

Løland, A., Omholt, S. W., Lamberg, A.,
Kristensen, T., Urke, H. A. og Olsen, Y.

Metodevurdering for registrering av rømt oppdrettslaks



Foto: Pelle Klppinge

Løland, A., Omholt, S. W., Lamberg, A., Kristensen, T., Urke, H. A. og Olsen, Y.

Metodevurdering for registrering av rømt oppdrettslaks

PROSJEKTTITTEL: Metodevurdering for registrering av rømt oppdrettslaks	
NTNU Rapport	ISBN 978-82-998249-3-4 (PDF)
DATO: 28.9.2016	GRADERING: Open
OPPDRAGSGIVER: Fiskeri og Havbruksnæringens Forskningsfond (FHF)	OPPDRAGSNUMMER: 901121/FHF KONTAKTPERSON: Kjell Maroni

UTFØRT AV: NTNU Norsk Regnesentral Skandinavisk Naturovervåking AS INAQ AS	
UTARBEIDET AV: Anders Løland, Norsk Regnesentral Stig W. Omholt, NTNU Yngvar Olsen, NTNU Anders Lamberg, Skandinavisk naturovervåking AS Torstein Kristensen, INAQ AS Henning Andre Urke, INAQ AS	KVALITETSKONTROLL: Yngvar Olsen
STIKKORD: Akvakultur Rømt laksefisk Atlanterhavslaks Overvåking Statistikk Genetikk	

Refereres som:

Trykt rapport:

Løland, A., Omholt, S. W., Lamberg, A., Kristensen, T., Urke, H. A. og Olsen, Y. 2016.
Metodevurdering for registrering rømt oppdrettslaks. NTNU Rapport. ISBN 978-82- 998249-2-7.

Elektronisk rapport:

Løland, A., Omholt, S. W., Lamberg, A., Kristensen, T., Urke, H. A. og Olsen, Y. 2016.
Metodevurdering for registrering rømt oppdrettslaks. NTNU Rapport. ISBN 978-82- 998249-3-4.

Innhold

Sammendrag	5
Registrering og estimering av andel rømt oppdrettslaks	5
Genetisk påvirkning.....	7
1 Mandat	9
2 Bakgrunn.....	9
2.1 Nasjonalt overvåkingsprogram.....	9
2.2 Nasjonale mål for overvåkningen av laksebestandene	10
3 Metoder for registrering av rømt oppdrettslaks	10
3.1 Høstfiske: Innslag av oppdrettslaks i overvåkingsfiske på høsten basert på skjellprøver	12
3.2 Sportsfiske: Innslag av oppdrettslaks i sportsfisket basert på skjellprøveanalyser	13
3.3 Stamfiske: Innslag av oppdrettslaks i stamfiske på høsten basert på skjellprøver/genetisk analyse	14
3.4 Fangstfeller: Innslag av rømt laks estimert med fangstfeller	14
3.5 Visuell gjenkjenning:.....	15
4 Årsprosent - Estimering av andel oppdrettslaks i vassdraget og vurdering av usikkerhet i estimatene	17
4.1 Årsprosent som punkttestimat	17
4.2 Estimert årsprosent med konfidensintervall	18
4.3 Årsprosenten er mer usikker enn det gis inntrykk av	19
4.4 Bruk av årsprosent med konfidensintervall	22
5 Sammenfattende vurdering av metodikk for registrering av laksebestander	27
5.1 Usikkerhet omkring innsig og oppkonsentrering	27
5.2 Oppsummering: Fangstmetoder for beregning av årsprosent.....	27
5.2 Oppsummering: Kvantifisering av hele laksebestandene.....	28
5.3 Tiltak: Uttak av oppdrettslaks under drivtelling	29
6 Måling og prediksjon av negativ genetisk påvirkning av oppdrettslaks på villaks	30
6.1 Oppdrettslaks gener versus villaks gener	30
6.2 Allelfrekvensforskjeller mellom oppdrettslaks og villaks.....	31
6.3 Nødvendigheten av å koble populasjonsgenetikk med populasjonsdynamikk	31
6.4 IBSEM: An individual-based Atlantic salmon population model.....	32
7 Konklusjoner og anbefalinger	35
7.1 Metoder for registrerings innslag av oppdrettslaks	35
7.2 Årsprosent: Beregninger og statistisk vurdering	35
7.3 Gytebestander: Innslag av og tiltak mot oppdrettslaks i gytebestanden.....	35
7.4 Anbefalt metode for registrering av oppdrettslaks og årsprosent	36
7.5 Forskningsbehov og standardisering av metoder for registrering	37
7.6 Genetisk påvirkning -- konsept og modeller	37
8 Referanser	40

Forord

Det er i dag bred enighet om at rømt oppdrettslaks vil kunne påvirke den genetiske sammensetning av villaksbestandene dersom den rømte laksen finner veien opp til gyteplassene og gyter i elvene. Erkjennelse av dette potensielle problemet førte til at man allerede på 80-tallet igangsatte overvåking av oppgangen av oppdrettslaks i flere vassdrag med laksebestander for å kunne si noe om omfanget av påvirkning. Samtidig er det et politisk mål om en bærekraftig vekst av oppdrettsnæringen. Denne næringen er ikke miljømessig bærekraftig om produksjonen skader villaksbestandene. Resultatene fra overvåkingen har derfor stor betydning både for villaksbestandene og for utviklingen av oppdrettsnæringen.

Fiskeridepartementet har vedtatt at miljøproblemet forbundet med rømt oppdrettslaks skal behandles grundig. Instruks om å utvikle et overvåkingsprogram har derfor blitt oversendt Fiskeridirektoratet. Fiskeridirektoratet har påpekt at *«det er en ambisjon at overvåkingsprogrammet skal utvikles til å bli et stadig bedre verktøy i forvaltningen av både havbruksnæringen og miljøet. Overvåkingen av rømt laks er en dynamisk prosess. For å sikre en god kvalitativ utvikling av overvåkingsprogrammet, blir de forskjellige overvåkingsmetodene stadig videreutviklet og evaluert.»*

Den foreliggende rapporten oppsummerer et arbeid utført av et panel sammensatt av personer med kompetanse innen statistikk, økologi, overvåkingsmetoder og genetik. Arbeidet startet opp høsten 2015 og det har vært en lang prosess som har inkludert en konstruktiv dialog med ulike institusjoner med vesentlig kunnskap om og erfaring med dagens metodikk. En opplagt utfordring i arbeidet har vært at det til stadighet kommer nye rapporter og utredninger innenfor tematikken som gjør arbeidet til en «never ending story». Med alt det arbeidet som gjøres, kan det vurderes om en oppdatering av denne gjennomgangen av metodikk kan være aktuell også på et senere tidspunkt, om så i et mer begrenset omfang. Tematikken i media er ofte preget av sterke overskrifter og påstander. Temaet er komplisert, og vi håper at vårt bidrag skal føre til en kritisk og konstruktiv diskusjon på fagfeltet.

Vi takker FHF ved Kjell Maroni for invitasjonen til å delta i dette panelet. Vi vil videre takke Roar Lund (Miljødirektoratet), Ola Diserud, Peder Fiske, Kjetil Hindar (alle NINA), Mikko Petteri Heino (Universitet i Bergen), Kevin Glover (Havforskningsinstituttet), Øyvind Kanstad-Hanssen (Ferskvannsbiologen AS) og Thron Oddvar Haugen (NMBU) for konstruktive tilbakemeldinger.

Oslo/Trondheim 28.9.2016

Yngvar Olsen (NTNU)
Stig W. Omholt (NTNU)
Anders Løland (Norsk Regnesentral)
Anders Lamberg (Skandinavisk naturovervåking AS)
Torstein Kristensen (INAQ AS)
Henning Andre Urke (INAQ AS, sekretær)

Sammendrag

Mandatet til panelet som har utarbeidet rapporten har vært å gå inn i tematikken knyttet til de metodene som benyttes i dag for å registrere og dokumentere: 1) innslag av rømt laks i vassdrag, og 2) genetisk påvirkning av villaks fra oppdrettslaks. Panelet har *ikke* vurdert eventuelle atferdsmessige/økologiske konsekvenser av innslag av rømt laks i elvene eller konsekvenser av genetisk introgresjon.

Registrering og estimering av andel rømt oppdrettslaks

Forvaltningsmyndighetene har i sin bestilling til det nasjonale overvåkingsprogrammet for rømt oppdrettslaks (OURO) bedt om at innslaget av rømt oppdrettslaks i elvene skal rapporteres som årsprosent (andelen av oppdrettslaks i bestandene). Denne rapporterte verdien ligger også til grunn for OUROs vurderinger for om tiltak skal planlegges/iverksettes.

Årsprosenten er en estimator basert på andel oppdrettslaks registrert i et utvalg av prøver fra **sportsfisket** og/eller **høstfisket**; det ekstraordinære overvåkingsfisket om høsten. Dette er de to mest anvendte metodene for å estimere andelen av oppdrettslaks i elvene. En tredje, og stadig mer anvendt metode, er **drivtelling**, der andelen av oppdrettslaks registreres i nesten hele laksebestanden. Andre metoder som i dag i mindre grad er grunnlag for beregninger av årsprosent, er **stamfiske** og **video/bildebaser** registrering og telling.

Årsprosenten, slik den normalt måles og estimeres i dag, har en betydelig svakhet i de brede konfidensintervallene som reflekterer stor usikkerhet til estimatene. Data fra høstfisket er sensitivt for om laksen tas ut fra hele eller bare deler av elvestrekningen, av tidspunktet for uttak, av størrelse av utvalget og av redskapen som anvendes for fangst. Sportsfisket gir vanligvis et større utvalg enn høstfisket, men det kan stilles spørsmål med representativiteten. Både for sportsfisket og høstfisket er det knyttet en stor usikkerhet til at det brukes fangstmetoder som kan gi stor forskjell i fangbarhet for villaks og oppdrettslaks. Videre er det usikkerhet knyttet til at rapporteringen fra fiskere har svakheter i alle ledd, der spesielt et økende omfang av fang & slipp-fiske representerer et metodisk problem. Med alle usikkerhetsmomentene genererer metoden data med lav presisjon, brede konfidensintervaller omkring middelveien for årsprosenten og skjeve (ikke forventningsrette) resultater slik den normalt beregnes.

Middelveien for årsprosenten fremkommer normalt fra det utvalget av laks som tas ut i sports- og høstfisket i hvert enkelt vassdrag. Den sanne verdien (den virkelige andelen rømt oppdrettslaks), som er den viktige parameteren for måloppnåelse i overvåkingen, finnes i 95 % av konfidensintervallene som beregnes dersom man henter ut mange utvalg i samme elv. Problemet er at det med dagens praksis bare trekkes ett utvalg med for få fisk i hver elv. En kan derfor ikke forholde seg til middelveien som grunnlag for forvaltning. Konfidensintervallet er resultatet av overvåkingsmetoden. Dersom dette ikke er tilstrekkelig smalt, oppfyller overvåkingen ikke målet om å ivareta både villaksbestandene og utviklingen av oppdrettsnæringen.

