

Sjørørret (*Salmo trutta*) i trafikklyssystemet – forslag til metode

Bengt Finstad, *Seniorforsker ved Norsk institutt for naturforskning (NINA)*

Anne D. Sandvik, *Seniorforsker ved Havforskningsinstituttet (HI)*

Ola Ugedal, *Seniorforsker ved Norsk institutt for naturforskning (NINA)*

Knut W. Vollset, *Forsker ved NORCE*

Ørjan Karlsen, *Seniorforsker ved Havforskningsinstituttet (HI)*

Jan G. Davidsen, *Forsker NTNU Vitenskapsmuseet*

Harald Sægvog, *Forsker ved Rådgivende Biologer AS*



Innholdsfortegnelse

1. Utvidet sammendrag.....	3
2. Bakgrunn for oppdraget.....	5
3. Innledning.....	6
3.1 Oppgaven.....	6
4. Løsningsforslag og definering av biologisk relevante parametere.....	7
4.1 Antall vassdrag og deres posisjoner	8
4.2 Marint leveområde for sjøørret.....	8
4.3 Størrelsen til førstegangsvandrere	9
4.4 Tidsperioden førstegangsvandrere er i sjøen.....	10
4.5 Oppholdstiden til sjøørret i sjøen.....	12
4.6 Under hvilke forhold blir det marine habitatet uegnet for sjøørret på grunn av lakselus – grenseverdier for effekt.....	13
5. Modellert redusert egnethet av marint habitat for ørret i PO3 og PO5	15
5.1 Modelloppsett og valg av grenseverdier	16
6. Resultater fra modellkjøringen.....	18
6.1 Produksjonsområde 3 (PO3)	18
6.2 Produksjonsområde 5 (PO5)	22
7. Diskusjon	27
8. Konklusjon og videre arbeid	30
9. Referanser	31

Forsidefoto: John B. Pedersen.

1. Utvidet sammendrag

Sjøørret påvirkes av lakselus og det er påvist alt fra stressresponser til dødelighet med økende infestasjoner av lus. Sjøørret har en atferdsrespons som reduserer sannsynligheten for å dø av lakselus ved at den kan søke seg til vannmasser med lavere saltholdighet hvor lusen etter en stund vil falle av. Denne atferden kan sees som en økologisk avveining mellom de fysiologiske effektene av lakselus og tapt tid til beiting. Denne avveiningen varierer sannsynligvis mellom individer og populasjoner, og vil i praksis føre til at et forvaltningsmål basert kun på dødelighetsgrenser, slik det er implementert i produksjonsområdeforskriften for laks, ikke vil fange opp den totale påvirkning på sjøørret og dermed være en dårlig bærekraftsindikator. I et tidligere arbeid fra ekspertgruppen, «Vurdering av kunnskapsgrunnlaget for å implementere lakselus på sjøørret som en bærekraftsindikator i produksjonsområdeforskriften», ble det foreslått at tapt marint leveområde sannsynligvis ville være en mer økologisk relevant bærekraftsindikator for sjøørret.

I foreliggende rapport presenterer vi en metode som beskriver hvordan lakselus påvirker det marine habitatets egnethet som oppholdssted for sjøørret. Løsningsforslaget som vi presenterer i dette dokumenter er en modell som tar utgangspunkt i førstegangsvandrende sjøørret som antas mest sårbare for effekter av lakselus. Modellforslaget tar utgangspunkt i Havforskningsinstituttets sin smittemodell, og har to modellprodukter. Disse to modellproduktene kaller vi redusert marint leveområde (RML) og redusert marin tid (RMT), og vil kunne gi innsikt i hvordan lakselusbelastninger på sjøørret i et større geografisk område vil kunne påvirke sjøørret i regionene.

Første modellprodukt (RML) beregner hvor store deler av et areal som er uegnet for førstegangsvandrende sjøørret på grunn av lakselus. Andre modellprodukt (RMT) beregner reduksjon i vekstsesong for sjøørret som ville oppholdt seg i området.

For å kunne beregne disse modellproduktene er det nødvendig å definere følgende kriterier:

- Antall vassdrag og posisjoner på disse – basert på VRLs sjøørretrapport (Anon. 2019)
- Marint leveområde for sjøørret.
- Størrelsen til førstegangsvandrere.
- Tidsperioden førstegangsvandrere er i sjøen.
- Oppholdstiden til sjøørreten i sjøen.
- Under hvilke forhold det marine habitatet blir uegnet for sjøørret på grunn av lakselus - grenseverdier for effekt.

I kapittel 4 har vi fremmet forslag til hver av disse kriteriene. Disse har så blitt implementert i HI sin modell og i kapittel 5 og 6 presenter vi de preliminare resultatene fra disse modellkjøringene i PO3 og PO5.

I kapittel 5 har vi eksemplifisert hvordan man kan bruke disse metodene i produksjonsområde 3 (PO3 – Karmøy til Sotra) og produksjonsområde 5 (PO5 – Stadt til Hustadvika) i 2019, og for enkeltelver innenfor hvert av disse POene. RML er beregnet for hele POet og for enkeltelver. RMT er kun beregnet for enkeltelver.

Resultatene fra de innledende modellkjøringene, gitt kriteriene satt i denne rapporten, viser at (1) resultatet er svært sensitive for utvandringstidspunktet til sjøørretsmolten. Tidlig utvandring gir betydelige lavere RML enn sen utvandring. Eksempelvis ble marint leveområde redusert med 32% for tidlig utvandrende, og 66% for sent utvandrende sjøørret smolt i PO3. Tilsvarende verdier for PO5 var 34% og 59%. (2) Effekten varierer sterkt mellom elver innen et PO. For smolt som vandret ut av elven 15. mai ble vekstperioden redusert med 0 dager for smolt fra Etne mens den ble redusert med 46 dager for smolt fra Oselva (RMT, antall dager hvor $RML > 30\%$ minus 70 dager), begge i PO3. I PO5 ble vekstperioden (RMT) for smolt som vandret ut av elven 15. mai redusert med 35 dager for Eira, og 24 dager for Rauma.

Det konkluderes med at den foreslåtte metoden er godt egnet for å estimere påvirkning av lakselus på sjøørretbestander på bestandsnivå. Eksemplene viser at metodeoppsettet fungerer, og kan enkelt implementeres til alle produksjonsområdene, til alle elver med kjent forekomst av sjøørret. Det er også enkelt å implementere ny kunnskap og gjennomføre sensitivitetsanalyser.

Som resultatene fra 2019 viste kan det være store forskjeller i påvirkning på enkeltbestander innen et produksjonsområde, og det er her ikke vurdert hvordan en skal behandle disse forskjellene i en samlet vurdering for hvert produksjonsområde. På lik linje med laks må det derfor vurderes om og hvordan vektlegging av enkeltelver skal implementeres i en eventuell bærekraftsindikator for sjøørret.

Et annet viktig poeng er at metoden ikke beregner lakselusindusert villfiskdødelighet, men redusert marint leveområde. Det behøves derfor en vurdering om hvordan man skal sette grenseverdier for å definere dette som en bærekraftsindikator. Et forslag er å sette grenseverdiene til de samme som dødelighetsgrensene som brukes for laks:

Høy påvirkning: $RML > 30\%$

Moderat påvirkning: $10\% > RML < 30\%$

Lav påvirkning: $RML < 10\%$

ved i denne omgang å anta at sjøørreten er jevnt fordelt i sjøen og dermed vil disse verdiene tilsvare en uakseptabel påvirkning på for eksempel over 30% av sjøørreten ved høy påvirkning.

Vi anbefaler at metoden fagfelle-vurderes og dokumentet bør derfor oversettes til engelsk for å kunne vurderes av eksperter også utenfor Norge.

2. Bakgrunn for oppdraget

I produksjonsområdeforskriften fra 2017 (Anon. 2017) er kysten delt inn i 13 produksjonsområder hvor bærekraftsindikatorer skal bestemme hvor stor produksjon man skal tillate i oppdrettsanlegg. Avgrensingen av produksjonsområdene er basert på at det skal være minst mulig spredning av lakselus mellom områdene (Ådlandsvik 2015). Stortingsmeldingen Mld. St. 16 (Anon. 2015) legger til grunn at bærekraftsindikatoren innen hvert produksjonsområde i første omgang skal være basert på effekt av lakselus på vill laksefisk. Det vil si dødelighet på utvandrende postsmolt av laks, førstegangsutvandrende postsmolt av sjøørret og sjørøye, og på beitende sjøørret og sjørøye som en konsekvens av smitte med lakselus fra oppdrettsanlegg. Andre bærekraftsindikatorer skal eventuelt tillegges vekt i fremtidige arbeid.

Nærings- og fiskeridepartementet (NFD) har i brev av 19. desember 2016 bedt om at Havforskningsinstituttet (HI), Veterinærinstituttet (VI) og Norsk institutt for naturforskning (NINA) oppnevner og etablerer en styringsgruppe for vurdering av lusepåvirkning. Styringsgruppen blir bedt om å opprette en ekspertgruppe for å evaluere lusepåvirkning fra oppdrett på villfisk. Mandatet for dette arbeidet fra NFD er som følger:

Ekspertgruppen opprettes av styringsgruppen for to år av gangen fra og med 2018. Den skal settes sammen så bredt som mulig av personer med kompetanse på feltet og med evne til å gjøre en overordnet analyse av all tilgjengelig kunnskap, for å komme med en enhetlig anbefaling om lakselusindusert villfiskdødelighet per produksjonsområde. Størrelsen på gruppen må vurderes ut ifra hva som er hensiktsmessig. Ekspertgruppen rapporterer til styringsgruppen.

Ekspertgruppen skal innen 15. oktober hvert år utarbeide en statusrapport for lakseluspåvirkning i produksjonsområdene. Rapporten skal legge vekt på tilstanden knyttet til årets overvåkning, og samtidig se sammenhengen med foregående år og vurdere eventuelle trender. Usikkerheten i vurderingene må komme tydelig fram.

HI, VI og NINA dekker sine utgifter til dette arbeidet innenfor tildelte rammer. HI dekker i tillegg utgifter til de øvrige involverte parter innenfor sine rammer.

Spesielt for 2019:

Med bakgrunn i ekspertgruppens sjøørretrapport «Vurdering av kunnskapsgrunnlaget for å implementere lakselus på sjøørret som en bærekraftsindikator i produksjonsområdeforskriften» (Nilsen mfl. 2019) skal ekspertgruppen initiere arbeidet med den foreslåtte analysemetoden på tapt marint leveområde for sjøørret på grunn av potensiell lakselusinfeksjon. Kunnskapsnivå og grad av sikkerhet i vurderingene skal vektlegges og beskrives. Arbeidet skal belyses i ekspertgruppens rapport for lakseluspåvirkning på villaks i 2019 i form av et vedlegg.

Rapporten som leveres innen 15. oktober 2019 skal i likhet med de foregående rapportene legge hovedvekt på påvirkningen på villaks.»

3. Innledning

Brunørret er en laksefisk med naturlig utbredelse i Europa, Nord-Afrika og i det vestlige Asia, og den har blitt introdusert til mange andre steder i verden (Klemetsen mfl. 2003). Brunørret finnes i mange ulike leveområder, fra små bekker til store elver, innsjøer og kystnære områder i sjøen, men den gyter kun i ferskvann. Anadrom ørret, det vil si brunørret som har vandringer til saltvann, kalles sjøørret. Sjøørret og ferskvannsstasjonær brunørret er samme art (*Salmo trutta*) og samme foreldre kan gi avkom med både anadrom og ferskvannsstasjonær livshistoriestrategi. Relevante arbeider som omhandler disse momentene samt brunørretens biologi er nylig publisert i Thorstad mfl. (2015, 2016); Aldvén & Davidsen (2017); Nilsen mfl. (2019), Nevoux mfl. (2019); Ferguson mfl. (2019) og Birnie-Gauvin mfl. (2019).

Siden sjøørreten oppholder seg ved kysten og i fjordene i hele den marine fasen er den påvirket av lakselus fra oppdrettsanlegg i en mye lengre periode enn utvandrende laksesmolt (Finstad & Bjørn 2011; Thorstad & Finstad 2018). Det er også vist at sjøørret har en potensiell atferdsrespons til lakselusinfestasjoner som gir prematur tilbakevandring til ferskvann/områder med lav salinitet (Birkeland 1996; Birkeland & Jakobsen 1997; Serra-Llinares mfl. 2018). I tillegg vil sjøørreten være av ulik størrelse og alder når den er i områder hvor den kan bli infestert av lakselus, og dermed vil effekten av infestasjoner være ulike. Dette betyr at tilnærmingene for å beregne effekten av lakselus på sjøørret bør være ulike de metodene som er benyttet for laks. En mulig tilnærming som er diskutert i ekspertgruppen er å beregne endringer i egnet leveområde i sjø som følge av smittepress fra lakselus. Redusert egnethet av marint habitat vil gi effekter på sjøørretbestander i form av redusert vekst, reproduksjonspotensiale, overlevelse – og en mulig forskyvning fra anadrom til resident ørret.

3.1 Oppgaven

En av hovedutfordringene med å evaluere effekten av lakselus på sjøørretbestander er vår forståelse av hvordan lakselus påvirker sjøørret. Sjøørret har en atferdsrespons som reduserer sannsynligheten for å dø av lakselus ved at den kan søke seg til vannmasser med lavere saltholdighet hvor lusen etter en stund vil falle av. Effekten av vandring mot ferskvann er tosidig (1) sjøørreten vil kunne gjenoppnå osmotisk balanse ved at den plasserer seg i områder med lavere salinitet og (2) etter en gitt tid vil parasitten dø og falle av (Birkeland & Jakobsen 1997). Denne atferden kan sees som en økologisk avveining mellom fordelene ved beitevandring og de negative fysiologiske effektene av lakselus (Thorstad mfl. 2015, Halttunen mfl. 2017). Denne avveiningen vil sannsynligvis variere mellom individer og bestander, og vil i praksis føre til at et forvaltningsmål basert på dødelighetsgrenser, slik laks er implementert i produksjonsområdeforskriften, vil være en dårlig bærekraftsindikator for sjøørret.

