

Effekter av vanntemperatur på vekst og rekruttering hos laks og aure i Bjoreio



Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske (LFI)

Laboratorium for ferskvannsekologi og innlandsfiske

NORCE LFI
Nygårdsgaten 112
5008 Bergen

Telefon: 55 58 22 28

ISSN nr: ISSN-2535-6623

LFI-rapport nr: 387

Tittel: Effekter av vanntemperatur på vekst og rekruttering hos laks og aure i Bjoreio

Dato: 24.06.2020

Forfattere: Helge Skoglund & Knut Wiik Vollset

Kontrollert av: Ina Bakke Birkeland

Oppdragsgiver: Statkraft Energi

Kontaktperson hos oppdragsgiver: Simen Sørli

Antall sider: 25


Forsidefoto: Laksemolt fra Bjoreio (øverst t.v.); tre årsklasser med lakseunger fra ungfiskundersøkelser i Bjoreio (øverst t.h.); Sjøaure fra gytefisktelling i Bjoreio (nederst t.v.), parti fra øvre del av Bjoreio (nederst t.h.)

Forord

På oppdrag fra Statkraft har Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske (LFI) ved NORCE Norwegian Research Centre utredet hvordan endret temperaturforhold ved alternative tappemønster fra Isdal og Bjoreio slippunkt vil påvirke fisk på lakseførende strekning i Bjoreio i Eidfjordvassdraget. Hovedfokus for undersøkelsene har vært å danne et bedre faggrunnlag for miljøforholdene for fiskebestandene i vassdraget i forbindelse med det pågående arbeidet med vilkårsrevisjonen i vassdraget. Simen Sørli har vært ansvarlig kontaktperson i Statkraft, og Rolf Yngvar Jenssen har bidratt med informasjon om vassdraget lokalt.

Vi vil takke alle som har bidratt for god innsats og et godt og konstruktivt samarbeid!

Bergen, juni 2020



Helge Skoglund
PhD, prosjektleder

Innhold

Forord.....	3
Sammendrag	5
1.0 Bakgrunn og hensikt.....	6
1.1 Temperaturforholdene i Bjoreio	7
2.0 Materiale og metoder	10
2.1 Datagrunnlag.....	10
2.2 Modellering av vekst og smoltalder	10
3.0 Resultater	14
3.1 Effekter av temperatur på rekruttering og vekst hos ungfisk i Bjoreio.....	14
3.2 Simulering av effekt av ulike alternativer for vannslipp	17
4.0 Diskusjon	22
4.1 Effekter av temperatur på rekruttering og ungfiskproduksjon i Bjoreio	22
4.2 Effekter av slippsted og vannføring for vannslipp fra Isdal og Bjoreio	22
5.0 Oppsummering og konklusjon	24
6.0 Referanser	25

Sammendrag

Tapping av kaldt bunnvann fra Sysenmagasinet for å opprettholde minstevannføringen i Vøringsfossen har ført til lavere temperaturer og dårligere oppvekstvilkår for laks og sjøaure i Bjoreio. Som et tiltak for å øke vanntemperaturen, og dermed bedre vekst og rekrutteringsforholdene for fisk i vassdraget har regulanten endret tappemønsteret ved å erstatte noe av tappingen av kaldt bunnvann fra Sysendammen med varmere vann fra inntakene/sperredammene ved Isdal og Bjoreio. Etter etableringen av Leiro kraftverk, som utnytter vannet som tappes fra Sysendammen for kraftproduksjon, og Storlia kraftverk som utnytter fallet fra inntaket i Bjoreio ved Storlia og inn i Sysenmagasinet, kommer tiltaket med temperatormanøvrering i konflikt med potensialet for kraftproduksjon. Som et grunnlag for å vurdere alternative fremtidige tappealternativer har NORCE LFI utredet effekten av hvordan ulike temperaturforhold påvirker fiskebestandene i vassdraget.

En analyse av data fra fiskebiologiske undersøkelser utført i perioden 2004-2019 viser at vanntemperatur, målt som gjennomsnittstemperatur i perioden juli – august, påvirker både vekst og tetthet av ensomrig (0+) sjøaure i Bjoreio. Rekrutteringen av laks har i store deler av perioden vært begrenset av lav gytebestand, men det er også en signifikant sammenheng mellom temperatur og vekst hos ensomrig laks. Dette viser at temperaturforholdene om sommeren i den første vekstsesongen er viktig for årsklassestyrke og rekruttering hos ungfisk. Videre viser ungfiskdataene at fiskestørrelsen hos alle aldersgrupper av både laks og sjøaure har blitt redusert over perioden 2004-2019. Denne reduksjonen i vekst gjenspeiler en tilsvarende reduksjon i vanntemperatur om sommeren i samme tidsperiode, og skyldes trolig endringer i tappemønster. Det har samlet blitt tappet mindre vann fra lukene i Isdal og Bjoreio slippunkt i perioden etter at Leiro kraftverk ble satt i drift i 2011, og lavere vanntemperatur gjenspeiler sannsynligvis et økt bidrag av kaldt bunnvann fra Sysendammen i siste del av perioden.

For å vurdere effekten av alternative tappemønstre, ble det utviklet en individbasert modell for å modellere vekst, smoltalder og overlevelse hos laks som en funksjon av vanntemperatur i Bjoreio. Det ble benyttet temperaturdata for ulike scenarioer for tapping utviklet av Multiconsult. Scenarioene inkluderte simulerte temperaturer for ulike tappemønster/vannføringer fra Isdal, Bjoreio slippunkt og Sysen for to ulike år (2014 og 2016). Resultatene fra modelleringen tilsier at det har liten effekt på vekst, smoltalder og overlevelse om hvorvidt vannslippet (2 m³/s) tappes fra Isdøla eller Bjoreio slippunkt, eller er fordelt på begge slippstedene, men større effekt av å øke bidraget av kaldt vann fra Sysendammen. Det siste scenariet resulterer i lavere vekst og økt smoltalder, og som følge av dette en 15-16 % reduksjon i smoltproduksjon sammenliknet med scenariet med slipp av vann fra både Isdal og Bjoreio slippunkt.

Resultatene viser at tiltaket med å erstatte kaldt bunnvann med varmere vann fra Isdal og Bjoreio slippunkt har en effekt på rekruttering, vekst og smoltalder, og dermed fiskeproduksjonen i Bjoreio. Laksebestanden i vassdraget er fortsatt lav og sårbar, og vannslippet vurderes som et viktig tiltak for å bedre oppvekstforholdene for fisk i vassdraget. Effekten av tiltaket synes ikke å være avhengig av om hele eller deler av vannet slippes fra Isdal eller Bjoreio slippunkt, men styres av hvor stort bidrag disse to slippstedene har totalt i forhold til volumet av kaldt bunnvann som tappes ut fra Sysendammen. Veksten hos ungfisk var også vesentlig bedre i begynnelsen undersøkelsesperioden da vannslippet fra Isdal og Bjoreio slippunkt var større (om lag 4,5 m³/s), og tilsier også at det er et større potensial for å øke effekten av tiltaket sammenliknet med nivået de senere årene.

1.0 Bakgrunn og hensikt

Eidfjord Nord reguleringen ble fastsatt ved Kongelig resolusjon av 18. mai 1973 og Kongelig resolusjon av 4. juni 1976, og medførte blant annet at større deler av feltene til Bjoreio i Eidfjordvassdraget ble fraført til Sima kraftstasjon med utløp i Simadalsfjorden. Etter at laksebestanden i Eidfjordvassdraget gikk kraftig tilbake på 1990-tallet ble det iverksatt ulike fiskebiologiske undersøkelser for å utrede årsaker til den uheldige bestandssituasjonen (Nøst m. fl. 2000, Berger m. fl. 2001, 2002, Jensen m. fl. 2003, 2004, Skoglund m.fl. 2007, 2012, 2015, 2017, 2018, 2019). Undersøkelsene har vist at vassdragsregulering er en av flere sannsynlige faktorer som har bidratt til å påvirke fiskebestandene, og at reguleringen har medført negative konsekvenser for flere av livsstadiene til laks og sjøaure i Bjoreio. Særlig har det blitt vektlagt at fravær av minstevannføring i vinterhalvåret har ført til at gytegroper strander og blir tørrlagt, og at areal for gyting og oppvekstområder for ungfisk blir redusert. I tillegg har tapping av kaldt bunnvann fra Sysenmagasinet for å opprettholde pålagt minstevannføring ved Vøringsfossen, resultert i at vanntemperaturen sommerstid har blitt redusert, og dermed gitt dårligere vekst- og rekrutteringsforhold for ungfisk.

Basert på fiskeundersøkene har det blitt iverksatt en rekke tiltak for å bedre forholdene for anadrom fisk i Eidfjordvassdraget (se Skoglund m.fl. 2012, 2019 for en oversikt). Et av tiltakene som ble iverksatt innebærer å endre tappemønsteret sommerstid ved å erstatte tapping av kaldt bunnvann fra Sysendammen med varmere vann fra sperredammene ved inntakene i Bjoreio og i Isdal. Dette tiltaket har bidratt til å øke vanntemperaturen, og dermed bedret vilkårene for vekst og rekruttering for fisk på den lakseførende strekningen i Bjoreio (Skoglund m.fl. 2007, 2012). I utgangspunktet resulterte ikke dette tiltaket i tap av kraftproduksjon, ettersom tappingen fra Bjoreio slippunkt og Isdal kun erstattet vann som i utgangspunktet ville blitt tappet fra Sysendammen for å opprettholde minstevannføringen ved Vøringsfossen. Etter at Leiro kraftverk ble bygget i 2011 kunne imidlertid vannet som tappes fra Sysendammen utnyttes til kraftproduksjon. I tillegg bygges Storlia kraftverk som fra 2020 vil utnytte fallet fra inntaket i Bjoreio og inn til Sysendammen. I forbindelse med byggingen av Storlia kraftverk utbedres også kapasiteten på linjenettet i området, noe som resulterer i at Leiro kraftverk kan utnyttes i større grad enn før. Samlet resulterer dette i at tiltaket med vannslipp fra inntaket Bjoreio vil gi tapt energiproduksjon, og samtidig vil det være mer lønnsomt å tappe en større del av vannslippet til minstevannføringen fra Sysendammen gjennom Leiro kraftverk.

