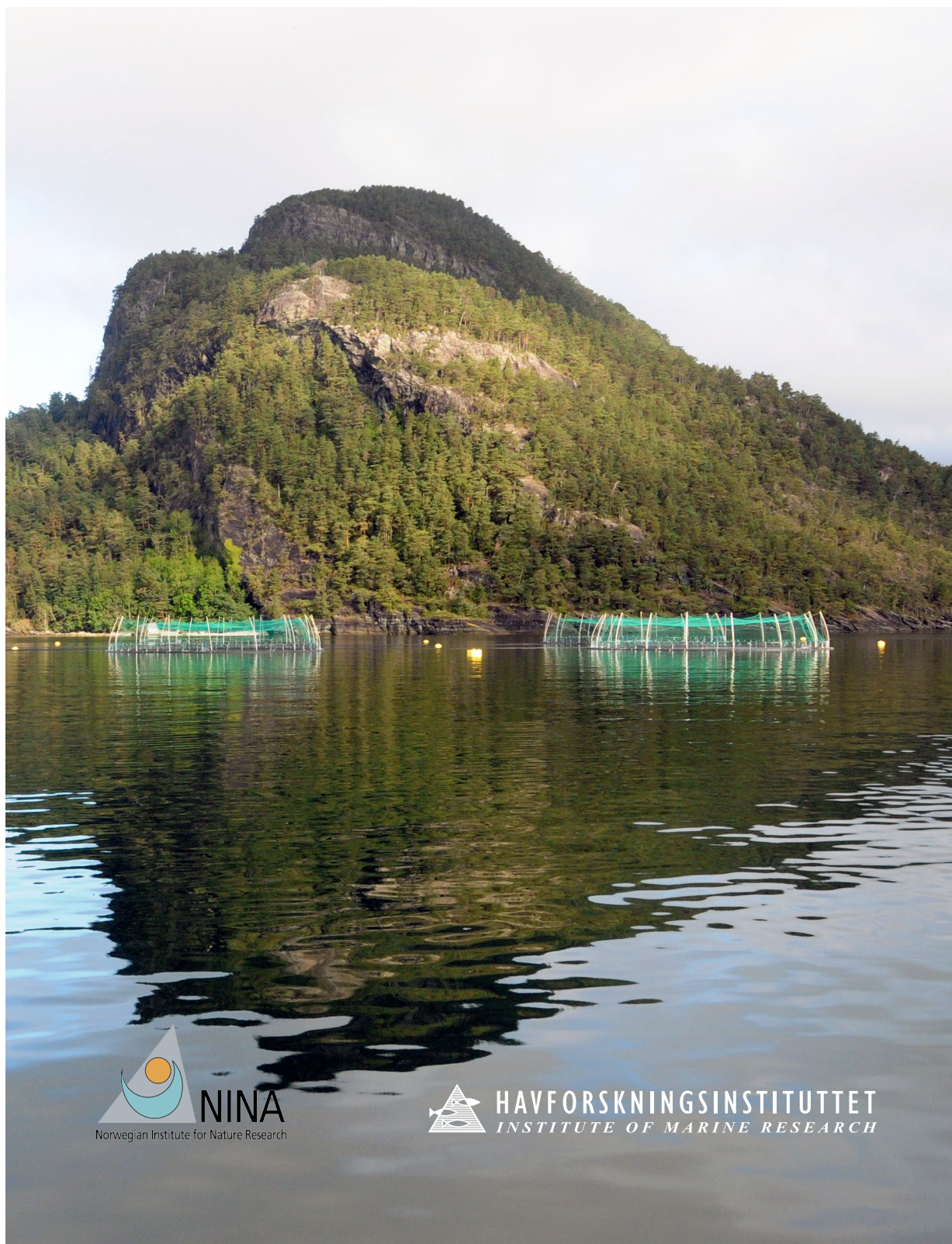


Effekten av nasjonale laksefjorder på risikoen for lakselusinfeksjon hos vill laksefisk langs norskekysten

MIDTEVALUERING AV ORDNINGEN MED NASJONALE LAKSEFJORDER



Effekten av nasjonale laksefjorder på risikoen for lakselusinfeksjon hos vill laksefisk langs norskekysten

Midtevaluering av ordningen med nasjonale laksefjorder



Effekten av nasjonale laksefjorder på risikoen for lakselusinfeksjon hos vill laksefisk langs norskekysten

Midtevaluering av ordningen med nasjonale laksefjorder



Sammendrag

Mattilsynet har på vegne av styringsgruppen for nasjonale laksefjorder og laksevassdrag gitt Havforskningsinstituttet i oppdrag å gjøre en midtevaluering av effekten av nasjonale laksefjorder på risikoen for lakselusinfeksjon hos vill laksefisk langs norskekysten. Oppdraget er gjennomført i samarbeid med Norsk institutt for naturforskning, som også har fått midler fra Direktoratet for naturforvaltning for å delta i arbeidet med midtevalueringen.

Statistiske analyser viser at lusepåslaget på vill sjørret langs norskekysten påvirkes av luseproduksjon fra oppdrett, saltholdighet, fiskestørrelse, år og periode. Imidlertid viser analysene også at en stor andel av variasjonen ikke kan forklares med gjeldende datamateriale og gjeldende analyser.

En mer detaljert analyse av hver enkelt laksefjord, viser at store laksefjorder virker, og i de største nasjonale laksefjordene er det mindre lus på sjørreten enn i de mindre laksefjordene. Årsaken er blant annet avstanden til nærmeste oppdrettsanlegg. Det er funnet en sammenheng mellom lus på vill sjørret og daglig produksjon av lakseluslarver i oppdrettsanlegg som er opp til 30 km fra fangstlokaliteten.

De nasjonale laksefjordene varierer mye i størrelse, beliggenhet og breddegrad. I tillegg varierer det om de ligger i indre fjord eller ytre kyststrøk, samtidig som også mengde oppdrettsaktivitet både utenfor og innenfor de ulike verneområdene varierer. Effekten av de små nasjonale laksefjordene ser ut til å være sterkt avhengig av produksjonsmønsteret i oppdrettsnæringen i nærområdet. Infeksjonspresset i de små verneområdene ser ut til å sammenfalle med produksjonsintensiteten i området. Dette betyr at lavt infeksjonsnivå hos lokal sjørret og sannsynligvis også hos laksesmolt, ikke kan bli tatt for gitt i slike områder. Dette er vist både for Etnefjorden i Hardangerfjordssystemet og Ørstafjorden i Storfjordssystemet.

Avgrensning av oppdraget fra MT og DN

Hovedhensikten med den nasjonale lakselusovervåkingen [NALO (som ble initiert i 1992), inkludert MTs OK-program lakselus] har siden 2007 vært å framskaffe datagrunnlag for å kunne evaluere effekten av nasjonale laksefjorder (Anon. 2002, Anon. 2006). Den endelige evalueringen skal gjøres innen 10 år etter iverksatt tiltak, men styringsgruppen for nasjonale laksevassdrag og nasjonale laksefjorder har bestemt at det skulle gjøres en midtevaluering i 2012. En ferdigstilling av arbeidet foretas i 2016/2017 for en endelig evaluering av beskyttelsesregimet.

I henhold til avtale med oppdragsgiver har innsamling av data vært prioritert, mens fullstendig analyse av det innsamlete materialet ikke alltid har blitt gjennomført. Systematisering av tidligere innsamlet datamateriale, i tillegg til innhenting av støtdata som oppdrettsintensitet (antall fisk og lusenivå på oppdrettsfisk) og miljøinformasjon (saltholdighet og temperatur), var derfor det første som ble gjort i midtevalueringen (trinn 1). Derneft ble det mest egnede datamaterialet (seleksjon av enkeltlokaliteter med gode data) analysert statistisk for å vurdere mulige effekter av vernetiltaket (trinn 2). Til slutt har vi gjennomført smittespredningsstudier i utvalgte nasjonale laksefjorder (trinn 3).

Denne rapporten er et sammendrag av dokumenter som til sammen oppsummerer dette arbeidet og som er eller vil bli overlevert oppdragsgiver:

- Analyse av lusepåslag på sjørret langs norskekysten (Lindstrøm et al. under utarbeidelse)
- Sammenligning av luseinfeksjon hos sjørret innenfor og utenfor nasjonale laksefjorder (Helland et al. under utarbeidelse)
- Lakselusinfeksjon på vill laksefisk i marine verneområder: en evaluering av nasjonale laksefjorder (Serra-Llinares et al. innsendt)

- Bruk av spredningsmodeller for lakselus i evaluering av nasjonale laksefjorder (Asplin et al. 2013)

I tillegg til dette inkluderer vi også resultater fra NINA Rapport 891 "Hva avgjør lakselusinfeksjonen hos vill laksefisk?" (Helland et al. 2012), fordi denne rapporten representerer en god og relevant undersøkelse av samvariasjonen mellom viktige miljøvariabler og lakselusinfeksjonen på vill laksefisk langs norskekysten.

For øvrig henvises det til Anon. (2012) og Taranger et al. (2013) som begge gir fyldige evalueringer av kunnskapsstatus om effekter av lakselus på anadrom laksefisk.

Notatet er utarbeidet av Pål Arne Bjørn (HI), Bengt Finstad (NINA), Lars Asplin (HI), Ingrid Askeland Johnsen (HI), Rune Nilsen (HI), Rosa Maria Serra-Linnare (HI), Ulf Lindstrøm (HI), Ingeborg Palm Helland (NINA), Marius Berg (NINA) og Alf Harbitz (HI).

Bakgrunn

Norsk institutt for naturforskning (NINA) med samarbeidspartnere har samlet inn et omfattende overvåkingsmateriale angående lakseluspåslag hos vill laksefisk langs norskekysten i perioden 1992-2012. Fram til 2005 var denne innsamlingen finansiert av Direktoratet for naturforvaltning. Fra 2006 overtok Mattilsynet ansvaret for å overvåke infeksjonsnivået av lakselus på vill laksefisk langs hele norskekysten (MTs OK-program lakselus), og fra 2010 overtok Havforskningsinstituttet (HI) koordineringsansvaret. Fra og med 2007 skulle overvåkingen i tillegg til den vanlige innsamlingen også inkludere datainnsamling som seinere kunne brukes til å evaluere om nasjonale laksevassdrag og laksefjorder bidrar til redusert lakselusmitte.

Det viktigste formålet med å etablere nasjonale laksefjorder var å beskytte villaks mot negative påvirkninger fra laks i oppdrettsanlegg i form av genetisk påvirkning og spredning av parasitter og sykdommer (se oppsummering i Aasetre & Vik 2013 og referanser i denne). Imidlertid begynte beskyttelse av laksefjorder med etablering av midlertidige sikkerhetssoner i 1989, basert på § 5 av "lov om oppdrett av fisk, skalldyr m.v.". Sikkerhetssonene var en del av Lenka-programmet som fokuserte på en reguleringsplan basert på egnetheten av kystområdene, og etablerte midlertidige sikkerhetssoner for laksefisk omkring viktige lakseelver (Sønvisen 2003). De midlertidige sikkerhetssonene ble etter hvert evaluert (Sjøstad 1996), og en offentlig utredning om lakseforvaltningen foreslo deretter etablering av nasjonale laksefjorder og laksevassdrag (NOU 1999). I februar 2003 vedtok Stortinget ordningen med nasjonale laksevassdrag og laksefjorder. I den første fasen i 2002 ble til sammen 21 laksefjorder og 37 laksevassdrag beskyttet (Anon. 2002). Ferdigstillingen av ordningen med nasjonale laksevassdrag og laksefjorder ble behandlet i Stortinget i vårsesjonen 2007, da ordningen ble utvidet til å omfatte 52 nasjonale laksevassdrag og 29 nasjonale laksefjorder (Anon. 2006). Stortinget vedtok samtidig forslaget fra Energi- og miljøkomiteen om at ordningen skulle evalueres når det var mulig å vurdere de konkrete effektene. Denne evalueringen skal i henhold til Stortingets vedtak skje senest ti år etter at ordningen ble opprettet.

