

## Metodeutvikling for overvåkning og telling av lakselus på viltlevende laksefisk

Pål Arne Bjørn, Bengt Finstad, Lars Asplin, Ove Skilbrei,  
Rune Nilsen, Rosa Maria Serra Llinares og Karin K. Boxaspen





**Metodeutvikling for overvåkning og telling  
av lakselus på villevende laksefisk  
Ekstrainnsats i 2010 med midler fra FKD**

Pål Arne Bjørn<sup>1)</sup>, Bengt Finstad<sup>2)</sup>, Lars Asplin<sup>1)</sup>, Ove Skilbrei<sup>1)</sup>, Rune Nilsen<sup>1)</sup>,  
Rosa Maria Serra Llinares<sup>1)</sup> og Karin K. Boxaspen<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Havforskningsinstituttet, Postboks 1870 Nordnes, NO-5817 Bergen

<sup>2)</sup> Norsk institutt for naturforskning, Postboks 5685 Sluppen, NO-7485 Trondheim





## Forord

Denne rapporten er skrevet på oppdrag fra Fiskeri- og kystdepartementet (FKD), og den foreslåtte prosjektbeskrivelsen ble kvalitetssikret av Mattilsynet før oppstart.

Oppdrag ble gitt til både Havforskningsinstituttet (HI) og Veterinærinstituttet i 2010 samt at Norsk institutt for naturforskning (NINA) fikk midler fra Miljøverndepartementet (MD) til å jobbe med problemstillinger rundt lakselus.

Første del av denne rapporten bygger på flere prosjekter hvor alle nevnte aktører har bidratt til den allmenne kunnskapen gjennom de siste 10 år. Noe av sammenstillingen forelå allerede i manus til en vitenskapelig artikkel av Finstad og Bjørn. Bengt Finstad ved NINA har godtatt at dette og annet materiale som er innsamlet i samarbeid med Bjørn kunne brukes som grunnlag av Havforskningsinstituttets prosjektleder Pål Arne Bjørn for den foreliggende rapporten. NINA, ved Bengt Finstad, Ditte Katrine Hendrichsen og Kjetil Hindar, har også lest rapporten.

Det var meningen å prøve å sammenstille eksisterende biomassedata fra geografisk spesifikke oppdrettsanlegg hentet fra Fiskeridirektoratets database med nivået av lakselus funnet på villfisk i de samme områdene. Analysearbeidet har visst seg å være mer arbeidskrevende enn ventet, og endelig rapport på dette området vil foreligge seinere i år.

Tromsø og Bergen, mai 2011

Pål Arne Bjørn  
prosjektleder lus

Lars Asplin  
prosjektleder fysisk oseanografi

Karin Kroon Boxaspen  
programleder

## Innholdsfortegnelse

Sammendrag .....	7
Innledning .....	9
Resultater .....	11
Arbeidspakke 1: Kunnskapssammenstilling av betydningen lakselus har som populasjonsregulerende faktor for vill laksefisk:	
Innledning .....	11
Fysiologiske og patologiske effekter av luseinfeksjon hos laks, sjøørret og sjørøye .....	12
Laks .....	13
Sjøørret .....	14
Sjørøye .....	15
Infeksjonsintensitet og effekter av lakselus på sjøørret, sjørøye og laks i norske kystfarvann og fjorder .....	15
Sjøørret og sjørøye .....	16
Laks .....	22
Kan lakselus regulere bestander av vill laksefisk i Norge? .....	25
Avsluttende kommentarer kunnskapssammenstilling av lakselus som populasjonsregulerende faktor hos vill laksefisk .....	29
Arbeidspakke 2: Uttesting av nye metoder og validering av eksisterende metoder.....	30
for å belyse lakselussituasjonen .....	30
Innledning .....	30
Gir eksisterende metoder et robust og sammenfallende bilde av årlig variasjon i lakselussituasjonen: Hardangerfjorden som modellsystem 2004–2010.....	30
Evaluering av eksisterende overvåkningsmetoder.....	33
Variasjon gjennom året .....	33
Variasjon ved bruk av enkeltstående bur av normal dybde.....	34
Garnfanget sjøørret som indikator: .....	35
Studier av adferd og miljøpreferanse hos lakseluslarver .....	39
Gir strøm og smitte-modeller et robust estimat av smittedynamikken i intensive oppdrettsfjorder? .....	42
Avsluttende kommentarer: uttesting av nye metoder og validering av eksisterende metoder for å belyse lakselussituasjonen .....	49
Veien videre .....	50
Referanser .....	52

## Sammendrag

Historisk har man observert lakselus i relativt små mengder på vill laksefisk, med få negative konsekvenser for vertsfisken. Siden slutten av 1980-tallet har det imidlertid vært flere rapporter om epidemier av lakselus på vill laksefisk i Norge. Det rapporteres ofte at infisert smolt og voksen fisk er i dårlig fysisk forfatning, og at noen individer har sterkt skadde hale-/ryggfinner og hudskader. Det har blitt foreslått at det er en korrelasjon mellom denne tilsynelatende økningen i smittepresset og plasseringen av oppdrettsanlegg.

Dette spørsmålet har vært gjenstand for en lang og intens debatt. Forvaltningen og oppdrettsnæringen har derfor satset på forbedringstiltak som skal redusere smittepresset fra lakselus. Det er en konkret målsetting at disse tiltakene skal redusere mulige skadevirkninger på vill laksefisk. Vi har brukt informasjon som terskelverdier for antall lus som kan være dødelig eller føre til fysiologiske forstyrrelser hos laksefisk, til å anslå konsekvenser av lakselusinfeksjon hos ville bestander av laksefisk i våre feltundersøkelser langs norskekysten de siste tiårene (arbeidspakke 1).

I arbeidspakke 1 gir vi en oversikt over de antatte konsekvensene av lakselus på ville bestander av laksefisk og nåværende status i norske kystfarvann. Dette har vi gjort ved å gjennomgå det meste av eksperimenter og feltundersøkelser som er gjort i Norge siden begynnelsen på 1990-tallet. Resultatene fra overvåkningsseriene langs norskekysten viser at infeksjonspresset er kronisk forhøyet langs store deler av kysten. De synkroniserte avlusningene synes imidlertid å ha forskjøvet økningen i infeksjonspress til noe seinere på sommeren.

Laksesmolten, med forbehold om seint utvandrende laksesmolt og enkelte år (som i 2008 i Hardanger), synes derfor å ha unnsloppet de mest intense infeksjonspulsene utover 2000-tallet. Dette stemmer overens med resultater fra lakselusbeskyttet laksesmolt fra Daleelva (2001–2010), og tyder på at andre faktorer enn lakselus også har vært viktige populasjonsregulerende mekanismer de siste årene. Datagrunnlaget over lakselusinfeksjon på vill laksesmolt de siste årene er imidlertid meget begrenset i tid og rom, slik at konklusjoner må trekkes med forsiktighet.

Det er imidlertid sannsynlig at det infeksjonspresset vi så hos laksesmolt på slutten av 1990-tallet og begynnelsen av 2000-tallet, for eksempel i Sognefjorden, kan ha hatt et nivå som kan redusere populasjoner. Med de oppdrettsvolumene som nå står i sjøen langs norskekysten, kan vi risikere dette på nytt dersom bekjempelsen mister sin effektivitet. I tillegg er infeksjonsbelastningen på sjørret fortsatt for høyt, kanskje med unntak av nordlige deler av Troms og Finnmark.

*Vi vet imidlertid ikke nøyaktig hvor høyt infeksjonspress individer og bestander av vill laksefisk kan tåle over tid. Resultater fra arbeidspakke 1 tyder på at store deler av intensive oppdrettsområder langs norskekysten er i nærheten eller over en slik grenseverdi, spesielt for sjørret. For laksesmolten, med mulig unntak av noen år, bestander og områder, indikerer de få dataene vi har at andre faktorer enn lakselus også har vært viktige populasjonsregulerende mekanismer de siste årene.*

Vi har gått gjennom de metodene som er benyttet for å registrere lakselus på vill laksefisk de siste tiårene, og har gjort en kortfattet analyse av hvilke sammenfall, styrker og svakheter de forskjellige metodene har. Dette er presentert i arbeidspakke 2. Denne gjennomgangen har vist at alle de ulike metodene ser ut til å gi robuste og pålitelige estimater av infeksjonspresset vill laksefisk utsettes for, såfremt undersøkelsene har stort nok omfang. Dette betyr at tilstrekkelig antall vill laksefisk må fanges over lange nok tidsperioder og med tilstrekkelig romlig fordeling.

På tilsvarende vis ser det ut som om burmetoden greier å fange opp forskjeller i infeksjonspress mellom områder og år, forutsatt at et tilstrekkelig antall bur benyttes. Vi vet fortsatt ikke hvor mange bur som er nødvendig for å gi et robust og pålitelig estimat av infeksjonspresset i en oppdrettsfjord eller produksjonsregion. I tillegg må man være klar over at det er en skalaforskjell mellom det man registrerer ved bruk av burmetode og infeksjonsbelastningen som vill laksefisk utsettes for, kanskje med en faktor på rundt 10x, men variasjonen i eksisterende datamateriale gjør det for øyeblikket vanskelig å lage en korrelasjon over denne sammenhengen.

Det ser også ut som om garnmetoden underestimerer infeksjonstrykket noe, først og fremst fordi garnene ikke fanger den miste sjøørreten og at denne periodevis kan være høyt infisert. Garnmetoden som har blitt benyttet i overvåkingen av infeksjonsnivået på vill sjøørret og sjørøye langs kysten de siste tiårene, kan derfor systematisk ha underestimert den reelle infeksjonsbelastningen, og dermed også konsekvensene på bestandsnivå.

En nyutviklet sjøørretruse ser ut til å gi mer robuste estimater av infeksjonstrykket på den minste, og kanskje mest sårbare, sjøørreten, og har i tillegg den fordelene av fisken fanges levende og kan gjenutsettes etter luseregistreringer. *En kombinasjon av telling i oppdrettsanlegg, et tilstrekkelig antall bur og direkte overvåkning på vill laksefisk, kanskje helst med trål (laksesmolt) og ruse (sjøørret og sjørøye), synes for øyeblikket å være den mest velegnede metoden for å overvåke infeksjonspresset på vill laksefisk langs norskekysten.*

*Bur er den eneste indirekte metoden som kan benyttes, men denne bør raffineres og andre metoder bør utvikles slik at vi lettere greier å overvåke større deler av kysten. I tillegg er resultatene fra bur-smittmodellering-vill laksefisk fra Foldafjordsystemet lovende, og viser at dette har potensial til å kunne utvikles til mer kunnskapsbaserte bærekraftmodeller for intensive oppdrettsregioner og oppdrettsfjorder.*

Havforskningsinstituttet og NINA har satt i gang et arbeid som skal forsøke å inkludere oppdrettsbiomasse og lakselusmengde på oppdrettslaks i analysene. Dette skal danne grunnlaget for å kunne utvikle mer presise modeller for effekt på ville bestander – hvor mye lus tåler disse over tid uten at det får bestandsreducerende effekt, hvilke metoder benytter vi for å overvåke dette, og hvor mye oppdrettsfisk tilsvarer det? Til sammen vil dette kunne danne grunnlag for å utvikle bærekraftmodeller og standardiserte metoder for å vurdere dette for våre fjorder og kystområder.



## Innledning

Lakselus var et stort problem på slutten av 1990-tallet. Nye effektive medikamenter ble utviklet og tatt i bruk i begynnelsen av 2000-tallet. Siden har lusa vært holdt under kontroll, og oppdrettsnæringa vokst betydelig. Avhengighet av kjemikalier er imidlertid et tveegga sverd. Resistens, til dels multiresistens, mot kjemikaliene truer nå oppdrettsnæringen og vill laksefisk. Næringen og forvaltningen har det siste året brukt store ressurser for å få kontroll på situasjonen. Hovedargumentet for innsatsen har vært hensynet til viltlevende laksefisk. Lakselusnivået på vill laksefisk er derfor også det endelige kriteriet for å måle om denne innsatsen har vært vellykket.

Det er derfor påkrevd å øke innsatsen for å møte denne utfordringa. Det er også viktig å sørge for at denne innsatsen koordineres med eksisterende forskning og overvåkning, men vel så viktig for å møte forvaltningsmessige utfordringer som vi vet kommer. Tre momenter er spesielt viktig å adressere:

1. Lakselustrusselen: Vi må med større sikkerhet vite om lakselus er en betydelig eller mindre betydelig populasjonsregulerende faktor for vill laksfisk. Dette er et viktig spørsmål for å vite om forvaltningens tiltak står i forhold til problemet, og av betydning for at oppdrettsnæringa skal akseptere tiltakene.
2. Metodeutvikling: Vi må med større sikkerhet vite at metodene vi benytter for overvåkning og telling av vill laksefisk er tilstrekkelig gode og presise, og vi må for fremtiden utvikle standardiserte indirekte metoder (uten behov for fangst av vill laksefisk).
3. Bærekraftmodell: Det må utvikles en bærekraftmodell for vill fisk overfor lakselus som kan benyttes av forvaltninga og næringa for å kunne vurdere bærekraft i hver oppdrettsfjord og oppdrettsregion langs hele norskekysten.

Vi har benyttet Fiskeri- og kystdepartementets ekstrabevilgning til Havforskningsinstituttet på ”metodeutvikling for overvåkning og telling av lakselus på viltlevende laksefisk” i følgende strategiske forskningsplan (arbeidspakke 1 og 2) for på sikt å kunne danne grunnlag for å utvikle fremtidige bærekraftmodeller.

Sommeren 2010 forelå følgende beskrivelse for arbeidet:

Arbeidspakke 1: Betydningen av lakselus som populasjonsregulerende faktor for vill laksefisk: Gjennomgang av eksisterende litteratur og datamateriale over lakselus på vill laksefisk for å kunne utvikle forslag til modell for lus som populasjonsregulerende faktor.

De siste 20 årene har det blitt samlet inn et til dels betydelig materiale over lakselus-infeksjonen på vill laksefisk langs norskekysten. Materialet har blitt samlet inn av mange aktører i ulike prosjekter. Materialet karakteriseres av at denne type feltinnsamling er kostbart og arbeidskrevende, og at prosjektene i mange tilfeller har vært underfinansierte. Det er derfor ufullstendig analysert, og det er derfor viktig at forskningen får anledning til å systematisere dette datamaterialet med mål om å gjennomgå og eventuelt reanalysere materialet. Dette vil bli gjort i samarbeid mellom Havforskningsinstituttet og NINA, og delvis også Rådgivende biologer, som er de viktigste aktørene med tilsvarende datasett fra Norge.

*Leveranse:* Rapport over styrker og svakheter i eksisterende datamateriale over lakselusinfeksjonen på vill laksefisk langs norskekysten. Rapporten vil inneholde en vurdering av lakselus som populasjonsregulerende faktor hos vill laksefisk langs norskekysten. Analysene vil også bli gjennomført for å undersøke om eksisterende data på lakselus kan relateres til kjent biomasse av oppdrettsfisk.

Arbeidspakke 2: Testing av nye metoder og validering av eksisterende metoder for å belyse lakse-lussituasjonen

På tilsvarende måte har vi brukt ulike metoder for å overvåke infeksjonen av lakselus på vill laksfisk. Disse har delvis vært direkte registreringer på innfanget vill laksefisk (trål, garn, elektrisk fiskeapparat, ruser osv.), og delvis indirekte ved hjelp av ”vaktbur” med utsatt laksesmolt. I enkelte områder har metodene delvis også vært benyttet til samme tid i samme system av de samme eller forskjellige aktører. Vi har hittil ikke hatt mulighet til å systematisere, gjennomgå og helhetlig analysere og sammenligne data fra de forskjellige metodene. Vi vil benytte feltsesongen 2010 for å designe nye forsøk i Hardangerfjorden og andre fjorder med pågående aktivitet, der vi til samme tid og på samme sted benytter bur, garn, en nyutviklet smoltruse og smittemodellering for å vurdere og sammenligne metoder for å registrere og telle lus på vill laksefisk. Basert på dette vil vi validere direkte og indirekte metoder opp mot hverandre, og utvikle konseptet for en framtidig indirekte metode for å estimere lakselusnivå. Hydrodynamisk modellarbeid er også viktig. Arbeidet vil bli koordinert mellom institusjoner som har historiske datasett, og vil bli delfinansiert gjennom midler fra MD. I tillegg vil det bli nødvendig å benytte midler til å gjennomføre nye feltstudier i Hardangerfjordsystemet.

*Leveranse:* Rapport over gjennomførte nye eksperimenter for å sammenligne metodene bur, garn og smoltruse, samt skaffe komplementære data over døgnvis variasjon i mengde pelagiske lusestadier i kolonneeksperiment. Endelig oppsummert rapport som skal benyttes til å korrelere infeksjon fra direkte og indirekte metoder.

I årene framover vil det høyst sannsynlig bli et økende behov for å gi råd om bæreevnen, det vil si hvor mye lakseoppdrett vi kan ha i fjorder og produksjonsregioner langs norskekysten uten at bæreevnen for viltlevende laksefisk overskrides. Dette vil være helt sentralt for å følge opp regjeringens strategi for en bærekraftig havbruksnæring. For å kunne gjøre dette må momentene ovenfor (i arbeidspakkene) være på plass: Det viktigste er at vi har gode, standardiserte indirekte metoder for å registrere lusepresset på vill laksefisk. Dette arbeidet vil vi påbegynne i arbeidspakke 2. Dernest må vi ha gode modeller for å evaluere effekten av lus som populasjonsregulerende faktor. Dette arbeidet vil vi påbegynne i arbeidspakke 1. I tillegg vil vi gjennom ”kystmodellen” i årene framover kunne skaffe detaljert informasjon om smittespredningen mellom lokaliteter, fjorder og regioner. Det må utvikles et system for standard undersøkelser. Dette vil måtte være et langsiktig løp over 3–5 år. Vi foreslår å starte dette arbeidet basert på den ekstraordinære bevilgningen. *Det endelige og langsiktige målet er å ha utviklet konseptet over smittespredning og smittepress langs norskekysten slik at dette kan overleveres som et system til næring og forvaltning.*

## Resultater

### **Arbeidspakke 1: Kunnskapssammenstilling av betydningen lakselus har som populasjonsregulerende faktor for vill laksefisk: Gjennomgang av eksisterende litteratur og datamateriale over lakselus for å kunne utvikle forslag til modell for lus som populasjonsregulerende faktor**

#### **Innledning**

Tidlig på 1990-tallet registrerte man i områder med fiskeoppdrett langs norskekysten at en del sjøørret (*Salmo trutta*) vendte tilbake til elver og elvemunninger kort tid etter utvandring ("prematur tilbakevandring til ferskvann"). Disse sjøørretene var sterkt infisert med lakselus og hadde betydelige hudskader. Man observerte også utmagrede individer (Jakobsen mfl. 1992; Sivertsen mfl. 1993; Finstad 1993; Finstad mfl. 1992, 1994a; Birkeland & Jakobsen 1994, 1997; Birkeland 1996). Samtidig så det ut til at sjøørretens overlevelse i sjøen falt betydelig i enkelte oppdrettsintensive områder. Foreløpige norske utredninger tidlig på 90-tallet tydet i tillegg på at laks (*Salmo salar*) som vandret ut gjennom de lange og oppdrettsintensive fjordene på Vest- og Nordvestlandet, også ble smittet av lakseluslarver (Finstad mfl. 1994b; Holst mfl. 2003). Andre undersøkelser tydet på at nordnorsk sjørøye (*Salvelinus alpinus*) trolig også ble sterkt infisert i områder med lakseoppdrettsanlegg (Finstad 1993). Det ble derfor foreslått at epidemier av lakselus kunne være en av årsakene til nedgangen i enkelte bestander av vill anadrom laksefisk langs norskekysten.

Tidlig på 1990-tallet var imidlertid vår kunnskap om de fysiologiske konsekvensene av lakselusinfeksjon generelt sett begrenset (Wootten mfl. 1982), og man hadde bare utført noen få feltundersøkelser av lakselusinfeksjon på vill laksefisk (Boxhall 1974; Johannesen 1975; Jakobsen mfl. 1992; Tully mfl. 1993; Finstad mfl. 1994ab; Sharp mfl. 1994). Man hadde ikke avklart de økologiske konsekvensene av de observerte infeksjonene hos vill laksefisk, og hadde heller ikke avklart den mulige årsakssammenhengen mellom fiskeoppdrett og lakselusinfeksjon. Det var derfor behov både for bedre kartlegging av fenomenet prematur tilbakevandring til ferskvann, og for mer informasjon om de fysiologiske effektene av lakselusinfeksjon på laksefisk. Det var også behov for grundige undersøkelser av smittepresset fra lakselus, både i områder med og uten oppdrett, og av mulige økologiske konsekvenser av det observerte lusenivået på bestandsstrukturen til vill laksefisk.

På bakgrunn av dette har man i Norge studert de fysiologiske og økologiske følgene av lakselusinfeksjon på anadrom laksefisk. Første fase i forskningen fokuserte på å undersøke de fysiologiske konsekvensene av lakselusinfeksjon på eksperimentelt infisert smolt av sjøørret, laks og sjørøye. Videre beskrev man også lakselusens utvikling på de infiserte vertsfiskene, smoltens utvikling og dødelighet, infeksjonsintensitet og patogenitet. Dette ble gjort ved å utføre flere kontrollerte laboratorieforsøk på eksperimentelt infisert laksefisk og deretter studere infeksjonens fysiologiske og patologiske effekter (Grimnes & Jakobsen 1996; Bjørn & Finstad 1997, 1998; Finstad mfl. 2000; Wagner mfl. 2003, 2004; Wells mfl. 2006, 2007). Neste fase i forskningen konsentrerte seg om å demonstrere en eventuell årsakssammenheng mellom epidemier av lakselus i vill laksefisk og den raske veksten i lakseoppdrettsnæringen.

Det var også viktig å finne ut hvor utbredt lusenivåer som trolig er skadelige, eller til og med dødelige, er hos stammer av vill laksefisk. Dette ble gjort ved å gjennomføre omfattende feltundersøkelser hvor man fanget et representativt utvalg av sjørret, atlantehavslaks og sjørøye både i oppdrettsintensive områder og i kontrollområder, og deretter studere lusenivået på disse fiskene (Finstad mfl. 1994a; Birkeland & Jakobsen 1997; Schram mfl. 1998; Bjørn mfl. 2001a; Bjørn & Finstad 2002; Holst mfl. 2003; Rikardsen 2004; Heuch mfl. 2005; Revie mfl. 2009; Bjørn mfl. 2008, 2009, 2010ab). Forskningens tredje fase undersøkte konsekvensene av årlige epidemier av lakselus på hele stammer av vill laksefisk, spesielt smolt av sjørret og laks, i oppdrettsintensive områder. Dette ble gjort ved å beskytte individuelt Carlin-merket lakse- og sjørretsmolt mot lakselus ved hjelp av medisinfôr, badbehandling eller stikk-medisinering, før de ble sluppet løs i nærheten av sine respektive hjemmeelver. Slik behandling beskytter fisken i flere uker, og så lenge behandlingen ikke forstyrrer fisken på andre måter, gir disse eksperimentene oss en idé om effektene av lus på hele bestander (Finstad & Jonsson 2001; Hazon mfl. 2006; Skilbrei & Wennevik 2006; Hvidsten mfl. 2007; Skilbrei mfl. 2008). Siste fase involverte undersøkelser av hele fjorder, i kombinasjon med integrert skadedyrbekjempelse. Det langsiktige målet var å fremme en bærekraftig sameksistens mellom oppdrettsnæringen og vill laksefisk i oppdrettsintensive fjorder. Etableringen av nasjonale laksefjorder (beskyttede fjorder hvor det ikke tillates lakseoppdrett) mot slutten av denne perioden (Anon. 2006) var et ledd i dette arbeidet.

Nedenfor går vi gjennom bevisgrunnlaget for de fysiologiske og patologiske effektene av lakselus. Vi presenterer også resultater fra det nasjonale overvåknings- og prøvetakingsprogrammet for vill laksefisk, og evaluerer i hvilken grad lokale bestander av sjørret, sjørøye og laks kan være rammet. Til slutt gir vi et sammendrag av eksisterende tiltak mot lakselus på vill laksefisk i norske kystfarvann og fjorder.

