

# Rapport

## Miljøtilpasset drift av Bjelland kraftverk

### Forfattere

Hans-Petter Fjeldstad, (SINTEF)

Torbjørn Forseth, (NINA)

Sven Erik Gabrielsen og Bjørnar Skår (UNI Miljø, Bergen)

Julian Sauterleute (SWECO)



# Rapport

## Miljøtilpasset drift av Bjelland kraftverk

Undertittel

**EMNEORD:**

Laks  
Vannkraft  
Miljødesign  
Vassdragsregulering  
Minstevannføring  
Stranding

**VERSJON**

**DATO**

2017-01-06

**FORFATTERE**

Hans-Petter Fjeldstad, (SINTEF)  
Torbjørn Forseth, (NINA)  
Sven Erik Gabrielsen og Bjørnar Skår (UNI Miljø, Bergen)  
Julian Sauterleute (SWECO)

**OPPDRAKSGIVER(E)**

Agder Energi Vannkraft

**OPPDRAKSGIVERS REF.**

Svein Haugland

**PROSJEKTNR**

502000574

**ANTALL SIDER :**

35

**SAMMENDRAG**

Utløpet av Bjelland kraftverk befinner seg på den lakseførende delen av Mandalselva, og vannføringen gjennom kraftverket påvirker leveområdene for laks på den 8 km lange strekningen fra utløpet og ned til Mannflåvatn. I denne rapporten identifiseres forskjellige driftssituasjoner for Bjelland kraftverk, og rapporten har som mål å foreslå en drift som i størst mulig grad unngår negativ påvirkning på laks. Spesielt har det vært et fokus på drift som forhindrer hurtig tørrlegging, og dermed stranding av ungfisk, samt at det er tatt hensyn til egenskapene til de to turbinene i kraftstasjonen. Dette er viktig for å utnytte vannet til det beste for både kraftproduksjon og for å skape best mulige levevilkår for fisk. Resultatene fra arbeidet viser at det i hovedsak er vannføringer under 15-20 m<sup>3</sup>/s som gir tørrlagte arealer langs elvebreddene, og at drift på høyere vannføring i mindre grad gir strandingsfare eller andre negative effekter for laks. I praksis kan ikke Bjelland kraftverk reguleres på vannføringer lavere enn 20 m<sup>3</sup>/s, og planlagt stans må kontrolleres med forbitapping og eventuelt tomgangskjøring. Ukontrollerte utfall forekommer sjeldent, men kan gi en potensiell strandingsfare for fisk dersom vannføringen forbi kraftverket er liten.

**UTARBEIDET AV**

Hans-Petter Fjeldstad

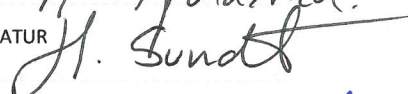
**SIGNATUR**



**KONTROLLERT AV**

Håkon Sundt


**SIGNATUR**



**GODKJENT AV**

 Knut Samdal

**SIGNATUR**



**RAPPORTNR**

TR A7605

**ISBN**

978-82-594-3768-6

**GRADERING**

Åpen

**GRADERING DENNE SIDE**

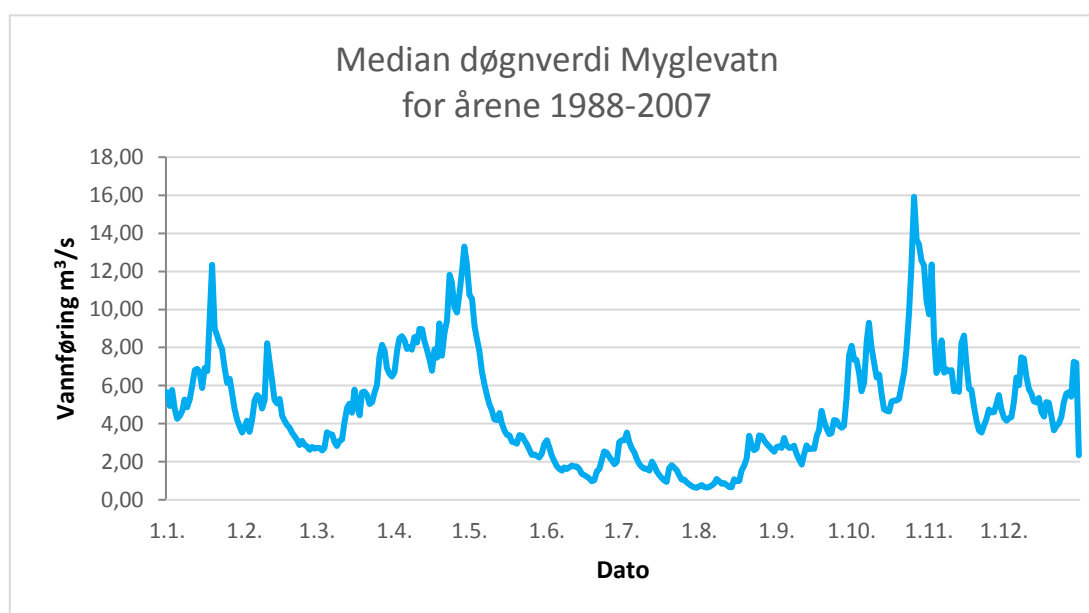
Åpen

# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Bakgrunn</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Mål</b> .....	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Metodikk</b> .....	<b>9</b>
3.1	Vannstandsdata .....	9
3.2	Vannføringsmålinger .....	9
3.3	Topografiske målinger (elvebunn og bredder) .....	10
3.4	Registrering av gyteområder .....	12
3.5	Øvrige registreringer .....	12
<b>4</b>	<b>Resultater</b> .....	<b>13</b>
4.1	Vannføring og vannstand .....	13
4.2	Tørrlegging av arealer og strandingsfare for fisk ved nedstenging av Bjelland kraftverk .....	16
4.2.1	Strekning 1, Monan .....	16
4.2.2	Strekning 2, Lillebjelland .....	21
4.2.3	Strekning 3, Trygsland .....	23
4.2.4	Strekning 4, Hesså .....	26
4.2.5	Strekning 5, Sanøy. ....	28
<b>5</b>	<b>Diskusjon og forslag til tiltak</b> .....	<b>30</b>
<b>6</b>	<b>Referanser</b> .....	<b>36</b>

## 1 Bakgrunn

Bjelland kraftverk har sitt inntak i Tungesjø, oppstrøms Mandalselvas anadrome (lakseførende) strekning, mens utløpet på Monan befinner seg ca. 6 km lenger ned, på den øvre delen av den anadrome strekningen. Slukeevnen i Bjelland kraftverk er 79 m<sup>3</sup>/s, fordelt på 2 like francisturbiner. Mellom Tungesjø og utløpet av Bjelland kraftverk er det en minstevannstrekning der vannføringen målt ved Sundet (nedstrøms samløp med Kosåna) ikke skal være mindre enn henholdsvis 2 m<sup>3</sup>/s om sommeren (1. mai-30. september) og 1 m<sup>3</sup>/s om vinteren. Minstevannføringen inkluderer vannføringen i det uregulerte sidevassdraget Kosåna, som med en feltstørrelse på 220 km<sup>2</sup> har et middeltilsig på 9,55 m<sup>3</sup>/s, og som dermed gir et betydelig bidrag på minstevannføringsstrekningen (Figur 1). Bidraget fra Kosåna er statistisk sett lavest om sommeren, samt i en periode rundt 1. mars. For å tilfredsstille kravet om minstevannføring kan det i tørre perioder slippes vann fra dammen ved Tungesjø, men det tar flere timer fra det slippes vann fra Tungesjø til vannføringsøkning kan registreres ved utløpet av kraftverket ved Monan.



Figur 1. Beregnede medianvannføringsverdier basert på målinger i Kosåna ved Myglevatn, som tilsvare omkring tre fjerdedeler av vannføringen ved Sundet (på minstevannføringsstrekningen forbi Bjelland kraftverk).

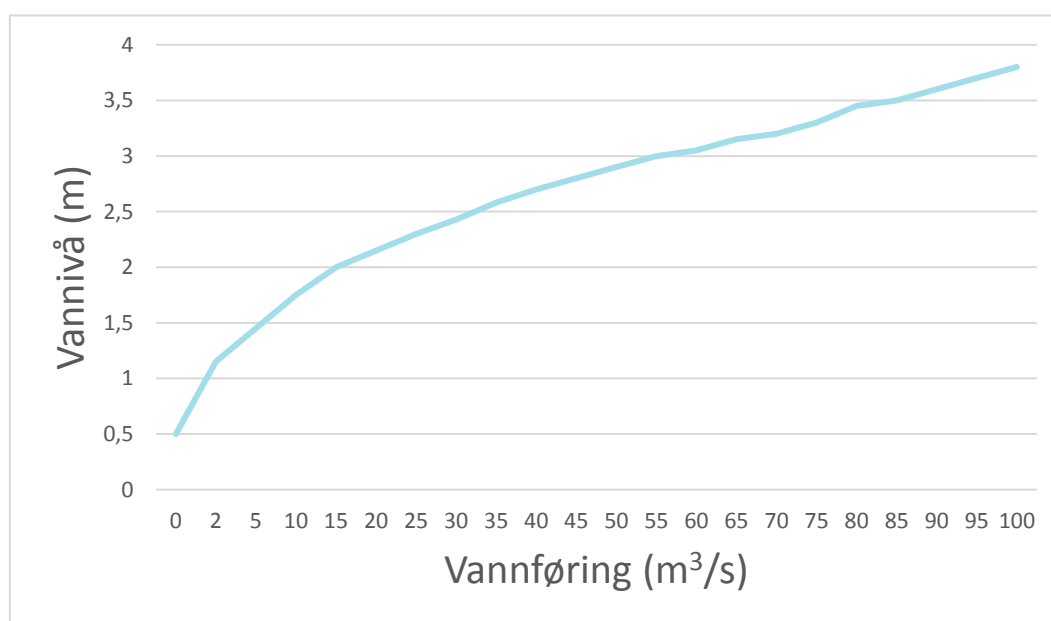
Driftsvannføringen i Bjelland kraftverk påvirker leveområdene for laks og ørret nedstrøms kraftverksutløpet, og i denne rapporten vurderes forhold som er knyttet til drift av Bjelland kraftverk. Laksen har forskjellige krav til vannføring og leveområder gjennom sesongen, og delvis gjennom døgnet (Bakken m. fl. 2016). Som eksempler kan nevnes:

