

Effekter av endret vanntemperatur på vekst og rekruttering hos laks i Bolstadelva



Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske (LFI)

Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske

NORCE LFI

Nygårdsgaten 112
5008 Bergen

Telefon: 55 58 22 28

ISSN nr: ISSN-2535-6623

LFI-rapport nr: 479

Tittel: Effekter av endret vanntemperatur på vekst og rekruttering hos laks i Bolstadelva

Dato: 12.05.2023

Forfattere: Helge Skoglund, Knut Wiik Vollset, Trond Einar Isaksen, Helge Avlesen, Bjørn Barlaup

Kontrollert av: Erlend Mjelde Hanssen

Oppdragsgiver: Eviny Fornybar AS

Kontaktperson hos oppdragsgiver: Sissel Myklatun

Antall sider: 71

Hovedfunn fra rapporten: Evanger kraftverk fører til at vanntemperaturen i Bolstadelva blir kaldere om sommeren og varmere om vinteren. Lavere sommertemperatur resulterer i redusert vekst hos ungfisk av laks og aure, og dermed økt smoltalder. Det er beregnet at den økte smoltalderen reduserer overlevelse av lakseunger i Bolstadelva med om lag 20 %. Totalt fører dette til at den samlede produksjonen av laksesmolt i Vosso og Bolstadelva forventes å være redusert med om lag 7 %. Beregningene av ungfiskoverlevelse er ikke eksakte, men må ses som en tilnærming for å forstå hvilken størrelsesorden effekten av temperaturendringene kan ha på laksebestanden i Vossovassdraget.

Forsidefoto: Utløp fra Evanger kraftverk i Evangervatnet (øverst t.v. og t.h.); lakseunge fra Evangervatnet (nederst t.h.); parti fra Bolstadelva (nederst t.v.).

Forord

På oppdrag fra Eviny Fornybar AS har NORCE LFI utredet hvordan Evanger kraftverk påvirker temperaturforholdene i Evangervatnet og Bolstadelva, samt hvilken effekt dette forventes å ha på produksjonen av laks i Bolstadelva. Det ble utarbeidet en hydrodynamisk modell av Helge Avlesen på NORCE klima som presenteres i et eget vedlegg til rapporten. Modelleringen av fiskevekst, smoltalder og overlevelse av ungfisk frem til smolt ble utført av Knut Wiik Vollset ved NORCE LFI.

Bergen, mars 2023



Helge Skoglund
PhD, prosjektleder

Innhold

Forord.....	3
Sammendrag	5
1.0 Innledning.....	6
1.1 Bakgrunn og hensikt.....	6
1.2 Beskrivelse av reguleringen og hydrologiske endringer i Vossovassdraget.....	7
2.0 Materiale og metoder	9
2.1 Datagrunnlag.....	9
2.2 Statistiske analyser.....	11
2.3 Modellering av vekst og smoltalder	11
2.4 Beregning av utviklingshastighet og tidspunkt for «swimup»	13
3.0 Resultater.....	14
3.1 Vanntemperatur i Vossovassdraget	14
3.2 Temperaturforholdene i Evangervatnet	38
3.3 Sammenheng mellom drift i Evanger kraftverk og temperatur i Bolstadelva	17
3.4 Utviklingshastighet og tidspunkt for «swim-up»	23
3.5 Temperatur og vekst hos ungfisk	26
3.6 Modellering av vekst, smoltalder og overlevelse hos lakseunger i Bolstadelva	32
4.0 Diskusjon	45
4.1 Effekter av Evanger kraftverk på temperaturforholdene i Bolstadelva	45
4.2 Effekter av kraftverket på vanntemperatur og lagdeling av vannmasser i Evangervatnet ..	46
4.3 Effekter av temperatur på vekst, smoltalder og smoltproduksjon i Bolstadelva	48
4.4 Andre påvirkninger på vekst hos ungfisk	49
4.5 Effekter på utviklingshastighet.....	50
5.0 Oppsummering og konklusjon	51
6.0 Referanser	52
VEDLEGG 1 - Vanntemperatur i Vosso og Bolstadelva og vannføringsbidrag fra Evanger kraftverk...	54
VEDLEGG 2 – Hydrodynamisk modellering av Evangervatnet	60

Sammendrag

Evanger kraftverk tilfører Evangervatnet vannmasser fra smeltevann og høytliggende magasiner som har en annen temperatur enn det naturlige tilsiget til innsjøen. I denne rapporten er tilgjengelig datamateriale fra Vossovassdraget sammenstilt og analysert for å undersøke hvordan Evanger kraftverk påvirker vanntemperaturen, samt hvordan temperaturforholdene påvirker vekst og smoltproduksjon hos laks i Bolstadelva.

Registreringer av vanntemperatur i perioden 1995-2021 viser at vanntemperaturen i Bolstadelva i gjennomsnitt er 0,8 °C varmere enn Vosso i desember og i gjennomsnitt 1,6 °C kaldere enn Vosso i august. Denne temperaturforskjellen mellom vassdragsavsnittene kan i stor grad knyttes til vannføringsbidraget fra drift i Evanger kraftverk. Effekten er oftest sterkest i august måned, når temperaturforskjellen i vannmassene som tilføres fra Vosso og Evanger kraftverk vanligvis er størst. I perioder uten drift i kraftverket vil vanntemperaturen i Bolstadelva etter noen dager som regel bli tilnærmet lik temperaturen i Vosso.

Data fra ungfiskundersøkelser utført i vassdraget siden midten av 1990-tallet viser at fiskeveksten hos både laks og aure er gjennomgående lavere i Bolstadelva enn i Vosso. Variasjon i fiskestørrelse både mellom år og mellom Bolstadelva og Vosso kan i stor grad knyttes til vanntemperatur i sommerperioden. En tilsvarende vekstforskjell mellom Bolstadelva og Vosso ble også funnet ved å modellere vekst, smoltalder og overlevelse hos ungfisk av laks som en funksjon av vanntemperatur med en individbasert populasjonsmodell. Simuleringene viser at den reduserte veksten forventes å gi en høyere smoltalder, som i sin tur er beregnet å føre til om lag 20 % redusert overlevelse hos ungfisk frem til smolt i Bolstadelva sammenliknet med Vosso. Dette er i sin tur beregnet å utgjøre en reduksjon av den samlede smoltproduksjonen i Vosso og Bolstadelva på om lag 7 %. Modellen beregner kun eventuelle overlevelse som funksjon av vanntemperatur, og tar dermed ikke høyde for andre mulig effekter av vassdragsregulering. I tillegg bygger modellen på en del forutsetninger som er ukjente. Resultatene fra modelleringen vil derfor ikke gi en eksakt beskrivelse av smoltproduksjonen i vassdraget, men må ses på som en tilnærming for å forstå i hvilken størrelsesorden temperaturendring i Bolstadelva som følge av Evanger kraftverk påvirker vekst og produksjon av laks.

Dataanalysene av fiskevekst tilsier at forskjeller i vanntemperatur ikke kan forklare hele vekstforskjellen som er observert hos ungfisk mellom Bolstadelva og Vosso. Årsaken til dette avviket er ikke kjent, men kan skyldes andre effekter, som for eksempel forskjeller i næringsgrunnlag. Data fra vannprøver viser at Bolstadelva er mer næringsfattig enn Vosso, noe som trolig til dels kan skyldes at kraftverket tilfører næringsfattig vann som bidrar til å fortynne konsentrasjonen av næringsstoffer i vassdraget nedenfor kraftverket (oligotrofiering).

Det lykkes ikke å utarbeide en hydrodynamisk modell som kunne beskrive temperaturforholdene i Evangervatnet på en troverdig måte, men målinger av vanntemperaturer på ulike vandyp tilsier at de kalde vannmassene fra kraftverket i stor grad blandes med de varmere vannmassene fra Vosso før de strømmer ut i det dypere innsjøbassenget i Evangervatnet. Det kalde kraftverksvannet synes dermed å bidra til å kjøle ned vanntemperaturen i de øvre vannlagene (dvs < 20 m) av innsjøen fremfor å synke ned i de dypere vannlagene. Det bør imidlertid utføres flere målinger på ulike dyp i innsjøen og over lengre tidsperioder for å undersøke hvordan kraftverksvannet påvirker lagdelingen i Evangervatnet gjennom året.

1.0 Innledning

1.1 Bakgrunn og hensikt

Evanger kraftverk tilfører Evangervatnet i Vossovassdraget vann fra bekkeinntak og magasiner fra høytliggende fjellområder. Disse vannmassene vil ofte ha en annen temperatur og vannkvalitet enn det naturlige tilsiget, og vil følgelig føre til endringer i både vannføring og temperaturforhold i vassdraget nedstrøms utløpet av kraftverket.

Vanntemperaturen påvirker en rekke fysiske og biologiske prosesser hos fisk, og styrer mange av de økologiske prosessene i vassdrag. For laks og sjøaure vil særlig næringsopptak og vekst hos ungfisk i stor grad være styrt av temperatur. Vekstraten vil normalt være lav når temperaturen er lavere enn 4-6 °C, men vil øke med økende temperatur opp til om lag 16-19 °C, for deretter å avta med høyere temperaturer (Forseth mfl. 2001). Tilveksten til ungfisken en gitt vekstsesong vil dermed i stor grad være bestemt av hvor høy temperatur som oppnås og varighet av ulike temperaturer gjennom sommersesongen. Vekstforholdene i elva vil i sin tur påvirke hvor lenge ungfisken lever i elven før den vandrer ut som smolt for å beite i havet. Ungfisk av laks smoltifiserer vanligvis etter at den har oppnådd en størrelse på om lag 10-20 cm. Dette kan ta fra 1-8 år avhengig av vekstforholdene (Thorstad mfl. 2011), men vanligvis 2-4 år i norske vassdrag (Metcalf & Thorpe 1990), noe som også er tilfelle i Vossovassdraget (Barlaup 2018). En reduksjon i temperaturforhold i vekstsesongen nedstrøms kraftverksutløp kan føre til at ungfisken må bruke lenger tid i elva (økt smoltalder) før den smoltifiserer, noe som trolig vil føre til økt dødelighet før utvandring (Saltveit 1990). I tillegg vil temperatur påvirke utviklingshastigheten til egg og plommesekkengel, og dermed påvirke tidspunktet for klekking og «swim-up» (Crisp 1981, 1988), dvs. tidspunktet når yngelen kommer opp av grusen for å starte næringsopptak. Endringer i vanntemperatur i vinterperioden fra gyting og mens egg og plommesekkengel ligger i grusen kan føre til forskyvninger i tidspunkt for klekking og «swim-up», og kan potensielt resultere i at yngelen kommer opp til et tidspunkt som er mindre gunstig for overlevelse (Skoglund mfl. 2011).

Effekten av Evanger kraftverk på vanntemperaturen og vekst hos fisk i Bolstadelva ble undersøkt av Raddum & Gabrielsen (1999). De fant at reguleringen hadde ført til økt vintertemperatur og redusert sommertemperatur i Bolstadelva, og at dette kunne påvirke både klekkesidspunkt og vekstforhold. Lavere temperatur i Bolstadelva i vekstsesongen ble også satt i sammenheng med at ungfisk av både laks og aure hadde signifikant lavere vekst i Bolstadelva sammenliknet med Vosso, og at dette sannsynligvis også har ført til økt smoltalder for laks i Bolstadelva. Disse analysene ble også oppdatert i Barlaup mfl. (2004), som bekreftet funnene med hensyn på redusert vekst hos ungfisk i Bolstadelva sammenliknet med Vosso, og konkludert med at reguleringen sannsynligvis har resultert i redusert smoltproduksjon i Bolstadelva som følge av redusert vekst og økt smoltalder. Det er imidlertid ikke utført noen undersøkelser som beskriver hvor stor effekt denne vekstforskjellen har på smoltalder og dermed smoltproduksjon.

Siden de overnevnte undersøkelsene er det opparbeidet et betydelig kunnskaps- og datagrunnlag fra Vossovassdraget som kan belyse hvordan Evanger kraftverk påvirker temperaturforholdene og fiskeproduksjonen i vassdraget. I forbindelse med den pågående vilkårsrevisjonen av reguleringen knyttet til Evanger-reguleringen har det kommet opp et behov for å gjøre en oppdatert undersøkelse av hva som påvirker temperaturforholdene i Bolstadelva, og i sin tur hvilken effekt dette har på fiskebestandene. På bakgrunn av dette har NORCE LFI fått i oppdrag av Eviny Fornybar AS (heretter

Eviny) å utrede hvordan reguleringen påvirker temperaturforhold og fiskebiologiske forhold i Vossovassdraget. Denne rapporten er delt i tre hovedelementer:

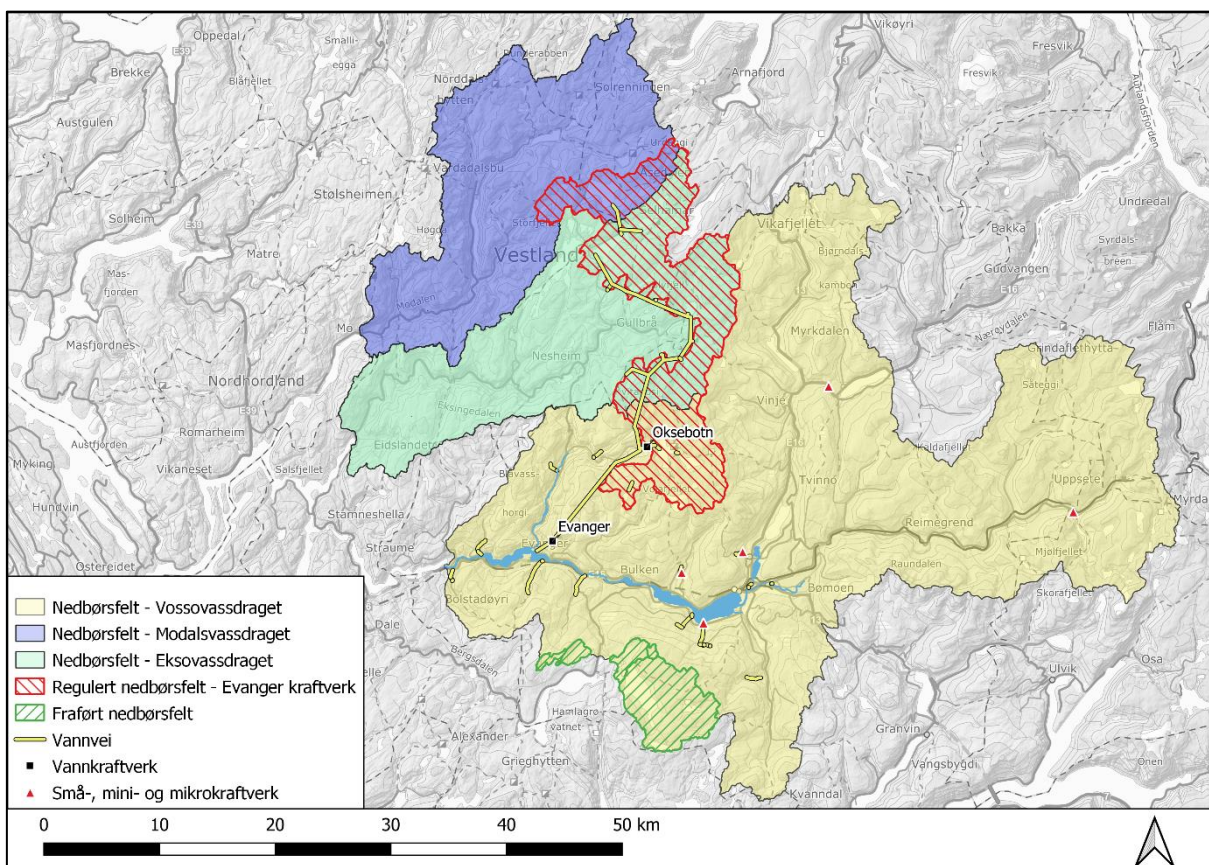
- Analysere data på temperatur- og vannføringsforhold i Bolstadelva, Vosso og Evanger kraftverk, for å belyse hvordan Evanger kraftverk påvirker temperaturforholdene i Bolstadelva. Det foreligger etter hvert lange tidsserier på både vanntemperatur og vannføring fra ulike vassdragsstrekninger.
- Beregne hvordan eventuelt endret temperatur i Bolstadelva som følge av Evanger kraftverk påvirker vekst, smoltalder og smoltproduksjon på vassdragsstrekningen. Dette er gjort ved å benytte data fra temperatur og ungfiskundersøkelser til å sette opp en forenklet individbasert modell for å modellere vekst, smoltalder og overlevelse i Vosso vs. Bolstadelva. Etersom temperaturforholdene i Bolstadelva i uregulert tilstand er ukjent, er temperatur og vekst i Vosso benyttet som referanse. Dette vil kunne gi et svar på hvor mye av temperaturforskjellen mellom Vosso og Bolstadelva slår ut i vekst, og deretter kvantifisere hva dette har å si for smoltalder og overlevelse frem til smolt. Modellen baserer seg på kjente sammenhenger mellom temperatur og vekst, og samme tilnærming har tidligere vært brukt for å modellere livshistorieresponser for laks i Eidfjordvassdraget (Skoglund & Vollset 2020).
- Sammenstille tilgjengelige data på temperaturforhold i Evangervatnet, samt å modellere vanntemperaturen gjennom Evangervatnet ved å benytte en hydrodynamisk fjordmodell. Hensikten er å forstå hvordan utløpsvannet fra Evanger kraftverk blandes inn og påvirker temperaturforhold i ulike vannmasser i innsjøen, og dermed temperaturforhold i Bolstadelva. Det er benyttet en eksisterende hydrodynamisk modell som er satt opp av NORCE Klima for Evangervatnet (Isaksen mfl. 2020). Dette arbeidet er utført av Helge Avllesen ved NORCE klima, og analysene er presentert som et eget vedlegg til denne rapporten.

I analysene er det tatt utgangspunkt i hvordan Evanger kraftverk påvirker temperaturforholdene og dermed ungfiskbestanden i dagens situasjon, og der Vosso er benyttet som en tilnærming for Bolstadelva i uregulert tilstand. I uregulert tilstand ville deler av vannføringen som i dag kommer ut av Evanger kraftstasjon ha kommet ut i Evangervatnet fra Teigdalselva, samt at vann som er fraført til Bergsdalsvassdraget ville ha kommet ut i Vosso fra Torfinno. Hvordan denne vannføringen ville ha påvirket temperaturforholdene lenger nede i vassdraget, og dermed hvordan temperaturforholdene ville vært i uregulert tilstand, er ikke kjent, og det har ikke vært mulig å modellere dette innenfor rammene for dette prosjektet.

1.2 Beskrivelse av reguleringen og hydrologiske endringer i Vossovassdraget

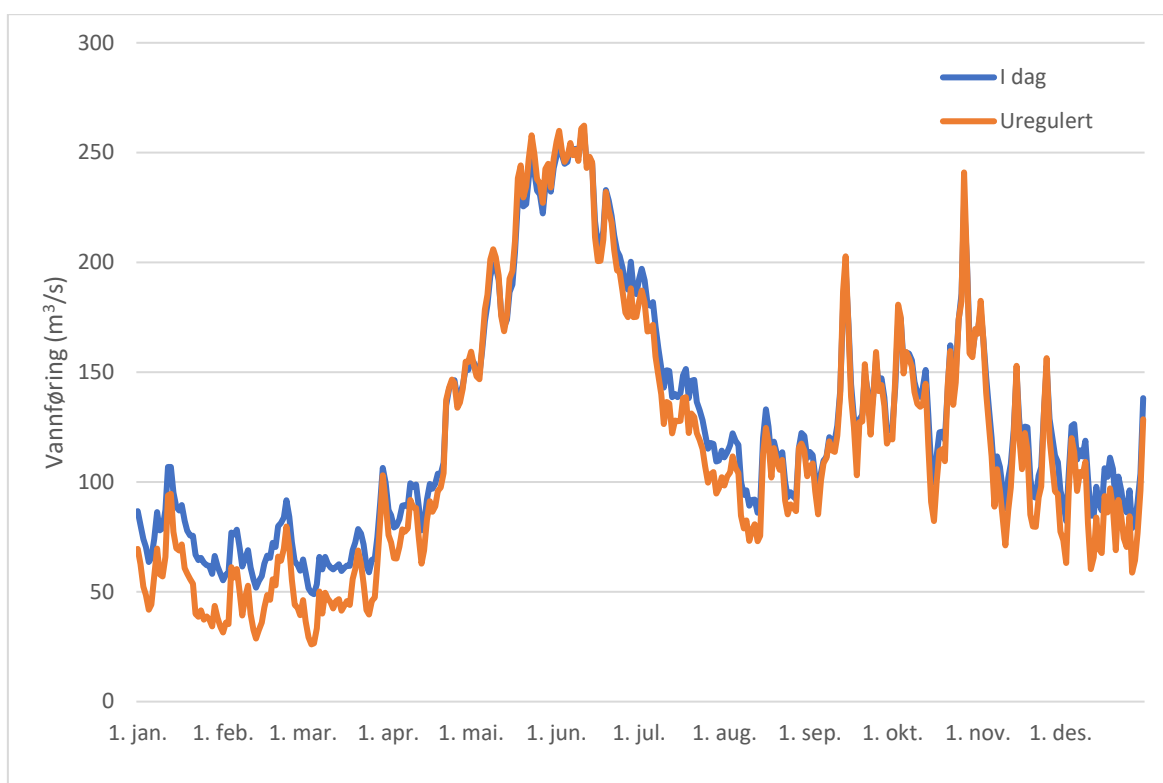
Evanger kraftverk tar vann fra nedslagsfeltet til Teigdalselva (62 km² av opprinnelig 146,4 km² fraført) og overføringer fra Eksingedalsvassdraget og Modalsvassdraget (Figur 1). Evanger kraftverk utnytter en fallhøyde på om lag 770 m fra Askjeldalsvatnet (748,4-805,0 m.o.h.), som er inntaksmagasin, og har sitt utløp i Evangervatnet (11 m.o.h.). Det er knyttet 12 bekkinntak til driftstunnelen, alle med inntak over 800 m.o.h. Oksebotn kraftverk utnytter fallet fra Volavatnet til Eide-Fannadalsdammen, hvor vannet føres videre til inntakstunnelen til Evanger kraftverk. Arbeidet med utbyggingen av Evanger kraftverk startet opp i 1963 og har i større eller mindre grad pågått frem til 2005. Kraftverket

har tre aggregat som ble satt i drift i henholdsvis 1969, 1974 og 1977, som hver består av en peltonturbin på 110 MW og en slukeevne på 18 m³/s hver, noe som gir en total effekt på 330 MW og slukeevne på 54 m³/s. Midlere årlig produksjon er 1377 GWh (BKK 2021). NVE åpnet for vilkårsrevisjon av Evanger kraftverk i 2019, og pågår fortsatt per februar 2023.



Figur 1. Oversiktskart over nedbørsfeltet til Vossovassdraget med regulerte delfelt. Data fra nedbørsfelt og vannveier er hentet fra <https://atlas.nve.no>.

Evangerreguleringen fører til at vannføringen i Teigdalselva har blitt redusert, mens overføringene fra Eksingedalsvassdraget og Modalsvassdraget har ført til at vannføringen i Vossovassdraget nedstrøms Evanger kraftverk, dvs. Bolstadelva, har økt med om lag 7 % sammenliknet med situasjonen før regulering. Den største endringen er at vannføringen i vinterperioden har økt (Figur 2). I tillegg er deler av nedslagsfeltet på sørsiden (Torfinno) fraført til Bergsdalsvassdraget. En mer detaljert oversikt over reguleringen og de hydrologiske forholdene i vassdraget er presentert i revisjonsdokumentet for Evangerreguleringen (BKK 2021).



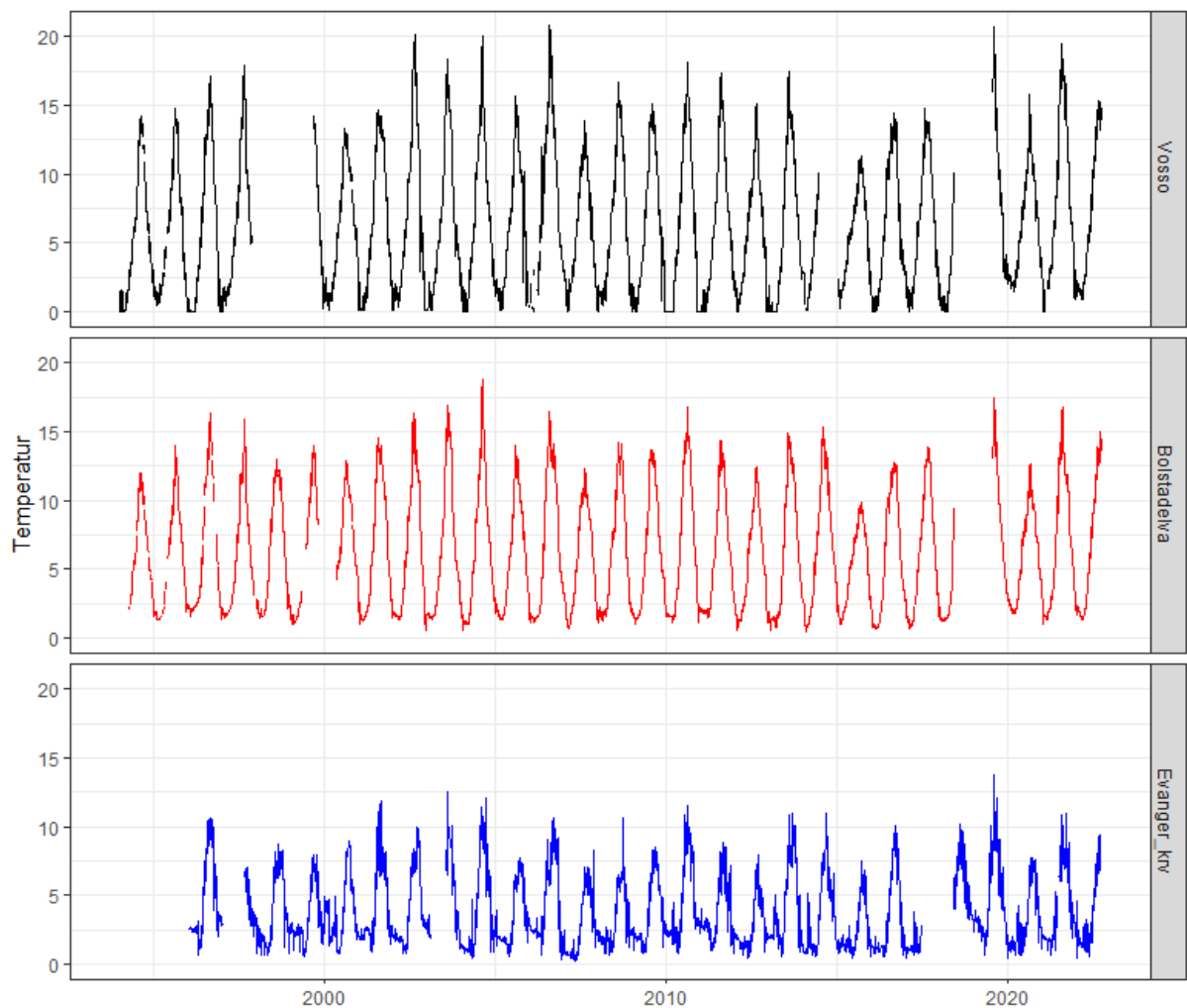
Figur 2. Gjennomsnittlig vannføring i Bolstadelva ved utløp i Bolstadfjorden i dagens situasjon (basert på vannføringsdata i perioden 1995-2022, og estimert i uregulert tilstand. Data oppgitt av Eviny.

2.0 Materiale og metoder

2.1 Datagrunnlag

Vanntemperaturdata fra Vosso er tilgjengelig fra 1987, fra Bolstadelva siden 1994 og fra utløpet fra Evanger kraftverk fra 1996 fra NVE (www.sildre.nve.no). I tillegg har LFI logget data i flere av vassdragsavsnittene i ulike perioder. Vi har tatt utgangspunkt i data fra NVE-seriene 62.35.0 Bolstadelvi, og 62.30.0 Vosso ovf. Evangervatnet, samt for 62.29.0 Evanger kraftverk. I tillegg er det benyttet data fra 62.17.0 Mestad, 62.33.0. Strondaelvi og 62.34.0 Raundalselvi.

Vannføringsdata fra ulike vassdragsavsnitt og Evanger kraftverk ble oversendt fra Eviny. Disse dataene er basert på NVE seriene 62.5.0 Bulken og 62.17.0 Mestad og produksjonsdata fra Evanger kraftverk. I tillegg ble resttilsig til Bolstadelva fra nedbørsfelt med tilsig nedenfor vannføringsstasjonene beregnet ved å benytte omskalerte vannføringsdata fra 62.18.0 Svartavatn. Når det refereres til vannføringen i Bolstadelva inkluderer dette også vannføringen fra resttilsiget.



Figur 3. Tilgjengelig vanntemperatur fra Vosso ovenfor Evangervatnet (62.30.0), Bolstadelva (62.35.0) og Evanger kraftverk (62.29.0).

Det foreligger data fra fiskestørrelse og vekst hos ungfisk fra ungfiskundersøkelser i Vossovassdraget mer eller mindre årlig i perioden 1994-2022. Undersøkelsene er utført med elektrisk fiskeapparat på et fast stasjonsnett på høsten, og hovedsakelig utført etter endt vekstsesong om høsten. I løpet av perioden har undersøkelsene blitt utført i regi av forskjellige prosjekter og av ulike aktører, og det foreligger varierende detaljnivå for ulike år. I perioden 1994-2010 ble undersøkelsene i både Bolstadelva og Vosso utført av NORCE LFI på oppdrag for Miljødirektoratet (tidligere Direktoratet for naturforvaltning) som en del av effektovervåkingen av kalka vassdrag. I 2011 foreligger det ikke undersøkelser, mens det i perioden 2012-2020 foreligger data oversendt fra Rådgivende Biologer AS (se også Sikveland & Hellen 2020), samt fra NORCE LFI og Voss klekkeri. En oversikt over stasjonsnettet og resultatene fra ungfiskundersøkelsene utført i perioden finnes i Barlaup (2022). Det foreligger data fra ensomrige (0+) laks og aure for alle årene det er utført ungfiskundersøkelser (dvs alle år unntatt 2011), mens aldersbestemte data for eldre ungfisk (1+ og 2+) kun foreligger for deler av perioden.

2.2 Statistiske analyser

For å undersøke den statistiske sammenhengen mellom påvirkning i Evanger kraftverk og temperaturforholdene i Bolstadelva, ble det tatt utgangspunkt i temperaturforskjellen/differansen i Bolstadelva i forhold til i Vosso ut ifra døgndata på temperatur. Påvirkning fra kraftverket ble målt som det relative vannføringsbidraget fra Evanger kraftverk som prosent av vannføringen i Bolstadelva. Det ble først gjort en analyse der temperaturdifferansen ble testet mot vannføringsbidrag for hver måned i året basert på gjennomsnittsverdier for hver måned i perioden 1995-2021 ved bruk av lineære regresjonsmodeller. Sammenhengen mellom temperaturdifferansen mellom Bolstadelva og Vosso og det relative vannføringsbidraget fra kraftverket ble modellert med bruk av en GAM modell ved bruk av mgcv pakken i R, og vannføringsbidrag og dagnummer legges inn som smoothere, basert på døgnmiddelverdier i perioden 1995-2021. Denne modellen vil beskrive hvordan ulik grad av vannføringsbidrag påvirker temperaturdifferansen mellom Bolstadelva og Vosso gjennom året. Basert på denne modellen ble et også plottet ut predikerte verdier for temperaturdifferansen gjennom året når Evanger kraftverk bidrar med 0 %, 40 % og 80 % av vannføringen, ved bruk av pakken sjPlot i R.

Forskjell i fiskestørrelse for ulike årsklasser av laks og aure mellom Vosso og Bolstadelva ble testet ved å tilpasse lineære miksede modeller med vassdragsstrekning som faktor og år som tilfeldig faktor (random effect) ved bruk av lme4 pakken i R. Sammenhengen mellom sommertemperatur og fiskestørrelse ble analysert med enkle lineære regresjonsanalyser.

2.3 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 sannsynlighetsfunksjon for å modellere smoltifisering basert på størrelse. Målet med modellen var å teste hvordan parrstørrelse og alder ved smoltifisering endret seg for de forskjellige elveavsnittene (Bolstadelva versus Vossoelva). Modellen inkluderer 5000 individer med 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 Vosso og Bolstadelva (se Tabell 2). Ved dette tidspunktet er fisken 0.2 gram i vår modell, i henhold til «IB-salmon» modellen utviklet av Hedger m.fl. 2013. Hvert år den 15 mai gjør fisken et valg om å smoltifisering eller ikke basert på størrelsen, hvor større parr 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 vil godt representere størrelse etter endt vekstsesong. Dette er fordi fisken ikke vokser i stor grad i løpet av vinteren, og resultatet vil derfor i liten grad endres etter denne datoen.

2.3.1 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 1. 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.

2.3.2 Smoltifisering

Vi har valgt å bruke modellen fra Hedger *et al.* (2013) som er en enkel logistisk funksjon hvor sannsynligheten for å smoltifisere 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 smoltifisere, $sp1$ og $sp2$ er parameter tilpasset i Heger m.fl. (2013) og Len er lengde fra ligningen over. Denne funksjonen blir bare implementert én gang i året (15. mai).

2.3.3 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 publisasjon 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 elveavsnittene som en konsekvens av økt smoltalder. Det er ingen tetthetsavhengige effekter i denne modellen.

2.3.4 Parameterisering

For å tilpasse parameterne til data fra Vossovassdraget, brukte vi gjennomsnittsverdier av parrstørrelse fra år 2006 i Vosso (året med mest data). Deretter optimaliserte vi d og g (fra ligning 1)

ved å la modellen kjøre med en variasjon av parametere og lot modellen velge den parameterkombinasjonen 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 ungfiskundersøkelsen. Dette er plottet i Figur 23-Figur 26 og viser at de empiriske dataene stemmer relativt godt overens med modellen. Modellparameterne ble tilpasset basert på fiskevekst i Vosso, men samme parametere ble benyttet ved estimering av vekst i Bolstadelva.

Ettersom den individbaserte modellen krever en temperaturverdi per dag, og det i noen tilfeller er manglende døgnverdier, har vi brukt en enkel interpolasjon for disse manglende verdiene.

Tabell 1. Liste over relevante parametere brukt i modellen. Parameterverdiene som er tilpasset er basert på observerte vekstdata fra Vosso, og de samme parameterverdiene er benyttet for modellering av vekst i Bolstadelva.