### **Fysiologiske og patologiske effekter av luseinfeksjon hos laks, sjørret og sjørøye**

Lakselusangrep forstyrrer fiskens saltbalanse fordi parasitten spiser vertsfiskens slim, hud (Kabata 1974; Bjørn & Finstad 1998) og blod (Brandal mfl. 1976). Dette fører til mekanisk skade, blant annet hud- og finneslitasje (Wootten mfl. 1982; Jones mfl. 1990; Bjørn & Finstad 1998), osmotisk stress pga ”lekkasje” gjennom huden og – i ekstreme tilfeller – død (Grimnes & Jakobsen 1996; Grimnes mfl. 1996; Bjørn & Finstad 1997). Videre medfører infeksjon med både yngre og eldre lusestadier økt stress (f.eks. høyere kortisolverdier) (Bjørn & Finstad 1997; Finstad mfl. 2000), noe som forstyrrer saltbalansen i fisk. Flere laboratorieundersøkelser har presentert de fysiologiske effektene av lakselusinfeksjon på laks, sjørret og sjørøye (f.eks. Grimnes & Jakobsen 1996; Grimnes mfl. 1996; Bjørn & Finstad 1997, 1998; Nolan mfl. 1999; Finstad mfl. 2000; Bjørn mfl. 2001a; Wagner mfl. 2003, 2004; Wells mfl. 2006, 2007; Finstad mfl. 2007a). Når lakselus utvikler seg fra det fjerde fastsittende chalimus-stadiet til det første mobile, halv voksnede stadiet, forårsaker dette fysiologiske forandringer hos infisert fisk (Wendelaar Bonga 1997; Iwama mfl. 2006), herunder høye plasmakortisol- (Bjørn & Finstad 1997; Finstad mfl. 2000) og glukosenivåer (Wells mfl. 2006), redusert osmoreguleringsevne (Grimnes & Jakobsen 1996; Bjørn & Finstad 1997; Nolan mfl. 1999) og redusert uspesifikk immunitet. Det rapporteres også om ikke-dødelige

effekter som redusert vekst, redusert reproduksjonsevne, nedsatt svømmeevne og svekket immunforsvar (Bjørn & Finstad 1997; Nolan mfl. 1999, 2000; Finstad mfl. 2000; Bjørn mfl. 2001a; Wagner mfl. 2003, 2004; Tveiten mfl. 2010). I tillegg har vertsfisk varierende genetisk motstandskraft mot lakselus (Glover mfl. 2001, 2003, 2004). Av de sentrale litteraturgjennomgangene som omhandler lakselusproblematikken, kan man nevne Pike & Wadsworth (1999), Tully & Nolan (2002), Johnson mfl. (2004), Heuch mfl. (2005), Costello (2006), Boxaspen (2007), Boxaspen mfl. (2007), Wagner mfl. (2008), Revie mfl. (2009), Finstad mfl. (2010).

## Laks

Grimnes & Jakobsen (1996) viste at en infeksjonsintensitet på over 30 lakseluslarver per fisk kan være dødelig for laksesmolt på ca. 40 gram. Den fysiologiske stressresponsen viste seg gjennom høyere plasmakloridnivåer og en reduksjon i totale protein-nivåer, albumin og hematokrit hos den infiserte fisken. En undersøkelse gjennomført av Finstad mfl. (2000) viste, i likhet med Grimnes & Jakobsen (1996), at osmoreguleringsevnen til lakselusinfisert fisk først reduseres etter at lusene når de halv vokste stadiene. Det ble vist at over 30 larver i chalimus-stadiet kunne ta livet av en 40 grams laksesmolt når larvene utviklet seg til de halv vokste stadiene.

Den relative intensiteten på ca. 0,75 (lus per gram fiskevekt) tydet på at ca. 11 chalimus-larver kan ta livet av villakssmolt på ca. 15 gram. Dette stemmer også overens med Holst mfl. (2003) som undersøkte 3000 laksesmolt i Norskehavet for lus uten å finne et eneste individ med flere enn ti voksne lus. Denne terskelverdien underbygges også av en undersøkelse av naturlig infisert utvandrende laksesmolt fanget under et forskningstokt. Halvparten av fisken ble avlust som kontroll, og helsen til de to fiskegruppene ble fulgt over tid i et kontrollert eksperiment i laboratoriet. Kun fisk med inntil 11 lus overlevde i ikke avlust gruppe, mens det nesten ikke var dødelighet i kontrollgruppen (Holst mfl. 2003).

Wagner mfl. (2003, 2004) undersøkte subletale nivåer av lakselus (0,02–0,13 lakselus per gram kroppsvekt) på større laks (rundt 600–700 gram) og fant at laksens svømmeevne ble betydelig redusert hos individer med mest lus. Dette indikerer at selv lave lusenivåer kunne være skadelig for laks, noe som ga grunn for økt bekymring for effekten av infeksjon med subletale nivåer av lakselus på den ville laksens helse og kondisjon.

Det så ikke ut til at larver i tidlige chalimus-stadier påvirket vann- og saltbalansen (høyere kloridnivåer) hos vertsfisken. Imidlertid økte kortisolverdier hos infisert fisk (Finstad mfl. 2000) allerede i den første prøvetakingen etter infisering (lus i chalimus-stadiene). Dette viser at infisert laks rammes av stress (primæreffekt) før den opplever osmotiske forstyrrelser (sekundær effekt). Vi vet også at økte kortisolnivåer svekker immunforsvaret, slik at fisken blir mer mottakelig for smittsomme sykdommer (Ellis 1981; Pickering & Pottinger 1989; Wedemeyer 1996). Man har vist at implantasjon av kortikosteroider i fisk øker deres mottakelighet for diverse parasittsykdommer. I en laboratorieundersøkelse var cohokalaks (*Oncorhynchus kisutch*) som man hadde stresset ved å injisere kortisol, mer mottakelig for lakselusinfeksjon enn cohokalaks som ikke hadde blitt stresset (Johnson & Albright 1992a). Det ser ut til at atlantehavslaks har begrenset immunitet mot både skottelus, *Caligus elongatus*, (MacKinnon 1993, 1998) og lakselus, *Lepeophtheirus salmonis* (Grayson mfl. 1991; Johnson

& Albright 1992b). Stress forårsaket av lakselusinfeksjon vil derfor trolig øke vertsfiskens mottakelighet for re-infeksjon med lakselus samt for sekundære infeksjoner.

Hvis fisken tidligere har oppholdt seg i ferskvann av dårlig kvalitet, kan dette øke mottakeligheten for lakselusinfeksjon. Dette vises av en undersøkelse gjennomført av Finstad mfl. (2007a), hvor laksesmolt ble eksponert for forskjellige grader av surt, aluminiumsholdig vann og deretter for lakselus. Dødeligheten var lav hos ikke-infiserte kontrollgrupper og betydelig høyere i de luseinfiserte gruppene. Plasmakloridnivåer var innenfor normalområdet hos de ikke-infiserte gruppene, mens fisk i de infiserte gruppene, som var blitt utsatt for henholdsvis veldig surt og litt surt vann, hadde forhøyede plasmakloridnivåer.

### **Sjørret**

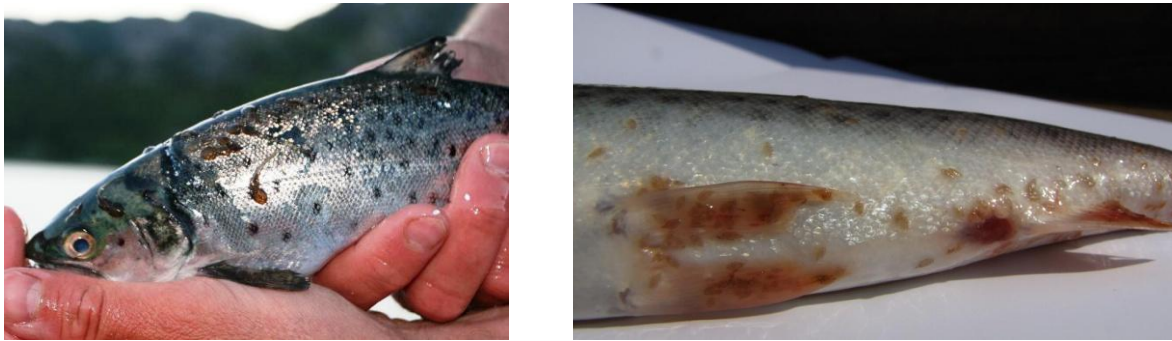
En plutselig økning i fiskedødelighet ble også registrert da Bjørn & Finstad (1997) infiserte anleggsprodusert sjørretsmolt (gjennomsnittsvekt 91 gram) for å undersøke de fysiologiske konsekvensene av lakselusinfeksjon. Lusenens chalimus-stadier skapte kun små forstyrrelser i fiskens osmoregulering, men infisert fisk hadde høye nivåer av stresshormonet kortisol og et betydelig redusert lymfocyt-leukocyt-forhold. Infisert fisk fikk store osmoreguleringsproblemer og anemi etter at de første halv vokste lusestadiene utviklet seg. Dette kunne ses gjennom forhøyede plasmakloridnivåer og reduserte hematokritverdier. Dødelighet ble observert i den mest infiserte gruppen. Ut ifra denne undersøkelsen ble det anslått at infeksjonsintensiteter på ca. 50 halv vokste (figur 1) eller voksne lus kan være dødelige for små sjørretsmolt (60 gram). I en senere undersøkelse konkluderte Wells mfl. (2006) at 13 mobile lus per fisk var det kritiske nivået som utløste subletale stressresponser hos sjørretsmolt.

I Nord-Norge har man i naturlige omgivelser studert de fysiologiske og økologiske effektene av lakselusinfeksjon i bestander av sjørret og sjørøye i områder med og uten oppdrettsaktivitet. Fisken ble tatt med garn i sjøen og ved elektrofiske i elvemunninger (prematurt tilbakevandret fisk til ferskvann) (Bjørn mfl. 2001a). Resultatene viste at infeksjonsintensiteten var betydelig høyere i områder med enn uten oppdrett. Blodprøver tatt av sjørret på den eksponerte lokaliteten viste en positiv korrelasjon mellom infeksjonsintensitet og økninger i plasmakortisol-, klorid- og blodsukkerkonsentrasjoner (Bjørn mfl. 2001a).

Opptil 47 % av fisken fanget i ferskvann og 32 % av de som ble fanget i sjøen, hadde høyere infeksjonsintensitet enn det som har blitt funnet å være dødelig i laboratorieforsøk, og nesten halvparten av individene fra den eksponerte lokaliteten hadde lusenivåer som sannsynligvis ville forstyrre osmoreguleringen. På den ueksponerte lokaliteten var infeksjonsintensiteten svært lav, og kun noen få individer hadde flere enn ti lus. Dette er antakelig innenfor normalområdet for naturlig lakselusinfeksjon.

Hos prematurt tilbakevandret sjørret i ferskvann ble det funnet en negativ korrelasjon mellom antall halv vokste og voksne lakselus og vertsfiskens plasmakloridnivåer (Bjørn mfl. 2001a). En senere undersøkelse, gjennomført av Wells mfl. (2007) på vill sjørret i Nord-Norge, viste at den fysiologiske ubalansen forårsaket av lusepåslag i saltvann rettes opp igjen

dersom fisken vandrer tilbake til ferskvann, mens fisk som fortsetter å oppholde seg i saltvann, opplever betydelige, vedvarende effekter.



**Figur 1.** Vill sjørøret infisert med mobile lakselus i bildet til venstre og larver i bildet til høyre.  
Foto: Rune Nilsen, Havforskningsinstituttet.

### **Sjørøye**

Det er gjennomført et fåtall undersøkelser på effekten av lakselus på sjørøye. I en laboratorieundersøkelse (Grimnes mfl. 1996) fant man at sjørøye opplever stress og blir rammet av hudskader, noe som forstyrrer osmoreguleringen, reduserer veksten og øker fiskedødeligheten. I likhet med laks og sjørøret viste sjørøye en tendens til forhøyede kortisolverdier allerede syv dager etter infisering. Hudskader og økte kloridverdier ble først registrert etter at lus hadde blitt halv vokse. En feltundersøkelse gjennomført av Bjørn mfl. (2001a) avdekket en positiv korrelasjon mellom relativ tetthet av lus (lus/fiskevekt) og plasmaklorid, glukose og kortisol, noe som bekrefter at lus fremkaller stressresponser og forårsaker fysiologiske forstyrrelser også hos sjørøye.

Det har også blitt vist at lakselus skader sjørøyens reproduksjonsevne. Fysiologiske målinger har avdekket reduserte nivåer av testosteron og oestradiol-17 $\beta$  i hunnrøyer med høy infeksjonsintensitet i forhold til de med moderat eller lav infeksjonsintensitet, noe som reduserer antallet gytende hunner, forsinker ovulasjon og reduserer total fekunditet hos gytende individer (Tveiten mfl. 2010). Disse symptomene er trolig forårsaket av stress (Pankhurst & Van Der Kraak 1997).

### **Infeksjonsintensitet og effekter av lakselus på sjørøret, sjørøye og laks i norske kystfarvann og fjorder**

Elliott (1994) hevder at ”modeller har fokusert mye på hvordan fiskebestander påvirkes av rovdyr, herunder mennesker, men det finnes forbausende lite kunnskap om de kvantitative effektene av parasitter og sykdommer”. Når en parasitt forårsaker stor netto skade, kan parasittsykdommer være en viktig faktor i vertsfiskens dødelighet (Threlfall 1968; Crofton 1971; Johnsen & Jensen 1992; Heggberget mfl. 1993; Jaenike mfl. 1995) og til og med virke regulerende på vertsfiskens bestand (Anderson & May 1978, 1979, 1981; Dobson & Hudson 1992; Tompkins & Begon 1999; Tompkins mfl. 2000). Det er vanskelig å avklare følgene av

parasitter på ville fiskebestander (Anderson & Gordon 1982; Pacala & Dobson 1988), og forsøk på å registrere og kvantifisere effekter på villfisk har blitt hemmet av problemer med å fange infisert fisk (Lester 1984).

Inntil nylig har derfor vansker med å fange vill laksfisk i sjøen begrenset både overvåkning av hvilke konsekvenser lakselus har for vill sjøørret, sjørøye og laks, og praktisk bruk av de ovennevnte fysiologiske og patologiske resultatene. Det er flere viktige forskjeller mellom atferden til laks, sjørøye og sjøørret under utvandringen, selv om vi fremdeles har noe begrenset kunnskap om dette. Mesteparten av informasjonen som hittil har blitt samlet, tyder på at laksesmolt holder seg nær overflaten og svømmer relativt raskt gjennom elvemunninger og fjorder (f.eks. Moore mfl. 2000; Thorstad mfl. 2004; Finstad mfl. 2005; Davidsen mfl. 2008; Plantalech Manel-la mfl. 2009), selv om dette kanskje varierer fra stamme til stamme og år til år (Rikardsen mfl. 2004). Sjøørret og sjørøye oppholder seg derimot vanligvis i kyst- og fjordområder i nærheten av hjemmeelven gjennom hele sommeren og høsten (Berg & Jonsson 1990; Lyse mfl. 1998; Rikardsen mfl. 2000). Det virker derfor som om sjøørret og sjørøye tilhører en ”kystnær, overflateorientert fiskegruppe”, slik Grønvik & Klemetsen (1987) antydte, selv om disse artene også iblant beiter pelagisk i åpent vann i fjorder og kystfarvann (Rikardsen & Amundsen 2005; Heitmann Suhr 2011).

De første årene fokuserte forskning på effekten av lakselus på ville laksefiskebestander i Norge på prematurt tilbakevandret sjøørretsmolt i elvemunninger og ferskvann (f.eks. Birkeland 1996). Dette gir sannsynligvis et ubalansert bilde av hvor utbredt lus er på den utvandrende bestanden i sin helhet, da man antar at fisk med den høyeste infeksjonsintensiteten har større tendens til å vandre tilbake til ferskvann (Birkeland & Jakobsen 1997; Bjørn mfl. 2001b), samt at den opplever høyere dødelighet i sjøen. Det var derfor uklart hvor viktige de observerte epidemiene på vill laksefisk var, noe som demonstrerer behovet for bedre prøvetakingsmetoder og for nøyaktigere anslag for infeksjonsintensiteten både på fisk i sjøen og på fisk som vandrer prematurt tilbake til ferskvann.

Sent på 90-tallet (Anon. 2010) lyktes man imidlertid med å utvikle en metode for å fange smolt av sjøørret og sjørøye (Mo & Heuch 1998; Schram mfl. 1998; Bjørn mfl. 2001ab) og laks (Holst & McDonald 2000) i sjøen. I tillegg forenkler to elementer av lakselusens biologi arbeidet med å beregne konsekvensene: Man kan identifisere hva som er nye infeksjoner (lus i chalimus-stadiet), og det er lite sannsynlig at chalimus-stadiet er veldig skadelig for vertsfisken (f.eks. Bjørn & Finstad 1997; Wells mfl. 2007). Forskere kunne dermed analysere hvordan lakselusinfeksjon sannsynligvis påvirket dødelighet i ville laksefiskebestander, siden tidlige infeksjoner kunne telles og resultatene kunne sammenlignes med responsen til forskjellige infeksjonsintensiteter beskrevet i de ovennevnte laboratorieundersøkelsene.

### **Sjøørret og sjørøye**

På bakgrunn av dette ble det på midten av 90-tallet satt i gang et program for å studere lakselusinfeksjon hos utvalgte ville sjøørret- og sjørøyebestander på beiteområdene deres i fjorder og kystfarvann. I tillegg ble et utvalg av prematurt tilbakevandret sjøørret og sjørøye i elvemunninger og ferskvann undersøkt. I 1997 presenterte en arbeidsgruppe bestående av medlemmer fra lakseoppdrettsnæringen, fiskehelseeksperter og dyrehelsetilsynet en ”Nasjonal handlingsplan mot lus på laksefisk”. Handlingsplanens langsiktige målsetting var å redusere



skadevirkningene av lus på oppdrettsfisk og villfisk så langt som mulig. Det var enighet om at infeksjonsintensiteten som ble registrert på vill laksefisk, skulle være den viktigste indikatoren på om handlingsplanen hadde vært vellykket (Heuch mfl. 2005). Handlingsplanen innebar derfor at man måtte samle inn pålitelige infeksjonsdata for sjøørret både fra oppdrettsintensive områder og kontrollområder langs norskekysten (figur 2). Disse kunne da også sammenlignes med målinger tatt på oppdrettsanlegg. Direktoratet for naturforvaltning utvidet derfor overvåkningsprogrammet for sjøørret tidlig på 90-tallet. Midler ble også bevilget av Forskningsrådet og lakseoppdrettsnæringen. Grundig overvåkning av sjøørretbestanden var et sentralt element i alle disse initiativene. Flere lokaliteter langs kysten ble valgt, og man utarbeidet en prøvetakingsmetode som involverte modifiserte garn og elektrofiske, for å utvikle tidsserier (se f.eks. Anon. 2010 for nærmere informasjon). Vanligvis ble 12 garn brukt på hver lokalitet, og et standardisert antall (15–30) sjøørret og sjørøye (f.eks. Bjørn & Finstad 2002) ble fisket på hver lokalitet per prøvetaking. Der det var mulig, ble elektrofiske utført samtidig i den nederste delen av hjemmeelven (Bjørn mfl. 2001b). Lakselusinfeksjon på ikke-kjønnsmoden sjøørret og sjørøye regnes for å være en god indikasjon på lokalt smittepress siden disse vertsfiskene vanligvis oppholder seg i kystnære farvann når de beiter, og det er sjeldent at de migrerer langt fra sine hjemmeelver (Berg & Jonsson 1990; Lyse mfl. 1998; Rikardsen mfl. 2000). Man antok derfor at utvikling av en prøvetakingsmetode for både oppdrettsintensive områder og kontrollområder ville kunne besvare spørsmål om årsakssammenhengen mellom oppdrettsintensitet og epidemier av lakselus på vill laksefisk. Forskerne kunne følge utviklingen og anslå konsekvensene av infeksjonen ved å etablere tidsserier (prøvetaking hver annen eller tredje uke) for perioden fra rett etter at sjøørreten og sjørøyen hadde vandret ut til saltvann om våren, og inntil de vendte tilbake til elvene om høsten. Videre ble det tatt årlige prøver på de samme lokalitetene for å måle hvor effektive tiltakene var som hadde blitt innført gjennom årlige handlingsplaner og av oppdrettsnæringen. Vi har nå over ti år med overvåkningsdata fra noen av lokalitetene langs den norske kystlinjen.

Undersøkelsen fra 1997 i Nordland viser at det var betydelig forskjell mellom lusepåslag på vill sjøørret og sjørøye i områder i nærheten av, og områder langt unna, oppdrettsanlegg (Bjørn mfl. 2001a). På den eksponerte lokaliteten (Vik) var gjennomsnittlig infeksjonsintensitet hos vill vertsfisk, både i beiteområdene i sjøen og blant prematurt tilbakevandret fisk, høy i forhold til historiske nivåer (Boxshall 1974) og i forhold til områder uten oppdrettsanlegg (Tingley mfl. 1997; Schram mfl. 1998). Man så også at fisk med spesielt høy infeksjonsintensitet vandret prematurt tilbake til ferskvann for å avluse seg og gjenopprette homeostase. I tillegg viser andre indikatorer – for eksempel observasjoner av betydelige antall fisk med larveinfeksjoner som i laboratorieforsøk etter hvert har vist seg å være dødelige (f.eks. Bjørn & Finstad 1997), den parallelle reduksjonen i relativ tetthet og standardavvik i sommeren og høsten 1997, samt det tilsynelatende fraværet av luseutvikling over tid – som tyder på høyere dødelighet blant fisk med de høyeste lakselusinfeksjonene.



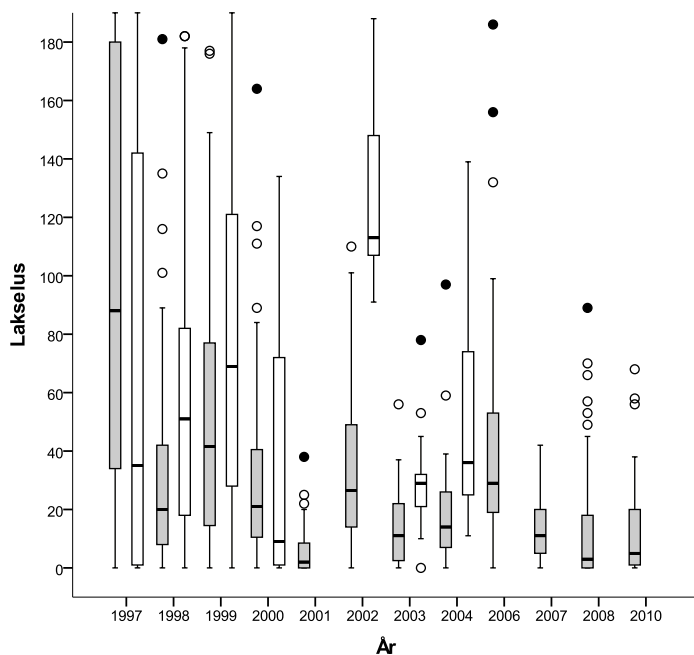
**Figur 2.** Prøvefiske med garn etter sjøørret i Øyfjorden (Nord-Norge). Foto: Rosa Maria Serra Llinares, Havforskningsinstituttet.

Denne infeksjonsintensiteten (100–200 luselarver per individ på fisk fanget juni–juli) forårsaket både stress og fysiologisk ubalanse, og det ble beregnet at 30–50 % av de minste sjøørretene i området ville dø eller oppleve betydelige fysiologiske forstyrrelser som følge av infeksjonen (Bjørn mfl. 2001a). Videre viser nye resultater (f.eks. Wagner mfl. 2003; Wells mfl. 2007) at konsekvensene av epidemiene som villørretbestanden i Vik-området opplevde i 1997, kan være mer betydelige enn først antatt, og at bestanden, hvis denne tendensen fortsetter, kan stå i fare for å bli redusert.

Undersøkelsen fra 1997 i Nordland viser at det var betydelig forskjell mellom lusepåslag på vill sjøørret og sjørøye i områder i nærheten av, og områder langt unna, oppdrettsanlegg (Bjørn mfl. 2001a). På den eksponerte lokaliteten (Vik) var gjennomsnittlig infeksjonsintensitet hos vill vertsfisk, både i beiteområdene i sjøen og blant prematurt tilbakevandret fisk, høy i forhold til historiske nivåer (Boxshall 1974) og i forhold til områder uten oppdrettsanlegg (Tingley mfl. 1997; Schram mfl. 1998). Man så også at fisk med spesielt høy infeksjonsintensitet vandret prematurt tilbake til ferskvann for å avluse seg og gjenopprette homeostase. I tillegg viser andre indikatorer – for eksempel observasjoner av betydelige antall fisk med larveinfeksjoner som i laboratorieforsøk etter hvert har vist seg å være dødelige (f.eks. Bjørn & Finstad 1997), den parallelle reduksjonen i relativ tetthet og standardavvik i sommeren og høsten 1997, samt det tilsynelatende fraværet av luseutvikling over tid – som tyder på høyere dødelighet blant fisk med de høyeste lakselusinfeksjonene. Denne infeksjonsintensiteten (100–200 luselarver per individ på fisk fanget juni–juli) forårsaket både stress og fysiologisk ubalanse, og det ble beregnet at 30–50 % av de minste sjøørretene i området ville dø eller oppleve betydelige fysiologiske forstyrrelser som følge av infeksjonen (Bjørn mfl. 2001a). Videre viser nye resultater (f.eks. Wagner mfl. 2003; Wells mfl. 2007) at

konsekvensene av epidemiene som villørretbestanden i Vik-området opplevde i 1997, kan være mer betydelige enn først antatt, og at bestanden, hvis denne tendensen fortsetter, kan stå i fare for å bli redusert.

