

# Forslag til førstegenerasjons målemetode for miljøeffekt (effektindikatorer) med hensyn til genetisk påvirkning fra oppdrettslaks til villaks, og påvirkning av lakselus fra oppdrett på viltlevende laksefiskbestander

*Geir Lasse Taranger, Terje Svåsand, Pål Arne Bjørn, Peder Andreas Jansen, Peter Andreas Heuch, Randi Nygaard Grøntvedt, Lars Asplin, Ove Skilbrei, Kevin Glover, Øystein Skaala, Vidar Wennevik og Karin Kroon Boxaspen*



Veterinærinstituttet  
Norwegian Veterinary Institute



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET  
INSTITUTE OF MARINE RESEARCH

**Forslag til førstegenerasjons målemetode for miljøeffekt  
(effektindikatorer) med hensyn til genetisk påvirkning fra oppdrettslaks  
til villaks, og påvirkning av lakselus fra oppdrett på  
viltlevende laksefiskbestander**

Rapport fra Havforskningsinstituttet og Veterinærinstituttet

*Geir Lasse Taranger, Terje Svåsand, Pål Arne Bjørn, Peder Andreas Jansen, Peter Andreas Heuch,  
Randi Nygaard Grøntvedt, Lars Asplin, Ove Skilbrei, Kevin Glover, Øystein Skaala,  
Vidar Wennevik og Karin Kroon Boxaspen*



**Veterinærinstituttet**  
Norwegian Veterinary Institute



**HAVFORSKNINGSINSTITUTTET**  
INSTITUTE OF MARINE RESEARCH

## INNHold

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| SAMMENDRAG .....                                                                                        | 3  |
| 1. INNLEDNING.....                                                                                      | 5  |
| 1.1 Mandat.....                                                                                         | 5  |
| 1.2 Definisjoner .....                                                                                  | 6  |
| 2. INDIKATORER, GRENSEVERDIER OG OVERVÅKNING GENETISK PÅVIRKNING.....                                   | 7  |
| 2.1 Rømt fisk og genetisk påvirkning.....                                                               | 7  |
| 2.3 Indikatorer basert på genetiske metoder for verifisering av tilstand.....                           | 10 |
| 2.4 Forslag til indikatorer .....                                                                       | 16 |
| 2.5 Forslag til overvåkningsprogram.....                                                                | 17 |
| 3. INDIKATORER, GRENSEVERDIER OG OVERVÅKNING LAKSELUS .....                                             | 20 |
| 3.1 Lakselusmitte og indikatorer for villfisk.....                                                      | 20 |
| 3.1.1 Lakselusinfeksjon på oppdrettsfisk .....                                                          | 20 |
| 3.1.2 Effekter av lakselus på anadrome laksefisk .....                                                  | 20 |
| 3.1.3 Lakselus – feltstudier på effekter på villaks.....                                                | 21 |
| 3.1.4 Indikatorer for lakselusinfeksjon på vill laksefisk .....                                         | 22 |
| 3.2 Vurdering av ulike grenseverdier for infeksjonsnivå lakselus på vill laksefisk .....                | 23 |
| 3.3 Sammenligning av HIs risikovurdering og VRLs kvalitetsnorm .....                                    | 26 |
| 3.4 Indikatorer basert på en kombinasjon av smittedata og smitte modeller .....                         | 28 |
| 3.5 Forslag til indikatorsystem og grenseverdier.....                                                   | 33 |
| 3.6 Betraktninger rundt forvaltning/produksjonssområder og dynamisk lakselusmitte .....                 | 36 |
| 3.7 Forslag til overvåkningsprogram.....                                                                | 36 |
| 3.7.1 Basisovervåkning 2012-2016.....                                                                   | 37 |
| 3.7.2 Uttesting av nytt indikator og overvåkningssystem i to soneforskriftsområder i 2012 og 2013 ..... | 37 |
| 3.7.3 Utvikling av forvaltningssystemet for hele norskekysten 2014-2017 .....                           | 37 |
| LITTERATUR.....                                                                                         | 39 |



## SAMMENDRAG

*Havforskningsinstituttet (HI) har sammen med Veterinærinstituttet (VI) utarbeidet 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. Dette arbeidet baserer seg på gjennomgang av tilgjengelige data fra pågående forskningsprosjekt ved HI og VI, samt tidligere rapporter fra HI, VI, Norsk institutt for naturforskning (NINA) og Vitenskapelig råd for lakseforvaltning (VRL). Fiskeridirektoratet og Mattilsynet har gitt innspill og råd når det gjelder overvåkningsprogram, og NINA har gitt faglige innspill til deler av arbeidet.*

En har tatt utgangspunkt i overordnede målsetninger i regjeringens ”Strategi for en miljømessig bærekraftig havbruksnæring” fra 2009 knyttet til genetisk påvirkning og smittespredning mot villfisk som beskrevet i ”Oppdatering – risikovurdering miljøvirkninger av norsk fiskeoppdrett” utgitt av HI i 2011.

Det er beskrevet to sett av indikatorer – *varslingsindikatorer* og *verifiseringsindikatorer* – for både lus og genetisk påvirkning. Til hver av disse indikatorene kan en se for seg ulike tiltak som kan settes inn hvis gitte grenseverdier for estimert påvirkning overskrides, inkludert økt overvåkning og verifisering av tilstand.

De foreslåtte grenseverdiene er forankret i analyse av sannsynlige dose-respons-sammenhenger mellom observert nivå på en gitt indikator og effekten på villfiskpopulasjonen. En har her foreslått kriterier for klassifisering av tilstand når det gjelder påvirkning fra lus og genetisk integritet basert på dagens kunnskap.

For **genetisk integritet** innebærer dette at en klassifiserer tilstanden ut fra grad restandel som kan karakteriseres som ”vill” med foreslåtte genetiske metoder. Graden av genetisk påvirkning fra oppdrettsfisk settes som lav (grønn) hvis > 90 % av ungfisken i en elv kan regnes som vill, som moderat (gul) hvis mellom 90 og 75 % kan regnes som vill, og sterkt påvirket (rød) hvis < 75 % kan regnes som vill.

Den eksakte metoden for å beregne den ”ville” andelen i populasjonen – eller som andel av genmaterialet i en gitt elv – i forhold til hybrider og rømt oppdrettsfisk må imidlertid utvikles videre i fagmiljøene. Det er også en del faglig usikkerhet rundt disse grensene, og VRL har foreslått noe strengere grenser når genetiske metoder brukes for verifisering. En ser derfor at disse grenseverdiene kan justeres etter hvert som en får ny kunnskap. En kan også tenke seg at en kan differensiere grenseverdiene i forhold til faktorer som sårbarhet og viktighet, bl.a. ved å ta hensyn til nasjonale lakseavssdrag.

Som **verifiseringsindikator** er det foreslått at en bruker en kombinasjon av to genetiske markørsett (mikrosatellitter og SNP-markører) for å estimere graden av genetisk påvirkning fra oppdrettsfisk. En foreslår en prosess der en slik genetisk indikator basert på disse markørsettene blir videreutviklet i fagmiljøene, og deretter kvalitetssikret gjennom en internasjonal peer-review-prosess i løpet av 2012 og 2013, for eksempel i ICES. Etter en slik kvalitetssikring er det foreslått at grad av genetisk påvirkning som måles med disse markørene brukes som en verifiseringsindikator i forhold til grenseverdiene som er foreslått over.

Som **varslingsindikator** foreslår en at en bruker andel rømt fisk i hver elv, som avhengig av risikonivå utløser krav om verifisering av tilstand (med verifiseringsindikatoren), og eventuelle konkrete mottiltak. Denne varslingsindikatoren bør primært baseres på andel rømt laks på gyteplassene (høstprosent), men kan subsidiært erstattes eller suppleres med data fra sportsfiske i elven (årsprosent) der en mangler høstprøver. Det er foreslått at en bruker en grenseverdi på > 20 % høstprosent for høy risiko for genetisk påvirkning, 5–20 % for moderat risiko, og < 5 % for lav risiko, for eksempel basert på et gjennomsnitt av de 3 siste år for hver elv. I tillegg bør en slik varslingsindikator kombineres med et mål for bestandens sårbarhet ut fra oppnåelse av gytebestandsmål (GBM). Det er ansett at en bør prioritere først tiltak i sårbare bestander, da det er vurdert at disse vil være mer utsatt for genetisk endring ved en gitt andel rømt laks i elven. Hvis varslingsindikatoren viser høy sannsynlighet for genetisk påvirkning (rød) er det foreslått at en setter inn umiddelbare mottiltak, som f.eks. utfisking av rømt laks fra elven.

Det er foreslått ulike nivå for overvåkningsprogram for både varslingsindikator (høstprosent) og verifiseringsindikator (genetisk overvåkning på både gytefisk og lakseparr). Det er foreslått to ambisjonsnivå på denne generelle overvåkningen avhengig av finansiering. Begge disse ambisjonsnivåene innebærer en kraftig oppgradering fra dagens overvåkning.

I tillegg til basisovervåkningen som er foreslått, er det foreslått at elver der varslingsindikatoren viser moderat eller høy risiko for genetisk påvirkning (gul og rød kode) utløser krav om tilstandsverifisering med genetiske metoder (med verifiseringsindikatoren) som grunnlag for forvatningen for å beslutte mottiltak. En ser for seg at

ulike mottiltak kan utløses hvis verifiseringsindikatoren viser moderat (gul) eller høy genetisk (rød) påvirkning fra oppdrettsfisk.

**For lus** innebærer de foreslåtte grenseverdiene at en klassifiserer tilstanden som lite påvirket (grønn) hvis den økte sannsynligheten for dødelighet relatert til lakselus er <10 % for en populasjon av laks, sjørøret eller sjørøye. Mellom 10 og 30 % økt sannsynlighet for dødelighet regnes som moderat påvirkning (gul), og over 30 % regnes som høy/stor påvirkning (rød).

**Som varslingsindikator** for lakselus er det foreslått at en modellerer antall infektive lakseluslarver per m<sup>2</sup> ut fra en kjernetetthetsmodell som vil gi et varsel om lave, moderate eller høye tettheter av luselarver/m<sup>2</sup> for gitte områder. Dersom varslingsindikatoren viser høy smitterisiko ut fra gitte grenseverdier for luselarver/m<sup>2</sup> i et område, så kan dette utløse krav om tilstandsovervåkning for verifisering av smittetilstand ved målinger på villfisk/bruk av smoltbur i risikoområdet, samt ytterligere smittemodellering. Samtidig kan andre tiltak som forvaltningen finner hensiktsmessige målrettet utløses av indikatorsystemet.

**Som verifiseringsindikator** for lus er det foreslått at en i en mellomfase (2012–2017) fortsatt bruker påslag av lus på villfisk fanget i garn/ruse eller med trål, slik det fremkommer fra dagens operative overvåkningsprogram. Verifiseringsindikatoren vil dekke to viktige perioder; 1) smolt utvandringen for vill laks i mai/juni (verifisering for laks), og 2) den akkumulerte effekten på vill sjørøret og/eller sjørøye i mai–august (verifisering for sjørøret og sjørøye). Det er imidlertid et begrenset antall observasjonspunkter i form av villfiskstasjoner (garn/ruse), postsmolttråling, og smoltbur langs norskekysten for verifisering av tilstand i dagens overvåkningsprogram. Villfiskovervåkingen er derfor ikke alene et godt nok overvåknings- og forvaltningssystem for fremtiden. Det foreslås derfor at en videreutvikler et modellbasert overvåkningssystem for fremtidig bruk: varsling ved hjelp av modeller og verifisering ved hjelp av fiske.

En vurderer at laksesmolt vil ha høy sannsynlighet for dødelighet ved mer enn 0,3 lus/g, mens risikoen er lav under 0,1 lus/g. En kan derfor gi grove anslag for dødelighetsrisiko ved ulike smitteintensiteter på ulike andeler i populasjonen. Basert på dette er det foreslått en ny modell der en beregner den økte dødelighetsrisikoen for populasjonen som helhet - og vurderer denne som lav (grønn), moderat (gul) eller stor (rød) ved hhv. <10 %, 10-30 % og >30 % økt dødelighetsrisiko grunnet lakselus.

Ut fra dette har vi foreslått to ulike sett med grenseverdier; ett for laksesmolt (kan også brukes på første gangs utvandrende sjørøret og sjørøye < 150 g) og ett for stor fisk (veteranvandrere og modnede individer av sjørøret og sjørøye). Konsekvensene ved en gitt luseinfeksjon målt som lus/g fisk vil imidlertid kunne variere mellom laks, sjørøret og sjørøye, samt med fiskestørrelse, sesong og sårbarhet hos bestand. Vi har så langt begrenset kunnskap om denne variasjonen, og det er viktig at slik kunnskap blir etablert og implementert i forhold til verifisering av tilstand på bestandsnivå. Grenseverdiene bør derfor revideres etter hvert som vi får ny kunnskap.

Det er utviklet to modeller for smittespredning av lus: en kjernetetthetsmodell og en hydrografisk modell for lusespredning. Kjernetetthetsmodellen beregner antall infektive lakseluslarver per m<sup>2</sup>, og bygger på den ukentlige rapporteringen av lus fra hvert lakseoppdrettsanlegg i sjø kombinert med biomassedata og temperatur. Den hydrografiske modellen estimerer spredningen av lakseluslarver i tid og rom basert på reelle utslipp av lakselus fra oppdrettsanlegg og miljøforhold som strøm, temperatur og saltholdighet. På kort sikt er kjernetetthetsmodellen en god gjennomiktig modell for varsling/forvaltning, på sikt vil den hydrografiske smittespredningsmodellen gi mer informasjon og vil kunne overta.

Det er foreslått et basisovervåkningsprogram i perioden 2012–2017 omtrent som dagens overvåkningsprogram av lusesmitte på villfisk/smoltbur. I tillegg til denne basisovervåkingen, foreslår en at elementer for et modellbasert overvåknings- og forvaltningssystem testes i Mattilsynets soneforskriftssoner i Hordaland og Nord-Trøndelag. I disse to pilotområdene har en allerede fått viktig informasjon om den samlede effekten av brakklegging og andre bekjempelsestiltak mot lus i forbindelse med førstegangs evaluering av soneforskriften, samt detaljert hydrografisk informasjon som kan brukes i smittespredningsmodellene. Men det er viktig å skaffe mer erfaring, samt å validere og kalibrere begge de to foreslåtte modellene for å kvantifisere reelle effekter på villfiskpopulasjonene før en videre implementering langs hele norskekysten. Gitt økt finansiering kan begge systemene testes i de to soneforskriftsområdene i 2012–2013, samt testes og implementeres langs større deler av kysten i 2014–2017.

## I. INNLEDNING

### I.1 Mandat

Fiskeri- og kystdepartementet (FKD) ga Havforskningsinstituttet (HI, prosjektleder) – i samarbeid med Veterinærinstituttet (VI) – oppdrag å fremme forslag til førstegenerasjons målemetode for miljøeffekt (effektindikatorer) med hensyn på genetisk påvirkning fra oppdrettslaks til villaks, samt påvirkning av lakselus fra oppdrett på viltlevende laksefiskbestander med frist 4. april 2012.

FKD ba også om et forslag til grenseverdier for de samme påvirkningsfaktorene for å få et grunnlag for politisk behandling av førstegenerasjons grenseverdier, basert på de foreslåtte effektindikatorer. Bestillingen spesifiserte at forslagene til grenseverdier for ulike påvirkningsgrader bør ha en tredelt skala, med en nedre grense for ubetydelig/liten effekt, et intervall for moderat effekt, samt en øvre grense for stor effekt. FKD ber også om at antatte konsekvenser for ville bestander på kort og lang sikt skal drøftes for hvert nivå (liten, moderat, stor effekt), og at det bør tas hensyn til at bestandene kan ha ulik grad av sårbarhet. Det er bedt om at en vurderer om det vil være behov for og praktisk mulig å håndtere differensierte regionale grenseverdier.

HI og VI ble også forespurt om å foreslå overvåkningsprogrammer som er tilpasset bruk av indikatorsystemet der det skulle skisseres; 1) hvilket opplegg som ville være faglig optimalt, og 2) hva som vil være mulig å gjennomføre innenfor nåværende tildelte rammer. Begge alternativer skulle inneholde kostnadsoverslag som omfatter planlegging, innsamling av prøver, analyser/bearbeiding av data og rapportering. Det ble anbefalt at den delen av arbeidet ble utført i samråd med Fiskeridirektoratet (FDIR) og Mattilsynet (MT). HI og VI ble også bedt om å vurdere relevante innspill som har kommet fra ulike fagmiljøer, herunder Vitenskapelig råd for lakseforvaltning (VRL), samt innhente bistand og råd fra Norsk institutt for naturforskning (NINA) og eventuelt også fra andre aktuelle forskningsmiljøer.

På basis av dette etablerte HI og VI en prosjektgruppe som hadde oppstartmøte 24. januar 2012 i Bergen, der også FDIR og MT var representert og presenterte sine synspunkt på oppdraget – og da spesielt inn mot overvåkning og operasjonalisering. VI har bidratt primært inn mot lakselus. NINA har bidratt med faglig bistand og råd på både genetisk påvirkning og lakselus.

I arbeidet har en sammenstilt forslag til indikatorer og grenseverdier som er publisert i HI sin Risikovurdering - miljøvirkning av norsk fiskeoppdrett (Taranger et al. 2011), rapporter fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning (Anon. 2011a,b,c), NINA (Diserud et al. 2012; Diserud et al. 2010), samt utredninger levert fra HI og NINA om dette tema i 2011 (Glover et al. 2011, Skilbrei et al. 2011, Bjørn et al. 2011). Arbeidet på lakselus bygger også i stor grad på analyser utført i forbindelse med den første evaluering av brakkleggingssoner som ledd i lakselusbekjempelse nylig utført av HI og VI (Oppsummert i fellesbrev fra HI og VI datert 16.03.12). I tillegg har en gjort en innledende vurdering av nye upubliserte data på genetisk stabilitet i villakspopulasjoner basert på sammenligning av historiske og nåtidige prøver fra 21 lakseelver analysert med panel av 22 mikrosatellitter, 60 SNP-markører som skal være diagnostiske for oppdrettet og vill laks (Karlsson et al. 2011), samt 30 nøytrale SNP-markører.

Vi har så langt ikke kvantifisert de kort- og langsiktige effektene av ulike nivå av genetisk innkrysning av oppdrettslaks i ville bestander, da det foreløpig er usikkerhet hvordan "fitness" i form av vekst, overlevelse og reproduksjon vil være i hybrider mellom oppdrettslaks og villaks i ulike elver. Pågående eksperimentell forskning både i kar og elver kan gi data for å vurdere dette nærmere i de neste årene.

Når det gjelder lakselus har en estimert sannsynlig effekt av ulike smittepress på liten og stor anadrom laksefisk når det gjelder risiko for økt dødelighet, og evt. svekket reproduksjon ut fra tilgjengelig kunnskap, men også disse estimatene er usikre og må forbedres basert på nye eksperimentelle studier. Vi har ikke så langt vurdert regionalt differensierte grenseverdier.

## 1.2 Definisjoner

I arbeidet med indikatorer og grenseverdier har vi tatt i bruk en del begreper som trenger nærmere definisjon og forklaring.

### Indikatorer:

Med *indikator* mener vi her *noe vi kan måle og som forteller direkte eller indirekte noe om tilstanden og mulig belastning på vill laksefisk*. I denne sammenheng er det ønskelig å finne de beste indikatorene for å måle mulige effekter av lakselus fra oppdrettsanlegg på vill laksefisk, samt å måle grad av genetisk påvirkning av rømt oppdrettslaks på ville laksepopulasjoner.

Flere indikatorer er foreslått tidligere bl.a. av HI, NINA og Vitenskapelig råd for lakseforvaltning – og dette har vært et utgangspunkt for videre utvikling i det nåværende arbeidet. Vi har i dette arbeidet også skilt mellom ulike anvendelser av slike indikatorer ved å skille mellom *varslingsindikatorer* og *verifiseringsindikatorer*.

### Varslingsindikatorer:

En varslingsindikator er her en indikator som kan indikere risiko for miljøskade ved at effekten av en gitt faktor overskrider bestemte grenseverdier for påvirkning på vill laksefisk. Konsekvensen av at en slik grenseverdi er overskredet kan enten utløse mer detaljert overvåkning i et område eller elv, eller føre til konkrete ekstratiltak for å redusere den sannsynliggjorte miljøeffekten. En varslingsindikator skal være et tidlig varsel om at miljøskade kan oppstå, og skal gi mulighet til at tilstrekkelig overvåkning, mottiltak og dokumentasjon om oppnådd beskyttelse kan settes i verk.

### Verifiseringsindikatorer:

En verifiseringsindikator er her en indikator som sannsynliggjør at påvirkningen på ville laksefiskpopulasjoner i et område eller i en gitt elv overskrider gitte grenseverdier for påvirkning i forhold til politiske mål for bærekraft. En verifiseringsindikator bør i denne sammenhengen være mer robust enn en varslingsindikator, og være enda nærmere knyttet opp mot å måle at den politisk bestemte miljøtilstanden faktisk er opprettholdt for ville laksefiskpopulasjoner.

### Grenseverdier:

I dette arbeidet har vi operert med tre nivå for grenseverdier i forhold til effekt av både lus og genetisk påvirkning; lav, moderat og stor.

Ut ifra dagens kunnskapsstatus har en forsøkt å estimere hvor stor effekt et gitt smittepress av lus har på ville populasjoner av laks, sjørøret og sjørøye, og hvor stor effekt oppgang av rømt laks i elv og innkrysning med ville laksepopulasjoner har på den genetiske integriteten til de ville populasjonene.

Når det gjelder *lakselus* har vi forsøkt å estimere hvor stor effekt ulike infeksjonsintensiteter i form av antall lus/g fisk på ulike prosentandeler av en vill laksefiskpopulasjon har på overlevelse og eggproduksjon i denne populasjonen.

For *genetisk påvirkning* har vi sett på ulike estimater for andel rømt fisk i elvene (årsprosent og høstprosent), og mulig sammenheng med genetisk stabilitet eller endring i villaksepopulasjoner målt med genetiske markører – og forsøkt å kvantifisere genetisk endring over tid – eller hvor stor andel av en vill laksepopulasjon som fremdeles kan betraktes som vill eller som hybrider mellom oppdrettslaks og villaks.

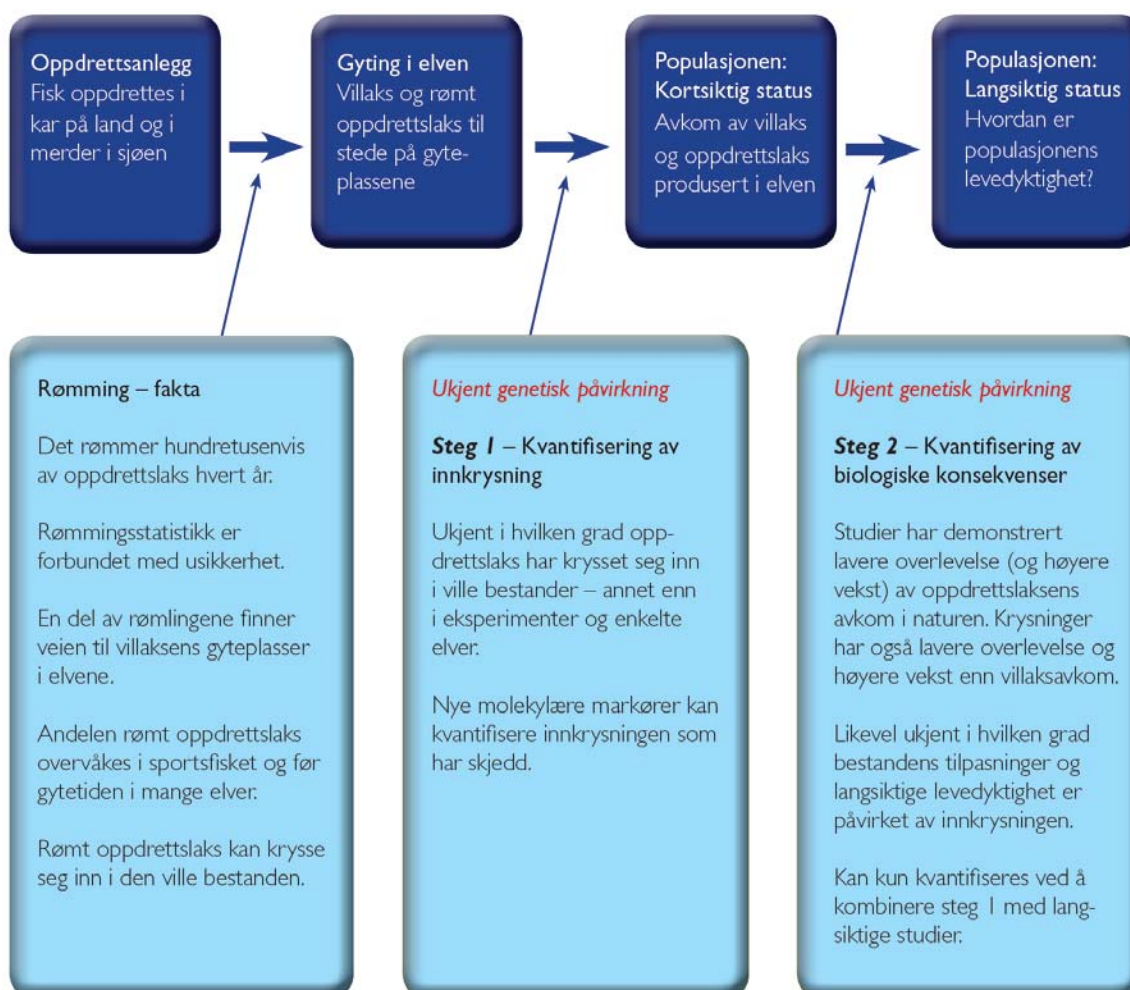
På basis av dette har vi foreslått grenseverdier på hva som kan betraktes som en lav, moderat eller stor effekt på de ville populasjonene ut fra målsetninger i Regjeringens bærekraftstrategi fra 2009.