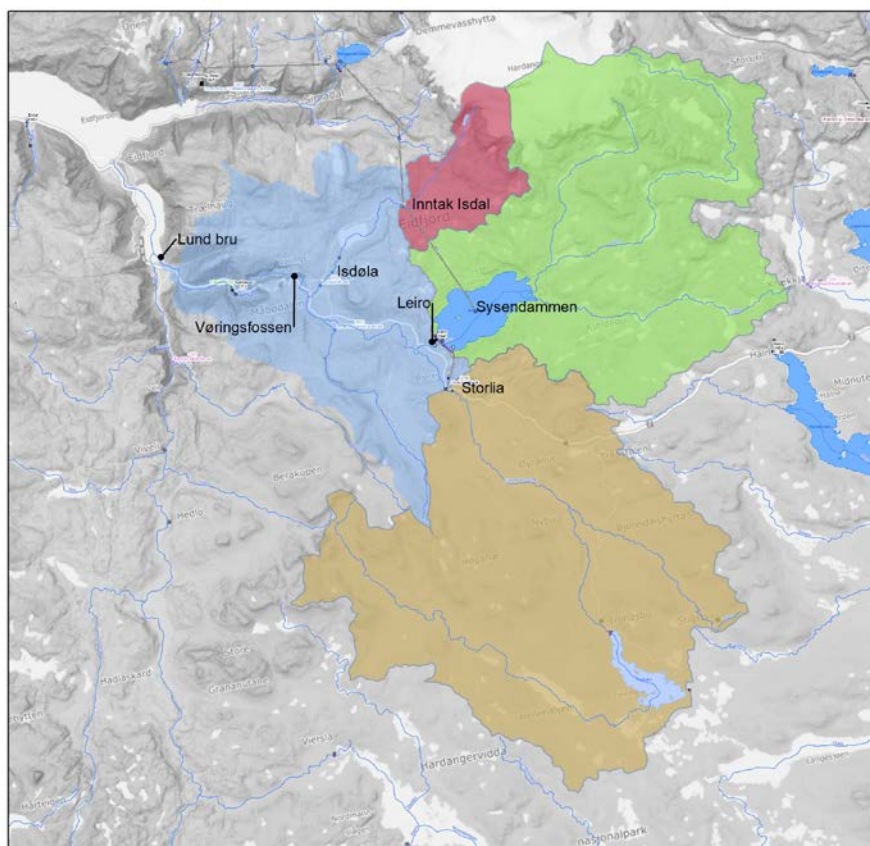
Det er åpnet for at vilkårene i Eidfjord Nord reguleringen kan revideres innen 2022. I forbindelse med høringsrunden for gjeldende manøvreringsreglement ønsket NVE at Statkraft opparbeider seg et kunnskapsgrunnlag for å vurdere effekten av ulike slippstrategier fra Sysendammen, Isdal og Bjoreio slippunkt. Basert på dette utarbeidet Multiconsult en temperaturmodell for Eidfjordvassdraget på oppdrag fra Statkraft, der temperatureffekten av ulike tappemønstre ble simulert (Sørås & Pedersen 2020). NORCE LFI fikk deretter i oppdrag å utrede hvilken effekt de ulike tappemønstrene vil ha på vekst og overlevelse hos laks og sjøaure på den lakseførende strekningen i Bjoreio. Undersøkelsen er todelt; (1) først er det utført en analyse av eksisterende data fra temperatur og fiskeundersøkelser for å undersøke hvordan varierende temperaturforhold i perioden 2004-2019 har påvirket vekst og overlevelse hos ungfisk i Bjoreio. Deretter (2) er effekten av ulike tappescenarier på vekst, alder ved smoltifisering og overlevelse lakseunger simulert ved bruk av en individbasert populasjonsmodell.

1.1 Temperaturforholdene i Bjoreio

Vanntemperaturen i Bjoreio styres av temperaturforholdene i de ulike tilførselselvene, samt eventuell oppvarming/nedkjøling som forekommer nedover vassdraget. En oversikt over nedslagsfelt og regulerte delfelt i Bjoreio er vist i Figur 1. Den sør-østlige delen av nedslagsfeltet drenerer deler av Hardangervidda ved Langavatnet og Tinnhølen, og som overføres til Sysendammen fra inntaket ved Storlia. Leiro drenerer deler av Hardangerjøkulen og fjellområdene sør-øst for denne og er regulert ved Sysendammen. Isdøla drenerer den sør-vestlige delen av Hardangerjøkulen og Isdalen, og overføres til Rembesdalsvatnet fra inntak i elven om lag 3 km ovenfor Isdalsvatnet. I tillegg har elven et uregulert restfelt nedstrøms inntakene.

Tiltaket med manøvrering av vannslipp har blitt utført ved å åpne luker i sperredammen ved inntaket i Bjoreio og i Isdal. Lukene åpnes manuelt og bidraget fra lukene vil være avhengig av hvor mye de åpnes og hvor høyt vannivå som til enhver tid er i dammen ovenfor lukene. Det foreligger ikke målinger av hvor stort bidrag av vann som kommer fra lukene, men en oversikt over tidspunkt for når lukene er åpnet og omtrentlig vannføringsbidrag er gitt i Tabell 1. Oversikten indikerer at vannføringsbidraget fra lukene i Isdal og Bjoreio slippunkt var høyest i de første årene i perioden da vannføringen fra lukene samlet ble estimert å være ca. 4,5 m³/s, mens vannføringsbidraget i de siste årene i perioden er oppgitt å utgjøre om lag 2 m³/s.

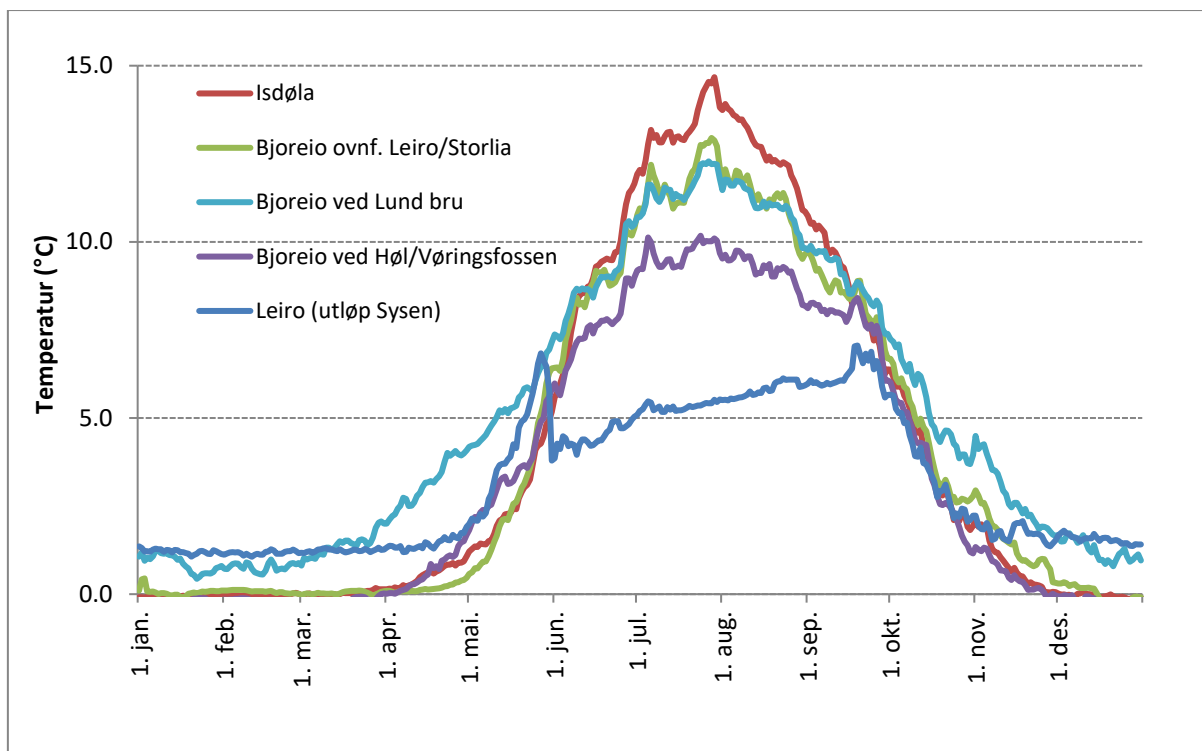
Temperaturen i vannmassene som tilføres Bjoreio fra Isdøla og Bjoreio slippunkt er vesentlig varmere enn vannet som tappes fra Sysendammen og ut i Leiro gjennom store deler av sommersesongen (Figur 2). Temperaturdifferensen er vanligvis størst i månedsskifte juli-august, når vanntemperaturen når sitt maksimum. Gitt at vannføringen fra lukene er stabil vil effekten av tiltaket vanligvis være størst når temperaturen i Isdal og Bjoreio oppstrøms Leiro er på sitt høyeste, og mindre i begynnelsen av juni og på høsten når vanntemperaturen i tilførselselvene er mer lik temperaturen i utløpet fra Sysen/Leiro. Ved Høl/Vøringsfossen, som er nedstrøms alle de største tilførselselvene, er vanntemperaturen om sommeren vanligvis vesentlig lavere enn i Isdal og Bjoreio oppstrøms Leiro, men høyere enn i Leiro. Som følge av oppvarming, og noe tilførsel fra øvrige restfelt, er temperaturen vanligvis noe høyere igjen i nedre del av Bjoreio ved Lund bru. I Figur 3 er vanntemperatur ved Lund bru presentert som døgnmiddel i perioden 2004-2019.



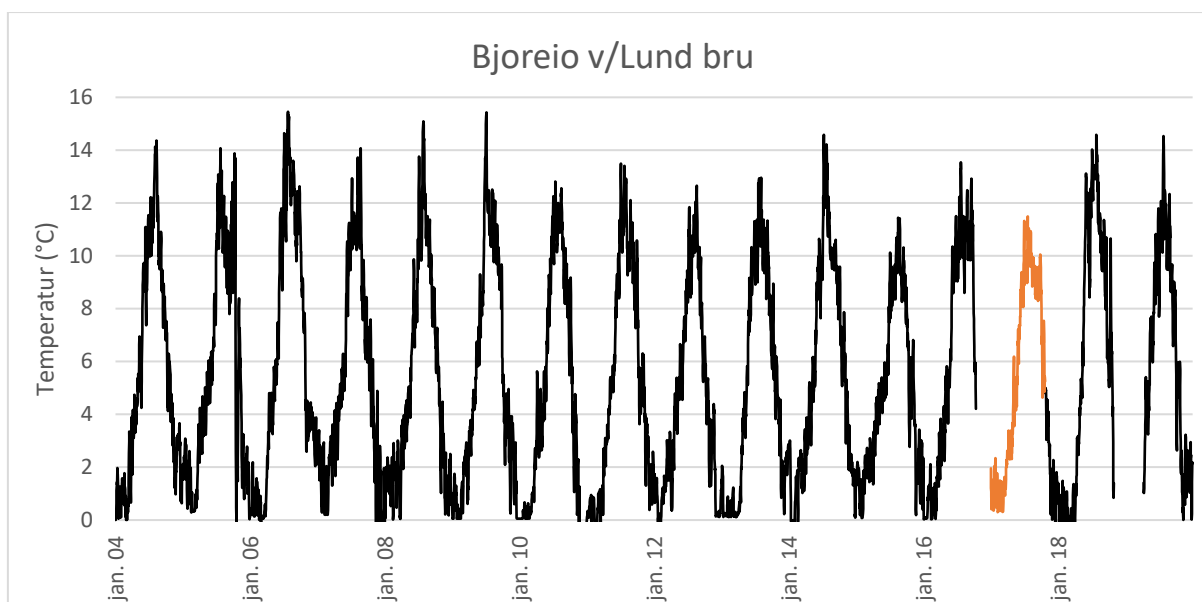
Figur 1. Oversikt over nedbørfeltet i Bjoreio, med de ulike regulerte delfeltene. Det uregulerte restfeltet i Bjoreio er indikert i blått.