- Under smoltutvandringen om våren er det fordelaktig med relativt høy vannføring

- Vannføringen etter gyting bør ikke senkes slik at gyteplasser tørrlegges.
- Vedvarende (mange dager) med lav vannføring, og spesielt om vinteren, øker dødeligheten hos ungfisk
- På dagtid om vinteren gjemmer ungfisken seg i stor grad nede i grusen og er spesielt utsatt for tørrlegging

Vannføringen påvirker det vanndekte arealet i elva, samt vannhastigheter, dybdeforhold, vanntemperatur og isdekke. Vannføringsendringer vil også endre de fysiske forholdene for fisk. Tidligere studier har vist at hyppige vannstandsendringer kan øke stressnivå, redusere vekst og øke dødeligheten hos ungfisk av laks. Hurtig redusert vannføring fra Bjelland kraftverk kan skape tørrlagte områder og dermed økt risiko for dødelighet hos ungfisk og egg pga. stranding på den ca. 8 km lange strekningen fra utløpet av kraftverket og ned til Mannflåvatn (se Figur 3). Hvorvidt en elvestrekning er utsatt for tørrlegging bestemmes av forholdet mellom vannføring og vanndekket areal på den bestemte strekningen. Det er viktig å vite ved hvilke vannføringer tørrlegging inntreffer, og dermed hvordan man kan hindre hurtig tørrlegging. Tidligere studier har vist at det forekommer liten stranding av fisk dersom vertikal vannstandsreduksjon foregår saktere enn 10-15 cm/time. Det aller meste av fisken ser da ut til å forflytte seg trygt til andre vanndekte områder. Denne rapporten studerer derfor hvilke vannføringer slike vannstandsendringer tilsvare.

Ca. 800 meter nedenfor utløpet av Bjelland kraftverk doseres kalk for å redusere surhet i elvevannet. Kalkdosereren (Mankalk) måler vannivå og det er laget en kurve som beregner vannføring og som videre brukes til å beregne dosert kalkmengde (Figur 2). Figuren antyder blant annet at det er stor vannstandsreduksjon ved en vannføring fra ca. 20 m<sup>3</sup>/s og lavere på denne stasjonen.



Figur 2. Beregnet vannføring som funksjon av vannivå ved Mankalk.

I tillegg til vannføring, påvirker vannstanden i Mannflåvatn det vandekte arealet på strekningen opp til Hesså, spesielt når vannføringen er lav. Vannstanden i Mannflåvatn skal i perioden mellom 1. mai og 30. september være under 68,3 moh, og resten av året under 68,8 moh. I flomperioder kan sommervannstanden være vanskelig å opprettholde, fordi damkrona på utløpet av Mannflåvatn ligger på 68,8 moh, og i tillegg til slukeevnen i Laudal kraftverk (110 m<sup>3</sup>/s) kan lukene på dammen ikke slippe gjennom mer enn ca. 20 m<sup>3</sup>/s ved et nivå i Mannflåvatn på 68,3 moh.

For å studere faren for tørrlegging ble det 15. oktober 2015 foretatt en kontrollert nedstenging av Bjelland kraftverk. Forut for nedstengingen ble det sluppet vann forbi kraftverket fra Tungesjø, for å unngå at elva nedenfor kraftverket ble unødig tørrlagt, noe som ville medført dødelighet hos ungfisk. Dagen før og samme dag ble det gjennomført feltundersøkelser for å samle inn data for hvordan nedstengingen påvirket vandekket areal og hvilke områder som var sårbare for tørrlegging. Resultatene fra disse feltundersøkelsene presenteres i denne rapporten. I tillegg presenteres en vurdering av hvilke tiltak som kan redusere faren for stranding hos ungfisk. Til slutt oppsummeres resultatene ved å sette opp en konkret plan for hvordan Bjelland kraftverk kan driftes mest mulig miljøriktig i forhold til laksefisk.

Selv om de to turbinene i Bjelland kraftstasjon i utgangspunktet er like har de i praksis forskjellige driftsegenskaper. Ingen av turbinene kan kjøre på en vannføring lavere enn ca. 8 m<sup>3</sup>/s, og bør ikke kjøres under 20 m<sup>3</sup>/s, mens den ene turbinen heller ikke ønskes kjørt på vannføringer mellom ca. 23 og 29 m<sup>3</sup>/s. Disse begrensningene må man ta hensyn til i driftsplanene.

På bakgrunn av dette er det følgende situasjoner som har størst interesse for driften av Bjelland kraftverk:

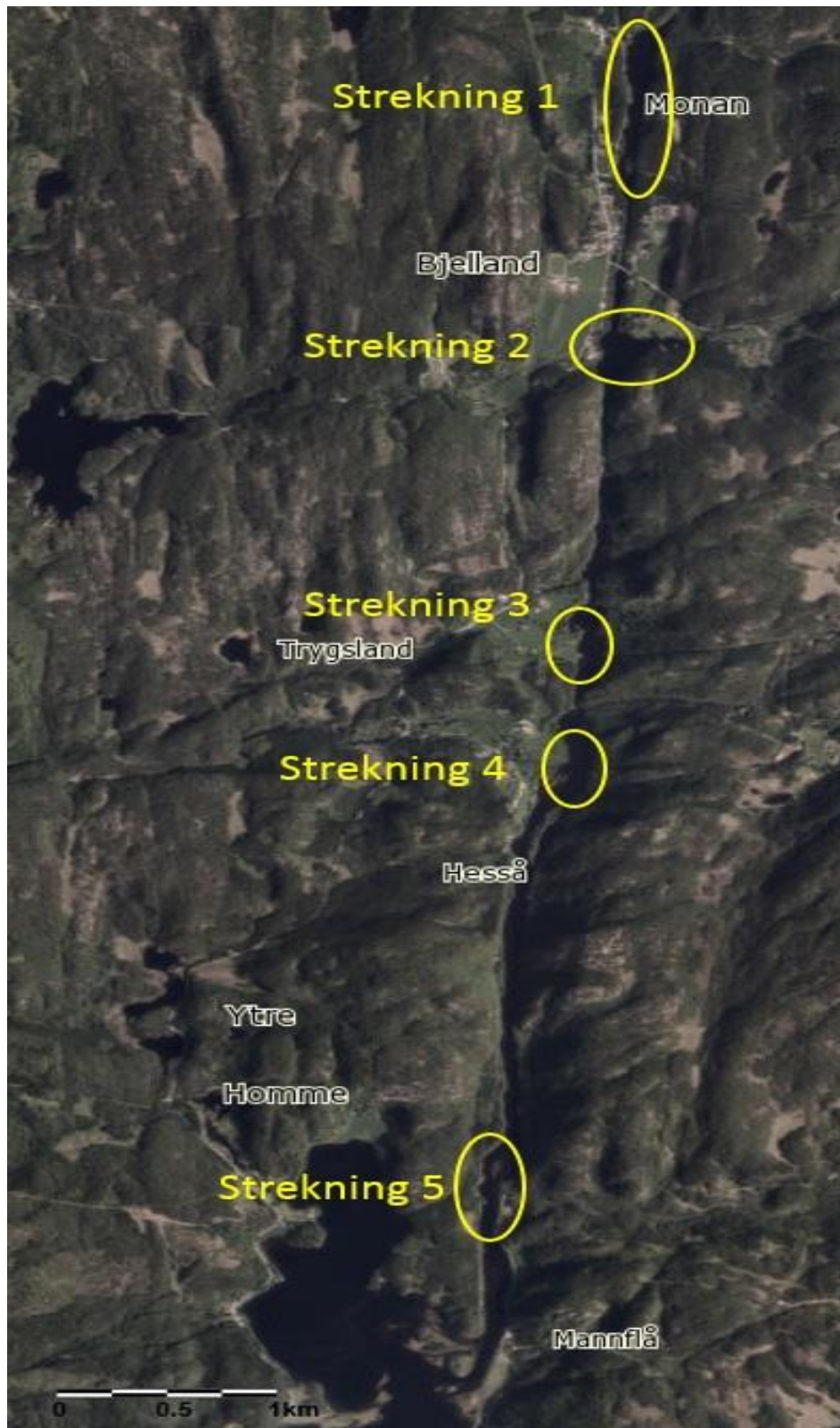
1. Normal drift mellom 20 og 80 m<sup>3</sup>/s
2. Planlagt stans fra 20 til 0 m<sup>3</sup>/s
3. Ikke planlagte utfall av stasjonen (ukontrollert stans)

## 2 Mål

Som den øverste delen av den anadrome strekningen av Mandalselva er det ønskelig at Bjelland kraftverk driftes på en måte som i størst mulig grad gir gunstige forhold for fisk. I denne sammenhengen er både vannføringen og vannføringsendringer viktige variable ved planlegging av kraftverksdriften.

Regulanten Agder Energi Vannkraft (AEVK) har ved tidligere anledninger erfart utfall av Bjelland kraftverk (Forseth 2014) og det har vært antatt og observert at hurtig nedstenging har medført dødelighet hos ungfisk. Målet med denne rapporten er å beskrive hvordan Bjelland kraftverk kan kjøres med minst mulig negativ konsekvens for fisk, og hvordan man kan redusere konsekvenser av utfall. Hovedfokus har vært på hvordan

drift av kraftverket påvirker leveområdene for ungfisk av laks, og i særdeleshet kvantifisere tørrlagte arealer som følge av redusert vannføring. I tillegg legger rapporten vekt på hvilke vannføringssituasjoner som er spesielt uheldige, og hvilke tiltak som kan redusere skadevirkninger av rask reduksjon av vannføring gjennom kraftverksturbinene.



Figur 3. Oversiktsbilde av strekningen fra Monan (utløpet av Bjelland kraftverk) til Mannflåvatn, som påvirkes av driftsvannføringen i Bjelland kraftverk. Fem studiestrekninger er indikert med gule sirkler.