## 2. INDIKATORER, GRENSEVERDIER OG OVERVÅKNING GENETISK PÅVIRKNING

### 2.1 Rømt fisk og genetisk påvirkning

Rømming av laks fra oppdrettsanlegg utgjør i dag en trussel mot den genetiske integriteten til de ville laksepopulasjonene. En kort situasjonsbeskrivelse (fra Glover et al. 2011, se figuren under) er at det rømmer et stort antall oppdrettslaks hvert år, og noen tusen av disse blir gjenfanget i elvene der villaksen gyter. Andelen rømt laks overvåkes i sportsfisket om sommeren og før gytetiden i mange elver. Det er dokumentert at rømt oppdrettslaks kan gyte og etterlate seg avkom i naturen. Med unntak av enkelte elver og noen eksperimentelle studier, er det fortsatt tilnærmet ukjent i hvilken grad rømt oppdrettslaks har kryssset seg inn i de ville laksebestandene (steg 1 i figur). Erfaringer fra utsetting av fisk antyder at de biologiske konsekvensene av slik innkryssing generelt er negative for bestandens produktivitet, men for å forstå konsekvensene av innkryssing av oppdrettslaks i ville laksepopulasjoner må det gjennomføres studier som måler effekten av slike innkryssinger på lokal tilpasning, og populasjonens produksjonsevne og levedyktighet (steg 2).

I denne rapporten vil vi ta for oss indikatorer og overvåkningssystem for å kvantifisere innkryssing basert på nåværende metoder (prosent rømt fisk) som varslingsindikator – og bruk av genetiske metoder for verifisering av faktisk innkryssing. Kvantifisering av de biologiske konsekvensene vil kreve mer FoU, og er ikke behandlet nærmere i denne rapporten. En forskningsplattform er nettopp igangsatt for å studere genetiske og økologiske effekter av innkryssing av oppdrettslaks i ville laksestammer finansiert av Norges forskningsråd, der bl.a. NINA og HI er sentrale forskningsaktører. Det er forventet at dette prosjektet – og andre parallelle prosjekt vil gi mye ny kunnskap om genetisk endring i ulike ville laksestammer i forhold til ulike elve-spesifikke forhold (både biologiske og fysiske forhold i hver elv). En forventer også at det vil være mulig å kvantifisere økologiske effekter av slik genetisk endring både i eksperimentelle karstudier og i eksperimentelle studier i elv der en sammenligner "fitness" hos familier med bakgrunn fra oppdrett, villaks og hybrider mellom disse, som i Guddalselven i Hordaland.





## 2.2 Indikatorer basert på % innblanding av rømt fisk for varsling av tilstand

I dag benyttes prosent innslag av rømt laks som indikator for genetisk påvirkning både i HIs risikovurdering (Taranger et al. 2011) og i ”Kvalitetsnormer for laks – anbefalinger til system for klassifisering av villaksbestander” fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning (VRL; Anon. 2011a) og i en nylig rapport utarbeidet av NINA (Diserud et al. 2012).

I det følgende vil vi først gå gjennom metodene basert på prosent rømt laks som varslingsindikator og vurdere de ulike metoder og grenseverdier opp mot hverandre. Deretter vil vi behandle nye metoder basert på genetiske markører som foreslått i en utredning av HI og NINA (Glover et al. 2011) til å verifisere tilstand. Til slutt foreslås overvåkningsprogrammer som er tilpasset bruk av indikatorsystemet (% rømt fisk og genetiske metoder). Det er foreslått to ambisjonsnivå for dette overvåkningsprogrammet; avhengig av finansiering. Begge disse ambisjonsnivåene innebærer en kraftig oppgradering fra dagen overvåkning, da denne vurderes som faglig utilstrekkelig både for å varsle og å verifisere tilstand i elvene

HI har i sin risikovurdering tatt utgangspunkt i målene som er definert i Regjeringens ”Strategi for en miljømessig bærekraftig havbruksnæring”. I denne rapporten anslås sannsynligheten for at situasjonen på fylkesnivå er i strid med miljømålene i tre nivå for ulike påvirkningsfaktorer: lav, moderat og høyt, dvs. sannsynligheten for at målene ikke er nådd/oppfylt ut fra observert tilstand. I risikovurderingen har en valgt å definere et innslag av rømt laks i høstfisket på under 5 % som lavt. Dette er omtrent på nivå med gjennomsnittlig naturlig feilvandring mellom villakspopulasjoner. Et innslag av rømt laks fra 5–20 % har vi definert som å gi moderat sannsynlighet for varig genetisk endring.

Det er få holdepunkter i forskningen for å definere 20 % som en øvre grense for moderat påvirkning, men en modellstudie (Hindar et al. 2006) simulerte effekten av ulike andeler rømt laks i villakspopulasjoner, og indikerte at et innslag over 20 % over tid ville gi vesentlige genetiske endringer i populasjonene. Basert på resultatene fra dette studiet, og vurdering av genetisk endring over tid målt med mikrosatellittmarkører på historiske og nåtidige prøver fra et fåtall elver (Skaala et al. 2006) samt upubliserte data på genetisk stabilitet i elver i Osterfjordbassenget, ble 20 % satt som øvre grense for moderat påvirkning (se Taranger et al. 2011 for en nærmere diskusjon om basis for grenseverdiene).

Hvilken effekt innkryssing av oppdrettslaks i de ville populasjonene vil ha, er også avhengig av hvilke genkomplekser som er avgjørende for lokal tilpasning i den enkelte populasjon. Det er derfor viktig å ta i betraktning hvilken tilstand bestandene befinner seg i når en skal vurdere hvor mye rømt oppdrettslaks i gytebestandene som kan karakteriseres som lavt, moderat eller høyt. Dette vil bli illustrert under kap. 2.3.

Temarapporten ”Kvalitetsnormer for laks – anbefalinger til system for klassifisering av villaksbestander” (Anon. 2011a) gir en omfattende beskrivelse av det faglige grunnlaget for vurdering av blant annet genetisk påvirkning fra rømt laks og andre påvirkningsfaktorer. Andel rømt fisk i sportsfiske og høstundersøkelsene benyttes som en indikator for genetisk påvirkning, og er behandlet både under kvalitetsnormene og under menneskeskapte påvirkninger. I forslaget til kvalitetsnormer har en tatt langsiktige *bevaringsbiologiske hensyn* samt hensyn til *bærekraftig bruk*. Under kvalitetsnorm for genetisk integritet har VRL gitt kvantitative grenseverdier for prosent rømt oppdrettslaks i sportsfiske om sommeren og i høstprøve før gyting i perioden 1989–dd: svært god (< 1 %), god (1–3 %), moderat (3,1–9 %) dårlig (9,1–20 %) og svært dårlig (> 20 %).

Grenseverdiene for de enkelte påvirkningsfaktorene er i utgangspunktet basert på den effekt de er antatt å ha på gytebestandsstørrelse, som igjen påvirker oppnåelse av kvalitetsnormene etter en skala på effektstørrelse. I rapporten utvikles det en klassifisering av laksebestandene i henhold til to kvalitetsnormer; *genetisk integritet* og *gytebestandsmål*. Det foreslås også at disse kombineres i en samlet kvalitetsnorm som tilstandsbeskrivelse for de enkelte vassdrag. I den samlede kvalitetsnormen oppsummeres alle påvirkningsfaktorene i ett mål for bestandens tilstand.

I en nylig rapport har forskere ved NINA (Diserud et al. 2012) laget en modellbasert analyse av hvordan villaksbestander er blitt påvirket av rømt oppdrettslaks i løpet av årene 1989–2009, samt et forslag til trusselkategorisering på grunnlag av den modellbaserte analysen (tabell 2.2.1). Forskerne har definert en størrelse – årsprosent – som er et gjennomsnitt av prosentandelen rømt oppdrettslaks i sportsfisket om sommeren og i prøvefisket om høsten. I elver som har fire eller flere år der (minst) en av disse er registrert, er det beregnet en tidsrekke for årsprosent for hele perioden 1989–2009. På denne måten kan 99 elver sammenliknes med hensyn til deres innslag av rømt oppdrettslaks gjennom denne tidsperioden. Diserud m.fl. (2010) har utarbeidet regionale gjennomsnitt som kan være retningsgivende for vurdering av elver som har færre enn fire år med registreringer. I det videre arbeidet tar vi utgangspunkt i kategorisering og tilhørende grenseverdier for gjennom-

snittlig årlig % rømt oppdrettslaks fra Diserud et al. (2012) i sammenstilling med tilsvarende grenseverdier i for gjennomsnittlig årlig % rømt oppdrettslaks fra HIs risikovurdering som varslingsindikator.

**Tabell 2.2.1**

Gjennomsnittlig årlig % rømt oppdrettslaks i bestanden og beregnet andel gjenværende villaks i bestanden for ulike kategorier for påvirkning fra rømt laks (Diserud et al. 2012), gruppert i tre hovedkategorier (grønn, gul/oransje og rød).

| Kategorier for påvirkning fra rømt oppdrettslaks | Gjennomsnittlig årlig % rømt oppdrettslaks i bestanden 1989-2009 | Beregnet % villaks i bestanden |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Svært god                                        | <1,6 %                                                           | > 95                           |
| God                                              | 1,6–3,3                                                          | 90–95                          |
| Hensynskrevende                                  | 3,3–8,7                                                          | 75–90                          |
| Sårbar                                           | 8,7–20                                                           | 50–75                          |
| Truet                                            | 20–35                                                            | 25–50                          |
| Kritisk truet                                    | > 35                                                             | < 25 %                         |

Både Riskovurderingen til HI og NINA-rapporten ”Forslag til kategorisering av laksebestander som er påvirket av rømt oppdrettslaks” peker på at det er en sammenheng mellom andel rømt laks på gyteplassen i elvene og sannsynlighet for genetisk påvirkning på vill laks. Det må imidlertid understrekes at hvilken effekt et gitt nivå av rømt laks på gyteplassen har, vil avhenge av flere fysiske og biologiske forhold, og en vil trenge videre verifisering av genetisk endring som skyldes oppdrettspåvirkning.

I de to rapportene er det visse forskjeller på kategorisering og terskelverdier av effekt på villfisken. Rapportene skiller seg også noe når det gjelder datagrunnlag, hvor NINA-rapporten benytter både data fra sportsfiske og høstundersøkelsene, mens HI kun ser på høstundersøkelsene. Høstundersøkelser er mest relevante for problemstillingen fordi mange oppdrettslaks vandrer opp i elvene etter at sportsfisket er avsluttet. Innslaget av rømt fisk er vanligvis høyere i bestanden om høsten enn om sommeren. Årsaken til at data fra sportsfisket også blir benyttet er at det samles data fra sportsfisket i mange flere elver enn det gjøres høstundersøkelser i, og data fra høstundersøkelsene har til nå vært mangelfulle (Fiske et al. 2006, Skilbrei et al. 2011). I disse tilfellene blir dataene omregnet til en såkalt årsprosent for å korrigere for de nevnte sesongeffektene (Diserud et al. 2010). Det er derfor naturlig at en indikator som både tar hensyn til sportsfiske og høstundersøkelsene (som i NINA-rapporten) settes med lavere grenseverdier enn hvis den kun baseres på høstundersøkelser (som i HI-rapporten).

Med utgangspunkt i NINA-rapporten (Diserud et al. 2012), og hvis man deler de seks kategoriene inn i tre hovedkategorier, ser en at grønn, gul/oransje og rødt område (tabell 2.2.1) samsvarer bra med de terskelverdiene som benyttes i HIs risikovurdering (tabell 2.2.2). Som varslingsindikator foreslår vi terskelverdier (% rømt fisk i høstbestanden) fra HIs risikovurdering, og samme terskelverdi omregnet til årsprosent når sportsfiskedata inngår.

**Tabell 2.2.2**

Terskelverdier (% rømt fisk i høstbestanden) for varige genetiske endringer fra Hls risikovurdering (Taranger et al. 2011), og samme terskelverdi omregnet til årsprosent basert på formel i Diserud et al. (2010).

| Risiko (sannsynlighet) for varige genetiske endringer | Terskelverdi % rømt fisk i høstbestanden | Terskelverdi årsprosent (omregnet fra høstprosent) |
|-------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Høy                                                   | > 20 % rømt laks i elven                 | >12,9 %                                            |
| Moderat                                               | 5–20 % rømt laks i elven                 | 4,0–12,9 %                                         |
| Lav                                                   | < 5 % rømt laks i elven                  | < 4,0 %                                            |

HI og NINA har påpekt at når nye data basert på nye og etablerte genetiske metoder foreligger både om grad av innkryssing av rømt laks i bestandene og konkrete genetiske endringer som følge av ulike innslag av rømt oppdrettsfisk i de ulike elvene, bør grenseverdiene justeres og tilpasses den enkelte bestand/region slik at målsettingen om bevaring av genetisk integritet i ville laksebestander kan oppnås.

Flere av disse problemstillingene er også tatt opp i oppfølgingen av Regjeringens strategi for en miljømessig bærekraftig havbruksnæring. På oppdrag fra Fiskeri- og kystdepartementet evaluerte HI de pågående høstundersøkelsene (Skilbrei et al. 2011). Det ble konkludert med at omfanget på dagens undersøkelser av andelen rømt laks i gytepopulasjonen om høsten er utilstrekkelig. En viktig årsak til dette er at ressurstilgangen har vært svært begrenset, noe som har medført at innsatsen har blitt konsentrert til elver med god egeninnsats fra sportsfiskere og lokale elveeierlag, og til nasjonale laksevassdrag. Utvalget av elver bør økes, og samplingen innen elvene bør sikre representative data. Bruk av frivillige til datainnsamling er kostnadseffektivt, men protokoll for innsamling av materiale fra hver elv må utarbeides. Samtidig må det etableres tettere kontakt og samarbeid mellom de lokale, frivillige og forskningsmiljøene slik at denne delen av arbeidet med overvåkning og innsamling av materiale profesjonaliseres og kvalitetssikres.

### 2.3 Indikatorer basert på genetiske metoder for verifisering av tilstand

På oppdrag fra Fiskeridirektoratet og Direktoratet for naturforvaltning (DN) laget HI og NINA en utredning om indikatorer for genetisk påvirkning av rømt oppdrettslaks på ville laksebestander (Glover et al. 2011). Denne rapporten kom med flere anbefalinger. Basert på dagens tilgjengelige metoder for å kvantifisere genetiske endringer i ville laksebestander, som resultat av interaksjon med rømt oppdrettslaks, foreslår rapporten (Glover et al. 2011) anvendelse av følgende molekylærgenetiske markører:

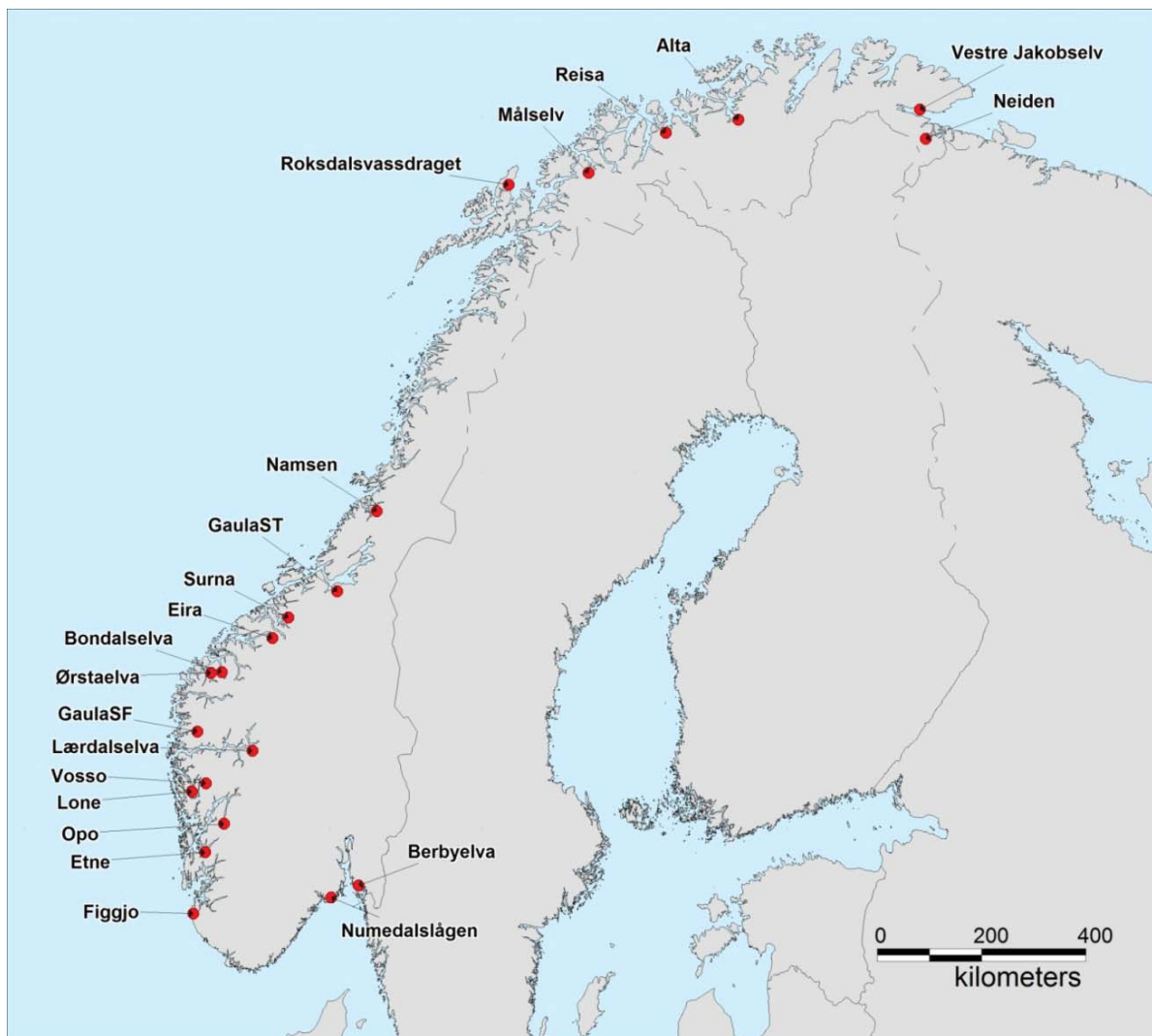
- Et sett med SNP-markører utviklet for å skille mellom villaks og oppdrettslaks, uavhengig av opprinnelse (Karlsson et al. 2011).
- Et sett med mikrosatellittmarkører. Mange av disse markørene er brukt i populasjonsgenetiske studier av laks fra hele utbredelsesområdet, og som nå er gjenstand for storskala studier i europeisk sammenheng.

Disse to genetiske markørklassene gir litt forskjellige, men komplimenterende informasjon om status i de ville bestandene. Det er foreslått å bruke disse markørene til å overvåke et stort antall elver for å kvantifisere genetisk stabilitet i elver med spesielt hensyn til innkryssing av rømt oppdrettslaks. Dette skal foregå i elver som innegår både i den basisovervåkningen samt den tiltaksutløste overvåkningen der en elv går i gul sone på basis av varslingsindikatoren basert på antall rømt laks på gyteplassene (se under).

Etter at mange elver er undersøkt med både genetikk og andel rømt laks, kan en gå videre med å undersøke sammenhengen mellom antall/andel rømt fisk i ulike lakseelver og påvisbar genetisk endring. Dette vil kunne gi kunnskap om hvordan dette forholdet varierer med egenskaper ved elvene og elvenes laksebestander. Som et påfølgende steg vil målet være å kvantifisere de biologiske konsekvensene av innkryssing av rømt fisk som for eksempel forandringer i et vassdrags produksjon av villaks og forandringer i livshistorieegenskaper. Rapporten understreker også at overvåkningen må kombineres med langsiktige økologiske studier i utvalgte vassdrag.

### Nye resultater basert på genetiske analyser

HI har allerede startet et arbeid for å kartlegge genetisk stabilitet i et utvalg av lakseelever (figur 2.3.1) med tanke på innkrysning av rømt oppdrettslaks. Det har blitt samlet inn mer enn 3000 laks fra 21 bestander (både historisk prøve fra 1970, -80 og -90-tallet og nye prøver fra 2000 og seinere). Disse prøvene er blitt analysert for et sett av 22 mikrosatellittmarkører og et sett av 90 SNP-markører (hvorav 60 som er diagnostisk for å kunne identifisere oppdrettslaks og villaks).



**Figur 2.3.1**

Elver som inngår i pågående undersøkelser av genetisk stabilitet (se tekst).

Noen foreløpige analyser av disse dataene foreligger allerede. Et første arbeid basert på data fra mikrosatellittmarkører er sendt til et vitenskapelig tidsskrift for publisering (Glover et al. submitted). Fra et pågående arbeid basert på data fra SNP-markører har vi også noen foreløpige resultater. Data fra begge datasettene er også blitt sett på sammen, slik at HI allerede nå har et foreløpig grunnlag for å si noe om genetisk stabilitet i de 21 undersøkte bestandene.

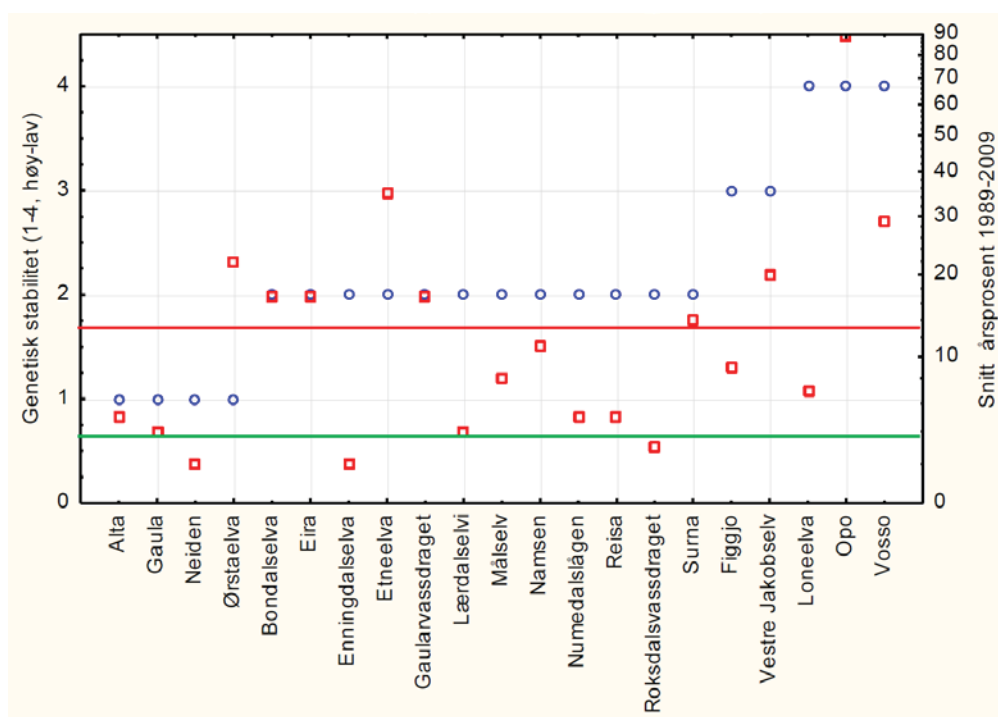
Fra de foreløpige analysene basert på begge markørsett, har vi valgt å lage en firedelt skala for observert genetisk stabilitet i de 21 undersøkte elvene. Tilnærmingen er tilpasset det gjeldende datasettet, og må utvikles videre og kvalitetssikres før bruk i framtidig overvåkningsprogram.

Kategoriene for klassifisering av elvene er basert på disse analysene:

1. Genetisk stabilitet over tid er observert i elven. Ingen av de genetiske parametrene viser tydelig forandring over tid.
2. Genetisk stabilitet over tid er i hovedtrekk observert. Likevel viser en eller to av de genetiske parametrene tegn til genetisk forandring over tid.



3. Genetisk stabilitet over tid er ikke observert. Tre eller flere av de genetiske parametrene viser statistisk signifikant forandring
4. Det er helt klart ikke genetisk stabilitet over tid i bestanden. Store og tydelige genetiske forandringer observert over tid for de fleste eller alle genetisk parametrene.



**Figur 2.3.2**

Genetisk stabilitet (blå sirkler) i 21 elver fra HIs foreløpige undersøkelse sammenlignet med gjennomsnittlig årsprosent av rømt fisk (logaritimisk skala) i perioden 1989–2009 (røde firkanter) fra de samme elvene fra Diserud et al. (2012). Grenseverdier (varslingsindikator) for lav (4,0) og høy sannsynlighet for genetisk påvirkning (12,9 %) (tabell 2.2.2) er tegnet inn som grønn og rød linje.

Den foreløpige analysen viser moderate til store genetiske endringer i 5 av de 21 undersøkte elvene (figur 2.3.2 og tabell 2.3.2). I de to mest påvirkede elvene Opo og Vosso har andelen rømt fisk vært høy over tid, mens 16 av elvene viser små eller ingen signifikante endringer med de brukte metodene. For noen elver er det imidlertid stor forskjell mellom genetisk stabilitet og % rømt fisk estimert med årsprosent over 20 år. Dette betyr at % rømt fisk i seg selv ikke nødvendigvis gir en god prediksjon på faktisk genetisk påvirkning for enkeltelever.

En foreløpig totalvurdering av både SNP- og mikrosatellittdataene fra de 21 elvene, støtter opp under at en inntil videre beholder grensene for å varsle risiko for moderat genetisk endring basert på høstprosent av rømt fisk  $\geq 5$  %, tilsvarende  $\geq 4$  % som årsprosent rømt fisk. For elver med høstprosent  $> 20$  %, tilsvarende årsprosent  $> 12,9$  % vurderer en at risiko for genetisk endring er høy.

Den relativt svake sammenhengen mellom beregnet årsprosent av rømning de siste 20 år – og den foreløpige genetiske vurderingen – tyder på at det er vanskelig å karakterisere den genetiske stabiliteten i en elv basert på årsprosenten, og at en trenger verifisering med genetiske metoder for å klassifisere tilstand. Derimot vil % rømt laks i elven fremdeles være en relativt enkel og rask indikator for å varsle risiko for genetisk endring i en elv.

Det er fortsatt en rekke faglige utfordringer med å tolke data fra analyser av SNP- og mikrosatellittmarkører – og omsette disse til relativt presise kvantitative estimat på grad av genetisk integritet i de ulike elvene. En trenger derfor å arbeide videre i fagmiljøene med hensiktsmessige måter for å tolke disse dataene om til gode mål på genetisk integritet. I tillegg til det pågående arbeidet med kvantifisering av genetisk innblanding av rømt laks i ville bestander ved HI, arbeider også NINA med analyser av villakspopulasjoner med SNP-baserte markører. Til sammen vil disse datasettene danne et grunnlag for å øke forståelsen for sammenhengen mellom prosent rømt oppdrettslaks, og presise estimater for innblanding av rømt laks.

Graden av genetisk påvirkning fra oppdrettsfisk kan verifiseres ved å måle grad restandel villfisk i populasjonen. Metoden for å beregne den ”vill” andelen i populasjonen – eller som andel av genmaterialet i en gitt elv – i forhold til hybrider og rømt oppdrettsfisk må imidlertid utvikles videre i fagmiljøene som utdypet i teksten over.

Neste steg er å definere terskelverdier for ulik grad av påvirkning. Det er imidlertid så langt begrenset dokumentasjon på faglig baserte grenseverdier for grad av restandel villaks som kan korrespondere til lav, moderat og høy sannsynlighet for varige endringer i de genetiske egenskapene hos villaksen. Det er også så langt begrenset kunnskap om den relative fitnessen til hybrider på de ulike livsstadiene, og hvordan denne vil variere i ulike elver og marine miljø, og mellom ulike oppdrettsgenotyper. Slik kunnskap vil være viktig for å kunne gi kvantitative estimat på de økologiske effektene av ulik andeler hybrider i de ulike livsfasene til laksen, bl.a. på hvordan dette vil virke inn på produktivitet og livshistorieegenskapene hos restandelen villaks i populasjonene.

Diserud et al. (2012) har gjort en klassifisering der en har beregnet gjenværende andel villaks i 99 bestander som har vært utsatt for ulik grad av påvirkning av rømt laks i en 20 årsperiode beregnet ut fra estimerte årprosjenter for rømt laks. Bestander med > 90 % restandel villaks er karakterisert som ”god” mens bestander med mindre enn 75 % restandel villaks karakteriseres som truet eller kritisk truet (tabell.2.2.1).

VRL argumenterer for å skjerpe denne grenseverdien for ”god” klassifisering til 100 eller 97 % (dvs. grenseverdi på 0 % eller 3 % hybrider, på hhv antatt vill gytefisk og på parr) når en benytter genetiske markører for å estimere restandel villaks i populasjonen (Anon 2011a):

|                                      | Svært dårlig | Dårlig | Moderat | God | Svært god |
|--------------------------------------|--------------|--------|---------|-----|-----------|
| % genetisk oppdrett i gytebestand    | > 10         | 5-10   | < 5     | 0   | 0         |
| % genetisk oppdrett i ungfiskbestand | > 20         | 9-20   | 3-9     | < 3 | 0         |

Denne innskjerpningen i grenseverdi når en går fra *modellert restandel villaks* som gitt i bl.a. Diserud et al. (2010, 2012) til *restandel villaks målt med genetiske analyser* er i VRL-rapporten bl.a. begrunnet i usikkerhet knyttet til om de genetiske markørene underestimerer den faktiske graden av hybridisering.

Havforskningsinstituttet foreslår her en videre prosess for å avklare hvordan en skal håndtere måleusikkerheten med de genetiske metodene, og hvordan en skal kunne omsette slike data til estimat for restandel vill laks i en gitt populasjon i løpet av 2012 og 2013.

I arbeidet med å foreslå grenseverdier for genetisk integritet og ”restandel” villaks i en populasjon ville det vært en stor fordel å ha mer kunnskap om hvor store effekter en viss andel hybrider har på opprettholdelse av genetisk variasjon og særpreg, produktivitet og livshistorieegenskaper i populasjonen. En har imidlertid så langt begrenset kunnskap om disse forholdene, men en venter store forskningsmessige framskritt på dette i de neste få årene ut fra pågående studier.

Som første generasjons grenseverdi foreslår Havforskningsinstituttet at en vurderer genetisk påvirkning fra oppdrettsfisk som lav (grønn) hvis > 90 % av ungfisken i en elv (parr) kan regnes som vill, som moderat (gul) påvirket hvis mellom 90 og 75 % kan regnes som vill, og sterkt påvirket (rød) hvis < 75 % kan regnes som vill basert på målinger med genetiske markører. De foreslåtte grenseverdiene er basert på kategoriseringen av restandel villaks som brukt i Diserud et al. (2012), og en totalvurdering av tilgjengelige data inkludert egne upubliserte data.

Ved å knytte grenseverdiene til *ungfisk/parr* representer foreslaget en viss ”innskjerpning” i forhold til klassifiseringen i Diserud et al. (2012) som var basert på modellert restandel villaks i *gytefisken* ut fra årsprosjenten av rømning de siste 20 år. Dette da en regner med at en grenseverdi på ungfisk i elvene (parr) vil være mer konservativ (dvs. innebære en lavere andel hybrider) enn en grenseverdi for restandel villaks brukt på gytefisken. Ved å ta utgangspunkt i en grenseverdi på parr tar en også mer hensyn til mulig økologisk kostnad for villaksen, for eksempel grunnet økt konkurranse i elven, og en fanger tidligere opp genetiske endringer enn om en måler på gytefisken (se tabell 2.3.1).

VRL foreslår imidlertid som nevnt grenseverdier på 0 % for gytefisk (som er født i naturen) og 3 % for parr (ungfisk i elven) når dette er målt med genetiske markører. Havforskningsinstituttet mener at dette er en for streng grenseverdi ut fra flere hensyn; 1) Det er vanskelig å se for seg at en kan estimere økologiske kostnader

for hybridandeler ned mot 0 %, 2) det vil være praktisk vanskelig å håndtere grenseverdier ned mot 0 % grunnet usikkerhet i målemetoden, og 3) en grenseverdi ned mot 0 % vil ut fra foreløpige data og antagelser føre til at omtrent alle laksevassdrag vil komme ut som minst moderat påvirket, og dermed gi mindre informasjon til forvaltningen for en risikobasert tilnærming for ulike avbøtende tiltak i de ulike vassdragene. I denne rapporten opererer en videre med kategoriene *lav*, *moderat* og *stor/høy påvirkning*, og de foreslåtte grenseverdiene står i forhold til dette, dvs. vi har ikke en kategori for ”ingen påvirkning”.

Den faglige usikkerheten rundt disse grensene innebærer imidlertid at grenseverdiene bør justeres etter hvert som en får ny kunnskap. En kan også tenke seg at en kan differensiere grenseverdiene for restandel villaks målt med genetiske metoder i forhold til faktorer som bestandens sårbarhet og viktighet, bl.a. ved å ta hensyn til nasjonale laksevassdrag.

Ut fra dette foreslår en derfor at de grensene justeres når en får mer kunnskap. Dette kan bl.a. omfatte hvordan ulike nivå av hybridisering påvirker produktiviteten av den opprinnelige villakspopulasjonen i ulike elver, og i hvor stor grad ulik hybridisering påvirker livshistorieegenskapene og den relative fitnessen hos den opprinnelige villakspopulasjonen.

Selv om vi foreslår å prioritere prøver av parr for verifisering av genetisk påvirkning fra oppdrettslaks, vil vi også inkludere prøver av voksenfisk i overvåkingsprogrammet. Som vist i tabell 2.3.1 vil analyser av parr og voksenfisk utfylle hverandre, da prøver av parr og gytefisk representerer ulike stadier både tidsmessig og produksjonsmessig. Gytefisken er ”bestanden” i den forstand at den representerer den høstbare delen av bestanden, og den delen som har overlevd sjøfasen. Parrbestanden er et uttrykk for hva elven faktisk produserer, hva som er 'output'. I parrbestanden vil det være individer som aldri kommer tilbake som gytefisk. Det gjelder stort sett 9 av 10 villaks, og sannsynligvis en enda høyere andel av hybridene. På samme måte inneholder gytebestanden mange fisk som ikke lykkes i å føre genene videre til neste generasjon fordi de taper i gytekonkurransen, eller fordi avkommet deres har redusert fitness. Ved å kombinere informasjon fra begge type prøver er det mulig å se på hvor sterk seleksjonen er mot oppdrettslaks i det enkelte vassdrag, og gir dermed en indikasjon på økologisk belastning i populasjonen. Som det framkommer i tabell 2.3.1 er det ulike fordeler og utfordringer knyttet til sampling av både parr og gytefisk.

**Tabell 2.3.1**

Fordeler og ulemper ved å benytte prøver av parr versus voksenfisk i et overvåkingsprogram.

| Kategorier | Parr                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Voksenfisk                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fordeler   | <p>Fisken er ung, dvs. kortere tid mellom observasjon av rømt laks i elven og mulighet for å undersøke mulig genetisk innblanding.</p> <p>Prøver av parr og yngel representerer produksjonen i vassdraget, dvs. alle prøver vil være av lokalt produsert fisk og det er ingen risiko for at de er feilvandrere.</p> <p>Prøvetaking kan designes slik at eventuell genetisk struktur i vassdraget identifiseres. Effekten av rømt laks kan være ulik på ulike delpopulasjoner.</p> | <p>Lett å få tak i prøver i elver der man utfører gyteundersøkelser og/eller i forbindelse med sportsfiske.</p> <p>Fiskene er av blandet alder. Dette bidrar til å få en representativ prøve av elven.</p>                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Ulemper    | <p>Noen praktiske utfordringer med tanke på sampling i elven – hvor skal man ta prøve i større vassdrag (selv om disse kan kontrolleres ved riktig samplingstrategi).</p> <p>Innsamling av prøver kan representere en større kostnad enn for eksempel prøver fra sportsfisket.</p>                                                                                                                                                                                                | <p>Fisken er eldre, dvs. lengre tid mellom observasjon av rømt laks i elven og mulighet for å undersøke mulig genetisk innblanding.</p> <p>I store elver med sub-populasjoner kan det være krevende å få representative prøver fra hele elven (selv om disse kan kontrolleres ved riktig samplingstrategi) .</p> <p>Prøver fra sportsfisket kan gi et skjevt utvalg fordi i mange elver er sesongen for fiske kortere enn oppvandringsperioden av gytefisk.</p> |

**Tabell 2.3.2**

Karakteristikk og bestandsvurdering (Anon. 2011 b.c) i de 21 elvene som er undersøkt for genetisk stabilitet (figur 2.3.2). Risikovurdering av elver med overvåkningsdata fra høstundersøkelsene 2006-2010 (Fiske 2011) er gitt med karakterisering basert på HIs risikovurdering (Taranger et al. 2011) og beregnet årsprosent (Diserud et al. 2010) med tilhørende karakteriseringer basert på NINA-rapporten (Diserud et al. 2012) og fargeskala basert på tabell 2.2.1. Gjennomsnittlig årsprosent for perioden 1989-2009 (Diserud et al. 2012) med tilhørende karakterisering som vist i tabell 2.2.1. Det er også vist hvilke av disse elvene som er omhandlet av ordningen med nasjonale laksevasdrag.

| Elv                | Fylke            | Nasjonalt vassdrag (1, 0) | Beskatningsvurdering (0-4 (5a,5b i stengte elver)*) | Totalvekt hunnlaks for å møte gytebestandsmål-GBM (kg) | Gyterand i høstundersøkelsene 2006-2010 | Risiko vurdert etter (< 5%, 5-10%, > 20%) | Gyterand i høstundersøkelsene 2006-2010 | Snitt % rømt laks i høst 2006-2010, transformert til årsprosent | Kategorisering basert på transformert årsprosent (tabell 2.2.1) | Snitt årsprosent 1989-2009 | Kategorisering basert på årsprosent (tabell 2.2.1) | Genetisk stabilitet (1-4, høy-lav), se tekst |
|--------------------|------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Alta               | Finnmark         | 1                         | 0                                                   | 12130                                                  | 10.4                                    | Moderat                                   | 7.3                                     | Hensynskrevende                                                 | Hensynskrevende                                                 | 5                          | Hensynskrevende                                    | 1                                            |
| Gaula              | Sør-Trøndelag    | 1                         | 0                                                   | 25817                                                  | 4.4                                     | Lav                                       | 3.7                                     | Hensynskrevende                                                 | Hensynskrevende                                                 | 4                          | Hensynskrevende                                    | 1                                            |
| Neiden             | Finnmark         | 1                         | 2                                                   | 2957                                                   |                                         |                                           |                                         |                                                                 | God                                                             | 2                          | God                                                | 1                                            |
| Østaelva           | Møre og Romsdal  | 1                         | 2                                                   | 1353                                                   |                                         |                                           |                                         |                                                                 | Truet                                                           | 22                         | Truet                                              | 1                                            |
| Bondalselva        | Møre og Romsdal  | 0                         | 1                                                   | 582                                                    | 33.5                                    | Høy                                       | 21.0                                    |                                                                 | Sårbar                                                          | 17                         | Sårbar                                             | 2                                            |
| Eira               | Møre og Romsdal  | 0                         | 4                                                   | 972                                                    |                                         |                                           |                                         |                                                                 | Sårbar                                                          | 17                         | Sårbar                                             | 2                                            |
| Enningdalselva     | Østfold          | 1                         | 0                                                   | 226                                                    | 8.7                                     | Moderat                                   | 6.3                                     | Hensynskrevende                                                 | God                                                             | 2                          | God                                                | 2                                            |
| Einrevs            | Hordaland        | 1                         | 5b                                                  | 1025                                                   |                                         |                                           |                                         |                                                                 | Truet                                                           | 35                         | Truet                                              | 2                                            |
| Gaularvassdraget   | Sogn og Fjordane | 1                         | 1                                                   | 1443                                                   | 50.2                                    | Høy                                       | 31.3                                    |                                                                 | Sårbar                                                          | 17                         | Sårbar                                             | 2                                            |
| Lærdalselvi        | Sogn og Fjordane | 1                         | 5b                                                  | 5017                                                   | 24.2                                    | Høy                                       | 15.4                                    |                                                                 | Hensynskrevende                                                 | 4                          | Hensynskrevende                                    | 2                                            |
| Målselv            | Troms            | 1                         | 0                                                   | 2759                                                   | 19.8                                    | Moderat                                   | 12.9                                    |                                                                 | Sårbar                                                          | 8                          | Hensynskrevende                                    | 2                                            |
| Namosen            | Nord-Trøndelag   | 1                         | 0                                                   | 18654                                                  | 17.7                                    | Moderat                                   | 11.6                                    |                                                                 | Sårbar                                                          | 11                         | Sårbar                                             | 2                                            |
| Nudedalslågen      | Vestfold         | 1                         | 3                                                   | 12296                                                  | 4.2                                     | Lav                                       | 3.5                                     | Hensynskrevende                                                 | Hensynskrevende                                                 | 5                          | Hensynskrevende                                    | 2                                            |
| Reisa              | Troms            | 1                         | 0                                                   | 3652                                                   | 6.4                                     | Moderat                                   | 4.9                                     | Hensynskrevende                                                 | Hensynskrevende                                                 | 5                          | Hensynskrevende                                    | 2                                            |
| Roksdalsvassdraget | Nordland         | 1                         | 1                                                   | 1087                                                   | 0.7                                     | Lav                                       | 1.1                                     | Svært god                                                       | God                                                             | 3                          | God                                                | 2                                            |
| Surna              | Møre og Romsdal  | 1                         | 1                                                   | 4836                                                   | 29.3                                    | Høy                                       | 18.4                                    |                                                                 | Sårbar                                                          | 14                         | Sårbar                                             | 2                                            |
| Figgjo             | Rogaland         | 1                         | 0                                                   | 2246                                                   | 3.2                                     | Lav                                       | 2.8                                     |                                                                 | God                                                             | 9                          | Sårbar                                             | 3                                            |
| Vestre Jakobselv   | Finnmark         | 1                         | 0                                                   | 1059                                                   | 13.6                                    | Moderat                                   | 9.2                                     |                                                                 | Sårbar                                                          | 20                         | Sårbar                                             | 3                                            |
| Loneelva           | Hordaland        | 0                         | 2                                                   | 153                                                    |                                         |                                           |                                         |                                                                 | God                                                             | 7                          | Hensynskrevende                                    | 4                                            |
| Oppe               | Hordaland        | 0                         | 5b                                                  | 798                                                    | 2.0                                     | Lav                                       | 2.0                                     |                                                                 | God                                                             | 89                         | Kritisk                                            | 4                                            |
| Vosso              | Hordaland        | 1                         | 5b                                                  | 2110                                                   |                                         |                                           |                                         |                                                                 | Truet                                                           | 29                         | Truet                                              | 4                                            |

**\*Beskatningsvurdering (Anon 2011b): 0:** Denne bestanden tåler sannsynligvis høyere beskatning dersom sjøoverlevelsen blir som i de senere år. **1:** Forvaltningsmålet er nådd for denne bestanden og det er ikke nødvendig med ytterligere tiltak for å redusere beskatningen. **2:** Det er fare for at forvaltningsmålet ikke er nådd for denne bestanden og beskatningen bør reduseres moderat for å sikre oppnåelse av gytebestandsmål. **3:** Det er sannsynlig at forvaltningsmålet ikke er nådd for denne bestanden og beskatningen bør reduseres betydelig for å sikre oppnåelse av gytebestandsmålet. **4:** Forvaltningsmålet er langt fra oppnådd for denne bestanden og beskatningen bør reduseres svært mye for å sikre oppnåelse av gytebestandsmål. **5 A:** Ikke åpnet for fiske, men sannsynligvis et høstbart overskudd om innsiget blir som i de senere år. **5 B:** Ikke åpnet for fiske og ikke et høstbart overskudd.



## 2.4 Forslag til indikatorer

En indikator skal gi utslag før det faktisk skjer en genetisk endring. Et indikatorsystem bør bygges opp basert på varsling og verifisering som utdypet i kap. 2.2 og 2.3.

Varslingsindikatoren bør primært baseres på andel rømt laks på gyteplassene (høstprosent), men kan subsidiært erstattes eller suppleres av data fra sportsfiske i elven (årsprosent). Vi foreslår at en bruker en grenseverdi på  $> 20\%$  høstprosent for høy risiko for genetisk påvirkning,  $5\text{--}20\%$  for moderat risiko, og  $< 5\%$  for lav risiko, for eksempel basert på et gjennomsnitt av de 3 siste år for hver elv (Taranger et al. 2011).

I tillegg bør en slik varslingsindikator kombineres med et mål for bestandens sårbarhet ut fra oppnåelse av gytebestandsmål (GBM). Det er ansett at en bør prioritere først tiltak i sårbare bestander da det er vurdert at disse vil være mer utsatt for genetisk endring ved en gitt andel rømt laks i elven. I elver der en mangler data på høstprosent kan en bruke årsprosent som varslingsindikator som brukt i Diserud et al. (2012).

Hvis varslingsindikatorer viser høy risiko for genetisk påvirkning (rød), er det foreslått at en setter inn umiddelbare mottiltak, som f.eks. kontrollert utfisking av rømt laks fra elven.

For hver elv som overvåkes er det foreslått at varslingsindikatoren for rømt fisk (gjennomsnitt siste tre år) vil gi følgende oppfølging (Figur 2.4.1):

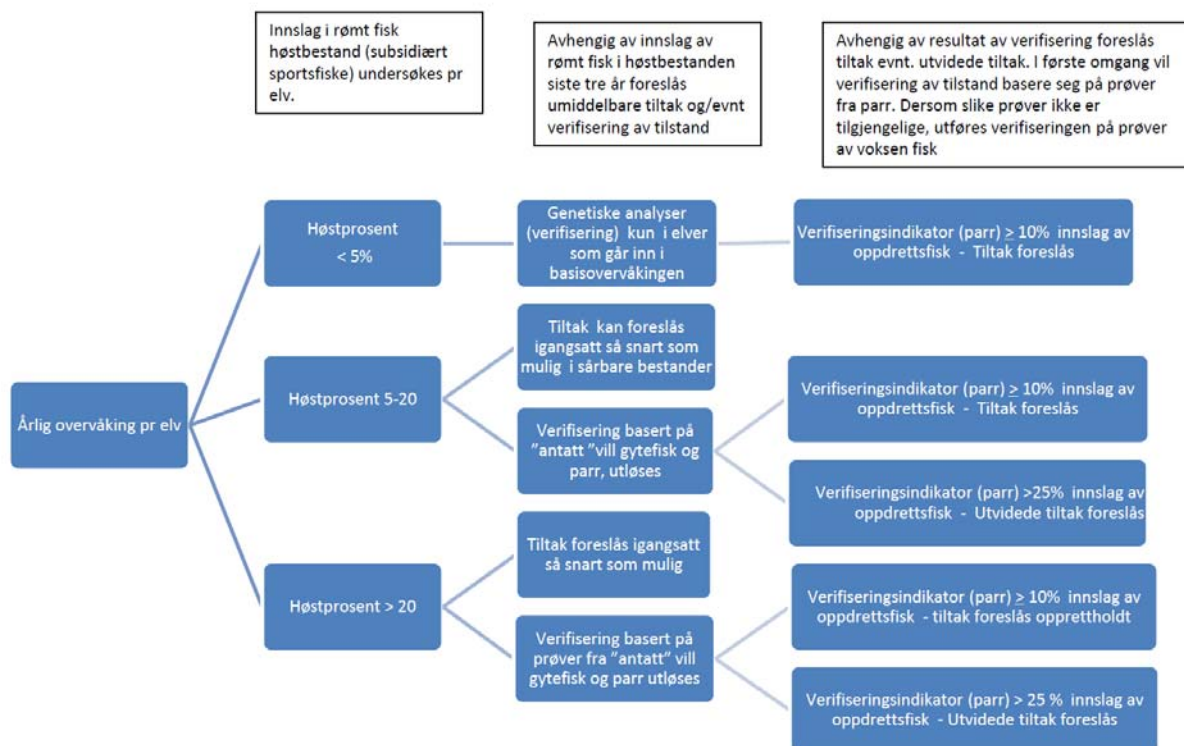
1. Høstprosent  $< 5\%$ : Ikke behov for utvidet tilstandsverifisering eller tiltak. Tilstandsvurdering kun for elver som inngår i basisovervåkingen.
2. Høstprosent  $\geq 5\%$ : Behov for tilstandsverifisering (genetiske analyser – parr), direkte tiltak i sårbare bestander.
3. Høstprosent  $> 20\%$ : Tiltak igangsettes direkte (for eksempel utfisking av rømt fisk) samtidig med tilstandsverifisering.