Siden man i 1997 først observerte de høye infeksjonsverdiene hos sjøørret (median i området 30–80 lus for hele utvalget fra 1997), både i sjøen og i ferskvann, har tidsserien for Vik-området blitt oppdatert hvert år (figur 3).

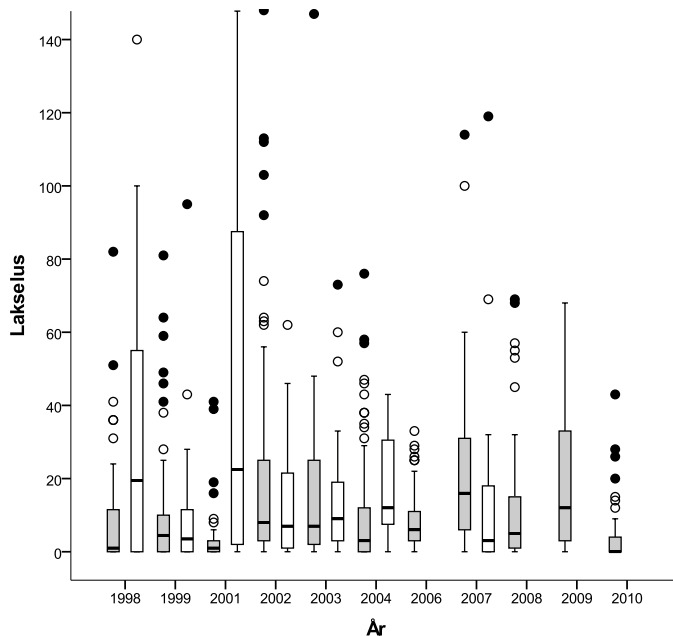


**Figur 3.** Abundans av lakselus på sjøørret i Vik i Vesterålen. Grå søyler viser fisk fanga i sjøen, mens åpne søyler viser fisk fanga i ferskvann (for tidlig tilbakevandring til ferskvann). Horisontale linjer i søylen viser medianverdier, nedre og øvre del av søylen viser 25<sup>te</sup> og 75<sup>te</sup> percentil. Uteliggere og ekstremverdier er presentert som åpne, fylte sirkler, og strekene viser de minste og største observerte verdier som ikke er uteliggere.

De påfølgende årene (1998, 1999 og 2000) var infeksjonsintensiteten noe lavere. Median infeksjonsintensitet hos sjøørret i sjøen varierte mellom 25 og 50 lus, i all hovedsak larver (Grimnes mfl. 1999, 2000; Bjørn mfl. 2001b). Enda høyere intensiteter ble observert hos sjøørret som prematurt hadde vandret tilbake til ferskvann. I 2001 forandret situasjonen seg; det ble ikke registrert prematurt tilbakevandring til ferskvann. I sjøen hadde flesteparten av fiskene færre enn ti luselarver, som gradvis utviklet seg til halv voksne og voksne lus i løpet av sommeren og høsten (Bjørn mfl. 2002). Deretter (2002–2010) har det igjen vært en økning i lusepåslag. Det ser ut til at median infeksjonsintensitet har stabilisert seg rundt 10–30 lus i saltvann (figur 3), og enkelte år har det også blitt observert prematur tilbakevandring til ferskvann. Tidsserien for Vik viser derfor at selv om infeksjonsintensiteter har blitt betydelig redusert siden 1997, så observerer man fortsatt kronisk høye luseverdier hvert år (bortsett fra i 2001) de ti siste årene. Med unntak av i 2001, er det sannsynlig at årlige epidemier av lakselus har påvirket sjøørretbestanden i Vik negativt, noe som tilsier at man ikke har oppnådd hovedmålsettingen i handlingsplanen (Heuch mfl. 2005; Wells mfl. 2007).

Parallelt med at man utviklet tidsseriene for Vik, ble tilsvarende serier også startet opp for det oppdrettsintensive Altafjordsystemet i Nord-Norge, for Hitra i Midt-Norge, for Romsdal på Nordvestlandet og for Hardanger på Vestlandet. Selv om infeksjonsintensiteter varierer mellom lokaliteter, er det påtakelig hvor lite forandring man har sett i årenes løp. På Hitra (figur 4), for eksempel, som spilte en sentral rolle i utviklingen av lakseoppdrettsnæringen på

1970-tallet, og som fortsatt er en av de mest oppdrettsintensive områdene i Norge, har man ikke sett noen betydelig reduksjon i infeksjonsintensiteter gjennom perioden 1998–2009 (Bjørn mfl. 2010ab), på tross av de omfattende bekjempelsestiltakene som har blitt gjennomført.

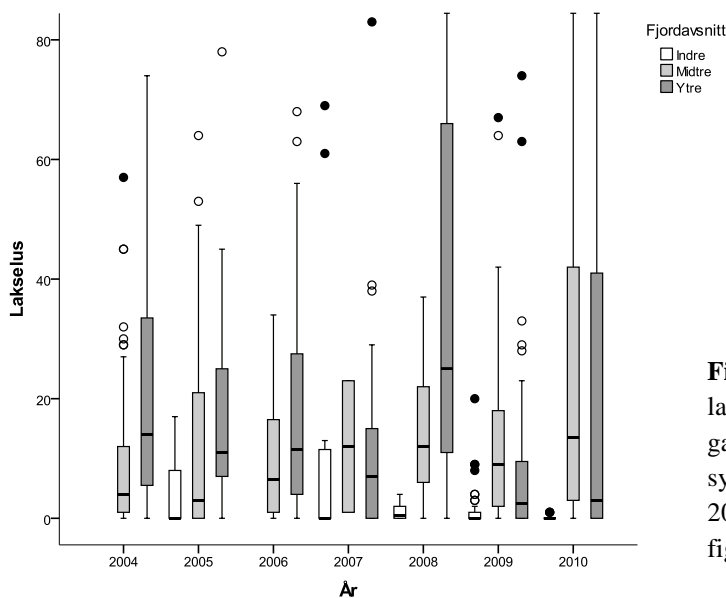


**Figur 4.** Abundans av lakselus på sjøørret i Straumfjorden, Hitra i Sør-Trøndelag. Åpne søyler viser fisk fanga i sjøen, åpne søyler viser fisk fanga i ferskvann (for tidlig tilbakevandring til ferskvann). Se figur 3 for forklaringer.

Dette generelle inntrykket gjenspeiles også i Altafjord i Nord-Norge og Romsdalsfjordsystemet på Nordvestlandet. Fjordsystemene i Nord-Norge har imidlertid generelt lavere infeksjonsintensiteter, sannsynligvis på grunn av en kombinasjon av mindre oppdrettsaktivitet og lavere vanntemperaturer i sjøen, spesielt om vinteren (Bjørn mfl. 2008), enn fjordene på Vestlandet.

De senere år har man derfor fokusert spesielt på de oppdrettsintensive fjordene på Vestlandet, blant annet ved bruk av integrert skadedyrbekjempelse, for å prøve å sikre både en lønnsom lakseoppdrettsnæring og bærekraftige bestander av vill sjøørret (Hardangerfjordprosjektet 2004–2009). Det 150 kilometer lange Hardangerfjordsystemet har den høyeste tettheten av oppdrettsanlegg i Norge. Dette fjordsystemet er velegnet for undersøkelser av diverse grunner: Det påvirkes i all hovedsak av indre fjorddynamikk, det har viktige lakse- og sjøørretstammer som er rammet av lakselus siden tidlig på 1990-tallet (Finstad mfl. 2007bc), og de fleste oppdrettsanleggene samarbeider i et fiskehelsenettverk. Langtidsserien for Hardangerfjorden startet i 2004 og har lusenivåer på vill laksefisk som et viktig suksesskriterium. Som resultat av den sterkt reduserte sjøørretbestanden har man fanget et relativt lite, men likevel representativt, utvalg av fisk både fra den indre, midtre og ytre delen av fjorden. Se Anon. (2010) for en beskrivelse av prøvetakingsmetodene. Selv om man har sett en stor forbedring og svært lave lakselusnivåer på oppdrettslaks, sannsynligvis på grunn av synkronisert avlusing på nesten alle oppdrettsanleggene i fjorden, registrerer man fremdeles for høyt smittepress på vill sjøørret i forhold til antatt historiske nivå og områder uten oppdrett (Finstad mfl. 2007bc) (figur 5).

Ingen betydelig forbedring ble registrert verken før (2004) eller etter (2005–2007) perioden med synkronisert avlusing. I 2008 og 2009 økte man innsatsen for fangst av sjørørret i sjøen (beskrevet i Bjørn mfl. 2008, 2009, 2010ab), og man registrerte da høy infeksjonsintensitet (gjennomsnittlig intensitet i området 50–80 lus per sjørørret i de verste undersøkelsesukene) i ytre og midtre deler av fjorden. Disse nivåene er også i samsvar med de høye infeksjonsintensitetene som ble registrert for sjørørret fanget med trål i ytre deler av fjorden i perioden 2004–2009 (Finstad mfl. 2007b; Bjørn mfl. 2008, 2009, 2010ab). Samlet sett tyder dette på at smittepresset, spesielt i den ytre delen av Hardangerfjordssystemet, fremdeles er for høyt (figur 5). Det er også klart at synkronisert avlusing ikke har redusert lusenivået på sjørørret i lokalområdet til et bærekraftig nivå i perioden 2004–2010. Forvaltningsmyndighetene drøfter derfor nå nye tiltak for å forbedre situasjonen i fjorden, hvor et av forslagene er å ”fryse” laksefiskproduksjonen på et lavere nivå, slik at næringen blir bærekraftig.



**Figur 5.** Boxplot som viser lakselusinfeksjonen på sjørørret fanget med garn i indre, midtre og ytre Hardangerfjordssystemet i perioden 2004–2010. I midtre sone 2010 er data for ruse og garn slått sammen. Se figur 3 for ytterligere forklaringer.

Samlet sett viser langtidsovervåkingen av sjørørret og sjørørøye at infeksjonsintensiteten fremdeles er for høy i oppdrettsintensive kystområder og fjorder langs store deler av norskekysten (Bjørn mfl. 2010ab; Taranger mfl. 2010). Antakelig bør det gjennomsnittlige lusenivået være under 10–13 lus per fisk på størstedelen (70–90 %) av sjørørret, sjørørøye og laks i et område (Finstad mfl. 2000; Wells mfl. 2007), eller ca. 0,1 lus per gram fiskevekt (Wagner mfl. 2003, 2004), hvis man ønsker å forhindre negative konsekvenser på individuell fisk (Heuch mfl. 2005), og dermed sannsynligvis også på populasjoner (se Taranger mfl. 2010 for detaljer). I dag er den samlede biomassen av oppdrettslaks i oppdrettsintensive kystområder og fjorder (f.eks. Hardangerfjorden) så stor at selv lave lusenivåer på hver enkelt oppdrettsfisk kanskje ikke er nok til å redusere det samlede smittepresset, spesielt på sjørørret, til et bærekraftig nivå. Det ser derfor ut til at det kan være nødvendig både å redusere lusenivået per oppdrettsfisk og optimere avlusingstrategier for å oppnå målsettingen om ingen populasjonsregulerende effekt (Anon 2009).

## Laks

Laksesmolt har blitt overvåket ved hjelp av en spesielt utviklet trål, Ocean Fish Lift (OFL), som fanger levende smolt med minimalt skjelltap, slik at de beholder sine naturlige luseinfeksjoner (Holst & McDonald 2000). Dette gir oss pålitelig informasjon om luseinfeksjon, og gjør det også mulig å beregne luseindusert dødelighet ved hjelp av de ovennevnte metodene.

Resultatene viser at det er stor variasjon i prevalens og gjennomsnittlig intensitet fra år til år og mellom fjorder. Det er observert alt fra null til mer enn 100 lus per fisk, noe som gir dødelighetsestimater fra null til over 90 prosent for utvandrende fisk (Holst mfl. 2003; Heuch mfl. 2005; Bjørn mfl. 2008, 2009, 2010ab). Det er også fanget mye uinfisert og sunn smolt i forskjellige områder (Finstad mfl. 2000; Holst mfl. 2003; Hvidsten mfl. 2007; Bjørn mfl. 2008, 2009, 2010ab). Noen eksempler på disse undersøkelsene beskrives nedenfor.

I Trondheimsfjorden har vi overvåket lusenivåer på laksesmolt siden 1992 (Finstad mfl. 1994ab, 2000; Hvidsten mfl. 2007). Trondheimsfjorden har ingen oppdrettsanlegg, og man antar at den gir pålitelige resultater for smittepresset i slike områder uten oppdrett.. Kystlinjen rett utenfor Trondheimsfjordsystemet (f.eks. Hitra) er derimot et oppdrettsintensivt område. Man regner derfor med at innstrømming av kystvann noen år øker smittepresset i ytre deler av fjordsystemet. Ved å tråle langs smoltens utvandningsveier kan man anslå infeksjonsintensiteten og konsekvensene av lakselus for utvandrende smolt. Resultatene fra langtids-overvåkingen av vill laksesmolt viser at smolt som vandrer ut gjennom kystfarvann, infiseres med lakselus (Finstad mfl. 2000; Hvidsten mfl. 2007; Bjørn mfl. 2008, 2009, 2010ab). Utvandrende smolt blir bare infisert med chalimus-stadier, noe som viser at det bare er kort tid siden de forlot elvene sine. Noen år (1992, 1998 og 2003) var det moderat smittepress fra lakselus i fjorden (Finstad mfl. 2000; Hvidsten mfl. 2007). I 1992 registrerte man en smolt med 285 lakseluslarver (Finstad mfl. 1994ab), og 8 % av smolten var i tillegg infisert med flere enn ti lakselus (Finstad mfl. 2000). I 1998 var 53 % av smolten infisert, mens 11 % hadde over ti lus (Finstad mfl. 2000; Hvidsten mfl. 2007). De andre årene var det lite luseinfeksjon (Hvidsten mfl. 2007; Bjørn mfl. 2007a, 2008, 2009, 2010ab), og utvandrende laksesmolt ble sannsynligvis ikke negativt påvirket.

Observasjonene fra Trondheimsfjorden står i sterk kontrast til de fra Vestlandet (Holst mfl. 2003). I 1998 tok Havforskningsinstituttet, sammen med Universitetet i Bergen, initiativ til et fjordovervåkningsprogram i de oppdrettsintensive fjordene på Vestlandet (Holst mfl. 2005). Prosjektet fokuserte spesielt på Sognefjordsystemet. Sognefjorden er en lang og smal fjord like nord for Bergen, hvor det drives intensivt fiskeoppdrett i den midtre og ytre delen av fjorden. Det ble gjort trålhal i fjorden hvert år fra 1998 til 2004. Gjennomsnittlig infeksjonsintensitet varierte mellom 104 og én lus per fisk fra år til år. Hvis man tar utgangspunkt i en konservativ dødelighetsgrense på 15 lus, tilsvarer denne infeksjonsintensiteten parasittindusert dødelighet fra 0 til 95 % (Holst mfl. 2003, 2005). Dette kan bety at epidemier av lakselus kan ha spilt en viktig rolle i reguleringen av bestanden i Sognefjorden på slutten av 1990- og begynnelsen av 2000-tallet. De senere årene (2002, 2003 og 2004) ble situasjonen bedre, og den gjennomsnittlige infeksjonsintensiteten falt til under 2,3, muligens på grunn av tiltak gjennomført av oppdrettsanleggene gjennom vinteren og våren (Holst mfl.

2005; Heuch mfl. 2011). Etter 2004 har vi dessverre ingen data fra utvandrende laksesmolt på Vestlandet, foruten fra Hardangerfjorden.

Omtrent samtidig (2000–2004) ble en større trålundersøkelse igangsatt i fjordene langs store deler av den norske kystlinjen (Rikardsen mfl. 2004). I tillegg til Sognefjorden på Vestlandet og Trondheimsfjorden i Midt-Norge fokuserte man spesielt på to fjorder i Nord-Norge: det oppdrettsintensive Altafjordsystemet og det oppdrettsfrie Malangsfjordsystemet (Holst mfl. 2005; Bjørn mfl. 2007b). Det ble gjort trålhal i Altafjordsystemet hvert år fra 2000 til 2004, mens Malangsfjorden ble trålet i 2000, 2001 og 2002 (Rikardsen mfl. 2004; Holst mfl. 2005; Bjørn mfl. 2007b). Man registrerte nesten ingen lakselus (ingen lus i 2000, 2001 og 2003 og en gjennomsnittlig infeksjonsintensitet på 0,1 i 2002 og 2004 i Altafjorden, og ingen lus alle årene i Malangsfjorden) på utvandrende laksesmolt (Holst mfl. 2005; Bjørn mfl. 2007b). Sjørørret og sjørøye hadde derimot moderate lusenivåer senere på sommeren i begge fjordsystemene. Dette tyder på at laksen i Nord-Norge vandrer ut av fjordene før smittepresset øker, selv i den oppdrettsintensive Altafjorden (Bjørn mfl. 2007b).

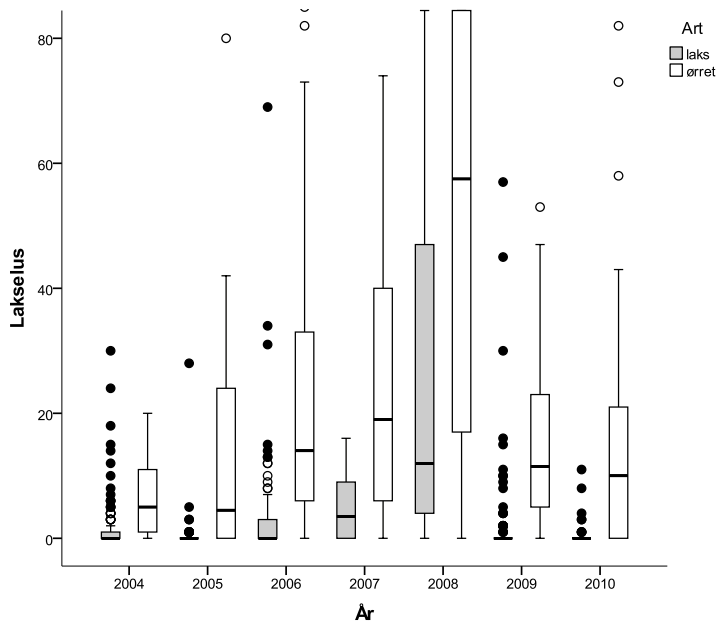
Et problem er at tråling etter laksesmolt er ressurskrevende. Siden 2004 har man bare gjennomført trålhal i to fjorder hvert år, i Hardangerfjordsystemet på Vestlandet, og Trondheimsfjorden i Midt-Norge (Bjørn mfl. 2010ab). I Hardangerfjorden har man brukt OFL til å fange smolt langs deres utvandningsveier i den ytre delen av fjorden (figur 6). Undersøkelsene har enkelte år hatt lite omfang i tid og rom og datamaterialet er begrenset.



**Figur 6.** Tråling etter laksesmolt i Hardangerfjorden.

Resultater fra perioden 2004 til 2006 i Hardangerfjorden tyder på relativt liten luseinfeksjon; prevalens lå i området 15–48 %, og gjennomsnittlig intensitet varierte mellom 0,6 og 1,9. Det var tilsynelatende liten forskjell før (2004) og etter (2005 og 2006) den synkroniserte avlusingen. Imidlertid økte luseinfeksjonen i 2007 og 2008. I 2007 var 58 % av de få smoltene som ble fanget, infisert, og gjennomsnittlig intensitet var 8,9 lus (Bjørn mfl. 2008). I 2008 økte både prevalens og gjennomsnittlig intensitet ytterligere (Bjørn mfl. 2009), mens det i 2009 og 2010 var mindre lus, i hvert fall på de tidligst utvandrende laksesmoltene (figur 7).

Det kan imidlertid ikke utelukkes at seint utvandrende laksesmolt kan oppleve betydelig økende infeksjonspress (Bjørn mfl. 2010b).



**Figur 7.** Boxplot over lakselus-infeksjonen på laksesmolt (grå) og pelagisk sjøørret (åpne) i ytre del av Hardangerfjorden 2004-2010. Se figur 3 for forklaringer.

Disse resultatene samsvarer også med resultatene for sjøørret fra 2007 til 2010, og tyder på at lusesituasjonen i Hardangerfjordssystemet ikke har blitt betydelig bedre, til tross for de vellykkede tiltakene i oppdrettsnæringa (Heuch mfl. 2011). Tråldata for 2008 til 2010 indikerer at smittepresset på laksesmolten oppstod under den siste delen av toktet vårt (Bjørn mfl. 2010ab). Samlet viser vår lange overvåkningsserie for laksesmolt at infeksjonen var svært høy i enkelte fjorder på Vestlandet på slutten av 1990-tallet og tidlig på 2000-tallet. Deretter opplevde man betydelig lavere infeksjon i Sognefjorden (Heuch mfl. 2011), før infeksjonspresset tilsynelatende igjen har økt noe fram til 2008 i Hardangerfjorden. Imidlertid tyder våre data på at infeksjonsøkningen synes å komme noe seinere de siste årene. Tidlig utvandrende laksesmolt ser derfor ut til å slippe unna det verste infeksjonstrykket sammenlignet med på slutten av 1990-tallet og tidlig på 2000-tallet. Seint utvandrende laksesmolt, for eksempel fra seine, indre elver kan likevel oppleve et en betydelig infeksjonsrisiko (Bjørn mfl. 2010b). I Nord-Norge (f.eks. i Altafjordssystemet) ser det ut til at lakselus ikke utgjør noen trussel mot utvandrende laksesmolt, noe som tyder på at utbredt lakseoppdrett og ville laksebestander for øyeblikket kan sameksistere (Bjørn mfl. 2007b). Dette kan imidlertid raskt forandre seg ved økt resistens, høyere sjøvannstemperatur eller betydelig økt oppdrettsproduksjon (Bjørn mfl. 2010b). Oppdrettsproduksjonen i Finnmark er i løpet av 2011 og 2012 forventet å øke, både gjennom bedre utnyttelse av eksisterende konsesjoner og gjennom den innvilga 5 % økningen. Dette kan bli en utfordring, spesielt i Vest-Finnmark, for eksempel i Altafjordssystemet.



## Kan lakselus regulere bestander av vill laksefisk i Norge?

Bare hvis luseinfeksjon over en viss terskel (intensitet, for eksempel 0,1 lus per gram fiskevekt) rammer en viss andel av stammen (prevalens, % andel infisert fisk), vil dette kunne ha følger for bestanden som helhet. Det knytter seg imidlertid betydelig usikkerhet til nivået for disse grenseverdiene (se Taranger mfl 2010 for ytterligere detaljer). Laks og sjøørret har forskjellige strategier når de oppholder seg i sjøen. Vi har begrenset kunnskap om den første tiden laksefisk tilbringer i sjøen, og om miljøfaktorene som kan påvirke fiskens atferd og utbredelse (Moore mfl. 2000). Denne mangelen på informasjon er spesielt kritisk siden laksefisk i sjøen opplever høyest dødelighet de første månedene etter at smolten forlater ferskvann (Hansen mfl. 2003; Rikardsen mfl. 2004). Det er rapportert at laksesmolt oppholder seg dypere i vannet om dagen enn om natten (Thorpe & Morgan 1978; Davidsen mfl. 2008). Laksesmolt vandrer raskt ut til det åpne havet (f.eks. Hansen mfl. 2003; Finstad mfl. 2005; Thorstad mfl. 2007), og kan bli infisert av lakselus mens de svømmer ut gjennom fjordsystemet (Finstad mfl. 2000; Hvidsten mfl. 2007). Tiden de bruker på dette, er avhengig av fjordsystemets lengde. Sjøørret blir i fjordsystemet og i kystnære områder (f.eks. Jonsson 1985; Knutsen mfl. 2001; Finstad mfl. 2005; Thorstad mfl. 2007) og kan dermed infiseres gjentatte ganger av lakselus mens de er på beitevandring i sjøen. I fjorder ligger det som regel et lag med brakkvann i overflaten (saltholdighet under 25) som resultat av ferskvannsavrenning, spesielt om våren under snøsmeltinga. Flere undersøkelser har rapportert at lakselus pleier å unngå vann med saltholdighet under ca. 20 (Heuch 1995; Bricknell mfl. 2006). Laget med brakkvann kan derfor ses på som et tilfluktssted fra luseinfeksjon for utvandrende laksesmolt gjennom deler av fjordsystemet. Diskusjonen nedenfor om konsekvenser for fiskebestander er hovedsakelig basert på norske resultater, men det kan nevnes at Tully mfl. (1999) og Gargan mfl. (2003) i Irland og Butler & Watt (2003) i Skottland også har observert betydelig høyere infeksjonsintensitet på villfisk i bukter med luseinfisert oppdrettslaks.

