

891 Hva avgjør lakselusinfeksjon hos vill laksefisk?

Statistisk bearbeiding av data fra nasjonal lakselusovervåking, 2004-2010

NINA Rapport

Ingeborg Palm Helland, Bengt Finstad, Ingebrigt Uglem, Ola H. Diserud, Anders Foldvik og Frank Hanssen (Norsk institutt for naturforskning)
Pål Arne Bjørn og Rune Nilsen (Havforskningsinstituttet)
Peder Andreas Jansen (Veterinærinstituttet)



NINAs publikasjoner

NINA Rapport

Dette er en elektronisk serie fra 2005 som erstatter de tidligere seriene NINA Fagrapport, NINA Oppdragsmelding og NINA Project Report. Normalt er dette NINAs rapportering til oppdragsgiver etter gjennomført forsknings-, overvåkings- eller utredningsarbeid. I tillegg vil serien favne mye av instituttets øvrige rapportering, for eksempel fra seminarer og konferanser, resultater av eget forsknings- og utredningsarbeid og litteraturstudier. NINA Rapport kan også utgis på annet språk når det er hensiktsmessig.

NINA Temahefte

Som navnet angir behandler temaheftene spesielle emner. Heftene utarbeides etter behov og serien favner svært vidt; fra systematiske bestemmelsesnøkler til informasjon om viktige problemstillinger i samfunnet. NINA Temahefte gis vanligvis en populærvitenskapelig form med mer vekt på illustrasjoner enn NINA Rapport.

NINA Fakta

Faktaarkene har som mål å gjøre NINAs forskningsresultater raskt og enkelt tilgjengelig for et større publikum. De sendes til presse, ideelle organisasjoner, naturforvaltningen på ulike nivå, politikere og andre spesielt interesserte. Faktaarkene gir en kort framstilling av noen av våre viktigste forskningstema.

Annen publisering

I tillegg til rapporteringen i NINAs egne serier publiserer instituttets ansatte en stor del av sine vitenskapelige resultater i internasjonale journaler, populærfaglige bøker og tidsskrifter.

Hva avgjør lakselusinfeksjon hos vill laksefisk?

Statistisk bearbeiding av data fra nasjonal lakselusovervåking,
2004-2010

Ingeborg Palm Helland, Bengt Finstad, Ingebrigt Uglem, Ola H. Diserud,
Anders Foldvik og Frank Hanssen (NINA)
Pål Arne Bjørn og Rune Nilsen (HI)
Peder Andreas Jansen (VI)



Hva avgjør lakselusinfeksjon hos vill laksefisk? Statistisk bearbeiding av data fra nasjonal lakselusovervåking, 2004-2010 - NINA Rapport 891. 51 s.

Trondheim, oktober 2012

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-2490-1

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

REDAKSJON

Bengt Finstad

KVALITETSSIKRET AV

Grethe Robertsen

ANSVARLIG SIGNATUR

Assisterende forskningssjef: Elisabet Forsgren (sign.)

OPPDRAGSGIVER(E)

Direktoratet for naturforvaltning

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER

Atle Kambestad, Direktoratet for naturforvaltning

FORSIDEBILDE

Anders Lamberg

NØKKEWORD

Lakselus; Oppdrett; Norskekysten; Overvåking; Langtidsserier; Statistisk bearbeiding; Laks; Sjørørret; Sjørøye; Nasjonale laksefjorder

KEY WORDS

Salmon lice; Sea lice; Aquaculture; Norwegian coast; Monitoring; Long time-series; Statistical analyses; Atlantic salmon; Sea trout; Arctic char; National salmon fjords

KONTAKTOPPLYSNINGER

NINA hovedkontor

Postboks 5685 Sluppen
7485 Trondheim
Telefon: 73 80 14 00
Telefaks: 73 80 14 01

NINA Oslo

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon: 73 80 14 00
Telefaks: 22 60 04 24

NINA Tromsø

Framsenteret
9296 Tromsø
Telefon: 77 75 04 00
Telefaks: 77 75 04 01

NINA Lillehammer

Fakkellgården
2624 Lillehammer
Telefon: 73 80 14 00
Telefaks: 61 22 22 15

Sammendrag

Hva avgjør lakselusinfeksjon hos vill laksefisk? Statistisk bearbeiding av data fra nasjonal lakselusovervåking, 2004-2010 - NINA Rapport 891. 51 s.

Norsk institutt for naturforskning (NINA) med samarbeidspartnere har siden 1992 samlet inn et omfattende datamateriale over lakseluspåslag hos vill laksefisk. Rapporteringen fra denne nasjonale lakselusovervåkinga har så langt vært av en deskriptiv karakter, der hovedmålet har vært å presentere nye registreringer i forhold til tidligere års nivåer av lakselus. På grunn av manglende midler til bearbeiding og publisering har det imidlertid ikke vært muligheter til å undersøke hvordan lakseluspåslaget henger sammen med omgivelsene og variasjoner i miljøforhold. I dette prosjektet har vi ved hjelp av midler fra Direktoratet for naturforvaltning (DN), samt noe tilleggsfinansiering fra Fiskeri- og kystdepartementet (FKD), for første gang foretatt en omfattende statistisk analyse av data fra luseovervåkinga, hvor vi har satt variasjoner i lusepåslag i sammenheng med miljøvariabler som smittetrykk fra oppdrettsanlegg, salinitet og temperatur. Den statistiske modelleringen har vært ledet og utført av forskere ved NINA, med innspill fra forskere ved Havforskningsinstituttet (HI) og Veterinærinstituttet (VI).

Våre analyser av vill sjøørret fra perioden 2004-2010 viser at både smittetrykk fra oppdrett, temperatur og ferskvannsavrenning har signifikant påvirkning på lakseluspåslaget på villfisk. Sannsynligheten for at en fisk har lus øker med økt smittetrykk fra oppdrettsanlegg og økt temperatur og synker med større mengde ferskvannsavrenning. Den avhenger også av interaksjonen mellom temperatur og smittetrykk. Når det er høyt smittetrykk fra oppdrettsanlegg i området er dette sterkt bestemmende for om villfisk har lus, og denne effekten slår ut effekten av temperatur. Ved lavere intensitet av smitte fra oppdrett øker derimot sannsynlighet for lusepåslag på villfisk med økende temperatur. Videre er sannsynligheten for å være infisert med lus større for store fisk enn for små.

Fordi resultatene av analysene påvirkes av en rekke valg, slik som utvalg av data og type statistisk tilnærming, består rapporten i stor grad av drøftinger av ulike potensielle tilnærmingsmåter. Vi har brukt tre ulike mål på lakseluspåslag i våre analyser: hvorvidt en fisk har lus eller ikke (binær responsvariabel), andel fisk med et visst nivå av lus (proporsjonal responsvariabel) og totalt antall lus på hver fisk (responsvariabel med nullinflasjon). Gjennom å sammenlikne disse ulike tilnærmingene har vi forsøkt å belyse både statistiske og biologiske utfordringer knyttet til å forstå hva som avgjør lusepåslag hos villfisk.

Gjennom dette arbeidet har vi sett at tidligere innsamlete data har visse svakheter knyttet til mulighetene for å forstå den observerte variasjonen i lakseluspåslaget. Dette skyldes først og fremst at den store naturlige variasjonen i lusepåslag mellom individer gjør at det kreves store mengder data for å kunne finne statistiske sammenhenger mellom lusepåslaget på villfisk og de omgivelsene fisken har vært i. Videre er det ikke avklart hvilket mål på lusepåslag som er mest velegnet når effekter av lus skal vurderes. Rapporten avsluttes derfor med anbefalinger for framtidig overvåking av lakselus på villfisk.

Ingeborg Palm Helland ingeborg.helland@nina.no

Bengt Finstad bengt.finstad@nina.no

Ingebrigt Uglem ingebright.uglem@nina.no

Ola H. Diserud ola.diserud@nina.no

Anders Foldvik anders.foldvik@nina.no

Frank Hanssen frank.hanssen@nina.no

Pål Arne Bjørn paal.arne.bjorn@imr.no

Rune Nilsen rune.nilsen@imr.no

Peder Andreas Jansen peder.jansen@vetinst.no

Abstract

What governs sea lice infections of wild salmonids? Statistical analyses of data from the Norwegian national sea lice monitoring, 2004-2010 – NINA Report 891, 51 pp.

Norwegian institute for nature research (NINA) and collaborators have since 1992 gathered an extensive dataset based on registrations of sea lice on wild salmonid fish. The data from this national sea lice monitoring have until now only been used for yearly reports comparing the levels of sea lice in one year with levels recorded previous years. Due to lack of funding it has previously not been possible to use the dataset to check for a relationship between sea lice levels and environmental conditions. In this project, funded by the Norwegian Directorate for Nature Management with additional funding from Ministry of Fisheries and Coastal Affairs, we have for the first time conducted statistical modeling of the data from the national sea lice monitoring and compared variations in sea lice countings with environmental variables such as infection pressure from fish farms, salinity and temperature. The analyses are performed on wild sea trout collected along the Norwegian coast in the period 2004-2010. The statistical modeling has been conducted by researchers from NINA, with contributions from the Institute of Marine Research (IMR) and Norwegian Veterinary Institute (NVI).

According to our analyses the sea lice level on wild fish depends on infection pressure from fish farms, temperature and salinity. The probability for a fish to have lice increases with increased infection pressure from fish farms and increased temperature, and decreases with larger influence of freshwater. Furthermore, there was also a significant interaction between infection pressure and temperature. When the infection pressure from fish farms in an area is high this strongly influence the probability of a wild fish to have sea lice, and this effect is stronger than that of temperature. However, when the infection level from fish farms is lower the effect of this on wild fish increases with increasing temperature. Additionally, larger fish has higher probability of being infected by sea lice than smaller fish.

Because our results are influenced by several necessary choices to be made, such as what selection of the data to use and choice of statistical approach, discussions of the potential approaches are discussed in the report. Three different measures for sea lice infections were used in our analyses: presence/absence of sea lice (binary response variable), the percentage of fish with a certain level of sea lice infections (proportional response variable) and the total number of lice on each fish (zero-inflated response variable). By comparing these different approaches we have tried to illustrate both statistical and biological challenges related to getting an understanding of what governs sea lice levels of wild salmonids.

Through performing this work we revealed weaknesses in the previously collected data that makes it difficult to use it to understand the observed variation in sea lice levels. Mainly this was due to the large natural variation in sea lice infections between individuals, resulting in that large amounts of data are required to statistically describe the relationship between sea lice levels on wild fish and their environment. Furthermore, it is not clear what measure of sea lice infections is best suited to evaluate effects on wild fish. Therefore, we have given recommendations to improve sea lice monitoring on wild salmonids in the future.

Ingeborg Palm Helland ingeborg.helland@nina.no

Bengt Finstad bengt.finstad@nina.no

Ingebrigt Uglem ingebrikt.uglem@nina.no

Ola H. Diserud ola.diserud@nina.no

Anders Foldvik anders.foldvik@nina.no

Frank Hanssen frank.hanssen@nina.no

Pål Arne Bjørn paal.arne.bjorn@imr.no

Rune Nilsen rune.nilsen@imr.no

Peder Andreas Jansen peder.jansen@vetinst.no

Innhold

Sammendrag	3
Abstract	4
Innhold	5
Forord	6
1 Innledning	7
1.1 Bakgrunn	7
1.2 Lakselusas biologi	7
1.3 Mål for prosjektet	8
2 Metoder	9
2.1 Nasjonal overvåking av lakselus på villfisk	9
2.2 Sammenstilling av data	12
2.2.1 Lakselustellinger på villfisk	12
2.2.2 Smittetrykk fra oppdrettsanlegg	16
2.2.3 Miljøvariabler	17
2.3 Vurdering av datagrunnlaget	20
2.3.1 Lakselustellinger på villfisk	20
2.3.2 Smittetrykk fra oppdrettsanlegg	21
2.3.3 Miljøvariabler	21
2.4 Statistisk tilnærming	23
2.4.1 Prøvefiskeomganger som ikke er uavhengige	23
2.4.2 Ulike mål på lusepåslag	23
2.4.2.1 Om en fisk har lus eller ikke – binær responsvariabel	24
2.4.2.2 Andel fisk med et visst nivå av lus – proporsjonal responsvariabel	24
2.4.2.3 Totalt antall lus registrert på hver fisk – responsvariabel med nullinflasjon	25
2.4.3 Overspredning	28
2.4.4 Forholdet mellom de ulike forklaringsvariablene	28
2.4.5 Modellsammenlikninger	29
3 Analyser av historiske lakselusdata	30
3.1 Om en fisk har lus eller ikke	30
3.1.1 Statistiske resultater – binær responsvariabel	30
3.1.2 Vurdering av modellens egnethet	32
3.2 Andel fisk med et visst nivå av lus	33
3.2.1 Statistiske resultater – proporsjonal responsvariabel	33
3.2.2 Vurdering av modellens egnethet	36
3.3 Totalt antall lus registrert på hver fisk	38
3.3.1 Statistiske resultater – responsvariabel med nullinflasjon	38
3.3.2 Vurdering av modellens egnethet	38
4 Diskusjon	40
4.1 Sammenhengen mellom lusepåslag på villfisk og omgivelsene	40
4.2 Egnete mål for lusepåslag	41
4.2.1 Sammenlikning av ulike mål	41
4.2.2 Grenseverdier og antall lus per gram fiskevekt	42
4.3 Oppbygging av den nasjonale lakselusovervåkinga	44
4.3.1 Lokalisering av prøvefiskestasjoner	44
4.3.2 Registrering av nødvendige miljøvariabler	45
4.3.3 Antall individer og metodikk for prøvefiske	47
4.3.4 Framtidige indikatorer for lusepåslag	48
5 Konklusjon og anbefalinger	49
6 Referanser	50
7 Vedlegg I	52

Forord

Norsk institutt for naturforskning (NINA) med samarbeidspartnere har siden 1992 samlet inn et omfattende datamateriale angående lakseluspåslag hos vill laksefisk. Materialet omfatter data fra prøvefiske etter sjørørret og sjørøye, utsetting av bur med laksesmolt og tråling etter postsmolt. Innsamlingsomfanget har variert avhengig av tilgjengelig finansiering. Resultatene har blitt publisert i interne årsrapporter og i tillegg har enkelte deler av materialet blitt publisert i internasjonale fagtidsskrift. Rapporteringen har delvis vært basert på bruk av egne midler i og med at det ikke har vært avsatt tilstrekkelig midler til publisering. Dette har medført at rapporteringen så langt har vært av en deskriptiv karakter der hovedmålet har vært å presentere nye innsamlede data i forhold til tidligere års resultater. Trendene i datamaterialet har blitt benyttet til å evaluere lusesituasjonen langs Norskekysten generelt, samt i de senere år til å vurdere lusesituasjonen i nasjonale laksefjorder i forhold til andre områder. Eksisterende kunnskap om toleransegrenser hos laksefisk for lus har blitt brukt for å bedømme om tilstanden har vært kritisk eller ikke. Vi har imidlertid ikke hatt mulighet for å undersøke effekter og samvariasjon knyttet til en rekke viktige forklaringsfaktorer. Eksempler er lusemengde i oppdrettsanlegg, nærhet til anlegg, behandlingsregimer/brakklegging, salinitet/temperatur og variasjon i populasjonsstørrelse hos villfisk. Slike analyser har, spesielt de senere årene, blitt etterlyst. Det er svært viktig å undersøke variasjon i lusepåslag i forhold til ulike forklaringsfaktorer for å kunne forstå sammenhengen mellom oppdrett og effekter av lakselus på vill laksefisk. Slik kunnskap vil være sentral både for forvaltningen og oppdrettsnæringen, siden den vil bidra til verifisering av effekten av ulike tiltak og for å identifisere eventuelle kunnskaps-hull. Kunnskapen vil også kunne brukes til å utarbeide regionale forvaltningsmodeller for utvalgte fjordsystem.

Gjennomføring av denne typen statistiske analyser er tidkrevende, spesielt med tanke på innsamling og standardisering av ulike forklaringsvariabler. Ved hjelp av midler fra Direktoratet for naturforvaltning (DN), samt noe tilleggsfinansiering fra Fiskeri- og kystdepartementet (FKD), har vi i dette prosjektet foretatt en statistisk analyse av det innsamlede lakselusmaterialet på villfisk i perioden 2004-2010 og satt dette i sammenheng med smittetrykk fra oppdrettsanlegg og opp mot miljøvariabler som salinitet, temperatur, vannføring etc. Den statistiske modelleringen har vært ledet og utført av forskere ved NINA, med innspill fra forskere ved Havforskningsinstituttet (HI) og Veterinærinstituttet (VI).

Rapporten er inndelt i fem deler. Etter en kort innledning i **kapittel 1**, inneholder **kapittel 2** en detaljert gjennomgang av datamaterialets beskaffenhet og drøftinger rundt valg av egnet metodikk for å analysere dataene som foreligger. Denne bakgrunnen er nødvendig for å forstå resultatet av de statistiske analysene som er presentert i **kapittel 3**. I **kapittel 4** drøftes resultatene samt ulike muligheter for overvåking av lakseluspåslag på villfisk. Til slutt inneholder **kapittel 5** konklusjoner og anbefalinger for framtidig overvåking av lakselus.

Rapporten er utarbeidet av NINA, i samarbeid med HI og VI. Prosjektet er i første rekke finansiert via et tilskudd fra DN til NINA, men også delvis gjennom finansiering fra FKD til HI. I tillegg har alle de tre instituttene bidratt med betydelig egeninnsats for å muliggjøre dette arbeidet. Mange personer fra forskning, forvaltning og andre lag har vært involvert i innsamling av feltdata og disse takkes herved. Feltinnsamlingen av datamaterialet som er grunnlaget for denne rapporten har vært finansiert av Direktoratet for naturforvaltning, Mattilsynet, Norges forskningsråd, samt av våre respektive institusjoner.

Trondheim, november 2012

Bengt Finstad

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Lakselus er et parasittisk krepsdyr som er spesialisert på laksefisk og lever av vertens slim, hud og blod. Fisk med høyt lusepåslag kan få nedsatt sykdomsforsvar, redusert vekst og økt dødelighet (Revie mfl. 2009; Finstad & Bjørn 2011; Finstad mfl. 2011; Anonym 2012; Taranger mfl. 2012; Krkošek mfl. 2012). Produksjonen av oppdrettsfisk har økt kolossalt i løpet av det siste tiåret. Derfor har potensialet for produksjon av lakselus økt som følge av økt vertstilgang (Anonym 2011b). På grunn av det store antallet oppdrettsfisk i forhold til villfisk, er det totale bidraget av lakselus-larver fra oppdrettsfisk større enn larveproduksjonen fra villfisk. I tillegg rømmer store mengder oppdrettsfisk årlig og dette bidrar til at antallet frittlevende verter øker, noe som øker smittefaren for villfisk. Smittepresset fra oppdrettsanlegg varierer imidlertid med sesong, område, oppdrettsintensitet og avlusningsrutiner. Forhold som har særlig betydning for forekomst av lakselus er saltholdighet, vannutskiftning, temperatur og forekomst av oppdrettsfisk i sjøen (Johnson & Albright 1991; Bricknell mfl. 2006; Asplin & Sandvik 2009).

For laks er det særlig lakselusproduksjonen i forkant av smoltutvandringen om våren som er avgjørende for hvor høyt smittepress laksesmolten blir utsatt for. Store mengder fisk med larveproduserende lakselushunner i kystnære farvann kan derfor øke infeksjonspresset betydelig i den mest kritiske perioden av året. For sjørret og sjørøye vil påvirkningen av lakselus i våre fjordsystemer ha en annen dynamikk, fordi disse artene oppholder seg i fjordene store deler av året (Jensen & Rikardsen 2008; Jonsson & Jonsson 2011). De er derfor utsatt for gjentakende lakselusinfeksjoner under sjøoppholdet over et lengre tidsrom enn det som er relevant for laks.



Foto: Bengt Finstad, NINA

1.2 Lakselusas biologi

Livssyklusen til lakselusa består av 10 stadier (Schram 1993) der lusa først lever frittlevende i vannmassene (naupliuslarver) for så å hekte seg fast på fisken (infektiv kopepoditt og fastsittende chalimuslarver). Så snart lusa har vokst seg stor nok til å bevege seg fritt på fisken (preadult og adult lus) øker hudskadene som følge av lusas beiting. Eggene til lakselus blir befruktet inni hunnen, som så legger dem i to sekker (strenger) som henger fra kroppen. Etter å ha parret seg en gang kan en hunn lage opp til 11 par strenger, med ca. 300-600 egg i hvert par (Pike & Wadsworth 2000; Boxaspen 2006). Utviklingshastigheten er avhengig av vanntemperaturen slik at en fisk (postsmolt) som får påslag av lus i kaldt vann, vil oppleve negative effekter av lakselus senere enn en fisk i varmere vann. Det er vist at utviklingstiden fra det

frittsvømmende naupliestadiet til den infektive copepoditten tar henholdsvis 9,3, 3,6 og 1,9 dager ved temperaturer på 5, 10 og 15 °C (Johnson & Albright 1991). I henhold til EWOS (Bestemmelsesskjema for lakselus, <http://www.ewos.com/>), tar utviklingen fra copepoditt til voksen hunn lus henholdsvis 69, 44 og 18 dager ved 7, 10 og 17 °C. Grovt sett kan man regne at lakselusa kan leve 150 døgngrader i vannmassene før den enten finner en vert eller dør (Asplin & Sandvik 2009). Ved en vanntemperatur på 10 °C vil denne perioden tilsvare 15 dager. I henhold til Asplin & Sandvik (2009) kan lakselus spres med en hastighet på mer enn 2 km/t i vannmassene i en fjord og kan potensielt spres lenger enn 100 km i vannmassene. Ved lavere temperaturer kan man forvente et større spredningspotensiale på grunn av lengre utviklingstid for de ulike frittlevende stadiene. Salinitet påvirker også lakselusa og det er vist at overlevelsen til lus reduseres når saltholdigheten er under 20 ‰ (Bricknell mfl. 2006).

1.3 Mål for prosjektet

NINA med samarbeidspartnere har siden 1992 samlet inn et omfattende datamateriale over lakseluspåslag hos vill laksefisk (Finstad & Bjørn 2011). Materialet omfatter data fra prøvafiske etter sjørørret og sjørøye, utsetting av bur med laksesmolt og tråling etter postsmolt (Bjørn mfl. 2011b). Innsamlingsomfanget har variert avhengig av tilgjengelig finansiering. Resultatene har hovedsakelig blitt publisert i interne årsrapporter, men enkelte deler av materialet har også blitt publisert i internasjonale fagtidsskrift. Rapporteringen har delvis vært basert på bruk av egne midler fordi det ikke har vært avsatt tilstrekkelig midler til publisering. Dette har medført at rapporteringen så langt har vært av en deskriptiv karakter der hovedmålet har vært å presentere nye innsamlede data i forhold til tidligere års resultater. Trendene i datamaterialet har blitt benyttet til å evaluere lusesituasjonen langs Norskekysten generelt, og i de senere år også til å vurdere lusesituasjonen i nasjonale laksefjorder i forhold til andre områder. Eksisterende kunnskap om toleransegrenser hos laksefisk for lus (Finstad & Bjørn 2011; Taranger mfl. 2011) har blitt brukt for å bedømme om tilstanden til populasjoner har vært kritisk eller ikke. Fram til nå har vi imidlertid ikke hatt mulighet til å undersøke effekter av viktige miljøvariabler og hvordan disse kan samvarierte. Eksempler på viktige variabler er lusemengde i oppdrettsanlegg, nærhet til anlegg, behandlingsregimer, brakklegging, salinitet, temperatur og variasjon i populasjonsstørrelse hos villfisk. Slike analyser har blitt etterlyst, spesielt de senere årene. Det er viktig å undersøke variasjon i lusepåslag i forhold til ulike forklaringsfaktorer for å kunne forstå sammenhengen mellom oppdrett og effekter av lakselus på vill laksefisk. Slik kunnskap vil være sentral både for forvaltningen og oppdrettsnæringen, siden den vil bidra til vurdering av overvåkningsstrategier og effekter av ulike tiltak, samt for å identifisere eventuelle kunnskapshull. Kunnskapen vil også kunne bidra til regionale forvaltningsmodeller for utvalgte fjordsystemer.