Tabell 1. Oversikt over perioder det har blitt sluppet vann fra lukene ved vanninntakene ved Isdal og Bjoreio slippunkt i årene 2004-2019. Noen av datoene er usikre ettersom de er oppgitt som ukenummer. Data oppgitt fra Statkraft.

År	Isdal inntak		Bjoreio inntak	
	Periode	Vannføring	Periode	Vannføring
2004	03.06-ca.23.08	1,5 m ³ /s	Ca. 05.07-14.09 (stengt uke 35)	3 m ³ /s
2005	ca. 06.06-ca. 27.08	1,5 m ³ /s	21.07-29.08 og 05.09-15.09	3 m ³ /s
2006	28.06-11.09	1,5 m ³ /s	31.05-13.09	3 m ³ /s
2007	27.06-12.09	1,5 m ³ /s	20.06-14.09	1,7 m ³ /s
2008	18.06-15.09	1,5 m ³ /s	18.06-14.09	1,75 m ³ /s
2009	17.06-11.09	1,5 m ³ /s	17.06-11.09	1,5 m ³ /s
2010	10.06-16.09	1,5 m ³ /s	15.06-16.09	1 m ³ /s
2011	30.06-15.09	1,5 m ³ /s	30.06-26.07 26.07-14.09	1,5 m ³ /s 0,8 m ³ /s
2012	26.07-29.07 29.07-15.09	1,0 m ³ /s 2,0 m ³ /s	25.07-14.09	1,5 m ³ /s
2013	16.07-13.09	1-1,5 m ³ /s	25.06-16.09	1-1,5 m ³ /s
2014	09.07-15.09	1-1,5 m ³ /s	08.07-15.09	1-1,5 m ³ /s
2015	Ukjent	Ukjent	03.08-14.09	ca. 1,5 m ³ /s
2016	20.06-15.09	ca. 1,5 m ³ /s	20.06-15.09	ca. 1,3 m ³ /s
2017	07.07-14.09	ca. 0,7 m ³ /s	07.07-14.09	0,7 m ³ /s
2018	08.06-14.09	ca. 1 m ³ /s	08.06-14.09	ca. 1 m ³ /s
2019	18.06-13.09	ca. 1 m ³ /s	17.06-13.09	ca. 1 m ³ /s



Figur 2. Vanntemperatur (døgnmiddel) for perioden 2001-2019 med tilgjengelige data fra Isdøla, Bjoreio ovenfor Leiro (utløp Sysendammen), Leiro like nedstrøms tappeventilen i Sysendammen og Bjoreio ved Høl (Vøringsfossen) og Lund Bru.



Figur 3. Døgnmiddeltemperatur i Bjoreio ved Lund bru i perioden 2004-2019. I 2017 forsvant loggeren i en flom, og data fra dette året (oransje linje) er estimert basert på målinger ved Statkraft sin logger ved Blåsteinen.

2.0 Materiale og metoder

2.1 Datagrunnlag

Vanntemperatur har blitt logget annenhver time i ulike deler av Eidfjordvassdraget ved bruk av Vemco Minilog temperaturloggere. På den anadrome strekningen i Bjoreio er temperaturen logget ved Lund bru siden mai 2003. Data fra fiskebiologiske undersøkelser har blitt samlet inn i perioden 2004-2019. En nærmere beskrivelse av metoder og resultater fra undersøkelsene er beskrevet i Skoglund m.fl. (2020).

Temperaturdata for ulike tappemønstre er utarbeidet av Multiconsult (Sørås & Pedersen 2020).

2.2 Modellering av vekst og smoltalder

For å modellere vekst, smoltalderfordeling og overlevelse for de forskjellige temperaturscenarioene implementerte vi en enkel individbasert modell (IBM). Modellen bruker en temperaturavhengig vekstmodell og en sannsynlighets funksjon for å modellere smoltifisering basert på størrelse. Målet med modellen var å teste hvordan parrstørrelse og alder ved smoltifisering endret seg for de forskjellige temperaturscenarioene. Modellen inkluderer 5000 individ som hadde en vekt, lengde og smoltifiseringsstatus. Vekt og lengde oppdateres daglig fra starttidspunkt, som er satt til tidspunktet om våren når yngelen kommer opp av grusen. For enkelhets skyld har vi satt dette til 20. juni for alle individer i denne modellen, noe som tilsvarer forventet swimup-tidspunkt for laks i Bjoreio (Skoglund m.fl. 2007). Ved dette tidspunktet er fisken 0.2 gram i vår modell som er likt IBsalmon modellen (Hedger *et al.* 2013). Hvert år den 15 mai gjør fisken et valg om å smoltifisering eller ikke basert på størrelsen, hvor større smolt har en større sannsynlighet å smoltifisere enn mindre fisk.

Modellen kjøres i 5 år og følger alle individene slik at det er mulig å se på størrelsen til fisk som har valgt å smoltifisere og fisk som ikke har smoltifisert. Sensus tidspunkt er 1. Oktober hvert år som cirka korresponderer med el-fiske tidspunktet i Bjoreio. Ettersom fisken ikke vokser i stor grad i løpet av vinteren er resultatet ikke spesielt sensitivt til dette tidspunktet.

2.2.1 Vekst

Vekst er modellert ved bruk av en 4-parameters Ratkowsky modell (Ratkowsky m.fl. 1983), som er en standard måte å beskrive temperaturavhengig vekst hos laks (Jonsson *et al.* 2001). Dette har blant annet blitt implementert i en individbasert modell av laks tidligere (Hedger m.fl. 2013). Modellen er som følger:

$$\theta = \left((V_{t-1})^b + \left(\frac{(d+(d \times gv.var))(temp-Tl)(1-e^{g \times (temp-Tu)})}{100} \right) \right)^{(1/b)} / V_{t-1} \quad [\text{Ligning 1}]$$

Hvor θ er vekstraten, V_{t-1} er vekt i gram, Tl og Tu er henholdsvis nedre og øvre temperaturgrenser for vekst, mens b , d og g er parametere som definerer formen på funksjonen. En oversikt over modellparameterne er gitt i Tabell 2. θ blir satt til 1 når temperaturen er under Tl eller over Tu , slik at veksten ikke kan bli negativ. Vekt blir konvertert til lengde ved følgende funksjon

$$Len = \left(\frac{10^5 V}{0.84} \right)^{1/3} \quad \text{[Ligning 2]}$$

som beskrevet i Hedger m.fl. (2013), hvor Len er lengde i mm og V er masse/vekt i g.

2.2.2 Smoltifisering

Vi har generelt lite data på smoltalder fra Bjoreio og valgte derfor å bruke modellen fra Hedger *et al.* (2013) som er en enkel logistisk funksjon hvor sannsynligheten for å smoltfiserer øker med størrelse. I tillegg definerer modellen all fisk over 250 mm som smolt. Funksjonen er som følger

$$SP = \frac{e^{(sp1+(sp2+Len))}}{1+e^{(sp1+(sp2+Len))}} \quad \text{[Ligning 3]}$$

hvor SP er den individuelle parrens sannsynlighet for å smoltfiserer, $sp1$ og $sp2$ er parameter tilpasset i Hedger m.fl. (2013) og Len er lengde fra ligningen over. Denne funksjonen blir bare implementert en gang i året 15. mai.

2.2.3 Overlevelse

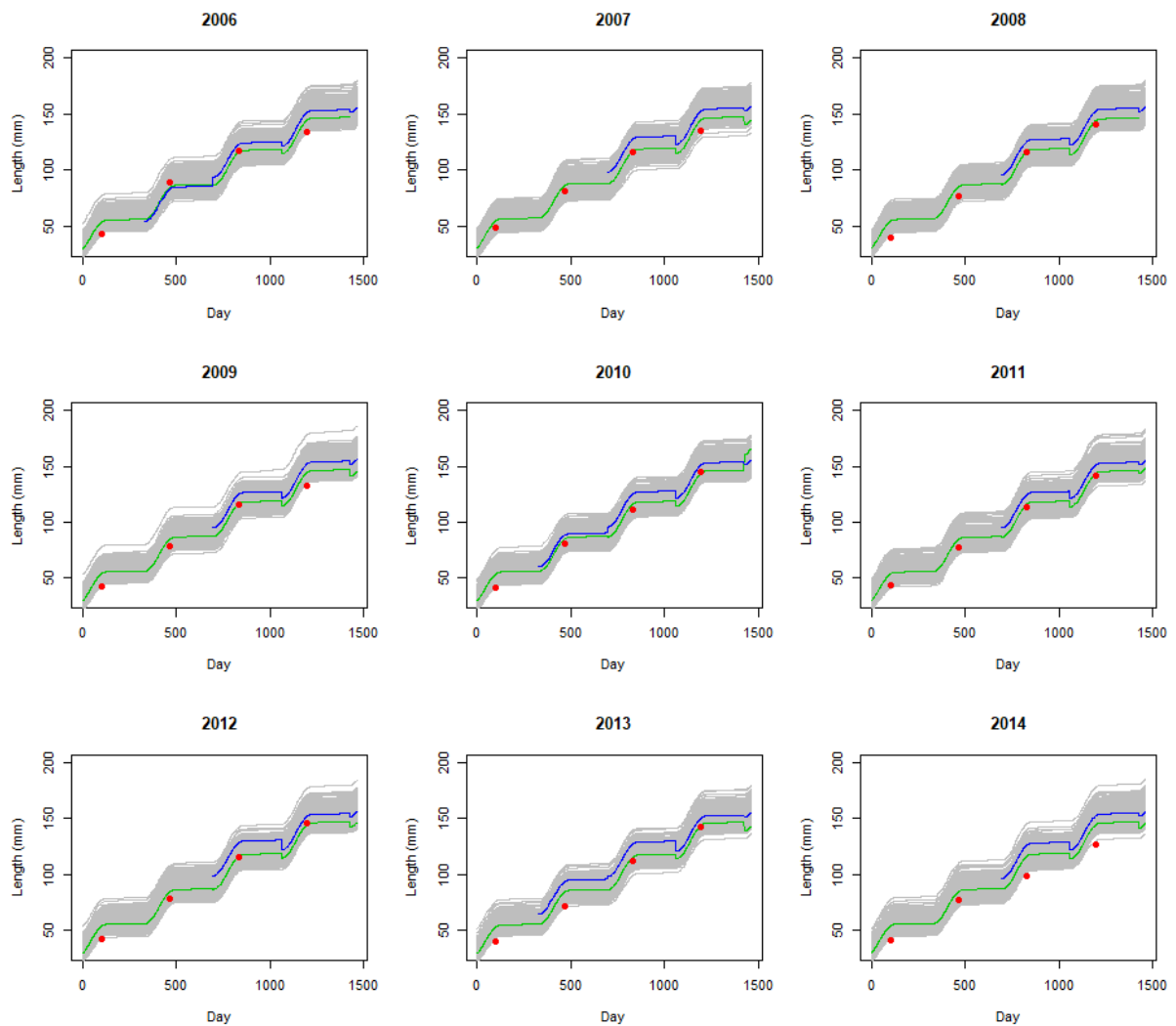
For å estimere effekten av ulik vekt og smoltalder på overlevelse under ulike temperturregimer har vi inkludert dødelighet for ulike aldersgrupper per år. Det er svært få gode estimater av dødelighet gjennom parrstadiet. Av de som eksisterer varierer estimatene mye avhengig av publikasjon og metode (Symons 1975, Hedger m.fl. 2012, Hedger m.fl. 2013). For å få et grovt estimat på effekt på overlevelse bruker vi de samme estimatene som Hindar *et al.* (2007), dvs at vi setter en gjennomsnittlig dødelighet til 90 % første året og 50 % per år for eldre stadier for å beregne overlevelse frem til smoltifisering. Denne tilnærmingen vil ikke kunne fange opp eventuelle størrelsesavhengig overlevelse, men kan benyttes til å beregne relative forskjeller i overlevelse mellom de ulike scenarioene som en konsekvens av økt smoltalder. Det er ingen tetthetsavhengige effekter i denne modellen.

