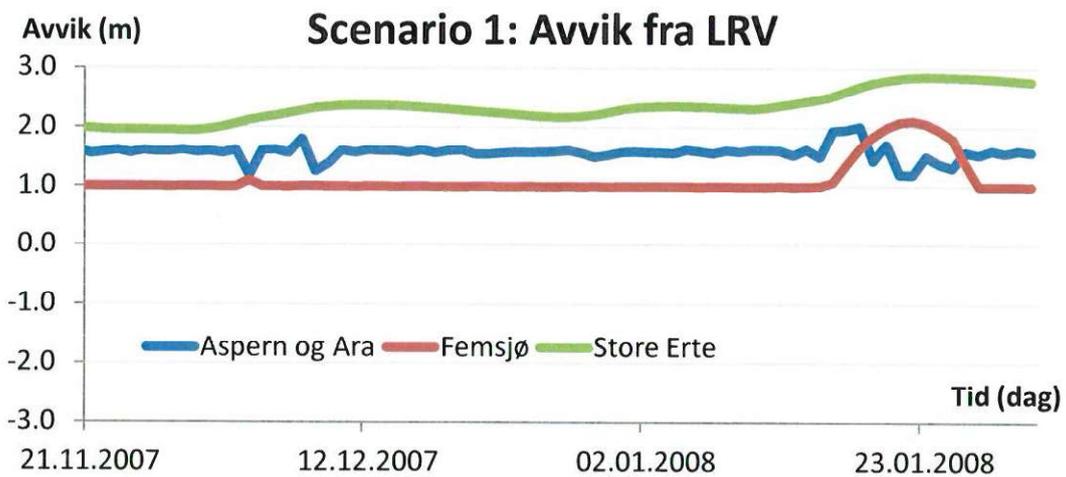
Figur 24: Scenario 1, vannstandsvariasjon i forhold til LRV ved Setten og Mjermen



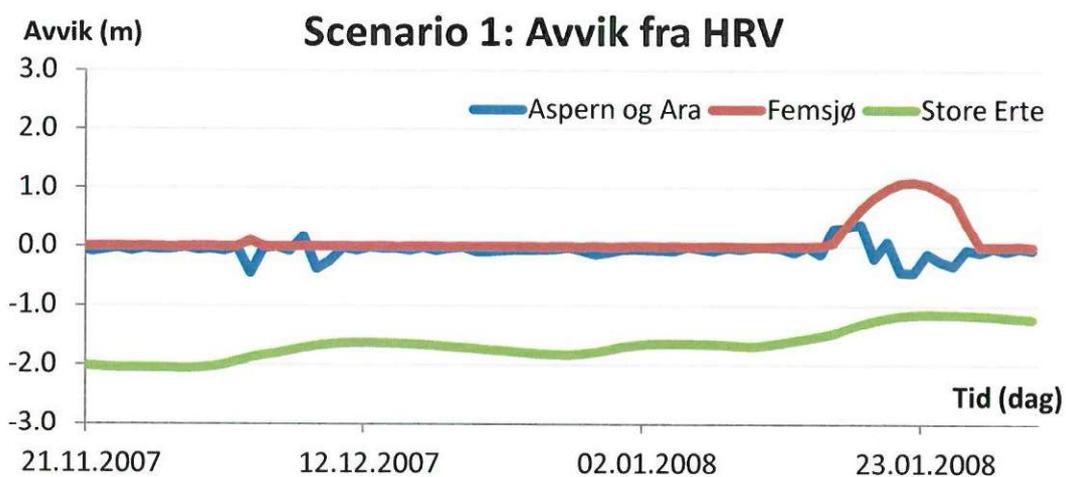
Figur 25: Scenario 1, vannstandsvariasjon i forhold til HRV ved Setten og Mjermen



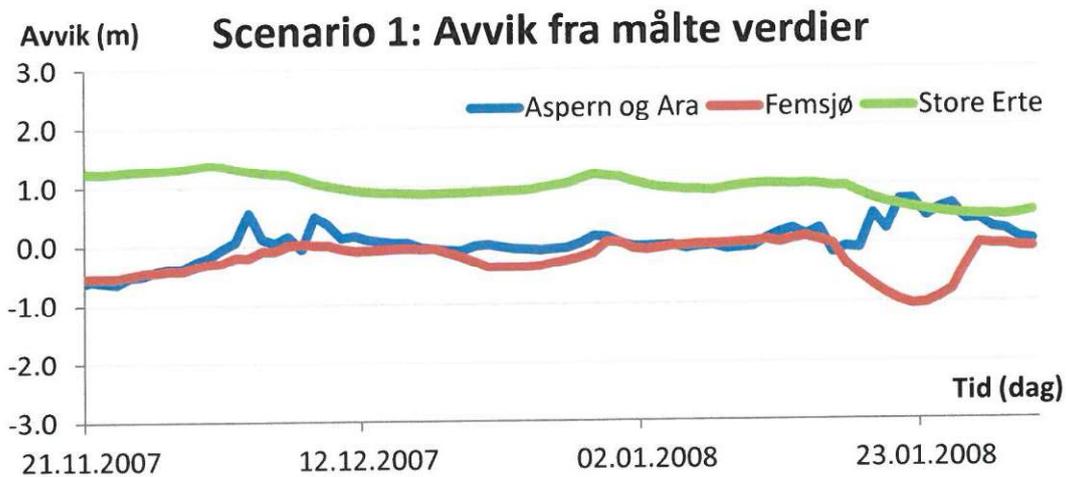
Figur 26: Scenario 1, vannstandsvariasjon i forhold til historiske målte verdier ved Setten og Mjermen



Figur 27: Scenario 1, vannstandsvariasjon i forhold til LRV ved Aspern og Ara, Femsjøen og Store Erte vann

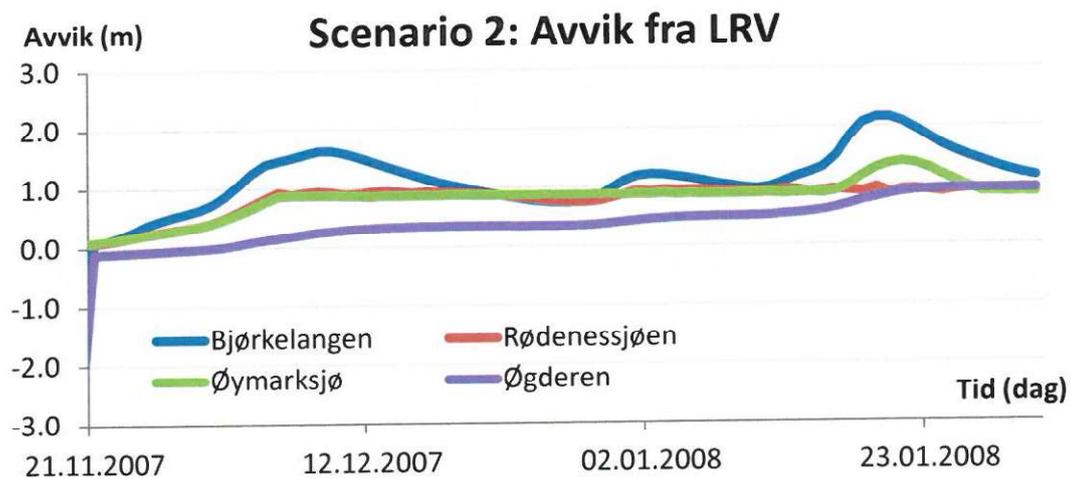


Figur 28: Scenario 1, vannstandsvariasjon i forhold til HRV ved Aspern og Ara, Femsjøen og Store Erte vann

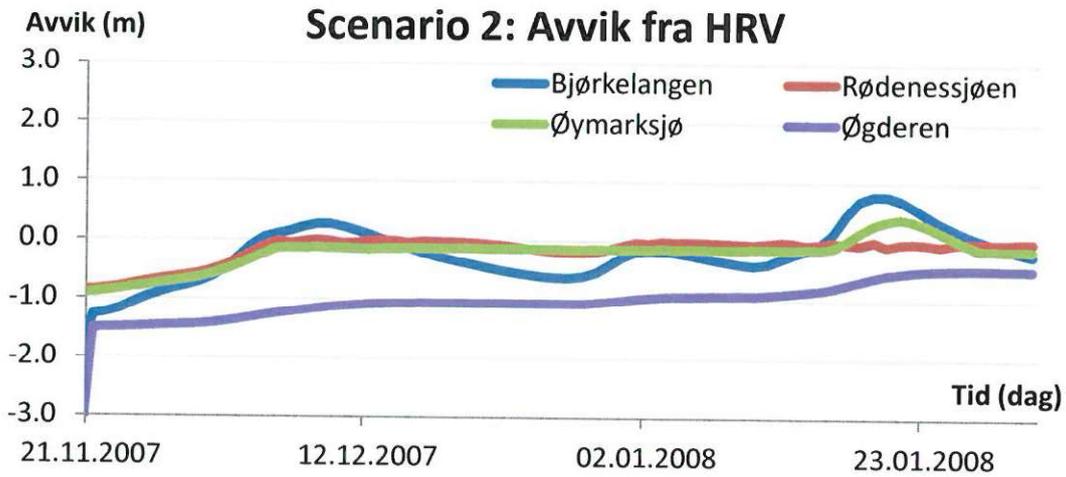


Figur 29: Scenario 1, vannstandsvariasjon i forhold til historiske målte verdier ved Aspern og Ara, Femsjøen og Store Ertevann

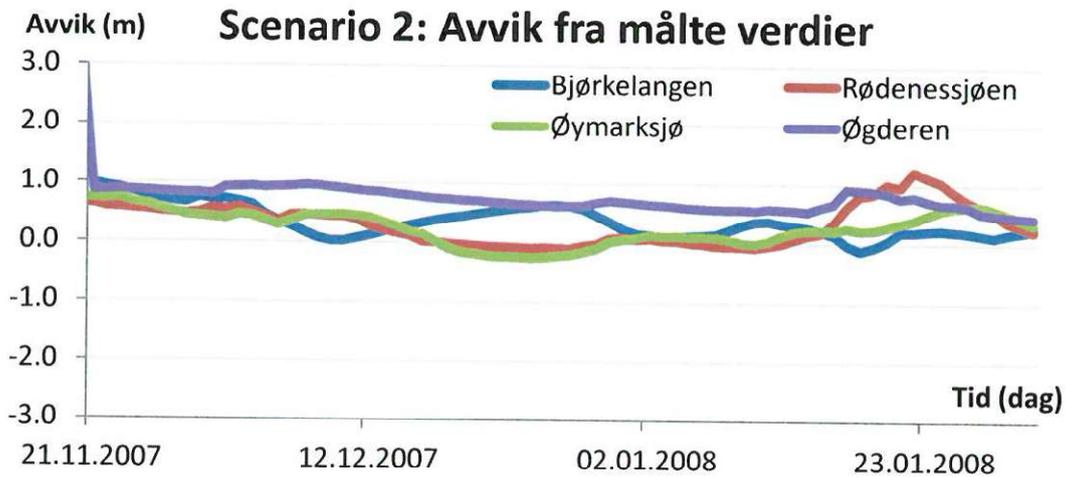
### 3.2.5 Scenario 2



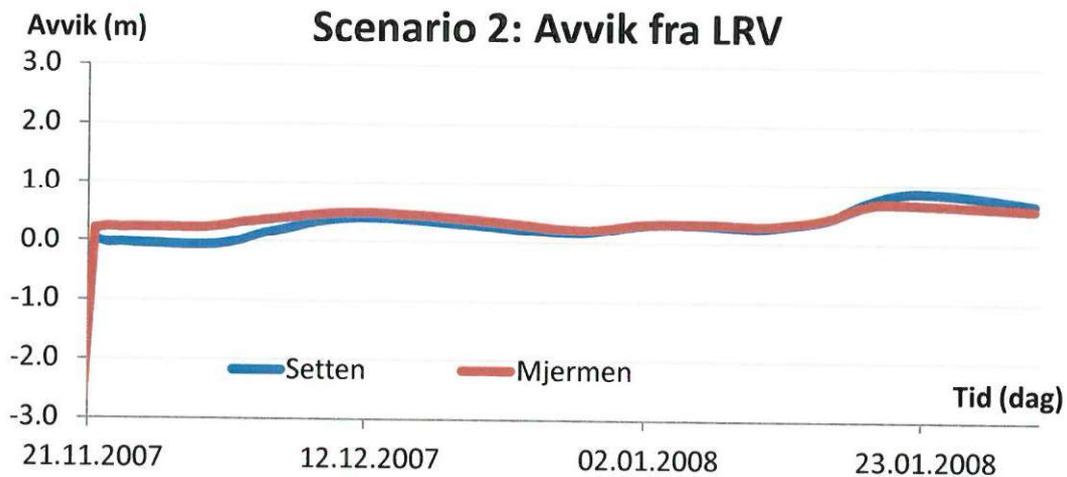
Figur 30: Scenario 2, vannstandsvariasjon i forhold til LRV ved Øgderen, Bjørkelangen, Rødenessjøen og Øymarksjøen



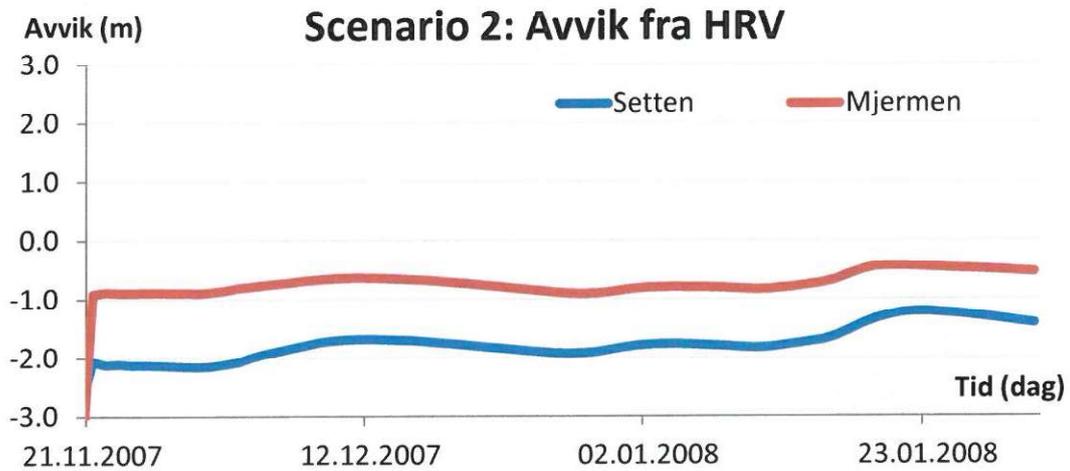
Figur 31: Scenario 2, vannstandsvariasjon i forhold til HRV ved Øgderen, Bjørkelangen, Rødenessjøen og Øymarksjøen



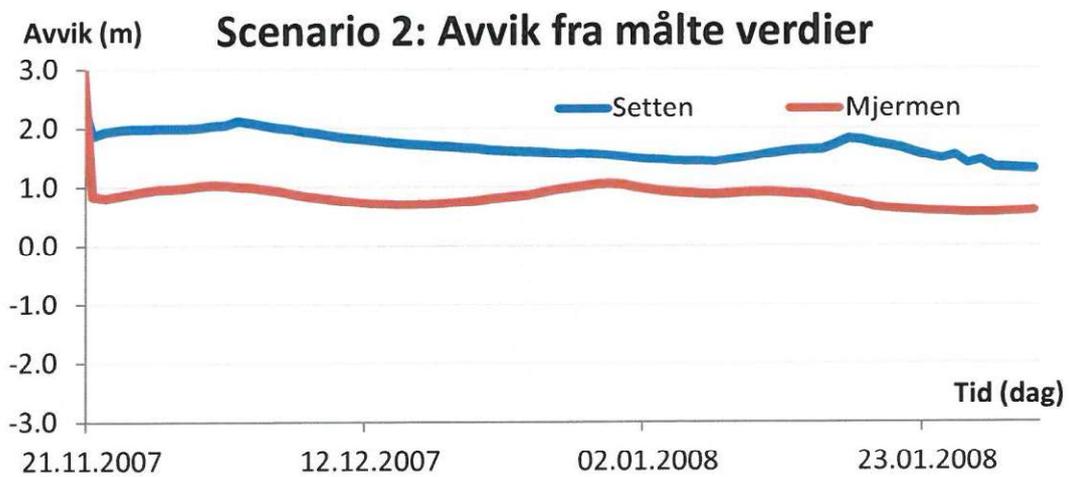
Figur 32: Scenario 2, vannstandsvariasjon i forhold til historiske målte verdier ved Øgderen, Bjørkelangen, Rødenessjøen og Øymarksjøen



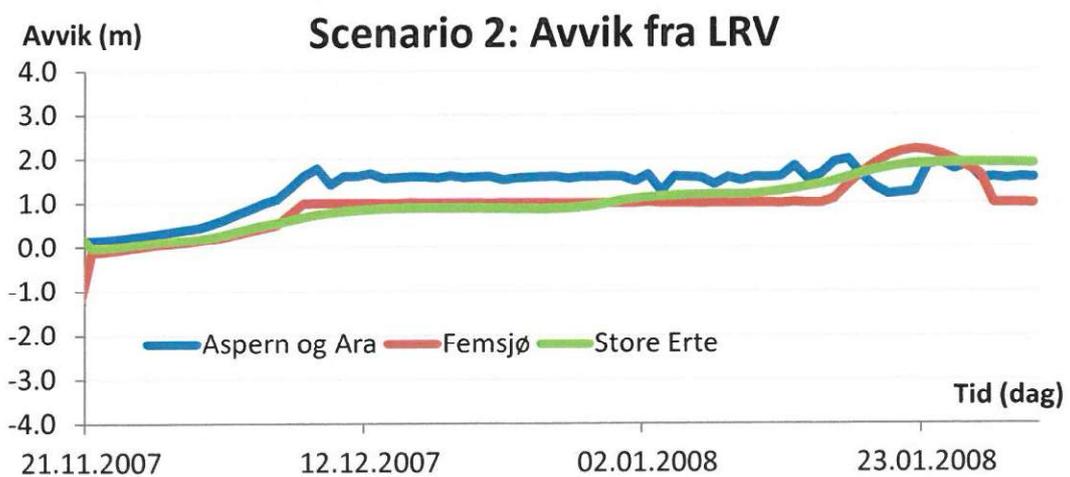
Figur 33: Scenario 2, vannstandsvariasjon i forhold til LRV ved Setten og Mjermen



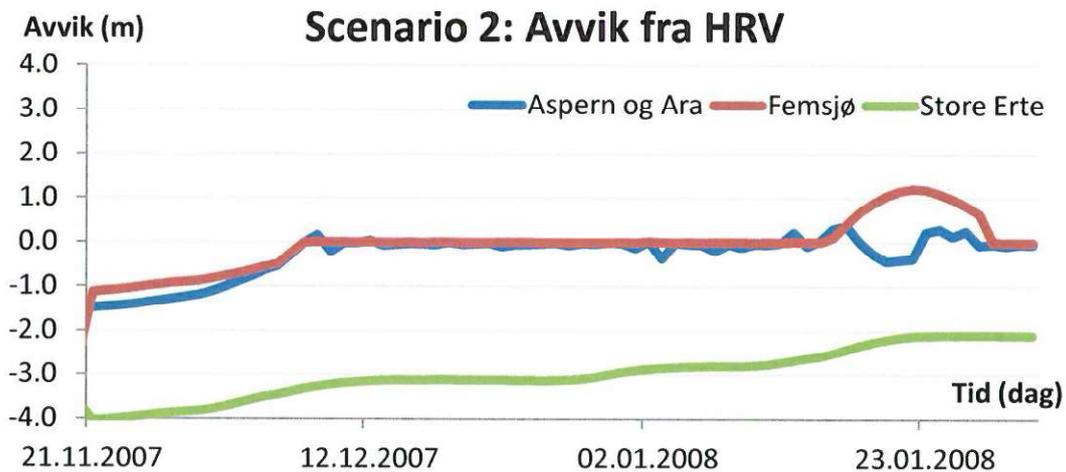
Figur 34: Scenario 2, vannstandsvariasjon i forhold til HRV ved Setten og Mjermen



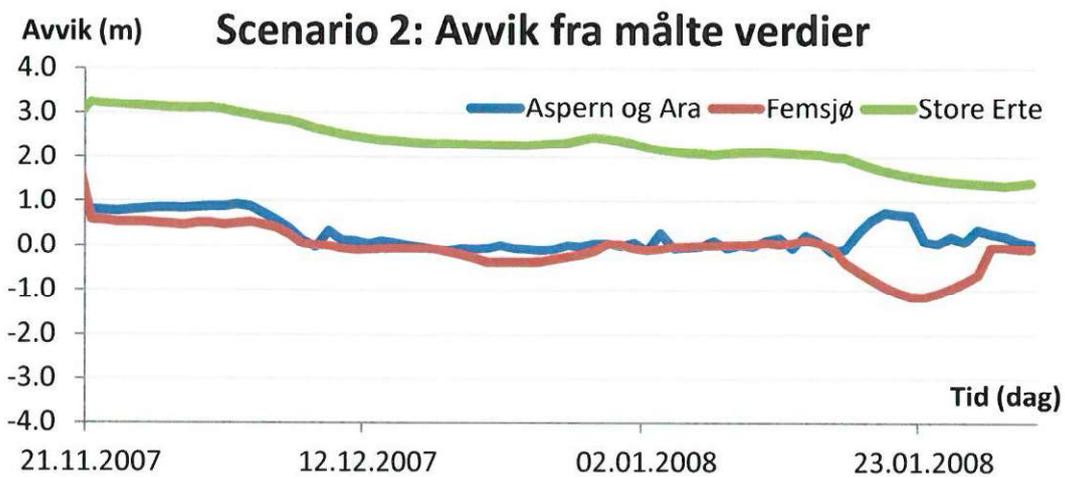
Figur 35: Scenario 2, vannstandsvariasjon i forhold til historiske målte verdier ved Setten og Mjermen



