

Vurdering av effektkjøring og endret vanntemperatur på produksjon og vekst hos ungfisk av ørret i Vallaråi

Jan Heggenes





Jan Heggenes

**Vurdering av effektkjøring og
endret vanntemperatur på
produksjon og vekst hos ungfisk
av ørret i Vallaråi**

© 2023 Jan Heggenes
Universitetet i Sørøst-Norge
Bø, 2023

Skriftserien fra Universitetet i Sørøst-Norge nr. 123

ISSN: 2535-5325 (online)
ISBN: 978-82-7206-763-1 (online)



Utgivelser i skriftserien publiseres som Creative Commons* og kan kopieres fritt og videreformidles til andre interesserte uten avgift. Navn på utgiver og forfatter(e) angis korrekt. [http://creati-](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.no)

[vecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.no](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.no)

Forord

Sundsborn kraftverk DA bestilte ved avrop SK200281 (mail 22.02.2023) fiskebiologiske vurderinger av effektkjøring i Sundsbarm kraftverk og virkninger på produksjon og vekst hos ungfisk i Vallaråi, Seljord, Telemark. Kontaktperson har vært fagansvarlig ytre miljø Morten Stickler i Skagerak Kraft. Rapporten sammenfatter og evaluerer tidligere undersøkelser som grunnlag for vurdereringen, og begrunner forslag til videreføring av undersøkelser.

Bø, 25 mars 2023

Jan Heggenes

Innholdsfortegnelse

1.	Innledning.....	1
2.	Studieområder.....	3
2.1.	Inngrep og tiltak i Vallaråi.....	5
2.2.	Vannføring og vanntemperatur i Vallaråi.....	7
3.	Vanntemperatur og ørretvekst.....	12
3.1.	Vanntemperatur bestemmer ørretens vekst.....	12
3.2.	Vekst-temperatur modeller.....	13
4.	Fiskebiologiske vurderinger av produksjon og vekst hos ungfisk i Vallaråi.....	15
4.1.	Vekst ovenfor og nedenfor Sundsbarm kraftverksutløp.....	15
4.1.1.	Sammendrag.....	15
4.1.2.	Ørretens vekst og ulike vanntemperaturer i Vallaråi.....	15
4.1.3.	Manglende fiskedata på oppstrøms strekning med restvannvøring.....	16
4.2.	Evaluerer effekt av variasjon i vanntemperatur på årlig vekst av ørret ved dagens driftsmønster.....	17
4.2.1.	Sammendrag.....	17
4.2.2.	Bakgrunn.....	17
4.2.3.	Kompensatorisk vekst.....	18
4.2.4.	Sesongvis fødemotivasjon.....	18
4.2.5.	Døgnvariasjon/amplituder i temperatur.....	19
4.3.	Vurdere om det er produksjonsbegrensning av ørret i Vallaråi nedstrøms kraftverket..	22
4.3.1.	Sammendrag.....	22
4.3.2.	Bakgrunn.....	22
4.3.3.	Fordeling av gyteplasser.....	23
4.3.4.	Vannføringer og temperaturer i Vallaråi.....	24
4.3.5.	Habitat og tiltak for økt ungfiskproduksjon av ørret.....	25
4.4.	Kvalitetsikre bacheloroppgave om vanntemperatur og vekst hos ørret i Vallaråi (Gjestvang og Solheim, 2022), oppsummere hovedpunkter og beskrive usikkerheter og kunnskapshull.....	27
4.4.1.	Sammendrag.....	27
4.4.2.	Simulert temperaturavhengig vekst oppstrøms og nedstrøms Sundsbarm kraftverk.....	28
4.4.3.	Usikkerheter ved vekstmodellen.....	30
4.5.	Kvalitetsikre masteroppgave på genetikk i Seljord (Boine 2020), oppsummere hovedpunkter og beskrive usikkerheter og kunnskapshull.....	31
4.5.1.	Sammendrag.....	31
4.5.2.	Genetisk hovedstruktur for ørret i Seljordsvatn.....	31
4.5.3.	Data usikkerhet og manglende storørret.....	34
5.	Konklusjoner – anbefalinger videre undersøkelser.....	36
6.	Litteratur.....	38

1. Innledning

Vassdragsreguleringer endrer vannsystemene i berørte nedbørfelt og dermed de økologiske forholdene for fisk, særlig via endrede vannføringer og vanntemperaturer (f. eks. Saltveit 2006; Helland *et al.* 2011; Young, Cech & Thompson 2011; Heggenes *et al.* 2017a; Heggenes *et al.* 2021). Effektkjøring av kraftverk med påfølgende raske vannførings- og temperaturendringer nedstrøms kraftverk kan være en utfordring (f.eks. Flodmark, Vollestad & Forseth 2004; Young, Cech & Thompson 2011; Irvine *et al.* 2015; Bakken *et al.* 2016).

Sundsbarv kraftverk i Vallaråi, Seljord, Telemark, har vært i drift siden 1970. Kraftverket har en fallhøyde på 480 m., og er et viktig kraftverk for last-/effektkjøring. Sundsbarv-magasinet har henholdsvis LRV og HRV på 574 og 612 moh (Fig. 1), men reguleres sjeldent under 580 moh. (Skagerak pers.komm.). Vanninntak i magasinet Sundsbarv er på kote 571, og tapper derfor gjennom det meste av året kaldt 4°C bunnvann fra hypolimnion (se Heggenes *et al.* 2017a). Den ca. 1,2 km lange elvestrekningen i Vallaråi nedstrøms utløp Sundsbarv kraftverk (Fig. 1, 2) blir derfor berørt av vannkraftregulering mht. endringer i vannføring og vanntemperatur.

Vallaråi er hovedtilløpet til Seljordsvatn, og trolig en av de viktigste gyte- og oppvekstområder for (stor)ørret i Seljordsvatn. Vallaråi har også en stasjonær ørretpopulasjon. På bakgrunn av viktigheten av Vallaråi også som rekrutteringselv for storørret i Seljordsvatn, en nasjonalt vurdert storørretbestand (Museth *et al.* 2018), er det siden 2008 gjennomført årlige fiskebiologiske undersøkelser på delstrekning fra utløp kraftverk til innløp Seljordsvatn (Heggenes, Bergan & Lydersen 2011; Roed & Torp 2017; Heggenes, Roed & Torp 2018; Boine 2020; Gjestvang & Solheim 2022; Guggedal 2022; Heggenes *et al.* 2022; Heggenes 2023). Som del av undersøkelsene er sideelven Kivleåi (uregulert) inkludert de siste tre årene (Fig. 2) (Heggenes & Hjeltnes 2021; Heggenes *et al.* 2022; Heggenes 2023). På bakgrunn av undersøkelser er ulike habitatforbedrende tiltak utredet, gjennomført og evaluert (Duus 2002; Kiland 2006; Kraabøl 2016) (Fig. 3; senkning tørrlagte gyteområder, utlegging av stor stein, bygging tre elvebreddskiler) (Heggenes *et al.* 2012; Kildal 2013; Heggenes, Roed & Torp 2018).

På oppdrag fra Sundsbarv kraftverk DA har Universitetet i Sørøst Norge, Institutt for natur, helse og miljø (avrop SK-200281) gjort en vurdering av effekt av vanntemperatur på vekst hos ørret i Vallaråi, samt kvalitetssikring av studentoppgaver tilknyttet Vallaråi og Seljordssystemet på de to tema vekst og genetikk hos ørret i Seljordssystemet. Oppdraget er presisert til følgende aktiviteter som derfor strukturerer denne rapporten:

1. Sammenlikne vekst av ørret (lengde, vekt) oppstrøms Lakshølfoss med nedstrøms kraftverksutløp Sundsbarv krv. for å beskrive dagens situasjon. Hvis eksisterende data fra tidligere elektrofiske, ta i bruk disse. Hvis mangelfullt datagrunnlag, innhente data.
2. Evaluere effekt av variasjon i vanntemperatur på årlig vekst av ørret ved dagens driftsmønster.
3. Vurdere om det er produksjonsbegrensning av ørret i Vallaråi nedstrøms kraftverket.

4. Kvalitetssikre bacheloroppgave om vanntemperatur og vekst hos ørret i Vallaråi (Gjestvang og Solheim, 2022), oppsummere hovedpunkter og beskrive usikkerheter og kunnskapshull.
5. Kvalitetssikre masteroppgave på genetikk i Seljord (Boine 2020), oppsummere hovedpunkter og beskrive usikkerheter og kunnskapshull.

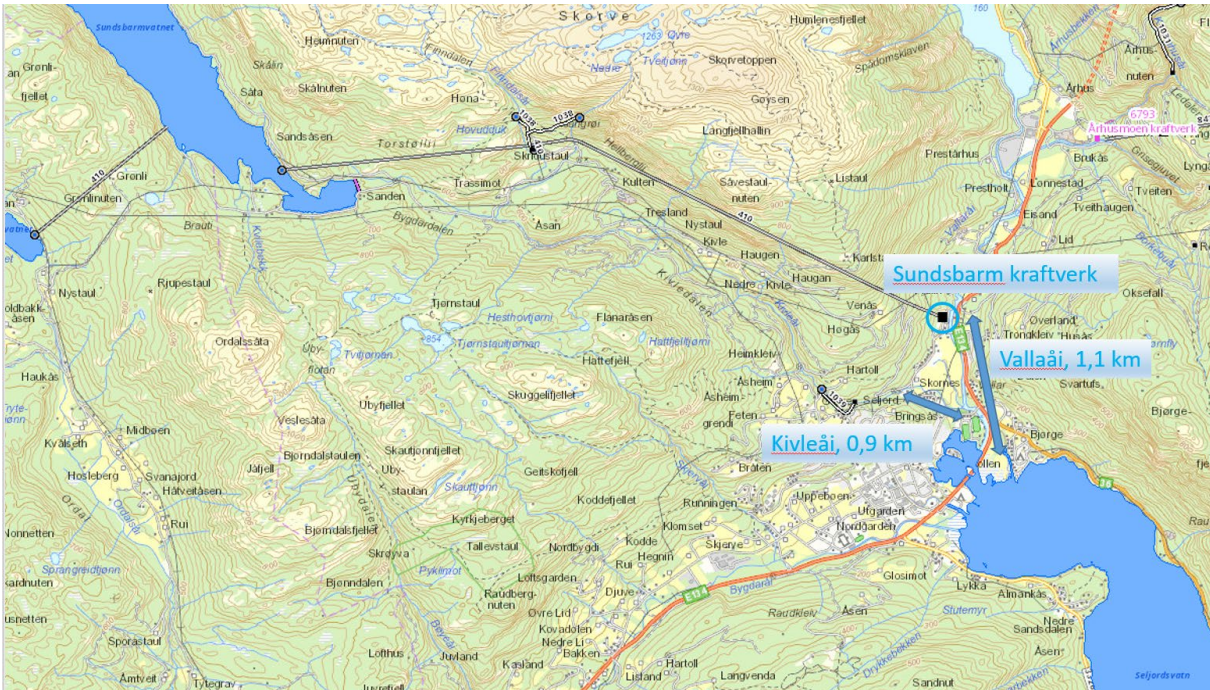
Et viktig grunnlag for arbeidet er sammenstilling og vurdering av tidligere fiskebiologiske undersøkelser, deriblant elfiskeundersøkelser (Heggenes, Bergan & Lydersen 2011; Roed & Torp 2017; Heggenes 2023), en bacheloroppgave med temperaturbasert modellering av vekst hos ørret i Vallaråi (Gjestvang & Solheim 2022) og en masteroppgave på genetisk struktur til ørretpopulasjoner i Seljordsvatnsystemet (Boine 2020). Videre er en kunnskapsoppsummering om effekt av vanntemperatur på fisk og bunndyr i regulerte vassdrag (Heggenes *et al.* 2021) et viktig grunnlag for denne rapporten.

2. Studieområder

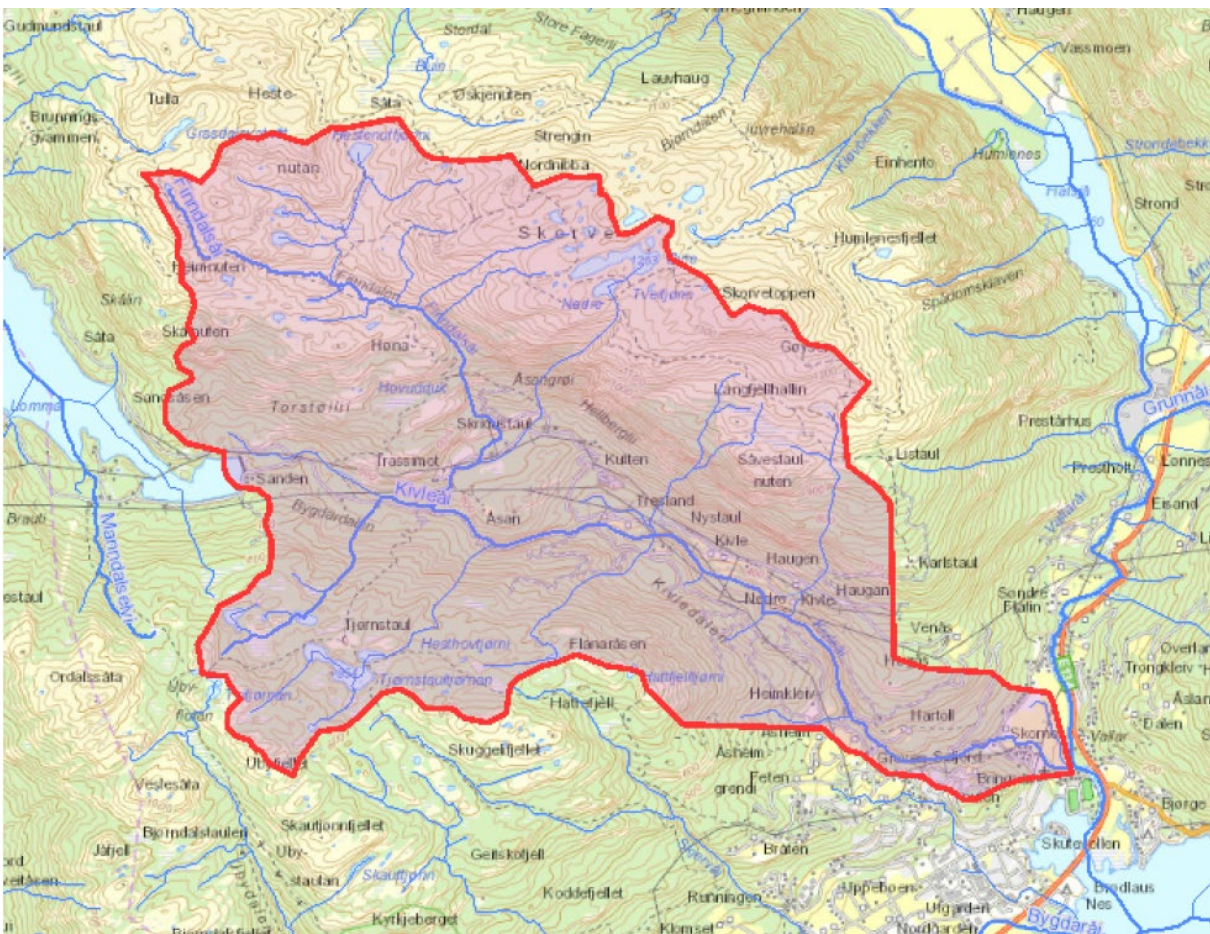
Vallaråi er en sterkt modifisert vannforekomst (016-2557-R, Vallaråi nedre). Elven er en del av Skiensvassdraget, og går under midtre Telemark vannområde og Vestfold og Telemark vannregion (<https://vannnett.no/portal/#/waterbody/016-2557-R>). Elva er den største tilløpselva i Seljordsvatnet (016-11-2-L; 116 moh., areal 14,51 km², oppstrøms areal 724,64 km²) og har utspring fra Flatsjø i Flatdal (016-24-L; 160 moh., middeldyp 16,2 m, areal 0,69 km², oppstrøms areal 420,24 km²). Undervann Sundbarm kraftverk renner ut i Vallaråi ca. 1,1 km oppstrøms innløpet til Seljordsvatnet (Fig. 1). Årlig middelproduksjon er 437 GWh med en middelvassføring nedstrøms utløp Sundsbarm kraftverk på 19,34 m³s⁻¹. Av dette kommer i gjennomsnitt 7,73 m³s⁻¹ fra restnedbørfeltet (ca. 245 km²), mens 11,61 26 m³s⁻¹ kommer fra kraftverket (nedbørfelt ca. 413 km²; data fra Skagerak Kraft AS). Kraftverket utnytter fallressursene i Flatdalsvassdraget (delnedbørfelt 171 km²; 016-693-R Åmotsdalsåi og 0-16-690-R Flatdøla), Morgedalsvassdraget (0-16-1632-R) og Dalaåi (0-16-2906-R; totalt delnedbørfelt 180 km²). Vannet samles i reguleringsmagasinet Sundsbarmvatnet (574-612 moh.) og utnyttes videre i Sundsbarm kraftverk (brutto fallhøyde ca. 478 m, inntaksdyp på kote 571 moh., dvs. ca. 41 m dyp under HRV, maksimal slukeevne 26 m³s⁻¹, installasjon 103 MW) (Fig. 1) (for mer detaljer se Heggenes, Roed & Torp 2018).

Kivleåi (vassdrags nr. 016-CBA0, Fig. 2) drenerer et uregulert, lite restfelt på 21,1 km² (feltlengde 8,2 km) med høy gradient (90,8 m/km; 1366 – 120 moh.) og avrenning 20,3 ls⁻¹ per km² (alminnelig lavvannføring 1,4 ls⁻¹ per km²) (Fig. 2). De nederste ca. 950 m har betydelig lavere gradient (ca. 15 m/km) hvor Kivleåi renner over en elveslette til samløp med Vallaråi (<https://nevina.nve.no/>). Denne strekningen er på de nederste ca. 520 m (fra nedstrøms Prestegarden/Prestegardsvegen) forbygd for å verne landbruksjord mot flom, men er ellers lite påvirket av menneskelige inngrep oppstrøms. Vannføringen er noe redusert pga. tre bekkeinntak øverst i nedbørfeltet (Fig. 1, 2). En liten dam er bygget for et tidligere lokalt vanninntak (oppstrøms vegbru til Hartoll), men dette er ikke i bruk i dag. Det oppgis lokalt at 'vanlig' ørret gyter i elva, som dermed kan være en del av rekrutteringsgrunnlaget for ørret i Seljordsvatn. Selv om noen større ørreter (1-2 kg) kan gå opp, er den ikke kjent som et gyte- og rekrutteringsområde for storørret. Kivleåi representerer også en lokal elv med et tilnærmet naturlig temperaturregime som kan være interessant å sammenligne med Vallaråi mht. produksjon og vekst av ørret.