Forvaltningen og oppdrettsnæringen har det siste året brukt store ressurser på å få kontroll med populasjonsveksten til lakselus og interaksjonen mellom lakselus på oppdrettet og vill laksefisk. Etableringen av 29 nasjonale laksefjorder, der oppdrettsnæringen har fått sterke restriksjoner på sin aktivitet (Anon. 2006), er et viktig element i dette. Hovedargumentet for innsatsen har vært å redusere smittepresset på viltlevende laksefisk: Lakselusnivået på vill laksefisk er derfor det endelige kriteriet for å måle om tiltakene har vært vellykket. Overvåkingsprosjektene vi har utført i NALO (Helland et al. 2012, Bjørn et al. 2012, Taranger et al. 2013) har hatt som hensikt 1) å skaffe data for etter hvert å kunne evaluere effektene av nasjonale laksefjorder med hensyn til infeksjonspresset fra lakselus, og 2) foreta en nasjonal overvåking av intensitet og om mulig kartlegge konsekvenser av lakselusinfeksjon på vill laksefisk langs hele norskekysten. Dette har blitt utført for å vurdere om tiltakene som forvaltningen har iverksatt er riktige og tilstrekkelige, og inkluderer oppfølging av St.prp. nr 32 "Om vern av villaksen og ferdigstilling av nasjonale laksevassdrag og laksefjorder" (Anon. 2006), og "Regjeringens strategi for en miljømessig bærekraftig havbruksnæring" (Anon. 2009).

Midtevalueringen er basert på data fra NALO 2004–2012 som blant annet inkluderer undersøkelser fra ni forskjellige nasjonale laksefjorder langs hele norskekysten, i tillegg til omtrent dobbelt så mange lokaliteter uten arealvern. Biomasse og antall fisk, lusetall og hydrografi fra nærliggende oppdrettslokaliteter er brukt til å evaluere anleggenes betydning for lusebelastning på villfisk både innenfor og utenfor nasjonale laksefjorder. I dette arbeidet skal vi ta utgangspunkt i dataene fram til og med 2012 for å gi en vurdering av beskyttelsesregimet så langt, men datasett etter 2007 er mest vektlagt. En ferdigstilling av arbeidet foretas i 2016/2017 for en endelig evaluering av beskyttelsesregimet.

Sammendrag av vedlagte tilleggsdokumenter

Datagrunnlaget i denne midtevalueringen er basert på de tilleggsdokumentene som er eller vil bli overlevert oppdragsgiver og oppsummert nedenfor, samt på Helland et al. (2012).

Hva avgjør lakselusinfeksjonen hos vill laksefisk?

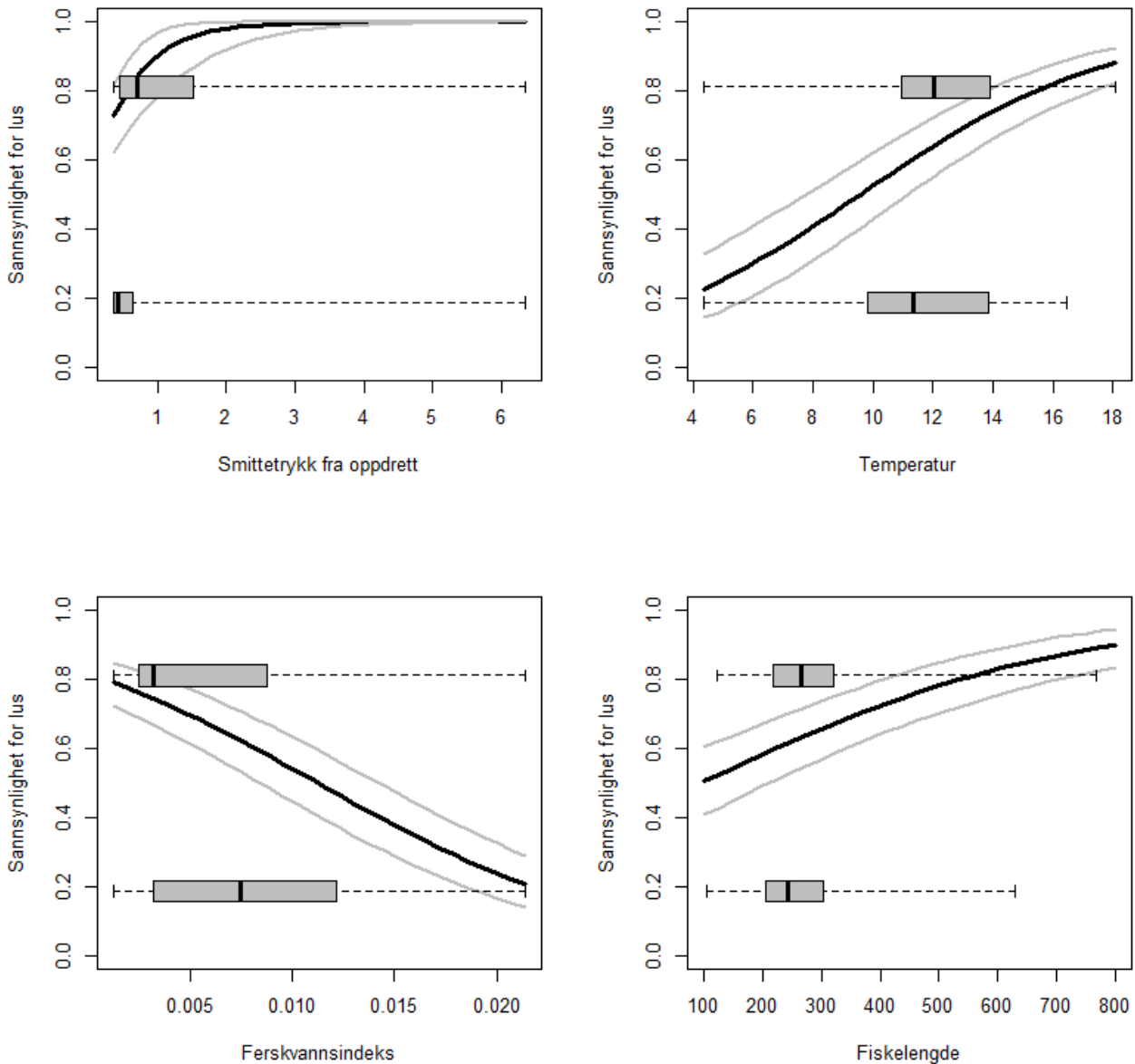
(Helland et al. 2012)

NINA med samarbeidspartnere har samlet inn et omfattende overvåkingsmateriale angående lakseluspåslaget hos vill laksefisk langs norskekysten. Det har imidlertid ikke vært avsatt tilstrekkelig midler til analyse og publisering av disse dataene, og datainnsamling har vært prioritert. Rapportering av data har derfor hatt en deskriptiv karakter der hovedmålet har vært å presentere nye innsamlede data i forhold til tidlige års resultater. Det har ikke vært mulig å undersøke effekter og samvariasjon knyttet til en rekke viktige forklaringsfaktorer (for eksempel lusemengde i anlegg, nærhet til anlegg, saltholdighet, temperatur). Slike analyser har spesielt de siste årene blitt etterspurt for å bedre forståelsen av sammenhengen mellom oppdrett, igangsatte tiltak av forvaltning og næring, og lakselusinfeksjonen på vill laksefisk langs norskekysten.

I løpet av 2011 og 2012 ble det satt i gang omfattende statistiske analyser av data fra lakslusovervåkingen, hvor variasjon i lusepåslag har blitt satt i sammenheng med miljøvariabler som smittetrykk fra oppdrettsanlegg (basert på kjernetetthetsmodellen til Jansen et al. 2012), saltholdighet og temperatur. Rapporten "Hva avgjør lakselusinfeksjonen hos vill laksefisk?" (Helland et al. 2012) viser at både smittetrykk fra oppdrett, temperatur og ferskvannsavrenning har signifikant påvirkning på lakseluspåslaget på vill laksefisk. Sannsynligheten for at en fisk har lus øker med økt smittetrykk fra oppdrettsanlegg og økt temperatur, og synker med større mengder ferskvannsavrenning (figur 1). 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 sannsynligheten for lusepåslag på vill laksefisk med økende temperatur (se Helland et al. 2012 for ytterligere detaljer).

Fordi resultatene av analysene påvirkes av en rekke mulige valg, består rapporten (Helland et al. 2012) i stor grad også av drøftingen av ulike tilnæringsmåter. Ved å sammenligne disse har vi forsøkt å belyse både statistiske og biologiske utfordringer knyttet til å forstå hva som avgjør lusepåslaget hos villfisk. Gjennom dette arbeidet har vi sett at tidligere innsamlede 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 vill laksefisk og de omgivelsene fisken har vært i. Rapporten avsluttes derfor med anbefalinger for framtidig overvåking av lakselus på vill laksefisk. Den mest sentrale anbefalingen er at det kreves store mengder data for å kunne finne statistiske sammenhenger mellom lusepåslaget på villfisk og de omgivelsene fisken har vært i. I praksis betyr dette at lusetellinger må baseres på et større antall fisk fra hver fangstlokalitet enn det som har vært vanlig fram til og med 2010, og at arbeidet i større grad må gjennomføres i utvalgte modellfjorder slik at også tilstrekkelige omgivelsesdata kan samles inn (se Helland et al. 2012 for utfyllende diskusjon). Det kan i tillegg nevnes at i en videre analyse av datasettet fra samme periode (Helland et al. under utarbeidelse) der det ble lagt til en variabel som angav hvorvidt fisken var fanget innenfor eller utenfor NLF ikke gav noe vesentlig bidrag (utover de fire forklaringsvariablene) til å forklare dataene i Helland et al. (2012).





Figur 1:

Analyse av sannsynligheten for at en vill sjøørret har lus, sett i forhold til fire forklaringsvariabler (smittetrykk fra oppdrett, temperatur, ferskvannsindeks og fiskelengde). Figuren viser resultatene av den binære modellen som var best i henhold til modellseksjonen, 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 estimater 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 (kilde: Helland et al. 2012).

Analyse av lusepåslag på sjørret langs norskekysten

(Lindstrøm et al. under utarbeidelse)

I en foreløpig upublisert analyse av lusepåslag på sjørret langs norskekysten (Lindstrøm et al. under utarbeidelse) benytter liknende statistiske tilnærminger som Helland et al. (2012), men på et forbedret datamateriale fra feltundersøkelsene (større antall fisk) fra 2010–2011, for å vurdere om den økte feltinnsatsen de senere år er tilstrekkelig til å gjennomføre denne type statistiske analyser. Igjen viser modellene at lusepåslaget på vill sjørret langs norskekysten påvirkes av luseproduksjon, saltholdighet, fiskestørrelse, år og periode, og at modellene kan forklare ca. 40 % av variasjonen. Også denne analysen viser at slike parasittdata er svært ubalansert, nøstet og potensielt autokorrelert i både tid og rom, og gjør videre dataanalyse komplisert. De foreløpige statistiske analysene fra 2010–2011 datamaterialet viser med andre ord at mesteparten av variasjonen ikke kan forklares med gjeldende datamateriale og gjeldende analyser. Dette skyldes delvis at dataene viser stor heterogenitet i både rom og tid, noe som resulterer i svake relasjoner mellom respons- (infeksjonssannsynligheter og antall lus) og forklaringsvariablene. Resultatene fra disse analysene må derfor brukes med forsiktighet.

Oppsummert viser statistiske beregninger (Helland et al. 2012, under utarbeidelse, Lindstrøm et al. under utarbeidelse) at lusepåslaget hos vill laksefisk påvirkes av smittetrykk fra oppdrett, temperatur og ferskvannsavrenning fra vassdrag (saltholdighet), år og periode, men at forklaringsgraden til modellene som er utarbeidet er relativt lav. Dette gjelder både innenfor og utenfor nasjonale laksefjorder, og en tilleggsvariabel som angir om fisk er fanget utenfor eller innenfor verneområdet tilfører lite ny informasjon. Det er imidlertid en visuell indikasjon i analysene av at noen nasjonale laksefjorder (Trondheimsfjorden, Sognefjorden, Namsenfjorden og Vefsnfjorden) har lavere luseinfeksjoner enn andre.