2.2.3 Parameterisering

For å tilpasse parameterne til data fra Bjoreio, brukte vi gjennomsnittsverdier av parrstørrelse ved alder for året 2006 hvor det var mest data, og optimaliserte d og g ved å la modellen kjøre med en variasjon av parametere og lot modellen velge den parameter kombinasjonen som ga lavest «sum of squares» mellom observerte og modellerte verdier. Denne kjøringen ble gjort uten individvariasjon. Etter dette ble det samme gjort for å optimalisere individvariasjon og vekstvariasjon slik at modellen ble best mulig tilpasset individuell variasjon. Til slutt evaluerte vi visuelt om dataene passet godt med empirisk data fra Bjoreio fra 2006-2014. Dette er plottet i Figur 4 som viser at de empiriske dataene stemmer relativt godt overens med modellen. Vi konkluderte derfor at modellen kan brukes til å modellere temperatur avhengig vekst i Bjoreio.

For å kunne kjøre de forskjellige scenarioene presentert av Sørås & Pedersen (2020) måtte vi også ha temperaturverdier for resten av året. Det løste vi ved å ta gjennomsnittsverdier for perioden 2006-2014 og subsidiere dagsverdiene med scenarioene gjennom våren og sommeren. Ettersom fisken

lever i flere år ble hvert scenario kjørt suksessivt i 5 år slik at man kan følge en kohort av fisk gjennom temperaturscenarioene.



Figur 4. Simulerte vekstkurver og observerte gjennomsnitt (røde prikker) for ulike årsklasser. Grå linjer indikerer vekst for ulike individer, grønn linje er snittverdi fra modellen for parr som ikke smoltifiserer, mens blå linje er snittverdi for individer som har smoltifisert.

Tabell 2. Liste over relevante parametere brukt i modellen.

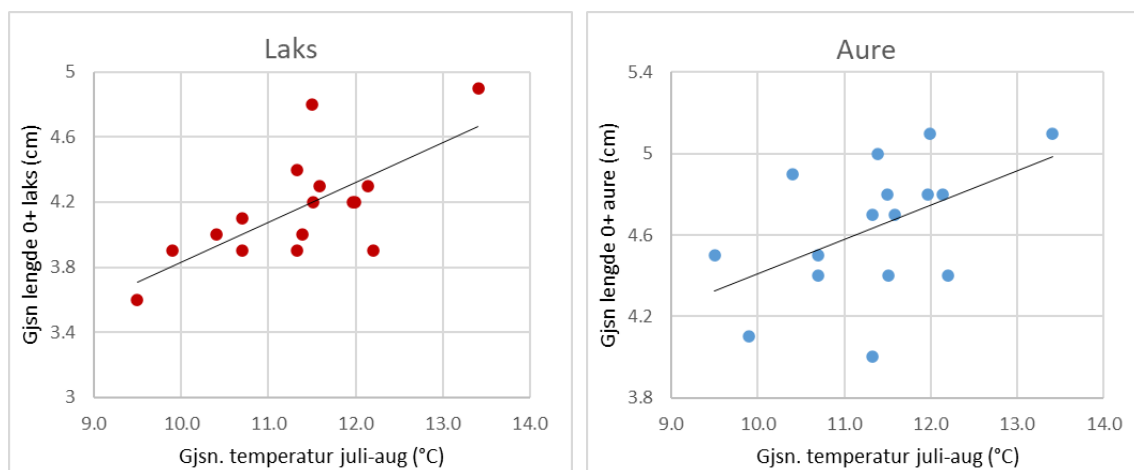
Parameter	Verdi	Beskrivelse	Fra
temp	0.5-12.5	døgn temperatur (Celcius)	Tilpasset
M.mean	0.2	intiell vekt	Hedger et al. (2013)
M.sd	0.28	standard avvik i variasjon i initiell vekt	Tilpasset
gv.var_sd	0.67	standard avvik i variasjon i vekst	Tilpasset
b	0.31	Parameter i ligning 1	Tilpasset
d	0.755	Parameter i ligning 1	Tilpasset
g	0.0352	Parameter i ligning 1	Tilpasset
Tl	5.2	Nedre temperaturgrense for vekst	Tilpasset
Tu	23.85	Øvre temperaturgrense for vekst	Tilpasset
sp1	-15.87	Parameter i ligning 3	Hedger et al. (2013)
sp2	0.14	Parameter i ligning 3	Hedger et al. (2013)

3.0 Resultater

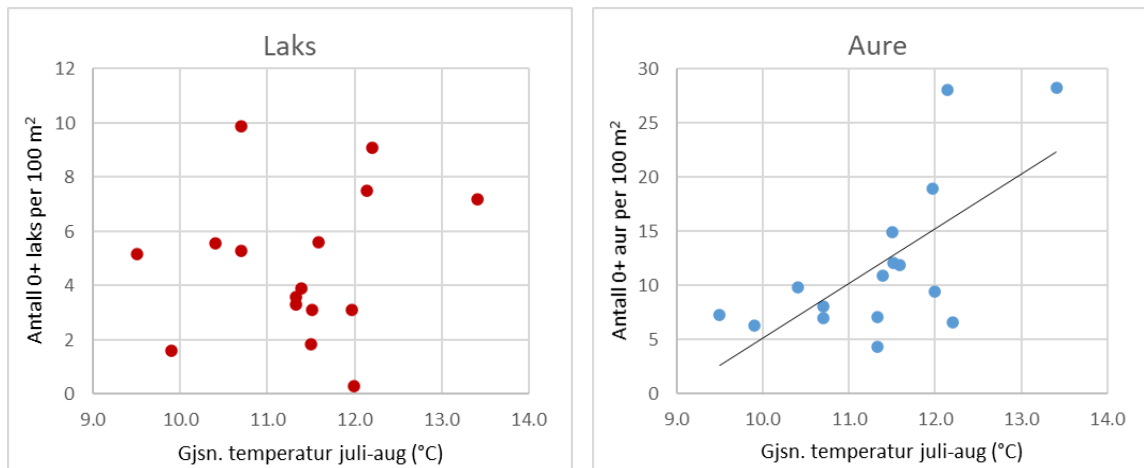
3.1 Effekter av temperatur på rekruttering og vekst hos ungfisk i Bjoreio

En rekke fysiologiske prosesser hos fisk er temperaturavhengige, og vanntemperaturen er en av de sentrale miljøfaktorene for vekst og overlevelse hos laks og sjøaure i vassdrag. De tidlige ungfiskstadiene, dvs. fra yngelen kommer opp av grusen og gjennom den første veksesongen, er en periode hvor det normalt er høy dødelighet og ofte bestemmende for rekruttering hos laksefisk (Milner m.fl. 2003). Forholdene for vekst og overlevelse gjennom den første veksts sesongen er derfor av stor betydning for årsklassestyrke og fiskeproduksjon.

En analyse av data fra ungfiskundersøkelsene i perioden 2004-2019 viser at det er en signifikant positiv sammenheng mellom sommertemperaturen (dvs. gjennomsnittstemperaturen i juli-august) og størrelse hos ensomrig laks og sjøaure (lineære regresjonsanalyser, $p < 0.05$, Figur 5). Videre ble det også funnet en signifikant positiv sammenheng mellom sommertemperatur og tetthet av ensomrig sjøaure ($p < 0.01$, Figur 6). Dette tilsier at sommertemperaturen i løpet av den første veksts sesongen også er avgjørende for rekrutteringen hos aureunger, og at rekrutteringen er langt dårligere i år med kalde sommertemperaturer. Basert på sammenhengen i Figur 6 vil en reduksjon i gjennomsnittlig temperatur fra 12 til 11 °C resultere i en 33 % reduksjon i rekruttering. Det ble ikke funnet noen tilsvarende sammenheng for ensomrig laks ($p = 0.57$), men dette kan skyldes at gytebestanden av laks i deler av perioden har vært lav og sannsynligvis begrensende for rekrutteringen av lakseyunger. Det er derfor sannsynlig at temperaturen også er vesentlig for rekruttering hos lakseyngel.