Samtidig er det også et annet element som kompliserer hvordan lus påvirker sjøørret. Sjøørreten er kjent for å ha en stor variasjon i atferd (også innenfor bestander) som kan være genetisk betinget (Eldøy mfl. 2015; Bordeleau mfl. 2018; Nevoux mfl. 2019; Ferguson mfl. 2019; Birnie-Gauvin mfl. 2019). Hvis kostnadene til en atferd øker, vil frekvensen av denne

atferden i bestanden reduseres over tid. Dette er det man kan se for seg for sjøørret, hvor individer som er genetisk disponerte for å vandre langt vekk fra elven, og jevnlig ender opp i områder med mye lakselus (og høy salinitet), vil kunne forsvinne fra bestandene. Slike effekter er vanskelig å måle ettersom man ikke har god nok kunnskap om hvor genetisk betinget slik atferd er og hvordan variasjonen i atferd til sjøørret er i forskjellige bestander. Det vi derimot vet fra atferdsstudier er at sjøørret kan bruke de fleste habitat i det marine miljøet hvor det er tilgjengelige byttedyr (Eldøy mfl. 2015; Flaten mfl. 2016; Davidsen mfl. 2018, 2019).

I tidligere studier hvor man har prøvd å koble bestandsstatus for sjøørret til smittepressmodeller for lakselus (Anon. 2018), har man argumentert at det mest sårbare livsstadiet for sjøørret er postsmolten, og at disse hovedsakelig oppholder seg i nærheten av elvemunningen. Studier fra ulike fjordsystemer i Norge viser derimot at dette ikke alltid er tilfellet, men at selv relativt små postsmolt av sjøørret vandrer mer enn 20 km og derfor utnytter habitatet langt fra det man kan definere som estuariet (Urke mfl. 2010, 2013, 2018; Flaten mfl. 2016; Davidsen mfl. 2018, 2019). En av problemstillingene med dette er at det blir vanskelig å koble lusesmitte til bestandseffekter fordi man ikke vet hvor man skal måle smittepress i det marine habitat for den enkelte bestand.

En litt motsatt måte å se dette på er å definere områder i det marine habitat som ikke lenger vil være egnet oppholdssted for sjøørret. Et slikt mål definerer vi som "reduisert marint leveområde (RML)", og vil kunne gi innsikt i hvordan luseforekomstene i et større geografisk område vil kunne påvirke sjøørretbestandene i regionen.

4. Løsningsforslag og definering av biologisk relevante parametere

Løsningsforslaget som vi presenterer i dette dokumenter er en modell som tar utgangspunkt i førstegangsvandrende sjøørret som antas mest sårbare for effekter av lakselus. Metoden tar utgangspunkt i Havforskningsinstituttets sin smittemodell, og har to modellprodukter. Disse to modellproduktene kaller vi redusert marint leveområde (RML) og redusert marint tid (RMT), og vil kunne gi innsikt i hvordan lakselusbelastninger vil kunne påvirke sjøørret i et større geografisk område

Første modellprodukt (RML) beregner hvor store deler av et areal som er uegnet for førstegangsvandrende sjøørret på grunn av lakselus. Andre modellprodukt (RMT) beregner hvor mye vekstsesongen reduseres for sjøørret som ville oppholdt seg i området.

For å kunne beregne disse modellproduktene er det nødvendig å definere følgende kriterier:

- Antall vassdrag og posisjoner på disse – basert på VRLs sjøørretrapport (Anon. 2019)
- Marint leveområde for sjøørret.
- Størrelsen til førstegangsvandrere.
- Tidsperioden førstegangsvandrere er i sjøen.
- Oppholdstiden til sjøørreten i sjøen.

- Under hvilke forhold det marine habitatet blir uegnet for sjøørret på grunn av lakselus - grenseverdier for effekt.

4.1 Antall vassdrag og deres posisjoner

Vi har tatt utgangspunkt i Vitenskapelig råd for lakseforvaltning (VRL) sin sjøørretrapport (Anon. 2019). Antallet klassifiserte sjøørretvassdrag og posisjoner på disse benyttes i modelleringen av PO3 (Karmøy til Sotra) og PO5 (Stadt til Hustadvika).

4.2 Marint leveområde for sjøørret

Romlig variasjonen i sjøørrettetthet i sjøen.

Tettheten av sjøørret vil trolig variere mye på lokal skala og innen og mellom produksjonsområder på grunn av variasjon i antall vassdrag, variasjon i bestandsstørrelse, og ulik status for sjøørret i ulike områder av landet. Miljødirektoratet har listet opp 1127 vassdrag med sjøørret. Av disse har vi informasjon om bestandsstatus og produktiv ferskvannsareal i 432 vassdrag (Anon. 2019). Utenom disse er det et trolig et betydelig antall mindre bekker og elver som ikke er definert i disse databasene. Per i dag konkluderer vi derfor med at vi ikke har kunnskap til å ta høyde for den romlige variasjonen i sjøørrettetthet innen de ulike produksjonsområdene.

Oppholder sjøørreten seg littoralt eller pelagialt i fjorden?

Postsmolten oppholder seg generelt mer langs land enn midtfjords (Lyse mfl. 1998; Thorstad mfl. 2007), men i merkeundersøkelser blir den likevel gjerne, om enn i mindre grad, også registrert midtfjords (Flaten mfl. 2016; Atencio 2019). Det fanges også postsmolt sjøørret i trålundersøkelsene i fjordene.

Hvor langt vandrer sjøørreten fra hjemmevassdraget?

Det er stor variasjon i vandringsavstand fra hjemmevassdraget hvor noen individer oppholder seg i eller umiddelbart utenfor elveosen, mens andre vandrer mer enn 30 km bort fra hjemmevassdraget (Berg & Berg 1987; Finstad mfl. 2005; Thorstad mfl. 2007; Middlemas mfl. 2009; del Villar-Guerra mfl. 2013; Davidsen mfl. 2014; Aldvén mfl. 2015; Flaten mfl. 2016). I både Tosenfjorden (Davidsen mfl. 2018) og Skjerstadfjorden (Davidsen mfl. 2019) i Nordland vandret postsmolten generelt kortere enn veteranene og oppholdt seg lengre tid i indre deler av fjorden nær hjemmevassdraget (< 15 km) før de vandret lengre ut. I Hemnfjorden i Trøndelag hadde 67 % en minimums vandringsavstand på 25 km fra elvemunningen, mens 27 % hadde en minimums vandringsavstand på 14 km, og 6 % hadde en minimums vandringsavstand på 4 km (Flaten mfl. 2016). I Altafjorden i Finnmark ble 8 % av postsmolten registrert mer enn 20 km unna hjemmevassdraget (Atencio 2019). Ut fra disse resultatene velger vi i første omgang å definere postsmolt av sjøørreten sin vandringsavstand inntil 20 km fra sitt respektive vassdrag, men påpeker at det finnes eksempler som tilsier betydelig variasjon i vandringsdistanse fra elven.

Hvor dypt svømmer sjøørret?

Postsmolt av sjøørret bruker den øverste delen av vannsøylen under den marine næringsvandringen (Lyse mfl. 1998). I en undersøkelse i Altafjorden i Finnmark var gjennomsnittlig svømmedybde 0,9 m (variasjonsbredde: 0,4-1,3 m) og kun 1 % av registrerte svømmedybder var på 3 m eller dypere (Atencio 2019). I Nordfjord oppholdt postsmolten seg i all hovedsak i de øverste 2 m (Urke mfl. 2018), mens postsmolten i Tvedestrandfjorden i Agder i all hovedsak oppholdt seg på 1-5 m dybde, men ble registrert ned til 7 m (Ruud 2015). Tilsvarende ble observert i Sandnesfjord (Serra-Llinares mfl. 2018). Ut fra disse resultatene velger vi i første omgang å definere ørretens svømmedybde til de 2 øverste meterne av vannsøylen.

Konklusjon: I utgangspunktet er alt areal i fjordsystemene og minimum 500 m ut mot åpent hav egnet habitat (mulig leveområde) for sjøørret langs hele norskekysten. Områder lengre ut enn 500 m er ikke kartlagt. Det antas også at postsmolt av sjøørret vandrer inntil 20 km fra elvemunningen fra sitt respektive vassdrag. Sjøørreten defineres til å holde seg i de 2 øverste meterne av vannsøylen.

4.3 Størrelsen til førstegangsvandrere

Belastningen av lakselus på smolt er relatert til størrelse, det vil si at belastning er målt som antall lus per gram kroppsvekt (Taranger mfl. 2012). Ved samme tetthet av infestive lusestadier i sjøen vil derfor de minste individene få den største belastningen, og det samme vil være tilfelle på bestandsnivå for bestandene med den laveste gjennomsnittlige smoltstørrelsen. Smolt med ulik størrelse kan ha ulik atferd når den kommer ut i sjøen, f.eks. er det mulig at de største smoltene vandrer lenger og bruker de åpne vannmassene i større grad enn de minste som trolig i større grad vandrer langs land. Effektene av lakselus i forhold til smoltstørrelse vil dermed være både direkte (lus/gram fiskevekt) og indirekte (størrelsesrelatert habitatbruk). Påvirkningen av lakselus på sjøørretbestander kan derfor være forskjellig mellom bestander som beiter i det samme sjøområdet.

I en undersøkelse av sjøørret fra 34 norske vassdrag ble det vist at gjennomsnittlig smoltlengde økte fra rundt 14 cm (25 gram) i de sørligste til rundt 18 cm (50 gram) i de nordligste vassdragene (L'Abèe-Lund mfl. 1989).

Størrelsen på sjøørreten ved førstegangs utvandring til sjøen kan variere mellom bestander i ulike vassdrag på samme breddegrad og innen vassdragsdeler. Jonsson mfl. (2001) fant at smoltlengden avtok med middelvannføringen i små bekker på Sørlandet og fant at ørret ned til 7 cm i de minste bekkene vandret ut til sjøen. Ørret som oppholder seg i innsjøer i en lengre periode før smoltutvandring er normalt større enn smolt som har hatt hele oppveksten i elv. I Vossovassdraget varierte smoltstørrelsen mellom 14 og 29 cm (25-220 gram) (Jonsson 1985). I Eidselva i Nordfjord varierte lengden på ørretsmolt mellom 12 og 40 cm (15 – 600 gram) med et gjennomsnitt på 33 cm (320 gram) (Urdal 2013). De store smoltene i Eidselvvassdraget

oppholder seg de siste to - tre årene før utvandring i Hornindalsvatnet der det er lav tetthet av fisk og gode vekstbetingelser (Sægrov mfl. 2003; Gjelland mfl. 2018).

Smoltlengden for ørreten i Eidselvvassdraget og i mange andre undersøkte bestander er tilbakeberegnet fra skjell fra fisk som har overlevd et sjøopphold frem til de ble fanget. De største smoltene kan ha hatt høyere sjøoverlevelse enn de minste, og skjellprøver kan dermed underestimere andelen små smolt som vandrer ut fra vassdraget sammenlignet med de største. Dette er en potensiell feilkilde i alle undersøkelser der gjennomsnittlig smoltstørrelse er beregnet fra skjellprøver. I elver der det er smoltfeller får en bedre oversikt over størrelsen på utvandrende ørretsmolt. I Aurlandselva og Flåmselva i Sogn stod det smoltfeller i perioden 2001-2006 og gjennomsnittlig lengde på ørretsmolten som ble fanget varierte mellom 12,5 og 14,8 cm, men var 13,5 cm i begge elvene tre av årene. I Flåmselva er det ingen innsjøer på anadrom elvestrekning, mens det ligger en innsjø (Vassbygdatnet) på anadrom strekning i Aurlandselva (Sægrov mfl. 2007).

Det er betydelig variasjon i størrelse til utvandrende sjøørretsmolt mellom vassdragstyper og langs en sør-nord gradient. I bekker og mindre elver på Vestlandet er smolten i gjennomsnitt rundt 25 gram, men størrelsen øker nordover til rundt 50 gram i tilsvarende nordnorske vassdrag. Smolt som kommer fra innsjøer er vanligvis større og kan være opptil 300 gram i gjennomsnitt. Postsmolt av sjøørret vokser raskt den første sommeren i sjøen, og under normale forhold kan en anslå en gjennomsnittlig tilvekst på 12 cm ved et opphold på 8 uker i Sør-Norge. Hvis en bruker en gjennomsnittlig smoltstørrelse på 14 cm (25 gram) og antar lineær tilvekst gjennom sjøoppholdet er postsmolten 20 cm (80 gram) etter 4 uker og 26 cm etter 8 uker (110 gram). I Nord-Norge er smolten større når den vandrer ut, men oppholdstiden er kortere slik at størrelsen er ikke veldig forskjellig etter første sommer i sjøen for sjøørret i ulike deler av landet.

Ved beregning av habitatets egnethet i forhold til belastning av lakselus har vi satt snittvekten på smolten til 60 gram. Det er da tatt hensyn til at smolten kan ha vokst før eventuelt påslag av lakselus og at det kommer større smolt fra større vassdrag og vassdrag med innsjøer på anadrom del. Effekten av lakselus på bestandsnivå er blant annet avhengig av størrelsesfordelingen av smolten og denne varierer mellom bestander.

Konklusjon: Ved beregning av habitatets egnethet i forhold til belastning av lakselus har vi satt snittvekten på smolten til 60 gram.

4.4 Tidsperioden førstegangsvandrere er i sjøen

I dette forslaget definerer vi oppholdstid i sjø i sørlige breddegrader fra mai til august (og deler av april og september) og i nordlige breddegrader fra juni til august (og deler av mai og september), og definerer tre forskjellige utvandningsperioder som representerer tidlig, normal og sen utvandring. I første steg vil vurderingene gjøres for førstegangsvandrende sjøørrets beiteperiode i sjø om sommeren og vi ser bort fra negative effekter av lus til andre

tider av året. I den følgende teksten utleder vi de faglige begrunnelsene for disse vurderingene.

Når vandrer sjøørreten inn og ut av vassdraget?

Sjøørretsmolt vandrer typisk til sjøen om våren (Jensen 1968; Flaten mfl. 2016; Thorstad mfl. 2016; Davidsen mfl. 2018; Davidsen mfl. 2019), men kan vandre ut gjennom hele året (Aarestrup mfl. 2017; del Villar-Guerra mfl. 2019). Ulike telemetriprosjekter på sjøørretsmolt har vist at periodene for utvandring og tilbakevandring typisk strekker seg over mye lengre tidsrom enn hos villaks. I kunnskapsoppsummeringen for lakselus ble det gjort en oppsummering av utvandringstidspunkt hos førstegangsvandrende sjøørret (Karlsen mfl. 2016) fra vassdrag der utvandringen av ørret og laks har blitt overvåket ved fangst i heldekkende feller som fanger mesteparten av den utvandrende smolten, i video eller i mindre feller som fanger et utvalg av smolten. Denne gjennomgangen viste at smolt av sjøørret og laks synes å vandre ut på omtrent samme tid fra samme vassdrag (Karlsen mfl. 2016) - men at utvandringsforløpet kan være noe mer irregulært og utstrakt i tid for sjøørret enn for laks (for eksempel se Jensen mfl. 2012). Utvandringen av sjøørretsmolt vil derfor skje stadig senere på året ettersom en beveger seg nordover langs kysten. I sør og i vest starter utvandringen i april, mens i nordlige vassdrag kan utvandringen starte så sent som i først halvdel av juni. Hovedutvandringen i sør og vest synes å være i mai måned, mens den i nord kan forekomme så sent som i månedsskiftet juni/juli i enkelte vassdrag (Jensen mfl. 2012).

I Hemnfjorden i Trøndelag utvandret smolt fra Rovatnet i perioden 30.04–08.06, mens postsmolten vandret opp i perioden 08.06–20.09 (Flaten mfl. 2016). I Tosenfjorden i Nordland vandret smolten fra Leirelva ut i løpet av mai måned for så å returnere jevnt fordelt over perioden juli-september (Davidsen mfl. 2018). I Skjerstadjorden var utvandringen fra Botnvassdraget enda seinere med utvandring i perioden 30.05–12.07 og oppvandring i perioden 04.07–08.09 (Davidsen mfl. 2019). Førstegangsvandrere fra Strynselfva vandret ut i perioden 03.05–07.07, med hovedtyngde i mai (Urke mfl. 2018).

I dette notatet skal vi gjøre beregninger for to produksjonsområder på Vestlandet (PO3 og PO5) slik at utvandringsdata fra disse to produksjonsområdene er de mest relevante i første omgang.

På Vestlandet er det driftet heldekkende smoltfeller over lengre tid i to vassdrag. I Guddalselva (Hordaland, PO3) er utvandringen av sjøørretsmolt registrert med en heldekkende Wolff-felle fra og med 2001. Utvandringen starter rundt midten av april og pågår enkelte år ut juni. Dato for 50 % utvandring varierte mellom 10. mai og 22. mai i perioden 2001–2011 (Skaala mfl. 2014). I Daleelva i Vaksdal (Hordaland, PO4) er utvandringen av sjøørretsmolt registrert med en heldekkende Wolff-felle siden 2004. Denne tidsserien viser at utvandringen starter i løpet av april og at forløpet kan variere relativt mye mellom år. Dato for 25 % utvandring varierte fra 29. april til 20. mai. Hovedutvandringen foregår normalt i andre og tredje uka i mai, med dato for 50 % utvandring registrert fra 10. mai til 26. mai. Dato for 75 % utvandring varierte fra 17. mai til 7. juni, og normalt var smoltutvandringen over i midten av juni (se figur 2.10 i Karlsen mfl. 2016).

I Granvinsvassdraget (PO3) ble utvandringen av smolt registrert med videoovervåking i 2018. Her ble det observert at utvandringen av sjøørretsmolt var konsentrert over et kort tidsrom der 50 % av all smolt passerte i løpet av en uke fra 22.- 28. mai. Det vandret imidlertid enkelte individer fra rundt 20. april til litt ut i juni (Lamberg 2019).

Utvandringen er trolig mer langstrakt i vassdrag der ørreten også bruker innsjøer til oppvekst. For eksempel var median dato for 75 % fangst av ørretsmolt i feller i Aurlandselva (31. mai) - 10 dager senere enn i Flåmselva (21. mai) (Sægrov mfl. 2007). I Aurlandsvassdraget er det gyting og oppvekst av sjøørret både nedstrøms og oppstrøms Vassbygdatn og også oppvekst og noe gyting i selve innsjøen. I enkelte år vandrer det ut sjøørretsmolt fra dette vassdraget i hele juni.

I Eira (Møre og Romsdal, PO5) varierte tidspunkt for 50 % akkumulert fangst av sjøørretsmolt fra 7. mai til 29. mai med en median dato den 20. mai (se tabell 2.5 i Karlsen mfl. 2016). I Vatnevassdraget (PO5) ble utvandringen av sjøørretsmolt, som var merket med PIT-merker på våren og registrert ved passering av en antenne i munningen, undersøkt i perioden 2015-2018. Utvandringen startet i månedsskiftet april/mai og varte til rundt midten av juni. Størsteparten av smolten vandret i løpet av mai, og tidspunkt for 50 % utvandring varierte fra 7.-19. mai. (Berntsen mfl. 2019). Det foreligger sparsomt med data fra PO5, men det er lite sannsynlig at utvandringen i dette produksjonsområdet skal avvike mye fra de to områdene lengre sør på kysten av Vestlandet.

Det er vanskelig å sette opp et generelt utvandringsforløp for sjøørretsmolt i elver på Vestlandet. Vi har derfor valgt å gjøre beregninger for lusepåvirkning for tre utvandringstidspunkter: tidlig: 24. april; middels: 15. mai og sent: 05. juni. En slik beregningsperiode vil dekke hovedutvandringen av sjøørretsmolt i de fleste vassdrag og år.

Det må understrekes at vi mangler kunnskap om utvandring av sjøørretsmolt fra mindre vassdrag som har direkte utløp i sjøen. Slike vassdrag finnes det mange av i enkelte områder, og lokalt kan slike vassdrag ha stor betydning for produksjonen av sjøørret.

Konklusjon: I dette arbeidet har vi valgt følgende utvandringstidspunkter på Vestlandet: tidlig: 24. april; middels: 15. mai og sent: 5. juni. En slik periode vil dekke hovedutvandringen av sjøørretsmolt i de fleste vassdrag og år.

4.5 Oppholdstiden til sjøørret i sjøen

Telemetriprosjekter har vist at postsmolten har stor individuell variasjon i oppholdstid i sjøen. I Hemnfjorden var gjennomsnittlig oppholdstid i sjøen på 38 dager (Flaten mfl. 2016), men det var store variasjoner mellom individene (22-99 dager). For Tosenfjorden var oppholdstiden 73 dager (49-113 dager; Davidsen mfl. 2018) mens det for Skjerstadjorden var 55 dager (11-116 dager; Davidsen mfl. 2019). Registreringer fra fiskefeller viser at det også er stor geografisk variasjon. Smolt fra Halsvassdraget i Finnmark var i gjennomsnitt 55 dager i sjøen (variasjon mellom år fra 47 til 64 dager; Jensen mfl. 2005), mens smolt fra Vardnesvassdraget på Senja hadde en gjennomsnittlig oppholdstid i sjøen på 70 dager (Berg &

Berg 1989). I Imsa i Rogaland, var førstegangsvandrere som gikk til sjøen mellom januar og juni borte fra seks til ni måneder før de kom tilbake (Jonsson & Jonsson 2009). Førstegangsvandrere som forlot Imsa mellom juli og desember var i gjennomsnitt mellom åtte måneder og 1,5 år borte før de vendte tilbake, det vil si at de enten overvintret i ferskvann eller brakkvann nedenfor fiskefella, i brakkvann, i sjøen andre steder, eller i andre vassdrag. Ut fra disse dataene har vi definert en oppholdstid i sjøen til 70 dager for postsmolt av sjøørret på Vestlandet.

Konklusjon: Det er store forskjeller på oppholdstid i sjøen. Her er det valgt en oppholdstid på 70 dager da dette ofte gjelder for større vassdrag i Sør-Norge.

4.6 Under hvilke forhold blir det marine habitatet uegnet for sjøørret på grunn av lakselus – grenseverdier for effekt.

Et areal blir uegnet som habitat for sjøørret når lusetettheten blir så stor at det enten 1) medfører at fisken dør hvis den oppholder seg der over tid, eller 2) fører til at ørreten må trekke bort fra området for å avluse seg i områder med lavere salinitet. Utfordringen er å definere grenseverdier for lusetetthet og eksponeringsperiode som gir slike effekter på sjøørret. Deretter kan smittepressmodeller benyttes til å beregne uegnet areal og endringer i dette utfra hvordan smittepresset endrer seg.

Bjørn & Finstad (1997) observerte en signifikant økning i dødelighet ved kunstige luseinfestasjoner av klekkeriprodusert postsmolt av sjøørret (gjennomsnittsvekt 91 gram). Dødelighet ble observert i gruppen med de høyeste infestasjonene. De konkluderte med at relativ tetthet av lakselus på døende fisk på mer enn 1,0 lus per gram kroppsmasse hos fisken, eller 50 preadulte og voksne lus per fisk, kunne forårsake dødelighet hos små (60 g) postsmolt av sjøørret. Gitt en gjennomsnittlig overlevelse hos lusene på 63 %, kan ca. 1,6 chalimuslarver per gram fiskevekt, eller mer enn 90 larver for en liten postsmolt av sjøørret (60 g), være dødelig nivå. I en parallell studie konkluderte Wells mfl. (2006) at 13 mobile lus (preadult eller voksne individer) per fisk var den kritiske intensiteten som ga ikke-dødelige stressresponser hos postsmolt av sjøørret (kroppsvikt 19–70 gram). Forsøk med kultivert 133 grams sjørøye i laboratorieforsøk indikerte at økende infestasjoner ($> 0,09$ lus/g) medførte tap i kondisjon, infestasjoner $> 0,3$ lus/g medførte total stagnasjon eller vekttap (Fjellidal mfl. 2019), samt at dødelighet ble observert. All fisk med infestasjoner $> 0,7$ lus/g døde.

Påvirkning i naturen kan være høyere eller lavere enn det som registreres i laboratorieundersøkelser. Effektene av lakselus har for eksempel vist seg å være mer alvorlige for postsmolt av laks som er påvirket også av andre faktorer som for eksempel dårlig vannkvalitet (Finstad mfl. 2007). Videre kan svekket fisk i naturen utsettes for en økt predasjonsrisiko (Thorstad mfl. 2012). Et redusert immunsystem kan derfor på lang sikt resultere i økt påvirkning på grunn av tilleggsfaktorer i naturen som fisken er beskyttet mot i laboratoriet, og dette kan ha betydning for fastsettelse av kritiske terskelnivå for påvirkning (Bjørn & Finstad 1997).

Grenseverdier for infestasjonsnivå av lakselus på vill laksefisk.

Det er i Taranger mfl. (2012) presentert en førstegenerasjons beregningsmetode for å kvantifisere effekten av lakselus vill laksefisk. Denne metoden går ut på å basere beregninger av dødelighet av fisk fra lus per gram fiskevekt, basert på en antatt størrelses avhengig effekt av lakselus. Denne metoden er beskrevet i en rekke publikasjoner (Taranger mfl. 2012, Karlsen mfl. 2016). Disse grenseverdiene er ifølge Taranger mfl. (2012, 2015) gjeldende for laksesmolt og førstegangsvandrende sjøørret og sjørøye under 150 gram. For laks er det også nylig gjort en gjennomgang av nyere studier siden 2012. Det ble ikke funnet grunnlag for å endre disse grenseverdiene (Appendix XI).

Grenseverdier for sjøørret

Vi tar utgangspunkt i de overnevnte grenseverdiene i beregninger av effekter på sjøørret. Som påpekt i kapittel 4.3 antar vi at sjøørreten er 60 gram, og grenseverdiene for antatt påvirkning blir som beskrevet i tabell 1. Med påvirkning menes dødelighet og/eller prematur tilbakevandring.

Tabell 1. Antatt effekt (dødelighet og/eller prematur tilbakevandring) på postsmolt av sjøørret ved gitt antall lus. Fiskens størrelse er satt til 60 gram og kalkulert påvirkning er inndelt iht. Taranger mfl. (2015).

ANTALL LUS	ANTATT EFFEKT
< 6	0 %
6 ≤ 12	20 %
12 ≤ 18	50 %
> 18	100 %

I Taranger mfl. (2012) antas det at det ikke er noen dødelighet fra påslag av kopepoditter til mobile lus. Basert på studier på sjøørret implementerer vi en dødelighet for lakselus på 40% mellom disse to stadiene.

Merk, at som påpekt av Taranger mfl. (2012), disse verdiene behøver videre verifisering og validering, særlig når formålet er å bestemme kritiske nivå av lakselus som grunnlag for bevaring og forvaltning.

Konklusjon: Kritiske grenseverdier for lakseluspåvirkning for en 60 grams førstegangsvandrende sjøørret er satt til følgende basert på tidligere litteratur og beregninger rundt dette: <6 lus og 0% effekt; 6≤12 lus opp til 20% effekt; 12≤18 lus opp til 50% effekt og >18 lus opp til 100% effekt. Dødelighet på lus fra kopepoditt til bevegelige lus antas å være 40%.

5. Modellert redusert egnethet av marint habitat for ørret i PO3 og PO5

Havforskningsinstituttet modellerer konsentrasjonen av smittsomme lakseluskoepoditter med høy oppløsning i tid og rom for hele landet basert på rapportert mengde lakselus i oppdrettsanlegg og de reelle strømforholdene. Resultatene publiseres ukentlig på www.lakselus.no.

Kvaliteten på modellsystemet har blitt belyst i en rekke studier i ulike fjordsystem (Asplin mfl. 2014, Johnsen mfl. 2014, 2016, Sandvik mfl. 2016, 2019 (innsendt), Skardhamar mfl. 2018, Myksvoll mfl. 2018, Sandvik mfl. 2019), inkludert validering av lakseluspåslag på smolt i vaktbur (Sandvik mfl. 2016, 2019 (innsendt)), mot lus på garn- og rusefanget fisk fra overvåkingsprogrammet (Myksvoll mfl. 2018) og mot lus på trålfanget postsmolt laks med kjent opphavselv (Johnsen mfl. 2019, innsendt).

For å bestemme når og hvor lusemengden er så stor at den vil gjøre skade på de ville laksefiskene, har vi kalibrert den modellerte tettheten av lusearver mot lus på laksesmolt i bur (Sandvik mfl. 2016, 2017a,b, 2019 (innsendt)). Vi kaller produktet ROC (Relative Operating Characteristic) etter metoden som er benyttet i kalibreringen, og det kan lettest tolkes som at vi har utplassert virtuelle smoltbur i et finmasket rutenett i hele fjordsystemet og langs kysten.

Metoden, slik den så langt har blitt benyttet i rådgivningen, har hatt grenseverdiene 1 og 10 lus. Disse har blitt satt på bakgrunn av konservativ empiri, slik at vi skal være rimelig sikre på effektene over og under grenseverdiene. Metoden har høsten 2019 blitt videreutviklet slik at vi nå kan velge en vilkårlig grenseverdi, og dermed også benytte metoden til å undersøke sjøørret, som veier mer enn laksesmolt, og derfor har andre tålegrenser, og har en annen oppholdstid i sjøen enn laks.