For å undersøke hvordan lakselus påvirker smoltoverlevelse, ble individuelt merket smolt av laks og sjøørret beskyttet mot luseinfeksjon ved hjelp av medisinfôr, injeksjoner (Slice<sup>®</sup>) eller badbehandling (komponent EX, Pharmaq). De blir deretter sluppet løs i nærheten av sine respektive hjemmeelver. Komponent EX og Slice<sup>®</sup> beskytter fisken i flere uker, og så lenge den ikke påvirker fisken på andre måter, hjelper disse forsøkene oss å anslå konsekvensene av luseinfeksjon på bestander. I 1996 ble merkeforsøk på sjøørret behandlet med komponent EX og ubehandlet fisk utført i Bondhuselva i Hordaland (Finstad & Birkeland 1997). Fisken ble Carlin-merket med to forskjellige farger slik at den kunne observeres gjennom vannet. En måned etter slippene observerte man store stimer av sjøørret (> 250 individer) i elvemunningen, hvorav ca. ti prosent var behandlet fisk. Etter ca. tre måneder ble 22 ubehandlede og 13 behandlede sjøørret fanget. Ubehandlet fisk ble fanget i den nedre delen av elven, og hadde høyt påslag av lakselus, mens behandlet fisk ble fanget i elvemunningen, og hadde veldig få lus. Disse resultatene viser at hvis smolt av sjøørret blir infisert med lakselus, kan dette endre fiskens atferd (prematuro tilbakevandring), noe som man har observert i flere norske elver.

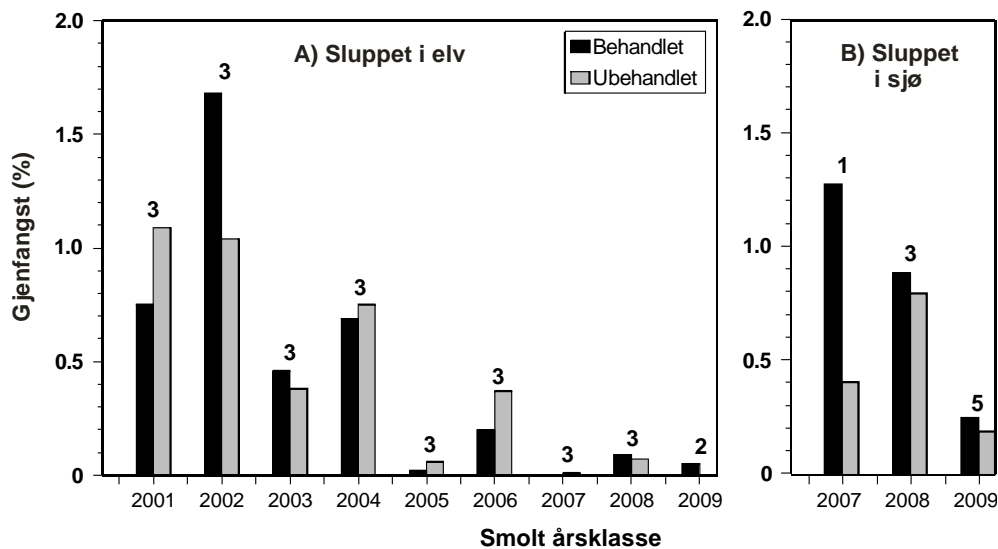
Under forsøk med komponent EX-behandling av sjøørretsmolt i Hardangerfjorden (Finstad mfl. 2007b) var gjenfangstprosenten svært lav, både for den behandlede og den ubehandlede gruppen, noe som gjenspeiler overlevelse i sjøen. Gjenfangsten av EX-behandlet smolt fra 2004-årsklassen var imidlertid høyere enn av kontrollgruppen etter de to første utvandringene. Gjennomsnittlig vekt og kondisjon var også bedre hos den behandlede gruppen enn hos kontrollgruppen, selv om forskjellene ikke var statistisk sikre. Siden behandling med komponent EX trolig ikke gir fullstendig beskyttelse mot lakselus, og i og med at overlevelseshøyden hos den behandlede gruppen var dobbelt så høy som hos den ubehandlede gruppen, er den observerte forskjellen i overlevelse mellom de to gruppene en undervurdering av luseindusert dødelighet.

Resultater fra Agdenes (Sør-Trøndelag, Midt-Norge) og Daleelva (Hordaland, Sørvestlandet) for atlantehavslaks viser at i de årene det er stort smittepress fra lakselus, vender en høyere andel av behandlet fisk tilbake enn andelen av fisk fra ubeskyttede kontrollgrupper (Finstad & Jonsson 2001; Hvidsten mfl. 2007). Noen år har man også registrert at beskyttet fisk vokser mer enn ubeskyttet fisk (Hazon mfl. 2006). Noen av disse undersøkelsene har likevel slitt med lave gjenfangstprosent, hovedsaklig fordi de har blitt gjennomført i systemer som utnyttes kommersielt. Vi har derfor også gjennomført forsøk i norske vassdrag med permanente fiskefeller (Imsa og Talvik), noe som gir oss fullstendig kontroll over stammene.

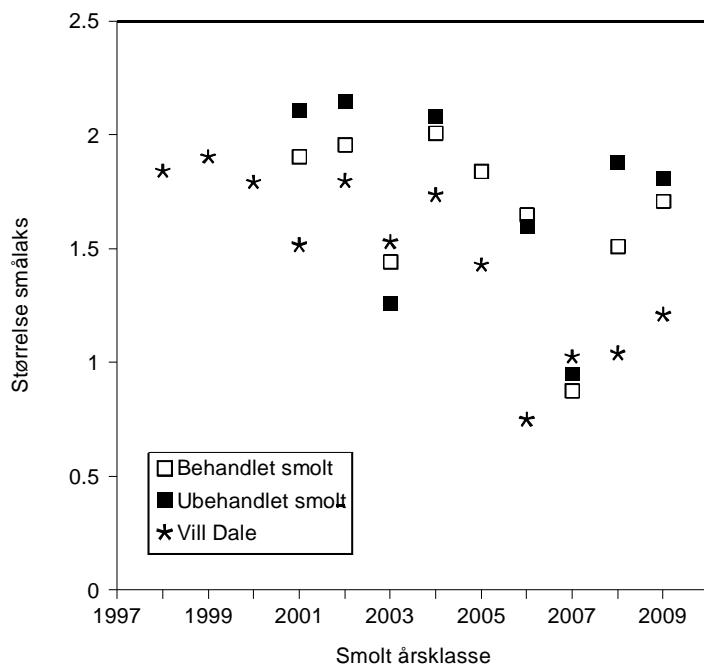
For slippene i Imsa og Talvik viser foreløpige resultater at mens laksesmolt behandlet med komponent EX var betydelig lengre og tyngre da de vendte tilbake, enn ubehandlet smolt, så var det ingen betydelig forbedring i kondisjon. For slippet i Imsa var utvalget av tilbakevandret fisk som ble tatt i fiskefellen i tillegg så stort at man kunne analysere kjønnsmessige forskjeller i undergrupper av behandlet og ubehandlet fisk. I Imsa var behandlede hanner betydelig lengre og tyngre enn kontrollfiskene, men det ble ikke registrert betydelige forskjeller i kondisjonsfaktor. Behandlet hunnfisk var verken betydelig lengre eller tyngre enn kontrollfiskene, derimot hadde tilbakevandrende behandlet hunnfisk betydelig dårligere kondisjon. Økt størrelse og bedre kondisjon kan påvirke fiskens gytesuksess, og dermed også fremtidige generasjoner. Vi må gjennomføre flere forsøk før vi kan trekke endelige konklusjoner.

I Daleelv i Nordhordland har det blitt sluppet laksesmolt behandlet mot lakselus fra og med 2001 til 2009. Antallet har variert mellom 8 000 og 26 000 smolt. Hensikten har vært å estimere hvilken betydning lakselus kan ha på overlevelsen til utvandrende villsmolt, samt å registrere hvordan overlevelsen og veksten i havet varierer mellom ulike år. Tidsserien viser at gjenfangstene av laks sluppet i Daleelv har sunket drastisk fra 2001–2002 fram til slutten av tiåret (figur 8).

Denne utviklingen sammenfaller med at veksten i sjøen har blitt vesentlig redusert (figur 9), og at det har vært en tydelig nedgang i andelen av fisken som kommer tilbake etter ett år i havet i forhold til eldre fisk (figur 8 og 9). Disse trendene støttes også av data fra flere ville laksebestander, og tyder på at begrenset mattilgang det første leveåret i havet har ført til forhøyet dødelighet og forsinket alder ved kjønnsmodning. Det blir antatt at næringsforholdene har vært ugunstige i Norskehavet over flere år.



**Figur 8.** Gjenfangst av voksen laks etter slipp A) i Daleelv eller B) i sjøen utenfor vassdraget av smolt som var behandlet eller ikke mot lakselus før slipp. Dataene oppsummerer flere slipp, antallet slipp gjennom sesongen er angitt i figuren (O. Skilbrei, Havforskningsinstituttet, upublisert).



**Figur 9.** Størrelsen (kg) på gjenfanget smålaks i Daleelv over en 9-årsperiode fordelt på smolt behandlet mot lakselus, ubehandlet smolt samt villaks (O. Skilbrei, Havforskningsinstituttet, upublisert).

Den lave overlevelsen har resultert i begrensede data fra elven fra og med utsetningen i 2005. For å kompensere for dette og øke den totale overlevelsen til smolten har et økende antall smolt blitt slept fra elvemunningen og sluppet direkte i sjø i fjorden eller på kysten fra 2007. Samtidig har metodikken med å bruke Slice som behandling mot lakselus (Skilbrei & Wennevik 2006; Skilbrei mfl. 2008) blitt forbedret. Den aktive substansen ble injisert direkte inn i fiskens bukhule fra 2007 for å oppnå både bedre beskyttelse, og lengre varighet av behandlingen (Glover 2010).

En analyse av gjenfangstene av smolt satt ut i elven fra 2001 til 2009 viser at den store variasjonen fra år til år i gjenfangst og størrelse på smålaksen er statistisk signifikant, men at behandlingene mot lakselus ikke har påvirket resultatene i særlig grad alle årene sett under ett. En separat vurdering av utsettingen i 2002 konkluderer imidlertid med at både vekst og overlevelse var høyere hos den smolten som ble behandlet dette året. Veksten i havet til smolten som ble satt ut i løpet mai måned 2002 var høyest hos behandlet smolt, og overlevelsen fra slippet i juni var i favør av behandlet smolt. Vi tolker dette som at smittepresset av lakselus var høyt nok til å påvirke og redusere veksten til fisken som vandret ut i mai, og ytterligere forhøyet med konsekvenser for overlevelsen til smolten i juni (Skilbrei & Wennevik 2006). Overlevelsen til smolten som ble sluppet direkte i sjø i 2007 ble også tydelig påvirket av lakselus (statistisk signifikant) (figur 8). Denne smolten ble sluppet på kysten 18. juni, relativt seint i sesongen. Verken gjenfangstene (figur 8) eller størrelsen som smålaks (figur 9) av smoltene som ble sluppet i sjøen (i siste halvdel av mai) de to påfølgende årene ble imidlertid påvirket av behandlingene mot lakselus.

Lakselus hadde en klar effekt på overlevelsen i to av de totalt 35 gruppene med smolt som har blitt sluppet, begge fra slipp i juni. Dette kan ha sammenheng med at smittepresset av lakselus antas å øke utover våren og sommeren. Smolt som vandrer seint ut, eller har lang vei ut til kysten, kan i så fall ha større risiko for å bli smittet av lakselus. Det er også mulig at lakselus kan påvirke laksebestander gjennom selektiv dødelighet av ulike fenotyper. Selv om det eksisterer lite data for å belyse slike forhold, så kan forskjellene i gjenfangst i to tilfeller potensielt tolkes som at seint voksende smolt løper større risiko for å bli negativt påvirket av lakselus (Skilbrei & Wennevik 2006, Skilbrei & Holm 2011).

Flere forhold bidrar til at effekten av lakselus blir underestimert i denne type forsøk, som for eksempel at virkningstiden av lakselusmiddel er begrenset, at mange fisk som ble behandlet med Slice nok hadde inntatt lave doser av middelet og at antallet gjenfangster kan bli for lav til å kunne påvise statistiske forskjeller. Resultatene tyder likevel på at lakselus har hatt en mye mindre betydning for smolten sammenlignet med andre forhold som har ført til store variasjoner i både vekst og overlevelse i havet i både dette forsøket og i andre bestander i løpet av de siste ni årene. Dette inntrykket stemmer overens med at påslaget av lakselus på smolt i smoltbur utenfor Osterfjorden, i utvandningsruten til denne smolten, har vært relativt lavt i årene 2007–2009 i forhold til tilsvarende målinger i for eksempel Hardangerfjordbassenget. Det må samtidig understrekes at lakselus hadde påviselig betydning for smolt som ble sluppet i 2002 og i 2007, og at vi ikke vet om smittepresset de andre årene har vært langt unna smoltens ”tålegrense” for lakselus.

## **Avsluttende kommentarer kunnskapssammenstilling av lakselus som populasjonsregulerende faktor hos vill laksefisk**

Siden man begynte å fokusere på luseinfeksjon på laksefisk tidlig på 1990-tallet, har man opparbeidet mye kunnskap om de fysiologiske konsekvensene av lakselus på laksefisk. Vi har brukt informasjon som terskelverdier for antall lus som kan være dødelig eller føre til suboptimale forhold hos laks, sjøørret og sjørøye, til å anslå terskelverdier for vill laksefisk i våre feltundersøkelser. Pågående overvåkning av vill laksefisk viser at smittepresset fra lakselus fremdeles er relativt høyt langs hele norskekysten, spesielt på sjøørret, mens tidlig utvandrende laksesmolt synes å kunne unngå den mest intense økningen i infeksjonspresset (Taranger mfl. 2010). De synkroniserte avlusningene synes å ha forskjøvet økningen i infeksjonspress til noe seinere på sommeren. Laksesmolten, med forbehold om seint utvandrende laksesmolt (seint utvandrende smolt, seint utvandrende bestander og lange utvandningsveier) og enkelte år (som i 2008 i Hardanger), synes derfor å kunne ha unnskluppet de verste infeksjonspulsene de seineste årene.

Dette stemmer også overens med resultater fra lakselusbeskyttet laksesmolt fra Daleelva (2001–2010), og tyder på at andre faktorer enn lakselus har vært viktigere populasjonsregulerende mekanismer de siste årene. Det er imidlertid sannsynlig at det infeksjonspresset vi så hos laksesmolt på slutten av 1990-tallet og begynnelsen av 2000-tallet, for eksempel i Sognefjorden, har hatt et nivå som kan påvirke individer negativt, og sannsynligvis også redusere bestandene. Med de oppdrettsvolumene som nå står i sjøen langs norskekysten, kan vi lett risikere dette på nytt, spesielt dersom lusemidlene slutter å virke. Utvandrende laksefisk, spesielt sjøørret, blir utsatt for relativt høyt smittepress i ytre fjordområder og kystfarvann langs store deler av norskekysten. Dette kan tyde på at den samlede biomassen av oppdrettslaks er så stor at det ikke er nok å oppnå lave lusenivåer på hver enkelt oppdrettsfisk hvis vi ønsker å redusere det totale smittepresset til et bærekraftig nivå. Dersom vi skal oppnå målsettingen mht. lakselus i regjeringens handlingsplan for en bærekraftig oppdrettsnæring, trenger vi derfor trolig både de nasjonale laksefjordene, lavere lusenivåer på hver enkelt oppdrettsfisk og mer optimale avlusingsstrategier.

## **Arbeidspakke 2: Uttesting av nye metoder og validering av eksisterende metoder for å belyse lakselussituasjonen**

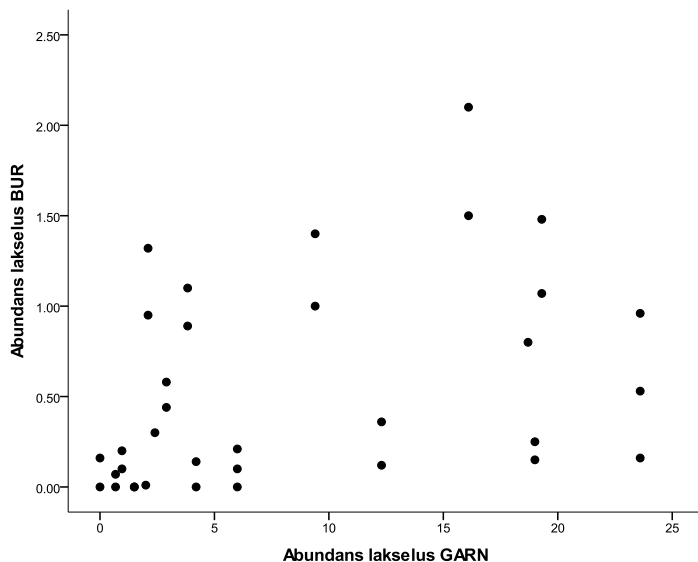
### **Innledning**

Det vitenskapelige råd for lakseforvaltning har i rapport nr 2 (Anon. 2010) gått gjennom metoder for innsamling av lusedata på vill laksefisk. Fundamentale metodiske utfordringer som innsamlingsskjevhet, samt en beskrivelse av garnundersøkelse, undersøkelse av prematur tilbakevandring, trålundersøkelse samt burundersøkelser er gjennomført. Gjennomgangen konkluderer med at innsamling av lusedata på villfisk er en betydelig utfordring ved at man risikerer å få skjevhet i materialet. Dette kan oppstå ved at man ikke greier å samle inn fisk som enten har dødd av infeksjonen eller vandret prematurt tilbake til ferskvann (Anon. 2010). Dersom det er betydelig dødelighet eller tilbakevandring til ferskvann, vil dette kunne føre til at infeksjonsnivået i innsamlet materiale vil bli underestimert. For å bøte på dette har pågående overvåkningsprogram av lakselusinfeksjonen på vill fisk i områder med og uten oppdrettsaktivitet (Bjørn mfl. 2010ab), som oftest basert seg på et sett av metoder – garnundersøkelser, trålinger, burforsøk samt undersøkelser av prematurt tilbakevandrende fisk til ferskvann. Benyttet av kvalifisert personell og i henhold til standard protokoller konkluderes det med at dette likevel er gode metoder. Det presiseres imidlertid at det ofte er den samlede vurderingen og analysen av alle disse metodene som gir det mest robuste bildet av lusesituasjonen hos vill fisk i en fjord eller i en region (Bjørn mfl. 2010ab; Taranger mfl. 2010). Se det vitenskapelige råd for lakseforvaltning rapport nr 2 (Anon. 2010) for en nærmere beskrivelse av disse metodene.

Vi må likevel med større sikkerhet vite at de metodene vi benytter for overvåkning og telling av lus på vill laksefisk er tilstrekkelig gode og presise. Vi må for fremtiden også sikte mot å utvikle ”standardiserte” indirekte metoder som ikke krever fangs av vill laksefisk. Det siste er spesielt krevende. Det har vært benyttet mange indirekte metoder, for eksempel innsamling av planktoniske lakseluslarver med forskjellige typer planktonhåver eller ved hjelp av ”vaktbur” med utsatt laksesmolt. I noen tilfeller har disse metodene også vært benyttet samtidig i tid og rom med at det har blitt samlet inn materiale av vill laksefisk. For å validere alle benyttede eksisterende metoder opp mot hverandre, har vi gjennomgått og reanalysert dette materialet. I tillegg har vi gjennomført flere nye forsøk, både i felt og på laboratoriet, for ytterligere å validere eksisterende og teste nye metoder for å belyse lakselussituasjonen hos vill laksefisk.

### **Gir eksisterende metoder et robust og sammenfallende bilde av årlig variasjon i lakselus-situasjonen: Hardangerfjorden som modellsystem 2004–2010**

Til tross for at Bjørn mfl. (2011) finner en god overensstemmelse mellom infeksjon på laksesmolt i bur og på vill sjøørret i Romsdalsfjorden, viser en foreløpig utvida analyse av komplementære bur-/garnlokaliteter langs norskekysten 2007–2010 at disse resultatene preges av stor variasjon (figur 10) og ingen klare sammenhenger (Pearson correlation,  $p > 0,05$ ).

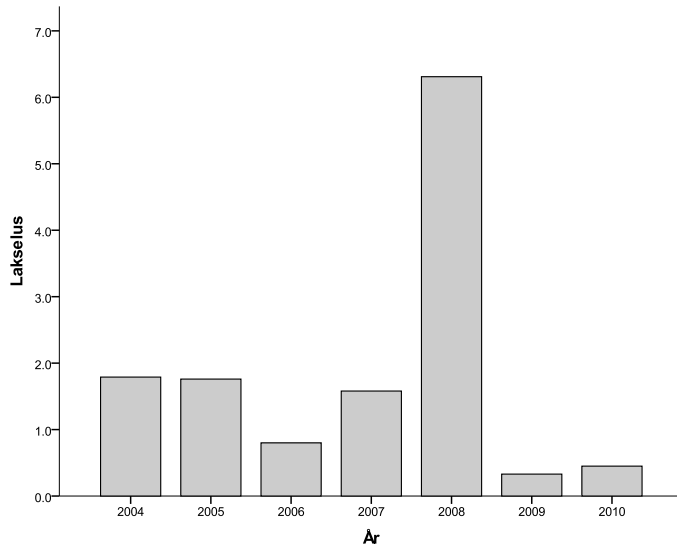


**Figur 10.** Sammenhengen mellom abundans lakselus i garn og bur satt på omtrent samme sted og tid.

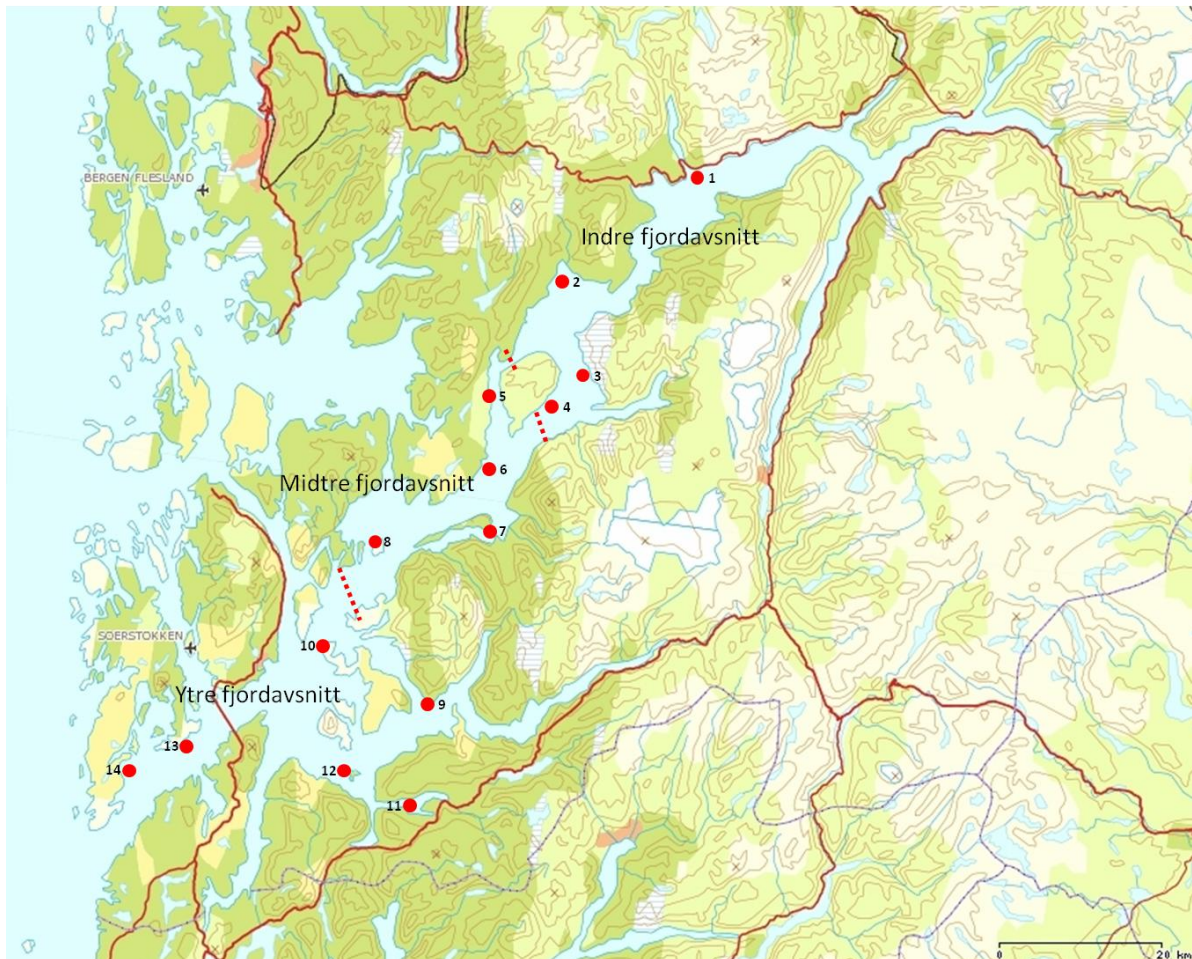
Dette kan skyldes at disse studiene i utgangspunktet ikke var designet for å avklare slike sammenhenger, og at for få bur eller for lang avstand mellom bur- og garnlokalitetene ble benyttet. Det er derfor nødvendig å studere dette nærmere i et modellsystem der datagrunnlaget er bedre. Lakselussituasjonen i Hardangerfjorden har vært overvåket med alle metodene beskrevet ovenfor i perioden 2004–2010; prematur tilbakevandring, garn- og trålundersøkelser og burstudier. Data over biomasse og antall lus i oppdrettsanlegg har også blitt samlet inn. I tillegg har det fysiske miljøet i hele Hardangerfjordsystemet blitt grundig undersøkt.