### 3 Metodikk

Bjelland kraftverk ble stengt ned om morgenen 15. oktober 2015. For å overvåke de fysiske variablene som påvirker tørrlegging av elva ble det hele denne dagen og dagen før gjennomført omfattende feltundersøkelser. På forhånd var det innhentet informasjon fra grunneier Bjørgulv Foss om hvilke strekninger som var antatt å være spesielt utsatt for tørrlegging. Følgende strekninger fikk derfor spesiell oppmerksomhet ved feltmålingene (se også Figur 3):

- Strekning 1. Fra utløpet av Bjelland kraftverk til kalkingsstasjonen oppstrøms brua på Bjelland
- Strekning 2. Strekningen rett nedenfor Bjelland kirke, kalt Lillebjelland
- Strekning 3. Et område ved Trygsland
- Strekning 4. De vestlige strendene på Hesså
- Strekning 5. Områdene rundt øya Sanøy et lite stykke oppstrøms Mannflåvatn

#### 3.1 Vannstandsdata

En vannstandslogger av typen GlobalWaters ble lagt ut ved Hesså for å registrere vannstanden i elva hvert femte minutt. I tillegg registrerte AEVK vannstanden i Mannflåvatn hver time. Vannstanden i Mannflåvatn påvirker vannstanden i elva helt opp til Hesså. Kontrollmålinger av vannivået på Hesså antyder at data fra den utlagte loggeren var forbundet med en viss usikkerhet. Denne loggeren ble derfor benyttet til å analysere hvordan vannføringsendringene i Bjelland kraftverk forplantet seg nedover, ikke for å angi eksakte verdier for vannivå på Hesså. Vannivå ble derfor også målt inn med differensiell GPS på alle strekninger, både før og etter nedstenging av Bjelland kraftverk. Strekningene 4 og 5 er i denne sammenheng spesielle, ved at de også påvirkes av vannivået i Mannflåvatn.

#### 3.2 Vannføringsmålinger

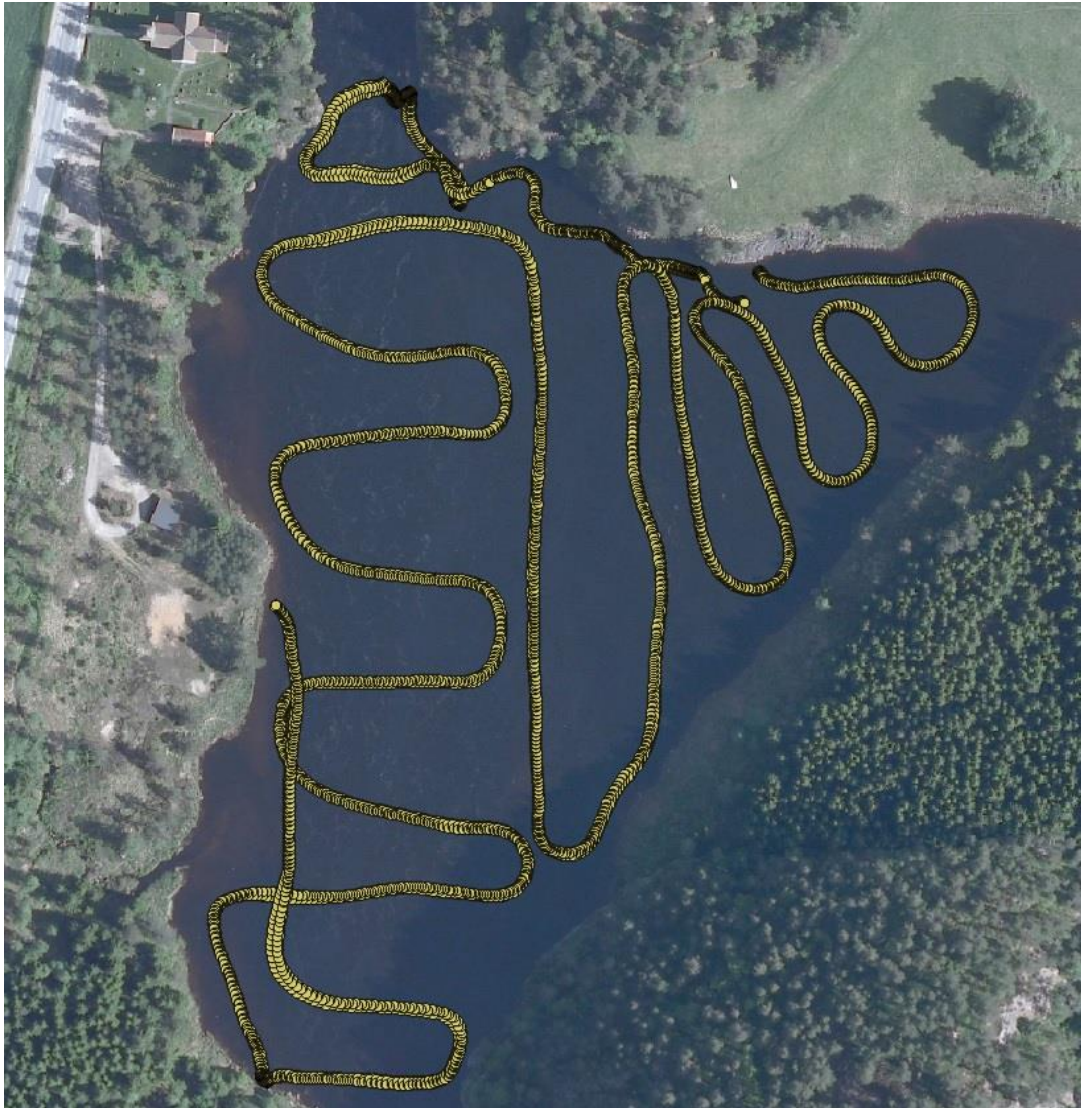
AEVK registrerer driftsvannføringen i Bjelland kraftverk og vannslipp over dammen ved Tungesjø. I forbindelse med nedstengingsprosedyren ble det i tillegg notert manuelt hvilke endringer som ble gjennomført. Det ble blant annet registrert når turbinen ble stengt ned automatisk pga. driftsalarm ved for lav driftsvannføring.

Mankalk registrerer vannivået i elva, som regnes om til vannføring for korrekt kalkdosering. Vannføringer fra Mankalk ble registrert hver time.

Natten før nedstenging av Bjelland kraftverk ble det sluppet vann over dammen på Tungesjø og ned minstevannføringsløpet forbi kraftverket. Målet var at dette vannet, planlagt å tilsvare ca. 12 m<sup>3</sup>/s, skulle hindre fullstendig tørrlegging når kraftverket stoppet. For å kvantifisere vannslippet ble vannføringen i minstevannføringsløpet målt med en akustisk Sontek M9 vannføringsmåler ved Sundet på formiddagen 15. oktober. Målingen ble gjentatt fem ganger for å oppnå et sikkert resultat, og foregikk ved at man trakk instrumentet på tvers av elva med en gummibåt.

### 3.3 Topografiske målinger (elvebunn og bredder)

For å etablere en god beskrivelse av elvas dybdeforhold ble strekning 1-5 (Figur 3) målt inn med ekkolodd kombinert med koordinatfesting med differensiell GPS ved hjelp av instrumentet Sontek M9 (Figur 4). Målingene ble gjort hvert sekund og ble utført ved at man monterte instrumentet foran en gummibåt med påhengsmotor. I praksis måler instrumentet kun den delen av elvebunnen som er dypere enn 0,3 meter. Breddene ble målt inn med et separat GPS-instrument (Topcon RTK) både 14. og 15. oktober, dvs. før og etter nedstenging av Bjelland kraftverk (Figur 5). Begge GPS-instrumenter har en nøyaktighet på ca.  $\pm 2$  cm. Innmåling av elvebredden ble gjort mest nøyaktig på de strekningene hvor det var antatt tørrlegging. Øvrige steder ble det gjort sporadiske målinger for å dokumentere elvenivået på hele strekningen både før og etter nedstenging av kraftverket.



*Figur 4. Bilde som viser traseen for registrering av elvebunn på strekning 2, Lillebjelland, rett nedstrøms brua på Bjelland.*



Figur 5. Innmåling av elvebredd og vannivå med differensiell GPS ved strekning 5 ved Sanøy.

### 3.4 Registrering av gyteområder

Sommeren 2013 ble gyteområder samt utbredelse av skjulområder og krypsiv, undersøkt av dykkere i Mandalselva fra samløpet med Kosåna til Kleveland. Registreringen omfattet hele studiestrekningen for denne rapporten. Gyteområder med faktisk gyting ble registret, posisjonert, beskrevet og vannhastighet, dyp og areal ble anslått. På samme måte ble områder med gytegrus, men hvor det ikke hadde blitt gjennomført gyting registrert, og sannsynlig årsak til at de ikke var brukt ble angitt.

### 3.5 Øvrige registreringer

Elva ble fotografert for å dokumentere typiske hydromorfologiske karakteristika både før og etter nedstenging av kraftverket. I forbindelse med selve nedtappingen ble det lett etter strandet fisk. Dette ble gjort i forbindelse med oppmåling av alle tørrlagte områder. Funn av fisk eller manglende funn av fisk i forbindelse med feltundersøkelsene gir kun en indikasjon på strandingsfaren for ungfisk, og var ikke i denne sammenhengen et forsøk på å kvantifisere strandingsomfang i forbindelse med nedtappingsepisoden.