Gjennomføring av slike statistiske analyser er tidkrevende og fordrer spesiell kompetanse innen statistisk modellering. Systematisering av data og evaluering av i hvilken grad det innsamlede tallmaterialet kan standardiseres er også essensielt. Det er videre ikke gitt at tilstrekkelig bakgrunnsmateriale eksisterer for å sette sammen representative forklaringsfaktorer. Et eksempel er bestandsvariasjoner hos vill laksefisk der eksisterende informasjon kan være for mangelfull til at pålitelige mål på variasjoner i bestandsstørrelse kan etableres.

Målet med dette prosjektet har vært å utføre statistiske analyser av det tidligere innsamlende materialet. Arbeidet har vært et samarbeid mellom Norsk institutt for naturforskning (NINA), Havforskningsinstituttet (HI) og Veterinærinstituttet (VI) og har bestått av følgende:

- Systematisering av det innsamlede materialet og etablering av en database, samt evaluering av hvilke data, lokaliteter og perioder som skal inkluderes i videre analyser.
- Innsamling av bakgrunnsinformasjon for utvelgelse av viktige forklaringsfaktorer og evaluering av disse faktorenes pålitelighet.
- Gjennomføring av statistiske analyser hvor metodikken er tilpasset det tilgjengelige datamaterialet.
- Sammenstilling og rapportering av resultater fra disse analysene.

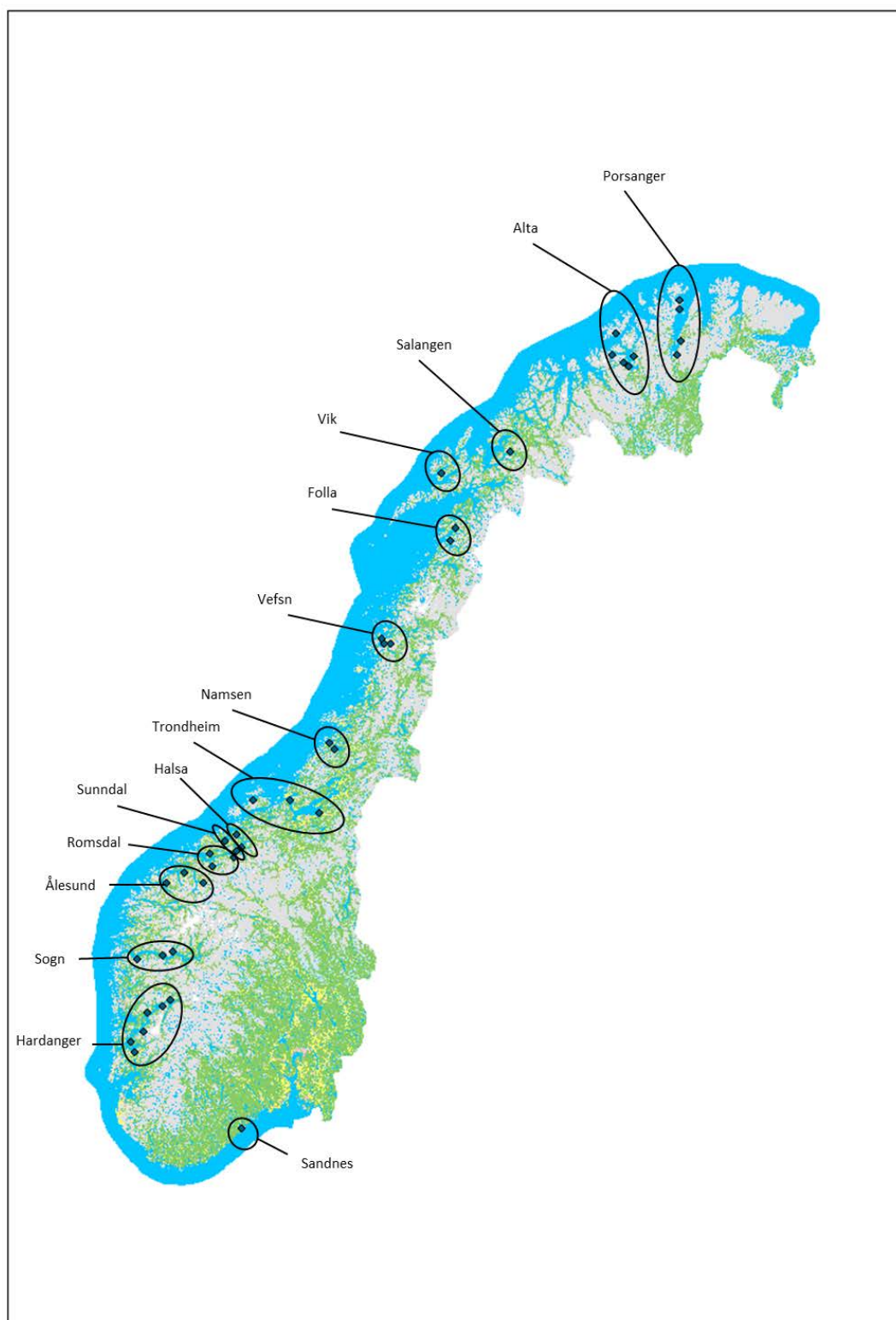
2 Metoder

2.1 Nasjonal overvåking av lakselus på villfisk

Den nasjonale overvåkinga består av prøvefiske med garn etter sjørret og sjørøye, utsetting av bur med laksesmolt, tråling etter postsmolt og undersøkelser av prematur tilbakevandrende fisk i munningsområdene av utvalgte vassdrag (Anonym 2010; Bjørn mfl. 2011b; Anonym 2012; Berg mfl. 2012). Det er et fundamentalt problem for innsamling av representative data for påslag av lakselus på vill laksefisk at man bare kan samle fisk som har overlevd infeksjonene (Revie mfl. 2009). Det er ikke praktisk mulig å samle død fisk i sjøen, verken laksesmolt eller sjørret og sjørøye. Dette innebærer at man i registreringene vil stange mot ei tålegrense, og det blir skjevhet i data for påslag (spesielt intensitet). Dersom det er betydelig dødelighet vil dette medføre at lusenivåene i innsamlet materiale vil bli underestimert i forhold til bestandens eller bestandenes (i fjordsystemet eller regionen) faktiske belastning. I andre tilfeller kan man tenke seg at sterkt infisert fisk er mer fangbar enn mindre infisert fisk, og at innsamlingsmetodikken dermed gir overestimer. Dette er mest sannsynlig bare et problem i aktive redskaper der fisken kan unngå å bli fanget ved å flykte. Garn og ruser er passive redskap som, selv om de krever at fisken svømmer aktivt, også fanger svekket fisk med lav aktivitet, men neppe døende fisk. Disse problemene med innsamlings-skjevhet er hovedårsaken til at den nasjonale overvåkinga er basert på et sett av metoder.

Arbeidet presentert i denne rapporten er basert på data som tidligere er samlet inn under den nasjonale lakselusovervåkinga. Vi har kun benyttet data fra villfisk som er samlet inn med garn i perioden 2004-2010. Datamaterialet består i all hovedsak av sjørret, men særlig fra de nordlige fjordområdene er det også noe sjørøye inkludert. Fordi data samlet inn med andre metoder ikke er sammenliknbare med garnfangstene, inneholder våre analyser ingen data fra laks ettersom laks i hovedsak har vært fanget med trål. Garnfiske etter rret og røye i sjøen har blitt gjennomført i to til tre perioder gjennom sommeren, både i ulike delsoner i hver enkel nasjonal laksefjord, samt i referanseområder. Den første prøvefiskeperioden blir gjennomført noen uker etter at mye av fisken som har overvintret i ferskvann og førstegangs vandrende sjørretsmolt har vandret ut i sjøen (våren og sommeren, avhengig av breddegrad), mens den andre og eventuelt tredje perioden blir gjennomført etter at fisken har beitet i sjøen i noen uker (midtsommers eller tidlig høst). Dataene inkludert i rapporten er samlet inn i 15 forskjellige fjord-områder på totalt 41 ulike prøvefiskestasjoner (**Tabell 1, Figur 1**).

Garnfisket i sjøen foregår med standard flytegarn. Valg av garnserie og maskevidder (fra 21 til 35 mm) varierer mellom lokaliteter, med vekt på små maskevidder som fisker selektivt på små fisk (årssmolt). Dette gjøres dels fordi det finnes best kunnskap om toleranse for lus på mindre fisk, og fordi man ønsker å spare større fisk. Garnene blir satt landfast (enkeltvis eller i lenker) og over strandsonen der mye av sjørreten og sjørøya oppholder seg under næringsvandringen i sjøen. Garnene blir overvåket og fisken raskt tatt ut, lagt i individuelle plastposer og enten analysert på stedet eller frosset ned for videre bearbeiding og lakselusregistrering på laboratoriet. Sjørret er mest aktiv på natten og går også nærmere land når det er mørkt. Fisket foregår derfor nattetid. Garnene settes på kvelden og røktes enten kontinuerlig eller tas opp om morgenen. Sannsynligheten for at fisk mister lus øker med tiden fisken står i garnene og garnene bør derfor ikke stå lenger enn 3-5 timer. Hvis garnene røktes for sjelden vil dette kunne føre til et underestimat av lakseluspåslaget, derfor røktes ofte garnene kontinuerlig. Fiskene "trekkes" aldri ut av garnet, fordi den da vil miste lus, og garnmaskene klippes opp dersom det er risiko for at fisken skal miste lus. Lus som sitter igjen i garnet etter at fisken er fjernet legges ned i posen sammen med fisken. Det har vært ønskelig å samle inn minimum 20 fisk per lokalitet per prøvefiske, men om mulig har 25 fisk blitt samlet inn.



Figur 1. Kart over de 41 ulike stasjonene som er inkludert i den nasjonale lakselusovervåkinga i perioden 2004-2010. Se **Tabell 1** for navn på stasjonene.

Tabell 1 Oversikt over de 41 stasjonene fisket med garn ett eller flere år i perioden 2004-2010. Hver lokalitet har fått en stasjonskode, der første tall (1-16) representerer fjordnummer fra nord mot sør, og siste tall (1-6) viser stasjonens plassering innen fjord fra innerst mot ytterst.

Stasjonskode	Stasjonsnavn	Fjordområde	UTM 33 Øst	UTM 33 Nord	Sum fisk
101	Handelsbukt	Porsanger	886648.5389	7808459.867	110
102	Børselv	Porsanger	891566.6826	7833335.734	16
103	Repvåg	Porsanger	888951.1100	7884528.782	34
104	Kåfjord	Porsanger	890223.4811	7899282.228	67
201	Talvik	Alta	804170.5912	7789217.024	438
202	Skillefjord	Alta	814224.6913	7807040.109	94
203	Koven	Alta	795826.0277	7797041.037	34
204	Øksfjord	Alta	776508.6634	7808686.872	81
205	Øyfjord	Alta	783268.6553	7845143.519	47
301	Løksebotn	Salangen	607688.0631	7648037.354	63
401	Vikosen	Vik	493488.4342	7611163.604	229
501	Nordfold	Folla	517495.4082	7521089.553	66
502	Sørfold	Folla	509136.1203	7500254.387	72
601	Leirfjord	Vefsn	408488.9819	7328370.771	74
602	Meisfjord	Vefsn	398580.3723	7328131.419	38
603	Dønna	Vefsn	393698.6905	7336918.717	30
701	Tøtdal	Namsen	316541.8185	7152299.912	80
702	Sitter	Namsen	306422.5436	7162979.805	89
801	Stjørdal	Trondheim	290180.0331	7045532.617	204
802	Agdenes	Trondheim	241596.5265	7068539.117	178
803	Hitra	Trondheim	180083.2439	7067435.176	468
901	Meisingseth	Halsa	161706.6272	6989485.768	77
902	Kanestraumen	Halsa	153089.8163	7009600.704	58
1001	Eidsøra	Sunndal	152911.3407	6982164.378	65
1002	Gjemnes	Sunndal	134348.6629	7000699.564	62
1101	Eresfjord	Romsdal	148813.8375	6972128.469	319
1102	Isfjord	Romsdal	112588.1045	6957425.300	179
1103	Bolsøy	Romsdal	108864.7778	6978604.522	214
1201	Sylte	Ålesund	98165.79829	6930422.110	82
1202	Sykkylven	Ålesund	64635.97605	6946294.504	66
1203	Ørsta	Ålesund	36282.47986	6929130.189	44
1301	Balestrand	Sognefjord	46605.68442	6815650.307	128
1302	Nesseosen	Sognefjord	30285.67124	6809156.416	10
1303	Brekke	Sognefjord	-13739.1231	6802886.202	153
1401	Granvin	Hardanger	42291.75807	6734485.027	103
1402	Indre	Hardanger	28888.20946	6724788.754	50
1403	Midtre	Hardanger	4568.944298	6714299.006	113
1404	Rosendal	Hardanger	-2803.759768	6682461.119	204
1405	Etne	Hardanger	-17201.52627	6648063.817	144
1406	Ytre	Hardanger	-23874.06223	6664745.618	136
1601	Sandnes	Sandnesfjord	160294.0067	6520763.275	171

2.2 Sammenstilling av data

En stor andel av dette prosjektet har bestått i å sammenstille tilgjengelige data nødvendig for å kunne gjøre gode analyser. I tillegg til de historiske lakselustellingene har vi forsøkt å samle relevant informasjon om faktorer som er forventet å påvirke lusepåslaget hos villfisk, slik som intensitet av lusesmitte på oppdrettsfisk i området, temperatur, salinitet, avstand til ferskvann, geografi og sesongvariasjoner. Vi presenterer de sammenstilte dataene i tre grupper; lakselustellinger på villfisk, smittetrykk fra oppdrettsanlegg og miljøvariabler.

2.2.1 Lakselustellinger på villfisk

Det første steget var å sette alle lusetellingene sammen i ett sammenhengende datasett. Dette var en omfattende prosess fordi disse dataene har vært registrert av ulike personer og på ulike måter og dermed ikke forelå på et likt format. Ved å gjøre dem sammenliknbare kunne det gjennomføres analyser og statistiske sammenlikninger på tvers av år og regioner. Vi har som nevnt tidligere kun analysert garnfangster av sjørørret og sjørøye og har ikke tatt med lakse-smolt fra trål eller bur, fordi disse ikke er sammenliknbare med data fra garn. Datasettet inneholder i all hovedsak sjørørret og kun ca. 5 % sjørøye. Derfor har vi slått sammen data for begge arter og vil referere til sjørørret i teksten. Vi har videre bare inkludert data fra perioden 2004-2010. Tidligere data er ekskludert blant annet fordi innsamlingsmetodene i denne perioden avviker fra senere metode og derfor ikke egner seg til direkte sammenlikninger.

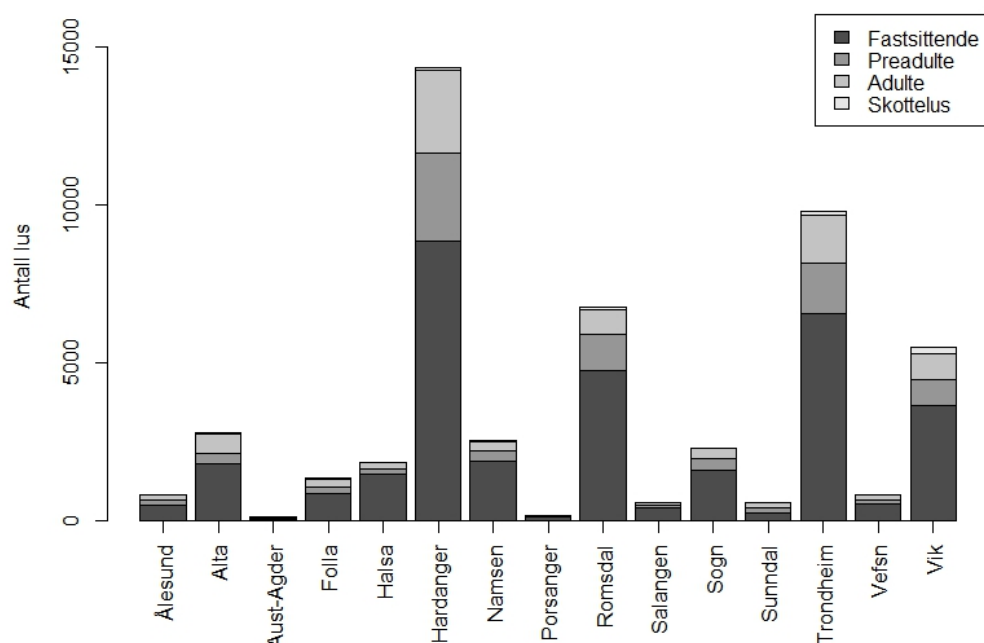
Lakselustellingene på villfisk inneholder informasjon om enkeltfisk som er fanget, fangst-lokalitet og dato, fiskens lengde og vekt, og antall lus talt på fisken. Totalt ga dette et datasett med 4890 individer (280 sjørøye og 4610 sjørørret, heretter er alle individer omtalt som sjørørret), hvorav 2974 individer hadde lus (**Tabell 2**). Det er få fjorder med komplett tidsserie, bare i Altafjorden har vi tellinger fra alle sju år. I tre områder mangler kun data fra ett år (Hardanger, Romsdal og Trondheim), men to av disse mangler et år i midten og har derfor ikke kontinuitet mer enn fem år.

Tabell 2. Antall villfisk inkludert i datasettet, fordelt på år og fjordområde. Se **Figur 1** for kart over prøvefiskestasjoner i de ulike fjordene.

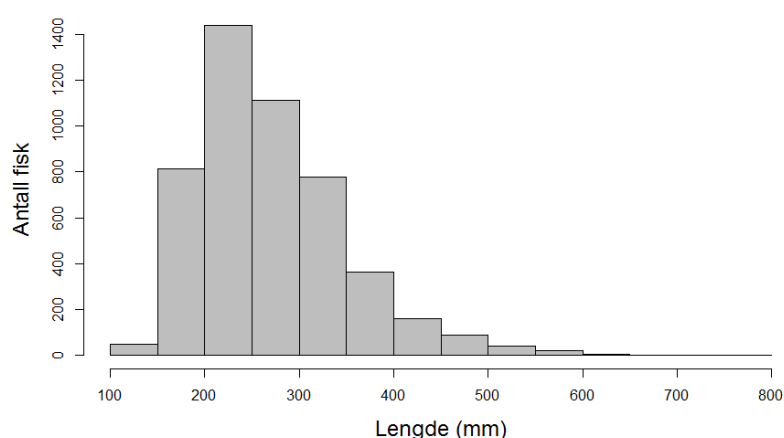
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Porsanger					28	76	123
Alta	136	25	79	134	125	119	76
Salangen			63				
Vik	33		57	41	59		39
Folla						64	74
Vefsn					22		120
Namsen						83	86
Trondheim	121		80	256	126	110	157
Halsa						135	
Sunndal				96	31		
Romsdal	142		64	109	99	119	179
Ålesund							192
Sognefjord	10			74	55	80	72
Hardanger		145	82	72	59	175	217
Sandnesfjord					45	42	84

I lakselustellingene er det også registrert antall lus i ulike stadier, fordelt på fastsittende larve-stadier (chalmus) og bevegelige stadier (preadulte og adulte). I tillegg er individer av skottelus (*Caligus*) notert som en egen kategori. I våre analyser har vi ikke skilt mellom ulike lusestadier, men kun brukt totalt antall lus. Totalt antall lus har vært vanlig å bruke som mål i rapporteringene fra den nasjonale lakseovervåkinga (Bjørn mfl. 2011a; Bjørn mfl. 2011b;

Finstad & Bjørn 2011), og videre er antall lus i forskjellige stadier ofte svært lavt, noe som ville ha vanskeligjort analysene. Flesteparten av de registrerte lakselusene var fastsittende larver (66 %), mens bidraget fra de andre gruppene er mindre (preadulte 17 %, adulte 16 % og skottelus 1%, **Figur 2**). Fiskenes kroppslengde varierte mellom 105 og 768 mm (gaffellengde), med flertallet av individene i størrelsesklassen 150 - 350 mm (**Figur 3**).



Figur 2. Antall lus i forskjellige stadier registrert på sjørret og sjørøye fordelt på fjordområde for alle år samlet. Kart over prøvefiskestasjoner i de ulike fjordene er vist i **Figur 1**.

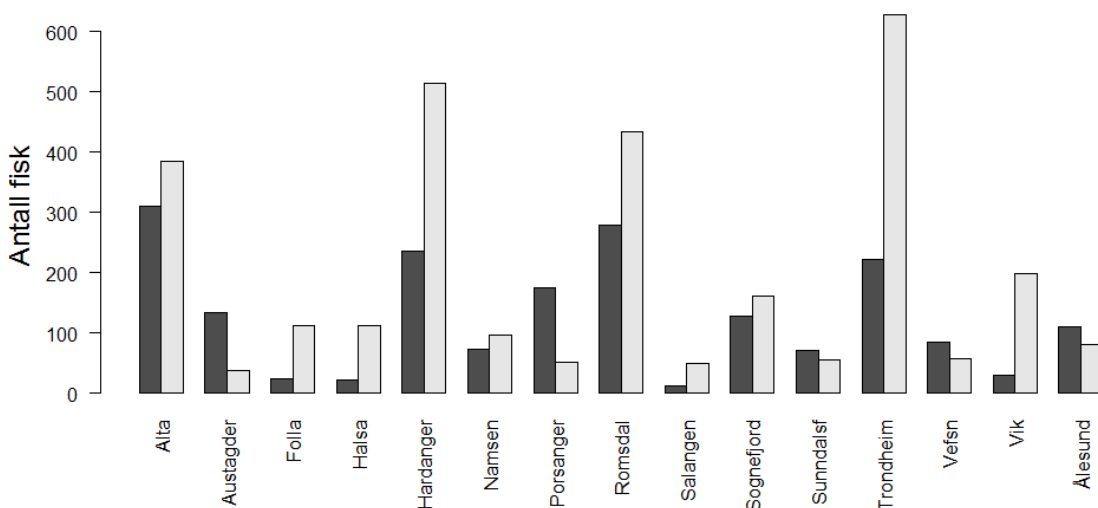


Figur 3. Antall villfisk i datasettet fordelt på lengdeklasser.

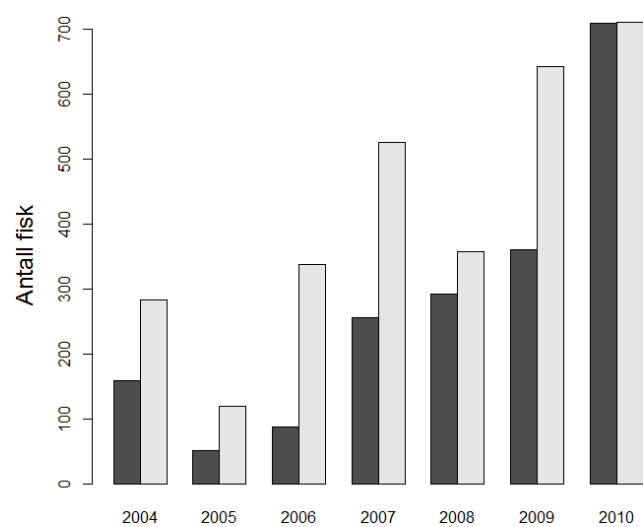


Foto: Rune Nilsen, HI

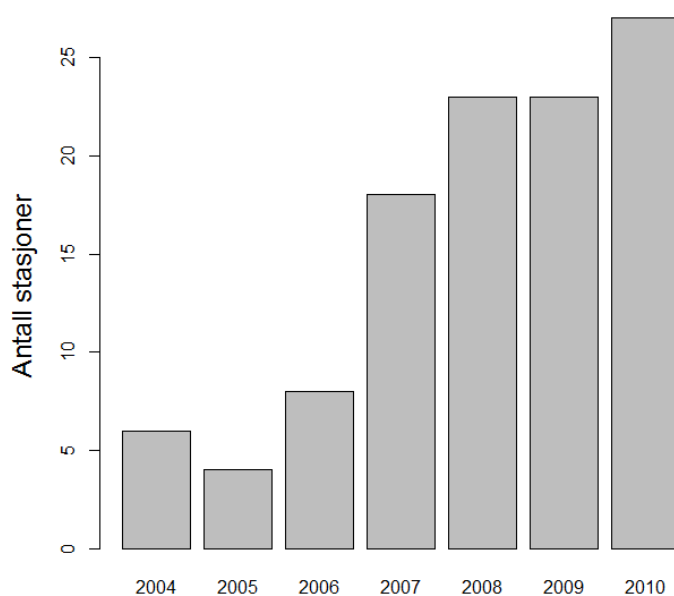
Antall fisk som har blitt fanget varierer både mellom fjordområder og mellom år. Det har blitt fanget flest sjøørret i Trondheimsfjorden (850 individer), Hardangerfjorden (750), Romsdalsfjorden (712) og Altafjorden (694, **Figur 4**). Det har vært en økning i antall fisk i lakselus-observasjonen over tid (**Figur 5**). De høyeste prøvfiskefangstene er fra i 2010 (1419 individer), 2009 (989) og 2007 (782), og den laveste i 2005 (170). Parallelt med økningen i antall fisk har det vært en jevn økning i antall stasjoner inkludert i observasjonen (**Figur 6**). Variasjonen i lusepåslag mellom ulike områder og perioder er beskrevet i den årlige rapporteringen til den nasjonale lakselusobservasjonen (Bjørn mfl. 2011a; Bjørn mfl. 2011b; Finstad & Bjørn 2011), og vil ikke bli drøftet her. I denne rapporten søker vi å svare på hvilke variabler som påvirker mengden lus på generell basis, og derfor presenteres kun analyser av hele datasettet samlet uten å gå i dybden i spesifikke områder eller perioder.