Heggenes: Vurdering av effektkjøring og endret vanntemperatur på produksjon og vekst hos ungfish av ørret i Vallaråi



Figur 1. Vallaråi med utløp i Seljordsvatnet, og Sundsbarm kraftverk (■) ca. 1,1 km oppstrøms, som utnytter bunnvann fra hovedmagasinet i Sundsbarmsvatnet, og med den uregulerte sideelva Kivleåi (Modifisert fra <https://temakart.nve.no/tema/vannkraft>).



Figur 2. Kivleåi med lokalt nedbørfelt ned til samløp Vallaråi. Fra <https://nevina.nve.no/>.

2.1. Inngrep og tiltak i Vallaråi

I forbindelse med byggingen av Sundsbarm kraftverk førte kanaliseringen av Vallaråi (1969 – 1970, se Innledning) (Fig. 3) til redusert strukturelt mangfold mht. leveområder for ørret (Heggenes, Bergan & Lydersen 2011; Heggenes *et al.* 2012). Deler av Vallaråi ble også fysisk endret i forbindelse med utbedring og omlegging av E134 i 1985 (se Innledning, Fig. 3).

Før reguleringen av Vallaråi var midlere årsvannføring ca. 16-17 m³s⁻¹, mens årlig regulert middelvannføring er økt til ca. 19-20 m³s⁻¹. Årlig normalvannføring fra restfeltet er 7,7 m³s⁻¹. Flommer er sjeldnere og vannføringen utjevnet over året (Heggenes *et al.* 2012). På vinteren (november-april) er vannføringen normalt 20-30 m³s⁻¹ når kraftverket går, mens i sommerhalvåret kan det forekomme vannføringsvariasjoner mellom 3 og 30 m³s⁻¹ eller mer, avhengig av restvannføring og kjøring av kraftverket (opp til 25 m³s⁻¹ kjørevann). Sundsbarm kraftverk nyttes til effektkjøring. Dette medfører nødvendigvis også betydelige variasjoner i de økologiske forholdene nedstrøms kraftverket (Heggenes, Bergan & Lydersen 2011; Heggenes, Roed & Torp 2018). I tillegg til vannføringen, endrer reguleringen og effektkjøringsregimet også temperaturforholdene i Vallaråi. Vann til kraftverket tappes fra bunnlagene i reguleringsmagasinet Sundsbarmsvatnet på kote 571 (Fig. 1). Vanntemperaturer i elva er derfor ofte lavere enn naturlig gjennom sommeren, noe som kan føre til redusert tilvekst for ørret. Om vinteren er vannet varmere, noe som fører til redusert eller ingen dannelse av overflate-is (for mer detaljer se Heggenes, Roed & Torp 2018).

I 2012/2013 gjennomførte regulanten fire typer fysiske tiltak i den øvre kanaliserte delen av Vallaråi: 1) senkning av grusøyr utenfor avløpstunnelen til kraftstasjonen (anslagsvis 1100 m³ fjernet), 2) senkning av elvekantareal nedstrøms bro til kraftverket med ca. 20 cm, for å unngå stranding av fisk ved effektkjøring, 3) utplassering av store steinblokker i elveløpet langs E134, og 4) spesielt utformede elvebreddskiler for å søke å redusere negative effekter av effektkjøring (Fig. 3) (for mer detaljer se Heggenes, Roed & Torp 2018). Senkningsarbeidene økte tilgangen på vandekket areal, og kilene er gunstig habitat for større rekrutter. Betydningen av utlagte steinblokker er ikke dokumentert.



Figur 3. Den undersøkte elvestrekningen av Vallaråi (med innløp Kivleåi) som viser plassering av alle habitattiltak som ble gjennomført mellom 2012 og 2013. Alle tiltakene ble utført i den øvre kanaliserte delen av elva.

2.2. Vannføring og vanntemperatur i Vallaråi

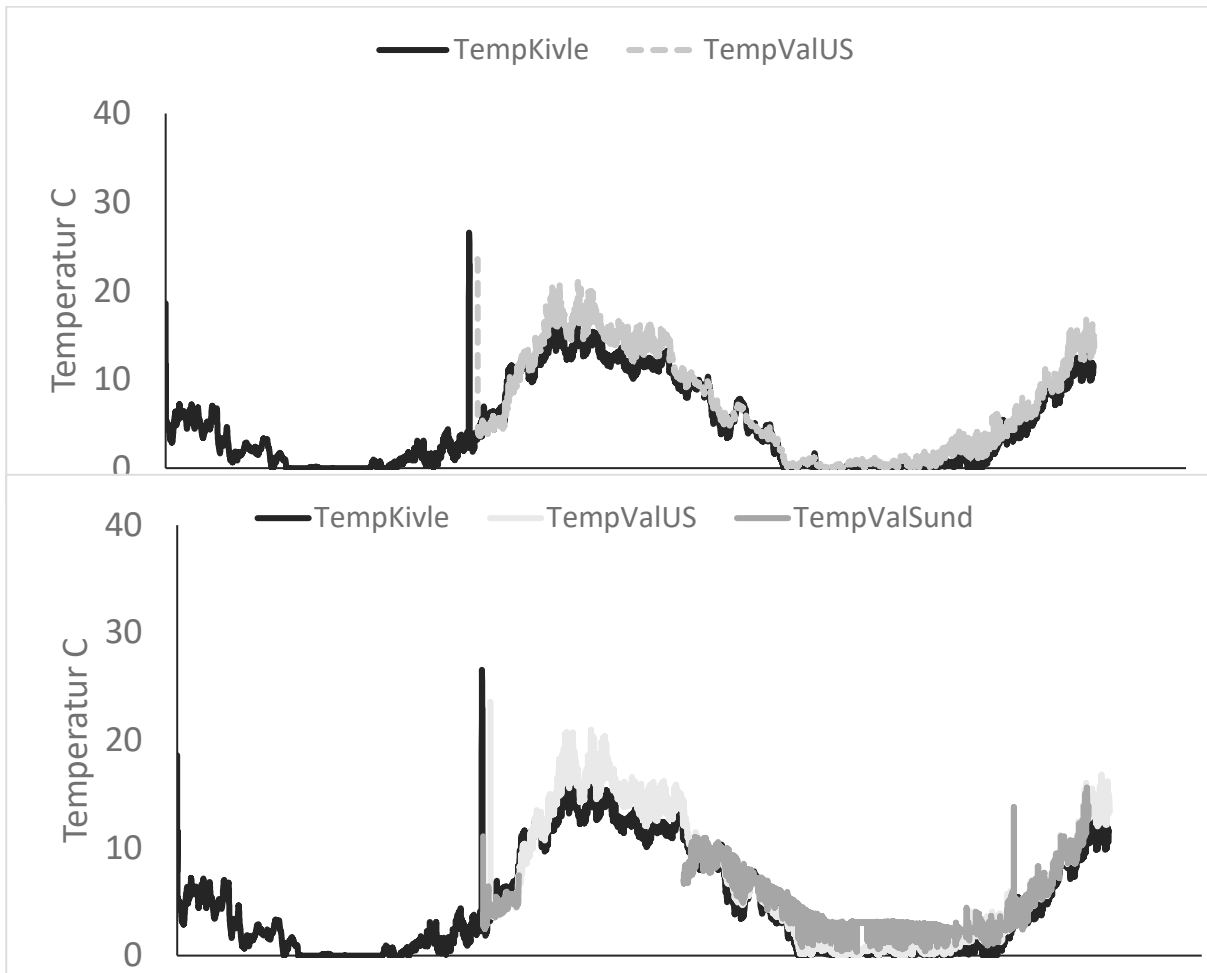
Temperaturmålinger i Vallaråi ble igangsatt i forbindelse med et 3-årig fiskebiologisk prosjekt (Tab. 1; 2010-2011/2016) (Heggenes, Bergan & Lydersen 2011). Temperatur er målt hver time. oppstrøms og nedstrøms Sundsbarm kraftverk, samt ca. 12 km oppstrøms i Flatdalsåni (Rjukanfoss). Høsten 2020 ble det på ny lagt ut temperaturloggere i Vallaråi (Fig. 5) oppstrøms Lakshølfoss for å gi temperaturdata for restvannføring (ValUS), ved Sundsbarm bru for å gi reguleringspåvirkede temperaturer fra nedstrøms undervann kraftverket (ValSund) og i sideelva Kivleåi (type Hobo Water Temp Pro v2 (<http://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u22-001>)).

Tabell 1. Temperaturdata for Vallaråi, timesverdier.

Lokalitet	Dato start måling	Dato sist måling	Kilde
Flatdalsåi (Rjukanfoss)	10.05.2011	23.10.2022	NVE Sildre
Vallaråi ovfr krv (Lakshøl)	04.11.2008	11.08.2016	NVE Sildre
Vallaråi ndfr krv	04.11.2008*	13.10.2011	NVE Sildre
Driftsvann Sundsbarm krv	09.12.2021	30.01.2023	NORCE, Skagerak
Vallaråi ovfr Lakshølfoss	10.05.2021	Nå	USN
Vallaråi ndfr krv (bru)	05.05.2021	Nå	USN
Kivleåi (Vegbru)	16.10.2020	Nå	USN
Vallaråi ndfr kraftverk, manuelle målinger**	01.01.1971	31.12.1980	Sundsbarm kraftverk

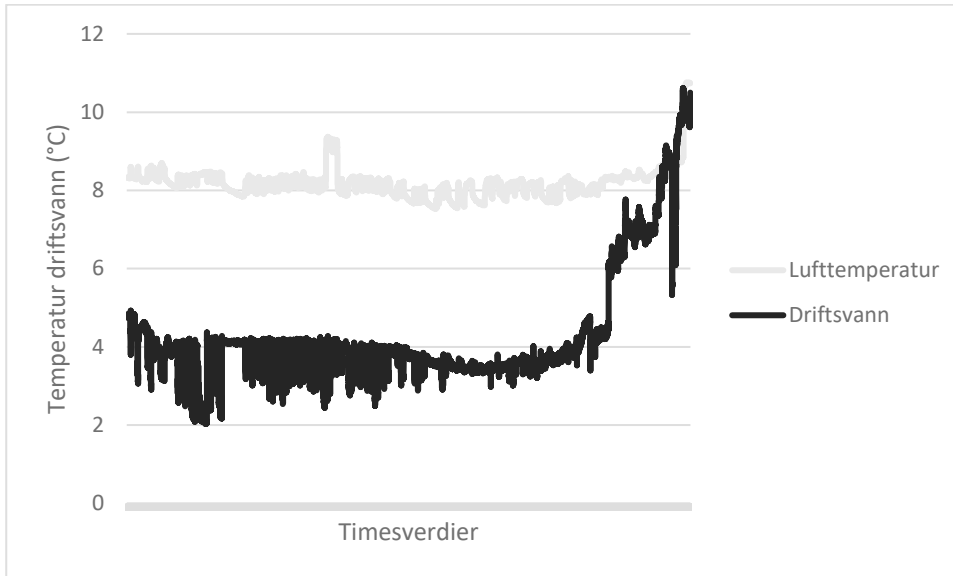
*I tillegg en kort serie januar-april 1985.

**Ikke digitalisert p.t.



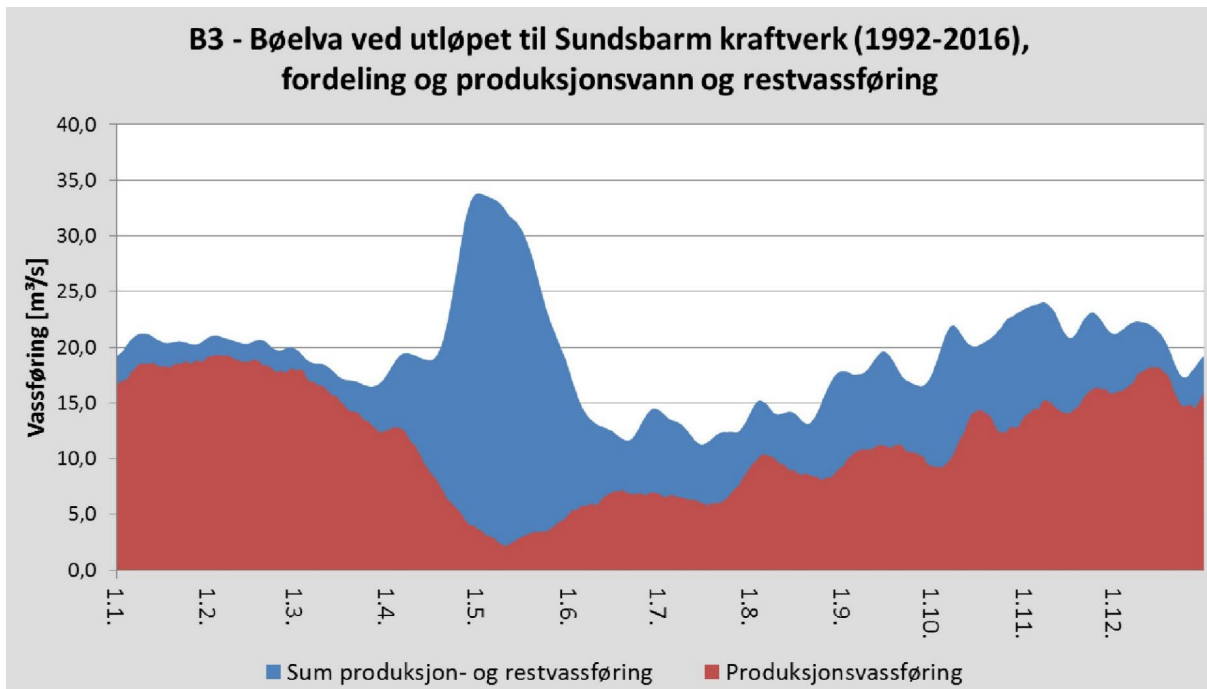
Figur 5. Vanntemperaturer i Kivleåi (16.10.2020-21.06.2022), restvannføring Vallaråi oppstrøms Lakshøl (10.05.2021-21.06.2022), og regulert vannføring nedstrøms Sundsbarm kraftverk (05.05.2021-21.06.2022). Data nedstrøms Sundsbarm kraftverk juni-august 2021 og 2022 mangler, da loggeren ble fjernet av uvedkommende. «Varmetoppene» skyldes at logger ble tatt opp for å laste ned data.

Temperaturforholdene ble sannsynligvis vesentlig endret ved reguleringen som en konsekvens av det endrede vannføringsregimet. Men det finnes dessverre ikke data fra før reguleringen verken for fiskevekst eller vanntemperaturer. Sundsbarm kraftverk tapper vann på ca. 41 m dyp (målt ved HRV) fra Sundsbarmvatnet (kote 571). Temperatursjiktning i Sundsbarmvatn er ikke undersøkt, og dette bør gjøres. Gitt inntaksdyp, er det sannsynlig at vann i all hovedsak tappes fra de kalde bunnlagene under sprangsjiktet i Sundsbarmvatn. Temperaturdata for produksjonsvannet i Sundsbarm kraftverk fra perioden 09.12.2022-30.01.2023 underbygger dette (Fig. 6), men det anbefales mer rettede undersøkelser som dokumenter sprangsjiktning og -dynamikk i Sundsbarmvatnet.

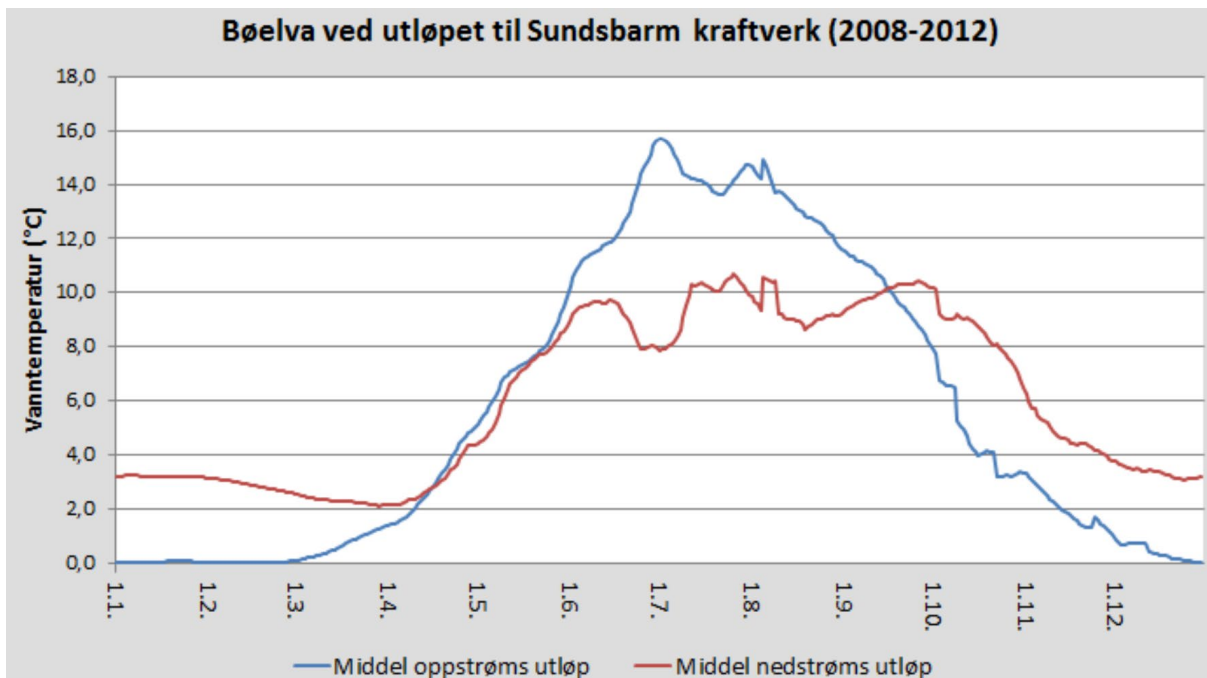


Figur 6. Vanntemperaturer i produksjonsvannet til Sundsbarm kraftverk (09.12.2022-30.01.2023) målt i tunnel undervann.