Anslag for årsprosenten i norske lakseelver viser at tiltaksgrensen på 10 % oppdrettslaks ligger innenfor det tilhørende konfidensintervallet i de fleste elvene, dette selv om middelveien oftest er lavere enn 10 %. Den reelle usikkerheten i årsprosenten er i mange tilfeller høyere enn det gis inntrykk av. Videre er metodikken for beregning av konfidensintervallene inkonsekvent.

Middelveien alene kan ikke danne grunnlag for beslutninger om tiltak. Konfidensintervallene bør inngå i en føre-var-tilnærming, hvor en planlegger/iverksetter tiltak hvis konfidensintervallene inkluderer grenseverdien eller i helhet ligger over denne. Et krav til signifikansnivå på 5 % er vanlig for å trekke sikre konklusjoner i naturvitenskapen, og dette

bør ikke enkelt fravikes i forbindelse med estimering av årsprosent. De brede konfidensintervallene for årsprosenten umuliggjør signifikante konklusjoner for tilstanden til nesten alle elvene. Denne situasjonen er i utakt med ønsket om å utøve en forsvarlig vitenskapelig basert forvaltning. Det eneste alternativet for å sikre et faglig forsvarlig beslutningsgrunnlag for tiltak, er å gjennomføre undersøkelsene med metoder (statistiske metoder så vel som datainnsamlings-metoder) som gir smalere konfidensintervall.

Den genetiske innblandingen av oppdrettslaks i villaksbestandene bestemmes av hvor mange oppdrettslaks som gjennomfører en suksessfull gyting og av levedyktigheten til avkommet i elva og i sjøen. Om man i enda større grad anvender drivtelling før gytesesongen for å redusere konfidensintervallet til årsprosent-estimatet, har man samtidig muligheten for et målrettet uttak av observert oppdrettslaks slik at disse ikke blir en del av gytebestanden. En erfaren drivteller kan ut fra foreliggende data skille oppdrettslaks fra villaks med 70 til 100 % sikkerhet, og andelen villaks som blir feilregistrert som oppdrettslaks og dermed risikoen for feilaktig uttak av villaks er lav (1-3 %). Erfarne drivtellerne vil også observere 85 til 95 % av totalbestanden i et vassdrag.

Gjennomføring av en slik praksis vil føre til at en stor andel av norske lakseelver i realiteten kan få et innslag av potensielt gytende oppdrettslaks (gyteprosent) i gytesesongen godt under tiltaksgrensen på 10 %. Direkte uttak under drivtelling kan med dette bidra til at villaksen beskyttes ytterligere mot mulig genetisk innblanding av oppdrettslaks.

Panelet foreslår ut fra disse vurderingene at **drivtelling i kombinasjon med sportsfiske-metoden** vil kunne gi pålitelige data for innslag av oppdrettslaks i elvene. Metodene sikrer at utvalget som registreres blir stort, i flere tilfeller tilnærmet hele laksebestanden, og samtidig reduseres antallet mulig gytende oppdrettslaks. Mer spesifikt anbefaler panelet derfor følgende kombinerte metode for overvåkning av laksebestander i norske laksevassdrag:

1. Antall fisket villaks og oppdrettslaks **registreres av fiskere** gjennom fiskesesongen og observasjonene bekreftes i ettertid ved analyser av skjellprøver.
2. Drivtelling gjennomføres etter fiskesesongen, men før gytesesongen. Antall villaks og oppdrettslaks registreres, og den identifiserte **oppdrettslaksen avlives**. Skjellprøver fra avlivet laks benyttes for å bekrefte opphav i ettertid.
3. Mer avansert overvåkning av bestander i utvalgte elver gjennomføres ved bruk av metoder som registrerer all oppvandrende fisk, for eksempel **heldekkende fiskefeller eller videoovervåking**. Data fra denne type overvåking kan sammenlignes med data fra sportsfisket og drivtelling for å lære mer om feilkilder og bias generert ved det anbefalte overvåkingsregimet angitt i 1 og 2.

Registreringen under sportsfisket vil gi tall på totalt antall oppdrettslaks og totalt antall villaks som er tatt ut av bestanden i elva gjennom fiskesesongen. Dette betinger at obligatoriske fangstrapporter inneholder opplysninger om laksen er avlivet eller satt ut i elven igjen og om det er villaks eller oppdrettslaks. Drivtelling kombinert med aktivt uttak av oppdrettslaks i perioden mellom avslutning av fiskesesongen og gyting vil kunne gi estimat for antall oppdrettslaks og antall villaks i den gjenværende bestanden i elva ved drivtellingen, og estimat for det totale antallet og innslaget av oppdrettslaks i elva før gytesesongen starter. Det siste estimatet vil inkludere oppdrettslaks som drivtelleren har registrert som oppdrettslaks, men ikke greid å ta ut, og det antallet oppdrettslaks som drivtellerne erfaringsmessig har feil-identifisert som villaks. Totalt antall oppvandrende oppdrettslaks kan da estimeres som summen av oppdrettslaks tatt gjennom sportsfisket og antallet som blir identifisert ved drivtelling (justert for usikkerhetene forbundet med visuell identifisering av oppdrettslaks). Totalt antall oppvandrende villaks i elva kan estimeres på samme måte.

Variabel fangbarhet og tidspunkt for oppvandring, samt valg av elvestrekning der sportsfisket har skjedd, vil ha liten eller ingen betydning for beregningene ved anvendelse av den foreslåtte metoden. Panelet er derfor av den oppfatning at forslaget for de fleste elver vil medføre en langt sikrere beregning av antallet oppvandret vill- og oppdrettslaks og størrelsen på de reelle gytebestandene av oppdrettslaks og villaks, samtidig som den vil bidra direkte til en kraftig reduksjon av antall mulig gytende oppdrettslaks i elva. Dette vil gi et langt riktigere forvaltningsmessig grunnlag for å vurdere om det trengs å iverksettes tiltak før neste års oppvandring enn hva dagens praksis tillater.

Den foreslåtte endringen av metodikk i overvåkingen fordrer at fagmiljøene fokuserer forskningen mot å gjøre metodene sikrere og bedre dokumentert. Metode-beskrivelsen som fiskerne følger kan standardiseres, og elveiere må få pålegg om en viss minstestandard for rapportering. Selv om drivtelling er anvendt i lang tid og virker robust, bør det gjennomføres studier av hvor stor variasjon det er mellom drivtellerne med hensyn til korrekt identifisering av oppdrettslaks, deres evne til uttak av identifisert oppdrettslaks, og hvor stor andel av laksepopulasjonen de ikke får visuell kontakt med under drivtellingen under ulike betingelser.

Genetisk påvirkning

De populasjonsdynamiske effektene på villakspopulasjonene på grunn av genetisk innblanding av oppdrettslaks avhenger av en rekke faktorer i et uhyre komplekst samspill, og vi er dessverre langt fra å kunne forutsi dem med sikkerhet for en gitt elv med en gitt årlig innvandring av oppdrettslaks. Det begynner imidlertid å foreligge data og metodiske tilnærminger som tillater en viss kvalifisering av problemstillingen og som kan fungere som rettesnor for forvaltningen.

Panelet foreslår å bygge videre på det arbeidet som er påstartet ved Havforskningsinstituttet og Norsk institutt for naturforskning vedrørende bruk av såkalt **agentbaserte modeller**. Dette er motivert ut fra at kompleksiteten knyttet til utvikling av et elvespesifikt og forvaltningsmessig velbegrunnet forutsigelsesverktøy som er i stand til å håndtere både variabiliteten til den genetiske innblandingen som funksjon av antall oppdrettslaks og villaks i elva, og de populasjonsdynamiske effektene av en gitt innblanding. Denne kompleksiteten kan kun håndteres ved bruk av matematiske modeller som kobler populasjonsgenetikk med populasjonsdynamikk.

Agentbaserte modeller gjør dette ved at de følger alle individer i en populasjon fra unnfangelse til død og de innbyrdes interaksjonene mellom individer. Hvert individ blir tildelt en genotype basert på foreldrenes genotyper og korresponderende verdier for et sett av utvalgte karakterer konstrueres ut fra en så godt som mulig empirisk fundert genotype-fenotype-avbildning, det vil si et kart som viser hvordan genetisk variasjon påvirker egenskapene (fenotypen) til et individ. Denne avbildningen fungerer som bindeledd mellom populasjonsgenetikken og populasjonsdynamikken, det vil si at den muliggjør forutsigelser om hvordan genetisk drevne individuelle fenotypiske variasjoner påvirker populasjonsdynamikken over tid.

Panelet anbefaler at fagmiljøene i fellesskap raskest mulig identifiserer en familie av mulige, men divergerende genotype-fenotype avbildninger med bakgrunn i foreliggende data og data som vil være tilgjengelige om kort tid. Fagmiljøene bør også i fellesskap gå gjennom alle ikke-genetiske modellpremisser som en forvaltningsrelevant agentbasert modell vil måtte inkludere, identifisere hvilke premisser som er kontroversielle og hvilke som ikke er det, og bli enige om hvordan usikkerhet og reell uenighet kan tas høyde for i fremtidige analyser. Likeledes bør fagmiljøene i fellesskap bli enige om hvordan de biologiske premissene skal

implementeres og hvilket språk modellrammeverket skal programmeres i. Dette er viktig for å sikre at personer med spesifikk biologisk domenekunnskap skal være i stand til å etterprøve at det er konsistens mellom premisser og modellutforming, og at koden kan være gjenbrukbar og etterprøvbart for flere.

Etter en slik fellesdugnad mener panelet at man vil ha etablert et rasjonelt begrunnet ståsted for å utvikle en agentbasert modell som kan brukes til å avdekke utfallsrommet av mulige scenarier som implisitt ligger innebakt i de (ofte motstridende) forestillinger som eksisterer. Det finnes i dag sterke verktøy for å analysere hvordan resultatene til agentbaserte modeller avhenger av deres premisser, og med bakgrunn i slike analyser vil en kunne avdekke hvilke eksperimentelle eller empiriske studier en bør fokusere på for å etablere det kunnskapstilfanget som er nødvendig for å kunne bruke agentbaserte modeller som beslutningsstøtteverktøy for forvaltningen av en rekke elver.

Panelet mener at en empirisk velbegrunnet agentbasert modell også kan bli et hensiktsmessig verktøy for å forutsi konsekvensene av den usikkerheten som er knyttet til estimering av årsprosenten og eventuell forbedring av denne, og for å forutsi effektene av panelets forslag om direkte uttak av oppdrettslaks i forbindelse med drivtelling om høsten.

I tråd med hva som nå er standard for biomatematiske modeller mener panelet at noen bør tildeles ansvar for å vedlikeholde en webside som beskriver den agentbaserte modellen, muliggjør kjøring av modellen direkte fra websiden og tilby nedlasting av kildekoden for de som ønsker å gjøre endringer for å teste effekten av endrede premisser. Websiden kan også fungere som et diskusjonsforum og sikre at modellen kan fungere som et grensesnitt som muliggjør en rasjonell diskusjon og samhandling mellom en rekke fagdisipliner og forvaltningsetater.