Modellen som har blitt og fortsatt blir benyttet i rådgivningen, er satt opp på et gitter der hver rute er 800m x 800m. For utvalgte områder langs kysten har vi også satt opp en modell med et enda finere gitter (160m x 160m). Denne modellen er foreløpig ikke like godt testet mot observasjoner som 800m modellen, men de foreløpige testene som er utført tyder på at forskjellene først og fremst er lokale, og at kalibreringen som er gjort for 800m modellen også gjelder for 160m modellen. Vi har i dette arbeidet valgt å benytte resultat fra 160m modellen.

På bakgrunn av beste mulig kunnskap som beskrevet i kapittel 4 har vi satt grenseverdier og utvandningsforløp som beskrevet nedenfor. Resultatene er presentert i kart med 3 farger, der rødt kan tolkes slik at villfisk som oppholder seg i disse områdene i den perioden smittepresskartet gjelder for, trolig vil få på seg flere lus enn det som regnes som dødelig dose hvis den ikke forlater området, mens fisk som oppholder seg i områder med lav smitteklasse (grønn farge på kartet) vil få på seg et antall lakselus som vil ha svært begrensede negative konsekvenser for fisken.

5.1 Modelloppsett og valg av grenseverdier

Leveområde/habitat

Basert på vurderingene over lar vi hele fjorden være leveområde for ørretsmolten. Vi har definert leveområdene som alle modellruter som ligger nærmere enn 2560m (160m *16) fra land, samt tettet igjen de få fjordområdene som ligger lenger fra land. Følsomheten i forhold til å definere leveområdet som 5*160m eller 16*160m fra land ble undersøkt. Forholdet mellom røde, gule og grønne områder endret seg lite med disse to beregningene slik at vi valgte 160*16 rutenettet for å dekke hele fjordsystemene.

I tillegg har vi modellert lusepåvirkning på ørretsmolt som kommer fra fire spesifikke elver (PO 3: Oselva (i Os) og Etne, og i PO 5 Eira og Rauma) ved å definere et sannsynlig leveområde som strekker seg 20 km fra elvemunningen.

Vekt

Basert på vurderingen over har vi antatt at ørretsmolten veier 60 gram.

Tålegrenser

Basert på vurderingen over tar vi utgangspunkt i risikovurderingen til Taranger et al. (2012). Siden modellen beregner infektive kopepoditter og vi antar at om lag 60% av lusen overlever til preadult stadium (se f.eks. Grimnes & Jakobsen 1996; Bjørn & Finstad 1997, 1998) blir tålegrensene som følger:

18 mobile lus/0,6=30 kopepoditter per fisk

6 mobile lus/0,6=10 kopepoditter per fisk

Basert på dette har vi laget denne forenklede tabellen (tabell 2) basert på tabell 1.

Tabell 2. Antatt påvirkning av lakselus kopepoditter på sjøørret.

N KOPEPODITTER FISK	ANTATT PÅVIRKNING
< 10	0%
10≤30	50%
> 30	100%

Utvandring og forventet naturlig oppholdstid i sjø

Basert på vurderingene over har vi definert følgende datoer for utvandring og oppholdstid i sjø for postsmolt av ørret på 60 gram.

Antatt utvandring: 24. april, 15. mai og 5. juni. All fisk vandrer ut samme dag.

Antatt naturlig tid i sjø: 70 dager

Basert på vurderingen over antar vi at ørretsmolten befinner seg høyt oppe i vannsøylen og at den er eksponert for alle luselarver som befinner seg i de 2 øverste meterne av vannsøylen.

Beregning av redusert marint leveområde (RML)

På samme måte som i leveransen til trafikklyssystemet på laksesmolt, HI kalibrert smittepress eller ROC, kan vi definere en indeks som forteller oss hvor stor andel av det antatte leveområdet som har en høy dose kopepoditter (rødt), moderat dose (gult) og lav dose (grønt) (tabell 2).

Den foreslåtte indeksen for redusert marint leveområde (RML) blir dermed som følger:

$$RML = \frac{\text{Areal Rød}(70d) + 0,5 * \text{Areal Gul}(70d)}{\text{Areal antatt leveområde}}$$

der Areal Rød(70d) er størrelsen på det røde området etter 70 dager og Areal Gul(70d) er størrelsen på det gule området etter 70 dager. Merk at definisjonen av fjordarealet vil påvirke resultatet slik at jo lenger til havs fjorden er definert jo større blir det totale arealet og jo mindre (relativt sett) blir de påvirkede områdene.

For å vurdere enkeltbestander har vi også estimert påvirkning på enkeltbestander ved å ta ut en radius på 20 km fra elvemunningen (som beskrevet over).

En annen indeks som vi har definert er redusert marin tid (RMT). Det vil si antall dager frem til RML krysser **30%** - minus det som er antatt å være naturlig oppholdstid i fjorden. Altså:

$$RMT = (\text{Antall dager før RML} > 30\%) \text{ minus } 70 \text{ dager}$$

Merk at modellen er kjørt frem til 15. august, slik at ørretsmolten som vandrer ut 5. juni bare blir beregnet å stå ute i fjorden i 69 dager.

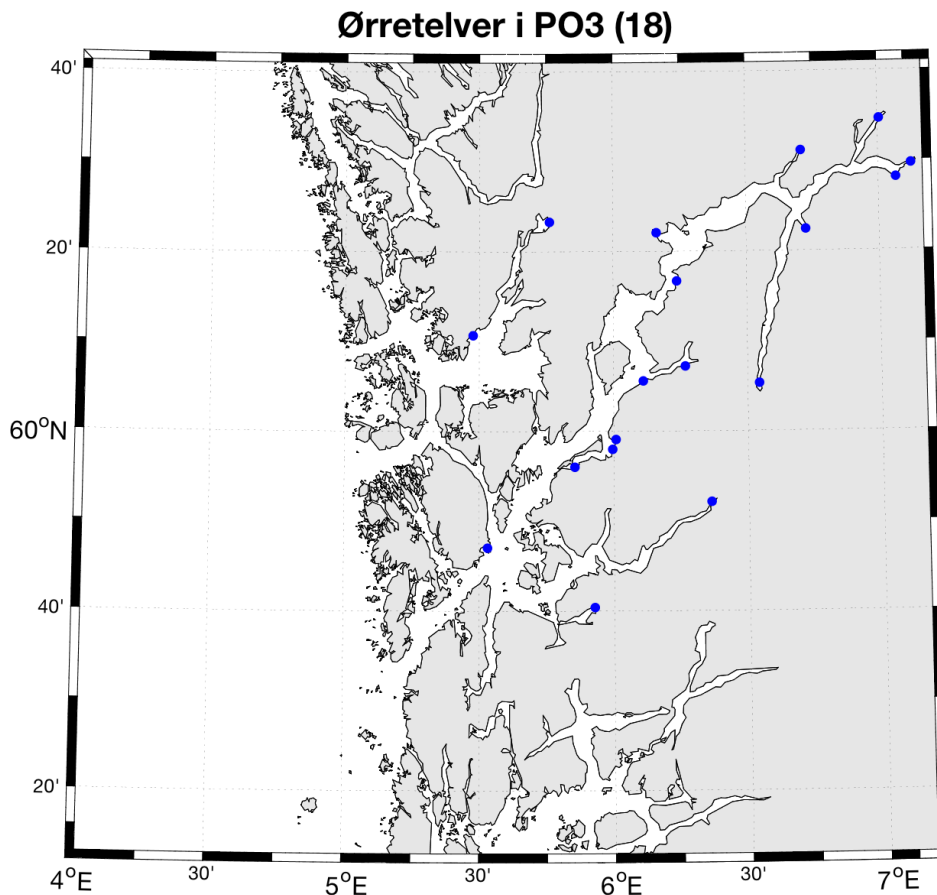
6. Resultater fra modellkjøringen

I teksten under presenterer vi følgende resultater for produksjonsområde 3 og 5 (PO3 og PO5):

- 1) Kart med posisjonen til alle ørretelvene i området.
- 2) Kart som viser områder med høy, moderat og lav effekt på fisk som har stått i området i 70 dager fra hver av de tre utvandningsdatoene.
- 3) Kurver som summerer opp andel av området med høy, moderat og lav effekt fra hver av utvandningsdatoene, til den er antatt å naturlig vandre tilbake til ferskvann og videre til simuleringens slutt 15. august.
- 4) Tabell med RML (reduisert marint leveområde) og RMT (reduisert marin tid) for enkeltelver.

6.1 Produksjonsområde 3 (PO3)

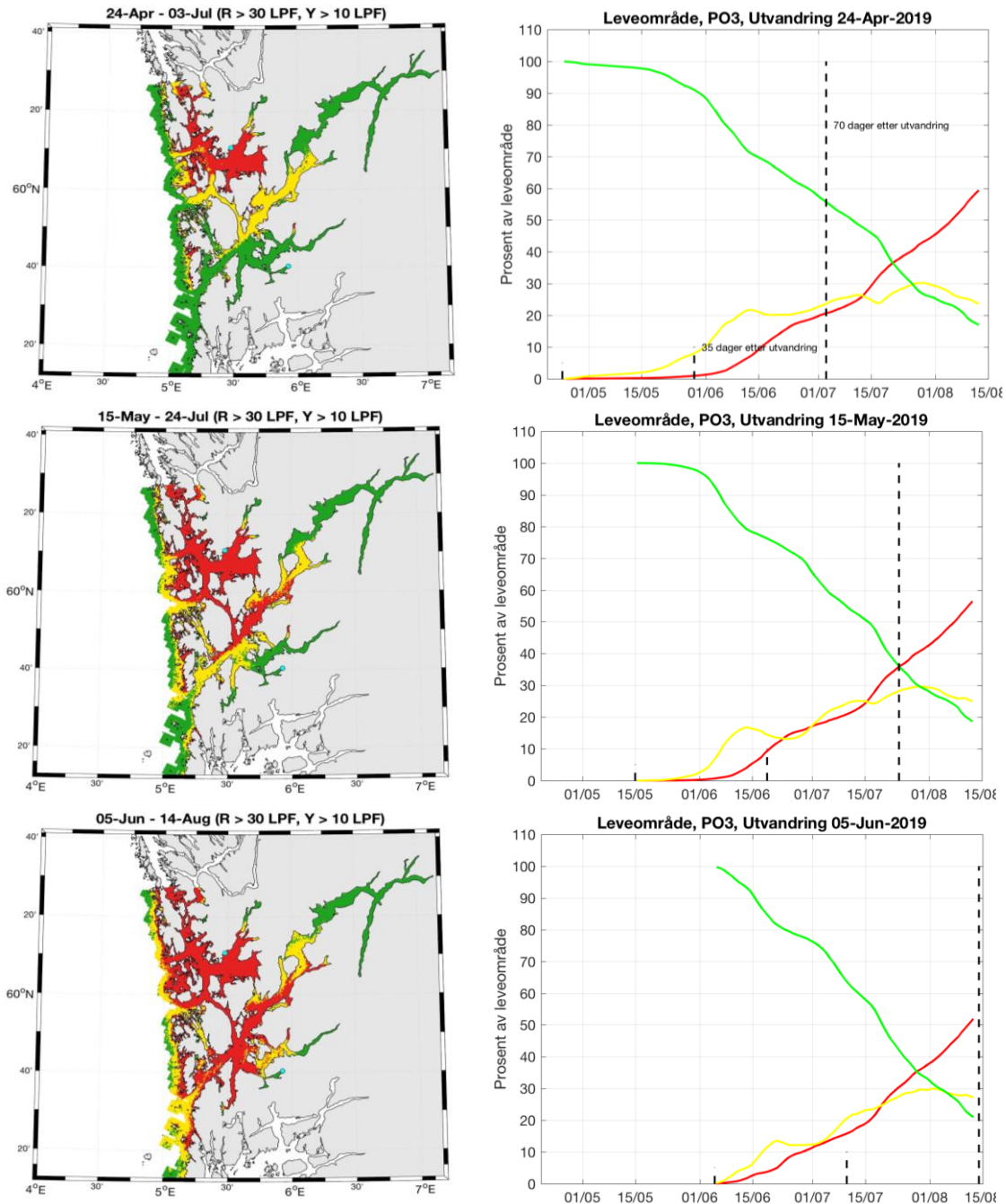
Vitenskapelig råd for lakseforvaltning har kategorisert 18 sjøørretvassdrag i PO3 (Anon. 2019), hvor de fleste ligger i Hardangerfjorden og to i Bjørnafjorden (Figur 1).



Figur 1. Posisjon til klassifiserte ørretelver i PO3 iht. Anon. (2019).

Akkumulert antall lus over 70 dager fra de valgte utvandningsdatoene viser at en økende andel av området er påvirket for senere utvandrende sjøørret i PO3 i 2019 (Figur 2). En ser også at

Økningen kommer tidligere i vekstsesongen jo senere utvandningsdato en velger, og jo lengre sjøopphold ørreten har i dette området jo større påvirkning får den som følge av lakseluspåslaget. Følgen av dette er redusert egnet marint leveområde utover sesongen.



Figur 2. Kalibrert smittepress (venstre) fra 24. april til 3. juli (øverst), 15. mai til 24. juli (midten) og 5. juni til 14. august (nederst) og beregnet andel av leveområdet som er rødt, gult og grønt (høyre). Røde områder og rød linje indikerer området hvor det er sannsynlig at ørretsmolten vil få på seg mer enn 18 preadulte lus, grønne områder og grønn linje at ørretsmolten får på seg mindre enn 6 preadulte lus, og gule områder og gul linje hvor ørretsmolten får på seg

mellom 6 og 18 preadulte lus. RML beregnes ved verdien på den røde linjen + 0,5 ganger verdien av den gule linjen. Utvandningsdato er markert som en kort sort linje, 35 dager etter utvandring med kort stiplet linje, og 70 dager fra utvandningsdato med vertikal stiplet linje, og markerer fordelingen som er vist i kartene i på venstre side.

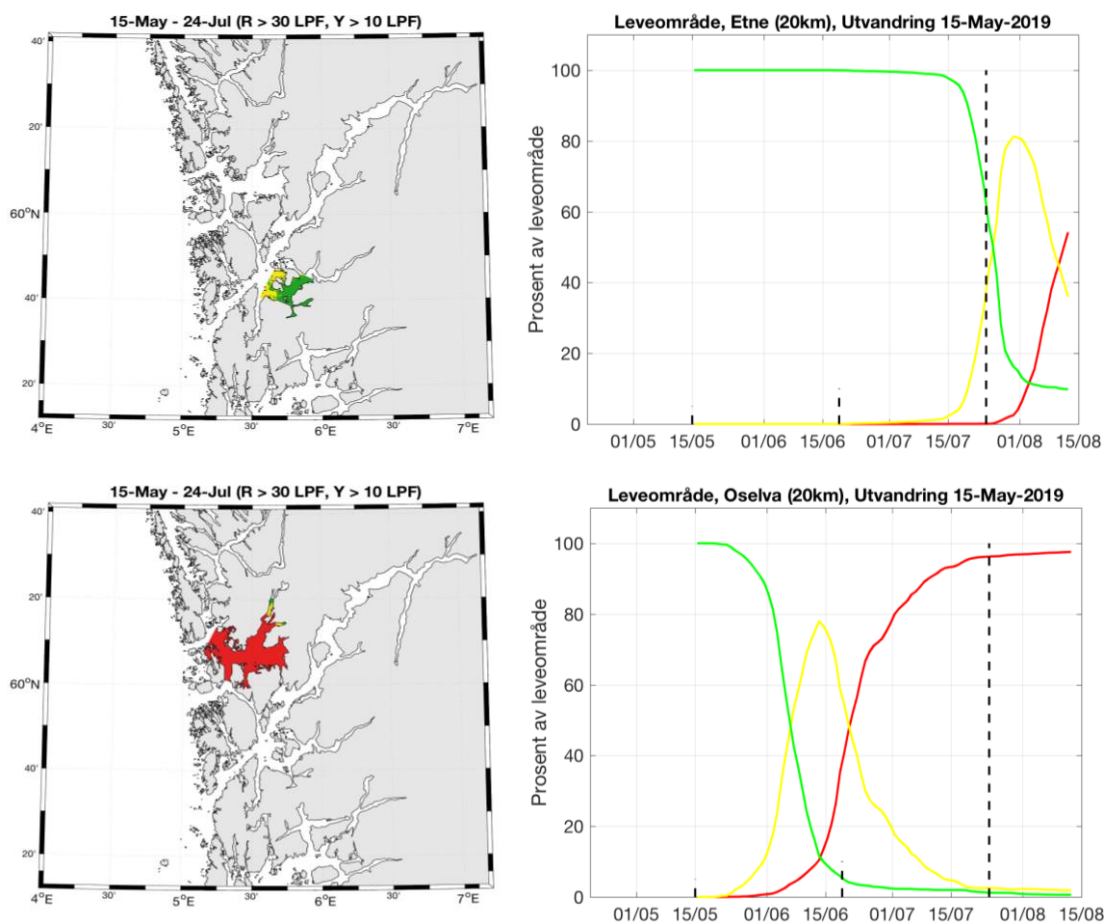
Ved å beregne andelen av området som er påvirket etter 70 dager (andelen av røde områder og 0,5× andelen av gule områder), ser en at sjøørret som vandrer senere på sesongen møter et større lakseluspress i fjorden, og andelen av området som er påvirket øker fra 32% for tidlig utvandrende sjøørret til 66% for sent utvandrende (Tabell 3).

Tabell 3. Beregnet redusert marint leveområde (RML) etter at fisken har stått 70 dager i sjø fra de tre antatte utvandningsdatoene. Kolonnen RML kommer frem ved å gå inn på grafen ved 70 dager i figur 2 (stiplet loddrett linje), lese av verdien på den røde kurven og legge til 0,5 ganger verdien på avlesing av den gule kurven.

Utvandningsdato	RML (redusert marint leveområde), PO3
24. april	32 %
15. mai	49 %
5. juni	66 %

Eksempel fra utvalgte elver – Etne og Oselva i PO3

Vi har gjort tilsvarende utregninger for to elver i produksjonsområde 3, Etne i Hardangerfjorden og Oselva i Bjørnafjorden (Figur 3). Valgt leveområde er 20 km fra elveutløpet. Resultatene indikerer at effekten på fisk fra de to elvene er svært ulike. For Etne er andelen av påvirket areal betydelig lavere enn for Oselva.



Figur 3. Antatt leveområde for ørretsmolt som strekker seg 20 km ut fra elvemunningen i Etne i Hardangerfjorden (øverst) og Oselva i Bjørnafjorden (nederst). Kalibrert smittepress (venstre) 15. mai til 24. juli og beregnet andel av leveområdet som er rødt, gult og grønt (høyre). Røde områder og rød linje indikerer området hvor det er sannsynlig at ørretsmolten vil få på seg mer enn 18 preadulte lus, grønne områder og grønn linje at ørretsmolten får på seg mindre enn 6 preadulte lus, og gule områder og gul linje hvor ørretsmolten får på seg mellom 6 og 18 preadulte lus. RML beregnes ved verdien på den røde linjen + 0,5 ganger verdien av den gule linjen. Utvandringsdato er markert som en kort sort linje, 35 dager etter utvandring med kort stiplet linje, og 70 dager fra utvandringsdato med vertikal stiplet linje, og markerer fordelingen som er vist i kartene i på venstre side.

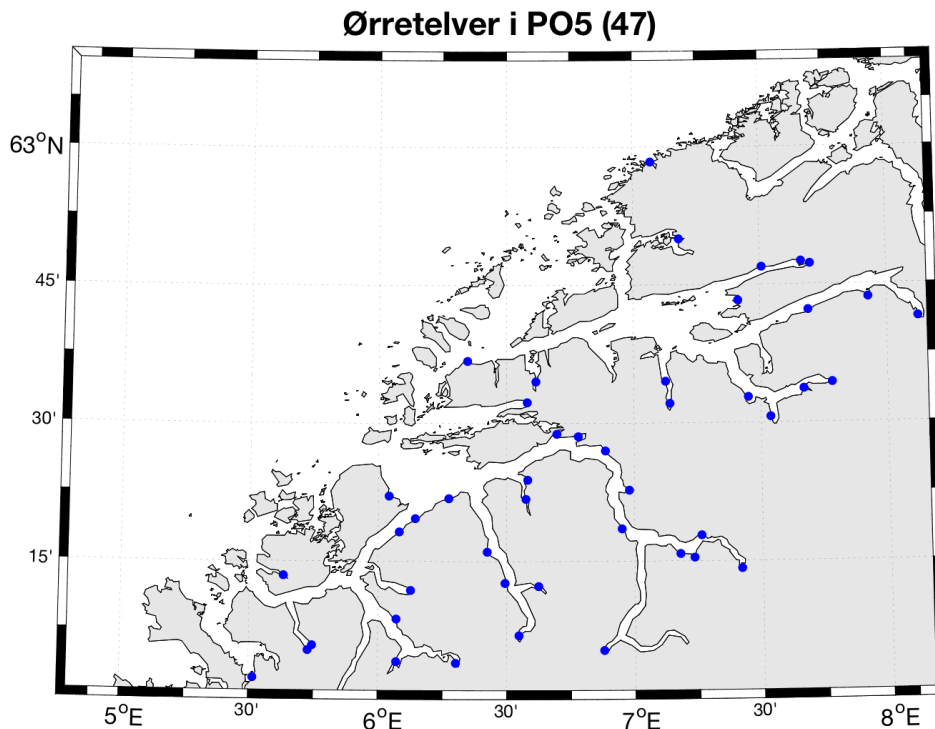
Tilsvarende som for hele området, har vi beregnet redusert marint leveområde for begge elvene for tidlig, normal og sen utvandring (Tabell 4). For sjøørret fra Etne minker egnet leveområde fra tidlig til sent utvandrende, mens det er betydelig redusert marint leveområde for alle tre utvandringstidene for sjøørret fra Oselva. Tar et utgangspunkt i når redusert marint leveområde overstiger 30%, ser en at vekstsesongen minker med 16 dager for sent utvandrende fisk fra Etne, mens for sent utvandrende fisk fra Oselva reduseres vekstsesongen med 56 dager.

Tabell 4. Beregnet redusert marin tid (RMT) for fisk som oppholder seg i et område som er definert å stekke seg 20 km ut fra elvemunningen i Etne i Hardangerfjorden og Oselva i Bjørnafjorden. RML er beregnet etter at fisken har stått 70 dager i sjøen fra de tre antatte utvandringsdatoene. Kolonnen RML kommer frem ved å gå inn på grafen ved 70 dager (stiplet loddrett linje) i figur 3, lese av verdien på den røde kurven og legge til 0,5 ganger verdien på den gule kurven. Kolonnen RMT kommer frem ved å se hvor mange dager det tar før kurven for RML krysser 30%, og deretter trekke fra 70 dager.

Utvandrings dato	RML (70d)		RMT (dager før RML>30%) minus 70 dager	
	Etne	Oselva	Etne	Oselva
24. april	0 %	94 %	0 (dvs. 70 dager i sjø)	-30 (dvs. 40 dager i sjø)
15. mai	17 %	97 %	0 (dvs. 70 dager i sjø)	-46 (dvs. 24 dager i sjø)
5. juni	68 %	98 %	-16 (dvs. 54 dager i sjø)	-56 (dvs. 14 dager i sjø)

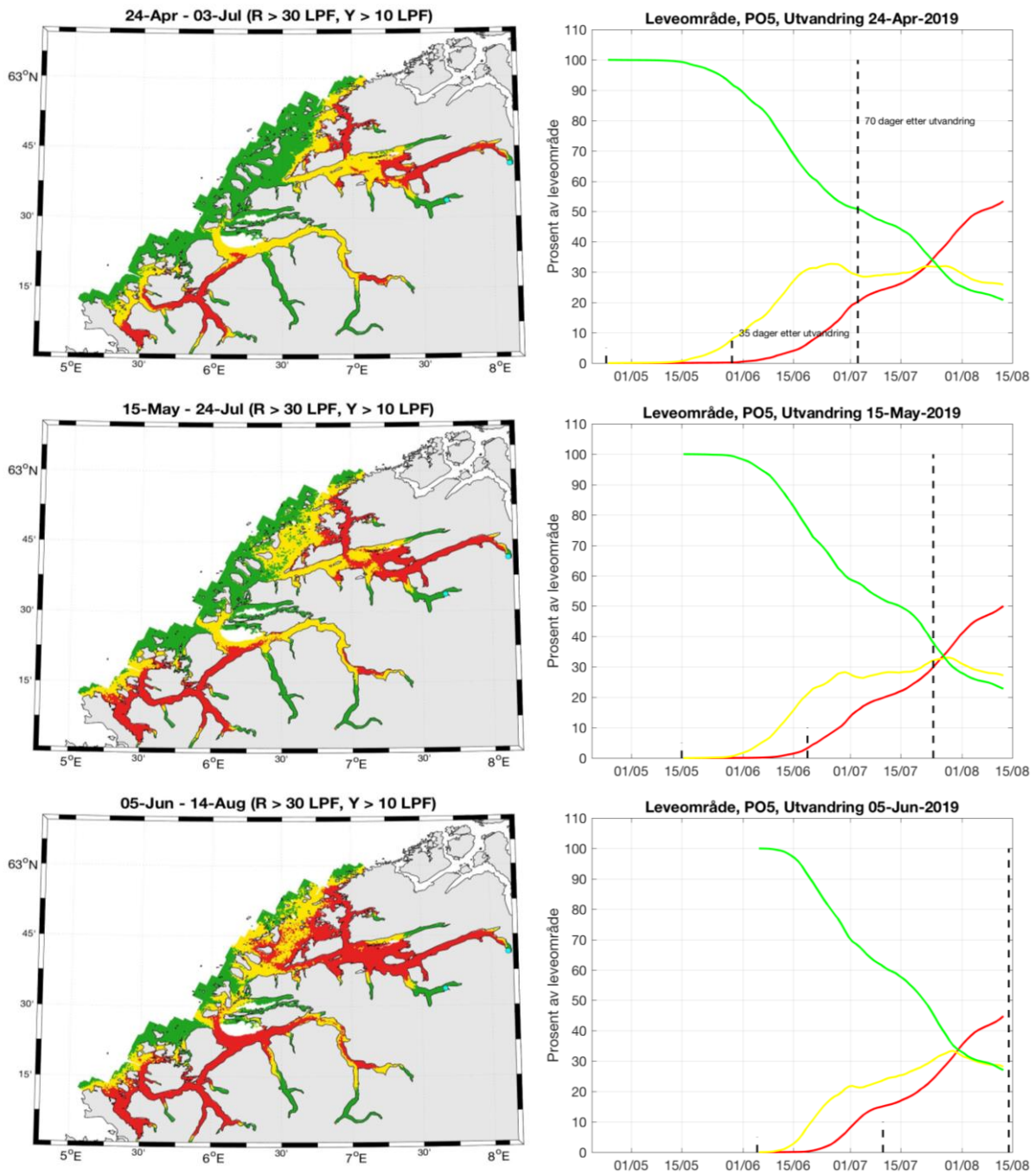
6.2 Produksjonsområde 5 (PO5)

Vitenskapelig råd for lakseforvaltning har kategorisert 47 sjøørretvassdrag i PO5 (Anon. 2019), fordelt utover hele produksjonsområdet (Figur 4).



Figur 4. Posisjon til alle ørretelver i PO5 iht. Anon. (2019).

Akkumulert antall lus over 70 dager fra de valgte utvandringsdatoene viser at en økende andel av området er påvirket for sent utvandrende sjøørret (Figur 5). Reduksjonen i marint levested kommer tidligere for sent utvandrende fisk.



Figur 5. Kalibrert smittepress (venstre) fra 24. april til 3. juli (øverst), 15. mai til 24. juli (midten) og 5. juni til 14. august (nederst) og beregnet andel av leveområdet som er rødt, gult og grønt (høyre). Røde områder og rød linje indikerer området hvor det er sannsynlig at ørretsmolten vil få på seg mer enn 18 preadulte lus, grønne områder og grønn linje at ørretsmolten får på seg mindre enn 6 preadulte lus, og gule områder og gul linje hvor ørretsmolten får på seg mellom 6 og 18 preadulte lus. RML beregnes ved verdien på den røde linjen + 0,5 ganger verdien av den gule linjen. Utvandningsdato er markert som en kort sort linje, 35 dager etter utvandring med kort stiplet linje, og 70 dager fra utvandningsdato med vertikal stiplet linje, og markerer fordelingen som er vist i kartene i på venstre side.

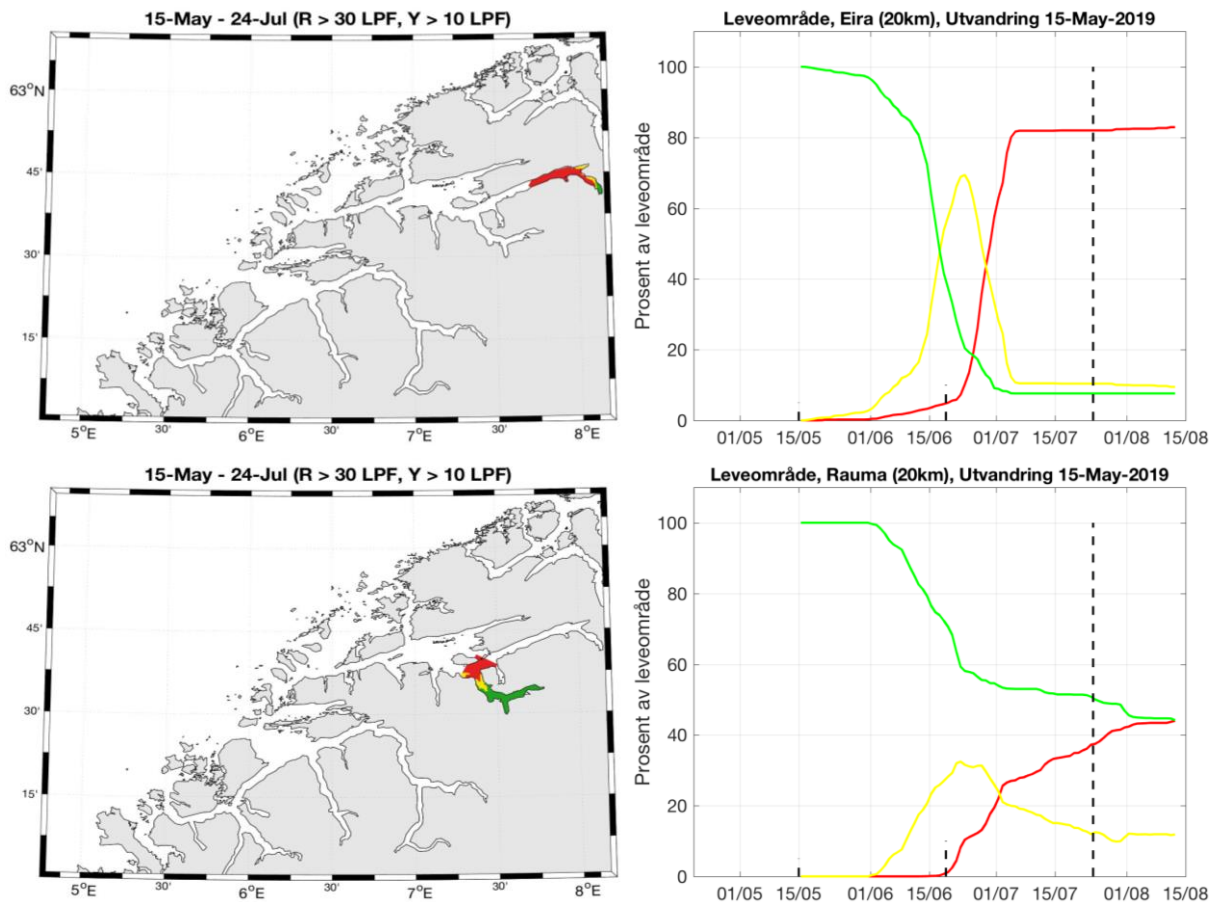
Beregnet redusert marint leveområde (RML) etter 70 dager fra utvandningsdato indikerer at RML øker fra 34% for fisk som utvandrer ved første utvandningsdato 24. april til 59% for fisk fra siste utvandningsdato 5. juni (Tabell 5).

Tabell 5. Beregnet redusert marint leveområde (RML) etter at fisken har stått 70 dager i sjø fra de tre antatte utvandningsdatoene. Kolonnen RML kommer frem ved å gå inn på grafen ved 70 dager i figur 5 (stiplet loddrett linje), lese av verdien på den røde kurven og legge til 0,5 ganger verdien på avlesing av den gule kurven.

Utvandningsdato	RML (redusert marint leveområde), PO5
24. april	34 %
15. mai	45 %
5. juni	59 %

Eksempel fra utvalgte elver – Eira og Rauma i PO5

Effekten på elvene er eksemplifisert ved å gjøre tilsvarende vurderinger som for hele området, men har tatt utgangspunkt i at leveområdet strekker seg 20 km fra elveutløpet. Vi har valgt sjøørret fra elvene Eira og Rauma, begge i Romsdalsfjorden. Det er stor variasjon i redusert marint leveområdet mellom de ulike elvene innen produksjonsområdet (Figur 6). RML for Eira er betydelig større enn for Rauma. For begge elvene viser modellen at marint leveområde for fisken reduseres kraftig etter 15. juni pga. lakselus.



Figur 6. Antatt leveområde for ørretsmolt som strekker seg 20 km ut fra elvemunningen Eira (øverst) og Rauma (nederst). Kalibrert smittepress (venstre) 15. mai til 24. juli og beregnet andel av leveområde som er rødt, gult og grønt (høyre). Røde områder og rød linje indikerer området hvor det er sannsynlig at ørretsmolten vil få på seg mer enn 18 preadulte lus, grønne områder og grønn linje at ørretsmolten får på seg mindre enn 6 preadulte lus, og gule områder og gul linje hvor ørretsmolten får på seg mellom 6 og 18 preadulte lus. RML beregnes ved verdien på den røde linjen + 0,5 ganger verdien av den gule linjen. Utvandningsdato er markert som en kort sort linje, 35 dager etter utvandring med kort stiplet linje, og 70 dager fra utvandningsdato med vertikal stiplet linje, og markerer fordelingen som er vist i kartene i på venstre side.

Redusert marint leveområde for sjøørret fra Rauma øker svakt utover sesongen (Tabell 6), fra 40% for sjøørret som vandrer tidlig til 48% for fisk som vandrer sent, mens for Eira er RML betydelig høyere (83-87%) enn for Rauma. For begge elvene vil sjøørret som vandrer senere i sesongen bli mer påvirket. Beregnet redusert marin tid er 19 dager for fisk som vandrer tidlig fra Eira, og 50 dager for de som vandrer sent. For Rauma er RMT for fisk som vandrer tidlig 6 dager, som øker til 40 dager for de som vandrer sent.

Tabell 6. Beregnet redusert marin tid (RMT) for fisk som oppholder seg for et område som er definert å strekke seg 20 km ut fra elvemunningen av Eira (se figur 6 for antatt leveområde). RML er beregnet etter at fisken har stått 70 dager i sjøen fra de tre antatte utvandringsdatoene. Kolonnen RML kommer frem ved å gå inn på grafen ved 70 dager i figur 6 (stiplet loddrett linje), lese av verdien på den røde kurven og legge til 0.5 ganger verdien av avlesing på den gule kurven. Kolonnen RMT kommer frem ved å se hvor mange dager det tar før kurven for RML krysser 30%, og så trekke fra 70 dager.

Utvandrings dato	RML (70d)		RMT (dager før RML>30%) minus 70 dager	
	Eira	Rauma	Eira	Rauma
24. april	83 %	40 %	- 19 (dvs. 51 dager i sjø)	- 6 (dvs. 64 dager i sjø)
15. mai	87 %	43 %	- 35 (dvs. 35 dager i sjø)	- 24 (dvs. 46 dager i sjø)
5. juni	85 %	48 %	- 50 (dvs. 20 dager i sjø)	- 40 (dvs. 30 dager i sjø)

Oppsummering av de viktigste resultatene: Resultatene fra de innledende kjøringene, gitt kriteriene satt i denne rapporten, viser at (1) resultatet er svært sensitive for utvandringstidspunktet til sjøørretsmolten. Tidlig utvandring gir lavere RML enn sen utvandring. Eksempelvis ble marint leveområde redusert med 34% for tidlig utvandrende, og 59% for sent utvandrende sjøørret smolt i PO5. Tilsvarende verdier for PO3 var 32% og 66%. (2) Effekten varierer sterkt mellom elver innen PO. For smolt som vandret ut av elven 15. mai ble vekstperioden redusert med 35 dager for Eira (RMT, antall dager hvor RML>30%), og 24 dager for Rauma, begge i PO5. I PO3 ble vekstperioden redusert med 0 dager for smolt fra Etne mens den ble redusert med 46 dager for smolt fra Oselva.

7. Diskusjon

Kort oppsummert løsningsforslag

I foreliggende tilnærming for å modellere effekter av lakselus på sjøørret er det beregnet hvor mye ørretens leveområde blir redusert på grunn av lakselus (reduert marint leveområde, RML), og videre hvor mange dager av det normale sjøoppholdet for postsmolt av sjøørret en signifikant del av det marine habitatet er uegnet som oppholdssted (reduert marin tid, RMT). Det er satt grenseverdier for antall kopepoditter per fisk som gir antatt lav, moderat og stor effekt på sjøørreten. Denne effekten er ikke ensbetydende med dødelighet siden sjøørreten kan vandre tilbake områder med lavere saltholdighet der lakselusen dør og faller av, men ved tilbakevandring taper sjøørreten tid til beiting og oppnår ikke normal vektøkning.

Metoden tar utgangspunkt i at ørreten oppholder seg i det øverste vannlaget i fjordene og nær kysten i hele beiteperioden om sommeren. Basert på forekomst av lakselus i oppdrettsanlegg, og den modellerte spredningen av larver med strømmen, kan tettheten av infestive lakselus beregnes for alle habitater der det oppholder seg sjøørret. Smittepressmodellen er tidligere validert mot feltobservasjoner som i Sandvik mfl. (2016, 2019 - burdata i Hardanger) i og Myksvoll mfl. (2018 - garn- og rusefanget fisk) og er i stadig utvikling. Det er samtidig viktig at de nye modellproduktene kombineres med observasjonsdata på en god måte, for eksempel ved å inkludere data for ørret som har vandret prematurt tilbake til ferskvann. Det er på denne måten, ved å kombinere observasjoner og modeller, man kan utvikle en god metode og implementere den som et forvaltningsverktøy.

Det er i denne omgang beregnet redusert marint leveområde for PO3 og PO5 og for enkeltelver i disse POene for 2019. Arealet som var uegnet oppholdssted for sjøørret økte utover sommeren i begge produksjonsområdene, fra i overkant av 30 % for fisk som vandret ut 24. april, til rundt 60 % for fisk som vandret ut 5. juni. Det var betydelig forskjell i påvirkning for ulike bestander innen hvert produksjonsområde. Eksempelvis ble sjøørreten fra Etneelven i PO3 lite påvirket gjennom hele beiteperioden, mens for ørreten fra Oselva var egnet leveområde sterkt redusert fra sent i juni med tilhørende betydelig tap av marin oppholdstid.

Hvilke kunnskapsmangler er de mest kritiske for å implementere denne metoden?

Kritiske kunnskapsmangler angående effekter av lakselus på sjøørret har blitt presentert tidligere (Karlsen mfl. 2016; Nilsen mfl. 2019,). Et viktig framskritt i dette arbeidet er at vi nå har en metode som vi mener gir en mer korrekt representasjon av den økologiske effekten av lakselus på sjøørret. Det videre arbeidet kan nå fokuseres på å teste hvilke deler av metoden som er spesielt sensitive. I dette dokumentet er det ikke gjennomført en fullstendig sensitivitetsanalyse av alle parametere, men valgt noen få som vi i utgangspunktet mener er viktige for å illustrere hvor stor variasjon det kan være i modellen/metoden. Vi påpeker at et naturlig neste steg vil være å gjennomføre en mer fullstendig sensitivitetsanalyse av metoden og så vurdere om det trengs bedre informasjon om de mest sensitive parametere for å kunne operasjonalisere metoden.

Foreløpige sensitivitetsvurderinger fra modellen

Resultatene fra modelleringen viser at påvirkningen fra lakselus er sensitiv for når sjøørretsmolten vandrer ut fra elvene. Det akkumulerte smittepresset er beregnet for tre tidspunkter som representerer hhv. tidlig, normal og sen smoltutvandring. I de elvene der det foreligger data vandrer sjøørretsmolten ut omtrent samtidig med laksesmolten, men utvandringen for ørreten dras noe lenger ut i tid (Nilsen mfl. 2019). Det foreligger lite data om smoltutvandring fra de mange små elvene der det er kjent eller antatt kjent at det er sjøørretbestander, men det er sannsynlig at smoltutvandringen fra disse skjer relativt tidlig på grunn av raskere oppvarming om våren. I det videre arbeid bør en vurdere å implementere mer realistiske utvandringsforløp.

Effekten på enkelt-elver varierer mye og å indikerer en god beskrivelse av hvor sjøørreten oppholder seg er viktig. Førstegangsvandrere sprer seg i området fra elveosen, men denne spredningen varierer mellom bestander. I denne sammenheng har vi antatt at fisken oppholder seg innen 20 km fra elven. Denne elvespesifikke tilnærmingen gir mulighet for vekting basert på elvenes produksjon. Ca. 1/3 av elvene som er listet i Miljødirektoratets base er beskrevet med produksjonsareal. Benytter en disse elvene, og antar at de er representative for øvrige elver i produksjonsområdet, gir det mulighet for å summere effekten i området basert på de enkelte elvene. Data fra flere telemetristudier indikerer derimot at en andel av fisken flytter seg lenger vekk fra elven enn 20 km (Urke mfl. 2010, 2013, 2018; Flaten mfl. 2016; Davidsen mfl. 2018, 2019) og kan bruke helt andre deler av produksjonsområdet. Vår løsning på dette er både å bruke et mål for område utenfor hver elv (hvor man kan vektlegge bestandsstørrelse i en endelig vurdering), og et mål som ser på hele produksjonsområdet. Hvordan disse to målene skal brukes i kombinasjon for å definere et bærekraftsmål må derfor vurderes.

Viktige biologiske aspekter som må vurderes i det videre arbeidet

I den videre teksten har vi listet opp aspekter som må vurderes mer inngående i det videre arbeidet.

- Det er her antatt en lusedødelighet på 40% fra fastsittende til bevegelige lusestadier på fisken. Dette er basert på et fåtall laboratorieforsøk (Grimnes & Jakobsen 1996; Dawson 1997; Bjørn & Finstad 1997,1998; Tucker mfl. 2000). Gjenfangst av kunstig infestert fisk i områder uten lus kan avklare om dette også gjelder i naturen. Alternativt kan en modellere med og uten dødelighet på lakselus, og vurdere i hvilken grad dette vil endre en kategorisering.
- Så langt er det tatt utgangspunkt i førstegangsvandrere, men redusert marin tid kan også være tilfelle for veteranvandrere, og tapt marin tid må da akkumuleres over flere år. Slike scenarier kan modelleres hvis en får data på lakselusindusert dødelighet og overlevelse etter prematur tilbakevandring.

- I denne modelleringen er det satt en fast størrelse på 60 gram for førstegangsvandrende sjøørret, men størrelsesfordelingen av førstegangsvandrerer varierer mellom bestander, og dette bør tas hensyn til i videre beregninger.
- Vi antar at en del av sjøørreten som tilbakevandrer pga. lus ikke returnerer til sjøen samme året. Imidlertid viser data fra noen innledende forsøk at en del av fisken kan vandre ut i sjøen etter at den har kvittet seg med lus og returnere til vassdraget igjen samme året. Dette støttes av observasjoner gjort under telemetristudier på sjøørretsmolt (Davidsen mfl. 2015).
- Ett nylig forsøk har indikert at sjøørret som har fått en tidligere lakselusmitte blir mindre smittet i etterkant. Om dette er en generell sammenheng, betyr det at smitteeffektiviteten av lakselus må justeres ned utover i sesongen. Videre forsøk må avklare dette.
- Grenseverdiene som velges for dødelighet er i stor grad basert på laboratorieundersøkelser (Taranger mfl. 2012, Appendix XI), mens effekten av lakselus som en driver for tidlig tilbakevandring til brakkvann/ferskvann for å kvitte seg med lus er basert på noen få merkeforsøk og observasjoner. Det er derfor behov for metoder for å kategorisere effekten på sjøørretbestandene når fisken velger å foreta en prematur tilbakevandring, når den dør og hvilke konsekvenser det er ved reduksjon i tapt marint leveområde og tapt beiteperiode. Per nå er grenseverdiene satt ved de samme verdiene som antas som dødelighet i et laboratorium.
- Prematur tilbakevandring betyr ikke at fisken nødvendigvis overlever. Det er vist at fiskens kondisjon påvirker vinterdødeligheten i ferskvann (Jensen mfl. 2018). Ved for tidlig tilbakevandring har ikke sjøørreten fått spist seg opp så mye som den ellers ville ha hatt mulighet til og energireserven vil derfor være lavere enn den burde for å berge seg gjennom vinteren. Tilsvarende har det blitt observert at sjøørret med svært høye infestasjoner dør selv om de har en prematur tilbakevandring (Birkeland 1996). Denne undersøkelsen er imidlertid basert på noe kunstige forhold, og det ble ikke tatt høyde for at fisken kunne valgt en tidligere prematur tilbakevandring. Ovenstående illustrerer at det er et behov for en bedre beskrivelse av innslagspunkter for prematur tilbakevandring, fysiologisk effekt og dødelighet.

Viktige aspekter ved modellering

- For å få en realistisk beskrivelse av antall smittsomme lakseluslarver per areal er det viktig at miljøforholdene (lys, salt, temperatur og strøm) er beskrevet så detaljert som mulig. Det opparbeides stadig ny kunnskap om hvordan de ulike miljøforholdene påvirker lusebiologien, og disse implementeres fortløpende i lusemodellen. Videre er det er testet hvordan disse påvirker spredningen av lakseluslarver, samt at det er vist at usikkerheten i modellberegningene reduseres ved å inkludere ny og bedre kunnskap om lusebiologi.
- Generelt knytter det seg en usikkerhet til kildeleddet. Slik det er per dags dato rapporteres antall lus per fisk og temperatur i 3m dyp en gang i uken (med ukenummer som tidsangivelse) og antall fisk en gang i måneden (også denne uten at dato er oppgitt). En nøyaktig tidsangivelse vil redusere usikkerheten i modellberegningene. I tillegg knytter

deg seg også en ukjent usikkerhet til hvor mange nauplier som klekkes fra slaktemerder, da disse ikke er rapporteringspliktige.

- Det er tilgjengelig to oppløsninger av modellen, en med 800x800 m gridoppløsning, og en med 160x160 m gridoppløsning som er benyttet i denne rapporten. Det er forventet at 160m modellen vil gi en bedre beskrivelse av miljøforholdene, men denne modellen er foreløpig ikke like godt testet mot observasjoner som 800m modellen. De foreløpige testene som er utført tyder på at forskjellene først og fremst er lokale, og at kalibreringen som er gjort for 800m modellen også gjelder for 160m modellen, men en grundigere vurdering av 160m modellen bør utføres. I forhold til vurderingen av RML og RMT bør det foretas en egen studie for å teste følsomheten for gridoppløsningen.
- I modellen som benyttes estimeres lusetettheten i de øvre 2 m. Dette antas dekkende for det vertikale leveområdet til sjøørret. Det bør imidlertid testes hvor følsom modellen er for valg av denne dybden.

8. Konklusjon og videre arbeid

Det konkluderes med at den foreslåtte metoden er godt egnet for å estimere påvirkning av lakselus på sjøørretbestander på bestandsnivå. Eksemplene viser at metodeoppsettet fungerer, og kan enkelt implementeres til alle produksjonsområdene, med alle elver med kjent bestand. Det er også enkelt å implementere ny kunnskap og gjennomføre sensitivitetsanalyser.

Som resultatene fra 2019 har vist kan det være store forskjeller i påvirkning på enkeltbestander innen et produksjonsområde, og det er her ikke vurdert hvordan en skal behandle disse forskjellene i en samlet vurdering for hvert produksjonsområde. På lik linje med laksevurderinger må det derfor vurderes om og hvordan vektlegging av enkeltelver skal implementeres i en eventuell bærekraftsindikator for sjøørret.

Et annet viktig poeng er at metoden ikke beregner lakselusindusert villfiskdødelighet, men redusert marint habitat. Det behøves derfor en vurdering om hvordan man skal sette grenseverdier for å definere dette som en bærekraftsindikator. Et forslag er å sette grenseverdiene til de samme som dødelighetsgrensene som brukes for laks:

Høy påvirkning: RML > 30%

Moderat påvirkning: 10% > RML < 30 %

Lav påvirkning: RML < 10%

med den argumentasjon at sjøørreten er jevnt fordelt i sjøen og dermed vil disse verdiene tilsvare en uakseptabel påvirkning på for eksempel over 30% av sjøørreten ved høy påvirkning.

Vi anbefaler at metoden fagfelle-vurderes og dokumentet bør derfor oversettes til engelsk for å kunne vurderes av eksperter også utenfor Norge.

9. Referanser

- Aarestrup, K., Birnie-Gauvin, K. & Larsen, M. H. (2017). Another paradigm lost? Autumn downstream migration of juvenile brown trout: Evidence for a presmolt migration. *Ecol. Freshw. Fish* 27, 513-516.
- Aldvén, D., Degerman, E. & Höjesjö, J. (2015). Environmental cues and downstream migration of anadromous brown trout (*Salmo trutta*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. *Boreal Env. Res.* 20, 35-44.
- Aldvén, D. & Davidsen, J. G. (2017). Marine migrations of sea trout (*Salmo trutta*). In *Sea Trout: Science & Management. Proceedings of the 2nd International Sea Trout Symposium, October 2015, Dundalk, Ireland* (Harris, G. S., ed.), pp. 267-276.
- Anon. (2015). Meld. St. 16 (2014-2015). Forutsigbar og miljømessig bærekraftig vekst i norsk lakse- og ørretoppdrett. Regjeringen.no.
- Anon. (2017). Forskrift om produksjonsområder for akvakultur av matfisk i sjø av laks, ørret og regnbueørret (produksjonsområdeforskriften). Lovdata.no.
- Anon. (2018). Status for norske laksebestander i 2018. Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr 11, 122s.
- Anon. (2019). Klassifisering av tilstanden til 432 norske sjøørretbestander. Temarapport nr. 7, 114 s.
- Asplin, L., Johnsen, I.A., Sandvik, A.D., Albretsen, J., Sundfjord, V., Aure, J. & Boxaspen, K.K. (2014). Dispersion of salmon lice in the Hardangerfjord. *Mar. Biol. Res.* 10:3, 216-225, DOI:10.1080/17451000.2013.810755.
- Atencio, B. J. (2019). The migratory behaviour of Atlantic salmon, brown trout and Arctic charr post-smolts in a Norwegian fjord. Master's thesis - UiT The Arctic University of Norway, Tromsø. 63 s.
- Berg, O. K. & Berg, M. (1987). Migrations of sea trout, *Salmo trutta* L., from the Vardnes river in northern Norway. *J. Fish Biol.* 31, 113-121.
- Berg, O.K. & Berg, M. (1989). The duration of sea and freshwater residence of the sea trout, *Salmo trutta*, from the Vardnes River in northern Norway. *Env. Biol.Fish.* 24, 23-32.
- Berntsen, H.H., Finstad, B & Berg, M. (2019). PIT-prosjekt i Storelva (Vatnevasstraget), Haram kommune, 2014-2018, fremdriftsnotat for 2019. NINA Prosjektnotat 149.
- Birkeland, K. (1996). Consequences of premature return by sea trout (*Salmo trutta*) infested with the salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis* Krøyer): migration, growth and mortality. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53, 2808-2813.

- Birkeland, K. & Jakobsen, P., J. (1997). Salmon lice, *Lepeophtheirus salmonis*, infestation as a causal agent of premature return to rivers and estuaries by sea trout, *Salmo trutta*, juveniles. *Env. Biol. Fish.* 49, 129-137.
- Birnie-Gauvin, K., Thorstad, E.B. & Aarestrup, K. (2019). Overlooked aspects of the *Salmo salar* and *Salmo trutta* lifecycles. *Rev. Fish. Biol. Fisheries*, <https://doi.org/10.1007/s11160-019-09575-x>.
- Bjørn, P. A. & Finstad, B. (1997). The physiological effects of salmon lice infection on sea trout post smolts. *Nordic J. Freshw. Res.*, 73, 60-72.
- Bjørn, P.A. & Finstad, B. (1998). The development of salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) on artificially infested post smolts of sea trout (*Salmo trutta*). *Can. J. Zool.* 76(5), 970-977.
- Bordeleau, X., Davidsen, J. G., Eldøy, S. H., Sjursen, A. D., Whoriskey, F. G. & Crossin, G. T. (2018). Nutritional correlates of spatio-temporal variations in the marine habitat use of brown trout, *Salmo trutta*, veteran migrants. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 75, 1744-1754.
- Davidsen, J. G., Daverdin, M., Arnekleiv, J. V., Rønning, L., Sjursen, A. D. & Koksvik, J. I. (2014). Riverine and near coastal migration performance of hatchery brown trout (*Salmo trutta* L.). *J. Fish Biol.* 85, 586–596.
- Davidsen, J. G., Flaten, A. C., Thorstad, E. B., Sjursen, A. D., Rønning, L., Whoriskey, F., Rikardsen, A. H., Finstad, B. & Arnekleiv, J. V. (2015). Sjøørret post-smoltens marine vandringer og habitatbruk i Hemnfjorden, Sør-Trøndelag. NTNU Vitenskapsmuseet naturhistorisk rapport: 36.
- Davidsen, J. G., Sjursen, A. D., Rønning, L., Davidsen, A. G. & Daverdin, M. (2017). Kartlegging av sjøørret i habitatområde ved utløpet av Stjørdalselva, Nord-Trøndelag og konsekvensanalyse av tre utfyllingsalternativer. NTNU Vitenskapsmuseet naturhistorisk rap. 2017-4, 1-27.
- Davidsen, J. G., Eldøy, S. H., Sjursen, A. D., Rønning, L., Bordeleau, X., Daverdin, M., Whoriskey, F. & Koksvik, J. I. (2018). Marine vandringer og områdebruk hos sjøørret og sjørøye i Tosenfjorden. NTNU Vitenskapsmuseet naturhistorisk rapport 2018-8, 84s.
- Davidsen, J. G., Eldøy, S. H., Halvorsen, A., Sjursen, A., Rønning, L., Daverdin, M., Bårdsen, M. T. & flere, m. (2019). Sjøørret og sjørøye i Skjerstadjorden - Marine vandringer, områdebruk og populasjonsgenetikk. - under utarbeidelse.
- Dawson, L.H.J., Pike, A.W., Houlihan, D.F. & McVicar, A.H. (1997). Comparison of the susceptibility of sea trout (*Salmo trutta* L.) and Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) to sea lice (*Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer, 1837)) infections. *ICES J. of Mar. Sci.* 54, 1129-1139.
- del Villar-Guerra, D., Aarestrup, K., Skov, C. & Koed, A. (2013). Marine migrations in anadromous brown trout (*Salmo trutta*). Fjord residency as a possible alternative in the continuum of migration to the open sea. *Ecol. Freshwater Fish* 23, 594-693.

- del Villar-Guerra, D., Larsen, M. H., Baktoft, H., Koed, A. & Aarestrup, K. (2019). The influence of initial developmental status on the life history of sea trout (*Salmo trutta*). *Sci. Rep.* 9:13468, 1-13.
- Eldøy, S. H., Davidsen, J. G., Thorstad, E. B., Whoriskey, F., Aarestrup, K., Næsje, T. F., Rønning, L., Sjørnsen, A. D., Rikardsen, A. H. & Arnekleiv, J. A. (2015). Marine migration and habitat use of anadromous brown trout *Salmo trutta*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 72, 1366 - 1378.
- Ferguson, A., Reed, T.E., Cross, T.F., McGinnity, P., & Prodöhl. (2019). Anadromy, potamodry and recidency in brown trout *Salmo trutta*: the role of genes and the environment. *J. Fish. Biol.*, DOI:10.1111/jfb.14005.
- Finstad, B., Økland, F., Thorstad, E. B., Bjørn, P. A. & McKinley, R. S. (2005). Migration of hatchery-reared Atlantic salmon and wild anadromous brown trout post-smolts in a Norwegian fjord system. *J. Fish Biol.* 66, 86-96.
- Finstad, B., Kroglund, F., Strand, R., Stefansson, S.O., Bjørn, P.A., Rosseland, B.O., Nilsen, T.O. & Salbu, B. (2007). Salmon lice or suboptimal water quality – Reasons for reduced postsmolt survival? *Aquaculture* 273, 374-383.
- Finstad, B. & Bjørn, P.A. (2011). Present status and implications of salmon lice on wild salmonids in Norwegian coastal zones. I: *Salmon Lice: An Integrated Approach to Understanding Parasite Abundance and Distribution.* (Jones, S. & Beamish, R. eds.). Wiley-Blackwell, Oxford, UK, 281-305.
- Fjelldal, P.G., Hansen, T.J., Karlsen, Ø. & Wright, D.W. (2019) Effects of laboratory salmon louse infection on Arctic char osmoregulation, growth and survival. *Conserv. Physiol.* 00(00): coz072; doi:10.1093/conphys/coz072.
- Flaten, A. C., Davidsen, J. G., Thorstad, E. B., Whoriskey, F., Rønning, L., Sjørnsen, A. D., Rikardsen, A. H. & Arnekleiv, J. A. (2016). The first months at sea - migration and habitat use of sea trout *Salmo trutta* post-smolts. *J. Fish Biol.* 89, 1624-1640.
- Gjelland, K.Ø., Sandlund, O.T., Postler, C., Bækkelie, K.A., Eloranta, A., Pettersen, O., Solberg, I. & Saksgård, R. (2018). Overvåking av fisk i store innsjøer (FIST) i 2017. NINA rapport 1644, 78 s.
- Grimnes, A. & Jakobsen, P.J. (1996). The physiological effects of salmon lice infection on post-smolt of Atlantic salmon. *J. Fish. Biol.* 48: 1179-1194.
- Halttunen, E., Gjelland, K. Ø., Hamel, S., Serra-Llinares, R. M., Nilsen, R., Arechavala-Lopez, P., Skarðhamar, J., Johnsen, I. A., Asplin, L., Karlsen, Ø., Bjørn, P. A. & Finstad, B. (2017). Sea trout adapt their migratory behaviour in response to high salmon lice concentrations. *J. Fish Dis.* 41, 953-967.
- Jensen, K. W. (1968). Seatrout (*Salmo trutta* L.) of the River Istra, Western Norway. *Rep. Inst. Freshwater Res., Drottningholm* 48, 1187-1213.

- Jensen, A.J., Finstad, B., Forseth, T. & Rikardsen, A. (2005). Sjøørret, sjørøye og klima. NINA Temahefte 31, 55-61.
- Jensen, A. J., Finstad, B., Fiske, P., Hvidsten, N. A., Rikardsen, A. H. & Saksgård, L. (2012). Timing of smolt migration in sympatric populations of Atlantic salmon (*Salmo salar*), brown trout (*Salmo trutta*), and Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 69, 711-723.
- Jensen, A.J., Finstad, B. & Fiske, P. (2018). Evidence for the linkage of survival of anadromous Arctic char and brown trout during winter to marine growth during the previous summer. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 75, 663-672.
- Johnsen, I.A., Fiksen, Ø., Sandvik, A.D., Asplin, L. (2014). Vertical salmon lice behaviour as a response to environmental conditions and its influence on regional dispersion in a fjord system, Aquacult. Env. Interact. 5, 127-141. DOI: 10.3354/aei00098.
- Johnsen, I.A., Asplin, L., Sandvik, A.D. & Serra-Llinares, R.M. (2016). Salmon lice dispersion in a northern Norwegian fjord system and the impact of vertical movements. Aquacult. Env. Interact. 8, 99-116, DOI: 10.3354/aei00162.
- Jonsson, B. (1985). Life history pattern of freshwater resident and sea-run migrant brown trout in Norway. Trans. Am. Fish. Soc. 114, 182-194.
- Jonsson, B., Jonsson, N., Brodtkorp, E. & Ingebrigtsen, P.J. (2001). Life-history traits of brown trout vary with the size of small streams. Funct. Ecol. 15, 310-317.
- Jonsson, B. & Jonsson, N. 2009. Migratory timing, marine survival and growth of anadromous trout *Salmo trutta* in the River Imsa, Norway. J. Fish Biol. 74, 621-638.
- Karlsen, Ø., Finstad, B., Ugedal, O. & Svåsand, T. (red.). 2016. Kunnskapsstatus som grunnlag for kapasitetsjustering innen produksjonsområder basert på lakselus som indikator. Rapport fra Havforskningen 14-2016, 139 s.
- Klemetsen, A., Amundsen, P.A., Dempson, J.B., Jonsson, B., Jonsson, N., O'Connell, M.F. & Mortensen, E. (2003). Atlantic salmon *Salmo salar* L., brown trout *Salmo trutta* L. and Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.): a review of aspects of their life histories. Ecol. Freshw. Fish 12, 1-59.
- L'Abée-Lund, J.H., Jonsson, B., Jensen, A.J., Sættem, L.M., Heggberget, T.G., Johnsen, B.O. & Næsje, T.F. (1989). Latitudinal variation in life-history characteristics of sea-run migrant brown trout *Salmo trutta*. J. Anim. Ecol. 58, 525-542.
- Lamberg, A. (2019). Videoovervåking av laks og sjøørret i Granvinsvassdraget i 2018. SNA-rapport 14/2019. 61 s.
- Lyse, A. A., Stefansson, S. O. & Fernö, A. (1998). Behaviour and diet of sea trout post-smolts in a Norwegian fjord system. J. Fish Biol. 52, 923-936.

- Middlemas, S. J., Stewart, D. C., Mackay, S. & Armstrong, J. D. (2009). Habitat use and dispersal of post-smolt sea trout *Salmo trutta* in a Scottish sea loch system. *J. Fish Biol.* 74, 639-651.
- Myksvoll, M.S., Sandvik, A.D., Albretsen, J., Asplin, L., Johnsen, I.A., Karlsen, Ø., Kristensen, N.M., Melsom, A., Skarðhamar, J., & Ådlandsvik, B. (2018). Evaluation of a national operational salmon lice monitoring system – from physics to fish. *PLoS ONE*, 13(7), e0201338.
- Nevoux, M., Finstad, B., Davidsen, J.G., Finlay, R., Josset, Q., Poole, R. Höjesjö, J., Aarestrup, K., Persson, L., Tolvanen, O. & Jonsson, B. (2019). Environmental influences of life history strategies in partial anadromous brown trout (*Salmo trutta*, Salmonidae). *Fish and Fisheries* 20, 1051-1082.
- Nilsen, F., Ellingsen, I., Finstad, B., Helgesen, K. O., Karlsen, Ø., Qviller, L., Sandvik, A.D., Sægrov, H., Ugedal, O. & Vollset, K.W. (2019). Vurdering av kunnskapsgrunnlaget for å implementere lakselus på sjøørret som en bærekraftsindikator i «produksjonsområdeforskriften». Rapport fra ekspertgruppe for vurdering av lusepåvirkning. ISBN 978-82-7744-200-6, 23 s.
- Ruud, T. (2015). Space use and harvest selection of sea trout (*Salmo trutta*) living in a marine protected area. Master's Thesis - Norwegian University of Life Sciences, Available at: <http://hdl.handle.net/11250/293744>.
- Sandvik, A.D., Asplin, L., Bjørn, P.A., Johnsen, I.A., Skarðhamar, J., Myksvoll, M.S, Ådlandsvik, B. & Skogen, M. (2016). Toward a model-based prediction system for salmon lice infestation pressure. *Aquacult. Env. Interact.* 8, 527-542, doi:10.3354/aei00193.
- Sandvik, A.D., Asplin, L., Bjørn, P.A., Johnsen, I.A., Skarðhamar, J., Myksvoll, M.S, Ådlandsvik, B. & Skogen, M. (2017a). Smittepress fra lakselus på vill laksefisk – estimert fra luselarvefelt med stor variabilitet (Rapport fra Havforskningen nr. 13-2017).
- Sandvik, A.D., Asplin, L., Bjørn, P.A., Johnsen, I.A., Skarðhamar, J., Myksvoll, M.S, Ådlandsvik, B. & Skogen, M. (2017b). Smittepress fra lakselus på vill laksefisk- estimert fra luselarvefelt med stor variabilitet (Rapport fra Havforskningen nr. 40-2017).
- Sandvik, A.D, Johnsen, I.A., Myksvoll, M., Sævik P. N., Skogen, M.D., 2019. Prediction of the salmon lice infestation pressure in a Norwegian fjord. Innsendt til ICES J. Mar. Sci.
- Serra-Llinares, R. M., Freitas, C., Nilsen, R., Elvik, K. M. S., Albretsen, J., Bøhn, T., Karlsen, Ø. & Bjørn, P. A. (2018). Towards direct evidence of the effects of salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis* Krøyer) on sea trout (*Salmo trutta* L.) in their natural habitat: proof of concept for a new combination of methods. *Env. Biol. Fish* 101, 1677-1692.

- Skaala, Ø., Kålås, S. & Borgstrøm, R. (2014). Evidence of salmon lice-induced mortality of anadromous brown trout (*Salmo trutta*) in the Hardangerfjord, Norway. *Marine Biol. Res.* 10, 279-288.
- Skardhamar, J., Albretsen, J., Sandvik, A.D., Lien, V.S., Myksvoll, M.S., Johnsen, I.A., Asplin, L., Ådlandsvik, B., Halttunen, E. & Bjørn, P.A. (2018). Modelled salmon lice dispersion and infestation patterns in a sub-arctic fjord. *ICES. J. Mar. Sci.*, <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsx225>
- Sægrov, H, Hellen, B.A, Kålås, S, Urdal, K & Johnsen, G.H. (2007). Endra manøvrering i Aurland 2003 – 2006. Sluttrapport - Fisk. Rådgivende Biologer AS, rapport nr.1000, 103 s.
- Sægrov, H., Telnes, T. & Urdal, K. (2003). Fiskeundersøkingar i Hornindalsvatnet i 2001. Rådgivende Biologer AS, rapport nr. 600, 28 s.
- Taranger, G. L., Svåsand, T., Bjørn, P. A., Jansen, P. A., Heuch, P. A., Grøntvedt, R. N., Asplin, L., Skilbrei, O., Glover, K. A., Skaala, Ø., Wennevik, V. & Boxaspen, K. K. (2012). Forslag til førstegangs målemetode for miljøeffekt (effektindikator) med hensyn til genetisk påvirkning fra oppdrettslaks til villaks, og påvirkning av lakselus fra oppdrett på viltlevende laksefiskbestander. *Fisken og Havet 13-2012*, Veterinærinstituttets rapportserie Nr. 7-2012.
- Taranger, G. L., Karlsen, Ø., Bannister, R. J., Glover, K. A., Husa, V., Karlsbakk, E., Kvamme, B. O., Boxaspen, K. K., Bjørn, P. A., Finstad, B., Madhun, A. S., Morton, H. C. & Svåsand, T. (2015). Risk assessment of the environmental impact of Norwegian Atlantic salmon farming. *ICES J. Mar. Sci.* 72, 997-1021.
- Thorstad, E. B., Økland, F., Finstad, B., Sivertsgård, R., Plantalech Manel-la, N., Bjørn, P. A. & McKinley, R. S. (2007). Fjord migration and survival of wild and hatchery-reared Atlantic salmon and wild brown trout post-smolts. *Hydrobiologia* 582, 99-107.
- Thorstad, E. B., Whoriskey, F., Uglem, I., Moore, A., Rikardsen, A. H. & Finstad, B. (2012). A critical life stage of the Atlantic salmon *Salmo salar*: behaviour and survival during the smolt and initial post-smolt migration. *J. Fish Biol.* 81, 500-542.
- Thorstad, E.B., Todd, C.D., Uglem, I., Bjørn, P.A., Gargan, P.G., Vollset, K.W., Halttunen, E., Kålås, S., Berg, M. & Finstad, B. (2015). Effects of salmon lice *Lepeophtheirus salmonis* on wild sea trout *Salmo trutta*-a literature review. *Aquacult. Env. Interact.* 7, 91-113.
- Thorstad, E. B., Todd, C. D., Uglem, I., Bjorn, P. A., Gargan, P. G., Vollset, K. W., Halttunen, E., Kålås, S., Berg, M. & Finstad, B. (2016). Marine life of the sea trout. *Mar. Biol.* 163, 47.
- Thorstad, E.B. & Finstad, B. (2018). Impacts of salmon lice emanating from salmon farms on wild Atlantic salmon and sea trout. *NINA Report 1449*, 1-22.
- Tucker, C.S., Sommerville, C. & Wootten, R. (2000). The effect of temperature and salinity on the settlement and survival of copepodids of *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer, 1837) on Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *J. Fish Dis.* 23, 309-320.

- Urdal, K. (2013). Analysar av skjelprøvar frå Sogn og Fjordane i 2012. Rådgivende Biologer AS, rapport nr. 1728, 29 s.
- Urke, H. A., Kristensen, T., Alfredsen, K. T., Lundmark, K. & Alfredsen, J. A. (2010). Utvandringstidspunkt og marin åtferd hjå smolt frå Lærdalselva. NIVA Rap. 49, 6033-2010.
- Urke, H. A., Kristensen, T., Arnekleiv, J. V., Haugen, T. O., Kjærstad, G., Stefansson, S. O., Ebbesson, L. O. E. & Nilsen, T. O. (2013). Seawater tolerance and post-smolt migration of wild Atlantic salmon *Salmo salar* × brown trout *S. trutta* hybrid smolts. J. Fish Biol. 82, 206-227.
- Urke, H. A., Haugen, T. O., Kjærstad, G., Alfredsen, J. A. & Kristensen, T. (2018). Laks- og aurebestanden i Strynevassdraget; vandrings-mønsteret hjå laksesmolt og aure, ungfiskproduksjon og botndyr. Mina Fagrap. 48, 1-56.
- Wagner, G.N., Fast, M.D. & Johnson, S.C. (2008) Physiology and immunology of *Lepeophtheirus salmonis* infections of salmonids. Trends in Parasitology 24,176-183.
- Wells, A., Grierson, C.E., MacKenzie, M., Russon, I.J., Reinardy, H., Middlemiss, C., Bjørn, P., Finstad, B., Wendelaar Bonga, S.E., Todd C.D. & Hazon. N. (2006). The physiological effects of simultaneous, abrupt seawater entry and sea lice (*Lepeophtheirus salmonis*) infestation of wild, sea-run brown trout (*Salmo trutta*) smolts. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 63, 2809-2821.
- Ådlandsvik, B. (2015). Forslag til produksjonsområder i norsk lakse- og ørretoppdrett. Rapport fra Havforskningen, Nr. 20-2015, 59 s. Havforskningsinstituttet.