Vann fra kraftstasjonen til Vallaråi vil derfor være kaldere enn restvannføringen om sommeren i ørretens vekstsesong, men også varmere utover høsten. Temperaturen i Vallaråi nedenfor kraftverket vil være bestemt av tre faktorer: vanntemperatur på produksjonsvannet, vanntemperatur på restvannføringen og vannmengdeforholdet. Basert på vannmengdedata 1992-2016, vil produksjonsvann utgjøre største vannmengde, unntatt i vårfloppen (Fig. 7). Dette gir betydelig kaldere vann i ørretens vekstsesong fra ca. 1 juni til midten av august (Fig. 8) (Skagerak Kraft Guddal 2018).



Figur 7. Andel produksjonsvannføring av den totale vassføringen nedstrøms utløpet til Sundsbarm kraftverk – glattet snitt over 9 dager. Fra Skagerak Kraft Guddal (2018).



Figur 8. Gjennomsnittlig vanntemperatur (døgn) like oppstrøms og like nedstrøms utløp Sundsbarm kraftverk. Fra Skagerak Kraft Guddal (2018).

Det blir nå etablert systematisk og varig innsamling av temperaturdata i Vallaråi. Fra høst 2022 logges vanntemperatur (hver time) ved Sundsbarm bru for å gi reguleringspåvirkede temperaturer fra

nedstrøms undervann kraftverket. Det blir også etablert en loggestasjon oppstrøms Lakshølfoss for å gi temperaturdata for restvannføring, og en stasjon nederst i Vallaråi ved Vallar bru.

3. Vanntemperatur og ørretvekst

For vekselvarme ferskvannsorganismer som har samme temperatur som det omgivende vann, er (sesongvise) variasjoner i vanntemperaturer den mest gjennomgripende miljøfaktoren som bestemmer deres livsbetingelser (f.eks. Hynes 1970; Angilletta, Steury & Sears 2004). Biokjemiske reaksjoner, individuell utvikling og atferd avhenger av vanntemperatur (e.g. Angilletta, Niewiarowski & Navas 2002; Elliott & Elliott 2010; Dell, Pawar & Savage 2011). Vanntemperatur er således den viktigste miljøfaktoren som bestemmer vekst hos ørret (Elliott 1994; Elliott & Hurley 1999; Elliott 2009; Elliott & Elliott 2010), sammen med næring og habitatplass og konkurranse om disse ressursene (Chapman 1966; Bohlin *et al.* 2002; Lobón-Cerviá 2007; Kaspersson & Höjesjö 2009; Lobon-Cervia 2014). I våre elver med typiske temperaturregimer, kan ørretens tilpasningsevne i stor grad avhenge av muligheten til å utnytte gunstige sommertemperaturer til vekst og rekruttering. Når reguleringsinngrep endrer det naturlige temperaturregimet, kan dette være til ulempe eller fordel, avhengig av hvilke endringer som skjer; retning og størrelse på temperaturendringene, hvor hyppige, og når på året. Slike endringer kan også modifiseres via endrede manøvreringsregimer (Heggenes *et al.* 2021).

3.1. Vanntemperatur bestemmer ørretens vekst

Ørret vokser best ved 13-17°C. Temperaturavhengig vekst vil være mest utpreget i ørretens tidlige liv og særlig første leveår (0+, ev. 1+) (Tab. 2, se også Fig. 9). Dette er også den årsklassen som lettest og sikrest kan skiller ut i feltdata vha. lengde-frekvens kurver. Her skiller 0+ seg ut ved lengder på 4-7 cm, og overlapper sjelden med eldre ungfisk. Noen viktige faktorer kan modifisere grenseverdiene i Tab. 2. For det første vil de optimale vekst temperaturene ofte avta med avtagende energi/næringsinntak (Elliott & Elliott 2010), dvs. i kaldere vann kan veksten være bedre enn modellen viser. For det andre kan det være populasjonsforskjeller. Nordlige populasjoner kan vokse bedre og ved lavere temperaturer enn forventet (Jensen, Forseth & Johnsen 2000). Nordlige populasjoner har en tendens til å vokse seg til større fettreserver om sommeren for å møte en lengre vinter hvor de sparer mer på fettreservene (Finstad *et al.* 2010; Berg *et al.* 2011; Shuter *et al.* 2012). Nordlige populasjoner kan også vise mer aktivt næringssøk når fettreservene går ned (Finstad *et al.* 2010). Det kan være betydelig individuell variasjon omkring disse verdiene. For eksempel fant Huusko *et al.* (2011) at det ikke var noen gjennomsnittlig vekst ved lave vintertemperaturer, men noen individer krympet og noen vokste (jfr. Tab. 2 nedre grense for vekst på 2 °C). Dette kan være en følge av større sult (Finstad *et al.* 2010) og/eller ulikt aggressive ('bold-shy') individer (Adriaenssens & Johnsson 2011; Kortet *et al.* 2014; Näslund & Johnsson 2016). Variasjon i temperaturltilpassing tilskrives i stor grad fenotypisk plastisitet. Selv om det er dokumentert populasjonsforskjeller hos ørret og laks i hvor godt de er tilpasset varmt-kaldt vann (Forseth *et al.* 2009; Anttila *et al.* 2013; Hartman & Porto 2014), er det så langt lite som indikerer lokal temperatur adaptasjon (Forseth *et al.* 2009; Skoglund *et al.* 2011; Finstad & Jonsson 2012; Meier *et al.* 2014), noe de nokså generelle tallene i Tab. 2 nettopp viser. Det er noen indikasjoner på at ørret kan vise noe lokal adaptasjon særlig i kaldere elver (Jensen, Forseth & Johnsen

2000; Nicola & Almodovar 2004; Alvarez, Cano & Nicieza 2006; Jensen *et al.* 2008). Men temperaturgrensene i Tab. 2 synes være ganske like over vide geografiske områder, noe som antyder at lokale/regionale temperaturløsninger er beskjedne, kanskje fordi vekst er en grunnleggende og komplisert enzymstyrt prosess (Ojanguren & Brana 2003; Elliott & Elliott 2010; Heggenes *et al.* 2021). Verdiene i Tabell 2 er i stor grad basert på laboratorieundersøkelser med maksimum rasjoner, dvs. ørreten er foret *ad libitum*. Det antas at optimums temperaturene vil tendere til å være lavere i naturen med redusert næringstilgang (Elliott & Elliott 2010).

Tabell 2. Temperatur toleranser (°C) for overlevelse og vekst hos ørret. (Etter Elliott & Elliott 2010).

LIVS STADIUM	OVER- LEVELSE		VEKST			
	Nedre	Øvre	Nedre	Øvre	Optimum	Max. effektivitet
<i>EGG</i>	0	13				
<i>YNGEL</i>						
Langtids*	0-1	20-22				
Korttids**	0	22-24				
<i>ELDRE</i>						
Stress	0-0.7	22-25				
Død	-0.8	26-30				
Næringsopptak	0.4-4	19-26				
<i>Evertebrater</i>			2.9-3.6	18.2-19.5	13.1-14.1	8.9
<i>Fisk</i>			c. 2.0	c. 19.5	16.6-17.4	9.3
<i>Pellets</i>			1.2-6.1	19.4-26.8	11.6-19.1	

*Incipient Lethal Temperature (ILT): toleranse for lengre tid (vanligvis 7 dager). **Ultimate Lethal Temperature (ULT): toleranse for en kort tid (vanligvis 10 min.).

3.2. Vekst-temperatur modeller

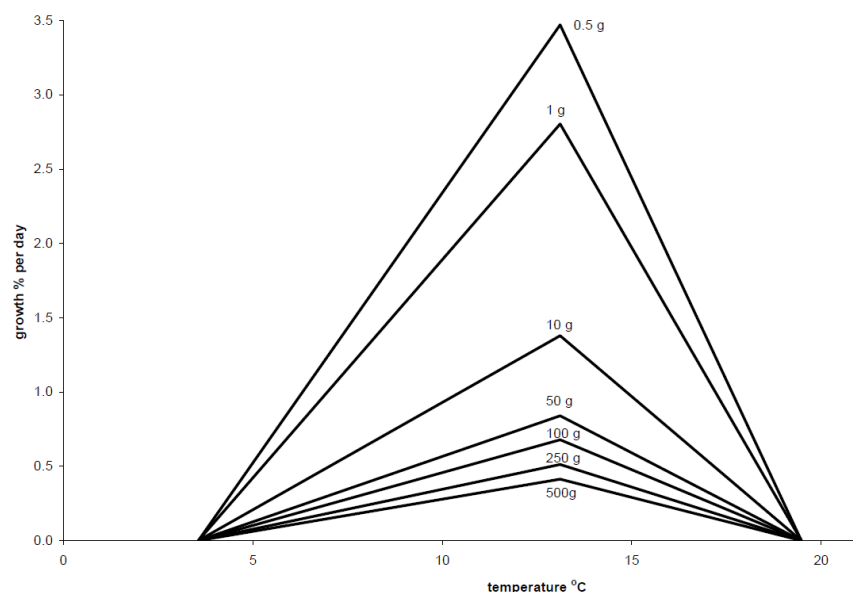
Vekst og temperaturdata kobles i en vekstmodell for ørret. Vekstmodeller utviklet fra data samlet under gunstige miljøforhold i klekkeri/laboratorium, viser godt samsvar med empiriske vekstdata fra naturlige elver (se under). Dette viser viktighetene av temperatur og ørretens start-størrelse for vekst, med særlig temperaturbestemt vekst for ørretungene (Fig. 9) (Elliott 2009; Elliott & Elliott 2010). Vekstmodellen er:

$$W_t = [W_0^b + bc(T - T_{LIM})t / \{100(T_m - T_{LIM})\}]^{1/b}$$

Hvor W_0 er start fiske biomasse,
 W_t er slutt fisk biomasse etter t dager ved T °C, og
 $T_{LIM} = T_L$ hvis $T \leq T_M$ eller $T_{LIM} = T_U$ hvis $T > T_M$.

Temperatur for optimum vekst er T_M (se Tabell 2), og T_L og T_U er nedre og øvre temperatur hvor veksten er null, masse eksponenten b er power transformering av den massen som gir lineær vekst med tid, c er vekstraten for en 1 g ørret ved optimum temperatur intervall 3.8 – 21.7 °C, og kan estimeres som $b = 0.308$, $c = 2.803$, $T_M = 13.11$, $T_L = 3.56$ and $T_U = 19.48$ (Fig. 6) (Elliott, Hurley & Fryer 1995; Elliott 2009; Elliott & Elliott 2010). Tilsvarende vekstmodeller er utviklet for laksunger (Elliott & Hurley 1997; Forseth *et al.* 2001; Jonsson *et al.* 2001; Sanchez-Hernandez *et al.* 2016). Merk at tidsoppløsningen i modellen er døgn, at modellen forutsetter konstant samme temperatur over døgn, og at vekstdata er samlet inn i beste vekstperiode om sommeren (tidsperiode ikke oppgitt i Elliott, Hurley and Fryer (1995)), og for naturlig sommer fotoperiode (Lake Windermere; N 54° 21.5'). Merk derfor også at modellen ikke tar i betraktning grad av eventuell kompensatorisk vekst dersom temperatur og/eller næringstilgang begrenses for en periode, eller eventuelle sesongmessige variasjoner i fødemotivasjon.

Vekstmodellen synes være robust mht. antatte grunnleggende vekst temperaturer (Chezik, Lester & Venturelli 2014) og empirisk vekst i en rekke undersøkte ørret populasjoner over et vidt geografisk område, er innenfor vekst predikert med modellen (Jensen, Forseth & Johnsen 2000; Elliott 2009; Forseth *et al.* 2009). Men modellen underestimerer vekst i de kaldeste elvene mot nord og høyere over havet (Jensen, Forseth & Johnsen 2000; Nicola & Almodovar 2004; Parra *et al.* 2009). Modellen har også blitt flittig brukt i sammenlignende studier, f.eks. for å kontrollere for mulig betydning av andre miljøfaktorer enn temperatur (Nicola & Almodovar 2004), f.eks. næringstilgang (Jensen 1990; Vøllestad, Olsen & Forseth 2002; Sanchez-Hernandez *et al.* 2016) og/eller konkurranse/tetthets effekter (Lobon-Cervia 2000; Nicola & Almodovar 2004; Almodovar, Nicola & Elvira 2006; Kaspersson & Höjesjö 2009; Lobon-Cervia 2014).



Figur 9. Forhold mellom temperatur og predikert vekst (in prosent av kroppsvekst per dag) for ørret av ulike størrelser (vekt i g) foret på maksimum rasjoner. (Fra Solomon & Lightfoot 2008).

4. Fiskebiologiske vurderinger av produksjon og vekst hos ungfisk i Vallaråi

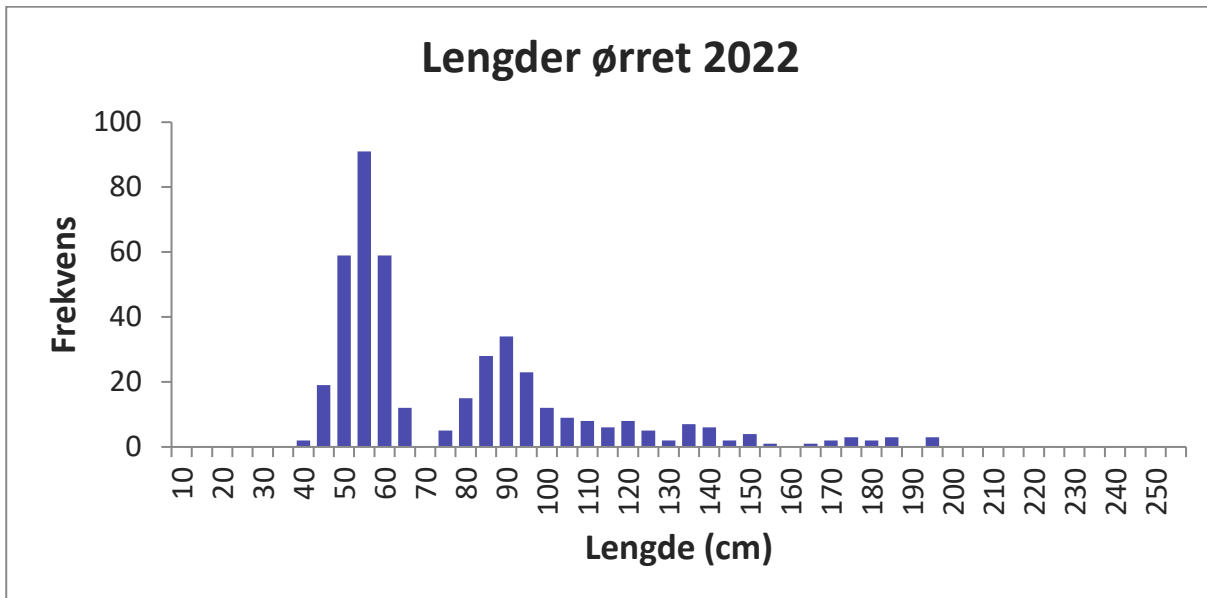
4.1. Vekst ovenfor og nedenfor Sundsbarm kraftverksutløp

4.1.1. Sammendrag

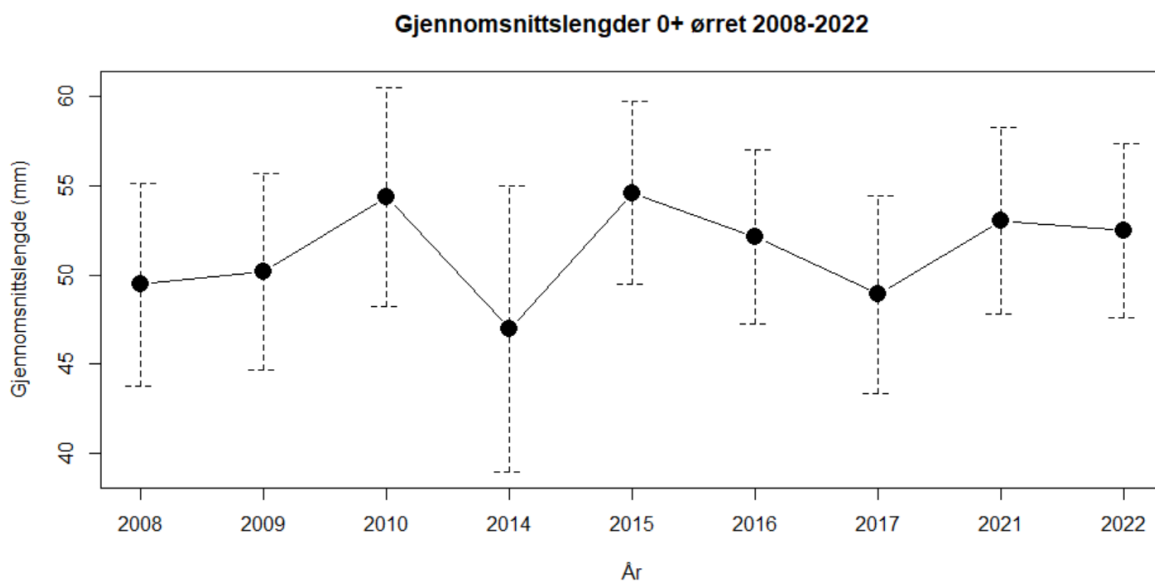
Vekst hos ørret er primært bestemt av vanntemperatur, og med kjente temperaturdata kan ørretvekst modelleres ganske presist. Reguleringen i Vallaråi har endret vannførings- og temperaturregimet. Innsamling av temperaturdata bør fortsette. Temperatursjiktning i Sundsbarmvatn som bestemmer temperatur på produksjonsvann, bør undersøkes. Det foreligger omfattende data for ørretens vekst nedstrøms Sundsbarm kraftverk. Imidlertid finnes ikke systematiske data å sammenligne med for ørret på restvannføringsstrekningen oppstrøms Lakshølfoss. Pilotundersøkelser har vist at det her er en betydelig bestand av ørret. Det anbefales derfor at data for ørretens tetthet og vekst samles inn fra minst tre stasjoner på oppstrøms restvannføringsstrekning, til samme tid og etter samme design som på stasjonene nedstrøms Sundsbarm kraftverk.

4.1.2. Ørretens vekst og ulike vanntemperaturer i Vallaråi

I Vallaråi er det samlet data på størrelsessammensetning for ørret på c. 7 stasjoner fordelt på strekningen nedstrøms kraftverksutløp til nedstrøms bru over til Seljord sentrum over flere år (Fig. 4, 5) (Heggenes, Bergan & Lydersen 2011; Roed & Torp 2017; Heggenes 2023). Det er derfor betydelige vekstdata for særlig 0+ ørret (Fig. 10, 11) på regulert vannføring nedstrøms Sundsbarm kraftverk. Det var ingen åpenbar sammenheng mellom sommersesong lufttemperatur (nærmeste værstasjon med data: Gvarv-Nes) og ørretens vekst. Sammenlignet med andre elver i regionen er 0+ vekst i Vallaråi gjennomgående moderat (Heggenes 2023), men mellom-elv sammenligninger er usikre ettersom det bringer inn ulike forhold i ulike elver. Dessverre kan det ikke gjøres noen direkte før-etter sammenligninger innen Vallaråi. Derimot kan vekst og tetthet sammenlignes oppstrøms og nedstrøms kraftverket. Dessverre finnes det per i dag ikke data på ørretens vekst på oppstrøms restvannføring for sammenligning.



Figur 10. Lengdefordelingen for fanget ørret ved elektrofiske på alle stasjoner i Vallaråi høsten 2022 er typisk, og viser årsklassefordeling. Den skiller en 0+ gruppe på 4-7 cm fra eldre fisk, mens eldre årsklasser overlapper i lengde.



Figur 11. Gjennomsnittslengder (mm) for fanget 0+ ørret i Vallaråi 2008-2010, 2015-2017 og 2021-2022. Error bars viser SD. Samplingen i 2014 var ufullstendig, og derfor ikke direkte sammenlignbar.

4.1.3. Manglende fiskedata på oppstrøms strekning med restvannvøring

Det finnes ikke fiskebiologiske data fra undersøkelser før regulering. Men ved å koble vekstdata for ørret med temperaturdata i Vallaråi, og sammenligne oppstrøms og nedstrøms undervann fra

Sundsbar kraftverk, kan vi få et mål på eventuelle konsekvenser av reguleringsinngrep og endret temperaturregime for biologisk produksjon i form av ørretens vekst i Vallaråi.

Dessverre finnes det ikke systematisk innsamlede fiskedata fra oppstrøms Lakshøl, dvs. strekningen i Vallaråi med restvannføring. Det ble gjort en pilot undersøkelse med elektrofiske i 2008 i forbindelse med en studentoppgave ved USN (se forsidebilde). Kvaliteten på disse data er heller ikke tilstrekkelig til at de kan nyttes her. Imidlertid viste undersøkelsen betydelig forekomst av ørret også på restvannføringsstrekningen. Data for ørret vekst og tetthet på restvannføringsstrekningen oppstrøms Sundsbarm, må derfor innhentes vha. systematisk elektrofiske etter samme design som er brukt for undersøkelsene nedstrøms (Heggenes 2023). Strekningen bør være representert med minst tre stasjoner med ulike substrat/gradient og fortrinnsvis mest mulig like noen av de etablerte elektrofiskestasjonene nedstrøms (pseudo-replikater).

4.2. Evaluere effekt av variasjon i vanntemperatur på årlig vekst av ørret ved dagens driftsmønster

4.2.1. Sammendrag

En vekstmodell for ørret kan med rimelig presisjon brukes for å beregne forventet vekst for et kjent temperaturregime. I Vallaråi forskyver reguleringen vekstsesongen mot høsten (kaldere vann på sommeren og varmere vann på høsten). Effektkjøring endrer i tillegg temperatur på døgnbasis. På sesongbasis antar modellen full kompensatorisk vekst, men dette er lite undersøkt. Det er derfor usikkert om redusert vekst tidlig i sesongen i Vallaråi blir full kompensert med vekst sent i sesongen. Ørretens fødemotivasjon er lavere senere i sesongen, noe som kan indikere kun delvis kompensatorisk vekst. Vekstmodellen har en minste tidsoppløsning på et døgn, med konstant temperatur. Vi har lite og til dels motstridende kunnskap om hvordan (døgnbaserte) temperaturvariasjoner påvirker ørretens vekst. Det er her behov for en større forskningsinnsats.

4.2.2. Bakgrunn

Vekstmodellen for ørret formidler de to viktigste faktorene som bestemmer ørretens vekst: temperatur og ørretens start-størrelse. Når effekt av variasjon i vanntemperatur i Vallaråi skal evalueres mht. ørretens vekst, er det først viktig å utdype noen viktige hensyn som ikke er innarbeidet i vekstmodellen (over). Modellen uttrykker en observert og tilnærmet lineær sammenheng mellom temperatur og vekst gjennom vekstsesongen under gunstige, kontrollerte forhold og på døgnbasis. Vekstmodellen har vist til dels godt samsvar med empiriske studier, noe som styrker modellens relevans, men det er også avvik som regel med mindre vekst enn modellen tilsier (se over) (Jensen

1990; Lobón-Cervía 2007; Elliott 2015; Sanchez-Hernandez *et al.* 2016). Avvik kan tilskrives først og fremst begrenset næringstilgang (Elliott 2009), og også habitat og konkurranse, faktorer som vanskelig lar seg innarbeide. Men modellen tar heller ikke nødvendigvis hensyn til når og hvordan temperatur og vekst kan endre seg, ofte i en kombinasjon med fotoperiode. Dette blir spesielt viktig i regulerte elver av særskilt to grunner; temperaturregimet forskyves ofte i tid mot senere i vekstsesongen, og temperaturfluktuasjoner kan bli mer utpreget og over kortere tid enn døgn. Lengre fotoperiode stimulerer også vekst hos fisk (Saunders, Henderson & Harmon 1985; Jensen 1990; Solbakken, Hansen & Stefansson 1994; Boeuf & Le Bail 1999), noe som utnyttes i akvakultur.

4.2.3. Kompensatorisk vekst

Vekstmodellen tar ikke hensyn til at grad av *kompensatorisk vekst* kan være varierende. Hvis næringsopptak og vekst over sommeren blir redusert/hindret av en eller annen grunn, for eksempel pga. begrenset habitat ved lavvannføringer/tørke om sommeren, kan ørret vise kompenserende vekst (Elliott 2009; Elliott 2015). Det knytter seg imidlertid usikkerhet til under hvilke forutsetninger og forhold (f.eks. tidsrom, sesong, fiskestørrelse, fysiologisk status) og i hvilken tid, varighet og grad kompensatorisk vekst kan skje. Litteraturen (ørret og laks) er begrenset og lite entydig, og regulering av vekst og energireserver synes dynamisk og avhengig av årsakene til redusert vekst (lav temperatur, næringsmangel) og fysiologisk status til fisken (Nicieza & Metcalfe 1997; Metcalfe, Bull & Mangel 2002). Tapte vekst kan bli helt eller bare delvis kompensert (Nicieza & Metcalfe 1997; Metcalfe, Bull & Mangel 2002; Elliott 2009; Elliott 2015), eller til og med overkompensert ved tilsynelatende raskere kompensatorisk vekst enn modellen (maksimalt) tilsier (Nicieza & Metcalfe 1997). Kompensatorisk vekst synes i hovedsak å skje ved økt næringsinntak, men kan også skje ved forlengede aktivitetsperioder. Igjen synes temperatur og sesong å være viktige faktorer, med redusert kompensatorisk vekst ved lavere temperaturer og utenfor (beste?) vekstsesong. Dette må i reguleringsammenheng vurderes særlig i forhold til vårkalde og høstvarme regulerte elver. Vi vet lite om vekst her er fullt kompenserende eller ikke. Modellsimuleringer antar fullt ut kompenserende vekst. Dette kan overestimere vekst i regulerte elver med forskjøvet temperaturregime. For Vallaråi kan nåværende generelle kunnskap derfor indikere at redusert vekst ved lavere temperaturer tidlig i vekstsesongen pga. tapping av kaldt hypolimnisk vann fra Sundsbarmvatnet, ikke vil bli fullt ut kompensert ved en forlenget ettersesong med forhøyede, men fremdeles relativt lave vanntemperaturer utover høsten. Men ettersom vi ikke vet dette sikkert, vil det være vel verdt å undersøke, også på mer generell basis for regulerte elver. Eventuell forhøyet temperatur i regulerte vassdrag ekstra tidlig på våren pga. tapping av varmere bunnvann vil ha liten eller ingen effekt, ettersom den uansett ligger under nedre temperaturgrense for vekst (Tab. 2).

4.2.4. Sesongvis fødemotivasjon

Sesongvis fødemotivasjon hos ørret og laks synes å variere på et overordnet nivå, men igjen modifisert av fysiologisk status. Dette er ikke innarbeidet i vekstmodellen. Under naturlige forhold

viser fødemotivasjon en sesongvis variasjon, knyttet til fotoperiode og temperatur (Smith *et al.* 1993; Simpson *et al.* 1996), men uavhengig av næringstilgang og konkurranse (Metcalf, Huntingford & Thorpe 1986). Appetitt og næringsopptak er høyest tidlig i vekstsesongen, med avtagende motivasjon utover i vekstsesongen mot de lavere temperaturer om vinteren, for så å øke raskt igjen mot en ny vekstsesong (fri mattilgang, mest undersøkt på laks). Denne sesongvise variasjonen i appetitt er også vist for laksunger fritt foret i sjø-mærer, hvor appetitten synes å være nærmere knyttet til fotoperiode enn vanntemperatur (Smith *et al.* 1993). Gitt samme temperatur, vil vi derfor forvente mindre vekst hos ørret om høsten sammenlignet med om våren, noe som også er funnet i flere empiriske studier, f.eks. Jensen (1990) i en undersøkelse av ørretunger i norske elver. Dette er relevant når ørretens vekst under det modifiserte temperaturregimet i Vallaråi evalueres (se 3.4). Igjen indikerer nåværende generelle kunnskap at ved lavere fødemotivasjon ved kortere fotoperiode og lavere temperaturer mot høsten og vinteren, vil ørretens vekst være redusert, selv om for eksempel Vallaråi har en forlenget ettersesong for vekst med forhøyede vanntemperaturer utover høsten. Men ettersom vi ikke vet dette sikkert, vil det være vel verdt å undersøke, f.eks. i kontrollerte 'common garden' forsøk (i klekkeri) med lokal ørret under ulike temperaturregimer og sesonger. I kommersielt lakseoppdrett brukes kunstig forlenget fotoperiode til å øke laksungenes førdemotivasjon og vekst over vinteren, noe som også synes medføre en faseforskyvning av en iboende sesongvariasjon i vekst (f.eks. Oppedal *et al.* 1999; Ytrestøyl *et al.* 2022).

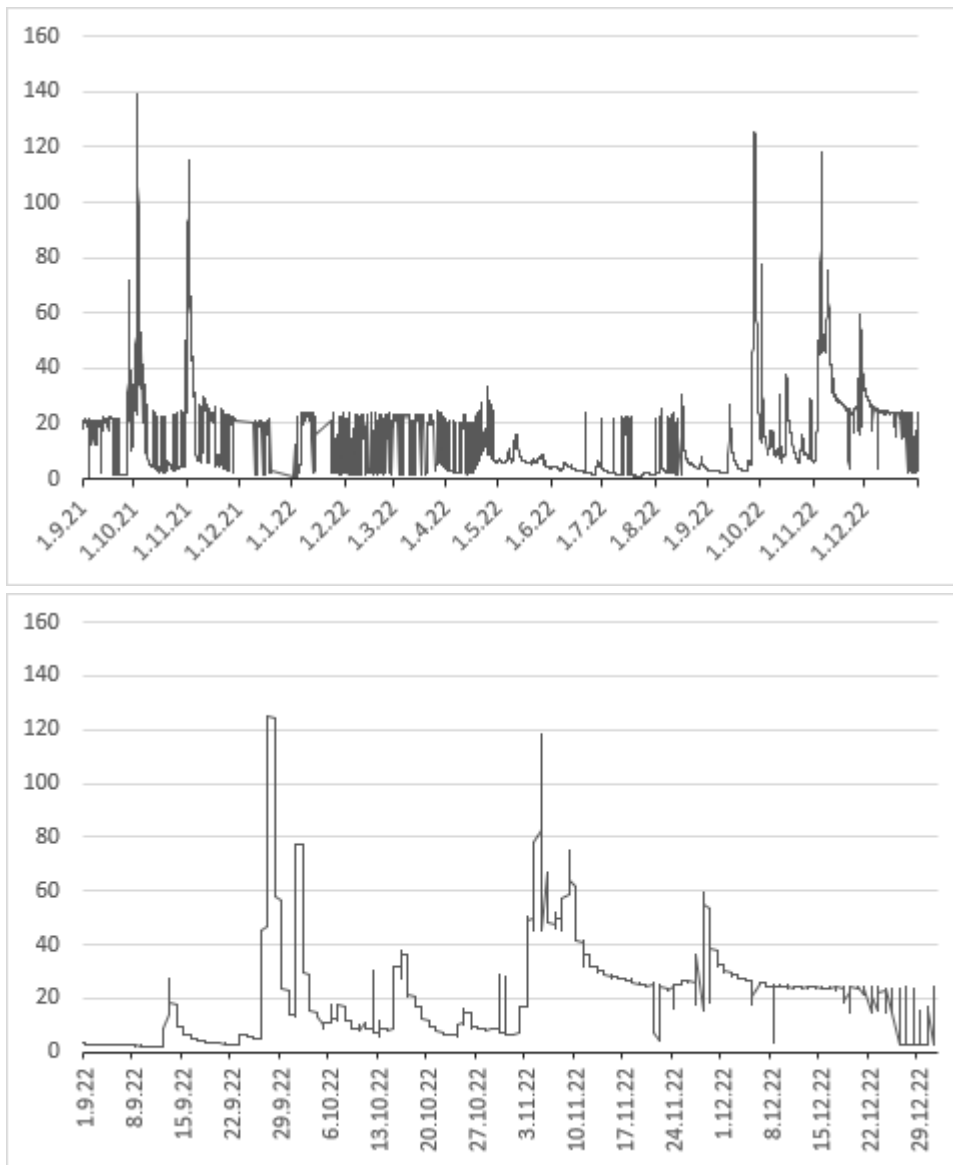
Fødemotivasjon kan som forventet, også endre seg avhengig av fettreserver og energibehov, med større fødemotivasjon når energibehovet er større og når fettreservene er lave over vinteren og om våren (Johnsson *et al.* 1996; Simpson *et al.* 1996; Metcalfe, Fraser & Burns 1999b; Valdimarsson & Metcalfe 1999; Finstad *et al.* 2010), noe som derfor sannsynligvis vil være mest utpreget i kalde elver. Fødemotivasjon reduseres ved større predasjonsrisiko, lavere temperaturer og mindre lys (Metcalf, Huntingford & Thorpe 1987; Valdimarsson *et al.* 1997; Valdimarsson & Metcalfe 2001).

I tillegg til den sesongvise variasjonen i fødemotivasjon, kan det også være en døgnvis variasjon, ofte med størst næringsopptak ved skumring morgenen/kveld, da mengde driv kan være størst (f.eks. Kreivi *et al.* 1999; Mambrini *et al.* 2004). Men dette synes svært dynamisk og kan bli moderert av mange faktorer (Smith *et al.* 1993; Alanära, Burns & Metcalfe 2001). Ørreten er opportunistisk og tilpasser seg næringstilbudet. Effektkjøring i Vallaråi er sannsynligvis bestemmende for mengde næringsdriv, og dermed driv og næringstilbud/-opptak hos ørret (Lagarrigue *et al.* 2002; Railsback *et al.* 2005; Rocaspana *et al.* 2016).

4.2.5. Døgnvariasjon/amplituder i temperatur

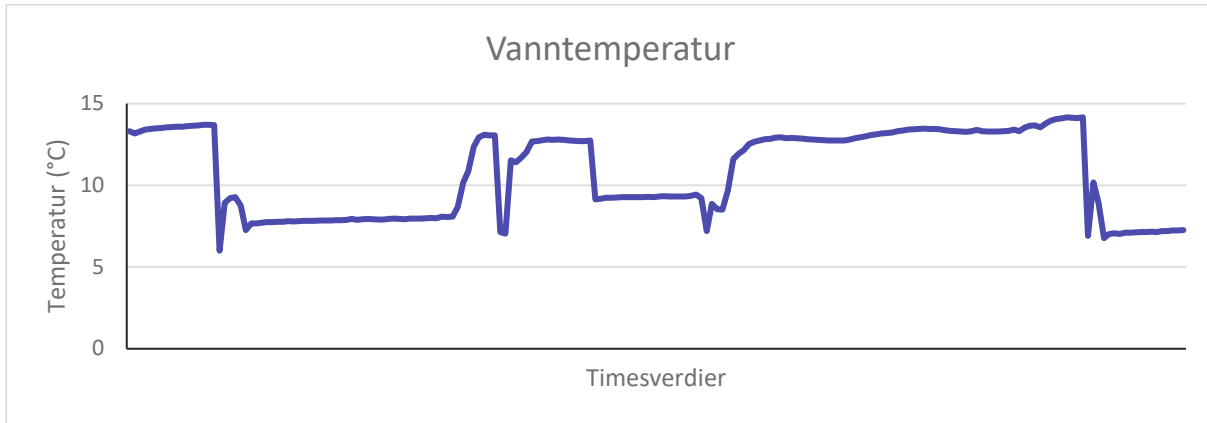
Ettersom vekstmodellen for ørret har en tidsoppløsning på døgn og er basert på konstant temperatur, tar den ikke hensyn til *døgnvariasjoner/amplituder i temperatur*. Dagens driftsmønster med effektkjøring av Sundsbarm kraftverk, kan typisk innebære sterke, unaturlige og (økologisk)

uforutsigelige døgn-variasjoner i vannføringer og dermed også temperaturer i Vallaråi nedstrøms kraftverket (Fig. 12).



Figur 12. Vannføringer (m^3/s) i Vallaråi 2021-2022 (Kilde: Skagerak Kraft).

Variasjoner i vannføring medfører brå endringer i vanntemperaturer (innenfor mindre enn timesverdier som er vist i Fig. 12) og med betydelige amplituder, for eksempel 5-6 °C i juli-august 2010 (Fig. 13).



Figur 13. Variasjoner i vanntemperatur avhengig av vannføringer i Vallaråi, timesverdier juli-august 2010 (Kilde: Skagerak Kraft).

Oppstrøms kraftverket har til dels reduserte restvannføringer særlig om sommeren sannsynligvis gitt mer, men fremdeles naturlig styrt døgnvariasjon i temperaturer (Fig. 5), noe laksefisk i hovedsak tilpasser seg ernærings- og atferdsmessig (Spigarelli *et al.* 1983; Jensen 1990; Metcalfe, Fraser & Burns 1999a; Railsback *et al.* 2005).

Det er derimot lite undersøkt hvilken effekt slike døgnvariasjoner i seg selv kan ha på ørretens vekst. Det kan se ut som døgnbaserte temperaturfluktuasjoner øker ørretens appetitt og vekst sammenlignet med konstante temperaturer og/eller 'naturlig' temperaturvariasjon over døgnet. Klekkeriekspirer med ørret (Spigarelli, Thommes & Prepejchal 1982) fant økt næringsinntak og bedre vekst for ørret under varierende døgntemperaturer (gjennomsnitt 12,5 °C, amplitude $\pm 4,6$ °C, variasjonsområde 9-18 °C), sammenlignet med konstant temperatur og vekstmodell (ved 13 °C) og 'naturlig' temperaturregime i nærliggende innsjø. Lignende resultater er vist for regnbue ørret (Hokanson, Kleiner & Thorslund 1977) når daglig fluktuerende middeltemperatur (12-22 °C, amplitude $\pm 3,8$ °C) var lavere enn vekstmodellens konstante optimum. Veksten var derimot redusert ved høyere temperaturer, noe som indikerte at regnbueørretens vekst ikke akklimatiserte til døgnmiddeltemperatur, men heller til et sted mellom døgnmiddel og maksimumstemperatur. Eventuelt vekst-tap ved høye, fluktuerende temperaturer synes mindre aktuelt i Vallaråi. Men resultater er ikke entydige. Basert på kontrollerte klekkeri-eksperimenter konkluderte Flodmark, Vollestad and Forseth (2004) med redusert vekst hos ørretunger utsatt for daglig fluktuerende temperaturer (10 – 14 °C) sammenlignet med konstant temperatur (14 °C). Dette var imidlertid ikke helt entydig, resultatene antydte også at temperatur/variasjon hadde liten eller ingen effekt. Temperatur var koblet med vannstandsfluktuasjoner i en litt komplisert faktoriell design, og synes ikke her vise noen effekt av temperaturfluktuasjoner *per se* på ørretens vekst.

De ulike undersøkelsene over har sammenlignet vekst ved en konstant temperatur lik middeltemperatur for fluktuerende temperaturer. Det er ikke gitt at middeltemperatur er mest relevant; Jensen (1990) fant at 75 % - temperatur var en bedre prediktor for vekst. Det synes videre rimelig å anta at både nivået på middeltemperatur - under eller over optimum (Hokanson, Kleiner &

Thorslund 1977), og amplitude og frekvens på fluktasjoner vil kunne påvirke veksten (Jobling 1996). Her ligger et betydelig kunnskapsbehov mht. betydning av vanntemperaturendringer i regulerte elver. For Vallaråi synes det derfor ennå ikke mulig å evaluere betydningen av slike døgnbaserte temperaturvariasjoner.

Ved lave temperaturer om vinteren har ørreten liten eller ingen vekst (Elliott & Elliott 2010). Vinteren er primært en tid for å overleve (Huusko *et al.* 2007; Heggenes *et al.* 2017b). Økte vintervanntemperaturer pga. kraftproduksjon om vinteren i Vallaråi, ligger på 2-3 °C og under det som ev. kunne gi grunn til å anta eventuelt endret vinteratferd eller bidratt til vesentlig vekst om vinteren (Tab. 2) (Heggenes *et al.* 1993; Valdimarsson *et al.* 1997; Heggenes *et al.* 2021). Om det skulle være en effekt med litt lavere veksttemperaturer for mer nordlige populasjoner (adaptasjon), vil en slik vekst-effekt ved kaldt vann tidlig på våren uansett være beskjeden.

4.3. Vurdere om det er produksjonsbegrensning av ørret i Vallaråi nedstrøms kraftverket

4.3.1. Sammendrag

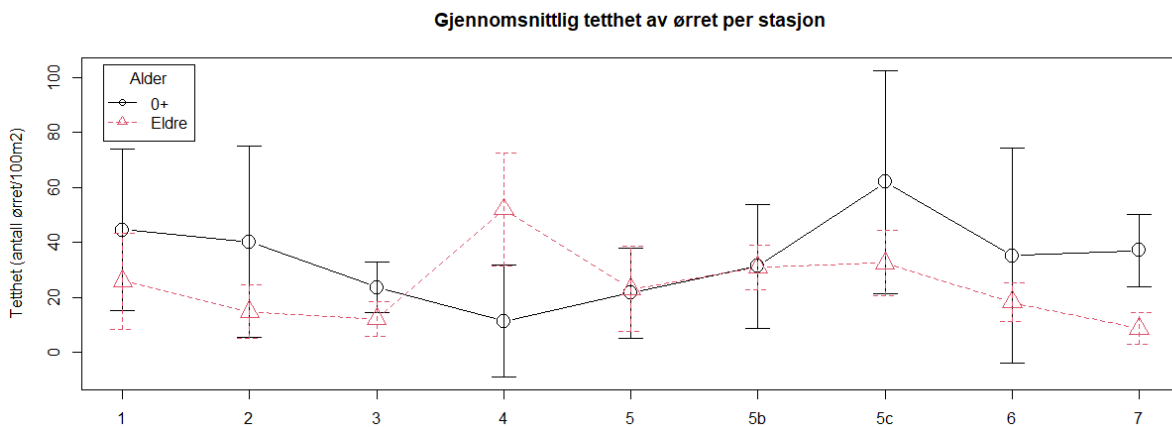
Sammenlignet med andre elver i regionen, er det 'moderat' tetthet og vekst for ørret i Vallaråi. Fordeling av gyteplasser med hovedgytefelt øverst på elvestrekningen, synes ikke være en begrensende faktor, ut ifra dokumentert fordeling og tettheter av 0+. Kaldere vann i ørretens vekstsesong medfører sannsynligvis redusert vekst, særlig for 0+. Økt dødelighet pga. stranding er mulig, men bratte elvekanter gjør vesentlige deler av Vallaråi mindre utsatt. Sammenheng vannføring-vanndekket areal bør undersøkes. Forsøk med bygging av elvebreddskiler som er mer robuste mot stranding og skaper gunstig habitat for større ørret rekrutter, har gitt lokalt betydelig større tettheter av eldre rekrutter. Det indikerer at produksjon av større rekrutter kan økes ved habitattiltak. Omfanget på utvandring av ørretrekrutter til Seljordvatn (smoltfeller) er ikke undersøkt, og anbefales gjort.

4.3.2. Bakgrunn

Produksjonen av ørret i en elv, i form av antall og vekst, vil alltid være begrenset av rammebetingelser i form av et ofte komplisert samspill mellom biotiske faktorer, i hovedsak næringstilgang og konkurranse (næring, plass/habitat) og eventuelt predasjon, og abiotiske faktorer, i hovedsak gytearealer (mengde, fordeling), temperatur (vekst) og habitat/vanndekket areal (f.eks. Milner *et al.* 2003; Lobon-Cervia 2014; Elliott 2015). Dette resulterer i populasjonsbegrensende tetthetsavhengig og tetthetsuavhengig dødelighet, avhengig av de lokale forhold. Slike sammenhenger mellom ytre forhold og biologisk produksjon er sjelden enkle, og kan variere over tid. Under relativt gunstige og stabile ytre miljøforhold, vil tetthetsavhengig populasjonsregulering være mer fremtredende, mens

ytre miljøfaktorer i større grad vil gi tetthetsuavhengig regulering under mindre gunstige og ustabile miljøforhold, f.eks. variasjon i vannføringer og kaldere temperaturregimer (f.eks. Nicola & Almodovar 2004; Parra *et al.* 2009; Elliott 2015), mer som i Vallaråi.

Tettheter og vekst til ørret i Vallaråi er undersøkt over flere år (Fig. 11, 14) (Heggenes, Bergan & Lydersen 2011; Roed & Torp 2017; Guggedal 2022; Heggenes 2023).



Figur 14. Estimert gjennomsnittlig tetthet (antall individer/100 m²) av fanget ørret per stasjon fra ti sesonger (2008–2010, 2014–2017, 2021–2022) i Vallaråi. Error bars angir SD. Stasjoner er fordelt langs hele elvestrekningen fra St. 1 innløp Seljordsvatn til St. 6 og 7 nær innløp kraftverkstunnel.

Tetthetene er ikke høye, men begge synes moderate sammenlignet med andre elver i regionen.

4.3.3. Fordeling av gyteplasser

Gyteplasser for ørret i Vallaråi er også undersøkt over flere år (Fig. 15) (Heggenes *et al.* 2022). De viktigste gyteplassene er konsentrert til øvre del av Vallaråi, med enkelte gyteplasser i nedre del. Basert på en undersøkelse av laks i elven Skauga, som viste en sammenheng mellom fordeling av gytegroper og tettheter av 0+ og 1+ på liten skala, har en anbefaling vært gytearealer per 500 m (Teichert *et al.* 2011; Foldvik *et al.* 2012). Men tettheter av 0+ i Vallaråi (Fig. 11, 14) synes mer bestemt av habitat enn nærhet til gyteområder. Tettheter kan dessuten være like høye på stasjoner både på øvre og nedre del av Vallaråi. Ettersom hovedgyteområdet ligger øverst i elva, vil også yngel lettere kunne spre seg nedstrøms ved passiv drift. Det er derfor ikke indikasjoner på at fordeling av gytearealer er en begrensende faktor. Hele elvestrekningen er også kort, maksimum ca. 1,7 km til oppunder Lakshølfoss. Men gytearealer er nøkkelområder. Det anbefales derfor at det søkes å etablere gyteplasser (substrat partikkel størrelse, dyp, vannhastigheter) dersom det igjen blir aktuelt å fjerne akkumulerte grusmasser for å unngå tørrlegging av oppvekstarealer, særlig på østsiden ned mot E-134, jfr. Fig 3. Dette vil kunne gi større spredning på gyteområder og mer risikospredning dersom nåværende hovedgyteområde skulle bli utsatt for uventede forhold.



Figur 15. Den undersøkte elvestrekningen av Vallaråi med observerte lyse felter og gytegroper 2022 (grå punkter) og 2021 (grønne punkter). Røde punkter i nedre del av Kivleåi angir gyteområder brukt av 'vanlig' ørret. Ingen store groper ble observert i Kivleåi.

4.3.4. Vannføringer og temperaturer i Vallaråi

Lave vannføringer f.eks. som i tørkeperioder på sommeren, fører til lite habitat og plass, og kan være direkte produksjonsbegrensende (Elliott 2015). Effektkjøring resulterer i mer akutte, korte perioder med lav restvannføring i Vallaråi, men reguleringen medfører også lavere restvannføringer enn naturlig når kraftverket står. Effektkjøring kan i seg selv være en stressfaktor for fisk (Flodmark *et al.* 2002), redusere vekst (Korman & Campana 2009) og medføre direkte populasjonstap i form av stranding (Halleraker *et al.* 2003; Nagrodski *et al.* 2012; Irvine *et al.* 2015). Mens direkte, akutt dødelighet pga. stranding er godt dokumentert, har vi mindre kunnskap om sub-letale effekter og hvilke mer langsiktige konsekvenser effektkjøring kan ha for fiskepopulasjoners produksjon, slik som i Vallaråi, ettersom før-data mangler.

Av åpenbare grunner er fisk mest utsatt for stranding ved rask tørrlegging av mer langgrunne, steinete bunnområder etter en (lengre) periode med høy vannføring (og ved lav temperatur om

dagen). Bunnprofilen særlig i øvre del av Vallaråi (ca. 950 m) er flatt med markerte elvebredder pga. kanaliseringsarbeider i forbindelse med reguleringen (Heggenes, Bergan & Lydersen 2011). Disse relativt smale strandsonene gjør sannsynligvis ørret i strandsonen mindre utsatt for stranding. Men når først de flatere bunnarealene eventuelt blir tørrlagt, vil stranding kunne bli vesentlig. På nedre del av Vallaråi (ca. 750 m) er elveprofilen mer variert. Det er ikke gjort beregninger av vanddekket areal i Vallaråi ved ulike vannføringer. Dette bør gjøres, f.eks. ved bruk av grønn laser (Stickler *et al.* 2023).

For temperaturregimer kan vi gjøre modellbaserte beregninger (over). I Vallaråi er det sannsynlig at lavere vanntemperaturer godt under optimum i vekstsesongen (Fig. 8) begrenser produksjonen. Dette vil gjøre mest utslag på veksten til 0+ ørret.

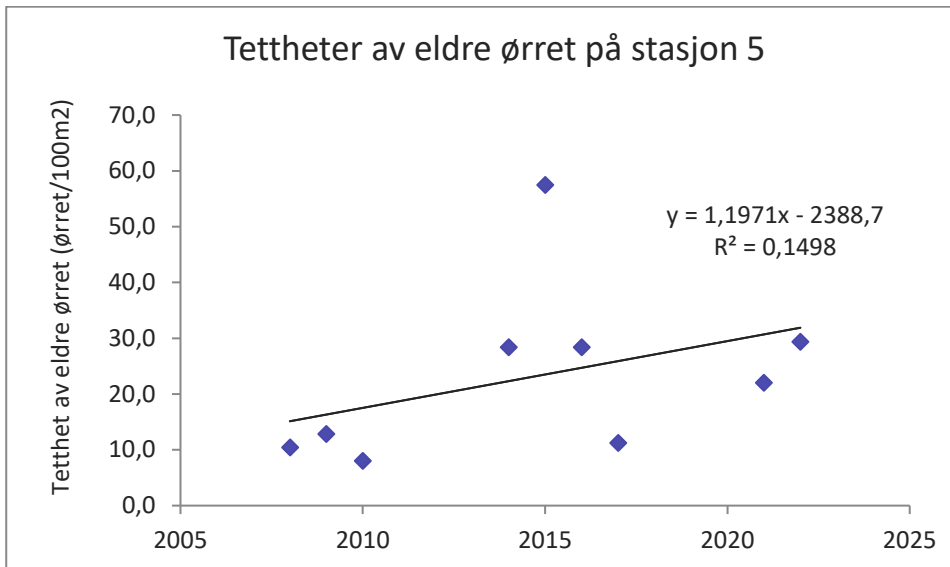
4.3.5. Habitat og tiltak for økt ungfiskproduksjon av ørret

Aktuelle tiltak for å modifisere produksjonsbegrensende faktorer i regulerte, effektkjørte elver, er endret tapperegime som kan påvirke både temperatur, vanddekket areal og amplitude/frekvens på vannføringsendringer (Nagrodski *et al.* 2012; Heggenes *et al.* 2021). For habitat kan det også gjøres fysiske tiltak i elveleiet. Selv om det typisk i elver er en gjennomgående samvariasjon mellom tetthet av 0+ og 1+ over tid (Foldvik *et al.* 2012; Lobon-Cervia 2014; Elliott 2015), er årlig dødelighet for de første årsklassene alltid stor, og deres habitatvalg forskjellig, med større substrat, (hul)rom og dyp for større rekrutter (over). Særlig dersom det er liten sammenheng mellom tetthet av 0+ og 1+, kan derfor tilgang til gunstig habitat tenkes å begrense tettheten av større rekrutter. I Vallaråi er det ingen utpreget sammenheng mellom tettheter av 0+ og 1+ (Fig. 11). Tettheter per stasjon synes i større grad være knyttet til tilgjengelig habitat, f.eks. er tetthet av 0+ lav, mens tetthet av 1+ (og større ørret) er høy på st. 4, som er den mest grovsteinete av alle stasjonene. Utover mulige produksjonsbegrensende effekter av effektkjøring og temperatur (over), kan derfor data indikere at mer gunstig habitat for større rekrutter vil være positivt for produksjonen av større ørretrekrutter i Vallaråi. I 2012-2013 ble det derfor gjennomført begrensede habitattiltak i Vallaråi i form av utlegging av større stein på en ca. 100 m strekning, senkning av to grusområder slik at de ikke ble tørrlagt ved lavere vannføringer, og bygging av tre elvebreddskiler på øvre, kanaliserte strekning (Fig. 16). Elvebreddskilene var utformet som brådype med grov blokk/stein for å gi redusert strandingsrisiko og mer gunstig habitat for større rekrutter.



Figur 16. Øverst til venstre; senkning av grusøyren utenfor avløpstunnelen til kraftstasjonen, øverst til høyre; senkning av elvekantareal nedstrøms bro til kraftverket med ca. 20 cm, nederst til venstre; steinsetting i elva langs E134, nederst til høyre; etablering av kile ved stasjon 5 (fra Kildal 2012; Kildal 2013).

Den årlige variasjonen i tettheter av ørret er for stor til at eventuelle effekter av tiltakene kan spores i de overordnede før-etter data for tettheter av 0+ og 1+ i hele Vallaråi (Fig. 11). Derimot kan effekter spores i før-etter data fra den berørte stasjon 5. Tetthet av større rekrutter har økt fra i gjennomsnitt 10 til 30 per. 100m² på denne stasjonen (Fig. 17).



Figur 17. Estimert gjennomsnittlig tetthet (antall individer/100 m²) av eldre ørret på stasjon 5 før (2008–2010) og etter kile-tiltak (2014–2017 og 2021–2022) i Vallaråi.

Denne effekten er lokal og knyttet til kilen. På elvebreddstrekningen utenfor selve kilene er tetthet av 0+ og eldre rekrutter den samme som på øvrige stasjoner, med en klar og forventet dominans av 0+ (hhv. 37 og 15 per 100 m²). Inne i kilen er forholdet derimot omvendt, med dominans av 1+ og eldre rekrutter (hhv. 17 og 59 per 100 m²). Det indikerer at produksjonen av større rekrutter kan økes i Vallaråi med kiler. Et viktig forbehold er selvsagt at tetthetsdata for større ørretunger (Fig. 14) ikke gir faktisk produksjon av rekrutter, ettersom utvandring av antall rekrutter fra Vallaråi til Seljordsvatnet, ikke er målt. Det lar seg vanskelig gjøre uten installasjon av smoltfeller. Andre forhold som kan påvirke disse kile-tetthets resultatene er at standard elektrofiske underestimerer sannsynligvis antall større rekrutter pga. 'fright bias' og at større rekrutter i større grad velger dypere habitat lenger ut i elva, at kilene kan ha en lokal 'magnet' effekt på større rekrutter, og at de kan føre til større grad av residualisering.

4.4. Kvalitetsikre bacheloroppgave om vanntemperatur og vekst hos ørret i Vallaråi (Gjestvang og Solheim, 2022), oppsummere hovedpunkter og beskrive usikkerheter og kunnskapshull

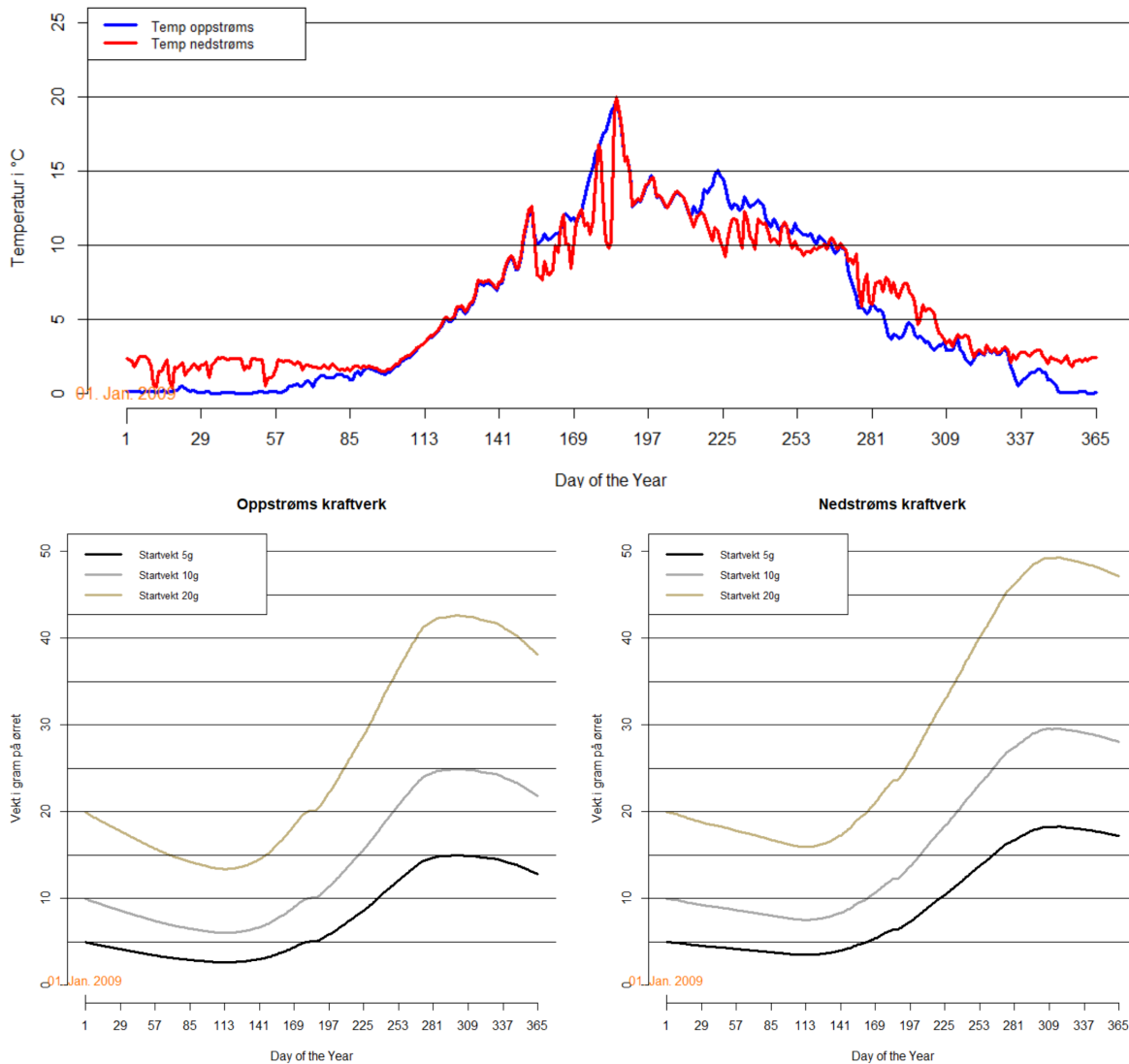
4.4.1. Sammendrag

Simuleringer med vekstmodell og tilgjengelige temperaturdata fra Vallaråi ble gjennomført med data fra restvannføring oppstrøms og regulert vannføring nedstrøms Sundsbarm kraftverk. Resultatene indikerte redusert vekst hos 0+ nedstrøms kraftverket pga. kaldere vann om sommeren, men dette ble (mer enn) kompensert av vekst utover en forlenget vekstsesong pga. høstvarm elv. Disse resultatene

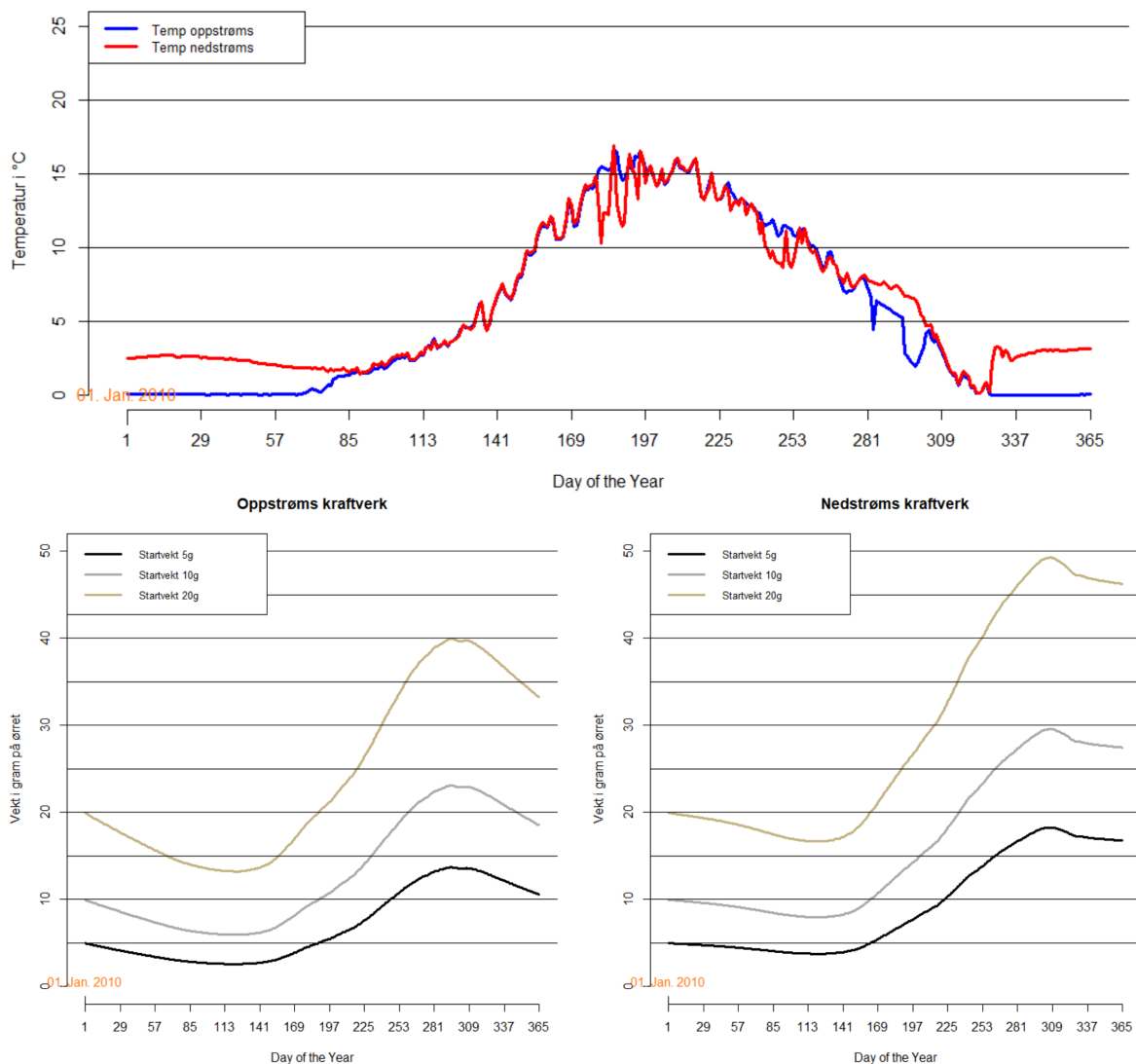
må imidlertid vurderes i lys av modellens begrensninger mht. tidsoppløsning, kompensatorisk vekst, og fødemotivasjon over en vekstsesong som er forsinket og forlenget av reguleringen. Det synes sannsynlig at simuleringer med vekstmodell alene gir for optimistiske vekstestimer.

4.4.2. Simulert temperaturavhengig vekst oppstrøms og nedstrøms Sundsbarm kraftverk

Teoretisk forventet vekst for ørretunger i Vallaråi nedstrøms Sundsbarm kraftverk, gitt det regulerte temperaturregimet (over), ble modellert av Gjestvang and Solheim (2022). De benyttet en vekstmodell som er både teoretisk og empirisk vel dokumentert (Elliott, Hurley & Fryer 1995; Hayes, Stark & Shearer 2000; Elliott & Elliott 2010; Hayes 2013). Vekstsimuleringene ble gjort vha. makroen BT_Growth2.1 i Excel, hvor modellen Cmax_1995 ble brukt (Hayes 2013). Denne er basert på modellen nærmere beskrevet over (Elliott, Hurley & Fryer 1995). Input er vanntemperatur (gjennomsnitt over døgnet) og fiskens initialvekst (i gram, jfr. Fig. 9). For Vallaråi benyttet Gjestvang and Solheim (2022) temperaturdata (timesmålinger) fra hhv. oppstrøms og nedstrøms Sundsbarm kraftverk som var tilgjengelige fra november 2008 til august 2016. Ettersom modellens tidsoppløsning er døgnet, ble timesverdier omregnet til døgngjennomsnitt vha. Excel-kommandoen AVERAGEIF, og vekst simulert for et år (1. januar – 31. desember) for initialvektene 5, 10 og 20 gram, og for hhv. det gjennomsnittlig varmeste (2009) og kaldeste året (2010) over sommer-høst sesongen. Resultatene viser litt bedre vekst nedstrøms kraftverket (Fig. 18, 19). Dette skyldes i hovedsak to forhold: modellen simulerer et større vekttap gjennom vinteren for ørret på kaldere vann oppstrøms kraftverket (dag 1 – ca. dag 100) slik at vekten ved sesongstart er lavere, og veksten varer ca. en måned lengre sent på høsten i det varmere vannet nedstrøms kraftverket (Fig. 18). Gjennom vekstsesongen fra ca. dag 100 og fram til ca. dag 270-280 er veksten relativt lik. Dette speiler selvsagt vanntemperaturene som er ganske like over vår-sommer, om enn mer varierende nedstrøms kraftverket om sommeren. Noe mer gunstige veksttemperaturer oppstrøms kraftverket på ettersommeren, mer enn oppveies av en lenge høstvarm elv nedstrøms kraftverket. Hovedmønsteret er det samme i det 'kalde' året 2010, men mindre utpreget (Fig. 19).



Figur 18. Vanntemperaturer (øverst) og simulert vekst (nederst) oppstrøms og nedstrøms Sundsbarm kraftverk i Vallaråi i det 'varme' året 2009.



Figur 19. Vanntemperaturer (øverst) og simulert vekst (nederst) oppstrøms og nedstrøms Sundsbarm kraftverk i Vallaråi i det 'kalde' året 2009.

Gitt forutsetningene, selve synes modellsimuleringene riktig gjennomført og fremstilt.

4.4.3. Usikkerheter ved vekstmodellen

Det knytter seg imidlertid vesentlige usikkerheter og kunnskapsmangler til forutsetningene og antagelsene i simuleringene. Modellen simulerer i gjennomsnitt vesentlig større vekttap for ørretunger ved vintertemperaturer nær 0 °C på oppstrøms restvannføring, sammenlignet med varmere vintervannføring på 2-3 °C nedstrøms kraftverket. Dette er usikkert. Fysiologisk kan det argumenteres for det motsatte, idet høyere temperaturer er mer energikrevende, uten at dette kompenseres i form av vekst ved så lave temperaturer (Elliott & Elliott 2010). Gitt at modellen antar ingen vekst under 4 °C, vil man, om noe, forvente et litt høyere energitap på litt høyere temperatur, ettersom kroppsfunksjoner er temperaturavhengige. Et muligens bedre alternativ vil være å omgå

denne usikkerheten ved å starte simuleringene når vekstsesongen begynner, dvs. vanntemperaturen stiger over 4 °C. Uansett, (nordiske) vinterforhold *per se* er ikke undersøkt og innarbeidet i vekstmodellen, men snarere basert på en ekstrapolering av modellen.

Øvrige vesentlige usikkerheter og kunnskapsmangler diskutert over knytter seg til om

- døgn gjennomsnittstemperaturer som maskerer vesentlige temperaturfluktuasjoner, representerer det samme som vekst ved en stabil temperatur over døgnet, om
- vekst senere på sesongen er fullt kompensatorisk, noe den neppe er, om
- føde motivasjon er den samme over hele vekstsesongen, noe den neppe er, og om
- korttids temperatur fluktuasjoner og deres frekvens og amplitude har en selvstendig effekt på vekst, noe som synes sannsynlig for en vekselvarm art.

4.5. Kvalitetsikre masteroppgave på genetikk i Seljord (Boine 2020), oppsummere hovedpunkter og beskrive usikkerheter og kunnskapshull

4.5.1. Sammendrag

Den genetiske hovedstrukturen til ørret i Seljordsvatn er at ørret rekruttert fra Vallaråi (og Bygdaråi) dominerer i nordlig del, mens ørret rekruttert fra Bjønndøla og Bøelva dominerer i sørlig del av Seljordsvatn. Ørret oppstrøms Lakshøl utgjør en egen bestand. Det er imidlertid knyttet usikkerhet til data og analyser. Det er også en vesentlig svakhet at stor ørret ikke er med i undersøkelsen, og det relativt store Seljordsvatn er bare representert med to lokaliteter. Det anbefales gjennomført en ny undersøkelse hvor det også samles inn prøver fra stor ørret og flere deler av Seljordsvatn. Dette bør kombineres med et prøvefiske som vil gi indikasjoner på rekruttering og vekst til ørretbestandene i Seljordsvatn.

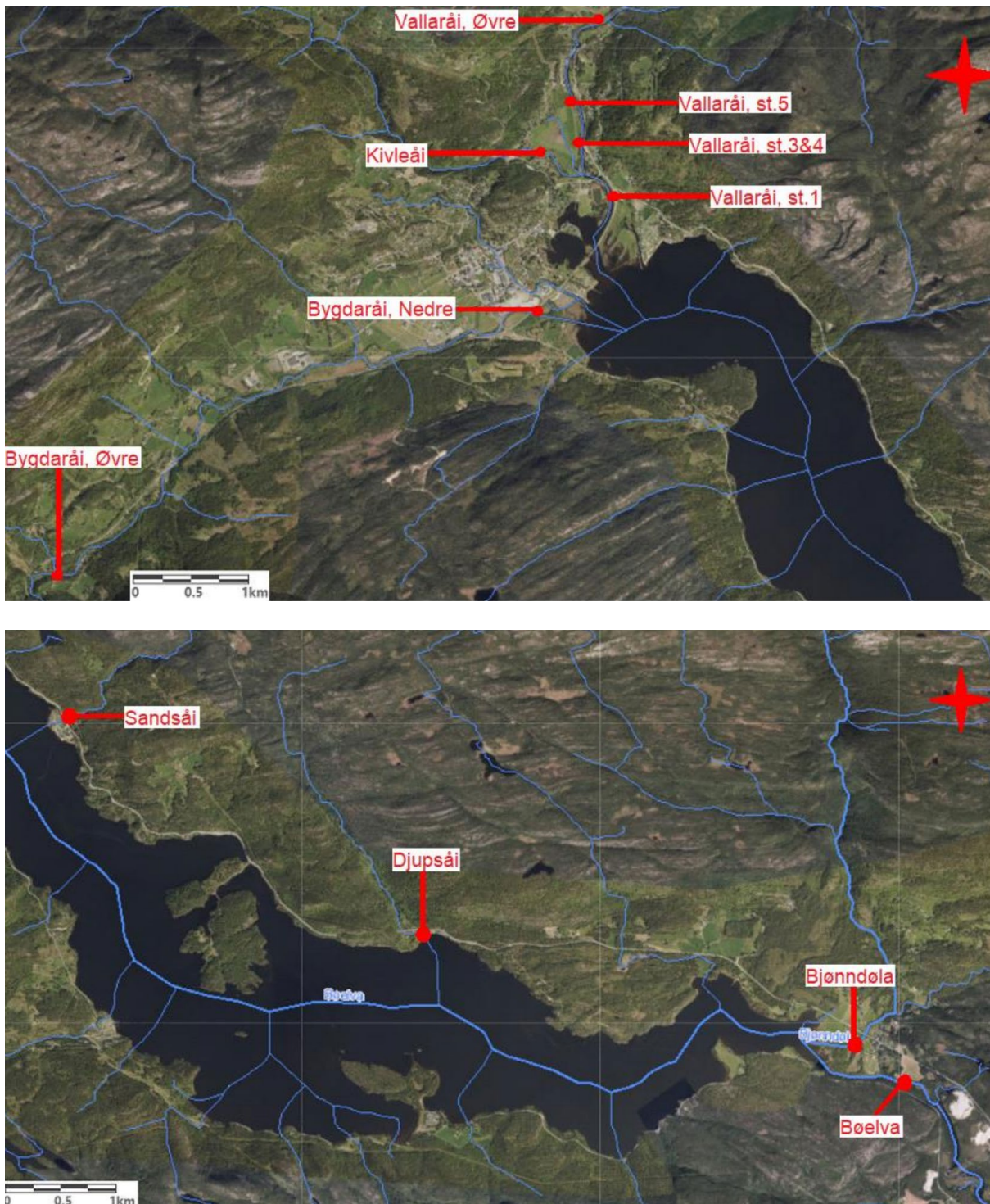
4.5.2. Genetisk hovedstruktur for ørret i Seljordsvatn

Genetisk struktur til ørret i Seljordsvatn med tilløpselver er først undersøkt i et master-prosjekt av Boine (2020). Ørret i Seljordsvatn gyter og rekrutterer fra tilløpselvene. Innsjøgyting er ikke kjent. Hovedmålsettingen var å undersøke om det er genetiske forskjeller på ørret i de forskjellige tilløpselvene, og eventuelt innad i elvene. I så fall kan ørret fra de forskjellige mulige rekrutteringselvene identifiseres. Ved å også undersøke ørret fanget i Seljordsvatn, kan vi i så fall si noe om hvor ørret i Seljordsvatn er fra og hvor viktige de ulike tilløpselvene er for rekruttering.