Tilstandsverifisering har som mål å kvantifisere graden av innblanding av rømt fisk i bestanden og graden av genetisk påvirkning fra oppdrettsfisk settes som lav (grønn) hvis  $> 90\%$  av ungfisken (parr) kan regnes som vill, som moderat (gul) påvirket hvis mellom 90 og  $75\%$  kan regnes som vill, og sterkt påvirket (rød) hvis  $< 75\%$  kan regnes som vill. Se kap. 2.3 for en utdyping av hvorfor vi har valgt å basere verifiseringer på prøver av parr. Tiltak utløses dersom andel vill fisk i bestanden er  $< 90\%$ , utvidede tiltak dersom andel villfisk er  $< 75\%$  og i sårbare bestander.

Det er foreslått at en bruker en kombinasjon av to genetiske markørsett (mikrosatellitter og SNP-markører) for å estimere graden av genetisk påvirkning fra oppdrettsfisk, men den konkrete metoden for behandling av disse dataene er under utvikling. En foreslår en videre prosess der en slik genetisk indikator blir utviklet i fagmiljøene og deretter kvalitetssikret gjennom en internasjonal peer-review-prosess, for eksempel i ICES. Etter en slik kvalitetssikring er det foreslått at grad av genetisk påvirkning som måles med disse markørene brukes som en verifiseringsindikator i forhold til grenseverdiene som er foreslått over. Arbeidet planlegges utført i 2012 og 2013. HI tar ansvar for å utarbeide et forslag til genetiske indikatorer; hvor både nasjonale og internasjonale eksperter inviteres med. Arbeidet bygger videre på utredningen av indikatorer basert på molekylærgenetisk metoder fra HI og NINA (Glover et al. 2011). Før forslaget framlegges for bruk i forvaltningen, sendes det til ekspertgrupper i ICES for ny kvalitetssikring. Dette kan skje våren 2013. Første generasjon av verifiseringsindikatoren kan dermed legges fram for forvaltningen tidligst sommeren 2013.

Et utvidet overvåkningsprogram, med pågående FoU-aktivitet, vil i neste omgang gi grunnlag for utvikling av neste generasjons verifiseringsindikator som vil gi en sikrere prediksjon av sammenhengen mellom andelen rømt fisk i sportsfiske og gytebestand og faktisk innkryssing, en bedre kvantifisering av faktisk innkryssing av rømt fisk, og på sikt også en kvantifisering av de biologiske konsekvensene av ulik grad av innkryssing av rømt fisk.

Det vil være naturlig at indikatorer og tilknyttet overvåkningsprogram i første omgang planlegges for en femårsperiode, med en påfølgende evaluering og nødvendig revisjon. I løpet av denne perioden vil flere pågående FoU-prosjekter bli sluttført, bl.a. ny kunnskapsplattform finansiert fra Forskningsrådet hvor mange av de norske aktørene er involvert.



**Figur 2.4.1**

Skisse for overvåking av % innblanding av oppdrettslaks i elv (varsling) med tilhørende behov for verifisering av tilstand (verifisering) og tiltak.

## 2.5 Forslag til overvåkningsprogram

Dagens overvåkningsprogram for innslag av rømt fisk i høstbestanden finansieres av Fiskeridirektoratet og utføres av NINA. Her finansierer Fiskeridirektoratet for ca. 20 elver og DN for et tilsvarende antall elver. NINA er ansvarlig for programmet, innhenter informasjon fra andre bidragsytere (Rådgivende Biologer, UNI Miljø, Veterinærinstituttet) og rapporterer samlet alle undersøkelser som er basert på skjellanalyser. En videreføring med dagens finansieringsgrunnlag vurderes til å være for lite, og programmet må videreutvikles og styrkes finansielt.

En foreslår en utvidet basisovervåking med prosent rømt fisk (høstprosent) som varslingsindikator. I tillegg til basisovervåkingen, foreslår vi at der varslingsindikatoren viser moderat eller høy risiko for genetisk påvirkning (gul og rød kode), utløses krav om tilstandsverifisering med genetiske metoder (verifiseringsindikatoren) som grunnlag for forvaltningen for å beslutte mottiltak (figur 2.4.1). I elver der en foreløpig ikke har høstdata, eller det vil være vanskelig å skaffe slike, foreslår en at en bruker årsprosent som vist i Diserud (2012).

En ser for seg at ulike mottiltak utløses hvis verifiseringsindikatoren viser moderat (gul) eller høy sannsynlighet for genetisk (rød) påvirkning fra oppdrettsfisk.

Hvis varslingsindikatoren viser høy sannsynlighet for genetisk påvirkning (rød) er det foreslått at en setter inn umiddelbare mottiltak som utfisking av rømt laks. Ytterligere mottiltak kan utløses hvis verifiseringsindikatoren viser moderat (gul) eller høy genetisk (rød) påvirkning fra oppdrettsfisk.

Det er foreslått to ambisjonsnivå på basisovervåkingen ut fra dagens økonomiske rammer eller ut fra optimale faglige hensyn. Tilstandsverifisering vil komme i tillegg.

### Optimalt

I et ideelt overvåkningsprogram burde alle Norges mer enn ca. 440 lakselever inngå, men dette er ikke realistisk å få til. VRL gir forvaltningsråd om ca. 220 bestander, og det er naturlig å benytte disse elvene som utgangspunkt for et optimalt overvåkningsprogram. En kan da bygge videre på det arbeidet som er gjort av VRL.

### Innsamling av prøver basisovervåkning

Fra alle elvene (220) samles det inn skjellprøver (ca. 100) av voksen fisk, og parr (ca. 100) hvert år. For voksen fisk tar en primært prøver på gyteplassen, men i elver hvor dette er vanskelig kan en ta prøver fra sportsfiske.

### Bearbeiding, tilstandsverifisering og rapportering

For hver elv som overvåkes vil varslingsindikatoren rømt (gjennomsnitt siste tre år) og verifiseringsindikator gi følgende oppfølging:

1. Dersom høstprosent < 5 %: Ikke behov for utvidet tilstandsovervåkning eller tiltak, genetiske analyser i et mindre utvalg av elver.
2. Dersom høstprosent  $\geq$  5 %: Tilstandsverifisering basert genetiske prøver av parr. Basert på Fiske (2011) var innblanding av rømt fisk i høstbestanden  $\geq$  5 % for 68 % av de undersøkte elvene i gjennomsnitt i perioden 2006–2009. Dersom vi legger inn dette estimatet er det behov for tilstandsverifisering i 150 elver. Tiltak utløses dersom andel vill fisk i bestanden er < 90 %, utvidede tiltak dersom andel villfisk er < 75 % og i sårbare bestander
3. Dersom høstprosent > 20 %: Tiltak igangsettes direkte (f.eks. utfisking av rømt fisk), samtidig med verifisering av tilstand

Programmet vil bli meget omfattende med årlige rammer 31,2–36,5 millioner kroner.

#### Basisovervåking 220 elver

| LØNNSKOSTNAD                                                                                                                                                 | 2 013             | 2 014             | 2 015             | 2 016             | 2 017             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Koordinering/opplæring av personell som skal samle inn prøver: 1405 timer overingeniør (1405*825 kr= 1 159 125 kr)                                           | 1 159 125         | 1 205 490         | 1 253 710         | 1 303 858         | 1 356 012         |
| Kvalitetssikring(lagring av prøver og tilhørende biologisk og genetisk informasjon, databaseansvarlig): 1405 timer overingeniør: (1405*825 kr= 1 159 125 kr) | 1 159 125         | 1 205 490         | 1 253 710         | 1 303 858         | 1 356 012         |
| Prosjektledelse, bearbeiding, statistisk analyse og rapportering: 3 forskere                                                                                 | 5 298 255         | 5 510 185         | 5 730 593         | 5 959 816         | 6 198 209         |
| Lab. teknikere                                                                                                                                               | 3 093 750         | 3 217 500         | 3 346 200         | 3 480 048         | 3 619 250         |
| Feltteknikere                                                                                                                                                | 7 260 000         | 7 550 400         | 7 852 416         | 8 166 513         | 8 493 173         |
| <b>TOTAL LØNN</b>                                                                                                                                            | <b>17 970 255</b> | <b>18 689 065</b> | <b>19 436 628</b> | <b>20 214 093</b> | <b>21 022 657</b> |
| <b>DRIFT</b>                                                                                                                                                 |                   |                   |                   |                   |                   |
| Drift genetikk lab.                                                                                                                                          | 4 650 000         | 4 836 000         | 5 029 440         | 5 230 618         | 5 439 842         |
| Drift felt                                                                                                                                                   | 1 100 000         | 1 144 000         | 1 189 760         | 1 237 350         | 1 286 844         |
| <b>TOTAL DRIFT</b>                                                                                                                                           | <b>5 750 000</b>  | <b>5 980 000</b>  | <b>6 219 200</b>  | <b>6 467 968</b>  | <b>6 726 687</b>  |
| <b>INNkjøpe TJENESTER</b>                                                                                                                                    |                   |                   |                   |                   |                   |
| Kjøp av skjellprøver og lesing - voksen fisk                                                                                                                 | 4 840 000         | 5 033 600         | 5 234 944         | 5 444 342         | 5 662 115         |
| Lesing av skjellprøver parr                                                                                                                                  | 2 640 000         | 2 745 600         | 2 855 424         | 2 969 641         | 3 088 427         |
| <b>TOTAL INNkjøpe TJENESTER</b>                                                                                                                              | <b>7 480 000</b>  | <b>7 779 200</b>  | <b>8 090 368</b>  | <b>8 413 983</b>  | <b>8 750 542</b>  |
| <b>TOTALT</b>                                                                                                                                                | <b>31 200 255</b> | <b>32 448 265</b> | <b>33 746 196</b> | <b>35 096 044</b> | <b>36 499 885</b> |

### Redusert budsjett (minste akseptable)

I et minimumsbudsjett foreslår vi at en samler inn prøver fra 120 elver fordelt på 6 regioner, bl.a. grunnet betraktninger gitt i Skilbrei et al. (2011) og Glover et al. (2011). Disse elvene velges ut i dialog med forvaltningen. Alle nasjonale laksevassdrag bør inngå, og i tillegg bør en ha et representativt utvalg av elver basert på kriterier som lokalisering (nord-syd, fjord-kyst, bestandskarakteristikk og elvenes topografi). Med utgangspunkt i 20 elver per region vil en også få informasjon om sannsynlig status i elver som ikke blir overvåket i regionen.

I et overvåkningsprogram med redusert budsjett vil både prøveinnsamling og analyser begrenses. I basisovervåkingen vil 100 voksenfisk samles inn hvert år, og 100 parr samles inn hvert tredje år fra 120 elver. Genetiske analyser av 1/3 av innsamlet materiale voksenfisk. All parr analyseres, men fordeles på tre år. Dette gir en årlig budsjetttramme på 10,0–16,9 mill kroner.

Hovedindikatoren i det reduserte programmet er varslingsindikator rømt fisk. For hver elv som overvåkes vil varslingsindikatoren (gjennomsnitt siste tre år) rømt fisk gi følgende oppfølging:

1. Dersom høstprosent < 5 %: Ikke behov for utvidet tilstandsovervåkning eller tiltak, genetiske analyser kun i elver som inngår i basisovervåkingen.

2. Dersom høstprosent  $\geq 5$  %: Behov for tilstandsverifisering basert på genetiske prøver av parr og direkte tiltak i sårbare bestander. NB! Det er kun lagt inn budsjett for genetiske analyser for de elvene som inngår i basisovervåkingen.
3. Dersom høstprosent  $> 20$  %: Tiltak igangsettes direkte (f.eks. utfisking av rømt fisk) samtidig med utløsning av behov for verifisering av tilstand.

#### Basisovervåking 120 elver, begrenset tilstandsverifisering

| LØNNSKOSTNAD                                                                                                                                               | 2 013             | 2 014            | 2 015             | 2 016             | 2 017             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Koordinering/opplæring av personell som skal samle inn prøver: 700 timer overingeniør (700*825 kr= 1 159 125 kr)                                           | 577 500           | 600 600          | 624 624           | 649 609           | 675 593           |
| Kvalitetssikring(lagring av prøver og tilhørende biologisk og genetisk informasjon, databaseansvarlig): 700 timer overingeniør: (700*825 kr= 1 159 125 kr) | 577 500           | 600 600          | 624 624           | 649 609           | 675 593           |
| Prosjektledelse, bearbeiding, statistisk analyse og rapportering: To forskere: 2* 1405*1300 kr=1 826 500 kr                                                | 3 653 000         | 3 799 120        | 3 951 085         | 4 109 128         | 4 273 493         |
| Lab. teknikker                                                                                                                                             | 825 000           | 858 000          | 892 320           | 928 013           | 965 133           |
| Felttekniker                                                                                                                                               | 3 960 000         | 0                | 0                 | 4 454 461         | 0                 |
| <b>TOTAL LØNN</b>                                                                                                                                          | <b>9 593 000</b>  | <b>5 858 320</b> | <b>6 092 653</b>  | <b>10 790 820</b> | <b>6 589 813</b>  |
| <b>DRIFT</b>                                                                                                                                               |                   |                  |                   |                   |                   |
| Drift genetikk lab.                                                                                                                                        | 1 240 000         | 1 289 600        | 1 341 184         | 1 394 831         | 1 450 625         |
| Drift felt                                                                                                                                                 | 100 000           | 100 000          | 0                 | 100 000           | 100 000           |
| <b>TOTAL DRIFT</b>                                                                                                                                         | <b>1 340 000</b>  | <b>1 389 600</b> | <b>1 341 184</b>  | <b>1 494 831</b>  | <b>1 550 625</b>  |
| <b>INNkjøpe tjenester</b>                                                                                                                                  |                   |                  |                   |                   |                   |
| Kjøp av skjellprøver voksen fisk                                                                                                                           | 2 640 000         | 2 745 600        | 2 855 424         | 2 969 641         | 3 088 427         |
| Lesing av skjellprøver parr                                                                                                                                | 1 440 000         | 0                | 0                 | 1 619 804         | 0                 |
| <b>TOTAL INNkjøpe tjenester</b>                                                                                                                            | <b>4 080 000</b>  | <b>2 745 600</b> | <b>2 855 424</b>  | <b>4 589 445</b>  | <b>3 088 427</b>  |
| <b>TOTALT</b>                                                                                                                                              | <b>15 013 000</b> | <b>9 993 520</b> | <b>10 289 261</b> | <b>16 875 097</b> | <b>11 228 864</b> |

#### Redusert budsjett (minste akseptable) med utvidet tilstandsverifisering

Basert på Fiske (2011) var innblanding av rømt fisk i høstbestanden  $\geq 5$  % for 68 % av de undersøkte elvene i gjennomsnitt i perioden 2006–2009. Dette betyr at tilstandsverifisering vil bli utløst i en stor del av de undersøkte elvene. Budsjettet for et redusert program har ikke tatt hensyn til kostnader ved utvidet tilstandsverifisering (anslagsvis 82 av 120 elver), men for oversikts skyld er de totale kostnader vist i budsjettet under. I dette budsjettet har en tatt ut den planlagte overvåking av parr fra alle elver hvert tredje år.

#### Basisovervåking 120 elver, tilstandsverifisering i 82 elver

| LØNNSKOSTNAD                                                                                                                                            | 2 013             | 2 014             | 2 015             | 2 016             | 2 017             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Koordinering/opplæring av personell som skal samle inn prøver: 700 timer overingeniør (700*825 kr= 1 159 125 kr)                                        | 577 500           | 600 600           | 624 624           | 649 609           | 675 593           |
| Kvalitetssikring(lagring av prøver og tilhørende biologisk og genetisk informasjon, databaseansvarlig): 700 timer overingeniør: (700*825= 1,159,125 kr) | 577 500           | 600 600           | 624 624           | 649 609           | 675 593           |
| Prosjektledelse, bearbeiding, statistisk analyse og rapportering: To forskere: 2* 1405*1300 kr=1 826 500 kr                                             | 3 653 000         | 3 799 120         | 3 951 085         | 4 109 128         | 4 273 493         |
| Lab. teknikker                                                                                                                                          | 1 691 250         | 1 758 900         | 1 829 256         | 1 902 426         | 1 978 523         |
| Felttekniker                                                                                                                                            | 2 706 000         | 2 814 240         | 2 926 810         | 3 043 882         | 3 165 637         |
| <b>TOTAL LØNN</b>                                                                                                                                       | <b>9 205 250</b>  | <b>9 573 460</b>  | <b>9 956 398</b>  | <b>10 354 654</b> | <b>10 768 841</b> |
| <b>DRIFT</b>                                                                                                                                            |                   |                   |                   |                   |                   |
| Drift genetikk lab.                                                                                                                                     | 2 542 000         | 2 643 680         | 2 749 427         | 2 859 404         | 2 973 780         |
| Drift felt                                                                                                                                              | 100 000           | 100 000           | 443 456           | 100 000           | 100 000           |
| <b>TOTAL DRIFT</b>                                                                                                                                      | <b>2 642 000</b>  | <b>2 743 680</b>  | <b>3 192 883</b>  | <b>2 959 404</b>  | <b>3 073 780</b>  |
| <b>INNkjøpe tjenester</b>                                                                                                                               |                   |                   |                   |                   |                   |
| Kjøp av skjellprøver og lesing - voksen fisk                                                                                                            | 2 640 000         | 2 745 600         | 2 855 424         | 2 969 641         | 3 088 427         |
| Lesing av skjellprøver parr                                                                                                                             | 984 000           | 1 023 360         | 1 064 294         | 1 106 866         | 1 151 141         |
| <b>TOTAL INNkjøpe tjenester</b>                                                                                                                         | <b>3 624 000</b>  | <b>3 768 960</b>  | <b>3 919 718</b>  | <b>4 076 507</b>  | <b>4 239 567</b>  |
| <b>TOTALT</b>                                                                                                                                           | <b>15 471 250</b> | <b>16 086 100</b> | <b>17 069 000</b> | <b>17 390 566</b> | <b>18 082 188</b> |



### 3. INDIKATORER, GRENSEVERDIER OG OVERVÅKNING LAKSELUS

#### 3.1 Lakselusmitte og indikatorer for villfisk

##### 3.1.1 Lakselusinfeksjon på oppdrettsfisk

Bestandene av oppdrettslaks og regnbueørret overgår langt bestandene av vill laksefisk langs kysten. Dermed er også oppdrettsfisk antatt å være den dominerende bidragsyter til smittepress av lakselus langs vesentlige deler av kysten (Heuch & Mo 2001). Dette er også understøttet av en rekke undersøkelser som finner at infeksjonsnivået av lakselus på vill laksefisk er høyere i områder med lakseoppdrett enn i sammenlignbare områder uten slikt oppdrett (se f.eks. Bjørn et al. 2001; 2011). Videre er det nylig vist at både infeksjonsnivå og innsats av tiltak mot lus i oppdrett avhenger av tettheten av oppdrettslaks i omgivelsene. Dette forklares med at smittepresset av lakselus er høyt i oppdrettstette områder på grunn av høy produksjon av smittsomme lusestadier på oppdrettsfisken (Jansen et al. 2012).

Kontroll med utbredelse og forekomst av smittepresset som stammer fra oppdrettsproduksjon er derfor et av de viktigste hensyn oppdrettsnæringen kan sikte mot for å sikre en bærekraftig produksjon. Skjerpete krav til telling og rapportering av lusetall, samt utvikling av nye metoder for modellering av lusepopulasjoner i tid og rom basert på rapporterte tall, legger nå til rette for utvikling av systemer for kontroll med smittepress av lakselus i sann tid og noe fremskredet i prognoser. Dette kan danne grunnlaget for radikalt endrete prinsipper for forvaltningen av lakselus, der lokalt smittepress produsert i oppdrett vil danne beslutningsgrunnlag – og der bidragsytere til dette smittepresset i økende grad kan ansvarliggjøres.

##### 3.1.2 Effekter av lakselus på anadrome laksefisk

En fylldig evaluering av kunnskapsstatus om effekter av lakselus på anadrom laksefisk er gitt i Bjørn et al. (2011). En kort oppsummering av denne gjennomgangen er gitt i det følgende.

Tidlig på 1990-tallet registrerte man i områder med fiskeoppdrett langs norskekysten at en del sjørret (*Salmo trutta*) vendte tilbake til elver og elvemunninger kort tid etter utvandring ("prematur tilbakevandring til ferskvann"). Disse sjørretene var sterkt infisert med lakselus og hadde betydelige hudskader. Man observerte også utmagrede individer (Jakobsen mfl. 1992; Sivertsen mfl. 1993; Finstad 1993; Finstad mfl. 1992, 1994a; Birkeland & Jakobsen 1994, 1997; Birkeland 1996). Samtidig så det ut til at sjørretens overlevelse i sjøen falt betydelig i enkelte oppdrettsintensive områder. Andre undersøkelser tydet på at nordnorsk sjørøye (*Salvelinus alpinus*) trolig også ble sterkt infisert i områder med lakseoppdrettsanlegg (Finstad 1993). Det ble derfor foreslått at epidemier av lakselus kunne være en av årsakene til nedgangen i enkelte bestander av vill anadrom laksefisk langs norskekysten.

Tidlig på 1990-tallet var imidlertid vår kunnskap om de fysiologiske konsekvensene av lakselusinfeksjon generelt sett begrenset (Wootten mfl. 1982), og man hadde bare utført noen få feltundersøkelser av lakselusinfeksjon på vill laksefisk (Boxhall 1974; Johannesen 1975; Jakobsen mfl. 1992; Tully mfl. 1993; Finstad mfl. 1994ab; Sharp mfl. 1994). Man hadde ikke avklart de økologiske konsekvensene av de observerte infeksjonene hos vill laksefisk, og hadde heller ikke avklart den mulige årsakssammenhengen mellom fiskeoppdrett og lakselusinfeksjon. På bakgrunn av dette har man i Norge studert de fysiologiske og økologiske følgene av lakselusinfeksjon på anadrom laksefisk. Første fase i forskningen fokuserte på å undersøke de fysiologiske konsekvensene av lakselusinfeksjon på eksperimentelt infisert smolt av sjørret, laks og sjørøye.

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

Det var også viktig å finne ut hvor utbredt lusenivåer som trolig er skadelige, eller til og med dødelige, er hos stammer av vill laksefisk. Dette ble gjort ved å gjennomføre omfattende feltundersøkelser hvor man fanget et representativt utvalg av sjørret, atlantterhavslaks og sjørøye både i oppdrettsintensive områder og i kontrollområder, og deretter studere lusenivået på disse fiskene (Finstad mfl. 1994a; Birkeland & Jakobsen 1997; Schram mfl. 1998; Bjørn mfl. 2001a; Bjørn & Finstad 2002; Holst mfl. 2003; Rikardsen 2004; Heuch mfl. 2005; Revie mfl. 2009; Bjørn mfl. 2008, 2009, 2010ab).



Forskningens tredje fase undersøkte konsekvensene av årlige epidemier av lakselus på hele stammer av vill laksefisk, spesielt smolt av sjørørret og laks, i oppdrettsintensive områder. Dette ble gjort ved å beskytte individuelt Carlin-merket lakse- og sjørørretsmolt mot lakselus ved hjelp av medisinfôr, badbehandling eller stikk-medisinering, før de ble sluppet løs i nærheten av sine respektive hjemmeelver. Slik behandling beskytter fisken i flere uker, og så lenge behandlingen ikke forstyrrer fisken på andre måter, gir disse eksperimentene oss en idé om effektene av lus på hele bestander (Finstad & Jonsson 2001; Hazon mfl. 2006; Skilbrei & Wennevik 2006; Hvidsten mfl. 2007; Skilbrei mfl. 2008).

Siste fase involverte undersøkelser av hele fjorder, i kombinasjon med integrert skadedyrbekjempelse. Det langsiktige målet var å fremme en bærekraftig sameksistens mellom oppdrettsnæringen og vill laksefisk i oppdrettsintensive fjorder. Etableringen av nasjonale laksefjorder (beskyttede fjorder hvor det ikke tillates lakseoppdrett) mot slutten av denne perioden (Anon. 2006) var et ledd i dette arbeidet.

Til tross for oppmerksomhet rundt mulige populasjonsregulerende effekter av lakselusmitte på vill anadrom laksefisk siden tidlig 1990-tall som nevnt over, er det fremdeles uklart i hvilken grad lusesmitte har en slik effekt på bestander av laks, sjørørret og sjørøye. Basert på resultatene fra den nasjonale overvåkingen av lakselusinfeksjon har Havforskningsinstituttet vurdert risikoen for bestandsregulerende effekter i 2010 og 2011 ut fra foreløpige indikatorer og grenseverdier for risiko (Taranger et al. 2011). Basert primært på observasjoner på villfanget sjørørret i ulike tidsperioder har en i hovedsak vurdert at risikoen for slike effekter på laks har vært liten eller moderat i de fleste områder langs kysten i 2010, men en observerte høy risiko for effekter på vill laksesmolt i Hordaland og Nord-Trøndelag i 2011. Vurderingen for sjørørret var derimot at det var høy eller moderat risiko for bestandsregulerende effekt av lus i de fleste fylkene både i 2010 og 2011. Det ser dermed ut som om risikobildet for laks på den ene siden, og sjørørret og ev. sjørøye på andre siden er vesentlig forskjellig med det smittepresset en har hatt de siste årene.

### **3.1.3 Lakselus – feltstudier på effekter på villaks**

Det er fremdeles omdiskutert hvor stor effekt lakselus har på villaksbestandene i Norge, og om det nasjonale overvåkningsprogrammet på lakselusmitte på anadrom laksefisk fanger opp all risiko for bestandsregulerende effekter på laks. En har derfor også gjort en vurdering av andre studier som kan kvantifisere grad av bestandsregulerende effekt av lakselus på villaks de siste 20 år.

Flere ulike metoder har blitt brukt for å undersøke om laksesmolt som migrerer gjennom områder med oppdrettsanlegg blir påvirket av lakselus. Direkte målinger av påslag av lakselus på villsmolt har blitt mulig gjort av overflatetråling i både i fjorder og i åpen sjø (Holm m.fl. 2000; Holst m.fl. 2003; Heuch m.fl. 2005). Registreringer av antall lus på smolt holdt i små merder (smoltbur) i fjorder i tiden for utvandring av vill smolt blir også brukt i overvåkningsøyemed. En annen tilnærming er å behandle smolt medikamentelt mot lakselus før de slippes, og så sammenligne gjenfangsten deres som voksne laks mot overlevelsen til ubehandlede kontrollgrupper. Virketiden til lakselusmidlene er begrenset til noen uker eller måneder (Stone m.fl. 2000; Skilbrei m.fl. 2008; Glover m.fl. 2010), så det er antatt at forskjeller i overlevelsen i havet er forårsaket av at kontrollfisken blir infisert av lakselus i løpet av den første delen av vandringen.

Slipp av smolt behandlet mot lakselus har blitt rapportert fra vestkysten av Irland og Norge. Et av de irske studiene gikk fra 2001 til 2008. Her ble det observert en klar trend i dataene, at behandlet fisk vanligvis kom tilbake i større antall enn kontrollgruppene (Jackson m.fl. 2011). Denne effekten var statistisk holdbar i fire av ti utsettingsgrupper. Til tross for dette var gevinsten av lakselusbehandlingen såpass liten, alle årene sett under ett, at det ble konkludert med at infeksjonspresset av lakselus på utvandrende smolt ikke var på et så høyt nivå at det representerte en vedvarende og betydelig kilde til ekstra dødelighet. I en annen studie fra tre elver i samme region i Irland fra 2004 til 2006 fant man imidlertid en klarere statistisk effekt (Gargan m.fl. 2012). Gjenfangsten av behandlet smolt var betydelig høyere i tre av åtte slipp, og sjansen for å overleve var i gjennomsnitt 1,8 ganger høyere for en behandlet enn for en ubehandlet smolt.

I Norge ble det sluppet smolt av Orkla-stamme i Trondheimsfjorden i 1996, 1997 og 1998 (Hvidsten m.fl. 2007). Smolten som var behandlet mot lakselus hadde en betydelig fordel i ett av de tre årene, 1998, som samsvarte med en forhøyet infeksjon av lakselus på vill smolt i fjorden det samme året. Slike slipp har også blitt gjennomført i Vosso (ikke rapportert ennå), og i Daleelv i Hordaland fra 1997 til 1999, og fra 2001 til 2009 (Skilbrei og Wennevik 2006; Skilbrei m.fl., in prep.). Statistiske holdbare forskjeller mellom behandlet smolt og kontrollfisken er blitt funnet i 3 av de 35 gruppene som har blitt sluppet gjennom forsøksperioden, det ene slippet i 1997, ett av tre i 2001 og ett i 2007. Effekten av behandlingen mot lakselus var spesielt tydelig i 1997, noe som samsvarer med en antakelse om at lakselus kan ha representert en stor trussel i Hordaland i deler av 90-tallet.

Dette bygger på andre observasjoner av høye infeksjoner av lakselus på laksefisk i fylket - og en tydelig nedgang i laksebestandene i landsdelen som ikke samsvarer med utviklingen i andre regioner i Norge i samme periode (H. Sægrov, Rådgivende Biologer AS, pers. med.).

Erfaringene med slipp av behandlet smolt har vist at risikoen for at smolt kan bli infisert med lakselus varierer betydelig, både mellom lokaliteter, tidspunkt på året og ikke minst mellom år. Det er en tendens i arbeidene som har vært gjort at de fleste utsettingsgruppene kan sorteres i én av to kategorier. Enten er antall gjenfangster av behandlet og kontrollfisk sammenlignbare, eller, hvis de er forskjellige, så er forskjellene tydelige. Dette kan tyde på at lakseluslarvene ikke er homogent fordelt i sjøen, men at de heller har en "flekkevis" fordeling i rom og tid. Denne type variasjon representerer en av de metodiske utfordringene når en skal bruke slipp av behandlet smolt til å lage estimater for effekten av lakselus på vill smolt, spesielt hvis det bare er et slipp per lokalitet per år. Andre usikkerhetsmomenter er høy naturlig variasjon i den årlige overlevelsen i havet og begrenset virketid av lakselusstoffene.

Kunnskapsstatusen nå tyder på at majoriteten av forsøkssmolten har vært lite, eller moderat påvirket, men at noen grupper ble betydelig redusert i antall på grunn av lakselus. Det er også tydelig at risikoen for å få for mange lakselus varierer fra år til år og sannsynligvis også mellom områder.

### **3.1.4 Indikatorer for lakselusinfeksjon på vill laksefisk**

I dag benyttes % innslag over en grenseverdi for en gitt lakselusdose (lus per gram fiskevekt) som en indikator for påvirkning av lakselus på vill laksefisk både i Havforskningsinstituttets (HI) risikovurdering (Taranger et al. 2011), og i "Kvalitetsnormer for laks – anbefalinger til system for klassifisering av villaksbestander" fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning (VRL; Anon., 2011a). Disse beregningene har flere svakheter, og er gjennomgått i Bjørn et al. (2011) (Metodeutvikling for overvåkning og telling av lakselus på viltlevende laksefisk). I mangel av noe bedre har likevel både HI og VRL valgt denne tilnærmingen.

VRL har imidlertid avgrenset sin vurdering til utvandrende laksesmolt (postsmolt), mens HI også har inkludert andre arter av laksefisk (sjørret og sjørøye). Grenseverdiene er blant annet derfor noe forskjellige, selv om hovedtilnærmingene er like. Både HI og VRL erkjenner at metodene har svakheter og er svært krevende når man skal forsøke å dekke opp hele norskekysten (Anon. 2011a; Bjørn et al. 2011; Taranger et al. 2011). HI har derfor benyttet ekstrabevilgningene på lakselus fra FKD i 2010/2011 for å forsøke å utvikle metoder som er mer uavhengig av fangst av vill laksefisk (Bjørn et al. 2011). Gjennom ekstrabevilgningene har vi kommet ett skritt videre. Dette danner et viktig grunnlag for utviklingen av en fremtidig indikator og grenseverdi som kan implementeres langs hele norskekysten.

I det følgende vil vi først gå gjennom metodene fra HI og VRL som er benyttet fram til nå (Taranger et al. 2011; Anon. 2011a) – og vurdere disse opp mot hverandre. Vi vil også presentere de nye mulige metodene basert på kombinasjonen av spredningsmodeller og infeksjonsdata (Oppsummert i fellesbrev fra HI og VI datert 16.03.12). Disse er nylig benyttet på en vellykket måte i førstegangsevaluering av soneforskrifter for bekjempelse av lus.

Basert på dette foreslår vi en omforent indikator- og grenseverdi som kan benyttes i en mellomfase og innenfor dagens økonomiske rammer (førstegangs målemetode og grenseverdi for miljøeffekt av lakselus). Vi foreslår også en fremtidig målemetode og grenseverdi for forvaltning av interaksjonen lakseoppdrett–lakselus–vill laksefisk. Denne indikatoren vil i stor grad være uavhengig av fangst av vill laksefisk, og kan være et forvaltningsverktøy for hele norskekysten, men er avhengig av økte økonomiske rammer for utvikling og utprøving.

Til sist foreslår vi overvåkningsprogram som er tilpasset bruk av indikatorsystemet (kombinasjonen av spredningsmodeller og infeksjonsdata), både i en mellomfase og med dagens økonomiske rammer (førstegangs målemetode og grenseverdi) – og en faglig optimal metode for framtida (framtidig målemetode og grenseverdi).

### 3.2 Vurdering av ulike grenseverdier for infeksjonsnivå lakselus på vill laksefisk

*Havforskningsinstituttets risikovurdering* (utdrag fra Taranger et al. 2011):

Havforskningsinstituttet har i sin risikovurdering tatt utgangspunkt i målene som er definert i Regjeringens ”Strategi for en miljømessig bærekraftig havbruksnæring”. En har anslått fylkesvis sannsynligheten for at situasjonen er i strid med miljømålene når det gjelder lakselus på tre nivå: lav-, moderat- og høy for alle artene (laks, sjørøtt og sjørøye) av vill laksefisk i Norge.

I vurderingen ble det valgt å benytte  $< 10 \% < 0,1$  lus per gram fiskevekt, tilsvarende 10 lus på en 100 grams sjørøtt/sjørøye, som en *konservativ* grense for lav sannsynlighet for populasjonsregulerende effekt. Eksperimentelle forsøk tyder på at ca. 0,1 lus/g fiskevekt er det nivået som påfører individuell fisk fysiologiske problemer (Nolan et al. 1999, Wagner et al. 2003, 2004, 2008, Tveiten et al. 2010), selv om overføring av dose-respons-studier fra stor til liten fisk basert på vekt kan være problematisk (se Wagner 2008). Det er også en utfordring å si noen presist om bestandsregulerende effekter av et gitt smittepress av lus ut fra eksperimentelle studier på enkeltfisk.

Ut fra observasjoner før oppdrett startet, og i områder uten oppdrett, har en vanligvis observert relativt høy prevalens av lakselus, men med lav smitteintensitet (dvs. få lus per fisk; Finstad et al. 2011 og referanser i denne). Det betyr at de fleste fiskene er infisert, men med få lus hver (sannsynligvis langt under 10). I områder uten oppdrett har en observert at lakselusa ikke er normalfordelt innenfor vertspopulasjonen. Dette betyr at selv om de fleste har få eller ingen lus, vil alltid noen individer (som for de fleste parasitter) ha mange lus (antakeligvis noen få prosent). Resultatene fra kontrolllokalitetene uten oppdrettsaktivitet i nasjonal lakselusovervåkning i 2010 og 2011 viste imidlertid at ingen av sjørøttene hadde  $> 0,1$  lus per gram fiskevekt (Bjørn et al. 2010, 2011).

Den foreslåtte grenseverdien i HI sin risikovurdering med den laveste grenseverdien på  $< 10 \%$  med  $> 0,1$  lus/g fiskevekt tok derfor hensyn til at noen individer kan bli naturlig høyt infisert, men er ellers antakeligvis noe forhøyet i henhold til antatte historiske nivå og områder uten oppdrett (se Finstad et al. 2011 og data fra kontrolllokalitetene i 2011). Det betyr at den laveste satte grenseverdien for lakselusinfeksjon muligens vil kunne påvirke ville bestander noe. Likevel betyr dette at en antar at de fleste populasjonene over tid vil kunne tåle at inntil 10 % av individene i en populasjon påvirkes noe. I praksis betyr dette at én av ti mindre sjørøtter (rundt 100 g) ”aksepteres” å ha mer enn 10 lus, og at én av 10 større veteraner av sjørøtt (rundt 1000 g) ”aksepteres” å ha opp mot 100 lus. Dette vil antakeligvis kunne påvirke disse individene negativt både mht. fysiologisk homeostase, og i verste fall også reproduksjon (se Finstad et al. 2011, Tveiten et al. 2010). Det er mulig at dette også vil kunne ha en effekt på bestanden, for eksempel ved redusert eggproduksjon.

Usikkerheten i datagrunnlaget, spesielt effekten på populasjonene over tid, gjør likevel at vi har valgt å inkludere en ytterligere vurdering. Dersom mellom 10–30 % av vill laksefisk i et område har  $> 0,1$  lus/g har vi vurdert sannsynligheten for bestandsregulerende effekt som moderat, men egentlig er dette først og fremst et usikkerhetsestimat. Dersom  $> 30 \%$  av fisken har mer enn 0,1 lus/g har vi vurdert sannsynligheten for bestandsregulerende effekt som høy. 30 %-grensen vil ofte indikere en begynnende epidemi, og i praksis betyr at 3 av 10 mindre sjørøtt/sjørøyer ofte har betydelig mer enn 10 lus. Samtidig betyr dette at 3 av 10 modnende sjørøtter/sjørøyer (kilofisk) ofte har rundt 100 lus. Data fra Tveiten et al (2010) viser at dette påfører modnende fisk store osmoregulatoriske påkjenninger og akutt dødelighet, og påvirker total fekunditet (eggproduksjon) negativt, kanskje med rundt 20 % i de individene som har denne infeksjonsdosen.

Når det gjelder datagrunnlaget på vill laksesmolt, både eksperimentelt og i feltundersøkelser, er dette mer usikkert enn for sjørøtt og sjørøye. Deler av eksperimentene som indikerer begynnende fysiologiske problemer ved 0,1 lus/g fiskevekt er gjennomført på relativt små oppdretta laksesmolt (Wagner et al 2003, 2004, 2008). I tillegg har det blitt gjennomført eksperimenter på lab og i felt på vill laksesmolt (se Finstad et al. 2011). Disse viser eksperimentelt (i lab) at vill laksesmolt fra Vestlandet dør med rundt 10 lus. I tillegg er det aldri blitt fanget postsmolt i åpent hav med mer enn 10 lus, og de som har hatt opp mot 10 lus har vært i dårlig forfatning.

For å få en omforent indikator og grenseverdi for all vill laksefisk i Norge (i Havforskningsinstituttets risikovurdering), ble det benyttet samme grenseverdi for alle tre laksefiskartene. Siden vi anser dette for å være mest usikkert hos vill laksesmolt, har vi imidlertid også inkludert en vurdering av % laksesmolt med mer enn 10 lus som tilleggskriterium (bakgrunnsmateriale for Taranger et al. 2011).

**Tabell 3.2.1**

Terskelverdier (% fisk i undersøkelsene med 0,1 lus/g fiskevekt) for sannsynlighet for populasjonsregulerende effekt av lakselus fra Havforskningsinstituttets risikovurdering (Taranger et al. 2011).

| Risiko (sannsynlighet) for populasjonsregulerende effekt | Terskelverdi lakselusinfeksjon vill laksefisk |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Høy                                                      | > 30 % > 0,1 lus/g fiskevekt                  |
| Moderat (usikker)                                        | 10–30 % > 0,1 lus/g fiskevekt                 |
| Lav                                                      | < 10 % > 0,1 lus/g fiskevekt                  |

I Havforskningsinstituttets risikovurdering (Taranger et al. 2011) er det understreket at grenseverdiene bør justeres så snart nye data foreligger. Det er også understreket at på sikt er det også helt nødvendig å utvikle metoder og modeller som på en indirekte, enkel og kostnadseffektiv måte kan overvåke flere områder langs norskekysten og gi råd om bærekraft for enkeltfjorder, fjordsystemer eller produksjonsområder.

*Vitenskapelig råd for lakseforvaltning (VRL) sin Kvalitetsnorm for laks - anbefalinger til system for klassifisering* (forkortet utdrag fra Anon. 2011a):

Basert på en rekke undersøkelser av effekter av lakselus (mobile stadier) på laksefisk under norske forhold (Grimnes & Jakobsen 1996, Grimnes mfl. 1996, Bjørn & Finstad 1997, Holst & Jakobsen 1999, Finstad mfl. 2000, 2011, Holm mfl. 2000, Bjørn mfl. 2001, Holst mfl. 2003, Wagner mfl. 2003, 2004, Wells mfl. 2006, 2007, Tveiten mfl. 2010, Finstad & Bjørn 2011) er det estimert en grenseverdi for effekter på fisk på 0,10 lus/gram fiskevekt som et mål på begynnende fysiologiske effekter (Wagner mfl. 2003, 2004, 2008, Wells mfl. 2006, 2007) og til dels betydelige (Tveiten mfl. 2010) negative effekter på laksefisk. Det kan også nevnes tilleggsstudier fra andre land som går inn på samme problemstilling (Johnson & Fast 2004, Fast mfl. 2006, Nolan mfl. 1999).

Den tilgjengelige litteraturen, både fra undersøkelser i Norge og internasjonale studier, gir således støtte for at 0,1 lus/gram fiskevekt er en egnet modalgrense (midtverdi) mellom liten og moderat effekt på individnivå (se Wagner mfl. 2008). Gitt den variasjon som finnes i effekt, forårsaket av variasjon i miljøforhold, virulens og fiskens tilstand både i eksperimentene og i naturen, foreslås det at liten effekt oppstår i intervallet mellom 0,05 og 0,15 lus/gram fiskevekt. Det følger av dette at vi anser at nivåer lavere enn 0,05 lus/gram fiskevekt ikke har negativ effekt. For infeksjonsnivåer over 0,1 lus/gram fiskevekt vil effekten gradvis øke til det oppstår en klinisk infeksjon og dødelighet (Wagner mfl. 2008). Dødeligheten er i hovedsak registrert i relativt kortvarige forsøk og det kan være grunn til å anta at vill fisk i naturen vil ha økt dødelighet på lavere nivåer enn forsøkene tilsier i forbindelse med additive påvirkningseffekter (Ibrahim mfl. 2000, Finstad mfl. 2007). VRL setter derfor grensen mellom moderat og stor effekt på 0,3 lus/gram fiskevekt. Samlet gir dette følgende grenseverdier for effekt av luseinfeksjoner på individnivå:

|                           | Ingen effekt | Liten effekt | Moderat effekt | Stor effekt |
|---------------------------|--------------|--------------|----------------|-------------|
| Antall lus/gram fiskevekt | < 0,05       | 0,05 - 0,14  | 0,15 - 0,3     | > 0,3       |

Her må alle stadier av lakselus på fisk medregnes. Påslag av larvestadiene leder ikke til umiddelbar død. I beregningen er det antatt at dødeligheten fra larvestadiene (copepoditter og chalimus) til mobile stadier er tilnærmet lik null. Dødelighet hos fisk vil først inntreffe når larvene har utviklet seg til mobile stadier. Utviklingshastigheten er avhengig av vanntemperaturen slik at en postsmolt som får påslag av lus i kaldt vann, vil få effekter senere enn en postsmolt i varmere vann. Det er vist at utviklingstiden fra det frittlevende 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). Utviklingen fra copepoditt til voksen hunnlus tar henholdsvis 69, 44 og 18 dager ved 7, 10 og 17 °C. I henhold til Asplin & Sandvik (2009) kan lakselus spres med mer enn 2 km/t i vannmassene i en fjord og kan potensielt spres mer enn 100 km i vannmassene. Ved lavere temperaturer kan man forvente et større spredningspotensial på grunn av lengre utviklingstid for de ulike frittlevende stadiene.

For at grenseverdier på individnivå skal kunne knyttes opp mot kvalitetsnormene for laks er det nødvendig å vurdere effekten på bestandsnivå. For å gjøre dette må grenseverdier på individnivå kombineres med kunnskap om andelen fisk i de ulike effektgruppene (ingen, liten, moderat og stor effekt). En utfordring er at fiskeparasittpopulasjoner nesten alltid er skjevt fordelt (negativ binomialfordeling), som i praksis betyr at de fleste fiskene har få parasitter mens enkelte fisk har mange parasitter (Costello 1993). For å dokumentere et gjennomsnitt i slike fordelinger må antall fisk som undersøkes være relativt høyt, fordi det er viktig å få med et representativt utvalg av de få (sjeldne) fiskene som har mange parasitter og som igjen er viktige for beregningen av gjennomsnittet.

Med utgangspunkt i at det skaffes et tilstrekkelig stort og representativt utvalg av utvandrende laksesmolt fra en bestand, har vitenskapsrådet vurdert flere strategier for hvordan effekter på individnivå kan overføres til bestandsnivå som grunnlag for klassifisering av påvirkningens effekt på bestandene. VRL har benyttet data fra tråltokt til å evaluere hvordan ulike beregningsmetoder kategoriserer påvirkningsgraden (se vedlegg 3 i Anon 2011). Konklusjonen er at medianverdien i prøven nesten alltid gir lik klassifisering som mer komplekse beregningsmetoder. Dette samsvarer med generell statistisk kunnskap som tilsier at medianverdien gir et bra uttrykk for tyngdepunktet i en negativ binomialfordeling (se Zar 1999). Ordinært gjennomsnitt (aritmetisk) ga nesten alltid en strengere klassifisering av effekt enn de andre tilnærmingene og ble forkastet. Fordi vi anser enkle systemer som bedre enn komplekse, anbefaler vitenskapsrådet at median lus/gram fiskevekt benyttes i klassifisering av effekt. Dette innebærer at median lusenivå i et representativt utvalg av postsmolt fra en bestand plasseres i en av de fire effektklassene i samsvar med grenseverdiene beskrevet ovenfor. For å etablere sammenhengen mellom denne klassifiseringen og oppnåelse av kvalitetsnorm gytebestandsmål må vi vurdere hva slags effekt en gitt median effekt av lus i en bestand har for oppnåelse av gytebestandsmålet.

Det er generelt antatt at laksebestander ikke er tetthetsregulert i marin fase, og det er vist fra Imsa i Rogaland at det er en lineær sammenheng mellom antall smolt som forlater elva og antall gytefisk som returnerer (Jonsson mfl. 1998). Dette innebærer at det er rimelig å anta at det er direkte proporsjonalitet mellom antall smolt som vandrer ut og antall fisk som returnerer, og videre at en 10 % ekstra dødelighet i en bestand av utvandrende smolt reduserer antall gytefisk tilbake til elva med 10 %. Den ekstra dødeligheten kompenseres altså ikke med økt overlevelse på gjenværende fisk.

Med en slik proporsjonalitet kan median lus/gram postsmolt i et representativt materiale knyttes direkte til oppnåelse av gytebestandsmålet. Dersom median lusenivå er høyere enn 0,3 lus/gram fiskevekt i en bestand anser vi det som sannsynlig ut fra gjennomgangen ovenfor at oppnåelsen av gytebestandsmålet (etter normal beskatning) vil reduseres så mye at kvalitetsnormen blir kategorisert som moderat eller dårligere og effekten av påvirkningsfaktoren lus er stor.

Vitenskapsrådet foreslår derfor at median antall lus (alle stadier)/gram fiskevekt i en mest mulig representativ prøve fra utvandrende laksesmolt brukes som måleparameter for påvirkningsfaktor lakselus. Følgende grenseverdier og klassifisering foreslås:

|                                  | Ingen effekt | Liten effekt | Moderat effekt | Stor effekt |
|----------------------------------|--------------|--------------|----------------|-------------|
| Median antall lus/gram fiskevekt | < 0,05       | 0,05 - 0,15  | 0,16 - 0,3     | > 0,3       |

Det forutsettes at prøvestørrelsen er tilstrekkelig stor (forslagsvis minst 100 fisk), at fisken samles i hovedtyngden av utvandningsperioden, og at innsamlingene konsentreres til ytre deler av utvandningsruten slik at det faktiske infeksjonstrykket som fisken opplever blir best mulig representert.

VRL vurderer ikke hva slags innsamlingsstrategi som bør velges, men påpeker at der det mangler observasjoner bør være mulig å kategorisere ut fra data fra annen laksefisk som garnfiske av sjørret og sjørøye, burforsøk (se Anon. 2010) og observasjoner fra oppdrettsfisk (volum og lusenivå).



### 3.3 Sammenligning av HIs risikovurdering og VRLs kvalitetsnorm

Ut fra argumentasjonen sitert over har Vitenskapelig råd for lakseforvaltning anbefalt (VRL; Anon. 2011a) bruk av medianverdi av smitteintensitet (lus/g fisk) for å klassifisere effekt av lus på vill laksefisk (tabell 3.3.1). En medianverdi på 0,3 lus/g betyr at 50 % av populasjonen har 0,3 lus/g eller mer. VRL estimerer også i et vedlegg i samme rapport hvor stor andel laksesmolt en kan forvente dør ved ulike smitteintensitet.

VRL har også i rapporten foreslått definisjoner på ingen, liten, moderat og stor effekt på populasjonen i form av dødelighet med hhv. 0 % = ingen, under 10 % = liten, mellom 10 og 30 % moderat og > 30 % = stor effekt, som korresponderer til denne kvalitetsklassifiseringen (tabell 3.3.2).

**Tabell 3.3.1**

VRL sin vurdering av effekt av lakselus på populasjoner av vill laksefisk basert på medianverdier for lus/g fisk.

|                                  | Ingen effekt | Liten effekt | Moderat effekt | Stor effekt |
|----------------------------------|--------------|--------------|----------------|-------------|
| Median antall lus/gram fiskevekt | < 0,05       | 0,05 - 0,15  | 0,16 - 0,3     | > 0,3       |

**Tabell 3.3.2**

Omregning fra infeksjonsgrad til populasjonseffekt (% økt dødelighetsrisiko) med et estimat ved ulike medianverdier her for ingen, liten, moderat og stor effekt på populasjon av vill laksesmolt basert på VRL 2011.

|                                                  | Ingen effekt | Liten effekt | Moderat effekt | Stor effekt |
|--------------------------------------------------|--------------|--------------|----------------|-------------|
| Median antall lus/gram fiskevekt                 | < 0,05       | 0,05–0,15    | 0,16 - 0,3     | > 0,3       |
| Økt risiko for dødelighet                        | 0            | 5 %          | 20 %           | 50 %        |
| Økt dødelighet (%) i populasjon grunnet lakselus | 0 %          | <10 %        | 10–30 %        | >30 %       |

Havforskningsinstituttet opererer i sin risikovurdering i 2011 med tre risikokategorier basert på grensen på 0,1 lus/g for begynnende fysiologisk effekt på laksefisk og prosent av populasjonen med smittepress over denne grensen; < 10 % = lav, mellom 10 og 30 % = moderat og > 30 % = høy sannsynlighet for bestandsregulerende effekt av lus på vill laksefisk (tabell 3.3.3). Dette er beskrevet som en konservativ grense som også skal ivareta stor kjønnsmodnende sjørørret og sjørøye i forhold til sannsynlige negative effekter på eggproduksjon.

I tabell 3.3.3 har vi sammenlignet VRL sin klassifisering fra 2011 med HI sine verdier fra 2011, der en bare bruker tre kategorier for effekt på bestand; lav, moderat og høy. Som en ser opererer HI med en grense på 0,1 lus/g på hhv. 10 og 30 % av populasjonen, der 30 % er definert som høy sannsynlighet, mens VR sin modell refererer til grenseverdi for smittepress på hhv 0,05 lus/g og 0,3 lus/g på 50 % av populasjonen. HI sin vurdering der dermed mer streng enn VRL sin vurdering, delvis da HI har en indeks som skulle dekke alle størrelser av laksefisk (sjørørret og sjørøye) mens VRL sin indeks skulle dekke utvandrende laksesmolt (postsmolt).

**Tabell 3.3.3**

Sammenligning av VRL sine grenseverdier med HI sin risikovurdering i 2011 hvis en bare bruker 3 kategorier.

| Kilde              | Lav                       | Moderat              | Høy                     |
|--------------------|---------------------------|----------------------|-------------------------|
| VRL (median; 50 %) | < 0,05 lus/g              | 0,05 – 0,3 lus/g     | > 0,3 lus/g             |
| HI (% over)        | Under 10 % over 0,1 lus/g | 10-30 over 0,1 lus/g | Over 30% over 0,1 lus/g |

For å illustrere forskjellene ytterligere kan en stipulere ulike sannsynligheter for dødelighet ved ulike kombinasjoner av smitteintensitet og andel av populasjonen med denne intensiteten (VRL; tabell 3.3.4 og HI; tabell 3.3.5). Dette er bare tenkte eksempler for å se hvordan de to modellene kan slå ut og ikke en konkret vurdering av reell dødelighetsrisiko!

**Tabell 3.3.4**

VRL sine grenseverdier (basert på utvandrende laksesmolt, postsmolt) satt inn i en forenklet risikomatrix for dødelighet tilpasset 3 kategorier. Dødelighet er stipulert i gitt del av populasjon hvis den andelen av populasjonen har den smitteintensiteten (i lus/g). Fargene indikerer risikoklasse moderat (gul) og lav (grønn) for den delen av populasjonen som er angitt. For å få den samlede dødeligheten i populasjonen må en legge sammen resultatene fra hver smitteintensitet basert på den prosentandel i populasjonen som har det smittetrykket. Eksempelvis ved median 0,3 lus er det også store deler av populasjonen som sannsynligvis har 0,2-0,3 og 0,1-0,2 lus, disse får også en økt dødelighet slik at summen for hele populasjonen da blir høyere enn 0,25 og havner i rød kategori (> 30 % dødelighet).

| % av populasjon med gitt smitte                         | Økt dødelighet (%) i fraksjon av populasjon |               |            |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------|------------|
| 50 %                                                    | 2,5 (%dødelighet)                           | 10            | 25         |
| 40 %                                                    | 2                                           | 8             | 20         |
| 30 %                                                    | 1,5                                         | 6             | 15         |
| 20 %                                                    | 1                                           | 4             | 10         |
| 10 %                                                    | 0,5                                         | 2             | 5          |
| Smitteintensitet                                        | 0,1-0,2 lus/g                               | 0,2-0,3 lus/g | >0,3 lus/g |
| Økt risiko for dødelighet (%) ved gitt smitteintensitet | 5                                           | 20            | 50         |

**Tabell 3.3.5**

HI sine grenseverdier fra risikovurderingen satt inn i en forenklet risikomatrix. I HI sin modell var det ikke gitt en relasjon til % dødelighet, kun sannsynlighet for en effekt på populasjon av laks, sjørørret eller sjørøye av alle størrelsesgrupper i motsetning til VRL sin modell som omhandlet utvandrende laksesmolt.

| % av populasjon med gitt smitteintensitet |               |               |            |
|-------------------------------------------|---------------|---------------|------------|
| 50 %                                      |               |               |            |
| 40 %                                      |               |               |            |
| 30 %                                      |               |               |            |
| 20 %                                      |               |               |            |
| 10 %                                      |               |               |            |
| Smitteintensitet                          | 0,1-0,2 lus/g | 0,2-0,3 lus/g | >0,3 lus/g |

*En videreutvikling av modellene til VRL og HI kan tenkes som følger:* Ut fra foreliggende data kan det se ut som laksesmolt har høy sannsynlighet for dødelighet ved lusesmitte over 0,3 lus/g hvis disse utvikler seg til mobile lus. Dette er delvis underbygget av maks antall lus en har funnet på postsmolt i havet, og i laboratoriestudier med innsamlet vill laksesmolt med lus (ca. 10 lus/smolt som diskutert over). En kan tenke seg en gradvis reduksjon i risiko for dødelighet når infeksjonstrykket synker fra 0,3 lus/g til 0,2 lus/g og videre til 0,1 lus/g.

Hvis en legger til grunn at økt dødelighetsrisiko grunnet lakselus er 100 % over 0,3 lus/g, og 50 % mellom 0,2 og 0,3 lus/g, 20 % mellom 0,1 og 0,2, og 0 % under 0,1 lus/g kan en skissere et alternativ estimat for dødelighetsrisiko ved ulikt smittepress (tabell 3.3.6).

**Tabell 3.3.6**

Nye estimat for % dødelighet i gitt del av populasjon hvis andelen av populasjonen har den smitteintensiteten (i lus/g). Fargene angir risikoklasse høy (rød), moderat (gul) og lav (grønn) for den delen av populasjonen som er angitt. For å få den samlede dødeligheten i populasjonen må en legge sammen resultatene fra hver smitteintensitet basert på den prosentandel i populasjonen som har det smittetrykket.

| % av populasjon med gitt smitte                     | Økt dødelighet (%) i fraksjon av populasjon |               |            |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------|------------|
|                                                     | 10 (%dødelighet)                            | 25            | 50         |
| 50 %                                                | 10 (%dødelighet)                            | 25            | 50         |
| 40 %                                                | 8                                           | 20            | 40         |
| 30 %                                                | 6                                           | 15            | 30         |
| 20 %                                                | 4                                           | 10            | 20         |
| 10 %                                                | 2                                           | 5             | 10         |
| Smitteintensitet                                    | 0,1-0,2 lus/g                               | 0,2-0,3 lus/g | >0,3 lus/g |
| Økt risiko for dødelighet ved gitt smitteintensitet | 20 %                                        | 50 %          | 100 %      |

Her er grensen for stor bestandsregulerende effekt satt til 30 % (rød), og moderat til 10 % (gul) som i VRL rapporten. Den nye modellen bygger på at en tenker at et smittepress på 0,3 lus på 50 % av populasjonen (som tilsvare medianverdien til VRL) vil føre til 50 % redusert eggproduksjon og/eller dødelighet i populasjonen som helhet hvis resten av populasjonen er helt uten lus (dvs. at alle over 0,3 lus/g dør eller ikke klarer å reproducere seg).

For å estimere den totale effekten av lakselus på populasjonen i tabell 3.3.6 må en summere sammen dødelighetsestimatene for de ulike andelen av populasjonen som har et gitt smittepress i lus/g. Et tenkt eksempel er at 20 % av populasjonen har > 0,3 lus/g, 10 % ligger mellom 0,2 og 0,3 lus/g, og 10 % mellom 0,1 og 0,2 lus/g, mens 60 % ligger under 0,1 lus/g. Da vil den estimerte totale økte dødeligheten for hele populasjonen bli  $20 + 5 + 2 + 0 = 27$  %, og sluttvurderingen vil være moderat effekt (gul).

Denne vurderingen er noe mer konservativ (streng) enn VRL som estimerer 30 % reduksjon i populasjon ved median 0,3 lus/g mot 50 % reduksjon med ny modell (hvis en bare tar hensyn til dødeligheten over 0,3 lus/g), pluss at her tar en også hensyn til økt dødelighetsrisiko av infeksjon under 0,3 lus/g. Et konkret forslag til grenseverdier er gitt i kapittel 3.4.

### 3.4 Indikatorer basert på en kombinasjon av smittedata og smittemodeller

Oppdretterne har lenge vært pålagt å telle og rapportere lus fra sine oppdrettsanlegg. Fra første januar 2012 er oppdretterne pålagt å telle og rapportere lus hver uke når temperaturen er over 10 °C. For de fleste oppdretterne i den sørlige halvdelen av landet betyr det i praksis nå at halve anlegget telles en uke og den andre halvdelen påfølgende uke fra tidlig på våren og til langt ut på høsten. I tillegg har tilgangen til oppdaterte data over produksjon (biomasse og antall fisk m.m.), og rapporterte lusetall på hvert enkelt anlegg blitt betydelig bedre og lettere tilgjengelig de senere årene.

#### Kjernetetthetsmodeller

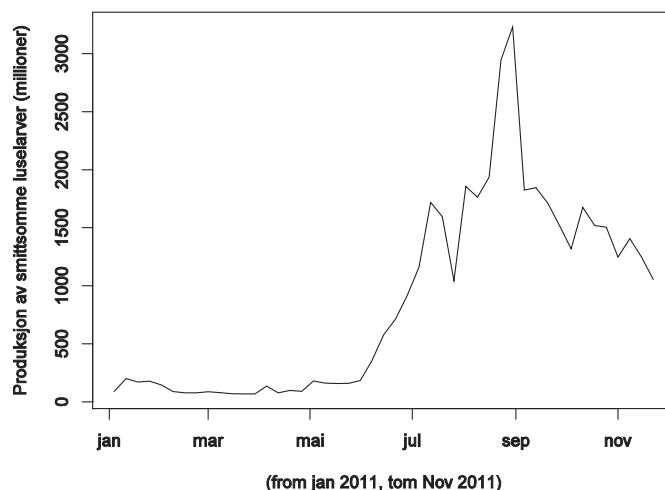
Disse tallene har Veterinærinstituttet (VI) og samarbeidspartnere utnyttet i nye analyser (Jansen et al. 2012). De dokumenterer, for første gang, at infeksjonsnivå og bekjempelsesintensitet i enkeltanlegg har en klar sammenheng med generell oppdrettstetthet i nærheten av anlegget. De indikerer i tillegg at oppdrettstetthet og lakselusinfeksjon kan nå en terskelverdi som funksjonelt kan begrense bærekraftig oppdrettsproduksjon innen et gitt område. Tettheten av smittsomme luselarver i miljøet vil være avgjørende for påslaget av lakselus både på vill og på oppdrettet fisk. Slik tetthet kan betegnes som smittepresset av lus, og det er dette smittepresset man ideelt sett bør ha kontroll med. Vi redegjør her for metoder for beregning av smittepress av lakselus i tid og rom, og for hvordan slike beregninger kan anvendes som en varslingsindikator når smittepresset overstiger gitte grenseverdier i gitte områder.

Kravene til telling og rapportering av lakselusinfeksjoner i oppdrettsnæringen er skjerpet. Den store forskjellen fra tidligere er hyppigere rapportering, og at reelle gjennomsnitt av lusekategorier (voksne hunn lus, mobile lus, fastsittende luselarver) per fisk i anlegget skal rapporteres. Dette siste til forskjell fra tidligere rapportering av månedlig “verste resultat”. Rapportering av reelle gjennomsnitt gjør at man nå kan beregne forekomst av rapporterte kategorier av lus ved alle oppdrettsanlegg som produktet av gjennomsnittlig infeksjon og antallet fisk ved gitt lokalitet. Forekomstene av kjønnsmodne hunn lus kan så benyttes til å modellere produksjonen av smittsomme luselarver, og spredning av disse, som uttrykk for smittepress i miljøet.

Tilgjengelige eksperimentelle data på eggproduksjon hos kjønnsmodne hunner, utviklingstider for ulike demografiske stadier av lakselus og overlevelsesprofiler for lakselus ble revidert av Stien et al. (2005), som også omsatte dette til demografiske populasjonsmodeller for lakselus som tar hensyn til effekter av vanntemperatur. Deler av disse populasjonsmodellene er her benyttet til å beregne produksjon av smittsomme luselarver i området omfattet av soneforskriften for Sunnhordland og Hardanger (FOR-2010-07-14-1123; figur 3.4.3). Antakelsene som ligger til grunn i disse beregningene er (Stien et al. 2005):

- Antallet reprodukerende hunn lus på en oppdrettslokalitet til en gitt tid er produktet av rapportert gjennomsnitt for kjønnsmodne hunn lus og antall fisk på lokaliteten.
- Eggproduksjon og utviklingstider gjennom stadier frem til smittsomt larvestadium er temperaturavhengig og beskrevet av deterministiske funksjoner.
- Dødelighet av før-smittsomme og smittsomme stadier er konstante (hhv. -0,17 og -0,22 per individ og dag) og uavhengige av temperatur.

På bakgrunn av disse antagelsene, samt luserapportering og bestandsrapportering, er larveproduksjonen for hele soneområdet Sunnhordland og Hardanger beregnet for 2011 som summen av produksjon fra alle oppdrettslokaliteter (figur 3.4.1).



**Figur 3.4.1**

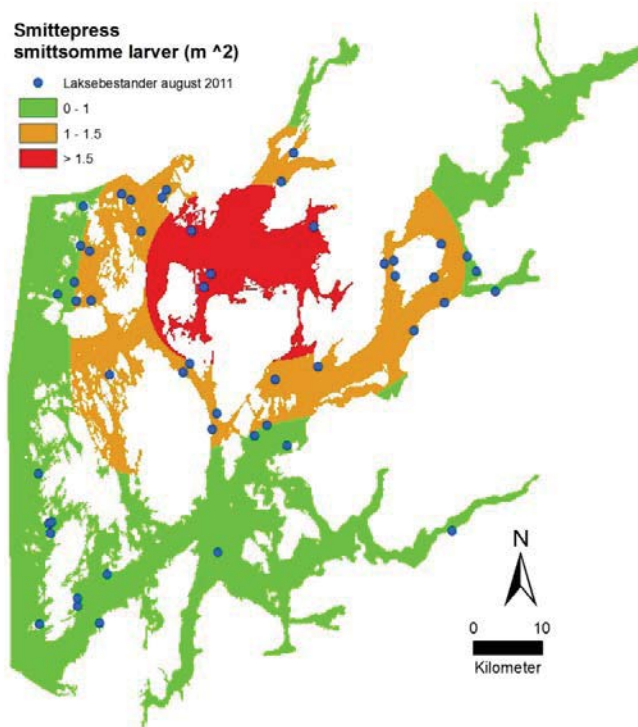
Beregnet produksjon av smittsomme luselarver i alle oppdrettsanlegg med laks i området omfattet av soneforskrift i Sunnhordland og Hardanger for 2011.

Denne figuren viser at kombinasjonen av kontroll med luseinfeksjonene om våren og effekter av temperatur på larveproduksjonen holder smittepresset nede på svært lave nivå inntil juni. En skarp topp i smitteproduksjonen ses mot slutten av august. Smitteproduksjonen i hvert enkelt oppdrettsanlegg, korresponderende i tid til maksimal smitteproduksjon (figur 3.4.1), ble så benyttet til å modellere smittepress ved hjelp av kjernetetthetsfunksjoner i ArcGIS Spatial Analyst (figur 3.4.2). Kjernetetthetsfunksjonen interpolerer larveproduksjonen ut i rom i en radius (her 40 km) ut fra alle produksjonspunkt representert ved oppdrettsanlegg, og vektet slik at de nære omgivelser blir mer påvirket enn fjernere omgivelser. Antakelsen som da ligger til grunn er at larver som produseres i et anlegg spres med like stor sannsynlighet i alle retninger i sjø, men vil ha større sjanse for å befinne seg nært utslippsanlegget enn lenger unna.

Figur 3.4.2 viser utbredelsen av beregnete tettheter av lakselus som overgår 1,5 smittsomme luselarver per kvadratmeter areal (rødt område), utbredelsen av områder med 1–1,5 larver (oransje område) eller områder med mindre enn 1 larve per kvadratmeter (grønt område). Det er også lett å hente ut beregninger av smittepress for

hvert oppdrettsanlegg i området. Dette smittepresset vil da representere forventet eksponering en tid fremover, relativt til utviklingstid fra egg til smittsomme larver samt overlevelsestid for smittsomme larver. Grenseverdiene som reflekteres i kartet er kun satt som eksempler på inndelingen i henholdsvis lave, moderate og høye tettheter av smittsomme luselarver i miljøet.

Vi viser her hvordan man allerede i dag kan beregne smittepress av lakselus i sann tid, og noe frem i tid, basert på det omfattende statistiske materiale som avkreves fra oppdrettsnæringen. Vi foreslår at man utvikler et slikt system til bruk som varslingsindikator for forvaltningsmyndighetene. Beregninger og prognoser for smittepress kan vises i interaktive kart. Slike kart kan også tenkes å vise tettheter av alle lusestadier, og behandlingsrelevante data som kvantiteter av virkestoff som benyttes, eller følsomhet hos lus for ulike virkestoff.



**Figur 3.4.2**

Kartet viser et eksempel på utbredelsen av områder karakterisert ved henholdsvis lave, moderate og høye tettheter av smittsomme lakseluslarver (copepoditter) i slutten av august 2011. Blå sirkler representerer oppdrettsanlegg med bestand av oppdrettslaks og rapporterte luseinfeksjoner.

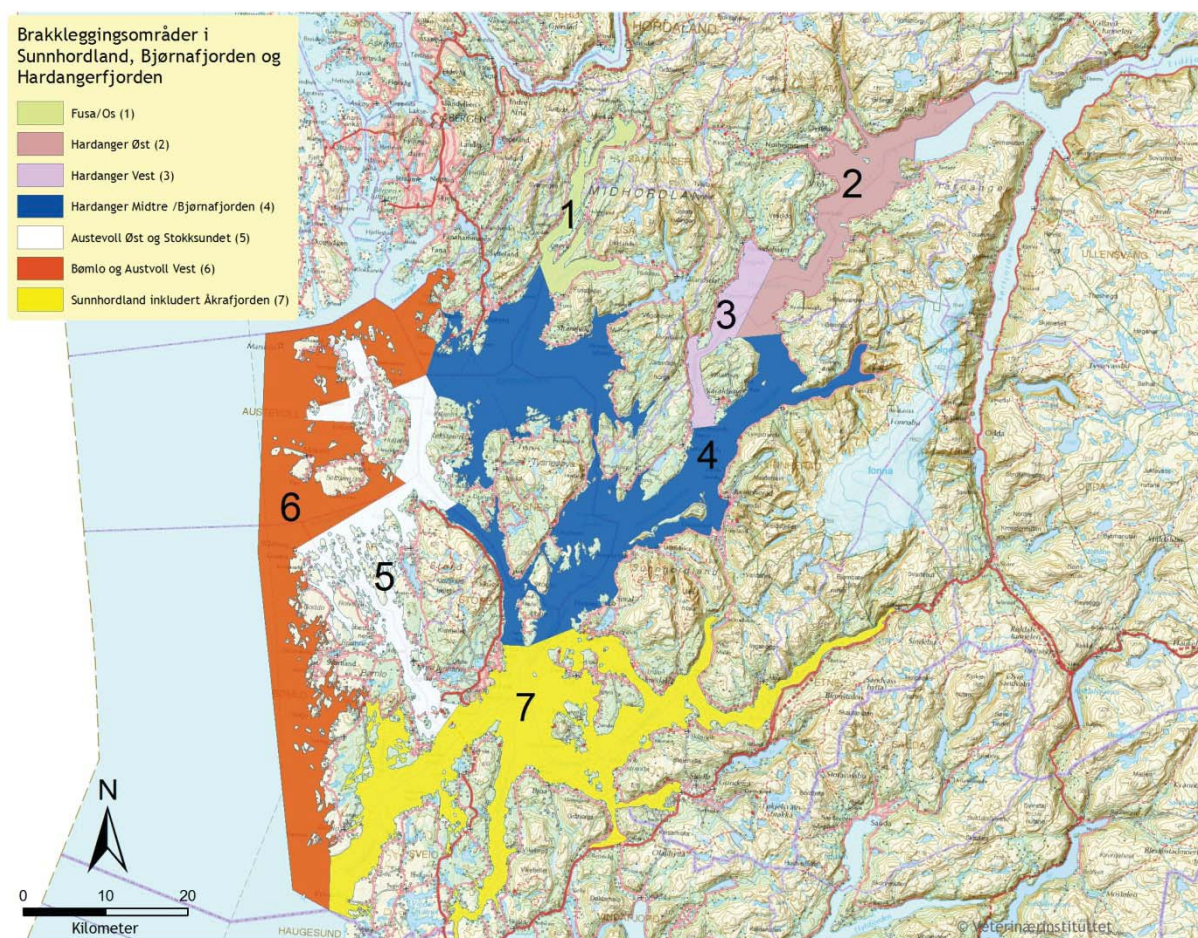
#### *Hydrografisk smittespredningsmodell*

Havforskningsinstituttet og samarbeidspartnere har på tilsvarende vis benyttet reelle data over antall oppdrettslaks i enkeltanlegg og produksjon av infeksjonsstadier av lakselus fra enkeltanlegg, til å modellere smittespredning og smittedoser fra reelle oppdrettsanlegg i Hardanger. Samtidig har det blitt samlet inn data over smittepress i miljøet gjennom "vaktbur" og på vill sjørret og laksesmolt i Hardanger (Oppsummert i fellesbrev fra HI og VI datert 16.03.12).

For å få kontroll med lusesituasjonen i de områdene av landet som hadde størst problemer med høye lusetall og resistens, har Mattilsynet (MT) vedtatt soneforskrifter i to områder av landet. Formålet med forskriften er å samordne tiltak mot lakselus i sonen for å hindre at parasitten har bestandsregulerende effekt på vill laksefisk og for å forhindre skader på laksefisk i akvakulturanlegg, samt å begrense resistensutvikling og spredningen av resistent lus.

Dette er tenkt oppnådd ved koordinert bekjempelse innen koordineringsområder og synkronisert brakklegging av brakkleggingsområder i henhold til en på forhånd bestemt plan. Soneforskriften i Hordaland og Rogaland er delt opp i 7 brakkleggingsområder (figur 3.4.3). Område 1, 3 og 7 skulle brakklegges første gang i mars 2011, område 2 og 5 i august 2011, område 4 i mars 2012 og område 6 i august 2012.