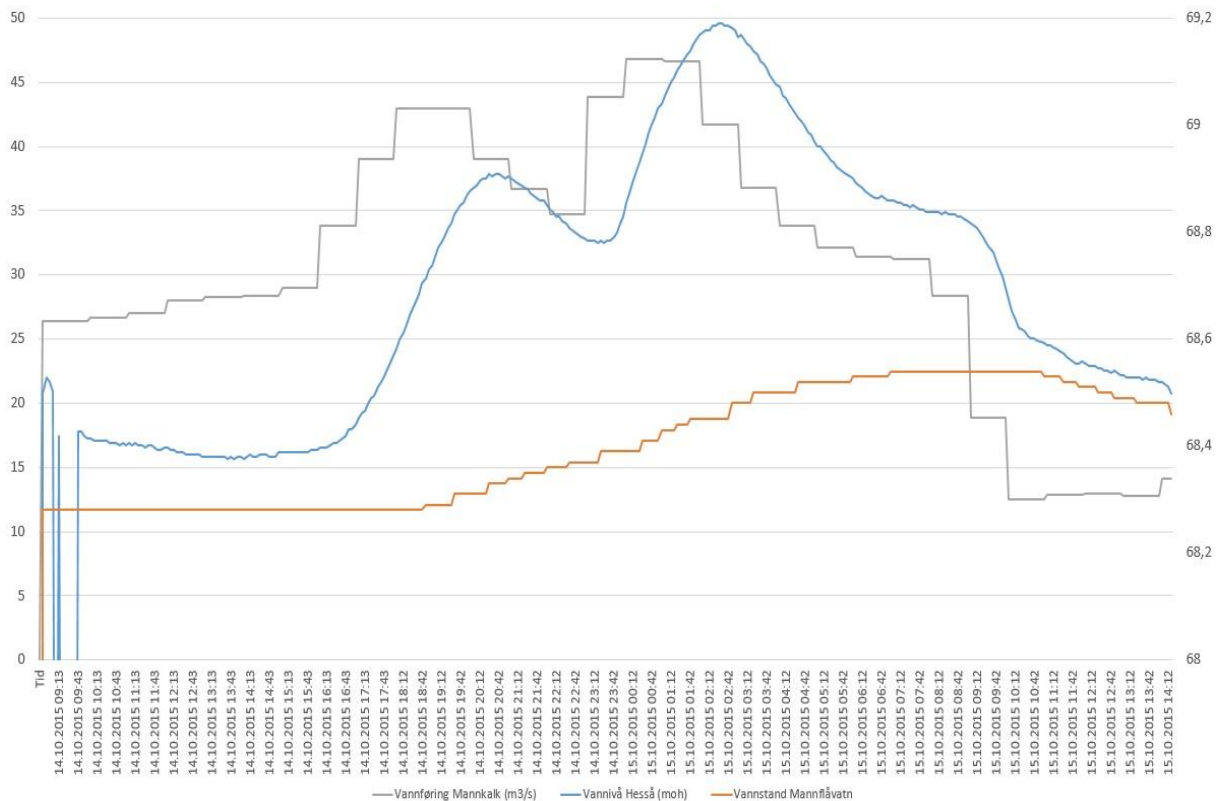
## 4 Resultater

### 4.1 Vannføring og vannstand

Figur 6 viser den målte vannføringen på Bjelland, og den korresponderende målte vannstanden på Hesså.

Figuren viser at det er en forventet forsinkelse i vannføring (registrert som vannstandsøkning på Hesså) fra Bjelland til Hesså på ca. 2 timer. Videre viser figuren at vannstanden på Hesså avhenger av vannstanden i Mannflåvatn, for eksempel ved at vannstanden på Hesså er høyere ved en vannføring på 12,5 m<sup>3</sup>/s på ettermiddagen den 15. oktober enn om morgenen den 14. oktober, da vannføringen var ca. 28 m<sup>3</sup>/s.

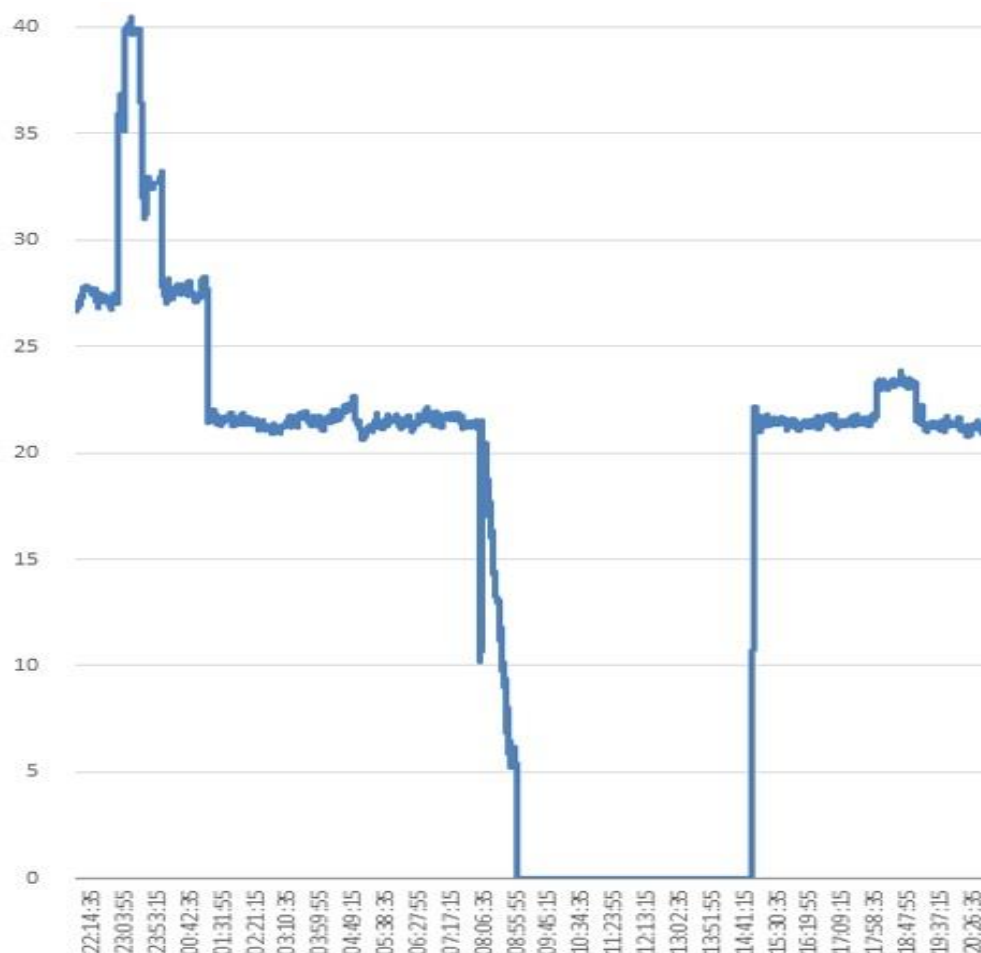
Vannstanden i Mannflåvatn hadde ifølge AEVK sine målinger i samme tidsrom økt med ca. 20 cm, fra rett under 68,3 moh. til rett under 68,5 moh. Separate målinger av vannstand med differensiell GPS viste et vannivå på 68,45 moh. på Hesså kl. 14:00 den 15. oktober, og et nivå på 68,39 ved Sanøy, nesten nede ved Mannflåvatn. På samme tidspunkt oppgir data fra AEVK at vannivået i Mannflåvatn var 68,48. Denne differansen stemmer godt med at AEVKs målinger refereres til NVE sitt høydegrunnlag, mens våre målinger refererer til NN2000. Dette viser at ved lave vannføringer er vannivået nærmest horisontalt helt opp til Hesså, og tørrlegging av strendene både på Hesså og ved Sanøy påvirkes av vannivået i Mannflåvatn. Vi skal se i de neste kapitlene at et vannivå på 68,5 moh. (ihht. AEVK sin nivåmåler) i Mannflåvatn gir en svært begrenset tørrlegging opp til og med Hesså. På strekning 1-3, oppstrøms innløpsstryket til Hesså, er vannivået styrt av vannføringen i elva, ikke vannivået i Mannflåvatn.



Figur 6. Vannføring (grå) målt ved Mankalk på Bjelland og vannstand målt på Hesså (blå) og i Mannflåvatn (orange) i perioden hvor Bjelland kraftverk ble stengt ned.

Vannføring målt i Bjelland kraftverk før, under og etter nedstengning den 15. oktober er vist i Figur 7. Vi ser her at nedstengingen fra ca. 22 m<sup>3</sup>/s til 0 strekker seg fra omkring kl. 08:00 til omkring kl. 08:50.

Nedtappingsforløpet ga, i tillegg til muligheten for å kartlegge strandingsutsatte områder for fisk, en anledning for regulanten til å se hvordan kraftstasjonen reagerer på en kontrollert nedstengning. Det var på forhånd usikkerhet knyttet til hvordan forskjellige alarmer ville initiere momentan ventilstengning og dermed stans i vannføringen.



Figur 7. Vannføring ( $m^3/s$ ) målt gjennom Bjelland kraftverk fra kl 22:00 den 14. oktober til kl. 20:30 den 15. oktober.

Vannføringsmålingene ved Mankalk inkluderer vannslippet forbi Bjelland kraftverk og vannføringen fra sideelva Kosåna. Vannføringen forbi Bjelland ble kontrollmålt ved Sundet og er presentert i tabell 1.

Tabell 1. Vannføringsmålinger i minstvannføringsløpet ved Sundet

Tidspunkt	Vanntemperatur ( $^{\circ}C$ )	Vannføring ( $m^3/s$ )
15. okt. kl 07:26	7,9	13,56
15. okt. kl 07:33	7,9	12,00
15. okt. kl 07:39	7,9	12,38
15. okt. kl 07:44	7,9	12,73
<b>Gjennomsnitt</b>		<b>12,67</b>

Vannføringsmålingene stemmer godt med vannføringsmålingene ved kalkingsstasjonen, som viser en vannføring på 12-13  $m^3/s$  etter at Bjelland kraftverk var stengt ned.

## 4.2 Tørrlegging av arealer og strandingsfare for fisk ved nedstenging av Bjelland kraftverk

Innmåling og analyser av strandingsutsatte områder tok utgangspunkt i den laveste målte vannføringen (12,5 m<sup>3</sup>/s målt ved utløpet av Bjelland kraftverk) i forhold til vanndekt areal ved breddfull elv. Den eksakte vannføringen som må til for å oppnå breddfull elv ble ikke studert, men den studerte strekningen ble vurdert til å ha breddfull elv ved 30 m<sup>3</sup>/s og antakelig går grensen for tilnærmet breddfull elv et sted mellom 20 og 30 m<sup>3</sup>/s. Dette gjelder imidlertid oppstrøms Hesså. Nedstrøms Hesså påvirkes det vanndekte arealet av vannstanden i Mannflåvatn. Dersom vannivået i Mannflåvatn er lavere enn 68,5 moh. vil det danne seg tørrlagte arealer fra Hesså og ned til Mannflåvatn på lave vannføringer. Ved høyere vannstand i Mannflåvatn enn 68,6 moh. vil elva være nærmest helt vanndekt uansett vannføring i elva. Generelt er breddene bratte på hele den 8 km lange studiestrekningen, noe som reduserer tørrlagte arealer.