Figur 4. Antall fisk i datasettet uten lus (mørk grå) og med lus (lys grå) fordelt på område for alle år samlet. Se **Figur 1** for kart over prøvfiskestasjoner i de ulike fjordene.



Figur 5. Antall fisk i datasettet uten lus (mørk grå) og med lus (lys grå) fordelt på år for hele landet samlet.



Figur 6. Antall stasjoner som er prøvefisket hvert år. Totalt er det 41 ulike stasjoner som har blitt prøvefisket en eller flere ganger i perioden 2004-2010 (se **Figur 1** og **Tabell 1** for oversikt over stasjoner).

Sammenstillingen av alle lakselustellingene ga en oversikt over den romlige og tidsmessige fordelinga i datasettet. Innenfor hver av de 15 fjordområdene er det et ulikt antall stasjoner som er fisket, totalt 41 stasjoner (**Figur 1, Tabell 1**). Stasjonene har blitt fisket på ulike tidspunkter og med ulik hyppighet i perioden fra mai 2004 til september 2010. Mesteparten av det årlige prøvefisket er foretatt i perioden fra mai til august, men i enkelte år og områder inneholder datasettet fisk fanget fra februar til november. Dersom alle individer som er fanget på samme stasjon og i samme måned anses å tilhøre samme prøvefiske, inneholder datasettet vi har analysert 244 ulike prøvefiskeomganger (**tabell V1, se Vedlegg I**). Ved å bruke tidspunkt (måned og år) og geografiske koordinater for hvert prøvefiske kunne vi identifisere fra hvilke områder og perioder vi trengte å fremskaffe data over miljøvariabler og luseintensitet fra oppdrettsanlegg.



Foto: Rosa Maria Serra Llinnares, HI

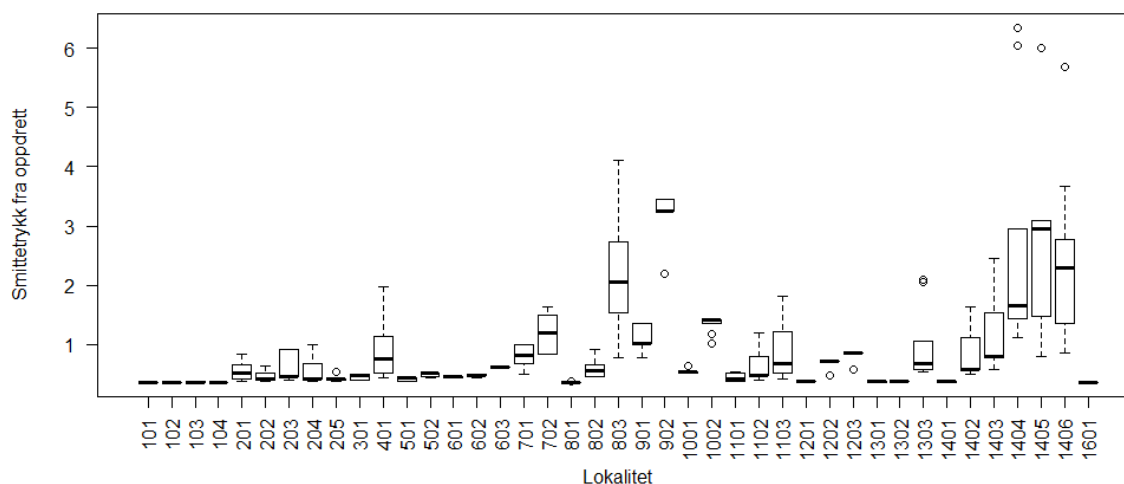
2.2.2 Smittetrykk fra oppdrettsanlegg

For hver av de 244 prøvefiskeomgangene som ble definert gjennom å sammenstille lakselustellingene (se **kapittel 2.2.1**) har vi beregnet et smittetrykk av lakselus fra oppdrettsanlegg for det aktuelle området og den aktuelle perioden.

Beregningene av tetthet av lakselus på oppdrettsfisk er gjort på grunnlag av månedlig innmeldte lusedata, samt bestandsantall av oppdrettslaks eller regnbueørret, til Havbruksdata (<http://havbruksdata.no/>). Disse dataene dekker alle oppdrettsanlegg med fisk i sjøen. Innrapporteringen omfatter gjennomsnittlig infeksjon av henholdsvis gravide hunnlus og øvrige mobile stadier av lakselus. Til tetthetsberegninger av totalt antall lakselus på et anlegg er disse to kategoriene summert, og deretter multiplisert med antall fisk på den gitte lokaliteten. For hver måned er så lusetallene på hver lokalitet glattet ut over kysten ved hjelp av en kjernetetthetsfunksjon (*Kernel density*) i *ArcGIS Spatial analyst* i en radius av 40 km og gridcelle størrelser på 1 km². Tetthetsverdiene på de stasjonene og tidspunktene der villfisk er fanget ble endelig ekstrahert med funksjonen “*extract values to points*”. Verdiene varierte fra 0 til 17681, og for å unngå problemer i de statistiske modellene på grunn av høye verdier og stor spennvidde ble variabelen standardisert ved formelen $(x - \bar{x})/sd(x)$, der $\bar{x}$ er gjennomsnittet og $sd(x)$ er standardavviket. I tillegg ble verdien 1 lagt til for å unngå at variabelen fikk negative verdier.

Den standardiserte variabelen hadde et spenn fra 0,363 til 6,340 og ble brukt i alle analysene som mål på smittetrykk fra oppdrett.

Smittetrykket har variert betraktelig i både tid og rom. Mens flere av stasjonene ikke har noe forventet smittetrykk fra oppdrettsanlegg, har andre stasjoner vært prøvofisket i perioder med svært høye rapporterte lusetall fra oppdrett i området. De stasjonene med høyest smittetrykk er plassert ytterst i fjordområdene i Trondheim og Hardanger (**Figur 7**). Særlig i Hardangerfjorden har smittetrykket til tider vært høyt, og som vist av **Figur 7** har det her vært stor variasjon mellom tidspunkter på de samme stasjonene.

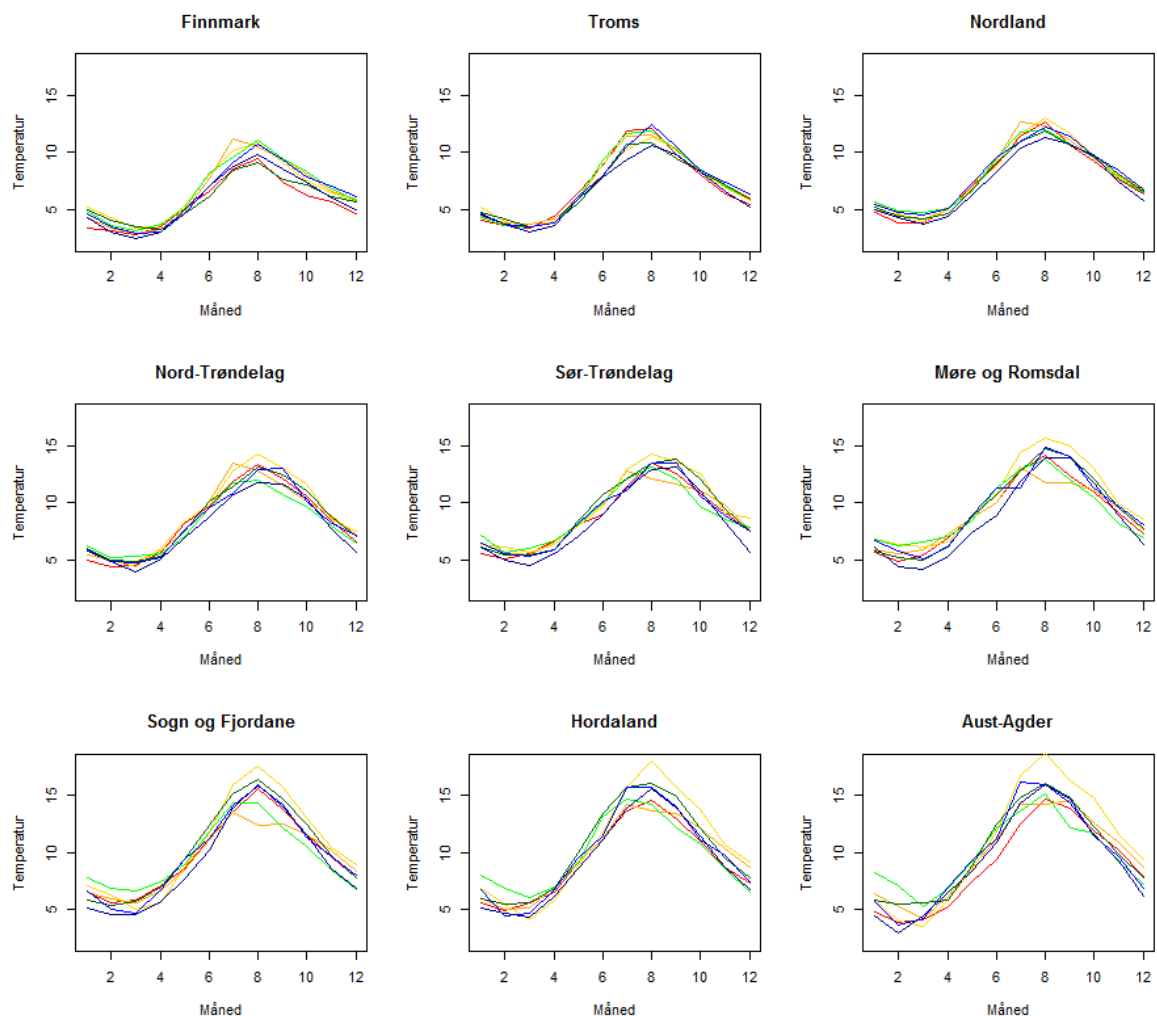


Figur 7. Variasjonen i smittetrykk (y-aksen) mellom de 41 ulike stasjonene (x-aksen) over de 244 ulike prøvofiskeomgangene som er utført i perioden 2004-2010. Hver stasjon er gitt en numerisk kode og er sortert etter geografisk plassering, fra nord (lavest tall) mot sør (høyest tall) (se **Tabell 1** for oversikt over stedsnavn og **Figur 1** for kart).

2.2.3 Miljøvariabler

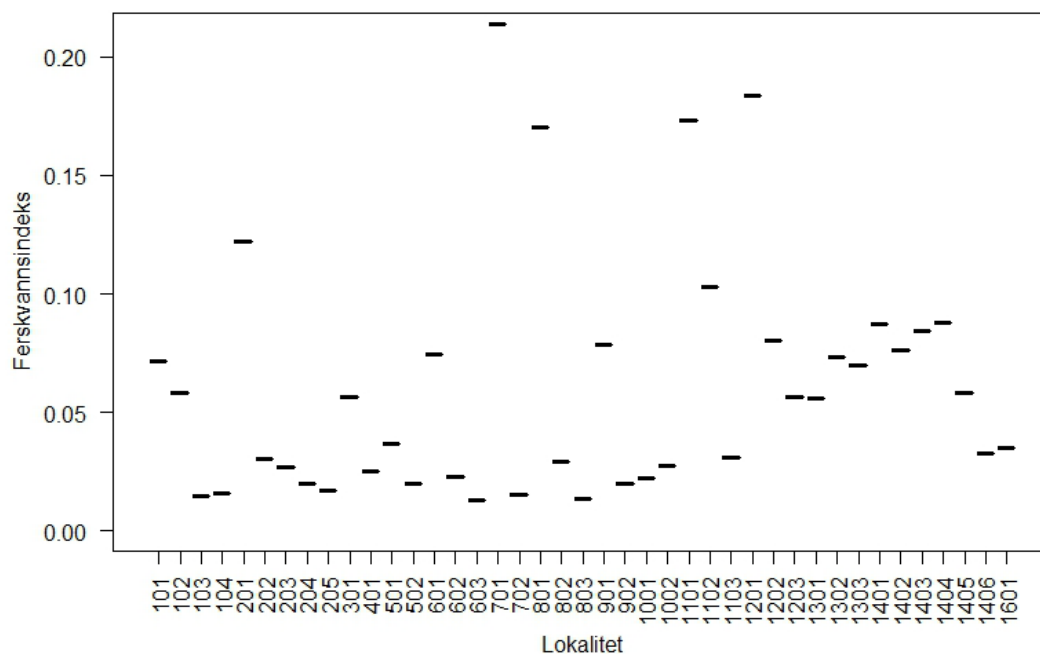
Siden lakselusdataene vi ville analysere i dette studiet er samlet inn tilbake i tid har det vært nødvendig å fremskaffe også historiske miljøvariabler. De viktigste miljøvariablene vi ønsket å få tak i var temperatur og salinitet/ferskvannspåvirkning. Dette er kjente faktorer som påvirker lusepåslaget hos fisk (Johnson & Albright 1991; Bricknell mfl. 2006; Asplin & Sandvik 2009), og det er derfor viktig å inkludere disse i statistiske analyser for å kunne finne ut hva som avgjør hvor mye lus en fisk har og hvordan de ulike miljøforholdene samvirker. I forbindelse med den nasjonale luseovervåkinga har det ved noen anledninger vært målt temperatur og salinitet under prøvofisket. Dessverre har dette ikke vært gjort konsekvent. Uansett vil målinger av miljøparametere utført under prøvofisket ikke kunne gi informasjon om variasjon i disse parameterne før fisket, det vil si i perioden som trolig er bestemmende for infeksjonstrykket. Vi har derfor primært valgt å bruke andre kilder som mål på temperatur og salinitet.

De fjordtemperaturene vi har hatt tilgang til som dekker hele tidsperioden og alle årene er basert på målingene fra oppdrettsanlegg som rapporteres månedlig til Mattilsynet (**Figur 8**). Vi har brukt månedlige snittverdier for hvert fylke slik de er rapportert på nettstedet <http://lusedata.no/>, for fylkene Finnmark, Troms, Nordland, Nord-Trøndelag, Sør-Trøndelag, Møre og Romsdal, Sogn og Fjordane og Hordaland. Data fra Rogaland og Agder er slått sammen. I de statistiske modellene har vi brukt temperaturen fra måneden før prøvofisket ble utført for hvert datapunkt. Dette ble gjort fordi vi forventer en viss forsinkelse i effekten som temperatur har på utviklingen av lakselus på fisken.



Figur 8. Variasjoner mellom år i månedlige gjennomsnittstemperaturer for de ulike fylkene i perioden 2004-2010. Rød linje viser 2004, oransje 2005, gul 2006, lysegrønn 2007, mørkegrønn 2008, lyseblå 2009 og mørkeblå 2010. Vær oppmerksom på at figuren som er kalt Aust-Agder viser snittet for både Rogaland og begge Agder-fylkene slått sammen.

Vi har ikke lyktes i å få tak i salinitetsdata basert på relevante målinger fra alle de 15 aktuelle fjordområdene. Vi valgte derfor å bruke en indeks for ferskvannspåvirkning som vi har beregnet selv. Denne indeksen er beregnet fra gjennomsnittlig vannføring (m^3/s) (midlere avrenning for normalperioden 1961-90 fra Norges vassdrags- og energidirektorat, NVE) for alle elver som renner ut i de aktuelle fjordområdene. Ved hjelp av kartverktøy i ArcGIS har vi regnet ut avstanden langs vannveien fra hver av prøvestasjonsstasjonene til alle elveutløp innenfor en grense på 25 km. Vannføringen i de ulike elvene ble delt på avstanden (langs vannveien i fjorden) fra prøvestasjonsstasjonen, slik at elver langt unna vektet mindre enn elver i nærheten av stasjonen. Deretter ble summen av alle disse vannføringsverdiene lagt sammen slik at hver stasjon fikk én verdi. **Figur 9** viser ferskvannsindeksen for alle de 41 stasjonene.



Figur 9. Variasjon i ferskvannspåvirkning mellom de 41 stasjonene i de 15 fjordene. Ferskvannspåvirkningen er presentert som en indeks, der middelvannføring fra elvene innen en radius på 25 km er vektet for avstand til hver stasjon, og deretter summert. Se **Tabell 1** for oversikt over hvilke nummer som representerer hvilke lokaliteter.

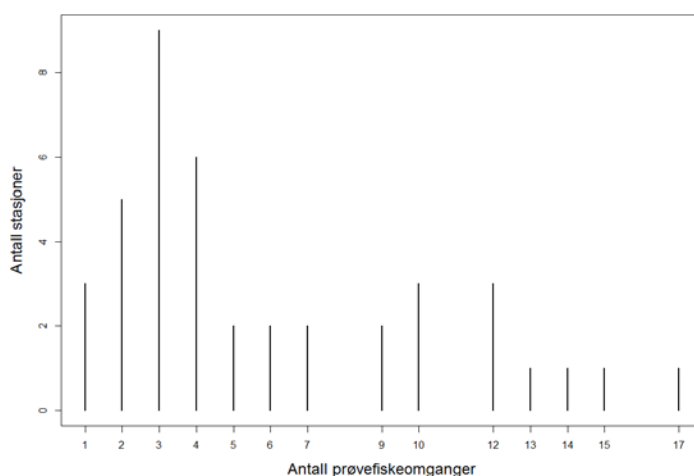


Foto: Rosa Maria Serra Llinares, HI

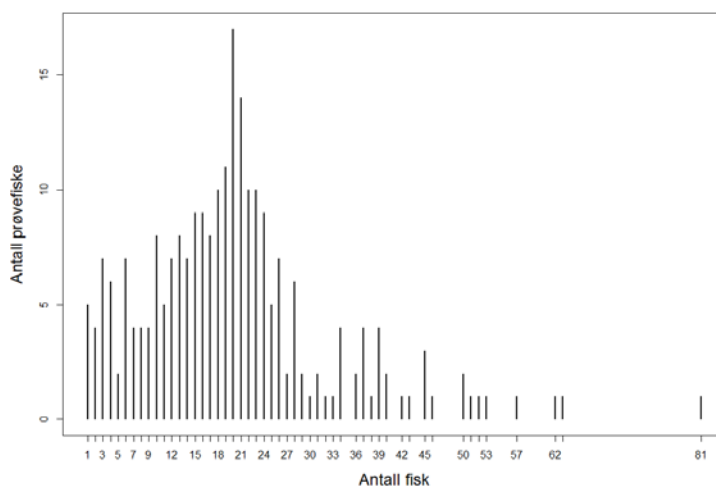
2.3 Vurdering av datagrunnlaget

2.3.1 Lakselustellinger på villfisk

Som vist i **kapittel 2.2.1** inneholder datasettet vi har sammenstilt lusetellinger fra 4890 sjøørret fanget på 41 ulike stasjoner. Datasettet dekker et vidt spenn i fiskestørrelser, geografiske lokaliteter og tid. Av de 41 stasjonene har 23 vært fisket <5 ganger, 11 stasjoner 5-10 ganger, mens 7 stasjoner har vært fisket >10 ganger i løpet av perioden 2004-2010 (**Figur 10**). Antall fisk som er fanget under hver av de 244 prøvefiskeomgangene varierer mellom 1 og 81, med et gjennomsnitt på 20 fisk (**Figur 11, tabell V1, se Vedlegg I**). Det har vært fanget ≥ 20 individer i 49 % av alle prøvefiskeomgangene. Til tross for at et relativt høyt antall villfisk er undersøkt for lakselus gjennom hele perioden, er det derfor likevel et relativt lavt antall fisk i hver av prøvefiskeomgangene, særlig fra enkelte prøvefiskeomganger. Dersom antall fisk i hver gruppe (det vil si fra samme prøvefiske eller samme fjordområde og tid) er for lavt, vil dette kunne medføre problemer i de statistiske analysene.



Figur 10. Frekvensfordeling av antall stasjoner (y-aksen) som er prøvefisket et gitt antall omganger (x-aksen) i perioden 2004-2011. Totalt er det 244 ulike prøvefiskeomganger fordelt på 41 ulike stasjoner.



Figur 11. Frekvensfordeling av antall prøvefiskeomganger (y-aksen) med et gitt antall fisk fanget (x-aksen). Totalt inneholder datasettet 4890 fisk fordelt på 244 ulike prøvefiske.

2.3.2 Smittetrykk fra oppdrettsanlegg

Målet for smittetrykket fra oppdrettsanlegg forventes å være en god variabel ettersom vi har unike verdier for hvert enkelt prøvafiske for hele den aktuelle perioden. For at denne variabelen skal være et godt mål på smittetrykket forventes det imidlertid at de rapporterte lusetellingene fra alle anlegg er utført på en systematisk og nøyaktig måte. Et annet relevant mål på smittetrykk som vi ikke har mål på er omfanget av rømt oppdrettsfisk. I de statistiske modellene har vi brukt rapporterte lakselusnivåer fra samme måned som prøvefisket ble utført. Det kan imidlertid vurderes for framtidige analyser om det også ville være nyttig å bruke smittetrykket fra et tidligere tidspunkt, for eksempel måneden før prøvefisket, ettersom det kan være en viss forsinkelse i en potensiell smittefare fra oppdrettsanlegg på villfisken. Indikasjoner på en slik forsinkelse er blant annet funnet i Romsdalsfjorden (Berg mfl. 2012). Fordi vi var usikre på om inkludering av en forsinkelse var hensiktsmessig og hva slags tidsintervall som i så fall ville være best å bruke, har vi ikke gjort dette i denne omgang.

2.3.3 Miljøvariabler

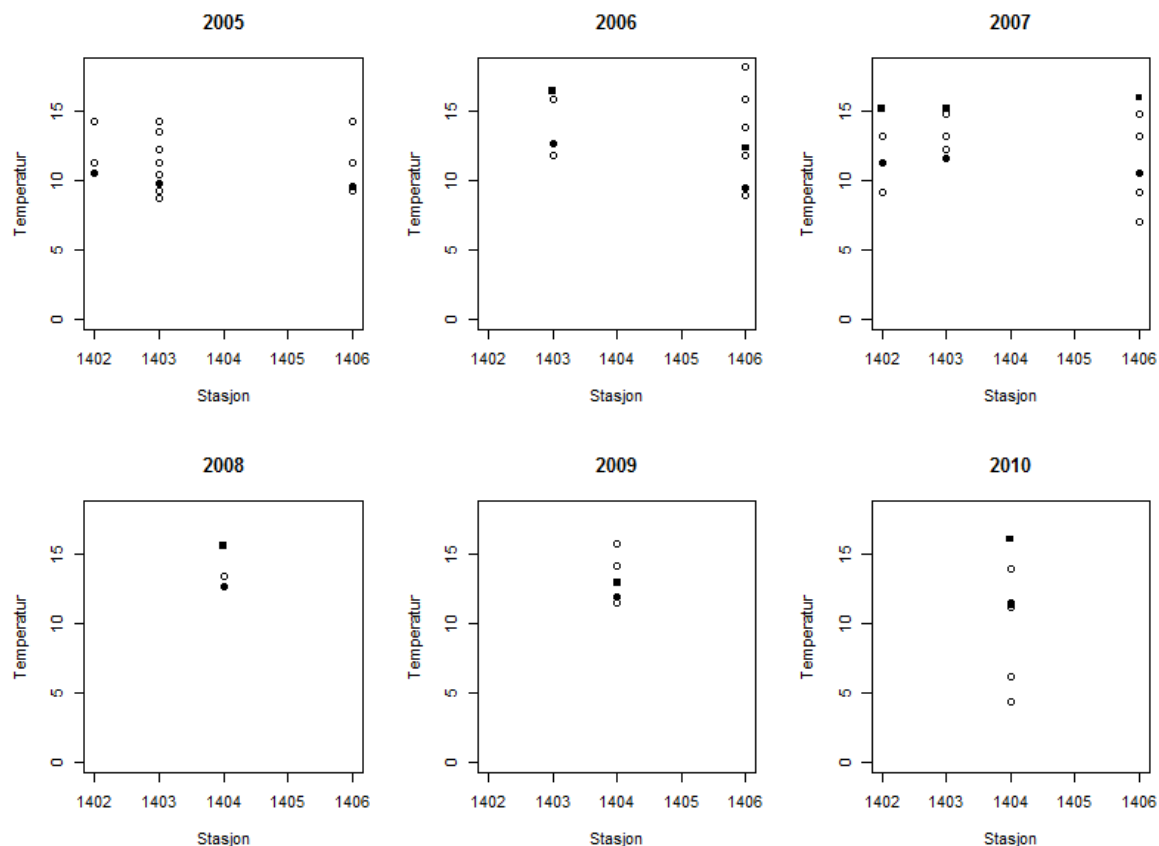
Dessverre foreligger ikke alle miljøvariablene i samme oppløsning som lakselustellingene og data om smittetrykk, verken romlig eller tidsmessig. Mens temperaturdataene vi har brukt har en relativt god tidsmessig oppløsning, men grov romlig oppløsning, har ferskvannsindeksen god geografisk oppløsning, men inneholder ingen tidsmessig informasjon. Dette gjør at mange prøvafiskeomganger får identisk verdi for temperatur eller ferskvannspåvirkning, noe som kan svekke de statistiske analysenes evne til å forklare variasjon i lusepåslag dersom disse variablene egentlig varierte i større grad.