Parameter	Verdi	Beskrivelse	Fra
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	0.553	Parameter i ligning 1	Tilpasset
g	0.1758	Parameter i ligning 1	Tilpasset
Tl	7.8	Nedre temperaturgrense for vekst	Tilpasset
Tu	25.98	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)

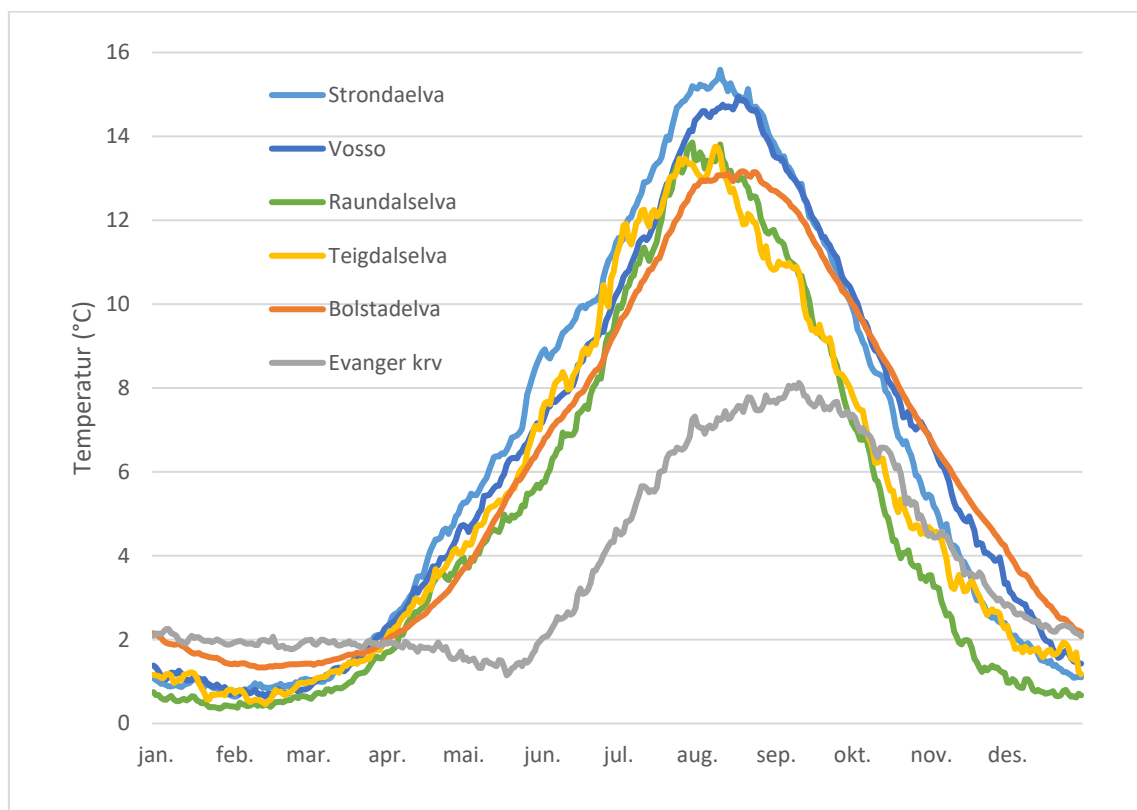
2.4 Beregning av utviklingshastighet og tidspunkt for «swimup»

Tidspunkt for «swim-up» i Bolstadelva ble beregnet for hvert år i perioden 2004-2021 ut i fra døgnmiddeltemperaturer for Bolstadelva og Vosso, og modellene fra Crisp (1981, 1988). Det er tatt utgangspunkt i gyting henholdsvis 15. november, 1. desember og 15. desember, som sannsynligvis omfatter en viktigste gyteperiode for laks i Vossovassdraget (Barlaup 2004).

3.0 Resultater

3.1 Vanntemperatur i Vossovassdraget

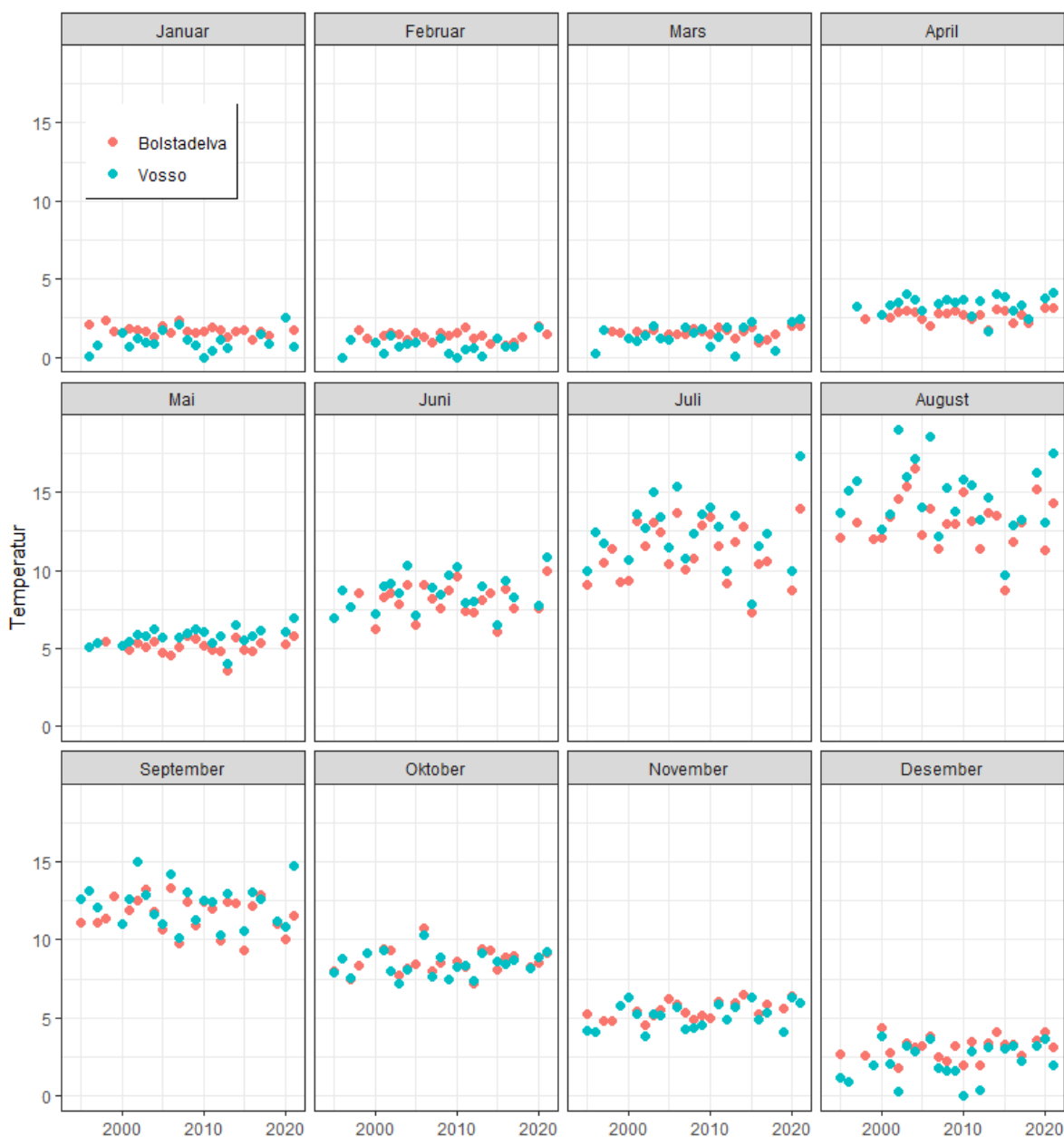
Vanntemperaturen i elvestrekninger bestemmes av en rekke ulike fysiske prosesser (konduksjon, konveksjon, stråling, fordamping, utveksling med grunnvann osv), men enkelt forklart vil den styres av temperaturen i vannmassene som tilføres elvestrekningen, samt eventuell oppvarming og nedkjøling som forekommer nedover vassdraget. Temperaturen i vannmassen kan variere noe, særlig i sakteflytende partier, mens den i rasktflytende og turbulente elvestrekninger vil være forholdsvis homogen. En oversikt over temperaturforholdene på ulike elvestrekninger i Vossovassdraget er vist i Figur 4. Et generelt trekk er at vanntemperaturen vanligvis er lav ($< 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) gjennom vinteren frem til den begynner å øke i månedsskifte mars-april. Deretter stiger temperaturen gjennom våren og forsommeren til den når et maksimum i august-september, før den deretter synker utover høsten til den når vinternivået i slutten av desember. Strondaelva er det vassdragsavsnittet som i gjennomsnitt når den høyeste vanntemperaturen ved sommermaksimum, etterfulgt av Vosso. Raundalselva og Teigdalselva, som begge har mindre grad av innsjøer i vassdragsstrengen, er vanligvis noe kaldere enn Vosso gjennom sommeren, og kjøles også raskere ned på høsten. Bolstadelva følger i stor grad samme sesongmønster som Vosso, men er kaldere i sommerperioden og varmere om vinteren. Utløpsvannet fra Evanger kraftverk er vesentlig kaldere enn de øvrige elvestrekningene på sommertid, men noe varmere gjennom vinteren.



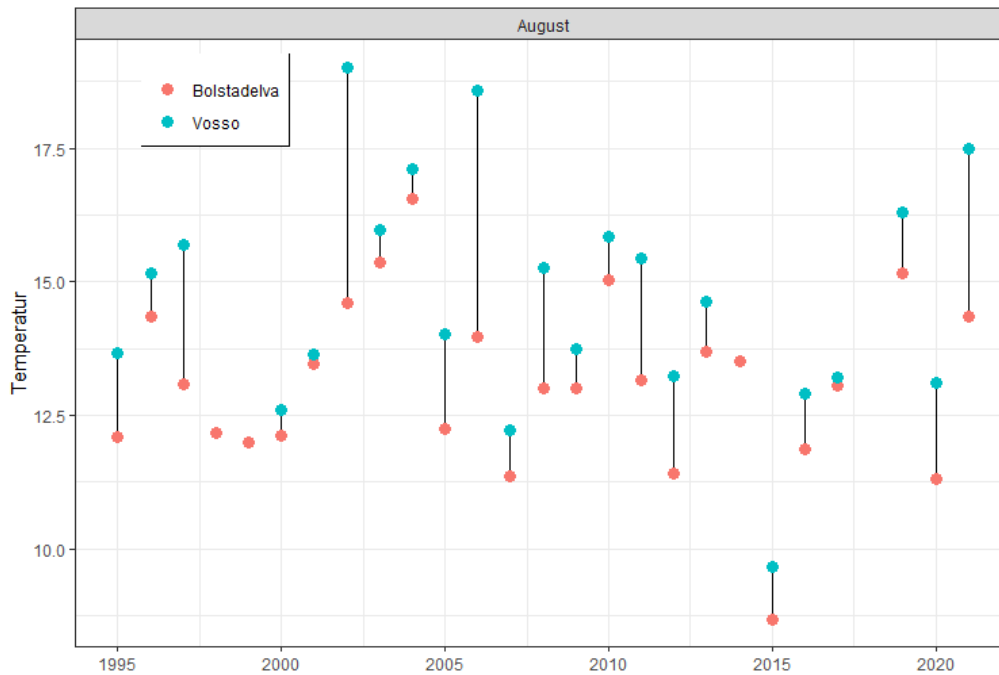
Figur 4. Gjennomsnittlige vanntemperatur i Vosso, Bolstadelva, Teigdalselva, Strondaelva, Raundalselva og utløpsvannet fra Evanger kraftverk, basert på gjennomsnittlige døgnverdier for perioden det finnes tilgjengelige data fra de ulike tidsserien fra NVE.

I Figur 5 er vanntemperaturen i Bolstadelva og Vosso vist som gjennomsnitt for hver enkelt måned for perioden 1995-2021. Temperaturforskjellen mellom de to vassdragsstrekningene er vanligvis størst i august måned, da gjennomsnittstemperaturen i Bolstadelva er 1,6 °C lavere enn i Vosso. Hvor stor differansen mellom de to elveavsnittene variere imidlertid betydelig mellom år (Figur 6).

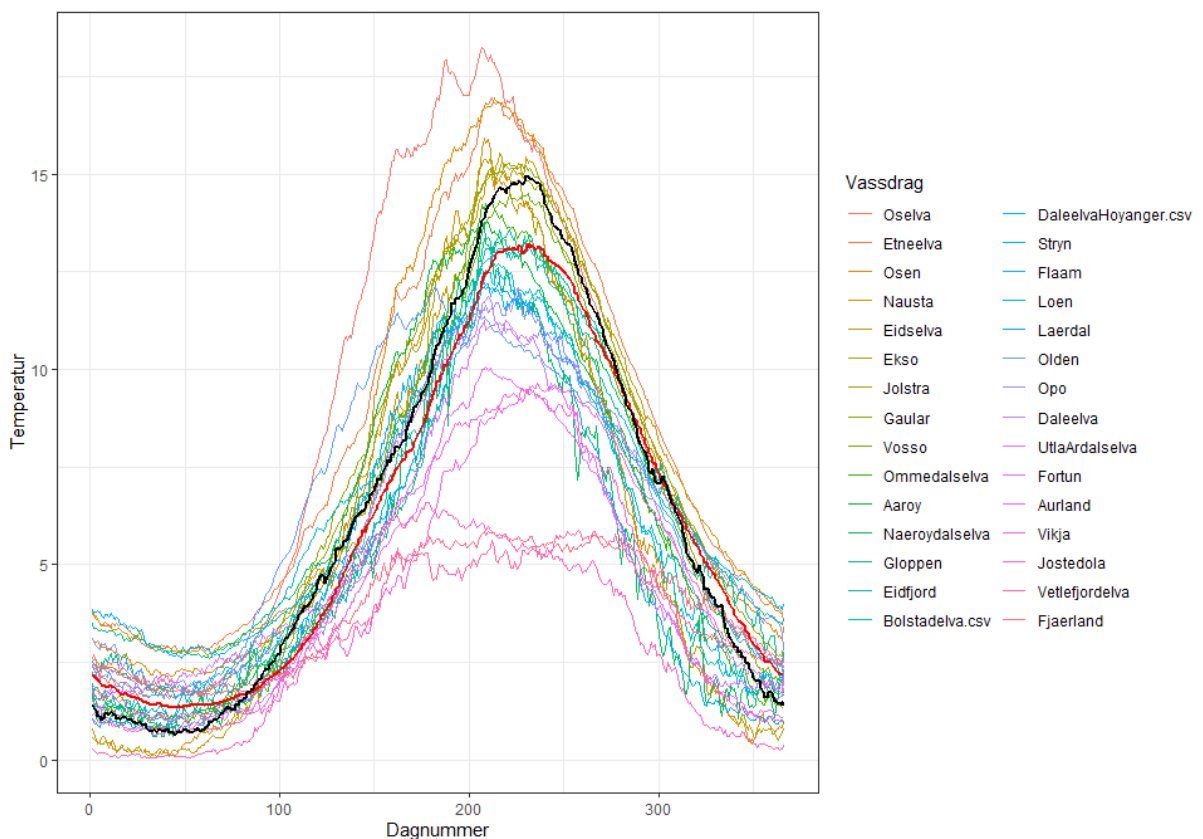
I Figur 7 er vanntemperaturen i Vosso og Bolstadelva fremstilt sammen med vanntemperaturer fra 28 andre lakseførende vassdrag i Vestland fylke hvor det foreligger data over flere år. Blant disse skiller Oselva, Etneelva og Osenvassdraget seg ut som de varmeste elvene, mens Fjærland, Vetlefjordelva og Jostedøla er de kaldeste. Vosso er forholdsvis lik i temperatur som Eidselva, Jølstra og Gaular, som er andre store vassdrag med innsjøer. Bolstadelva er mer likt vassdrag som Stryneelva og Eio i Eidfjordvassdraget, men er gjennomsnittlig varmere enn vassdrag som Flåmselva, Lærdalselva og Daleelva i Vaksdal i sommerperioden.



Figur 5. Gjennomsnittlig vanntemperatur per måned i Vosso og Bolstadelva i perioden 1995-2021.



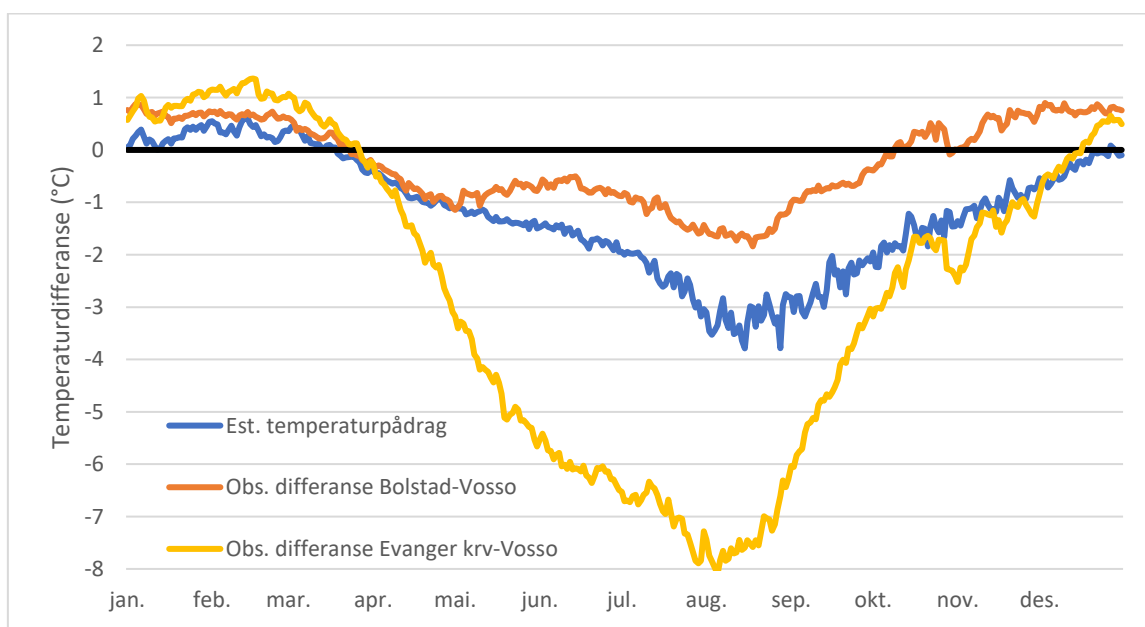
Figur 6. Gjennomsnitt av vanntemperatur i Bolstadelva og Vosso for august måned i perioden 1995-2021. De svarte strekene indikerer differansen for hvert av årene.



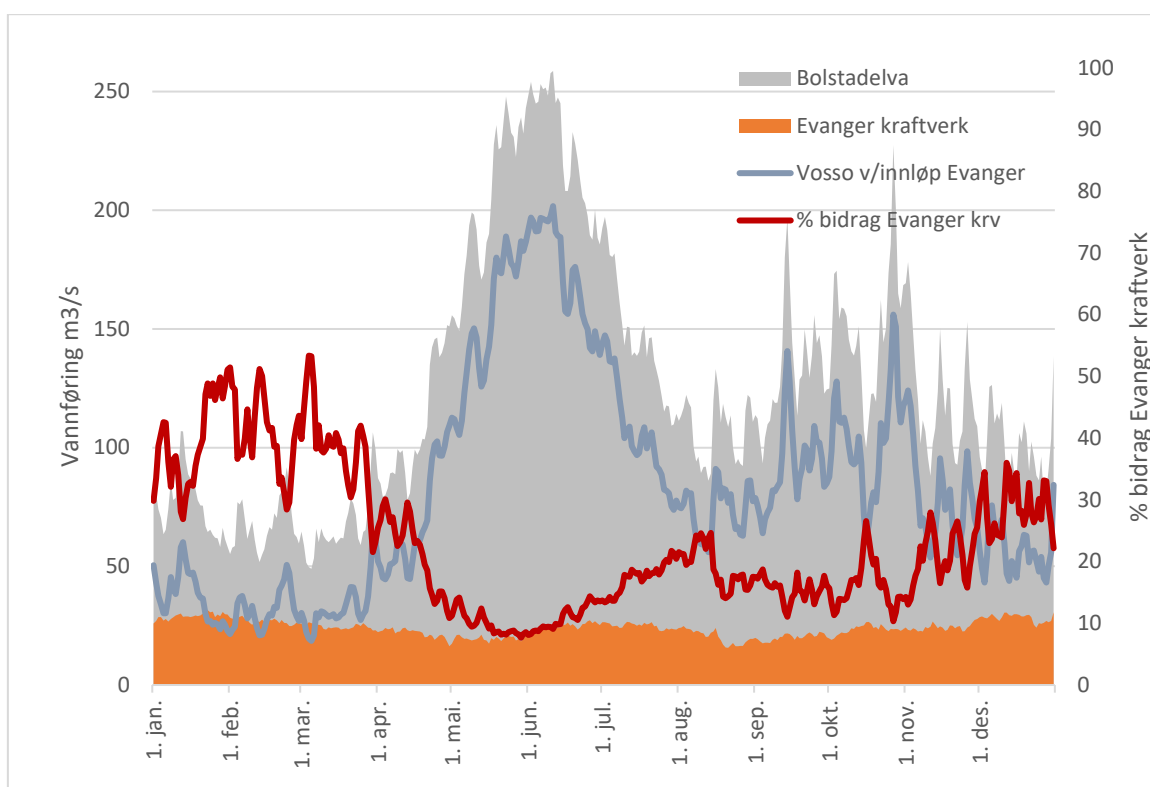
Figur 7. Gjennomsnittlig vanntemperatur (flerårgjennomsnitt på døggnivå) for ulike lakseførende vassdrag hvor det foreligger temperturregistreringer over i Vestland fylke. Vassdragene er sortert etter synkende makstemperatur. Vosso er uthevet i svart, mens Bolstadelva er uthevet i rødt. Data fra ulike vassdrag er hentet NVE eller fra egne loggerserier fra NORCE LFI.

3.2 Sammenheng mellom drift i Evanger kraftverk og temperatur i Bolstadelva

Hvor stor påvirkning Evanger kraftverk vil ha på temperaturforholdene i vassdraget nedstrøms kraftverksutløpet kan forventes å være avhengig av (1) hvor stor temperaturforskjellen er mellom kraftverksvann og de øvrige vannmassene, samt (2) hvor stort det relative vannføringsbidraget fra Evanger kraftverk er i forhold til vannføring i Vosso og de øvrige tilførselselvene. Som det kommer frem av Figur 4 tilfører Evanger kraftverk vann som er varmere enn det naturlige tilsiget i vassdraget på vinteren og vesentlig kaldere i sommerperioden. Dette er nærmere illustrert i Figur 8, som viser at temperaturforskjellen i vannet fra Evanger kraftverk i gjennomsnitt er om lag 1 °C varmere enn vannet i Vosso om vinteren, og 7-8 °C kaldere enn Vosso i august måned, da temperaturforskjellen er størst. I gjennomsnitt bidrar Evanger kraftverk med om lag 19 % av vannføringsvolumet til Bolstadelva gjennom et år (BKK 2021). Det relative vannføringsbidraget varierer imidlertid betydelig både gjennom året og i ulike perioder mellom år, avhengig av størrelsen på tilsiget fra Vosso og produksjon i kraftstasjonen. Det relative vannføringsbidraget fra Evanger kraftverk er vanligvis størst på vinteren, når tilsiget fra Vosso vanligvis er lavt, og lavest under vårflommen i mai-juni (Figur 9). Ved å ta utgangspunkt i temperatur og vannføring fra Evanger kraftverk har vi beregnet hva temperaturpådraget fra kraftverket i gjennomsnitt (skalert etter relativt vannføringsbidrag) utgjør i forhold til totalvannføringen i Bolstadelva. Dette kan sammenliknes med en situasjon der vannføringen fra kraftverket har utløp direkte i Bolstadelva (dvs uten å passere Evangervatnet), og vanntemperaturen ellers ville være lik som i Vosso. Resultatene tilsier at Evanger kraftverk da vil bidra til å øke temperaturen i vassdraget vinterstid og ha en nedkjølende effekt sommerstid. Denne nedkjølingseffekten er størst i august. Til sammenlikning viser den observerte temperaturforskjellen mellom Bolstadelva og Vosso et likt mønster, men den observerte temperaturforskjellen er noe mindre enn det direkte temperturpådraget (Figur 8). Dette skyldes sannsynligvis at temperatureffekten endrer seg gjennom Evangervatnet.

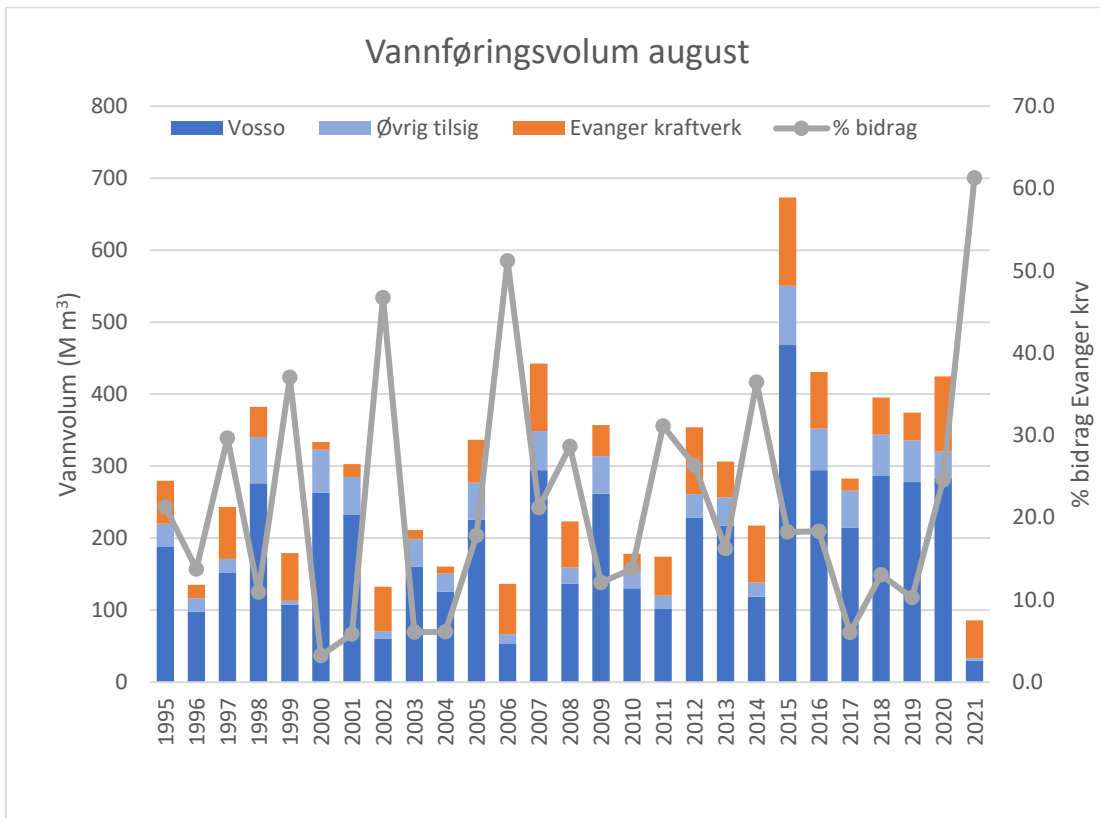


Figur 8. Gjennomsnittlig observert temperturdifferanse gjennom året mellom Evanger kraftverk og Vosso og mellom Bolstadelva og Vosso, samt estimat av vektet temperturpådrag fra Evanger kraftverk basert vannføring og temperatur i produksjonsvannet fra Evanger kraftverk sammenliknet med Vosso. Kurvene er basert på data på døggnivå gjennom året fra perioden 1995-2021, mens vektet temperturpådrag er beregnet basert på flerårsgjennomsnitt av temperatur og vannføring fra Evanger kraftverk og Vosso.

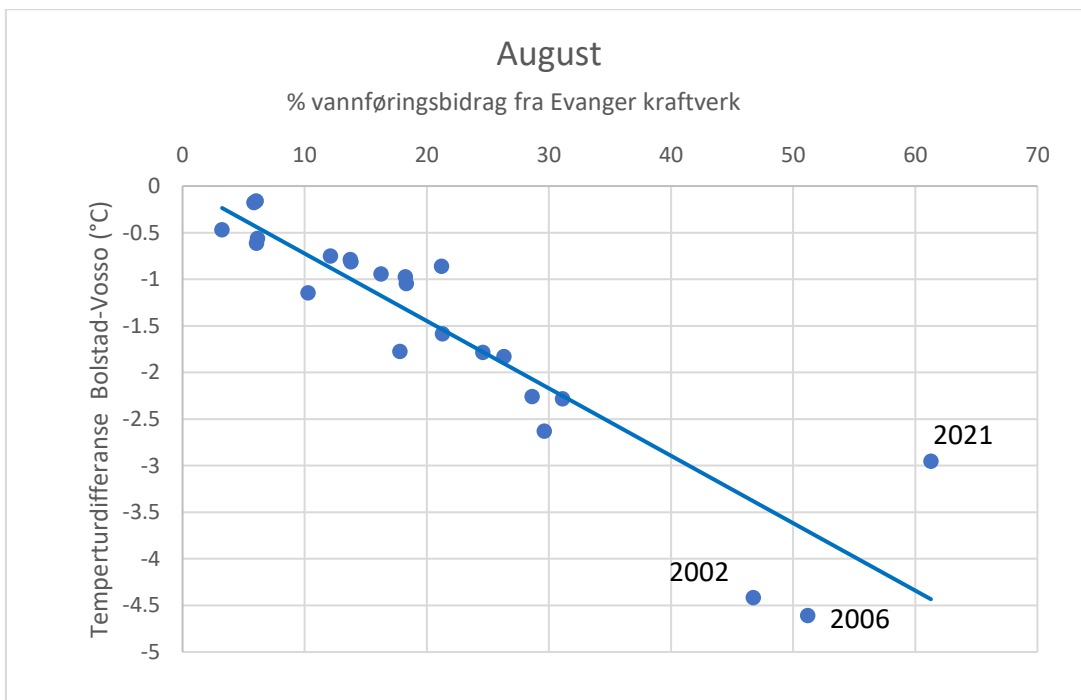


Figur 9. Gjennomsnittlig vannføring i Bolstadelva, Vosso og Evanger kraftverk, samt det relative vannføringsbidraget fra Evanger kraftverk, vist som gjennomsnitt på døgnnivå for perioden 1995-2021. Data oppgitt fra Eviny.

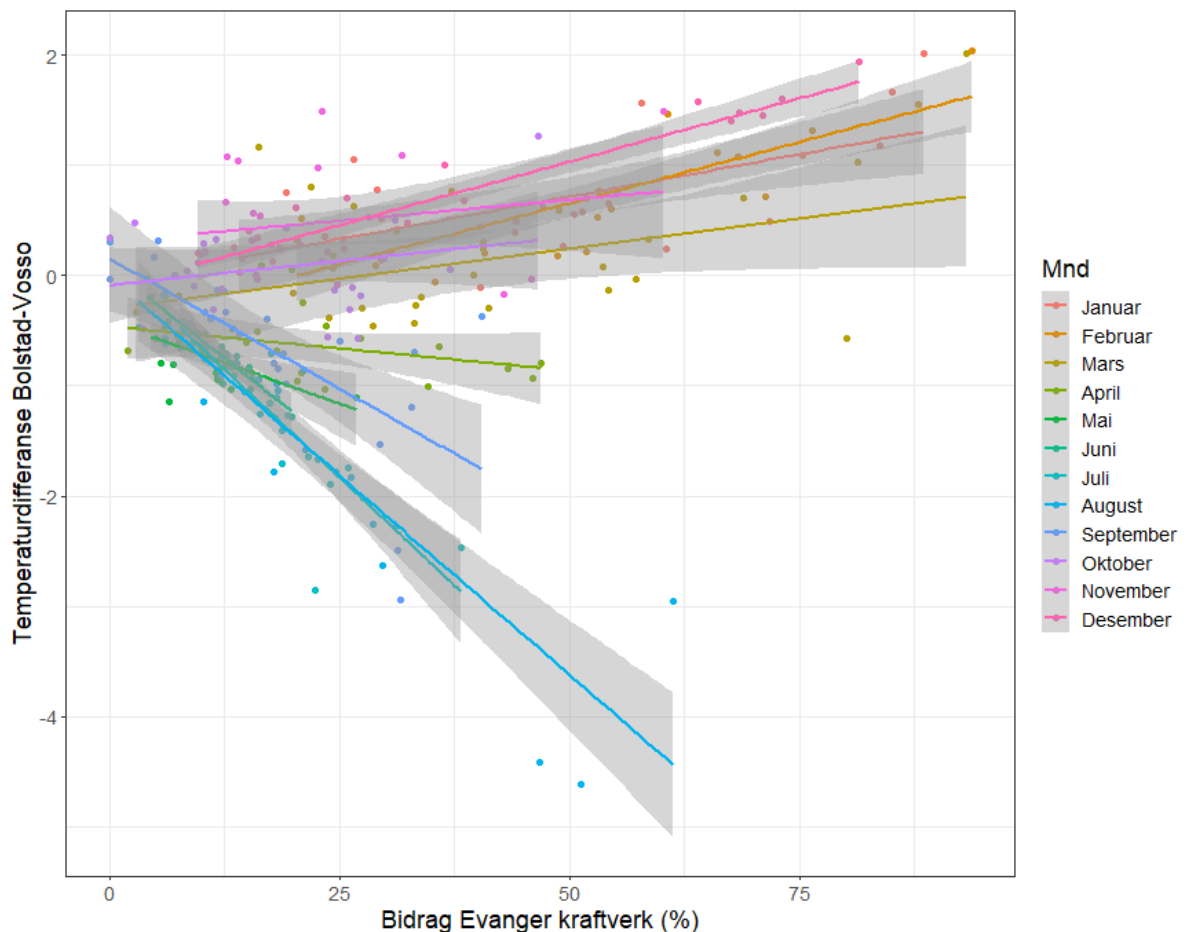
I tillegg til at det relative vannføringsbidraget fra Evanger kraftverk varierer gjennom året, er det også betydelig forskjell i hvor stort bidrag kraftverket utgjør i vannføring i ulike perioder mellom år. Dette er illustrert i Figur 10, som viser at det samlede vannføringsbidraget fra Evanger kraftverk i løpet av august måned har variert fra < 10 % til over 50 % i ulike år i perioden 1995-2021. Årene 2002, 2006 og 2021 peker seg ut som tre år der vannføringsbidraget fra kraftverket var særlig stort ettersom dette var tørre år med lav vannføring i Vosso. Det er også en signifikant sammenheng mellom temperaturdifferansen mellom Bolstadelva og Vosso og det relative vannføringsbidraget fra Evanger kraftstasjon i august måned for ulike år (Figur 11), og der årene 2002, 2006 og 2021 peker seg ut med størst temperaturforskjell. Dette viser at temperaturen i august måned i Bolstadelva er kaldere relativt til Vosso i år da driftsvannet fra Evanger kraftverk utgjør en høy andel av vannføringen. Tilsvarende sammenheng for de ulike månedene i året er vist i Figur 12, og viser at sammenhengen mellom vannføring og temperaturdifferansen er positiv i vintermånedene (dvs. desember, januar og februar), mens sammenhengen er negativ i månedene mai, juni, juli, august og september. I de øvrige månedene om høsten og våren er det ingen klar sammenheng, noe som heller ikke er å forvente ettersom forskjellen i temperatur mellom kraftverk og elv da er mindre.



Figur 10. Vannføringsvolum fra Vosso og øvrig tilsig, Evanger kraftverk, samt det relative vannføringsbidraget fra Evanger kraftverk (som % av vannføringen i Bolstadelva) i løpet av august måned i ulike år i perioden 1995-2021. Data er basert på døgnverdier fra vannføring.

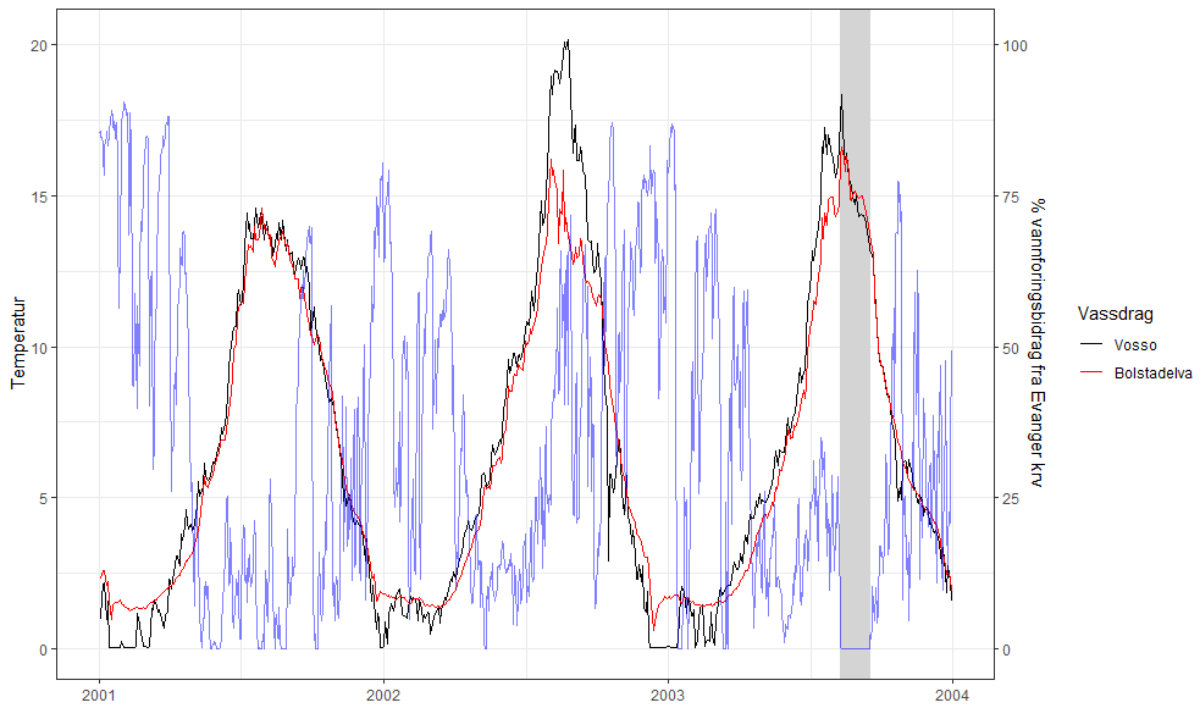


Figur 11. Sammenheng mellom det relative vannføringsbidraget fra Evanger kraftverk og gjennomsnittlig temperaturdifferanse mellom Bolstadelva og Vosso i august måned i perioden 1995-2021.

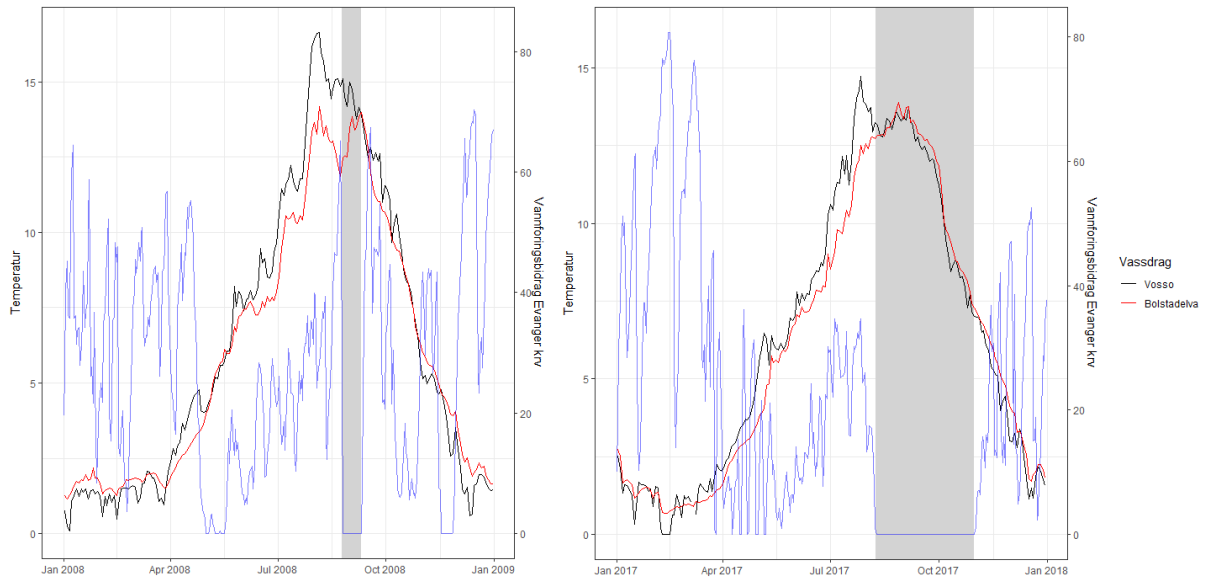


Figur 12. Sammenheng mellom det relative vannføringsbidraget fra Evanger kraftverk mot den gjennomsnittlige temperaturdifferansen mellom Bolstadelva og Vosso i ulike måneder i årene 1995-2021.

Sammenhengen mellom vannføringsbidraget fra Evanger kraftverk og vanntemperaturen i Bolstadelva er også vist Figur 13 for årene 2001-2003. I 2001 utgjør driftsvannføringen fra Evanger kraftverk en forholdsvis lav andel (hovedsakelig < 25 %) av vannføringen i Bolstadelva gjennom store deler av sommeren, og temperaturen i Bolstadelva er også forholdsvis lik som i Vosso i dette året. I 2002 utgjør bidraget fra Evanger kraftverk en forholdsvis høy andel av vannføringen, og temperaturen i Bolstadelva er da også vesentlig lavere enn i Vosso dette året. I 2003 utgjør vannføringsbidraget fra Evanger om lag 20-30 % av vannføringen på forsommeren, og det er da også en klar temperaturforskjell i løpet av første del av sommeren. Fra 10. juli -17. september 2003 stanser driften i kraftverket, og temperaturen i Bolstadelva øker i denne perioden og blir da raskt lik temperaturen i Vosso. En tilsvarende effekt kan ses ved andre anledninger når driften i kraftverket stanser over lengre perioder, noe som er illustrert ved to eksempler fra 2008 og 2017 i Figur 14, der stans i kraftverket raskt fører til at vanntemperaturen i Bolstadelva øker og tilnærmer seg temperaturen i Vosso. I Vedlegg 1 er data for vanntemperatur og i Bolstadelva og Vosso, samt det relative vannføringsbidraget fra Evanger kraftverk oppgitt for perioden 1995-2021.



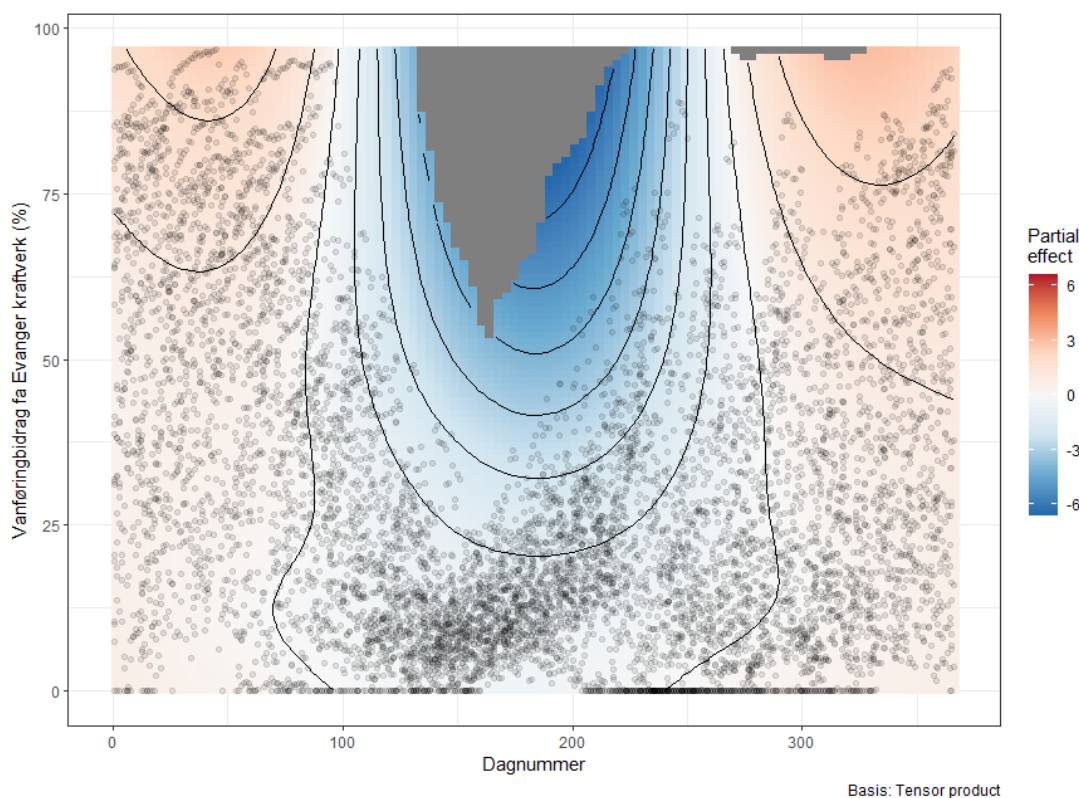
Figur 13. Vanntemperatur i Vosso og Bolstadelva i årene 2001-2003, samt vannføringsbidraget fra driftsvannføringen fra Evanger kraftverk som % av vannføringen i Bolstadelva (blå linje). Perioden med stans i drift fra 10. juli-17. september 2003 er angitt i grått.



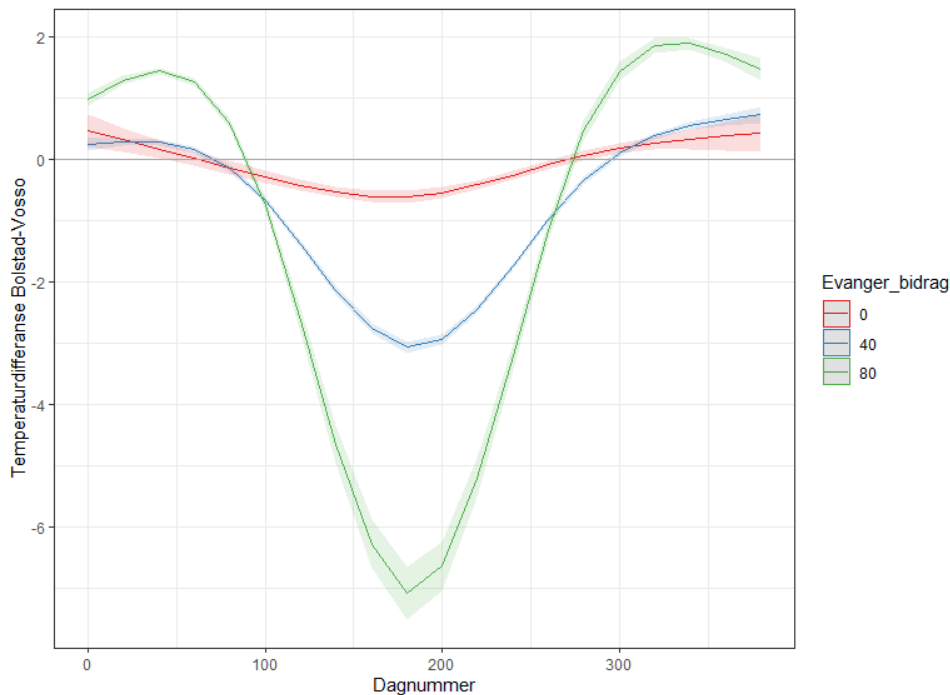
Figur 14. Vanntemperatur i Vosso og Bolstadelva, samt vannføringsbidraget fra driftsvannføringen fra Evanger kraftverk som % av vannføringen i Bolstadelva (blå linje) i 2008 (t.v.) og 2017 (t.h.). Perioder med stans i drift i Evanger kraftverk om sommeren er angitt i grått.

For å undersøke den statistiske sammenhengen mellom temperaturforskjellen i Bolstadelva og Vosso i forhold til driftsvannføring fra Evanger kraftverk nærmere, ble temperaturdifferansen mellom vassdragsavsnittene modellert som en funksjon av relativt vannføringsbidrag fra Evanger kraftverk og

tid på året ved bruk av en GAM modell for døgndata i perioden 1995-2021. Resultatet fra denne er illustrert i Figur 15, og viser som de overnevnte analysene at et høyt bidrag fra Evanger kraftverk gir høyere temperatur i Bolstadelva sammenliknet med Vosso om vinteren, og lavere temperaturer om sommeren. Videre benyttet vi denne modellen til å predikere forventet temperaturforskjell mellom elveavsnittene gjennom året ved henholdsvis 0 %, 40 % og 80 % vannføringsbidrag fra Evanger kraftverk (Figur 16). Resultatene viser at et vannføringsbidrag på 80 % fra kraftverket er forventet å resultere i 1-1,5 °C høyere temperatur i Bolstadelva på vinteren og opp til 7 °C kaldere om sommeren, mens et bidrag på 40 % vil gi marginalt økt vintertemperatur (<0,5 °C) og om lag 3 °C lavere sommertemperatur. Videre predikerer modellen at temperaturforskjellen uten bidrag fra kraftverket vil resultere i marginalt høyere temperaturer i Bolstadelva om vinteren, og opp til om lag 0,5 °C kaldere enn Vosso om sommeren. Det er verdt å merke seg at modellen her predikerer sammenhengen basert på observasjoner ved samme tidspunkt, og tar ikke hensyn til eventuelle tidsforskjeller i temperturrespons. For eksempel tilsier observasjonene Figur 14 at det tar noen dager før temperaturen øker og når det samme nivået som i Vosso ved stans i kraftverket, noe som ikke vil fanges opp i modellen. Modellen er allikevel nyttig og vi tilsa at temperaturforskjellen mellom Bolstadelva og Vosso vil være liten uten drift i kraftverket.



Figur 15. Resultat fra en statistisk GAM modell som beskriver hvordan temperaturredifferansen mellom Bolstadelva og Vosso (fargeskalaen) endrer seg gjennom året (dagnummer) og vannføringsbidraget fra Evanger kraftverk. Rød farge indikerer at vanntemperaturen i Bolstadelva er varmere enn i Vosso, mens blå farge indikere at Bolstadelva er kaldere. De svarte punktene indikere døgnerverdier for vannføringsbidrag fra Evanger kraftverk i perioden 1995-2021.



Figur 16. Prediksjoner fra GAM-modellen som viser forventet temperaturforskjell mellom Bolstadelva og Vosso ved vannføringsbidrag fra Evanger kraftverk på henholdsvis 0%, 40 % og 80 %. Positive verdier for temperaturdifferanse tilsier at Bolstadelva er varmere enn Vosso, mens negative verdier tilsier at Bolstadelva er kaldere enn Vosso.

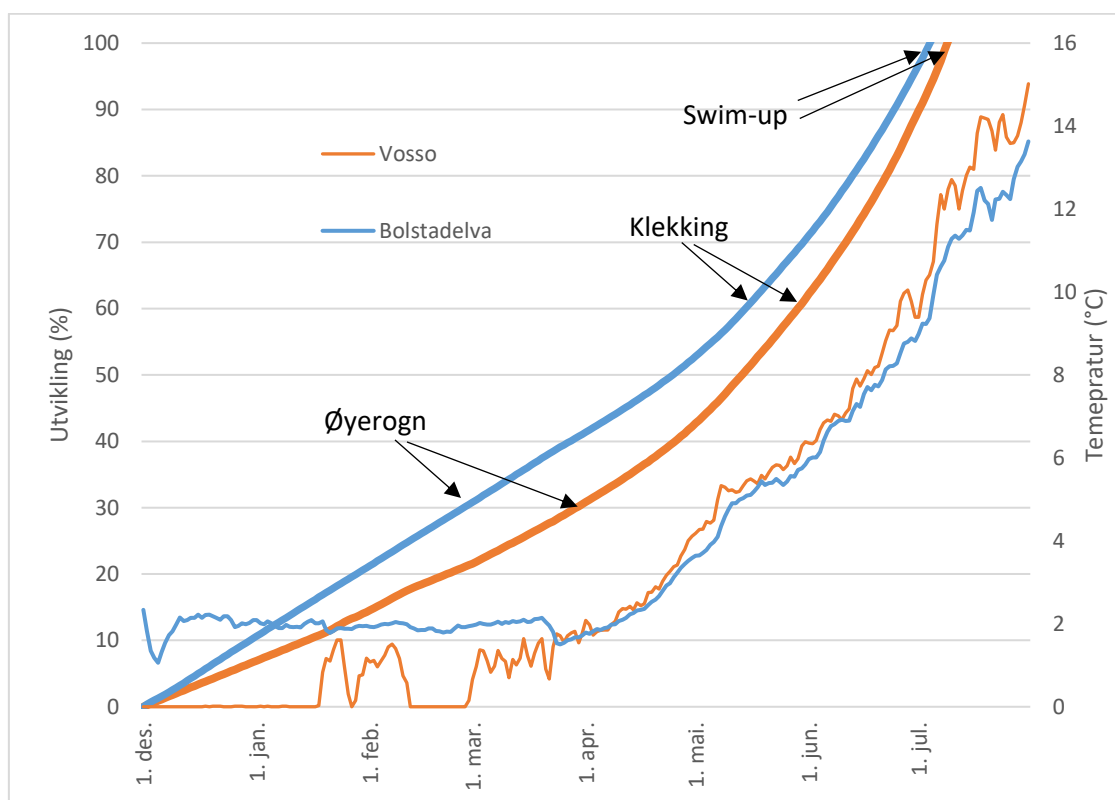
3.3 Utviklingshastighet og tidspunkt for «swim-up»

Vekst- og utviklingshastigheten til egg og plommeseekkyngelen er temperaturavhengig. Vanntemperaturen er dermed sammen med gytetidspunktet bestemmende for når yngelen klekker og kommer opp av grusen. Eggene gytes i gytetroper i elvegrusen på høsten, hvor de deretter utvikler seg gjennom vinteren. Ut på våren klekkes eggene, og plommeseekkyngelen som de nå kalles blir liggende i gytetroppen og utvikle seg videre mens den bruker næringen fra plommesekken. Tidspunktet der yngelen er ferdig med plommesekken og kommer opp av grusen for å begynne å ta til seg næring kalles gjerne «swim-up», og er en kritisk periode i laksens livssyklus. Yngelen er på dette tidspunktet liten med begrenset svømmekapasitet, og er spesielt sårbar for ugunstige forhold og predasjon fra større fisk. I tillegg begynner yngelen på dette tidspunktet å hevde territorier, noe som ofte fører til intens konkurranse og høy tetthetsavhengig dødelighet i ukene etter at yngelen har kommet opp av grusen (Einum mfl. 2011). Gytetidspunktet er også viktig her, ettersom det sammen med temperaturen blir bestemmende for swim-up tidspunktet. Gytetidspunktet varierer mellom vassdrag, og er antatt å være en evolusjonær tilpasning til temperaturregimet slik at yngelen skal komme opp til det tidspunktet som er mest optimalt for yngelens overlevelse (Skoglund mfl. 2011). Endringer i temperaturforhold kan føre til at utviklingen forskyves og at yngelen kommer opp til et tidspunkt som er mindre gunstig for yngelens overlevelse.

Ettersom Evanger kraftverk bidrar til høyere vanntemperatur om vinteren i Bolstadelva, vil dette også kunne føre til at eggene utvikler seg hurtigere gjennom vinteren. Dersom gytetidspunkt og temperatur er kjent, er det mulig å beregne utviklingshastighet og tidspunkt for swim-up. Dette er illustrert i Figur 17 som viser utvikling for lakseegg gytt 1. desember 2010. Som følge av høyere vanntemperatur tidlig på vinteren går egg-utviklingen i Bolstadelva raskere, noe som vil føre til tidligere klekking. Utover våren øker imidlertid vanntemperaturen noe raskere i Vosso enn i

Bolstadelva. Dette bidrar til at perioden i plommeseekyngel-stadiet går raskere i Vosso, og resulterer i tilnærmet lik swim-up periode i begge elvene.

Observasjoner av gyteaktivitet og stryking av laks på Voss klekkeri tilsier at laksen i Vossovassdraget gyter fra midten av november og ut desember. En oversikt over beregnet tidspunkt for swim-up hos lakseyngel i Vosso og Bolstadelva i perioden 2004-2021, samt elvetemperaturen på dette tidspunktet, er gitt i Tabell 2. Disse beregningene viser at forventet periode for swim-up er i slutten av juni til starten av juli, og at swim-up ved gyting 1. desember i gjennomsnitt er to dager senere i Vosso enn i Bolstadelva. Elvetemperaturen har på denne tiden nådd 9-11 °C, og er da vanligvis noe lavere i Bolstadelva enn i Vosso.



Figur 17. Eksempel på forventet utvikling av egg og plommeseekyngel for laks gytt den 1. desember 2010 i henholdvis Vosso og Bolstadelva. De tykke linjene angir utvikling fra 0 (gyting) til 100 % (swimup). De tynne linjene angir temperatur.

Tabell 2. Beregnet tidspunkt for «swimup» for lakseyngel i Bolstadelva og Vosso ved tre ulike gytetidspunkt, samt vanntemperaturen (døgnmiddel) i elven ved dette tidspunktet. Tidspunktet er for «swimup» er basert beregnet ut i fra temperatur og modeller fra Crisp (1981; 1988)

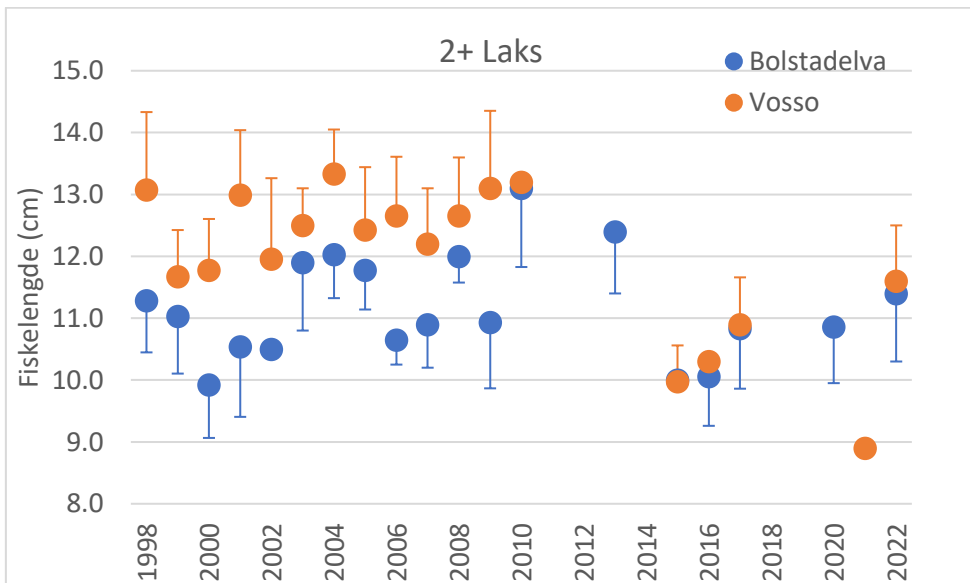
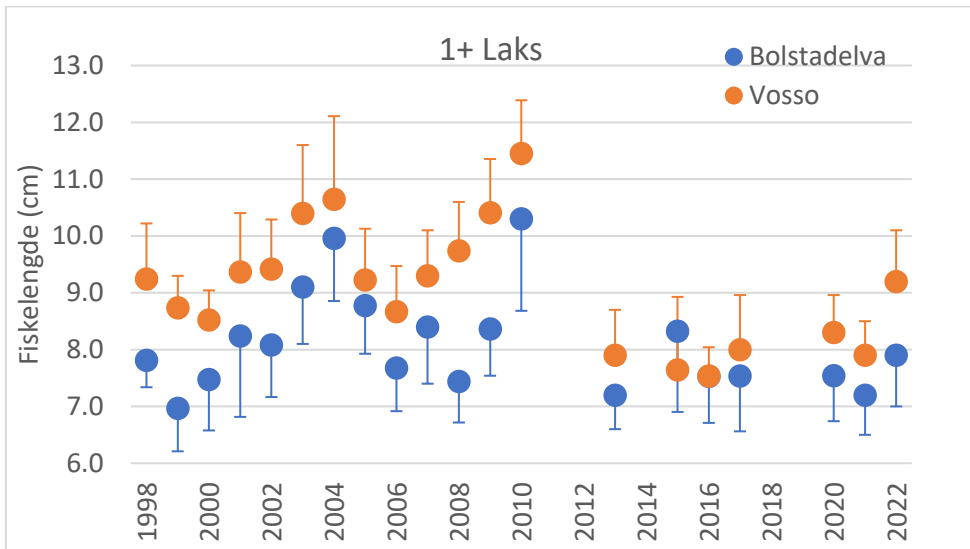
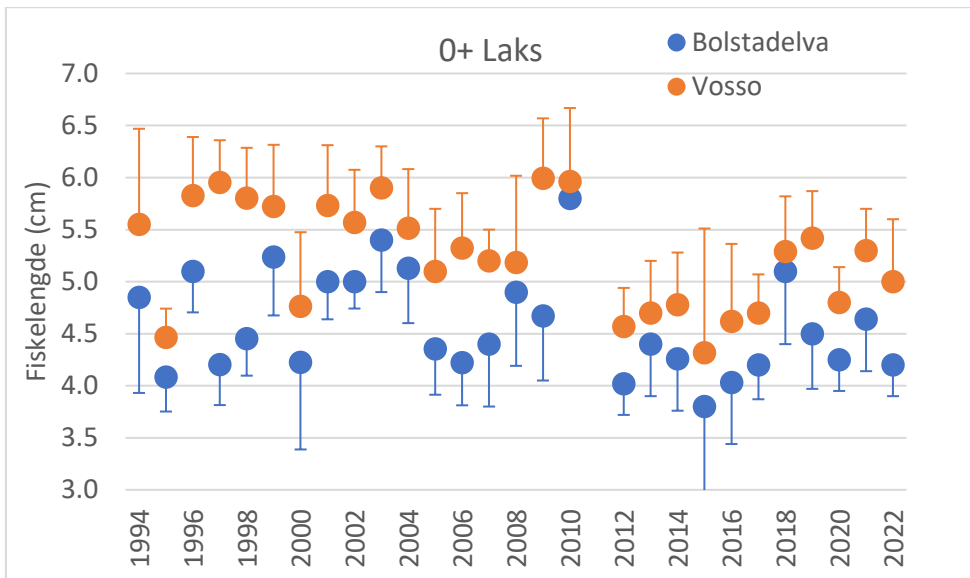
År	Vassdrags-avsnitt	Swim-up ved gyting 15.nov		Swim-up ved gyting 1.des		Swim-up ved gyting 15.des	
		Dato	Temp	Dato	Temp	Dato	Temp
2004	Bolstad	19. jun.	9.4	27. jun.	10.0	3. jul.	11.2
	Vosso	14. jun.	9.6	22. jun.	10.7	27. jun.	11.4
2005	Bolstad	27. jun.	7.1	7. jul.	8.8	14. jul.	10.1
	Vosso	25. jun.	7.4	4. jul.	9.8	10. jul.	10.1
2006	Bolstad	22. jun.	10.1	1. jul.	11.8	5. jul.	12.9
	Vosso	-	-	-	-	-	-
2007	Bolstad	19. jun.	8.5	28. jun.	9.4	5. jul.	10.0
	Vosso	16. jun.	9.6	24. jun.	9.6	30. jun.	10.7
2008	Bolstad	21. jun.	7.6	1. jul.	8.3	7. jul.	10.7
	Vosso	22. jun.	8.5	29. jun.	9.3	4. jul.	11.4
2009	Bolstad	22. jun.	9.0	29. jun.	11.0	3. jul.	11.6
	Vosso	21. jun.	9.9	27. jun.	11.7	30. jun.	11.6
2010	Bolstad	19. jun.	10.1	26. jun.	10.8	1. jul.	11.8
	Vosso	22. jun.	10.9	28. jun.	12.2	2. jul.	13.1
2011	Bolstad	26. jun.	8.5	5. jul.	9.9	8. jul.	10.8
	Vosso	5. jul.	10.7	9. jul.	12.5	11. jul.	12.6
2012	Bolstad	22. jun.	7.8	4. jul.	8.1	11. jul.	9.1
	Vosso	18. jun.	7.8	29. jun.	9.2	5. jul.	9.3
2013	Bolstad	2. jul.	10.2	9. jul.	10.8	13. jul.	11.2
	Vosso	5. jul.	11.3	11. jul.	12.5	14. jul.	12.2
2014	Bolstad	18. jun.	8.6	28. jun.	10.2	3. jul.	10.8
	Vosso	-	-	-	-	-	-
2015	Bolstad	22. jun.	6.4	6. jul.	7.2	16. jul.	7.0
	Vosso	-	-	-	-	-	-
2016	Bolstad	24. jun.	9.8	3. jul.	9.5	9. jul.	9.1
	Vosso	20. jun.	10.2	28. jun.	9.7	4. jul.	9.7
2017	Bolstad	24. jun.	7.8	3. jul.	8.9	9. jul.	9.7
	Vosso	19. jun.	8.5	28. jun.	9.5	3. jul.	10.4
2018	Bolstad	-	-	-	-	-	-
	Vosso	-	-	-	-	-	-
2019	Bolstad	11. jun.	8.9	19. jun.	10.5	25. jun.	10.8
	Vosso	-	-	-	-	-	-
2020	Bolstad	15. jun.	7.4	26. jun.	7.8	3. jul.	8.0
	Vosso	13. jun.	8.0	21. jun.	7.6	28. jun.	9.4
2021	Bolstad	10. jun.	10.2	20. jun.	9.4	26. jun.	10.9
	Vosso	8. jun.	10.4	16. jun.	9.6	22. jun.	10.6
Gj.sn.	Bolstad	20. jun	8.7	30. jun.	9.5	5. jul.	10.3
	Vosso	20. jun.	9.4	28. jun.	10.3	3. jul.	11.0

3.4 Temperatur og vekst hos ungfisk

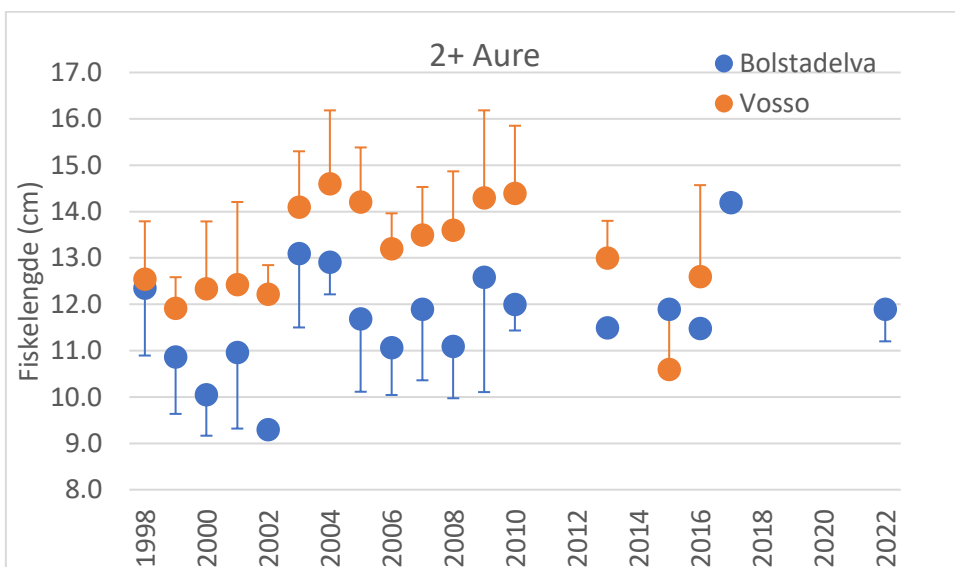
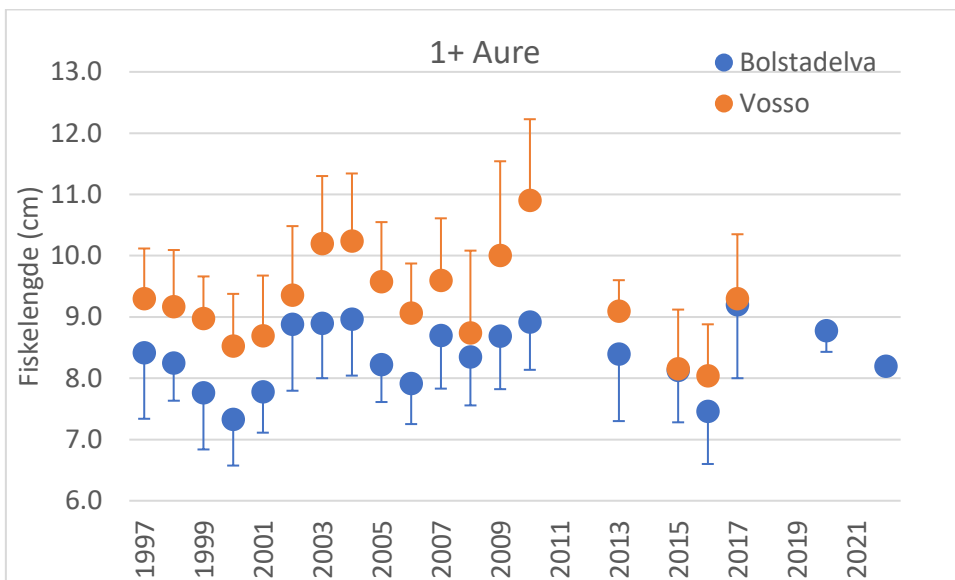
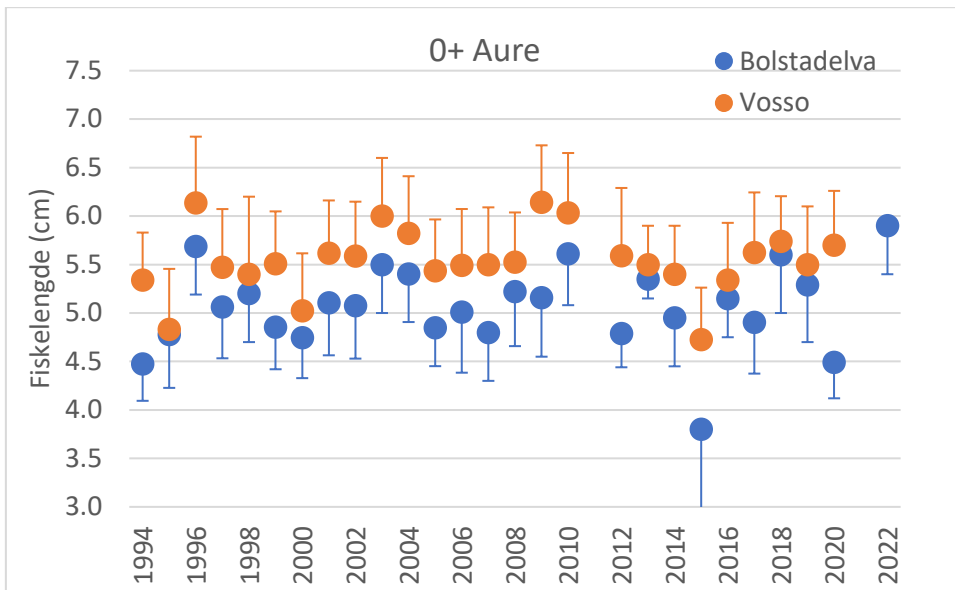
Det foreligger data fra ungfiskundersøkelser i Vossovassdraget mer eller mindre årlig i perioden 1994-2022. Et unntak er i 2011 da det ikke ble utført undersøkelser. For hele perioden foreligger det også data på fiskestørrelse for årsyngel/en-somrige (0+) laks og aure, mens aldersbestemte data for eldre ungfisk (1+ og 2+) kun foreligger for deler av perioden. En oversikt over gjennomsnittlige fiskelengder for ulike årsklasser av ungfisk av laks i Bolstadelva og Vosso er vist i Figur 18 og for aure i Figur 19. Dataene viser at ungfisken gjennomgående er mindre i Bolstadelva sammenliknet med i Vosso. Forskjellene i fiskestørrelse mellom vassdragsavsnittene er statistisk signifikant for alle årsklasser og både for laks og aure (lineære miksede modeller, alle $P < 0,01$), og gjenspeiler dermed at vekstforholdene er signifikant dårligere i Bolstadelva enn i Vosso.