Lakselusregistreringer av trålfanget laksesmolt og sjørret samt garnfanget sjørret viser at infeksjonstrykket har variert mellom år i hele undersøkelsesperioden (se figur 5 og 7). 2008 og 2010 skiller seg ut med høy infeksjon på vill laksefisk, spesielt i midtre og ytre deler av Hardangerfjordsystemet, mens infeksjonstrykket i 2009 var lavere. Burundersøkelsen, når man ser samlet på alle burene i hele fjordsystemet, viser at 2008 var et år med høyt infeksjonstrykk (figur 11). I 2010 var også infeksjonstrykket på burfisk høyt, men det kom senere på sommeren (figur 13). Burundersøkelsen fra 2009 viser lavere infeksjonstrykk på tilsvarende måte som trål og garnundersøkelsen.

Oppsummert kan det derfor relativt sett se ut som om det er en brukbar overensstemmelse mellom vill sjørret og laksesmolt fanget med garn og trål og burundersøkelsen, i hvert fall fra år til år, og når man har et tilstrekkelig antall bur og villfiskundersøkelser i fjordsystemet, slik som i Hardangerfjordsystemet.



**Figur 11.** Gjennomsnittlig mengde lakselus (abundans) på all burfisk i alle bur i Hardangerfjordsystemet 2004–2010. I 2010 er kun burdata fra de to første utsettene benyttet for å få dette sammenlignbart med forutgående år. Økningen i infeksjonstrykket utover sommeren er ikke registrert (se figur 13).



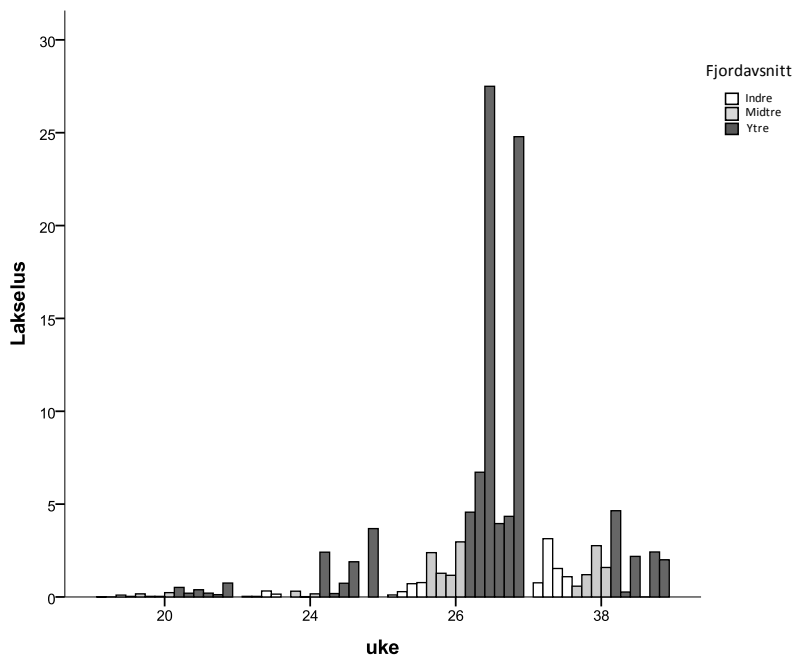
**Figur 12.** Kart over burutsett i Hardangerfjorden 2010. Burene er nummerert fra innerst til ytterst. Fjorden er delt inn i tre soner. Trålingene er stort sett gjort i ytre og midtre sone. Garnundersøkelsene er gjort i Granvin (indre), Rosendel (midtre, også ruse) og i Etne (ytre).



## Evaluering av eksisterende overvåkningsmetoder: Gir eksisterende metoder et robust og sammenfallende bilde av sesongvariasjon og romlig variasjon i lakselussituasjonen: Hardanger-fjorden som modellsystem 2010

### Variasjon gjennom året

Havforskningsinstituttet og NINA økte innsatsen i Hardangerfjordsystemet i 2010 for også å dekke variasjonen gjennom sesongen. Vill sjøørret ble fanget inn i en utvidet garnundersøkelse også om vinteren og høsten, i tillegg til om sommeren. I tillegg ble det satt ut bur på standard lokaliteter i Hardangerfjorden (figur 12) gjennom flere påfølgende perioder (juni, juli, september). Resultatene viser at det var lavt infeksjonstrykk i Hardangerfjorden i mai måned (uke 19–21), økende i juni (uke 23–26), sterkt økende i juli (uke 26–29), og også høyt i september (figur 13).



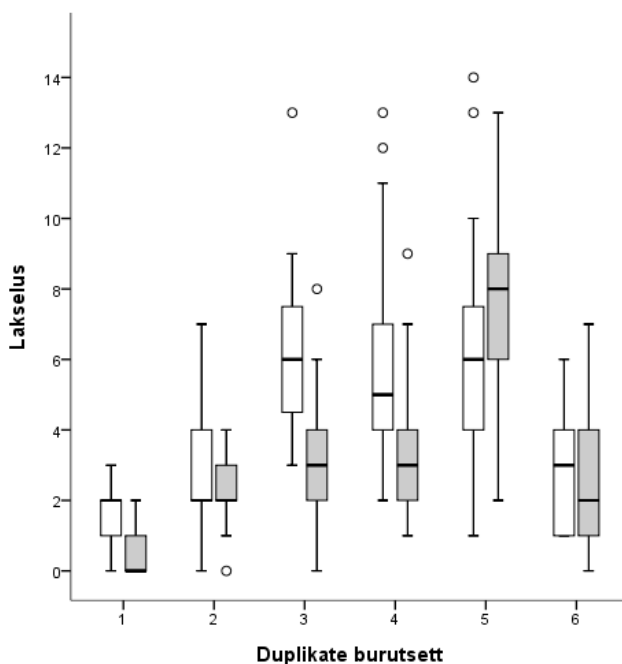
**Figur 13.** Gjennomsnittlig lakselusinfeksjon i alle burene oppstilt fra indre (bur 1) til ytre (bur 14) fjord i runde 1-4 i Hardangerfjordsystemet 2010.

Figur 13 gir i tillegg informasjon om forskjell i infeksjon mellom bur i indre til ytre fjord. Vi ser at det er stor variasjon mellom burene i fjordsystemet. Når man ser alle burene under ett, er det imidlertid også tendenser til et mønster. I de tre første rundene (mai, juni, juli) virker det som om det er relativt mindre lus på burene i indre fjord, mens det er betydelig høyere infeksjon i spesielt ytre men også i midtre deler av fjorden (Kruskal-Wallis tests,  $p < 0,05$ ). På høsten er det en tendens til en noe mer jevn infeksjon gjennom større deler av fjordsystemet, og en økende infeksjon innover i fjorden (figur 13).

Begge hovedtendensene i burstudien i Hardangerfjorden i 2010, både tendensen til økende infeksjon utover sommeren med en tilsynelatende topp midt på sommeren, spesielt utover fjorden, deretter lavere utover høsten, stemmer relativt bra overens med garnundersøkelser av vill laksefisk i Hardangerfjorden sommeren 2010. Første og andre garnfiskeperiode ble gjennomført tidlig på vinteren 2010 (februar og mars) i midtre del av Hardangerfjorden (figur 14). Infeksjonen hos vill sjøørret var da meget lav og dominert av voksne stadier. I slutten av



Resultatene viser at vi finner variasjoner mellom selv nærstående bur. I Hardangerfjorden ble det totalt undersøkt infeksjonstrykk i 13 duplikate bur. I 7 av disse var infeksjonen lik eller tilnærmet lik null, og disse er derfor ikke tatt med i videre analyser. I de 6 resterende duplikatbur ble det funnet en signifikant forskjell i infeksjonen i 4 tilfeller (utsett 1, 3, 4 og 5; Mann Whitney tests,  $p < 0,05$ ) (figur 15). Selv om 4 av 6 duplikater viser en forskjell i infeksjonen er det likevel et tydelig mønster mellom indre og ytre fjordavsnitt (figur 13). Såfremt burene benyttes for å fange opp forskjeller mellom områder som ikke er for nært hverandre, virker det som om flere enkeltstående bur kan benyttes. Dette er i overensstemmelse med Bjørn mfl. (2011), som også konkluderer med at bur fungerer som metode for å undersøke forskjell mellom områder, for eksempel fjorder eller fjordavsnitt.



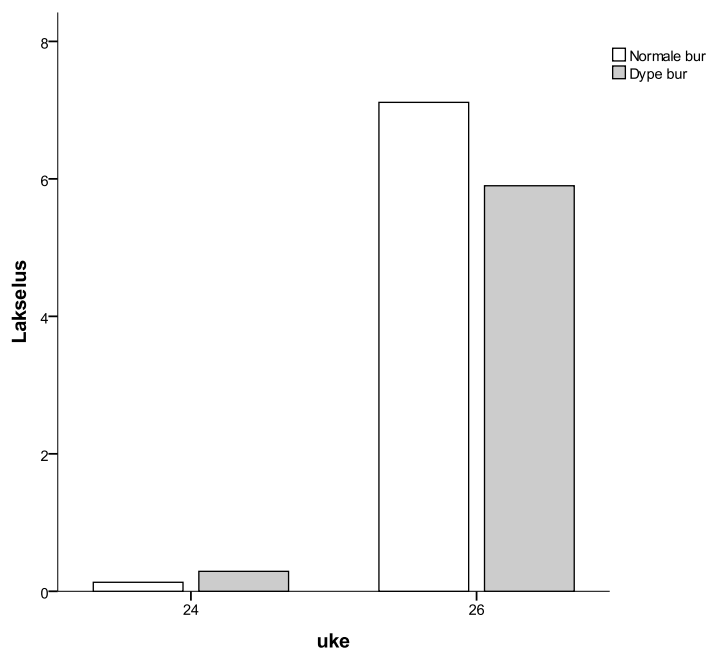
**Figur 15.** Lakselusinfeksjon i 6 duplikate burutsett i Hardangerfjordssystemet i 2010.

Innenfor den nasjonale laksefjorden i Etne, der vi fra tidligere vet at infeksjonstrykket ofte er høyt (Bjørn mfl. 2009), har vi i tillegg satt et ekstra dypt bur like ved siden av de to parallelle burene av normal dybde. Dette har vi gjort både i juni og i juli. Resultatene viser ingen konsistent forskjell mellom normale og dype bur (Figur 16) (Mann Whitney tests,  $p > 0,05$ ), og at alle burene fanger opp økningen i infeksjonstrykk utover sommeren som vi også så på vill sjørørret.

**Garnfanget sjørørret som indikator: Gir garnfanget sjørørret et tilstrekkelig robust og sammenfallende bilde av lakselussituasjonen i forhold til reell infeksjon: Hardanger-fjorden som modellsystem 2010**

Garn fanger selektivt på fisk av en viss størrelse. I overvåkningsprogrammet av lakselusinfeksjon har små, helst førstegangsutvandrende, sjørørret blitt benyttet som indikator over infeksjonstrykket av lakselus. Mindre sjørørret beveger seg vanligvis ikke langt fra hjemme-

elven sin i løpet av sjøoppholdet (Finstad & Bjørn, 2011). De er derfor ansett å være en god indikator over lokalt infeksjonstrykk. I tillegg antar vi at mindre fisk er ekstra sårbar for fysiologiske forstyrrelser på grunn av lus (Finstad & Bjørn, 2011), selv om nye studier også viser at også større fisk kan være sterkt utsatt (Tveiten mfl. 2010). Garnundersøkelsen er derfor sammensatt til hovedsakelig å fange små førstegangsutvandret sjøørret ved at det benyttes finmaska garn (21 mm). I tillegg benyttes det av og til noen større garn for også å fange et lite utvalg av andre årsklasser. 21 mm er ofte en nedre grense for hvor finmasket garn man kan benytte i sjøen. Vi har tidligere prøvd med 16 og 19 mm garn. Erfaringene var at de var vanskelig å få til å fiske effektivt på grunn av tang, begroing og ofte periodevis sterk strøm i fjord og kystfarvann (figur 17).



**Figur 16.** Forskjell i lusmengde på normale og dype bur i Etnefjorden i Hardanger i 2010.



**Figur 17.** Garn kan periodevis være vanskelig å benytte på grunn av mye strøm og skitt i sjøen.

Resultatet er at vi i mange tilfeller ikke greier å fange den minste, og kanskje mest sårbare, sjøørreten. I tillegg har det vært stilt spørsmålsteget om garn på en god nok måte fanger svekket, og derav mindre mobil, fisk. Andre bekymringer ved garn er at fisken enten mister lus når den spreller for å komme ut av garnene, eller at den dør på garnet. Det siste skjer spesielt dersom garnene blir stående for lenge i sjøen, og er forsøkt motvirket ved at vi røkter garnene kontinuerlig. Se for øvrig Anon (2008, 2009) for utvidet diskusjon av garn som metode ved lakselusundersøkelser.

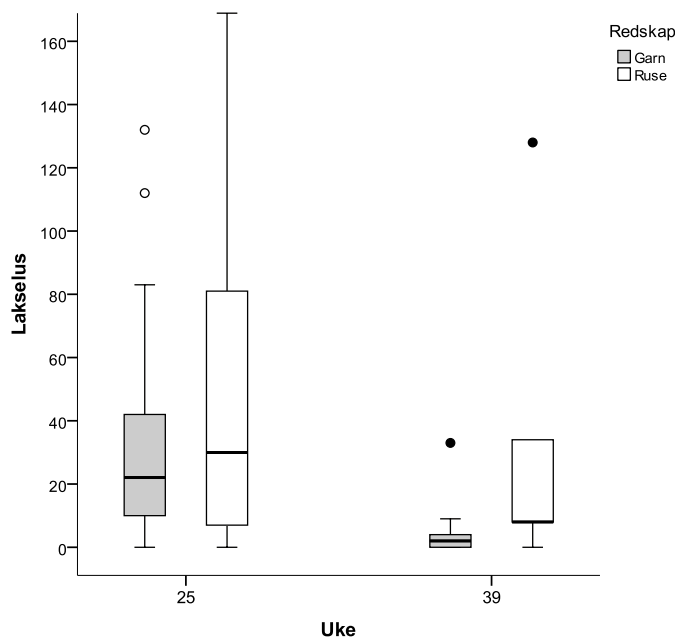
De siste årene har UNI-Miljø, i samarbeid med en lokal produsent, utviklet en ruse for levendefangst av sjøørret i sjøen. Rusen er i bunn og grunn en tradisjonell fersvannsruse, med ledegarn, fangstvinger, fangstkammer og oppbevaringskammer (figur 18) som er tilpasset for å kunne fange små (og store) sjøørret levende. Ved tømning av rusen kan sjøørreten bedøves, lakselus kan registreres, og deretter gjenutsettes. Det er derfor også en relativt skånsom metode som kan benyttes i områder med svake sjøørretbestander.



**Figur 18.** Oversiktsbilde av ruse som kan benyttes til levendefangst av sjøørret. Ledegarn går fra land til firkant, og fangstvinger strekker seg ut mot hver side. Fangstkammer er montert pelagisk ved ytterste blåse. Foto: Rune Nilsen, Havforskningsinstituttet.

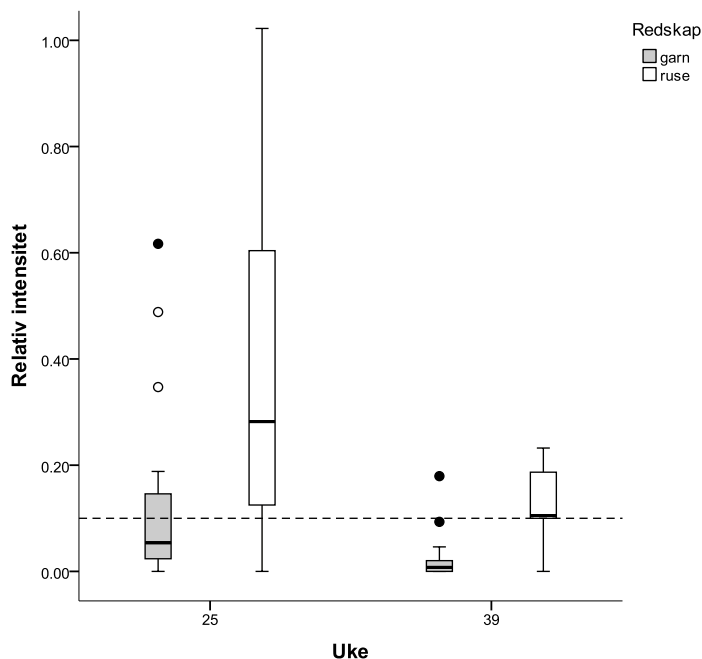
Sommeren 2010 ble sjøørretrusen testet på garnlokaliteten vår i midtre Hardangerfjord (Rosendal) samtidig med at vi samlet inn sjøørret med garn i samme område og til samme tid. Prøvefiskerunde én ble gjennomført i slutten av juni (uke 26), og prøvefiskerunde to ble gjennomført i slutten av september (uke 39). I begge tilfellene stod rusen ute i tre dager mens garnfisket pågikk i samme område.

Resultatene fra uke 25 viser at begge metodene er velegnet til å fange sjøørret. I denne perioden (juni) er det normalt mye sjøørret i sjøen, og fisken beveger seg også relativt mye og er aktivt på næringsøk i strandsonen. Det ble totalt fanget 22 sjøørret på garn, mens rusen fanget 30 sjøørret. Det var ingen forskjell i lusemengden tatt på sjøørreten i garn og sjøørreten i ruse (Mann Whitney test,  $p < 0,05$ ), selv om det var en tendens til at det var noe mer lus på rusefiskene. I uke 39 (slutten av september), ble det kun fanget 5 sjøørreter i rusen, mens det ble fanget 17 med garn. Fisket i denne perioden var imidlertid betydelig vanskeligere, og garnlaget måtte flytte garnene mye og generelt fiske svært aktivt og med stor innsats for å fange et såpass høyt antall. Heller ikke i september var det forskjell i lusemengde mellom sjøørret fanget i garn og ruse (Mann Whitney test,  $p < 0,05$ ), men også nå var det en tendens til noe mer lus på de få rusefangede fiskene (figur 19).



**Figur 19.** Lakselus hos sjøørret fanget i garn (grå) og ruse (åpen) i midtre Hardangerfjord sommeren 2010.

Vi finner at rusefanget sjøørret var betydelig mindre enn garnfanget sjøørret. Garnfanget sjøørret hadde i juni en gjennomsnittsvekt på  $425 \pm 387$  g, range 82–1438 g, og kun 9 % av fisken var mindre enn 100 g. Rusefanget sjøørret hadde en gjennomsnittsvekt på  $233 \pm 372$  g, range 14–1492 g, og 63 % av fisken var mindre enn 100 g. I september hadde garnfanget sjøørret en gjennomsnittsvekt på  $205 \pm 132$  g, range 75–664 g, og kun 6 % var mindre enn 100 g. Rusefanget sjøørret hadde en gjennomsnittsvekt på  $210 \pm 196$  g, range 76–551 g, og 40 % var mindre enn 100 g. Dersom man ser på lus per vektenhet på henholdsvis garn og rusefanget sjøørret, fører dette til at rusefanget fisk har en signifikant høyere lusebelastning per vektenhet enn garnfanget fisk i begge undersøkelsesukene (Mann Whitney tests,  $p < 0,05$ ) (figur 20).



**Figur 20.** Relativ intensitet av lus (lus per gram vektenhet) hos garnfanget (grå) og rusefanget (åpen) sjøørret i Hardangerfjorden sommeren 2010.

Oppsummert er begge metodene velegnet for å fange sjøørret i sjø. Garn kan tenkes å fungere noe bedre når det er lite fisk i sjøen, de er spredt over større områder, eller beveger seg lite. Imidlertid fanger garnene større fisk, selv når man fisker med kun 21 mm maskevidde enn rusene, og garnene er ikke i stand til å fange den aller minste sjøørreten. Såfremt man røker garnene kontinuerlig og fanger fisk av samme størrelse ser garnene imidlertid ikke ut til å underestimere lusemengden på frittsvømmende fisk i betydelig grad. Men, den aller minste sjøørreten blir ikke fanget i garn, og mange av disse var svært høyt infisert med lakselus. Konsekvensene av infeksjonen, målt som % mengde fisk med mer enn 0,1 lus, kan derfor ha blitt underestimert betydelig. For eksempel vurderes opp mot 75 % av sjøørreten i ruse-materialet i uke 25 til å ha mer enn anbefalt lusebelastning, og dermed være langt over antatt grenseverdi for en bærekraftig havbruksnæring (Taranger mfl. 2010). I garnfanget sjøørret vurderes bare så vidt over 30 % å ha det samme. Dersom disse resultatene er representative for større deler av norskekysten som vi overvåker med garnundersøkelser, kan konsekvensene av lakselusinfeksjonen på lokale sjøørretbestander ha blitt betydelig underestimert.

### Studier av adferd og miljøpreferanse hos lakseluslarver

Kan økt kunnskap om adferd og miljøpreferanser til pelagiske lakseluslarver forbedre smitte modeller for intensive oppdrettsfjorder (resultater fra J. Bengtson 2011)

Spredningen av lakselus gjøres i de pelagiske fasene av lakselusens livssyklus (nauplier og kopepoditt). Kunnskapen om de pelagiske stadiene er imidlertid begrenset, særlig om vertikal fordeling og vertikal adferd. Saltholdighet og lys er to faktorer som man mener påvirker vertikal vandring og fordeling til lakseluslarver. Dette er derfor også nøkkelfaktorer for å kunne utvikle bedre modeller for spredning og transport av luselarver, og er spesielt viktig for modellering av fjordene, som har store forskjeller horisontalt og vertikalt av strøm og saltholdighet. Bedre forståelse av hvordan saltholdighet, lys og mørke påvirker vertikal vandring og adferd til lakseluslarvene vil gi bedre inngangsdata til numeriske fjordmodeller og dermed også bedre mulighet for å beregne spredningen, og implementere bekjempelses-

tiltak mot lakselus. Mange studier har arbeidet med lakselus og saltholdighet, men resultatene er ofte sprikende. Formålet med dette studiet er å bringe opp ny kunnskap om effekten av saltholdighet, lys og mørke på adferden til lakseluslarver i stor skala og i en saltgradienten som etterligner det man ser i fjordene.

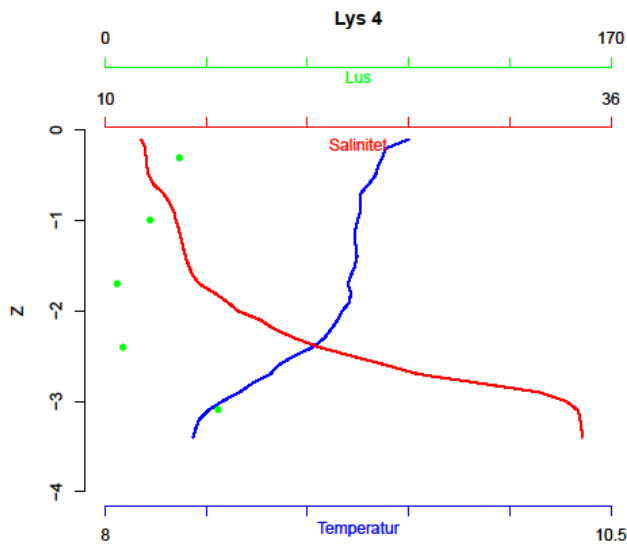
Laboratorieforsøk av vertikal lakselusadferd i en saltgradient er gjennomført i to siloer (figur 21), hver på  $4,7 \text{ m}^3$  (Bengtsen 2011). Siloene hadde en diameter på 150 cm i toppen og en dybde på 400 cm. Saltgradienten ble laget ved at siloene ble fylt opp med sjøvann med en saltholdighet på 34,8 og en temperatur på  $8,3 \text{ }^\circ\text{C}$ . Vannet ble tilsatt siloen fra bunnen. Etter oppfylling ble en gradientstang puttet i siloen. Gradientstangen består av et 40 mm tykt, regelmessig perforert rør med en lengde på over 300 cm. Ferskvann kommer ut av hullene i gradientstangen og lager en glidende vertikal saltgradient i siloen. Gradienten kommer langsomt til uttrykk og etter 24 timer er det blitt dannet en glidende gradient mellom den ønskede saltholdigheten i overflaten (ca. 10) og i bunnen av siloen (ca. 35). Lakseluslarvene ble deretter tilsatt siloene i gjentatte replikater, gitt 12 timer for stabilisering og deretter høstet for å registrere preferanse i lys og mørke (se Bengtsen 2011 for detaljer).



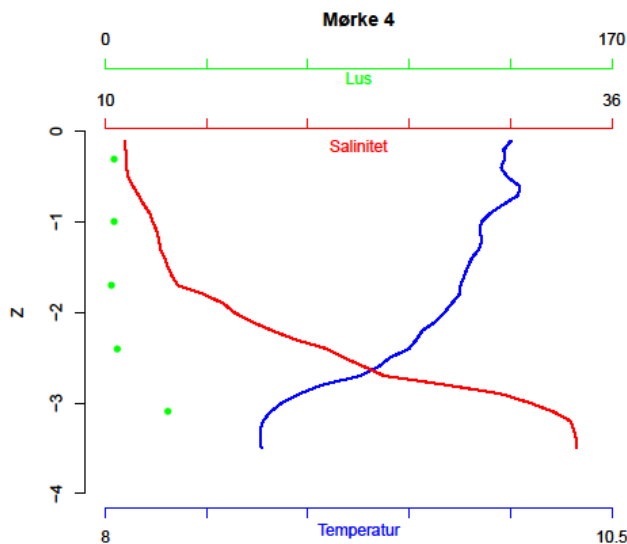
**Figur 21.** Skisse av siloen som ble benyttet i forsøkene (diameter 150 cm i toppen, dybde 400 cm). Saltgradienten ble laget ved at siloene ble fylt opp med sjøvann og en gradientstang med ferskvannstilførsel puttet i siloen (glidende vertikal saltgradient ca. 10 i overflaten og ca. 35 på bunnen).

Resultatene viser at det ble funnet planktoniske stadier av lakselus i alle replikatene ved overflaten, altså ved de laveste saltholdighetene med verdi mellom 10 og 15. Det ble også funnet økende antall planktoniske stadier med økende saltholdighet, noe som også var statistisk signifikant (figur 22, replikat 4 lys). Resultatene fra de forskjellige replikatene i mørket antyder også at det er en økning i antallet planktoniske stadier mot det salte bunnvannet (figur 23, replikat 4 mørke), selv om denne ikke kunne vises statistisk, sannsynligvis på grunn av metodiske problemer (se Bengtsen 2011, for detaljer). I replikatene med lys synes de planktoniske stadiene å være mer tilfeldig fordelt i vannsøylen. Dette støttes av to bunnprøver som ble tatt ved replikant Mørke 4 samt kontrollen for mørke, hvor det ble funnet henholdsvis 9660 og 8400 lus i 60 liter vann. Det er derfor mulig at mange lus ikke ble funnet i mørket, fordi de var helt på bunnen av siloen og nedenfor nederste målepunkt.





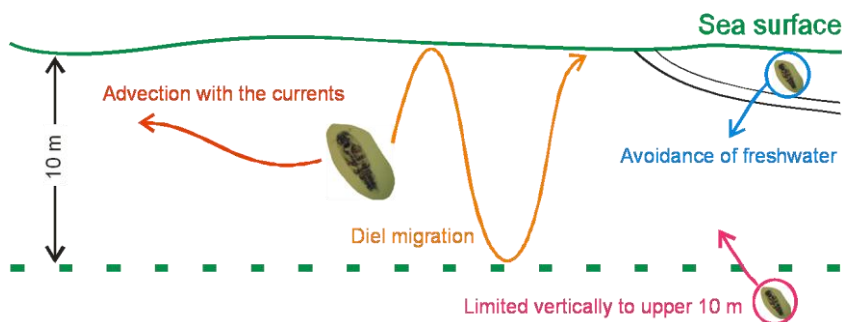
**Figur 22.** Vertikalprofil av saltholdighet, temperatur og antall fangede lakselus i eksperiment Lys 4. 25 000 planktoniske lakseluslarver ble tilsatt siloen. Fangsteffektiviteten var 10,77 %.



**Figur 23.** Vertikalprofil av saltholdighet, temperatur og antall fangede lakselus i eksperiment Mørke 4. 30 000 planktoniske lakseluslarver ble tilsatt siloen. Fangsteffektiviteten var på 2,63 %.

Det er fortsatt mange usikkerheter omkring lakseluslarvenes preferanser for saltholdighet, lys og mørke. I tillegg har mange av undersøkelsene gitt sprikende resultater. Bricknell mfl. (2006) fant redusert overlevelse hos kopepoditter ved saltholdighet på 29, og at de unnviker saltholdighet på 27. Tucker mfl. (2000) fant ulik overlevelse i forskjellig saltholdighet ved forskjellig temperatur. Johnson & Albright (1991) konkluderte med at kopepoditter overlever mindre enn én dag ved saltholdighet på 10. Genna mfl. (2005) antyder at den beste saltholdigheten for kopepoditter ligger på 35. Heuch (1995) fant flest kopepoditter ved saltholdighet omkring 20 i lys, men også kopepoditter ved en saltholdighet på mellom 15 og 17. Dette studiet fant planktoniske lakseluslarver i alle replikatene ved saltholdigheter på omkring 10–12. I tillegg viste Lance (1963) at *Acartia bifilosa* kunne vende seg til lavere og lavere salinitet og derved flyttet den dødelige grense fra 0–20 % sjøvann til 0–5 % sjøvann. Kroppsvæsken til lakselus er blitt målt til å være iso-osmotisk til sjøvann, og i sjøvann er lakselusa osmokonform (varierer konsentrasjonen av kroppsvæsken i samme forhold som omgivelsene) (Hahnenkamp & Fyhn, 1985). Dette viser at det ikke er så enkelt å beskrive preferansene for saltholdighet og dødelighet av denne, og at luselarver kanskje kan fungere

greit helt ned i saltholdighet på 12 (ofte et brekkpunkt i cellevolumregulering) så lenge de får tid til å tilpasse seg lavere saltholdighet. Det er imidlertid likevel ett fellestrekk ved alle disse undersøkelsene: antallet av lakseluslarver øker som oftest med økende saltholdighet. De ser dermed ut til å foretrekke sjøvann, men å sette en bestemt nedre grense for saltholdighet synes ikke å være mulig på basis av den litteraturen som er på området i dag. Flere av de ovennevnte studier beskriver også vertikal vandring i forhold til lys og mørke, og dette synes å være riktig. Hvis man ønsker å definere en eksakt nedre grense for saltholdighetspreferanse hos lakselus er flere studier nødvendig. Temperatur, tilvenning, lys og mørke og tilstedeværelsen av en glidende gradient er faktorer som ser ut til å spille inn på den nedre grense for saltholdighet. Det vil derfor være viktig at nye studier tar disse faktorene med i betraktning. Inntil videre kan det vurderes å forandre grenseverdien for larvenes unnvikelse av ferskvann til 12, for på den måten å kunne utvikle enda mer presise spredningsmodeller i fjorder (figur 24). Det vil også være mulig å modellere adferd slik at lakselusa unngår større endringer i saltholdighet uten at det kobles til noen absolutt verdi. Hvor stor denne endringen eventuelt skal være, er ikke kjent.



**Figur 24.** Adferdsmodell for lakselus som benyttes i spredningsmodeller (etter Asplin mfl. 2011).

### Gir strøm og smittmodeller et robust estimat av smittedynamikken i intensive oppdrettsfjorder? Foldafjorden i Nordland som modellsystem i 2009 og 2010 (resultater fra A. Svedberg 2011)

Å modellere spredning av lakselusas tre første planktoniske stadier kan gi oss både kvalitativ og kvantitativ informasjon om smittepresset villfisk opplever. Vi kan også finne betydningen ulike kilder har for distribusjonen av planktonisk lakselus i en region. Målet med spredningsmodellering er å levere resultater til en kvantitativ bæreevnemodell i et område for lakselus, særlig i forhold til ville fiskebestander.

Havforskningsinstituttet har, som et av ganske få miljøer internasjonalt, gjort sprednings-simuleringer av lakselus i ca. 10 år (Asplin mfl. 2011). I Norge gjøres noe lakselusmodellering av Sintef (Bjørn mfl. 2005) og ellers er det litt modelleringsaktivitet i Skottland og Canada (Amundrud & Murray 2009). Det er rimelig å hevde at lakselusmodeller fortsatt er i en utviklingsfase.

En kritisk faktor for lakselusmodellering er at miljøinformasjonen er god. Det vil si at strøm, saltholdighet og temperatur er godt beskrevet i rom og tid. Vi vet for lite om atferden til lakselusa i de tre første livsstadier, som er de som modelleres. Vi kjenner heller ikke til hvordan lakseluskopepoditter faktisk finner en vert, om det er en tilfeldig prosess med veldig få suksessfulle individer, eller om det foregår en mer strategisk adferd som sikrer at flere lakselus faktisk overlever de planktoniske stadiene ved å finne en vert. Ved tolkningen av

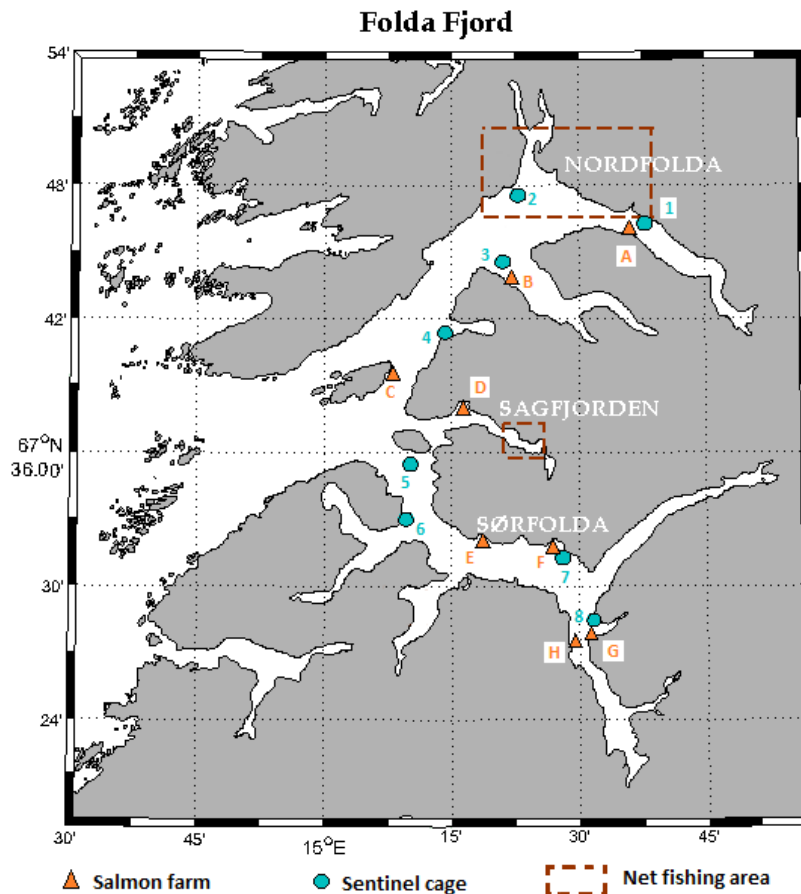
resultatene vil det også være en forskjell dersom en prøver å beskrive transport av lakselus fra oppdrettsanlegg til oppdrettsanlegg eller fra oppdrettsanlegg til vill laksefisk, der fiske-tettheten vil utgjøre en stor forskjell.

Beregningen av strøm og hydrografi gjøres med et fjordmodellssystem som er implementert ved Havforskningsinstituttet. Havmodellen ROMS (<http://myroms.org>) løser de såkalte primitive ligningene for hydrodynamikken i en fjord der en tar hensyn til bevaring av masse, momentum, salt og temperatur, samt realistisk bunntopografi og jordrotasjon. ROMS benytter et tredimensjonalt beregningsgitter som i dette tilfellet har 200 m oppløsning horisontalt. I vertikalen benyttes 35 terrengfølgende s-koordinater med særlig høy oppløsning (gitter-avstand < 1m) i de øvre ca. 10 m hvor lakselusa driver.

Drivkrefter og randverdier for ROMS kommer fra ulike kilder, og kvaliteten på disse vil være viktig for kvaliteten på resultatene for strøm og hydrografi. Vind og solinnstråling hver 6. time er beregnet særskilt med en mesoskala atmosfæremodell WRF (Dudhia 1993). Tidevann og innstrømning gjennom den åpne randa i fjordmunningen kommer hver time fra kystmodellen NorKyst-800 (Albretsen mfl. 2011). Elveavrenning er sammenstilt av data fra NVE som døgnverdier. Resultatene for strøm og hydrografi fra fjordmodellsystemet lagres hver time i tre dimensjoner for bruk i lakselusmodellen.

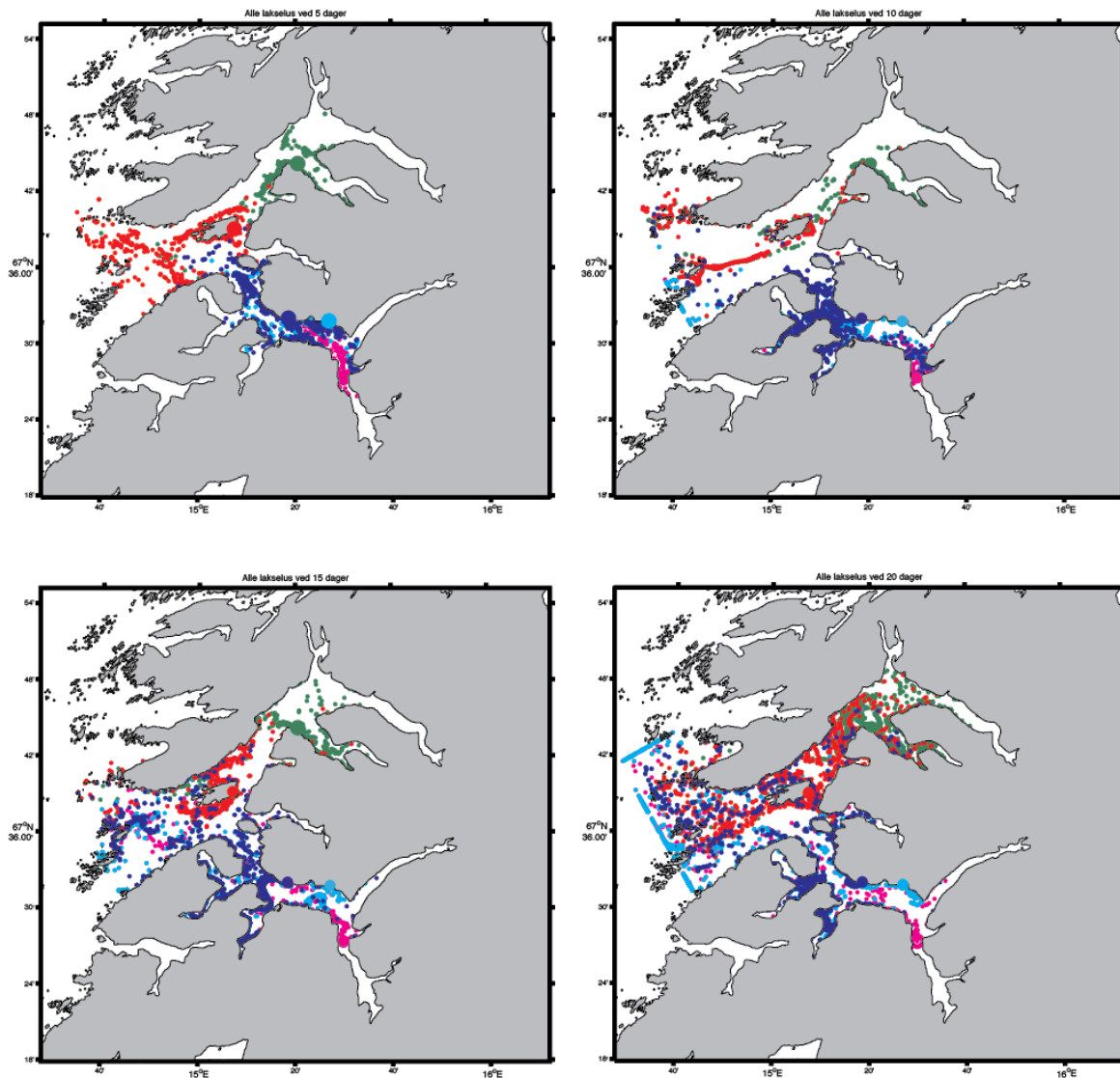
En sprednings- og vekstmodell for lakselus beregner posisjonene for lakselus fra de ulike definerte kildene gjennom simuleringen (Ådlandsvik & Sundby 1994; Asplin mfl. 2011). Lakselusmodellen leser inn strøm og hydrografidata en gang i timen, og interpolerer internt med et beregningssteg på 180 sekunder. Partiklene advekteres med den horisontale strømkomponenten i posisjonen den har, mens den vertikalt gis en liten tilfeldig hastighet. Lakselusas adferd foregår bare i vertikalen, og er modellert slik at den har en døgnvandring der den svømmer mot overflaten (lyset) om dagen og nedover om natten. Vi har valgt å begrense det nedre dypet til lakselusa til 10 m siden vi primært studerer påslaget på vill laksefisk som hovedsakelig oppholder seg i dette området. Vi gir også lakselusa en forflytning nedover dersom omgivelsessaltholdigheten er under 20 (se figur 24). Fra omgivelsestemperaturen beregner vi lakselusas alder i form av døgngrader. Ulike eksperimenter har vist at en tilnærmet varighet av lakselusas to første nauplii-stadier er ca. 50 døgngrader (Stien mfl. 2005), mens kopepodittstadiet er tilnærmet mellom 50 og 150 døgngrader (Asplin mfl. 2011).

Eksperimentene i Folda simulerte spredning av lakselus fra fem ulike kilder i perioden 25. juni–20. juli 2009. Vi benyttet timeverdier av realistisk strøm og hydrografi beregnet av fjordmodellsystemet. Utslippspunktene var tilnærmet der oppdrettsanleggene B, C, E, F lå (figur 25). Dessuten var anleggene G og H slått sammen til ett utslipp midt mellom de to. Anleggene slapp ut nye lakselus en gang i timen, slik at det stadig ble flere i omløp. Vi holdt hele tiden orden på alderen de hadde i form av døgngrader. Basert på informasjon om lakselusmengde i oppdrettsanleggene i 2009 gjorde vi et forenklet, men likevel relativt realistisk estimat på hvor mye lakselus som slapp ut fra de ulike kildene. Bemerk at vi ikke kunne simulere det totale antallet lakselus som ble sluppet ut, men at vi ønsket å ha en relativ balanse mellom de ulike kildene. Dermed slapp vi ut 6 lakselus/time fra anlegg B, 10 lakselus/time fra anlegg C og E, 4 lakselus/time fra anlegg F og 2 lakselus/time fra anleggene G+H (figur 25).



**Figur 25.** Kart over studieområdet i Folda. Oppdrettsanleggene er avmerket med bokstaver og bur med tall (etter A. Svedberg 2011).

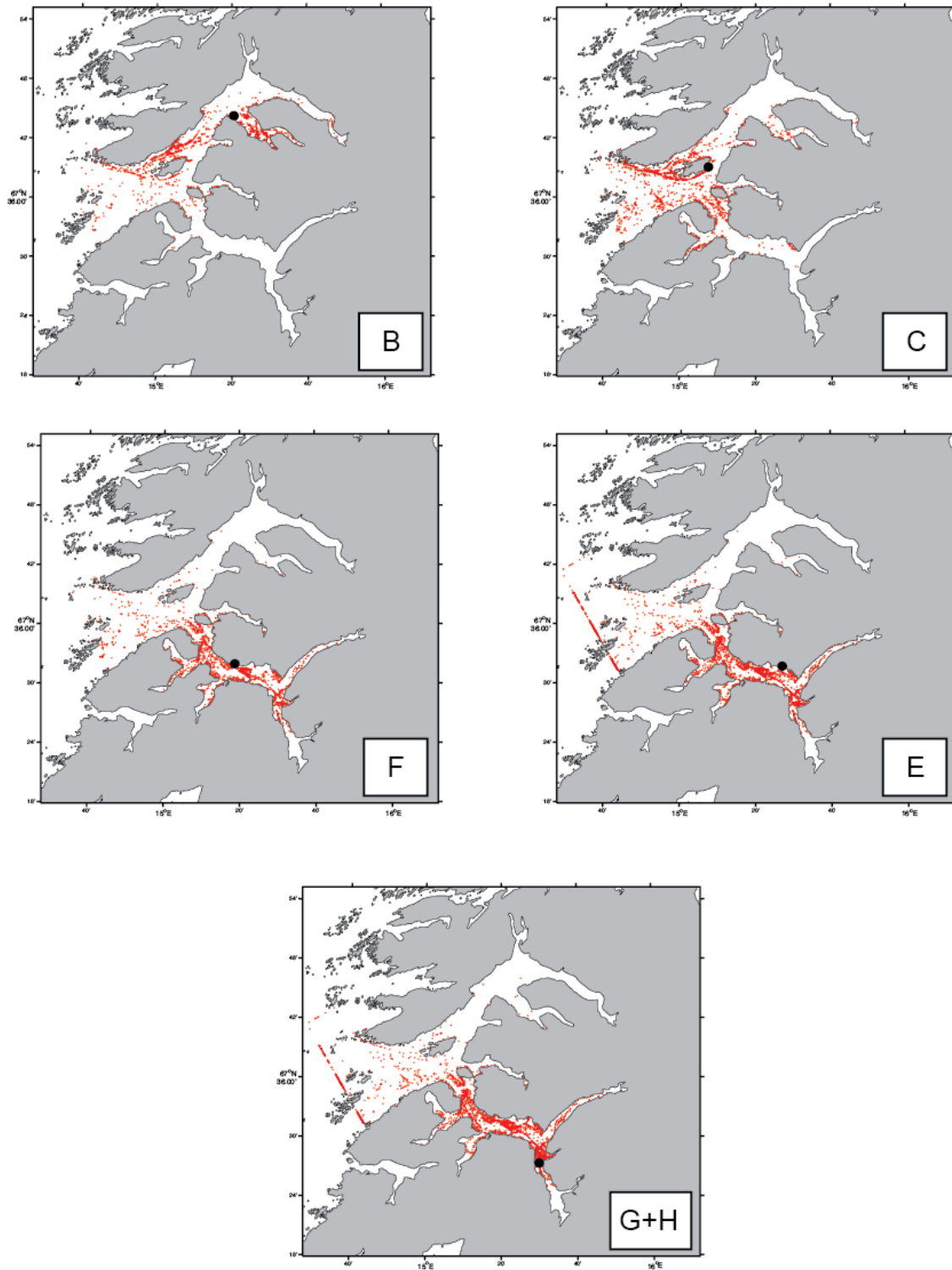
Spredningen av lakselus viste, som tidligere simuleringer andre steder i Norge, at det tilsynelatende var stor variabilitet. Lakselusas posisjon fra time til time varierte med strømmen, også vertikalt slik at lakselusa opplevde at strømmen ble svakere, som er tilfellet i de øvre vannlagene i en fjord. Fra dag til dag så vi at fordelingen av den modellerte lakselusa kunne endre seg mye, som et resultat av de varierende miljøforholdene (figur 26). Noen ganger førte vannmassene lakselusa utover i fjorden og noen ganger innover. Vi fant også at dynamikken i fjordsystemet med frontområder mellom vannmassene i overflaten og tilhørende strømskjær, som så vidt er beskrevet av fjordmodellresultatene som har en romlig oppløsning på 200 m, påvirket fordelingen av lakselusa. Særlig ble lakselusa konsentrert i frontområder mellom to vannmasser, noe vi så etter 10 dagers simulering (figur 26, røde lakselus i øvre høyre panel). Vi så også at lakselusa hadde en tendens til å bli konsentrert inn mot land, men vi fant ingen områder som pekte seg ut over tid i forhold til andre (om en ser bort fra umiddelbar nærhet til kilden).



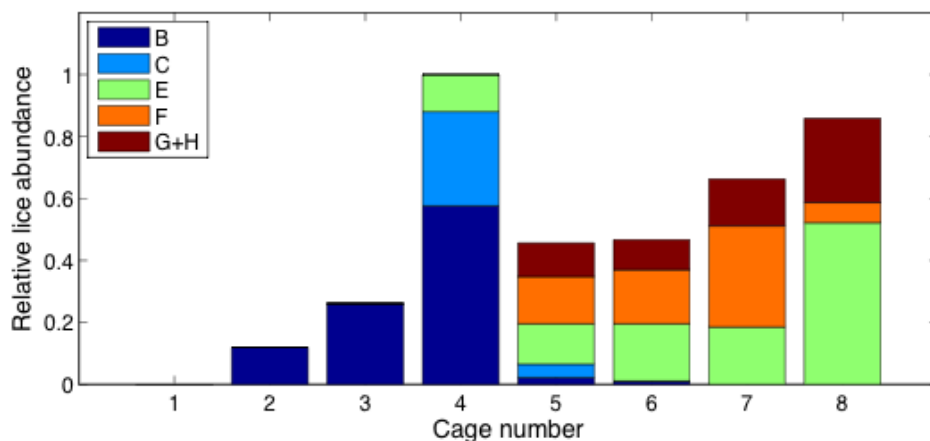
**Figur 26.** Partikkelspredning etter henholdsvis 5 dager (øvre venstre), 10 dager (øvre høyre), 15 dager (nedre venstre) og 20 dagers (nedre høyre) simulering. Partikkene har farge etter hvor de kommer fra: Grønt = anlegg A, rødt = anlegg B, mørk blå = anlegg C, lys blå = anlegg E og lilla = anleggene G+H (etter A. Svedberg 2011).