I det NFR-finansierte prosjektet QuantEscape2 som akkurat er startet, er det satt av midler til utvikling av agentbaserte modeller som bygger videre på de modellene som er utviklet av partnerne. QuantEscape2 vil kunne fungere som en ramme for den fellesøvelsen som er foreslått over, gitt at det bevilges midler som muliggjør at andre relevante miljøer i Norge og eventuelt utlandet kan inviteres inn for å sikre et best mulig fundament for modellutforming, modellanalyser, resultatpresentasjoner og modellgjenbruk.

1 Mandat

Mandatet til panelet har vært å vurdere de metodene som i dag benyttes for å registrere og dokumentere:

- innslag av rømt laks i vassdrag
- genetisk påvirkning av villaks fra oppdrettslaks

Panelet har *ikke* vurdert atferdsmessige økologiske *konsekvenser* av innslag av rømt laks i elvene eller konsekvenser av genetisk introgresjon (innblanding). Panelet har bestått av Yngvar Olsen (NTNU), Stig W. Omholt (NTNU), Anders Løland (Norsk regnesentral), Anders Lamberg (Skandinavisk naturovervåking AS), Torstein Kristensen (INAQ AS) og Henning Andre Urke (INAQ AS, sekretariat).

2 Bakgrunn

Siden 1989 har innslaget av rømt oppdrettslaks blitt overvåket i et stort antall norske lakseelver. Finansiering og organisering av dette arbeidet har variert mye fra år til år. Overvåkingen har vist at det forekommer rømt oppdrettslaks i de fleste vassdragene som undersøkes, og at det i enkelte vassdrag er en betydelig andel oppdrettslaks hvert år (Fiske 2013; Fiske m fl. 2014). Tilsvarende blir det årlig funnet lave andeler eller ingen oppdrettslaks i mange andre vassdrag.

Den raske ekspansjonen i totalt produksjonsvolum og antallet oppdrettet laks, årvisse uhell med rømming som konsekvens, og dokumenterte endringer i genetiske markører i flere villaksbestander (Skaala m fl. 2006; Glover m fl. 2012; 2013), gjør at forvaltningen har behov for mer informasjon om hvordan både antall oppdrettslaks og dens prosentvis innslag i bestandene av villaks endrer seg over tid. Det har blant annet vært et fokus på å avklare om andelen rømt oppdrettslaks i elvene er under eller over foreslåtte grenseverdier for det som er definert som akseptabel eller for høy innblanding av rømt oppdrettslaks.

2.1 Nasjonalt overvåkingsprogram

Det nasjonale programmet for overvåking av rømt oppdrettslaks ble etablert i 2014 (Anon. 2015a). Bakgrunnen for dette var at tidligere program med innsamling av prøver om høsten hadde blitt kritisert for å være for lite omfattende, og at det ikke var tatt tilstrekkelig hensyn til usikkerheten i datamaterialet (Skilbrei m fl. 2011). Noe av forklaringen på dette var at det gamle programmet hadde hatt begrensede ressurser og at innsamlingen var konsentrert omkring elver som forvaltningen ønsker opplysninger fra (Fiske 2013).

Vassdragene som nå overvåkes er valgt ut fra en rekke kriterier; å få en god geografisk spredning, å inkludere de nasjonale laksevassdragene, å ha vassdrag av ulik størrelse og å bygge videre på vassdrag med tidsserier og med gode lokale nettverk. Målet er å samordne og kvalitetssikre hele prosessen fra planlegging og innsamling av data til rapportering av undersøkelsene.

De ulike metodene som blir benyttet i de forskjellige elvene, har sine styrker og svakheter, både i forhold til prøvestørrelsene og sikkerheten i identifikasjon av oppdrettslaks. At innslaget av rømt oppdrettslaks i vassdragene endrer seg i løpet av sesongen, samt at rømt oppdrettslaks til dels har en annen migrasjonsadferd og fangbarhet enn villaks, gjør det krevende å innhente gode data. Den store mengden data som er samlet inn og systematisert i løpet av de to første årene av overvåkingsprogrammet gir imidlertid håp om at man i

fortsettelsen av programmet kan forbedre metodene, og med dette kvaliteten på overvåkingen ytterligere.

2.2 Nasjonale mål for overvåkingen av laksebestandene

Formålet med et nytt nasjonalt overvåkingsprogram er å samordne og kvalitetssikre hele prosessen; fra planlegging via innsamling og til rapportering av undersøkelser av andelen rømt oppdrettslaks i villaksbestandene. Dette skal gjøres med tanke på at estimatene for andel rømt oppdrettslaks i enkeltvassdrag og regioner skal ha et presisjonsnivå som tilsier at de er egnet til å svare på spørsmålene som forvaltningen stiller. Et godt overvåkingsprogram vil også kunne bidra med viktige data om villaksens bestandssituasjon. Det vil også på sikt kunne gi informasjon om, og i hvilken grad, tiltak mot rømming har effekt. I tillegg vil overvåkingsprogrammet gi viktig informasjon i forhold til kvalitetsnormen for Atlanterhavslaks og bidra med data for klassifisering/ karakterisering av vassdrag med anadrome fisk i henhold til vannforskriften.

Resultater fra overvåkingsprogrammet skal også danne grunnlag for hvor oppdrettsnæringens sammenslutning for utfisking av rømt oppdrettsfisk i vassdrag (OURO) velger å planlegge for utfisking av rømt oppdrettsfisk (FOR-2015-02-05-89). Data fra overvåkingsprogrammet, i forskriften definert som årsprosent og gytefiskteljinger, skal legges til grunn for de utfiskingstiltakene som gjennomføres av OURO i elver med for høyt innslag av rømt oppdrettsfisk:

«Formålet med forskrifta er å redusere risikoen for genetisk påverknad frå akvakultur på ville bestandar av laksefisk.» «Samanslutninga skal vurdere planlegging av tiltak for å redusere førekomst av rømt oppdrettsfisk i elver der overvåkinga, ved bruk av årsprosent eller gytefiskteljingar, syner at innslaget av rømt oppdrettsfisk er lik eller større enn 4 prosent. I elver der innslaget av rømt oppdrettsfisk er større enn 10 prosent skal tiltak planleggast.»

Oppvandring av oppdrettslaks med påfølgende gyting og genetiske endringer i bestandene av villaks har fått et spesielt fokus, Jf Kvalitetsnorm for ville bestander av atlantisk laks (FOR-2013-09-20-1109):

«Formålet med denne normen er å bidra til at viltlevende bestander av atlantisk laks ivaretas og gjenoppbygges til en størrelse og sammensetning som sikrer mangfold innenfor arten og utnytter laksens produksjons- og høstingsmuligheter.»

Kvantifisering av innslaget av oppdrettslaks i elvene, og spesielt i gytebestandene, er et delmål i prosessen for å beskytte de ville laksebestandene, men dette er ikke noe hovedmål i seg selv. Et høyt innslag av oppdrettslaks er et første varsel om at det kan skje genetiske påvirkninger, og innslaget av oppdrettsfisk i elvene anvendes som sentral indikator som skal utløse tiltak. En øvre akseptabel grense på 4-10 % oppdrettslaks i elvene er foreslått (Taranger m fl. 2015). Målet for overvåkingen; å beskytte villaksen, tilsier at innslaget av oppdrettslaks i gytebestandene i elvene bør være så lavt som mulig. Det er imidlertid vanskelig å sette en sikker vitenskapelig begrunnet grense.

3 Metoder for registrering av rømt oppdrettslaks

Det benyttes i dag ulike metoder i arbeidet med å kvantifisere antall og andel av rømt oppdrettslaks (Tabell 1). Noen metoder er basert på prøvetaking av et begrenset utvalg, mens

Tabell 1. Metoder som blir brukt til å vurdere andelen rømt laks i elvene.

Metode	Beskrivelse
Høstfisket	Rettet fiske med formål å ta ut rømt oppdrettslaks fra elvene, skjer på høsten etter sportsfiskesesongen. Rømt oppdrettslaks verifisert ved skjellprøveanalyser
Sportsfisket	Det ordinære sportsfisket som skjer i sommerhalvåret - vanligvis juni (mai) - august (september). Rømt laks verifisert ved skjellprøveanalyser.
Stamfiske	Skjer som oftest på høsten for å ta inn materiale til kultiveringsformål. Skjell- og pliktige genanalyser på materialet, der rømt laks blir ekskludert.
Fangstfeller	Registrering av opp- og nedvandring til fisk over en lengre tidsperiode. Rømt laks vil kunne sorteres ut ved visuelle bestemmelse. Uttaket verifiseres ved skjell- og genanalyser i etterkant.
Visuell gjenkjenning	Drivtelling med dykker gjennomføres på høsten, oftest noen uker i forkant av antatt gyting. Brukes for å kartlegge gytebestand, men også for å vurdere andel rømt oppdrettslaks. Visuell klassifisering basert på morfologiske kjennetegn. Videoovervåking anvendes for å registrere antall fisk som vandrer opp i vassdraget ved innsnevring/trapper. Visuell klassifisering av antall rømt laks som passerer kamera. Dette kan også foregå i tilnærmet sanntid.

andre er basert på kvantifisering av hele eller store deler av bestanden. Den mest anvendte metoden for registrering av andel rømt oppdrettslaks i elvene har vært analyse av skjellprøver fra laks innfanget gjennom sportsfiske. Ofte er det også hentet skjellprøver fra laksebestanden om høsten etter fiskesesongen. Dette «høstfisket» har foregått i organisert form siden 1989 fram til i dag. Prøver av denne laksen samles inn ved bruk av flere forskjellige fangstmetoder.

Skjellprøvene avleses for vekstmønster etter kjent metodikk som gjør at man kan skille mellom fisk oppvokst i naturen og i oppdrettsanlegg (Lund m fl. 1989; Hiilivirta m fl. 1998). Disse prøvene har hatt lavere prioritet enn prøvene fra høstfisket (Tabell 1) fordi det har vært antatt at mye av oppdrettslaksen kan vandre inn i elvene etter at sportsfiskesesongen er over. En tredje type innsamling av skjell foregår i forbindelse med fiske etter laks til bruk som stamfisk i kultiveringsarbeid. Det er også benyttet fangstfeller i flere vassdrag de siste årene, også her tas det skjellprøve av passerende fisk.

Det siste tiåret har metoder som baseres på visuell gjenkjenning av oppdretts- og villaks fått en økt utbredelse. Drivtelling (Tabell 1) av gytefisk om høsten er den mest utbredte visuelle metoden. Videoovervåking blir også brukt i vassdrag der laks som passerer naturlige eller kunstige barrierer der man på grunnlag av videoopptak eller stillbilder kan foreta en vurdering av laksens opphav. I tillegg er rapporteringssystemet for sportsfiskefangster gradvis lagt om slik at fiskerne selv kan klassifisere og rapportere laksen de får som rømt eller vill laks.