### 4.2.1 Strekning 1, Monan

Vannivået ble målt før og etter nedstenging. Verdiene vises i Tabell 2. Etter nedstenging av Bjelland kraftverk, ved en vannføring i elva på ca. 12 m<sup>3</sup>/s, var det vanskelig å måle tørrlagte områder. I de relativt bratte steinbreddene rundt utløpet av kraftstasjonen ble det observert strandet fisk, men omfanget var lite, og bredden på det tørrlagte området var mellom ca. 0,5 og 2 meter over korte avstander (Figur 8). Det tørrlagte området hadde et areal på anslagsvis 100-200 m<sup>2</sup>. Det kan bemerkes at vannføring mellom de to målingene hadde vært over 40 m<sup>3</sup>/s om kvelden før nedstengingen startet. Dette kan ha medført at fisk kunne ha tatt i bruk arealene langs breddene.



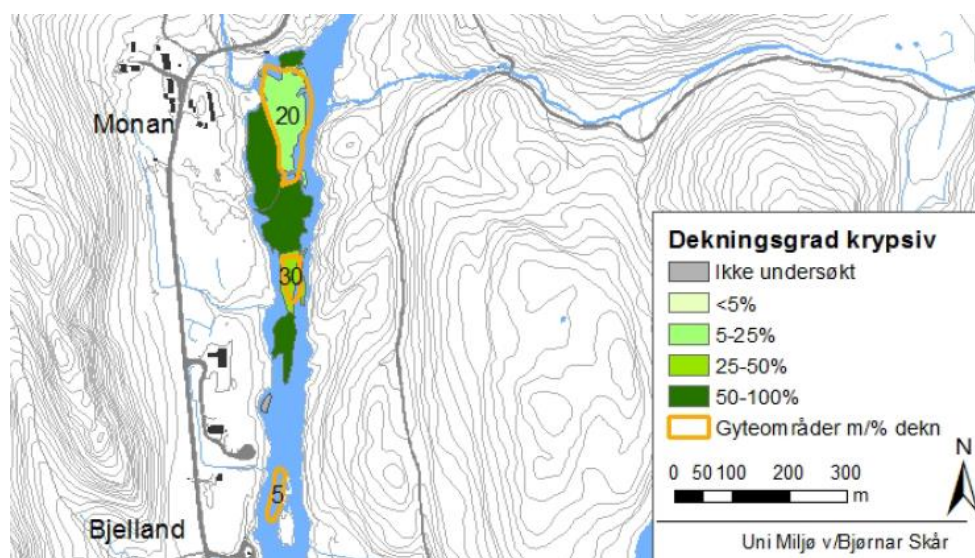
Figur 8. Tørrlagte bredder ved utløpet av Bjelland kraftverk.



Tabell 2. Vannivå målt umiddelbart nedstrøms utløpet av Bjelland kraftverk

Tidspunkt	Vannføring (m <sup>3</sup> /s)	Vannivå (moh)
14. okt. kl. 12:20	28	77,95
15. okt. kl. 09:20	12	77,80

I tillegg til de tørrlagte breddene ble det observert felt med krypsiv som kom opp over overflaten. Disse feltene har bygget seg opp over tid, og består av flate "hauger" og tuer av sand og annet finstoff som samles opp pga. lave vannhastigheter etterhvert som krypsivet vokser på toppen. Omfanget av arealer med krypsiv er betydelig over en strekning på 3-400 meter nedenfor utløpet av Bjelland kraftverk, spesielt i elvas vestre løp og langs vestre bredd (Figur 9).



Figur 9. Kartlegging av gyteområder og krypsiv nedstrøms utløpet av Bjelland kraftverk (hentet fra Velle m.fl. 2014).

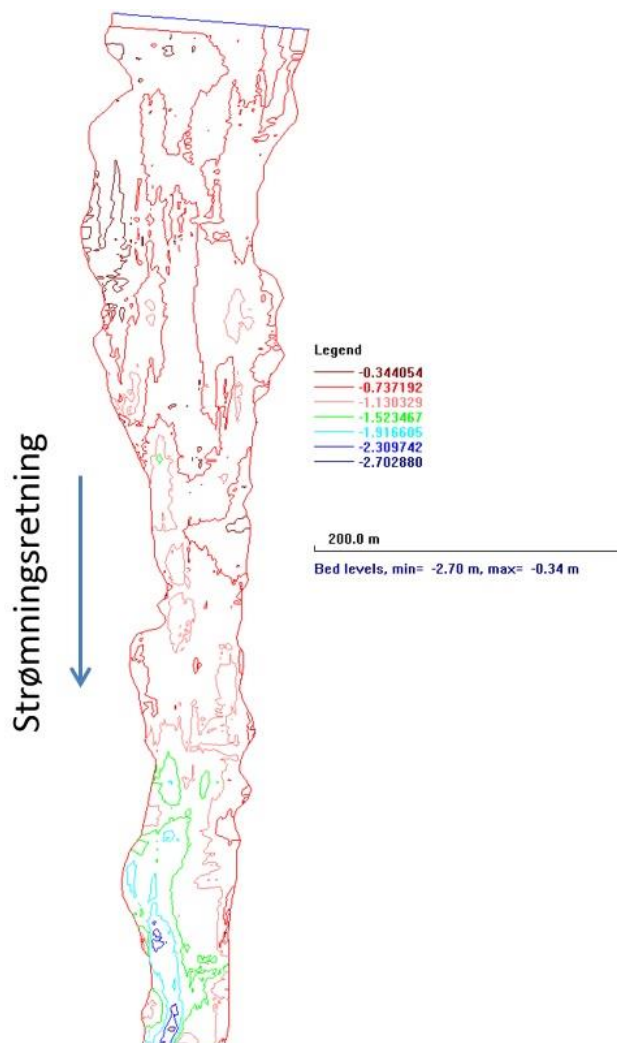
Framveksten har medført at elva etablerer lokale løp mellom krypsivtuene, og på enkelte områder er vegetasjonen heldekkende. Mens slik vegetasjon kan representere skjulområder for ungfisk i sakteflytende vann antok Kviljo (2015) at krypsiv ikke har den samme positive effekten ved Monan, hvor vannet renner hurtig og sivet legges flatt mot bunnen. Det pekes på at koloniseringen av krypsiv trolig har ført til at gyteplasser blir tildekket under dynn, sand og planter. I kontrast fant Velle mfl. (2014) at krypsivmattene dannet en mosaikk med gyteplasser som kunne være gunstig for fisk og at både ungfisk- og bunndyrteitheter var høyere i dette området enn ellers i elva. I tillegg registrerte de at utbredelsen av krypsiv ikke hadde endret seg nevneverdig fra 2004 til 2013.

Blant krypsivet ble det gjort sporadiske undersøkelser for å finne strandet fisk. Det ble observert noen få levende fisk som var "fanget" i krypsivet. Det er usikkert om det var dødelighet blant disse fiskene, men det er ikke umulig, og dessuten kan disse fiskene være utsatt for predasjon fra blant annet fugl. Det er lite trolig at strandingsdødeligheten var stor i forbindelse med nedtappingen på strekning 1.

På Figur 10 presenteres to bilder som illustrerer forskjellene i vanndekket areal ved de to målte vannføringene vist i Tabell 2. Her vises også at elva er tilnærmet breddfull også etter nedstenging av kraftverket. En terrengmodell av strekning 1 ble laget på bakgrunn av ekkoloddmålingene (Figur 11). Denne viser at store deler av strekningen er grunn, i hovedsak grunnere enn 1 meter, og dermed kan være utsatt for stranding dersom vannføringen blir lavere enn det den var under feltarbeidet ( $12 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Kun i de nedre deler av strekningen, ned mot kalkingsstasjonen, ble det observert dypere områder.

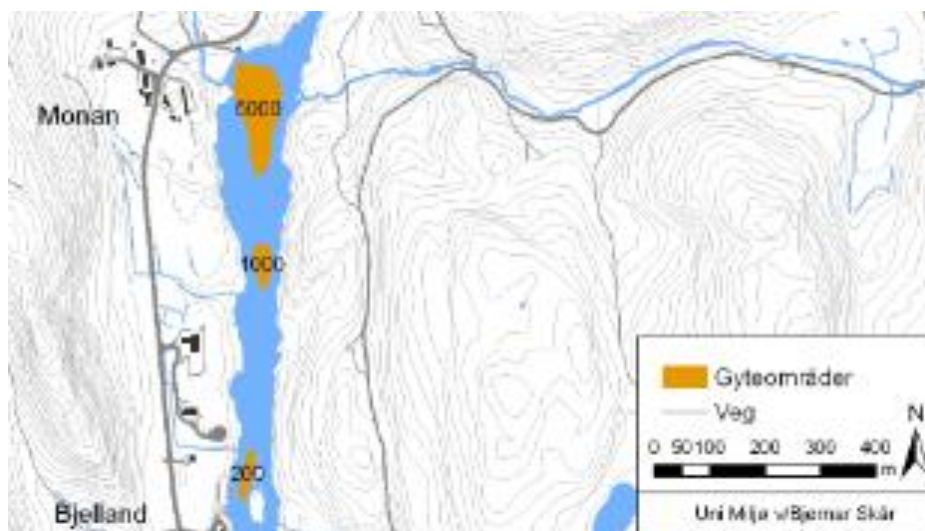


*Figur 10. Visualisering av tørrlagte arealer på strekning 1 før (øverst) og etter nedstenging av Bjelland kraftverk.*



Figur 11. Terrengmodell av strekning 1. Tabellen til høyre viser fargekonturenes dybder. Øvre tverrsnitt er ca. 40 meter nedenfor utløpet av Bjelland kraftverk mens nedre tverrsnitt er omkring kalkingsstasjonen.

Strekningen nedstrøms utløpet av Bjelland kraftverk (strekning 1) er et svært viktig gyteområde for laks (Figur 12). Tre gyteområder danner totalt 6200 m<sup>2</sup> med gytearealer. I følge Forseth (2014) var 1100 m<sup>2</sup> av dette anslått å ligge på grunt vann, men ved befaring den 15. oktober 2015 var disse områdene ikke tørrlagt.



Figur 12. Registrerte gyteområder på strekning 1

#### 4.2.2 Strekning 2, Lillebjelland

På strekning 2 ved Lillebjelland er det en utposning av elva som ved normale og lave vannføringer har et innsjøpreg i den østlige delen, mens elva renner langs vestre bredd (brukt som illustrasjon på Figur 3). Vannstanden ble redusert med omkring 60 cm da Bjelland kraftverk ble stengt ned (Tabell 3), og dette medførte at en stripe på ca. 1350 m<sup>2</sup> av den vestre bredden ble tørrlagt (Figur 13). Her ble det lett etter strandet fisk og det ble funnet én død fisk. På grunn av bratte elvebredder og mye finstoff er det trolig lav risiko for stranding i dette området, og særlig for større ungfisk (eldre enn årsyngel). Tørrlegging av andre områder på strekning 2 under nedstengingen av kraftverket anses som begrenset.