Temperaturdataene vi har brukt er basert på gjennomsnittsverdier for alle rapporterte temperaturmålinger fra oppdrettsanlegg i samme fylke og måned. Dermed har vi ikke informasjon om temperaturvariasjoner gjennom måneden eller mellom ulike lokaliteter i samme fylke. Når det gjelder den tidsmessige variasjonen antar vi at månedlige verdier er tilstrekkelig høy oppløsning, ettersom vi er mest opptatt av større trender i temperaturvariasjonen, for eksempel om det har vært en varm eller kald vår et gitt år. Det kan imidlertid være problematisk for de statistiske analysene at den romlige oppløsningen er grov. Når vi kun har informasjon på fylkesnivå vil prøvafiskeomganger gjennomført på ulike lokaliteter få identisk temperaturinformasjon dersom de ligger i samme fylke. Den statistiske forklaringsstyrken svekkes når mange prøvafiskeomganger med ulikt lusepåslag får samme verdi i potensielle forklaringsvariabler.

I Hardanger har det vært gjort systematiske temperaturmålinger i forbindelse med lakselusovervåkinga på villfisk to ganger per år (før og etter smoltutvandringen) på de aktuelle prøvafiskelokalitetene. Disse lokalt målte temperaturene samsvarer relativt godt med gjennomsnittsverdiene for fylket (**Figur 12**). Videre viser **Figur 8** at de dataene vi har brukt fanger opp både en romlig og tidsmessig temperaturvariasjon. Temperaturdataene inneholder både kalde og varme år og gjenspeiler forskjeller mellom ulike geografiske områder langs nord-sørgradienten. Dersom temperatur har en sterk påvirkning på lusepåslaget forventer vi derfor at dette kan slå inn i de statistiske analysene til tross for den noe grove geografiske oppløsningen.

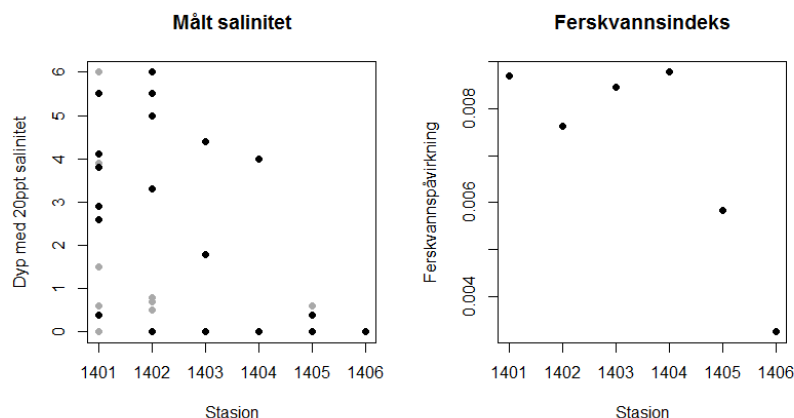
Som beskrevet i **kapittel 2.2.3** har vi ikke kunnet inkludere reelle salinitetsdata, men har brukt avrenning av ferskvann fra elver, som forventes å ha en effekt på salinitet. Alle de 41 ulike stasjonene har fått en unik verdi for ferskvannsavrenning innenfor et visst område fra stasjonen, men denne indeksen er statisk og vi har derfor ingen informasjon om tidsmessige variasjoner i vannføring eller salinitet. Saliniteten i fjordene forventes å variere både mellom år og gjennom sesongen som følge av variasjoner i nedbør, snøsmelting og strømforhold i fjorden. Det er heller ikke gitt at stasjonens plassering i fjorden i seg selv er et godt mål på

salinitet, ettersom salinitet kan variere mye på lokal skala. Derfor må det tas forbehold om at det målet på salinitet vi har brukt inneholder en del unøyaktigheter.



Figur 12. Sammenlikning av temperaturmålinger på de ulike prøvfiskestasjonene i Hardanger fra 2005 til 2010. Svarte sirkler representerer lokalt målte temperaturer på den aktuelle stasjonen før smoltutvandringen (vår) og svarte firkanter viser lokalt målte temperaturer etter smoltutvandringen (sommer). Hvite sirkler viser verdiene som er brukt i analysene for den aktuelle måneden. Disse er basert på gjennomsnittstemperaturen for hele fylket måneden før det aktuelle prøvfisket. Årsaken til at det er flere hvite sirkler er at i analysene er prøvfiskeomgangene delt opp per måned, og i noen år er fangstene spredd over tid.

I Hardanger har salinitetsmålingene vært gjort systematisk over flere år, og ved å sammenlikne ferskvannsindeksen med de målte verdiene ser vi av **Figur 13** at den målte saliniteten varierer mye mellom år og mellom sesonger. Likevel ser det ut til at trenden i ferskvannsindeksen vi har laget reflekterer forskjellen mellom stasjoner. Tilsvarende som for temperaturdataene kan det være en svakhet for de statistiske analysene at mange prøvfiskeomganger fra samme stasjon med ulikt lusepåslag får den samme verdien for salinitet. Likevel tror vi at noen trender for variasjoner i salinitet blir fanget opp gjennom denne indeksen, ettersom lokaliteter med store elver i nærheten får andre verdier enn områder med lite ferskvannspåvirkning, slik **Figur 13** indikerer forskjell mellom stasjonene langt ute og langt inne i Hardangerfjorden.



Figur 13. Sammenlikning av salinitetsnivået på de ulike prøvefiskestasjonene i Hardanger basert på målt salinitet i fjorden (venstre figur) og beregning av ferskvannsindeks fra kart (høyre figur). De målte verdiene viser dypet (i meter) der salinitetsnivået er 20 ppt registrert før (grå punkter) og etter (svarte punkter) smoltutvandringen årlig mellom 2004 og 2010. Ferskvannsindeksen viser de verdiene som er inkludert i analysene for de samme stasjonene. Se **kapittel 2.2.3** for beregning av denne indeksen.

2.4 Statistisk tilnærming

2.4.1 Prøvefiskeomganger som ikke er uavhengige

På grunn av prøvefiskestasjonenes beliggenhet og fordi de samme lokalitetene er prøvet fisket gjentatte ganger kan ikke alle prøvefiskeomgangene betraktes som statistisk uavhengige. Fisk som er fanget i samme tidsperiode på stasjoner som ligger i nærheten av hverandre kan forventes å være mer like enn fisk som er fanget til ulik tid og med stor geografisk avstand. Dette kalles autokorrelasjon og må tas hensyn til i den statistiske modelleringen. Sannsynligvis er det både tidsmessige og romlige autokorrelasjoner i lakselustellingene. For eksempel forventer vi at antall lus som er registrert under et prøvefiske er avhengig av hvor mye lakselus som var registrert på samme sted i perioden like før, ettersom produksjonen av lakselus utvikles over tid. Vi forventer derimot ikke at lakselustellingene fra den samme lokaliteten langt tilbake i tid skal ha betydning. På samme måte kan vi forvente at tellingene på stasjoner som ligger i nærheten av hverandre i samme fjord vil være avhengige av hverandre, siden både lakselus og fisk kan spres over større områder. Derimot er tellinger i helt ulike deler av landet uavhengige.

For å forsøke å ta høyde for at ikke alle prøvefiskeomgangene er uavhengige, grupperte vi all fisk som var fanget i en gitt fjord et gitt år sammen, noe som ga 52 ulike grupper. Ved å inkludere denne grupperingen i de statistiske analysene, åpner vi for at fisk som er i samme gruppe er mer like hverandre enn fisk som er i forskjellig gruppe (se **kapittel 2.4.2.1**).

2.4.2 Ulike mål på lusepåslog

Det er ulike måter å presentere lusetellinger på fisk på, som hver gir ulik biologisk informasjon. I tillegg har de ulike målene forskjellige statistiske muligheter og begrensninger fordi de har ulik statistisk fordeling. En statistisk fordeling gir sannsynlighetene for alle mulige observasjonsverdier og kan karakteriseres ved forskjellige statistiske mål. For eksempel vil gjennomsnittet gi informasjon om hvor tyngdepunktet eller den sentrale verdien i fordelingen ligger og standardavviket vil angi spredningen til observasjonene rundt dette gjennomsnittet. Et tredje mål er skeivheten i fordelingen. Mange statistiske metoder forventer at dataene er normalfordelt, men

dersom dataene har svært skeiv fordeling, slik det ofte er tilfelle med parasittdata (se for eksempel **Figur 15**), kreves det spesielle statistiske tilnærminger. Vi har valgt tre forskjellige tilnærminger i våre analyser (**kapittel 3**), som utfyller hverandre og til sammen kan gi et bedre bilde av lusepåslaget enn hva ett mål kan gi alene. De tre responsvariablene (binær, proporsjonal og nullinflasjon) er presentert under. Variablene har blitt testet ved hjelp av forskjellige typer modeller i det statistiske programmet *R* (*the R Foundation for Statistical Computing* <http://www.r-project.org/>). Modellene og de statistiske pakkene som er benyttet er beskrevet under for hver type analyse.

2.4.2.1 Om en fisk har lus eller ikke – binær responsvariabel

Det groveste og enkleste målet på lakselusepåslag er å sammenlikne fisk som har lus mot fisk som ikke har lus. Dette er en binær responsvariabel som ikke tar høyde for hvor mange lus en fisk har, kun hvorvidt en fisk har lus eller ikke. Omtrent 60 % av fiskene i datasettet har lus (2974 individer med lus mot 1916 individer uten, se **Figur 4** og **5 kapittel 2.2.1**). Fordelen med en slik responsvariabel er at de statistiske modellene ikke behøver å være så avanserte fordi fordelingen av dataene ikke har så mye variasjon når det kun er to mulige utfall (lus eller ikke lus). Det er også en fordel at man kan benytte hvert individ i datasettet som ett datapunkt og dermed får et større materiale enn dersom man bruker aggregerte verdier for hvert prøvefiske. Dette kan gjøre det enklere å finne statistiske sammenhenger. Samtidig er svakheten ved en slik responsvariabel at den ikke åpner for å gi svar på hva som avgjør at noen fisk får mange lus mens andre har få. Biologisk sett er det ikke nødvendigvis så interessant at en fisk har lus dersom antallet lus på denne fisken er veldig lavt, ettersom det først er når et individ har et visst nivå av lus at det kan ha negative konsekvenser for dette individet. Resultatene fra analysene med denne variabelen er presentert i **kapittel 3.1**.

Analysene med binær responsvariabel ble utført ved hjelp av GLMM (*generalised linear mixed models*) for binomial data. Mens en modell av typen GLM (*generalised linear model*) forutsetter at alle data er uavhengige, gjør miksa modeller som GLMM det mulig å inkludere informasjon om data som forventes å ha visse fellestrekk i modellen. For å korrigere for at ikke alle prøvefiskeomgangene er uavhengige (se **kapittel 2.4.1**), grupperte vi derfor all fisk som var fanget i en gitt fjord et gitt år og brukte dette som en «*random factor*» i en slik GLMM. Dette gjør at modellen åpner for at datapunkter som er i samme gruppe kan være mer like hverandre enn datapunkter som ikke er i samme gruppe. For å gjøre dette brukte vi modellen *lmer* i *R* som finnes i pakka *lme4* (<http://lme4.r-forge.r-project.org/>).

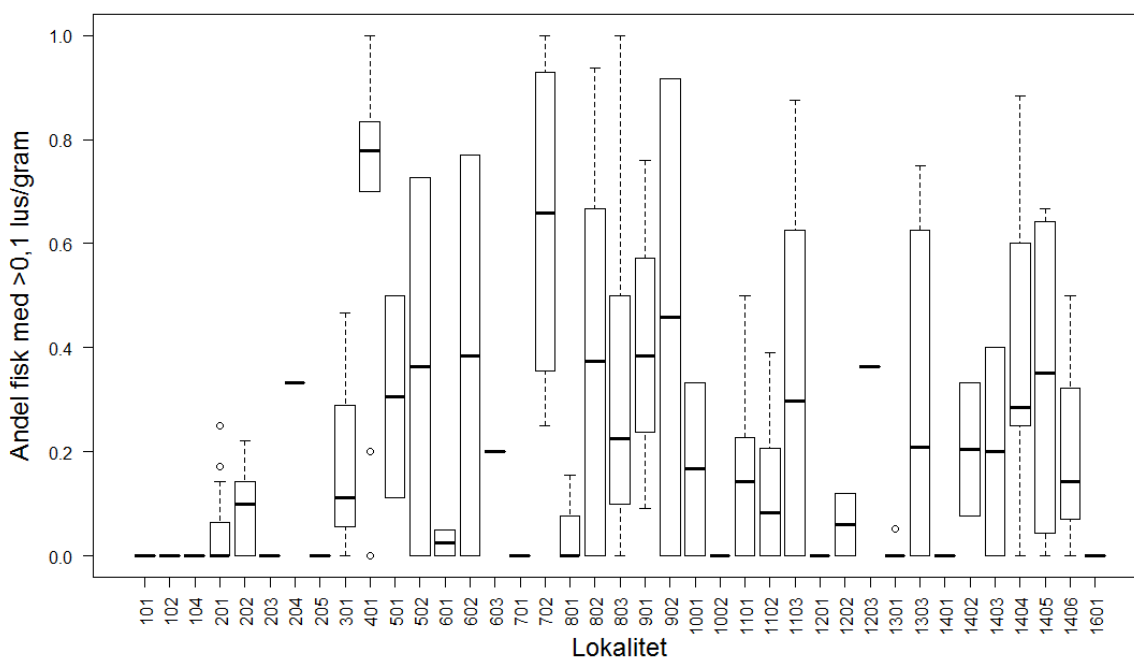
2.4.2.2 Andel fisk med et visst nivå av lus – proporsjonal responsvariabel

Som nevnt over er det ikke nødvendigvis biologisk interessant at en fisk har lus dersom den kun har svært få lus. Som regel er det først når et individ er infisert med en viss mengde lus at det får betydelige negative konsekvenser. Den potensielt negative effekten av lus varierer også mellom ulike stadier. Dødelighet hos fisk som er infisert med lus vil først skje når larvene har utviklet seg til mobile stadier. De bevegelige stadiene gir større hudskader enn de fastsittende, og videre vil en voksen hunnlus med eggstrenger være en større trussel enn en larve, fordi denne formerer seg og dermed bidrar til et høyere lusepåslag. Generelt er gjennomsnittsverdier eller medianverdier av antall parasitter ikke særlig godt egnet for å beskrive variasjonen i parasittdata på en god måte. Fordi mange fisk ikke har noen lus og noen få fisk har veldig mange lus (se **Figur 15** i **kapittel 2.4.2.3**), kan et gjennomsnitt gi et veldig skjevt bilde og vil dermed ikke beskrive på en god måte hva som gjør at noen fisk har få lus og andre har mange. Et mål som de siste årene er brukt for å definere tålegrenser i lakselusovervåkinga er andel fisk som har mer enn 0,1 lus per gram fiskevekt (Anonym 2011b; Taranger mfl. 2011; Anonym 2012; Taranger mfl. 2012). Dette målet inkluderer mengden lus (alle stadier kombinert) i forhold til fiskens størrelse. Styrken ved å bruke dette som responsvariabel er at man får et

biologisk relevant mål som gir mer informasjon om infeksjoner enn den binære variabelen og gjennomsnittsverdier gjør.

Når man opererer med proporsjoner av fisk som har dette nivået av lus, har man her kun ett datapunkt for hvert prøvfiske, i motsetning til de andre responsvariablene (**kapitlene 2.4.2.1 og 2.4.2.3**) der hvert individ representerer ett datapunkt. Vi har kun brukt individer mindre enn 200 gram i utregning av dette målet, siden vi vet mer om tålegrenser for mindre fisk og siden en stor andel av datamaterialet inneholder fisk i denne størrelsesgruppen. Ved å bruke fisk som er mindre enn 200 gram standardiserer vi også materialet med hensyn til fiskens alder, siden såpass små fisk med sikkerhet er årsmolt. Videre har vi kun brukt prøvfiskeomganger med minimum 15 individer under 200 gram fanget, for å sørge for at individer med noe variasjon i lusepåslaget er inkludert. Vi valgte også ut kun de prøvfiskeomgangene som var foretatt i perioden mai-august, siden prøvfiske utenfor denne perioden kun har vært ekstraordinært og sporadisk. Dette ga til sammen 159 datapunkter (**Figur 14**). Resultatene fra analysen med denne responsvariabelen er presentert i **kapittel 3.2**.

En svakhet med denne aggregerte responsvariabelen er at man får et lavere antall datapunkter. Med kun 159 punkter ga det ikke mening å inkludere år-fjord-gruppen (52 grupper) som «random factor» (se **kapittel 2.4.2.1**) i disse analysene, ettersom det da vil være veldig få punkter i hver gruppe. Vi har derfor ikke kunnet korrigere for prøvfiskeomganger som ikke er uavhengige (se kapittel 2.4.1) i analysene med andel fisk med et visst lusepåsag. I analysene har vi brukt GLM (*generalised linear models*) for proporsjonale data, der responsvariabelen vektes for antall fisk i hver gruppe.

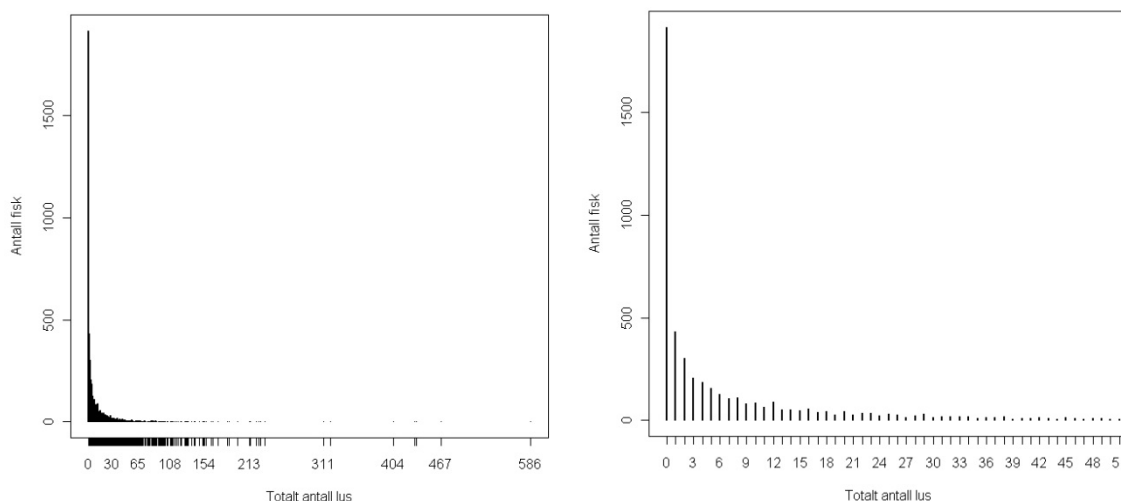


Figur 14. Variasjonen i andel fisk med mer enn 0,1 lus per gram fiskevekt (y-aksen) for hver lokalitet (x-aksen). Kun prøvfiskeomganger i perioden mai til august og med fangster på minst 15 individer under 200 gram fiskevekt er inkludert (N=159).

2.4.2.3 Totalt antall lus registrert på hver fisk – responsvariabel med nullinflasjon

Det mest nøyaktige målet på lusepåsag er det faktiske antallet lus (av ulike stadier) som er registrert på hver fisk, og ideelt sett er det dette som bør brukes som responsvariabel dersom

man ønsker å kunne forklare ikke bare hva som avgjør om fisk får lus eller ikke, men også hvor mange lus den får. Samtidig inneholder dette målet svært mye variasjon og krever relativt avanserte statistiske metoder for å kunne benyttes. Som nevnt tidligere har vi ikke skilt mellom stadiene i våre analyser. Fordi antallet lus i hvert stadium i mange tilfeller er lavt har vi valgt kun å se på totalt antall lus per fisk. I de observerte lusetellingene har et stort antall fisk ikke noen lus, mens noen få individer har svært mange lus. Dette gir en responsvariabel med nullinflasjon, som er vist i **Figur 15**. Denne figuren viser frekvensfordelingen av antall lus, med en svært høy søyle med 0-forekomster til venstre og en brått synkende kurve med lang hale mot høyre. Nullinflasjon betyr at variabelen inneholder et høyere antall nullverdier enn hva som er forventet ved bruk av den vanlige statistiske fordelingen for slike data (Poissonfordelingen).



Figur 15. Frekvensfordeling av antall fisk (y-aksen) med et gitt antall lus (x-aksen), som viser at datasettet har nullinflasjon. Figuren til høyre viser et nærbilde av figuren til venstre, der kun individer med 0-51 lus er inkludert.

I statistikk blir disse ekstra nullene ofte delt inn i «ekte» og «falske» nullverdier (Zuur mfl. 2009). Når vi sier at nullene er falske innebærer ikke dette at det er noen målefeil i datasettet, men refererer til at det kan være nullverdier i datasettet som vi egentlig ikke er interessert i å modellere. Når vi ønsker å finne ut hva som avgjør lusepåslag hos villfisk er vi interessert i å forklare hva som gjør at noen fisk får mange lus, mens andre individer som også har vært i kontakt med lusesmitte ikke har fått lus. Grunnen til at noen av disse fiskene ikke har lus, altså de «ekte» nullene, kan for eksempel være fiskens atferd, immunforsvar eller ulike miljøforhold. Vi er derimot ikke egentlig interessert i å inkludere fisk som ikke har vært utsatt for smitte i modellen, fordi grunnen til at disse individene ikke har lus, altså de «falske» nullene, ikke kan forklares av de samme omstendighetene som de «ekte» nullene, men kun skyldes at fisken ikke har vært utsatt for smitte og dermed heller ikke har kunnet få lus. Denne betraktningen av «falske» og «ekte» nuller gjenspeiler tankegangen som ligger til grunn når man lager en statistisk modell, men i virkeligheten har man selvsagt ingen mulighet til å skille de ulike fiskene fra hverandre, siden det ikke er mulig å vite hvilke individer som har vært utsatt for smitte og hvilke som ikke har.

Det er viktig å bruke statistiske metoder som tar høyde for nullinflasjon, fordi man kan få falske resultater hvis man ignorerer at dataene har dette. Det er to ulike typer statistiske tilnærminger til nullinflasjon og disse skiller seg fra hverandre i måten de håndterer forskjellen mellom falske og ekte nuller på (Zuur mfl. 2009). I den ene typen (kalt *zero-altered poisson* (ZAP) eller *zero-altered negative binomial* (ZANP) modeller) skiller man ikke mellom falske og ekte nuller, men modellen består av to deler; én del som modellerer hva som avgjør om en fisk har eller ikke

har lus (altså sannsynlighet for 0 eller >0), og én del som modellerer hva som avgjør hvor mange lus en fisk har dersom den har lus (altså sannsynlighet for et gitt antall lus). I del to av denne modellen er kun fisk som har lus tatt med og det er ingen nuller i denne delen av modellen.