Et interessant resultat som kan skyldes lokale forhold i Folda, er at det ser ut til at det var liten utveksling av lakselus mellom Nordfolda og Sørfolda i denne perioden. Fordelingen av lakselus separert på de fem ulike kildene ved slutten av simuleringen viste at oppdrettsanleggene i Sørfolda (E, F, G og H) bare i liten grad eksporterte lakselus til Nordfolda (figur 27). Vi så også at anlegget i Nordfolda (B) ikke bidro med lakselus i Sørfolda, og at anlegget i midten (C) bidro med noe lakselus i begge fjordarmene.

Ved å telle opp antall lakseluskoepoditter, dvs. med alder mellom 50 og 150 døgngader, i posisjonene for smoltburene, fant vi igjen tendensen med at lakselus holder seg relativt lokalt i de to fjordarmene (figur 28). Vi fant mest lakselus ved bur nummer 4, og klart mer lakselus i Sørfolda enn i Nordfolda.

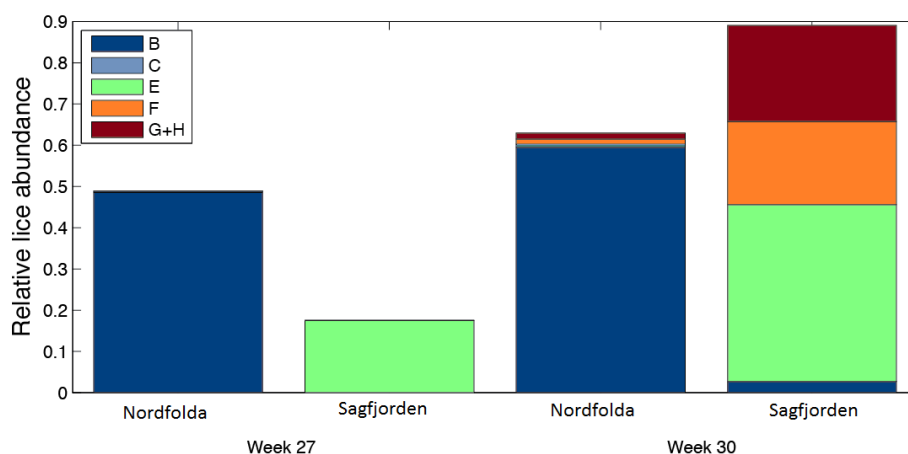


**Figur 27.** Fordeling av lakselus fra de fem ulike kildene (angitt med en sort prikk) etter 25 dagers simulering med utslipp av nye lakselus hver time (etter A. Svedberg 2011).



**Figur 28.** Antall infektive lakselus i posisjonen til smoltburene totalt gjennom simuleringen. Søylen er skalert i forhold til buret med høyest antall lakselus. Fargene viser hvilke kilder lakselusene kommer fra (etter A. Svedberg 2011).

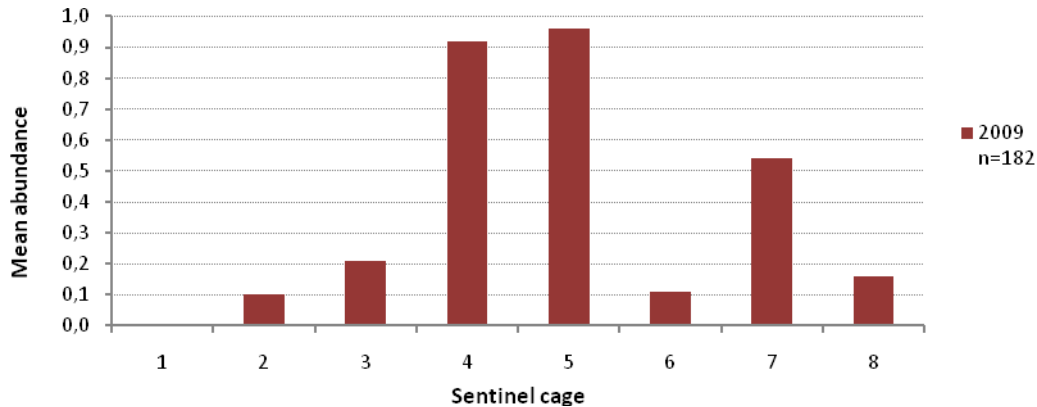
På tilsvarende måte kunne vi telle opp antall infektive lakseluskopepoditter i områdene der garnfisket ble gjennomført. Igjen fant vi tendensen til at lakselus holder seg relativt lokalt i de to fjordarmene, Nordfolda smittet hovedsakelig Nordfolda, og Sørfolda hovedsakelig Sørfolda (figur 29), og med klart mest lakselus utover sommeren i Sagfjorden i Sørfolda enn i Nordfolda.



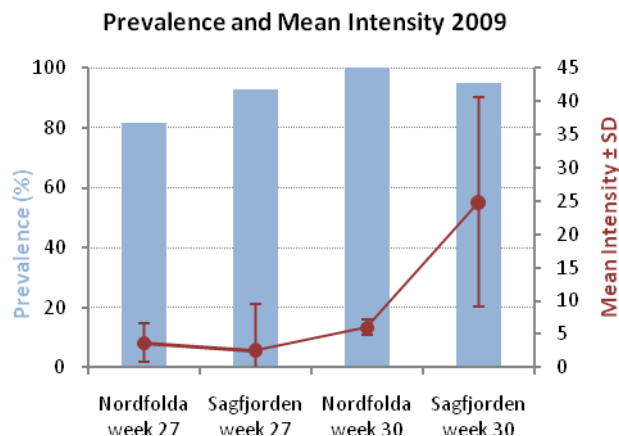
**Figur 29.** Antall infektive lakselus på garnfiskelokalitetene i Sagfjorden i Sørfolda og i Nordfolda totalt gjennom simuleringen. Søylen er skalert i forhold område med høyest antall lakselus. Fargene viser hvilke kilder lakselusene kommer fra (etter A. Svedberg 2011).

Da vi sammenlignet modellresultatene, som enkelt sagt bare talte opp hvor mange lus som teoretisk drev forbi burene eller garnfiskeområdene, med observert infeksjon på laksesmolt i bur og på garnfanget sjørret, fant vi relativt god overensstemmelse (figur 30). Det var lite lus på burene innerst i Nordfolda (bur 1–3), økende infeksjonsnivå midt i fjorden (bur 4 og 5), og

også noe mer lus på enkelte av burene i Sørfolda enn i Nordfolda. Garnstudien viste også at det var økende infeksjon utover sommeren, og at det i likhet med modellresultatene, var mest lus på vill sjørørret i Sagfjorden i Sørfolda (figur 31).



**Figur 30.** Gjennomsnittlig abundans av lakselus på burene i Nordfolda og Sørfolda sommeren 2009 (etter A. Svedberg 2011).



**Figur 31.** Prevalens (% infisert) gjennomsnittlig intensitet (infeksjon på infisert fisk) av lakselus på sjørørret i Nordfolda og Sagfjorden i Sørfolda sommeren 2009 (etter A. Svedberg 2011).

Det ser derfor ut som om smitte modellen, i hvert fall for Foldafjordsystemet og for den tidsperioden som var undersøkt, gir et rimelig robust estimat av infeksjonsdynamikken i en intensiv oppdrettsfjord. Infeksjonen på vill laksefisk, sett i sammenheng med smittespredning og produksjon, tyder heller ikke på at bærekraften er overskredet i dette systemet. Med ytterligere optimalisering skulle metoden derfor være velegnet for å utvikle lokale smitte modeller samt danne grunnlag for utvikling av mer raffinerte kvantitative bærekraftmodeller.



## **Avsluttende kommentarer: uttesting av nye metoder og validering av eksisterende metoder for å belyse lakselussituasjonen**

Til tross for at Bjørn mfl. (2010a, b) viser at bur kan fungere som en metode for å fange opp forskjeller i infeksjonstrykk hos vill sjøørret mellom fjorder, viser vår utvidede analyse at dette også preges av stor variasjon. Dette ser spesielt ut til å gjelde når det benyttes for få bur eller ved at burlokalitetene og villfisklokalitetene ikke er helt i samme område. Når man derimot setter ut et tilstrekkelig stort antall bur, slik som det er gjort i Hardangerfjorden, ser det ut som om burene både er i stand til å fange opp variasjon mellom år, innen år og mellom fjordavsnitt. Såfremt det settes ut et tilstrekkelig antall bur, ser det også ut som om man kan benytte enkeltstående bur i en posisjon. Det virker heller ikke som om det vanligvis er nødvendig å sette ut ekstra dype bur for å fange opp infeksjonstrykket i fjorder. Det samme gjelder tråling og garn, og det ser ut som om også disse metodene, så lenge de er av tilstrekkelig volum og korrekt gjennomført, greier å registrere infeksjonspress på vill laksefisk på en robust måte. Burstudier underestimerer imidlertid infeksjonstrykket på vill sjøørret betydelig, kanskje med en faktor på 10, slik at det ikke direkte forteller noe om infeksjonstrykket vill fisk utsettes for. Dette gjelder til dels også for sjøørretgarn, fordi metoden ikke greier å fange den absolutt minste fisken, og denne er ofte høyt infisert med lakselus. Det kan derfor tenkes at garnmetoden underestimerer relativt intensitet (lus per gram fiskevekt) i et undersøkelsesmateriale, og dermed også underestimerer konsekvensene på individ og populasjon (Taranger mfl. 2010). Smittemodellering ser derimot ut til å gi et rimelig robust estimat av infeksjonsdynamikk og infeksjonsrisiko for forskjellige fjordavsnitt med intensiv oppdrettsaktivitet. Dette er derfor lovende metoder for utvikling av fremtidige bærekraftsmodeller for oppdrettsregioner og oppdrettsfjorder. De metodene som til nå har blitt benyttet i lakselusovervåkning på vill laksefisk, er med andre ord rimelig gode og presise. Burstudier ser imidlertid ut til å forutsette at tilstrekkelig antall bur settes ut. Garnstudier ser ut til å underestimere infeksjonen på små sjøørret. Det bør derfor vurderes om ikke ruse, alene eller sammen med garn, heller bør benyttes i overvåkning av sjøørret.

## **Veien videre**

### **Utvikling av standardiserte og sertifiserte metoder for å overvåke infeksjonspresset av lakselus langs norskekysten samt utvikling av bærekraftmodeller for oppdrettsintensive regioner og fjordsystemet**

I årene framover vil det sannsynligvis bli et økende behov for å gi råd om bæreevnen for lakselus på vill fisk, det vil si hvor mye lakselus lakseoppdrett kan ha i fjorder og regioner langs norskekysten uten at bæreevnen for villlevende laksefisk overskrides. Dette vil ikke minst være helt sentral kunnskap for å følge opp regjeringens strategi for å utvikle en bærekraftig havbruksnæring. Momentene beskrevet i denne rapporten bør være på plass: Det er viktig at vi har gode, standardiserte (og helst) indirekte metoder for å registrere lusepresset på vill laksefisk. Dette arbeidet har vi påbegynt i arbeidspakke 2 ved å gjennomgå de metodene som har blitt benyttet i lakselusovervåkningen fram til nå. Gjennomgangen har vist at de forskjellige metodene ser ut til å gi robuste og pålitelige estimater av infeksjonspresset vill laksefisk utsettes for, såfremt undersøkelsene har stort nok omfang. Dette betyr at et tilstrekkelig antall vill laksefisk må fanges over lange nok tidsperioder og med tilstrekkelig romlig fordeling.

Tilsvarende ser det ut til at burmetoden greier å fange opp forskjeller i infeksjonspress mellom område og år, men også dette forutsetter at et tilstrekkelig antall bur benyttes. Vi vet imidlertid fortsatt ikke hvor mange bur som er nødvendig for å gi et robust og pålitelig estimat av infeksjonspresset i en oppdrettsfjord eller produksjonsregion. I tillegg må man være klar over at det er en skalaforskjell mellom det man registrerer ved bruk av burmetode og infeksjonsbelastningen som vill laksefisk utsettes for, kanskje med en faktor på 10, men variasjonen i eksisterende datamateriale gjør det vanskelig å lage en korrelasjon over denne sammenhengen.

Det ser også ut som om garnfiske etter sjøørret underestimerer infeksjonstrykket noe, først og fremst fordi garnene ikke fanger den miste sjøørreten og at denne størrelsesgruppen periodevis kan være svært høyt infisert. Garnmetoden, som har blitt benyttet i overvåkningen av infeksjonsnivået på vill sjøørret og sjørøye langs norskekysten de siste tiårene, kan derfor systematisk ha underestimert den reelle infeksjonsbelastningen, og dermed også konsekvensene på bestandsnivå. En nyutviklet sjøørretruse ser ut til å gi mer robuste estimater av infeksjonstrykket på den minste, og kanskje mest sårbare, sjøørreten, og har i tillegg den fordel av fisken fanges levende og kan gjenutsettes etter luseregistreringer.

*For øyeblikket mener vi at en kombinasjon av telling i oppdrettsanlegg, et tilstrekkelig antall bur og direkte overvåkning på vill laksefisk, kanskje helst med trål (laksesmolt) og ruse (sjøørret og sjørøye), er den mest velegnede metoden for å overvåke infeksjonspresset på vill laksefisk langs norskekysten. Bur er den eneste indirekte metoden som benyttes, men denne bør raffineres og nye bør utvikles slik at vi lettere greier å overvåke større deler av kysten. I tillegg er resultatene fra bur-smittemodellering-vill laksefisk i Foldafjordssystemet lovende, og viser at dette har potensial til å kunne bli utviklet til kvantitative kunnskapsbaserte modeller for lakselusbekjempelse og bærekraft i intensive oppdrettsfjorder.*

Dernest må vi ha bedre modeller for å evaluere effekten av lus som populasjonsregulerende faktor slik at vi kan vurdere målet i regjeringens bærekraftstrategi: ”Sykdom inklusiv lus skal ikke ha populasjonsregulerende effekt på ville bestander av laksefisk”. Dette arbeidet har vi påbegynt i arbeidspakke 1 ved at vi har gått gjennom tilgjengelig litteratur og resultater fra sentrale deler av nasjonale undersøkelser som er gjennomført de siste tiårene. Disse studiene viser at høy infeksjon av lakselus, spesielt når lusa utvikler seg til de mobile stadiene, kan være en betydelig belastning på fisken og i ytterste fall ta livet av den.

Resultatene fra overvåkningsseriene langs norskekysten viser også at infeksjonspresset er kronisk forhøyet langs store deler av norskekysten. De synkroniserte avlusningene, kanskje i kombinasjon med kalde vintre og vårer de seineste årene, synes imidlertid å ha forskjøvet økningen i infeksjonspress til noe seinere på sommeren. Laksesmolt, med forbehold om seint utvandrende laksesmolt og enkelte år (som i 2008 i Hardanger), synes derfor å ha unnsloppet den verste økningen i infeksjonstrykket de seineste årene. Dette stemmer også overens med resultater fra lakselusbeskyttet laksesmolt fra Daleelva, og tyder på at andre faktorer enn lakselus også har vært viktige populasjonsregulerende mekanismer de siste årene. Datagrunnlaget på luseinfeksjoner på vill laksefisk de siste årene er imidlertid begrenset i tid og rom, slik at konklusjoner her må trekkes med forsiktighet.

Det er imidlertid sannsynlig at det infeksjonspresset vi så hos laksesmolt på slutten av 1990-tallet og begynnelsen av 2000-tallet, for eksempel i Sognefjorden, har hatt et nivå som kan påvirke populasjoner. Med de oppdrettsvolumene som nå står i sjøen langs norskekysten, kan vi lett risikere dette på nytt, spesielt om resistensutviklingen fortsetter. Datagrunnlaget på laksesmolt de seneste år er begrenset. Bare betydelig bedre for data over lakseluspåslag på postsmolt med god dekning i tid og rom, kan gi sikrere konklusjoner. I tillegg er infeksjonsbelastningen på sjøørret fortsatt for høyt, kanskje med unntak av nordlige deler av Troms og Finnmark. *For øyeblikket vet vi imidlertid ikke nøyaktig hvor høyt infeksjonspress individer og bestander av vill laksefisk kan tåle over tid. Resultater fra arbeidspakke 1 tyder imidlertid på at store deler av intensive oppdrettsområder langs norskekysten er i nærheten eller over en slik grenseverdi, spesielt for sjøørret.*

Det er derfor behov for å fortsette arbeidet som er startet for disse ekstrabevilgningene, både med tanke på å utvikle bedre, helst indirekte, metoder for lakselusovervåkning og mer presise grenseverdier for lakselustoleranse på populasjonsnivå. Gjennom numeriske beregningsmodeller for strøm og fjordoseanografi for hele norskekysten, som er drivkrefter for beregningsmodeller for lakselusspredning, vil vi i årene framover kunne skaffe detaljert informasjon om smittespredningen og infeksjonsbelastning mellom lokaliteter, fjorder og regioner. Dernest må det utvikles et system for standard undersøkelser som enkelt kan gjennomføres i oppdrettsfjorder og produksjonsregioner langs norskekysten. *Innen 5 år bør vi ha utviklet metoder for å overvåke og registrere infeksjonen på vill laksefisk og benytte dette til å sette forvaltningsmessige dynamiske grenser for smittespredning og bærekraft for fjorder og produksjonsregioner langs hele norskekysten slik at dette kan overleveres som et system til næring og forvaltning.*

## Referanser

- Albretsen, J., Sperrevik, A.K., Staalstrøm, A., Sandvik, A.D., Vikebø, F. & Asplin, L. (2011) User manual and technical descriptions. Rapport NorKyst-800. Fisken og havet 2-2011,
- Amundrud, T.L. & Murray, A.G. (2009) Modelling sea lice dispersion under varying environmental forcing in a Scottish sea loch. *Journal of Fish Diseases* 32, 27-44.
- Anon. (2006) ”Om vern av villaksen og ferdigstilling av nasjonale laksevassdrag og laksefjorder”. Rapport St.prp. nr.32, Miljøverndepartementet, Oslo.
- Anon. (2008) ”Strategi for en miljømessig bærekraftig havbruksnæring”. Rapport L-0535 B, Fiskeri- og kystdepartementet, Oslo.
- Anon. (2009) ”Status for norske laksebestander i 2009 og råd om beskatning”. Rapport nr 1, Vitenskapelig råd for lakseforvaltning, Trondheim.
- Anon. (2010) ”Status for norske laksebestander i 2010”. Rapport nr 2, Vitenskapelig råd for lakseforvaltning, Trondheim.
- Anderson, R.M. & May, R.M. (1978) Regulation and stability of host-parasite populations interactions. Regulatory processes. *Journal of Animal Ecology*, 47, 219-247.
- Anderson, R.M. & May, R.M. (1979) Population biology of infectious diseases: Part I. *Nature* 280, 361-367.
- Anderson, R.M. & May, R.M. (1981) The population dynamics of microparasites and their invertebrate hosts. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Ser. B*, 29, 451-524.
- Anderson, R.M. & Gordon, D.M. (1982) Processes influencing the distribution of parasite numbers within host populations with special emphasis on parasite influences host mortalities. *Parasitology* 85, 373-398.
- Asplin, L., Boxaspen, K.K. & Sandvik A.D. (2011) “Modeling the distribution and abundance of planktonic larval stages of *Lepeophtheirus salmonis* in Norway”, i *Salmon Lice: An Integrated Approach to Understanding Parasite Abundance and Distribution* (eds S. Jones & R. Beamish). Wiley-Blackwell, Oxford, UK (i trykk).
- Bengtsen, J.J. (2011) Vertikal fordeling af lakselusens (*Lepeophtheirus salmonis*) planktoniske stadier: Effekten af salinitet, lys og mørke (på dansk). Mastergradsoppgave i MARECLIM “Joint Nordic Master’s Programme in Marine Ecosystems and Climate”, Universitet i Bergen, Universitet i Aarhus og Universitet i Færøylene (i trykk).
- Berg, O. K. & Jonsson, B. (1990) Growth and survival rates of the anadromus trout, *Salmo trutta*, from the Vardnes River, northern Norway. *Environmental Biology of Fishes* 29, 145-154.
- Birkeland, K. (1996) Consequences of premature return by sea trout (*Salmo trutta*) infested with the salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis* Krøyer): Migration, growth, and mortality. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 53, 2808-2813.
- Birkeland, K. & Jakobsen, P.J. (1994) ”Omfanget av lakselus på vill laksefisk i fylkene Nordland, Nord- og Sør-Trøndelag, Møre & Romsdal, Sogn & Fjordane og Hordaland i 1993”. Rapport, Zologisk institutt, Økologisk avdeling, Universitetet i Bergen.
- 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. *Environmental Biology of Fishes* 49, 129-137.
- Bjørn, P.A. & Finstad, B. (1997) The physiological effects of salmon lice infection on sea trout post smolts. *Nordic Journal of Freshwater Research* 73, 60-72.
- Bjørn, P.A. & Finstad, B. (1998) The development of salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) on artificially infected post smolts of sea trout (*Salmo trutta*). *Canadian Journal of Zoology* 76, 970-977.
- Bjørn, P.A. & Finstad B. (2002) Salmon lice, *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer), infestation in sympatric populations of Arctic char, *Salvelinus alpinus* (L.), and sea trout, *Salmo trutta* (L.), in areas near and distant from salmon farms. *ICES Journal of Marine Science* 59, 131-139.
- Bjørn, P.A., Finstad, B. & Kristoffersen, R. (2001a) Salmon lice infection of wild sea trout and Arctic charr in marine and freshwaters: the effects of salmon farms. *Aquaculture Research*, 32, 947-962.
- Bjørn, P.A., Finstad, B. & Kristoffersen, R. (2001b) “Registreringer av lakselus på laks, sjøørret og sjørøye i 2000”. NINA Oppdragsmelding 698, Trondheim.
- Bjørn, P.A., Finstad, B., & Kristoffersen, R. (2002) “Registreringer av lakselus på laks, sjøørret og sjørøye i 2001”. NINA Oppdragsmelding 737, Trondheim.
- Bjørn, P.A., Dale, T., Koren, C., Slagstad, D. & Finstad, B. (2005) ”Risiko, forvaltning og bekjempelse av lakselusmitte på vill og oppdretta laksefisk”. Rapport 21, Fiskeriforskning, Tromsø.

- Bjørn, P.A., Finstad, B., Nilsen, R., Skaala, Ø., & Øverland, T. (2007a) "Registreringer av lakselus på laks, sjøørret og sjørøye i 2006". Rapport 250, NINA, Trondheim.
- Bjørn, P.A., Finstad, B., Kristoffersen, R. Rikardsen, A.H. & McKinley, R.S. (2007b) Differences in risks and consequences of salmon louse, *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer) infestation on sympatric populations of Atlantic salmon, brown trout and Arctic charr within northern fjords. ICES Journal of Marine Science 64, 386-393.
- Bjørn, P.A., Finstad, B., Nilsen, R., Asplin, L., Uglem, I., Skaala, Ø., Boxaspen, K.K. & Øverland, T. (2008) "Nasjonal overvåkning av lakselusinfeksjon på ville bestander av laks, sjøørret og sjørøye i forbindelse med nasjonale laksevassdrag og laksefjorder". NINA Rapport 377, Trondheim.
- Bjørn, P.A., Finstad, B., Nilsen, R., Asplin, L., Uglem, I., Skaala, Ø., Boxaspen, K.K. & Øverland, T. (2009) "Nasjonal overvåkning av lakselusinfeksjon på ville bestander av laks, sjøørret og sjørøye i forbindelse med nasjonale laksevassdrag og laksefjorder". NINA Rapport 447, Trondheim.
- Bjørn, P.A., Finstad, B., Nilsen, R., Uglem, I., Asplin, L., Skaala, Ø., Hvidsten, N.A. & Boxaspen, K.K. (2010a) "Nasjonal lakselusovervåkning 2009 på ville bestander av laks, sjøørret og sjørøye langs Norskekysten samt i forbindelse med evaluering av nasjonale laksevassdrag og laksefjorder". NINA Rapport 547, Trondheim.
- Bjørn, P.A., Asplin, L., Nilsen, R., Boxaspen, K.K., Finstad, B., Uglem, I., Kålås, S. & Barlaup, B. (2010b) "Lakselusinfeksjonen på vill laksefisk langs Norskekysten i 2010". Rapport Nr 13-2010, Havforskningsinstituttet, Bergen.
- Bjørn, P.A., Sivertsgård, R., Finstad, B., Nilsen, R., Serra-Llinares R.M. & Kristoffersen, R. (2011). Area protection may reduce salmon louse infection risk to wild salmonids. Aquaculture Environment Interactions (i trykk).
- Boxaspen, K. (2007) A review of the biology and genetics of sea lice. ICES Journal of Marine Science 63, 1304-1316.
- Boxaspen, K., Hay, D. & Finstad, B. (2007) "Salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis*)", i: Review of disease interactions and pathogen exchange between farmed and wild finfish and shellfish in Europe (eds. R. Raynard, T. Wahli, I. Vatsos & S. Mortensen), ISBN 82-91743-74-6.
- Boxshall, G.A. (1974) Infections with parasitic copepods in North sea marine fishes. Journal of Marine Biological Association of the United Kingdom 54, 355-372.
- Brandal, P.O., Egidius, E. & Romslo, I. (1976) Host blood: A major food component for the parasitic copepod *Lepeophtheirus salmonis* Krøyer, 1838 (Crustacea: Caligidae). Norwegian Journal of Zoology 24, 341-343.
- Bricknell, I.R., Dalesman, S.J., O'Shea, B., Pert, C.C. & Luntz, A.J.M. (2006) Effect of environmental salinity on sea lice *Lepeophtheirus salmonis* settlement success. Diseases of Aquatic Organisms 71, 201-212.
- Butler, J.R.A. & Watt, J. (2003) "Assessing and managing the impacts of marine salmon farms on wild Atlantic salmon in western Scotland: Identifying priority rivers for conservation", i: Salmon at the edge (ed. D. Mills). Blackwell Science, Oxford, UK.
- Costello, M.J. (2006) Ecology of sea lice parasitic on farmed and wild fish. Trends in Parasitology 22, 475-483.
- Croften, H.D. (1971) A quantitative approach to parasitism. Parasitology 62, 179-193.
- Davidsen, J.G., Plantalech Manel-la, N., Økland, F., Diserud, O.H., Thorstad, E.B., Finstad, B., McKinley, R.S. & Rikardsen, A.H. (2008) Changes in swimming depths of Atlantic salmon post-smolts relative to light density. Journal of Fish Biology 73, 1065-1074.
- Dobson, A. & Hudson, P.J. (1992) Regulation and stability of a free-living host-parasitic system: *Trichostrongylus tenuis* in red grouse. II. Population models. Journal of Animal Ecology 61, 487-498.
- Dudhia, J. (1993) A Nonhydrostatic Version of the Penn State-NCAR Mesoscale Model: Validation Tests and Simulation of an Atlantic Cyclone and Cold Front. Monthly Weather Review 121, 1493-1513.
- Elliott, J.M. (1994) Quantitative ecology and the brown trout. Oxford series in ecology and evolution. Oxford University Press, New York.
- Ellis, A.E. (1981) Stress and the modulation of defence mechanisms in fish. In: Stress and Fish (ed A.D. Pickering). Academic Press, London.
- Finstad, B. (1993) "Økologiske og fysiologiske konsekvenser av lus på laksefisk i fjordsystem". NINA Oppdragsmelding 213, Trondheim.
- Finstad, B. & Birkeland, K. (1997) Salmon lice infestations in orally treated and non-treated sea trout. Report on the interactions between salmon lice and salmonids. ICES CM 1997/M:4. Ref: F, p. 150.