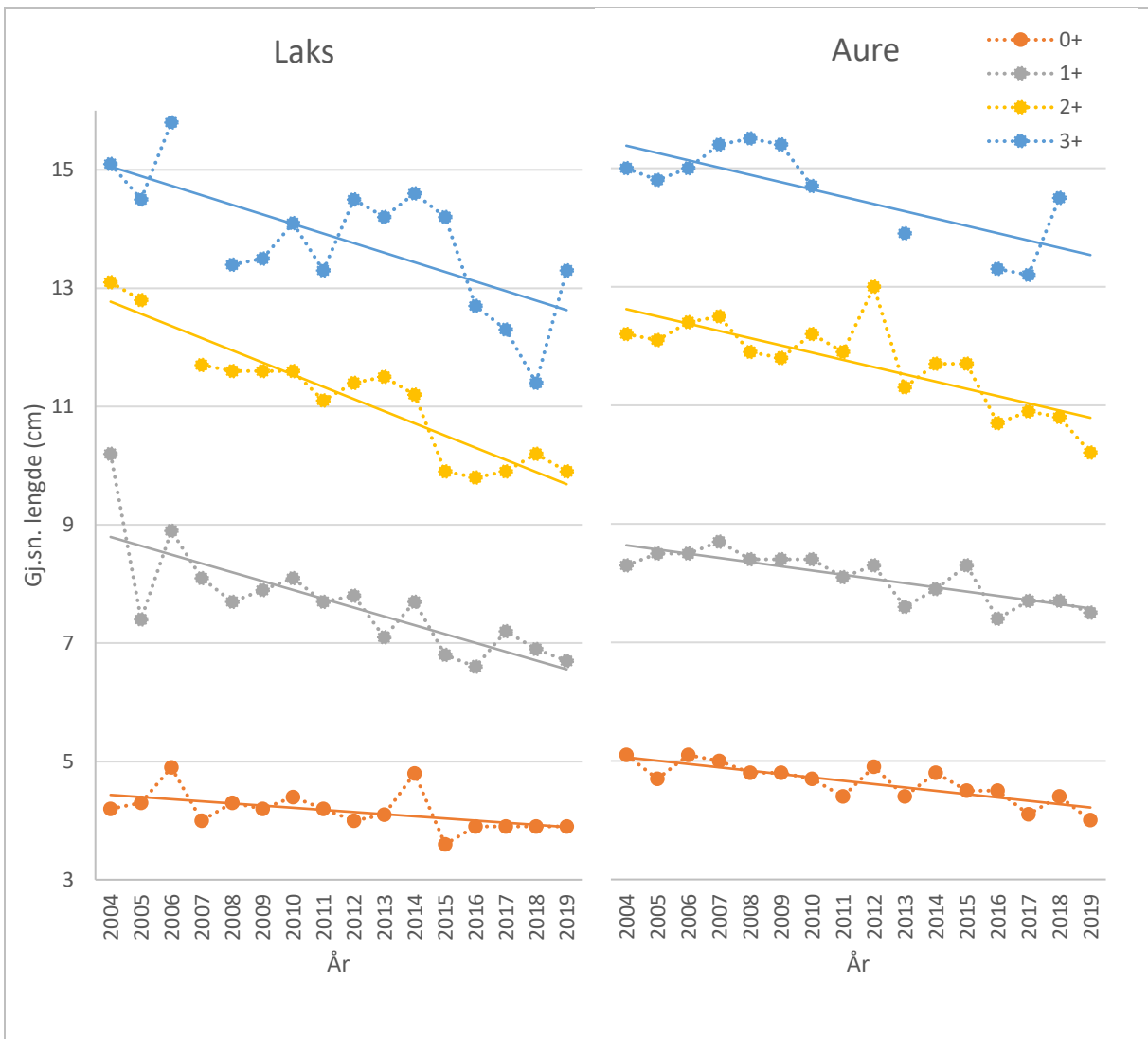


Figur 5. Sammenheng mellom vanntemperatur om sommer, gitt som gjennomsnitt i perioden juli-august, og fiskelengde ensomrig laks (t.v.) og sjøaure (t.h.) i Bjoreio i perioden 2004-2019.

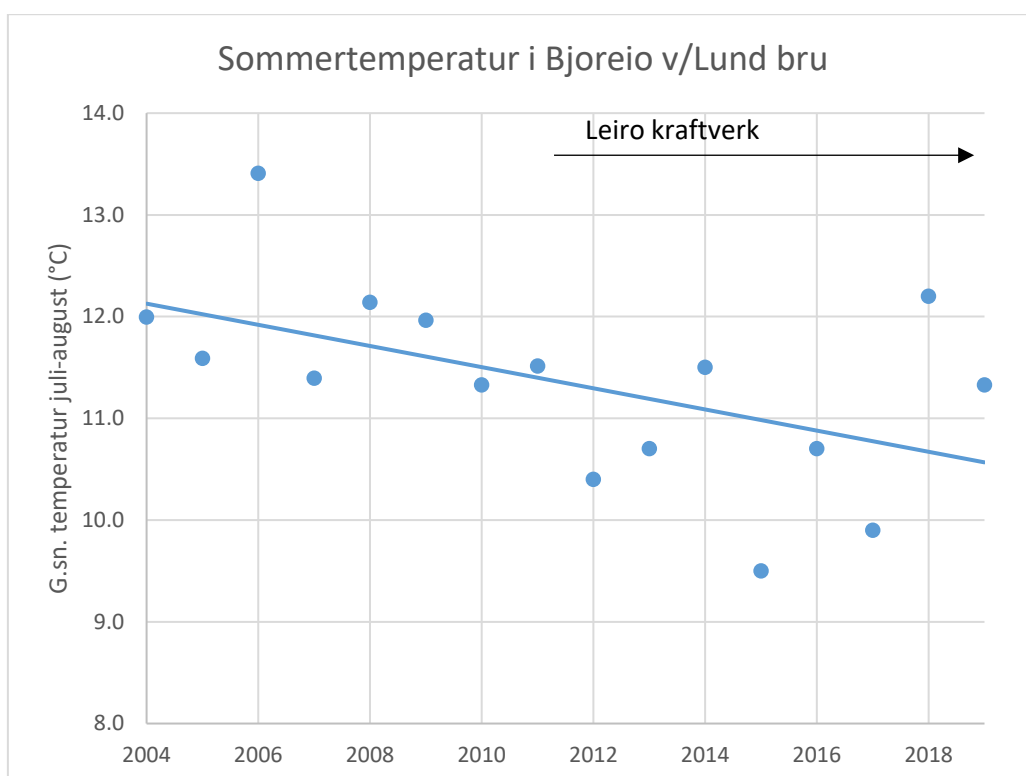


Figur 6. Sammenheng mellom vanntemperatur om sommer, gitt som gjennomsnitt i perioden juli-august, og fiskelengde (øverst) og tetthet (nederst) av ensomrig laks og sjøaure i Bjoreio i perioden 2004-2019.

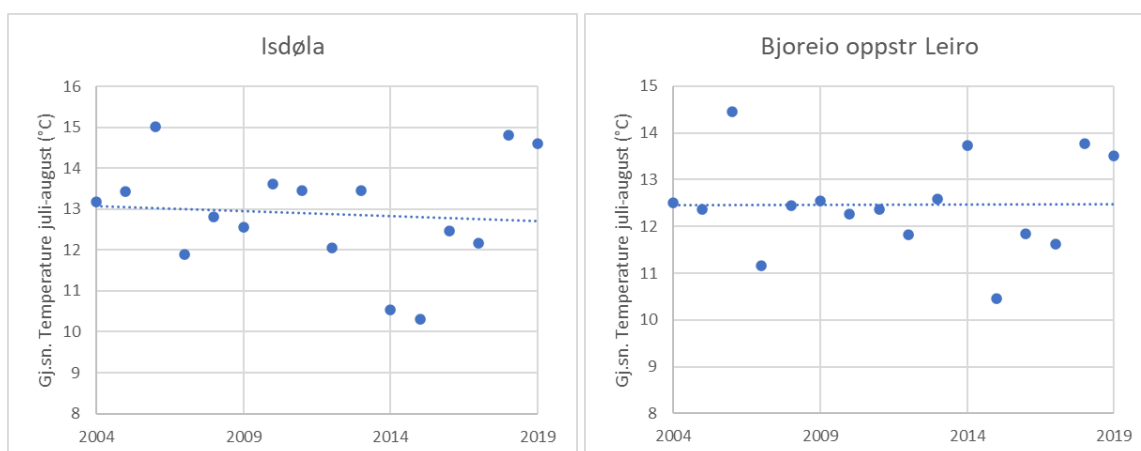
I løpet av undersøkelsesperioden 2004-2019 er det en signifikant reduksjon i veksten hos ungfisk av alle årsklasser av både laks og sjøaure (Figur 7). Denne trenden i vekst synes å henge samme med en tilsvarende signifikant reduksjon i vanntemperaturen i sommerperioden i Bjoreio, her målt som gjennomsnitt for perioden juli og august (Figur 8). Det er ingen tilsvarende tidstrend i vanntemperaturen i tilløpselvene Isdøla og Bjoreio oppstrøms Leiro (dvs. oppstrøms utløp av Sysendammen) (Figur 9). Dette tilsier at temperaturreduksjonen skyldes et relativt økt bidrag av kaldt vann fra Sysendammen. Reduksjonen synes å være mest markant i perioden etter 2011, da Leiro kraftverk ble satt i drift.



Figur 7. Gjennomsnittlig lengde på ungfisk av ulike aldersgrupper av laks (t.h.) og sjøaure (t.v.) fra ungfiskundersøkelser i Bjøreio i perioden 2004-2019. Linjene viser trend over tid analysert for hver enkelt årsklasse (lineære regresjonsanalyser, alle $p < 0,05$).



Figur 8. Gjennomsnittlig vanntemperatur i sommerperioden juli-august i Bjoreio ved Lund bru i perioden 2004-2019. Linjen viser trenden over tid fra en lineær regresjonsmodell ($F_{1,15} = 5,4$, $P = 0,03$). Pilen indikerer perioden det er vært drift i Leiro kraftverk.



Figur 9. Gjennomsnittlig vanntemperatur i sommerperioden juli-august i Isdøla og i Bjoreio oppstrøms Leiro (Armhølen) i perioden 2004-2019. De stiplede linjene viser ingen signifikant trend over tid ($p > 0,05$).

3.2 Simulering av effekt av ulike alternativer for vannslipp

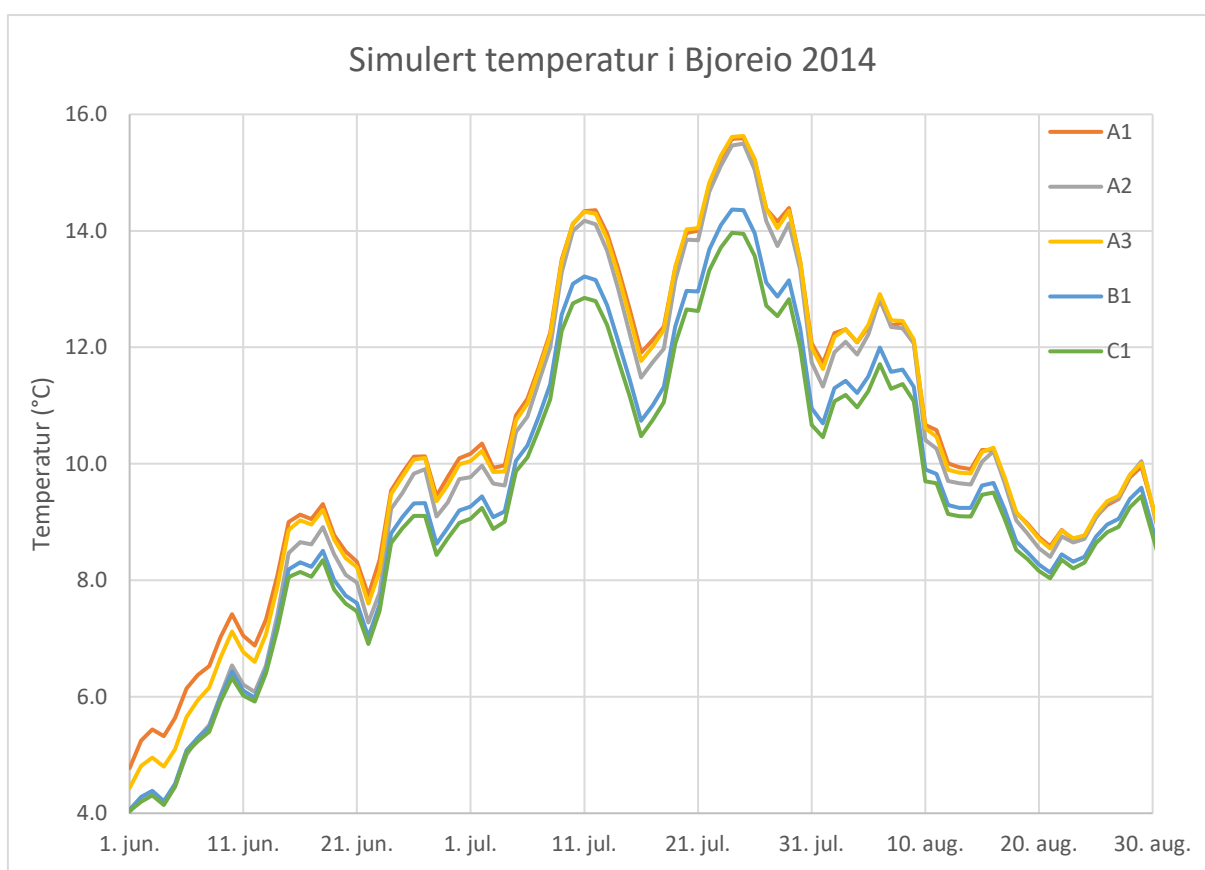
3.2.1 Scenarier for ulike tappealternativer

I forbindelse med at Storlia kraftverk settes i drift ønsker Statkraft å utrede hvordan ulike slippunkt (dvs. Isdal vs Bjoreio slippunkt) påvirker temperaturforholdene, og dermed forholdene for fiskebestandene. Effekten på temperaturforhold ble utredet av Sørås & Pedersen (2020), som utviklet en temperaturmodell for vassdraget. Basert på denne ble det utført simuleringer av vanntemperatur ved ulike alternativer for tapping for to ulike år (2014 og 2016). En oversikt over alternativene for tapping i de to årene er vist i Tabell 3 og Tabell 4, mens resultatene fra simuleringen

er vist i Figur 10 og Figur 11. Resultatene viser at effekten av ulike slippsted (alternativer A1, A2 og A3) har liten effekt på temperaturen. Det er imidlertid større effekt av slippvolum, der slipp av 2 m³/s uansett slippsted gir høyere temperatur enn 0,5 m³/s fra Bjoreio slippunkt, mens kun slipp fra Sysen gir lavest temperatur.

Tabell 3. Scenarier for ulike vannslipp fra Bjoreio slippunkt, Isdøla og Sysendammen benyttet for å simulere temperaturforholdene i Bjoreio ved ulike tappealternativer i 2014 (oppgitt av Sørås & Pedersen 2020).

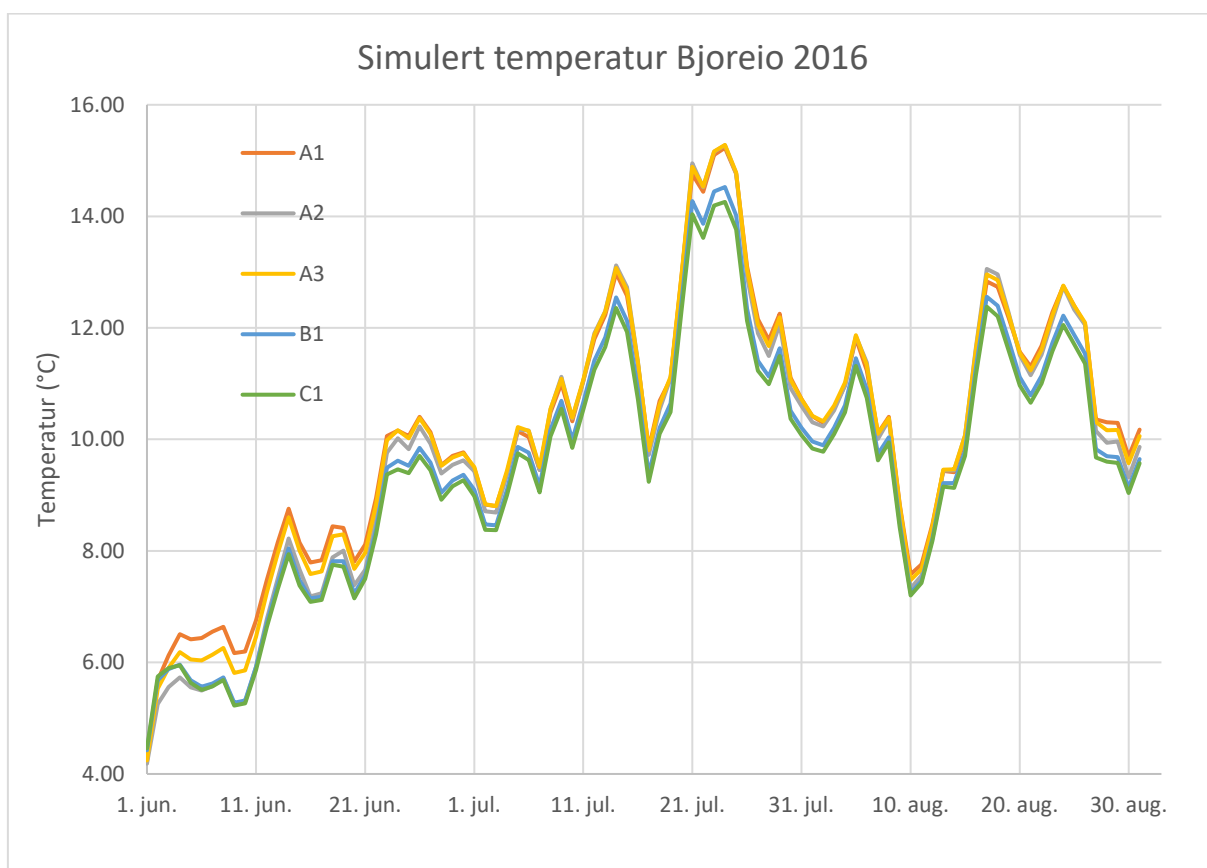
Alternativ	Slippvannsmengde			Høel (m ³ /s)
	Bjoreio (m ³ /s)	Isdøla (m ³ /s)	Sysenvatnet (m ³ /s)	
A1	0	2	7,8	11
A2	2	0	7,8	11
A3	1	1	7,8	11
B1	0,5	0	9,3	11
C1	0	0	9,8	11



Figur 10. Resultater fra simulering av temperatur ved ulike tappealternativer i Bjoreio i 2014. Hver av kurvene viser scenarier for ulike tappealternativer gitt i Tabell 3. Data oppgitt av Sørås & Pedersen (2020).

Tabell 4. Scenarier for ulike vannslipp fra Bjoreio slippunkt, Isdøla og Sysendammen benyttet for å simulere temperaturforholdene i Bjoreio ved ulike tappealternativer i 2016 (oppgitt av Sørås & Pedersen 2020).

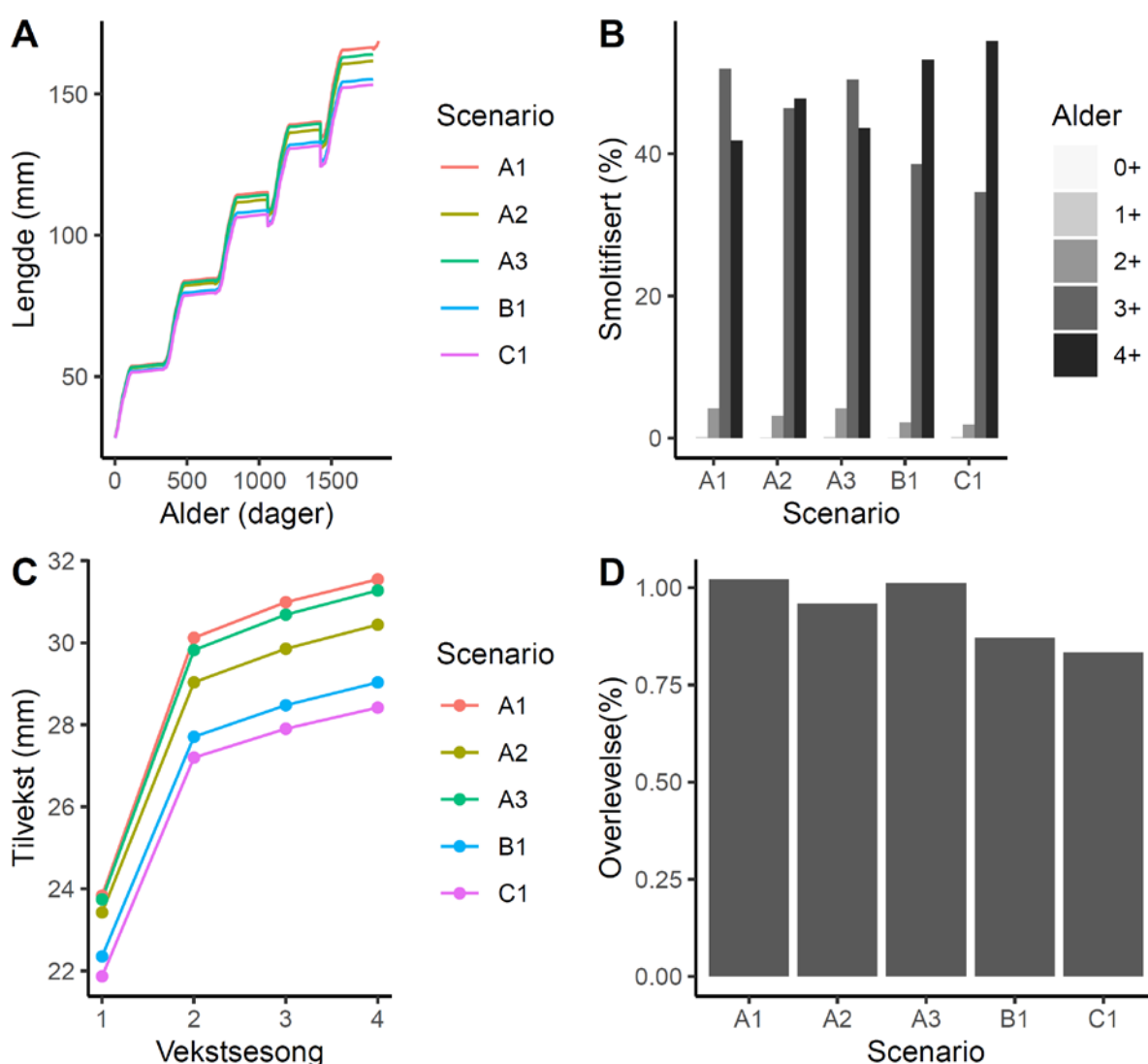
Alternativ	Slippvannsmengde			
	Bjoreio (m ³ /s)	Isdøla (m ³ /s)	Sysenvatnet (m ³ /s)	Høel (m ³ /s)
A1	0	2	7	11
A2	2	0	7	11
A3	1	1	7	11
B1	0,5	0	8,5	11
C1	0	0	9	11



Figur 11. Resultater fra simulering av temperatur ved ulike tappealternativer i Bjoreio i 2016. Hver av kurvene viser scenarier for ulike tappealternativer gitt i Tabell 4. Data oppgitt av Sørås & Pedersen (2020).