I enkelte elver drives fortsatt en omfattende kultivering basert på utsett av klekkeriprodusert smolt av stedegen stamme. Det foreligger ingen nyere komplett oversikt over omfanget av kultiveringstiltak i norske vassdrag med anadrom fisk (Ugedal m fl. 2014). Vitenskapelig råd for lakseforvaltning kartla omfanget av utsetninger av laks i 236 norske laksevassdrag som ble vurdert med hensyn til gytebestandsmål (Anon. 2010). I perioden 2005-2009 ble det i disse vassdragene i gjennomsnitt satt ut nesten åtte millioner fisk (inkludert øyerogn) årlig. Av dette utgjorde utsetninger av laksesmolt om lag 400 000 individ årlig (Ugedal m fl. 2014).

Enkelte steder overskrider utsettingen elvenes eget produksjonspotensial, noe som gjenspeiles i fangstene (Urdal m fl. 2004; Moen m fl. 2009). Graden av feilvandring til elver uten eget kultiveringsprogram, der disse ikke blir gjenkjent som kultivert fisk, er i mange tilfeller ukjent. Det er antatt større feilvandring av klekkeriprodusert enn av naturlig produsert fisk (Finstad & Jonsson 2001). Det meste av den klekkeriproduserte smolten merkes i dag ved fettfinneklipping, men metoden er ikke godt egnet til å avgjøre opphavet til fanget fisk. Utført unøyaktig kan også fettfinnen regenereres slik at merking ikke gjenkjennes. Ved skjellprøveanalyser av voksen fisk med bakgrunn som klekkeriprodusert smolt vil denne uten tilleggsinformasjon om ytre eller indre merker/kjennetegn kunne klassifiseres feilaktig som tidlig rømt oppdrettslaks.

3.1 Høstfiske: Innslag av oppdrettslaks i overvåkingsfiske på høsten basert på skjellprøver

Overvåkingsfisket i elvene om høsten (betegnet «høstfisket») blir gjennomført etter at sportsfiskesesongen er over. Metodene inkluderer fiske med stang slik det foregår i fiskesesongen, fiske med garn, notkast, lysfiske og fangst i feller. Fiske med stang er den mest utbredte metoden. Det blir følgelig benyttet forskjellige fiskemetoder for å skaffe et utvalg av fisk. Analyse av fiskeskjell danner grunnlag for estimeringen av innslaget av oppdrettslaks i høstfisket.

I årene fra 1989 til og med 2012 var det ikke satt krav til hvor i vassdraget høstfisket skulle foregå. Fra og med 2013 har det vært et økende fokus på at utvalget av skjellprøver av fisk skal tas fra hele vassdraget (Fiske m fl. 2014; Anon. 2015a; Anon. 2016). Normalt er antallet fisk som fanges i høstfisket relativt lavt. Antall skjellprøver som tas og analyseres blir med dette langt lavere enn i sportsfisket.

Potensielle feilkilder i høstfiske

Uttaket av laks og innsamling av skjell fra høstfisket er utfordrende fordi utvalget av fisk må være samlet inn mest mulig tilfeldig. I tillegg krever metoden at utvalget av laks er stort nok slik at datamaterialet kan gi en tilstrekkelig sikker analyse av bestanden og innslaget av oppdrettslaks. Problemene omkring å sikre tilfeldige utvalg av laksebestanden kan illustreres av flere forhold.

Oppdrettslaks og villaks kan være ulikt geografisk fordelt i vassdraget, noe som fører til at innsamlingen må foregå over en stor del av vassdraget. Fordelingen av laksebestandene innen vassdraget kan også variere over tid slik det er funnet i studier i Namsen (Thorstad m fl. 1998; Næsje m fl. 2013a; Næsje m fl. 2015; Moe m fl. 2016).

Fangstmetoden som anvendes må ha lik effektivitet for vill- og oppdrettslaks. Innsamling ved stangfiske er den vanligste metoden. Det er normalt sportsfiskere som gjennomfører høstfisket med stang og de vil trolig fiske på samme måte som de gjør i den ordinære fiskesesongen. Dersom oppdrettslaks og villaks har forskjellig atferd og oppholder seg i ulike deler av hølene om sommeren og om høsten, og denne fordelingen varierer mellom villaks og oppdrettslaks, vil stangfiske kunne gi ulik fangstrate for vill- og oppdrettslaks. Ulik fangstrate er målt i flere bestander med kjent antall og fordeling av oppdrettslaks og villaks (Svenning m fl. 2015). I tre av elvene ble laksebestandenes størrelse dokumentert ved bruk av videoovervåking av all oppvandrende laks over flere år. Kombinert med fangststatistikk fra høstfiske viste denne overvåkingen at oppdrettslaksen trolig var 8,1 ganger mer fangbar enn villaksen.

I Næsje m fl. (2015) ble det benyttet en annen metode for å måle fangbarhet for vill og oppdrettet laks under stangfiske om høsten. Ved hjelp av radiomerket laks ble CPUE («catch

per unit effort») målt opptil 7,3 ganger høyere for villaks enn for oppdrettslaks. Samtidig ble det estimert at det var 22,8 ganger flere villaks enn oppdrettslaks i fangstområdet, noe som tilsier at den reelle fangbarheten var om lag 3 ganger høyere for oppdrettslaksen enn for villaksen. I Lamberg m fl. (2016) ble det funnet 10,1 ganger høyere fangbarhet for oppdrettslaks enn for villaks under høstfisket i Orkla i 2015. Bestandene i dette studiet ble estimert ved bruk av drivtelling.

I Roksdalsvassdraget er det i mange år gjennomført høstfiske med garn/not og ikke med stangfiske, og fisket er dermed mindre selektivt. Fisket har foregått på flere steder i elva og den fangede laksen er blitt merket før den settes tilbake. I tillegg blir vassdraget videoovervåket. I dette høstfisket ble det ikke funnet høyere fangbarhet for oppdrettslaks enn for villaks (gjennomsnitt over 10 år, Lamberg m fl. in prep).

En oppsummering viser med tydelighet at resultater fra høstfisket er sensitive for om laksen tas ut fra hele elvestrekningen eller bare fra deler, av størrelse av utvalget som tas ut og av redskapen som anvendes i høstfisket. Andre varierende forhold kan resultere i ytterligere usikkerhet. Representativiteten av data generert i høstfisket er derfor høyest om laksen tas ut fra hele elvestrekningen og om det anvendes fiske med not og ikke med stang. Utvalgets størrelse er helt avgjørende, men metoden har begrensninger fordi antall laks i utvalget ofte ikke enkelt kan økes.

3.2 Sportsfiske: Innslag av oppdrettslaks i sportsfisket basert på skjellprøveanalyser

I 1989 ble det startet systematisk innsamling av skjellprøver fra sportsfiskefangster i fiskesesongen (betegnet «sportsfiske») parallelt med oppstart av innsamling av skjellprøver fra høstfisket. Rapporteringsrutinene har endret seg gjennom årene fra oppstart av dette programmet for innsamling og antall innleverte skjellprøver har økt gradvis i denne perioden. De siste cirka fem årene har fiskerne blitt anmodet om å gi følgende informasjon på skjellkonvoluttene:

- 1) Elv
- 2) Fangststed
- 3) Fangstdato
- 4) Art
- 5) Total kroppslengde
- 6) Vekt
- 7) Avlivet eller gjenutsatt
- 8) Kjønn (spesifisert om fisken er åpnet eller vurdert fra ytre kjønnskarakterer)
- 9) Opphav (villaks eller oppdrettslaks)
- 10) Eventuell merking og eller ytre skader

Potensielle usikkerheter og feilkilder i sportsfiske

Norske laksevassdrag har i utgangspunktet svært ulike bestandsstørrelser og beskatningsrater for laks. Om man kombinerer tall for beskatning fra elver hvor det er gjennomført gytefisketelling i 2014 med antall innrapportert, avlivet fisk i lakseregisteret (64 elver), kan gjennomsnittlig beskatningsrate estimeres til 51 % (median 55 %), og 25 % av elvene har høyere beskatningsrate enn 72 %.

Dette betyr at utvalget av avlivet fisk normalt er så høyt at det kan være representativt dersom skjellprøver av et tilstrekkelig antall avlivede fisk i utvalget blir samlet inn og avlest. I absolutte tall ble det i gjennomsnitt avlest skjell fra 136 individer pr vassdrag (data fra

overvåkingsprogrammet i 2014), medianverdien lå på 68 individer, mens 25 % av vassdragene hadde færre enn 40 avleste skjellprøver. Om man sammenholder disse tallene med innrapportert antall avlivet fisk i lakseregisteret, ble skjell fra i gjennomsnitt 41 % av fangstene avlest (median 28 %), mens 25 % av vassdragene hadde mindre enn 13 % avlest. Manglende avlesning kan skyldes at skjellprøver ikke er tatt av avlivet fisk, at disse ikke er sendt inn, eller at de er sendt inn, men av ulike årsaker ikke prioritert avlest.

Sportsfisket etter laks er i økende grad påvirket av pålegg om gjenutsetting av spesifikke grupper fisk (basert på kjønn og størrelse) og av frivilling «fang og slipp»-fiske. Basert på data fra lakseregisteret for 2014, var gjennomsnittlig andel gjenutsatt fisk 25 % (data fra 168 elver). Mange sportsfiskere er i stand til å identifisere og avlive rømt oppdrettslaks basert på ytre kjennetegn, og selektiv gjenutsetting fører forhåpentligvis til at rømt oppdrettslaks tas ut av bestanden og avlives. Som vist ovenfor blir det tatt skjellprøver eller avlest skjell fra om lag 40 % av laksen som avlives. Hvis man kan forvente en høyere motivasjon til å samle og sende inn skjellprøver fra fisk som mistenkes for å være oppdrettsfisk, kontra fisk som vurderes som villaks, vil selektiv gjenutsetting av laks (der all fisk vurdert som oppdrettslaks avlives) potensielt medføre en overestimering av andel oppdrettslaks i skjellmaterialet som analyseres fra elvene.

Oppsummert viser erfaringene at data generert fra sportsfisket gjennomgående kan ha god representativitet ved at utvalget utgjør en vesentlig del av bestanden. Usikkerheten er hovedsakelig knyttet til at det brukes en fangstmetode som trolig gir forskjell i fangbarhet for villaks og oppdrettslaks, at rapporteringen har svakheter, at skjellprøvene ikke alltid analyseres eller at det ikke tas skjellprøver av all fanget laks.