Figur 36: Scenario 2, vannstandsvariasjon i forhold til LRV ved Aspern og Ara, Femsjøen og Store Ertevann

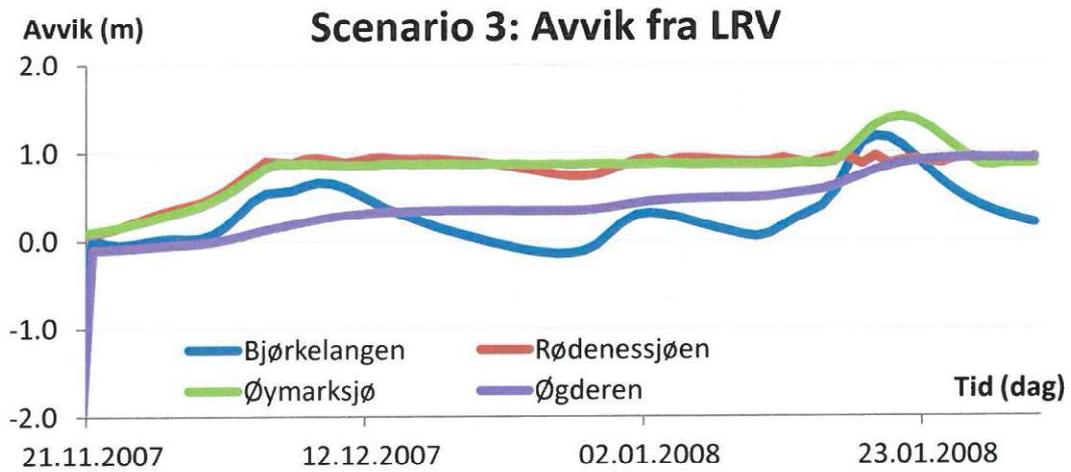


Figur 37: Scenario 2, vannstandsvariasjon i forhold til HRV ved Aspern og Ara, Femsjøen og Store Ertevann

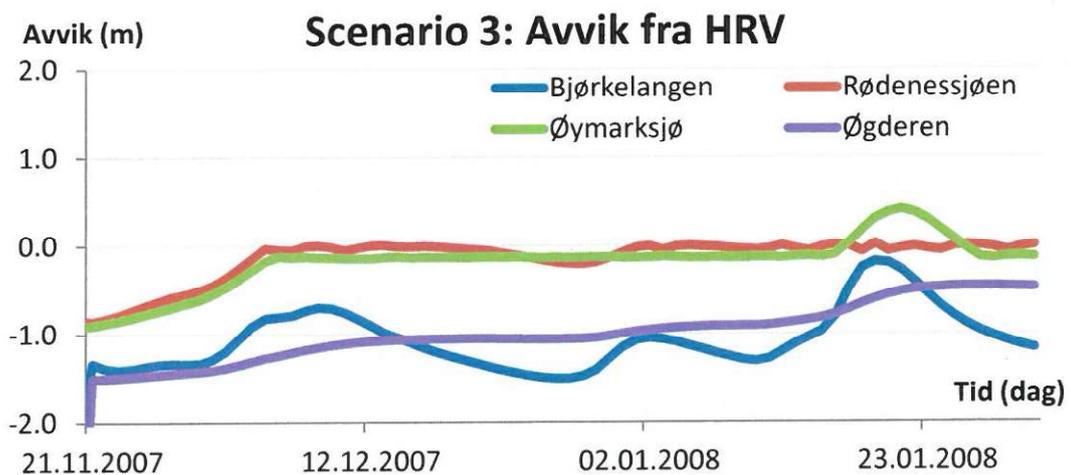


Figur 38: Scenario 2, vannstandsvariasjon i forhold til historiske målte verdier ved Aspern og Ara, Femsjøen og Store Ertevann

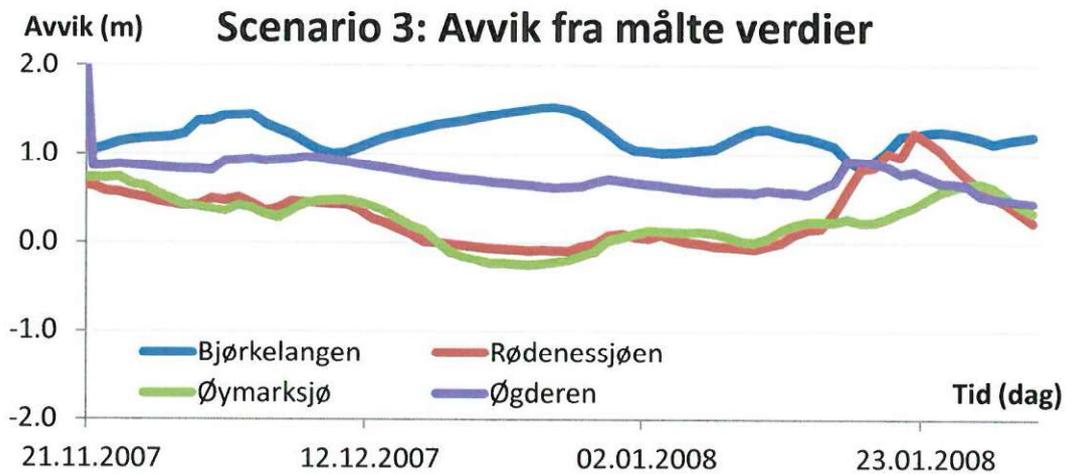
### 3.2.6 Scenario 3



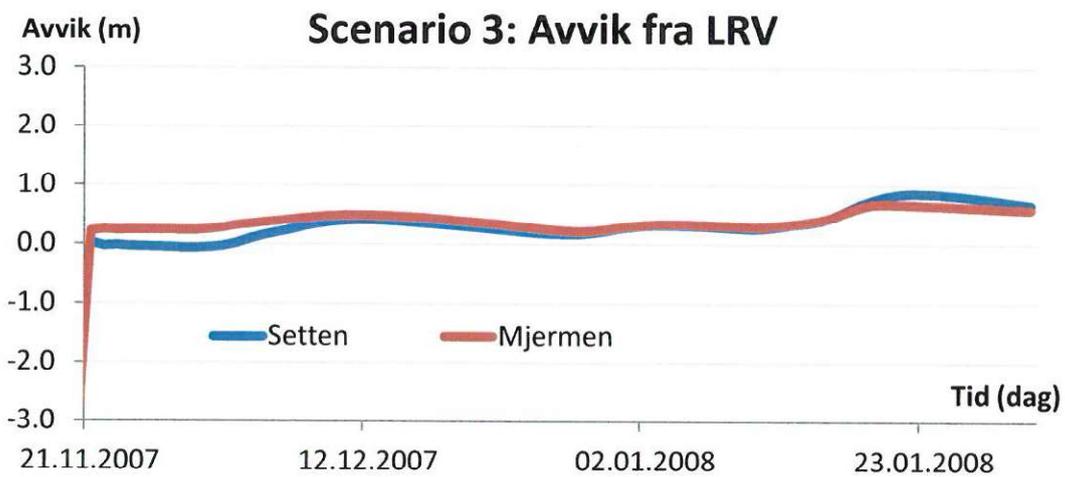
Figur 39: Scenario 3, vannstandsvariasjon i forhold til LRV ved Øgderen, Bjørkelangen, Rødenessjøen og Øymarksjøen



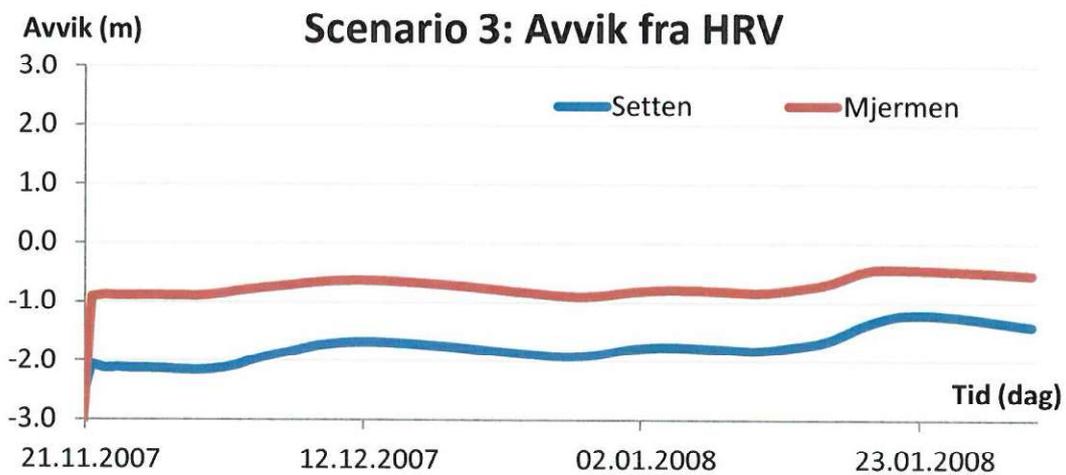
Figur 40: Scenario 3, vannstandsvariasjon i forhold til HRV ved Øgderen, Bjørkelangen, Rødenessjøen og Øymarksjøen



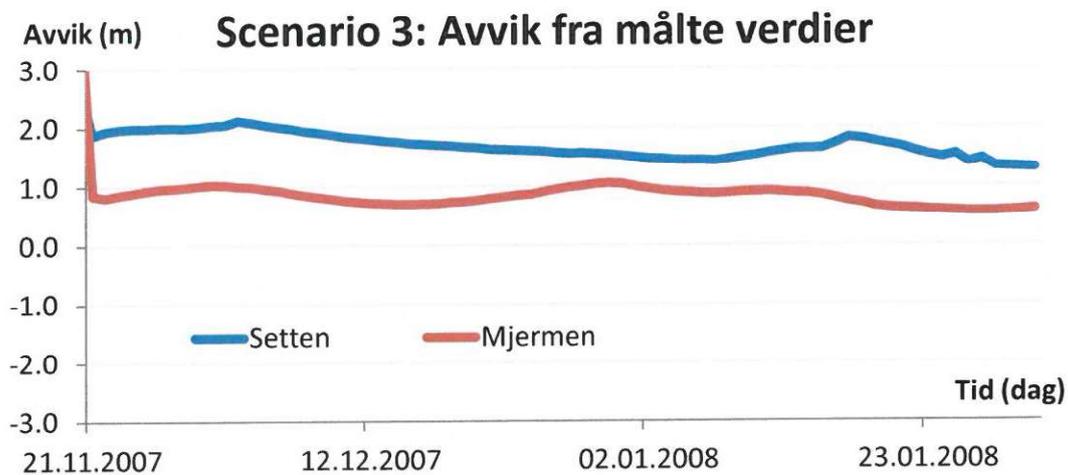
Figur 41: Scenario 3, vannstandsvariasjon i forhold til historiske målte verdier ved Øgderen, Bjørkelangen, Rødenessjøen og Øymarksjøen



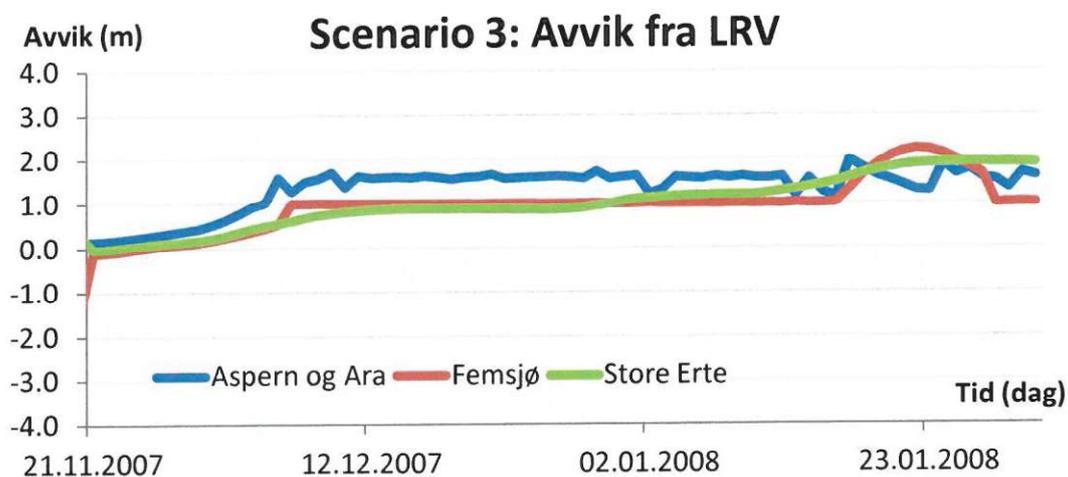
Figur 42: Scenario 3, vannstandsvariasjon i forhold til LRV ved Setten og Mjermen



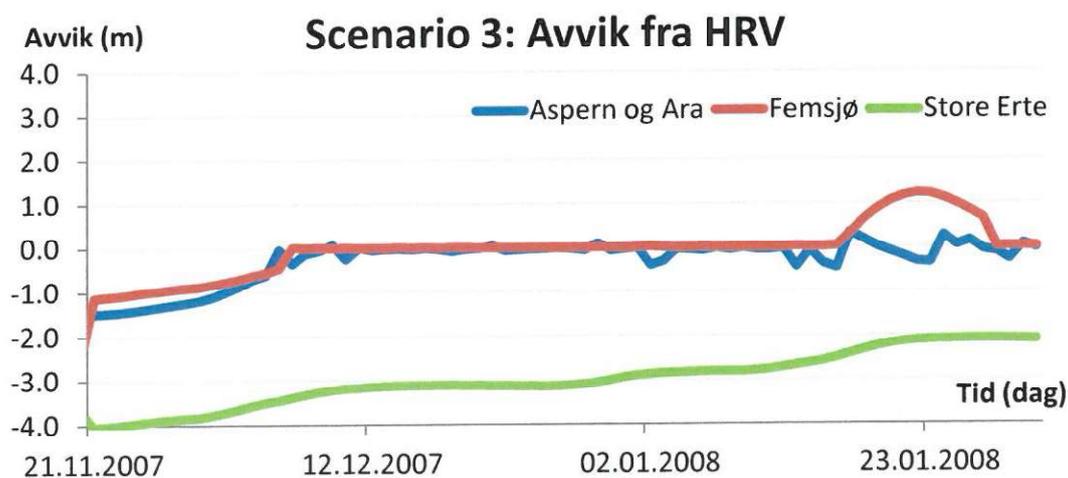
Figur 43: Scenario 3, vannstandsvariasjon i forhold til HRV ved Setten og Mjermen



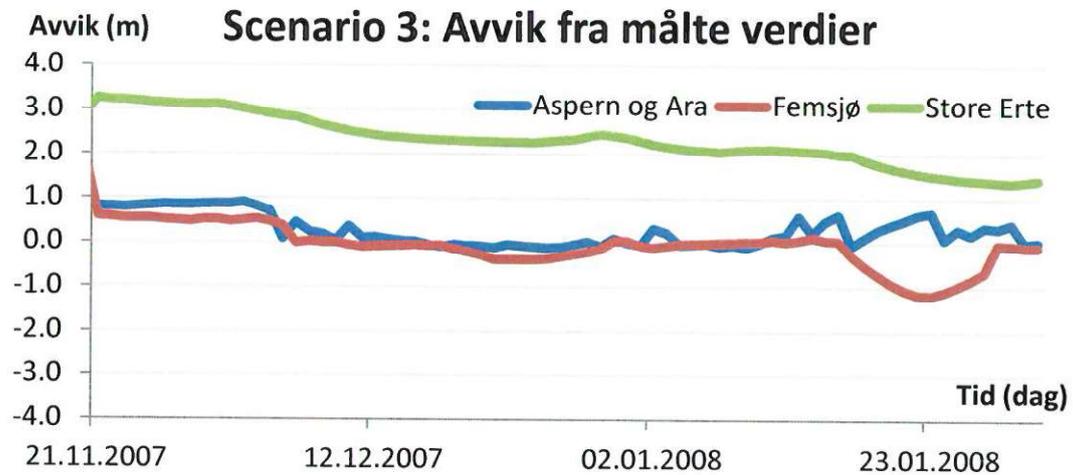
Figur 44: Scenario 3, vannstandsvariasjon i forhold til historiske målte verdier ved Setten og Mjermen



Figur 45: Scenario 3, vannstandsvariasjon i forhold til LRV ved Aspern og Ara, Femsjøen og Store Ertevann

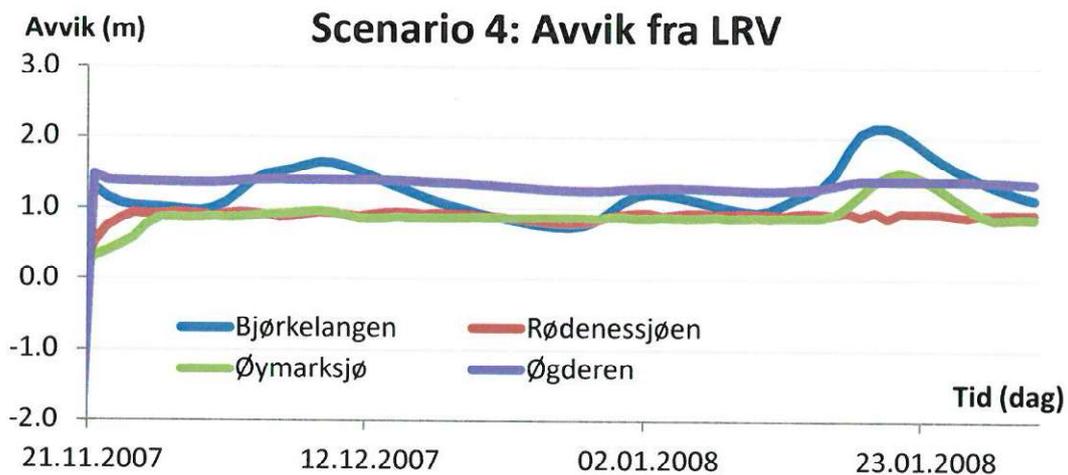


Figur 46: Scenario 3, vannstandsvariasjon i forhold til HRV ved Aspern og Ara, Femsjøen og Store Ertevann

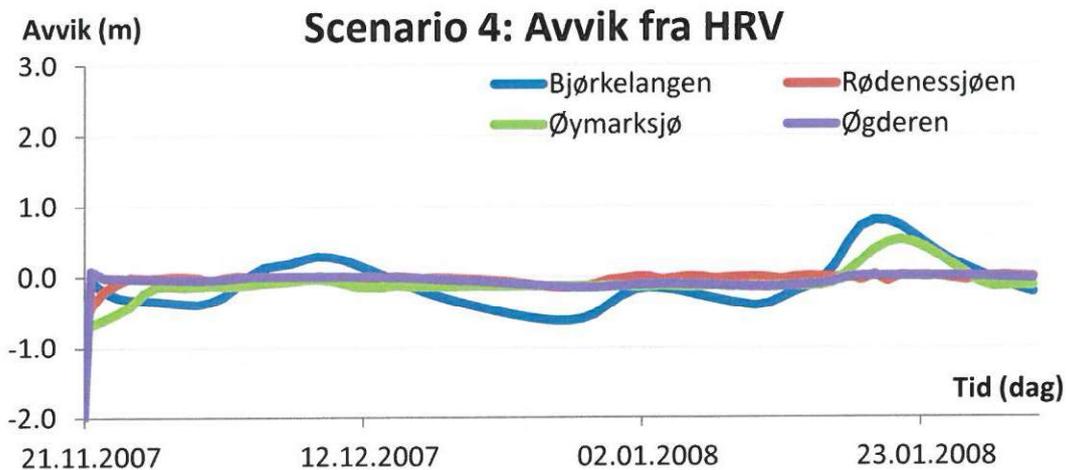


Figur 47: Scenario 3, vannstandsvariasjon i forhold til historiske målte verdier ved Aspern og Ara, Femsjøen og Store Ertevann

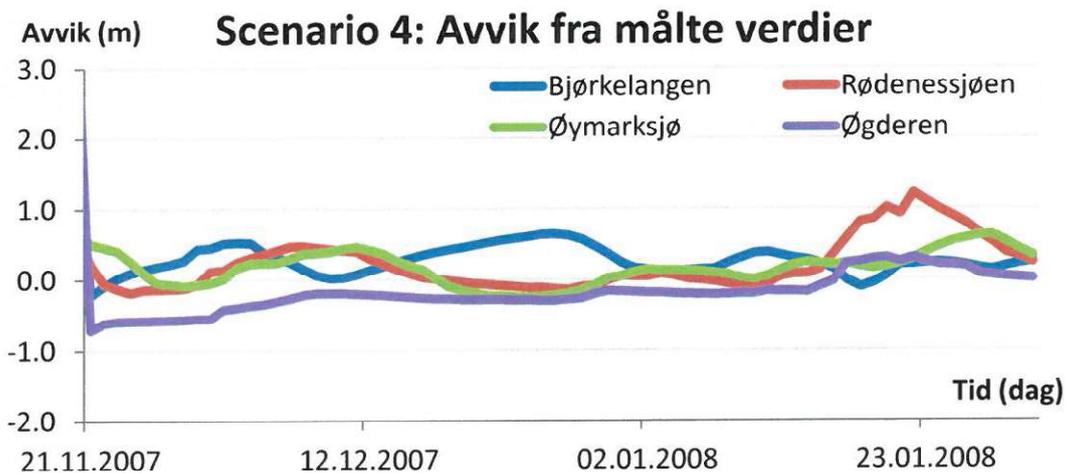
### 3.2.7 Scenario 4



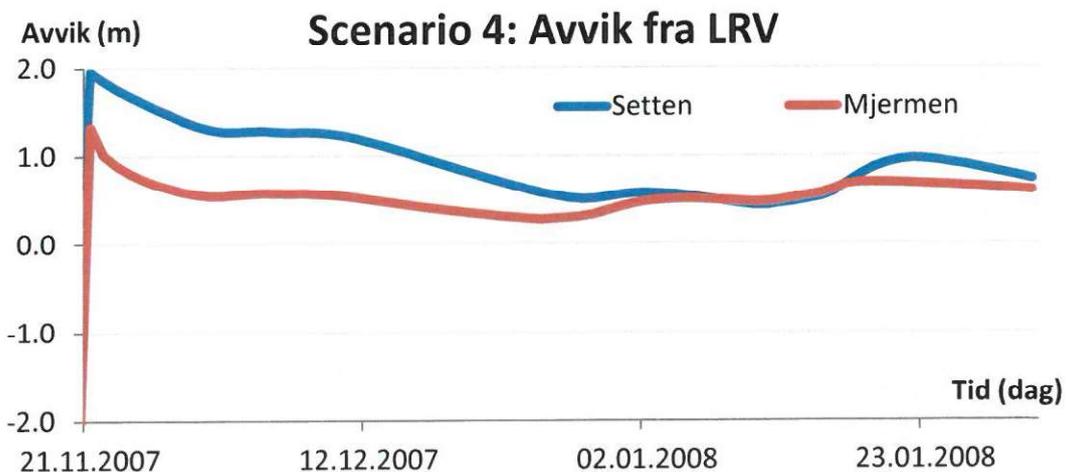
Figur 48: Scenario 4, vannstandsvariasjon i forhold til LRV ved Øgderen, Bjørkelangen, Rødenessjøen og Øymarksjøen