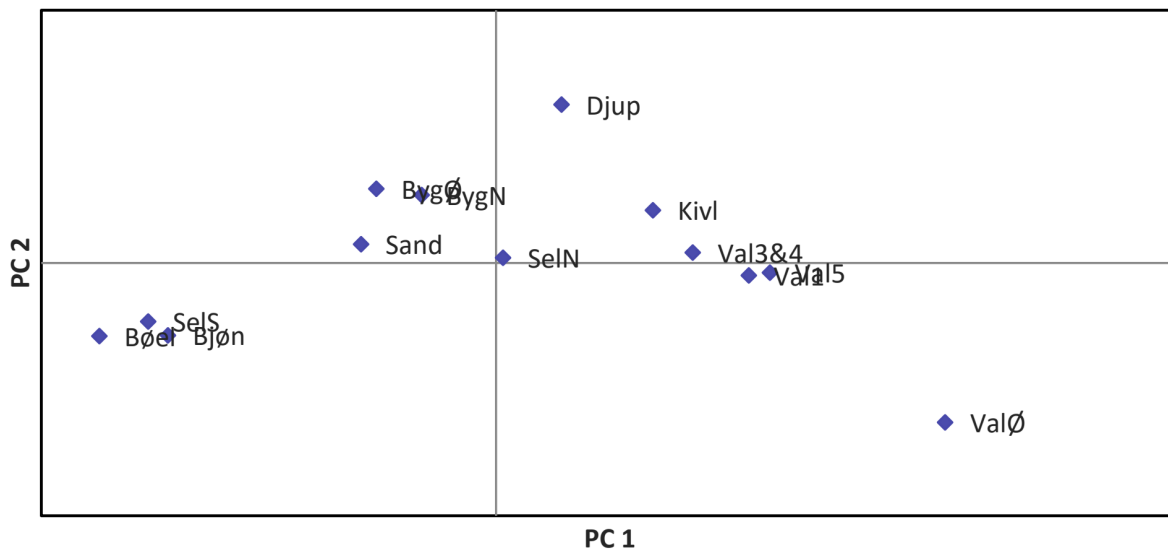
Boine (2020) samlet derfor inn ørret rekrutter (elektro-fiske) fra alle de tre større tilløpselvene Vallaråi, Bygdaråi og Bjønndøla, samt utløpselva Bøelva (Fig. 16). I Vallaråi og Bygdaråi ble det tatt

flere sample for å undersøke eventuell intern strukturering. Tre mindre tilløpselver ble også samlet: Kivleåi, Sandsåi og Djupsåi (Fig. 16), til sammen 356 individer fordelt på 11 elve-stasjoner. I Seljordvatn ble det samlet inn (garnfiske) et sample fra nord (nær Sinnesodden, n = 38) og sør (nær Telnes, n = 47). Genetisk struktur ble analysert vha. 12 mikrosatellitter.

Resultatene viste en hovedstruktur hvor Vallaråi (inkludert Kivleåi) rekrutterer til ørret i Seljordvatn nord, med noe bidrag fra Bygdaråi og i mindre grad Sandsåi (Fig. 20). I Seljordsvatn sør er Bøelva og Bjønndøla viktige, men uten nevneverdige genetiske forskjeller. Et sample fra Vallaråi oppstrøms Lakshølfoss skilte seg genetisk helt ut. Verken Vallaråi eller Bygdaråi viste noen intern strukturering (Fig. 21).



Figur 20. Lokalteter samplet for genetiske undersøkelser i Seljordsvatn med tilløpselver.



Figur 21. Prinsipal komponent analyse (PCA) basert på standardisert genetisk distanse F_{st} . Analysen viser at Vallaråi (inkludert Kivleåi) skiller seg ut som en karakteristisk og viktig genetisk gruppe for ørret i Seljordvatn Nord (SelN), men også Bygdaråi og Sandsåi bidrar. I sør er Bøelva og Bjønndøla genetisk like og rekrutterer til ørret i Seljordvatn Sør (Sels). Vallaråi oppstrøms Lakshøl (ValØ) skiller seg ut som en egen gruppe.

Resultatene for overordnet genetisk struktur gir god økologisk mening. Vallaråi (inkludert Kivleåi) er hovedrekrutteringselv for ørret i Seljordvatn nord, med sannsynligvis vesentlig bidrag fra Bygdaråi. Ørret oppstrøms Lakshølfossen skiller seg genetisk ut, noe som er et naturlig forventet mønster, ettersom ørret ikke siden istiden har kunnet passere fossen. En eventuell tilrettelegging for oppvandring i fossen vil bryte ned denne naturlige genetiske strukturen. I Seljordvatn sør er både Bøelva og Bjønndøla viktige. De skiller seg ikke genetisk fra hverandre, noe som innebærer at det er et blandede gytebestander.

4.5.3. Data usikkerhet og manglende storørret

Design på undersøkelsen er i hovedsak dekkende, ved at alle større tilløpselver er tatt med. Det er noen svakheter og usikkerheter knyttet til masteroppgaven. Sample størrelser for Sandsåi og Djupsåi er for små (hhv. 17 og 20 ørret). Det kunne med fordel vært større oppløsning på samplene fra Seljordvatn, dvs. være samlet prøver fra flere deler av vannet. Det knytter seg særlige interesser til bestanden av stor ørret i Seljordvatn. En helt vesentlig svakhet ved undersøkelsen er at stor ørret ikke er med. Da må det også legges til at innsamling av tilstrekkelig materiale på storørret er vanskelig og meget tidkrevende.

Rask metodeutvikling mht. genetiske analyser gjør at vi nå kan ha betydelig større oppløsning i analysene, selv om 12 mikrosatelitter synes tilstrekkelig til å analysere hovedstruktur. Studenten hadde lite erfaring med molekylær-genetisk arbeid. Det knytter seg derfor vesentlig usikkerhet til lesingen av de genetiske signalene og analysene av data.

Derfor bør det gjennomføres en ny genetisk undersøkelse som inkluderer se samme tilløpselvene, men flere prøvesteder fra Seljordvatn, gjerne kombinert med et systematisk prøvefiske. Det er særlig viktig å samle inn et tilstrekkelig nytt materiale også fra stor ørret, gjerne kombinert med skjellprøver, slik at alder og vekst på stor ørret også kan dokumenteres. En ny undersøkelse vil også kunne nytte nyere analysemetoder som gir høyere oppløsning.

5. Konklusjoner – anbefalinger videre undersøkelser

- Dataserier for vanntemperaturer oppstrøms og nedstrøms Sundbarm kraftverk er i ferd med å bli etablert, men temperatursjiktning i Sundsbarmmagasinet mangler. Sjiktning bestemmer temperaturen på produksjonsvannet, ettersom inntak ligger på kote 571, dvs. under LRV 574. Det anbefales derfor innsamling av temperaturdata fra et profil nær inntaket i Sundsbarmmagasinet eller i driftsvannet i Sundsbarm kraftverk.
- Sammenlignende tetthets- og vekstdata for ørret fra restvannføringsstrekningen oppstrøms kraftverket mangler. For å styrke kunnskapen om reguleringseffekter på produksjon og vekst av ungfisk i Vallaråi, anbefales at det gjennomføres innsamling av data fra oppstrøms strekning samtidig med og etter samme design som i Vallaråi nedstrøms kraftverket.
- Effekt av variasjon i vanntemperatur på ørretens vekst med dagens driftsmønster er usikker. Vi har for lite kunnskap om dette i dag. På sesongbasis antas det en redusert vekst når produksjonsvann senker vanntemperaturen i vekstsesongen, og denne kompenseres neppe fullt ut ved varmere vann senere i sesongen. Effekten av døgnvariasjoner i temperatur på ørretens vekst er usikker, og krever egne undersøkelser.
- Det finnes per i dag ikke data for faktisk utvandring av ørretunger fra Vallaråi til Seljordsvatn, dvs. hvor mange ørretrekrutter Vallaråi produserer. Dette anbefales gjort, f.eks. vha. fangstfeller.
- Produksjonsbegrensninger for ørret er knyttet til et samspill av flere faktorer. Det er mulig økt, men begrenset dødelighet pga. stranding. Det er redusert vekst pga. kaldere produksjonsvann om sommeren. Det er begrenset gunstig habitat for større ørretunger. Det anbefales å vurdere bygging av flere kiler, og at det tilstrebes etablert gyteområder når akkumulerte masser uansett må fjernes for å unngå tørrlegging av oppveksthabitat.
- Det anbefales videre bruk av grønn laser bathymetri for å kunne estimere effekter av vannføringer på vanndekket areal/dybder.
- Simuleringer med vekstmodell og tilgjengelige temperaturdata fra Vallaråi, indikerer at redusert vekst hos 0+ pga. kaldere vann om sommeren, (mer enn) kompenseres av forlenget vekst pga. høstvarm elv.
- Bruk av vekstmodeller for å sammenligne ørretens vekst oppstrøms og nedstrøms kraftverket må imidlertid vurderes i lys av modellens begrensninger mht. tidsopløsning, kompensatorisk vekst, og fødemotivasjon over en vekstsesong som er forsinket og forlenget av reguleringen. Det synes sannsynlig at simuleringer med vekstmodell alene gir for optimistiske vekstestimer.
- En undersøkelse på genetisk struktur til ørret i Seljordsvatn gir økologisk interessante resultater, med en hovedstruktur der ørret rekruttert fra Vallaråi (og Bygdaråi) dominerer i nordlig del av Seljordsvatn, mens ørret rekruttert fra Bjønndøla og Bøelva dominerer i sør. Ørret oppstrøms Lakshøl utgjør en egen bestand. Det er imidlertid knyttet usikkerhet til data og analyser. Det er også en vesentlig svakhet at stor ørret ikke er med i undersøkelsen, og at Seljordsvatn bare var representert med to lokaliteter. Det bør derfor gjennomføres en ny

undersøkelse hvor det også samles inn prøver fra stor ørret og flere deler av Seljordsvatn. Dette kan med fordel kombineres med et prøvefiske som vil gi indikasjoner på rekruttering og vekst til ørretbestandene i Seljordsvatn.

6. Litteratur

- Adriaenssens, B. & Johnsson, J.I. (2011) Shy trout grow faster: exploring links between personality and fitness-related traits in the wild. *Behavioral Ecology*, **22**, 135-143.
- Alanärä, A., Burns, M.D. & Metcalfe, N.B. (2001) Intraspecific resource partitioning in brown trout: the temporal distribution of foraging is determined by social rank. *Journal of Animal Ecology*, **70**, 980-986.
- Almodovar, A., Nicola, G.G. & Elvira, B. (2006) Spatial variation in brown trout production: The role of environmental factors. *Transactions of the American Fisheries Society*, **135**, 1348-1360.
- Alvarez, D., Cano, J.M. & Nicieza, A.G. (2006) Microgeographic variation in metabolic rate and energy storage of brown trout: countergradient selection or thermal sensitivity? *Evolutionary Ecology*, **20**, 345-363.
- Angilletta, M.J., Jr., Steury, T.D. & Sears, M.W. (2004) Temperature, Growth Rate, and Body Size in Ectotherms: Fitting Pieces of a Life-History Puzzle¹. *Integrative and Comparative Biology*, **44**, 498-509.
- Angilletta, M.J., Niewiarowski, P.H. & Navas, C.A. (2002) The evolution of thermal physiology in ectotherms. *Journal of Thermal Biology*, **27**, 249-268.
- Anttila, K., Dhillon, R.S., Boulding, E.G., Farrell, A.P., Glebe, B.D., Elliott, J.A.K., Wolters, W.R. & Schulte, P.M. (2013) Variation in temperature tolerance among families of Atlantic salmon (*Salmo salar*) is associated with hypoxia tolerance, ventricle size and myoglobin level. *Journal of Experimental Biology*, **216**, 1183-1190.
- Bakken, T.H., Forseth, T., Harby, A., Alfredsen, K., Arnekleiv, J.V., Berg, O.K., Casas-Mulet, R., Charmasson, J., Greimel, F. & Halley, D. (2016) Miljøvirkninger av effektkjøring: Kunnskapsstatus og råd til forvaltning og industri. *NINA Temahefte* (ed. N.i.f.n. NINA), pp. 205. NINA, Norsk institutt for naturforskning, Trondheim.
- Berg, O.K., Rod, G., Solem, O. & Finstad, A.G. (2011) Pre-winter lipid stores in brown trout *Salmo trutta* along altitudinal and latitudinal gradients. *Journal of Fish Biology*, **79**, 1156-1166.
- Boeuf, G. & Le Bail, P.-Y. (1999) Does light have an influence on fish growth? *Aquaculture*, **177**, 129-152.
- Bohlin, T., Sundström, L., Johnsson, J., Höjesjö, J. & Pettersson, J. (2002) Density-dependent growth in brown trout: effects of introducing wild and hatchery fish. *Journal of Animal Ecology*, **71**, 683-692.
- Boine, I. (2020) Genetisk karakterisering av ørretbestander i Seljordsvatnet med tilløpselver. Master of Science Master of Science, University of South-Eastern Norway.
- Chapman, D.W. (1966) FOOD AND SPACE AS REGULATORS OF SALMONID POPULATIONS IN STREAMS. *American Naturalist*, **100**, 345-&.
- Chezik, K.A., Lester, N.P. & Venturelli, P.A. (2014) Fish growth and degree-days I: selecting a base temperature for a within-population study. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **71**, 47-55.
- Dell, A.I., Pawar, S. & Savage, V.M. (2011) Systematic variation in the temperature dependence of physiological and ecological traits. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **108**, 10591-10596.

- Duus, P. (2002) Habitatregistrering og forslag til biotopforbedrende tiltak i Vallaråi, Seljord kommune. Master, Norges landbrukshøgskole.
- Elliott, J.M. (1994) *Quantitative Ecology and the Brown Trout*. Oxford University Press, Oxford.
- Elliott, J.M. (2009) Validation and implications of a growth model for brown trout, *Salmo trutta*, using long-term data from a small stream in north-west England. *Freshwater Biology*, **54**, 2263-2275.
- Elliott, J.M. (2015) Density-dependent and density-independent growth in a population of juvenile sea-trout, *Salmo trutta*, assessed using long-term data from a small stream in Northwest England. *Freshwater Biology*, **60**, 336-346.
- Elliott, J.M. & Elliott, J.A. (2010) Temperature requirements of Atlantic salmon *Salmo salar*, brown trout *Salmo trutta* and Arctic charr *Salvelinus alpinus*: predicting the effects of climate change. *Journal of Fish Biology*, **77**, 1793-1817.
- Elliott, J.M. & Hurley, M.A. (1997) A functional model for maximum growth of Atlantic Salmon parr, *Salmo salar*, from two populations in northwest England. *Functional Ecology*, **11**, 592-603.
- Elliott, J.M. & Hurley, M.A. (1999) A new energetics model for brown trout, *Salmo trutta*. *Freshwater Biology*, **42**, 235-246.
- Elliott, J.M., Hurley, M.A. & Fryer, R.J. (1995) A new, improved growth-model for brown trout. *Salmo trutta*. *Functional Ecology*, **9**, 290-298.
- Finstad, A.G., Berg, O.K., Forseth, T., Ugedal, O. & Naesje, T.F. (2010) Adaptive winter survival strategies: defended energy levels in juvenile Atlantic salmon along a latitudinal gradient. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, **277**, 1113-1120.
- Finstad, A.G. & Jonsson, B. (2012) Effect of incubation temperature on growth performance in Atlantic salmon. *Marine Ecology Progress Series*, **454**, 75-82.
- Flodmark, L., Urke, H., Halleraker, J., Arnekleiv, J., Vøllestad, L. & Poléo, A. (2002) Cortisol and glucose responses in juvenile brown trout subjected to a fluctuating flow regime in an artificial stream. *Journal of Fish Biology*, **60**, 238-248.
- Flodmark, L.E.W., Vollestad, L.A. & Forseth, T. (2004) Performance of juvenile brown trout exposed to fluctuating water level and temperature. *Journal of Fish Biology*, **65**, 460-470.
- Foldvik, A., Teichert, M., Einum, S., Finstad, A., Ugedal, O. & Forseth, T. (2012) Spatial distribution correspondence of a juvenile Atlantic salmon *Salmo salar* cohort from age 0+ to 1+ years. *Journal of Fish Biology*, **81**, 1059-1069.
- Forseth, T., Hurley, M.A., Jensen, A.J. & Elliott, J.M. (2001) Functional models for growth and food consumption of Atlantic salmon parr, *Salmo salar*, from a Norwegian river. *Freshwater Biology*, **46**, 173-186.
- Forseth, T., Larsson, S., Jensen, A.J., Jonsson, B., Naslund, I. & Berglund, I. (2009) Thermal growth performance of juvenile brown trout *Salmo trutta*: no support for thermal adaptation hypotheses. *Journal of Fish Biology*, **74**, 133-149.
- Gjestvang, A. & Solheim, K. (2022) Ørret i strømnettet: Hvordan vannkraft reduserer veksten av brunørret. Bachelor Bachelor, Universitetet i Sørøst-Norge.
- Guggedal, I.K. (2022) Endringer i elvehabitat som følge av effektkjøring: Tetthet og vekst hos ørret (*Salmo trutta*) i Vallaråi påvirket av endret temperaturgradient. Master of Science Master of Science, University of South-Eastern Norway.

- Halleraker, J.H., Saltveit, S.J., Harby, A., Arnekleiv, J.V., Fjeldstad, H.P. & Kohler, B. (2003) Factors influencing stranding of wild juvenile brown trout (*Salmo trutta*) during rapid and frequent flow decreases in an artificial stream. *River Research and Applications*, **19**, 589-603.
- Hartman, K.J. & Porto, M.A. (2014) Thermal Performance of Three Rainbow Trout Strains at Above-Optimal Temperatures. *Transactions of the American Fisheries Society*, **143**, 1445-1454.
- Hayes, J.W. (2013) Brown trout growth models: User Guide version 2.1. *Cawthron Report* (ed. J.W. Hayes), pp. 46. Cawthron Institute, Cawthron Institute, Nelson, New Zealand.
- Hayes, J.W., Stark, J.D. & Shearer, K.A. (2000) Development and test of a whole-lifetime foraging and bioenergetics growth model for drift-feeding brown trout. *Transactions of the American Fisheries Society*, **129**, 315-332.
- Heggenes, J. (2023) Elektrofiske og ungfiskundersøkelser i Vallaråi og Kivleåi høst 2020-2022. *USN Skrift* (ed. U.i. Sørøst-Norge), pp. 66. Universitetet i Sørøst-Norge, Universitetet i Sørøst-Norge Campus Bø.
- Heggenes, J., Alfredsen, K., Brittain, J.E., Bustos, A.A., Huusko, A. & Stickler, M. (2017a) Stay cool: Temperature changes and biological responses in hydropower-regulated northern stream systems. *HSN Skrift* (ed. U.C.o.S. Norway), pp. 95. University College of Southeast Norway, Bø i Telemark.
- Heggenes, J., Alfredsen, K., Bustos, A.A., Huusko, A. & Stickler, M. (2017b) Be cool: A review of hydro-physical changes and fish responses in winter in hydropower-regulated northern streams. *Environmental Biology of Fishes*, **101**, 1-21.
- Heggenes, J., Bergan, F. & Lydersen, E. (2011) Fiskebiologiske undersøkelser i forbindelse med pålegg om fysiske utbedringer i Vallaråi, Seljord i Telemark. *HiT skrift*, pp. 52. Telemark University College, Porsgrunn, Norway.
- Heggenes, J., Bergan, F., Lydersen, E. & Sageie, J. (2012) Rehabilitering av elvehabitat i Vallaråi, Seljord i Telemark: Forslag til tiltak. *HiT skrift*, pp. 63. Telemark University College, Porsgrunn, Norway.
- Heggenes, J. & Hjeltnes, A.W. (2021) Habitatkartlegging og gytereregistreringer i Kivleåi, høsten 2020. *USN Skrift* (ed. U.i. Sørøst-Norge), pp. 57. Universitetet i Sørøst-Norge, Universitetet i Sørøst-Norge.
- Heggenes, J., Krog, O.M.W., Lindas, O.R., Dokk, J.G. & Bremnes, T. (1993) Homeostatic behavioral-responses in a changing environment - brown trout (*Salmo-trutta*) become nocturnal during winter. *Journal of Animal Ecology*, **62**, 295-308.
- Heggenes, J., Roed, A. & Torp, J.D. (2018) Effekt av elvebredskiler på tetthet og størrelse til ørret i Vallaråi, Seljord i Telemark. *USN Skriftserien* (ed. U.o.S.-E. Norway), pp. 88. University of South-Eastern Norway, Bø i Telemark.
- Heggenes, J., Schartum, E., Kirkevold, A.C. & Rolset, K. (2022) Gyteproppregistreringer i Vallaråi og Kivleåi høsten 2021. *USN Skrift* (ed. U.i. Sørøst-Norge), pp. 36. Universitetet i Sørøst-Norge, Universitetet i Sørøst-Norge.
- Heggenes, J., Stickler, M., Alfredsen, K., Brittain, J.E., Adeva-Bustos, A. & Huusko, A. (2021) Hydropower-driven thermal changes, biological responses and mitigating measures in northern river systems. *River Research and Applications*, **37**, 743-765.
- Helland, I., Erikstad, L., Hagen, D., Jonsson, B. & Thorstad, E.B. (2011) Effekter av små kraftverk på fisk. *Vann*, **127e142**.

- Hokanson, K.E., Kleiner, C.F. & Thorslund, T.W. (1977) Effects of constant temperatures and diel temperature fluctuations on specific growth and mortality rates and yield of juvenile rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, **34**, 639-648.
- Huusko, A., Greenberg, L., Stickler, M., Linnansaari, T., Nykanen, M., Vehanen, T., Koljonen, S., Louhi, P. & Alfredsen, K. (2007) Life in the ice lane: The winter ecology of stream salmonids. *River Research and Applications*, **23**, 469-491.
- Huusko, A., Maki-Petays, A., Stickler, M. & Mykra, H. (2011) Fish can shrink under harsh living conditions. *Functional Ecology*, **25**, 628-633.
- Hynes, H.B.N. (1970) *The ecology of running waters*. University of Toronto Press, Toronto, Canada.
- Irvine, R., Thorley, J., Westcott, R., Schmidt, D. & DeRosa, D. (2015) Why do fish strand? An analysis of ten years of flow reduction monitoring data from the Columbia and Kootenay rivers, Canada. *River Research and Applications*, **31**, 1242-1250.
- Jensen, A.J. (1990) Growth of young migratory brown trout *Salmo trutta* correlated with water temperature in Norwegian Rivers. *Journal of Animal Ecology*, **59**, 603-614.
- Jensen, A.J., Forseth, T. & Johnsen, B.O. (2000) Latitudinal variation in growth of young brown trout *Salmo trutta*. *Journal of Animal Ecology*, **69**, 1010-1020.
- Jensen, L.F., Hansen, M.M., Pertoldi, C., Holdensgaard, G., Mensberg, K.-L.D. & Loeschcke, V. (2008) Local adaptation in brown trout early life-history traits: implications for climate change adaptability. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **275**, 2859-2868.
- Jobling, M. (1996) Temperature and growth: modulation of growth rate via temperature. *Global warming: implications for freshwater and marine fish*, 225-253.
- Johnsson, J.I., Petersson, E., Jönsson, E., Björnsson, B.T. & Järvi, T. (1996) Domestication and growth hormone alter antipredator behaviour and growth patterns in juvenile brown trout, *Salmo trutta*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **53**, 1546-1554.
- Jonsson, B., Forseth, T., Jensen, A.J. & Naesje, T.F. (2001) Thermal performance of juvenile Atlantic Salmon, *Salmo salar* L. *Functional Ecology*, **15**, 701-711.
- Kaspersson, R. & Höjesjö, J. (2009) Density-dependent growth rate in an age-structured population: a field study on stream-dwelling brown trout *Salmo trutta*. *Journal of Fish Biology*, **74**, 2196-2215.
- Kiland, H. (2006) Framlegg til tiltak i Vallaråi, Seljord kommune. *Faun rapport 036-2006* (ed. F.N. AS), pp. 19. Faun Naturforvaltning AS, Faun Naturforvaltning AS, Fyresdal.
- Kildal, Ø. (2012) Kildal, Ø. (2013). Miljøtiltak i Vallaråi – Sluttrapport for tiltak utført i fase 1. Sundsbarm Kraftverk. . 2012 (ed. S.E. AS), pp. 11. Skagerak Energi AS, Skien.
- Kildal, Ø. (2013) Miljøtiltak i Vallaråi – Sluttrapport for tiltak utført i fase 2. Sundsbarm Kraftverk. *Skagerak Energi AS* (ed. S.E. AS), pp. 11. Skagerak Energi AS, Skien.
- Korman, J. & Campana, S.E. (2009) Effects of Hydropeaking on Nearshore Habitat Use and Growth of Age-0 Rainbow Trout in a Large Regulated River. *Transactions of the American Fisheries Society*, **138**, 76-87.
- Kortet, R., Vainikka, A., Janhunen, M., Piironen, J. & Hyvärinen, P. (2014) Behavioral variation shows heritability in juvenile brown trout *Salmo trutta*. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, **68**, 927-934.

- Kreivi, P., Muotka, T., Huusko, A., Mäki-Petäys, A., Huhta, A. & Meissner, K. (1999) Diel feeding periodicity, daily ration and prey selectivity in juvenile brown trout in a subarctic river. *Journal of Fish Biology*, **55**, 553-571.
- Kraabøl, M. (2016) Kunnskapsstatus og forslag til ferskvannøkologisk undersøkelsesprogram i Vallaråi i Telemark. Faglige innspill til vilkårsrevisjon av Sundsbarm kraftverk. *NINA rapport* (ed. N.I.f. Naturforskning), pp. 52. Norsk Institutt for Naturforskning, Norsk Institutt for Naturforskning, Lillehammer.
- Lagarrigue, T., Céréghino, R., Lim, P., Reyes-Marchant, P., Chappaz, R., Lavandier, P. & Belaud, A. (2002) Diel and seasonal variations in brown trout (*Salmo trutta*) feeding patterns and relationship with invertebrate drift under natural and hydropeaking conditions in a mountain stream. *Aquatic Living Resources*, **15**, 129-137.
- Lobon-Cervia, J. (2000) Determinants of parr size variations within a population of brown trout *Salmo trutta* L. *Ecology of Freshwater Fish*, **9**, 92-102.
- Lobon-Cervia, J. (2014) Recruitment and survival rate variability in fish populations: density-dependent regulation or further evidence of environmental determinants? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **71**, 290-300.
- Lobón-Cervía, J. (2007) Density-dependent growth in stream-living Brown Trout *Salmo trutta* L. *Functional Ecology*, **21**, 117-124.
- Mambrini, M., Sanchez, M.-P., Chevassus, B., Labbé, L., Quillet, E. & Boujard, T. (2004) Selection for growth increases feed intake and affects feeding behavior of brown trout. *Livestock Production Science*, **88**, 85-98.
- Meier, K., Hansen, M.M., Normandeau, E., Mensberg, K.L.D., Frydenberg, J., Larsen, P.F., Bekkevold, D. & Bernatchez, L. (2014) Local Adaptation at the Transcriptome Level in Brown Trout: Evidence from Early Life History Temperature Genomic Reaction Norms. *Plos One*, **9**.
- Metcalf, N.B., Bull, C.D. & Mangel, M. (2002) Seasonal variation in catch-up growth reveals state-dependent somatic allocations in salmon. *Evolutionary Ecology Research*, **4**, 871-881.
- Metcalf, N.B., Fraser, N.H. & Burns, M.D. (1999a) Food availability and the nocturnal vs. diurnal foraging trade-off in juvenile salmon. *Journal of Animal Ecology*, **68**, 371-381.
- Metcalf, N.B., Fraser, N.H.C. & Burns, M.D. (1999b) Food availability and the nocturnal vs. diurnal foraging trade-off in juvenile salmon. *Journal of Animal Ecology*, **68**, 371-381.
- Metcalf, N.B., Huntingford, F.A. & Thorpe, J.E. (1986) SEASONAL-CHANGES IN FEEDING MOTIVATION OF JUVENILE ATLANTIC SALMON (*SALMO-SALAR*). *Canadian Journal of Zoology-Revue Canadienne De Zoologie*, **64**, 2439-2446.
- Metcalf, N.B., Huntingford, F.A. & Thorpe, J.E. (1987) THE INFLUENCE OF PREDATION RISK ON THE FEEDING MOTIVATION AND FORAGING STRATEGY OF JUVENILE ATLANTIC SALMON. *Animal Behaviour*, **35**, 901-911.
- Milner, N.J., Elliott, J.M., Armstrong, J.D., Gardiner, R., Welton, J.S. & Ladle, M. (2003) The natural control of salmon and trout populations in streams. *Fisheries Research*, **62**, 111-125.
- Museth, J., Dervo, B., Brabrand, Å., Heggenes, J., Karlsson, S. & Kraabøl, M. (2018) Storørret i Norge. Definisjon, status, påvirkningsfaktorer og kunnskapsbehov. *NINA rapport* (ed. N.I.f.N. (NINA)), pp. 102. Norsk Institutt for Naturforskning (NINA), Norsk Institutt for Naturforskning (NINA), Trondheim.

- Nagrodski, A., Raby, G.D., Hasler, C.T., Taylor, M.K. & Cooke, S.J. (2012) Fish stranding in freshwater systems: sources, consequences, and mitigation. *Journal of Environmental Management*, **103**, 133-141.
- Nicieza, A.G. & Metcalfe, N.B. (1997) Growth compensation in juvenile Atlantic salmon: responses to depressed temperature and food availability. *Ecology*, **78**, 2385-2400.
- Nicola, G.G. & Almodovar, A. (2004) Growth pattern of stream-dwelling brown trout under contrasting thermal conditions. *Transactions of the American Fisheries Society*, **133**, 66-78.
- Näslund, J. & Johnsson, J.I. (2016) State-dependent behavior and alternative behavioral strategies in brown trout (*Salmo trutta* L.) fry. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, **70**, 2111-2125.
- Ojanguren, A.F. & Brana, F. (2003) Thermal dependence of embryonic growth and development in brown trout. *Journal of Fish Biology*, **62**, 580-590.
- Oppedal, F., Taranger, G., Juell, J.E. & Hansen, T. (1999) Growth, osmoregulation and sexual maturation of underyearling Atlantic salmon smolt *Salmo salar* L. exposed to different intensities of continuous light in sea cages. *Aquaculture Research*, **30**, 491-499.
- Parra, I., Almodóvar, A., Nicola, G. & Elvira, B. (2009) Latitudinal and altitudinal growth patterns of brown trout *Salmo trutta* at different spatial scales. *Journal of Fish Biology*, **74**, 2355-2373.
- Railsback, S.F., Harvey, B.C., Hayse, J.W. & LaGory, K.E. (2005) Tests of theory for diel variation in salmonid feeding activity and habitat use. *Ecology*, **86**, 947-959.
- Rocaspana, R., Aparicio, E., Vinyoles, D. & Palau, A. (2016) Effects of pulsed discharges from a hydropower station on summer diel feeding activity and diet of brown trout (*Salmo trutta* Linnaeus, 1758) in an Iberian stream. *Journal of Applied Ichthyology*, **32**, 190-197.
- Roed, A. & Torp, J.D. (2017) Elverestaurering i Vallaråi, Seljord i Telemark. Effekter av elverestaurering på tetthet og vekst av brunørret (*Salmo trutta*). Master of Science Master of Science, University College of South east Norway.
- Saltveit, S.J. (2006) Økologiske forhold i vassdrag–konsekvenser av vannføringsendringer. En sammenstilling av dagens kunnskap. *Norges vassdrags-og energidirektorat*, **7**, 66-78.
- Sanchez-Hernandez, J., Gabler, H.M., Elliott, J.M. & Amundsen, P.A. (2016) Use of a growth model to assess the suboptimal growth of Atlantic salmon parr in a subarctic river. *Ecology of Freshwater Fish*, **25**, 518-526.
- Saunders, R.L., Henderson, E.B. & Harmon, P.R. (1985) Effects of photoperiod on juvenile growth and smolting of Atlantic salmon and subsequent survival and growth in sea cages. *Aquaculture*, **45**, 55-66.
- Shuter, B.J., Finstad, A.G., Helland, I.P., Zweimuller, I. & Holker, F. (2012) The role of winter phenology in shaping the ecology of freshwater fish and their sensitivities to climate change. *Aquatic Sciences*, **74**, 637-657.
- Simpson, A.L., Metcalfe, N.B., Huntingford, F.A. & Thorpe, J.E. (1996) Pronounced seasonal differences in appetite of Atlantic Salmon parr, *Salmo salar*: Effects of nutritional state and life-history strategy. *Functional Ecology*, **10**, 760-767.
- Skagerak Kraft Guddal, B. (2018) Vanntemperatur i Vallaråi - Bøelva ved utløp av Sundsbarm kraftverk. *Notat Skagerak Energi* (ed. S. Energi), pp. 6. Skagerak Energi, Skagerak Energi Porsgrunn.

- Skoglund, H., Einum, S., Forseth, T. & Barlaup, B.T. (2011) Phenotypic plasticity in physiological status at emergence from nests as a response to temperature in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **68**, 1470-1479.
- Smith, I.P., Metcalfe, N.B., Huntingford, F.A. & Kadri, S. (1993) Daily and seasonal patterns in the feeding behaviour of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in a sea cage. *Aquaculture*, **117**, 165-178.
- Solbakken, V.A., Hansen, T. & Stefansson, S.O. (1994) Effects of photoperiod and temperature on growth and parr-smolt transformation in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and subsequent performance in seawater. *Aquaculture*, **121**, 13-27.
- Solomon, D.J. & Lightfoot, G.W. (2008) The thermal biology of brown trout and Atlantic salmon. *Science Reports* (ed. E. Agency), pp. 42. Environment Agency, Rio House, Waterside Drive, Aztec West, Almondsbury, Bristol, BS32 4UD.
- Spigarelli, S., Thommes, M. & Prepejchal, W. (1982) Feeding, growth, and fat deposition by brown trout in constant and fluctuating temperatures. *Transactions of the American Fisheries Society*, **111**, 199-209.
- Spigarelli, S.A., Thommes, M.M., Prepejchal, W. & Goldstein, R.M. (1983) Selected temperatures and thermal experience of brown trout, *Salmo trutta*, in a steep thermal gradient in nature. *Environmental Biology of Fishes*, **8**, 137-149.
- Stickler, M., Dåsnes, H., Malmquist, C., Moe, J., Frogner Borge, A., Fritsvold, L., Øie, M., Sandøy, S. & Dønnum, B.O. (2023) Validation and application of Airborne LiDAR Bathymetry (ALB) technology for improved management and monitoring of Norwegian rivers and lakes. *NVE Rapport* (ed. T.N.W.R.a.E. Directorate), pp. 120. The Norwegian Water Resources and Energy Directorate, The Norwegian Water Resources and Energy Directorate, Oslo.
- Teichert, M.A., Foldvik, A., Forseth, T., Ugedal, O., Einum, S., Finstad, A.G., Hedger, R.D. & Bellier, E. (2011) Effects of spawning distribution on juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) density and growth. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **68**, 43-50.
- Valdimarsson, S.K. & Metcalfe, N.B. (1999) Effect of time of day, time of year, and life history strategy on time budgeting in juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **56**, 2397-2403.
- Valdimarsson, S.K. & Metcalfe, N.B. (2001) Is the level of aggression and dispersion in territorial fish dependent on light intensity? *Animal Behaviour*, **61**, 1143-1149.
- Valdimarsson, S.K., Metcalfe, N.B., Thorpe, J.E. & Huntingford, F.A. (1997) Seasonal changes in sheltering: effect of light and temperature on diel activity in juvenile salmon. *Animal Behaviour*, **54**, 1405-1412.
- Vøllestad, L., Olsen, E. & Forseth, T. (2002) Growth-rate variation in brown trout in small neighbouring streams: evidence for density-dependence? *Journal of Fish Biology*, **61**, 1513-1527.
- Young, P.S., Cech, J.J. & Thompson, L.C. (2011) Hydropower-related pulsed-flow impacts on stream fishes: a brief review, conceptual model, knowledge gaps, and research needs. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, **21**, 713-731.
- Ytrestøyl, T., Hjelle, E., Kolarevic, J., Takle, H., Rebl, A., Afanasyev, S., Krasnov, A., Brunsvik, P. & Terjesen, B.F. (2022) Photoperiod in recirculation aquaculture systems and timing of seawater transfer affect seawater growth performance of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Journal of the World Aquaculture Society*.

Skriftserien nr 123
2023

Vurdering av effektkjøring og endret
vanntemperatur på produksjon og
vekst hos ungfisk av ørret i Vallaråi

Jan Heggenes

ISBN: 978-82-7206-763-1
ISSN: 2535-5325

usn.no