I den andre typen tilnærming (kalt *zero-inflated poisson* (ZIP) eller *zero-inflated negative binomial* (ZINB) modeller) inkluderer modellen en sannsynlighet for falske nuller i datasettet. Dette gjøres ved at det først beregnes en sannsynlighet for et visst antall falske nuller, og deretter en sannsynlighet for antall lus på den resterende delen av datasettet når de falske nullene er tatt høyde for. Forskjellen fra den typen modell forklart over er at både fisk med og uten lus er med i den andre delen av denne modellen. Etter at man har tatt høyde for andelen falske nuller har datasettet i denne delen ikke lenger nullinflasjon, men følger en forventet statistisk fordeling. Det er imidlertid viktig å merke seg at denne tilnærmingen ikke gjør at man kan finne ut hvilke nuller som er «falske» og «ekte», men kun innebærer en statistisk korrigering for nullinflasjon. I begge tilnærmingene kan man modellere de to ulike delene av fordelingen ved hjelp av ulike forklaringsvariabler, og det behøver ikke være de samme variablene som er inkludert i begge delene av modellen. Altså kan man bruke noen forklaringsvariabler for å angi om en fisk har lus eller ikke (0 eller >0) og enten de samme eller andre variabler for å forklare hvor mange lus en fisk har dersom den har lus (antall lus).

I analysene har vi testet ulike nullinflasjonsmodeller av den andre typen (ZINB og ZIP), som altså skiller mellom «ekte» og «falske» nuller. Dette er gjort ved hjelp av R-pakka *pscl* (<http://cran.r-project.org/web/packages/pscl/>). Resultatene fra denne analysen er presentert i **kapittel 3.3**.



Foto: Rune Nilsen, HI

2.4.3 Overspredning

Overspredning (kalt «*overdispersion*» på engelsk) innebærer at variansen er større enn det som er forventet i den statistiske modellen. Hvis et datasett har overspredning vil de estimerte statistiske resultatene være misvisende og det er derfor viktig å korrigere for overspredning. Overspredning kan ikke oppstå for binære data (**kapittel 2.4.2.1**), men for modellene med proporsjonal responsvariabel (**kapittel 2.4.2.2**) har vi korrigert for overspredning der dette var nødvendig. Dette ble gjort ved å legge til en overspredningsparameter gjennom å bruke en såkalt kvasi-poisson metode for GLM (*generalised linear model*, Zuur mfl. 2009).

Nullinflasjon i responsvariabelen (**kapittel 2.4.2.3**) fører ofte til overspredning, men det kan også være overspredning i verdiene som ikke er null (det vil si antall lus >0 i vårt datasett). Dersom det første er tilfelle vil en nullinflasjonsmodell som *zero-inflated poisson* (ZIP) korrigere for overspredningen. Dersom overspredningen derimot ikke skyldes nullinflasjonen er det nødvendig å bruke en annen type nullinflasjonsmodell, nemlig en *zero-inflated negativ binomial* (ZINB). Både ZIP og ZINB er nullinflasjonsmodeller av den andre typen beskrevet over (**kapittel 2.4.2.3**), der modellen først beregner en sannsynlighet for et visst antall falske nuller, og deretter en sannsynlighet for antall lus på den resterende delen av datasettet når de falske nullene er tatt høyde for. Forskjellen mellom ZIP og ZINB er at en ZINB-modell vil korrigere for overspredning både på grunn av nullinflasjon og på grunn av overspredning i antall lus, mens ZIP kun korrigerer for nullinflasjon. Vi undersøkte om dataene inneholdt overspredning ved å teste om modeller med negativ binomial (ZINB) hadde høyere forklaringsstyrke enn modeller med poisson (ZIP).

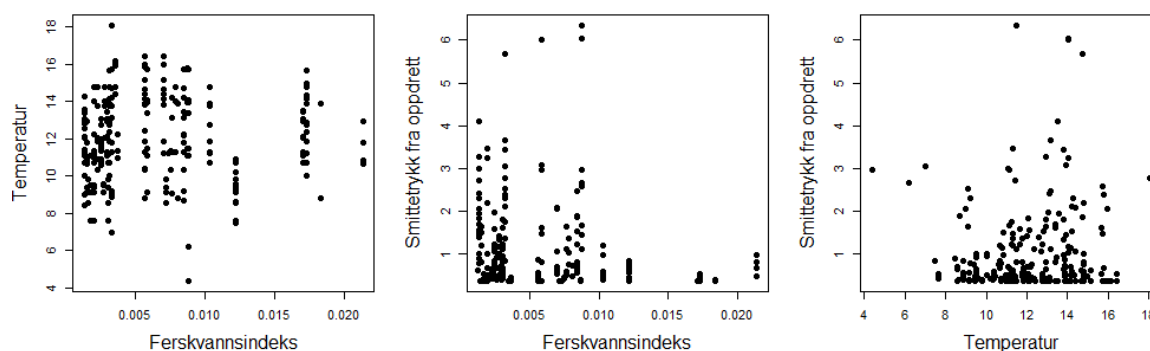
2.4.4 Forholdet mellom de ulike forklaringsvariablene

Vi har brukt variablene temperatur, ferskvannsavrenning og smittetrykk fra oppdrett, i tillegg til fiskens størrelse, for å forsøke å forklare lusepåslaget hos vill sjøørret (**Tabell 3**). Dersom forklaringsvariabler er korrelerte eller samvarierer i stor grad kan dette være vanskeligere å tolke effekten av de ulike parameterne i modellen. Sannsynligvis er det en viss samvariasjon mellom de miljøvariablene vi har brukt, for eksempel ved at når enten temperatur eller ferskvannsindeksen øker, så øker også den andre variabelen. Videre kan det være at smittetrykket fra oppdrett samvarierer med en eller begge av disse variablene.

Tabell 3. Oversikt over forklaringsvariablene som er inkludert i analysene

Variabel	Kilde
Fiskelengde	Målt under den nasjonale lakselusovervåkinga
Temperatur	Fylkesvise månedsgjennomsnitt rapportert til Mattilsynet
Ferskvannsavrenning	Beregnet fra gjennomsnittlig elveavrenning innen 25 km
Smittetrykk fra oppdrett	Rapporterte lusepåslag til Mattilsynet, vektet for avstand til prøvefiskelokalitet

Det var ingen umiddelbare synlige indikasjoner på at korrelasjoner mellom de tre variablene kan være et problem (**Figur 16**). Vi har likevel testet modellene ved hjelp av VIF (*variance inflation factor*) i R-pakka *car* (<http://cran.r-project.org/web/packages/car/>). En VIF er en indeks for hvor mye variansen i regresjonsestimatet for en variabel i modellen øker på grunn av korrelasjon med andre forklaringsvariabler. Dersom indeksen for en variabel er lav er det ingen grunn til å anta at det er problemer med samvariasjoner, men hvis den er høyere enn 1,5 bør man utvise forsiktighet og eventuelt vurdere å fjerne noen av variablene fra modellen. Resultatene av dette er presentert under de aktuelle modellene.



Figur 16. Forholdet mellom de tre forklaringsvariablene ferskvannsindeks, temperatur og smittetrykk fra oppdrett.

2.4.5 Modellsammenlikninger

For alle de tre overnevnte målene på lusepåslag (**kapittel 2.4.2**) har vi sammenliknet forskjellige modeller med ulike forklaringsvariabler (dvs. miljøforhold og smittetrykk) for å finne ut hva som best forklarte mengden lus. Dette ble gjort ved at vi startet med en fullmodell som inneholdt ulike kombinasjoner av miljødata og smittetrykk fra oppdrett, og deretter trinnvis fjernet én og én forklaringsvariabel for å se om fjerning av denne variabelen signifikant påvirket modellens forklaringsgrad. For hvert trinn gjorde vi en statistisk sammenlikning av hvilken modell som best forklarte lusepåslaget før vi avgjorde hvilke variabler som skulle fjernes. Disse modellsammenlikningene ble gjort på grunnlag av AIC-verdier (*Akaike's Information Criteria*), som er et mål på hvor godt en modell beskriver datasettet, når både nøyaktighet og kompleksitet er inkludert (Zuur mfl. 2009). Lavere AIC-verdi indikerer bedre modell, så dersom fjerning av en variabel reduserte modellens AIC-verdi med ≥ 2 ble den nye modellen brukt i videre modellseleksjon. Modellseleksjonen var fullført når fjerning av flere variabler førte til at AIC-verdien økte. Videre laget vi figurer av de observerte lusetellingene mot de predikerte lusetellingene fra de ulike modellene, for visuelt å kunne vurdere i hvor stor grad de endelige modellene var egnede til å forklare datasettet. Dersom en modell har en høy forklaringsgrad forventes de predikerte verdiene å være mest mulig lik de observerte.

3 Analyser av historiske lakselusdata

Hensikten med å sammenstille datamaterialet i dette prosjektet var ikke utelukkende å presentere resultater av statistiske analyser. Det har vært like viktig å vurdere datamaterialets beskaffenhet. Videre har det også vært et mål å vurdere framtidige muligheter for å bruke data fra den nasjonale lakselusovervåkinga til å forstå lusepåslaget hos villfisk. Fordi resultatene av analysene kan påvirkes av en rekke valg som må tas, slik som utvalg av data og type statistisk tilnærming, består resultatdelen i **kapittel 3** i stor grad av drøftinger av de ulike potensielle tilnærmingene. Tolkning og forståelse av resultatene forutsetter derfor at metodedelen i **kapittel 2** er lest. Spesielt forutsetter resultatdelen at leseren har inngående forståelse av datagrunnlagets beskaffenhet (**kapittel 2.3**) og valg av statistiske tilnærming (**kapittel 2.4**). Resultatene er presentert i tre deler, der tre ulike mål på lusepåslag er brukt i analysene; **kapittel 3.1** «Om en fisk har lus eller ikke», **kapittel 3.2** «Andel fisk med et visst nivå av lus» og **kapittel 3.3** «Totalt antall lus registrert på hver fisk».

3.1 Om en fisk har lus eller ikke

3.1.1 Statistiske resultater – binær responsvariabel

For å finne ut hva som avgjør om en fisk har lus eller ikke sammenliknet vi alle fisk som har lus (dvs. antall lus ≥ 1) mot fisk som ikke har lus (antall lus = 0), totalt 4890 individer, og testet denne fordelingen mot smittetrykk fra oppdrett, temperatur og ferskvannspåvirkning. I tillegg tok vi med fiskens lengde i modellene, ettersom fiskens størrelse forventes å kunne ha betydning for sannsynligheten for at en fisk har lus. Vi startet med en fullmodell der alle de fire forklaringsvariablene var inkludert, samt alle toveis interaksjoner mellom smittetrykk, temperatur og ferskvann. I tillegg grupperte vi alle fisker som var fanget i samme fjord det samme året sammen (52 grupper) og brukte denne grupperingen som «*random factor*» i modellene (se **kapittel 2.4.1** om prøvofiskeomganger som ikke er uavhengige). Ved å inkludere en slik «*random factor*» åpner vi for at fisker i samme gruppe kan være mer like hverandre enn fisker fra forskjellige grupper, og de resterende variablene i modellen blir testet når eventuelle statistiske sammenhenger som skyldes denne grupperingen er tatt høyde for. Etter den statistiske modellseleksjonen (se **kapittel 2.4.5**) utgikk to av interaksjonseffektene, og følgende modell gjensto som den beste til å forklare om en fisk har lus eller ikke:

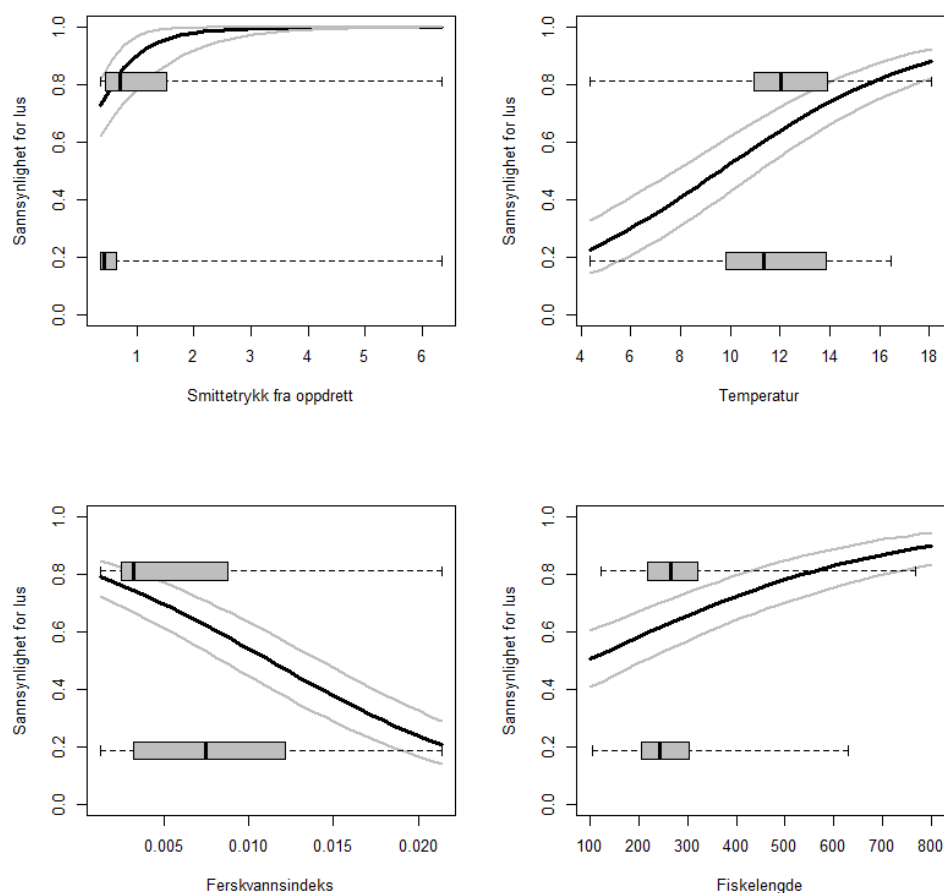
Sannsynlighet for lus ~ Fiskelengde + Smittetrykk + Temperatur + Ferskvannsindeks
+ Temperatur x Smittetrykk

Alle de fire forklaringsvariablene, samt interaksjonen mellom temperatur og smittetrykk, hadde en sterk signifikant påvirkning på tilstedeværelsen av lus. I følge modellen øker sannsynligheten for at en fisk har lus med fiskens lengde, økt smittetrykket fra oppdrett og økt temperatur, mens sannsynligheten for lusepåslag minker med økende ferskvannspåvirkning (**Tabell 4**).

Tabell 4. Resultater fra den binære modellen (generalised linear mixed model) som best beskriver sannsynligheten for om en fisk har lus eller ikke.

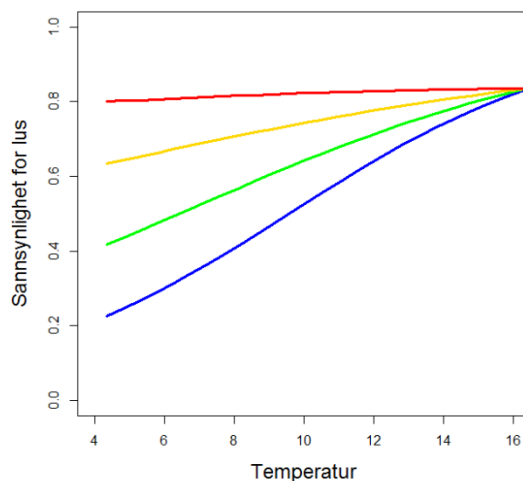
	<i>Estimat</i>	<i>Standardfeil</i>	<i>p-verdi</i>
Skjæringspunkt (<i>intercept</i>)	-3,445	0,547	<0,001
Fiskelengde	0,003	<0,001	<0,001
Smittetrykk	1,245	0,278	<0,001
Temperatur	0,314	0,039	<0,001
Ferskvannsindeks	-134,100	8,671	<0,001
Temperatur x smittetrykk	-0,075	0,021	<0,001

Som vi kan se av **Figur 17** fører økende smittetrykk fra oppdrett til at den predikerte sannsynligheten for at en fisk har lus øker raskt fra ca. 70 % til over 95 %. Videre øker sannsynligheten fra ca. 20 til 85 % med økende temperatur og fra ca. 50 til 90 % med økende fiskelengde. Den predikerte sannsynligheten for at en fisk har lus synker fra ca. 80 til 20 % med økende mengde ferskvannspåvirkning.



Figur 17. Resultat av den binære modellen som var best i henhold til modellseksjonen, vist sammen med fordelingen av fisk med og uten lus (totalt 4890 individer), mot hver av de fire forklaringsvariablene (x-aksene). Den øverste grå boksen i hver figur viser fisk med lus og den nederste fisk uten lus. Den svarte vertikale linja i hver boks viser medianverdien, mens boksen inneholder individer mellom 25 og 75 persentilene. De stiplede linjene viser spredningen mellom minste og største verdi. Den svarte kurven viser den predikerte sannsynligheten (fra 0 til 1, y-aksene) for at en fisk har lus som en funksjon av hver av de fire forklaringsvariablene smittetrykk fra oppdrett, temperatur, ferskvannsindeks og fiskens lengde. Grå linjer langs kurven viser 95 % konfidensintervallet for denne prediksjonen. De predikerte verdiene er estimerer fra GLMM (generalised linear mixed modelling), der alle de fire forklaringsvariablene er inkludert i samme modell. Figurene er tegnet ved å holde alle andre variabler konstante (gjennomsnittsverdier), og kun variere den variabelen som er plottet på x-aksen.

Det er også en signifikant effekt av interaksjonen mellom temperatur og smittetrykk fra oppdrett (**Tabell 4**). **Figur 18** viser at temperatur har en stigende effekt på sannsynlighet for lus ved lave verdier av smittetrykk for oppdrett, men når smittetrykket øker forsvinner effekten av temperatur. Ved høye nivåer av smittetrykk fra oppdrett (≥ 4) er sannsynligheten for lus generelt høy ($>80\%$) og temperatur har ingen tilleggseffekt. Ved lave nivåer av smittetrykk øker derimot sannsynligheten for lus med stigende temperatur (fra 20 – 80 %).



Figur 18. Resultat av den binære modellen vist over (**Figur 17**) med fokus på interaksjonen mellom temperatur og smittetrykk fra oppdrett. Kurvene viser den predikerte sannsynligheten (fra 0 til 1, y-aksene) for at en fisk har lus som en funksjon av temperatur (x-aksen) og et visst nivå av smittetrykk fra oppdrett. Den blå linja nederst viser predikert sannsynlighet for lus ved et lavt smittetrykk (1), og deretter stiger smittetrykket som er brukt i beregningene for de andre prediksjonene gradvis (grønn 2, gul 3) mot den røde linja øverst med et høyt smittetrykk (4). De predikerte verdiene er estimater fra GLMM (generalised linear mixed modelling), der alle fire forklaringsvariablene er inkludert i samme modell.

3.1.2 Vurdering av modellens egnethet

Modellen basert på den binære responsvariabelen (lus eller ikke lus) ser statistisk ut til å være relativt god. Generelt er det imidlertid viktig å huske på at effekter av enkeltparametre bør tolkes med forsiktighet, ettersom forklaringsvariablene sannsynligvis er til en viss grad korrelert med hverandre og dermed avhengig av hverandre. Dette ser vi særlig for temperatur og smittetrykk som har en signifikant interaksjonseffekt i modellen. Vi har korrigert for en eventuell effekt av at fisk som er fanget i samme fjord det samme året ikke er statistisk uavhengig av hverandre. Resultatet fra modellen bør derfor være troverdig og alle forklaringsvariablene har en svært signifikant effekt. Utfallet sammenfaller også godt med hva man ville forvente av biologiske effekter på lus. En begrensning med modellen er imidlertid at den ikke inkluderer noe informasjon om mengden lus, kun om en fisk har lus eller ikke. Biologisk sett kan en slik sammenlikning være mindre interessant, ettersom en fisk med svært få lus kanskje har mer til felles med fisk som ikke har noen lus, enn med fisk som har svært mange lus, ettersom den fysiologiske effekten og den negative påvirkningen av lus forventes å slå inn kun når et visst antall lus er tilstede.

3.2 Andel fisk med et visst nivå av lus

3.2.1 Statistiske resultater – proporsjonal responsvariabel

I den nasjonale luseovervåkinga har andelen fisk som har mer enn 0,1 lus per gram fiskevekt blitt brukt for å evaluere tålegrenser hos villfisk (Taranger mfl. 2011). Dette målet er basert på konservative analyser av eksperimentelle toleranseforsøk. Dersom en fisk har mer en 0,1 lus per gram fiskevekt er dette antatt å medføre begynnende fysiologiske forstyrrelser for førstegangsutvandrende laksefisk. Større fisk (eldre enn førstegangsutvandrere) antas å ha begynnende påvirkning ved verdier ned til 0,025 lus per gram fiskevekt (Taranger mfl. 2012). For å finne ut hva som avgjør hvor mange fisk som får høyere lusepåslag enn dette nivået, sammenliknet vi alle prøvefiskeomganger med mer enn 15 individer under 200 gram (se **kapittel 2.4.2.2**), totalt 159 prøvefiskeomganger, og testet dette mot smittetrykk, temperatur og ferskvannspåvirkning. Siden responsvariabelen her allerede inneholder en korleksjon for fiskens størrelse (luseantallet er delt på fiskens vekt), var det ingen grunn til å ta med fiskens lengde i modellene.

Vi startet med en modell som inneholdt alle tre forklaringsvariablene, samt alle toveis-interaksjoner mellom dem, og foretok en statistisk modellseleksjon der de variablene som ikke bidro til å forklare lusepåslaget ble fjernet trinnvis (se **kapittel 2.4.5**). Alle interaksjonseffektene forsvant i denne prosedyren og den endelige modellen som best forklarte lusepåslaget var:

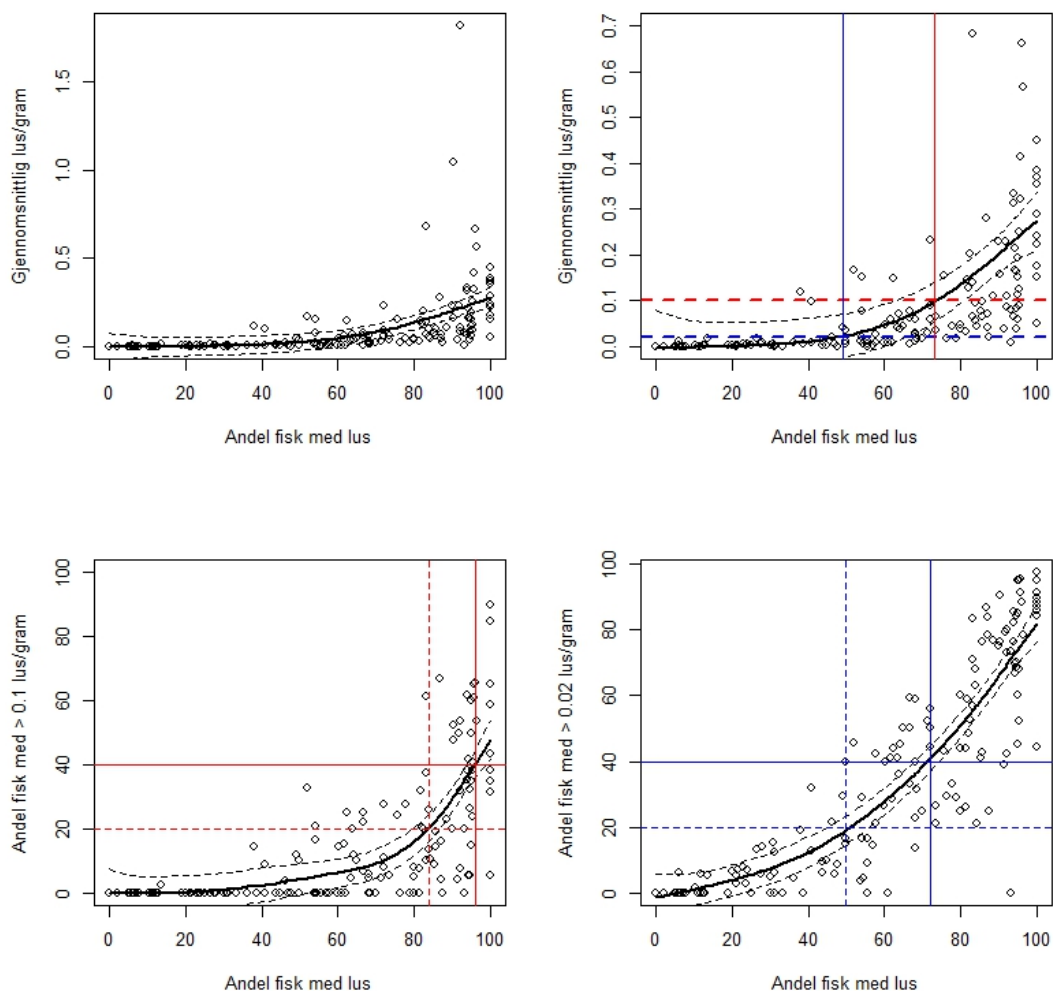
Andel >0,1 lus/gram ~ Smittetrykk + Temperatur + Ferskvann

Tilsvarende som i modellen i **kapittel 3.1** økte mengden lus med temperatur og avtok med økende ferskvannspåvirkning (**Tabell 5**). Smittetrykk fra oppdrett hadde ikke en statistisk signifikant effekt på andelen fisk med mer enn 0,1 lus/gram. Likevel var denne variabelen av betydning for modellens evne til å beskrive lusepåslaget, ettersom modellen der denne variabelen var inkludert var statistisk bedre (lavere AIC, se **kapittel 2.4.5**) enn modeller der denne variabelen fjernes.