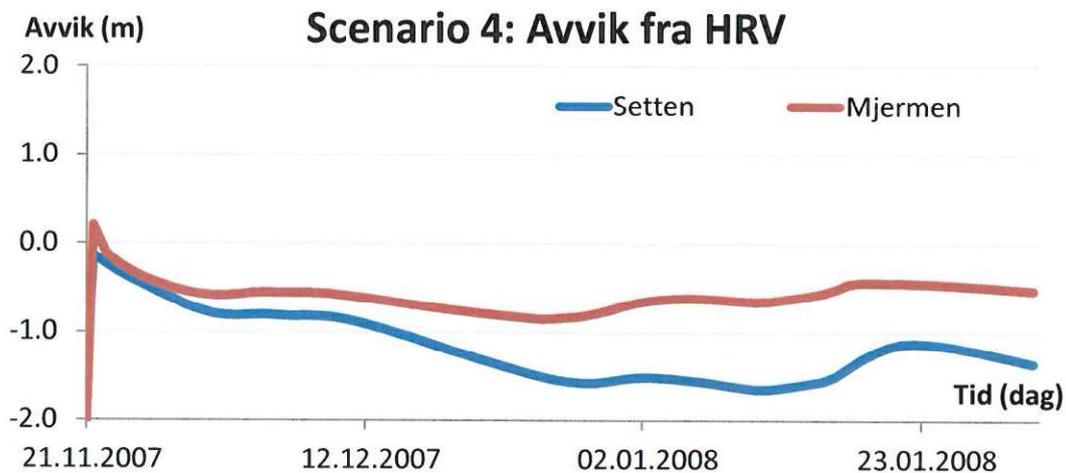
Figur 49: Scenario 4, vannstandsvariasjon i forhold til HRV ved Øgderen, Bjørkelangen, Rødenessjøen og Øymarksjøen



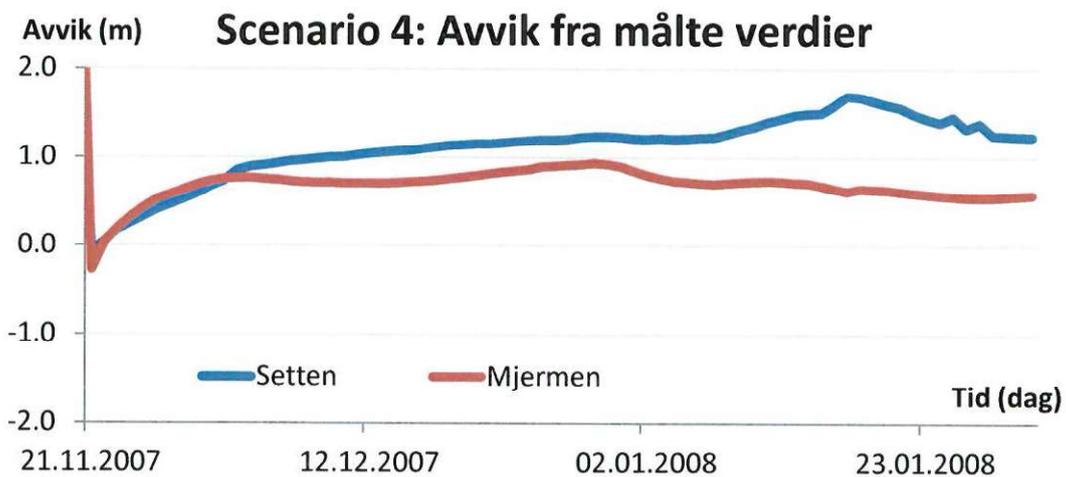
Figur 50: Scenario 4, vannstandsvariasjon i forhold til historiske målte verdier ved Øgderen, Bjørkelangen, Rødenessjøen og Øymarksjøen



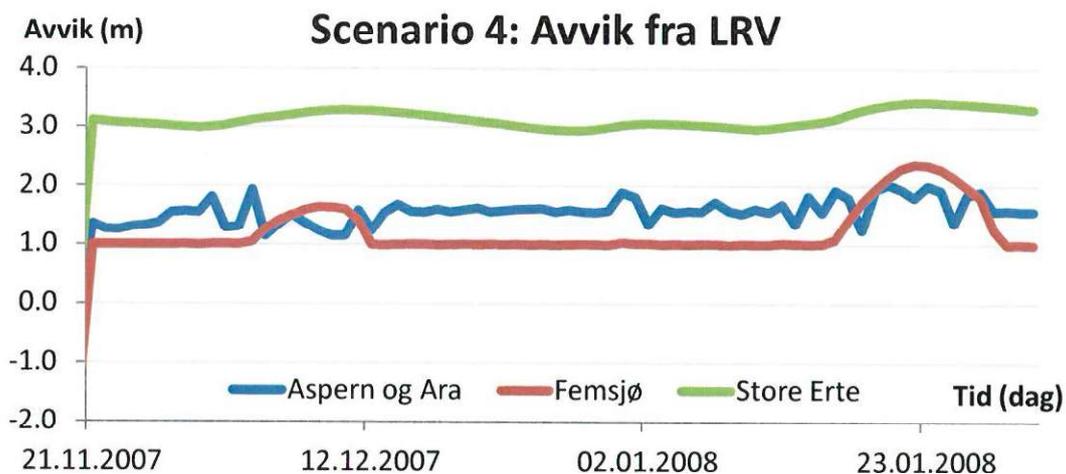
Figur 51: Scenario 4, vannstandsvariasjon i forhold til LRV ved Setten og Mjermen



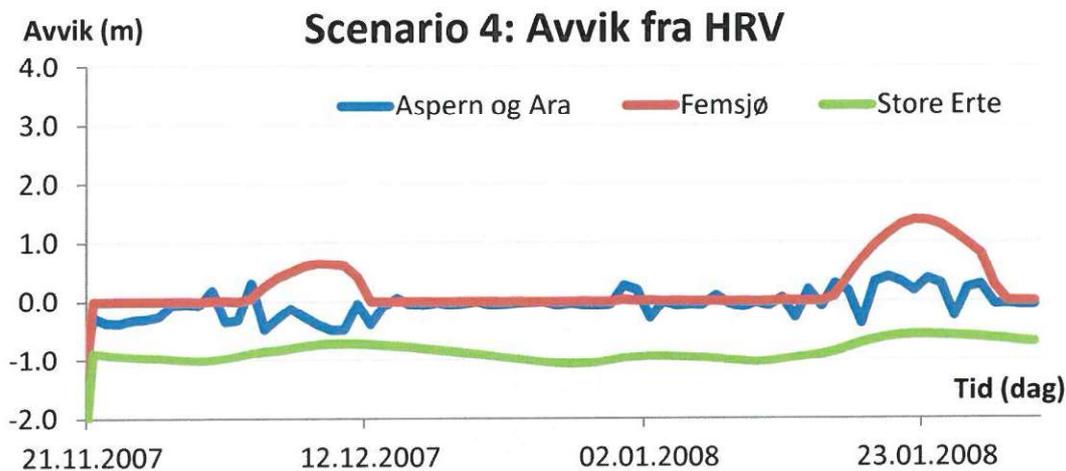
Figur 52: Scenario 4, vannstandsvariasjon i forhold til HRV ved Setten og Mjermen



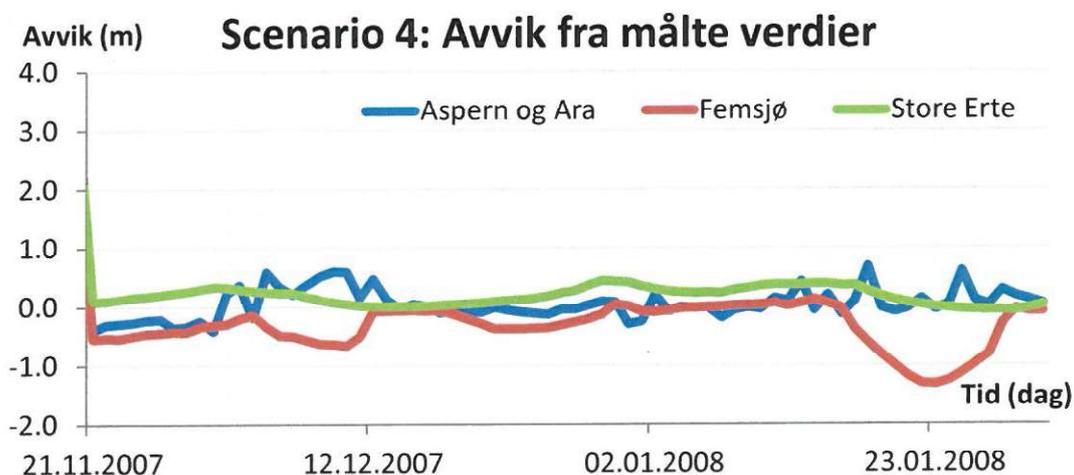
Figur 53: Scenario 4, vannstandsvariasjon i forhold til historiske målte verdier ved Setten og Mjermen



Figur 54: Scenario 4, vannstandsvariasjon i forhold til LRV ved Aspern og Ara, Femsjøen og Store Erte vann



Figur 55: Scenario 4, vannstandsvariasjon i forhold til HRV ved Aspern og Ara, Femsjøen og Store Ertevann



Figur 56: Scenario 4, vannstandsvariasjon i forhold til historiske målte verdier ved Aspern og Ara, Femsjøen og Store Ertevann

### 3.3 Vurdering

#### 3.3.1 Enkelte magasiner

##### 3.3.1.1 Bjørkelangen

Bjørkelangen (Figur 12, Figur 13 og Figur 14) er et av de viktigste problemområdene i vassdraget. Innsjøen er den nordligste i vassdraget, og det er derfor bare det uregulerte tilsiget og selve reguleringen som påvirker endringer av vannstanden.

Figurene viser at de fire testede scenarioene avslutter i to forskjellige situasjon etter flomperioden. Scenario 1, 2 og 4 kommer på ca 1,3m over LRV eller ca 0,2m under HRV ved slutten av flommen, mens scenario 3 ender ca 1m lavere enn de andre. Vannstandsendringer i magasinet følger nokså likt mønster i alle fire tester, men ved scenario 3 ligger vannstanden stadig ca 1m under de andre. Til tross at initialbetingelsene bestemmer en lav vannstand ved start av simuleringen ved scenario 1, når vannstanden omtrent samme nivå som i Scenario 2 og 4 etter, ca 2 uker. Deretter har vannstandskurvene omtrent like forløp. Modellen klarer å gjenspeile reguleringene relativt godt (se også Figur 4).

Dette betyr at i følge dagens fysiske og lovlige begrensninger kan vannstanden påvirkes minimalt ved flom. Trenden og mønsteret til vannstandsendingene er i tillegg uavhengig av utløpskapasiteten og reguleringshøydene. Samtidig kan vannstanden holdes lavere ved økt utløpskapasitet og lavere reguleringsgrenser (LRV og HRV). Det vil også si at magasinet ikke har stort nok kapasitet til å redusere flommer i særlig grad.

### 3.3.1.2 Øgderen

Øgderen (Figur 15, Figur 16 og Figur 17) ligger også langt opp i vassdraget, men får relativt mindre tilsig (se Figur 1). Samtidig ligger utløpet på et flatt område som medfører at vannet av og til strømmer inn i magasinet fra utløpssiden.

Figurene viser veldig lik vannstandsutvikling for scenarioer 1, 2 og 3, som er naturlig fordi reguleringen i Bjørkelangen ikke påvirker situasjonen her. I disse scenarioene fylles magasinet opp langsomt, eller holdes på HRV (ved Scenario 4) under flommen. Dette er på grunn av de forskjellige oppstarts-betingelsene. Kurven til Scenario 4 på Figur 17 viser at det er kanskje dette scenario som ligner mest realiteten, da verdien pendler rundt "0", bortsett fra de først 2-3 ukene i simuleringen.

Det må påpekes at modellen ikke klarer å gjenspeile de virkelige reguleringsfullstendig (se også Figur 3) og derfor er resultatene relatert til Øgderen noe mindre troverdige enn for eksempel til Bjørkelangen.

### 3.3.1.3 Aspern og Ara

Aspern og Ara (Figur 18, Figur 19 og Figur 20) ligger relativt lavt i vassdraget og er derfor i stor grad påvirket av reguleringsoppstrøms i tillegg til det uregulerte tilsiget. Det er antagelig både på grunn av den komplekse reguleringsoppstrøms og fysiske, lovlige begrensninger som forårsaker at vannstanden endrer seg raskere og oftere her enn ved Bjørkelangen og Øgderen.

I begynnelsen av simuleringsperioden er kurvene til scenario 1, 2 og 3 nesten like, mens ved Scenario 4 øker vannstanden noe raskere og over HRV. Deretter pendler vannstanden rundt HRV ved alle scenarioer. Størrelsen og frekvensen til vannstandsendinger øker i de siste to ukene. Årsaken til dette er den mindre reguleringsmuligheten oppstrøms ved slutten av flommen, da magasinene har mindre ledig kapasitet og tilsiget til Aspern og Ara er i større grad uregulert.

Modellens evne til å reprodusere virkelige reguleringer (det vil si modellens kvalitet ved Aspern og Ara) ligger et sted i mellom Bjørkelangen og Øgderen (se Figur 9).

## 3.3.2 Enkelte scenarioer

### 3.3.2.1 Scenario 1

Scenarioet (Figur 21 til Figur 29) tar utgangspunktet i en tilstand som ikke er vanlig i Bjørkelangen. Allikevel vil vannstanden stige, i følge modellen, i løpet av ca 2 uker til over 1 m over HRV. Andre magasiner kan holdes på HRV, bortsett fra Femsjøen ved slutten av simuleringsperioden. Når det gjelder sammenligning med historiske verdier, er det kun et lite avvik som vises ved et utvalg av magasinene, mens en del andre har vannstand lavere enn i modellen. For magasinene som har verdier rundt "0" i denne sammenheng, betyr det at modellen i stor grad reproduserer reguleringspraksis. For magasiner som har negative verdier, er det i praksis mulig å øke vannstanden i simuleringsperioden. Vær oppmerksom på at modellen

ikke bruker informasjon om prognosene eller forventede værutvikling, mens dette kan være aktuelt i praksis.

### 3.3.2.2 Scenario 2

Scenarioet (Figur 30 til Figur 38) begynner med en mer reell situasjon, der Bjørkelangen har noe høyere vannstand før flommens begynnelse. Kurvene viser lite forskjell sammenlignet med scenario 1, som betyr at vannstanden i Bjørkelangen ved starten av flomepisoden har lite effekt på utviklingen i hele perioden. Vannstanden i Bjørkelangen stiger like høyt i en like kort tidsperiode som i scenario 1. Vannstandene i andre magasiner viser ikke noen endringer i forhold til scenario 1.

### 3.3.2.3 Scenario 3

Scenarioet (Figur 39 til Figur 47) forutsetter både lavt vannstand ved begynnelsen av flommen, økt kapasitet ved Fosser dam og lavere reguleringsnivåer i Bjørkelangen. I modellen er disse definert slik at alle dagens kapasitetskurver (eller terskler) og både HRV og LRV er redusert med 1 m under dagens nivåer. Modellen regulerer derfor vannet med lavere LRV og HRV og større utløpskapasitet ved lavere vannstander enn i dag. Kurvene viser at vannstanden i Bjørkelangen stort sett varierer mellom LRV og HRV, bortsett fra to episoder der den senkes under LRV og senere over HRV i ca 4 dager. Det er ikke noen vesentlige endringer i andre magasiner. Nærmest magasin nedstrøms er Rødnessjøen, som kan holdes på HRV under denne episoden. Samtidig er det mulig at situasjonen utvikler seg annerledes i en større flom. Se også Endrede vannføringskurver ved Fosser dam i Scenario 3.

### 3.3.2.4 Scenario 4

Scenarioet (Figur 48 til Figur 56) tar utgangspunktet i en tilstand som beskriver en ikke forventet flom, slik at alle magasiner ligger på HRV ved flommens begynnelse. I følge modellen, kan alle magasiner bortsett fra Bjørkelangen holdes på HRV i nesten hele flomperioden. Bjørkelangen overstiger enkelt HRV og har store variasjoner i hele perioden. Utviklingen ligner situasjonen som er beskrevet ved scenario 1 og 2. Øymarksjøen og Femsjøen, også har høye vannstander ved slutten av flommen.

## 3.4 Konklusjon

Resultatene viser at dagens reguleringspraksis og regler gir liten mulighet til å redusere oversvømmelser rundt Bjørkelangen, uansett om vannstanden ligger lavt eller er et høyere nivå enn normalt før flommen begynner. Et fysisk tiltak som vil øke kapasiteten til Fosser vil antagelig ikke medføre at vannstander i lavereliggende magasiner vil øke over HRV. Det må påpekes at modellen tar lite hensyn til elvestrekninger mellom magasinene. Muligheten til og/eller behov for utgraving eller utsprenging av kritiske tverrsnitt på disse strekningene er ikke vurdert.

# 4 Vedlegg

## 4.1 Justerte vannføringskurver ved alle magasiner

### 4.1.1 Hemnes dam

Referansepunkt i modellen: Hemneselva 12284

H (m)	Q Prioritet 1: H(ref) >= 133,53	Q Prioritet 2: H(v.ref) <= 132,13	Q Prioritet 3: ellers
131,79		0,00	
131,89		0,00	
131,99		0,00	
132,09		0,00	
132,13		0,00	
132,19			0.09
132,29			0.27
132,39			0.44
132,49			0.61
132,59			0.7
132,69			1
132,79			1.1
132,89			1.2
132,99			1.5
133,09			1.7
133,19			1.8
133,29			2.3
133,49			2.31
133,51			2.4
133,53	54,52		
133,69	67,90		
133,89	85,83		
134,09	106,21		
134,29	129,12		
134,49	154,62		
134,69	182,78		
135,73	606,57		

#### 4.1.2 Fosser dam

Referansepunkt i modellen: Haldenvassdraget 7744

H (m)	Q Prioritet 1: 4 ≤ Måned < 11 H(ref) ≥ 123,23	Q Prioritet 2 og 3: Måned < 4 eller 11 ≤ Måned H(v.ref) ≥ 124,03	Q Prioritet 4: H(v.ref) ≤ 122,67	Q Prioritet 5: ellers
122,14			0	
122,39			0	
122,67			0	
122,89				0,23
122,98				0,36
123,08				0,52
123,23	1,68			0,69
123,28	1,89			0,88
123,38	2,36			1,33
123,48	3,05			2,01
123,58	3,88			2,83
123,68	4,81			3,77
123,78	5,85			4,81
123,88	6,96			5,94
124,03	8,15	8,15		
124,08	9,47	9,47		
124,18	11,01	11,01		
124,28	12,66	12,66		
124,38	14,42	14,42		
124,48	16,28	16,28		
124,58	18,24	18,24		
124,68	20,29	20,29		
124,78	22,83	22,83		
124,88	24,95	24,95		
124,98	27,17	27,17		
125,08	29,49	29,49		
125,18	32,1	32,1		
125,28	35,58	35,58		
125,38	39,31	39,31		
125,48	43,29	43,29		
125,58	47,52	47,52		
125,68	52,01	52,01		
125,78	56,76	56,76		
126,28	84,56	84,56		
126,78	119,44	119,44		
127,28	161,79	161,79		

### 4.1.3 Kolstadfoss dam

Referansepunkt i modellen: Mjerma 8294

H (m)	Q Prioritet 1: H(ref) >= 167,49	Q Prioritet 2: H(ref) <= 165,40	Q Prioritet 3: ellers
164,50		0,0	
165,07		1,0	
165,17		2,0	
165,27		3,0	
165,40		4,0	
165,47			2,44
165,57			3,05
165,67			3,66
165,77			4,27
165,87			4,88
165,97			5,49
166,07			6,1
166,17			6,71
166,27			7,32
166,37			7,93
166,47			8,54
166,57			9,15
166,67			9,76
166,77			10,37
166,87			10,98
166,97			11,59
167,07			12,2
167,17			12,81
167,27			13,42
167,37			14,03
167,49	305		
167,57	317,2		
167,67	329,4		
167,77	341,6		
167,87	353,8		
167,97	366		
168,07	378,2		
168,17	390,4		
168,27	402,6		
168,37	427		
168,57	451,4		
168,77	475,8		
168,97	500,2		
169,17	524,6		
169,37	549		
169,57	573,4		
169,77	597,8		
169,97	622,2		
170,17	646,6		
170,37	56,19		