Tabell 3. Vannivå målt i bassenget Lillebjelland, rett nedenfor Bjelland kirke.

Tidspunkt	Vannføring (m <sup>3</sup> /s)	Vannivå (moh)
14. okt. kl. 15:50	29	74,30
15. okt. kl. 11:30	12	73,70



Figur 13. Innmålt tørrlagt areal (rosa) på strekning 2. Bjelland kirke vises i øvre venstre hjørne.

Registrering av gytemuligheter i 2013 viste to viktige gyteområder på tilsammen 850 m<sup>2</sup> på strekning 2 (Figur 14), hvorav Forseth (2014) anslo 200 m<sup>2</sup> av det øverste området som "grunt". Ved en vannføring på 12 m<sup>3</sup>/s under oppmålingene i oktober 2015 ble det ikke registrert tørrlagte gyteområder.



Figur 14. Registrerte gyteområder på strekning 2.

#### 4.2.3 Strekning 3, Trygsland

Ved Trygsland ble vannstanden redusert med ca. 0,35 meter under nedstengingen (Tabell 4), noe som førte til tørrlagte strender på et ca. 1300 m<sup>2</sup> stort område langs vestre bredd (Figur 15). Her kan det se ut som det er tatt ut elvegrus med gravemaskin, og det tørrlagte området besto av groper, som sto delvis vannfylt etter nedstenging av Bjelland kraftverk. Bunnssubstratet besto av grus og stein med mye finstoff, og dermed lite skjul for fisk (Figur 16). Det ble ikke funnet død fisk, men enkelte fisk ble observert i de nevnte gropene. Det tørrlagte området kan være habitat for ungfisk, spesielt årsyngel, til tross for at strandet fisk ikke ble observert. (Fisken utnytter forskjellige habitater over året og døgnet.). I tillegg til dette området, blir det noen tørrlagte arealer litt lengre opp langs en grusbanke på østre bredd. Dette ble ikke innmålt, men her finnes det gyteområder som er utsatt for stranding på lav vannføring (grunneier på Hesså, Bjørgulv Foss, pers. komm.).

Tabell 4. Vannivå målt på strekning 3 ved Trygsland

Tidspunkt	Vannføring (m <sup>3</sup> /s)	Vannivå (moh)
14. okt. kl. 17:00	29	68,95
15. okt. kl. 12:20	12	68,60



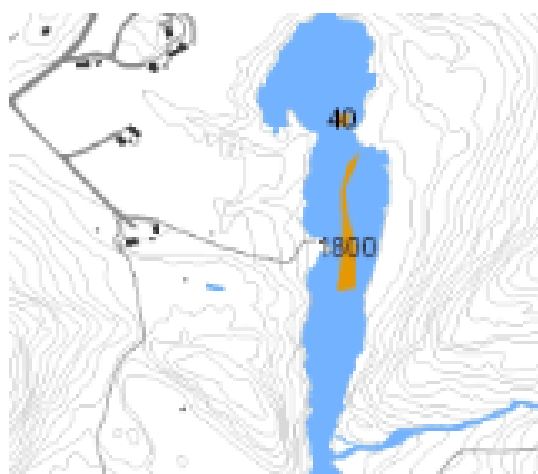
*Figur 15. Innmålt tørrlagt areal (oransje) på strekning 3 ved Trygslund.*





Figur 16. Illustrasjon av tørrlagt areal på strekning 3 etter nedstenging av Bjelland kraftverk.

Et stort gyteområde ligger umiddelbart utenfor de tørrlagte områdene på strekning 3, men ved en vannføring på  $12 \text{ m}^3/\text{s}$  ble området vurdert som vanndekt, til tross for at Forseth (2014) anslo anslagsvis  $450 \text{ m}^2$  som "grunt" (Figur 17).



Figur 17. Registrerte gyteområder på strekning 3.

#### 4.2.4 Strekning 4, Hesså.

Ved Hesså er vannstanden og tørrlegging av arealer i tillegg til vannføringen også påvirket av vannstanden i Mannflåvatn. Dette vises av Tabell 5, hvor vannstanden ble redusert med kun 0,1 meter etter stenging av Bjelland kraftverk. I samme tidsrom hadde vannstanden i Mannflåvatn steget omkring 0,2 meter (Figur 6). Det ble likevel observert og innmålt et tørrlagt område på ca. 1550 m<sup>2</sup> langs den vestre bredden (Figur 18). Elvebunnen er her relativt flat og dermed utsatt for tørrlegging og stranding av ungfisk dersom vannstanden senkes ytterligere. Det ble ikke funnet død fisk i forbindelse med nedtappingen på Hesså. På dette tidspunktet målte regulanten vannstanden i Mannflåvatn til 68,48 moh (våre målinger i høydesystemet NN2000 viste 68,39 moh ved Sanøy, rett oppstrøms Mannflåvatn). I følge grunneieren på Hesså (Bjørgulv Foss, pers. komm.) vil omfanget av tørrlagte arealer på Hesså økes betydelig på lav vannføring når vannstanden senkes med 0,2 m til 68,3 moh i Mannflåvatn. Dette må tas hensyn til, ved at slike situasjoner ikke oppstår mens det er egg i grusen.

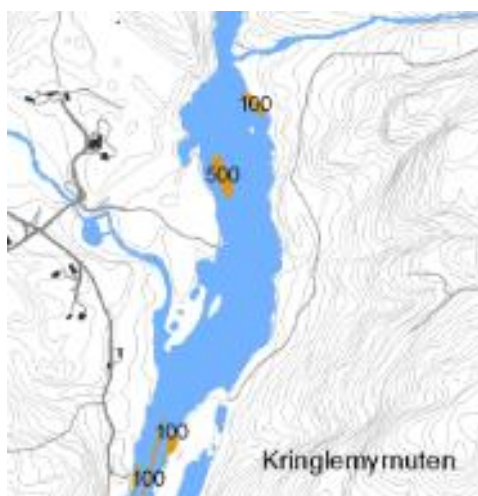
*Tabell 5. Vannivå målt på strekning 4 ved Hesså. Vannføringen på Hesså den 14. oktober er noe usikker pga. at vannføringen i Bjelland kraftverk var økende på dette tidspunktet.*

<b>Tidspunkt</b>	<b>Vannføring (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Vannivå (moh)</b>
14. okt. kl. 18:00	30 (?)	68,60
15. okt. kl. 13:00	12	68,50



Figur 18. Innmålt tørrlagt areal (fiolett) på strekning 4 ved Hesså

Flere mindre gyteområder er registrert på strekning 4 (Figur 19). Det største ligger i tilknytning til det tørrlagte området, men Forseth (2014) vurderte dette som "dypt". Dette ble ikke undersøkt ved befaring ved en vannføring på  $12 \text{ m}^3/\text{s}$ .  $60 \text{ m}^2$  av det nederste, lille området ble av Forseth (2014) vurdert som "grunt", men her ble det ikke registrert tørrlegging ved den lave vannføringen. Årsaken er at dette området er påvirket av vannstanden i Mannflåvatn, som var relativt høy samme dag.



Figur 19. Registrerte gyteområder på strekning 4.

#### 4.2.5 Strekning 5, Sanøy.

Vannstanden ved Sanøy var ca. 6 cm høyere etter stans i Bjelland kraftverk (Tabell 6). Som beskrevet tidligere skyldes dette vannstandsøkningen i Mannflåvatn i samme tidsrom. Det ble ikke observert tørrlagte områder på strekning 5 ved denne vannstanden, men det er et stort, grunt område fra sørspissen av øya og ca. 170 meter nordover på elvas østside. Elvas djupål går her tett på vestre bredd. Dette grunne området ble målt inn med ekkolodd, men loddet gir ikke verdier når det er grunnere enn ca. 0,3 meter (Figur 20). Store områder var grunnere enn 0,3 meter, og båten gikk stadig i bunnen. Dette gjorde det vanskelig å måle inn eksakte dybder. Bunnen besto av sand, grus og stein, som kan være leveområder for mindre ungfisk av laks. Tørrelgging av disse arealene vil starte allerede ved en vannstand på 68,3 moh.

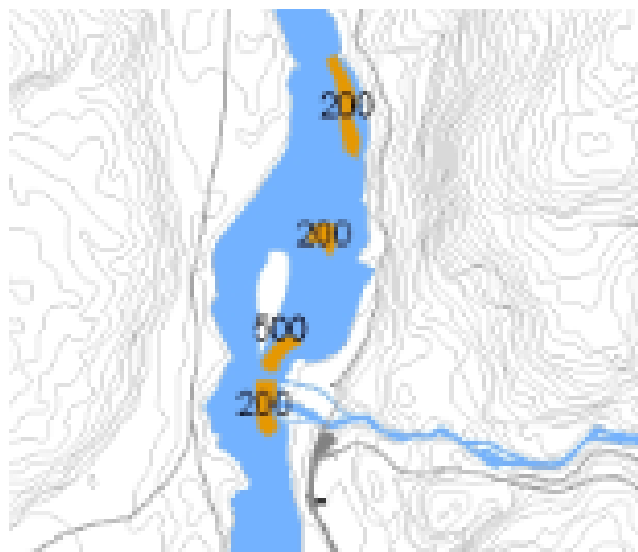
Tabell 6. Vannivå målt på strekning 4 ved Hesså. Vannføringen på Hesså den 14. oktober er litt usikker pga. at vannføringen i Bjelland kraftverk var økende på dette tidspunktet.

Tidspunkt	Vannføring (m <sup>3</sup> /s)	Vannivå (moh)
14. okt. kl. 18:40	30 (?)	68,33
15. okt. kl. 14:00	12	68,39



Figur 20. Innmålt trase for ekkoloddmålinger på strekning 5 ved øya Sanøy. De grunne områdene vises på østsiden av øya og nordover.

Flere gyteområder er registrert omkring Sanøy (Figur 21). Det nest nederste, og største, av disse befinner seg i et grunt sideløp. Forseth (2014) vurderte 200 m<sup>2</sup> av dette som "grunt". Vannivået ble under befaringen målt til 68,39 moh. Regulanten opplyste samtidig at vannivået var 68,48 moh. Denne forskjellen skyldes at målingene skjer i to forskjellige høydesystem. Ved denne vannstanden ble gyteområdene vurdert som vanddekte.



Figur 21. Registrerte gyteområder på strekning 5.

## 5 Diskusjon og forslag til tiltak

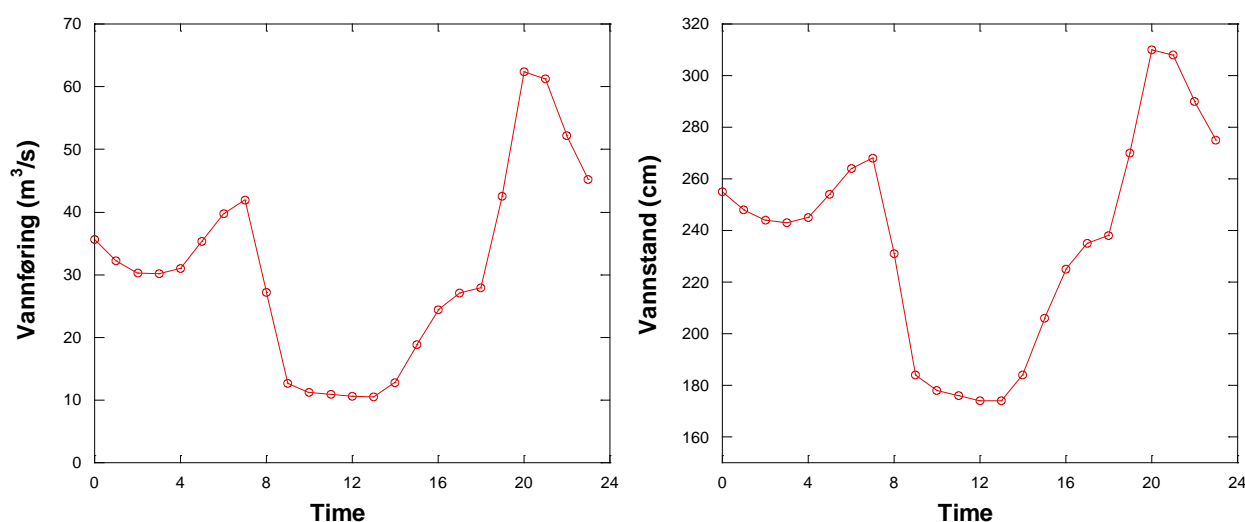
Vannføring og vannføringsendringer påvirker leveforholdene for fisk. Bjelland kraftverk påvirker vannføringen og dermed leveområdene for laks på den 8 km lange strekningen fra Monan til Mannflåvatn. Miljødesignet drift av Bjelland kraftverk har i denne rapporten hovedfokus på å minimere negative konsekvenser for laks. Det er ikke fraført vann fra elva på denne strekningen, men magasinering av vann lenger oppe i vassdraget har medført endringer i vannføring gjennom året og noe redusert sommertemperatur. Ugedal mfl. (2006) konkluderte ut fra en samlet vurdering av endringer i vannføring- og temperaturforhold at produksjonsforholdene for laks på denne strekningen trolig ikke ble endret etter reguleringen. Raske og hyppige endringer i vannføring som påvirkningsfaktor ble imidlertid ikke vurdert av Ugedal mfl. (2006). Denne rapporten har hatt som mål å vurdere slike effekter, og anbefale en drift av Bjelland kraftverk som tar hensyn til laksen. I tillegg til virkningen fra vannføringen i kraftverket er det vanddekte arealet i elva fra Hesså og ned til Mannflåvatn (herunder strekning 4 og 5) påvirket av vannstanden i Mannflåvatn.

Den 15. oktober 2015 ble vannføringen fra Bjelland kraftverk til Mannflåvatn redusert ved en planlagt nedstengning fra ca. 28 m<sup>3</sup>/s til ca. 12 m<sup>3</sup>/s, og det ble gjort nøyaktige målinger på fem delstrekninger. Nedstengingen medførte vannstandsreduksjoner som vist i Tabell 7. Vi ser at reduksjon i vannivå varierer mellom strekninger, noe som skyldes topografien ved, og rett nedstrøms, målingene.

Tabell 7. Redusert vannstand på 5 lokaliteter mellom Bjelland kraftverk og Mannflåvatn ved reduksjon i vannføring fra ca. 28 m<sup>3</sup>/s til ca. 12 m<sup>3</sup>/s.

Strekning	Reduksjon i vannstand (cm)
1	15
2	60
3	35
4	10
5	6

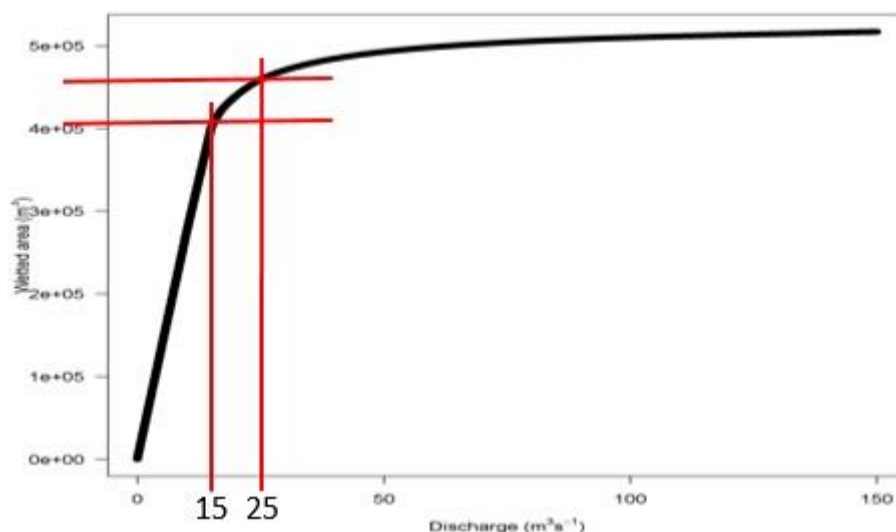
I forbindelse med en annen utredning (Forseth 2014) ble det hentet ut data for vannivå og vannføring hos Mankalk for 25. juni 2014, en dag med stor variasjon i vannføring (Figur 22).



Figur 22. Gjennomsnittlig vannføring (m<sup>3</sup>/s) og vannstand (cm) per time på Bjelland målestasjon (Mankalk) gjennom døgnet 25. juni 2014 (Hentet fra Forseth 2014). Sammenhengen mellom vannføringen i høyre figur og vannstand i venstre figur er beskrevet gjennom kurven presentert i Figur 2.

Fra Figur 22 kan vi se at en vannføringsreduksjon fra 30 til 10 m<sup>3</sup>/s førte til en redusert vannstand på ca. 40 cm ved Mankalk, ca. 700 meter nedenfor målingene for strekning 1, noe som stemmer godt overens med tallene i Tabell 7. Forseth (2014) gjorde et forsøk på å lage en sammenheng mellom totalt vanndekket areal og vannføring på hele strekningen mellom utløpet av kraftverket og Mannflåvatn (Figur 23). Vi ser her at reduksjonen i vanndekket areal er relativt begrenset (breddfull elv) ned til en vannføring på 25 m<sup>3</sup>/s, og at fra 15 m<sup>3</sup>/s reduseres det vanndekte arealet raskt. Det var i dette vannføringsområdet at feltmålingene ble gjennomført i oktober 2015. Her må det bemerkes at disse beregningene ikke tar hensyn til vannstanden i Mannflåvatn, og at resultatene er basert på relativt grove oppmålinger. I tillegg er vanndekt areal ekstrapolert ned til null når vannføringen er null. Dette er ikke korrekt, og kurven er derfor unøyaktig ved svært lave

vannføringer. Likevel er det en relativt god overensstemmelse mellom den utviklede modellen og målingene som ble gjort 14. og 15. oktober 2015, som også viser den forventede forskjellen mellom enkeltstrekninger.



Figur 23. Beregnet totalt vanddekket areal som funksjon av vannføring på strekningen mellom utløpet av Bjelland kraftverk og Mannflåvatn (basert på tall fra Forseth (2014)).

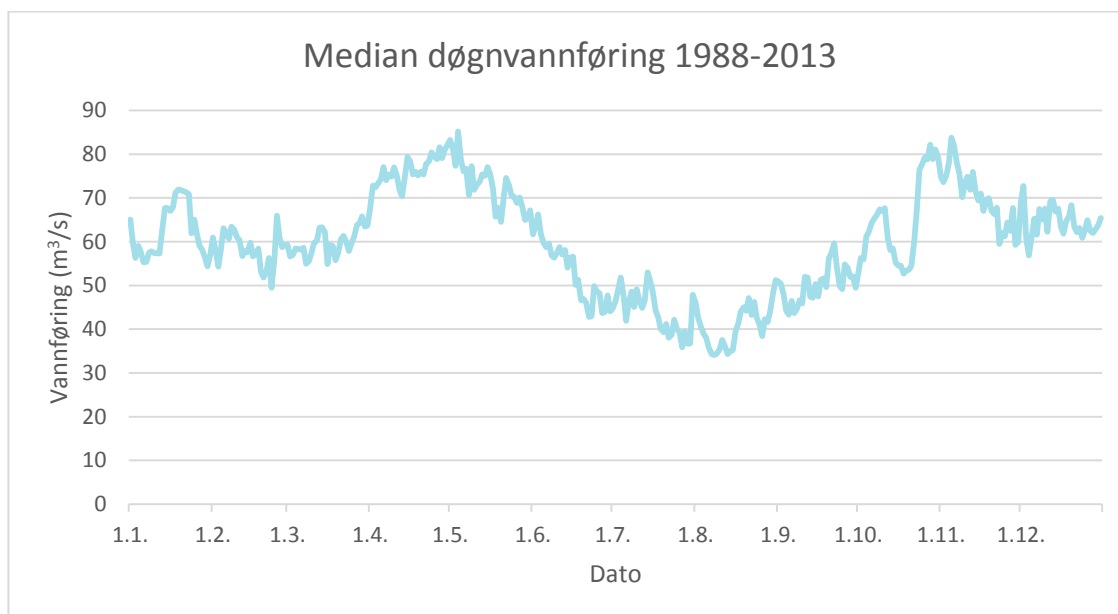
Fra Figur 22 og Figur 23 kan vi trekke ut noen hovedtall for reduksjon av vanddekket areal målt ved Mankalk (kolonne lengst til høyre tabell 8) og prosentvis reduksjon av vanddekket areal for hele strekningen mellom utløpet av Bjelland kraftverk og Mannflåvatn (kolonne nest lengst til høyre i Tabell 8). Vi ser her at det totale vanddekte arealet reduseres lite (9 %) ned til vannføringen er 30 m<sup>3</sup>/s, noe som stemmer overens med feltmålingene vist i kapittel 4, men hvor det også er viktig å huske at de fem utvalgte strekningene var antatt å være de mest utsatte for tørrlegging. Fra en vannføring på ca. 20 m<sup>3</sup>/s og lavere, ser vi fra tabell 8 at det tørrlagte arealet øker raskere, og mellom fra 15 m<sup>3</sup>/s til 10 m<sup>3</sup>/s angir beregningene en dobling av tørrlagte områder. Det er positivt i denne sammenhengen at en slik vannføringsreduksjonen ikke medfører spesielt hurtig vannstandsfall. En reduksjon fra 15 til 10 m<sup>3</sup>/s ved Mankalk førte til en målt vannstandsreduksjon på under 10 cm, noe som økologisk forsvarlige senkningshastigheter (Bakken m.fl. 2016). Fra Figur 22 kan det også bemerkes at en momentan stans i Bjelland kraftverk førte til redusert vannføring fra drøyt 40 m<sup>3</sup>/s til drøyt 10 m<sup>3</sup>/s, noe som ved Mankalk ble målt som en lineær vannstand. Vannstandsreduksjonen vist i Tabell 8 gjelder målepunktet ved Mankalk, altså like nedenfor utløpet fra kraftstasjonen. Vannstandsreduksjonen vil skje langsommere jo lenger unna (nedover) kraftverksutløpet man kommer.