Smittetrykk fra oppdrett hadde altså en signifikant effekt på hvorvidt en fisk har lus eller ikke (se **kapittel 3.1**), men ikke på andel fisk med mer enn 0,1 lus/gram. En mulig grunn til dette resultatet kan være at en betydelig andel fisk med mer enn 0,1 lus/gram kun nås når infeksjonsnivået allerede er veldig høyt i bestanden. Selv om et lusepåslag på 0,1 lus/gram ikke er veldig mye for ett enkelt individ, så blir samme nivå høyt når vi opererer på gruppenivå. Ofte inneholder et prøvefiske mange individer som ikke har lus i det hele tatt, og fordi disse trekker andelen ned er det først når svært mange individer har et høyt lusepåslag at andelen med mer enn 0,1 lus/gram stiger. Dette kan sees av **Figur 19**, som viser forholdet mellom andel fisk som har lus og antall lus per gram fiskevekt. Begge de to øverste figurene viser sammenhengen mellom gjennomsnittlig antall lus per gram i et prøvefiske og andelen fisk i dette prøvefisket som har lus, men den høyre figuren viser et mer detaljert utdrag av figuren til venstre. Som vi ser ligger antall lus/gram på et veldig lavt nivå over store deler av figuren, og først når nærmere halvparten av individene er infisert med lus begynner grafen å stige. Den røde stiplede linja i den øverste figuren til høyre viser at et lusepåslag med gjennomsnitt på 0,1 lus/gram først nås når ca. 75 % av fiskene har lus. Videre ser vi av den nederste figuren til venstre at for å nå et nivå der for eksempel 20 eller 40 % av fisken har mer enn 0,1 lus/gram, må andelen fisk med lus helt opp i henholdsvis ca. 85 og 95 %. Dette er en veldig høy andel og gjør at dersom man kun vurderer fisk som har mer enn 0,1 lus/gram, vil man bare inkludere prøvefiske der svært mange individer har lus.

For å se om effekten av smittetrykk fra oppdrett kunne ha betydning dersom en større variasjon i lusepåslaget ble inkludert, forsøkte vi derfor å tilpasse tilsvarende modeller som over, men med et lavere nivå av lusepåslag. Det laveste nivået vi valgte tilsvarende at ca. 50 % av fisken er infisert med lus. Som vist av den blå stiplede linja i figuren øverst til høyre gir dette et gjennomsnittlig lusepåslag på 0,02 lus/gram. Figuren nederst til høyre viser at for å nå et

nivå der for eksempel 20 eller 40 % av fisken har mer enn 0,02 lus/gram, er andelen fisk med lus ca. 50 og 70 %. Dette nivået med gjennomsnittlig lusepåslag er 0,02 lus/gram er nær grenseverdien på 0,025 lus/gram som har blitt foreslått for eldre fisk (Taranger mfl. 2012, se **kapittel 4.2** for drøfting av disse grenseverdiene). Vi valgte derfor å bruke 0,025 som nivå i våre analyser. I tillegg forsøkte vi et mellomnivå på 0,05 lus/gram for å se om det var en gradvis endring fra 0,1 til 0,025.

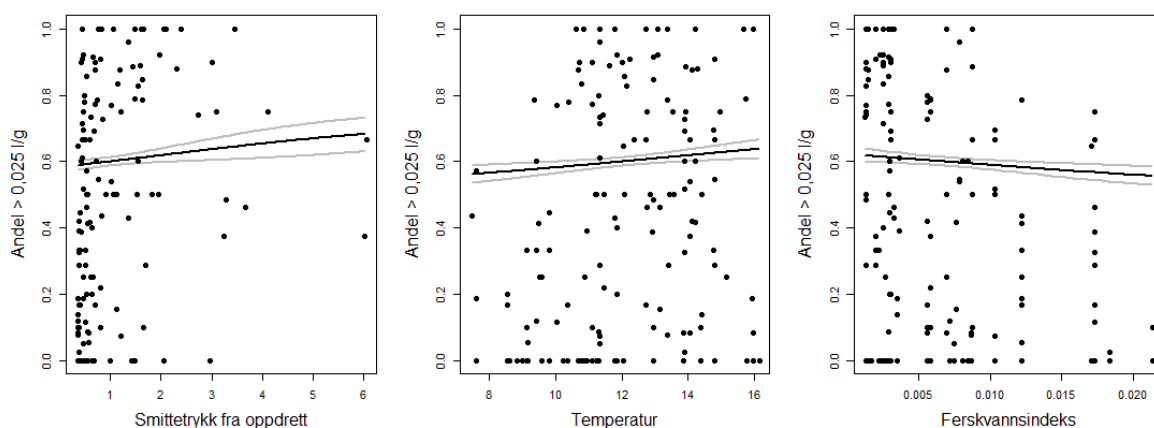


Figur 19. Forholdet mellom andel fisk med lus (x-aksene) og ulike mål på antall lus per gram fiskevekt (y-aksene). Punktene viser hver av de 159 prøvafiskeomgangene som er inkludert i analysene i kapittel 3.2. De svarte heltrukne kurvene viser den tilpassete glattede funksjonen gjennom punktene med 95% konfidensintervall (stiplede kurver), beregnet fra GAM (generalized additive model) i pakka mgcv i R (<http://cran.r-project.org/web/packages/mgcv/>). I de to øverste figurene er gjennomsnittlig antall lus per gram vist på y-aksene, der figuren til høyre viser et utsnitt av figuren til venstre (dvs. kun punkter med y-verdi <0.7 er inkludert). Figuren nederst til venstre viser andel fisk med >0.1 lus/gram på y-aksen, og figuren nederst til høyre viser andel fisk med >0.02 lus/gram på y-aksen. Se teksten i **kapittel 3.2.1** for forklaring på de røde og blå linjene.

Ved å gjøre tilsvarende modellseleksjon som over, men ved bruk av andel fisk med 0,05 og 0,025 lus/gram som responsvariabel, forble de endelige modellene like som ved bruk av 0,1 lus/gram. Ved å senke lusenivået som brukes som responsvariabel i modellene ser vi imidlertid at effekten av smittetrykk fra oppdrett gradvis får en sterkere betydning. Ved 0,1 lus/gram er effekten ikke signifikant, ved 0,05 lus/gram er den nærmere signifikant, og ved 0,025 lus/gram har smittetrykk fra oppdrett en statistisk signifikant positiv effekt på lusenivået (**Tabell 5, Figur 20**).

Tabell 5. Resultater fra de tre modellene (generalised linear model) som best beskriver sannsynligheten for hvor stor andel av fisken som har mer enn henholdsvis 0,1, 0,05 og 0,025 lus/gram. Statistisk signifikante variabler er markert med * for p-verdiens signifikans under 0,05 og ** under 0,001.

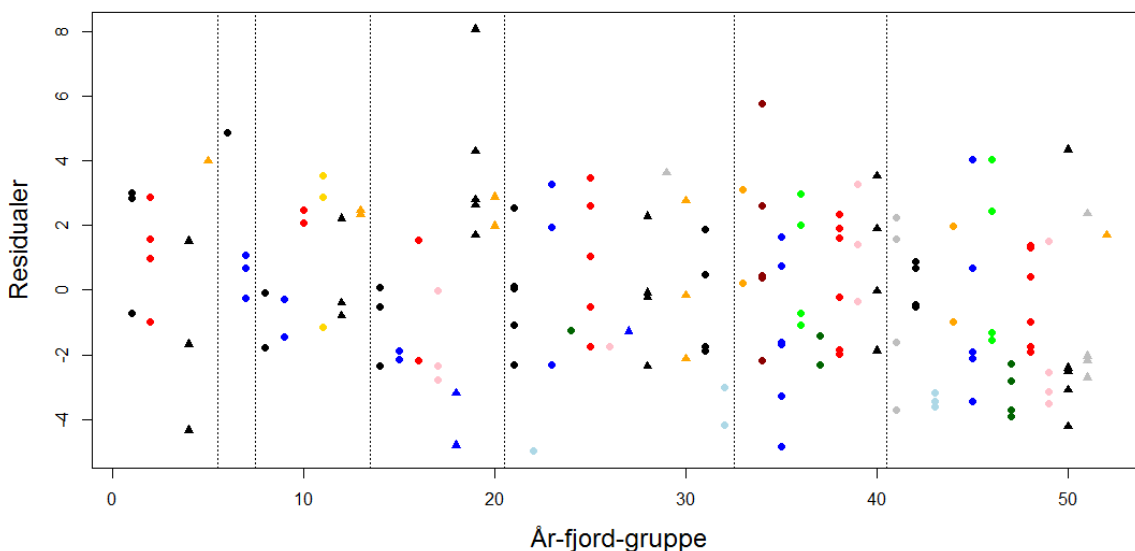
Responsvariabel		Estimat	Standardfeil	p-verdi
0,1 lus/gram	Skjæringspunkt (intercept)	-3,084	0,817	<0,001**
	Smittetrykk fra oppdrett	0,178	0,109	0,104
	Temperatur	0,176	0,064	0,006*
	Ferskvannsindeks	-87,383	26,839	0,001**
0,05 lus/gram	Skjæringspunkt (intercept)	-2,589	0,749	<0,001**
	Smittetrykk fra oppdrett	0,195	0,113	0,087
	Temperatur	0,172	0,059	0,004*
	Ferskvannsindeks	-68,171	23,236	0,003*
0,025 lus/gram	Skjæringspunkt (intercept)	-2,190	0,720	0,002*
	Smittetrykk fra oppdrett	0,312	0,128	0,016*
	Temperatur	0,158	0,057	0,006*
	Ferskvannsindeks	-58,019	21,968	0,009*



Figur 20. Andel fisk med mer enn 0,025 lus/gram for hver prøvewiseomgang (punkter, 159 prøvewise), mot hver av de tre forklaringsvariablene smittetrykk fra oppdrett, temperatur og ferskvannsindeks. Den svarte linja viser den predikerte sannsynligheten (fra 0 til 1, y-aksen) for andelen fisk som har mer enn 0,025 lus/gram som en funksjon av hver av forklaringsvariablene, med 95 % konfidensintervall (grå linjer). Prediksjonene er beregnet fra GLM (generalised linear model) vekta for proporsjonale data, der smittetrykk fra oppdrett, temperatur og ferskvann er inkludert i samme modell. Figurene er tegnet ved å holde to av variablene i modellen konstante (gjennomsnittsverdien), og kun variere den variabelen som er plottet på x-aksen.

3.2.2 Vurdering av modellens egnethet

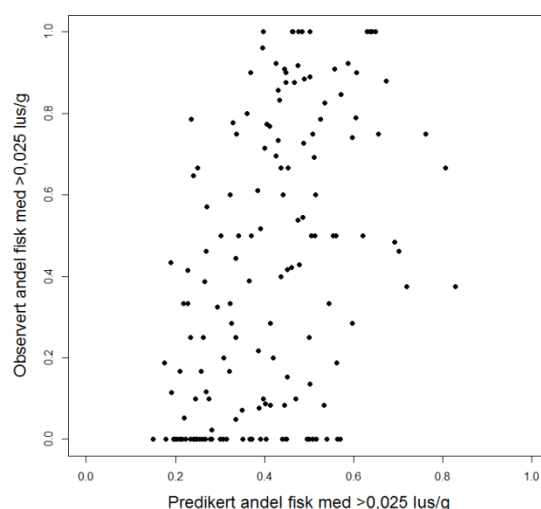
Modellen med bruk av andel fisk med mer enn et visst nivå av lus er ikke korrigert for at ikke alle prøvefiskeomgangene er uavhengige (se **kapittel 2.4.1**), fordi antall datapunkter var for lavt i forhold til antall grupper. Grupperingen av prøvefiskeomganger fra samme år og fjord som er brukt i modellene med de andre responsvariablene (**kapittel 3.1** og **kapittel 3.3**) er derfor ikke tatt med her. Dette kan være et problem, fordi modeller som ikke er korrigert for eventuelle autokorrelasjoner kan gi upålitelige resultater. Likevel indikerer **Figur 21** at dette ikke nødvendigvis er et problem i denne modellen. Figuren viser residualene fra den endelige modellen plottet mot år-fjord-grupperingen. Residualene representerer den delen av variasjonen som ikke kan forklares av variablene som er inkludert i modellen. Dersom disse hadde gruppert seg i et bestemt mønster, for eksempel ved at alle punkter fra en viss fjord eller et visst år hadde fått svært høye eller svært lave residualverdier, ville dette vært indikasjon på en dårlig modelltilpasning. Et slikt mønster er uønsket og ville ha indikert at modellen ikke er spesielt god, men som vi kan se av figuren er det ingen tydelige tendenser til mønster i vår modell. Dette tilsier at det ikke er et stort problem med eventuelle autokorrelasjoner. Resultatet bør derfor være pålitelig til tross for at modellen ikke har inkludert år-fjord-grupperingen. Videre har alle forklaringsvariablene signifikant effekt og også her sammenfaller utfallet godt med hva man ville forvente av biologiske effekter på lus. I følge VIF (*variance inflation factor*, se **kapittel 2.4.4**) har modellen ingen problemer med korrelasjon mellom forklaringsvariabler (alle variabler har $VIF < 1,5$).



Figur 21. Residualene fra den modellen som best forklarer hvor stor andel av fisken ved et prøvefiske som har mer enn 0,025 lus/gram (y-aksen), plottet mot grupperingsfaktoren der alle prøvefiskeomganger fra samme fjord og samme år er gruppert sammen (x-aksen). De ulike fargene og symbolene indikerer hvilke prøvefiske som er fra samme fjord (15 forskjellige fjorder), mens feltene atskilt med stiplede linjer viser hvilke prøvefiske som er fra samme år.

Som vi så av modellsammenlikningen var resultatet av modellen avhengig av hvilket nivå av antall lus/gram (0,1, 0,05 eller 0,025) som brukes som responsvariabel. Dette viser at det er en utfordring når man bruker aggregerte data for hvert prøvefiske (i stedet for enkeltfisker) at de individene som ikke har lus delvis «nuller ut» effekten av at andre individer har mange lus. Den store naturlige variasjonen mellom fisker fanget under samme prøvefiskeomgang er med på å skape en variasjon som er vanskelig å forklare statistisk med relativt grove og enkle mål (se **kapittel 4** for videre diskusjon av ulike mål på lusepåslag).

For å se i hvor stor grad den endelige modellen er i stand til å forklare variasjonen i dataene har vi plottet de predikerte lusepåslagene fra modellen mot de faktiske observerte lusepåslagene (**Figur 22**). Dersom en modell har god forklaringsgrad sammenfaller punktene godt med de observerte, og vi får en diagonal trend nederst fra venstre opp mot høyre, der høye predikerte lusepåslag tilsvarer høye observerte lusepåslag. Som vi ser av **Figur 22** er ikke denne trenden spesielt overbevisende for vår modell. For et gitt observert nivå av andel fisk med 0,025 lus/gram er det stor variasjon i den predikerte mengden lus. Videre ser vi også at modellen ikke er i stand til å predikere null-verdiene, og prøvefiskeomganger der ingen fisk har mer enn 0,025 lus/gram er predikert til å ha en andel på alt fra ca. 15 til 50 %. Generelt er de predikerte verdiene fordelt på et snevrere spenn (ca. 15 - 80 %), enn de observerte verdiene (hele spennet fra 0 -100 %).



Figur 22. Predikerte verdier fra den modellen som best forklarer hvor stor andel av fisken som har mer enn 0,025 lus/gram (x-aksen), plottet mot de observerte verdiene fra prøvefiske (y-aksen).

Dette viser at det er mye variasjon i andelen fisk med 0,025 lus/gram som ikke kan forklares med de variablene vi har inkludert i modellen. Dette skyldes sannsynligvis delvis at den romlige og tidsmessige oppløsningen på de ulike forklaringsvariablene ikke alltid er høy nok (se **kapittel 2.3** for vurdering av datagrunnlaget), eller at de variablene vi har inkludert ikke er de best egnete for å beskrive de faktorene som faktisk påvirker lusepåslaget. Den relativt dårlige modelltilpasningen skyldes nok også at det er et lavt antall datapunkter inkludert i analysen, tatt i betraktning at variasjonen mellom disse datapunktene er så stor (se **kapittel 4** for videre drøfting). Fordi lakseluspåslag naturlig har så stor variasjon vil et slikt datasett alltid inneholde tilfeldig stokastitet som gjør det vanskelig å lage modeller som egner seg for presis prediksjon. Selv om alle miljøvariable hadde vært nøyaktig registrert til enhver tid ville det ha vært vanskelig å forklare variasjonen i lusepåslaget, fordi vi alltid vil observere noen individer med høyt lusepåslag og noen uten lus, selv på samme lokalitet til samme tid. Likevel vil noen av disse utfordringene bli mindre dersom datasettet i framtiden blir større, det vil si inneholder både flere prøvefiskeomganger og flere fisk per prøvefiskeomgang, fordi dette vil føre til mer nøyaktige mål på lusepåslag i en bestand.

3.3 Totalt antall lus registrert på hver fisk

3.3.1 Statistiske resultater – responsvariabel med nullinflasjon

For å finne ut hvilken kombinasjon av forklaringsvariabler som best forklarer totalt antall lus per villfisk i datasettet, har vi sammenliknet ulike nullinflasjonsmodeller (ZIP- og ZINB-modeller). Som beskrevet i **kapittel 2.4.2.3**, består slike modeller av to deler; en del som beskriver antall lus og en del som beskriver sannsynligheten for falske nuller. Vi forventer at fisk som er fanget i samme fjord det samme året er utsatt for mer likt smittetrykk enn fisk som er fanget på helt ulike steder eller i forskjellige år (se vurdering av uavhengige prøvefiskeomganger i **kapittel 2.4.1**). Dette innebærer at sannsynligheten for falske nuller trolig også varierer mellom år og fjordområde (se **kapittel 2.4.2.3**). Vi har derfor brukt grupperinga av all fisk som er fanget i samme fjord og samme år (52 ulike grupper) og latt denne beskrive sannsynlighet for falske nuller.

Den delen som beskriver antall lus når sannsynligheten for falske nuller er tatt høyde for, har vi beskrevet ved hjelp av ulike kombinasjoner av forklaringsvariablene; smittetrykk fra oppdrettsanlegg, temperatur, og ferskvannsavrenning. I tillegg har vi inkludert fiskens kroppslengde i alle modeller, for å korrigere for at antall lus kan variere mellom store og små individer. Vi startet med en fullmodell bygd opp på følgende måte

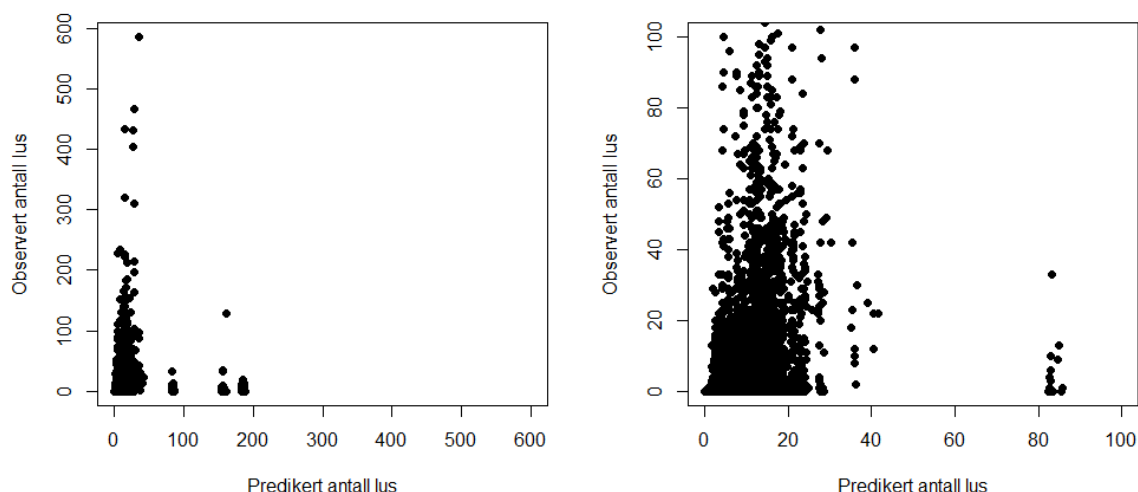
Antall lus ~ Fiskelengde + Smittetrykk fra oppdrett + Temperatur + Ferskvann +
 Smittetrykk fra oppdrett x Temperatur +
 Smittetrykk fra oppdrett x Ferskvann +
 Temperatur x Ferskvann

Denne fullmodellen ble laget både med negativ binomial (ZINB) og med poisson (ZIP) og disse modellene ble så sammenliknet ved hjelp av AIC-verdier. Dette viste at ZINB-modellen var svært mye bedre (AIC 27158) til å beskrive lusepåslaget enn ZIP (AIC 92081), noe som tilsier at responsvariabelen har overspredning også i de verdiene som ikke er null (se **kapittel 2.4.3**). Vi valgte derfor å bruke ZINB-modeller i den videre modellseleksjonen. På samme måte som for analysene med de andre responsvariablene (**kapitlene 3.1 og 3.2**) forsøkte vi også her trinnvis å fjerne ulike ledd i modellen, for å finne den modellen som var best egnet til å beskrive variasjonen i datasettet. Det var imidlertid mange av modellkombinasjonene som ikke var mulig å kjøre, sannsynligvis fordi det ikke var nok informasjon i dataene til å tilpasse disse modellene, slik at den statistiske beregningen ikke ville konvergere. Det lot seg dermed ikke gjøre å foreta en formell modellseleksjon. Likevel kunne vi se fra de modellene som var mulig å kjøre at den første fullmodellen var bedre egnet til å beskrive variasjonen (dvs. hadde lavere AIC-verdi, se **kapittel 2.4.5**) enn de modellene med færre ledd. Fordi denne fullmodellen har så lav forklaringsgrad (se **kapittel 3.3.2**) bør resultatene fra modellen ikke tillegges særlig vekt, og vi har derfor valgt ikke å presentere parameterestimaterne fra nullinflasjonsmodellen i rapporten.

3.3.2 Vurdering av modellens egnethet

Det at den mest komplekse modellen med flest mulig kombinasjoner av forklaringsvariablene inkludert er bedre enn enklere modeller, indikerer at forklaringsgraden til alle enkeltvariablene er lav. Dersom noen av variablene hadde hatt en sterkere påvirkning på lusepåslaget enn de andre, ville det være en liten effekt av å fjerne de leddene som uansett ikke forklarte så mye. Men siden modellens forklaringsevne øker med antall ledd inkludert, er det grunn til å tro at ingen av leddene forklarer variasjonen spesielt godt, og at det derfor kun er effekten av at inkludering av flere ledd gir modellen anledning til å fordele variasjonen på flere variabler, som gjør at den mer komplekse modellen blir bedre. Derfor er sannsynligvis ingen av de testede nullinflasjonsmodellene særlig gode, selv om den mest komplekse framstår som mindre dårlig enn de enklere modellene.