#### 4.1.4 Ørje dam

Referansepunkt i modellen: Haldenvassdraget 42178

H (m)	Q Prioritet 1: H(ref) >= 118,23	Q Prioritet 2: H(ref) <= 117,29	Q Prioritet 3: ellers
117,29		0,0	
117,39			4,0
117,49			5,0
117,59			7,0
117,69			10,0
117,79			12,0
117,89			14,0
117,99			17,0
118,09			19,0
118,23	186,47		
118,29	201,39		
118,39	217,03		
118,49	233,42		
118,59	250,56		
118,69	268,47		
118,79	287,16		
118,89	306,65		
118,99	326,95		
119,09	348,08		
119,19	370,04		
119,29	392,84		
120,29	670,5		

#### 4.1.5 Strømsfoss dam

Referansepunkt i modellen: Haldenvassdraget 70736

H (m)	Q Prioritet 1: H(ref) >= 108,36	Q Prioritet 2: H(ref) <= 107,36	Q Prioritet 3: ellers
107,36		0,0	
107,46			1,5
107,56			3,0
107,66			4,5
107,76			6,0
107,86			7,5
107,96			9,0
108,06			10,5
108,16			12,0
108,26			13,5
108,36	187,09		
108,46	197,60		
108,56	208,31		
108,66	219,21		
108,76	230,30		
108,86	241,58		
108,96	253,04		
109,06	264,69		
109,16	276,52		
109,26	288,52		
109,36	300,70		
110,36	313,06		
111,36	325,58		

#### 4.1.6 Brekke dam

Referansepunkt i modellen: Haldenvassdraget 101056

H (m)	Q Prioritet 1: H(ref) >= 105,87	Q Prioritet 2: 4 <= Måned < 11 H(ref) <= 104,87	Q Prioritet 3: H(ref) <= 104,24	Q Prioritet 4: ellers
104,24		0,0	0,0	
104,34		0,0		2,3
104,44		0,0		2,4
104,54		0,0		2,5
104,64		0,0		2,6
104,74		0,0		2,7
104,84		0,0		2,8
104,87		0,0		2,9
104,94				3,0
105,04				3,4
105,14				5,4
105,24				7,4
105,34				9,4
105,44				11,4
105,54				13,4
105,64				15,4
105,74				17,4
105,87	374,68			
105,94	411,90			
106,04	450,36			
106,14	490,00			
106,24	530,75			
106,74	749,53			
107,24	990,39			
107,77	1266,64			
108,24	1527,80			
108,74	1820,92			
109,24	2128,68			

#### 4.1.7 Svanedam

Referansepunkt i modellen: Haldenvassdraget 109315

H (m)	Q Prioritet 1: H(ref) >= 79,3	Q Prioritet 2: H(ref) <= 78,3	Q Prioritet 3: ellers
78,30		0,0	
78,40			1,3
78,50			2,6
78,60			3,9
78,70			5,2
78,80			6,5
78,90			7,8
79,00			9,1
79,10			10,4
79,20			11,7
79,30	157,57		
79,40	164,21		
79,50	170,92		
79,60	177,70		
79,70	184,53		
79,80	191,43		
79,90	198,40		
80,00	205,42		
80,10	212,50		
80,20	219,64		
80,30	226,83		
81,30	248,75		
82,30	271,15		
83,30	294,00		
84,30	341,02		

#### 4.1.8 Store Erte dam

Referansepunkt i modellen: Ganerødelva 4032

H (m)	Q Prioritet 1: H(ref) >= 108,96	Q Prioritet 2: H(ref) <= 104,96	Q Prioritet 3: ellers
104,96		0,0	
105,06			0,1
105,16			0,1
105,26			0,2
105,36			0,2
105,46			0,3
105,56			0,3
105,66			0,4
105,76			0,4
105,86			0,5
105,96			0,5
106,06			0,6
106,16			0,6
106,26			0,7
106,36			0,7
106,46			0,8
106,56			0,8
106,66			0,9
106,76			0,9
106,86			1
106,96			1
107,96			1,5
108,96	941,92		
109,96	1362,47		
110,96	1840,47		
111,96	2372,08		
112,96	2954,27		

#### 4.1.9 Bøen dam

Referansepunkt i modellen: Mjerma 20853

H (m)	Q Prioritet 1: H(ref) >= 164,97	Q Prioritet 2: H(ref) <= 163,845	Q Prioritet 3: ellers
163,845		0,0	
163,945			2,57
164,045			5,13
164,145			7,70
164,245			10,27
164,345			12,83
164,445			15,40
164,545			17,97
164,645			20,53
164,745			23,10
164,845			25,67
164,970	66,32		
165,045	77,60		
165,145	89,64		
165,245	102,42		
165,345	115,93		
165,445	130,16		
165,545	145,09		
165,645	160,72		
165,745	177,03		
165,845	194,01		
166,845	399,38		
167,845	665,34		

## 4.2 Endrede vannføringskurver ved Fosser dam i Scenario 3

HRV sommer			HRV vinter			LRV			Ellers		
H dagens	H endret	Q	H dagens	H endret	Q	H dagens	H endret	Q	H dagens	H endret	Q
122,23	121,23	0,00	122,14	121,14		122,67	121,67	0,00	122,64	121,64	0,00
122,39	121,39	0,23	122,39	121,39		124,18	123,18		122,89	121,89	0,23
122,64	121,64	0,62	122,64	121,64		124,28	123,28		122,98	121,98	0,36
122,89	121,89	1,09	122,89	121,89		124,38	123,38		123,08	122,08	0,52
122,98	121,98	1,27	122,98	121,98		124,48	123,48		123,18	122,18	0,69
123,08	122,08	1,48	123,08	122,08		124,58	123,58		123,28	122,28	0,88
123,18	122,18	1,68	123,18	122,18		124,68	123,68		123,38	122,38	1,33
123,28	122,28	1,89	123,28	122,28		124,78	123,78		123,48	122,48	2,01
123,38	122,38	2,36	123,38	122,38		124,88	123,88		123,58	122,58	2,83
123,48	122,48	3,05	123,48	122,48		124,98	123,98		123,68	122,68	3,77
123,58	122,58	3,88	123,58	122,58		125,08	124,08		123,78	122,78	4,81
123,68	122,68	4,81	123,68	122,68		125,18	124,18		123,88	122,88	5,94
123,78	122,78	5,85	123,78	122,78		125,28	124,28		123,98	122,98	7,14
123,88	122,88	6,96	123,88	122,88		125,38	124,38		124,08	123,08	8,48
123,98	122,98	8,15	123,98	122,98		125,48	124,48		124,18	123,18	10,05
124,08	123,08	9,47	124,03	123,03	5,96	125,58	124,58		124,28	123,28	11,73
124,18	123,18	11,01	124,18	123,18	7,32	125,68	124,68		124,38	123,38	13,51
124,28	123,28	12,66	124,28	123,28	8,80	125,78	124,78		124,48	123,48	15,41
124,38	123,38	14,42	124,38	123,38	10,38	126,28	125,28		124,58	123,58	17,40
124,48	123,48	16,28	124,48	123,48	12,08	126,78	125,78		124,68	123,68	19,50
124,58	123,58	18,24	124,58	123,58	13,89	127,28	126,28		124,78	123,78	21,69
124,68	123,68	20,29	124,68	123,68	15,81				124,88	123,88	23,98
124,78	123,78	22,83	124,78	123,78	17,83				124,98	123,98	26,36
124,88	123,88	24,95	124,88	123,88	19,95				125,08	124,08	28,84
124,98	123,98	27,17	124,98	123,98	22,17				125,18	124,18	31,58
125,08	124,08	29,49	125,08	124,08	24,49				125,28	124,28	35,20
125,18	124,18	32,10	125,18	124,18	27,10				125,38	124,38	39,04
125,28	124,28	35,58	125,28	124,28	30,58				125,48	124,48	43,13
125,38	124,38	39,31	125,38	124,38	34,31				125,58	124,58	47,52
125,48	124,48	43,29	125,48	124,48	38,29				125,68	124,68	52,01
125,58	124,58	47,52	125,58	124,58	42,52				125,78	124,78	56,76
125,68	124,68	52,01	125,68	124,68	47,01				126,28	125,28	84,56
125,78	124,78	56,76	125,78	124,78	51,76				126,78	125,78	119,44
126,28	125,28	84,56	126,28	125,28	79,56				127,28	126,28	161,79
126,78	125,78	119,44	126,78	125,78	114,44						
127,28	126,28	161,79	127,28	126,28	156,79						

## 4.3 Tidligere rapport

<b>Til:</b>	Vannområdet Haldenvassdraget	
<b>Fra:</b>	Péter Borsányi	<b>H</b>
<b>Ansvarlig:</b>	Sverre Husebye	
<b>Dato:</b>	21.09.2010	
<b>Vår ref.:</b>	NVE 200901304-4	
<b>Arkiv:</b>	333/001.Z	
<b>Kopi:</b>		

# Magasinmodell for Haldenvassdraget – forprosjekt (001.Z)

## Sammendrag

Hydrologisk avdeling i NVE har etter forespørsel fra Vannområdeutvalget i Haldenvassdraget utført en forstudie med en forenklet hydraulisk (magasin) modell for Haldenvassdraget. Forstudiet omfatter etablering av en magasin vannstandsmodell og forsøk på å simulere vannlinjene i magasinene ved middelsflom med dagens manøvreringspraksis. Det er også utviklet tilsigsmodeller til magasinene med datakilder fra NVEs prognosefelt, som gjør det mulig å simulere vannføring inn magasinene. Modellen kan brukes til å analysere årsakene til oversvømmelser rundt magasinene, optimalisere manøvreringen. Den kan videreutvikles til å simulere blant annet vannlinjene på elvestrekningene mellom magasinene og forurensningsbevegelser i vassdraget. Manglende informasjon og uoverensstemmelse mellom ulike datakilder forårsaker at modellen ikke fungerer optimalt. anbefalinger og forbedringsmulighetene er redegjort for i rapporten.

Det påpekes at dette er et rent konsulentoppdrag, og ikke en del av NVEs forvaltningsmessige behandling av saken. Forvaltningsmessige mellomværende på eventuelt tas opp med vårt regionkontor på Hamar.

Kjøring av modellen krever Mike11 HD programvare (inkl. M11STRUC lisens) fra DHI (<http://www.dhi.no>).

# Innhold

<b>Sammendrag</b> .....	<b>44</b>
<b>Bakgrunn</b> .....	<b>46</b>
Innledning .....	46
Metode og forventet leveranse.....	46
<b>Forutsetninger</b> .....	<b>47</b>
Magasindata .....	47
Kartdata .....	47
Teoretiske forutsetninger .....	47
<b>Utfordringer og alternative løsninger</b> .....	<b>48</b>
<b>Metodikk</b> .....	<b>49</b>
Tilslagsmodell .....	51
Hydraulisk modell.....	55
Oppstartsparmetre .....	56
Simuleringsparametre .....	57
<b>Resultater</b> .....	<b>57</b>
<b>Analyse – veien videre og forbedringspotensial</b> .....	<b>65</b>
<b>Vedlegg: Vannføringskurver og betingelser i modellen</b> .....	<b>67</b>
1. Hemnes Dam .....	67
2. Fosser Dam .....	35
3. Kolstadvoss Dam .....	36
4. Ørje Dam.....	37
5. Strømsfoss Dam .....	38
6. Brekke Dam .....	39
7. Svanedam.....	40
8. Store Erte dam.....	41
9. Bøen dam .....	42

# Bakgrunn

## Innledning

Haldenvassdraget er et regulert vassdrag med vannkraftproduksjon, navigering/båttrafikk, landbruk og rekreasjon som viktige brukerinteresser. Hyppige oversvømmelser rundt de største magasinene og langs enkelte flate elvestrekninger skaper konflikter mellom ulike brukergrupper. Årsaken til oversvømmelsene er noe uklare. Reguleringen og vassdraget danner et komplekst system, der årsak – virkning relasjoner ikke er helt enkle å forklare.

I dette ligger også muligheten til å undersøke virkningen av forskjellige endringer i manøvreringspraksis.

I denne sammenheng har Vannområdeutvalget i Haldenvassdraget bedt NVE om å hjelpe til å undersøke årsakene til flomproblematikken rundt magasinene i vassdraget. Det har også vært ønskelig å foreslå strategi og/eller tiltak som kan redusere disse ulempene.

NVE foreslo og benytte en simuleringsmodell for å undersøke problemstillingen. Det utvikles en vassdragsmodell som inkluderer de største magasinene i vassdraget samt manøvreringsreglement og -praksis. Modellen skal simulere dagens vannføringsforhold, samt tilrettelegge for testing av ulike scenarier (som omfatter optimalisering for ulike mål, testing av virkningen til enkelte tiltak, osv). Det har vært ønskelig at modellen skal kunne videreutvikles eller kobles til andre modeller (for eks. forurensnings- eller sedimenttransport, osv)

## Metode og forventet leveranse

Basert på tidligere erfaring og antatt tilgjengelige data ble det planlagt utviklet en vassdragsdekkende hydrodynamisk modell (en forenklet 1D vannlinjemodell) med følgende komponenter:

1. Tilsigsmodell for de største magasinene basert på data fra et utvalg av NVEs vannføringsstasjoner og prognosemodeller. Dette tilrettelegger for en fremtidig integrasjon i NVEs flomvarslingssystem samt mulighet for kjøring av klimascenarier. Tilsiget er da beregnet ut i fra værprognoser og en hydrologisk sammenligning av feltparametre mellom målte og umålte felt.
2. Det simuleres vannstand i de største magasinene som etter tilpasning skal stemme med flomtopper av middels størrelse. Det er forventet at modellen kan simulere de større flommene og lavvannføringer med noe dårligere kvalitet. Simulerte magasin vannstander kan sammenlignes med historiske målinger for samme magasin, som skal gi en antydning om modellens kvalitet, styrker og svakheter.
3. Modellen skal tillate videreutvikling og mulighet for kobling med sediment-, forurensningstransport og modeller brukt for næringstilførselsstudier
4. Arbeidet skal oppsummeres i en kortfattet teknisk beskrivelse (denne rapporten).
5. Rapporten skal inkludere forslag til videre arbeid og prioriteringer.

# Forutsetninger

For å utvikle og klargjøre modellen for å oppnå målet, er det listet opp en del forutsetninger. Ikke alle disse er absolutt nødvendige for vellykkede modellkjøringer, men i utgangspunktet utgjør de et solid grunnlag for utvikling av modellen. Manglende data og informasjon kan søkes erstattes, men i noen tilfeller er det ikke mulig, eller gir et dårligere sluttresultat. Her følger en liste over de viktigste data og egenskaper som skal representeres i modellen:

## Magasindata

1. Nivellert dybdekart
2. Areal-volum sammenheng:  $V(A)$ -kurver
3. Måleserier for vannstand:  $H(T)$ -serier
4. Damtegninger: terskelhøyder, luker (antall og størrelse)
5. Kapasitetskurver:  $Q(H)$  kurver for ulike lukestillinger
6. Reguleringshøyder: HRV og LRV, sesongvariasjon
7. Manøvreringsreglement: En logisk beskrivelse av hvordan dammene opereres. Hva bestemmer lukestillingene? Hvordan prioriteres og i hvilken rekkefølge gjennomføres disse?

## Kartdata

Følgende er lagt til grunn når det gjelder kartdata:

1. Terrengmodell med vertikaloppøsning på 1 meter eller bedre er tilgjengelig i hele vassdraget.
2. Dybder i magasiner og elver kan estimeres fra dybdekart og vassdragsnivellement.
3. Alle høydedata er nivellert i felles høydesystem, for eksempel reguleringsorganer (dammer), historiske vannstandserier og dybdekart.

## Teoretiske forutsetninger

Følgene er antatt for det teoretiske modelloppsettet:

1. Fall mellom magasinene kan estimeres fra kartdata.
2. Manøvrering og tilsig er de viktigste faktorene som bestemmer vannstand i magasiner
3. Manøvrering av magasinene kan beskrives ved hjelp av en serie med "enkelt valg" forutsatt at et eller flere logiske spørsmål er oppfylt for det aktuelle magasinet (hvis "situasjon 1" oppstår, da *regel 1* følges; hvis "situasjon 2" følges *regel 2*; ellers i *situasjon 3* følges *regel 3*. osv.).
4. Hver type manøvrering kan knyttes til en enkel kapasitetskurve (hver *regel* kan knyttes til en gitt  $Q(H)$  funksjon).

# Utfordringer og alternative løsninger

I løpet av modellutviklingen har det blitt klart at en del forutsetninger og antagelser gitt i tilbudet ikke var/ville bli innfridd. I enkelte tilfeller har det vært mulig å finne alternative løsninger, og fortsette arbeidet med noe endrede krav eller utgangspunkt. I andre tilfeller måtte ambisjonsnivået senkes og det aksepteres at opprinnelige mål ikke kunne nås innenfor de gitte tids- og budsjettsrammene. Følgende liste viser data som var planlagt brukt, men som ikke var tilgjengelige:

- Nivellert dybdekart: dybdekartene var tilgjengelige, men ikke vannstand ved oppmålingene. Dermed kunne ikke verdiene fra kartene konverteres til høydekoter i felles høydesystem.
- Måleserier, damtegninger og terskelnivåer til alle magasiner i et felles høydesystem: Det var bare en del terskelnivåer som ble registrert i et felles system, mens vannstandsmålinger og en del damparametre ikke ble registrert. Noen av disse kunne ikke konverteres til et felles høydesystem.
- Kapasitetskurver for ulike situasjoner (flom/lavt vann/fylling/osv) og manøvreringsreglement: Siden manøvreringen av de fleste magasiner ikke er definert med bestemte regler, er det bare erfaringsmessig operasjon som benyttes. Manøvreringen kan derfor variere fra år til år og kan ha et vist subjektivt innslag.

Manglende eller tvilsomme data ble oppmålt i regi av NVE ved Fosser dam, Hemnes dam, Bøen dam, i Tistedal. Et forenklet system ble brukt når det gjelder kapasitetskurver og manøvreringspraksis. Dette omfatter at alle lukene åpnes når vannlinjen overstiger HRV, alle lukene stenges når vannlinjen er under LRV. Mellom HRV og LRV reguleres lukene i forhold til vannstanden ved utløpene. I praksis betyr dette at lukene står åpne.

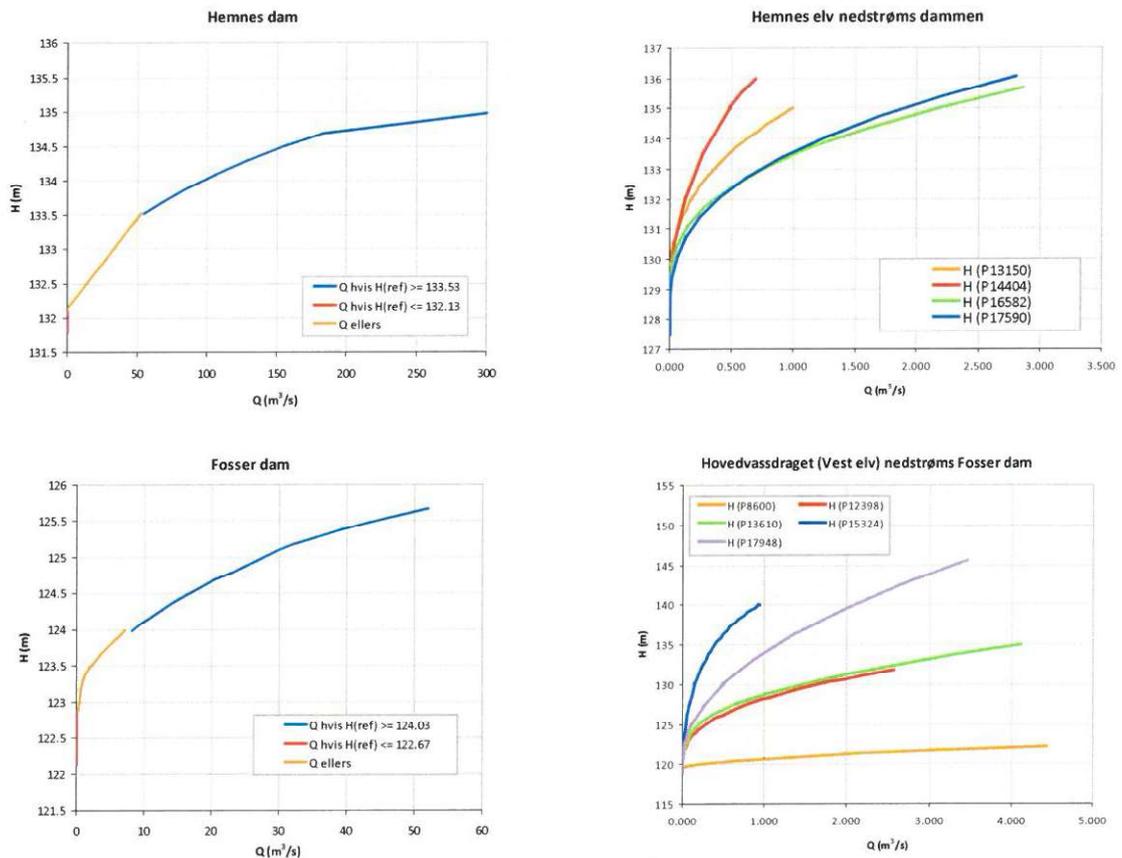
En del antakelser gjort under planleggingen viste seg ikke å være korrekt. Disse er følgende:

- Terrenkartet hadde ikke like høy oppløsning som antatt. Vertikal oppløsning (minste kotehøyde) varierte opp til 5 m.
- Det er ikke bare magasinene og manøvreringen som er de viktigste faktorene for utbredelsen til flommene. Kapasitetene på de enkelte elvestrekninger har noen steder mer betydning enn manøvreringen av magasinene. Disse er Hemneselva mellom Hemnes dam og nedstrøms, og hovedvassdraget fra Fosser dam og ned til samløpet med Mjerma.
- På grunnen av ikke fastsatte regler, kunne manøvreringspraksis ikke beskrives med enkle logiske formler ved alle dammene.