En stor del av mellomårsvariasjonen i fiskestørrelse kan forklares med temperaturforhold om sommeren, og det er en signifikant sammenheng mellom temperaturforholdene i juli-august, som er den viktigste delen av vekstsesongen for ungfisk, og fiskestørrelse for årsyngel/en-somrige laks (lineær regresjon, $F_{1,48} = 27,2$, $P < 0,001$), og aure ($F_{1,48} = 31,7$, $P < 0,001$) (Figur 20). Sammenhengen mellom temperatur og vekst er imidlertid forskjellig for Vosso og Bolstadelva, noe som illustreres ved at regresjonslinjene i Figur 20 for sammenheng mellom temperatur og vekst Bolstadelva ligger parallelt, men på et lavere nivå sammenliknet med i Vosso. Sammenhengen er mest markant hos laks, men samme tendens er også til stede hos aure. Dette tilsier at ungfisken vokser dårligere på samme temperatur i Bolstadelva enn i Vosso. Dette mønsteret kommer også fram i modelleringen som er beskrevet under. Det er også et tilsvarende mønster for sammenheng mellom sommertemperatur og fiskestørrelse hos to-somrig (1+, Figur 21), og tre-somrig (2+, Figur 22) laks og aure, men her er det noe færre datapunkter og mer variasjon og for 2+ er sammenhengen med temperatur kun nær-signifikant ($P=0,06$).

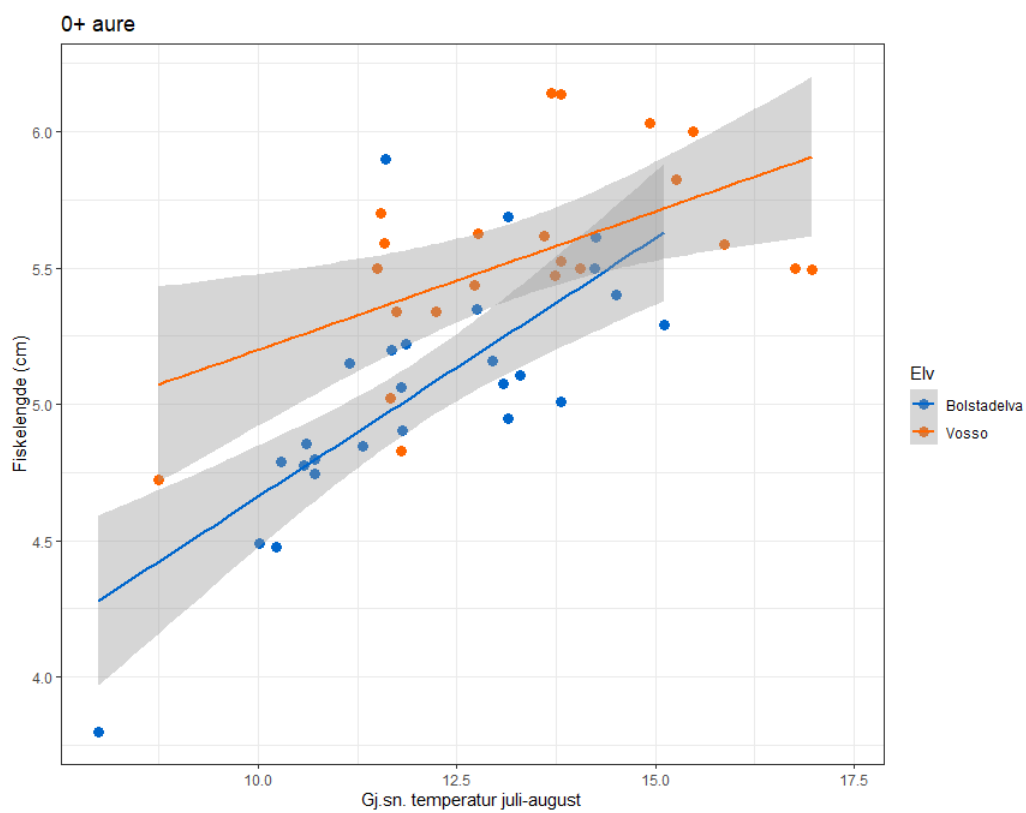
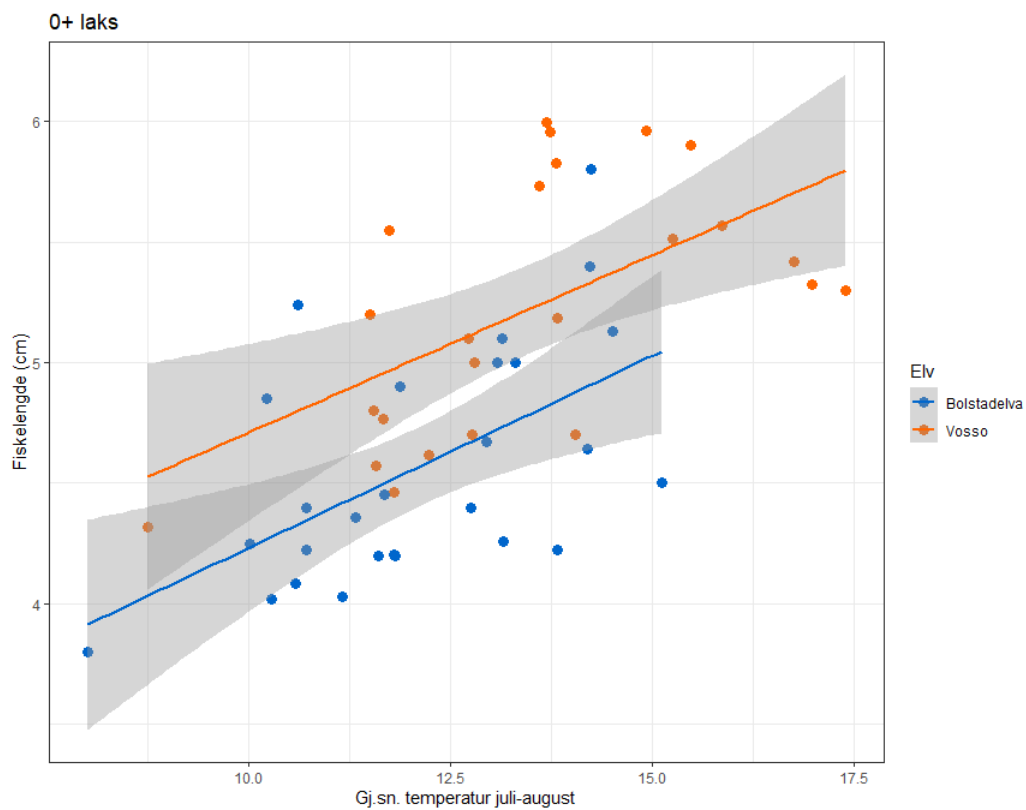
Et annet påfallende mønster er at fiskestørrelsene viser en negativ trend over tid, og da særlig etter 2011. Dette er også signifikant for alle årsklasser hos laks (lineære regresjoner, $P < 0,05$), men ikke hos aure ($P > 0,05$). Denne endringen synes ikke å skyldes endringer i temperaturforhold, ettersom det ikke er noen tilsvarende trend i vanntemperatur i samme periode.



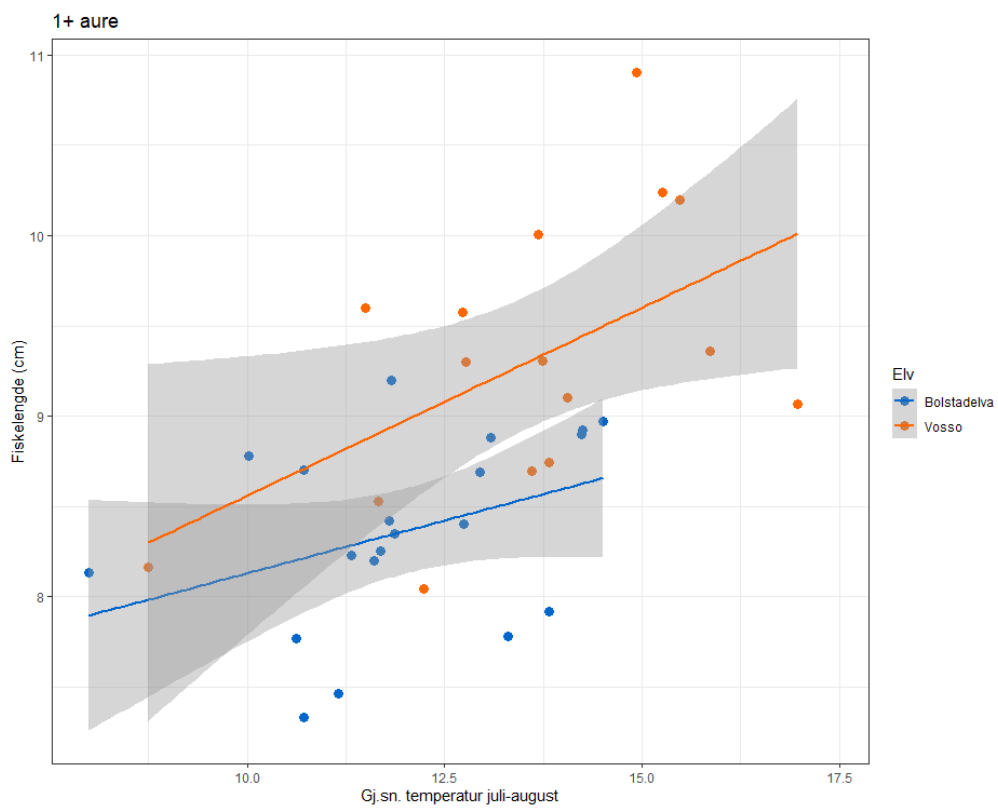
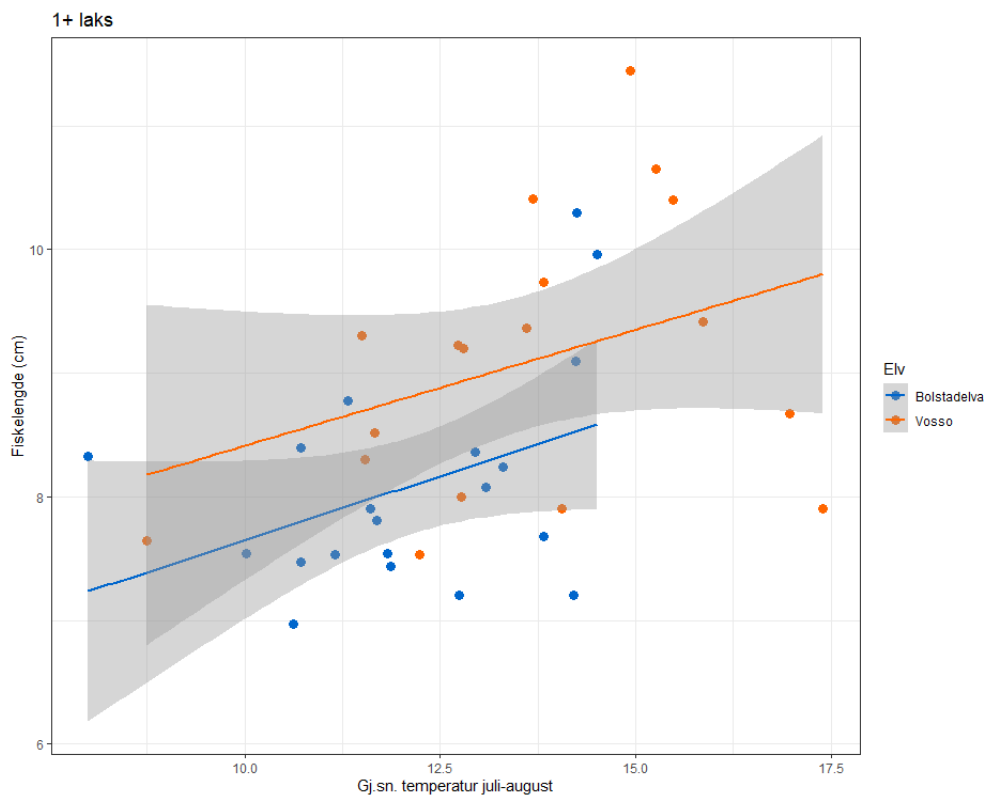
Figur 18. Gjennomsnittlig fiskestørrelse hos ulike aldersgrupper av lakseunger i Bolstadelva og Vosso i år med tilgjengelige data i perioden 1994-2022.



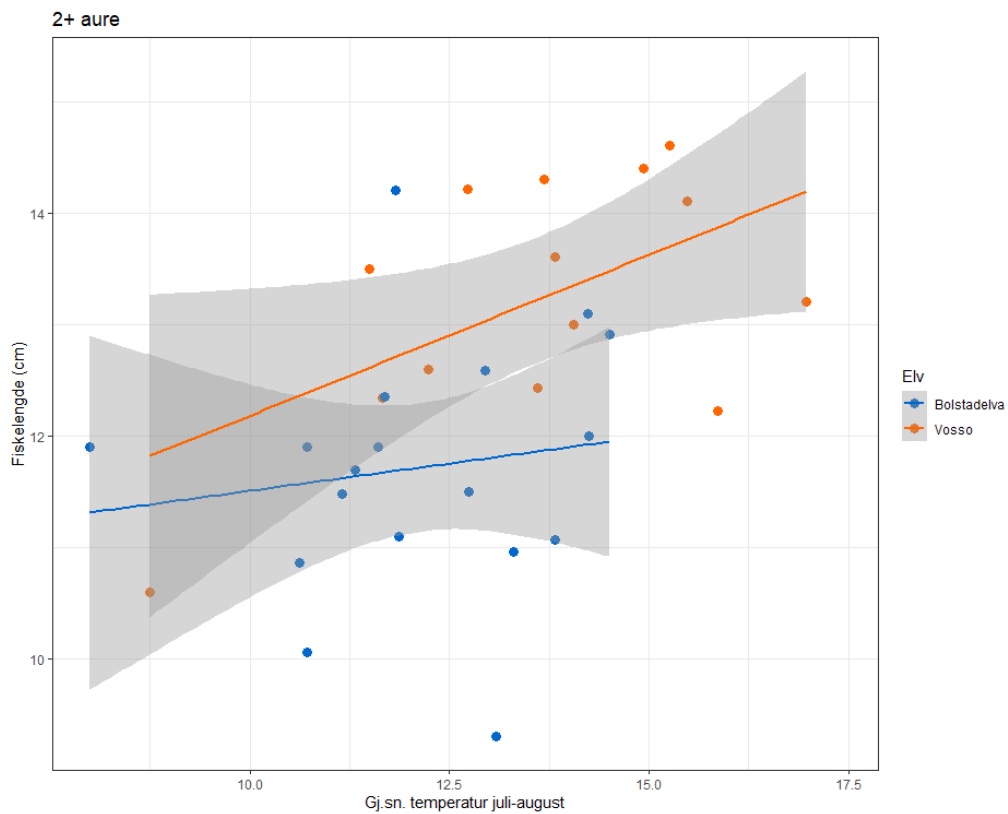
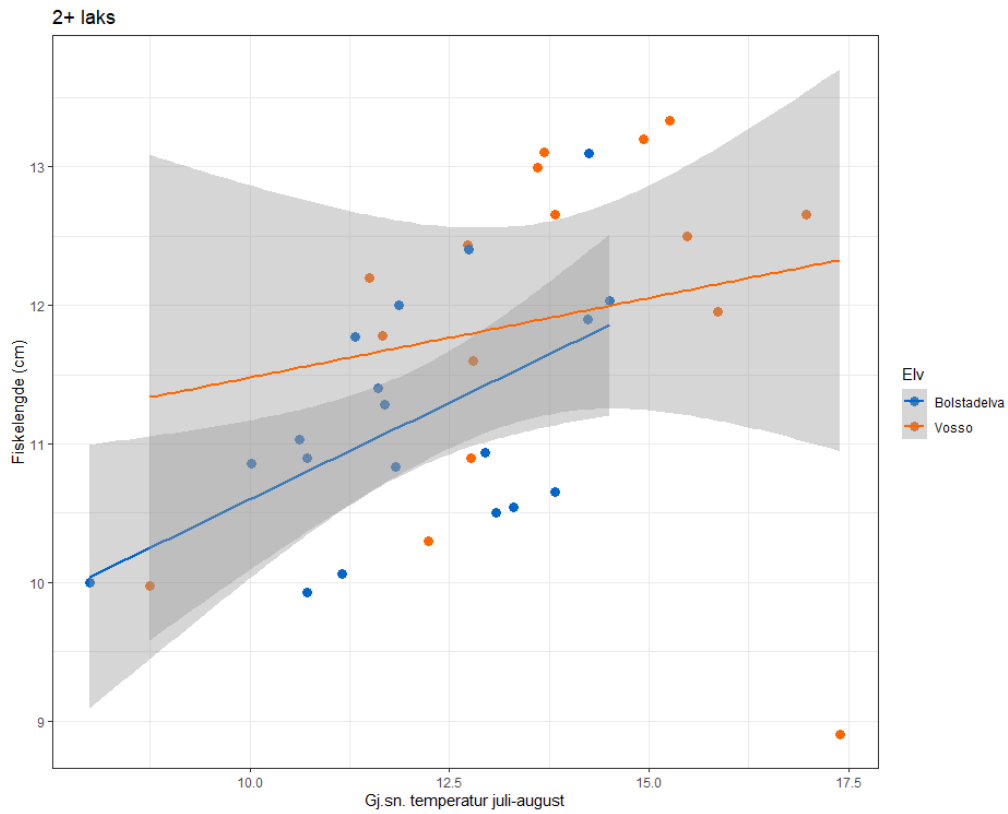
Figur 19. Gjennomsnittlig fiskestørrelse hos ulike aldersgrupper av aureunger i Bolstadelva og Vosso i år med tilgjengelige data i perioden 1994-2022.



Figur 20. Sammenhengen mellom sommertemperatur, målt som gjennomsnittstemperatur i juli-august, og fiskelengde hos ensomrig (0+) laks (øverst) og aure (nederst) i ulike år i Vosso og Bolstadelva i perioden.



Figur 21. Sammenhengen mellom gjennomsnittstemperatur i juli-august, og fiskelengde hos tosomrig (1+) laks (øverst) og aure (nederst) i Vosso og Bolstadelva.



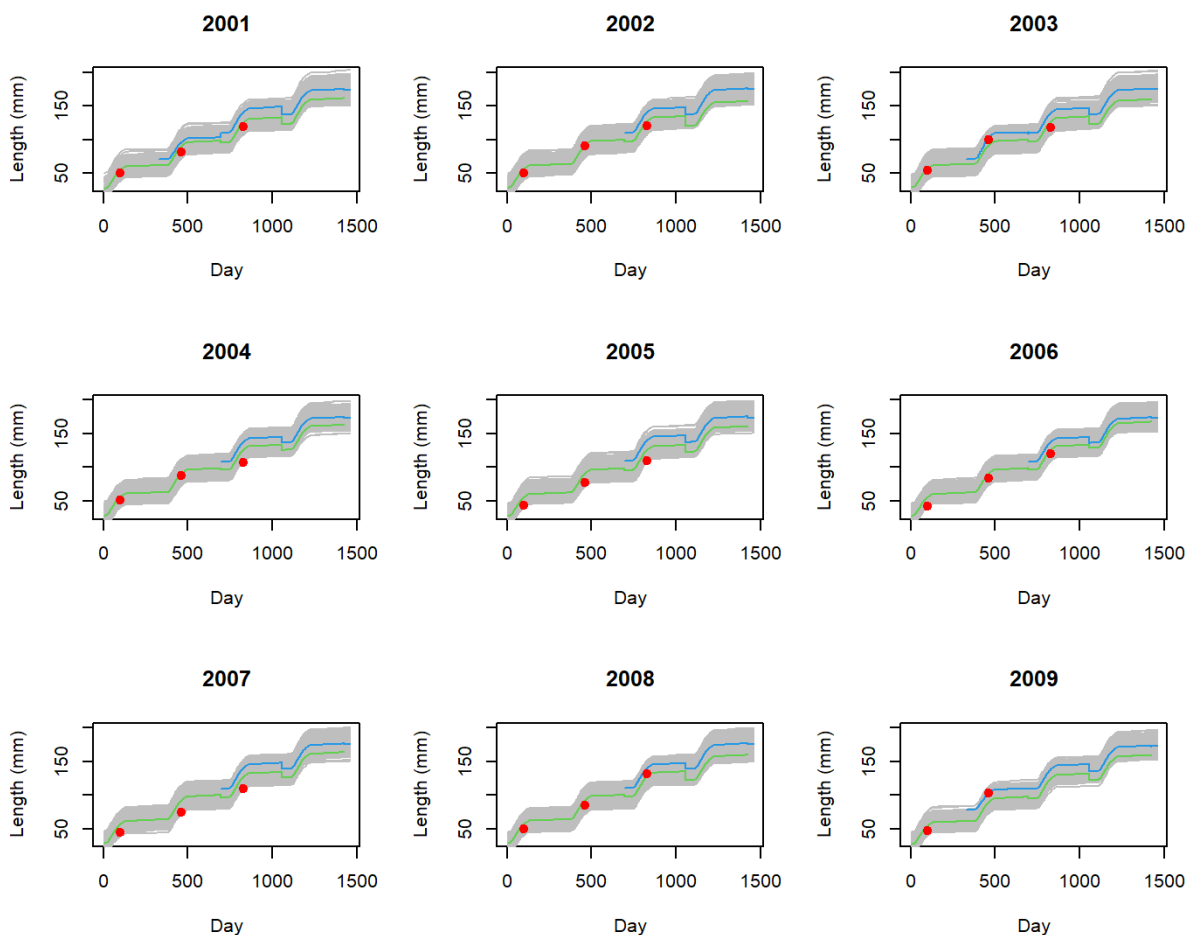
Figur 22. Sammenhengen mellom gjennomsnittstemperatur i juli-august, og fiskestørrelse hos tresomrig (2+) laks (øverst) og aure (nederst) i ulike år i Vosso og Bolstadelva.

3.5 Modellering av vekst, smoltalder og overlevelse hos lakseunger i Bolstadelva

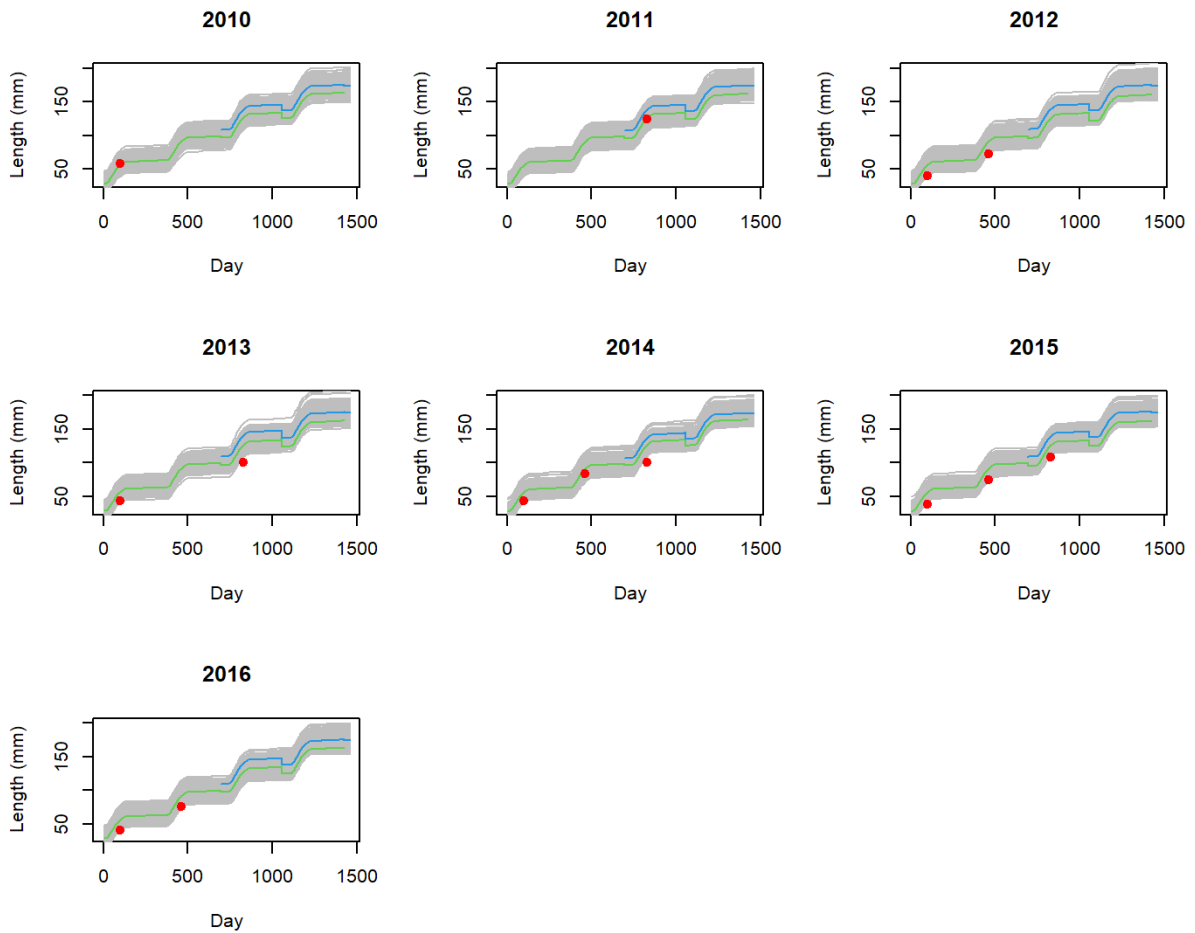
For å kunne undersøke effekten av endret temperatur på laksebestanden i Bolstadelva, ble det utviklet en individbasert-modell for å modellere vekst, alder ved smoltifisering og overlevelse hos laskeunger ut ifra rådende temperaturforhold i Bolstadelva og Vosso. Oppsummert viser resultatene fra modellen i stor grad det samme som resultatene fra datagjennomgangen over. Dette innebærer at den temperaturavhengige veksten er lavere i Bolstadelva, noe som også resulterer i at alder ved smoltifisering er seinere. Imidlertid kan ikke temperaturen alene forklare hele forskjellen mellom de to elveavsnittene.

3.5.1 Modelltilpasning

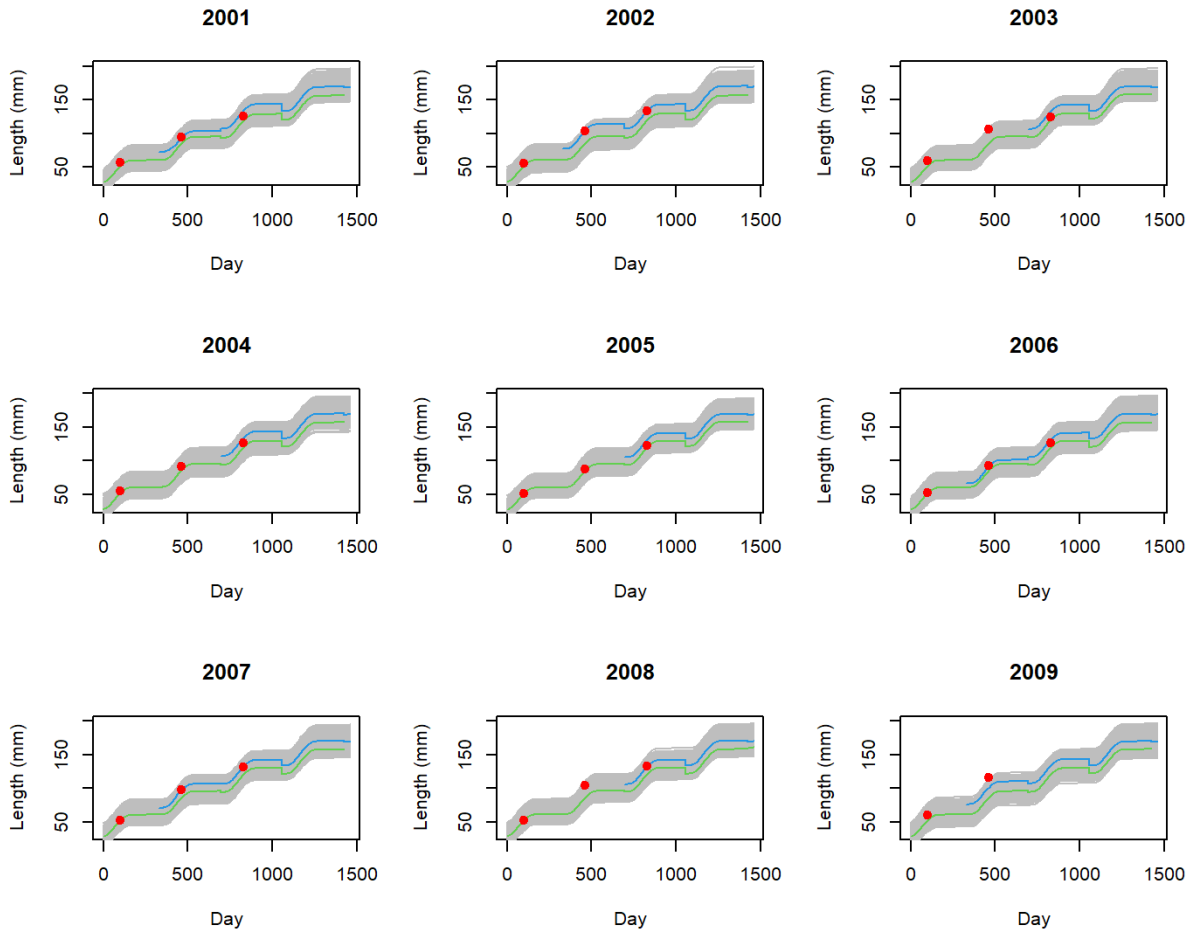
I Figur 23-Figur 26 har vi plottet modellerte vekstkurver for modellen, hvor 150 individer er modellert per år og elveavsnitt. Modellert vekst for parr som blir i elven til (grønn linje) kan sammenlignes med observerte fiskestørrelse basert på ungfiskundersøkelser (røde punkter). Ut ifra figurene kan man se at modellen generelt passer relativt godt, men at det tidvis er noe avvik både over og under modellen.



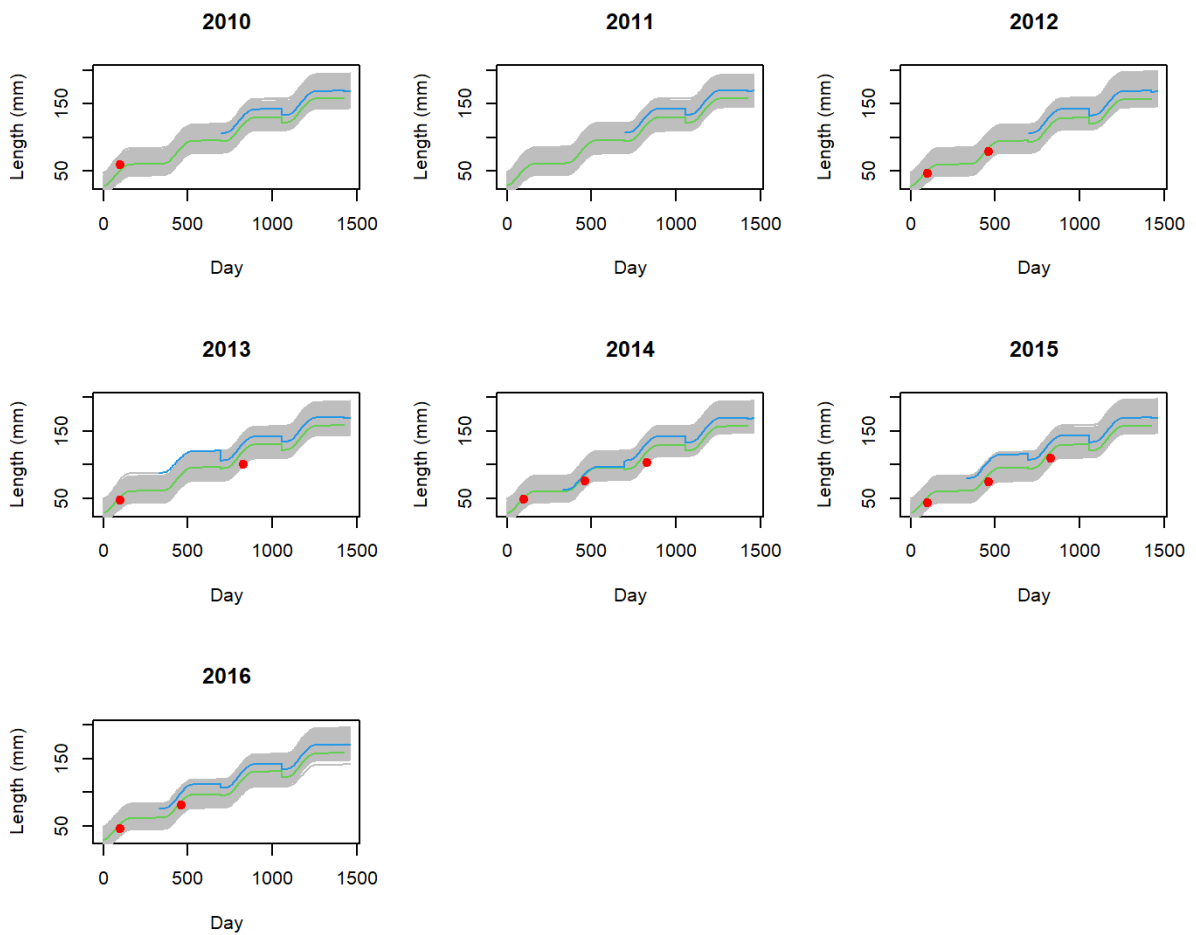
Figur 23. Simulerte vekstkurver og observerte gjennomsnittslengder (røde prikker) for ulike årsklasser i Vosso fra 2001 til 2009. Grå linjer indikerer vekst for ulike individer, grønn linje er snittverdi fra modellen for parr som ikke når størrelsen hvor de smoltifiserer et gitt år, mens blå linje er snittverdi for individer som har smoltifisert.



Figur 24. Simulerte vekstkurver og observerte gjennomsnitt (røde prikker) for ulike årsklasser i Vossovassdraget fra 2010 til 2016. 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.



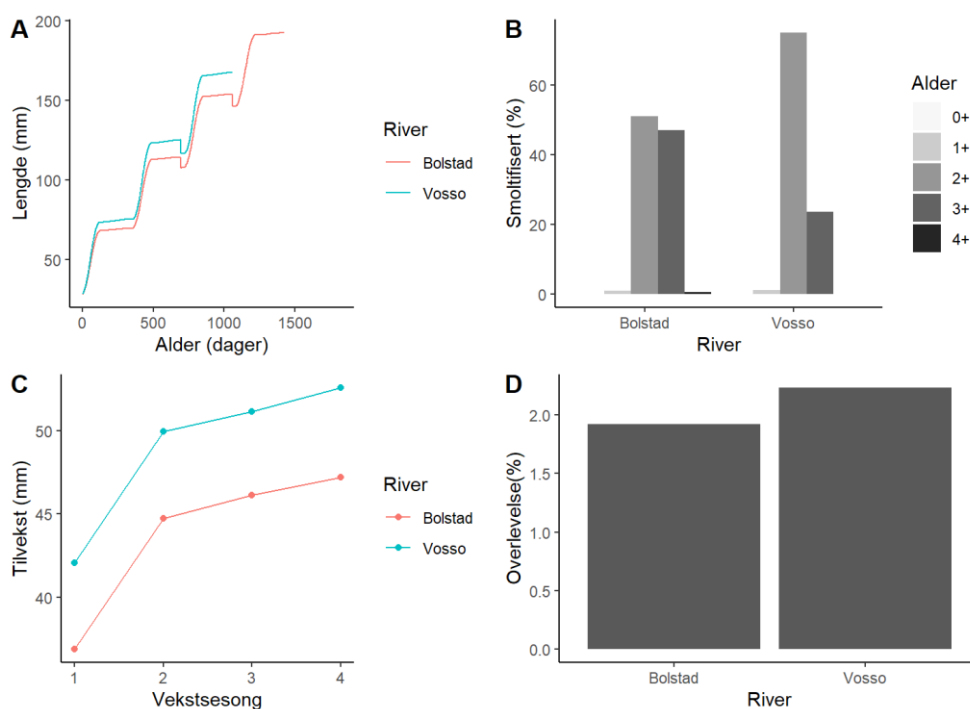
Figur 25. Simulerte vekstkurver og observerte gjennomsnitt (røde prikker) for ulike årsklasser i Bolstadelva fra 2001 til 2009. Grå linjer indikerer vekst for ulike individer, grønn linje er snittverdi fra modellen for parr som ikke smoltifiserer, mens blå linje er snittverdi for individer som har smoltifisert.



Figur 26. Simulerte vekstkurver og observerte gjennomsnitt (røde prikker) for ulike årsklasser i Bolstadelva fra 2011 til 2016. 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.

3.5.2 Modellert effekt av gjennomsnittstemperatur mellom Bolstad og Vosso

Resultatene fra modellert temperaturavhengig vekst, alder ved smoltifisering og overlevelse for lakseunger i Bolstadelva og Vosso basert på gjennomsnittlig temperaturkurver er plottet i Figur 27. Ungfisk i alle årsklasser av laks er beregnet å vokse 18 % mindre i lengde per år i Bolstadelva sammenliknet med ungfisk i Vosso. Den senere veksten i Bolstadelva resulterer i at en større del av ungfisken smoltifiserer ved en høyere alder enn i Vosso. I Bolstadelva er 47 % og 52 % av ungfisken beregnet å smoltifisere etter henholdsvis 3 og 4 år, mens tilsvarende i Vosso er 80 % og 18 %. Den gjennomsnittlige smoltalderen er beregnet å være 2,5 år i Bolstadelva og 2,1 år i Vosso. Den økte smoltalderen resulterer også i at overlevelsen av ungfisk fra swim-up og frem til smoltalder er beregnet å være 20 % lavere i Bolstadelva enn i Vosso. Denne effekten er derimot svært sensitiv til hvor godt smolten vokser ved en gitt temperatur, og forskjellen blir nærmere 5 % og lavere hvis den temperaturavhengige veksten er lav. Dette skjer fordi overlevelsen i modellen er parametrisert som en konstant dødelighet per år slik at store forskjeller i smoltalder vil manifestere seg som store forskjeller i overlevelse til smolt. Nøyaktig i hvor stor grad dette har en effekt på overlevelse er uklart, men det er åpenbart at å vokse raskere til å bli smolt er en fordel, da man reduserer tiden hvor man er utsatt for predasjon, sykdom osv før man vandrer ut av vassdraget.

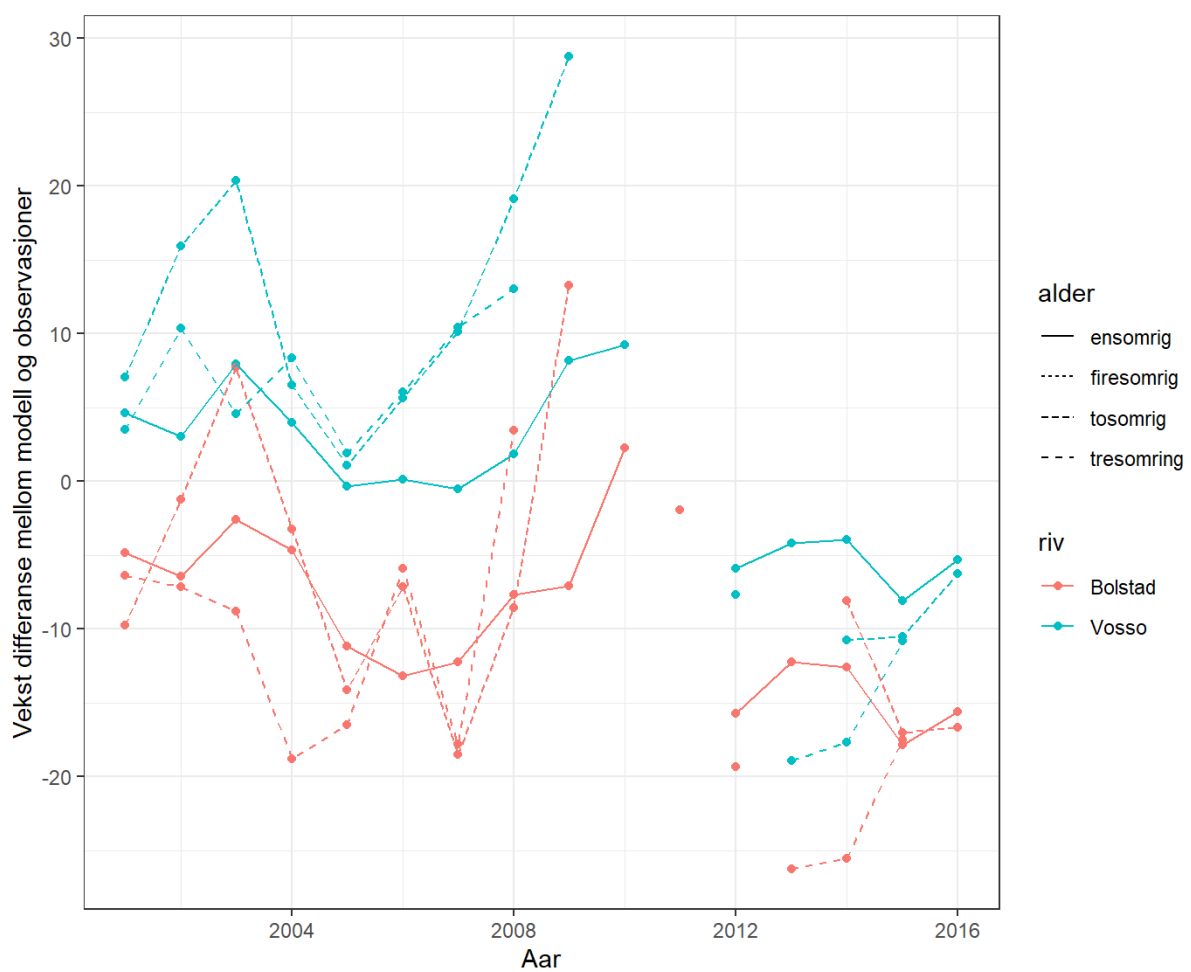


Figur 27. Modellerte lengder ved gitt alder (A), alder ved smoltifisering (B), tilvekst (C) og overlevelse (D) basert på vanntemperatur i Vosso og Bolstadelva.

3.5.3 Gjenværende diskrepans i størrelse som ikke er forklart av temperaturforskjeller

Selv om temperaturen kan forklare en del av forskjellen i vekst mellom de to vassdragsavsnittene var det fremdeles mønster i parrstørrelsen som ikke var mulig forklare med en modell som kun er temperaturavhengig. Dette er illustrert i Figur 28 som viser differansen mellom observert og modellert størrelse for de forskjellige aldersgruppene av parr i Bolstad og Vosso. Her vil positivt avvik fra 0 indikere at veksten er større enn forventet, og negative avvik fra 0 indikere at veksten er dårligere enn forventet i forhold til temperatur. Ettersom modellen vi bruker er tilpasset data fra Vosso kan vi forvente at avvikene fra Vosso vil ha et gjennomsnitt rundt 0.

Fra denne øvelsen kan man se at (1) parr vokser bedre enn hva temperaturen skal tilsi i Vosso til sammenligning med Bolstad, men også at (2) veksten er åpenbart dårligere i begge vassdragsavsnitt i slutten av tidsserien. Den relativt dårlige veksten i Bolstad elva sammenlignet med Vosso kan altså ikke alene forklares av temperatur.



Figur 28. Differanse i modellert vs. observert fiskelengde for ulike årsklasser i Vosso og Bolstad elva.

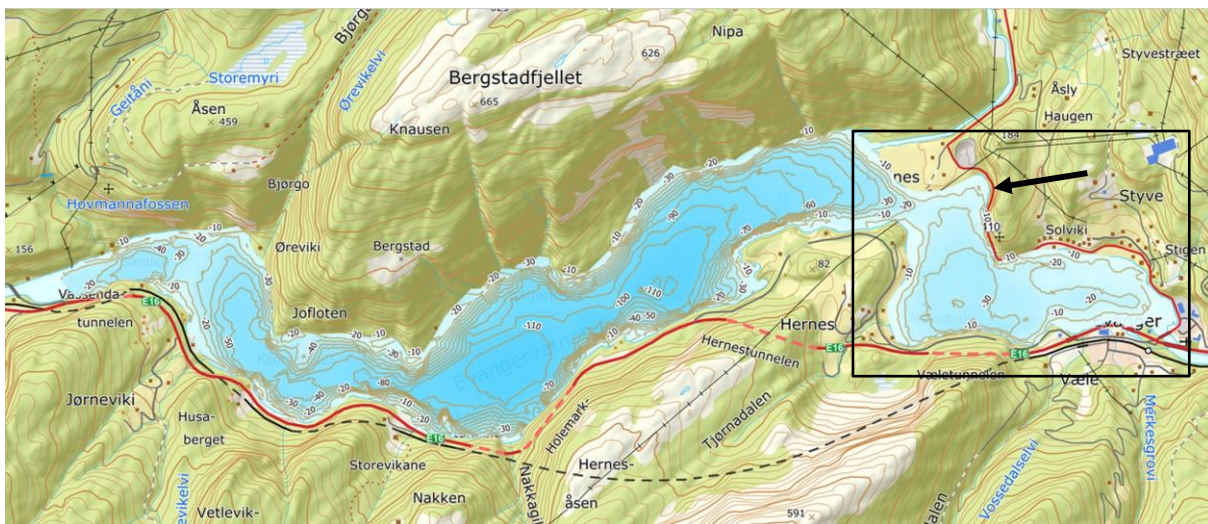
3.6 Temperaturforholdene i Evangervatnet

I motsetning til i elver, hvor vannmassene generelt blandes godt, vil temperaturforholdene i innsjøer påvirkes sterkt av lagdeling (stratifisering). Lagdeling forekommer ettersom vannmasser med ulik temperatur har ulik tetthet, og gjør at en i perioder har begrenset utskifting av vann i ulike vanddyp av innsjøen. Lagdelingen vil variere igjennom året. Ferskvann har høyest tetthet ved om lag 4 °C, og dypere vannlag i større innsjøer vil ofte ha en stabil temperatur på om lag 4 °C gjennom hele året. I sommerhalvåret dannes det ofte et lag med varmere overflatelag (epilimnion) over et lag med kaldere bunnvann (hypolimnion). Overgangen mellom disse kalles ofte «sprangsjikt» eller «termoklin», og forskjellen i tetthet vil føre til en begrenset utveksling av vann (og varme) mellom de to lagene. Om vinteren vil ofte vannet nært overflaten være kaldere, men fortsatt lettere, enn vannet i dypere vannlag. Om våren og høsten, når vannet i overflaten nærmer seg 4 °C, vil lagdelingen svekkes og en får ofte en omrøring av vannmassene i innsjøen, såkalt våromrøring og høstomrøring, men dette avhenger av at en har en mekanisk påvirkning som f.eks. vind som gjør at vannet beveges vertikalt. En nærmere beskrivelse av vanntemperaturforhold og prosessene som påvirker dette i norske innsjøer og elver finnes blant annet i Vaskinn (2010). Vannmasser som tilføres innsjøen og som har en annen temperatur enn overflatevannet i innsjøen vil kunne synke til et gitt innlagingsdyp hvor vannet fra før har samme tetthet. Et sentralt spørsmål er derfor hvordan vannmassene fra Evanger kraftverk blandes inn og påvirker lagdelingen i innsjøen gjennom året. Denne problemstillingen undersøkes blant annet i en egen modellering som er beskrevet i Vedlegg 2. Datagrunnlaget presentert i dette kapitlet er imidlertid basert på registreringer og temperaturmålinger gjennomført i perioden 2016 til 2022.

Mens det finnes lange tidsserier for vanntemperaturen fra de ulike elvestrekningene i Vossovassdraget, foreligger det langt mindre registreringer i Evangervatnet som viser lagdelingen av vannmassene gjennom året, samt om og når omrøring forekommer. Det foreligger imidlertid en del detaljerte undersøkelser for deler av innsjøen, særlig i den østre delen av innsjøen nært utløpet av Evanger kraftstasjon. Disse målingene er utført i forbindelse med utvandringstudier på laksesmolt, og det henvises til Isaksen mfl. (2019, 2022) for ytterligere informasjon om dette. Evangervatnet er en forholdsvis lang og smal innsjø, og har et dyp på mer enn 100 m på det dypeste (Figur 29). Innsjøen har en innsnevring mellom Fadnes og Hernes, hvor det er et terskeldyp på 18 m. Innsjøbassenget på østsiden av innsnevringen, hvor både Vosso og kraftverket har sitt utløp, har et dyp på maksimum 35 m, og den forholdsvis smale og grunne profilen resulterer i at det oppstår en del komplekse strømmønstre i denne delen av innsjøen (Isaksen mfl. 2019, 2022). I perioden 2019-2022 har det blitt logget vanntemperatur på ulike dyp fra april til utgangen av juni (noe som dekker hele utvandningsperioden for smolt). Målinger ble gjennomført på stasjoner innenfor, ved og utenfor sundet ved Fadnes-Hernes. En oversikt over stasjonene er vist i Figur 30, mens de registrerte temperaturene på ulike dyp er vist i Figur 31- Figur 34.

Målingene viser at vanntemperaturene i innsjøbassenget øst for sundet ved Hernes-Fadnes (stasjon C2) er tilnærmet lik fra overflaten og ned til 29-30 m på våren i de fleste årene (Figur 31- Figur 34). Dette tilsier at vannmassene blir godt blandet i hele den østre delen av innsjøen, og at det ikke forekommer noen lagdeling i denne delen innsjøen i løpet av våren og forsommeren. Vanntemperaturen i hele vannsøylen er forholdsvis lik elvetemperaturen i Vosso, og trolig resulterer den høye vanntilførselen fra Vosso til at vannmassene blandes både horisontalt og vertikalt i denne delen av innsjøen. Et unntak er i 2021, som er det eneste året hvor en også har registreringer gjennom store deler av sommeren. Det ble også dette året registrert et nokså likt mønster som i de

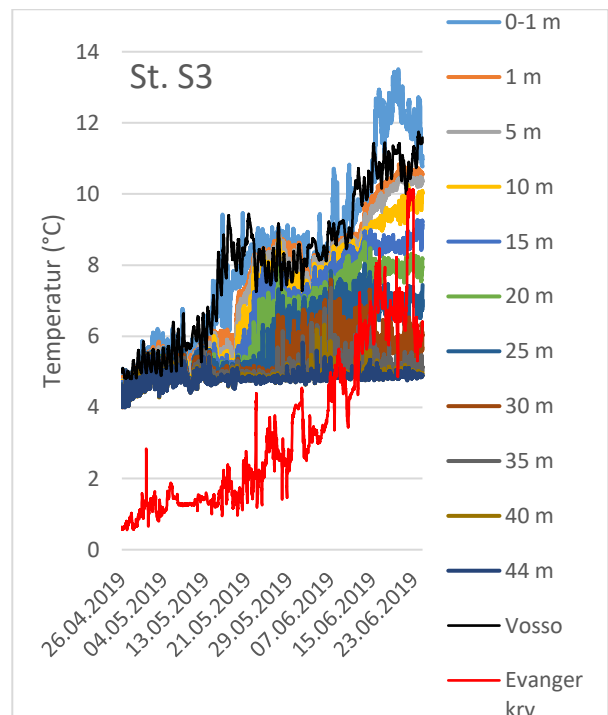
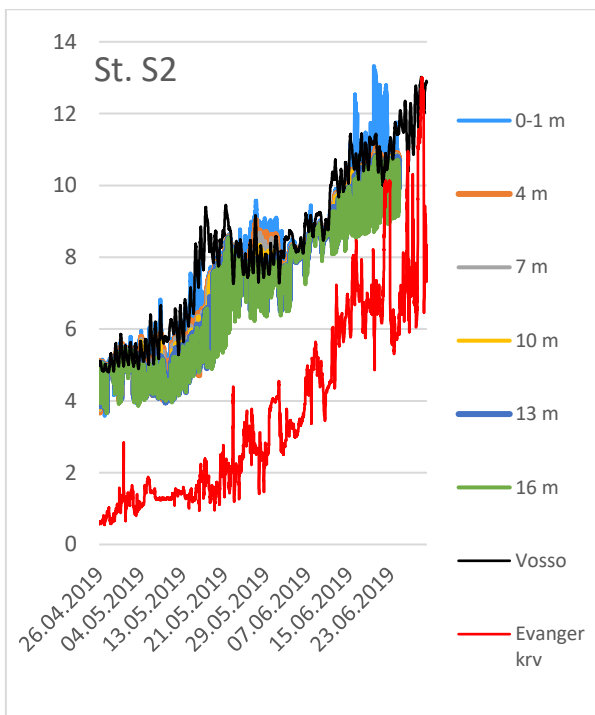
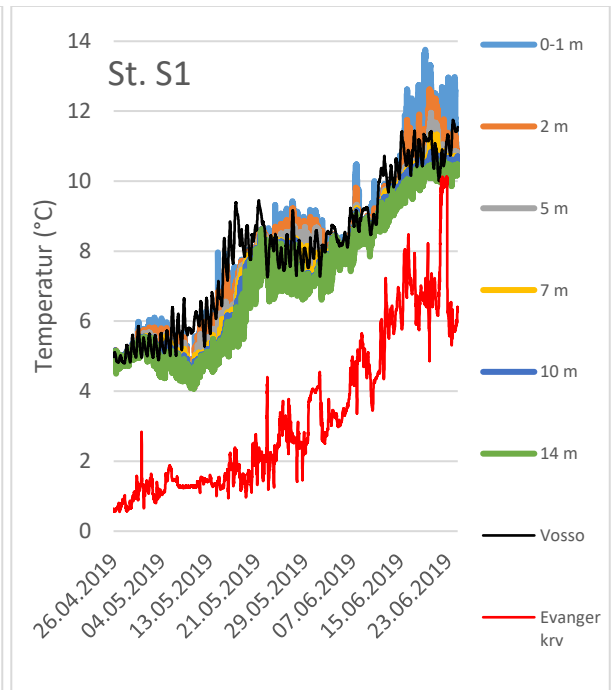
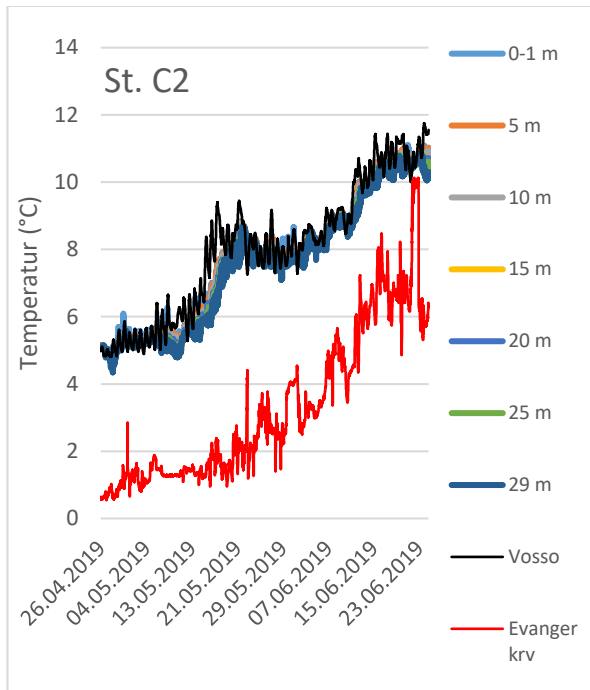
Øvrige årene med en forholdsvis lik temperatur på ulike dyp fra våren og frem til midten av juni. Fra juni og utover ble det registrert en langt større temperaturgradient med kaldere vann med økende dyp også i det østre bassenget. Det er usikkert om dette også skjer i øvrige år, ettersom 2021 skiller seg ut ved at vannføringen var svært lav og temperaturen uvanlig høy i Vosso sammenlignet med samme perioder i de foregående årene (2016-2020).



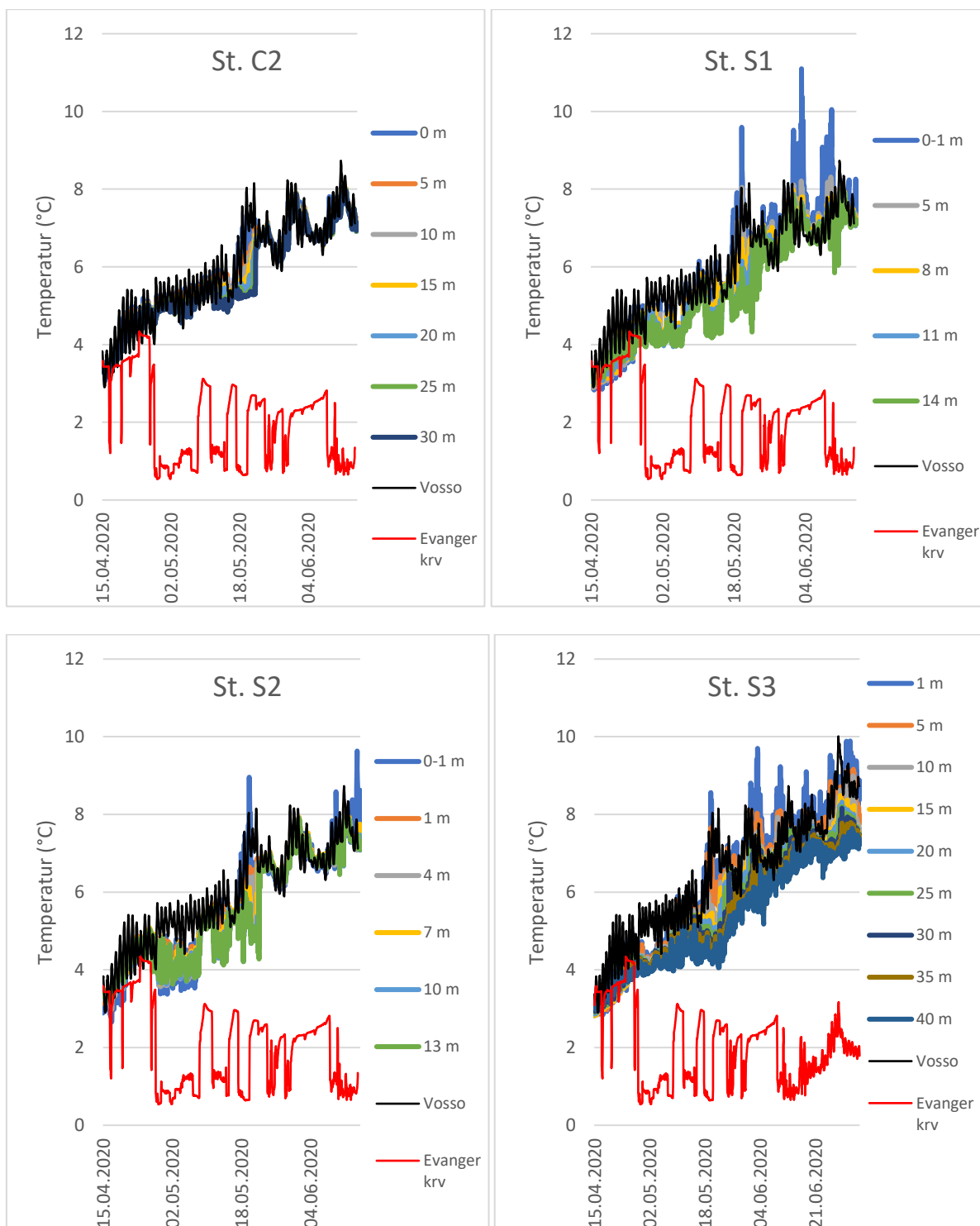
Figur 29. Dybdeprofil over Evangervatnet. Vosso ha sitt innløp helt øst i innsjøen, Bolstadelva har sitt utløp i vestre ende, mens pilen markere utløpet av Evanger kraftverk. Rammen viser utsnittet vist i Figur 30.



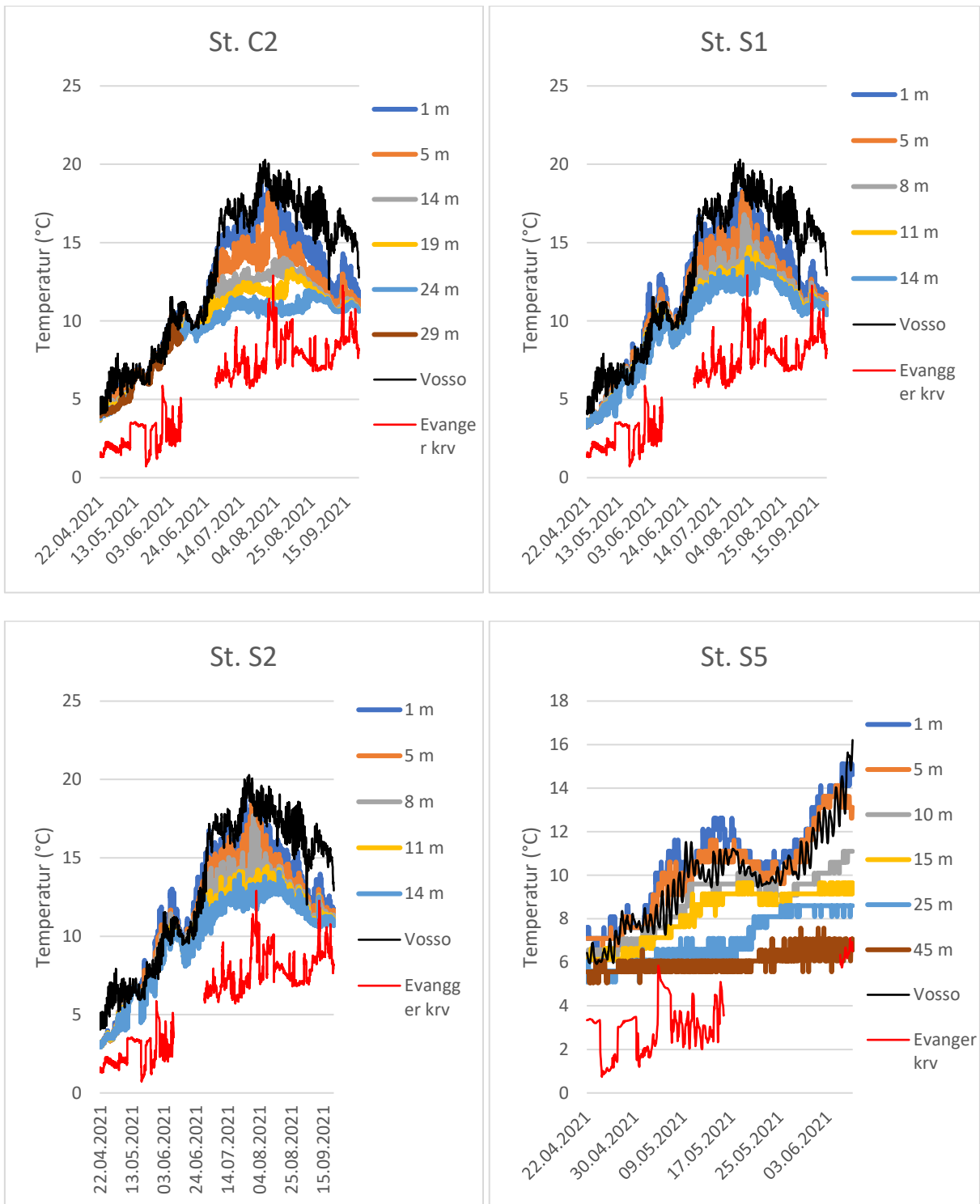
Figur 30. Oversikt over stasjoner med rigger for temperturloggere som har registrert temperatur på ulike dyp i den østre Enden av Evangervatnet i perioden 2019-2022.



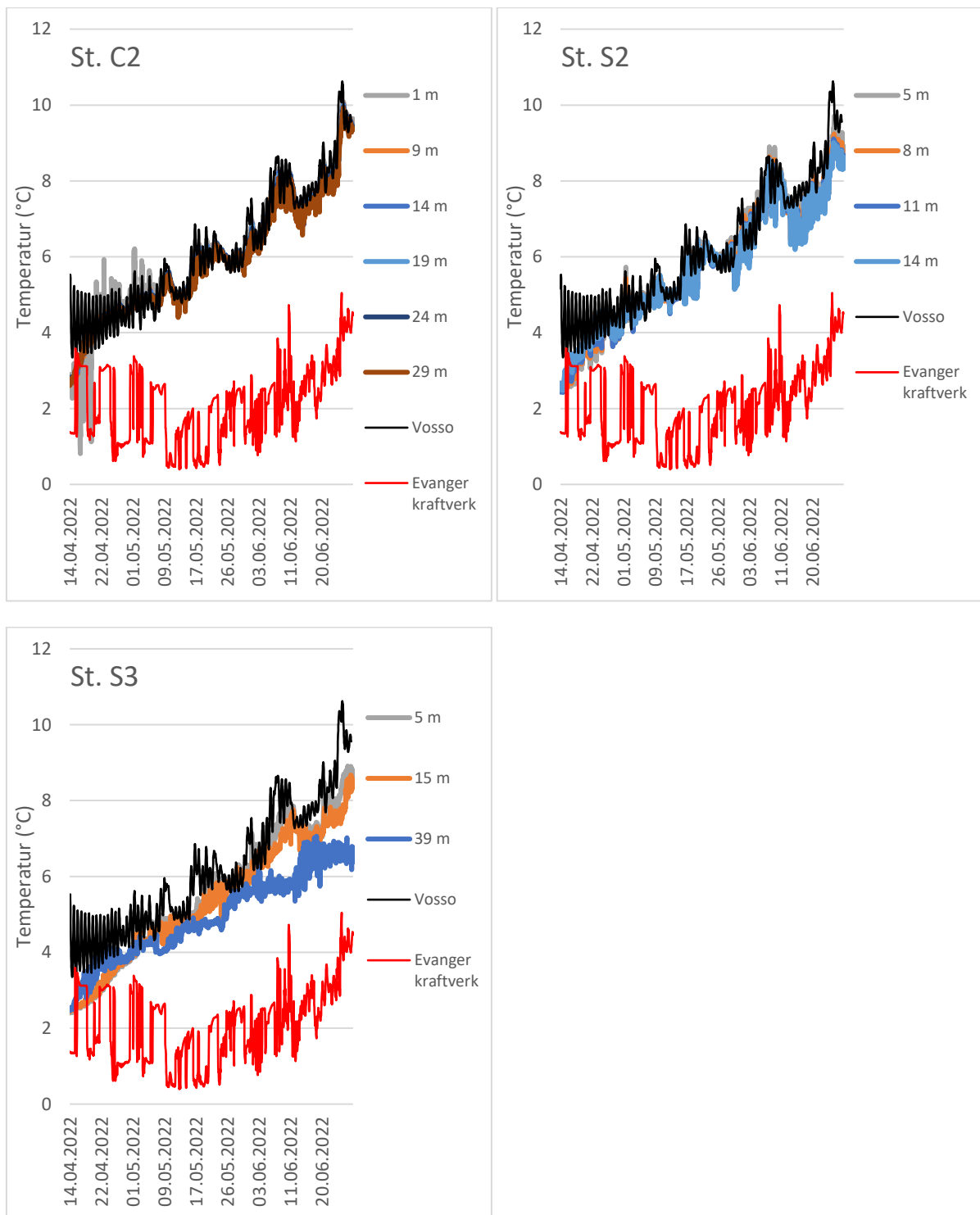
Figur 31. Vanntemperatur logget på ulike dyp i perioden 26. april-25. juni 2019 på stasjoner østre del av Evangervatnet. Vanntemperaturen i Vosso og fra Evanger kraftverk i samme perioden er vist og er lik for alle figurene.



Figur 32. Vanntemperatur logget på ulike dyp i perioden 15. april-16. juni 2020 (-1. juli på S3) på stasjoner østre del av Evangervatnet. Vanntemperaturen i Vosso og fra Evanger kraftverk i samme perioden er vist og er lik for alle figurene.



Figur 33. Vanntemperatur logget på ulike dyp i perioden 22. april-22. september 2021 på stasjon C2, S2 og 2, samt fra 17. mai-2. juli 2021 på stasjon S5 sentralt i Evangervatnet. Vanntemperaturen i Vosso og fra Evanger kraftverk i samme perioden er vist og er lik for alle figurene.

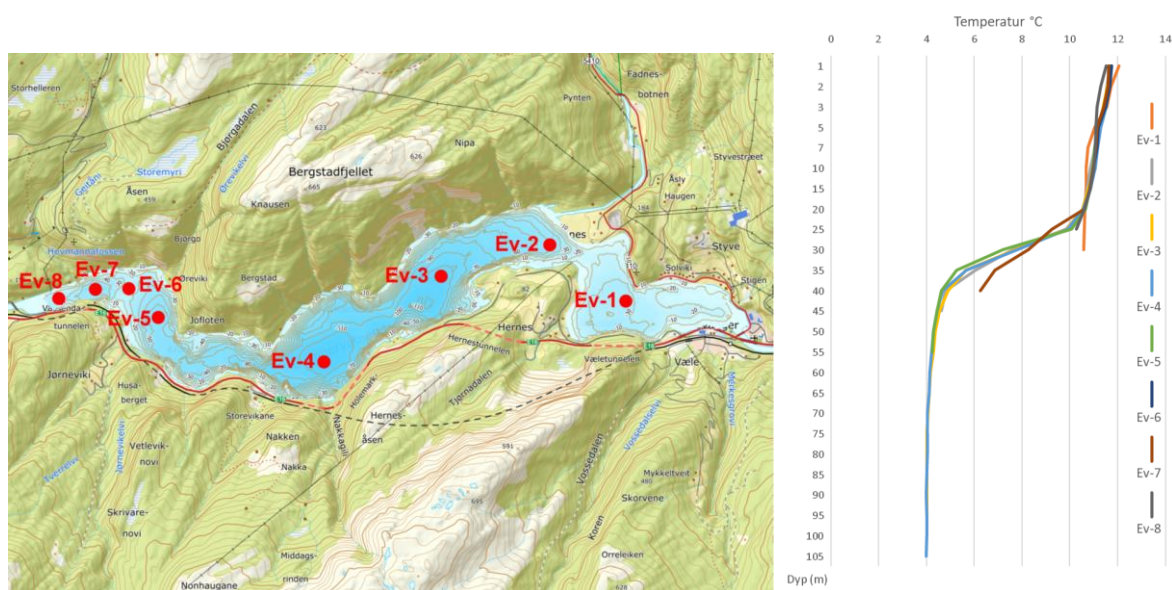


Figur 34. Vanntemperatur logget på ulike dyp i perioden 14. april-28. juni 2022 på stasjoner østre del av Evangervatnet. Det ble ikke logget på stasjon S1 dette året. Vanntemperaturen i Vosso og fra Evanger kraftverk i samme perioden er vist og er lik for alle figurene.

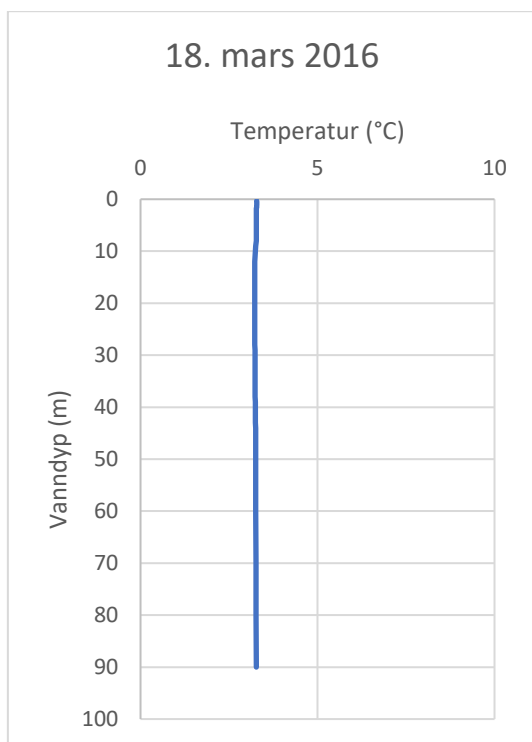
I sundet mellom Hernes og Fadnes (st. S1 og S2) er vanntemperaturen noe kaldere enn ved C2, særlig på dypere vannlag, noe som viser påvirkninger av kaldere vann fra Evanger kraftstasjon. Temperaturgradienten med økende dyp er allikevel lav, og temperaturen er vesentlig høyere enn vannet som tilføres fra kraftstasjonene. Dette tilsier at vannet er forholdsvis godt blandet når det passerer over terskelen i sundet ved Hernes-Fadnes.

Stasjon S3, som er plassert på vestsiden av sundet, er det i enkelte år et markert skille i vanntemperatur på ulike dyp. I 2019 er vanntemperaturen nært overflaten over 12 °C i slutten av måleperioden i juni, mens den ved 35-40 m er om lag 4 °C i hele måleperioden (Figur 31). Dette viser at det utvikles en markert lagdeling i innsjøen på dette stedet i løpet av måleperioden dette året, og at sprangsjiktet ligger på dyp mellom 30-35 m. I de øvrige årene utvikles det også klare temperaturgradienter med økende dyp på denne stasjonen, men temperaturen på de dypeste lagene holder ikke en stabil temperatur gjennom perioden, noe som tilsier at sprangsjiktet trolig ligger noe dypere enn 40 m i disse årene.

Temperaturmålingene i Figur 31-Figur 34 illustrerer at det er liten grad av lagdeling i innsjøen øst for sundet mellom Hernes-Fadnes, men at det synes å etablere seg en langt tydeligere lagdeling utover forsommeren vest for sundet hvor innsjøen er dypere og mindre påvirket av strømmer fra Vosso og Evanger kraftverk. Den 22. september 2021 ble det tatt profilmålinger på ulike steder i innsjøen hvor temperatur ble målt fra overflaten til bunnen ved bruk av CTD (Figur 35). Ved dette tidspunktet var vanntemperaturen forholdsvis høy (10-12 °C) og homogen i de øverste 25 m (epilimnion) av innsjøen. Dypere enn dette møter en sprangsjiktet, hvor temperaturen synker raskt med økende dyp, før den stabiliserer seg på om lag 4 °C i vannmasser dypere enn 35 m (hypolimnion). Ved en profilmåling tatt den 18. mars 2016 var temperaturen tilnærmet konstant 3,2 °C i hele vannsøylen fra overflaten og ned til 90 m dyp, noe som tilsier at profilen ble tatt under våromrøring.



Figur 35. Dybdeprofil av temperatur målt på ulike steder i Evangervatnet 22. september 2021.



Figur 36. Profilmåling av temperatur målt sentralt i Evangervatnet den 18. mars 2016. Målingen er tatt mellom stasjon Ev-2 og Ev-3 i Figur 35, og viser at temperaturen i vannmassene er tilnærmet homogen fra overflate til bunn ved dette tidspunktet. Profilmåling av temperatur er utført med CTD sonde SD208 (SAIV AS).

4.0 Diskusjon

4.1 Effekter av Evanger kraftverk på temperaturforholdene i Bolstadelva

Ved å sammenstille og analysere data fra vannføring og vanntemperatur i perioden 1995-2021, ble det funnet at vannføringsbidraget fra Evanger kraftverk har en klar påvirkning på vanntemperaturen i Bolstadelva. Hvor stor påvirkningen er varierer gjennom året og er avhengig av hvor stort vannføringsbidrag som kommer fra kraftverket. Om sommeren tilfører Evanger kraftverk vassdraget vannmasser som er kaldere enn det naturlige tilsiget i vassdraget. Da blir vanntemperaturen i Bolstadelva relativt sett kaldere sammenliknet med Vosso i perioder når vannføringen fra Evanger kraftverk utgjør en stor andel av vannføringen i vassdraget. Denne effekten er størst i august, ettersom dette er den perioden når temperaturforskjellen mellom elvevannet fra Vosso og fra kraftverket er størst. I tillegg kan tilsiget fra Vosso på denne tiden være lavt ettersom snøsmeltingen ofte er ferdig, slik at kraftverket tidvis dominerer vanntilførselen til Evangervatnet. I vinterperioden er vanntemperaturen som tilføres fra kraftverket vanligvis høyere enn det naturlige tilsiget fra Vosso, og perioder med stort vannføringsbidrag fra kraftverket resulterer i at vanntemperaturen i Bolstadelva blir høyere enn i Vosso. På våren (mars-april) og høst (oktober-november) har påvirkningen fra kraftverket mindre effekt på temperaturforskjellen mellom Bolstadelva og Vosso, noe som kan forklares med at vannet fra kraftverket på dette tidspunktet har forholdsvis lik temperatur som i Vosso og det øvrige tilsiget.

I perioder når vannføringen fra Evanger kraftverk er lav i forhold til det øvrige tilsiget fra vassdraget (hovedsakelig Vosso) er vanntemperaturen i Bolstadelva tilnærmet lik som i Vosso gjennom hele året. I de fleste uregulerte vassdrag vil overflatelaget på innsjøer domineres av tilførselselvene, men

vil også påvirkes av eventuell oppvarming/nedkjøling av overflatevann, samt utveksling av vann fra dypere lag av innsjøen. Som regel vil innsjøer bidra til en oppvarming av vannet og at utløpselvene ofte blir varmere enn innløpselvene. I tillegg vil det ofte være en viss forsinkelse i temperaturrespons som følge av innsjøens varmekapasitet, samt at temperatursvingningene ofte vil være mer avdempet sammenliknet med innløpselvene. Det finnes ikke tilstrekkelig data for vanntemperatur fra Bolstadelva i perioden før regulering som sier noe om hvordan vanntemperaturen ville vært i uregulert tilstand. Ut ifra de statistiske analysene er vanntemperaturen i Bolstadelva uten drift i kraftverket forventet å være marginalt varmere enn Vosso om vinteren og litt kaldere om sommeren. Ettersom den statistiske analysen er basert på observasjoner i dagens regime, og ikke fanger opp eventuelle tidseffekter som skyldes forsinkelse i temperaturrespons fra endringer i Vosso og Evanger kraftverk og ned til Bolstadelva, er det sannsynlig at forskjellen i realiteten er mindre enn det modellen tilsier. Dette underbygges også av observasjoner i perioder med driftsstans i kraftverk, der vanntemperaturen i Bolstadelva forholdsvis raskt øker og tilnærmer seg temperaturen i Vosso. Dette tilsier at vanntemperaturen i Bolstadelva kan forventes å være tilnærmet lik som i Vosso uten drift i kraftverket. I uregulert tilstand ville imidlertid deler av vannføringen som i dag kommer fra kraftverket blitt tilført Evangervatnet fra Teigdalselva. Vanntemperaturen i Teigdalselva er i dag noe kaldere enn Vosso, men det er usikkert hvor mye temperaturen har endret seg som følge av reguleringen. Ettersom det feltet i Teigdalselva som er fraført til Evanger kraftverk i stor grad består av høyereliggende fjellområder, er det sannsynlig at temperaturen ville vært noe lavere enn i Vosso om sommeren også før reguleringen. I tillegg er vann fra høyereliggende fjellområder i Torfinno overført til Bergsdalsvassdraget. Trolig ville temperatureffekten av denne vannføringen ha begrenset betydning for vanntemperaturen i Bolstadelva, men det trengs ytterligere undersøkelser for å vurdere hvordan det fraførte feltet i Teigdalselva ville påvirket temperaturen i Bolstadelva, og dermed hvordan vanntemperaturen i Bolstadelva ville vært i uregulert tilstand.

4.2 Effekter av kraftverket på vanntemperatur og lagdeling av vannmasser i Evangervatnet

Utløp av driftsvann fra kraftverk kan ha stor betydning for lagdelingen og temperaturforhold i innsjøer, og dermed elvestrekningene nedenfor disse innsjøene (Vaskinn 2010). I Aurlandsvassdraget fant Bakken mfl. (2010) at tilførsel av forholdsvis kaldt bunnvann fra Aurland I førte til begrenset lagdeling i Vassbygdvatnet, og at overflatevannet dermed forble kaldt gjennom store deler av sommeren. Dette resulterte i lave vanntemperaturen gjennom sommeren i Aurlandselva nedstrøms Vassbygdvatnet.

For å undersøke hvordan Evanger kraftverk påvirker lagdelingen av vannmassene og temperaturforholdene Evangervatnet, og dermed i Bolstadelva, ble det utarbeidet en hydrodynamisk modell av Evangervatnet, og resultatene av denne er presentert i Vedlegg 2. For å evaluere modellen ble den først kjørt for de rådende forholdene i sommerperiodene for år det forelå tilstrekkelig inngangsdata, og der målet er å predikere vanntemperaturen i Bolstadelva. Deretter ble det kjørt tilsvarende scenarioer uten drift i kraftverk. Modellen klarte kun delvis å gjenskape de rådende temperaturforholdene i Bolstadelva, og modellprediksjonen for vanntemperaturen var enten for høye eller for lave. Trolig skyldes dette at modellen ikke klarer å gjenskape den vertikale miksing av vannmassene i innsjøen på en måte som er nødvendig for å få nøyaktige prediksjoner, særlig når bidraget fra kraftverket er stort i forhold til vannføringen i Vosso. Det ble forsøkt en rekke ulike justeringer i modellen, men tiltak som forbedret presisjon i noen scenarioer resulterte i større avvik i

andre, og trolig er problemet for nær kjernen i modellen til at det var mulig å løse innenfor rammene av prosjektet.

En av utfordringene med modelleringen av innsjøsystemet er å forstå blandingsprosessen av vannmassene som kommer ut av kraftverket, og hvorledes dette igjen innlagres på ulike dyp ute i innsjøen. Vannføringen i Bolstadelva utgjøres sannsynligvis av de øvre vannlagene i den vestre delen av innsjøen, og sannsynligvis vil effekten av Evanger kraftverk være større og mer direkte dersom kraftverksvannet blandes inn i overflatelagene, sammenlignet med at kraftverksvannet synker ned i dypere vannlag av innsjøen. Temperaturmålingene som foreligger for våren og forsommeren i perioden 2019-2022 viser at vannet i den østlige delen av Evangervatnet, dvs. på østsiden av sundet mellom Hernes og Fadnes, har begrenset lagdeling og at temperaturen er tilnærmet lik i hele vannsøylen fra overflaten og ned til bunn. Dette skyldes trolig at den høye vannføringen fra Vosso i denne perioden bidrar til sterke strømmer og dermed mye omrøring av vannmassene i denne delen av innsjøen. I perioder med lavere vannføring fra Vosso, som var tilfellet i 2001, synes vannmassene ha en større temperaturgradient med økende dyp. Utløpet fra Evanger kraftverk leder driftsvannet ut i den østre delen av innsjøen hvor det møter vannmassene fra Vosso før det ledes videre ut innsjøen gjennom sundet/innsnevringen mellom Hernes og Fadnes. Dette sundet har en terskel med dybde på opptil 18 m, og tidligere modellering og målinger viser at den østre delen har et til dels komplekst strømningsmønster som i stor grad drives av vannføringen i Vosso, men som også påvirkes av utstrømming fra Evanger kraftverk (Isaksen mfl. 2019, 2021). Effekten av Evanger kraftverk kan også observeres ved at vanntemperaturen i den nordlige delen av sundet (Fadnes siden), hvor den utgående strømmen vanligvis er sterkest, også er noe lavere enn i innsjøen ovenfor utløpet. Vanntemperaturen på dette punktet er noe lavere nært bunnen, dvs like ovenfor terskeldypet, men temperaturgradienten fra overflate til bunn i perioden med målinger på forsommeren er forholdsvis begrenset. Vanntemperaturen selv på de dypeste partiene her er også vesentlig varmere enn vannet som kommer fra kraftverket. Dette tilsier at vannmassene fra kraftverket i disse periodene er forholdsvis godt blandet med vannmassene fra Vosso når de strømmer ut gjennom sundet mellom Hernes og Fadnes.

Vest for sundet blir innsjøen vesentlig dypere og bredere, noe som også resulterer i mindre strøm. Målingene indikerer at vannmassen her utvikler en langt klarere lagdeling utover sommeren. Vannmassene som strømmer ut gjennom sundet har på forsommeren om lag samme temperatur som vannmassene som ligger på 5-15 m dyp i innsjøen nedenfor på denne tiden. Dette tilsier at vannmassene fra Evanger kraftverk i stor grad blandes med vannmasser i fra Vosso før de strømmer ut i den dypere delen av innsjøen, hvor de kan forventes å blandes inn vannmasser i de øvre 10-20 m av innsjøen, og i liten grad vil synke ned mot eller under termoklinen. Temperaturmålingene som foreligger for Evangervatnet er imidlertid begrenset i både rom (østre del av innsjøen) og i tid (april-juni), og det foreligger få målinger i den sentrale, dype delen av innsjøen. Slike målinger kunne gitt informasjon om når høst- og våromrøring forekommer, og hvordan ulike vannmasser fordeles gjennom året. Flere undersøkelser er derfor nødvendig for å få en nærmere forståelse av hvordan vannføringen fra Evanger kraftverk fordelingen og temperatur av ulike vannmasser i Evangervatnet. De statistiske analysene av temperaturforholdene i Bolstadelva viser imidlertid klart at kaldt vann fra kraftverket bidrar til å redusere vanntemperaturen gjennom store deler av sommersesongen.

4.3 Effekter av temperatur på vekst, smoltalder og smoltproduksjon i Bolstadelva

En sammenstilling av data fra ungfiskundersøkelser utført i Vossovassdraget siden 1994 viser at størrelsen på ungfisk i alle aldersgrupper av både laks og aure er gjennomgående mindre, og at vekstforholdene for fisk dermed er dårligere i Bolstadelva enn i Vosso. Resultatene er i tråd med tidligere resultater fra Raddum & Gabrielsen (1999) og Barlaup (2004), og viser at mønsteret fra de tidligere rapportene til en viss grad har holdt seg også i perioden frem til 2022. Det ble også funnet en signifikant sammenheng mellom fiskestørrelse hos ensomrig laks og aure og gjennomsnittstemperaturen i perioden juli-august, som utgjør den viktigste vekstsesongen for ungfisk. Dette tilsier at den observerte vekstforskjellen mellom Bolstadelva og Vosso i stor grad (men ikke utelukkende, se nedenfor) kan forklares med forskjeller i temperturavhengig vekst som følge av lavere temperatur i Bolstadelva i fiskens vekstsesong.

De observerte vekstforskjellene samsvarer også i stor grad med resultatene fra modellering av fiskevekst basert på vekstmodeller. Modelleringen tilsier at den reduserte veksten i Bolstadelva resulterte i en høyere smoltalder og lavere forventet overlevelse frem til smolt for laks. Basert på modellen forventes ungfisken i både Bolstadelva og Vosso å smoltifisere etter to eller tre år i elva, men andelen treårssmolt er forventet å være om lag 30 % høyere i Bolstad enn i Vosso. Den økte smoltalderen forventes i sin tur å resultere i økt dødeligheten frem til smoltalder, og det ble her beregnet at overlevelsen frem til smolt vil være 20 % lavere i Bolstadelva sammenliknet med i Vosso. Dersom en forutsetter at temperaturen, og dermed vekstforholdene i Bolstadelva i utgangpunktet var på samme nivå som i Vosso før regulering, vil dette tilsi at smoltproduksjonen i Bolstadelva er redusert med 20 % som følge av redusert temperatur i vassdraget.

Det må presiseres at den modellerte veksten, og dermed de resulterende estimatene for smoltalder og overlevelse frem til smolt i denne sammenhengen er basert på en rekke forutsetninger som kan påvirke hvor stor effekt temperatur har på modellen. For eksempel er modellen nokså følsom for hvilke parametere som benyttes for temperturavhengig vekst. I tillegg bygger både forventningen til smoltalder og overlevelse på en rekke forutsetninger som ikke alltid vil være oppfylt. For eksempel antas det i modellen at overlevelseshraten er konstant for alle eldre årsklasser, og at denne er uavhengig av fiskestørrelse. Dette vil ikke nødvendigvis være riktig, men det foreligger heller ingen studier som kan benyttes for å justere for slike effekter i modellen. Det er også viktig å påpeke at både vekst, smoltalder og overlevelse også kan påvirkes av andre faktorer som ikke er inkorporert i modellen. For eksempel er det mulig at redusert isdekke i Bolstadelva kan gi økte metabolske kostnader og økt dødelighet om vinteren (Hedger mfl. 2013), mens økt vanddekt areal som følge av økt vannføring i tørre perioder på sin side kan gi økt overlevelse for ungfisk. Det økte vanddekte arealet kan særlig være viktig i tørre perioder med lite tilsig fra Vosso, som var tilfellet i 2021 da utløpet fra kraftverket bidro til å holde en betydelig vannføring i Bolstadelva sammenliknet med Vosso. Det er mulig at kraftverket i slike perioder kan ha en positiv effekt på ungfiskoverlevelse. Det er også mulig at den høyere smoltalderen i Bolstadelva gir smolt som er større ved utvandring, og dermed kan klare seg bedre under den kritiske utvandningsfasen som postsmolt. Modelleringen vil derfor ikke nødvendigvis gi et fullstendig bilde av smoltalder eller ungfiskoverlevelse i vassdraget, men er ment som en tilnærming for å beregne relative forskjeller i overlevelse mellom de ulike elveavsnittene som en konsekvens av økt smoltalder. Vi har benyttet parametere for ungfiskdødelighet som sannsynlighet er i øvre kant av hva en kan forvente, og antar at den økte dødeligheten som er beregnet for Bolstadelva sannsynligvis er for høy enn for lav. Det er derfor mer

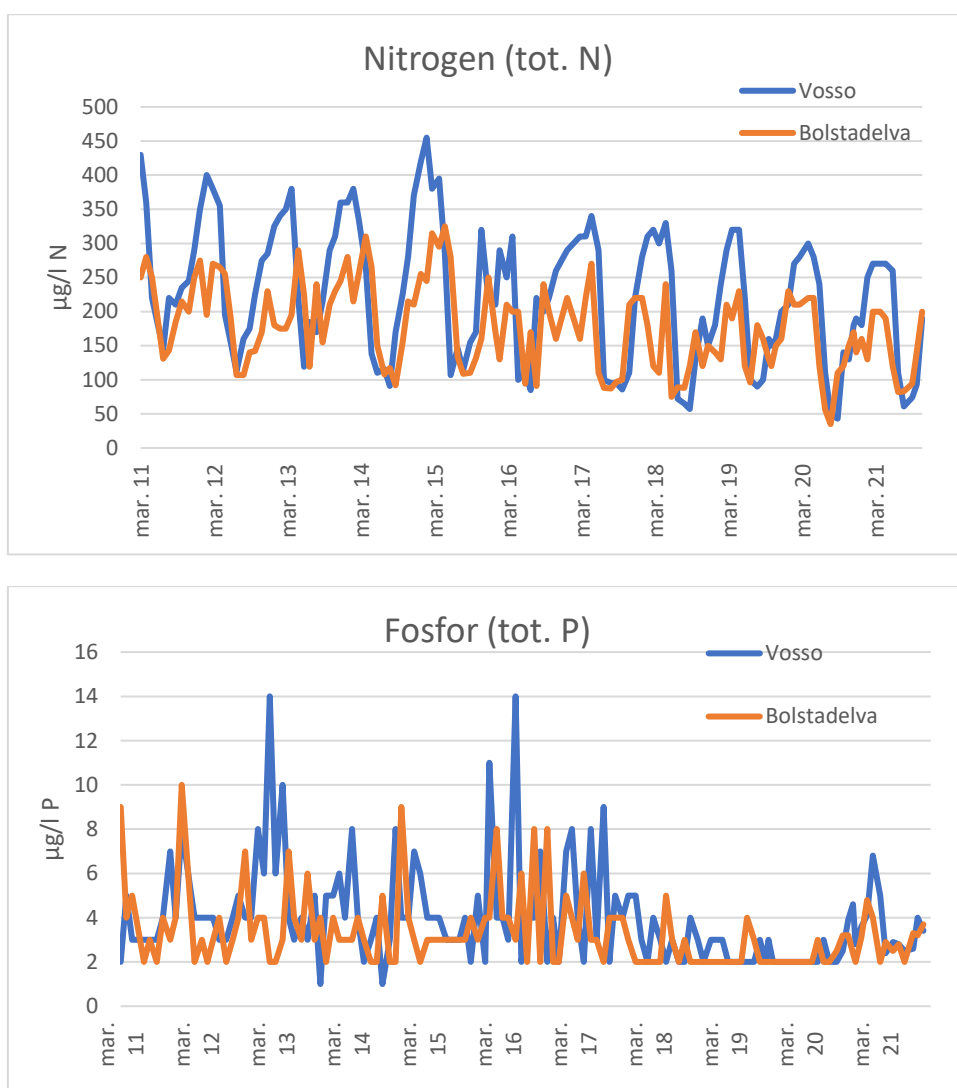
sannsynlig at den reelle reduksjonen i smoltproduksjon som følge av Evanger kraftverk er lavere enn 20 %, enn at den er høyere enn dette.

Basert på oppmåling av vassdragsarealet og habitatkvalitet, beregnet Gabrielsen mfl. (2021) at Bolstadelva har om lag 34 % av det produktive produksjonspotensialet for laksesmolt i Vossovassdraget, dersom en utelater Teigdalselva, Raundalselva og andre sidevassdrag. Dersom en antar smoltproduksjonen i Bolstadelva er redusert med 20 % som følge av redusert vanntemperatur, tilsvarer dette en 7 % reduksjon av smoltproduksjonene i vassdraget totalt sett. Reduksjonen blir noe lavere dersom en i tillegg inkluderer smoltproduksjon som forekommer i sideelvene. På den annen side så vil smolten i Bolstadelva ha en enklere vandringsvei ut av vassdraget, og må ikke passere Evangervatnet eller Vangsvatnet hvor det synes å forekomme en betydelig dødelighet under utvandring (Haugen mfl. 2017, Hansen mfl. 2022). Dette betyr at en reduksjon i smoltproduksjonen i Bolstadelva kan ha en større betydning på antall smolt som faktisk forlater vassdraget enn en tilsvarende reduksjon i de andre vassdragsavsnittene. Det er derfor vanskelig å beregne nøyaktig hvor mye Evanger kraftverk påvirker laksebestanden i vassdraget totalt sett, men resultatene tilsier at en i hvert fall kan forvente en moderat negativ effekt på bestanden som følge av endret temperturregimet i vassdraget.

4.4 Andre påvirkninger på vekst hos ungfisk

Selv om temperaturforholdene er en av de den viktigste miljøfaktoren som styrer vekst hos laks og aure, vil vekst også avhenge av andre faktorer som næringstilgang og konkurranse. Resultatene fra analysene av ungfiskvekst tilsier at deler av størrelsesforskjellen mellom ungfisk i Vosso og Bolstadelva var større enn det som kunne forklares av temperaturforholdene alene. I tillegg var det en klar endring i vekst over tid, der ungfisk av laks synes å vokse dårligere i perioden etter 2011 enn i perioden før. Denne vekstreduksjonen over tid var også signifikant for alle årsklasser av laksunger, men ikke for aure, og kan ikke forklares av endringer i temperaturforhold. En mulig forklaring på dette mønsteret kan være forskjeller i næringsgrunnlag. Målinger av næringsalter (nitrogen og fosfor) på de to vassdragsstekningene viser lavere nivå i Bolstadelva enn i Vosso, og at konsentrasjonen har sunket over tid i perioden 2011-2021 (Figur 37). Den lavere konsentrasjonene av næringsalter i Bolstadelva kan delvis skyldes at Evanger kraftverk tilfører næringsfattig fjellvann som bidrar til å fortynde næringsalter fra Vosso, og dermed bidrar til en oligotrofieringseffekt i Bolstadelva.

Nedgangen i totalt nitrogen over tid sammenfaller også med redusert atmosfærisk nitrogentilførsel i store deler av Europa (Austnes mfl. 2022), men kan trolig også skyldes redusert avrenning fra landbruk og bedre rensing fra bebyggelse i vassdragets nedslagsfelt. Dette er faktorer som må undersøkes nærmere da oligotrofieringseffekt kan påvirke økosystemet i vassdraget. Næringsalter er nødvendig for planteplankton-produksjonen i et vassdrag som i tur bidrar til økt forekomst av dyreplankton i innsjøene og bunndyr i elvene. Generelt foreligger det lite kunnskap både om hvordan vassdragsregulering påvirker næringsforhold i vassdrag, samt om hvordan ulike nivåer av næringsstoffer påvirker næringsgrunnlag, og dermed vekst og overlevelse hos fisk. Det er også mulig at de observerte vektforskjellene skyldes andre faktorer enn næringstilgang, som for eksempel forskjeller i konkurranseforhold, sykdommer eller andre økologiske effekter som ikke er undersøkt.



Figur 37. Konsentrasjon av nitrogen og fosfor i Vosso ved Kvilekvål og Bolstadelva fra vannprøver i perioden 2011-2021. Data fra Miljødirektoratets tiltaksobservasjon i kalkede laksevassdrag fra <https://miljoatlas.miljodirektoratet.no/>.

4.5 Effekter på utviklingshastighet

I tillegg til at redusert vanntemperatur om sommeren vil føre til redusert vekst, vil økt temperatur om vinteren føre til at utviklingshastigheten til egg vil gå raskere i Bolstadelva, og dermed resultere i at eggene klekker tidligere enn i Vosso. Slike endringer i utviklingshastighet kan føre til at yngelen kommer opp til et tidspunkt som er mindre gunstig for overlevelse. Tidligere ble vanntemperaturen ved «swim-up» tillagt stor betydning, ettersom det var antatt at lakseyngelen ikke ville klare å ta til seg næring dersom vanntemperaturen var under om lag 8 °C. Nærmere undersøkelser tilsier imidlertid at det ikke nødvendigvis er noen nedre temperaturgrense for at yngelen skal klare å ta til seg næring, men at andre faktorer som vannføring og konkurranse kan ha større betydning for overlevelse (Skoglund 2011). Modellering av tidspunkt for «swim-up» i Vosso og Bolstadelva tilsier at forskjellen i utviklingshastighet tidlig på vinteren blir redusert utover våren, ettersom vanntemperaturen i Vosso da øker raskere enn i Bolstadelva. Dette resulterer i at forskjellen i utviklingsfase mellom vassdragsavsnittene da reduseres, og yngelen kommer opp av grusen og starter næringsopptak omtrent samtidig. Basert på dette er det ingen grunn til å forvente at endringer i

utviklingshastigheten til egg og plommesekkynge i Bolstadelva vil ha noen betydning for overlevelse til yngelen etter at de kommer opp av grusen.

5.0 Oppsummering og konklusjon

En gjennomgang av temperaturforholdene på ulike elvestrekninger i Vossovassdraget viser at vanntemperaturen i Bolstadelva i gjennomsnitt er i om lag av 1 °C høyere enn i Vosso vinterstid, og i underkant av 2 °C lavere en Vosso sommerstid. Temperaturforskjellen mellom de to vassdragsavsnittene kan i stor grad knyttes til driftsvannføringen i Evanger kraftverk.

Ungfiskundersøkelser utført i vassdraget siden midten av 1990-tallet viser at fiskeveksten hos både laks og aure er gjennomgående lavere i Bolstadelva enn i Vosso. Variasjon i fiskestørrelse for ulike årsklasser både mellom år og mellom Bolstadelva og Vosso kan i stor grad, men ikke utelukkende, knyttes til temperatur i sommerperioden.

En tilsvarende vekstforskjell mellom Bolstadelva og Vosso ble også funnet ved å modellere vekst, smoltalder og overlevelse hos ungfisk av laks som en funksjon av vanntemperatur med en individbasert populasjonsmodell. Simuleringene viser at den reduserte veksten forventes å gi høyere smoltalder, som i sin tur er beregnet å gi opptil 20 % redusert overlevelse hos ungfisk frem til smolt i Bolstadelva sammenliknet med Vosso. Dette er i sin tur beregnet å utgjøre en 7 % reduksjon av smoltproduksjonen i vassdraget totalt sett (dvs. Bolstadelva + Vosso). Det er viktig å ta høyde for at datamodellen bygger på en del forutsetninger som ikke er godt nok kjent, og tar ikke hensyn til andre effekter enn vanntemperatur. Resultatene fra modelleringen vil derfor ikke gi en eksakt beskrivelse av smoltproduksjonen i vassdraget, men må ses på som en tilnærming for å forstå i hvilken størrelsesorden temperaturendring i Bolstadelva som følge av Evanger kraftverk kan påvirke vekst og produksjon.

Dataanalysene av fiskevekst tilsier at forskjeller i vanntemperatur ikke kan forklare hele vekstforskjellen som er observert hos ungfisk mellom Bolstadelva og Vosso, men at vekstforskjellen er større enn det som kan forklares av temperatur alene. Det ble også funnet en reduksjon i vekst over tid i både Vosso og Bolstadelva som ikke kan forklares av endringer i vanntemperatur. Årsaken til dette avviket må undersøkes nærmere, men kan skyldes forskjeller i næringstilgang. Konsentrasjonen av næringsstoffer i vannprøver viser at Bolstadelva er mer næringsfattig enn Vosso, og at konsentrasjonen av næringssalter har gått ned over tid i begge vassdragsavsnittene. Den lavere konsentrasjonene av næringsstoffer i Bolstadelva kan skyldes at kraftverket tilfører vassdraget næringsfattig vann, og dermed bidrar til å fortynde næringssaltene i vassdraget.

I tillegg til at redusert vanntemperatur om sommeren vil føre til redusert vekst, vil økt temperatur om vinteren føre til at utviklingshastigheten til egg vil gå raskere i Bolstadelva og resultere i tidligere klekking sammenliknet med i Vosso. Forskjellen i utviklingsfase mellom Bolstadelva og Vosso vil imidlertid avta ettersom Vosso varmes raskere opp om våren, og fører til at yngelen forventes å komme opp av grusen og starte næringsopptak omtrent til samme tidspunkt i de to vassdragsavsnittene. Det forventes derfor ikke at endret utviklingshastighet hos egg vil påvirke rekruttering av yngel.

Det lykkes ikke utarbeide en hydrodynamisk modell som kunne beskrive temperaturforholdene i Evangervatnet på en troverdig måte, men målinger av vanntemperaturer på ulike vanddyp tilsier at de kalde vannmassene fra kraftverket i stor grad blandes med de varmere vannmassene fra Vosso før

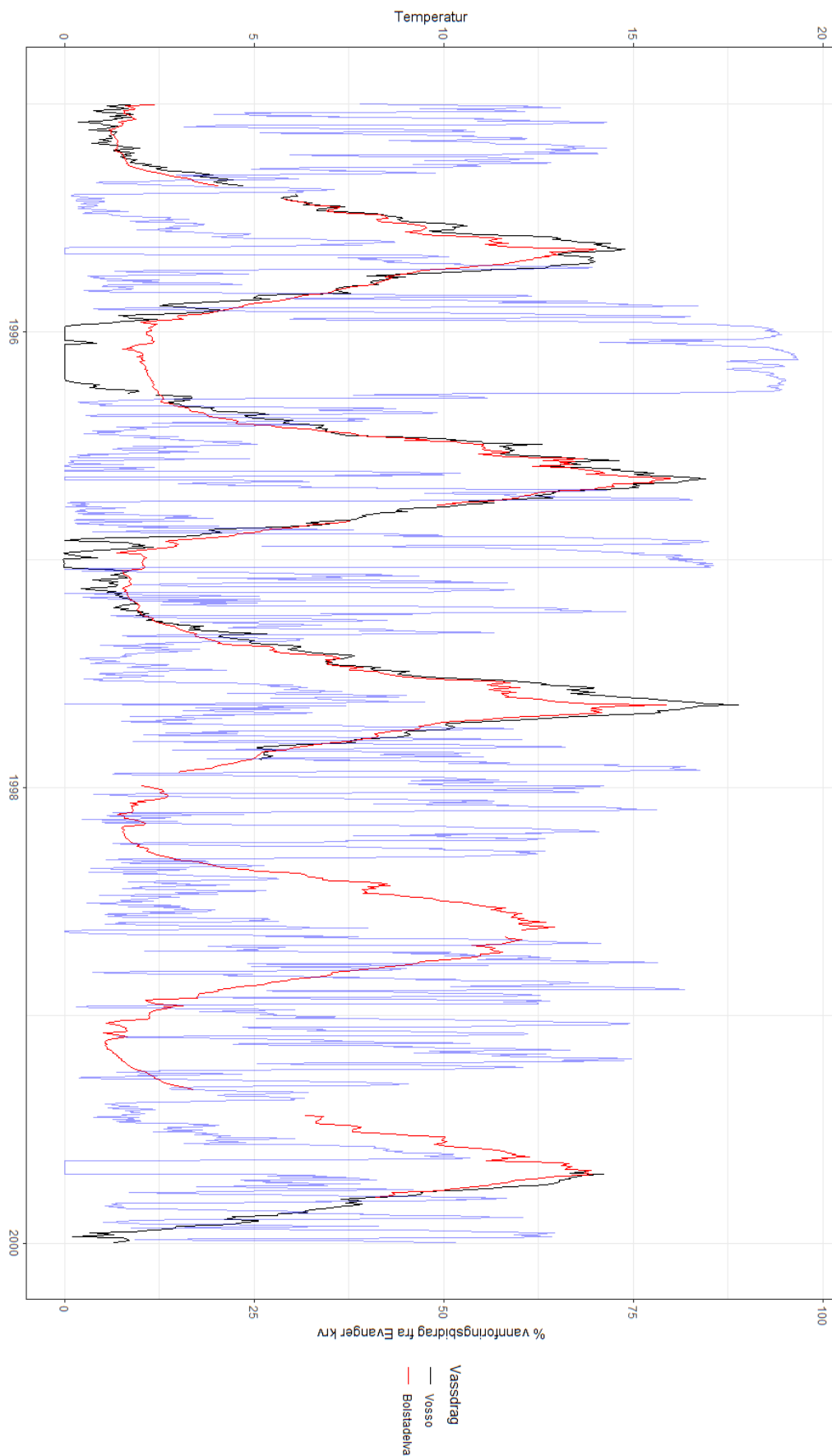
de strømmer ut i det dypere innsjøbassenget i Evangervatnet. Det kalde kraftverksvannet synes dermed å bidra til å kjøle ned vanntemperaturen i de øvre vannlagene av innsjøen fremfor å synke ned i de dypere vannlagene. Men det bør utføres flere målinger på ulike dyp i innsjøen og over lengre tidsperioder for å undersøke hvordan kraftverksvannet påvirker lagdelingen i Evangervatnet gjennom året.

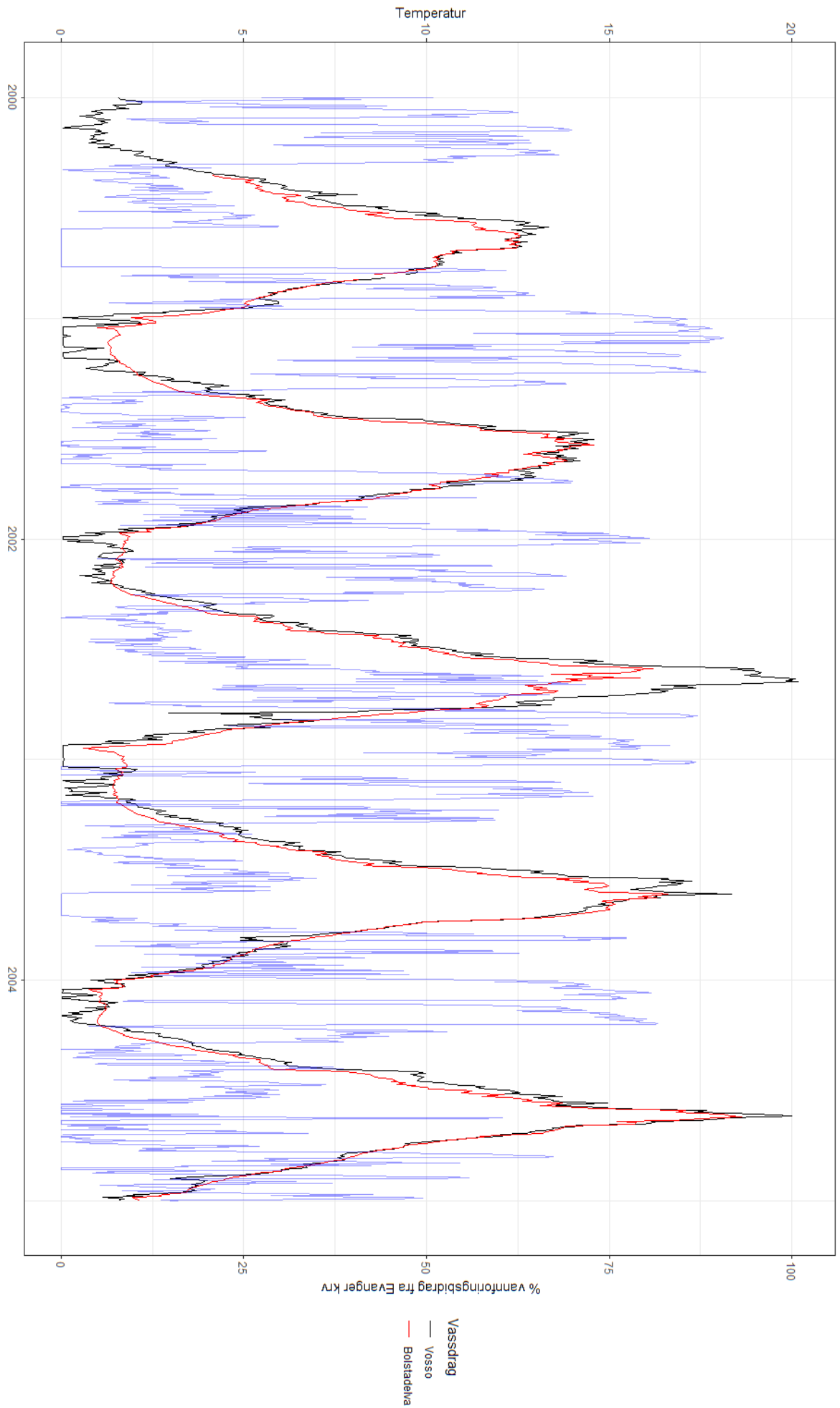
6.0 Referanser

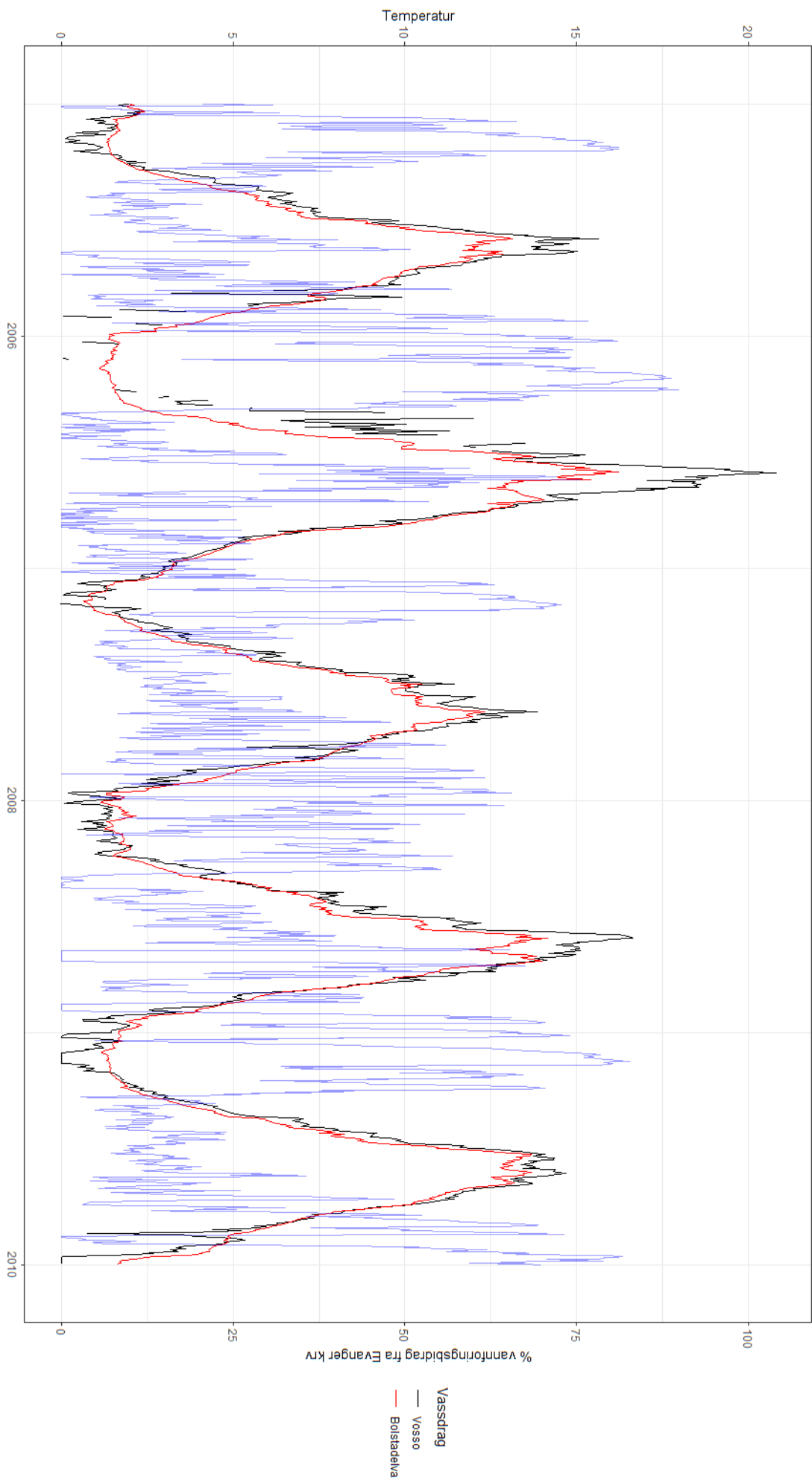
- Austnes, K., Hjermann, D. Ø., Sample, J. E., Wright, R. F., Kaste, Ø., & de Wit, H. (2022). Nitrogen in surface waters: time trends and geographical patterns explained by deposition levels and catchment characteristics. NIVA-rapport.
- Barlaup, B.T., Skoglund, H. & Gabrielsen, S.E. Effekter av regulering på laksebestanden. I: Vossolaksen – bestandsutvikling, trusselfaktorer og tiltak (red. B.T. Barlaup). Direktoratet for naturforvaltning. Utredning 2004-7.
- Barlaup, B.T. (red) 2018. Redningsaksjonen for Vossolaksen - Framdriftsrapport per 2017. LFI Uni Research rapport nr 300.
- BKK produksjon AS (2021). Vilårsrevisjon for Evanger kraftverk – Eksingedals- og Teigdalsvassdraget – Revisjonsdokument, datert 30.06.2021. Tilgjengelig fra: <https://webfileservice.nve.no/API/PublishedFiles/Download/a3f07b45-006b-46d2-a8ca-292e6396592e/201201010/3424085>
- 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.
- Hanssen, E. M., Vollset, K. W., Salvanes, A. G. V., Barlaup, B., Whoriskey, K., Isaksen, T. E., ... & Lennox, R. J. (2022). Acoustic telemetry predation sensors reveal the tribulations of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts migrating through lakes. *Ecology of Freshwater Fish*, 31(2), 424-437.
- Haugen, T. O., Kristensen, T., Nilsen, T. O., & Urke, H. A. (2017). Vandringsmønsteret til laksesmolt i Vossovassdraget med vekt på detaljert kartlegging av åtferd i innsjøsystema og effektar av miljøtilhøve.
- 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. 2013. 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., Sæggrov, 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.
- Isaksen, T.E., Barlaup, B.T., Avlesen, H., Skoglund, H., Bye-Ingebrigtsen, E., Vollset, K.W. 2019. Strøm- og temperaturforhold i Evangervatnet under smoltutgangen 2018. NORCE Norwegian Research Centre Miljø. LFI-rapport nr. 330. 68 s.
- Isaksen T.E., Barlaup B.T., Skoglund, H., Hanssen E.M. 2022. Strøm- og temperaturforhold i Evangervatnet under smoltutgangen 2019 og 2020. NORCE LFI rapport nr. 448
- 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.

- Metcalfe, N. B., & Thorpe, J. E. (1990). Determinants of geographical variation in the age of seaward-migrating salmon, *Salmo salar*. *The Journal of Animal Ecology*, 135-145.
- 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.
- Sikveland, S.E. & Hellen, B.A. 2020. Biologiske undersøkelser i fem regulerte vassdrag i Hordaland, høsten 2018. Rådgivende Biologer AS, rapport nr.
- 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.
- Skoglund, H. & Vollset, K.W. 2020. Effekter av vanntemperatur på vekst og rekruttering hos laks og aure i Bjoreio. NORCE LFI rapport nr 387. 25 s.
- Thorstad, E. B., Whoriskey, F., Rikardsen, A. H., & Aarestrup, K. (2011). Aquatic nomads: the life and migrations of the Atlantic salmon. *Atlantic salmon ecology*, 1(6), 1-32.
- Saltveit, S. J. (1990). Effect of decreased temperature on growth and smoltification of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) in a Norwegian regulated river. *Regulated Rivers: Research & Management*, 5(4), 295-303.
- 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-RAPE-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. Regulerings effekter, miljødesign og tiltak. - NINA Rapport 1716. Norsk institutt for naturforskning.
- Vaskinn, K.A. 2010. Temperaturforhold i elver og innsjøer – Tiltak for regulering av temperatur Simuleringsmodeller. NVE – Miljøbasert vannføring - Rapport nr. 3 - 2010

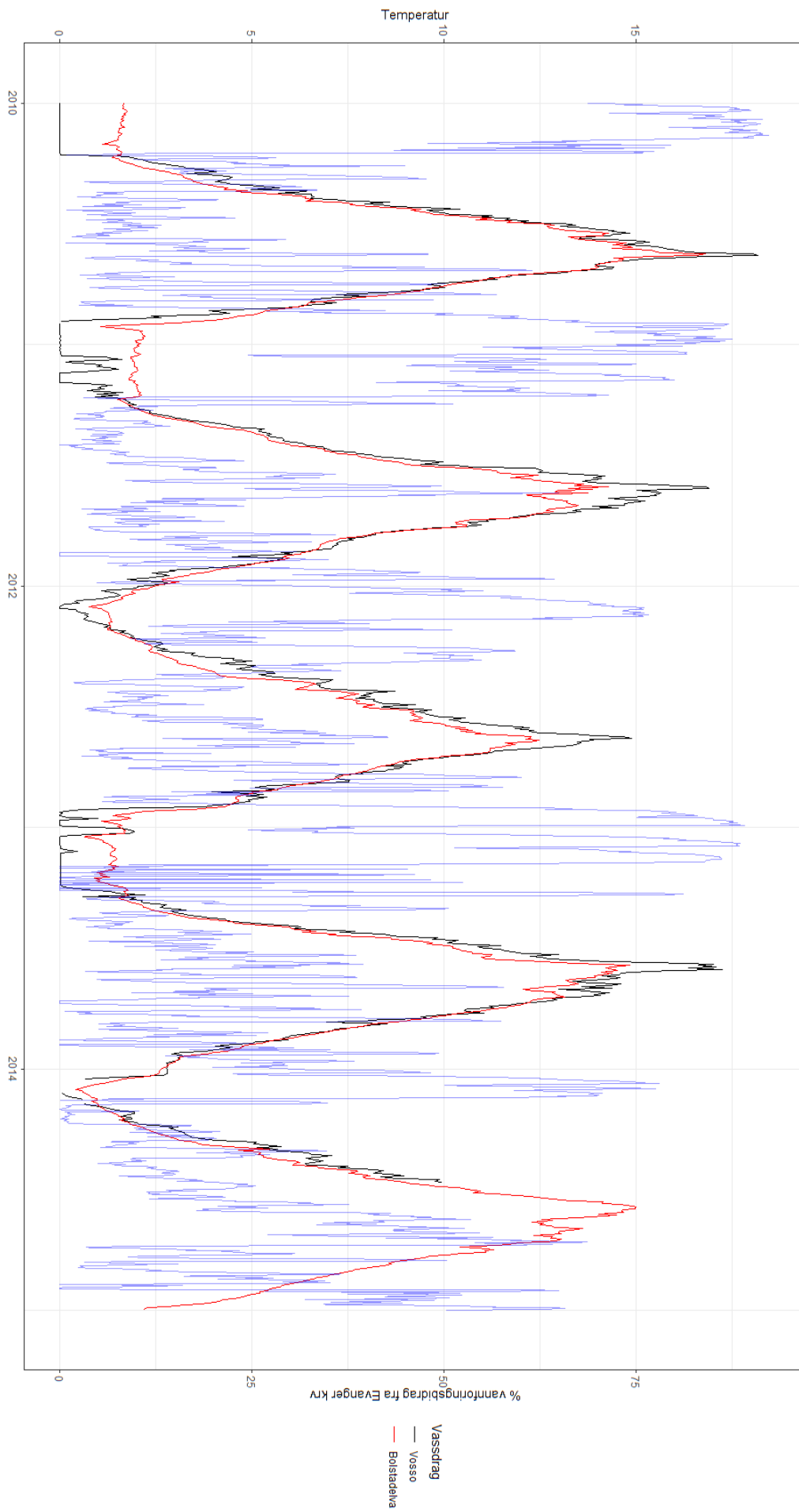
VEDLEGG 1 - Vanntemperatur i Vosso og Bolstadelva og vannføringsbidrag fra Evanger kraftverk.

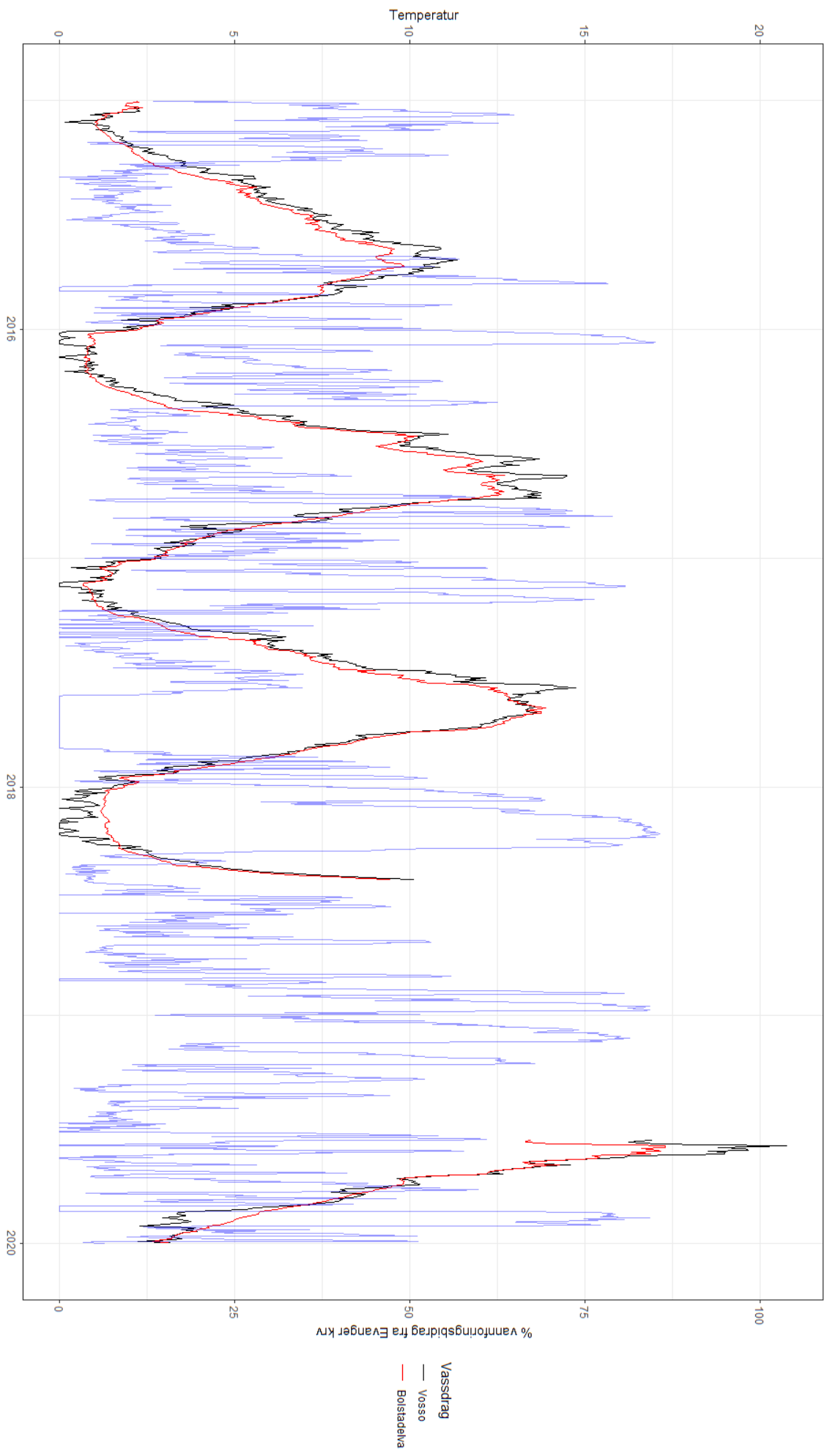




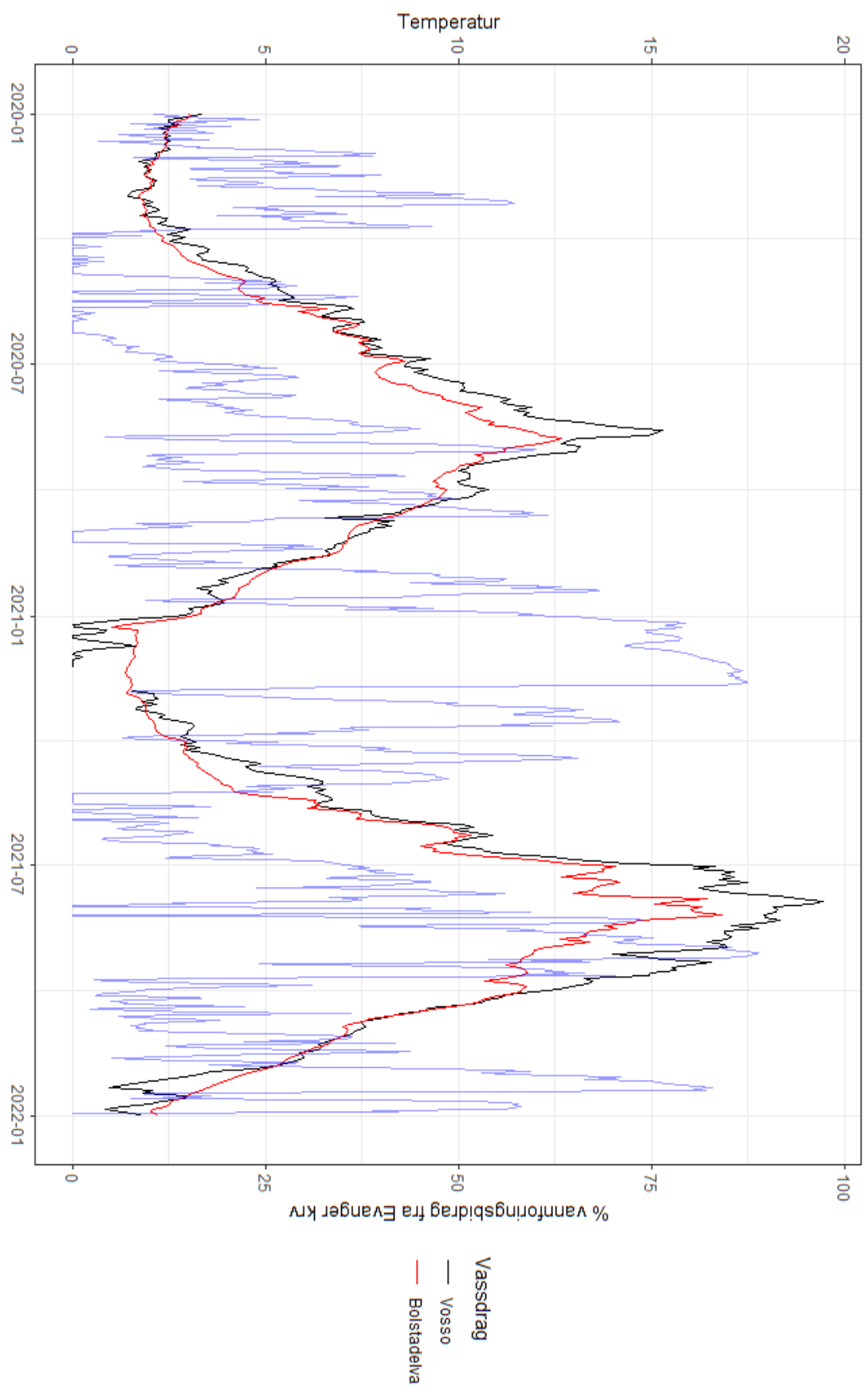


Vassdrag
 — Vosso
 — Bøistadelva





Vassdrag
 — Vosso
 — Bolstadelva



VEDLEGG 2 – Hydrodynamisk modellering av Evangervatnet

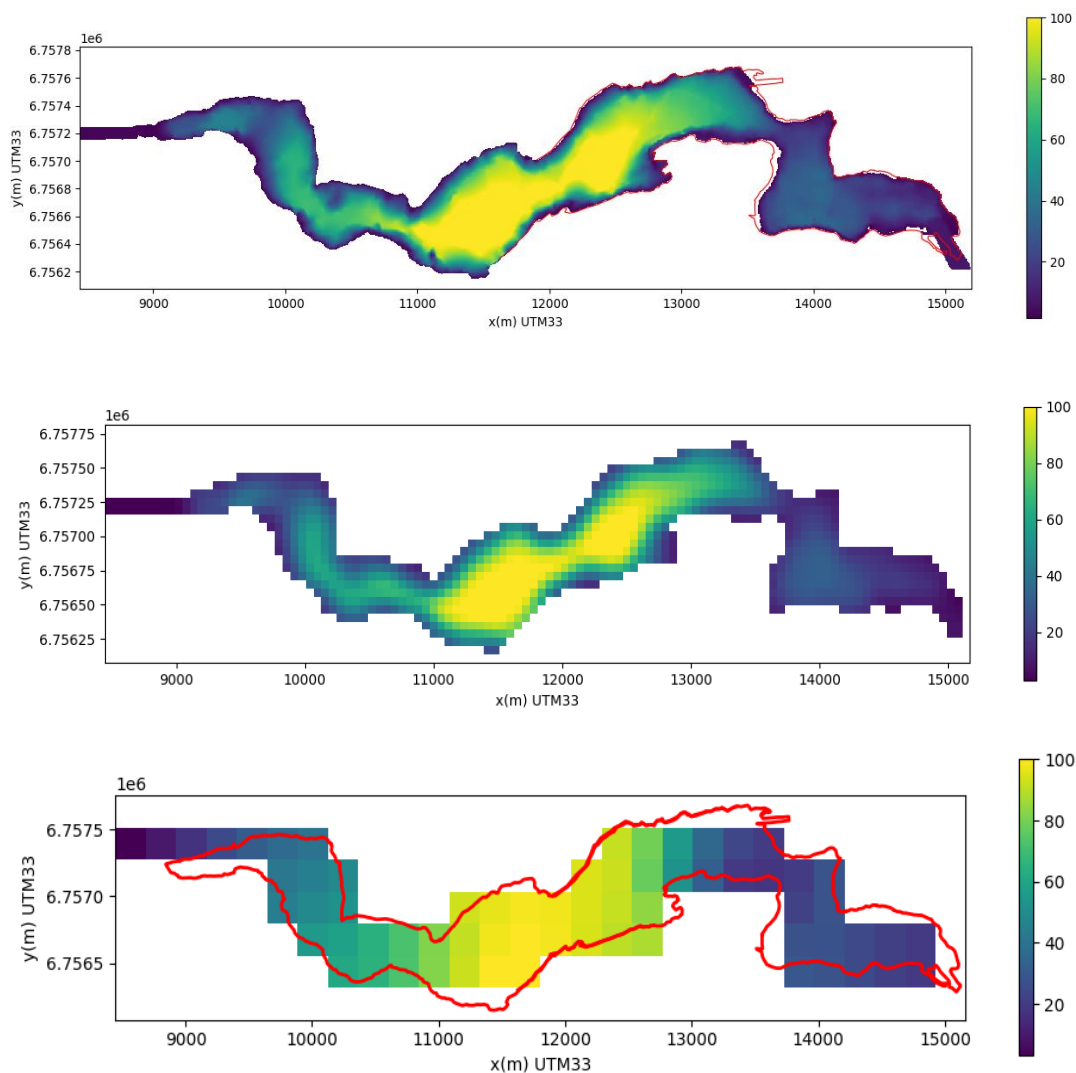
Bruk av hydrodynamiske modeller for å vurdere hvordan Evanger kraftverk påvirker strøm og temperaturforhold

Av Helge Avlesen, NORCE, Klima og miljø

I dette arbeidet er det benyttet en modelltilnærming for å bestemme hvordan driften av Evanger kraftverk i Evangervatnet i Vossovassdraget påvirker strøm og temperaturforhold. Prosjektet har videreført og utvidet tidligere modellarbeid slik at modellen nå dekker flere år/sesonger og hele Evangervatnet

Modellen er basert på arbeid gjort i 2018 (Isaksen et al 2019), hvor det ble etablert en modell som fokuserte på den østre delen av Evangervatnet. Vil derfor i hovedsak beskrive endringer/forbedringer som er gjort i forhold til den modellen og dens beskrivelse. Den største endringen i oppsettet er at område og drivkrefter har blitt utvidet slik at modellen nå dekker flere år/sesonger og hele Evangervatnet. Det er satt opp totalt tre konfigurasjoner for bunnmodellen, som vist i **Figur 1**, en med høy gitteroppløsning (5m) som kan brukes for å studere detaljer i strømbildet over korte tidsperioder (uker), en middels oppløsning (60m) og en modell med lav oppløsning (240m). Sistnevnte modell gjør det mulig å studere endringer i temperatur og lagdeling over lengre tidsperioder (flere måneder), uten behov for tungregnemaskin. Denne forenklete modellen brukes med fra 40 til 80 lag i vertikal retning.