Den dårlige forklaringsgraden til modellen bekreftes også i **Figur 23**. Her vises antall observerte lakselus mot predikert antall lus. Dersom en modell er godt tilpassa dataene og de inkluderte forklaringsvariablene i stor grad forklarer antall lus per fisk, forventes punktene i en slik figur å falle tilnærmet i en diagonal linje. En diagonal linje ville ha vist at modellen predikerer høye lusepåslag for de fiskene som hadde høye lusepåslag i de observerte dataene, og ingen lus for de individene som var observert uten lus. **Figur 23** viser med all tydelighet at dette ikke er tilfellet her. Det er svært dårlig samsvar mellom observerte og predikerte verdier også i den modellen som statistisk var ansett som den beste, noe som betyr at alle nullinflasjonsmodellene vi testet er svært upålitelige.



Figur 23. Observert antall lakselus (y-aksen) plottet mot predikerte verdier (x-aksen) for den modellen som best forklarte antall lus per fisk. Figuren til høyre viser et nærbilde av figuren til venstre, der kun data opp til 100 lus per fisk er inkludert.

Gitt den store variasjonen i antall lus som **Figur 15** viser er det ikke overraskende at det er vanskelig å få til en god statistisk modell med denne responsvariabelen. Biologisk sett ville det være å foretrekke om vi kunne bruke nullinflasjonsmodeller på den måten vi har forsøkt her, fordi vi ønsker å sammenlikne både fisk uten lus, de med få lus og de med mange lus i samme modell. Samtidig gjør den svært store variasjonen i lusepåslag og skeivheten i datafordelingen at det er lite sannsynlig at det vil være nok data tilgjengelig til å kunne bruke slike modeller til å lage pålitelige prediksjoner av lusepåslaget.

4 Diskusjon

4.1 Sammenhengen mellom lusepåslag på villfisk og omgivelsene

Våre statistiske analyser av data fra luseovervåkinga av vill sjøørret i perioden 2004-2010 viser at både smittetrykk fra oppdrett, temperatur og ferskvannsavrenning har signifikant påvirkning på lakseluspåslaget på villfisk. I henhold til disse resultatene øker sannsynligheten for at en fisk har lus med økt smittetrykk fra oppdrettsanlegg og økt temperatur og synker med større mengde ferskvannsavrenning (se **Figur 17**). I tillegg er sannsynligheten for tilstedeværelse av lus større for store fisk enn for små. Også tidligere studier har funnet at økt temperatur og salinitet øker lusepåslaget og at fiskens størrelse kan ha betydning for risikoen for lusesmitte (Jansen mfl. 2012). Flere undersøkelser har vist at infeksjonsnivået av lakselus på villfisk er høyere i områder med høy oppdrettsintensitet enn i områder med lite oppdrett (Bjørn mfl. 2011a; Anonym 2012 og referanser i denne; <http://www.imr.no/> Bestilling av forvaltningsstøtte for evaluering av soneforskrifter lakselus 19.04.12). Det har imidlertid vært få studier som statistisk knytter variasjoner i lusenivået i oppdrett mot lusenivået på villfisk over større geografiske områder og over tid, slik vi har gjort. Dette skyldes blant annet at denne type undersøkelser krever store mengder data og tidsserier der lusepåslag er målt på sammenliknbar måte over lengre perioder. I så måte har den nasjonale luseovervåkinga i Norge besørget et unikt datasett. En helt nylig publisert studie fra Skottland har nettopp vist at andel sjøørret med kritisk nivå av lus økte signifikant med mengde fisk i oppdrettsanlegg i nærheten og med avstand til disse anleggene (Middlemas mfl. 2012). Denne analysen er basert på 48 ulike prøvefiskestasjoner i perioden 2003-2009 og likner vår tilnærming, men har ikke inkludert miljøvariabler som temperatur og salinitet.

Undersøkelser i Romsdalsfjorden og i Hardangerfjorden har nylig gitt indikasjoner på det er en viss forsinkelse før effekten at av økt lusepåslag i oppdrettsanlegg kan sees på villfisk (Berg mfl. 2012; <http://www.imr.no/> Bestilling av forvaltningsstøtte for evaluering av soneforskrifter lakselus 19.04.12). En annen nylig publisert studie viser hvordan smittetrykket fra ett oppdrettsanlegg spres videre til oppdrettsanlegg i nærheten og at lusenivået påvirkes av tettheten av oppdrettsfisk (Jansen mfl. 2012). I våre analyser ser vi ikke bare en effekt av smittetrykk fra oppdrett, men videre at det er en interaksjon mellom temperatur og smittetrykk som signifikant påvirker sannsynligheten for om en villfisk har lus eller ikke. Når det er høyt smittetrykk fra oppdrettsanlegg i området er dette sterkt bestemmende for om villfisk har lus, og denne effekten slår ut effekten av temperatur. Ved lavere intensitet av smitte fra oppdrett øker derimot sannsynligheten for lusepåslag på villfisk med økende temperatur (se **Figur 18**).

Vi har brukt tre ulike tilnærminger i våre analyser. I tillegg til analyser av hvorvidt en fisk har lus eller ikke (binær responsvariabel, **kapittel 3.1**), analyserte vi også andel fisk med et vist nivå av lus (proporsjonal responsvariabel, **kapittel 3.2**) og totalt antall lus på hver fisk (responsvariabel med nullinflasjon, **kapittel 3.3**). Ved bruk av andel fisk i en bestand med et visst nivå av lusepåslag fant vi tilsvarende effekter som ved analysene av hvorvidt fisk hadde lus eller ikke. Også her var det en signifikant økning av andelen fisk med lus med økende smittetrykk fra oppdrett og økende temperatur, og en nedgang i lusepåslaget ved mer ferskvannspåvirkning (**Figur 20**). Vi så imidlertid at disse analysene var sensitive for valg av grenseverdi for nivå av lusepåslag. I tillegg var modellens evne til å predikere de observerte verdiene dårlig (**Figur 22**). Dette illustrerer at det å forstå variasjonen i lusepåslag hos villfisk og sammenhengen mellom lus og fiskens omgivelser ikke nødvendigvis er rett fram. Når vi forsøkte å modellere totalt antall lus per fisk viste våre studier at det ikke var mulig å bruke datasettet fra den nasjonale luseovervåkinga til dette med de metodene vi har brukt. Det er generelt vanskelig å bruke data med en slik fordeling som lakseluspåslag naturlig har, ettersom nullinflasjon og overspredning ikke lett lar seg forklare uansett hvilke forklaringsvariabler som inkluderes i modellen.

Til tross for at datasettet fra det nasjonale overvåkingsprogrammet gir unik tilgang på informasjon om lusepåslaget hos vill laksefisk, har vårt arbeid med sammenstilling og analyse av dette datasettet belyst flere utfordringer. De tre viktigste utfordringene knyttet til å finne årsakssammenhenger til det observerte lusepåslaget er:

- (i) Å finne det mest relevante biologiske og statistiske målet på lusepåsag.
- (ii) Tilgjengelighet av mest mulig detaljerte miljøvariabler å koble lusedataene til.
- (iii) At den store naturlige variasjonen i parasittdata gjør det nødvendig med svært store datamengder og avanserte statistiske modeller for å finne pålitelige sammenhenger.

I tillegg er det andre faktorer som er med på å gjøre målinger av relevante parametere som påvirker lakselus påslaget praktisk vanskelig, for eksempel at vi ikke vet hva slags miljøforhold fisken har vært under i tiden før den ble fanget eller om en fisk kan ha hatt et høyere nivå av lus på et tidligere tidspunkt. Momenter ved disse utfordringene drøftes mer detaljert i **kapitlene 4.2 og 4.3** nedenfor.

4.2 Egnete mål for lusepåsag

4.2.1 Sammenlikning av ulike mål

Som beskrevet i **kapittel 2.4.2** er det flere måter å behandle lusetellinger på fisk på. De tre målene vi har valgt å bruke er a) hvorvidt en fisk har lus eller ikke (binær responsvariabel), b) andel fisk med et visst nivå av lus (proporsjonal responsvariabel) og c) totalt antall lus per fisk (responsvariabel med nullinflasjon). De ulike målene på lusepåsag gir ulik biologisk informasjon og har i tillegg forskjellige statistiske muligheter og begrensninger.

Hvorvidt en fisk har lus eller ikke er et mål som er enkelt å bruke og det er ingen tvetydigheter knyttet til tolkningen. I tillegg kan man ved dette målet inkludere alle individer i datasettet, noe som øker datasettets styrke til bruk i analyser. Våre analyser ga også klare og logiske statistiske resultater når lus/ikke lus ble brukt som responsvariabel. En svakhet er imidlertid at den biologiske informasjonen knyttet til dette målet er begrenset. For å forstå effekter av lus på villfisk er vi hovedsakelig interessert i lusepåsag som har en betydelig negativ effekt på individer eller bestander. Denne informasjonen er ikke mulig å skaffe ved kun å bruke lus eller ikke lus som mål, ettersom tilstedeværelse av lus i seg selv ikke trenger å være negativt dersom antallet lus er lavt.

Biologisk sett er mer detaljer om lusepåslaget svært interessant og derfor er totalt antall lus et mer informativt mål enn bare lus eller ikke lus. Dette målet er også utvetydig og man kan inkludere alle individer i datasettet også her. Ved bruk av totalt antall lus per fisk kan man imidlertid diskutere hvorvidt det bør skilles mellom ulike stadier av lus, ettersom den fysiologiske effekten på fisken varierer avhengig av lakselusas stadium og dødelighet hos fisk inntreffer først når larvene har utviklet seg til mobile stadier. Dessverre viste våre analyser at det er vanskelig å gjøre statistiske analyser basert på totalt antall lus. På grunn av nullinflasjon og svært stor naturlig variasjon i antall lus per fisk (se **Figur 15**), kreves veldig store mengder data for at de statistiske beregningene skal fungere. Det er uvisst om det noen gang vil være så store datamengder tilgjengelig at slike modeller vil bli gode. Dermed er det i praksis svært vanskelig å bruke totalt antall lus som mål på lusepåsag når vi ser på geografiske og tidsmessige variasjoner, fordi vi ikke er i stand til å omsette den statistiske kompleksiteten i dette målet til håndterbare biologiske sammenhenger.

Andel fisk med et visst nivå av lus er et forsøk på å finne et biologisk relevant mål som inkluderer en antatt grenseverdi for negative effekter av lakselus. Ved å bruke dette benyttes ikke hvert individ som målepunkt, men i stedet omgjøres lusetellingene til ett målepunkt fra

hvert prøvafiske. Dette reduserer størrelsen på datasettet, noe som kan være problematisk og minske sannsynligheten for å finne statistiske sammenhenger. Samtidig kan et slikt mål ha en biologisk styrke dersom grenseverdien som benyttes er velfungerende, fordi den forventede bestandseffekten inkorporeres i lusemålet. Det er imidlertid ikke klart hvilken grenseverdi som bør benyttes for at dette skal være tilfelle. Vi har forsøkt tre ulike grenseverdier, nemlig andel fisk med mer enn henholdsvis 0,1, 0,05 og 0,025 lus/gram. Disse ble beregnet kun for fisk under 200 gram og for prøvafiskeomganger med minst 15 individer. Resultatene våre viste at utfallet av de statistiske modellene var noe forskjellig avhengig av hvilken av disse grenseverdiene som ble benyttet (se **Tabell 5**). Andel fisk med $>0,1$ lus/gram har blitt foreslått som grense fordi det er vist fysiologiske effekter forbundet med et lusenivå høyere enn dette (Taranger mfl. 2011). Imidlertid behøver ikke tålegrensen for lus på individnivå være den samme som tålegrensen for en bestand (se **Figur 19** og drøfting av denne i **kapittel 3.2.1**). Videre er tålegrensen sannsynligvis avhengig av fiskens størrelse og livsstadium, og varierer antagelig mellom ulike arter laksefisk. Det foreligger i dag begrenset kunnskap om slike effekter på vill laksefisk. Dette gjør at det er vanskelig å vite hvilken grenseverdi som bør benyttes som mål på lusepåslag i generelle analyser av villfisk. Et annet moment er at det er uklart hvor sensitivt et slikt mål er for hvor mange fisk som er inkludert i beregningen av aggregerte verdier for et gitt prøvafiske, særlig ved stor individvariasjon i lusepåslag. Vitenskapelig råd for lakseforvaltning (VRL) har for eksempel foreslått at så mye som minst 100 individer laksesmolt bør inngå i prøvene når påvirkning av lakselus på en bestand skal vurderes (Anonym 2011a). Fordi grenseverdier er et viktig og foreløpig uavklart tema relatert til overvåking av lakselus i ville bestander drøftes dette videre i **kapittel 4.2.2**.

Et annet mål som har blitt foreslått, men som vi ikke har brukt, er median antall lus per gram fiskevekt. Det har blitt argumentert for at medianverdien er et velegnet mål for parasittdata som har negativ binomialfordeling (Anonym 2011a). Vi har imidlertid ikke kunnet bruke dette målet i våre analyser fordi også dette målet har nullinflasjon, og som vist i **kapittel 3.3** er disse modellene svært vanskelig å beregne. Når tilnærmingen med nullinflasjonsmodeller ikke fungerte når alle individer brukes som hvert sitt målepunkt, vil det i alle fall ikke være mulig å lage slike modeller når datamaterialet reduseres til ett målepunkt per prøvafiske. Av denne grunn er andel fisk med et visst nivå lus bedre statistisk sett, fordi dette er en proporsjonal variabel i stedet for en kontinuerlig variabel, og modeller basert på proporsjoner er ikke like sensitive for et høyt antall nuller.

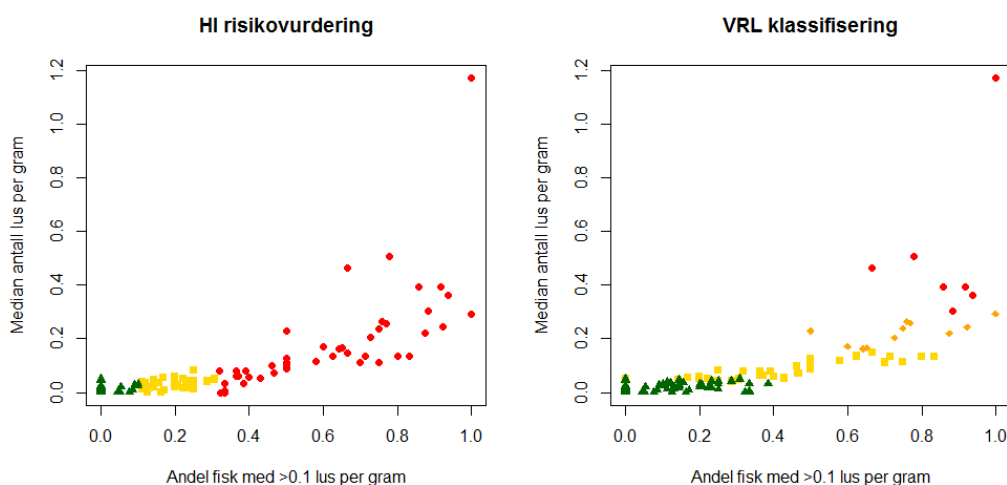
4.2.2 Grenseverdier og antall lus per gram fiskevekt

Som beskrevet i **kapitlene 3.2** og **4.2.1** er resultatet av våre analyser med bruk av andel fisk med et visst nivå av lusepåslag følsomme for hvor grenseverdien for mengde lus plasseres. Effekten av temperatur og ferskvannspåvirkning er den samme, men hvorvidt modellen gir utslag av en effekt av smittetrykk fra oppdrett varierer mellom de tre lusenivåene vi har testet. Det har vært vanlig å rapportere andel fisk med 0,1 lus/gram for mindre fisk, men vi har valgt i tillegg å bruke en lavere grense på 0,025 lus/gram. Vårt valg av en alternativ grenseverdi er ikke basert på en forventning om fysiologisk effekt eller populasjonsrespons av dette spesifikke lusenivået, men er kun valgt på grunnlag av den statistiske fordelingen i våre data. Vi valgte 0,025 lus/gram som en alternativ grense fordi dette nivået tilsvarte at omtrent 50 % av individene i vårt datasett har minst én lus. Fra en ren statistisk vurdering ser andel fisk med $>0,025$ lus/gram ut til å være en velegnet variabel for å beskrive sammenhengen mellom lusepåslag hos vill sjørørret og aktuelle miljøvariabler og smittetrykk fra oppdrettsanlegg (se **kapittel 3.2**). Det er likevel uklart hvorvidt andel fisk med $>0,025$ lus/gram er en relevant grenseverdi for bruk i forvaltning og overvåking.

Det har nylig blitt laget forslag til metoder for å måle miljøeffekter av oppdrettslaks på villfisk (Taranger mfl. 2012), og i den forbindelse er også ulike grenseverdier for effekt av smittepress av lus på ville bestander foreslått. Havforskningsinstituttet (HI) har anslått at laksefiskbestander er utsatt for lav risiko hvis <10 % av bestanden er infisert med $>0,1$ lus/gram (Taranger mfl.

2011). Kategorien moderat risiko er satt når 10-30 % er infisert og høy risiko når >30 % er infisert med samme nivå. Omtrent halvparten (49 %) av prøvafiskeomgangene inkludert i våre analyser i **kapittel 3.2** har så stor andel fisk med >0,1 lus/gram at det tilsvarer kategoriene moderat (19 % av prøvafiskeomgangene) og høy (30 % av prøvafiskeomgangene) risiko i følge HI sin risikovurdering (**Figur 24**). Det er likevel viktig å merke seg at blant de prøvafiskeomgangene som faller i kategorien lav risiko (dvs. <10 % av fiskene har >0,1 lus/gram) er nesten alle (75 av 81) uten en eneste fisk med >0,1 lus/gram. Dette tilsvarer at hele 47 % av alle de 159 prøvafiskeomgangene inkludert i analysene i **kapittel 3.2** har verdien 0 dersom andel individer med >0,1 lus/gram brukes som responsvariabel. Dette at så stor andel av datapunktene har nullverdier er sannsynligvis årsaken til at det er vanskelig å finne statistisk signifikante effekter av alle forklaringsvariablene, og kan bidra til å forklare hvorfor sammenhengen mellom smittetrykk fra oppdrett og lusepåslaget på villfisk er sterkere når responsvariabelen endres til >0,025 lus/gram. Ved å bruke >0,025 lus/gram som responsvariabel reduseres andel av prøvafiskeomgangene som får nullverdi til 25 % (41 av 159).

Vitenskapelig råd for lakseforvaltning (VRL) har foreslått en annen grenseverdi enn HI, der effekten av lakselus anses som ubetydelig på bestandsnivå dersom median antall lus/gram fiskevekt er <0,05 (Anonym 2011a). Videre anses mellom 0,05-0,15 å ha liten effekt, mens moderat effekt forventes fra 0,16-0,3 og stor effekt ved median antall lus per gram >0,3. Det er verdt å merke seg at disse grenseverdiene er foreslått spesielt for laks og forutsetter at prøvestørrelsen er minst 100 fisk. Disse grenseverdiene er dermed vanskelig å sammenlikne med dataene i våre analyser, ettersom vi har mye lavere prøvestørrelse (minimum 15 fisk) og har data for sjørørret og ikke laks. Til tross for dette har vi forsøkt å klassifisere de 159 prøvafiskeomgangene inkludert i analysene i **kapittel 3.2** etter dette denne metoden for å sammenlikne utfallet med grenseverdiene foreslått av HI. Hensikten med sammenlikningen var ikke å vurdere hvilken av de to grenseverdiene som er best egnet, men vi ønsket å illustrere hvordan valg av grenseverdi kan påvirke vurderingen av bestandens tilstand basert på et prøvafiskeresultat.



Figur 24. Sammenlikning av grenseverdiene foreslått av Havforskningsinstituttet (HI, venstre figur) og Vitenskapelig råd for lakseforvaltning (VRL, høyre figur). Begge figurene viser andel fisk >0,1 lus/gram på x-aksen og median antall lus/gram på y-aksen, for alle de 159 prøvafiskeomgangene som er inkludert i analysene i **kapittel 3.2**. Forskjellen på de to figurene er fargelegginga av punktene, som følger de to ulike foreslåtte grenseverdiene for bestands-effekter av lakseluspåslag. I den venstre figuren (HI) viser røde sirkler høy risiko, gule firkanter moderat/usikker risiko og grønne trekanter lav risiko. I den høyre figuren (VRL) er det fire klasser, der grønne trekanter indikerer ingen effekt, gule firkanter liten effekt, oransje romber moderat effekt og røde sirkler stor effekt av lakselus. Legg merke til at et stort antall prøvafiskeomganger (56 av 159) har verdien 0 for både andel fisk med >0,1 lus per gram og for median antall lus per gram. Disse er ikke synlige i figuren fordi de havner oppå hverandre og dermed gir inntrykk av å være kun ett punkt.

Som vi ser av **Figur 24** er det til dels stor forskjell i hvor mange av prøvfiskeomgangene som faller i risikosonen med de to metodene. En større andel har lusenivåer som indikerer risiko for bestandseffekter i forslaget fra HI enn med forslaget fra VRL. Det mest ekstreme avviket mellom metodene sees der enkelte av prøvfiskeomgangene havner i kategorien «høy risiko» (røde sirkler) med metodikken til HI og kategorien «ingen effekt» (grønne trekanter) med metodikken til VRL. Dette gjelder prøvfiskeomganger der andelen fisk med $>0,1$ lus/gram er større enn 30 %, men median antall lus i samme prøve er $<0,05$ lus/gram. Denne sammenlikningen illustrerer at valg av mål på lusepåslog ikke er trivielt og at ulike mål kan slå helt ulikt ut. En videreutvikling av denne tålegrensesettingen er i gang (Taranger mfl. 2012), men det er behov for flere kontrollerte studier av tålegrenser for lakselus på villfisk slik at grenseverdier for bestander kan anslås sikrere.

4.3 Oppbygging av den nasjonale lakselusovervåkinga

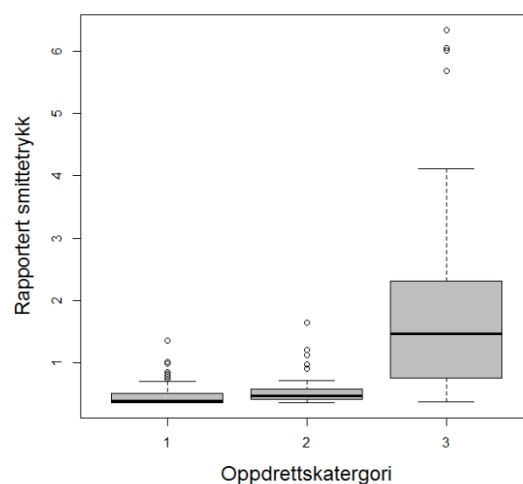
For å kunne vurdere tilstanden til villfiskbestander er det viktig at overvåkingsprogrammet er bygget opp på en måte som gir den påkrevde informasjonen. Dette innebærer at data må samles inn etter et mønster som fanger opp aktuell variasjonen i tid og rom og at datamengden er tilstrekkelig for gjennomføring av egnede statistiske analyser. Vår statistiske bearbeiding av flere års data fra lakselusovervåkinga har gjort det mulig å vurdere kvaliteten på overvåkingsprogrammet og komme med forslag til forbedringer for framtidige innsamlinger. Under drøfter vi derfor plasseringen av prøvfiskelokaliteter (**kapittel 4.3.1**), behovet for relevante miljøparametere (**kapittel 4.3.2**) og innsamlingsmetodikk og datamengde (**kapittel 4.3.3**). Til slutt drøfter vi behovet en ny indikator for overvåking av lakseluspåslog hos villfisk (**kapittel 4.3.4**).