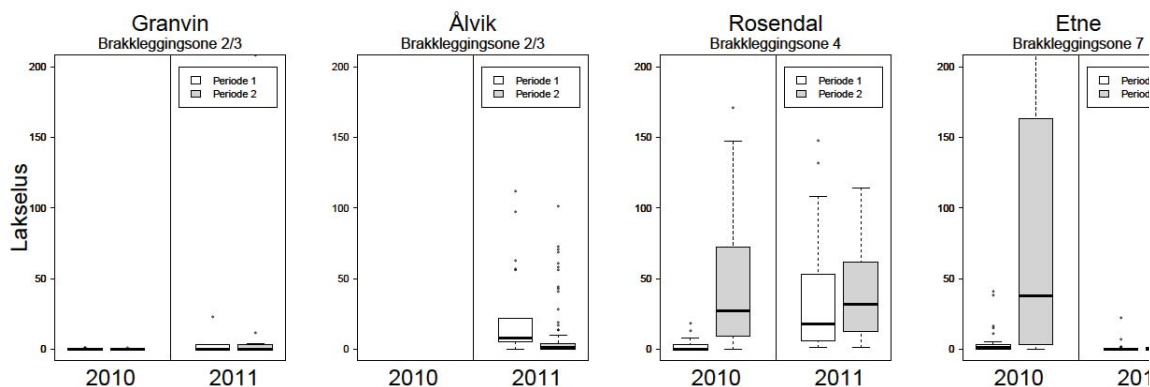




**Figur 3.4.3**  
Brakkleggingsområdene 1-7 i Hordaland og Rogaland.

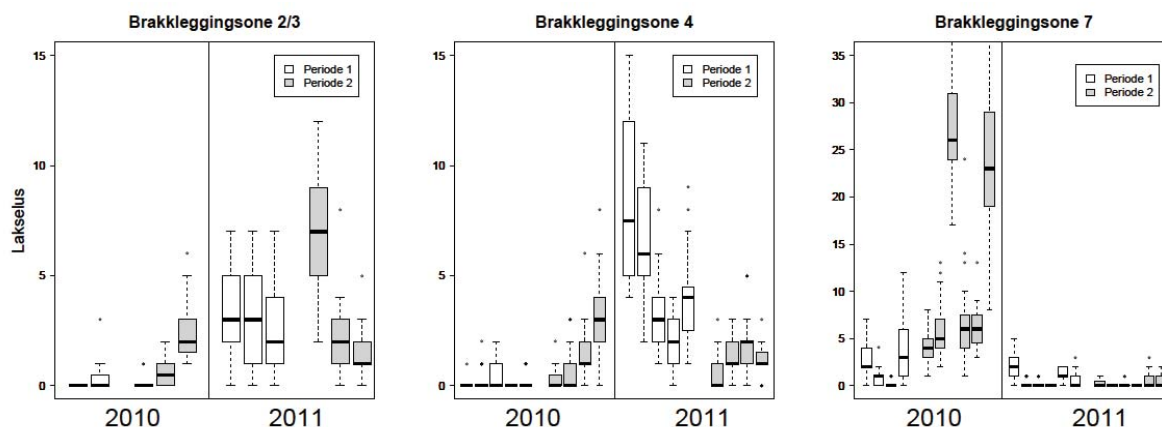
Lakselus på vill laksefisk og i "vaktbur med oppdrettssmolt" har årlig blitt undersøkt i slutten av mai (under laksesmoltenes hovedutvandring) og sist i juni (under sjøoppholdet til sjørørreten) innerst (brakkleggingsområde 2/3), i midten (brakkleggingsområde 4) og ytterst (brakkleggingsområde 7) i Hardangerfjorden (Oppsummert i fellesbrev fra HI og VI datert 16.03.12). Siden dette er gjort omtrent likt både før brakklegging (2010) og etter brakklegging (2011), kan disse dataene benyttes til å vurdere den samlede effekten av brakkleggingen og andre tiltak på infeksjonspresset fra lakselus i Hardangerfjordssystemet.

Våre foreløpige data indikerer at infeksjonspresset i tid, rom og intensitet i Hardangerfjordssystemet i 2011 var svært forskjellig fra 2010. Analysene indikerer at dette kan ha sammenheng med den samlede effekten av brakklegging og andre tiltak som ble gjennomført for i mars 2011 (brakkleggingsområde 7). Brakkleggingen og andre tiltak ser ut til å ha hatt en svært gunstig effekt på smittepresset i ytre Hardanger. Det ble funnet svært lite lus på vill sjørørret og i vaktburene (utsatt laksesmolt) sammenlignet med i 2010 (figur 3.4.4 og 3.4.5), og det er også sannsynlig at laksesmolten fra Etneelva har vandret ut av fjorden uten for mye lus. Oppbygging av stor biomasse og stor fisk med mye voksne lus (brakkleggingsområde 4), synes imidlertid å ha ført til tidlig, høyt og langvarig smittepress i midtre i Hardanger i 2011 sammenlignet med 2010. Vill laksesmolt som har vandret ut gjennom indre og midtre Hardangerfjorden er derfor sannsynligvis blitt høyt infisert i 2011. Samtidig har sjørørret i indre og midtre Hardanger blitt utsatt for en langvarig og høy infeksjonsbelastning. Sannsynligheten for bestandsregulerende effekter av lus i Hardangerfjorden i 2011 vurderes derfor totalt fortsatt til å være høy både for laks og spesielt for sjørørret. Det er lite sannsynlig at brakklegginga og andre tiltak totalt sett har hatt ønsket effekt, fordi positive effekter av redusert oppdrettsbiomasse og infeksjonspress i ytre Hardanger (brakkleggingszone 7) synes å ha blitt oppveid av økt oppdrettsbiomasse og infeksjonspress i midtre (brakkleggingszone 4) og indre Hardanger.



**Figur 3.4.4**

Infeksjon hos all fanga sjørørret (også uinfisert fisk) i Granvin, Ålvik (sone 2), Rosendal (sone 4) og Etne (sone 7) før (2010) og etter (2011) innføringen av soneforskriften i Hardangerfjordsystemet (medianverdi vist som strek, boksen viser +/- 50 % av observasjonene og feilgrensene indikerer totalspredningen utenom ekstremverdier som er vist som enkeltpunkt). Sjørørreten er fanget med garn og ruse i siste del av mai og juni 2010 og 2011. Sone 7 (Etne) var brakklagt i mars 2011.



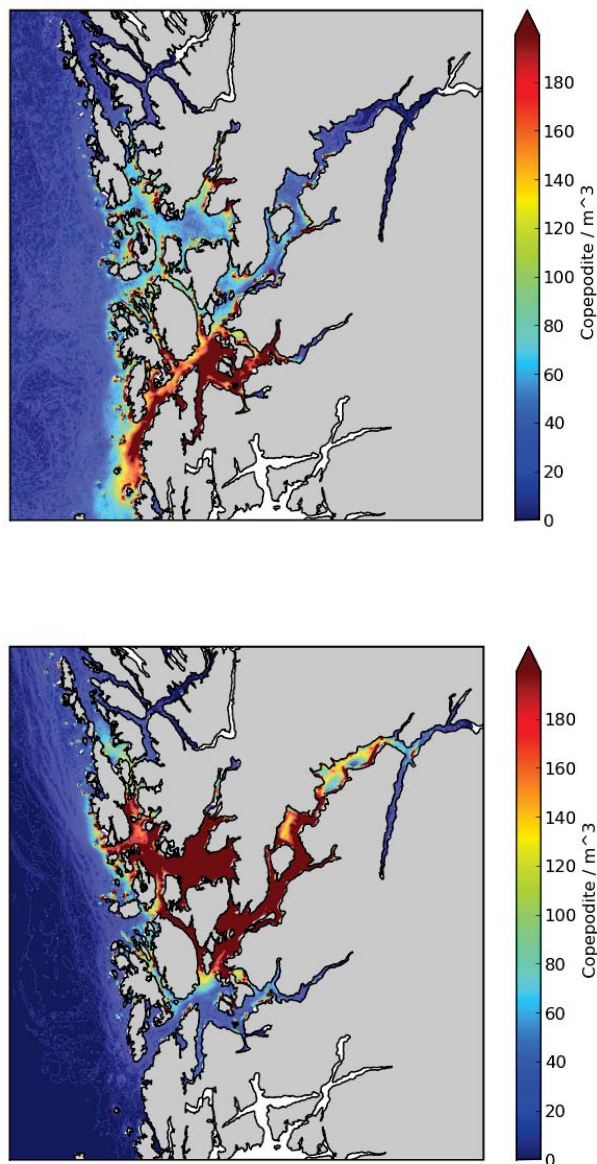
**Figur 3.4.5**

Infeksjon hos all burfisk (også uinfisert fisk) i hvert enkelt bur i de forskjellige brakkleggingssonene i 2010 (før) og 2011 (etter) innføringen av soneforskriften. Periode 1 er i mai, mens periode 2 er i juni.

For å verifisere endringene i infeksjonsmønsteret før (2010) og etter (2011) brakkleggingen, har vi i tillegg simulert smittespredning for våren 2010 og våren 2011 med sprednings- og smitte modeller. Dette har vi gjort med basis i reelle posisjoner og reelle lakselus- og biomassedata fra alle oppdrettsanleggene innen soneforskriftsområdene (Oppsummert i fellesbrev fra HI og VI datert 16.03.12). Resultatene er relative i forhold til modellresultatene i den forstand at de viser forskjeller i rom og tid, men at de kan avvike fra en reell absolutt mengde lakseluscopepoditter i fjorden. Det pågår et internasjonalt samarbeid om hvordan man best mulig kan framstille resultater fra lakselusspredningsmodeller, og det er mange valg som kan gjøres i forhold til hvilke tidsperioder som skal midles over eller hvordan dødelighet skal representeres.

Resultatene viser at de fleste copepodittene transporteres relativt kort fra kilden mens et mindretall vil kunne spres svært langt. Den samlede fordelingen av lakseluscopepoditter viser at det hovedsakelig var høye konsentrasjoner i ytre del av Hardangerfjorden våren 2010 (brakkleggingssone 5 og 7). Våren 2011 var det høy konsentrasjoner i midtre og indre del av Hardangerfjorden samt i Bjørnefjorden (brakkleggingssone 2, 3, 4, 5 og 6). I brakkleggingssone 7 var det lave konsentrasjoner våren 2011. Denne forskjellen på hvor en finner høyest konsentrasjon av lakseluslarveproduksjon fra 2010 til 2011, gjenspeiler sannsynligvis innføring av synkronisert produksjon og brakklegging i dette området (figur 3.4.6.).

Det gjenstår mye utviklingsarbeid. Vi har likevel, for første gang, dokumentert en sammenheng mellom intensiv oppdrettsproduksjon, smittespredning fra nærliggende oppdrettsanlegg og smitte på vill laksefisk og i vaktbur. Smittespredningsmodeller har derfor betydelig potensial, gitt at de blir tilstrekkelig validert i flere fjorder og kalibrert mot vill laksefisk, til å fungere som et forvaltningsverktøy for ”produksjonsområder” for hele norskekysten.



**Figur 3.4.6**

Tetthetsplott av infektive lakselus-copepoditter basert på alle realistiske kilder etter 90 dagers simulering mellom april og juni i 2010 (øverst) og 2011 (nederst).

### 3.5 Forslag til indikatorsystem og grenseverdier

En indikator bør gi utslag før det skjer skade slik at tiltak kan utløses. Et indikatorsystem bør derfor bygges opp på varslings og verifisering av mulige brudd av konkrete målsettinger. For lakselus har vi tatt utgangspunkt i målsettinger i regjeringens ”Strategi for en miljømessig bærekraftig havbruksnæring”. Her heter det at sykdom, inklusiv lakselus, ikke skal ha bestandsregulerende effekt på villfisk. Lakselusinfeksjonen på vill laksefisk er derfor en viktig verifisering for om målet er oppnådd, og om iverksatte tiltak er riktige og tilstrekkelige.

Vi foreslår at en tar utgangspunkt i Mattilsynets pågående overvåkningsprogram (OK-program) over lakselusinfeksjonen på vill laksefisk langs norskekysten (Oppsummert i fellesbrev fra HI og VI datert 16.03.12),



samt en revidert versjon av grenseverdiene fra Havforskningsinstituttets risikoanalyse og Vitenskapelige råd for lakseforvaltnings kvalitetsnorm, og i en mellomfase frem til og med 2016 fortsatt benytter dette som en basisovervåkning langs hele norskekysten. Dette er et operativt program (OK-program) som dekker alle fylker langs kysten (se Bjørn et al. 2011 og Taranger et al. 2011 for ytterligere informasjon), og gir viktig trendovervåkning, men det er *ikke* en optimal overvåknings- og forvaltningsløsning for framtiden.

Vi vil derfor foreslå å implementere et nytt modellbasert overvåknings- og forvaltningssystem basert på den nye kjernetetthetsmodellen som varslingsindikatorer, og vill laksefisk som verifiseringsindikator i MTs to soneforskriftsområder av landet, Hordaland og Nord-Trøndelag. Hydrodynamiske smittespredningsmodeller vil parallelt testes i de to soneforskriftsområdene og videreutvikles for å kunne benyttes i verifisering av smittepress på vill laksefisk. Vi foreslår at indikatorsystemet implementeres og testes ut allerede i 2012 og 2013 i de to områdene med forskriftfestet sone (FOR 2010-12-06 nr 1547, og FOR 2010-07-14 nr 1123). Etter erfaringsoppbygging vil systemet valideres og ytterligere kunne kalibreres for hele Norge i 2014-2017. Basisovervåkningen på vill laksefisk kan da i større grad fases ut, og kun benyttes som verifiseringsindikator ved særlig stor usikkerhet eller særlig sårbare bestander.

#### **Kjernetetthetsmodell som varslingsindikator**

Et forvaltningssystem med varslingsindikator slik som skissert i kjernetetthetsmodellen vil fortløpende varsle lokale “epidemier” av lakselus med forventede store lusepåslag. Sammenlignet med i dag, vil dette gi forvaltning og næring et helt nytt verktøy med hensyn til planlegging av tiltak. Man kan tenke seg at prognosen “høye tettheter av smittsomme lakseluslarver” i et område kan utløse:

- varslings til alle lokaliteter omfattet av prognosen
- målretting av tilsyn mot lokaliteter som bidrar spesielt til stor smitteproduksjon
- målretting og synkronisering av tiltak
- strukturelle tiltak

Varsling av høye tettheter av smittsomme lakseluslarver i et område vil endelig utløse økt overvåkningsinnsats mot smittepress i miljøet gjennom smittespredningsmodell og på vill laksefisk – for verifisering og vurdering av effekter på ville laksepopulasjoner.

#### **Vill laksefisk som verifiseringsindikator**

I dag benyttes % innslag over en grenseverdi for en gitt lakselusdose (lus per gram fiskevekt) som en indikator for påvirkning av lakselus på vill laksefisk både i Havforskningsinstituttets (HI) risikovurdering (Taranger et al. 2011) og i ”Kvalitetsnormer for laks – anbefalinger til system for klassifisering av villaksbestander” fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning (VRL) (Anon. 2011a). VRL har imidlertid avgrenset sin vurdering til utvandrende laksesmolt (postsmolt), mens HI også har inkludert andre arter av laksefisk (sjørørret og sjørøye). Grenseverdiene er blant annet derfor noe forskjellige, selv om hovedtilnærmingene er lik. Dette har flere svakheter. I mangel av noe bedre har likevel både HI og VRL valgt denne tilnærmingen som et første forsøk på å kvantifisere effekter, og det er en god basis for en felles omforent vurdering.

Havforskningsinstituttet har, med faglig støtte fra NINA, nå revurdert vår første tilnærming og presenterer i de følgende omforente grenseverdier for effekter av lakselus på alle ville arter av laksefisk (se kapittel 3.3 for ytterligere informasjon).

Siden eksperimentelle forsøk indikerer ulike fysiologiske og økologiske effekter på smolt og modnende fisk, har vi også valgt å foreslå omforente grenseverdier for: 1) laksesmolt og første gangs utvandrende sjørørret og sjørøye, og 2) modnende sjørørret og sjørøye.

Vi presenterer en objektiv førstegenerasjons beregningsmetode for å kvantifisere effektene populasjonsmessig for begge disse gruppene gjennom en luseindeks. Dersom estimert bestandsreduksjon beregnet ut fra luseindeksen blir mindre enn 10, tilsvarer dette en antatt < 10 % reduksjon i bestand og en liten påvirkning i henhold til VR sin definisjon på redusert gytebestandsmål (GBM). Dersom luseindeksen blir mellom 10–30, tilsvarer dette en antatt 10–30 % reduksjon i bestand og en moderat påvirkning i henhold til VRL sin definisjon på redusert GBM. Dersom luseindeksen blir > 30, tilsvarer dette en antatt > 30 % reduksjon i bestand og en stor påvirkning i henhold til VR sin definisjon på redusert GBM. Dette gir en objektiv metode for å vurdere bærekraft, men må også, slik det gjøres i HIs risikovurdering, inkludere en ekspertvurdering som også inkluderer faktorer som for eksempel sårbarhet til bestandene i området, tidspunkt for infeksjonsøkning m.m.

Basert på best tilgjengelig kunnskap foreslår vi følgende beregningsmåte for luseindeks på laksesmolt og første gangs utvandrende sjørørret og sjørøye < 150 g (tabell 3.5.1):

**Tabell 3.5.1**

Skjema for beregning av luseindeks for antatte effekter av lakselus på utvandrende laksesmolt og første gangs utvandrende sjørret og sjørøye < 150 g: Samplet deles prosentvis inn i infeksjonsgrupper med antatt forskjellig effekt på individ. Indeks (% døde) for hver infeksjonsgruppe bestemmes ut fra til enhver tid best tilgjengelig kunnskap om forventet dødelighet innen infeksjonsgruppen. Summen av alle gruppene gir estimert bestandsreduksjon (%), og klassifiseres så i henhold til VR-definisjoner av liten (< 10 %), moderat (10-30 %) og stor (> 30 %) reduksjon i GBM. Inndeling i infeksjonsgrupper og forventet dødelighet må regelmessig revurderes når ny kunnskap tilsier det. Verdier fylles inn og gir en estimert bestandsreduksjon ut fra andel av populasjon i hver infeksjonsgruppe.

| Infeksjonsgruppe<br>(antall lus/fiskevekt) | Andel av<br>populasjon<br>(%) | Forventet<br>dødelighet | Indeks |
|--------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|--------|
| < 0,1                                      |                               | 0 %                     |        |
| 0,1 - 0,2                                  |                               | 20 %                    |        |
| 0,2 - 0,3                                  |                               | 50 %                    |        |
| > 0,3                                      |                               | 100 %                   |        |
| Estimert bestandsreduksjon (%)             |                               |                         |        |

Her er det antatt at dødeligheten vil være 100 % i gruppen > 0,3, 50 % i 0,2–0,3 gruppen, 20 % i 0,1–0,2 gruppen og 0 % i < 0,1 gruppen. Basert på best tilgjengelig kunnskap foreslår vi følgende beregningsmåte for luseindeks på veteranvandrere og modnende individer av sjørret og sjørøye (tabell 3.5.2).

**Tabell 3.5.2**

Skjema for beregning av luseindeks for antatte effekter av lakselus på veteranvandrere og modnende individer av sjørret og sjørøye: se tabell 3.5.1 for forklaringer.

| Infeksjonsgruppe<br>(antall lus/fiskevekt) | Andel av<br>populasjon<br>(%) | Forventet<br>dødelighet | Indeks |
|--------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|--------|
| < 0,025                                    |                               | 0 %                     |        |
| 0,025 - 0,05                               |                               | 20 %                    |        |
| 0,05 - 0,10                                |                               | 50 %                    |        |
| 0,10 - 0,15                                |                               | 75 %                    |        |
| > 0,15                                     |                               | 100 %                   |        |
| Estimert bestandsreduksjon (%)             |                               |                         |        |

Her er det antatt at dødeligheten eller avbrutt/kompromittert reproduksjon (Tveiten et al. 2010) vil være 100 % i gruppen > 0,15, 75 % i 0,1–0,15-gruppen, 50 % i 0,05–0,1-gruppen, 20 % i 0,05–0,01-gruppen, og 0 % i < 0,01-gruppen. Konsekvensene er antatt å være mer alvorlige for modnende individer fordi osmoregulatorisk sammenbrudd og akutt dødelighet er observert allerede ved 0,1 lus/g. Store osmoregulatoriske problemer og avbrutt modning (ca. 50 % av individene i eksperimentet, men merk at n er lav, Tveiten et al. 2010) er observert ved 0,07 lus/g (Tveiten et al. 2010). Dette kan i tillegg ha store økologiske konsekvenser fordi utgytte hunner, som ofte har svært lav kondisjon ved utvandring, virker spesielt utsatt for økt dødelighet og avbrutt reproduksjon pga. lus (Tveiten et al. 2010).



### **Spredningsmodeller som verifiseringsindikator**

Med spredningsmodeller er det for første gang vist at dersom både utslippskildene for lakselus og miljøforholdene som strøm, temperatur og saltholdighet er realistiske, kan modellerte simuleringer være i godt samsvar med tilgjengelige observasjoner. Det betyr at vi har en metode til å posisjonere lakseluskoepoditter geografisk og i forskjellige konsentrasjoner som en funksjon av tiden for et gitt område. Vi kan dermed beregne overlapp i tid og rom mellom vill laksefisk og konsentrasjoner av lakseluskoepoditter, estimere et antatt påslag av lakselus på villfisk og muligens også relatere dette til smittekilder. Med ytterligere validering, slik at vi er sikre på at vi beskriver virkeligheten korrekt, samt ytterligere kalibrering mot vill laksefisk, kan dette videreutvikles til en primær verifiseringsindikator for angitte produksjonsområder langs hele norskekysten.

### **3.6 Betraktninger rundt forvaltning/produksjonsområder og dynamisk lakselusmitte**

Fra forvaltningshold har det vært formidlet et behov for å dele kysten inn i det man kan kalle produksjonsområder, slik at alle oppdrettslokaliteter innen et område utgjør en forvaltningsenhet. Man har videre formidlet at utbredelse og grenseoppgang mellom produksjonsområder mest mulig bør følge av naturlige kriterier med tanke på smittespredning. Med dette forstår vi at lokalitetene innen et produksjonsområde i størst mulig grad skulle utgjøre en smitterelatert enhet, og at denne enheten i størst mulig grad ville være adskilt fra andre produksjonsområder. Teoretisk kan man se for seg at oppdrettsvirksomhet i større grad samles i klynger av anlegg med såkalte branngater (oppdrettsfrie områder) imellom. Problemet med denne teoretiske tankegangen er at produksjon av laksefisk i sjø i dag foregår på lokaliteter i det som i større eller mindre grad kan beskrives som et sammenhengende belte langs kysten fra nord til sør. Foruten noen værharde kyststrekninger er det ingen åpenbare større naturlige smittebarrierer mellom områder.

Uavhengig av størrelse på produksjonsområder vil derfor oppdrettsanleggene innen et område generelt være fordelt i en geografisk gradient fra sentroiden av området mot grensekantene. Avhengig av områdestørrelse, vil da sentrale lokaliteter kunne være utenfor smittekontakt av tilgrensende produksjonsområder, mens jo nærmere områdegrensene et anlegg er lokalisert, jo større vil smittekontakten være mot tilgrensende område. Tiltak som omfatter lokalitetene innen et område mot for eksempel en epidemi som utspiller seg i randsonen av området vil derfor være lite treffsikre. Så lenge oppdrettsanleggene er lokalisert i et sammenhengende belte langs kysten, vil dynamiske tilnærminger som søker å identifisere områder som er under høy smitteeksponering være mer målrettet enn statiske løsninger knyttet til produksjonsområder.

Nye forskningsresultater har gitt ny kunnskap om spredning av lakseluslarver. Nye smittespredningsmodeller (Svedberg et al 2011; se også fellesbrev fra HI og VI datert 16.03.12) viser at de fleste infeksjonsstadiene spres relativt kort og skaper høye konsentrasjoner relativt nært utspillskildene (figur 3.4.6. fra Hardangerfjorden). Samtidig viser kjernetetthetsmodellene et tilsvarende bilde (figur 3.4.2) ved at beregnet høyt smittepress basert på innrapporterte lusetall, er relativt avgrenset. Ytterligere validering og kalibrering av disse to komplementære modellsystemene samt videreutvikling av NorKyst800 og Strømkatalogen langs norskekysten, vil gi et grunnleggende verktøy for vurdering av hvordan smittepress fordeler seg langs kysten.

Dagens lokalisering av næringen etablerer ikke naturlige smittebarrierer som ville gitt et biologisk utgangspunkt for opprettelse av produksjonssoner. Forvaltningen ved Mattilsynet formidler imidlertid et behov om etablering av administrative områder for forvaltning av lus. Gjennom bruk av våre nye modeller i etablerte soneområder bør en erverve ny kunnskap for hvordan administrative områder for forvaltning av lus best bør defineres.

### **3.7 Forslag til overvåkningsprogram**

HI og VI ble bedt om å foreslå overvåkningsprogrammer som er tilpasset bruk av indikatorsystemet der det skal skisseres 1) hva som vil være mulig å gjennomføre innenfor nåværende tildelte rammer, og 2) hvilket opplegg som ville være faglig optimalt.

Forslagene til både indikatorsystem, overvåkningsprogram og implementering i forvaltningen er radikalt nytt, og er basert på nylige FoU-gjennombrudd (kjernetetthetsmodell og hydrodynamisk smittespredningsmodell). Det vil kreve ytterligere utvikling for å implementere dette som et forvaltningssystem, men det har betydelig potensial, gitt at det blir tilstrekkelig validert og kalibrert mot vill laksefisk. Et nytt overvåkningssystem må gradvis utvikles i MTs soneforskriftsområder parallelt med at basisovervåkning på villfisk fortsatt gjennomføres i en mellomfase for så gradvis fases inn i flere områder langs kysten.