Kjernen i modellen er en tredimensjonal hydrodynamisk strømningsmodell med fri overflate og terrengfølgende koordinatsystem i vertikal retning, Bergen Ocean Model (BOM) (Berntsen,2000), utviklet ved Universitetet i Bergen, Uni Research/NORCE, Havforskningsinstituttet siden begynnelsen av nittitallet. Modellen er oftest brukt i studier av tetthetsdrevet strøm og hydrografi i hav og kystnære strøk, men har opp gjennom årene fått mange utvidelser slik at den kan benyttes også i mer generiske problem hvor man har strøm drevet av tetthetsforskjeller. Modellen er brukt i en lang rekke publikasjoner og validert med laboratorieforsøk og mot målinger i fjorder (Berntsen et al 2006, 2008, 2009,2015,2018).



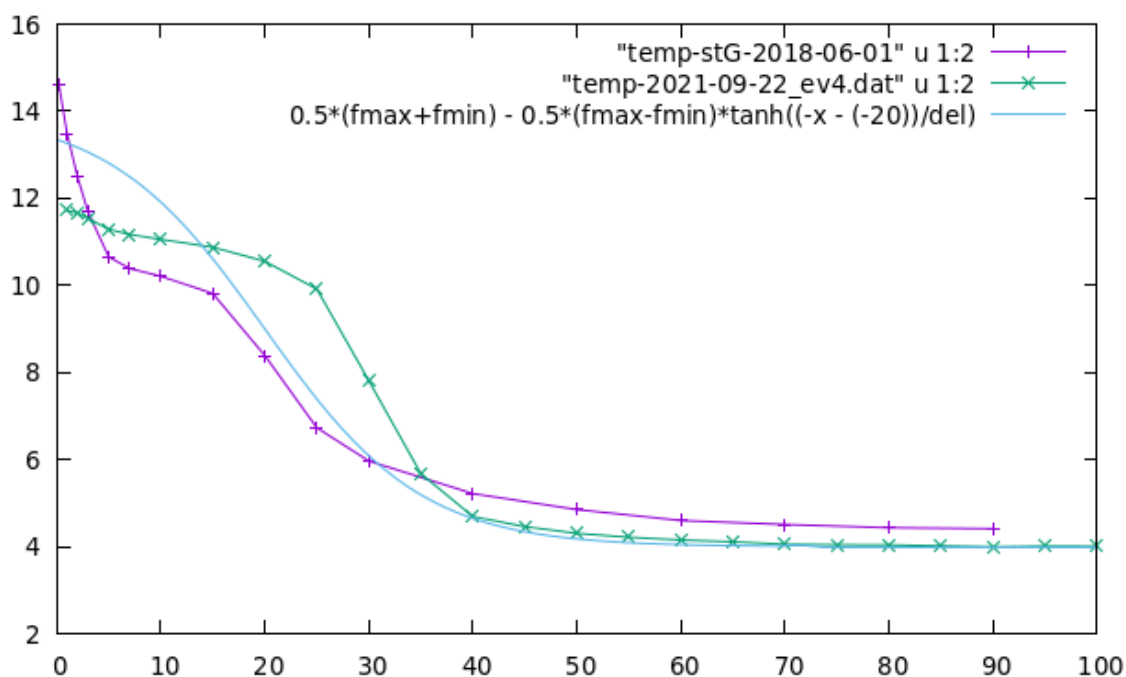
Figur 1. Bunnmodeller med hhv. 5m, 60m og 240m gitterstørrelse

Modellens startbetingelser er konstruert fra målte vertikallprofil av temperatur. Siden vi har et begrenset antall målinger fra den vestre delen antar vi at overflatelagets temperatur er dominert av Vosso sin temperatur, og at temperaturen i dypet holder seg rundt 4 grader året rundt. Vi vet videre at tykkelsen på overflatelaget er minst i begynnelsen av våren og øker på mot august/september hvor tykkelsen begynner å reduseres igjen. I **Figur 2** viser målte profiler samt en TANH-basert formel for å lage et kunstig vertikallprofil når man antar kjent overflatetemperatur og tykkelse på sjikt. Et eksempel på hvordan startbetingelsen kan se ut er gitt i **Figur 3**, hvor vi ser at den vestre delen har fått en temperatursjiktning basert på kurvetilpasningen beskrevet over, mens den østre delen antas nedblandet og med konstant temperatur i vertikalen.

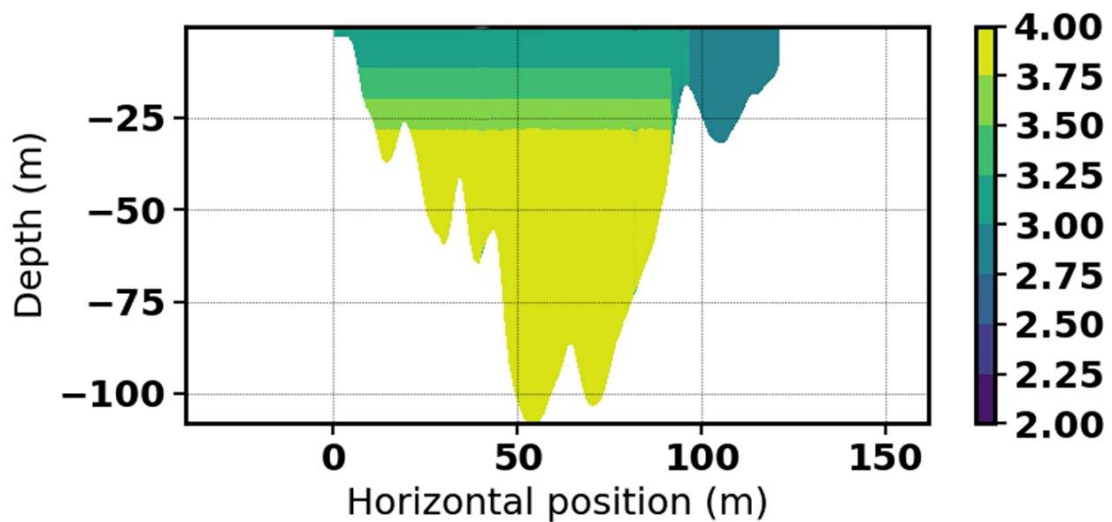
Modellen drives i all hovedsak av de tre innløpene med sterkt varierende vanntransport og temperatur; Vosso, Kraftverket og Teigdalselva. Det har blitt samlet inn temperatur og vannføringsdata

for 10 siste år for Vosso, Evanger Kraftverk, Teigdalselva og Bolstad, som har blitt filtrert og tilpasset modellen. Submodeller for atmosfærisk oppvarming av overflatevann, blanding m.m. har blitt prøvd ut, men har på grunn av stor usikkerhet i data for skydekke ikke blitt brukt. Det samme er tilfelle for vinddata, disse er innhentet fra målestasjonen ved Evanger stasjon, vinden er i tillegg relativt svak, og vil derfor ikke påvirke strømforhold signifikant. I modellen er effekten av vanntransport i Vosso på vannivået i Evangervatnet inkludert ved å påskrive et gitt vannivå ut fra en statistisk modell utviklet av BKK og beskrevet i Isaksen et al 2019. Endringen i vannstand kan være med å påvirke utvekslingen av vann mellom østre og vestre del av Evangervatnet som foregår over terskelen utenfor Fadnes, men også her er grunnantakelsen at effekten er liten. Modellforsøkene i Isaksen et al 2019 viste ingen signifikant effekt på strømmønster da vannstand ble endret.

Den groveste modellen er kjørt for sesongene vi har mest komplette data for; 2016, 2018, 2020 og 2021. De finmaskede modellene er satt opp, men på grunn av problemer med de grove modellene har det ikke blitt prioritert å kjøre fulle parameterjusteringssimuleringer med de finmaskede.



Figur 2. De to målte temperaturprofilene vi har for vestre del av Evangervatnet. Den heltrukne linjen uten merker viser eksempel på en kurvetilpasning som approksimerer et virkelig profil ved en gitt overflatetemperatur og tykkelse på blandingslaget.



Figur 3. Eksempel på initiell sjuktning konstruert fra Vosso sin temperatur og gitt tid i sesong

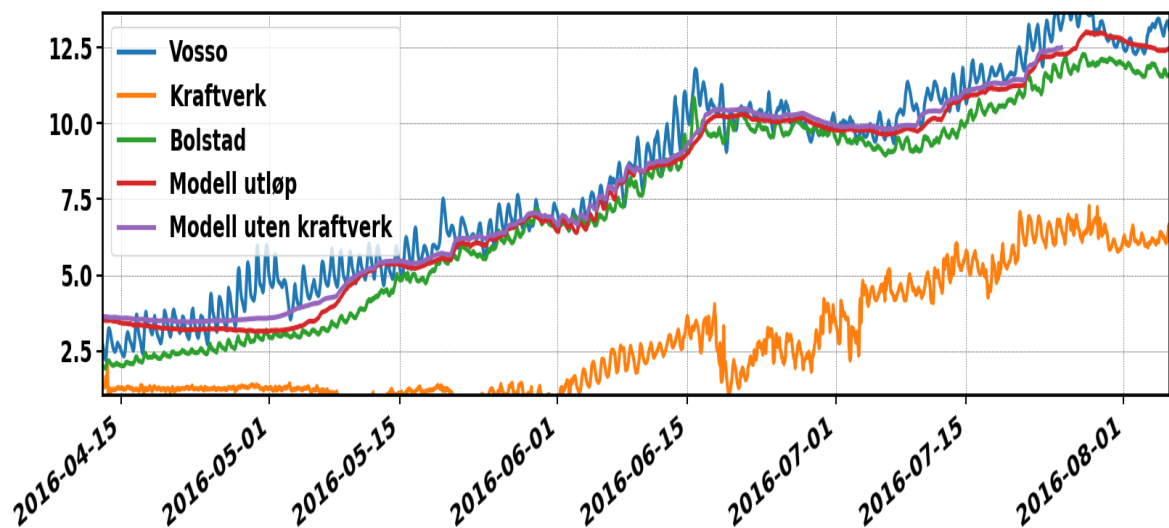
Resultat

Hovedfokus i denne modelleringsøvelsen har vært å se på temperaturen ved utløpet av Evangervatnet, dvs starten av Bolstadelven. Modelltemperaturen som vises i de følgende tidsseriene er middeltemperaturen i det øverste laget, ca 0.5m dypt. Det er de senere årene blitt utført en stor mengde målinger, med lange tidsserier, av temperatur og vannføring for de viktigste tilsigene av vann i Evangervatnet, samt temperaturen ved Bolstad. Når man legger til meteorologiske data og målte temperatur profiler fra tokt i vannet ligger alt til rette for at dette skal være et svært godt egnet case for å validere en numerisk modell, og videre kunne kjøre eksperiment hvor for eksempel kan se på ulike effektkjøringsscenario med kraftverket.

Når det gjøres testkjøringer hvor kraftverket i modellen blir skrudd av sier modellen at kraftverket har en nedkjølende effekt på vanntemperaturen i overflaten nær Bolstadelven. Dette samsvarer med målinger.

2016

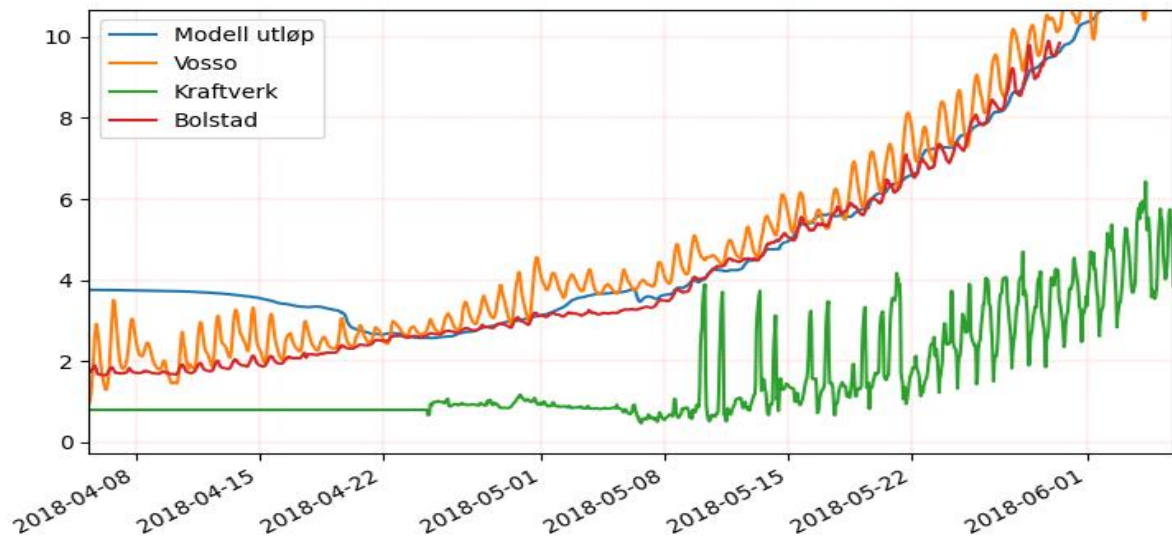
Den modellerte temperaturen i Bolstadelven for 2016 i **Figur 4** viser relativt god overenstemmelse med målinger frem til begynnelsen av juli. Vi observerer at modellen bruker ca. to uker fra initialbetingelsen til den drar seg mot observert verdi. Vi ser videre at døgnvariasjonen i målt temperatur for Bolstadelven er mye lavere enn svingningene i temperatur for Vosso. I begynnelsen av juli reduseres vannføringen i Vosso, og kraftverket får relativt mer å si. For dette året gir modellen for høy temperatur på Bolstadelven. Vi observerer at det er liten forskjell på temperaturen med/uten kraftverk.



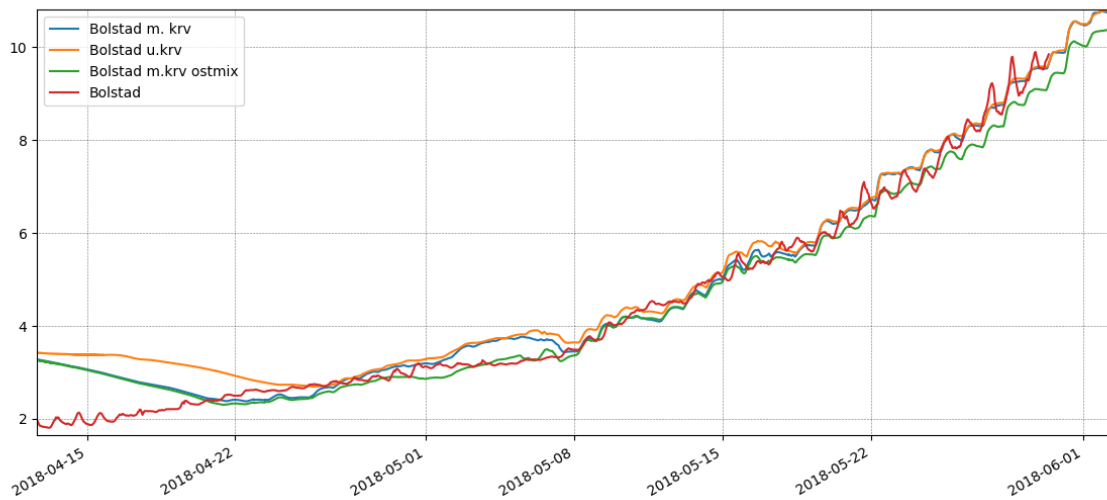
Figur 4. Modellert vanntemperatur Bolstadelven med og uten kraftverk 2016

Resultat fra sesongen 2018

I 2018 har vi komplette inngangsdata kun for perioden fra 1.4 til midten av juni. Vosso har i perioden 25.4 til 5.5 relativt liten vannføring i forhold til kraftverket. I denne perioden ser vi i **Figur 5** at modellen (blå kurve) ligger for nær Vosso sin temperatur. øker vi blandingen ved utløpet av kraftstasjonen, og dermed ser vi temperaturen for Borlaug i den omtalte perioden med høy relativ kraftverkvanntransport følge målingen. Vi vet også at 2018 var en varm sommer, så det at modellen treffer godt i april-mai og begynner å underpredikerte temperatur i slutten av mai kan tyde på at modellen burde hatt en mer nøyaktig strålingsmodell.



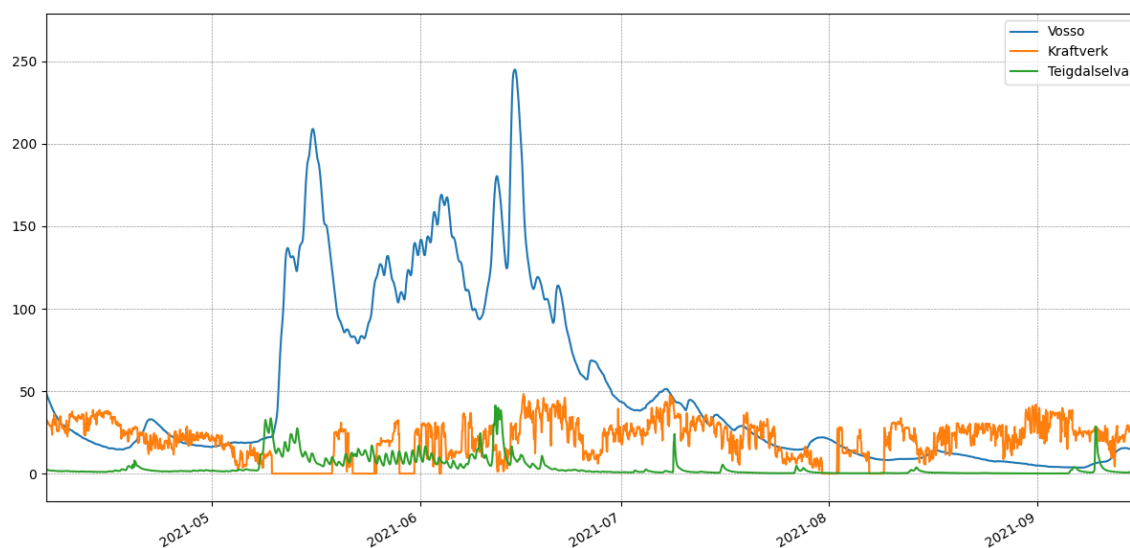
Figur 5. Modellert temperatur Bolstadelven 2018



Figur 6. Modellert temperatur Bolstadelven 2018 med økt blanding ved utløp kraftstasjon.

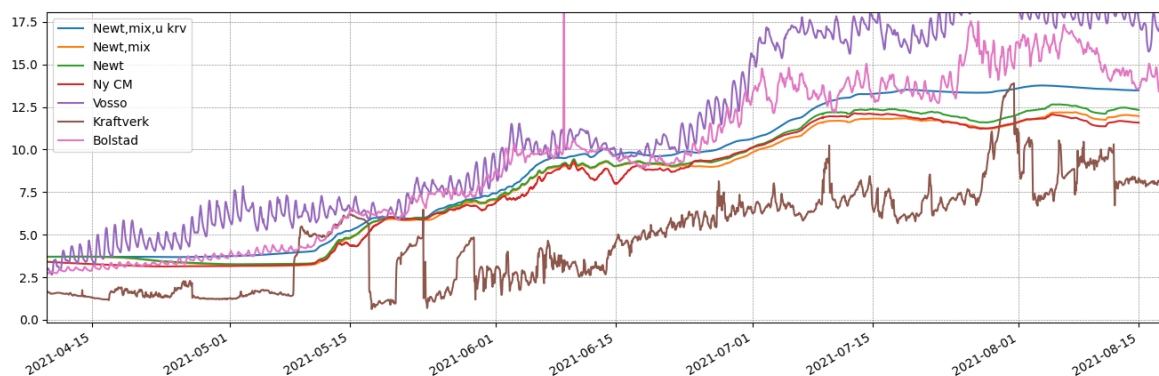
2021

Dette er et interessant år å modellere, vi har relativt høy vannføring i kraftverket i forhold til Vosso fra begynnelsen av juli, som vist i **Figur 7**, og gode målinger for hele perioden.



Figur 7. Vannføring i Vosso, Teigdalselva og kraftverket i 2021

Figur 8 viser modellert temperatur 2018 ved utløpet av vannet, med (orange) og uten (blå) kraftverksvann inkludert i avrenningen inn i sjøen. Selv om modellen kvalitativt gir en troverdig representasjon av fysikken er ikke nøyaktigheten så god som man kunne ønske, spesielt i perioder hvor avrenningen fra kraftverket er stor i forhold til Vosso. Dette til tross for at vi bruker samme teknikk for blanding som virket bra for 2018; m.a.o. vi øker den vertikale blandingen ved utløpet av kraftstasjonen.

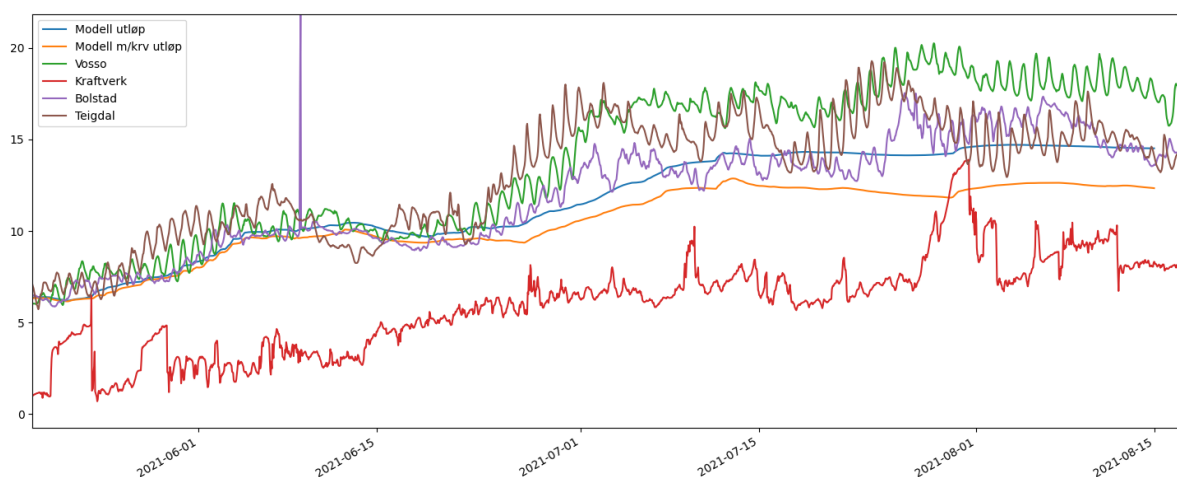


Figur 8. Modellert temperatur 2021, med test av en rekke tiltak for å justere blanding i modellen for å treffe målt utløstetemperatur bedre, liten effekt.

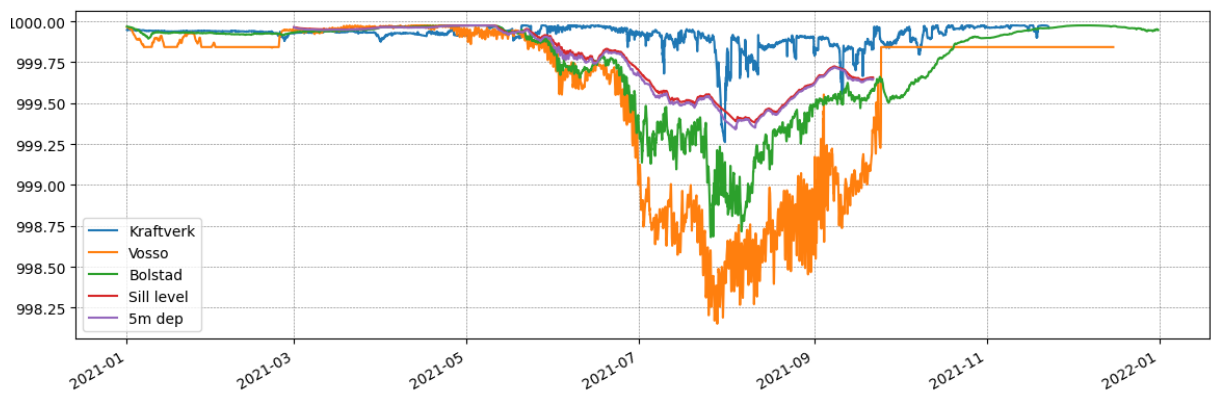
Det har blitt kjørt en lang rekke simuleringer for å finne ut om det er parameterinnstillinger som er hovedårsak til at modellens nedkjøling av overflatevann i perioder er for høyt. **Figur 9** viser noen eksempler, hvor parametre som påvirker blanding har blitt endret. Den modellerte utløpstemperaturen estimeres for lav sammenliknet med målte verdier. Dette gjelder både med kraftverksavrenning og uten. Justeringer som har blitt prøvd uten suksess er glatting av topografi for både kystlinje og bunn, sterk økning i antall vertikale lag, økt horisontal oppløsning, kortere tidskritt, newtonsk demping av hastigheter langs bratte koordinatflater, kjøring uten turbulensskjema m.v. Det som er åpenbart er at dette har med vertikal blanding å gjøre. **Figur 10** viser tidsserie av tetthet for innløp versus tetthet i det østre bassenget av Evangervannet. Vi ser at tettheten til Kraftverksvannet er minst av alle innløp i perioden før omrøringen i mai. Etter omrøringen er kraftverksvannet tyngst, og forventes å synke ned til og innlagres med andre vannlag med samme tetthetsnivå.

Figur 11 viser hvordan temperaturprofilene for det dypeste punktet i den vestre og østre delen av vannet endres over tid. Øverste rad er 1.april, deretter den 1. i hver måned. Vi ser at modellen i den østre delen har liknende temperaturskjell mellom overflate og bunn som ble rapportert i Isaksen et al 2019, det varierer mellom 0.5 og 1.5 grader. Så rent kvalitativt ser temperaturprofilene fra den østre delen av vannet riktig ut. Videre ser vi at april og mai har det kaldeste vannet på toppen, som er riktig i forhold til tettheten ferskvann har når vi er i området rundt maksimal tetthet ved 4 grader. Vann som blir kaldere enn 4 grader blir gradvis lettere. I løpet av mai har vi også i modellen (ikke vist her) situasjonen hvor det vertikale temperaturprofilet er konstant, og man får «omrøring».

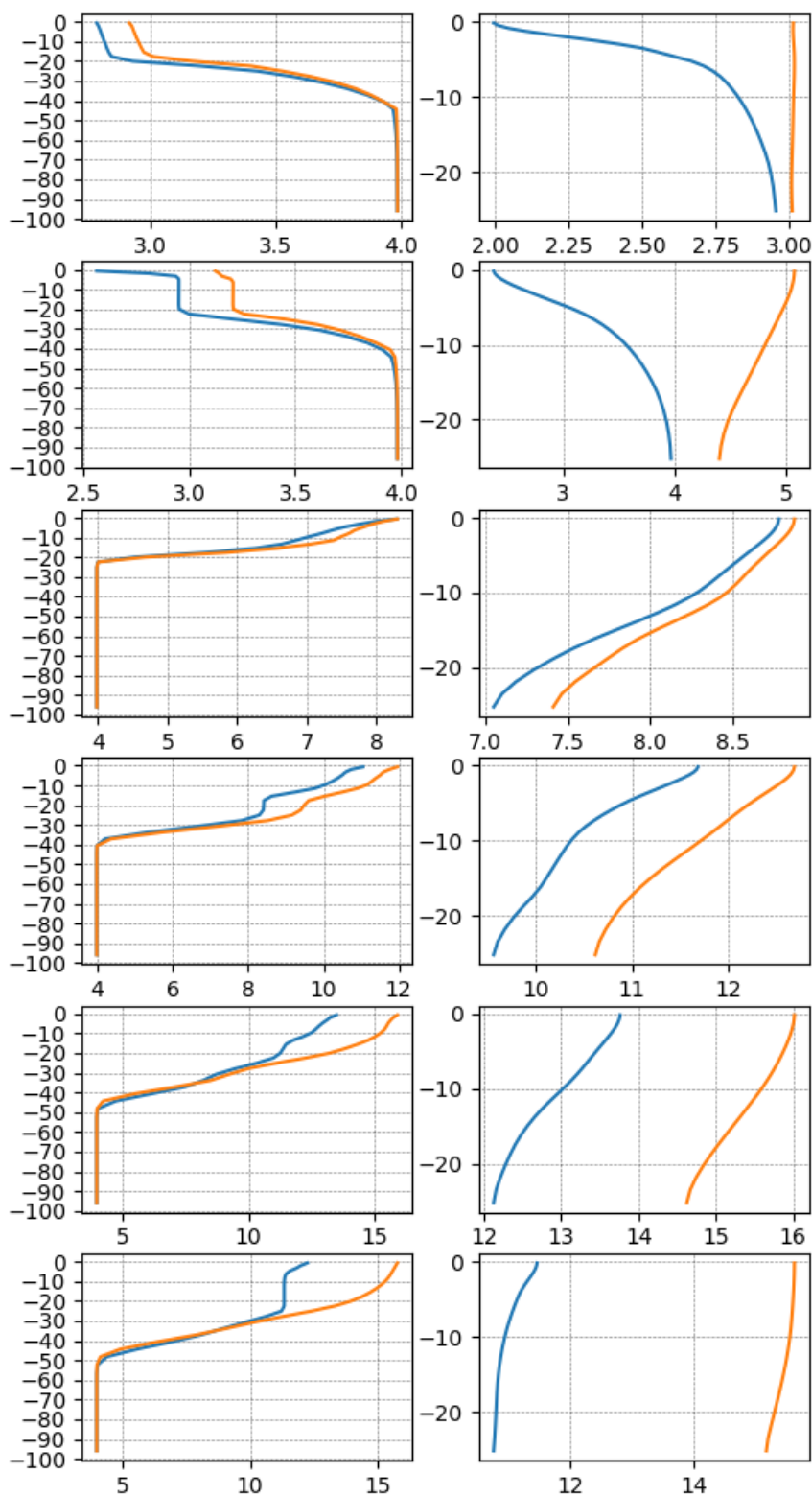
Vi ser i plottene for den vestre delen det samme skiftet mellom april og mai. Vi ser også at tykkelsen på topplaget øker utover sommeren/høsten, og det er sannsynligvis her kilden til den alt for store nedkjølingen av vann i overflaten ved Bolstad for 2021 ligger: modellen blander inn for mye kaldt vann fra lagene rett nedenfor. Fra målinger indikeres det at overflatevannet i hovedsak aldri blandes dypere ned enn 50-60m. Dette ser vi kvalitativt er rett også i modellen, men formen på profilet i blandingslaget burde sannsynligvis likne det målte septemberprofilet i større grad. Årsaken til dette ligger for dypt i kjernen av modellen til at det var tid å nøste opp i det.



Figur 9. Modellert temperatur 2021. Blå kurve viser modellert temperatur når vi ikke tar med avrenning fra kraftverket



Figur 10. Tetthet til innløp sammenliknet med tetthet på 5m dyp og 18m dyp (terskel) i østre del av Evangervatnet



Figur 11. Temperaturprofil for 2021, dypeste område i vestre del til venstre, profil for dypeste område i østre del til høyre. Øverste rad er 1.april, siste rad 1.september. Blå linje simulering med kraftverk, orange uten kraftverk.

Diskusjon

Modellen av Evangervannet indikerer at kraftverket bidrar til å senke temperaturen i de øverste vannlagene, noe som er i tråd med observasjoner. Midt på sommeren er vannet fra kraftverket tyngre enn vannet fra Vosso, og vil derfor synke ned og innlagres i lag med samme tetthet. På veien dit skjer det en blandingsprosess, som endrer vanntemperatur på nærliggende vann. Denne prosessen er komplisert å modellere, da den består av både vertikale og horisontale omrøringsbevegelser. Vi er avhengig av å parametrisere prosessene da det ikke er tilstrekkelig horisontal oppløsning til å representere disse fenomenene i modellen som kan kjøres langt i tid.

Resultatene fra en enkel validering av modellen viser at modellverktøyet periodevis viser evne til å beregne overflatetemperatur i starten av Bolstadelven som funksjon av avrenning og temperatur for Vosso og Evanger kraftverk, men det har for den grove modellen vist seg å være langt mer krevende enn antatt å finne gode modellparametre for de prosessene vi ikke representerer eksakt med de matematiske grunnlikningene, som for eksempel blanding (mixing). Det har derfor ikke vært nok tid i prosjektet til å komme helt i mål slik at modellverktøyet kan brukes slik det var tenkt.

Det ligger også usikkerhet i forenklingene som er gjort i den groveste modellen. På grunn av manglende data for skydekke er en forenklet «bulk» modell for varmeflukt benyttet. I tidsseriene for temperatur kan dette observeres ved at de raske døgnvariasjonene i overflatetemperatur er mindre synlige i modellens overflatetemperatur enn det som er observert.

Videre er det i den grove modellen også gjort grovestimat av sjøbunnsdyp, slik at de skal være så gode som mulig når man beregner transporthastigheter over terskelen ved Fadnes. Har valgt å la gridet over terskelen ha rett terskelhøyde, men det medfører derfor noe feil i volum/dybder i nærheten av terskelen.

Referanser

- Berntsen J (2000) USERS GUIDE for a modesplit σ -coordinate numerical ocean model. Technical Report 135, Dept. of Applied Mathematics, University of Bergen, Johs. Bruns gt.12, N-5008 Bergen, Norway. 48p
- Berntsen J, Xing J, Alendal G (2006) Assessment of non-hydrostatic ocean models using laboratory scale problems. Cont Shelf Res 26:1433–1447
- Berntsen J, Xing J, Davies A (2008) Numerical studies of internal waves at a sill: sensitivity to horizontal size and subgrid scale closure. Cont Shelf Res 28:1376–1393
- Berntsen J, Xing J, Davies A (2009) Numerical studies of flow over a sill: sensitivity of the non-hydrostatic effects to the grid size. Ocean Dyn 59:1043–1059
- Berntsen J, Thiem \emptyset , Avlesen H (2015) Internal pressure gradient errors in sigma-coordinate ocean models in high resolution fjord studies. Ocean Model 92:42–55
- Berntsen J, Alendal G, Avlesen H, Thiem \emptyset (2018) Effects of the bottom boundary condition in numerical investigations of dense water cascading on a slope. Ocean Dyn 68:553–573
- Isaksen T.E., Barlaup B, Avlesen H, Skoglund H, Bye-Ingebrigtsen E, Vollset K, Strøm- og temperaturforhold i Evangervatnet under smoltutgangen i 2018. NORCE Norwegian Research Centre AS Bergen 2019, SERIE LFI Uni Miljø, ISSN 1892-8889.