- 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* (eds S. Jones & R. Beamish). Wiley-Blackwell, Oxford, UK (i trykk).
- Finstad, B. & Jonsson, N. (2001) Factors influencing the yield of smolt releases in Norway. *Nordic Journal of Freshwater Research* 75, 37-55.
- Finstad, B., Hvidsten, N.A. & Johnsen, B.O. (1992) "Registreringer av lakselus på laksesmolt fanget i Trondheimsfjorden". NINA Oppdragsmelding 171, Trondheim.
- Finstad, B., Bjørn, P.A., Nilsen, S.T. & Hvidsten, N.A. (1994a) "Registreringer av lakselus på laks, sjøørret og sjørøye". NINA Oppdragsmelding 287, Trondheim.
- Finstad, B., Johnsen, B.O. & Hvidsten, N.A. (1994b) Prevalence and mean intensity of salmon lice, *Lepeophtheirus salmonis* Krøyer, infection on wild Atlantic salmon *Salmo salar* L., post-smolts. *Aquaculture and Fisheries Management* 25, 761-764.
- Finstad, B., Bjørn, P.A., Grimnes, A. & Hvidsten, N.A. (2000) Laboratory and field investigations of salmon lice [*Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer)] infestation on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) post-smolts. *Aquaculture Research* 31, 795-803.
- 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. *Journal of Fish Biology* 66, 86-96.
- Finstad, B., Kroglund, F., Strand, R., Stefansson, S.O., Bjørn, P.A., Rosseland, B.O., Nilsen, T.O. & Salbu, B. (2007a) Salmon lice or suboptimal water quality – Reasons for reduced post-smolt survival? *Aquaculture* 273, 374-383.
- Finstad, B., Boxaspen, K.K., Asplin, L. & Skaala, Ø. (2007b) "Lakselusinteraksjoner mellom oppdrettsfisk og villfisk – Hardangerfjorden som et modellområde", i: *Kyst og havbruk. Fisken og havet* (eds E. Dahl, P.K. Hansen, T. Haug & Ø. Karlsen). Rapport særn. 2-2007, Havforskningsinstituttet, Bergen.
- Finstad, B., Økland, F., Uglem, I., Boxaspen, K.K., Skaala, Ø., Skilbrei, O., Asplin, L., Bjørn, P.A., Butterworth, K., McKinley, R.S., Stigum Olsen, R., Malkenes, R., Ritchie, G., Heuch, P.A. & Kvenseseth, P.G. (2007c) "The Hardangerfjord salmon lice project – 2004-2007". Final Report to the Norwegian Research Council.
- Finstad, B., Bjørn, P.A., Todd, C.D., Whoriskey, F., Gargan, P.G., Forde, G. & Revie, C. (2010) "The effect of sea lice on Atlantic salmon and other salmonid species", i: *Atlantic Salmon Ecology* (eds Ø. Aas, S. Einum, A. Klemetsen & J. Skuldal). Wiley-Blackwell, Oxford, UK, s 253-276.
- Gargan, P.G., Tully, O. & Poole, W.R. (2003) "The relationship between sea lice infestation, sea lice production and sea trout survival in Ireland, 1992-2001", i *Salmon at the Edge* (ed D. Mills). Blackwell Science, Oxford, UK.
- Genna, R.L., Mordue, W., Pike, A.W. & Mordue (Luntz), A.J. (2005) Light intensity, salinity, and host velocity influence presettlement intensity and distribution on hosts by copepodids of sea lice, *Lepeophtheirus salmonis*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 62, 2675-2682.
- Glover, K.A. (2010) Review: Forensic identification of fish farm escapees: the Norwegian experience. *Aquaculture Environment Interactions* 1, 1-10.
- Glover, K.A., Nilsen, F., Skaala, Ø., Taggart, J.B. & Teale, A.J. (2001) Differences in susceptibility to sea lice infection between sea run and freshwater resident population of brown trout. *Journal of Fish Biology* 59, 1512-1519.
- Glover, K.A., Skaala, Ø., Nilsen, F., Olsen, R., Taggart, J.B. & Teale, A.J. (2003) Differing susceptibility of anadromous brown trout *Salmo trutta* L. populations to salmon lice infections. *ICES Journal of Marine Science* 60 1139-1148.
- Glover, K.A., Hamre, L.A., Skaala, O. & Nilsen, F. (2004) A comparison of sea louse (*Lepeophtheirus salmonis*) infection levels in farmed and wild Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) stocks. *Aquaculture* 232, 41-52.
- Grayson, T.H., Jenkins, P.G., Wrathmell, A.B. & Harris, J.E. (1991) Serum responses to the salmon louse, *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer, 1838), in naturally infected salmonids and immunised rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), and rabbits. *Fish & Shellfish Immunology* 1, 141-155.
- Grimnes, A. & Jakobsen, P. (1996) The physiological effects of salmon lice infection on post-smolt of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Journal of Fish Biology* 48, 1179-1194.
- Grimnes, A., Finstad, B. & Bjørn, P.A. (1996) "Økologiske og fysiologiske konsekvenser av lus på laksefisk i fjordsystem". NINA Oppdragsmelding 381, Trondheim.

- Grimnes, A., Finstad, B., & Bjørn, P.A. (1999) "Registreringer av lakselus på laks, sjørret og sjørøye i 1998". NINA Oppdragsmelding 579, Trondheim.
- Grimnes, A., Finstad, B., & Bjørn, P.A. (2000) "Registreringer av lakselus på laks, sjørret og sjørøye i 1999". NINA Oppdragsmelding 634, Trondheim.
- Grønvik, S. & Klemetsen, A. (1987) Marine food and diet overlap of co-occurring Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.), brown trout *Salmo trutta* L. and Atlantic salmon *S. salar* L. off Senja, N. Norway. *Polar Biology* 7, 73–177.
- Hahnenkamp, L. & Fyhn, H.J. (1985) The osmotic response of salmon louse *Lepeophtheirus salmonis* (Copepoda: Caligidea), during the transition from sea water to fresh water. *Journal of Comparative Physiology B* 155, 357-365.
- Hansen, L. P., Holm, M., Holst, J.V. & Jakobsen, J.A. (2003) "The ecology of post-smolts of Atlantic salmon", i: *Salmon at the edge* (ed D. Mills). Blackwell Science, Oxford, UK.
- Hazon, N., Todd, C., Whelan, B., Gargan, P., Finstad, B., Bjørn, P.A., Wendelaar Bonga, S.E. & Kristoffersen, R. (2006) "Sustainable management of interactions between aquaculture and wild salmonid fish". Final report for the SUMBAWS EU project, 1-293, University of St. Andrews, St. Andrews.
- Heggberget, T.G., Johnsen, B.O., Hindar, K. Jonsson, B., Hansen, L.P. Hvidsten, N.A. & Jensen, A.J. (1993) Interactions between wild and cultured Atlantic salmon: a review of the Norwegian experience. *Fisheries Research* 18, 123-146.
- Heitmann Suhr, A. (2011) Vandringsmønster til sjørøye og sjørret i et nordnorsk fjordsystem. Mastergradsoppgave i Arktisk naturbruk og landbruk, vassdrag. Universitet i Tromsø, Tromsø.
- Heuch, P.A. (1995) Experimental-evidence for aggregation of salmon louse copepodids (*Lepeophtheirus salmonis*) in step salinity gradients. *Journal of the Marine Biology Association U.K.* 75, 927-939.
- Heuch, P.A., Bjørn, P.A., Finstad, B., Holst, J.C., Asplin, L. & Nilsen, F. (2005) A review of the Norwegian 'national action plan against salmon lice on salmonids': the effect on wild salmonids. *Aquaculture* 246, 79-92.
- Heuch, P.A., Bjørn, P.A., Nilsen, R., Finstad, B., Asplin, L., Jakobsen, P.J. & Holst, J.C. (2011) Salmon lice infections of farmed and wild Atlantic salmon in three Norwegian fjords. *Aquaculture* (i trykk).
- Holst, J.C. & McDonald, A. (2000) FISH-LIFT: a device for sampling live fish with trawls. *Fisheries Research* 48, 87-91.
- Holst, J.C., Jakobsen, P., Nilsen, F., Holm, M., Asplin, L. & Aure, J. (2003) "Mortality of seaward-migrating post-smolts of Atlantic salmon due to salmon lice infection in Norwegian salmon stocks", i: *Salmon at the edge* (ed D. Mills). Blackwell Science, Oxford, UK.
- Holst, J.C., Finstad, B., Bjørn, P.A., Heuch, P.A., Stien, A. & Asplin, L. (2005) "Sea lice as a population regulation factor in Norwegian salmon: Status, effects of measures taken and future management". Report to the Norwegian Research Council. Project 149791/S40, 1-46, Havforskningsinstituttet, Bergen.
- Hvidsten, N.A., Finstad, B., Kroglund, F., Johnsen, B.O., Strand, R. & Arnekleiv, J.V. (2007) Does increased abundance of sea lice influence survival of wild Atlantic salmon post-smolt? *Journal of Fish Biology* 71, 1639-1648.
- Iwama, G.K., Afonso, L.O.B. & Vijayan, M.M. (2006) "Stress in fishes", i: *The Physiology of Fishes* (eds D.E. Ewans & J-B. Claiborne). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Jakobsen, P.J., Birkeland, K., Grimnes, A., Nylund, A. & Urdal, K. (1992) "Undersøkelser av lakselus-infeksjoner på sjøaure og laksesmolt i 1992". Rapport fra Zoologisk museum, September. Økologisk avdeling, Universitetet i Bergen, Bergen.
- Jaenike, J., Benway, H. & Stevens, G. (1995) Parasite-induced mortality in *Mycophagus drosophila*. *Ecology* 76, 383-391.
- Johannessen, A. (1975) "Lakselus, *Lepeophtheirus salmonis* Krøyer (Copepoda Caligidae). Frittlevende larvestadier, vekst og infeksjon på laks (*Salmo salar*) fra oppdrettsanlegg og kommersielle fangster i vestnorske farvann 1973-1974". Cand.real. Thesis, Fishery biology, Norges fiskerihøgskole, Universitetet i Bergen, Bergen.
- Johnsen, B.O. & Jensen, A.J. (1992) Infection of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., by *Gyrodactylus salaris*; Malmberg 1957, in the river Lakselva, Misvær in northern Norway. *Journal of Fish Biology* 40, 433-444.
- Johnson, S.C. & Albright, L.J. (1991) The developmental stages of *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer, 1837) (Copepoda: Caligidae). *Canadian Journal of Zoology* 69, 929-950.

- Johnson S.C. & Albright, L.J. (1992a) Effects of cortisol implants on the susceptibility and the histopathology of the responses of naive coho salmon *Oncorhynchus kisutch* to experimental infection with *Lepeophtheirus salmonis* (Copepoda: Caligidae). *Diseases of Aquatic Organisms* 14, 195-205.
- Johnson, S. C. & Albright, L. J. (1992b) Comparative susceptibility and histopathology of the response of naive Atlantic, chinook and coho salmon to experimental infection with *Lepeophtheirus salmonis* (Copepoda: Caligidae). *Diseases of Aquatic Organisms* 14, 179-193.
- Johnson, S.C., Treasurer, J.W., Bravo, S., Nagasawa, K. & Kabata Z. (2004) A review of the impact of parasitic copepods on marine aquaculture. *Zoological Studies* 43, 229-243.
- Jones, M.W., Sommerville, C. & Bron, J. (1990) The histopathology associated with the juvenile stages of *Lepeophtheirus salmonis* on the Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases* 13, 303-310.
- Jonsson, B. (1985). Life history patterns of freshwater resident and sea-run migrant brown trout in Norway. *Transactions of the American Fisheries Society* 114, 182-194.
- Kabata, Z. (1974) Mouth and mode of feeding of Caligidae (Copepoda), parasites of fishes, as determined by light and scanning electron microscopy. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 31, 1583-1588.
- Knutsen, J.A., Knutsen, H., Gjørseter, J. & Jonsson, B. (2001) Feeding of anadromous brown trout at sea. *Journal of Fish Biology* 59, 533-543.
- Lance, J. (1963) The salinity tolerance of some estuarine planktonic copepods. *Limnology and Oceanography* 8, 440-449.
- Lester, R.J.G. (1984) A review of methods for estimating mortality due to parasites in wild fish populations. *Helgolander Meeresuntersuchen* 37, 53-64.
- Lyse, A.A., Stefansson, S. O. & Fernö, A. (1998) Behaviour and diet of sea trout post-smolt in a Norwegian fjord system. *Journal of Fish Biology* 52, 923-936.
- MacKinnon, B.M. (1993) Host response of Atlantic salmon (*Salmo salar*) to infection by sea lice (*Caligus elongatus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 50, 789-792.
- MacKinnon, B.M. (1998) Host factors important in sea lice infections. *ICES Journal of Marine Science* 55, 188-192.
- Mo, T.A. & Heuch, P.A. (1998) Occurrence of *Lepeophtheirus salmonis* (Copepoda: Caligidae) on sea trout (*Salmo trutta*) in the inner Oslo Fjord, south-eastern Norway. *ICES Journal of Marine Science* 55, 176-180.
- Moore, A., Lacroix, G.L. & Sturlaugsson, J. (2000) "Tracking Atlantic salmon post-smolts in the sea", i: The ocean life of Atlantic salmon - environmental and biological factors influencing survival (ed D. Mills). Fishing News Books, Oxford, UK.
- Nolan, D.T, Reilly, P. & Wendelaar Bonga, S.E. (1999) Infection with low numbers of the sea louse *Lepeophtheirus salmonis* induces stress-related effects in postsmolt Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 56, 947-959.
- Nolan, D.T., Ruane, N.M., van der Heijden, Y., Quabius, E.S., Costelloe, J. & Wendelaar Bonga, S. E. (2000) Juvenile *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer) affect the skin and gills of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) and the host response to a handling procedure. *Aquaculture Research* 31, 823-835.
- Pacala, S.W. & Dobson, A.P. (1988) The relation between the number of parasites/hosts and host age: population dynamics causes and maximum likelihood estimating. *Parasitology* 96, 197-210.
- Pankhurst, N.W. & Van Der Kraak, G. (1997) "Effects of stress on reproduction and growth of fish", i: Fish Stress and Health in Aquaculture (eds G.K. Iwama, A.D. Pickering, J.P. Sumpter, J.P. & C.B. Schreck). Soc. Exp. Biol. Seminar Series 62. University Press, Cambridge.
- Pickering, A.D. & Pottinger, T.G. (1989) Stress responses and disease resistance in salmonid fish: effects of chronic elevation of plasma cortisol. *Fish Physiology and Biochemistry* 7, 253-258.
- Pike, A.W. & Wadsworth, S.L. (1999) Sea lice on salmonids: their biology and control. *Advances in Parasitology* 44, 234-337.
- Plantalech Manel-la, N., Thorstad, E.B., Davidsen, J.G., Økland, F., Sivertsgård, R., McKinley, R.S. & Finstad, B. (2009) Vertical movements of Atlantic salmon post-smolts relative to measures of salinity and water temperature during the first phase of the marine migration. *Fisheries Management and Ecology* 16, 147-154.
- Revie, C., Dill, L., Finstad, B. & Todd, C.D. (2009) "Sea Lice Working Group Report". NINA Special Report 39, 1-117.



- Rikardsen, A.H. (2004) Seasonal occurrence of sea lice *Lepeophtheirus salmonis* on sea trout in two north Norwegian fjords. *Journal of Fish Biology* 65, 711-722.
- Rikardsen, A. H. & Amundsen, P-A. (2005) Pelagic marine feeding behaviour of Arctic charr *Salvelinus alpinus* and sea trout *Salmo trutta*. *Journal of Fish Biology* 66, 1163–1166.
- Rikardsen, A. H., Amundsen, P-A., Bjørn, P. A. & Johansen, M. (2000) Comparison of growth, diet and food consumption of sea-run and lake-dwelling Arctic charr. *Journal of Fish Biology* 57, 1172–1188.
- Rikardsen, A.H., Haugland, M., Bjørn, P.A., Finstad, B., Knudsen, R., Dempson, J.B., Holst, J.C., Hvidsten, N.A. & Holm, M. (2004) Geographical differences in marine feeding of Atlantic salmon post-smolts in Norwegian fjords. *Journal of Fish Biology* 64, 1655-1679.
- Schram, T.A., Knutsen, J.A., Heuch, P.A. & Mo, T.A. (1998) Seasonal occurrence of *Lepeophtheirus salmonis* and *Caligus elongatus* (Copepoda: Caligidae) on sea trout (*Salmo trutta*), off southern Norway. *ICES Journal of Marine Science* 55, 163-175.
- Sharp, L., Pike, A. & McVicar, A.H. (1994) "Parameters of infection and morphometric analysis of sea lice from sea trout (*Salmo trutta*) in Scottish waters", i: *Parasitic Diseases of Fish*. (eds A.W. Pike & J.W. Lewis). Treasaith: Samara Publishing Limited.
- Sivertsen, A., Walsø, Ø. & Venås, W. (1993) "Fagseminar om lakselus og tiltaksstrategier". DN-notat 1993-3, Trondheim.
- Skilbrei, O.T. & Wennevik, V. (2006) Survival and growth of sea-ranched Atlantic salmon treated against sea lice prior to release. *ICES Journal of Marine Science* 63, 1317-1325.
- Skilbrei, O.T., Glover, K.A., Samuelson, O.B. & Lunestad, B.T. (2008) A laboratory study to evaluate the use of enamactin benzoate in the control of sea lice in sea-ranched Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* 285, 2-7.
- Skilbrei, O.T. & Holm, M. (2011) High marine survival rates of sea-ranched Atlantic salmon smolts (*Salmo salar*) that had previously matured as male parr. *Fisheries Management and Ecology* (i trykk).
- Stien, A., Bjørn, P.A., Heuch, P.A. & Elston, D. A. (2005) Population dynamics of salmon lice *Lepeophtheirus salmonis* on Atlantic salmon and sea trout. *Marine Ecology Progress Series* 290, 263-275.
- Taranger, G.L., Boxaspen, K.K., Madhun, A.S. & Svåsand, T. (2010) "Risikovurdering – miljøvirkninger av norsk fiskeoppdrett". Rapport, Havforskningsinstituttet, Bergen.
- Thorpe, J. E. & Morgan, R. I. G. (1978). Periodicity in Atlantic salmon *Salmo salar* L. smolt migration. *Journal of Fish Biology* 12, 541–548.
- Thorstad, E.B., Økland, F., Finstad, B., Sivertsgård, R., Bjørn, P.A. & McKinley, R.S. (2004) Migration speeds and orientation of Atlantic salmon and sea trout post-smolts in a Norwegian fjord system. *Environmental Biology of Fishes* 71, 305-311.
- Thorstad, E.B., Økland, F., Finstad, B., Sivertsgård, R., Plantalech, 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.
- Threlfall, W. (1968) A mass die-off of the three spined sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*) caused by parasites. *Canadian Journal of Zoology* 46, 105-106.
- Tingley, G.A., Ives, M.J. & Russell, I.C. (1997) The occurrence of lice on sea trout (*Salmo trutta* L.) captured in the sea off the East Anglian coast of England. *ICES Journal of Marine Science* 54, 1120-1128.
- Tompkins, D.M. & Begon, M. (1999) Parasites can regulate wildlife populations. *Parasitology Today* 15, 311-313.
- Tompkins, D.M., Greenman, J.V., Robertson, P.A. & Hudson, P.J. (2000) The role of shared parasites in the exclusion of wildlife hosts: *Heterakis gallinarum* in the ringnecked pheasant and the grey partridge. *Journal of Animal Ecology* 69, 829-840.
- 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. *Journal of Fish Diseases* 23, 309-320.
- Tully, O. & Nolan, D.T. (2002) A review of the population biology and host-parasite interactions of the sea louse *Lepeophtheirus salmonis* (Copepoda: Caligidae). *Parasitology* 124, 165-182.
- Tully, O., Poole, W.R., Whelan, K.F. & Mergigoux, S. (1993) "Parameters and possible causes of *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer) infesting sea trout (*Salmo trutta* L.) off the west coast of Ireland", i: *Pathogens of Wild and Farmed Fish: Sea Lice* (eds G.A. Boxhall & D. Defaye). Ellis Horwood, Chichester, UK.

- Tully, O., Gargan, P., Poole, W.R. & Whelan, K.F. (1999) Spatial and temporal variation in the infestation of sea trout (*Salmo trutta* L.) by the caligid copepod *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer) in relation to sources of infection in Ireland. *Parasitology* 119, 41-51.
- Tveiten, H., Bjørn, P.A., Johnsen, H.K., Finstad, B. & McKinley, R.S. (2010) Effects of the sea louse *Lepeophtheirus salmonis* on temporal changes in cortisol, sex steroids, growth and reproductive investment in Arctic charr *Salvelinus alpinus*. *Journal of Fish Biology* 76, 2318-2341.
- Wagner, G.N., McKinley, R.S., Bjørn, P.A. & Finstad, B. (2003) Physiological impact of sea lice on swimming performance of Atlantic salmon. *Journal of Fish Biology* 62, 1000-1009.
- Wagner, G. N., McKinley, R.S., Bjørn, P.A. & Finstad, B. (2004) Short-term freshwater exposure benefits sea lice-infected Atlantic salmon. *Journal of Fish Biology* 64, 1593-1604.
- 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.
- Wedemeyer, G.A. (1996) *Physiology of fish in intensive culture systems*. Chapman & Hall, New York.
- 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. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 63, 2809-2821.
- Wells, A., Grierson, C.E., Marshall, L., MacKenzie, M., Russon, I.J., Reinardy, H., Sivertsgård, R., Bjørn, P.A., Finstad, B., Wendelaar Bonga, S.E., Todd, C.D. & Hazon, N. (2007) Physiological consequences of “premature freshwater return” for wild sea-run brown trout (*Salmo trutta*) postsmolts infested with sea lice (*Lepeophtheirus salmonis*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 64, 1360-1369.
- Wendelaar Bonga, S.E. (1997) The stress response in fish. *Physiological Review* 77, 591-625.
- Wootton R., Smith J.W. & Needham E.A. (1982) Aspects of the biology of the parasitic copepods *Lepeophtheirus salmonis* and *Caligus elongatus* on farmed salmonids, and their treatment. *Proceeding of the Royal Society of Edinburgh* 81B, 185-197.
- Ådlandsvik, B. & Sundby, S. (1994) Modelling the transport of cod larvae from the Lofoten area. *ICES Mar. Sci. Symp.* 198, 379-392.