Tabell 8. Totalt vanndekket areal mellom Mannflåvatn og utløpet av Bjelland kraftverk på ulike vannføringer basert på Forseth (2014). Kolonnen til høyre viser vannstandsreduksjonen mellom vannføringene i den venstre kolonnen.

Vannføring m <sup>3</sup> /s	Vanndekket areal (m <sup>2</sup> ) på hele strekningen	Reduksjon i forhold til maksimalt vanndekket areal på hele strekningen (%)	Vannstandsreduksjon fra vannføring i cellen over (cm), ved målestasjonen Mankalk (basert på Figur 2)
50	492524	5	
40	484199	6	24
30	470363	9	24
20	439104	15	26
15	400949	22	13
10	274554	47	8

Ved normal drift over 30 m<sup>3</sup>/s er det liten strandingsfare for fisk. Det er i eksperimenter vist at hyppig opp- og nedkjøringer om sommeren kan gi redusert vekst og fettlagring, delvis på grunn av økt aktivitet, men effekten var ikke stor (Bakken m. fl. 2016). Om vinteren ble det ikke funnet noen forskjell i vekst og fettlagring i renner med stabil og varierende (daglig) vannføring. Fordi mye av laksungenes vekst foregår i løpet av de første 4-6 ukene av sommeren (Forseth mfl. 2011), kan det være fordelaktig å redusere antall opp- og nedtappinger på mer enn 10-15 m<sup>3</sup>/s pr. time i denne perioden. Starten av sommeren kan i denne sammenheng settes som den dagen temperaturen først kommer over 6 °C (Forseth & Harby 2013). Fra Figur 24 ser vi at vannføringen normalt ligger mellom 35 m<sup>3</sup>/s og 80 m<sup>3</sup>/s over sesongen. Vi ser også at det normalt er høy vannføring under laksens gyting (antatt omkring begynnelsen av november). Dette kan bety at laksen gyter på områder som potensielt blir tørrlagte på lave vannføringer, og det er derfor ugunstig at vannføringen fra utløpet av Bjelland kraftverk (Monan) blir lavere enn ca. 15 m<sup>3</sup>/s i den perioden eggene ligger nedgravd.



Figur 24. Beregnet tilsig til Monan (produksjon i Håverstad kraftverk pluss bidrag fra Kosåna) for årene 1988-2013.

Basert på feltarbeidet i forbindelse med nedstengingen av Bjelland kraftverk 15. oktober 2015, samt beregninger presentert i denne rapporten, foreslås et sett med regler for å manøvrere vannføringen i Bjelland kraftverk og vannstanden i Mannflåvatn som beskrevet i Tabell 9.

Tabell 9. Anbefalte driftsrutiner i Bjelland kraftverk

Vannføringsreduksjon fra utløpet av Bjelland kraftverk	Driftssituasjon	Tiltak i Bjelland kraftverk
80-45 m <sup>3</sup> /s	Normal drift	Ingen restriksjoner
45-30 m <sup>3</sup> /s	Normal drift	Opp- og nedtappinger på mer enn 10-15 m <sup>3</sup> /s pr. time bør begrenses i de seks ukene etter at vanntemperaturen har passert 6° C om våren. Reduksjon bør skje med maksimalt 10 m <sup>3</sup> /s pr. time.
Fra 30 til 20 m <sup>3</sup> /s	Normal drift	Reduksjon bør ta minst 2 timer
Fra 20 til 15 m <sup>3</sup> /s	Planlagt stans	Reduksjon bør ta minst 2 timer
Fra 15 til 10 m <sup>3</sup> /s	Planlagt stans	Reduksjon bør ta minst 2 timer
Vannstandsreduksjoner under 10 m <sup>3</sup> /s		Bør unngås.

- Vannføringsreduksjon anbefalt i Tabell 9 sikrer at vannstandsendingene ved Monan skjer langsommere enn anbefalte grenser på 10-15 cm/time når vannføringen er lavere enn 30 m<sup>3</sup>/s. Dette tiltaket vil også sikre at stranding på strekning 2 på Lillebjelland og strekning 3 ved Trygsland blir minimalisert, og at fisk ikke utsettes for unødvendig stress gjennom sesongen.
- For å unngå tørrlegging av gytegroper på strekning 4 ved Hesså bør vannstanden i Mannflåvatn være høyere enn 68,5 moh. (Agder Energis målinger) når det er planlagt stans i Bjelland kraftverk, og vannføringen i elva kommer under 12 m<sup>3</sup>/s.
- Stans av Bjelland kraftverk bør ikke skje når vannføringen på minstevannføringsstrekningen mellom Tunesjø og utløpet av Bjelland kraftverk er lavere enn 12 m<sup>3</sup>/s. Dersom det ikke slippes vann over dammen på Tunesjø er vannføringen bestemt av tilsig i Kosåna, som statistisk er lavest i perioden juni-august, og i ukene omkring 1. mars. I slike lavvannsperioder i Kosåna må man være spesielt oppmerksom på å unngå stans i kraftverket.
- I tillegg til varsom manøvrering av Bjelland kraftverk og opprettholdelse av vannivået i Mannflåvatn vil det være viktig å overvåke utbredelsen av krypsivet som befinner seg på Monan. Denne vegetasjonen har bygget seg opp over år, selv om den nå ser ut til å være relativt stabil, og kan gi tørrlegging og stranding av fisk som bruker krypsivet som skjul.

Ukontrollert stans i Bjelland kraftverk skjer sjelden, men kan være svært skadelig dersom vannføringen forbi kraftverket er liten (det vil normalt kun være vannet fra Kosåna). Det bør gjøres en analyse av når og hvor ofte en ukontrollert stans oppstår, og hvordan man kan forhindre det. På grunn av tilrenningstiden (flere timer) vil det ikke hjelpe å slippe vann fra Tunesjø i slike situasjoner. For å begrense skadene ved utfall bør det utarbeides en rutine som muliggjør tomgangskjøring av minst en turbin ved utfall. Av fysiske tiltak i elva vil det være gunstig å jevne ut grusområdet ved Trygsland (se Figur 16), hvor det er dannet groper hvor ungfisk av laks kan avsnøres ved nedtapping. Dersom tomgangskjøring av turbinene ikke kan sikres kan en løsning være å etablere en form for omløp i kraftstasjonen, som sikrer en total vannføring på minst 10 m<sup>3</sup>/s nedstrøms utløpet ved utfall. Bygging av omløp er kostbart. Andre løsninger, og ikke minst undersøkelser av omfanget av ukontrollert stans, bør analyseres før man vurderer omløp.

## 6 Referanser

**Bakken**, T. H., Forseth, T. & Harby, A. (red.). 2016. Miljøvirkninger av effektkjøring: Kunnskapsstatus og råd til forvaltning og industri. - NINA Temahefte 62. 205 s.

**Fjeldstad**, H. P., Zinke, P., Bustos, A.A., Gabrielsen, S. E., Skår, B. & Forseth, T. 2014. Fjerning av terskler ved Laudal i Mandalselva – Hydrologiske forhold og fysiske tiltak for laks. SINTEF-rapport TR F7450.

**Forseth**, T, Letcher, B.H. & Johansen, M. 2011. The behavioural flexibility of salmon growth. Chapter 6 in *Atlantic Salmon Ecology* (eds Aas, Ø., Einum, S., Klemetsen, A. & Skurdal, J.) pp. 145-161. Oxford: Blackwell Publishing Ltd.

**Forseth**, T. & Harby, A.(red.). 2013. Håndbok for miljødesign i regulerte laksevassdrag. NINA Temahefte 52, 1-90 s.

**Forseth**, T. 2014. Effekt av vannstandsfall nedstrøms Bjelland kraftverk 25. juni 2014 på laksebestanden i Mandalselva. NINA-Notat, 16.08.2014.

**Kviljo**, T. 2015. Tilstand i viktig lakseområde ved utløp av Bjelland kraftverk. Terrateknikk. Notat nr. 26-2015

**Ugedal**, O., Larsen, B.M., Forseth, T. & Johnsen, T. 2006. Produksjonspotensial for laks i Mandalselva og vurdering av tap som følge av kraftutbygging. NINA Rapport 146. 46 pp.

**Velle**, G., Skoglund, H., Skår, B., & Barlaup, B. 2014. Påvirkning av krypsiv på anadrom fisk og mangfold av bunndyr. LFI UNI MILJØ Rapport nr. 231



Teknologi for et bedre samfunn

[www.sintef.no](http://www.sintef.no)