For å forbedre modellkvaliteten, ble det utført oppmålinger ved enkelte punkter langs Hemneselva og hovedvassdraget. I tillegg kan man akseptere noe større feil enn antatt i modelleringen i områder med usikker datakvalitet.

Figur 57 viser kapasitetene til selve Hemnes dam og elvestrekningen nedstrøms ved 4 følgende profiler på 5,5 km lengde. Ved sammenligning er det klart at dammen har større kapasitet enn selve elva. Samme type kurver er beregnet for Fosser dam og elvestrekningen nedstrøms på ca 6,5 km lengde. Vær oppmerksom på at datagrunnlaget til figurene består av beregnede og ikke

målte verdier, og dermed i virkeligheten kan kapasiteten være noe forskjellig fra hva figurene viser.



Figur 57: Kapasitetskurvene ved Hemnes og Fosser dammer og profilene nedstrøms dammene

## Metodikk

Det er et bestemt sett av data som kreves for å etablere modellen. Deretter er det andre data som brukes til input ved de faktiske simuleringene. I dette tilfellet kan man skille mellom data for geometri i modellen, som omfatter blant annet tverrprofiler, lengdeprofiler og nettverksskjema; manøvreringsregler, som omfatter både de ulike vannføringskurvene ved hvert reguleringsorgan (dam) og de regler som bestemmer hvilke kurve som skal brukes i ulike tilfeller. For å starte simuleringen må man bestemme/anta intialbetingelser og ha inngangsdata til modellen. Inngangsdata er i dette tilfellet tilsig til magasinene og havnivået ved utløpet brukes som en nedre grensebetingelse.

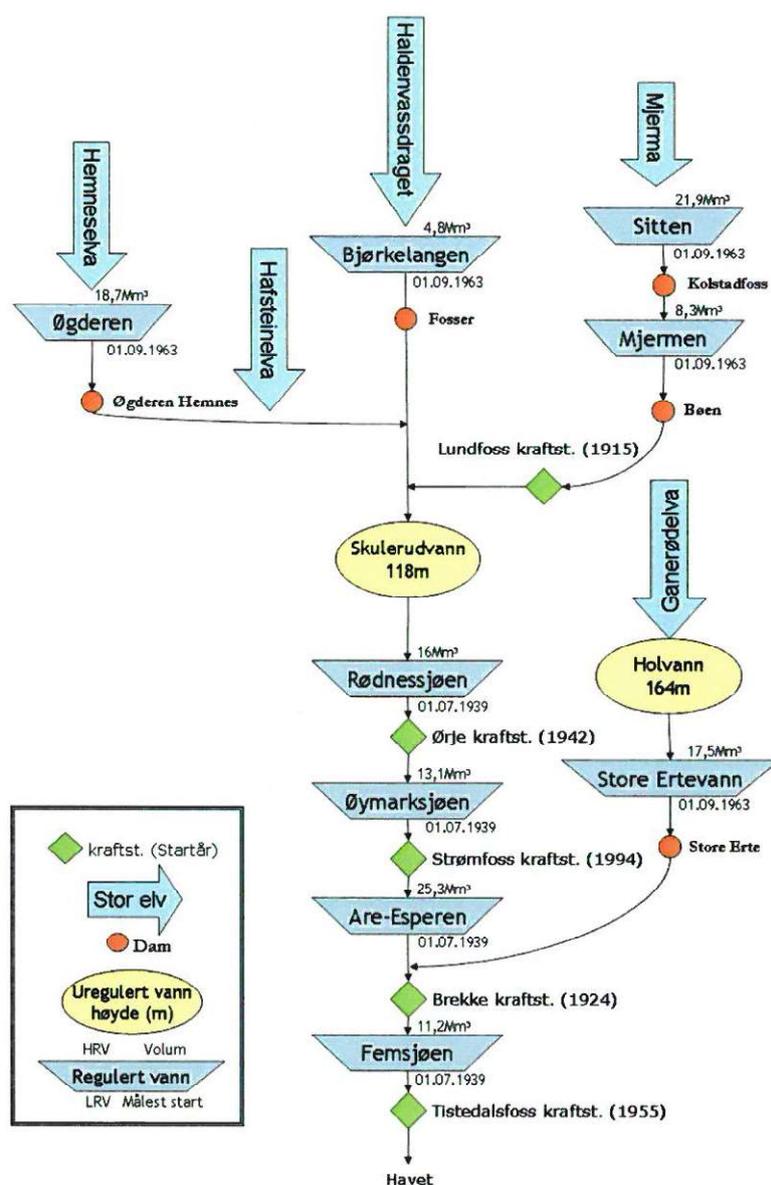
Som oppstartsbetingelse er det brukt et såkalt "hotstart" datasett, som er et øyeblikkelig uttak av simuleringparametre og resultater fra en tidligere simulering. Hotstart datasettet kan ved behov eller problemer enkelt endres ved å plukke et annet simulert øyeblikk fra et kompatibelt datasett.

Tilsiget til magasinene er ikke kjent, så derfor er det utviklet et sett modeller som simulerer tilsigsverdiene basert på data fra modellfelt. Modellfelt vil si et nedbørfelt med en hydrologisk målestasjon ved utløpet der lange vannføringsserier er tilgjengelige for uregulerte perioder og en kalibrert nedbør-avrenningsmodell. Dette er for å tillate scenariokjøring senere.

NVE samler inn data fra uregulerte felt og utarbeider vannføringsprognoser for en del av disse. Idéen er at tilsigsseriene til Haldenvassdraget kan utarbeides på lignende måte, selv om det ikke fins modellfelter i selve vassdraget. Derfor er data fra et sammenlignbart nærliggende vassdrag benyttet, og ved hjelp av skalering er tilsiget estimert.

Variasjonen til havnivået kan ha stor betydning ved kystnære områder, men i gjeldende sak vurderes denne effekten som ubetydelig. Havnivået i modellen er da fastsatt på nivå 0 m.

For å identifisere elementene til modellen er det utarbeidet et nettverkskjema som kan brukes videre i utviklingen. Skjemaet skiller mellom magasin, kraftstasjon og dammer, uregulert vann og koblingene mellom disse. Figur 58 viser skjemaet.



Figur 58: Nettverkskjema som viser hovedkomponentene i vassdragsmodellen.

## Tilsigsmodell

Dataserier fra vassdrag nr 2, 3 og 313 ble brukt til tilsigsberegningen. Tabell 2 viser feltparametre til stasjonene.

Tabell 2: Feltparametre til referansestasjoner

Stasjonsnummer	Navn vassdrag/stasjon	Måle-periode	Areal (km <sup>2</sup> )	Q <sub>N</sub> (l/s/km <sup>2</sup> ) *	Q <sub>N</sub> (m <sup>3</sup> /s) *	Q <sub>m</sub> (l/s/km <sup>2</sup> ) **	Q <sub>m</sub> (m <sup>3</sup> /s) **	Min høyde	Maks høyde	Eff. sjø (%)	Snau-fjell (%)	Kommentar
2.633	Stortorp	1979-d.d.	87,10	14	1,18	20,8	1,82	110	325	0,3	0	1980-2008
2.1036	Hæra	2005-d.d.	134,00	17	2,25	18,3	2,45	127	329	0,0	0	2006-2009, forlenget med regresjon mot de tre andre seriene
3.22	Høgfoss	1976-d.d.	299,00	18	5,38	15,2	4,54	47	345	0,5	0	1980-2009
313.10	Magnor	1911-d.d.	360,00	13	4,68	15,5	5,56	127	458	0,1	0	1980-2009

\* Q<sub>N</sub> : middel Q fra avrenningskartet 1961-1990

\*\* Q<sub>m</sub> : middel Q av observerte data i måleperioden

Måleseriene kombineres og skaleres deretter. Tabell 3 viser de viktigste feltparametre og funksjonene for å estimere tilsigsseriene.

Tabell 3: Beregningsgrunnlag for hver tilsigserie

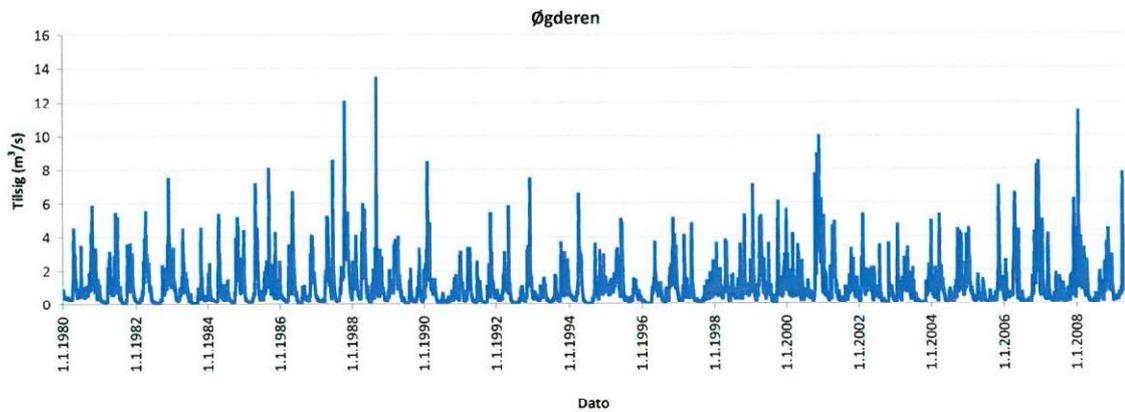
Navn	Areal (km <sup>2</sup> )	Avrenning (l/s/km <sup>2</sup> )	Vannføring (m <sup>3</sup> /s)	Målestasjon	Representative målestasjoner Bestemt ut fra middelvannføring og en subjektiv vektning av tre målestasjoner
Øgderen	90,23	14,50	1,31	1.52 (vst)	0.48 × Hæra
Bjørkelangen	278,42	14,19	3,95	1.51 (vst)	0.73 × Hæra + 0.36 × Magnor
Sitten	168,88	14,68	2,48	1.45 (vst)	0.46 × Hæra + 0.11 × Magnor + 0.34 × Stortorp
Mjermen	77,43	14,70	1,14	1.46 (vst)	0.32 × Hæra + 0.16 × Stortorp
Store Erte vann	56,38	12,18	0,69	1.53 (vst)	0.06 × Hæra + 0.28 × Stortorp
Rødnessjøen	393,47	15,27	6,01	1.47 (vst)	1.66 × Hæra + 0.83 × Stortorp
Øymarksjøen	149,33	12,48	1,86	1.42 (vst)	0.34 × Hæra + 0.51 × Stortorp
Are	105,12	13,97	1,47	-	0.14 × Hæra + 0.61 × Stortorp
Asperen	126,19	13,76	1,74	1.43 (vst)	0.16 × Hæra + 0.72 × Stortorp
Femsjøen	130,36	12,29	1,60	1.15 (vst)	0.14 × Hæra + 0.66 × Stortorp

---

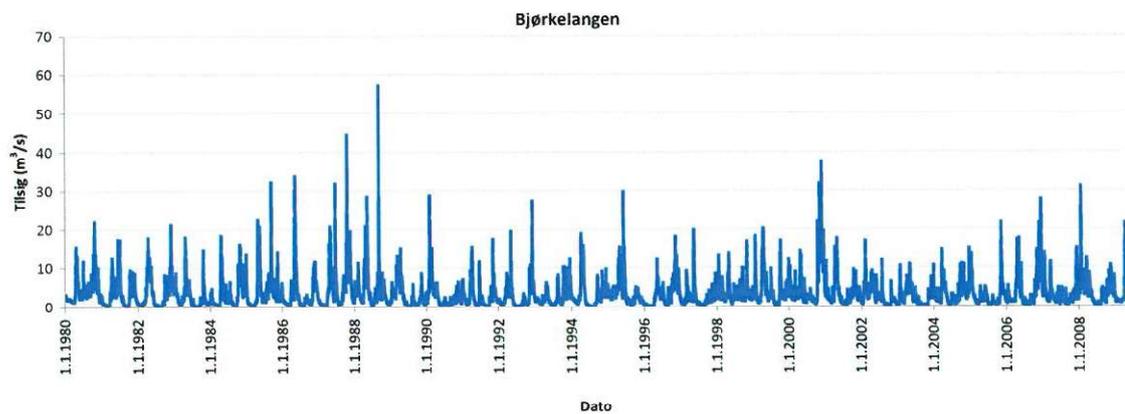
Hafsteinelva      80,78    15,59    1,26      -       $0,32 \times (\text{Bjørkelangen})$

---

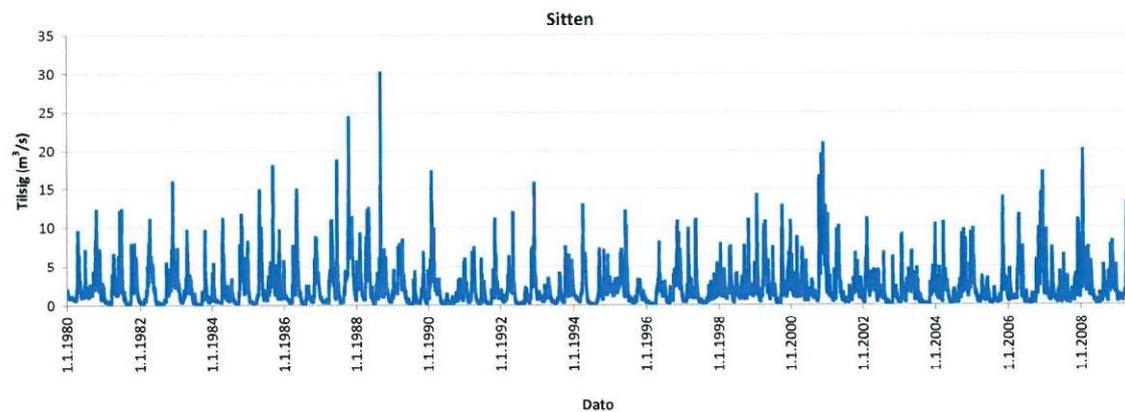
Ved hjelp av beregningsgrunnlaget er det utarbeidet historiske serier for nevnte områder. Seriene vises på Figur 59 til Figur 68.



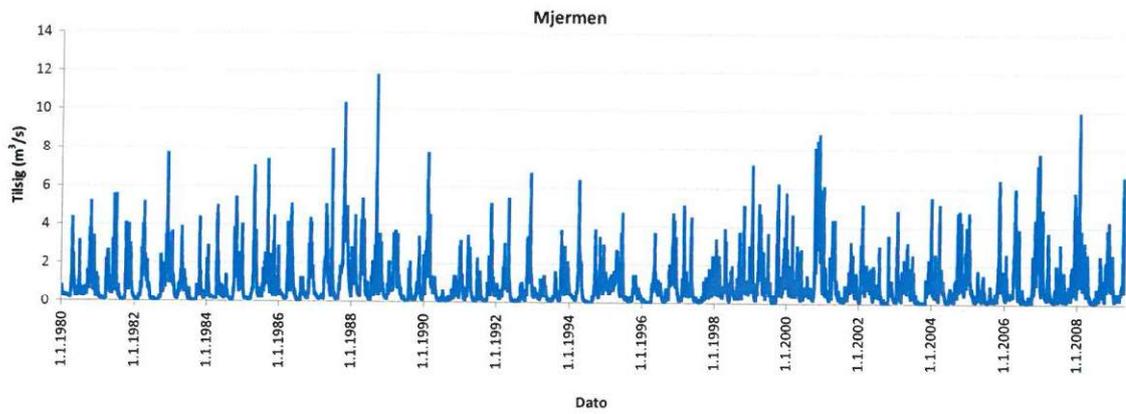
Figur 59: Tilsigsserie basert på historiske data for Øgderen



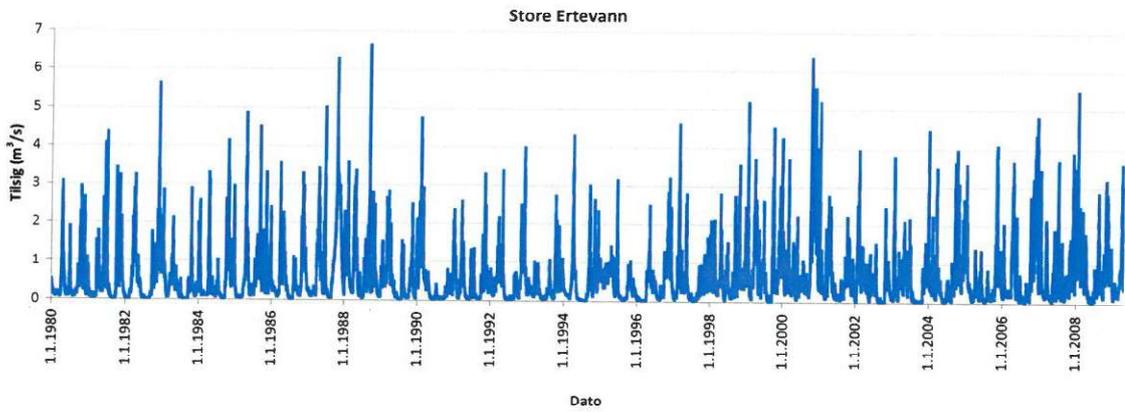
Figur 60: Tilsigsserie basert på historiske data for Bjørkelangen



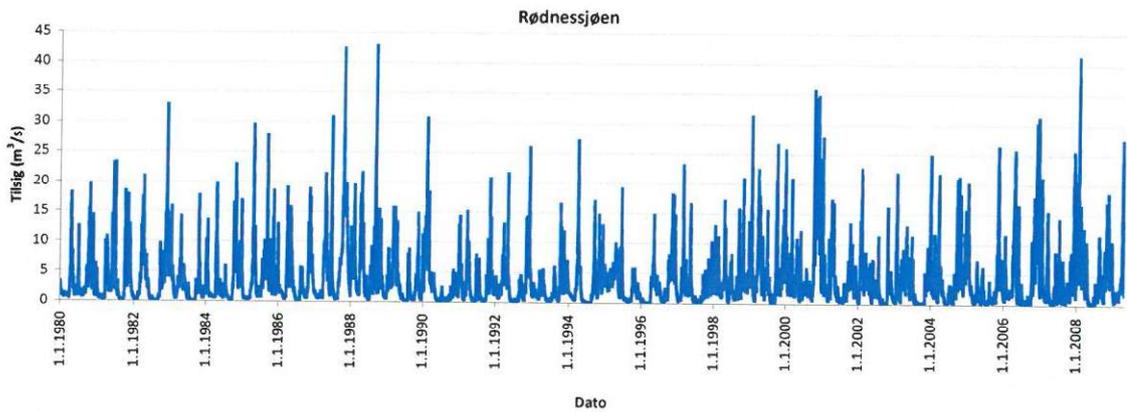
Figur 61: Tilsigsserie basert på historiske data for Sitten



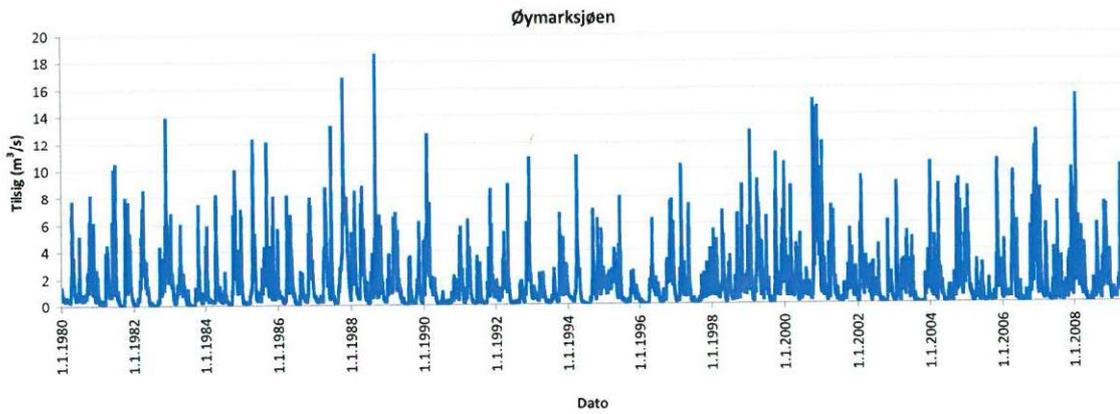
**Figur 62: Tilsgisserie basert på historiske data for Mjermen**



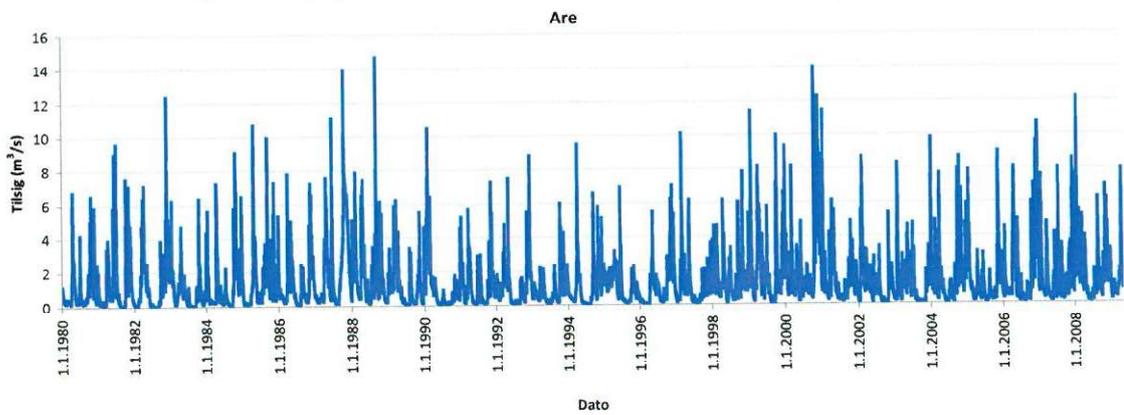
**Figur 63: Tilsgisserie basert på historiske data for Store Ertevang**