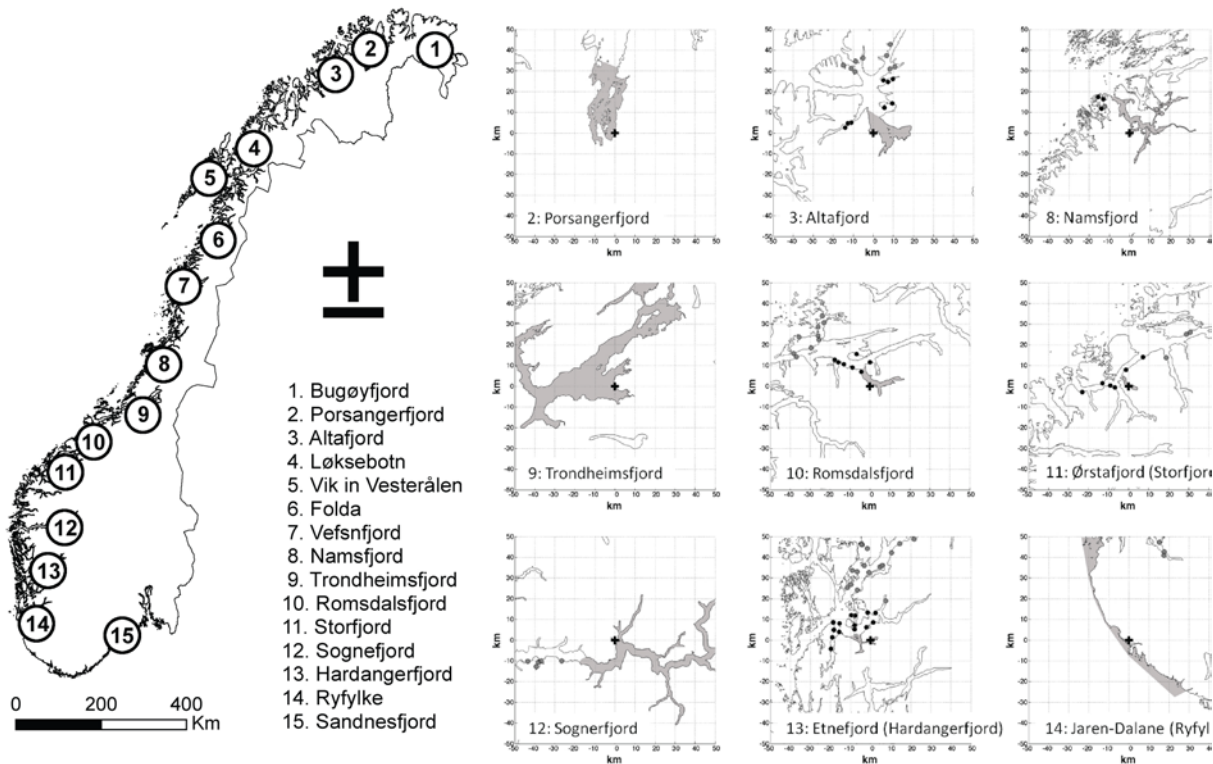


Lakselusinfeksjon på vill laksefisk i marine verneområder: en evaluering av nasjonale laksefjorder

(Serra-Llinares et al. innsendt)

Nasjonale laksefjorder varierer i størrelse, beliggenhet, breddegrad, om de er i indre fjord eller ytre kyststrøk, og de har varierende mengde oppdrett i nærområdet og innen verneområdet. I det innsendte manuskriptet "Salmon lice infection on wild salmonids in marine protected areas: an evaluation of the Norwegian national salmon fjords" (Serra-Llinares et al. innsendt), har vi derfor analysert datagrunnlaget fra hver enkelt nasjonal laksefjord nøyer. I tillegg har vi innhentet informasjon om oppdrettsaktivitet og miljøparametre i tilknytning til våre overvåkingslokaliteter. Deretter har vi blant annet benyttet hele datamaterialet for å undersøke korrelasjonen mellom oppdrettsaktivitet og produksjon av lus i disse (innen en sjøavstand på 30 km) og infeksjonsnivået på vill sjøørret. Vi har også skilt mellom store og små nasjonale laksefjorder for å kunne analysere disse separat.

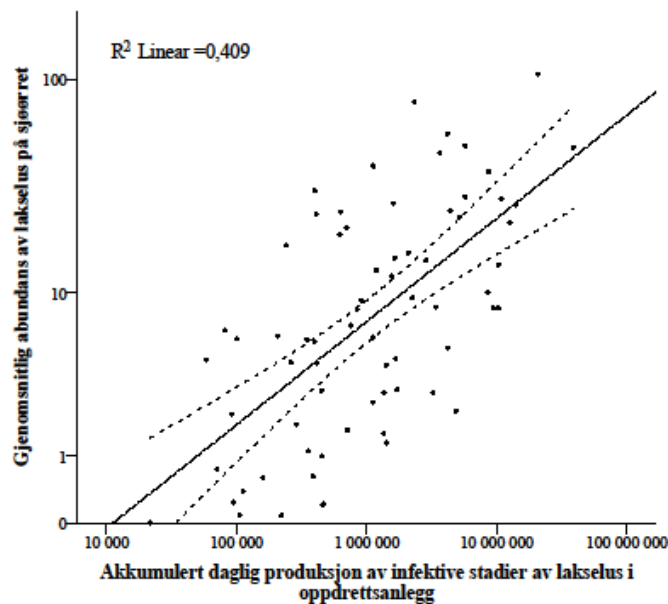
Selv om det nasjonale overvåkingsprogrammet i utgangspunktet ikke var designet for å undersøke effektene av nasjonale laksefjorder, er det likevel ni overvåkingslokaliteter som ligger innenfor verneområder. Noen av disse representerer store verneområder og stor avstand til intensiv oppdrettsaktivitet (Porsangerfjorden, Trondheimsfjorden, Sognefjorden og Ryfylke) mens andre representerer små verneområder i områder med varierende oppdrettsintensivitet (Altafjorden, Namsenfjorden, Romsdalsfjorden, Ørstafjorden og Etnefjorden). I tillegg har vi inkludert data fra ytterligere ett område som har stor avstand (88 km) til nærmeste oppdrettsanlegg og som kan representere en "stor nasjonal laksefjord" (figur 2).



Figur 2:

Kart over Norge som viser alle fjordene som er inkludert i det nasjonale overvåkingsprogrammet i perioden 2008-2012. Lokalitetene som er lokalisert på innsiden av nasjonale laksefjorder er vist i mer detalj fra nord til sør: grå avmerking viser utstrekningen av nasjonale laksefjorder. Svarte kryss indikerer ca. beliggenhet for fangstlokaliteten. Svarte sirkler viser oppdrettsanlegg som ligger nærmere enn 30 km fra fangstlokaliteten, og grå sirkler oppdrettsanlegg som er lengre unna. I tillegg er lokalitet 15, Sandnesfjord, som ligger 88 km fra nærmeste oppdrettsanlegg, men ikke innenfor en nasjonal laksefjord, inkludert (Kilde: Serra-Llinares et al. innsendt).

Når hele datamaterialet i det nasjonale overvåkingsprogrammet benyttes, viser resultatene fra disse analysene at det er en positiv korrelasjon mellom lus på vill sjøørret og den beregnede, daglige produksjonen av infektive lakseluslarver i oppdrettsanlegg innen 30 km fra fangstlokaliteten (Serra-Llinares et al. innsendt). Cirka 40 % av variasjonen kan forklares av denne variabelen alene (figur 3).



Figur 3:

Lineær regresjon (med 95 % konfidensintervall) mellom lakselusnivå på vill sjøørret (abundans) og estimert produksjon av infektive luselarver i nærliggende oppdrettsanlegg. Bare oppdrettsanlegg innen en sjøavstand på 30 km fra fangstlokaliteten er inkludert) (Kilde: Serra-Llinares et al. innsendt).

På bakgrunn av dataene fra de store nasjonale laksefjordene ser vi også at områdevern virker, og understreker betydningen av oppdrettsanlegg som kilde for lus på vill laksefisk. Dataanalyse av 42 lokalitet-år-periode-kombinasjoner fra store nasjonale laksefjorder, viser at 70 % av fisken som ble fanget, ikke var infisert med lus. I tillegg var det både lav prevalens (< 50 % prevalens i 71 % av prøvene) og lav gjennomsnittlig intensitet (> 10 lus kun unntaksvis). Antatt populasjonsreduksjon (Anon. 2012) var ”liten” (< 10 %) i 100 % av prøvene, og 0 i 80 % av undersøkelsesperiodene. Når det beskyttede området er stort nok til å holde oppdrettsproduksjon på en minimumsdistanse (beregnet her som minst 30 km sjøvei), ser de ut til å forbli upåvirket fra direkte smittepress fra lus i oppdrettsanlegg. Infeksjonsnivåene på villfisk i kontrollområdene er stabilt lavt over flere år, og populasjonseffektene av lus innenfor verneområdene er antatt å være ubetydelige.

Effekten av små nasjonale laksefjorder er derimot sterkt avhengig av produksjonsmønsteret i oppdrettsnæringen i nærområdet. Infeksjonspresset i små verneområder ser ut til å sammenfalle med produksjonsintensiteten i området, både som en funksjon av biomasse og som følge av estimert produksjon av infektive luselarver. Dette betyr at lavt infeksjonsnivå hos lokal sjøørret ikke kan bli tatt for gitt i slike områder. Dette kommer svært godt fram i de små nasjonale laksefjordene som ligger inne i områder med generell høy oppdrettsproduksjon, slik som er tilfelle i for eksempel Etnefjorden i Hardangerfjordssystemet og Ørstafjorden i Storfjordssystemet. I Etnefjorden ble det funnet ekstremt høye infeksjoner på sjøørreten hvert år med unntak av 2011 da fjorden var brakklagt. Også i Ørstafjorden ble det funnet regelmessige infeksjonstopper (tabell 1). I våre minste nasjonale laksefjorder som ligger i områder med intensiv oppdrettsaktivitet, som Etnefjorden og Ørstafjorden, ser graden av beskyttelse ut til å være utilstrekkelig for å sikre vern av villfisk mot skadelige effekter fra akvakultur.

Tabell 1: Lakselusinfeksjon hos sjøørret fanget innenfor små nasjonale laksefjorder (mindre enn 30 km til nærmeste oppdrettsanlegg) i perioden 2008-2012, fra nord til sør). Periode: 1 (mai-juni), 2 (juni-august); Prevalens (prosent fisk med lus i undersøkelsesmateriale); Gjennomsnittlig abundans: gjennomsnittlig luseantall hos all fanget fisk; Gjennomsnittlig intensitet: gjennomsnittlig luseantall hos kun infisert fisk; Maks: maksimalt antall lus hos en enkelt fisk; Økning i dødelighetsrisiko: prosent av undersøkelsesmateriale antatt å oppleve økt dødelighet pga. lus i henhold til Taranger et al. (2012); Antatt populasjonsreduserende effekt: klassifisert som "liten", "moderat" eller "høy" ut fra hvor stor prosent i undersøkelsesmateriale som er antatt å dø pga. lus i henhold til Anon. (2012) (i Taranger et al. 2012, 2013) (Kilde: Serra-Llinares et al. innsendt).

Fjord	År	Periode	Vekt (g)		Prev %	Gjennomsnittlig abundans	Gjennomsnittlig intensitet	Maks	Økning i dødelighet risiko (%)	Antatt populasjons reduserende effekt
			N	snitt ± SD						
Altafjord	2008	1	24	152±1354	0	0	-	0	0	Lav
		2	24	1967±1494	54,2	1,5	2,8	13	0	Lav
	2009	1	18	402,7±540,9	38,9	0,7	1,9	3	0	Lav
		2	26	469,1±341,3	53,9	1	1,8	3	0	Lav
	2010	1	20	420,6±5122	70	3,1	4,4	13	0	Lav
		2	22	2315±244,1	68,2	4,3	6,3	52	0	Lav
Namsfjord	2011	1	40	1704±4121	0	0	-	0	0	Lav
		2	23	386,2±385,2	82,6	24,8	30	73	23,91	Middels
	2012	1	20	6179±488,5	20	0,6	2,8	6	0	Lav
		2	19	822,7±552,6	73,7	9,2	12,4	27	0	Lav
	2009	1	21	483,1±1764	0	0	-	0	0	Lav
		2	22	259,1±1993	36,4	0,7	1,9	4	0	Lav
Romsdalsfjord	2010	1	21	409±370,5	0	0	-	0	0	Lav
		2	16	391,7±345,7	31,3	1,9	6,2	13	0	Lav
	2011	1	20	422,3±360,1	25	2,1	8,4	18	0	Lav
		2	36	1387±714	69,4	12,6	18,1	157	8,89	Lav
	2012	1	26	1738±105	0	0	-	0	0	Lav
		2	18	272±1686	38,9	8,2	21	69	12,22	Middels
Ørstafjord (Storfjord)	2008	1	8	645,5±472,0	50	1,6	3,3	8	0	Lav
		2	24	1454±1794	83,3	16,2	19,5	86	20	Middels
	2009	1	22	1132±1332	68,2	2,9	4,3	14	0	Lav
		2	21	422,5±511,1	85,7	6,7	7,8	28	2,86	Lav
	2010	1	20	272,5±250,1	30	1,3	4,3	12	0	Lav
		2	18	1605±1204	33,3	4,2	12,5	54	5,56	Lav
Etnesfjord (Hardangerfjord)	2011	1	31	16±1631	19,4	0,4	2	3	0	Lav
		2	26	1505±98,9	46,1	8,5	18,3	68	9,62	Lav
	2012	1	23	1363±1463	39,1	1,1	2,8	7	0	Lav
		2	22	203,4±303,4	68,2	12,5	18,4	55	15,45	Middels
	2010	1	4	97,5±24,1	50	1	2	2	0	Lav
		2	20	239,5±183	90	21,7	24,1	152	19	Middels
2011	1	22	235,0±225,6	68,2	5,7	8,4	38	2,27	Lav	
	2	28	203,1±203,4	100	10	10	32	7,5	Lav	
Etnesfjord (Hardangerfjord)	2012	1	21	116±82,7	33,3	17,4	52,3	178	19,05	Middels
		2	22	243,8±3198	63,6	28,1	44,2	152	30,45	Høy
	2008	1	18	1753±1598	83,3	46,3	55,6	184	40,55	Høy
		2	28	203,2±416	46,4	2,5	5,4	22	1,79	Lav
	2009	1	24	1487±78,7	91,7	25,4	27,8	128	30	Middels
		2	28	432,5±398,1	57,1	5,2	9,1	41	0	Lav
2010	1	26	339,8±373,4	92,3	106	114,8	467	44,62	Høy	
	2	22	94±44,5	22,7	1,5	6,8	22	0	Lav	
2011	1	37	11,9±1443	27	4,3	15,8	122	3,24	Lav	
	2	130	73,9±1252	50,8	8,1	16	350	9,38	Lav	
2012	2	120	84,9±1399	100	88,4	88,4	689	89,75	Høy	

Kun en tredjedel av de aktuelle nasjonale laksefjordene har blitt undersøkt i denne rapporten. De fleste av de gjenværende 20 nasjonale laksefjorder er betraktelig mindre enn noen av de store nasjonale laksefjordene vi refererer til. Selv om individuelle studier av hver enkelt laksefjord kan være nødvendig for å evaluere graden av beskyttelse, kan en forvente at kapasiteten til de minste fjordene til å motstå lusesmitte fra oppdrettsanlegg er begrenset. Det er derfor rimelig å anta at vern av store arealer bidrar best til å sikre beskyttelse for vill laksefisk. For å kunne utvikle mer presise råd om hver enkelt nasjonale laksefjord, er det nødvendig å utvikle modellverktøy som er i stand til å predikere spredning og tetthet av infektive lakseluslarver langs norskekysten (Taranger et al. 2012, 2013). Dersom man klarer å predikere fordeling og tetthet av luselarver fra oppdrett med smitte-modeller, samtidig som man greier å definere terskelverdier for effekt på ville bestander, kan dette danne basis for et områdebasert forvaltningssystem, ikke bare i nasjonale laksefjorder men også generelt i alle fjordsystemer.

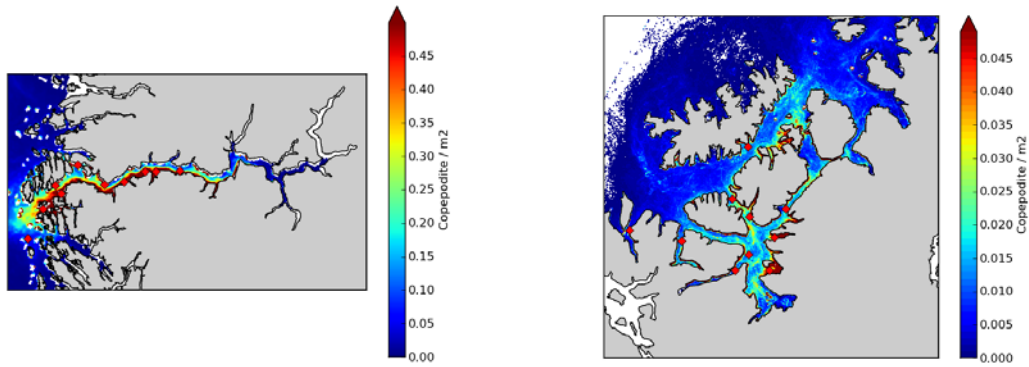
Bruk av spredningsmodeller for lakselus i evaluering av nasjonale laksefjorder

(Asplin et al. 2013)

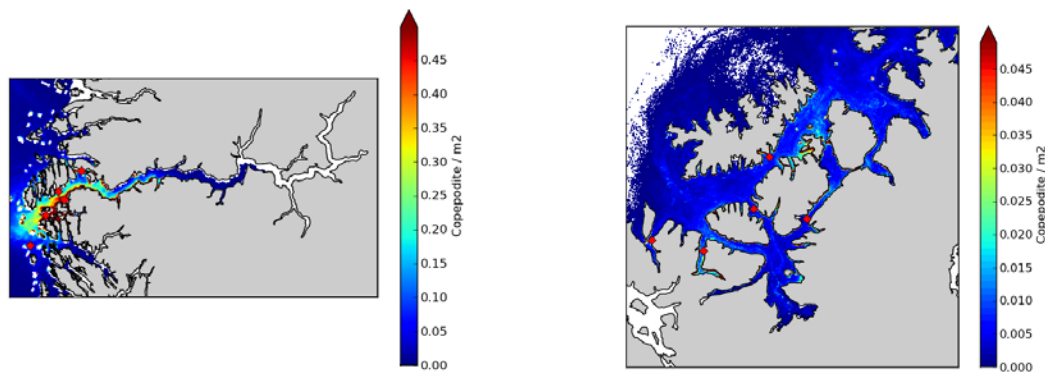


I notatet ”bruk av spredningsmodeller for lakselus i evaluering av nasjonale laksefjorder”, er det vist at spredningsmodelleringen av lakselus er en egnet metodikk også til å evaluere effekten av nasjonale laksefjorder i løpet av de kommende 4-5 årene. De presenterte resultatene er gjort med forenklede scenarier og forenklet lakselusadferd, slik at vi forventer at resultatene i den endelige evalueringen vil være med en mer presis forståelse av usikkerhet enn de nåværende resultatene. Modelleringen er gjort i tre utvalgte nasjonale laksefjorder fra nord til sør (Altafjorden, Namsenfjorden og Sognefjorden) der vi noe forenklet har modellert: a) et scenario med dagens antall og plassering av oppdrettsanlegg, b) et scenario med færre oppdrettsanlegg lengre unna den nasjonale laksefjorden og c) et scenario flere anlegg inne i den nasjonale laksefjorden. Resultatene for alle fjordene viser at tettheten av infektive lakseluskoepoditter øker sterkt dersom flere anlegg plasseres lenger inn i laksefjorden i forhold til dagens situasjon (figur 4-6). Vi finner også at anlegg nærmere kysten har en større spredning og fortykning av lakseluskoepoditter enn anlegg lenger inn i fjordene, og at færre anlegg lenger ut enn dagens situasjon, reduserer antallet infektive koepoditter innenfor laksefjorden betydelig (figur 5). Selv om det bare er simulert spredning for en periode på to måneder våren 2010, antar vi at de generelle trekkene ved resultatene vil gjelde også for andre perioder.

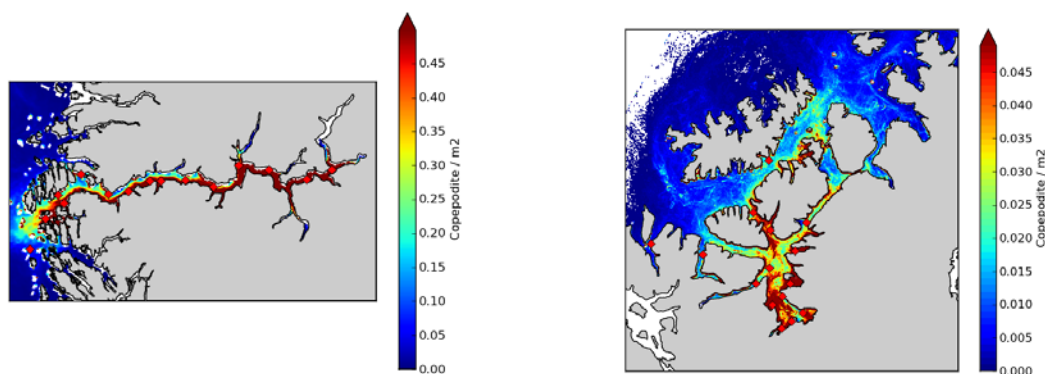
I modellene er det sluppet ut den samme mengden lakselus i alle områdene, og derfor er det interessant å konstatere at nivået av den beregnede koepodittettheten er ca. 10 ganger lavere i Altafjorden sammenlignet med Sognefjorden. Dette skyldes at strømmen i Altafjordsystemet er mer effektiv til å spre lakseluspartiklene siden dette er den eneste variabelen som varierer mellom simuleringene (figur 4-6).



Figur 4: Tetthet av lakseluscopepoditter våren og forsommeren 2010 i Sognefjorden (venstre) og Altafjorden (høyre) med utslipp i posisjoner tilsvarende dagens oppdrettssituasjon.



Figur 5: Tetthet av lakseluscopepoditter våren og forsommeren 2010 i Sognefjorden (venstre) og Altafjorden (høyre) med utslipp i færre posisjoner og lenger vekk enn for dagens oppdrettssituasjon.



Figur 6: Tetthet av lakseluscopepoditter for våren og forsommeren 2010 i Sognefjorden (venstre) og Altafjorden (høyre) med utslipp i flere posisjoner og lenger inn i fjorden enn for dagens oppdrettssituasjon.

I årene framover vil det være viktig å omsette verdiene vi beregner for kopepodtettethet til et reelt smittepress for laks og sjøørret, og det er pågående forskningsaktivitet for å kalibrere og validere smittemodellene (se Taranger et al. 2012, 2013 for detaljer). Med slik kunnskap vil vi kunne avgrense hvilket område et oppdrettsanlegg vil påvirke med smitteoverføring. Spredningsmodellen vil deretter kunne beregnes for realistiske forhold, inklusiv reelle lakselusdata fra oppdrettsanlegg, for å kvantifisere effekten av oppdrettsanleggenes plassering i forhold til nasjonale laksefjorder. Smittemodeller, når disse er validert og kalibrert langs hele norskekysten, er derfor et lovende verktøy, ikke bare i henhold til sonebasert forvaltning (Anon. 2013), men også for å kunne evaluere effekten av alle våre 29 nasjonale laksefjorder. Smittemodeller har i tillegg mulighet til, gjennom simuleringer av aktuelle scenarioer, å gi råd om optimal størrelse til de forskjellige verneområdene og optimal plassering og antall av oppdrettsanlegg (figur 4-6).



Oppsummerende diskusjon av vurderingene og betydningen for evalueringens mål



Arealbeskyttelse gjennom opprettelse av nasjonale laksefjorder er en av hovedstrategiene myndighetene har valgt for å beskytte vill laksefisk mot lakselusmitte fra oppdrettsanlegg (Aasetre & Vik 2013). Innenfor en nasjonal laksefjord er beskyttelsestiltakene rettet mot oppdrettsnæringen (Anon. 2002, 2006) antatt å minimalisere smittepresset på vill laksefisk. Lakselusmitte fra oppdrettsanlegg i nærheten av de nasjonale laksefjordene, samt fra de anleggene som fortsatt er tillatt innenfor verneområdene (Anon. 2002, 2006), kan imidlertid fortsatt representere et smittepress mot vill laksefisk innen beskyttelsesområdene (Taranger et al. 2013). Dette er spesielt aktuelt i små nasjonale laksefjorder som er omgitt av intensiv oppdrettsaktivitet (Bjørn et al. 2011). Denne midtevalueringen er basert på data fra ni av våre totalt 29 nasjonale laksefjorder, og skal vurdere om nasjonale laksefjorder i gjeldende utstrekning (Anon. 2003, 2007) er et velegnet tiltak for å beskytte vill laksefisk mot lakselusmitte fra oppdrettsanlegg. Midtevalueringen skal også demonstrere at vi rent metodisk vil kunne gjennomføre den endelige evalueringen, samt foreslå forbedringer.

Resultatene fra midtevalueringen tyder på at størrelsen til de nasjonale laksefjordene er en nøkkelfaktor for om fjordene virker etter hensikten. Innenfor store nasjonale laksefjorder, der avstanden til nærmeste oppdrettsanlegg er > 30 km sjøavstand slik som Porsangerfjorden i Nord-Norge, Trondheimsfjorden i Midt-Norge og Sognefjorden og kysten på Jæren i Sør-Norge, var lakselusinfeksjonen på sjørørret vedvarende lav og har sannsynligvis ingen eller liten negativ effekt på bestandene. Disse lakselusinfeksjonene er i samsvar med infeksjonsnivå som tidligere har blitt rapportert i oppdrettsfrie områder både i Nord-Norge (Bjørn & Finstad 2002, Rikardsen 2004) og i Sør-Norge og representerer sannsynligvis et naturlig infeksjonsnivå karakterisert med periodevis høy prevalens, men lav intensitet (Tingley et al. 1997).

Dersom ett eller flere oppdrettsanlegg er til stede innen en avstand på 30 km, viste infeksjonsnivået av lakselus på vill sjørørret en klar positiv sammenheng med akkumulert daglig produksjon av infektive lakseluslarver i oppdrettsanleggene i nærheten. Denne regresjonen er basert på lakselusundersøkelser på vill sjørørret fanget langs hele norskekysten og er dermed dekkende for både stor geografisk og miljømessig variasjon, inkludert svært varierende oppdrettsintensivitet. Resultatene fra denne analysen viser at i områder der oppdrettsanlegg eksisterer innen en avstand på 30 km, kan omtrent 41 % av variasjonen i lakselusinfeksjonen hos vill fisk forklares med oppdrettsanlegg alene.

Lakselusinfeksjonen på vill sjørørret i to av de minste nasjonale laksefjordene undersøkt, Ørstafjorden i Storfjorden ved Ålesund og Etnefjorden i Hardangerfjordsystemet, er gode eksempler på dette. Disse fjordene er ikke bare små, men ligger også i områder med svært høy oppdrettsaktivitet. Lakselusinfeksjonen på vill sjørørret som ble fanget innenfor disse to verneområdene var svært høy gjennom mesteparten av undersøkelsesperioden, og ”middels” til ”stor” antatt bestandsreduksjon ble estimert ved gjentatte prøveuttak (Taranger et al. 2012). Tilsvarende infeksjoner på vill laksefisk har tidligere bare blitt funnet i områder med svært intens oppdrettsaktivitet i Norge (Birkeland 1996, Bjørn et al. 2001, 2002, 2011), og indikerer at verneområdene ikke er tilstrekkelig store til å ha ønsket effekt. Små nasjonale laksefjorder i områder med generelt høy oppdrettsaktivitet i nærheten ser derfor ut til å ha begrenset mulighet til å beskytte vill laksefisk mot lakselusmitte fra oppdrettsanlegg, og må derfor kombineres med andre tiltak (Bjørn et al. 2011).

Hovedhensikten med opprettelse av nasjonale laksefjorder var å beskytte viktige bestander av laks mot skadelige effekter fra oppdrettsanlegg, inkludert lakselus. Innsamling av vill laksesmolt i sjø er imidlertid både vanskelig og kostbart (Finstad et al. 2000, 2005, Bjørn et al. 2007). På grunn av dette er lakselusinfeksjonen på sjørørret vanligvis brukt for å vurdere infeksjonspresset på vill laksefisk, og sjørørretdata er også brukt i midtevalueringen av nasjonale laksefjorder. Arealbeskyttelse har ikke nødvendigvis samme effekt på laks som på sjørørret på grunn av store forskjeller

i marin økologi. Mens sjørret og sjørøye benytter mesteparten av sin marine beiteperiode innen fjordene og relativt nært hjemmeelva (Jensen 1968, Berg & Berg 1987, Thorstad et al. 2004, 2007), forlater laksesmolten selv store fjorder og kysten i løpet av ca. 14-30 dager (Anon. 2011) og kan derfor utsettes for store variasjoner i infeksjonspress gjennom utvandringen (Finstad et al. 2005, Davidsen et al. 2008; Krkošek et al. 2012; Taranger et al. 2013). Nasjonale laksefjorder kan derfor beskytte sjørret som oppholder seg innen verneområdet til en viss grad (se diskusjonen ovenfor om store og små fjorder), mens effekten for utvandrende laksesmolt også vil avhenge sterkt av infeksjonstrykket og tidsforbruket i andre deler av utvandningsruten. Siden nasjonale laksefjorder sjeldent dekker hele fjordsystem og kystnære områder, kan ikke nasjonale laksefjorder, slik de i dag er utformet, være det eneste beskyttelsestiltaket. Andre forvaltningstiltak som regionalisert og synkronisert avlusning, lavere lusegrense, eller til og med biomassereduksjon eller større avstand til oppdrettsanlegg, bør derfor også vurderes for å redusere påvirkningen til vedtatte nivå (Anon. 2002, 2006, 2009, 2013).

Det er tydelig at både god forståelse av fordeling og tetthet av smittsomme lakseluslarver i tid og rom, samt kunnskap om marin økologi til vill laksefisk, er nødvendig for å kunne optimalisere nasjonale laksefjorder som beskyttelsestiltak. Utviklingen av smittmodeller for lakselus har skutt fart de siste ti årene. Spredning av lakselus ble simulert i Sognefjorden i første halvdel av 2000-tallet (Asplin et al. 2004), og har nå en presisjon som gjør operasjonelle vurderinger av smittepress i tid og rom mulig (Taranger et al. 2012, 2013). Liknende studier har også blitt gjennomført i Skottland (Gillibrand & Willis 2007) og i mange andre land med lakseoppdrett (Amundrud & Murray 2009, Asplin et al. 2011, Johnsen 2011, Stucchi et al. 2011, Jansen et al. 2012; Taranger et al. 2013), og det er pågående arbeid både nasjonalt (Taranger et al. 2013) og internasjonalt for å øke kvaliteten på smittmodellering av lakselus. Slike modeller vil etter hvert sannsynligvis kunne gi betydelig mer presise forvaltningsråd for lakselus på oppdrettet og vill laksefisk langs norskekysten, og ikke minst gi mer presis informasjon om optimal arealbruk.

Midtevalueringen viser at vi et stykke på vei greier å evaluere effekten av nasjonale laksefjorder gjennom eksisterende datagrunnlag på sjørret innenfor- og utenfor beskyttede områder. Vi har data som indikerer at de store nasjonale laksefjordene ser ut til å virke etter hensikten, i hvert fall innenfor verneområdet. Tilsvarende har vi data som indikerer at små nasjonale laksefjorder i områder med intensiv oppdrettsaktivitet ikke virker etter hensikten. Vi har også vist at mye av infeksjonstrykket på vill laksefisk kan forklares gjennom ett eller flere oppdrettsanlegg som daglig slipper ut infektive luselarver i nærheten (innen 30 km) av villfisklokalteter. Mer avanserte statistiske analyser av innsamlet datamateriale viser imidlertid at vi ikke har verken tilstrekkelig datagrunnlag fra vill laksefisk eller tilstrekkelig miljøinformasjon og systemforståelse til å kunne ytterligere forklare effekter og samvariasjon knyttet til en rekke viktige forklaringsfaktorer (for eksempel lusemengde i anlegg, nærhet til anlegg, saltholdighet, temperatur). Slike analyser har spesielt de siste årene blitt etterspurt for å bedre forståelsen av sammenhengen mellom oppdrett, igangsatte tiltak av forvaltningen og næring og lakselusinfeksjonen på vill laksefisk langs norskekysten.

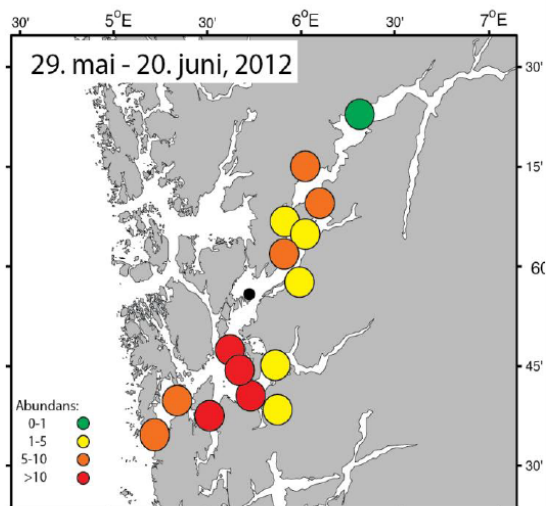
Kvaliteten på smittmodeller har utviklet seg de siste årene. Vi har nå operasjonelle modeller som klarer å predikere smittespredning i tid, rom og konsentrasjon fra oppdrettsanlegg på en svært lovende måte (Taranger et al. 2013). Gjennom tre forskjellige scenarier i tre forskjellige fjorder fra nord til sør langs norskekysten har vi vist at tettheten av infeksjonsstadier avhenger av antall oppdrettsanlegg og nærheten disse har til vernesonen, men også at noen fjorder synes mindre utsatt enn andre pga. sterk spredning og fortykning av infeksjonsstadier. Samtidig har de mer grundige statistiske analysene vi har gjennomført på vill sjørret fra NALO-programmet vist at slike parasittdata er vanskelig å analysere og at innsamlete data har svakheter som begrenser muligheten til å forstå den observerte variasjonen i lakseluspåslaget. Dette skyldes først og fremst at den store variasjonen i lusepåslag mellom individer gjør at det kreves store mengder data for å kunne finne statistiske sammenhenger mellom lusepåslaget på vill laksefisk og de omgivelsene som fisken har vært i.

Dette indikerer at NALO-programmet, inkludert MTs OK program lakselus, bør omstruktureres noe for å kunne svare på hovedspørsmålene fra forvaltningen vedrørende effektene av nasjonale laksefjorder. Samtidig har programmet også mange andre delmål, blant annet overvåking av infeksjonstrykk, risikovurdering og evaluering av igangsatte tiltak langs større deler av norskekysten (Bjørn et al. 2012, Taranger et al. 2013), som også må ivaretas best mulig. I tillegg må programmet være innrettet på en slik måte at datagrunnlaget kan bidra til å utvikle modeller for områdebaserte forvaltningsråd (Anon. 2013).

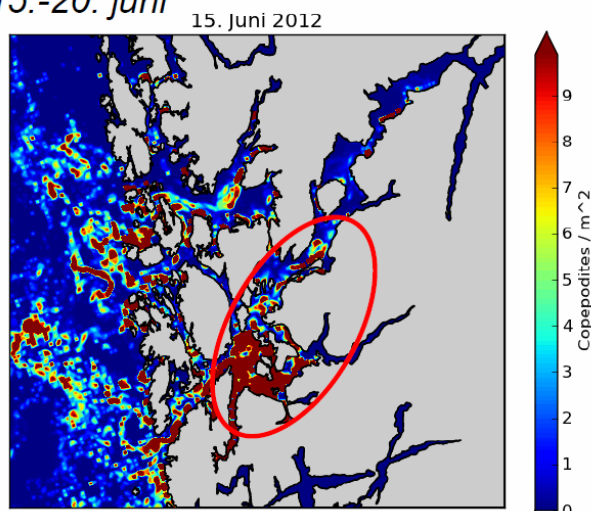
Havforskningsinstituttet og Veterinærinstituttet med innspill fra NINA har foreslått et nytt og radikalt endret overvåkings- og rådgivningssystem for lakselus på oppdrag fra FKD (Taranger et al. 2012). Det ble foreslått å teste dette ut i Mattilsynet sine soneforeskriftområder for lakselus i 2012 og 2013 med særlig fokus på Hardangerfjordsystemet (fase 1). Forskningsmessige gjennombrudd, hovedsakelig metoder for modellering av smittepress av lus langs norskekysten, sammenhengen mellom intensiv oppdrettsaktivitet og smittepress, og bedre og

lettere tilgjengelige oppdrettsdata og miljødata muliggjør en slik omlegging. I 2012 har vi testet forslaget til ny modell for overvåkings- og rådgivningssystem for lakselus som et "case studie" i Hardangerfjordsystemet (Taranger et al. 2013), og vi er på vei til å utvikle mer presise smitte modeller som etter hvert vil være i stand til å predikere infeksjonstrykk innenfor et produksjonsområde (figur 8). Vi vil følge opp forslaget i indikatorrapporten ytterligere i 2013 og 2014 (Taranger et al. 2012, 2013).

Observert lakselus fra smoltbur



Simulert lakselustetthet time for time 15.-20. juni



Figur 7: Kvalitativ sammenheng mellom simulert lakselustetthet fra hydrodynamisk modell og observert lakselus på smoltbur i 2012.

Slike data og modeller (Taranger et al. 2013) kan etter hvert gi grunnlag for mer presise forvaltningsråd av lus på oppdrettet og vill laksefisk, inkludert evaluering og forvaltningsråd angående effekten av nasjonale laksefjorder. Dersom en kan fastsette tålegrensen for påvirkning på ville bestander i henhold til smittetrykk, bestandseffekt og politisk bestemte bærekraftsmål, kan dette være grunnlag for et system der en også gir råd om "optimal størrelse og beliggenhet av nasjonale laksefjorder" ut fra modellering av fordeling og tetthet av infektive lakseluslarver, kunnskap om effekten dette har på lokale laksefiskbestander, og politisk bestemte miljømål.

Havforskningsinstituttet og Norsk institutt for naturforskning mener at smitte modellering av lakselus vil kunne gi mer presise forvaltningsråd, også om effekten av alle våre nasjonale laksefjorder. Vi mener at dette systemet bør utvikles videre og at endelig evaluering av effekten av nasjonale laksefjorder i stor grad bør gjøres gjennom smitte modellering og validering gjennom infeksjonsdata på vill laksefisk i og utenfor verneområdene.

For å få dette til må smitte modeller valideres og kalibreres langs hele norskekysten slik at vi vet at modellene gir riktige prediksjoner om smittetrykk i tid, rom og konsentrasjon både i nord og sør og i forskjellige fjordsystem. Dernest må modellene kalibreres mot vill laksefisk (feltforsøk og analyse av lus på innsamlet villfisk) slik at vi kan forutsi effekten av et predikert infeksjonstrykk på ville bestander (Taranger et al. 2012, 2013).

Begge disse elementene representerer betydelige forskningsmessige utfordringer. Vi anbefaler derfor en omlegging av dagens NALO-program fra ekstensiv overvåking til mer intensiv forskning og utvikling i modellokalteter. Fra 2013 omstruktureres derfor vårt overvåkings-, rådgivnings- og forskningsprogram på lakselus på vill laksefisk, inkludert NALO, til tre regioner av norskekysten: Vestlandet (Ryfylke, Hardangerfjorden og Sognefjorden); Midt-Norge (Trondheimsfjorden, Romsdalsfjorden og Namsenfjorden); Nord-Norge (Altafjorden og Porsangerfjorden). Fire modellfjorder langs norskekysten vil ha spesiell fokus: Hardangerfjorden, Romsdalsfjorden, Namsenfjorden og Altafjorden. Overvåkingsdelen mister dermed geografisk dekning. Dette vil på kort sikt ha konsekvenser for våre muligheter til å gi forvaltningsråd og gjøre risikovurdering (Taranger et al. 2013) langs hele norskekysten. Vi anser likevel dette som nødvendig for å kunne utvikle et fremtidsrettet overvåkings- og rådgivningssystem for lakselus slik foreslått i Taranger et al. (2012), samt kunne gjøre en endelig evaluering av effekten av nasjonale laksefjorder.

Referanser

- Aasetre J & Vik J (2013) Framing the environment – Disputes and developments in the management of Norwegian Salmon Fjords. *Ocean Coast Manage* 71: 203-212.
- Amundrud TL & Murray AG (2009) Modelling sea lice dispersion under varying environmental forcing in a Scottish sea loch. *J Fish Dis* 32: 27–44.
- Anon (2002) Om opprettelse av nasjonale laksevassdrag og laksefjorder. St.prp. nr 79, Det Kongelige Miljøverndepartement, Oslo.
- Anon (2006) Om vern av villaksen og ferdigstilling av nasjonale laksevassdrag og laksefjorder. St. prp. Nr. 32 (2006-2007), 143 s.
- Anon (2009) Strategi for en miljømessig bærekraftig havbruksnæring. Fiskeri- og kystdepartementet, 43 s.
- Anon (2011) Status for norske laksebestander i 2011 ("Status of Norwegian salmon stocks in 2011"). Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr. 3, 285 s.
- Anon. (2012) Lakselus og effekter på vill laksefisk – fra individuell respons till bestandseffekter ("Salmon lice and effects on wild salmonids - from individual response to population effects"). Temarapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr 3, 56 s.
- Anon (2013) Verdens fremste sjømatnasjon. Meld. St. 22. Det kongelige fiskeri- og kystdepartement, Oslo.
- Asplin L, Boxaspen KK, Sandvik AD (2004) Modelled distribution of sea lice in a Norwegian fjord, ICES C.M. 2004/P:11.
- Asplin L, Boxaspen KK, Sandvik AD (2011) Modeling the Distribution and Abundance of Planktonic Larval Stages of *Lepeophtheirus salmonis* in Norway. In: Jones S, Beamish R (eds) *Salmon Lice: An Integrated Approach to Understanding Parasite Abundance and Distribution*. Wiley-Blackwell, Oxford, UK, p 31-50.
- Berg OK & Berg M (1987) Migrations of sea trout, *Salmo trutta* L., from the Vardnes river in northern Norway. *J Fish Biol* 31: 113–121.
- Birkeland K (1996) Consequences of premature return by sea trout (*Salmo trutta*) infested with the salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis* Krøyer): migration, growth, and mortality. *Can J Fish Aquat Sci* 53: 2808–2813.
- Bjørn PA, Finstad B, Kristoffersen R (2001) Salmon lice infection of wild sea trout and Arctic char in marine and freshwaters: the effects of salmon farms. *Aquac Res* 32:947–962.
- Bjørn PA & Finstad B (2002) Salmon lice, *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer), infestation in sympatric populations of Arctic char, *Salvelinus alpinus* (L.), and sea trout, *Salmo trutta* (L.), in areas near and distant from salmon farms. *ICES J Mar Sci* 59:131–139.
- Bjørn PA, Finstad B, Kristoffersen R, McKinley RS, Rikardsen, AH (2007) Differences in risks and consequences of salmon louse, *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer), infestation on sympatric populations of Atlantic salmon, brown trout, and Arctic charr within northern fjords. *ICES J Mar Sci* 64(2), 386-393.
- Bjørn PA, Sivertsgård R, Finstad B, Nilsen R, Serra-Llinares RM, Kristoffersen R (2011) Area protection may reduce salmon louse infection risk to wild salmonids. *Aquacult Environ Interact* 1:233-244.
- Bjørn PA, Nilsen R, Serra Llinares RM, Asplin L, Boxaspen KK, Finstad B, Uglem I, Berg M, Kålås S, Barlaup B, Wiik Vollset K (2012) Lakselusinfeksjonen på vill laksefisk langs norskekysten i 2012. Sluttrapport til Mattilsynet. Rapport fra Havforskningen 31: 1-45.
- Davidsen JG, Plantalech Manel-la N, Økland F, Diserud OH, Thorstad EB, Finstad B, Sivertsgård R, McKinley RS, Rikardsen AH (2008) Changes in swimming depths of Atlantic salmon *Salmo salar* post-smolts relative to light intensity. *J Fish Biol* 73(4): 1065-1074.
- Finstad B, Bjørn PA, Grimnes A, Hvidsten NA (2000) Laboratory and field investigations of salmon lice [*Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer)] infestation on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) post-smolts. *Aquac Res* 31:795–803.
- Finstad B, Økland F, Thorstad EB, Bjørn PA, McKinley RS (2005) Migration of hatchery-reared Atlantic salmon and wild sea trout post-smolts in a Norwegian fjord system. *J Fish Biol* 66: 86-96.
- Gillibrand PA & Willis KJ (2007) Dispersal of sea louse larvae from salmon farms: modelling the influence of environmental conditions and larval behaviour. *Aquatic Biol* 1: 63-75.
- Helland IP, Finstad B, Uglem I, Diserud OH, Foldvik A, Hansen F, Bjørn PA, Nilsen R, Jansen PA (2012) Hva avgjør påslag av lakselus hos vill laksefisk? Statistisk bearbeiding av data fra nasjonal lakselusovervåking, 2004-2010. NINA Rapport 891: 1-52.
- Jansen P.A., Kristoffersen A.B., Viljugrein H., Jimenez D., Aldrin M. & Stien A. 2012. Sea lice as a density-dependent constraint to salmonid farming. *Proc. R. Soc. B* doi: 10.1098/rspb.2012.0084.
- Jensen KW (1968) Sea trout (*Salmo trutta* L.) of the River Istra, western Norway. *Rep Inst Freshwater Res Drottningholm* 48: 185-213.

- Johnsen IA (2011) Dispersion and abundance of salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) in a Norwegian fjord system, Master thesis, Geophysical institute, University of Bergen, 71 pp.
- Krkošek, M., Revie, C.W., Gargan, P.G., Skilbrei, O.T., Finstad, B. & Todd, C.D. 2012. Impacts of parasites on salmon recruitment in the Northeast Atlantic Ocean. Proc. R. Soc. B., <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2012.2359>.
- NOU (1999:9) Til laks åt alle kan ingen gjera? Miljøverndepartementet. Statens forvaltningstjeneste, Oslo.
- Rikardsen AH (2004) Seasonal occurrence of sea lice *Lepeophtheirus salmonis* on sea trout in two north Norwegian fjords. J Fish Biol 65: 711–722.
- Serra-Llinares RM, Bjørn PA, Finstad B, Nilsen R, Harbitz A, Berg M & Asplin L (innsendt Aquaculture Environment Interactions) Lakselusinfeksjon på vill laksefisk i marine verneområder: en evaluering av nasjonale laksefjorder.
- Sjåstad K (1996) Evaluering av midlertidige sikringssoner for laksefisk 1989-1994. Fiskeridirektoratet, Bergen.
- Stucchi DJ, Guo M, Foreman MGG, Czajko P, Galbraith M, Mackas DL, Gillibrand PA (2011) Modeling Sea Lice Production and Concentrations in the Broughton Archipelago, British Columbia. In: Jones S, Beamish R (eds) Salmon Lice: An Integrated Approach to Understanding Parasite Abundance and Distribution. Wiley-Blackwell, Oxford, UK, p 117-150.
- Sønvisen SA (2003) Integrated coastal zone management (ICZM): The allocation of space in Norwegian aquaculture - from local lottery to central planning? Norwegian College of Fishery Science, University of Tromsø, Tromsø.
- Taranger GL, Svåsand T, Bjørn PA, Jansen PA, Heuch PA, Grøntvedt RN, Asplin L, Skilbrei OT, Glover K, Skaala Ø, Wennevik V, Boxaspen KK (2012) Forslag til førstegenerasjons målemetode for miljøeffekt (effektindikatorer) med hensyn til genetisk påvirkning fra oppdrettsfisk til villaks, og påvirkning av lakselus fra oppdrett på viltlevende laksebestander. Rapport fra Havforskningsinstituttet, p 1–40.
- Taranger GL et al. (2013) Risikovurdering norsk fiskeoppdrett 2012 ("Risk assesment of Norwegian aquaculture 2012"). Fisken og havet, særnummer 2-2013. 164 pp.
- Thorstad E, Finstad B, Sivertsgård R, Bjørn PA, McKinley R (2004) Migration speeds and orientation of Atlantic salmon and sea trout post-smolts in a Norwegian fjord system. Environ Biol Fish 71(3): 305-311.
- Thorstad EB, Økland F, Finstad B, Sivertsgård R, Plantalech N, Bjørn PA, McKinley RS (2007) Fjord migration and survival of wild and hatchery-reared Atlantic salmon and wild brown trout post-smolts. Hydrobiologia 582(1): 99-107.
- Tingley GA, Ives MJ, Russell IC (1997) The occurrence of lice on sea trout (*Salmo trutta* L.) captured in the sea off the East Anglian coast of England. ICES J Mar Sci 54(6): 1120-1128.

Vedlegg

Bruk av spredningsmodeller for lakselus i evaluering av Nasjonale laksefjorder (vedlegg 1).

Bruk av spredningsmodeller for lakselus i evaluering av Nasjonale Laksefjorder

*Lars Asplin, Ingrid A. Johnsen, Anne D. Sandvik og Jofrid Skardhamar,
Havforskningsinstituttet.*

Innledning

Dette notatet omhandler en beskrivelse av metodikk for å beregne spredning av lakselus samt foreløbige resultater med relevans for Nasjonale Laksefjorder (NLF). Nasjonale Laksefjorder er et tiltak opprettet av Stortinget til beskyttelse av vill laksefisk, og innebærer bl.a. restriksjoner i oppdrettsaktivitet i områdene som er utpekt. Totalt er det 29 Nasjonale Laksefjorder langs Norskekysten.