3.3 Stamfiske: Innslag av oppdrettslaks i stamfiske på høsten basert på skjellprøver/genetisk analyse

Hvert år fanges og strykes omlag 2000 laks fra omtrent 50 ulike vassdrag for kultiveringsformål (Karlsson m fl. 2015). Fisken fanges hovedsakelig etter sportsfiskesesongen (Anon 2015b; Anon. 2016). Fiske etter stamfisk (betegnet «stamfiske») foregår mest ved bruk av stang på samme måte som i fiskesesongen. Antallet fisk som samles inn i dette fisket er generelt lavt, ofte på linje med det antallet som fanges i høstfiske. Innsamlingen av fisk styres primært av behovet for at utvalget har et minimum antall fisk av begge kjønn for ivaretagelse av genetisk variasjon i bestanden. Dette fisket gjennomføres heller ikke etter de samme kriteriene som for det organiserte høstfisket.

Potensielle feilkilder i stamfiske

Stamfiske etter laks foregår primært for å samle inn villaks. Det settes derfor normalt andre krav til fordeling av fangsten i vassdraget. Data generert i stamfiske vil på samme måte som høstfisket påvirkes av oppdrettslaksens høyere fangbarhet (Svenning m fl. 2015, Næsje m fl. 2015, Lamberg m fl. 2016). Det kan også være et problem at et sterkt fokus på villaks kan medføre at prøver av fanget (og avlivet) oppdrettslaks ikke sendes inn, selv om retningslinjene tilsier at dette skal gjøres (Glover m fl. 2016).

3.4 Fangstfeller: Innslag av rømt laks estimert med fangstfeller

Bruk av fangstfeller for å måle andel rømt oppdrettslaks i migrerende bestander er en metode som gir høy presisjon fordi bestemmelse av fiskens opphav er ansett som sikker. Det kan tas skjellprøve av hvert individ. Noen permanent heldekkende feller er operative i dag, blant annet i Imsa, Guddalselva, Etne og Talvik (avviklet i 2013). I tillegg har det blitt benyttet

midlertidige, heldekkende feller i en rekke mindre vassdrag gjennom flere år (Kanstad-Hanssen & Bentsen 2013). Det er også benyttet kilenøter i noen vassdrag (Staldvik 2012; Fiske & Wennevik 2011; Gjertsen m fl. 2014; 2015).

Potensielle feilkilder med fangstfeller

Fangstfeller som plasseres i et vassdrag vil som oftest representere et vandringshinder for laksen på vei opp til gyteplassene. Dersom oppdrettslaks og villaks har ulik vandringsmotivasjon, kan oppdrettslaksen i større grad bli stående på nedsiden av fella og dermed ikke bli registrert. Feller kan med dette enten forsinke oppvandringen eller gi et lavere estimat av andel oppdrettslaks i områdene ovenfor fella. I de permanente fellene er all fisk hjemmehørende i vassdraget merket og andel oppdrettslaks i gytebestandene ovenfor derfor alltid null.

3.5 Visuell gjenkjenning:

3.5.1 Innslag av rømt laks estimert ved drivtelling

Av de metodene for estimering av oppdrettslaks i elvene som primært er basert på visuell identifisering av rømt oppdrettslaks, er såkalt «drivtelling» av gytefisk ved snorkling i elvene om høsten den mest utbredte metoden som inngår i dagens overvåking (Anon. 2016).

Drivtelling av gytefisk i norske elver har foregått siden 80-tallet. De første årene var det få aktører som gjennomførte slike tellinger, men utover 90-tallet tok stadig flere forskningsmiljøer metoden i bruk. På 2000-tallet var metoden så utbredt at det ble utviklet en Norsk Standard for gytefisketelling i 2004 (NS 9456:2004). Denne standarden ble revidert i 2015 (NS 9456:2015). Standarden beskriver primært overvåking av gytebestander av villaks, men i den siste versjonen er registrering av rømt oppdrettslaks tatt inn som element i tellingene. Drivtelling av gytefisk etter norsk standard krever erfarne drivtellere (Orell m fl. 2011; Ugedal m fl. 2015), og det antas at drivtellers evne til å skille ut oppdrettslaks under drivtelling er mer presis enn den til sportsfiskerne. Drivtelling utført etter norsk standard, og med erfarne drivtellere, fanger trolig opp 85 til 95 % av totalbestanden i et vassdrag, og utvalgsstørrelsen for beregning av andel rømt oppdrettslaks er derfor svært høy (Lamberg m fl. 2008; Orell m fl. 2011; Kanstad Hanssen 2010)). Ved drivtelling kan i prinsippet hele vassdraget undersøkes og man får kartlagt store deler av bestanden.

Potensielle feilkilder ved drivtelling

Tester av de visuelle metodene viser at erfarne drivtellere skiller villaks fra oppdrettslaks med høyere presisjon (Lehmann m fl. 2008; Svenning m fl. 2015). Drivtellere har gjennomgående høyere presisjon enn det som rapporteres fra sportsfiskere (Næsje m fl. 2013b). I sportsfisket er visuell gjenkjenning testet mot skjellprøver av den samme fisken. De fleste studiene viser at en gjennomsnittlig sportsfisker bestemmer cirka 20 % av oppdrettslaksen til å være villaks, mens bare 1-3 % av villaksen blir feilklassifisert til å være oppdrettslaks (Næsje m fl. 2013b; 2014; Svenning m fl. 2015).

På landsbasis er gjennomsnittlig beregnet gytebestandsmål (GBM) 1130 kg hunnfisk (302 elver), mens medianverdien er 234 kg. Det er følgelig flere mindre enn store vassdrag med tilhørende lavere GBM. I de 65 vassdragene som ble overvåket gjennom drivtelling i overvåkingsprogrammet for 2014 var GBM gjennomsnittlig 1203 kg (median 259 kg). Det vurderes at utvalget er representativt for norske lakseelver,

For de aller minste vassdragene kan drivtelling ha begrensninger grunnet lav vannføring og lite vannvolum, men det at metoden har blitt anvendt i mindre grad i slike vassdrag enn i de mellomstore og relativt store vassdragene skyldes også lavere prioritering av små

vassdrag/bestander fra forvaltningen. Fysiske forhold som større innsjøer på den anadrome strekningen vil i mange tilfeller øke usikkerhetene i drivtelling, som også kan være mindre egnet for de største elevene.

Oppsummert kan det slutes at drivtelling har den fordel at nærmest det totale antallet oppdrettslaks og villaks i laksebestanden kan registreres i hele elvene. Usikkerheten er mest knyttet til hvor sikkert en drivteller kan identifisere oppdrettslaksen i bestanden.

3.5.2 Video- og kamerabaserte metoder

Videoovervåking anvendes for å registrere antall fisk som vandrer opp i vassdraget i mange elver. Fra billedmaterialet som samles ved videoopptak er det mulig å skille mellom rømt oppdrettslaks og villaks ut fra et sett med morfologiske karakterer (Lamberg m fl. 2014; Svenning m fl. 2016). Videoovervåking av fisk som vandrer opp i elver foregår i dag i all hovedsak på to måter:

- 1) Ved overvåking med sensorer i smale tverrsnitt (fisketrapper)
- 2) Ved overvåking i åpne elvetverrsnitt.

I begge metodene lagres omlag 3 bilder i sekundet gjennom hele sesongen (Svenning m fl. 2016). Elvene som overvåkes er valgt ut etter to kriterier, der sikten i vannet er det viktigste og størrelsen på tverrsnittet av elva er det andre kriteriet. Videoovervåking kan foregå i store elver så lenge det finnes tilstrekkelig smale tverrsnitt, som for eksempel kraftverksdammer med fiskepassasje (Lamberg m fl. 2016).

Potensielle feilkilder ved videoovervåking

Det er ikke gjennomført publiserte storskala tester av videoovervåking slik som for drivtelling. Presisjonen i resultatene fra de visuelle metodene er imidlertid personavhengig og vil variere med personens erfaring.

4 Årsprosent - Estimering av andel oppdrettslaks i vassdraget og vurdering av usikkerhet i estimatene

4.1 Årsprosent som punkttestimat

To datakilder blir normalt anvendt for estimering av den såkalte «årsprosenten», her definert som andelen oppdrettslaks i den totale laksepopulasjonen:

1. Sportsfisket (eller sommerfiske)
2. Høstfisket (eller prøvefisket)

Data fra minst ett av disse fiskeuttakene må være tilgjengelig for å beregne årsprosenten, tidligere kalt «insidens» (Fiske m fl. 2006). Verdien reflekterer som nevnt andelen rømt oppdrettslaks i et vassdrag og sammenlignes normalt for vassdrag hvor bare én eller begge datakildene er tilgjengelig. Ifølge Anon. (2015a) og Anon. (2016)¹ skal årsprosenten slik den estimeres kompensere for at:

- Innslaget av rømt oppdrettslaks vanligvis er høyere i høstfiske enn i sportsfisket, delvis fordi det legges til grunn at rømt oppdrettslaks søker opp i elvene seinere enn villaksen
- Høstprosenten kan overestimere den sanne andelen rømt oppdrettslaks i bestanden på grunn av forskjeller i bitevillighet mellom rømt oppdrettslaks og villaks og ulik fordeling i vassdraget i perioden fram mot gyting

Enkelt sagt er det antatt at dersom det foreligger tilstrekkelige data fra både sports- og høstfisket, vil sportsfiskeprosenten alene representere et underestimat og høstprosenten et overestimat, men i gjennomsnitt er det blitt antatt at de to datakildene kan gi et riktig bilde. Det er utviklet formler for å kompensere for over- og underestimeringen. Formlene er tilpasset et stort historisk datasett for henholdsvis sportsfisket, høstfisket eller både sports- og høstfisket (Diserud m fl. 2010), gjengitt her:

$$\text{årsprosent}_{\text{sommer}} = 100 \cdot \left(\sin(0,116 + 0,888 \cdot \arcsin(\sqrt{\text{sommerandel}})) \right)^2 \quad (1)$$

$$\text{årsprosent}_{\text{høst}} = 100 \cdot \left(\sin(0,044 + 0,699 \cdot \arcsin(\sqrt{\text{høstandel}})) \right)^2 \quad (2)$$

$$\text{årsprosent}_{\text{total}} = 100 \cdot \left(\sin\left(\frac{\arcsin(\sqrt{\text{sommerandel}}) + \arcsin(\sqrt{\text{høstandel}})}{2}\right) \right)^2 \quad (3)$$

«sommerandel» tilsvarer andelen i sportsfisket. Sinus-/arcsinus-transformasjonene sørger for at årsprosenten ligger mellom 0 og 1. Også andre transformasjoner kunne vært brukt her. Ved bruk av data fra både sports- og høstfisket, beregnes det i praksis et gjennomsnitt av de to utvalgene, uavhengig av hvor mange datapunkter som ligger bak hver av dem. Sports- og høstfisket anses altså her som like representative.

Årsprosenten kan ses på som en indeks, siden den sanne (faktiske) andelen rømt oppdrettslaks ikke var kjent ved tilpasning av formlene for årsprosenten. I Tabell 2 er formlene for estimering av årsprosent gitt ovenfor anvendt på noen eksempler av utvalgsstørrelse og andeler oppdrettslaks. Formlene er ikke symmetriske, det vil si at for et gitt nivå er justeringen ulik avhengig av hvilke datakilder som er tilgjengelige. Bruken av konstantledd i formlene gjør at 1,3 % og 0,2 % er nedre grenser for årsprosenten basert på henholdsvis sports- eller

¹ Anon. (2016) ble offentliggjort sent i vårt arbeid.