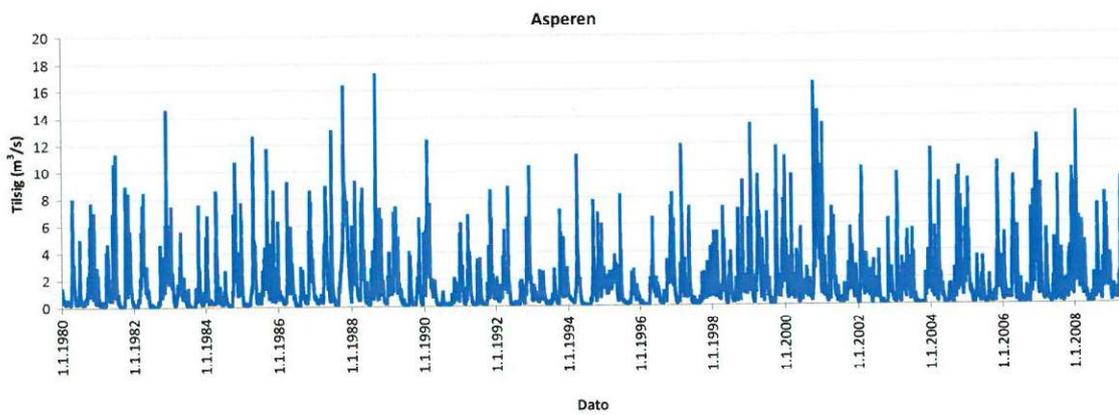
**Figur 64: Tilsgisserie basert på historiske data for Rødnessjøen**



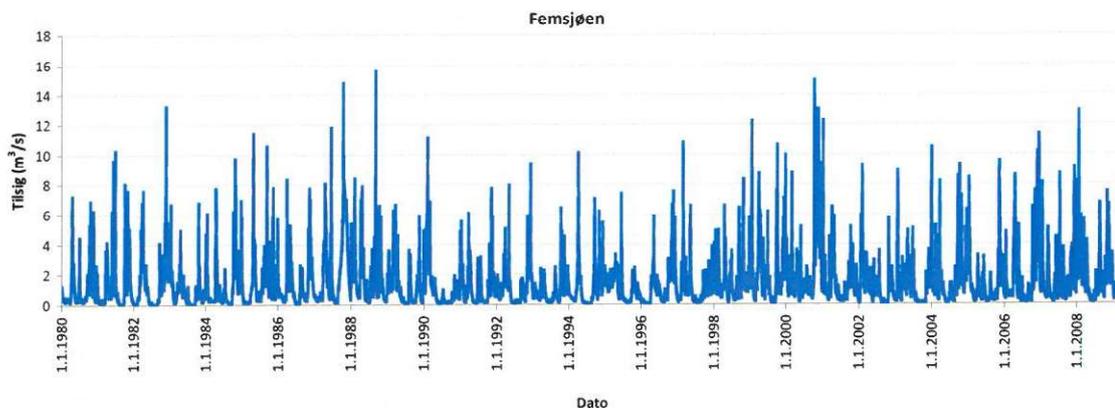
**Figur 65: Tilsgisserie basert på historiske data for Øymarksjøen**



**Figur 66: Tilsgisserie basert på historiske data for Are**



**Figur 67: Tilsgisserie basert på historiske data for Asperen**



Figur 68: Tilsigsserie basert på historiske data for Femsjøen

## Hydraulisk modell

Den hydrauliske modellen er satt sammen av ca 100 tverrprofiler langs hovedelva, Hemneselva Mjerma og Ganerødelva som dekker både magasinene, elvestrekningene og reguleringsorganene i disse. De fleste profilene er mye bredere enn selve vannoverflaten av tekniske grunner. Datapunkter i enkelte profiler kommer fra tilgjengelige digitalkart (geonorge.no), gitte terskelhøyder ved dammer, oppmålte profiler og dybdekart der vannstand ved oppmåling kunne anslås. Tabell 4 viser terskelhøyder ved dammene. Rødt tall viser manglende data eller at ulike datakilder ikke stemmer overens med hverandre og derfor er usikkerheten i resultatene større enn i andre områder.

Tabell 4: Terskelhøyder ved dammer (redigert etter møte 04.03.2011 i følge kommentar fra brukseiersforeningen)

Magasin	Dam	HRV hele år eller sommer	HRV vinter	LRV hele år eller sommer	LRV vinter	terskel normal	terskel flom	terskel flom nedstrøms	dQ(H) 1cm = (i m <sup>3</sup> /s)
Hemnessjø (Øgderen)	Hemnes dam	133,53		132,13		130,89		130,55	1,53
Bjørkelangen	Fosser dam	123,23	124,03	122,67		123,28	122,14		ukjent
Setten	Kolstadfoss dam	167,49		165,4		165,07	165,07		1,22
Mjermen	Bøen dam	164,97		163,84		146,37	146,37		0,77
Rødnessjøen	Ørje dam	118,23		117,29		117,29			1,9
Øymarksjøen	Strømfoss dam	108,36		107,36		107,36			1,5
Are-Asperen	Brekke dam	105,87		104,87	104,24	104,24			1,8
Femsjøen	Svanedammen	79,3		78,3		78,3			1,3
Store Erte	Store Erte	108,96		104,96		105,1			0,51

Utløpene til magasinene må merkes på en unik måte. Dette gjøres ved et navn på elv og et tall som er elvelengde i meter fra øverste punktet for lengdeprofilen i modellen. I tillegg må et annet punkt, som skal brukes som referanse, spesifiseres. Disse kalles referansepunkt for reguleringen

og imiterer vannmerkene som kan ligge en del oppstrøms selve dammene. Tabell 5 viser disse verdiene.

Elvestrekningen er definert fra oppstrøms ende og ned til utløpet. Avstander måles fra oppstrøms ende og nedover elva. Tabellen viser lokalisering av de ulike magasinene langs elvestrekningene.

For hvert reguleringsorgan, må det defineres et bestemmende punkt for reguleringen. Dette kan for eksempel være vannstanden i magasinet. Hvilket punkt som definerer/brukes som magasin vannstand er også gitt i tabellen.

I tabellen uttrykket "Elvelengde" viser *avstand fra oppstrøms ende* av elv og "Referansepunkt" viser hvor i vassdraget finnes referansepunktet for magasin vannstand – merket med *avstand fra oppstrøms ende* av elv.

Tabell 5: Unik identifisering til dammene i modellen

Elv	Magasin	Dam	Elvelengde	Referansepunkt for regulering
Haldenvassdraget	Bjørkelangen	Fosser dam	8535	7744
Hemneselva	Øgderen	Hemnes dam	13100	12284
Mjerma	Setten	Kolstadfoss dam	8650	8294
Mjerma	Mjermen	Bøen dam	26650	20853
Haldenvassdraget	Rødnessjøen	Ørje dam	53750	42178
Haldenvassdraget	Øymarksjøen	Strømfoss dam	76050	70736
Haldenvassdraget	Are-Asperen	Brekke dam	103050	101056
Haldenvassdraget	Femsjøen	Svanedammen	109850	109315
Ganerødelva	Store Erte	Store Erte	4700	4032

For hver dam er det utarbeidet en serie vannføringskurver som tilsvarer ulike lukestillinger og vil imitere en forenklet manøvreringsprosedyre. For dette må minst tre, men i enkelte tilfeller flere kurver lages. Kurvene som er brukt vises på Figur 69. Verdiene bak grafene finnes i vedlegg.

## Oppstartsparmetre

For å starte den hydrauliske simuleringen i Mike11 systemet må en del parametre spesifiseres før prosessen. I gjeldende sak ble disse parametre bestemt i to trinn. Først ble simuleringen startet opp med jevn vanndybde på 5 m og 1 m<sup>3</sup>/s vannføring i alle strekninger og magasiner. Da ble vannføringen i form av tilsiget fra hele september i 1988 satt som inndata og simulert. Siste tidspunktet i denne simuleringen var 30.09.1988 12:00 og resultatene fra dette ble da brukt i andre omgang som oppstart-situasjon for hovedsimuleringen (som "hotstart" fil).

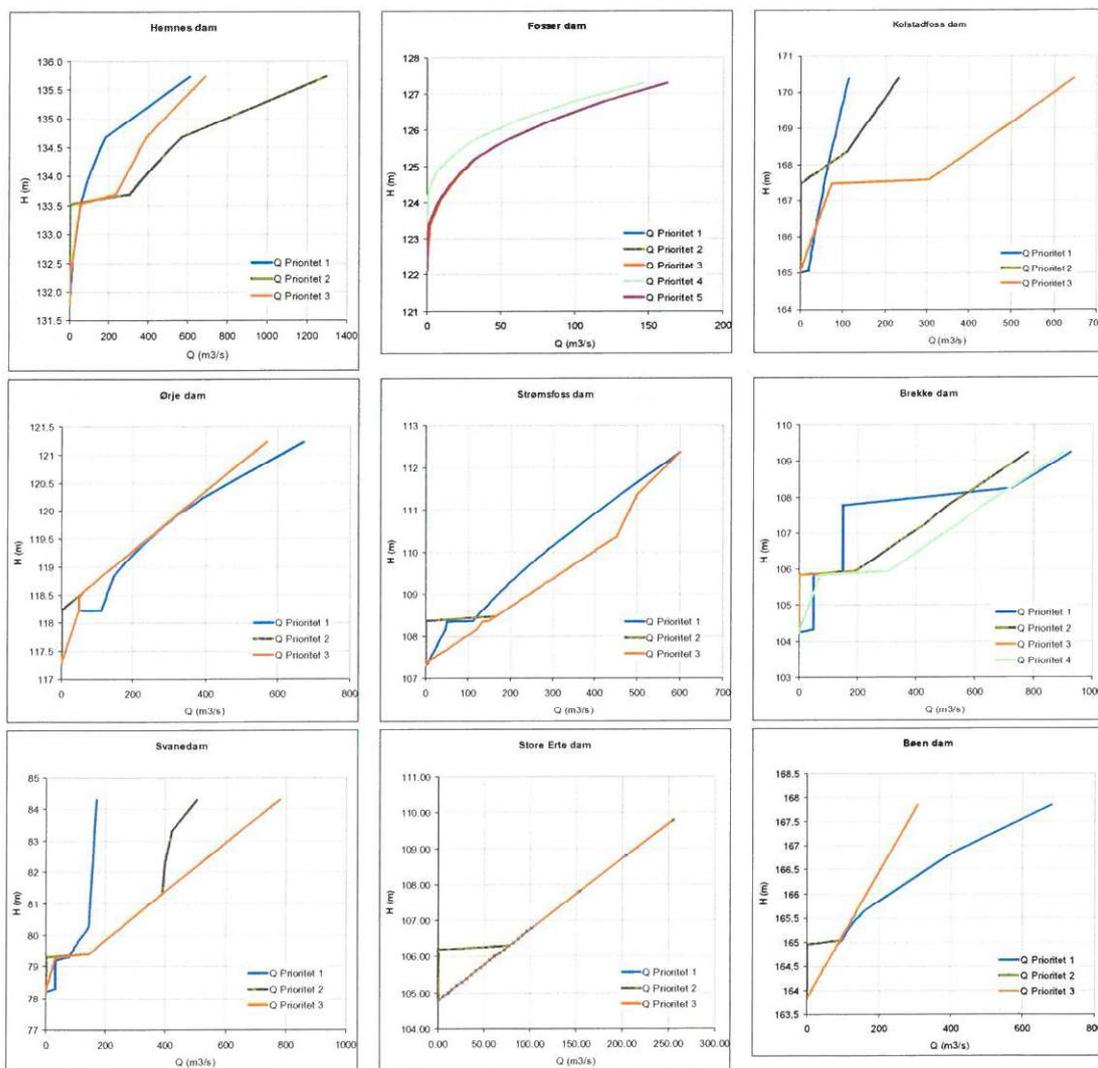
Første situasjon gjør at modellen faktisk kan begynne, men er langt i fra en reell situasjon. Det kan imidlertid antas at en måned med reelle tilsigsdata og reguleringsforhold kan resultere i en situasjon (med situasjon menes her et sett av hydrauliske parametre), som kan brukes som

realistisk oppstartsforhold. Dette gjøres for å etablere en numerisk stabil tilstand i modellen. Denne kan benyttes ved senere oppstart.

## Simuleringsparametre

Tilsigsdata som brukes som inndata har døgnoopløsning og dekker en periode fra 01.01.1980 til 24.04.2009. Deretter må man bestemme, basert på den minste avstanden mellom tverrprofilene og tidsoppløsningen mellom inndatapunkter, en verdi for tidskrittet i simulering. Størrelsen på dette har en effekt på simuleringens nøyaktighet, troverdighet, stabilitet og ikke minst hastighet (hvor mye tid brukes det for å kjøre ferdig en full simulering). I gjeldende sak er det brukt tidskritt på 10 s.

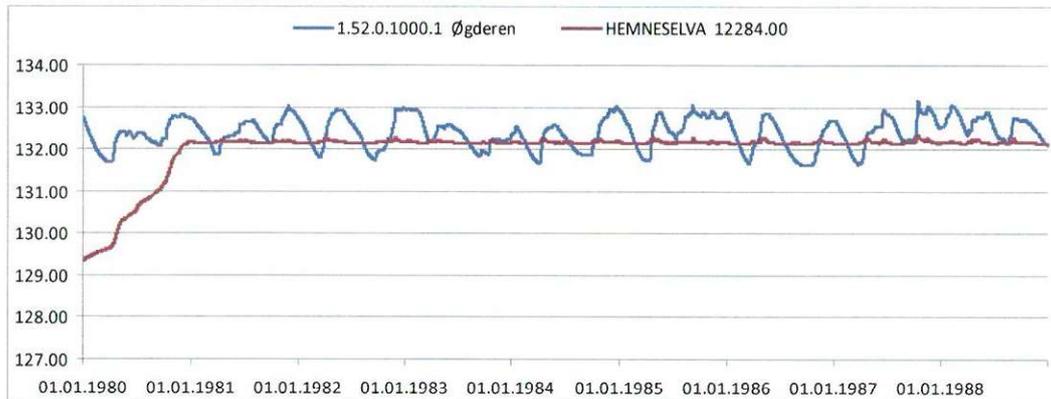
Figur 69: Vannføringskurver brukt i modelleringen



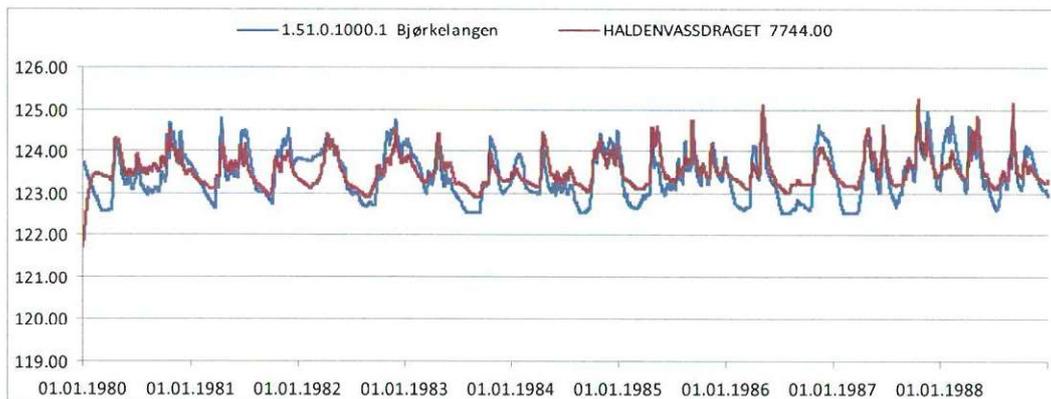
## Resultater

Det ble simulert en 11-års periode basert på modellerte tilsigsdata fra 01.01.1980 til 31.12.1990. Oppstartsparametre ble etablert som beskrevet ovenfor. Resultatene presenteres ved grafer for

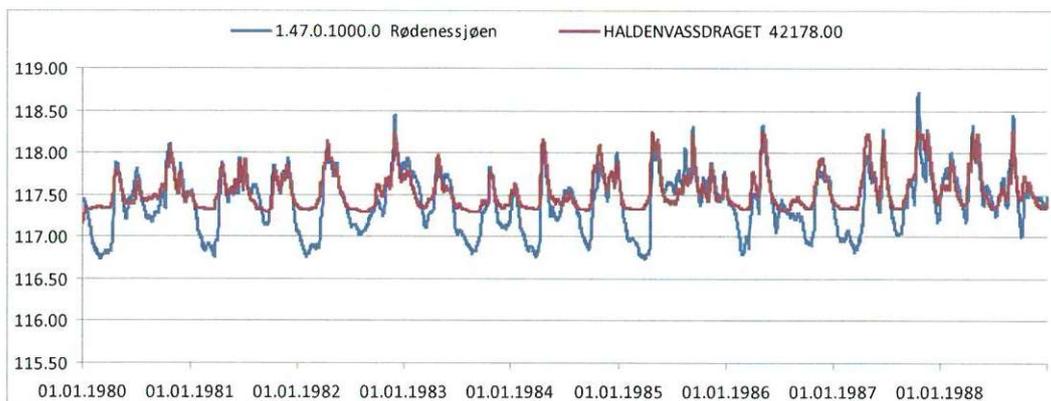
hele simuleringsperioden, en delperiode (bare året 1988) og som avviksgrafene mellom simulerte og målte verdier for 1988. Figur 70 til Figur 78 viser 11-års grafene for perioden 1980 til 1990. Figur 79 til Figur 87 viser verdiene bare i året 1988 (et utsnitt fra de 11-års seriene). Figur 88 til Figur 92 viser avvikene i 1988 for alle magasiner. Tabell 6 viser minste, største og gjennomsnittlig avvik for året 1988.



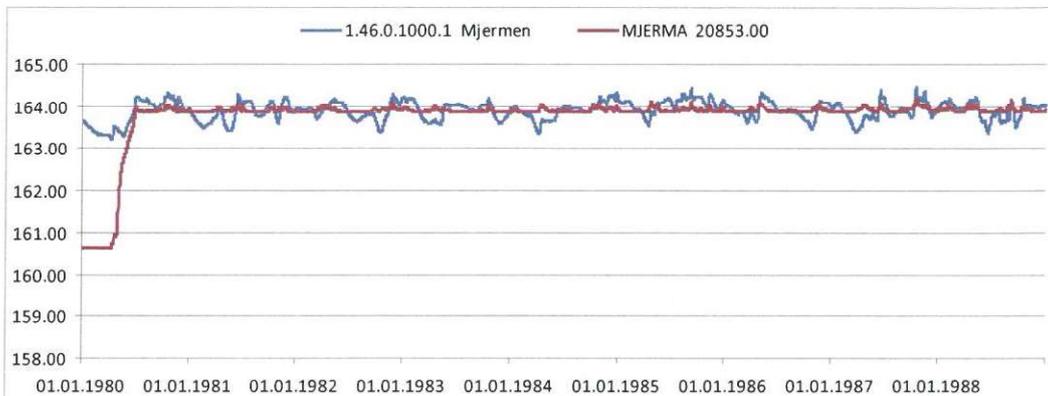
**Figur 70: Simulerte (rød) og målte (blå) vannstander i Øgderen over 11 år**



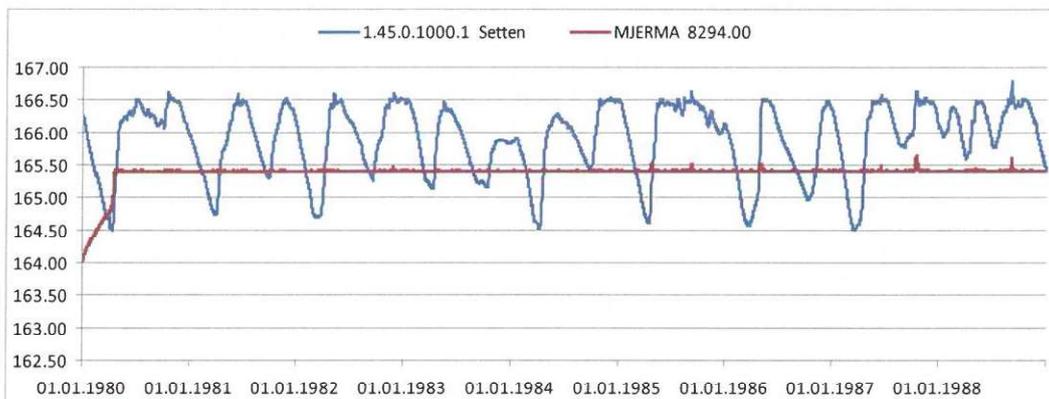
**Figur 71: Simulerte (rød) og målte (blå) vannstander i Bjørkelangen over 11 år**



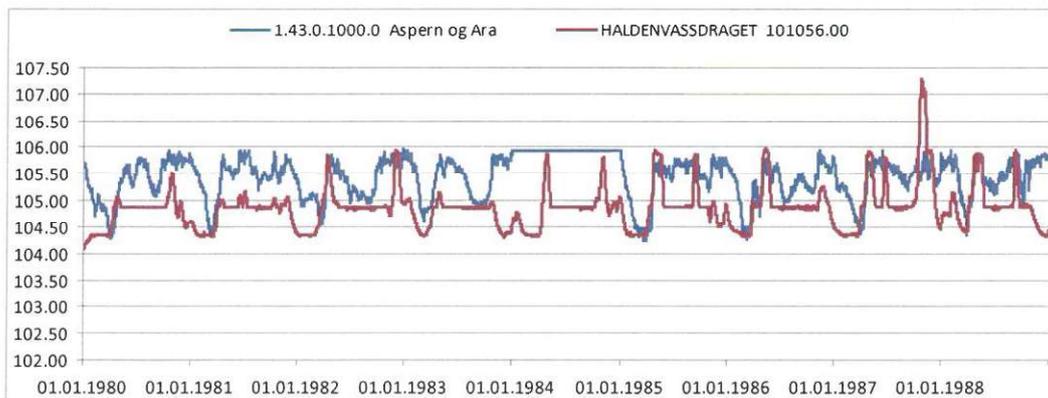
**Figur 72: Simulerte (rød) og målte (blå) vannstander i Rødnessjøen over 11 år**



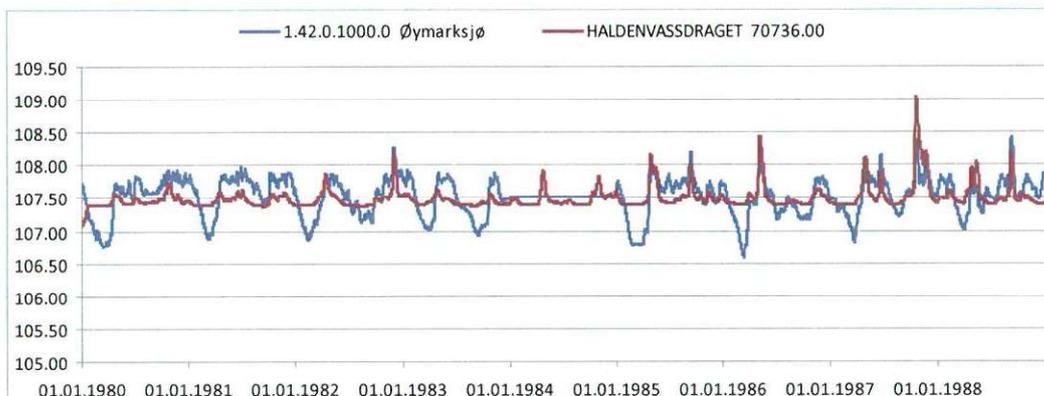
**Figur 73: Simulerte (rød) og målte (blå) vannstander i Mejrmen over 11 år**



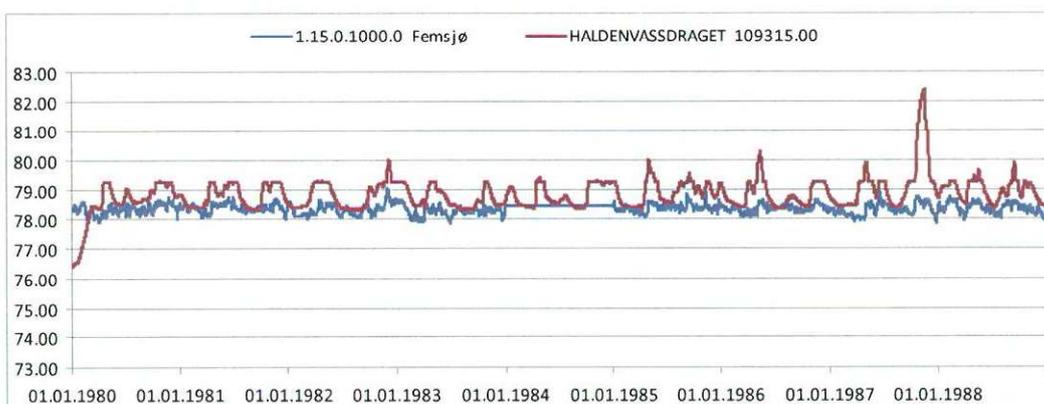
**Figur 74: Simulerte (rød) og målte (blå) vannstander i Setten over 11 år**



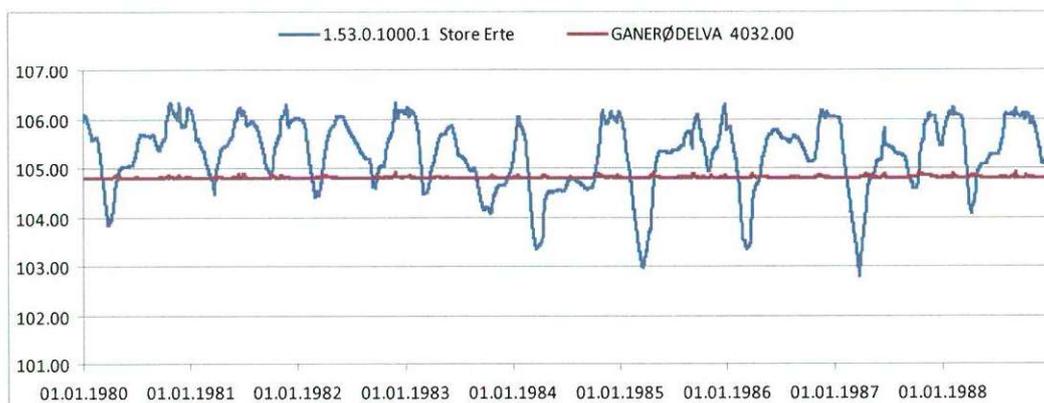
**Figur 75: Simulerte (rød) og målte (blå) vannstander i Aspern og Ara over 11 år**



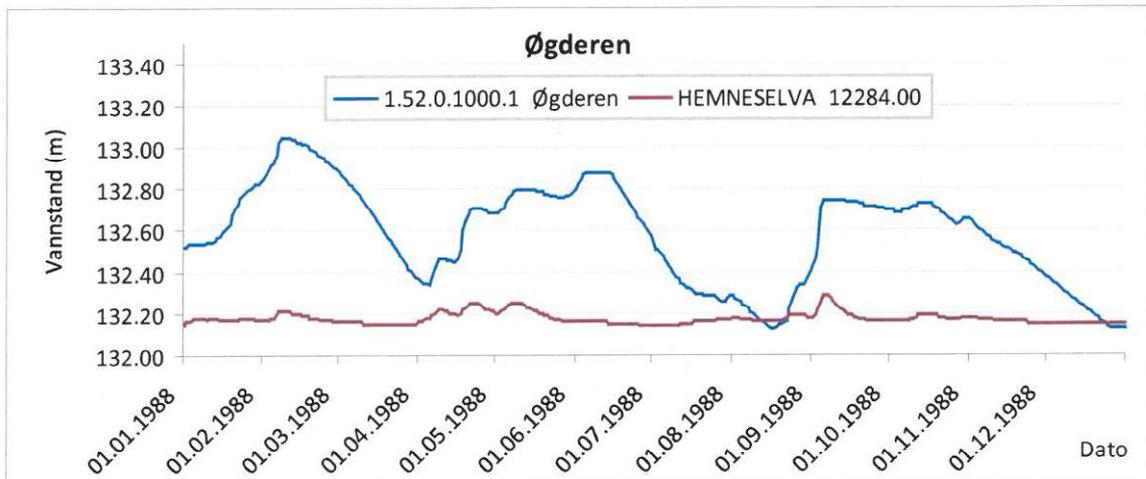
**Figur 76: Simulerte (rød) og målte (blå) vannstander i Øymarksjøen over 11 år**



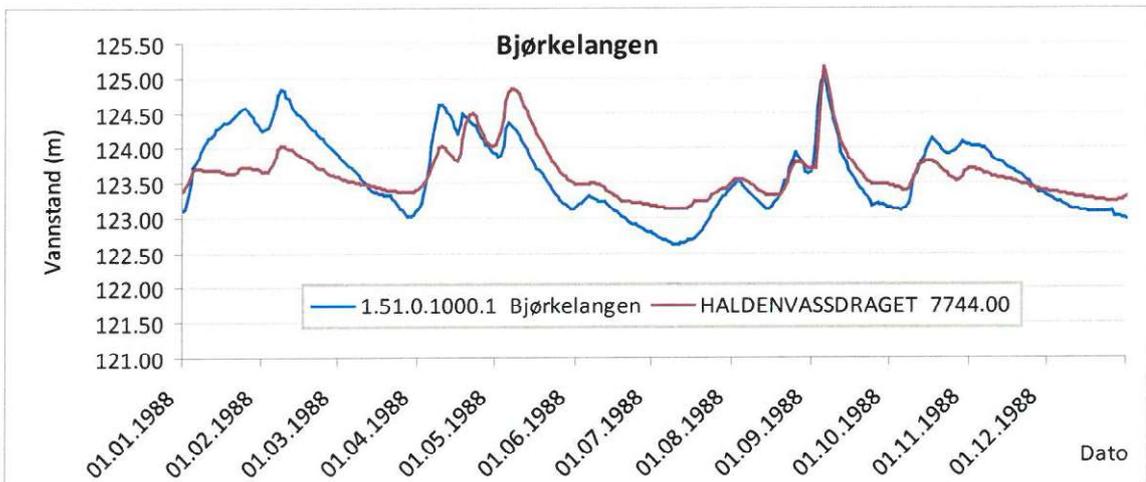
**Figur 77: Simulerte (rød) og målte (blå) vannstander i Femsjøen over 11 år**



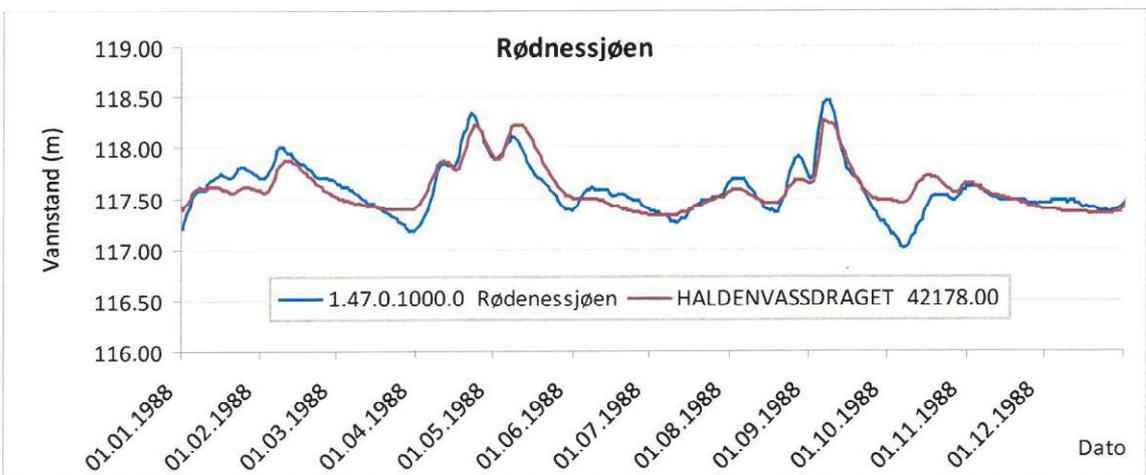
**Figur 78: Simulerte (rød) og målte (blå) vannstander i Store Erte over 11 år**



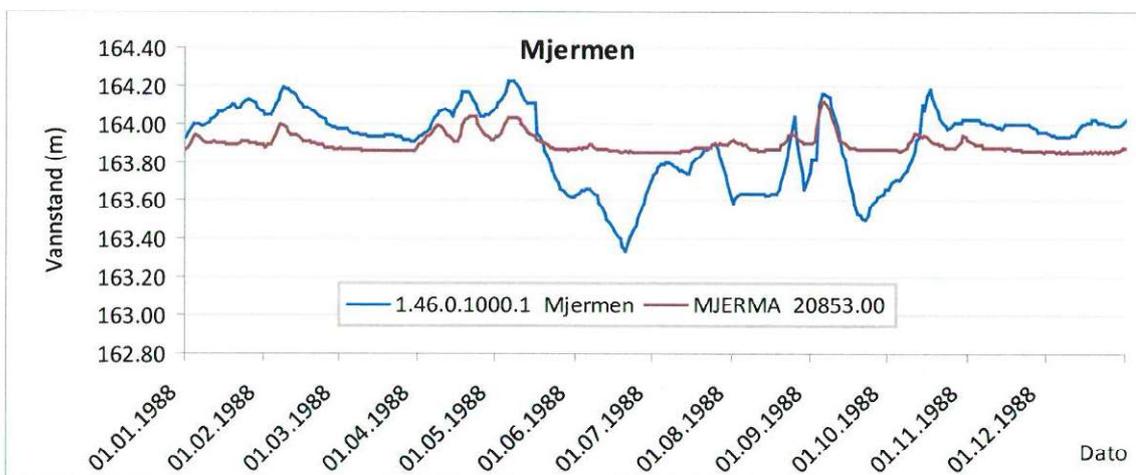
Figur 79: Simulerte (rød) og målte (blå) vannstander i Øgderen ved utløpet i 1988



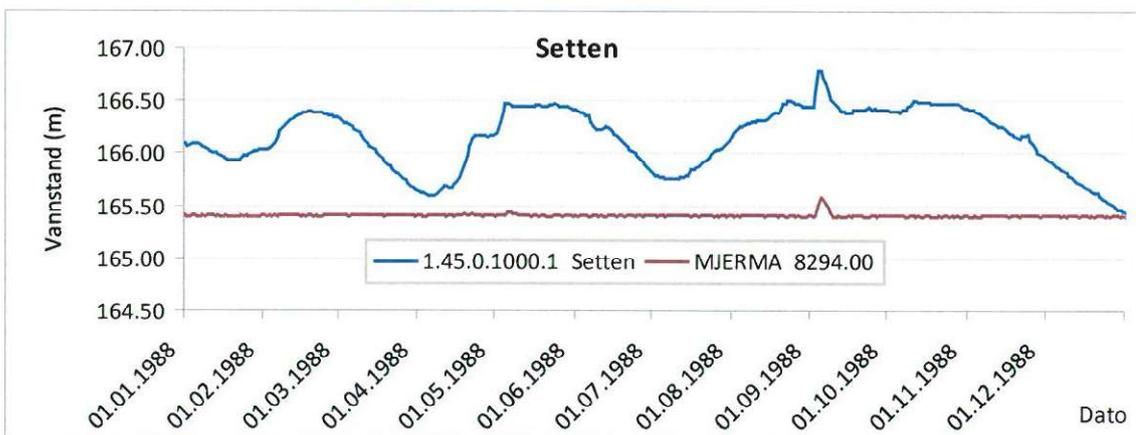
Figur 80: Simulerte (rød) og målte (blå) vannstander i Bjørkelangen ved utløpet i 1988



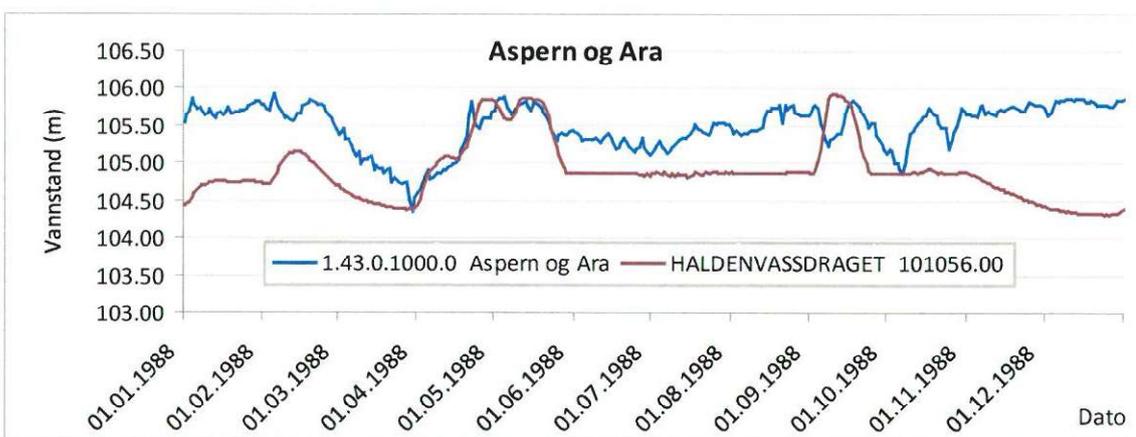
Figur 81: Simulerte (rød) og målte (blå) vannstander i Rødnessjøen ved utløpet i 1988



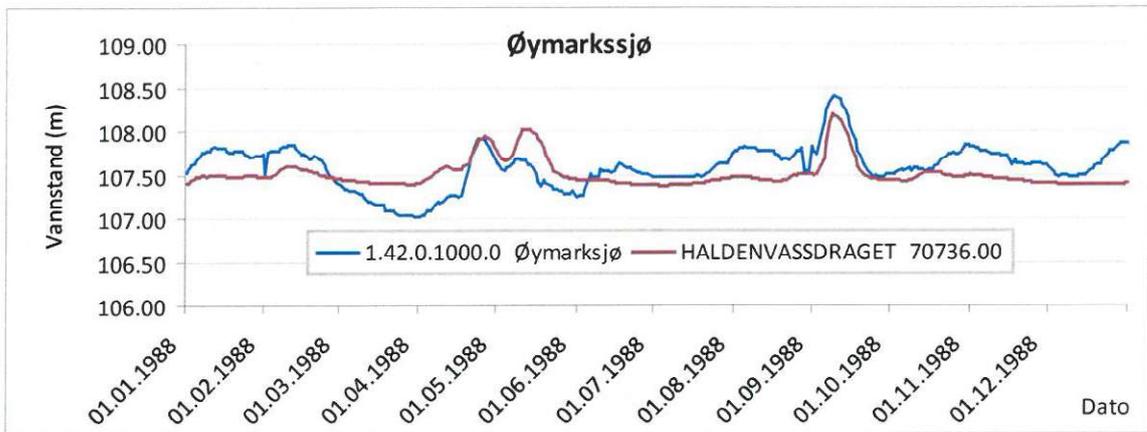
Figur 82: Simulerte (rød) og målte (blå) vannstander i Mjermen ved utløpet i 1988



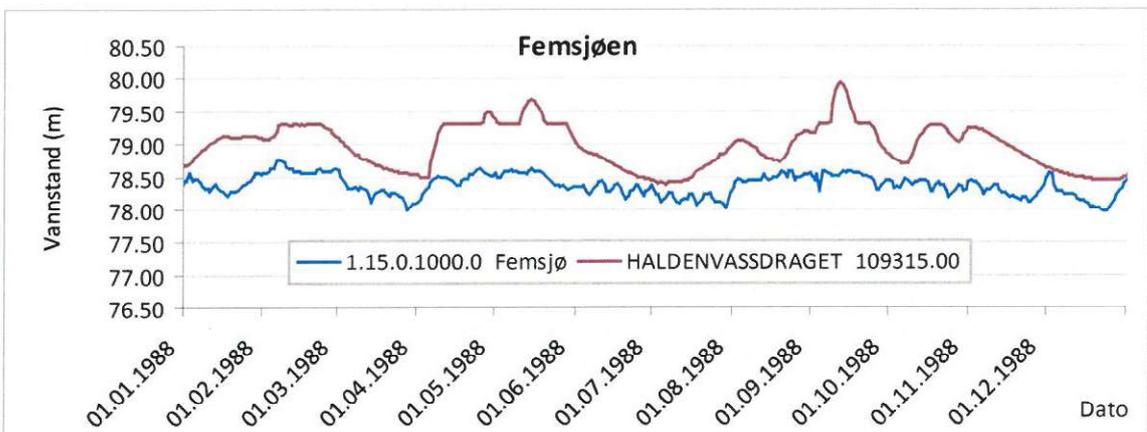
Figur 83: Simulerte (rød) og målte (blå) vannstander i Setten ved utløpet i 1988



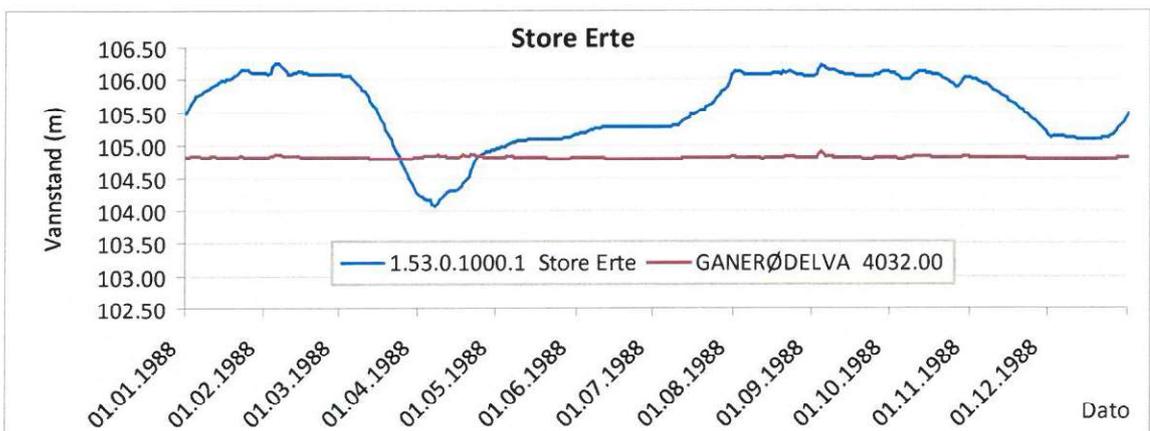
Figur 84: Simulerte (rød) og målte (blå) vannstander i Aspern og Ara ved utløpet i 1988



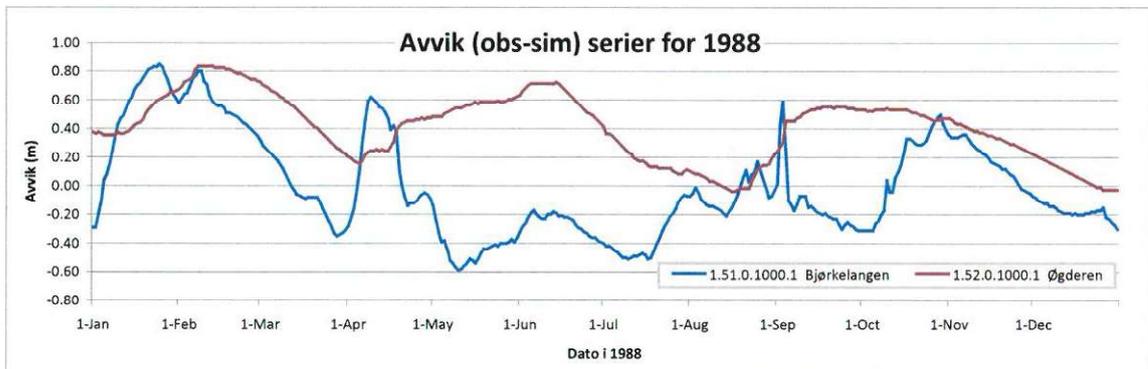
Figur 85: Simulerte (rød) og målte (blå) vannstander i Øymarkssjøen ved utløpet i 1988



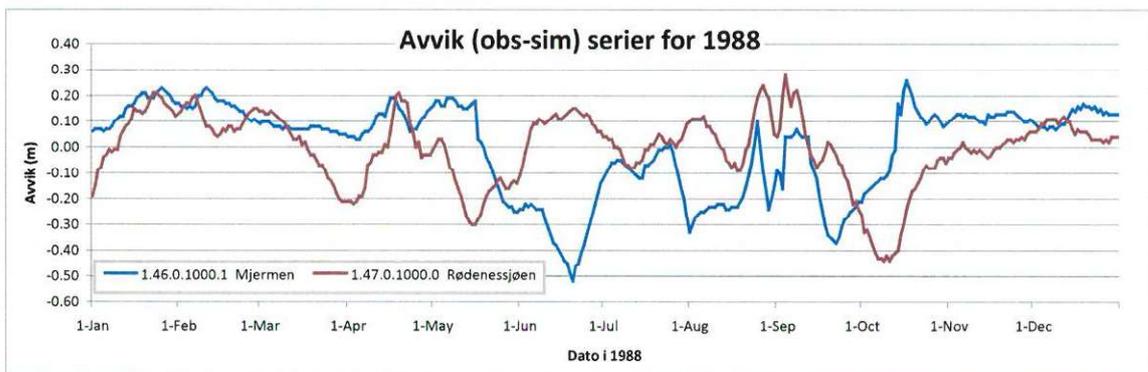
Figur 86: Simulerte (rød) og målte (blå) vannstander i Femsjøen ved utløpet i 1988



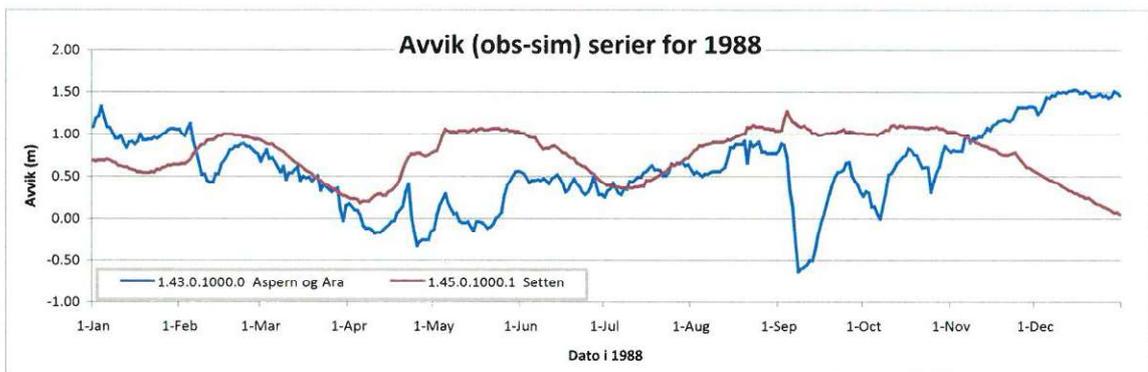
Figur 87: Simulerte (rød) og målte (blå) vannstander i Store Erte ved utløpet i 1988



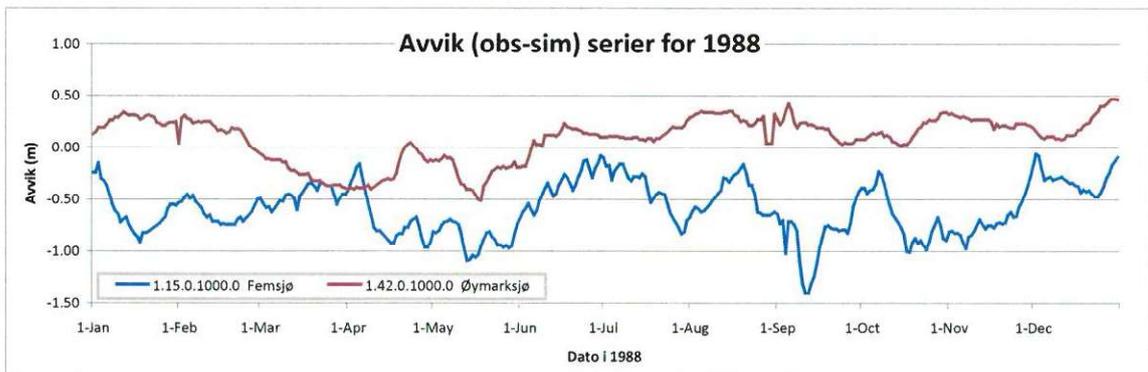
**Figur 88: Avviksgrafer (observert-simulert) for Bjørkelangen og Øgderen i 1988**



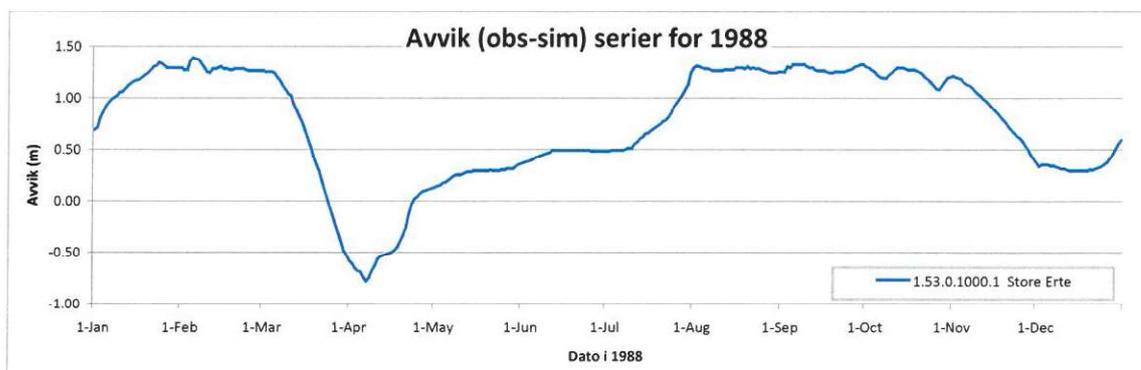
**Figur 89: Avviksgrafer (observert-simulert) for Mjermen og Rødnessjøen i 1988**



**Figur 90: Avviksgrafer (observert-simulert) for Aspern og Ara og Setten i 1988**



**Figur 91: Avviksgrafer (observert-simulert) for Femsjøen og Øymarksjøen i 1988**



Figur 92: Avviksgrafer (observert-simulert) for Store Erte i 1988

Tabell 6: Avviksstatistikk for hvert magasin for 1988

	Femsjø	Øymarksjø	Aspern og Ara	Setten	Mjermen	Rødenessjøen	Bjørkelangen	Øgderen	Store Erte
Gjennomsnitt	-0,59	0,08	0,60	0,75	0,00	0,00	0,00	0,41	0,75
Minst	-1,40	-0,51	-0,63	0,05	-0,52	-0,44	-0,59	-0,03	-0,78
Størst	-0,06	0,47	1,53	1,27	0,26	0,28	0,85	0,84	1,39

## Analyse – veien videre og forbedringspotensial

Feil i resultatene kan skyldes på feil i antakelser (se ovenfor), og generelt noe uoverensstemmelse mellom ulike datakilder. Prosjektets rammer (både tids- og budsjettmessig) ga ikke mulighet for mer detaljerte analyser og forbedringer.

Følgende punkter bør undersøkes i forbindelse med en eventuell fortsettelse eller en videre bruk av modellen:

1. Identifisere om det er regelmessige feil i avviksgrafene. Dette kan bety feil i høydegrunnlaget enten i terskelhøyder, vannføringskurver eller måledata. Alle tre muligheter må undersøkes.
2. Det ble klart under utviklingen at manglende felles høydegrunnlag mellom vannstandsmålerne, ulike terskler og damnivåer, gjør det vanskelig å etablere et felles system for vassdraget.
3. Det ble brukt en forenklet beskrivelse av manøvreringen. En bedre og mer detaljert beskrivelse av reglene vil forbedre kvaliteten til simuleringen.

4. Enkelte elvestrekninger med lite fall bør profileres (elveløp topografien, som ligger undervann, bør beskrives bedre) fordi de har en viktig effekt på vannets strømming mellom magasinene. Disse kan eventuelt identifiseres ved en analyse av modellresultater. Effekten er klar på strekningen mellom Øgderen til samløpet med hovedelva og fra Bjørkelangen til ca Rødnessjøen. Se Figur 57 igjen.
5. En planlagt utvidelse av prosjektet er å bruke modellen i næringstilførselsstudie. Forventninger, begrensninger og muligheter bør kartlegges, tekniske detaljer avklares med samarbeidspartnere (NIVA og/eller Bioforsk).
6. Modellen med overlevert oppsett og parametre, simulerer dagens vannføringsforhold. Men det er mulighet for testing av ulike scenarioer (som omfatter optimalisering for ulike mål, testing av virkningen til enkelte tiltak, osv). Det vil si at en studie kan for eksempel undersøke effektene til noe forandret manipulering av magasinene ved endrede manøvreringspraksis.

# Vedlegg: Vannføringskurver og betingelser i modellen

Vannføringskurver og betingelser for manøvrering brukt i modelleringen i numerisk (tabell) format.

## 1. Hemnes Dam

Referansepunkt i modellen: Hemneselva 12284

H (m)	Q Prioritet 1: H(ref) >= 133,53	Q Prioritet 2: H(v.ref) <= 132,13	Q Prioritet 3: ellers
131,79	0,00	0,00	0,00
131,89	0,77	0,00	0,00
131,99	2,18	0,00	0,00
132,09	4,00	0,00	0,00
132,14	5,04	0,00	0,00
132,19	6,15	0,00	1,91
132,29	8,60	0,00	5,74
132,39	11,30	0,00	9,56
132,49	14,24	0,00	13,39
132,59	17,40	0,00	17,21
132,69	20,76	0,00	21,04
132,79	24,32	0,00	24,86
132,89	28,06	0,00	28,69
132,99	31,97	0,00	32,51
133,09	36,05	0,00	36,34
133,19	40,29	0,00	40,16
133,29	44,68	0,00	43,99
133,49	53,91	0,00	51,64
133,51	54,86	0,00	52,40
133,52	54,52	0,00	52,79
133,69	67,90	305,05	237,15
133,89	85,83	353,58	267,75
134,09	106,21	404,56	298,35
134,29	129,12	458,07	328,95
134,49	154,62	514,17	359,55
134,69	182,78	572,93	390,15
<b>135,73</b>	<b>606,57</b>	<b>1293,54</b>	<b>686,97</b>

## 2. Fosser Dam

Referansepunkt i modellen: Haldenvassdraget 7744

H (m)	Q Prioritet 1: 4 ≤ Måned < 1 1 H(ref) ≥ 123,23	Q Prioritet 2 og 3: Måned < 4 eller 11 ≤ Måned H(v.ref) ≥ 124,0 3	Q Prioritet 4: H(v.ref) ≤ 122,6 7	Q Prioritet 5 : ellers
122,14	0	0	0	0
122,39	0,23	0,23	0	0
122,64	0,62	0,62	0	0
122,89	1,09	1,09	0	0,23
122,98	1,27	1,27	0	0,36
123,08	1,48	1,48	0	0,52
123,18	1,68	1,68	0	0,69
123,28	1,89	1,89	0	0,88
123,38	2,36	2,36	0	1,33
123,48	3,05	3,05	0	2,01
123,58	3,88	3,88	0	2,83
123,68	4,81	4,81	0	3,77
123,78	5,85	5,85	0	4,81
123,88	6,96	6,96	0	5,94
123,98	8,15	8,15	0	7,14
124,08	9,47	9,47	0	8,48
124,18	11,01	11,01	0,3	10,05
124,28	12,66	12,66	0,85	11,73
124,38	14,42	14,42	1,56	13,51
124,48	16,28	16,28	2,4	15,41
124,58	18,24	18,24	3,36	17,4
124,68	20,29	20,29	4,42	19,5
124,78	22,83	22,83	5,56	21,69
124,88	24,95	24,95	7,28	23,98
124,98	27,17	27,17	9,25	26,36
125,08	29,49	29,49	11,45	28,84
125,18	32,1	32,1	13,9	31,58
125,28	35,58	35,58	16,58	35,2
125,38	39,31	39,31	19,5	39,04
125,48	43,29	43,29	22,66	43,13
125,58	47,52	47,52	26,07	47,52
125,68	52,01	52,01	29,71	52,01
125,78	56,76	56,76	33,71	56,76
126,28	84,56	84,56	61,34	84,56
126,78	119,44	119,44	98,7	119,44
<b>127,28</b>	<b>161,79</b>	<b>161,79</b>	<b>146,44</b>	<b>161,79</b>

### 3. Kolstadfoss Dam

Referansepunkt i modellen: Mjerma 8294

H (m)	Q	Q	Q
	Prioritet 1: H(ref) >= 167,49	Prioritet 2: H(ref) <= 165,40	Prioritet 3: ellers
165	0.00	0.00	0.00
165.07	19.87	0.00	0.00
165.17	21.12	0.00	3.05
165.27	22.39	0.00	6.10
165.37	23.69	0.00	9.15
165.47	25.01	0.00	12.20
165.57	26.36	0.00	15.25
165.67	27.73	0.00	18.30
165.77	29.12	0.00	21.35
165.87	30.54	0.00	24.40
165.97	31.98	0.00	27.45
166.07	33.44	0.00	30.50
166.17	34.92	0.00	33.55
166.27	36.42	0.00	36.60
166.37	37.95	0.00	39.65
166.47	39.49	0.00	42.70
166.57	41.05	0.00	45.75
166.67	42.64	0.00	48.80
166.77	44.24	0.00	51.85
166.87	45.87	0.00	54.90
166.97	47.51	0.00	57.95
167.07	49.18	0.00	61.00
167.17	50.86	0.00	64.05
167.27	52.56	0.00	67.10
167.37	54.28	0.00	70.15
167.47	56.02	0.00	73.20
167.57	57.77	12.20	305.00
167.67	59.55	24.40	317.20
167.77	61.34	36.60	329.40
167.87	63.15	48.80	341.60
167.97	64.97	61.00	353.80
168.07	66.82	73.20	366.00
168.17	68.68	85.40	378.20
168.27	70.56	97.60	390.40
168.37	72.45	109.80	402.60
168.57	76.29	122.00	427.00
168.77	80.20	134.20	451.40
168.97	84.17	146.40	475.80
169.17	88.20	158.60	500.20
169.37	92.30	170.80	524.60
169.57	96.45	183.00	549.00
169.77	100.67	195.20	573.40
169.97	104.95	207.40	597.80
170.17	109.28	219.60	622.20
<b>170.37</b>	<b>113.68</b>	<b>231.80</b>	<b>646.60</b>

## 4. Ørje Dam

Referansepunkt i modellen: Haldenvassdraget 42178

H (m)	Q Prioritet 1: H(ref) >= 118,23	Q Prioritet 2: H(ref) <= 117,29	Q Prioritet 3: ellers
117.28	0	0	0
118.22	50	0	49
118.23	111	0	50
118.33	117.12	19	50
118.43	123.33	38	50
118.53	129.62	57	57
118.63	136.01	76	76
118.73	142.48	95	95
118.83	149.03	114	114
118.93	158.76	133	133
119.03	172.27	152	152
119.13	186.47	171	171
119.23	201.39	190	190
119.33	217.03	209	209
119.43	233.42	228	228
119.53	250.56	247	247
119.63	268.47	266	266
119.73	287.16	285	285
119.83	306.65	304	304
119.93	326.95	323	323
120.03	348.08	342	342
120.13	370.04	361	361
120.23	392.84	380	380
<b>121.23</b>	<b>670.5</b>	<b>570</b>	<b>570</b>

## 5. Strømsfoss Dam

Referansepunkt i modellen: Haldenvassdraget 70736

H (m)	Q Prioritet 1: H(ref) >= 108,36	Q Prioritet 2: H(ref) <= 107,36	Q Prioritet 3: ellers
107.3	0	0	0
107.36	5	0	0
107.46	10	0	15
107.56	15	0	30
107.66	20	0	45
107.76	25	0	60
107.86	30	0	75
107.96	35	0	90
108.06	40	0	105
108.16	45	0	120
108.35	50	0	135
108.36	111.48	0	150
108.46	120.93	165	165
108.56	128.39	180	180
108.66	137.64	195	195
108.76	147.1	210	210
108.86	156.79	225	225
108.96	166.68	240	240
109.06	176.79	255	255
109.16	187.09	270	270
109.26	197.6	285	285
109.36	208.31	300	300
109.46	219.21	315	315
109.56	230.3	330	330
109.66	241.58	345	345
109.76	253.04	360	360
109.86	264.69	375	375
109.96	276.52	390	390
110.06	288.52	405	405
110.16	300.7	420	420
110.26	313.06	435	435
110.36	325.58	450	450
111.36	459.84	500	500
<b>112.36</b>	<b>600</b>	<b>600</b>	<b>600</b>

## 6. Brekke Dam

Referansepunkt i modellen: Haldenvassdraget 101056

H (m)	Q Prioritet 1: H(ref) >= 105,87	Q Prioritet 2: 4 <= Måned < 11 H(ref) <= 104,87	Q Prioritet 3: H(ref) <= 104,24	Q Prioritet 4: ellers
104.24	0	0	0	0
104.34	50	0	0	4.5
104.44	50	0	0	9
104.54	50	0	0	13.5
104.64	50	0	0	18
104.74	50	0	0	22.5
104.84	50	0	0	27
104.87	50	0	0	28.35
104.94	50	0	0	31.5
105.04	50	0	0	36
105.14	50	0	0	40.5
105.24	50	0	0	45
105.34	50	0	0	49.5
105.44	50	0	0	54
105.54	50	0	0	58.5
105.64	50	0	0	63
105.74	50	0	0	67.5
105.84	50	0	0	72
105.94	150	192.6	306	306
106.04	150	210.6	324	324
106.14	150	228.6	342	342
106.24	150	246.6	360	360
106.74	150	336.6	450	450
107.24	150	426.6	540	540
107.77	150	510	630	630
108.24	724.68	600	720	720
108.74	823.24	690	810	810
<b>109.24</b>	<b>924.32</b>	<b>780</b>	<b>900</b>	<b>900</b>

## 7. Svanedam

Referansepunkt i modellen: Haldenvassdraget 109315

H (m)	Q Prioritet 1: H(ref) >= 79,3	Q Prioritet 2: H(ref) <= 78,3	Q Prioritet 3: ellers
78.20	0.00	0.00	0.00
78.30	30.00	0.00	0.00
78.40	30.00	0.00	3.25
78.50	30.00	0.00	6.50
78.60	30.00	0.00	9.75
78.70	30.00	0.00	13.00
78.80	30.00	0.00	16.25
78.90	30.00	0.00	19.50
79.00	30.00	0.00	22.75
79.10	30.00	0.00	26.00
79.20	30.00	0.00	29.25
79.30	76.39	0.00	32.50
79.40	82.47	143.00	143.00
79.50	88.74	156.00	156.00
79.60	95.19	169.00	169.00
79.70	101.83	182.00	182.00
79.80	108.64	195.00	195.00
79.90	115.64	208.00	208.00
80.00	122.81	221.00	221.00
80.10	130.16	234.00	234.00
80.20	137.27	247.00	247.00
80.30	143.24	260.00	260.00
81.30	149.28	390.00	390.00
82.30	155.38	400.00	520.00
83.30	161.54	423.18	650.00
<b>84.30</b>	<b>167.76</b>	<b>503.10</b>	<b>780.00</b>

## 8. Store Erte dam

Referansepunkt i modellen: Ganerødelva 4032

H (m)	Q Prioritet 1: H(ref) >= 106,3	Q Prioritet 2: H(ref) <= 104,8	Q Prioritet 3: ellers
104.80	0.00	0.00	0.00
104.90	5.10	0.00	5.10
105.00	10.20	0.00	10.20
105.10	15.30	0.00	15.30
105.20	20.40	0.00	20.40
105.30	25.50	0.00	25.50
105.40	30.60	0.00	30.60
105.50	35.70	0.00	35.70
105.60	40.80	0.00	40.80
105.70	45.90	0.00	45.90
105.80	51.00	0.00	51.00
105.90	56.10	0.00	56.10
106.00	61.20	0.00	61.20
106.10	66.30	0.00	66.30
106.20	71.40	0.00	71.40
106.30	76.50	76.50	76.50
106.40	81.60	81.60	81.60
106.50	86.70	86.70	86.70
106.60	91.80	91.80	91.80
106.70	96.90	96.90	96.90
106.80	102.00	102.00	102.00
107.80	153.00	153.00	153.00
108.80	204.00	204.00	204.00
<b>109.80</b>	<b>255.00</b>	<b>255.00</b>	<b>255.00</b>

## 9. Bøen dam

Referansepunkt i modellen: Mjerma 20853

H (m)	Q Prioritet 1: H(ref) >= 164,97	Q Prioritet 2: H(ref) <= 163,845	Q Prioritet 3: ellers
163.845	0	0	0
163.945	7.7	0	7.7
164.045	15.4	0	15.4
164.145	23.1	0	23.1
164.245	30.8	0	30.8
164.345	38.5	0	38.5
164.445	46.2	0	46.2
164.545	53.9	0	53.9
164.645	61.6	0	61.6
164.745	69.3	0	69.3
164.845	77	0	77
164.945	84.7	0	84.7
165.045	97.67	92.4	92.4
165.145	105.83	100.1	100.1
165.245	114.02	107.8	107.8
165.345	123.05	115.5	115.5
165.445	134.22	123.2	123.2
165.545	146.54	130.9	130.9
165.645	160.25	138.6	138.6
165.745	181.38	146.3	146.3
165.845	197.78	154	154
166.845	403.88	231	231
<b>167.845</b>	<b>678.29</b>	<b>308</b>	<b>308</b>