Spredningsmodellering er en god metode for å evaluere et tiltak som Nasjonale laksefjorder. Modellresultater vil kunne gi en kvantitativ sammenligning mellom dagens regulerte situasjon og tenkte situasjoner uten regulering eller med andre former for regulering. En forutsetning er at resultatene fra spredningsmodellen er av tilfredsstillende kvalitet og at vi kjenner usikkerheten.

Grunnleggende for spredningsmodellering av lakselus er detaljert informasjon om strømmen i tid og rom for fjordområdet som studeres. Slik informasjon får vi fra tredimensjonale strømmodeller, og disse inngår igjen i et integrert modellsystem for drivkrefter og randverdier. Det betyr at en strømmodell for et fjordområde mottar informasjon fra en strømmodell for havområdet utenfor samt drivkrefter fra en atmosfæremodell og en hydrologisk modell. Disse modellene kjøres i forkant av fjordmodellen. Lakselusspredningen beregnes basert på strøminformasjon hver time, samt informasjon om temperatur og saltholdighet. Vi antar også at lakselusepodittene har mulighet for en egen adferd i form av vertikal svømming.

Internasjonalt har bruken av spredningsmodeller for lakselus bredt om seg de seneste ca. 10 årene. Ved Havforskningsinstituttet ble lakselusspredning først simulert i Sognefjorden i første halvdel av 2000 (Asplin *et al.*, 2004). Parallellt ble det gjennomført tilsvarende studier i Skottland (Gillibrand & Willis, 2007). De siste få årene er det gjennomført stadig flere studier, og i alle lakseproduserende land (Amundrud & Murray, 2009; Asplin *et al.*, 2011; Johnsen, 2011; Stucchi *et al.*, 2011). Det er et pågående internasjonalt samarbeid som søker å styrke vår forståelse omkring spredningsmodellering av lakselus, med deltagere fra forskningsinstitusjoner i land som Norge, Canada, Skottland og Chile. Vi forventer lakselusmodellen vil forbedres de kommende få årene, og da særlig i forhold til å tolke resultatene i form av et smittepress for villfisk.

Hensikten med denne mellomevalueringen er ikke å framskaffe resultater for evaluering nå men å sannsynliggjøre at slike resultater vil være tilgjengelige om 4-5 år når selve evalueringen skal gjennomføres.

Modellapparat for strøm

Strøm fra hele Norskekysten simuleres i dag operasjonelt ved Meteorologisk institutt med kystmodellen NorKyst800 (Albretsen *et al.*, 2011). NorKyst800 er basert på havmodellen ROMS (www.myroms.org, Shchepetkin & McWilliams 2005, Haidvogel *et al.*, 2008). NorKyst800 beregner realistiske verdier for strøm,

saltholdighet og temperatur som gjennomsnittsverdier for et 800 m ganger 800 m rutenett. Vertikalt benyttes 35 lag, med relativt finere oppløsning nær overflaten. I Sognefjorden brukes strøm direkte fra NorKyst800. For Altafjorden og Namsen-Flatanger bruker vi enda et finere nivå på beregningsgitteret med henholdsvis 160 m og 200 m, men det er fortsatt ROMS-modellen som benyttes.

Spredningsmodell for lakselus

Lakselusmodellen er en ordinær partikkelspredningsmodell opprinnelig utviklet for torskelarver (Ådlandsvik & Sundby, 1994) som forflytter partiklene i et tre-dimensjonalt strømfelt, i dette tilfellet strøm hver time fra fjordmodellen med 160 m oppløsning for Altafjorden, 200 m oppløsning for Namsen-Flatanger og 800 m oppløsning for Sognefjorden. En partikkel simulerer en planktonisk lakselus, eller en "super-lakselus" som representerer en større mengde lakselus med lik adferd. Totalt brukes mange ti-talls tusen partikler i en simulering. For hvert beregningstidsskritt (3-10 minutter) korrigeres partiklenes posisjon i henhold til den antatte adferden lakseluslarver har der de døgnvandrer mot overflaten om dagen og dypet om natten, men der maksimalt dyp for lakseluspartiklene er begrenset til ca. 15 m. Dessuten unnviker lakselusen saltholdighet med verdi lavere enn 20. En forenklet vekst av de første nauplii-stadiene er satt til 50 døgngader (døgngader er et mål på temperaturavhengig vekst og rett og slett temperatur multiplisert med tid; en partikkel som har drevet 5 døgn i vann med temperatur 10 °C vil ha verdien 50 døgngader). Lengden av det infektive copepodittstadiet er satt til 100 døgngader, dvs. lakselusen er infektive i tidsrommet 50-150 døgngader (Stien *et al.*, 2005).

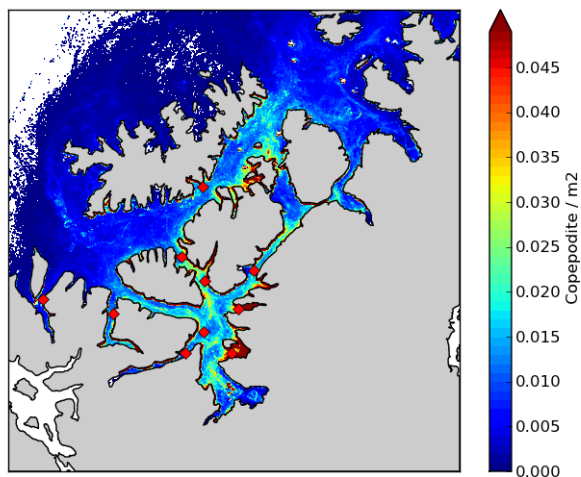
Resultater

Vi har kjørt spredningssimuleringer for tre situasjoner der forskjellene utelukkende har vært antall og plasseringen av kildeleddene for lakselusnaupliier. Simuleringene er gjort for tre områder: Altafjorden, Namsen-Flatanger og Sognefjorden. Perioden som er simulert i alle tilfellene er sammenfallende med smoltutvandringsperiodene, dvs. i Alta mellom 1. mai og 31. juni og i Namsen-Flatanger og Sognefjorden mellom 15. april og 15. juni. Året som er valgt er 2010. De tre simulerte situasjonene representerer tilfellet som er nærmest dagens situasjon i forhold til oppdrettsanlegg i området (totalt 10 kilder), tilfellet med mer oppdrett inne i laksefjorden (totalt 15 kilder) og tilfellet med mindre oppdrett nær laksefjorden (totalt 5 kilder). Kvantitativt er resultatene mellom de ulike simuleringene sammenlignbare med hensyn til tetthet av copepoditter (romlig smittepress) men de reflekterer ikke eksakte utslippsmengder fordi vi har antatt at alle oppdrettsanlegg slipper ut like mye lakselus. Antall partikler sluppet ut er tilstrekkelig til å fange opp naturlig variabilitet, og vi slipper ut 10 partikler hver time fra hver av kildene. Resultatene presenteres som gjennomsnittlig copepodittetthet for simuleringen og vil først og fremst gi et kvalitativt bilde av smittepresset.

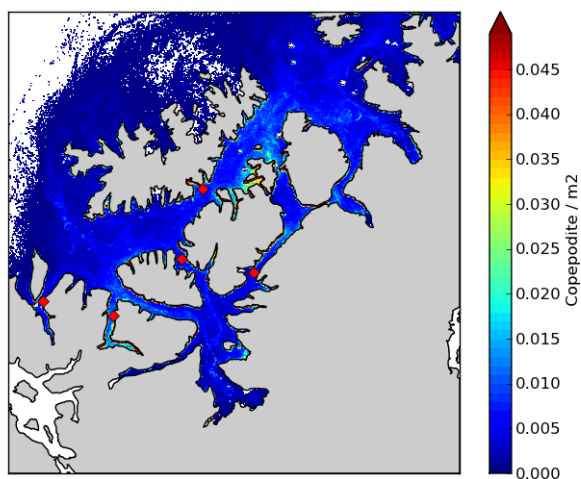
Altafjorden

I Altafjorden er den innerste delen definert som Nasjonal Laksefjord. Utløpet mot havet skjer gjennom de tre sundene et stykke ut i systemet. For perioden 1. mai til 31. juni i 2010 viser resultatene fra spredningssimuleringen med oppdrettsanlegg plassert tilnærmet dagens situasjon, at de høyeste verdiene er inne i buktene og fjordarmene på østsiden av fjordsystemet (Figur 1). Total spredning (blå farge i figuren) er relativt stor, men kvantitativt er det små mengder lakseluscopepoditter og sannsynligvis utgjør ikke disse mengdene noe stort smittepress (selv om det gjenstår å undersøke

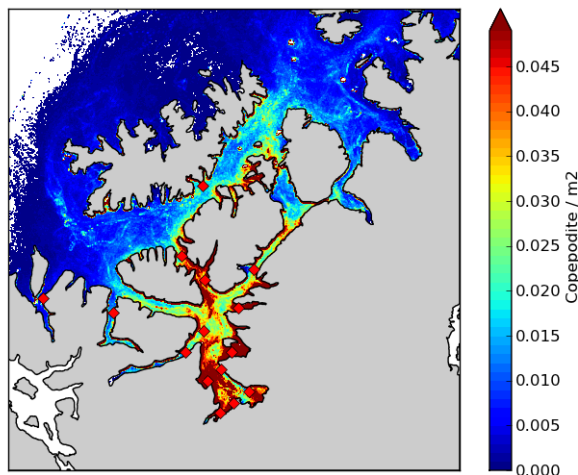
dette ordentlig). I en tenkt situasjon med færre oppdrettsanlegg enn i dag (halvparten) plassert lenger vekk fra laksefjorden, finner vi betydelig mindre lakseluscopepoditter i fjordsystemet (Figur 2). Total spredning er omtrent like stor, men konsentrasjonene av lakseluscopepoditter er lavere uten områder med særlig store konsentrasjoner (mørke røde). I motsatt fall, en situasjon med flere anlegg og plassering lenger inne i Altafjorden får vi høye verdier (mørke røde) ikke bare i bukter og sidefjorder, men også i store deler av indre fjord (Figur 3).



Figur 1. Tetthet av lakseluscopepoditter for perioden 1. mai - 31. juni, 2010, i Altafjorden med utlipp i posisjoner tilsvarende dagens situasjon.



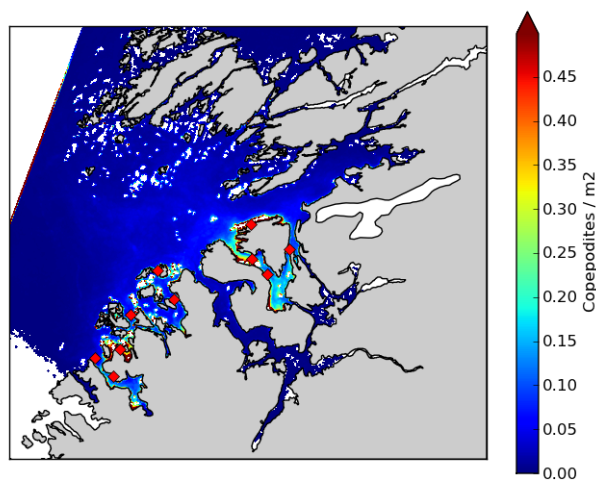
Figur 2. Tetthet av lakseluscopepoditter for perioden 1. mai - 31. juni, 2010, i Altafjorden med utlipp i færre posisjoner og lenger vekk enn for dagens situasjon.



Figur 3. Tetthet av lakseluscopepoditter for perioden 1. mai - 31. juni, 2010, i Altafjorden med utslipp i flere posisjoner og lenger inn i fjorden enn for dagens situasjon.

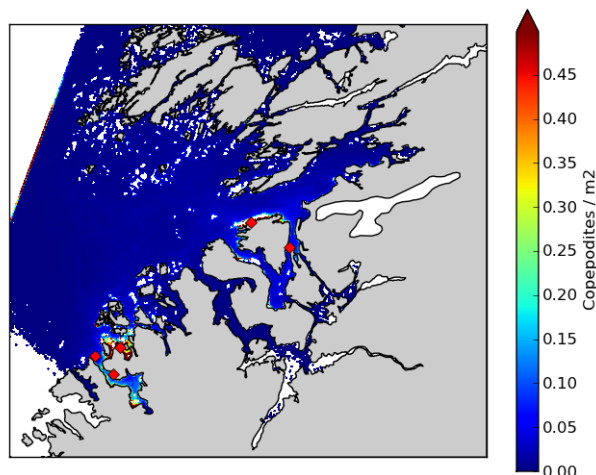
Namsen-Flatanger

Namsfjorden som er forlengelsen av Namsen-elva mot havet er definert som Nasjonal Laksefjord. Her er det ikke oppdrettsanlegg, men i Flatangerområdet utenfor fjordmunningen drives det omfattende oppdrettsaktivitet. Ved å simulere spredning fra 10 oppdrettsanlegg omtrent i områder tilsvarende dagens produksjonsområder (Figur 4) finner vi det samme bildet som fra Altafjorden med stor total spredning av noen få lus (blå farge). Høye konsentrasjoner forekommer bare i noen mindre bukter sør for munningen av Namsfjorden. I fjordene nord for Namsfjorden (Lauvøyfjorden og Raudsundet) er det også en økt konsentrasjon, mens inne i Namsfjorden er det lave verdier.

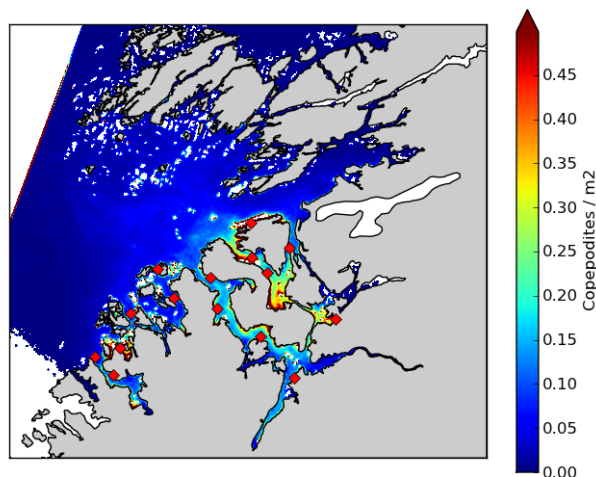


Figur 4. Tetthet av lakseluscopepoditter for perioden 15. april - 15. juni, 2010, i Namsen-Flatanger med utslipp i posisjoner tilsvarende dagens situasjon.

Ved å redusere antallet anlegg, går de totale konsentrasjonene ned (Figur 5). Forholdene i Namsfjorden er fortsatt gode og konsentrasjonene har gått ned i fjordsystemet mot nord. Ved å øke antall anlegg med 5 samt å flytte disse inn i selve Namsfjorden, får vi en direkte effekt på mengden lakselus der inne (Figur 6).



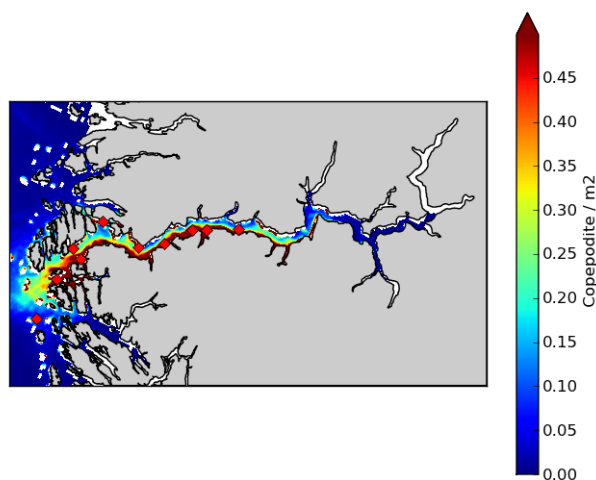
Figur 5. Tetthet av lakseluscopepoditter for perioden 15. april - 15. juni, 2010, i Namsen-Flatanger med utslipp i færre posisjoner og lenger vekk enn for dagens situasjon



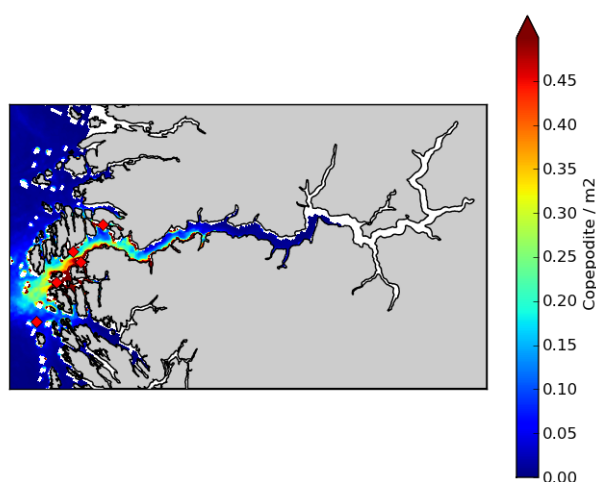
Figur 6. Tetthet av lakseluscopepoditter for perioden 15. april - 15. juni, 2010, i Namsen-Flatanger med utslipp i flere posisjoner og lenger inn i fjorden enn for dagens situasjon

Sognefjorden

Den innerste delen av Sognefjorden, omtrent fra Høyanger, er definert som Nasjonal Laksefjord, og det er så langt inn fjorden det finnes store matfiskanlegg i dag. Herfra og helt ut til havet er det en omfattende lakseproduksjon med stor produksjon i både Gulen og Solund på begge sider av Sognefjordens munning. Med 10 kilder for lakselus plassert i ytre halvdel av Sognefjorden finner vi høye verdier langs sydsiden av fjorden i perioden 15. april - 15. juni 2010 (Figur 7). Vi finner total spredning langt til havs og et godt stykke inn hovedfjorden (blå farge). Fjerner vi de 5 innerste kildene får vi en betydelig reduksjon av lakseluscopepoditter i midtre del av fjorden (Figur 8). Den totale spredningen til havs ser lik ut som for dagens situasjon (Figur 7), mens spredningen innover fjorden er redusert.

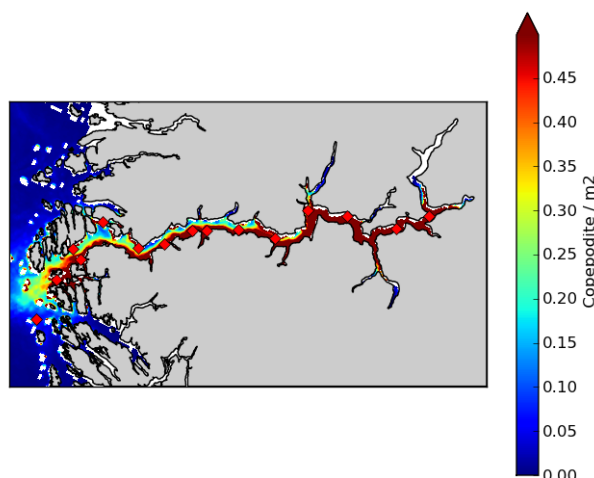


Figur 7. Tetthet av lakseluscopepoditter for perioden 15. april - 15. juni, 2010, i Sognefjorden med utlipp i posisjoner tilsvarende dagens situasjon.



Figur 8. Tetthet av lakseluscopepoditter for perioden 15. april - 15. juni, 2010, i Sognefjorden med utlipp i færre posisjoner og lenger vekk enn for dagens situasjon

For en tenkt situasjon med økt oppdrett og flere anlegg lenger inn fjorden, vil det bli en betydelig økning av lakseluscopepoditter i den indre delen av fjorden (Figur 9).



Figur 9. Tetthet av lakseluscopepoditter for perioden 15. april - 15. juni, 2010, i Sognefjorden med utslipp i flere posisjoner og lenger inn i fjorden enn for dagens situasjon

Oppsummering

Hensikten med dette arbeidet er å demonstrere at spredningsmodelleringen av lakselus er en egnet metodikk til å evaluere effekten av nasjonale laksefjorder i løpet av de kommende 4-5 årene. De presenterte resultatene er gjort med forenklete scenarier og med uferdig lakselusadferd, slik at vi forventer at resultatene i den endelige evalueringen vil være med en mer presis forståelse av usikkerhet. Det generelle trekket er at nærhet til laksefjorden betyr mye for tettheten av lakseluscopepoditter. Selv om vi bare har kjørt en periode på to måneder våren 2010, antar vi at de generelle trekkene ved resultatene vil gjelde også for andre perioder (men i den endelige evalueringen kjører vi lengre og flere perioder). Vi finner også at anlegg nærmere kysten har en større spredning og fortykning enn anlegg lenger inn i fjordene. Dette er et rimelig resultat.

Vi har sluppet ut den samme mengden lakselus i alle områdene, og derfor er det interessant å konstatere at nivået av den beregnede copepodittettheten er ca. 10 ganger lavere i Altafjorden enn i Sognefjorden (Figur 1 og 7). Dette skyldes at strømmen i Altafjordsystemet er mer effektiv til å spre lakseluspartiklene enn i Sognefjorden, siden dette er den eneste variabelen mellom simuleringene.

Det vil være viktig at vi framover klarer å tolke verdiene vi beregner for copepodittetthet til et reelt smittepress for laks og sjøørret, og det er pågående forskningsaktivitet omkring dette. Med slik kunnskap kan vi bedre avgrense hvilket influensområde et oppdrettsanlegg vil ha i forhold til smitteoverføring. Spredningsmodellen vil deretter kunne kjøres for realistiske forhold, inklusive reelle kildeledd for lakselus, for å kvantifisere effekten av oppdrettsanleggenes plassering i forhold til Nasjonale Laksefjorder.

Referanser

Albretsen J, Sperrevik AK, Staalstrøm A, Sandvik AD, Vikebø F, Asplin L. 2011. NorKyst-800 report no. 1: User manual and technical descriptions. Fisken og Havet, Institute of Marine Reserch 2/2011, 51 pages.

Amundrud TL, Murray AG. 2009. Modelling sea lice dispersion under varying environmental forcings in a Scottish sea loch. *J. Fish. Dis.* 32: 27-44.

Asplin L, Boxaspen KK, Sandvik AD. 2004. Modelled distribution of sea lice in a Norwegian fjord, ICES C.M. 2004/P:11, 12 pages.

Asplin L, Boxaspen KK, Sandvik AD. 2011. Modeling the distribution and abundance of planktonic larval stages of *Lepeophtheirus salmonis* in Norway. In: Jones SRM, Beamish RJ, editors. *Salmon Lice: An integrated approach to understanding parasite abundance and distribution*. Wiley-Blackwell, Hoboken, New Jersey, 31-50.

Gillibrand PA, Willis KJ. 2007. Dispersal of sea louse larvae from salmon farms: modelling the influence of environmental conditions and larval behaviour. *Aquatic Biology*, 1: 63-75. Doi 10.3354/ab00006.

Haidvogel DB, Arango HG, Budgell WP, Cornuelle BD, Curchitser E, Di Lorenzo E, Fennel K, Geyer WR, Hermann AJ, Lanerolle L, Levin J, McWilliams JC, Miller AJ, Moore AM, Powell TM, Shchepetkin AF, Sherwood CR, Signell RP, Warner JC, Wilkin J. 2008. Ocean forecasting in terrain-following coordinates: Formulation and skill assessment of the Regional Ocean Modeling System. *Jour Comp Phys* 227(7):3595-3624.

Johnsen IA. 2011. Dispersion and abundance of salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) in a Norwegian fjord system, Master thesis, Geophysical institute, University of Bergen, 71 pp.

Shchepetkin AF, McWilliams JC. 2005. The Regional Ocean Modeling System (ROMS): a split-explicit, free-surface, topography following coordinate oceanic model. *Ocean Modeling* 9:347-404.

Stien A, Bjørn PA, Heuch PA, Elston DA. 2005. Population dynamics of salmon lice *lepeophtheirus salmonis* on atlantic salmon and sea trout. *Marine Ecology Progress Series*, 290:263–275.

Stucchi DJ, Guo M, Foreman MGG, Czajko P, Galbraith M, Mackas DL, Gillibrand PA. 2011. Modelling sea lice production and concentrations in Broughton Archipelago, British Columbia. In: Jones SRM, Beamish RJ, editors. *Salmon Lice: An integrated approach to understanding parasite abundance and distribution*. Wiley-Blackwell, Hoboken, New Jersey.

Ådlandsvik B, Sundby S. 1994. Modelling the transport of cod larvae from the Lofoten area. *ICES mar. Sci. Symp.* 198, 379-392.