Tabell 2. Estimering av årsprosent med ligning 1, 2 og 3 basert på valgte utvalgsstørrelser og andeler oppdrettslaks i sports- og høstfisket.

Prøve	Antall	Andel	Årsprosent
Sportsfisket	200	0 %	1,3 %
Sportsfisket	200	2,0 %	5,7 %
Sportsfisket	200	10,0 %	15,3 %
Sportsfisket	200	20,0 %	25,4 %
Høstfisket	200	0 %	0,2 %
Høstfisket	200	2,0 %	2,0 %
Høstfisket	200	10,0 %	7,1 %
Høstfisket	200	20,0 %	12,9 %
Sports- og høstfisket	200/200	0 %/0 %	0,0 %
Sports- og høstfisket	200/200	2,0 %/2,0 %	2,0 %
Sports- og høstfisket	200/200	10,0 %/10,0 %	10,0 %
Sports- og høstfisket	200/200	20,0 %/20,0 %	20,0 %

høstfisket. Dette gir sannsynligvis en best mulig tilpasning for et gjennomsnittsvassdrag, men det kan gi et feilaktig inntrykk for vassdrag med svært lave eller høye innslag av rømt oppdrettslaks. Bruk av begge datakildene sammen gir derimot en nedre grense på 0 %. Antallet fisk påvirker konfidensintervallene, men ikke punkttestimatene.

4.2 Estimert årsprosent med konfidensintervall

Det er tatt utgangspunkt i hvordan konfidensintervaller beregnes og brukes av Anon (2015a). I Store Norske Leksikon (snl.no) defineres konfidensintervall som:

«statistisk mål brukt ved estimering av ukjente størrelser på bakgrunn av innsamlet datamateriale. Brukes i statistisk analyse av data beheftet med usikkerhet og variasjon. Et konfidensintervall gir en nedre og en øvre grense for størrelsen som estimeres, og lengden av intervallet antyder hvor godt estimatet er (et langt intervall signaliserer større usikkerhet enn et kort).»

Den ukjente størrelsen er årsprosenten, og det innsamlede datamaterialet er fra sports- og/eller høstfisket. Konfidensintervallet gir som antydnet ovenfor et anslag på spredningen rundt punkttestimatet. Siden punkttestimatet er en usikker størrelse, vil også konfidensintervallet variere fra datasett til datasett. Mer data gir i det lange løp sikrere punkttestimater og smalere konfidensintervaller. Konfidensintervallet kan (og bør) brukes til å teste hypoteser (se nedenfor).

Anon (2015a) bekrefter det ikke eksplisitt, men det er brakt på det rene at det benyttes et 95 % konfidensintervall. Dette nivået er en slags bransjestandard, og vi vil i det følgende benytte et 95 % intervall i alle eksempler.

Konfidensintervallene for årsprosenten beregnes enten:

- Basert på enten sportsfisket eller på høstfisket alene, eller
- Basert på både sports- og høstfisket samlet

Uten å gå inn i de tekniske detaljene, kan det kort skisseres hvordan konfidensintervallene beregnes. Konfidensintervallene basert på sportsfisket eller på høstfisket alene er beregnet med en av flere mulige standardmetoder, hvor det er antatt at det tas tilfeldige representative prøver fra en stor/uendelig populasjon. Konfidensintervallene basert på både sports- og høstfisket samlet er ikke like enkle å beregne, og fordi den estimerte årsprosenten legger lik vekt på sports- og høstfisket, er dette ikke trivielt.

I praksis avledes et standardavvik som summen (via variansene) av standardavviket fra konfidensintervallet gitt i sportsfisket og standardavviket fra konfidensintervallet gitt i høstfisket. Dette gjøres separat for den nedre og øvre grensen i konfidensintervallet. En konsekvens av dette er at den av datakildene (sports- eller høstfisket) med lavest antall prøver, som typisk er høstfisket, vil fungere som en nedre usikkerhetsgrense. Også den øvre usikkerhetsgrensen styres i stor grad av datakilden med lavest antall prøver.

Konfidensintervaller basert på sports- og høstfisket kan derfor være bredere enn konfidensintervallet basert på enten sports- eller høstfisket alene. Dette er inkonsekvent og uheldig. I vanlige utvalgsundersøkelser gir to uavhengige punktestimater generelt smalere konfidensintervaller enn en får ved å basere seg på kun et av punktestimatenes. Problemet oppstår her blant annet fordi det legges lik vekt på sports- og høstfisket, uavhengig av antall observasjoner. En mulig vei ut av uføret kan være å si at én høstprøve tillegges like stor vekt som k sportsprøver, hvor k typisk er større enn én.

I vårt arbeid med rapporten har det kommet fram at det var en feil i noen av konfidensintervallene presentert av Anon. (2015a). Konfidensintervallene basert på to datakilder benyttet høstfiskedata to ganger i stedet for å kombinere høst- og sportsfiskedata. Da det generelt er færre prøver tatt i høstfisket enn i sportsfisket, er den beregnede usikkerheten størst i høstfisket. Feilen kan derfor i en del tilfeller ha gitt bredere konfidensintervaller enn det metoden skal gi ved riktig bruk. Denne feilen er rettet opp i årets rapport (Anon. 2016).

I Tabell 3 er årsprosent med tilhørende konfidensintervall beregnet for en del hypotetiske tilfeller av utvalgsstørrelse og andel oppdrettslaks i utvalgene. For sammenligningens skyld er alle eksemplene som gir en årsprosent på 10 % *markert i kursiv*. Generelt er intervallene basert på sportsfisket eller høstfisket omtrent like brede ved samme beregnede årsprosent og likt antall prøver. Konfidensintervallene blir dessuten smalere ved uttak av flere prøver, eller ved større utvalg i fisket.

Som nevnt ovenfor kan konfidensintervallene gitt data fra sports- og høstfisket sammen være bredere enn de gitt for høstfisket alene, for eksempel ved oppnådd årsprosent på 10 % og 200 prøver i sports- og/eller høstfisket. Ved uttak av svært mange prøver for enten sports- eller høstfisket (10.000 i eksempelet), er fortsatt konfidensintervallene relativt brede, dette som følge av den nedre grensen for usikkerheten diskutert ovenfor. Dette er enda en uheldig egenskap ved konfidensintervallene slik de er beregnet.

4.3 Årsprosenten er mer usikker enn det gis inntrykk av

I tillegg til problemene som er nevnt ovenfor, er det gode argumenter for at den reelle usikkerheten er høyere enn dagens konfidensintervaller gir inntrykk av. Det kommer både av en potensiell skjevhet i estimatene og en variasjon som er større enn det tas hensyn til i dag.

Tabell 3. Estimering av årsprosent med konfidensintervall (ligning 1, 2 og 3) basert på eksempler av valgte utvalgsstørrelser og andeler oppdrettslaks i sommer- og høstfisket. Alle eksemplene som gir en årsprosent på 10 % er markert i kursiv. Vi har her med andre ord gått baklengs og funnet den observerte andelen som for hver prøvesituasjon gir en årsprosent på 10 %.

Prøve	Antall	Andel	Årsprosent	95 % konfidensintervall
Sportsfisket	200	0 %	1,3 %	(1,3 %, 5,6 %)
Sportsfisket	200	2,0 %	5,7 %	(3,7 %, 9,7 %)
<i>Sportsfisket</i>	<i>200</i>	<i>5,3 %</i>	<i>10,0 %</i>	<i>(7,3 %, 14,8 %)</i>
Sportsfisket	200	10,0 %	15,3 %	(11,5 %, 20,4 %)
Sportsfisket	200	20,0 %	25,4 %	(20,5 %, 31,1 %)
Sportsfisket	400	0 %	1,3 %	(1,3 %, 4,0 %)
Sportsfisket	400	2,0 %	5,7 %	(4,2 %, 8,3 %)
<i>Sportsfisket</i>	<i>400</i>	<i>5,3 %</i>	<i>10,0 %</i>	<i>(7,8 %, 13,0 %)</i>
Sportsfisket	400	10,0 %	15,3 %	(12,4 %, 18,8 %)
Sportsfisket	400	20,0 %	25,4 %	(21,8 %, 29,4 %)
Høstfisket	200	0 %	0,2 %	(0,2 %, 2,0 %)
Høstfisket	200	2,0 %	2,0 %	(1,1 %, 4,0 %)
<i>Høstfisket</i>	<i>200</i>	<i>15,0 %</i>	<i>10,0 %</i>	<i>(7,5 %, 13,3 %)</i>
Høstfisket	200	10,0 %	7,1 %	(5,0 %, 10,0 %)
Høstfisket	200	20,0 %	12,9 %	(10,0 %, 16,5 %)
Høstfisket	400	0 %	0,2 %	(0,2 %, 1,3 %)
Høstfisket	400	2,0 %	2,0 %	(1,3 %, 3,3 %)
<i>Høstfisket</i>	<i>400</i>	<i>15,0 %</i>	<i>10,0 %</i>	<i>(8,1 %, 12,3 %)</i>
Høstfisket	400	10,0 %	7,1 %	(5,5 %, 9,0 %)
Høstfisket	400	20,0 %	12,9 %	(10,8 %, 15,4 %)
Sports- og høstfisket	200/40	0 %/0 %	0,0 %	(0 %, 5,8 %)
Sports- og høstfisket	200/40	2,0 %/2,0 %	2,0 %	(0,4 %, 9,0 %)
<i>Sports- og høstfisket</i>	<i>200/40</i>	<i>10,0 %/10,0 %</i>	<i>10,0 %</i>	<i>(4,8 %, 20,0 %)</i>
Sports- og høstfisket	200/40	20,0 %/20,0 %	20,0 %	(12,0 %, 31,6 %)
Sports- og høstfisket	200/200	0 %/0 %	0,0 %	(0 %, 2,4 %)
Sports- og høstfisket	200/200	2,0 %/2,0 %	2,0 %	(0,7 %, 5,5 %)
<i>Sports- og høstfisket</i>	<i>200/200</i>	<i>10,0 %/10,0 %</i>	<i>10,0 %</i>	<i>(6,2 %, 15,6 %)</i>
Sports- og høstfisket	200/200	20,0 %/20,0 %	20,0 %	(14,4 %, 26,9 %)

Prøve	Antall	Andel	Årsprosent	95 % konfidensintervall
Sports- høstfisket	og 400/200	0 %/0 %	0,0 %	(0 %, 1,7 %)
Sports- høstfisket	og 200/400	0 %/0 %	0,0 %	(0 %, 2,0 %)
Sports- høstfisket	og 400/200	2,0 %/2,0 %	2,0 %	(0,8 %, 4,7 %)
Sports- høstfisket	og 200/400	2,0 %/2,0 %	2,0 %	(0,8 %, 5,0 %)
<i>Sports- høstfisket</i>	<i>og 400/200</i>	<i>10,0 %/10,0 %</i>	<i>10,0 %</i>	<i>(6,7 %, 14,6 %)</i>
<i>Sports- høstfisket</i>	<i>og 200/400</i>	<i>10,0 %/10,0 %</i>	<i>10,0 %</i>	<i>(6,5 %, 15,0 %)</i>
<i>Sports- høstfisket</i>	<i>og 10.000/200</i>	<i>10,0 %/10,0 %</i>	<i>10,0 %</i>	<i>(7,5 %, 13,4 %)</i>
<i>Sports- høstfisket</i>	<i>og 200/10.000</i>	<i>10,0 %/10,0 %</i>	<i>10,0 %</i>	<i>(6,9 %, 14,4 %)</i>
Sports- høstfisket	og 400/200	20,0 %/20,0 %	20,0 %	(15,3 %, 25,7 %)
Sports- høstfisket	og 200/400	20,0 %/20,0 %	20,0 %	(14,9 %, 26,1 %)

Formlene for å beregne årsprosenten er etablert basert på et stort datamateriale, og bruken av formelene kan ses på som en form for ekstrapolering, siden tilpasningen er gjort på et historisk datasett, mens formelene benyttes til å beregne årsprosenter for nye prøver. Parameterne i formelene (og ligningstypen) er usikre størrelser som det bør tas hensyn til. Usikkerheten kan komme av tilfeldige og systematiske forskjeller fra år til år, fra vassdrag til vassdrag og fra andre forhold i datamaterialet. Om det tas hensyn til denne usikkerheten i ligningenes parametere, vil konfidensintervallene generelt bli bredere enn det som estimeres i dag når metoden anvendes på enkeltvassdrag.

Forutsetningene for beregningene om blant annet representativ prøvetaking blir ofte brutt. Forutsetningene er diskutert grundig i blant annet Kapittel 3.2 i Anon. (2015a):

«For representativiteten av prøvetakingen er det viktig hvor stor del av bestanden det er som er undersøkt og om villaks og rømt oppdrettslaks har lik sannsynlighet for å bli representert og identifisert i prøven.»

Anon. (2015a) nevner blant annet ulik fiskeinnsats, bitevillighet, gjenutsetting av villaks, begrensninger i fisket, sesongvariasjoner, identifisering av oppdrettslaks, selektivt fiske og oppvandringstidspunkt, som alle er mulige kilder til avvik for antagelsen om representativ prøvetaking. Disse mulige bruddene på forutsetningene kan blant annet undersøkes ved å estimere andelen oppdrettslaks på ulike måter. Svenning m fl. (2015) har gjort dette ved hjelp av videoovervåking, fangstfeller og drivtelling, og fant til dels store avvik. Lignende analyser

og sammenstillinger er utført der innslaget av oppdrettslaks funnet med drivtelling er sammenlignet med innslaget funnet for sports- og høstfisket (Anon., 2016, Kapittel 6) (se nedenfor).

Svenning m fl. (2015) definerer fangbarheten som «andelen av tilgjengelig fisk (oppdrett eller vill) som ble fanget under høstfisket». Med data fra Suldalslågen, Gaularvassdraget og Laukhellevassdraget ble fangbarheten av oppdrettslaks anslått til å være «nærmere 7 ganger høyere enn for villaks». Også andre undersøkelser har vist høy fangbarhet for oppdrettslaks, men noen ganger, trolig avhengig av fangstmetode, er fangbarheten for oppdrettslaks og villaks funnet lik (se Kapittel 3).

I beregningen antas det at fangbarheten kan være 3 ganger høyere for oppdrettslaks enn for villaks. På side 27 i Anon. (2015a) framgår det at høstfisket i Gaula i Sunnfjord ga 72 fisk, hvorav 13 (18,1 %) var oppdrettsfisk. Sportsfisket ga 174 fisk, hvorav 27 (15,5 %) var oppdrettsfisk. Årsprosenten ble basert på sports- og høstfisket og beregnet til 16,8 %. I Tabell 4 er årsprosenten beregnet baserte på høstfisket alene:

- På vanlig måte ved hjelp av formel (2)
- Ved hjelp av formel (2) og med justering for ulik fangbarhet
- Ved å beregne årsprosenten utelukkende fra det justerte høstfisket og uten bruk av formel (2)

Den justerte fangbarheten har naturlig nok en dramatisk påvirkning på resultatene. I alle tilfeller ligger årsprosentene i Tabell 4 godt under 16,8 % (årsprosenten som opprinnelig ble beregnet er basert på dagens framgangsmåte), om enn ikke signifikant under 16,8 % når fangbarheten ikke er justert.

Konfidensintervallene er som tidligere nevnt beregnet som om totalpopulasjonen er svært stor (eller uendelig). Dersom totalpopulasjonen var kjent, og en tok hensyn til dette ved beregning av konfidensintervallene, ville konfidensintervallene blitt noe smalere. Denne effekten er imidlertid ikke stor med mindre den målte andelen av populasjonen er relativt stor.

4.4 Bruk av årsprosent med konfidensintervall

Årsprosenten er et punkttestimat. Et punkttestimat er vårt beste anslag på en sann, men ukjent størrelse. Med begrenset utvalgsstørrelse er punkttestimater usikre, og en bør ikke ta forvaltningsmessige beslutninger uten at denne usikkerheten tas med i vurderingene. Er utvalget stort, vil konfidensintervallene bli smale nok til at punkttestimatet gir et godt uttrykk for årsprosenten. For å understreke hvor galt det er å basere seg på punkttestimater alene ved små utvalg, har vi i Tabell 5 sett bort fra ligning (1), (2) og (3), og antatt at vi måler en generell andel med få prøver. Konfidensintervallene er svært brede og inneholder 10 %, med unntak av eksempelet med 0 av 40 fisk. Det bør være åpenbart at det ikke er mulig å trekke sikre konklusjoner med et utvalg på så få som 20 eller 40 fisk.

Ved rapportering av andel rømt oppdrettslaks presenteres til tider punkttestimater uten en representasjon av usikkerheten. Anon (2015b) oppsummerer et stort historisk materiale fra sports- og høstfisket i perioden 1989 til 2012 for 224 vassdrag i Norge. Tabellen på side 92 i rapporten viser for eksempel at i 2011 ga sportsfisket i Lygna 32 prøver, hvorav 1 (3,1 %) var rømt oppdrettslaks. Hvor usikkert dette estimatet er kommer ikke fram utover setningen «vi legger ikke vesentlig vekt på estimater basert på færre enn 20 prøver».

Tabell 4. Estimering av årsprosent med konfidensintervall med og uten justering av fangbarhet i høstfisket.

Prøve (Gaula 2014)	Antall	Andel	Årsprosent	95 % konfidensintervall
Høstfisket	72	18,1 %	11,8 %	(7,6 %, 17,9 %)
Høstfisket justert med fangbarhet	72	6,0 %	4,6 %	(2,2 %, 9,1 %)
Høstfisket justert med fangbarhet og uten formel for årsprosent	72	6,0 %	6,0 %	(3,2 %, 11,2 %)

Tabell 5. Konfidensintervall gitt ulike observerte andeler og et utvalg på kun 20 eller 40.

Antall	Andel	95 % konfidensintervall
20	0/20 = 0 %	(0,0 %, 16,8 %)
20	1/20 = 5,0 %	(0,1 %, 24,9 %)
20	2/20 = 10,0 %	(1,2 %, 31,7 %)
20	3/20 = 15,0 %	(3,2 %, 37,9 %)
20	4/20 = 20,0 %	(5,7 %, 43,7 %)
40	0/40 = 0 %	(0,0 %, 8,8 %)
40	2/40 = 5,0 %	(0,6 %, 16,9 %)
40	4/40 = 10,0 %	(2,8 %, 23,7 %)
40	6/40 = 15,0 %	(5,7 %, 29,8 %)
40	8/40 = 20,0 %	(9,1 %, 35,6 %)

Hva kan konfidensintervallene brukes til, utover å vise at punkttestimatene ofte er usikre? I tilfellet årsprosent er det i det minste naturlig å bruke dem til å hjelpe til å avgjøre om et vassdrag er under grensene for lav, moderat og høy risiko for genetisk påvirkning, som foreslått av blant annet Taranger m fl. (2014, 2015) og vektlagt i *Forskrift om fellesansvar for utfisking av rømt oppdrettsfisk* jf. Kapittel 2.2.

Spørsmålet er da: Skal det vurderes/planlegges tiltak når årsprosenten er like under eller over 4/10 %? En føre-var-tilnærming er et svar på dette. Det følgende vil konsentreres om 10 %-grensen, og nullhypotesen vil da være:

H_0 : Årsprosenten er større eller lik 10 % [høy risiko]

Alternativhypotesen blir da:

H_A : Årsprosenten er mindre enn 10 % [middels eller lav risiko].

Dette betyr at vi må forkaste antagelsen om en årsprosent på 10 % eller høyere dersom årsprosenten er signifikant under 10 %. Det tilsvarer at øvre grense i konfidensintervallet skal ligge under 10 %.

Et 95 % konfidensintervall tilsvarer en tosidig hypotesetest med signifikansnivå 2,5 % på nedsiden og 2,5 % på oppsiden av intervallet, og et totalt signifikansnivå på 5 %. Anvendt på hypotesetesten over gir dette en hypotesetest med signifikansnivå 2,5 %. Signifikansnivået tilsvarer sjansen for såkalte type I-feil: Å feilaktig forkaste nullhypotesen når nullhypotesen gjelder. Her betyr det å konkludere med at årsprosenten er under 10 %, gitt at den er større eller lik 10 %. Signifikansnivået skal velges før prøvene tas og data analyseres.

Det kommer ikke klart fram om blant annet Anon. (2015a) benytter eller forsøker å benytte konfidensintervallene på den måten vi har skissert over. Vi skylder samtidig å påpeke at konfidensintervallene ikke benyttes alene og heller ikke kan estimeres for alle vassdrag. Klassifiseringen av et enkelt vassdrag er en mer kvalitativ vurdering, basert på en samlet vurdering av alle datakildene.

Anon. (2016) gjengir illustrasjoner over punkttestimater av årsprosent med konfidensintervaller for ulike vassdrag. Siden konfidensintervallene for vassdrag med sports- og høstfisket er problematiske, velger vi her å fokusere på oversikten over årsprosenter gitt for høstfisket alene (Figur 1 nedenfor, fra Anon. 2016; Figur 4.3, side 24).

Totalt viser Figur 1 verdier for 62 elver/vassdrag. Av disse er punkttestimatet for årsprosenten lavere enn 10 % for 45 av elvene/vassdragene som inngår. Av disse igjen er det godt over halvparten der årsprosenten ikke er *signifikant* lavere enn 10 %. Fra eksempelvis Vikedalselva er bare høstfiskedata tilgjengelige foruten drivtellingene (se nedenfor og side 42 i Anon. 2016). Her ble det tatt ut 32 prøver, hvorav 1 (3,1 %) var oppdrettsfisk. Dette gir en årsprosent på 2,8 % og et konfidensintervall godt over 10 %. Flere prøver ville gitt en sikrere konklusjon.