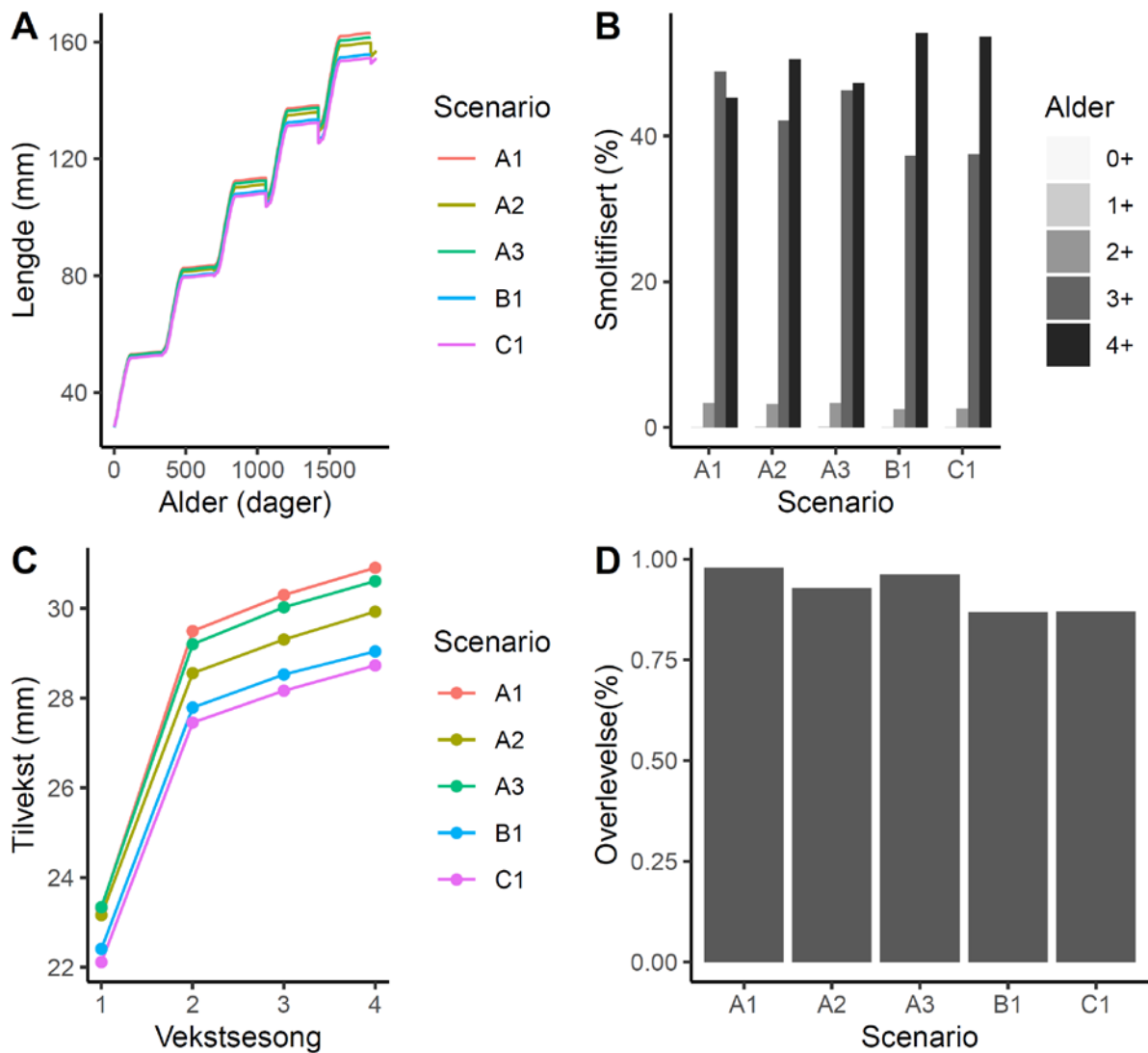
3.2.2 Modellering av vekst, smoltalder og overlevelse hos lakseparr

Størrelse ved alder (i dager), tilvekst (per år) og alder ved smoltifisering fra den individbaserte modellen for 2014 er vist i Figur 12. Som forventet er forskjellen i vekst og smoltalder liten mellom scenario A1, A2 og A3. Av de tre scenarioene er veksten noe lavere og smoltalderen noe høyere i A2 sammenlignet med A1 og A3. Dette er sannsynligvis fordi A2 scenario begynner relativt kaldt tidlig i sesongen. B1 og C1 skiller seg klart ut og viser at veksten er henholdsvis ca. 2 mm og 2.7 mm lavere per år enn A3. Den mest markante forskjellen mellom de to scenarioene kan man se i smoltalder som viser en klar skift i smoltalder i scenario B1 og C1 relativt til A1-A3. Den dominerende smoltalderen i A1-A3 scenarioene er 3+ smolt mens i B1 og C1 er den dominerende smoltalderen 4+ (det vil si parr smoltifiserer når de har vært over 4 år i elven). Andelen som smoltifiserer over 3 år i scenario A3 er 44,7 % mens det i B1 og C1 er henholdsvis 54,1 og 55,9 %. Denne økningen i smoltalder er estimert å redusere smoltproduksjonen med henholdsvis ca. 13 og 16 % for scenarioene B1 og C1 sammenlignet med A3 i 2014.



Figur 12. Modellerte lengde ved alder (A), alder ved smoltifisering (B), tilvekst (C) og overlevelse (D) for de fem temperatur scenarioene i 2014.

Mønsteret i 2016 er svært likt mønstrene i 2014 (Figur 13), men på grunn av generelt lavere temperaturer og litt mindre forskjell mellom scenarioene er tilvekst forskjellen kun i overkant av 1,5 mm når man sammenligner scenario A3 med B1 og ca. 1,8 mm når man sammenligner A3 med C1. Det er derimot fremdeles klare forskjeller i alder ved smoltifisering, hvor andelen smolt over 3 år øker fra 47,2 i scenario A3 til henholdsvis 54,7 og 56,6 % for scenario B1 og C1. Antall smolt reduseres med ca. 12 og 15 % på grunn av økt smoltalder ved temperaturen for B1 og C1 sammenlignet med A3 i 2016.



Figur 13. Modellerte lengde ved alder (A), alder ved smoltifisering (B), tilvekst (C) og overlevelse (D) for de fem temperatur scenarioene i 2016.

4.0 Diskusjon

4.1 Effekter av temperatur på rekruttering og ungfiskproduksjon i Bjoreio

Samlet viser analysene av ungfiskdata at temperaturforholdene er utslagsgivende for både rekruttering og vekst hos fiskebestandene i Bjoreio. Hos sjøauren var det en signifikant positiv effekt av temperatur den første veksts sesongen på både vekst og tetthet hos ensomrige (0+), der de sterkeste årsklassene utelukkende forekom i årene med høyest sommertemperatur. Hos laks ble det funnet en tilsvarende effekt på vekst, men ikke på tetthet. Dette skyldes trolig at rekrutteringen i store deler av den aktuelle perioden har vært lav og begrenset av gytebestanden, og at laksen ikke kan respondere like kraftig på gode rekrutteringsforhold. Det kan imidlertid forventes at temperatureffekten på rekruttering hos laks vil være like sterk som hos aure.

En mulig årsak til dette mønsteret er at lave temperaturer gjennom den første veksts sesongen fører til at årsyngelen, som i utgangspunktet er små og ekstra utsatt for dødelighet i form av predasjon og ugunstige miljøforhold, bruker lengre tid på å vokse seg ut av den mest sårbare tidlige livsfasen. Denne mekanismen synes å også å være bestemmende for rekruttering hos en rekke marine fiskearter (Houde 2002). I tillegg kan temperaturforholdene påvirke ulike økologiske prosesser som konkurranse og predasjon, som igjen kan påvirke rekruttering og ungfiskproduksjon. Et tilsvarende mønster med temperaturavhengig rekruttering ble også funnet hos aure i Aurlandselva (Ugedal m.fl. 2019), samt hos laks i Vikja (NORCE LFI upubliserte data). Felles for alle disse vassdragene er at de er forholdsvis kalde og reguleringspåvirket. Effekten av temperatur på rekruttering vil vanligvis ha størst effekt på rekruttering når temperaturforholdene er marginale, noe som også er typisk for andre fiskearter (Myers 1998). Effekten av temperatur på rekruttering vil sannsynligvis også påvirke årsklassestyrke, og dermed i sin tur smoltproduksjon (Ugedal m.fl. 2019).

Mens effekten av temperatur på rekruttering i hovedsak synes å være styrt av forholdene gjennom den første veksts sesongen (dvs 0+), så vil temperaturen også påvirke veksten for eldre ungfisk, som i sin tur vil påvirke alder ved smoltifisering. Dette kommer også klart fram i modelleringen av vekst og smoltalder som indikerer en redusert tilvekst og økt smoltalder når man implementerer de kaldeste scenarioene. Ungfiskdata viser også fiskestørrelsen hos alle aldersgrupper av både laks og aure i Bjoreio har blitt redusert med synkende temperaturer i sommerperioden i årene 2004-2019. Når vekstforholdene blir dårligere vil en større andel av ungfisken tilbringe ett år lenger i elven, og dermed utsettes for høyere risiko for dødelighet før de smoltifiserer. Hvilken betydning veksthastighet og alder ved smoltifisering vil ha på smoltproduksjonen er vanskelig å beregne. For det første vil vekstforholdene ikke bare styres av temperatur, men også påvirkes av næringstilgang, konkurranse og andre økologiske faktorer, som også kan påvirkes av temperatur. For eksempel synes konkurranseforholdet mellom laks og aure å være temperaturavhengig, der aure har et konkurransemessig fortrinn ovenfor laks ved lave temperaturer (Skoglund 2011). I tillegg kan fisken til en viss grad balansere vekst mot dødelighetsrisiko. Dersom vekstforholdene er dårlige kan derfor fisken til en viss grad kompensere for dette ved å øke aktiviteten og næringsopptaket, men vil da samtidig utsette seg for en større risiko for dødelighet (Forseth m.fl. 2011).