4.3.1 Lokalisering av prøvfiskestasjoner

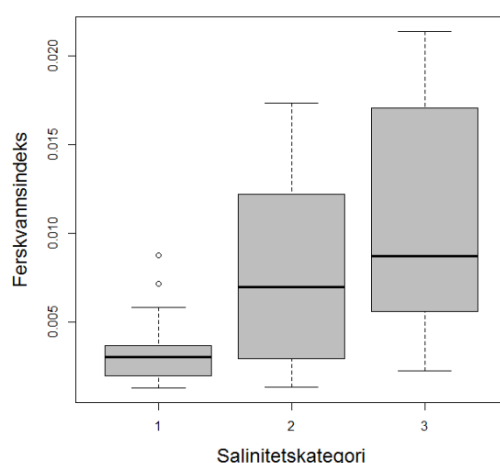
Prøvfiskelokalitetene i den nasjonale luseovervåkinga har gjennom årene blitt valgt ut med tanke på at man skal kunne sammenlikne områder med lav og høy tetthet av oppdrettsanlegg, og områder med lav og høy ferskvannspåvirkning. Derfor er det som regel tre overvåkingsstasjoner i hver fjord, slik at det skal være mulig å fange opp variasjonen langs disse to gradientene i hver fjord fra innerst mot ytterst. I forbindelse med sammenstilling av data til de analysene vi har gjort i dette studiet, ble det mulig å sammenlikne den antatte oppdretts- og ferskvannspåvirkningen som lå til grunn for det historiske valget av prøvfiskestasjoner, med faktiske mål for smittetrykk fra oppdrett og ferskvannspåvirkning. Basert på antagelsen om hvilke områder som har høy og lav intensitet av oppdrettsanlegg grupperte vi lokalitetene i tre kategorier, der 1 er lav, 2 middels og 3 er høyest oppdrettsintensitet. Disse kategoriene bygger på generell kunnskap vedrørende oppdrettsstetthet for de ulike områdene. Som vist av **Figur 25** samsvarer denne mer subjektive oppdrettsintensitetskategorien relativt godt med de rapporterte lusetellingene fra oppdrettsanlegg, og alle de høyest rapporterte smittetrykkene faller i kategori tre. Som man vil forvente på grunn av variasjon over tid er det stor spredning i de faktiske rapporterte lusetellingene, særlig i de oppdrettsintensive områdene (kategori 3).

Tilsvarende som for oppdrettsintensiteten har vi også kategorisert de ulike lokalitetene etter forventet salinitetsnivå, det vil si ut fra målingene som utført under prøvfisket. Vi har her valgt å kategorisere disse målingene siden vi ikke har data for alle perioder og lokaliteter. De ulike lokalitetene ble delt inn i tre kategorier, der 1 er mye sjøvann, 2 er middels og 3 er mer ferskvannspåvirket. Som vist av **Figur 26** samsvarer denne mer subjektive salinitetskategorien relativt godt med ferskvannsindeksen som ble beregnet fra middelvannføring og kartlag i ArcGIS.

Disse enkle sammenlikningene bekrefter at stasjonene som har vært inkludert i den nasjonale lakselusovervåkinga er lokalisert på steder som er velegnet til å fange opp relevante miljøgradienter i oppdrettsintensitet og salinitet. Vi mener derfor at stasjonenes plassering slik den har vært er god.



Figur 25. Sammenlikning av rapporterte verdier for lakselus fra oppdrettsanlegg (kjernetetthet, y-aksen) og den vurderte graden av oppdrettsintensitet for de ulike lokalitetene (x-aksen), der 1 indikerer lokaliteter som vurderes som lite påvirket av oppdrett, 2 middels påvirket og 3 indikerer lokaliteter som vurderes som mer påvirket av oppdrett.



Figur 26. Sammenlikning av ferskvannsindeksen beregnet fra middelvanntføring i alle elver innen 25 km avstand (y-aksen) og den forventede graden av ferskvannspåvirkning for de ulike lokalitetene (x-aksen), der 1 indikerer lokaliteter som vurderes å ha lav salinitet, 2 middels og 3 høy salinitet.

4.3.2 Registrering av nødvendige miljøvariabler

I **kapittel 4.3.1** konkluderer vi med at prøvfiskestasjonene er plassert slik at de dekker relevante grader i miljøvariabler (dvs. salinitet og oppdrettsintensitet). For å utnytte informasjonen som ligger i dette oppsettet er det imidlertid nødvendig at overvåkingsprogrammet også har tilgang til data for disse miljøvariablene, slik at effekter av variasjon i disse variablene kan inkluderes når trender i lakselusnivået i villfiskbestander vurderes. Både temperatur, ferskvannsavrenning og smittetrykk fra oppdrett har en signifikant påvirkning på lusepåslaget (se **kapittel 4.1**), derfor er det viktig at disse variablene tas med i vurderinger av

effekter av lakselus på villfisk. Siden alle disse variablene varierer på lokal skala og kan ha store svingninger i tid er det imidlertid nødvendig at dataene er så nøyaktige som mulig. Dette betyr at de bør være målt på relevante tidspunkter og i geografiske områder som samsvarer med når og hvor lakselusregistreringene er foretatt.

Smittenivået i oppdrettsanlegg blir rutinemessig rapportert til Mattilsynet og denne informasjonen må kobles mot lusenivået på villfisk også i fremtidige analyser (se også **kapittel 4.3.4**). Men det er fremdeles et stort behov for å sette sammen biomasse fisk, antall fisk og lusenivå fra denne rapporteringen i en felles database for å forenkle tilgangen til slike data-serier. Videre har det som vi så i **kapittel 2.2.3** ikke vært helt enkelt å finne velegnede data for andre miljøforhold, særlig ikke tilbake i tid. De variablene for temperatur og salinitet vi har benyttet i våre analyser har derfor varierende grad av geografisk og tidsmessig oppløsning (se **kapittel 2.3.3**). Manglende nøyaktighet av disse kan være av betydning for våre resultater, og sannsynligvis ville modellene hatt større evne til å predikere observerte verdier dersom forklaringsvariablene hadde vært mer presise (se **Figur 22**). Vi forventer at de variablene vi ønsket å inkludere (smittetrykk fra oppdrett, temperatur og salinitet) er de viktigste påvirkningsfaktorene på lusepåslaget hos villfisk, men særlig for salinitet er det målet vi har brukt (ferskvannsindeksen) neppe en veldig god variabel for å fange opp den faktiske sammenhengen mellom salinitet og lakselus.

En utfordring med registrering av miljøvariabler er imidlertid at punktmålinger av temperatur og salinitet i forbindelse med lakselustellinger kun gir et øyeblikksbilde av miljøforholdene og ikke nødvendigvis fanger opp den variasjonen som er relevant for lusepåslaget. I tillegg er det vanskelig å vite hva slags miljøforhold fisken egentlig har vært under ettersom vi ikke vet hvor fisken var før den ble fanget. Sjørørret kan svømme lange strekninger på kort tid og fiskens atferd og valg av habitat kan være medbestemmende for dens sannsynlighet for å bli smittet med lakselus. Ny metodikk gir muligheter for mer nøyaktige beskrivelser av miljøforholdene i fjordene, for eksempel ved bruk av salinitet- og temperaturloggere og strømmodeller. Beregningsmodeller som *NorKyst-800* (<http://www.imr.no/nb-no>, ref. L. Asplin) og *SinMod* (<http://www.sinmod.no/>) kan brukes til å predikere både temperatur, salinitet og spredning av lakselus fra oppdrettsanlegg i hele fjordsystemer med detaljert geografisk og tidsmessig oppløsning. Vi anbefaler at framtidig overvåking av lakselus på villfisk knyttes mot denne type metodikk slik at betydningen av miljøforhold for observerte variasjoner i lakseluspåslaget i større grad kan forstås.



Foto: Rosa Maria Serra Llinnares, HI

4.3.3 Antall individer og metodikk for prøvfiske

En gjennomgående utfordring knyttet til vår bearbeiding og analyse av data fra lakselusovervåkinga er at de ulike ørretindividerne i datasettet har svært stor variasjon i lusepåslaget og at antallet fisk som er fanget ofte er lavt. Som forklart i **kapittel 2.4.2.3** er stor variasjon normalt for parasittdata og ofte har slike data også en fordeling med nullinflasjon som krever at relativt komplisert statistikk må benyttes. Tilsammen gjør dette at det er nødvendig med ekstra store datamengder for at beregninger skal være gjennomførbare og pålitelige. I dette tilfellet er de omtrent 4900 individene som er samlet inn under lakselusovervåkinga i perioden 2004-2010 neppe et tilstrekkelig antall for å forklare den store variasjonen i antall lus som **Figur 15** viser. Dette er sannsynligvis årsaken til at det ikke var mulig å gjøre de statistiske beregningene der totalt antall lus brukes som responsvariabel (se **kapittel 3.3**). Også ved analysene der andel fisk med et visst nivå av lus (se **kapittel 3.2**) er det en utfordring å få tilstrekkelig mengde data. Som diskutert i **kapittel 4.2** er det uklart hvor mange individer som bør inngå i beregning av aggregerte verdier fra hvert prøvfiske for at disse skal være pålitelige bestandsmål, men det er opplagt at jo større variasjonen er mellom individer jo flere individer bør inkluderes. Videre har valg av grenseverdi betydning for hvor mange nullverdier datasettet inneholder, noe som igjen gjør at statistiske beregninger blir mindre pålitelige dersom det er få datapunkter i analysen og andelen av disse med verdien null er for høy (se **kapittel 4.2.2**).

Total sett er relativt mange prøvfiskestasjoner inkludert i lakselusovervåkinga (41 stk., se **Ta-bell 1**), og det har vært en årlig økning i antall stasjoner som har blitt prøvfisket (se **Figur 6**). Økningen skyldes ønske om å overvåke lusepåslaget langs hele norskekysten. Vi ser imidlertid at antall fisk som er fanget i hver prøvfiskeomgang er svært variabelt og i omtrent halvparten av prøvfiskeomgangene har det vært fanget færre enn 20 individer fra samme stasjon (se **Figur 11** og **Vedlegg I**). Når lusepåslag varierer i så stor grad mellom individer er det et problem dersom for få individer inkluderes, fordi forståelsen av lusenivået i et gitt område kan bli sterkt påvirket av tilfeldigheter og enkeltindivider med svært mye eller svært lite lus.

Våre analyser viser at det antallet fisk som er fanget i perioden 2004 til 2010 i stor grad er utilstrekkelig for statistiske beregninger. Årlig prøvfiske av et stort antall stasjoner spredt utover hele Norges kyst er ressurskrevende. Basert på de erfaringene vi har gjort i dette arbeidet mener vi likevel at det er vesentlig at innsatsen på hver lokalitet økes de kommende årene. Større innsats på hvert sted vil bidra til å sikre høyere fangster og dermed mer pålitelige data. Denne påliteligheten angår ikke bare framtidige statistiske modelleringer, men er også ytterst nødvendig for den årlige rapporteringa i overvåkingsarbeidet. Overvåkinga avhenger av å kunne slå fast lusenivået med en viss sikkerhet og vi mener at lave fangster innebærer for stor usikkerhet til å kunne overvåke lusenivået i villfiskbestander på en forsvarlig måte. En mulighet som kan vurderes er hvorvidt noen av stasjonene ikke behøver å overvåkes hvert år, men at en rotering kan sikre at alle aktuelle stasjoner blir inkludert over tid. I utvalgte fjord-områder som anses som spesielt vesentlige er det imidlertid viktig å opprettholde det årlige prøvfiske for å sikre kontinuitet i overvåkinga.

En utfordring knyttet til økt fangstinnsetts er imidlertid at mange sjøørretbestander er under sterkt press og at det ikke er ønskelig å ofre for mange individer i forbindelse med lakselusovervåking. Dette har vært en medvirkende årsak til at mange av prøvene vi har analysert har lave fangster, ettersom det har vært en bevisst unngåelse av store fangster fra samme lokalitet. Et godt alternativ til garn er derfor levende-fangster i marine stor-ruser. Dette har blitt benyttet i stor utstrekning i Hardangerfjorden og Romsdalsfjorden de siste par årene (Berg mfl. 2012, Bjørn mfl. 2011b). Ruser er svært velegnet for overvåking av lakselus fordi fisken ikke skades og kan slippes ut igjen etter at lusetellingene er foretatt. Dermed kan man fange et mye høyere antall fisk uten å påvirke bestanden negativt. I tillegg er det foreslått at lusetellingene kan være mer pålitelige fra rusefangster enn fra garnfangster (Berg mfl. 2012). Vi anbefaler derfor at ruser i større grad benyttes i den nasjonale lakselusovervåkinga framover for å sikre tilstrekkelige og pålitelige data.

4.3.4 Framtidige indikatorer for lusepåslag

Antall lakselus talt på vill laksefisk har vært ansett som den beste indikatoren for lusepåslag og Mattilsynet har i sitt overvåkningsprogram fokusert på en landsdekkende kartlegging av mengde lakselus på vill laksefisk for å vurdere om infeksjonstrykket er kritisk eller ikke. Bruk av lakselustellinger på villfisk har imidlertid enkelte svakheter. Som påpekt over (**kapittel 4.3.3**) kan fangstmetodikk være av stor betydning, for eksempel ved at garnfangster kan innebære et underestimat av lusepåslaget og potensielt kan føre til negative bestandskonsekvenser. Dette kan sannsynligvis bedres ved å gå over til å bruke ruser i stedet for garn i overvåkinga. Likevel er det usikkert om lakselus talt på villfanget fisk vil kunne gi et korrekt inntrykk av situasjonen, fordi fisk med dødelige påslag dør før de blir fanget og dermed vil kun subletale påslag måles. I tillegg krever pålitelige estimer av lusenivå i villfiskebestander store mengder data (se **kapittel 4.3.3**), noe som er svært ressurskrevende dersom denne overvåkinga skal pågå kontinuerlig.

På sikt bør derfor andre bærekraftsindikatorer enn lakselus på villfisk vurderes. En mulighet her vil være å bruke allerede etablert tellingsmetodikk av lakselus på oppdrettsfisk (Taranger mfl. 2012). Dersom disse tellingene i oppdrett kan «kalibreres» mot lusepåslag på villfisk vil de også kunne brukes til å forutsi situasjonen for villfisk og å evaluere om tiltak må iverksettes. Bruk av lakselusdata fra oppdrett som en bærekraftsindikator krever i første omgang at disse dataene kan brukes til å estimere et regionalt og temporært smittetrykk i fjordene, noe det nylig er utviklet metoder for (Jansen mfl. 2012; Taranger mfl. 2012). Et viktig neste skritt er deretter at det beregnende smittetrykket omsettes i et predikert lusepåslag på vill laksefisk, og at dette kan vurderes opp mot etablerte grenseverdier (Taranger mfl. 2012). Sannsynligheten for påslag hos villfisk vil variere i både tid og rom og med ulike miljøparametere. I denne rapporten viser vi at eksisterende data på lusepåslag på vill laksefisk ikke har et tilstrekkelig omfang til å kunne brukes for å kalibrere et kalkulert smittetrykk fra oppdrett mot variasjon i lusepåslag på villfisk i tid og rom. Det er derfor behov for et datamateriale av et helt annet og større omfang enn det som det har vært mulig å samle inn innen de økonomiske rammer og mandat som er gitt av Mattilsynet i tidligere overvåkningsprogram. For å kunne kalibrere smittetrykk fra oppdrett opp mot lusepåslag på villfisk foreslår vi derfor at det velges ut enkelte modellområder (for eksempel Hardangerfjorden og Romsdalsfjorden) der det samles inn et høyere antall villfisk hyppigere enn i tidligere overvåkningsprogram. I disse modellområdene er det også viktig å registrere gode miljøvariabler (se **kapittel 4.3.2**) og at systemene følges over tid for å fange opp variasjon mellom år. Kunnskapen fra slike modellsystemer vil kunne forklare generelle sammenhenger som på sikt kan brukes i bedre overvåking langs hele kysten.



Foto: Bengt Finstad, NINA

5 Konklusjon og anbefalinger

Resultatene fra dette arbeidet viser at det er en statistisk signifikant sammenheng mellom lakselusproduksjon i oppdrettsanlegg og lusepåslag på villfisk. Effekten av dette smittetrykket fra oppdrett på villfisk avhenger imidlertid av miljøforhold som temperatur og salinitet. Gjennom bearbeidingen av data fra lakselusovervåkinga har vi sett at tidligere innsamlete data har visse svakheter knyttet til mulighetene for å forstå den observerte variasjonen i lakseluspåslaget. Dette skyldes først og fremst at den store naturlige variasjonen i lusepåslag mellom individer og i tid og rom gjør at det kreves store mengder data for å kunne finne statistiske sammenhenger mellom lusepåslaget på villfisk og de omgivelsene fisken har vært i. Videre er det ikke avklart hvilket mål på lusepåslag som er mest velegnet når effekter av lus skal vurderes.

Basert på erfaringene gjennom arbeidet med dette datamaterialet har vi følgende anbefalinger for framtidig overvåking av lakselus på villfisk:

- Pålitelig overvåking av lakselus på villfisk må baseres på lusetellinger fra et større antall fisk fra hver stasjon enn det som har vært vanlig til nå. For å kunne fange flere fisk og få mer pålitelige tellinger bør standard metodikk i lakselusovervåkinga endres fra garn til ruser.
- For å finne egnete mål på lusepåslag og relevante grenseverdier for bestandseffekter er det behov for flere studier av tålegrenser for lakselus på villfisk.
- Lakselusovervåkinga på villfisk bør kobles opp mot eksisterende fjordmodeller som predikerer temperatur, salinitet og spredning av lakselus fra oppdrett. Dette er nødvendig for at betydningen av miljøforhold for observerte variasjoner i lakseluspåslaget i større grad kan forstås.
- Et framtidig mål bør være at rapporterte luseverdier fra oppdrett skal kunne benyttes som indikatorer på lusepåslag hos villfisk. For at dette skal bli mulig kreves utvidete studier av villfisk i utvalgte modellsystemer, slik at effekten på villfisk kan knyttes til smitte fra oppdrett og andre miljøvariabler. På sikt vil kunnskap fra slike modellsystemer kunne bidra til å predikere lakseluspåslag langs hele kysten.

6 Referanser

- Anonym 2010. Status for norske laksebestander i 2010, Vitenskapelig råd for lakseforvaltning. 2: 1-213.
- Anonym 2011a. Kvalitetsnormer for laks – anbefalinger til system for klassifisering av villaksbestander, Vitenskapelig råd for lakseforvaltning. 1: 105.
- Anonym 2011b. Status for norske laksebestander i 2011, Vitenskapelig råd for lakseforvaltning. 3: 1-285.
- Anonym 2012. Lakselus og effekter på vill laksefisk – fra individuell respons til bestandseffekter, Vitenskapelig råd for lakseforvaltning. 3: 1-56.
- Asplin, L. & A. D. Sandvik 2009. Fjordmiljøet påvirker lakselusa. Norsk fiskeoppdrett 6(a): 18-19.
- Berg, M., B. Finstad, K. A., I. Uglem, P. A. Bjørn & F. Nilsen 2012. Laksefisk og luseovervåking i Romsdalsfjorden. 779: 1-43.
- Bjørn, P. A., L. Asplin, R. Nilsen, R. M. Serra-Llinares, K. Boxaspen, B. Finstad, I. Uglem, S. Kålås, B. Barlaup & K. Wiik Vollset 2011a. Sluttrapport til Mattilsynet over lakselusinfeksjonen på vill laksefisk langs norskekysten i 2011, Havforskningsinstituttet. 19: 1-33.
- Bjørn, P. A., B. Finstad, L. Asplin, O. Skilbrei, R. Nilsen, R. M. Serra-Llinares & K. Boxaspen 2011b. Metodeutvikling for overvåkning og telling av lakselus på villlevende laksefisk, Havforskningsinstituttet. 8: 1-52.
- Boxaspen, K. 2006. A review of the biology and genetics of sea lice. *Ices Journal of Marine Science* 63(7): 1304-1316.
- Bricknell, I. R., S. J. Dalesman, B. O'Shea, C. C. Pert & A. J. M. Luntz 2006. Effect of environmental salinity on sea lice *Lepeophtheirus salmonis* settlement success. *Diseases of Aquatic Organisms* 71(3): 201-212.
- Finstad, B. & P. A. Bjørn 2011. Present status and implications of salmon lice on wild salmonids in Norwegian coastal zones. *Salmon Lice: An Integrated Approach to Understanding Parasite Abundance and Distribution*. S. Jones & R. Beamish. Oxford, UK, Wiley-Blackwell: 281-305.
- Finstad, B., P. A. Bjørn, C. D. Todd, F. Whoriskey, P. G. Gargan, G. Forde & C. Revie 2011. The effect of sea lice on Atlantic salmon and other salmonid species. *Atlantic Salmon Ecology*. Ø. Aas mfl. Oxford UK, Wiley-Blackwell: 253-276.
- Jansen, P. A., A. B. Kristoffersen, H. Viljugrein, D. Jimenez, M. Aldrin & A. Stien 2012. Sea lice as a density-dependent constraint to salmonid farming. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 279(1737): 2330-2338.
- Jensen, J. L. A. & A. H. Rikardsen 2008. Do northern riverine anadromous Arctic charr *Salvelinus alpinus* and sea trout *Salmo trutta* overwinter in estuarine and marine waters? *Journal of Fish Biology* 73(7): 1810-1818.
- Johnson, S. C. & L. J. Albright 1991. Development, growth and survival of *Lepeophtheirus salmonis* (Copepoda: Caligidae) under laboratory conditions. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 71(2): 425-436.
- Jonsson, B. & N. Jonsson 2011. Ecology of Atlantic salmon and brown trout. Habitat as a template for life histories. Dordrecht, Springer Verlag.
- Krkosek, M., C. W. Revie, P. T. Gargan, O. T. Skilbrei, B. Finstad & C. D. Todd 2012. Impacts of parasites on salmon recruitment in the Northeast Atlantic Ocean *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* Early online doi:10.1098/rspb.2012.2359
- Middlemas, S. J., R. J. Fryer, D. Tulett & J. D. Armstrong 2012 Relationship between sea lice levels on sea trout and fish farm activity in western Scotland *Fisheries Management and Ecology* Early view doi: 10.1111/fme.12010
- Pike, A. W. & S. L. Wadsworth 2000. Sealice on salmonids: Their biology and control. *Advances in Parasitology*, Vol 44. J. R. Baker mfl. 44: 233-337.
- Revie, C., L. Dill, B. Finstad & C. D. Todd 2009. Sea Lice Working Group Report. 39: 117.
- Schram, T. A. 1993. Supplementary descriptions of the developmental stages of *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer, 1837) (Copepoda: Caligidae). *Pathogens of Wild and Farmed Fish: Sea Lice*. G. A. Boxhall & D. Defaye. Chichester, UK, Ellis Horwood: 30-47.
- Taranger, G. L., T. Svåsand, P. A. Bjørn, P. A. Jansen, P. A. Heuch, R. N. Grøntvedt, L. Asplin, O. Skilbrei, K. Glover, Ø. Skaala, V. Wennevik & K. K. Boxaspen 2012. Forslag til førstegenerasjons målemetode for miljøeffekt (effektindikatorer) med hensyn til genetisk påvirkning fra oppdrettslaks til villaks, og påvirkning av lakselus fra oppdrett på villlevende laksefiskbestander: 1-40.

- Taranger, G. L., T. Svåsand, A. S. Madhun & K. Boxaspen 2011. Risikovurdering – miljøvirkninger av norsk fiskeoppdrett. 3: 1-99.
- Zuur, A. F., E. N. Ieno, N. J. Walker, A. A. Saveliev & G. M. Smith 2009. Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R. New York, USA, Springer.

7 Vedlegg I

[illegible]

Tabell V1. Antall fisk fanget i hver prøvefiskeomgang, fordelt på år og måned (kolonner) og stasjoner (rader). Tall i blått indikerer prøvefiske der mer enn 20 individer ble fanget og røde tall der fangsten var lavere. Hver lokalitet har fått en stasjonskode, der første tall (1-16) representerer fjordnummer fra nord mot sør, og siste tall (1-6) viser stasjonens plassering innen fjord fra innerst mot ytterst. Se **Tabell 1** for en oversikt over stedsnavn og fjord hver kode representerer.



Norsk institutt for naturforskning (NINA) er et nasjonalt og internasjonalt kompetansesenter innen naturforskning. Vår kompetanse utøves gjennom forskning, utredningsarbeid, overvåking og konsekvensutredninger.

NINAs primære aktivitet er å drive anvendt forskning. Stikkord for forskningen er kvalitet og relevans, samarbeid med andre institusjoner, tverrfaglighet og økosystemtilnærming. Offentlig forvaltning, næringsliv og industri samt Norges forskningsråd og EU er blant NINAs oppdragsgivere og finansieringskilder.

Virksomheten er hovedsakelig rettet mot forskning på natur og samfunn, og NINA leverer et bredt spekter av tjenester gjennom forskningsprosjekter, miljøovervåking, utredninger og rådgiving.

ISSN:1504-3312
ISBN: 978-82-426-2490-1

Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Sluppen, NO-7485 Trondheim

Besøks/leveringsadresse: Tungasletta 2, NO-7047 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00, Telefaks: 73 80 14 01

E-post: firmapost@nina.no

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>

Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger