

Resultater fra studier av smoltoverlevelse forbi Evanger kraftverk våren 2020



LABORATORIUM FOR FERSKVANNØKOLOGI OG INNLANDSFISKE (LFI) NORCE Nygårdsgaten 112 5008 Bergen		TELEFON: 55 58 22 28
NOTAT: Resultater fra studier av smoltoverlevelse forbi Evanger kraftverk 2020	DATO: 01.07.2021	
FORFATTERE: Knut Wiik Vollset, Robert Lennox, Thronnd Haugen, Erlend Hanssen, Bjørn Torgeir Barlaup	GEOGRAFISK OMRÅDE: Vestland, Voss kommune	
<p>SAMMENDRAG: I forbindelse med reetableringsarbeidet med Vossolaksen har det vært stort fokus på å identifisere og eventuelle minimere flaskehals i livssyklusen til laksen. Overlevelsen til smolt i ferskvann har blitt vurdert som en mulig viktig flaskehals, og studier indikerer at dødelighet i innsjøer kan være spesielt høyt. I Evanger kan resultater fra akustiske merkestudier av smolt tolkes i den retning at dødeligheten er spesielt høy rundt utløpet av Evanger kraftverk, men høy predasjon i innsjøen gjør det svært vanskelig å stadfeste hvor og når denne dødeligheten inntreffer og dermed kunne koble den til kraftverksdrift. I 2020 ble det gjennomført en studie for å undersøke i detalj om kraftverket har en effekt på smoltoverlevelse og atferd ved å bruke spesialbygde akustiske merker med predatorsensorer samtidig som man varierte kjøringen av kraftverket slik at det var periodevis avslått gjennom smoltvandingsperioden. I tillegg ble predatorer (ørret) og en andel av smolten merket med dybdemerker for å studere hvor og når predatorer og smolt i innsjøen eventuelt overlapper i tid og rom. Resultatene viser som tidligere studier at en stor andel av den merkede smolten blir spist i første del av innsjøen, og at smolten har en dybdeatferd som gjør at de unngår visuelle predatorer om dagen og vandrer om natten. Sannsynligheten for å passere kraftverksutløpet var upåvirket av om kraftverket var på eller av, og vi konkluderer derfor at det er lite sannsynlig at vannføringen i kraftverket er en direkte årsak til den høye dødeligheten i første del av innsjøen.</p>		
OPPDRAGSGIVER: BKK med delfinansiering av oppdrettere i PO3 og PO4. KONTAKTPERSON: Sissel Hauge Mykletun og Nils Inge Hitland	ANTALL SIDER: 25	
FORSIDEFOTO: Bilder fra merking av laksesmolt og utsett av lyttebøyer (Foto: Knut Wiik Vollset)		

Bakgrunn og målsetting

I arbeidet med redningsaksjonen for Vossolaksen har det vært undersøkt en rekke trusselfaktorer for å evaluere flaskehalsen som hindrer at bestanden tar seg opp igjen. I et større perspektiv er innsiget av villaks til Norge mer enn halvert siden 1980-tallet og mye av denne tilbakegangen skyldes trolig at forholdene laksen møter i den marine fasen er blitt mindre gunstige (Vollset et al. 2019, Beaugrand et al. 2019). Likevel er det flere bestander på Vestlandet som over mange år har hatt stabilt høstbare overskudd og som er viktige kilder til rekreasjon og næringsutvikling. Forholdene i havområdene synes derfor ikke å være til hinder for at en kan oppnå høstbare laksebestander også på Vestlandet. Et kjennetegn ved situasjonen er at det er store regionale forskjeller i bestandsstatus. Situasjonen er bedre i Rogaland sammenlignet med Vestland, og i Vestland er det et generelt trekk at kystnære bestander klarer seg bedre enn bestander med lang fjordvandring slik som Vosso (Vollset m.fl. 2014). En av årsakene til dette mønsteret er mest sannsynlig effekter av lakselus fra oppdrett (se for eksempel Johnsen et al. 2020)

I Vosso har hovedfokuset vært på forhold i elv, fjord og kyst som kan utgjøre flaskehalsen for smoltens overlevelse. I tillegg har en viktig del av redningsaksjonen vært å tilbakeføre materiale fra genbanken for å reetablere den opprinnelige laksestammen og øke gytebestanden og dermed smoltproduksjonen i vassdraget. Dette har vært gjort ved stor-skala slep av klekkerismolt ut fjordene i femårsperioden 2009 til 2013 noe som har ført til at gytebestandsmålet for bestanden har vært nådd i årene 2011 til 2017.

Et annet element er at det ikke har fungert å kultivere bestanden ved å sette ut klekkerifisk i vassdraget. All data fra vassdraget tilsier at disse fiskene ikke klarer seg og bidrar lite til bestanden (Barlaup et al. 2015). En kultiveringsmetode som *har* fungert er å slepe fisken til de ytre områdene i tanker eller merder, for så å slippe dem enten ved Arna eller lenger ute. Det samme mønsteret er blitt observert i Dale (Skilbrei et al. 2013). For å evaluere hvor overlevelsen har vært høyest i løpet av smoltutvandringforløpet har man tatt i bruk merkestudier med akustiske merker for å evaluere hvor under vandring dødeligheten er størst. I flere tidligere studier har man hatt fokus på klekkerifisk ettersom de er større (og dermed har mindre merkeeffekt). Senere studier har derimot vist at klekkerifisk har en unormal atferd i ferskvann i Vossovassdraget og initierer ikke vandring samtidig som villfisk (Haugen et al. 2017). Dette kan forklare noe av årsaken til at man har hatt suksess med slep i fjor versus utsett i elv. Samtidig har merkestudier med bruk av PIT på villfisk indikert at overlevelsen hos villsmolt som vandrer ut av vassdraget, det vil si smolt merket i elv eller i Bolstadfjorden, er lav. PIT-merkestudier kan derimot ikke skille om dødeligheten skjer lenger ute i fjorden.

Et av hovedresultatene fra samtlige studier med bruk av akustiske merker er at det er stort frafall av fisk i innsjøer, ved Straume-Stamnes området nedstrøms Bolstadfjorden, og i noen tilfeller også i første del av Bolstadfjorden ved utløpet av Bolstadelven (Vollset et al. 2014, Haugen et al. 2016). Dette er sannsynligvis knyttet til predasjon. Studiet fra Haugen et al. (2016) indikerte samtidig at denne dødeligheten var spesielt høy i Evanger og spekulerte i at dette kunne være knyttet til utløpet av Evanger kraftverk mellom Vosso og Teigdalen. Studiet ble repetert i 2017 og fant også høy dødelighet i både Vangsvatnet og i Evangervatnet. Oppfølgende studier utelukket at dødeligheten i Evangervatnet var knyttet til gassovermetning (Stenberg et al. 2020), men det var fremdeles uklart i om den økte

dødeligheten kunne være knyttet til at kraftverkskjøringen påvirker oppholdstiden til smolten i vannet og dermed gjør fisken mer tilgjengelig for predasjon.

Diskusjonen rundt om kraftverket fører til økt oppholdstid var blant annet basert på at estimatene til oppholdstid i den første delen av innsjøen var svært høye (Haugen et al. 2017). Problemstillingen med dette er derimot at man ikke vet når predasjonen inntraff og dermed vil estimater av lang oppholdstid kunne være en funksjon av at fisken var blitt spist og merket ble værende i en tid i ørretmagen. For å kunne evaluere dette videre ble det i 2019 implementert et pilotforsøk med merker med predasjonssensorer (Hanssen 2020). Disse ble brukt for å evaluere om det var mulig å separere data som kommer fra individer som er inne i predator mager og laksesmolt som vandrer naturlig. Dette fungerte derimot ikke helt som tiltenkt og valget falt derfor på en annen sensortype som registrerer orienteringen til fisken, som gjør det mulig i etterkant å evaluere om fisken er blitt spist eller ikke.

Tidligere rapporter har foreslått å skru av kraftverket periodevis for å kunne teste konkret om perioder uten kraftverkkjøring vil øke sannsynlighet for at fisk passerer området i innsjøen som påvirkes av kraftverket. Dette kan være svært kostnadskrevenende, men i dialog med BKK var det i 2020 en mulighet å gjennomføre et slikt forsøk.

For å kunne skille effekten av kraftverket på atferden til smolten tok prosjektet derfor i bruk fire typer teknologier:

1. Spesialsensorer som registrerer predasjonstilfeller ved hjelp av en orienteringssensor
2. Dybdesensorer som registrerer laksesmoltens dyp
3. Store merketyper med dybdesensorer som ble brukt til å merke ørret (>500 g), som er påvist å være viktigste predator i dette økosystemet

Målet med dette studiet var som følger

1. Evaluere hvor stor andel av fisken som ble spist av ørret i løpet av vandringen
2. Registrere dybdeatferden til smolten gjennom Evangervatnet og sammenligne med dybdeatferden til predator-ørret
3. Evaluere atferden til laksesmolten forbi kraftverket i perioder med og uten kjøring

Hypotesene er som følger:

H1: Laksesmolt har økt sannsynlighet for å vandre forbi kraftverkuttaket i perioder når kraftverket står (målt som sannsynlighet for passering)

H2: Fisk som oppholder seg lenge i området før kraftverktløpet har større sannsynlighet for å bli spist av predatorer enn fisk som vandrer raskere gjennom vannet

Materiale og metoder

Innfangning av laksesmolt og predatorørret

Atlantisk laksesmolt ble fanget ved hjelp av elektrofiskeapparat ved flere lokaliteter i Vosso (Kveile, Istadbekken, Flage, Kvilekval, Geitle, Strandaelva, Tverrelva, Teigdalen). I utgangspunktet var målet å fange fisk fra samme lokalitet (Tverrelva), men fordi vi ikke fikk tak i nok smolt her, ble smolt også fanget ved andre lokaliteter. Fisken ble delt opp i to grupper fra hver fangstlokalitet, hvor den ene gruppen ble merket med merker som hadde en dybdesensor (N = 45, gaffellengde = 137±8 mm) og en gruppe ble merket med merker som inneholdt en predasjonssensor (N = 45, gaffellengde = 136 ± 7 mm). Predasjonssensoren i dette forsøket er en orienterings-basert sensor som trigges av et stort avvik fra standard orienteringen ved normal atferd. Et slikt avvik vil skje hvis fisken blir angrepet og spist av en predator. For å måle avvik etablerer merket det som kalles "baseline"-orientering de første timene etter at fisken har blitt merket. Etter denne første fasen vil merke indikere predasjon hvis merket endrer orientering med mer enn 70 grader.

Predatorørret (N= 36) ble fanget ved dorging i Evangervatnet i perioden 23 april til 12 juni. Det ble kun brukt wobblere i samme størrelsesorden som laksesmolt. Med unntak av én laks, ble det utelukkende fanget ørret ved dette fiske. Ørret ble merket med merker med dybdesensor for å kunne sammenligne dybdebruken mellom ørret og laksesmolt. Detaljene til merkene brukt i studiet er listet opp i tabell 1.

Tabell 1. Merke detaljer

Art	Merketype	Størrelse	Sensor	Ping-rate	Vekt i luft
Laksesmolt (N= 45)	V6D	137 ± 8 cm	Dybde	30-90 s	1.14 gram
Laksesmolt (N=45)	V6P	136 ± 7 cm	Predasjon	30-90 s	1.44 gram
Ørret (N= 36)	V13P	509 ± 8.0 cm	Dybde	60-120 s	14.3 gram

Merking av laksesmolt

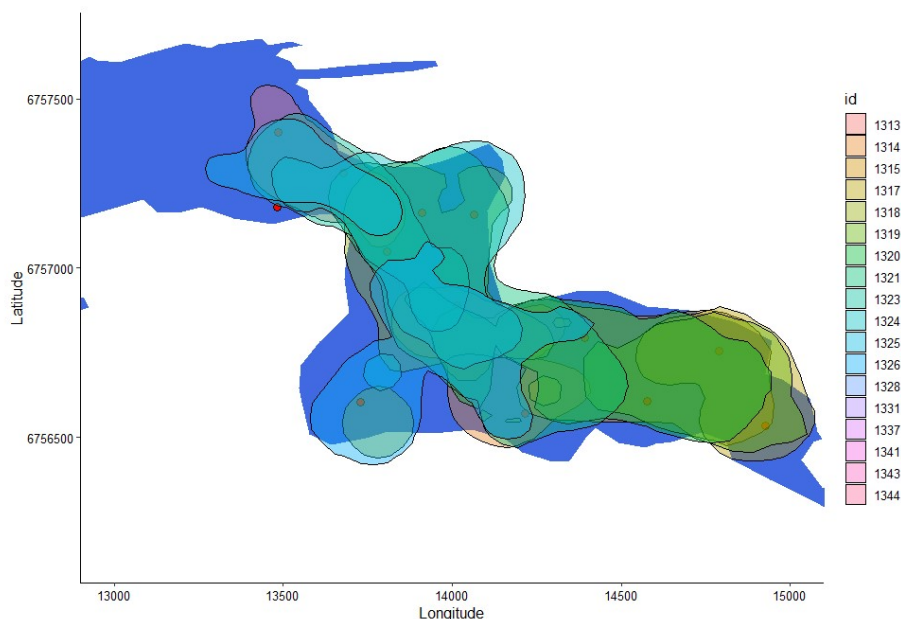
Merking av smolt ble gjennomført 17 og 21 april ved Voss klekkeri, hvor fisken var blitt holdt i en tank med vanngjennomstrømming siden innfangning. Laksesmolt ble bedøvet med bufret Tricaine Methanesulfonate, lengde og vekt målt og overført til et kirurgbord formet etter fiskekroppen for å holde fisken i ønsket posisjon med buken opp gjennom operasjonen. En silikonslange ble ført inn i munnen til fisken hvor vann med lav dose bedøvelse ble ført inn over gjellene gjennom hele operasjonen. Et snitt ble gjort i forkant av bukfinnene litt på siden for å unngå at stingene ble påvirket når fisken ligger langs bunnen. Snittet var akkurat stort nok til at merket kunne plasseres inn i buken, og såret ble lukket med to kirurgknuter ved hjelp av selvoppløselig sutur. I forkant ble merket sterilisert med klorhexidin. Fisken ble observert i

tankene etter operasjonen fra 6-12 timer før de ble transportert ned til slippstedet ved Tverrelven cirka ved solnedgang. Slipp-tidspunktet på kvelden ble valgt for å redusere predasjon i løpet av de første 12 timene etter slipp (Vollset et al. 2014).

Ørret ble merket på stedet for å redusere håndtering og transport av større individer. Fisken som ble fanget ble i forkant av merking holdt i en stor merd hvor det var mulig å evaluere om fisken klarte seg etter innfangning. Selve merkingen ble gjennomført på lik måte som laksesmolten, men snittet var noe større for å kunne sette inn det større merket (V13). Fisken ble observert i en svart plastbakke før utsett og sluppet kort tid etter oppvåkning.

Lyttebøye oppsett

Et nettverk av lyttebøyer (TBR 700, Thelma Biotel, Trondheim) ble i forkant studien satt ut i Vosso, Evanger, Bolstadelva, Bolstadjorden, og Osterfjorden. Ved Nordhordalandsbroen ble det festet 12 lyttebøyer (både TBR 700 og Vemco VR2W). Halvparten ble festet på hver side for å kunne studere hvilken retning fisken eventuelt vandret. En klynge av lyttebøyer (N = 13) ble plassert i første del av Evangervatnet fra elveosen til og med forbi utløpet av Evanger kraftverk. På seks av disse ble det plassert synkroniseringsmerker for å i etterkant gjennomføre detaljert triangulering av posisjonen til enkelt fisk. Klynger på fire lyttebøyer ble også satt i små nettverk ved utløpet av Bolstadjorden og ved Stamnes, hvor et synkroniseringsmerke ble plassert ved hver klynge. På grunn av produksjonsfeil i hele partiet av disse synkroniseringsmerkene fra Thelma fungerte ikke disse slik de var tiltenkt. Klyngen og rekkevidden til merkene i og rundt Evanger kraftverk (Figur 1) gjorde det likevel mulig å gjøre en grov triangulering som vil kunne gi gode resultater på hvor og når fisken passerte kraftverket. Rekkevidde-testing ble gjennomført med et 6 mm test-merke og en håndholdt GPS. Pingene fra dette merket ble koblet til GPS punktet og ble brukt til å lage 95% forventet rekkevidde rundt hver lyttebøye (95% kernel fra pakken adehabitatHR). Lyttebøyene ble lastet ned 20 Juni.



Figur 1 Resultater fra rekkevidde-testing av 13 lyttebøyer i første del av Evangervatnet

Data-analyse

Det var et stort antall falske deteksjoner i det endelige datasettet. Årsaken til dette var at man brukte et eldre programoppdatering (S256) ved programmering av merkene slik at det var mulig å kommunisere både med lyttebøyer fra VEMCO og Thelma (to forskjellige merke produsenter) og dermed ha et større lyttebøye nettverk. For å fjerne disse ble deteksjoner som kun var registrert én gang i løpet av et 10 minutters intervall på én lyttebøye fjernet fra datasettet. Denne filtreringen ble valgt i dialog med merkeprodusent (Thelma).

Dydb bruk laksesmolt og predatorørret

En generalisert linær additiv modell (GAM) av dydb bruk av de to artene med individ som «random» effekt ble brukt for å studere overlapp mellom de to artene. Dagslys ble brukt som forklaringsvariabel basert på `suncalc()` funksjonen i R sammen med dagen på året. To modeller ble sammenlignet – en med en interaksjon mellom de to artene og en uten interaksjon. Akaike informasjons kriterium (AIC) verdier ble brukt for å velge modellen med mest støtte i dataene.

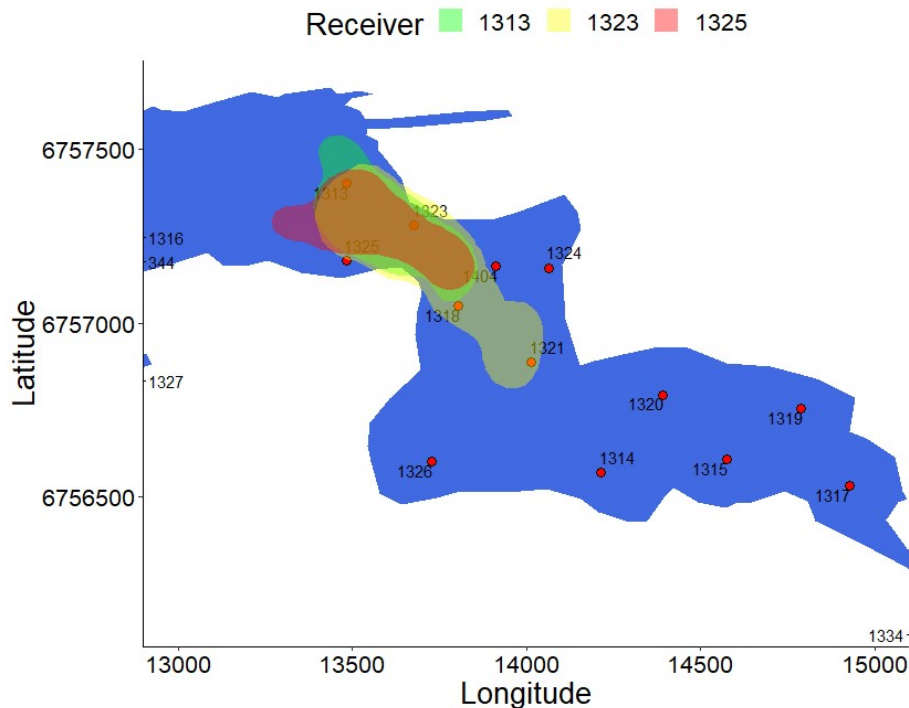


Figur 2 Bilde av utløpet av kraftverket vinteren 2021. Her kan man enkelt se at overflate vannet fra kraftverket påvirker temperaturen og dermed islegging av vannet rundt kraftverket og ved Fadenes. Rød pil viser hvordan laksesmoltene må passere influensområdet til kraftverket.

Passering forbi kraftverket

Den viktigste delen av studiet var å teste om laksesmolten passerte eller unngikk området i vannet som ble påvirket av kraftverktutløpet. En slik hypotese krever derimot at man definerer et kriterium for når fisken er registrert i influensområdet til kraft stasjonen eller har passerte det. Tidligere studier har vist at effekten av Evangerkraftverk hovedsakelig strekker seg sør vestover fra utløpet mot Fadenessundet, og at strømforholdene i sundet kan endre seg ved høy vannføring fra kraftverket (spesielt når vannføringen fra Vosso er lav).

Det er flere måter å analysere dette på, men den enkleste er registreringer ved lyttebøye 1313 som har en rekkevidde som strekker seg rett innenfor Fadenessundet (Figur 3). Andre alternative registreringer er siste deteksjon på lyttebøyer 1325 og 1323, eller første deteksjon på neste lyttebøye midtveis i Evangervatnet (1316). Det var derimot ingen stor forskjell i hovedkonklusjonen fra disse analysene og vi presenterer derfor resultatene fra modellen hvor responsvariabelen er antall fisk som detekteres for første gang på lyttebøye 1313 per dag (Nreg).



Figur 3 Rekkevidde for aktuelle lyttebøyer til bruk i analysene

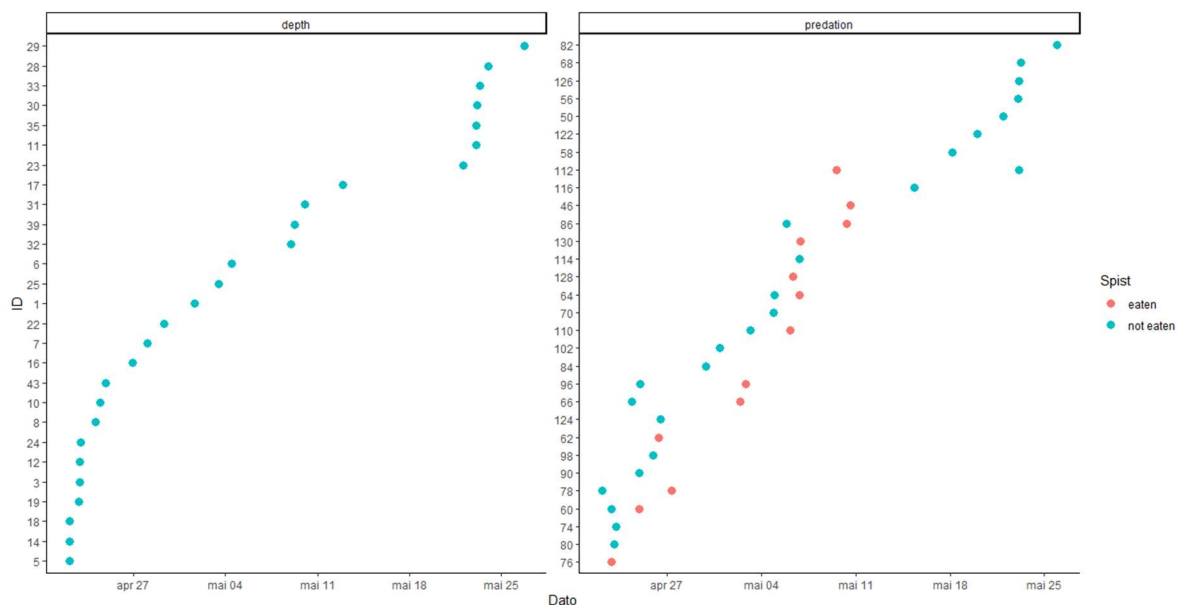
Modellen som ble bygget kan beskrives som følger: $N_{reg} \sim \text{poisson}(\mu_j)$

$$E(N_{reg}) = \mu_j$$

$$\log(\mu_j) = \text{VossVF}_j \times \text{EvangerVF}_j$$

Hvor N_{reg} er antall smolt registrert for første gang på lyttebøye 1313, VossVF er vannføring i målt ved Bulken, mens EvangerVF er vannføring registrert i kraftverket.

Årsaken til at vi valgte å bruke antall smolt registrert for *første* gang og ikke passeringer av smolt som potensielt vandret tilbake igjen og passerte igjen var at data fra predatorsensoren indikerte at første registrering ved 1313 i all hovedsak var smolt, mens senere registreringer i mange tilfeller var ørret som hadde spist smolt. Dette kan man se i figur 4 i høyre panel hvor blå prikker er første registrering av individet som smolt og rød er første registrering av individet når den er blitt spist. Ved å sammenligne med figuren til venstre (for dybdesensorer) virker det som først registrering av dybdesensorer og første registrering av predatorsensorer er svært likt og reflekterer registrering av laksesmolt. I analysen har vi derfor valgt å bruke både første registreringer av dybde og predator sensorer.



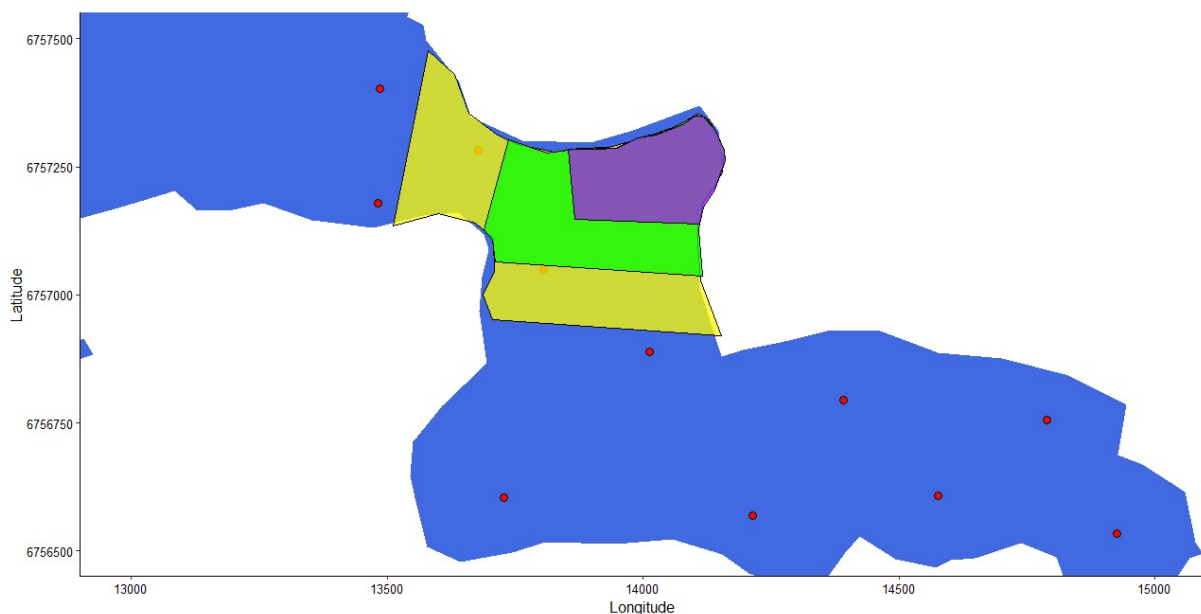
Figur 4 Første registrering av laksesmolt ved lyttebøye 1313 for dybde- og predatormerker. Merk at for predatorsensorer er det både registrert første registrering før og etter predasjon. Første registrering av predaterede merker er ikke brukt i analysen. Registrering 112 som ikke spist er sannsynligvis en falsk deteksjon.

Påvirkning av oppholdstid i området rundt kraftverket

I diskusjon med Vossklekkeri, BKK og representant for oppdretterne (Nils Inge Hitland) ble det i november 2020, diskutert hvordan man skulle gå frem for å teste flere hypoteser med

dataen. Et av spørsmålene som ble fremhevet var om det å oppholde seg i kraftverkvannet i seg selv er negativt for sannsynligheten for overlevelse nedstrøms. En slik hypotese krever at man definerer konkret influensområdet. Forslagene til influensområdet ble presentert (figur 5) og godkjent av gruppen. Målet med disse tre polygonene er å bygge en modell hvor man tester om fisk som har oppholdt seg i dette området når kraftverket kjører vil ha en redusert overlevelse nedstrøms. Dette krever at en kan estimere posisjonen til fisken med en relativ god presisjon, og vil være krevende ettersom synkroniseringsmerkene ikke fungerte. Det er derimot mulig å bruke en grove trianguleringsmetode hvor man tar gjennomsnittsposisjonen til et individ basert på deteksjoner ved flere lyttebøyer. Dette vil ikke gi en eksakt posisjon til en fisk men vil indikere om fisken er i nærheten eller ikke til området som defineres som et influensområdet.

I analysen kom det raskt frem at det ikke spilte noen rolle for resultatet hvilken definisjon av de tre influensområdene man brukte (se figur 5). Vi rapporterer derfor bare resultatene fra den største (gul). For å analysere dataen brukte vi en enkel t-test for å evaluere om sannsynligheten for å detekteres nedstrøms påvirkes av hvor hver enkelt fisk oppholdt seg i influensområdet. Dette kan også gjøres med en noe mer komplisert binomial GLM, men resultatene var så like at vi velger å kun rapportere fra den enkleste testen.

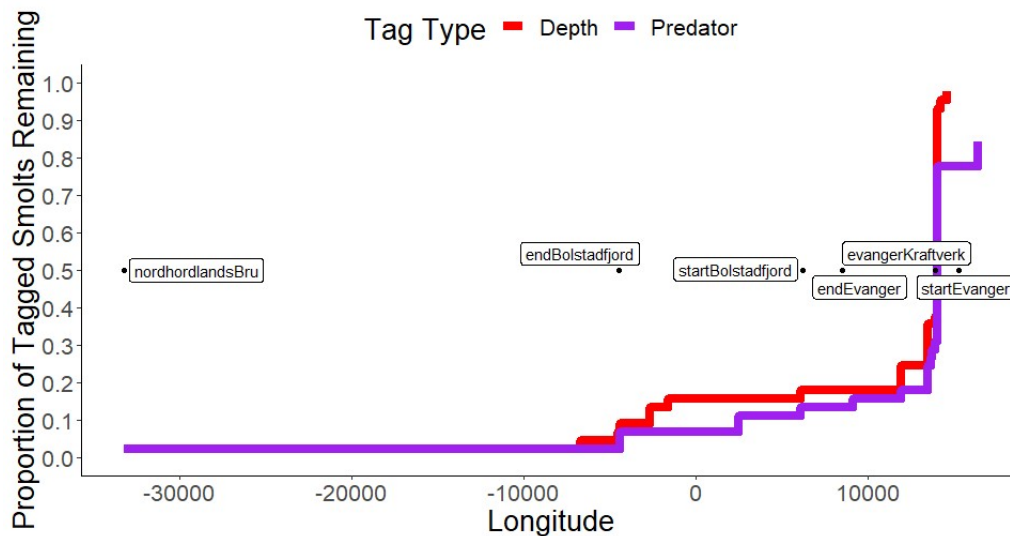


Figur 5 Forslag til tre influensområder som skal brukes i videre analyse

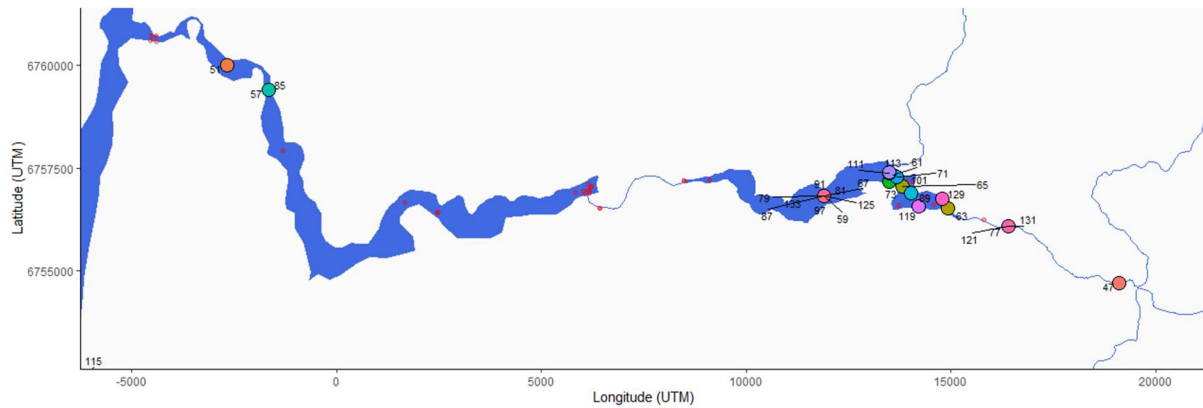
Resultat

Overlevelse og registrering

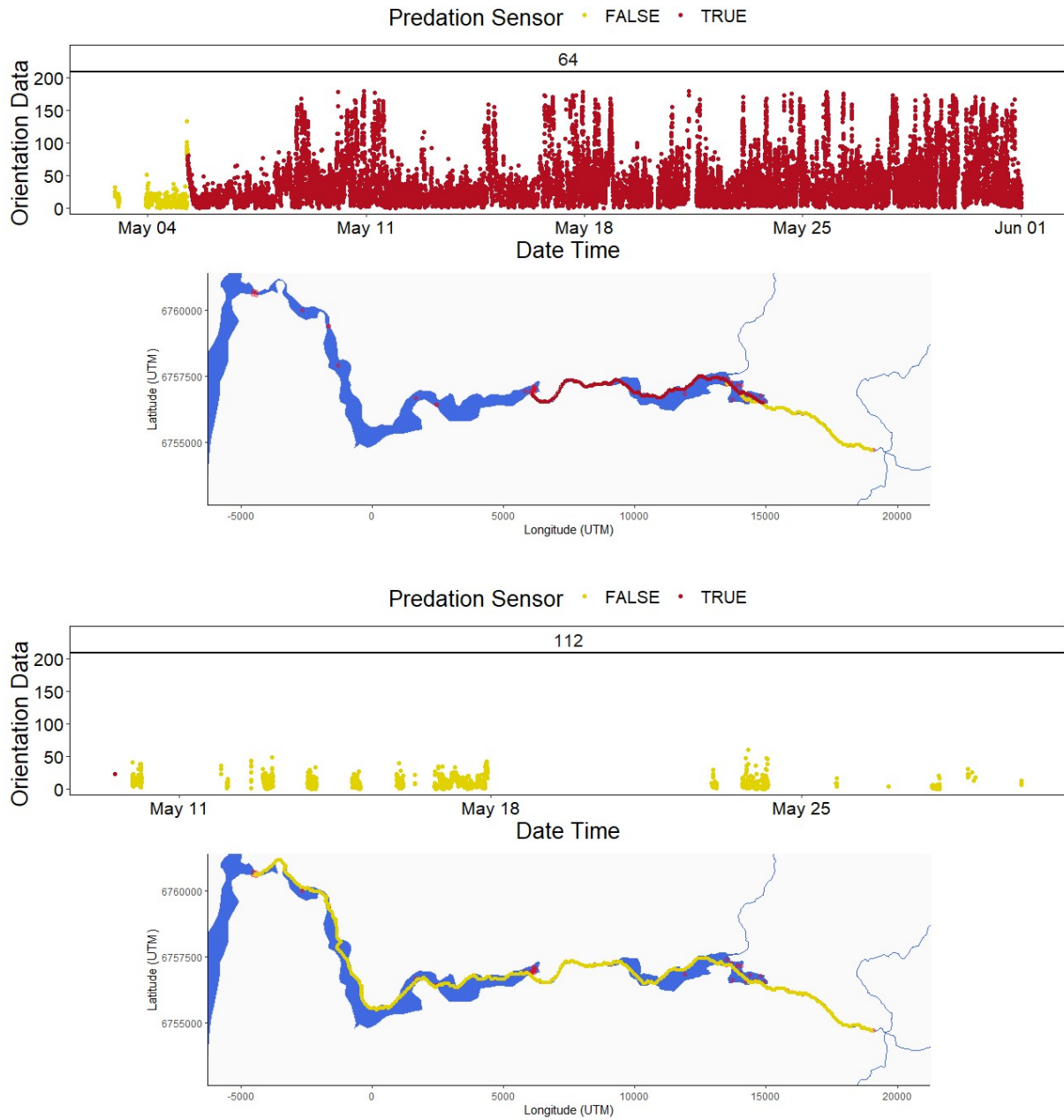
66 av 90 laksesmolt ble detektert på lyttebøynettverket etter utslipp (73 %). Sannsynligheten for å bli detektert kunne ikke relateres til fiskestørrelse ($Z = -0.43$, $P = 0.67$) eller merketype ($Z = 0.89$, $P = 0.37$). 26 av smoltene ble registrert til å ha vandret gjennom Evangervatnet (altså et 61 % frafall i innsjøen) (Figur 6). 40 av smoltene med predasjonsmerke ble registrert i Evangervatnet. 31 av disse skiftet signal (dataen fra merket endret orientering med mer enn 70 grader, figur 7), hvilket indikerer at 78 % av smoltene ble spist. Predasjonssensoren for de individuelle smoltene skiftet signal gjennom hele vassdraget, men flest smolt ble spist i første del av Evangervatnet (figur 6 & 7). I figur 8 har vi vist eksempler fra rådata som brukes til å evaluere om laksesmolt er spist eller basert på orienteringssensorer.



Figur 6 Overlevelse for smolt med dybdesensorerer (rød) og predatorsensorerer (lilla).



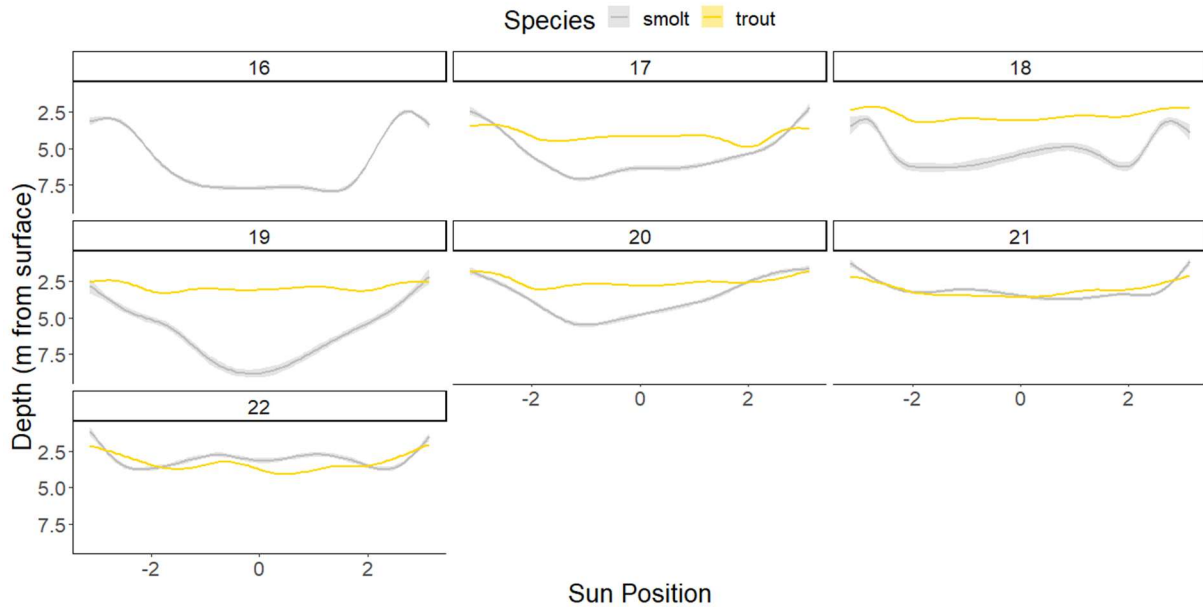
Figur 7 Romlig fordeling av predasjonsaktivering. Store sirkler angir TBR-er der enkeltfisk har fått registrert signaler med kode for at de er spist for første gang. Tallene angir de relevante merke-ID-ene.



Figur 8. Eksempel på utvandningsforløp for laksesmolt merket med orienteringssensorer brukt til å identifisere predasjon. Det øvre figuren viser orienteringsdata og utvandningsforløp for merket smolt med ID 64, som ble spist 5. Mai 2020 kl 06:47. Den nedre figuren viser en laksesmolt som ikke ble spist og sist registrert ved Stamnes.

Dybdebruk

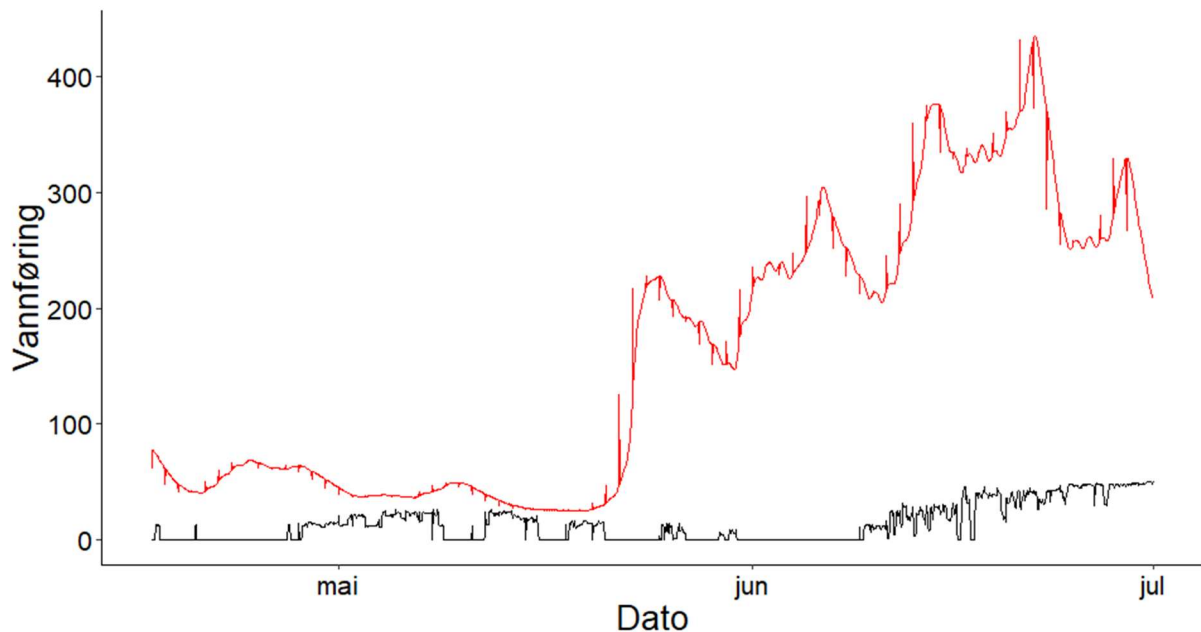
I snitt svømte ørreten ved et dyp på 3.24 ± 2.31 m. Til sammenligning ble laksesmolt registret ved et dyp på i snitt 4.25 ± 3.84 m. Dybdebruken til ørret og laks viste at ørret svømte grunnere og laksesmolt dypere i løpet av våren (GAM, $t = 75.95$, $P < 0.01$). I tillegg var ørret signifikant høyere i vannsøylen enn laksesmolten gjennom hele perioden (GAM, $t = -2.04$, $P = 0.04$). I tillegg hadde begge artene en klar døgnvandring hvor de var dypere om dagen og grunnere om natten (GAM, $F = 4445$, $P < 0.01$, Figur 9).



Figur 9 Dybdebruk til laksesmolt (grå linjer) og predatorørret (gul linje) relativ til solens posisjon i løpet av dagen fra uke 16 til uke 22. «Sun position» indikerer relative posisjonen til solen hvor 0 indikerer at solen på sitt høyeste.

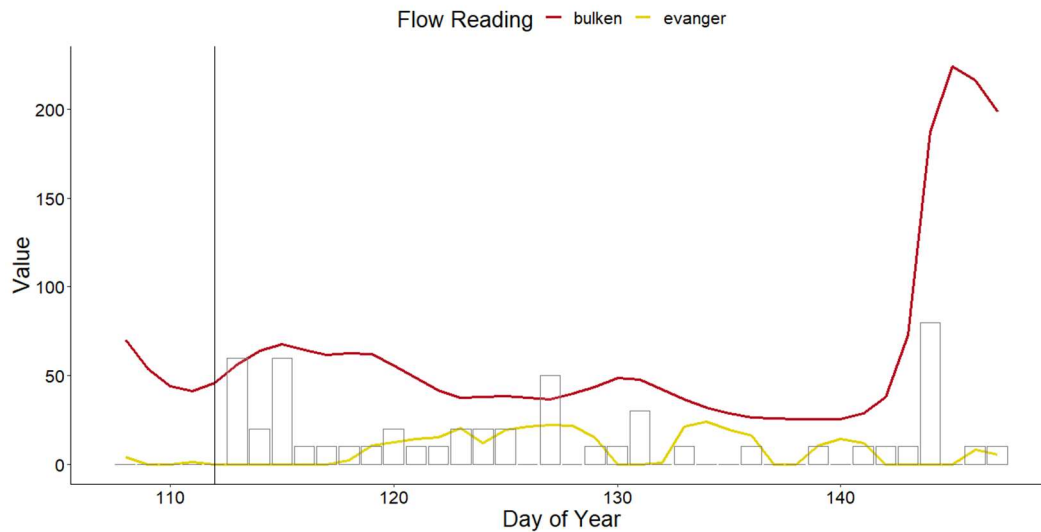
Vannføring Vosso og Evangerkraftverk våren 2020

Vannføringsdata for Vosso og kraftverket viser at det var flere perioder med stenging av kraftverket gjennom hele perioden (svart linje, Figur 10). Det er også verdt å merke seg den relativt lave vannføringen i Vosso fram til siste halvdel av mai, hvor vårfloppen inntreffer og vannføringen øker kraftig. På grunn av høy autokorrelasjon mellom observasjoner og relativt få registreringer per time (mange null verdier) er det ikke mulig å kjøre modeller på timesbasis, slik at modellene på sannsynlighet for registrering forbi kraftverket gjøres på gjennomsnittsverdier per dag.



Figur 10 Timevis vannføringsdata fra Evanger kraftverk (svart) og Vossovassdraget (ved Bulken, rød)

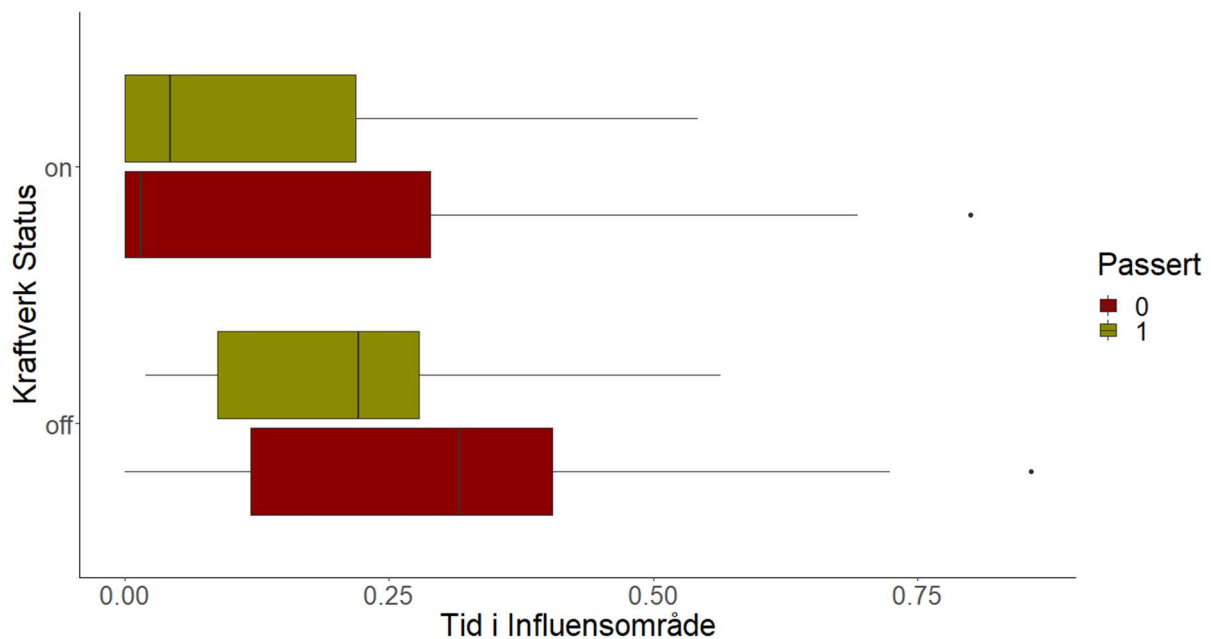
44 laksesmolt ble detektert på lyttebøye 1313, som ifølge rekkeviddetesting indikerer at fisk som er registrert her, må ha passert gjennom området som er påvirket av kraftverket. I modellen for antall registrerte fisk var ikke interaksjonen mellom vannføring i Vosso og Evanger signifikant og ble derfor ekskludert. Antall fisk som for første gang ble registret ved lyttebøye 1313 var ikke relatert til vannføring fra Evanger kraftverk (Figur 9, Tabell 2, GLM; $z = 0.144$, $P = 0.8853$), og heller ikke signifikant relatert til vannføringen i Vosso (Figur 9, Tabell 2, GLM; $z = 0.43923$, $P = 0.0544$). Resultatet knyttet til Evanger kraftverk var uavhengig av om man brukte andre målepunkter for passering, det vil (1) si andre lyttebøyer (2) siste registrering ved lyttebøye 1313 eller (3) inkluderte data fra dybdesensorer eller ikke (med usikkerheten knyttet til predasjon som dette medfører). Resultatet var også uavhengig om effekten av kraftverket ble definert som en kontinuerlig variabel eller om en faktor hvor kraftverket enten var av eller på. Effekten av vannføring i Vosso kom i noen av analysene ut som en signifikant forklaringsvariabel, og indikerte at flere fisk passerte på dager når vannføring fra Vosso var høy.



Figur 11 Antall registreringer av laksemolt per dag (første registrering) ved lyttebøye 1313 og vannføring fra Bulken og Evanger. Den vertikale linjen indikerer dagen fisken ble sluppet. Merk at antall fisk er multiplisert med 10 for å tilpasse den samme skalaen.

Tabell 2 Resultater fra GLM modell

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-3.48724	0.20296	-17.182	< 0.01
Dag på året	-0.27441	0.23718	-1.157	0.2473
Vosso vannføring	0.43923	0.2283	1.924	0.0544
Evanger vannføring	0.03355	0.23261	0.144	0.8853



Figur 12 Deteksjon nedstrøms kraftverket som en funksjon av proporsjon av tid i influensområdet («inside»). Fargene indikerer om kraftverket er på eller av («on» / «off»).

Generelt kan det virke som laksesmolten oppholdt seg i influensområdet mer når kraftverket var av enn når det var på. Det var derimot klart at denne effekten var uavhengig av om kraftverket var på eller av (t-test, $p > 0.05$). Det vil si at individer som bruker lang tid å vandre gjennom denne delen av vannet virker til å ha lavere sjans for å bli overlevende gjennom vannet, men at dette var også tilfelle når kraftverket var av. En test av om det var noen sammenheng med passering og tid i influensområdet når kraftverket var på indikerer ingen signifikant effekt av tid i influensområdet ($t = 0.68263$, $df = 54.939$, $p\text{-value} = 0.4977$).

Diskusjon

Hypotese 1 «Laksesmolt har økt sannsynlighet for å vandre forbi kraftverkuttaket i perioder når kraftverket står»

I våre analyser er det ingen støtte til denne hypotesen. Hovedresultatet fra dette studiet er at selv om Evangerkraftverk var stengt i perioder under smoltutvandringen resulterte ikke dette i at flere merkede smolt ble registrert nedstrøms Evangervatnet eller i fjorden. I motsetning til kraftverksvannføringen, var det en svak signifikant effekt av vannføringen fra Vosso. Dette er ikke overraskende gitt den store dokumenterte effekten av vannføring på strømningsmønsteret i Evangervatnet ved høy vannføring. Tidligere analyser av strømningsmønsteret i Evanger indikerer at når vannføringen fra Vosso er høy domineres alle målinger av dette, mens når vannføringen fra Vosso er lav blir det retningsendring i strømningsmønsteret på sørsiden av Fadenesundet. Dette er foreslått som en av mekanismene som kan føre til at Evangerkraftverk sitt kjøringsregime kan resultere i lenger oppholdstid for smolten i indre del av Evangervatnet. Det var derimot ingen indikasjon i dataene på at det er større eller mindre sannsynlighet for å passere forbi kraftverket når det var skrudd av i 2020.

Hypotese 2: «Fisk som oppholder seg lenge i området før kraftverkuløpet har større sannsynlighet for å bli spist av predatorer enn fisk som vandrer raskere gjennom vannet»

Resultatene fra modellen med influensområdet indikerer at sannsynligheten for å registreres nedstrøms var lavere hvis fisken oppholdt seg lenge i området utenfor kraftverket, men at dette var uavhengig om kraftverket var på eller av. Dette er dermed mest sannsynlig en funksjon av at fisk som oppholder seg lenge i innsjøen vil også ha større sannsynlighet for å bli spist ørret. Det er dermed lite som tyder på at dette er en direkte funksjon av at fisken påvirkes direkte av vannet som kommer fra kraftverket. Resultatene støtter opp under det Vollset et al. (2016) finner i sitt studie med akustisk merket klekkerifisk fra Bolstadelven, som viser at laks som har treg progresjonsrate i første del av Bolstadfjorden har svært lite sannsynlighet for å detekteres lenger ute i fjorden.

Vertikal vandring hos laks og ørret

I utgangspunktet var målet med dybdesensorer å vurdere om man kan bruke dybdedata for å skille laksesmolt fra ørret for så å kunne gjøre en analyse av når smolten ble spist. Dette viste seg å være svært vanskelig fordi dybdebrukatferden til smolt og voksne ørret er overlappende og tidvis svært lik. Spesielt i slutten av sesongen er atferden likere mellom smolt og ørret. Dette resultatet er viktig med tanke på å tolke både våre data og tidligere data med bruk av akustiske merker.

Samtidig viser sammenligning mellom dybdesensorer fra predatorsensorer at den første registrering av merket ved utløpet av kraftverket var mest sannsynlig en laksesmolt. Siste registrering av et merke er derimot ikke et godt målepunkt for hvor dødeligheten har inntruffet i vannet, ettersom den viktigste predatoren i systemet (ørret) vil kunne spise og

transportere merke over store avstander. Det videre studiet av detaljert smoltatferd rundt Evangerutløpet kan dermed bare basere seg på individer med predasjonssensorer for å utelukke potensielle feilkilder som man observerer ved bruk av merker uten denne sensoren. Dette kompliserer også et annet element i videre studier ettersom detaljert triangulering vil kreve dybde data hvis laksesmolten varierer mye i dybdebruk (noe det kan virke som de gjør basert på våre resultater). En løsning vil i fremtidige studier være å inkludere både dydesensorer og predasjonssensor i samme merke, men på grunn av størrelsesrestriksjoner er dette ikke per dags dato mulig.

Bare 73 % av all fisk som ble merket ble registret i Evanger. Dette er et relativt lavt antall, men avviker ikke spesielt mye fra tidligere studier ved bruk av større merker. For eksempel registrerte Urke et al. (2018) i en studie fra Strynevassdraget at 75 % av merket fisk i studien ble observert på lyttebøyer. Tilsvarende ble det i en studie fra Canada kun observert 69 % avmerket fisk på lyttebøyene over en rekke år (Gibson et al. 2015). Samtidig er det noe overaskende at en så stor andel av fisken ikke vandret inn i Evanger. I en parallell studie i en merd i Evanger var det ingen dødelighet assosiert med merkingen over en 10 dagers periode. Følgelig er det mulig at det var forhøyet dødelighet i naturen assosiert med stresset påført av merking og transport. En annen mulighet er at en andel av fisken aldri vandret, men ble værende i elven gjennom året. En skal heller ikke utelukke at en del av merkene ikke fungerte som de skulle. Det var en liten indikasjon på at det var færre «predasjons» merker enn «dybde» merker som ble registret i Evangervatnet. Selv om dette kan være helt tilfeldig, er det også mulig at dette er på grunn av feil ved de nye merkene.

En av de viktigste flaskehalsene fra akustikkstudier er et lavt antall individer per studie. Et naturlig neste steg i studien av Evangerkraftverk er å gjøre en overordnet analyse av alle merkestudier som er gjennomført for å se om man finner en signifikant effekt på tvers av alle studier.

Referanser

- Barlaup, B. T., Vollset, K. W., Pulg, U., Gabrielsen, S. E., Skoglund, H., Normann, E. S., ... & Velle, G. (2015). Vosso Områdetilnærming-Sluttrapport.
- Beaugrand, G., & Reid, P. C. (2012). Relationships between North Atlantic salmon, plankton, and hydroclimatic change in the Northeast Atlantic. *ICES Journal of Marine Science*, 69(9), 1549-1562.
- Hanssen, E. M. (2020). *Novel telemetry predation sensors and mechanistic models reveal the tribulations of Atlantic salmon (Salmo salar) smolts migrating through lakes* (Master's thesis, The University of Bergen).
- 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.
- Johnsen, I. A., Harvey, A., Sævik, P. N., Sandvik, A. D., Ugedal, O., Ådlandsvik, B., ... & Karlsen, Ø. (2020). Salmon lice-induced mortality of Atlantic salmon during post-smolt migration in Norway. *ICES Journal of Marine Science*.
- Skilbrei, O. T., Finstad, B., Urdal, K., Bakke, G., Kroglund, F., & Strand, R. (2013). Impact of early salmon louse, *Lepeophtheirus salmonis*, infestation and differences in survival and marine growth of sea-ranched Atlantic salmon, *Salmo salar* L., smolts 1997–2009. *Journal of fish diseases*, 36(3), 249-260.
- Stenberg, S. K., Velle, G., Pulg, U., & Skoglund, H. (2020). Acute effects of gas supersaturation on Atlantic salmon smolt in two Norwegian rivers. *Hydrobiologia*, 1-12.
- Vollset, K. W., Barlaup, B. T., & Friedland, K. D. (2019). Context-dependent impact of an ectoparasite on early marine growth in Atlantic salmon. *Aquaculture*, 507, 266-274.
- Vollset, K. W., Skoglund, H., Barlaup, B. T., Pulg, U., Gabrielsen, S. E., Wiers, T., ... & Lehmann, G. B. (2014). Can the river location within a fjord explain the density of Atlantic salmon and sea trout?. *Marine Biology Research*, 10(3), 268-278.