### **3.7.1 Basisovervåkning 2012-2016**

En foreslår en fortsatt basisovervåkning 2012–2016 basert på eksisterende OK-program fra MT, men med nye og omforente grenseverdier mellom HI og NINA. Den totale finansieringen fra MTs OK-program og FGD (inkludert fartøyressurser) er på ca. 9,3 mill. NOK per år.

#### ***Forslag til basisovervåkning vill fisk langs hele norskekysten i perioden 2012-2016 og innenfor nåværende tildelte rammer***

En foreslår at vi tar utgangspunkt i Mattilsynets pågående overvåkningsprogram (OK-program) over lakse-lusinfeksjonen på vill laksefisk langs norskekysten (Oppsummert i fellesbrev fra HI og VI datert 16.03.12). Dette er et operativt program (OK-program) som dekker alle fylker langs kysten fram til ca. 2016 som en del av evaluering av nasjonale laksefjorder (se Bjørn et al 2011 og Taranger et al 2011 for ytterligere informasjon). Dette kan fortsatt benyttes som en basisovervåkning, og gir både varsling og verifiseringsindikatorer direkte på vill laksefisk til forvaltningen langs hele norskekysten. Med de omforente grenseverdiene mellom HI og NINA foreslått her, og med utgangspunkt i VRLs anbefalinger for klassifisering av bestandsreduksjon (GBM), vil dette i en mellomfase gi en så presis vurdering som mulig av om politisk bestemte bærekraftmål oppnås langs norskekysten. Det vil også være mulig å gi råd om behovet for ytterligere tiltak, for eksempel ytterligere synkronisert vårvakning, for deler av landet. I en mellomfase vil basisovervåkning også være helt nødvendig for å validere og kalibrere de nye metodene (kjernetetthetsmodell og hydrodynamisk smittespredningsmodell) både i soneforskriftsområdene og etter hvert også langs større deler av norskekysten.

### **3.7.2 Uttesting av nytt indikator og overvåkningssystem i to soneforskriftsområder i 2012 og 2013**

En foreslår uttesting av det nye systemet med varsling og verifiseringsindikatorer i 2012 og 2013 i de to områdene av landet med eksisterende soneforskrift (Hordaland og Nord-Trøndelag). Uttesting i soneforskriftsområdene vil generere erfaring og gi rom for nødvendig utvikling av indikatorsystemet før endelig implementering. Samtidig er det viktig å skaffe erfaring for hvordan indikatorsystemet skal håndteres i forvaltningen. Utvikling av varslingsindikatorsystem for disse områdene vil også være mer overkommelig i et dataprosesserings-perspektiv i en utviklingsfase, og i kombinasjon med verifiseringsindikatorer gjøre uttesting av et nytt forvaltningssystem mulig.

Sentrale punkt det vil være viktig å fokusere på i pilotområdene:

- Nært samarbeid med Mattilsynet og oppdrettsnæringen omfattet av soneforskriftene i Sunnhordland, Hardanger og Nord-Trøndelag for å gjøre data fra lusetellinger og bestandsdata for oppdrettsbestander tilgjengelige uten vesentlige tidsforsinkelser.
- Erfaringsoppbygging av hvordan den dynamiske kjernetetthetsmodellen vil varsle områder med lav, moderat og høy tetthet av smittsomme luselarver.
- Verifisering av varslingsindikator gjennom tilstandsovervåkning ved plassering av observasjonspunkter (lusetelling på vill laksefisk og smoltbur) og smitte-modeller. Hvordan gjennomføre tilstandsovervåkning i forhold til varslende områder med høy tetthet av smittsomme luselarver?
- Utprøving og erfaringsoppbygging av første generasjons beregningsmetode for å beregne populasjonsmessig effekt på vill laksefisk.
- Kalibrering av kjernetetthetsmodell og hydrodynamisk smittespredningsmodell.
- Forvaltning av indikatorsystemet. Varslingsindikatoren vil være drevet av smittedynamikk til lakselus slik at "røde", "grønne" eller "gule" områder skifter dynamisk. Hvordan et dynamisk varslingsystem eventuelt skal danne grunnlag for forvaltning i administrative statiske områder må testes ut i de to pilotområdene.
- Videreutvikling og uttesting av hydrodynamisk smitte-modell i de to pilotområdene. Etablere mer kunnskap om hva de beregnede mengdene av lakselusluskopepoditter utgjør i smittepress for villfisk, og hvordan resultatene skal kunne brukes direkte for å kalibrere en grenseverdi. Endelig vil det være viktig i en testfase i pilotområdene å teste bruk av hydrodynamisk smitte-modell for å verifisere hvilke smittekilder som er mest avgjørende for eventuelt forhøyede konsentrasjoner av lakselusluskopepoditter på vill laksefisk innen et gitt produksjonsområde, og om dette kan gi grunnlag for utvikling av "utslippskvoter for gitte produksjonsområder".

### **3.7.3 Utvikling av forvaltningssystemet for hele norskekysten 2014-2017**

Det er teknisk sett ingen hindre for allerede nå å utvikle et varslingsindikatorsystem basert på smittepress-beregninger for hele landet. Samtidig vil vi sannsynligvis allerede i løpet av 2012–2013 ha mulighet til å produsere rutinemessige spredningssimuleringer overalt langs norskekysten og til og med som prognoser noen dager fram i tid basert på miljøinformasjon (strøm, temperatur og saltholdighet) fra kystmodellen NorKyst800 og videreutvikling av denne i 2012–2013. Resultatene kan på dette stadiet brukes inn i relative sammenhenger, enten mellom to ulike simuleringer eller som geografiske forskjeller. Vi mener likevel det er nødvendig å teste ut

et slikt radikalt nytt system i soneforskriftsområder før en nasjonal implementering. For at et slikt system etter uttesting i soneforskriftsområdene skal være dekkende for hele landet vil det videre kreve:

- at innrapporteringssystemene for lusedata gjennom Altinn kommer på plass, og at datastrøm fra dette opparbeides med minst mulig tidsforsinkelse
- utarbeiding av rutiner for dataprosessering, modellering og presentasjon
- testing av samsvar mellom modellberegninger av smittepress og påslag av luselarver på oppdrettsanlegg for å validere systemprognosene
- testing av samsvar mellom modellberegninger av smittepress og smittepress i miljøet, herunder påslag av luselarver på burfisk og infeksjoner på vill fisk
- ut ifra ovenstående erfaringsoppbygging, justering av grenseverdier for moderate og høye smittepress av lakselus
- ut ifra erfaringsoppbygging, justering av modeller, herunder implementering av hydrodynamiske modeller for lusespredning, for å øke presisjonen i smittepressprognosene, kanskje også i relasjon til gitte produksjonsområder, og om dette kan gi grunnlag for utvikling av ”utslippskvoter”.

Dersom uttestingen av det nye overvåknings- og forvaltningssystemet i de to pilotområdene blir vellykket i 2012 og 2013, bør neste skritt være å validere, kalibrere og implementere dette langs hele norskekysten, samt teste ut i nasjonal forvaltning i 2014–2017. Etter hvert som valideringen, kalibreringen og implementeringen gjennomføres, vil mer av overvåkingen og forvaltningen kunne legges over på modell og mindre på vill fisk. Til sist vil vi kunne ha et system, i hvert fall i enkelte områder, som er i stand til å koble hovedtyngden av infeksjonspresset til produsenter innenfor et geografisk område. Dersom vi samtidig har greid, gjennom langtidstudier av effekter av lus på ville bestander av laksefisk, å bestemme tålegrensen for påvirkning av ville bestander i henhold til politisk bestemte bærekraftsmål, kan dette være grunnlag for et system med ”utslippskvoter”. Ved bruk av et sett med utviklede og kalibrerte indikatorer for ”utslippskvoter” og tålegrenser på vill laksefisk vil dette systemet målrettet bidra som nyttig verktøy for vurdering av en bærekraftig utvikling.

Utvikling av alle disse delene vil kreve anslagsvis ca. 20 mill NOK per år i perioden 2013–2017, der målet er å overlevere et nytt og operativt forvaltningsverktøy for produksjonsområder langs hele kysten i 2017. Samtidig må komplementære satsinger på NorKyst800 og strømkatalog for norskekysten, samt innsamling og prosessering av datastrøm fra oppdrettsanlegg gjennomføres.

### Budsjettkonsekvenser

Med dagens budsjettammer vil en opprettholde basisovervåkning på dagens nivå. Vi har beregnet at et faglig forsvarlig system for lakselusovervåkning, modellering og nødvendig FoU for operasjonalisering og validering vil ligge på ca. 20 mill kr/år i perioden 2013–2017 (inkludert dagens bevilgning).

Budsjett for faglig forsvarlig system for lakselusovervåkning, modellering og nødvendig FoU for operasjonalisering og validering (i NOK).

| Faglig forsvarlig overvåkning med tilhørende Fou lus                                                   | 2013              | 2014              | 2015              | 2016              | 2017              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <b>LØNNSKOSTNAD</b>                                                                                    |                   |                   |                   |                   |                   |
| Overingeniør feltarbeid 3 stk (3* 1400*825)                                                            | 3 465 000         | 3 603 600         | 3 747 744         | 3 897 654         | 4 053 560         |
| Kvalitetssikring av data: 2 overingeniører: (1400*825)                                                 | 2 310 000         | 2 402 400         | 2 498 496         | 2 598 436         | 2 702 373         |
| Prosjektledelse, bearbeiding, statistisk analyse og rapportering: 4 stk 1183 forskere: 4* 1405*1300 kr | 7 306 000         | 7 598 240         | 7 902 170         | 8 218 256         | 8 546 987         |
| <b>TOTAL LØNN</b>                                                                                      | <b>13 083 013</b> | <b>13 606 254</b> | <b>14 150 425</b> | <b>14 716 362</b> | <b>15 304 937</b> |
| <b>DRIFT</b>                                                                                           |                   |                   |                   |                   |                   |
| Drift lab inkl fiskehold                                                                               | 1 100 000         | 1 144 000         | 1 189 760         | 1 237 350         | 1 286 844         |
| Drift felt                                                                                             | 1 500 000         | 1 560 000         | 1 622 400         | 1 687 296         | 1 754 788         |
| <b>TOTAL DRIFT</b>                                                                                     | <b>2 600 000</b>  | <b>2 704 000</b>  | <b>2 812 160</b>  | <b>2 924 646</b>  | <b>3 041 632</b>  |
| <b>BÅTTID OG UTSYR</b>                                                                                 |                   |                   |                   |                   |                   |
| Båttid                                                                                                 | 1 300 000         | 1 352 000         | 1 406 080         | 1 462 323         | 1 520 816         |
| Feltutstyr                                                                                             | 2 000 000         | 100 000           | 100 000           | 100 000           | 100 000           |
| Forbruk tokt                                                                                           | 500 000           | 520 000           | 540 800           | 562 432           | 584 929           |
| <b>TOTAL TOKT</b>                                                                                      | <b>3 800 000</b>  | <b>1 972 000</b>  | <b>2 046 880</b>  | <b>2 124 755</b>  | <b>2 205 745</b>  |
| <b>TOTALT</b>                                                                                          | <b>19 483 013</b> | <b>18 282 254</b> | <b>19 009 465</b> | <b>19 765 764</b> | <b>20 552 314</b> |

## LITTERATUR

- Anon. 2006. "Om vern av villaksen og ferdigstilling av nasjonale laksevassdrag og laksefjorder". Rapport St.prp. nr.32, Miljøverndepartementet, Oslo
- Anon. 2010. Status for norske laksebestander i 2010. Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr 2: 1-213.
- Anon. 2011a. Kvalitetsnormer for laks - anbefalinger til system for klassifisering av villaksbestander. Temarapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr 1, 105 s.
- Anon. 2011b. Status for norske laksebestander i 2011. Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr 3, 285 s.
- Anon. 2011c. Vedleggsrapport med vurdering av måloppnåelse for de enkelte bestandene. Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr 3b, 566 s.
- Asplin, L. & Sandvik, A.D. 2009. Fjordmiljøet påvirker lakselusa. Norsk fiskeoppdrett 6a: 18-19.
- Bjørn, P.A., Finstad, B., Asplin, L., Skilbrei, O., Nilsen, R., Serra Llinares, R.M. og Boxaspen, K.K. 2011a. Metodeutvikling for overvåkning og telling av lakselus på viltlevende laksefisk. Rapport fra Havforskningen 8. 58 s.
- Bjørn, P. A., Nilsen, R., Serra Llinares, R.M., Asplin, L., Boxaspen, K., K., Finstad, B., Uglem, I., Kålås, S., Barlaup, B., og Wiik Vollset, K. 2011b. Sluttrapport til Mattilsynet over lakselusinfeksjonen på vill laksefisk langs norskekysten i 2011.- Rapport fra Havforskningen 19. 34 s.
- Bjørn, P.A. & Finstad, B. 1997. The physiological effects of salmon lice infection on sea trout post smolts. Nordic Journal of Freshwater Research 73: 60-72.
- Bjørn, P.A., Finstad, B. & Kristoffersen, R. 2001. Salmon lice infection of wild sea trout and Arctic char in marine and freshwaters: the effects of salmon farms. Aquaculture Research 32: 947-962.
- Costello, M.J. 1993. Review of methods to control sea lice (Caligidae: Crustacea) infestations on salmon (*Salmo salar*) farms. I: Pathogens of Wild and Farmed Fish: Sea Lice (Boxshall, G.A. & Defaye, D. red). Ellis Horwood, Chichester, UK, s. 219-252.
- Diserud, O. H., Fiske, P., and Hindar, K. 2010. Regionvis påvirkning av rømt oppdrettslaks på ville laksebestander i Norge. NINA Rapport 622. 40 s.
- Diserud, O.H., Fiske, P., and Hindar, K. 2012. Forslag til kategorisering av laksebestander som er påvirket av rømt oppdrettslaks - NINA Rapport 782. 32 s + vedlegg.
- Fast, M.D., Ross, N.W., Muise, D.M. & Johnson, S.D. 2006. Differential gene expression in Atlantic salmon, *Salmo salar*, infected with sea lice *Lepeophtheirus salmonis* (Copepoda: Caligidae). Journal of Aquatic and Animal Health 18: 116-127.
- Finstad, B. & Bjørn, P.A. 2011. Present status and implications of salmon lice on wild salmonids in Norwegian coastal zones. I: Salmon Lice: An Integrated Approach to Understanding Parasite Abundance and Distribution. (Jones, S. & Beamish, R. red). Wiley-Blackwell, Oxford, UK, s. 281-305.
- Finstad, B., Bjørn, P.A., Grimnes, A. & Hvidsten, N.A. 2000. Laboratory and field investigations of salmon lice [*Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer)] infestation on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) postsmolts. Aquaculture Research 31: 795-803.
- Finstad, B., Bjørn, P.A., Todd, C.D., Whoriskey, F., Gargan, P.G., Forde, G. & Revie, C. 2011. The effect of sea lice on Atlantic salmon and other salmonid species (Chapter 10). I: Atlantic Salmon Ecology (Aas, Ø., Einum, S., Klemetsen, A. & Skurdal, J. red). Wiley-Blackwell, Oxford, UK, s. 253-276.
- Finstad, B., Kroglund, F., Strand, R., Stefansson, S.O., Bjørn, P.A., Rosseland, B.O., Nilsen, T.O. & Salbu, B. 2007. Salmon lice or suboptimal water quality - Reasons for reduced postsmolt survival? Aquaculture 273: 374-383.
- Fiske, P., Lund, R. A., and Hansen, L. P. 2006. Relationships between the frequency of farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in wild salmon populations and fish farming activity in Norway, 1989-2004. ICES Journal of Marine Science, 63: 1182-1189.
- Fiske, P. 2011. Rømt oppdrettslaks i prøver fra laksebestandene innsamlet høsten 2010. Notat fra NINA, 31.05.11.
- Gargan, P.G., G. Forde, N. Hazon, D.J.F. Russell, and C.D. Todd. 2012. Evidence for sea lice-induced marine mortality of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in western Ireland from experimental releases of ranched smolts treated with emamectin benzoate. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 69:343-353.
- Glover, K.A., Hindar, K., Karlsson, S., Skaala, Ø., and Svåsand, T. 2011. Genetiske effekter av rømt oppdrettslaks på ville laksebestander: utforming av indikatorer. Rapport fra Havforskningsinstituttet, Nr 5-2011.
- Glover, K.A., Samuelsen, O.B., Skilbrei, O.T., Boxaspen, K., and Lunestad, B.T, 2010. Pharmacokinetics of emamectin benzoate administered to Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts by intra-peritoneal injection. Journal of Fish Diseases 33, 183-186.
- Glover K.A., Quintela, M.,Wennevik, V., Besnier, F., Sørvik, A.G.E., and Skaala Ø. (subm.) Three decades of farmed escapees in the wild: a spatio-temporal analysis of Atlantic salmon population genetic structure throughout Norway. Submitted to PLoS ONE Feb. 2012.
- Grimnes, A. & Jakobsen, P. 1996. The physiological effects of salmon lice infection on post-smolt of Atlantic salmon (*Salmo salar*). Journal of Fish Biology 48: 1179-1194.
- Grimnes, A., Finstad, B. & Bjørn, P.A. 1996. Økologiske og fysiologiske konsekvenser av lus på laksefisk i fjordsystem. NINA Oppdragsmelding 381: 1-37.
- Heuch, P.A., Bjørn, P.A., Finstad, B., Holst, J.C., Asplin, L., and Nilsen, F. 2005. A review of the Norwegian "National action plan against salmon lice on salmonids".
- Hindar, K., Fleming, I. A., McGinnity, P., and Diserud, A. 2006. Genetic and ecological effects of salmon farming on wild salmon: modelling from experimental results. ICES Journal of Marine Science, 63: 1234-1247.
- Holm, M., Holst, J.C. & Hansen, L.P. 2000. Spatial and temporal distribution of post-smolts of Atlantic salmon (*Salmo salar*). ICES Journal of Marine Sciences 57: 955-964.



- Holst J.C., Jakobsen P., Nilsen F., Holm M., Asplin L. & Aure J. (2003) Mortality of seaward-migrating post-smolts of Atlantic salmon due to salmon lice infection in Norwegian salmon stocks. In: D. Mills (ed.) *Salmon at the Edge*. Oxford: Blackwell Publishing, pp. 136–137.
- Holst, J.C. & Jakobsen, P.J. 1999. Ny forskning påstår: Lakselusa knekker vestlandslaksen. *Norsk fiskeoppdrett* 16: 38-39.
- Holst, J.C., Jakobsen, P., Nilsen, F., Holm, M., Asplin, L. & Aure, J. 2003. Mortality of seaward-migrating post-smolts of Atlantic salmon due to salmon lice infection in Norwegian salmon stocks. I: *Salmon at the edge* (Mills, D. red). Blackwell Science, Oxford, s.136-137.
- Hvidsten, N.A., B. Finstad, F. Kroglund, B.O. Johnsen, R. Strand, J.V. Arnekleiv, and P.A. Bjørn. 2007. Does increased abundance of sea lice influence survival of wild Atlantic salmon post-smolt. *Journal of Fish Biology* 71:1639-1648.
- Ibrahim, A., MacKinnon, B.M. & Burt, M.D.B. 2000. The influence of sub-lethal levels of zinc on smoltifying Atlantic salmon *Salmo salar* and on their subsequent susceptibility to infection with *Lepeophtheirus salmonis*. *Contributions to Zoology* 69(1/2): 119-128.
- Jackson, D., D. Cotter, N. ÓMaoiléidigh, P. O'Donohoe, J. White, F. Kane, S. Kelly, T. McDermott, S. McEvoy, A. Drumm, A. Cullen, and G. Rogan. 2011. An evaluation of the impact of early infestation with the salmon louse *Lepeophtheirus salmonis* on the subsequent survival of outwardly migrating Atlantic salmon, *Salmo salar* L., smolts. *Aquaculture* 320:159-163.
- 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
- Johnson, S.C. & Fast, M.D. 2004. Interactions between sea lice and their hosts. I: Host Pathogen Interactions (Flik, G. mfl. red). *SEB Symposium Series*, s. 131-160.
- Johnson, S.C., Albright, L.J., 1991. Development, growth and survival of *Lepeophtheirus salmonis* (Copepoda: Caligidae) under laboratory conditions. *Journal of the Marine Biology Association U.K.* 71: 425-436.
- Karlsson, S., Moen, T., Lien, S., Glover, K.A., and Hindar, K. 2011. Generic genetic differences between farmed and wild Atlantic salmon identified from a 7K SNP-chip. *Molecular Ecology Resources*, 11: 247-253
- Nolan, D.T., Reilly, P. & Wendelaar Bonga, S.E. 1999. Infection with low numbers of the sea louse *Lepeophtheirus salmonis* induces stress-related effects in postsmolt Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 56: 947-959.
- Skaala, O., Wennevik, V., and Glover, K.A. 2006. Evidence of temporal genetic change in wild Atlantic salmon, *Salmo salar* L., populations affected by farm escapees. *ICES Journal of Marine Science*, 63: 1224-1233.
- Skilbrei, O. T., Finstad, B., Sægvog, H., Urdal, K., Bakke, G., Kroglund, F. and Strand, R. 201X. Impact of early infestation with the sea louse (*Lepeophtheirus salmonis*) and variability in survival and marine growth of sea ranched Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts 1997–2009. (manuscript)
- Skilbrei, O.T., Glover, K., Samuelsen, O., Lunestad, B.T. 2008. A laboratory study to evaluate the use of emamectin benzoate in the control of sea lice in sea-ranched Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 285; 2-7.
- Skilbrei, O.T., Vølstad, J.H., Bøthun, G., and Svåsand, T. 2011. Evaluering av datagrunnlaget 2006–2009 for estimering av andel rømt oppdrettslaks i gytebestanden i norske elver. Forslag til forbedringer i utvalgsmetoder og prøvetakingsmetodikk. Rapport fra Havforskningsinstituttet Nr 7-2011.
- Skilbrei, O.T. and Wennevik, V. 2006. Survival and growth of sea-ranched Atlantic salmon, *Salmo salar* L., treated against sea lice prior to release. *ICES Journal of Marine Science*, 63: 1317-1325.
- Stone, J., Sutherland, I. H., Sommerville, C., Richards, R. H., and Endris, R. G. 2000. The duration of efficacy following oral treatment with emamectin benzoate against infestations of sea lice, *Lepeophtheirus salmonis* (Kroyer), in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases*, 23: 185e192.
- Taranger, G.L., Svåsand, T., Madhun, A.S., Boxaspen, K.K., and (red.) 2011. Oppdatering - Risikovurdering - miljøvirkning av norsk fiskeoppdrett, Fisken og havet, 3-2010 Havforskningsinstituttet.
- Tveiten, H., Bjørn, P.A., Johnsen, H.K., Finstad, B. & McKinley, R.S. 2010. Effects of the sea louse *Lepeophtheirus salmonis* on temporal changes in cortisol, sex steroids, growth and reproductive investment in Arctic charr *Salvelinus alpinus*. *Journal of Fish Biology* 76: 2318-2341.
- Wagner, G.N., Fast, M.D. & Johnson, S.C. 2008. Physiology and immunology of *Lepeophtheirus salmonis* infections of salmonids. *Trends in Parasitology* 24: 176-183.
- Wagner, G.N., McKinley, R.S., Bjørn, P.A. & Finstad, B. 2003. Physiological impact of sea lice on swimming performance of Atlantic salmon. *Journal of Fish Biology* 62: 1000-1009.
- Wagner, G.N., McKinley, R.S., Bjørn, P.A. & Finstad, B. 2004. Short-term freshwater exposure benefits sea lice-infected Atlantic salmon. *Journal of Fish Biology* 64: 1593-1604.
- Wells, A., Grierson, C.E., MacKenzie, M., Russon, I.J., Reinardy, H., Middlemiss, C., Bjørn, P., Finstad, B., Wendelaar Bonga, S.E., Todd C.D. & Hazon, N. 2006. The physiological effects of simultaneous, abrupt seawater entry and sea lice (*Lepeophtheirus salmonis*) infestation of wild, sea-run brown trout (*Salmo trutta*) smolts. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 63: 2809-2821.
- Wells, A., Grierson, C.E., Marshall, L., MacKenzie, M., Russon, I.J., Reinardy, H., Sivertsgård, R., Bjørn, P.A., Finstad, B., Wendelaar Bonga, S.E., Todd, C.D. & Hazon, N. 2007. Physiological consequences of “premature freshwater return” for wild sea-run brown trout (*Salmo trutta*) postsmolts infested with sea lice (*Lepeophtheirus salmonis*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 64: 1360-1369.
- Zar, J.H. 1999. *Biostatistical Analysis*. 4th Edition. Prentice Hall, New Jersey, 663 s.