4.2 Effekter av slippsted og vannføring for vannslipp fra Isdal og Bjoreio

For å redusere negative regulerings effekter av lave vanntemperaturer på fiskebestandene i Bjoreio, har Statkraft siden tidlig på 2000-tallet endret manøvreringen ved å erstatte noe av tappingen av kaldt bunnvann fra Sysendammen sommerstid med varmere vann fra inntakene ved Isdal og Bjoreio slippunkt. Etter etablering av Storlia kraftverk, som fra 2020 vil utnytte fallet fra inntaket i Bjoreio til

Sysendammen, er det ønske fra regulanten å redusere vannslippet fra denne lokaliteten og i stedet tappe fra Isdal. Det er også ønske å vurdere effekten av vannføring fra slippstedene, ettersom tiltaket kommer i konflikt med drift i Leiro kraftverk, som fra 2011 har utnyttet tappingen av vann ut fra Sysendammen til kraftproduksjon. Ved å utvikle en temperaturmodell har (Sørås & Pedersen 2020) simulert effekten av ulike tappealternativer på temperaturforholdene på den lakseførende elvestrekningen i Bjoreio i to ulike år (2014 og 2016). Resultatene fra simuleringen tilsier at temperaturen på den lakseførende stekningen påvirkes lite av hvorvidt vannslippet (totalt 2 m³/s) foretas fra Isdal eller Bjoreio inntak, men at konsekvensene ved å øke vannføringen fra Sysendammen var større (Sørås & Pedersen 2020). Ved å benytte de simulerte temperaturene fra de ulike scenarioene sammen med en individbasert modell, fant vi også at endring av slippsted (Isdal vs. Storlia) hadde liten effekt på vekst og smoltalder hos lakseunger. Vekst og overlevelse ble beregnet å være høyest, og smoltalder lavest, dersom alt vannet ble sluppet fra Isdal (A1 scenario), og noe lavere dersom vannet slippes fra Storlia (A2). Dette resultatet skyldes hovedsakelig at vannet fra Storlia er noe kaldere enn Isdøla tidlig i sommerperioden. Forskjellen mellom de ulike A-scenarioene er allikevel forholdsvis liten.

Som forventet ble det funnet en større forskjell ved å redusere tappingen fra Isdal og Bjoreio slippunkt og øke tappingen fra Sysen. Scenarioene med utelukkende vannslipp fra Sysendammen (scenario C) resulterte i lavest vekst (2 til 2,7 mm redusert tilvekst i året) og høyest smoltalder, og dermed lavest overlevelse blant de aktuelle scenarioene. Hvor stor effekten var varierte noe mellom de to årene modelleringen er basert på, noe som trolig skyldes at effekten av tiltaket vil være avhengig av både temperaturforholdene i Isdøla og Bjoreio oppstrøms inntak i Storlia, samt hvor mye vannføring som kommer fra det øvrige restfeltet. Scenarioene med redusert vannslipp (0,5 m³/s fra Bjoreio slippunkt, scenario B1), ga marginalt bedre vekst og overlevelse enn vannslipp kun fra Sysendammen (scenario C).

Det er åpenbart ønskelig å gi et estimat på hva effekt en temperatur endring vil ha på fiskeproduksjon. Dette er derimot svært komplisert ettersom dødelighetsestimater i ferskvann varierer mye. Generelt kan en regne med en overlevelse på mellom 28-44 % fra 0+ til 1+, og i størrelsesorden 28-44 % overlevelse per år for eldre ungfisk (Hindar m.fl. 2007). I vår modell har vi derfor for enkelthetskyld satt overlevelsen det første året til 10 % og de resterende årene 50 %. Total fiskeproduksjon er svært sensitiv til disse verdiene, mens de relative verdiene mellom scenarioene varierer lite. Fra vår modell estimerer vi at scenario B1 og C vil redusere fiskeproduksjonen i størrelsesorden 13-16% fordi en større andel av fisken må utsette smoltifisering og dermed har et år til i elven. Denne effekten kommer i tillegg til en redusert temperaturavhengig rekruttering i første vekstsesong.

Samlet viser resultatene at tiltaket med å erstatte kaldt bunnvann med varmere vann fra Isdal og Bjoreio slippunkt har en effekt på vekst og smoltalder, og dermed fiskeproduksjonen i Bjoreio. Effekten av tiltaket er imidlertid avhengig av hvor stort bidrag vannslippene har totalt i forhold til det som tappes ut fra Sysendammen. I de aktuelle scenarioene ble det tatt utgangspunkt i et samlet vannslipp på 2 m³/s fra Isdal og/eller Bjoreio slippunkt. Dette er trolig på samme nivå som det som har blitt sluppet i de senere årene, men lavere enn det som ble sluppet i starten av tiltaksperioden (2004-2006), da vannslippene ble antatt å bidra med en vannføring på om lag 4,5 m³/s. Det oppgitte slippvolumet er imidlertid redusert over tid, og den største endringen synes å sammenfalle med at Leiro kraftverk ble satt i drift fra 2011. Dette gjenspeiles også i kaldere temperaturer om sommeren gjennom perioden 2004-2019, noe som også har resultert i en signifikant reduksjon i

ungfiskstørrelser av alle aldersgrupper hos både laks og sjøaure gjennom perioden. En tilsvarende temperaturreduksjon er ikke observert i Isdøla eller i Bjoreio oppstrøms Leiro, noe som tilsier at den reduserte temperaturen i Bjoreio skyldes et økt bidrag av kaldt bunnvann fra Sysendammen.

5.0 Oppsummering og konklusjon

Resultatene viser at mellomårsvariasjon i vanntemperatur har en betydelig effekt på vekst og rekruttering til bestandene av laks og sjøaure i Bjoreio. Lave sommertemperaturer resulterer i dårlige forhold for rekruttering og vekst, som igjen fører til høyere smoltalder og redusert smoltproduksjon. Tiltaket med å erstatte kaldt bunnvann fra Sysendammen med varmere vann fra Isdal og Bjoreio slippunkt har en klar effekt på vekst og smoltalder, og dermed fiskeproduksjonen i Bjoreio. Effekten av tiltaket synes å være lite avhengig av om hele eller deler av vannet slippes fra Isdal eller Bjoreio slippunkt, i hvert fall ikke innenfor de vannføringene som er modellert, men synes å styres av hvor stort bidrag vannslippene har totalt i forhold til det som tappes ut fra Sysendammen. Veksten hos ungfisk var også vesentlig bedre i begynnelsen undersøkelsesperioden da vannslippet fra Isdal og Bjoreio slippunkt var større.

Det blitt observert en økning av gytefisk av laks og sjøaure i Eidfjordvassdraget i de senere årene, men laksebestanden er fremdeles lav og ansees som sårbar (Skoglund et al. 2020). Tiltak for å øke rekruttering og vekst gjennom økt temperatur vil dermed være et viktig tiltak for å styrke fiskebestandene, og især laksebestanden i vassdraget.

6.0 Referanser

- Forseth, T., Letcher, B., Johansen, M. 2011. The Behavioural Flexibility of Salmon Growth. I: Atlantic Salmon Ecology, First Edition (red. Øystein Aas, Sigurd Einum, Anders Klemetsen and Jostein Skurdal). Blackwell Publishing Ltd.
- Hedger R. D. , Sundt-Hansen L. E., Forseth T., Diserud O. H., Ugedal O., Finstad A. G. 2012. Modelling the complete life-cycle of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) using a spatially explicit individual-based approach. *Ecological Modelling*, 248: 119–129.
- Hedger R. D., Næsje, T.F., Fiske, P., Ugedal, O., Finstad, A.G. & Finstad, E.B. Ice-dependent winter survival of juvenile Atlantic salmon. *Ecology and Evolution* 3(3): 523-535.
- Hindar, K., Diserud, O., Fiske, P., Forseth, T., Jensen A.J., Ugedal, O., Jonsson, N., Sloreid, S.-E., Arnekleiv, J.V., Saltveit, S.J., Sægvog, H. & Sættem, L.M. 2007. Gytebestandsmål for laksebestander i Norge. NINA Rapport 226. 78 s.
- Houde, E.D. 2002. Mortality. In *Fishery science - The unique contributions of the early life stages*. Edited by L.A. Fuiman and R.G. Werner. Blackwell Science.
- Jonsson, B., Forseth, T., Jensen, A.J. & Naesje, T.F. 2001. Thermal performance of juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Functional Ecology*, 15 (2001), pp. 701-711.
- Myers, R. 1998. When do environment - recruitment correlations work? *Review Fish Biology and Fisheries* 8: 285-305.
- Ratkowsky, D., Lowry, R., McMeekin, T., Stokes, A. & Chandler, R. 1983. Model for bacterial growth rate throughout the entire biokinetic temperature range. *Journal of Bacteriology*, 154 (1983), pp. 1222-1226.
- Skoglund, H., Barlaup, B.T., Gabrielsen, S.-E. & Wiers, T. 2007. Fiskebiologiske undersøkelser i Bjoreio, Eidfjordvassdraget, i perioden 2004-2006 - med vekt på vintervannføring og temperaturforhold. LFI-rapport nr 136. 67 s.
- Skoglund, H., Barlaup, B.T., Gabrielsen, S.E., Lehmann G.B., Halvorsen, G.A., Wiers, T., Skår, B., Pulg. U., Vollset, K.W. 2012. Fiskebiologiske undersøkelser i Eidfjordvassdraget – Sluttrapport for perioden 2004-2011. LFI Uni Miljø, rapport nr 203.
- Skoglund, H., Barlaup, B.T., Skår, B., Gabrielsen, S.E. & Wiers, T. 2015. Fiskebiologiske undersøkelser i Eidfjordvassdraget 2004-2015. LFI Uni Miljø, rapport nr 243.
- Skoglund, H., Skår, B., Gabrielsen, S.E. & Halvorsen, G.A. 2017. Fiskebiologiske undersøkelser i Eidfjordvassdraget – Årsrapport for 2015 og 2016. LFI Uni Miljø, rapport nr 290. 64 s.
- Skoglund, H., Skår, B. Gabrielsen, S.-E. & Barlaup, B.T. 2019. Fiskebiologiske undersøkelser i Eidfjordvassdraget– Statusrapport for 2018. LFI-rapport nr. 337, 63 s.
- Skoglund, H., Skår, B. Gabrielsen, S.-E. & Barlaup, B.T. 2020. Fiskebiologiske undersøkelser i Eidfjordvassdraget– rapport for undersøkelser i 2019. LFI-rapport nr. 377, 64 s.
- Skoglund, H. 2011. Seasonal timing of emergence from nests: effects of temperature and competition on offspring performance in salmonid fishes. Dr. Scient Thesis, University of Bergen.
- Symons, P.E.K. 1979. Estimated escapement of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) for maximum smolt production in rivers of different productivity. *J. Fish. Res. Board. Can.* 36: 132-140.
- Sørås, S. & Pedersen, Ø. 2020. Eidfjordvassdraget - Utvikling av temperaturmodell. Prosjektrapport fra Multiconsult, 10212218-RIVass-RAP-0. 29 s.
- Ugedal, O., Pulg, U., Skoglund, H., Charmasson, J., Espedal, E.O., Jensås, J.G., Stranzl, S., Harby, A. & Forseth, T. 2019. Sjøaure og laks i Aurlandsvassdraget 2009-2018. Reguleringseffekter, miljødesign og tiltak. - NINA Rapport 1716. Norsk institutt for naturforskning.