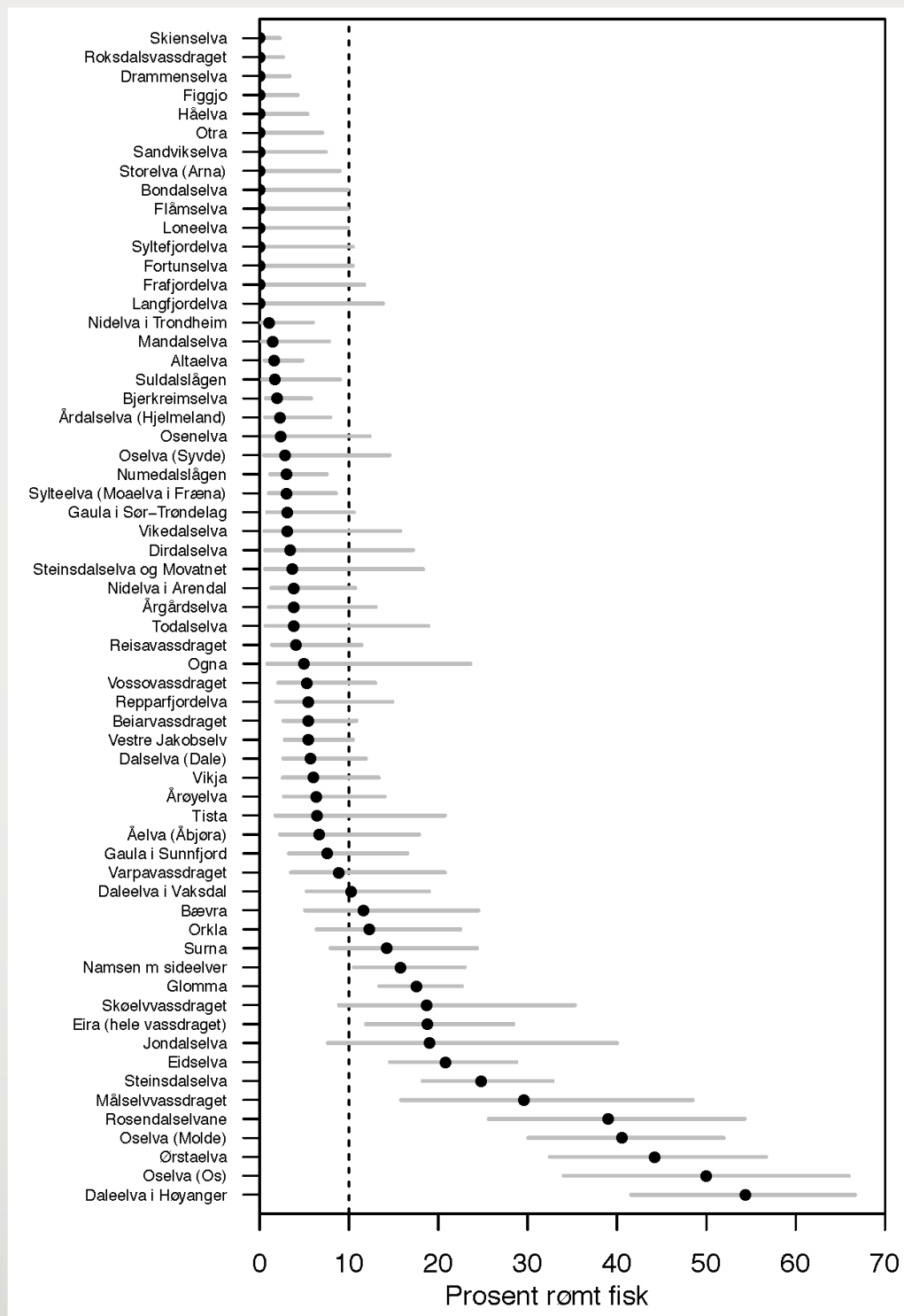
Som illustrert ovenfor er utvalgsstørrelsen avgjørende for hvor brede konfidensintervallene blir og med dette for hvilke konklusjoner som kan trekkes. Generelt vil dagens praksis med estimering av årsprosent resultere i konfidensintervaller som ofte er veldig brede, noe som er lite tilfredsstillende for å vurdere/planlegge tiltak. Det er dessuten grunn til å tro at konfidensintervallene av grunnene diskutert ovenfor egentlig er enda bredere. Flere prøver vil gi smalere konfidensintervaller.

Figur 2 viser innslag av oppdrettslaks i drivtellingene med beregnede konfidensintervaller (fra Anon 2016, Figur 4.4). Generelt er konfidensintervallene mye smalere enn de tilsvarende intervallene for estimert årsprosent basert på høstfisket (Figur 1), hovedsakelig av to årsaker:

1. Antallet prøver i utvalget (antall registrerte fisk) ved drivtellingen er generelt høyere enn for sports- og/eller høstfisket.
2. Drivtellingene gir generelt lavere estimat på andelen oppdrettslaks enn årsprosenten basert på høstfisket.

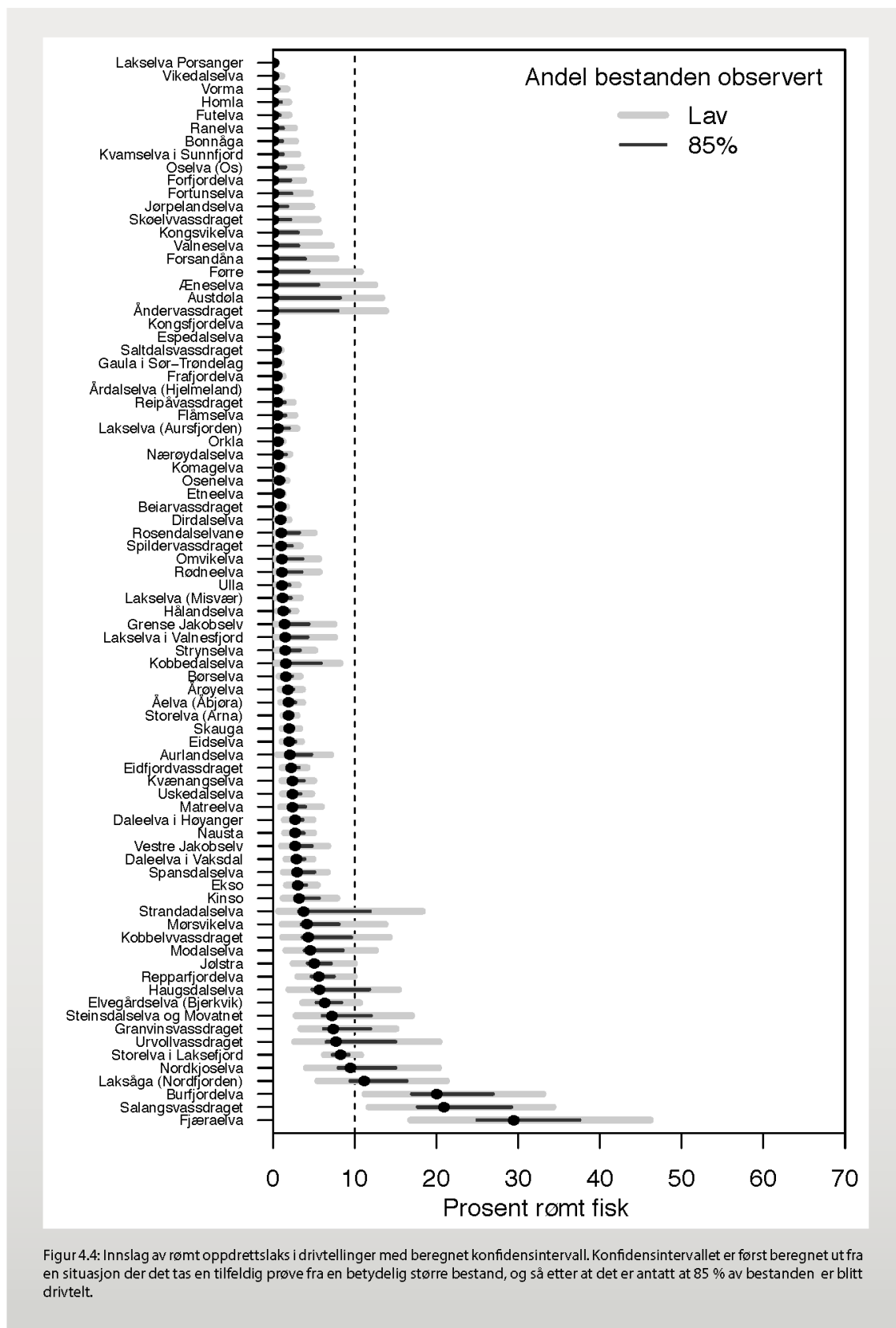
Figuren viser den reduserte usikkerheten i estimatene når en stor andel (her 85 %) av populasjonen er talt opp og inkludert i utvalget.

I eksempelet Vikedalselva ble det talt 349 fisk fra drivtellingene (mot 32 fisk fra høstfisket). Ingen av disse var oppdrettsfisk (mot 1 av 32 i høstfisket). Andelen basert på drivtellingene var med dette signifikant under både 4 % og 10 % (i motsetning til for høstfisket, hvor konfidensintervallet inneholdt både 4 % og 10 %).



Figur 4.3: Innslag av rømt oppdrettslaks i høstfisket med beregnet konfidensintervall (inkluderer godkjente stamfiskdata).

Figur 1. Estimert prosent oppdrettsfisk med konfidensintervaller for høstfisket (fra Anon. 2016).



Figur 2. Estimert prosent oppdrettsfisk med konfidensintervaller fra drivtellingsdata (fra Anon. 2016).

5 Sammenfattende vurdering av metodikk for registrering av laksebestander

5.1 Usikkerhet omkring innsig og oppkonsentrering

Et spørsmål som har påvirket metodeutviklingen for registrering av oppdrettslaks i elvene er om tidspunktet for oppvandring i elvene er forskjellig for oppdrettslaks og villaks. Ved bruk av undervanns videosystemer ble oppvandringstidspunkt for hvert individ av villaks og oppdrettslaks registrert i 20 elver over flere år (Svenning m fl. 2015). Selv om både oppvandringsperiode og antall/andel oppdrettslaks varierte mye mellom vassdragene, viste videoovervåkingen at oppdrettslaksen vandret opp i vassdragene mindre enn to uker senere enn villaksen. Det er også funnet at oppdrettslaksen kan vandre tidligere opp enn villaksen i noen elver i enkelte år (Gjertsen m fl. 2016a, b). Forutsetningen om at oppdrettslaks kommer seinere opp i elvene enn villaksen, og gjerne etter ordinær sportsfiskesesong slik at høstfisket blir det viktigste målepunktet, har vært lagt til grunn for all nasjonal overvåking av innslag av rømt oppdrettslaks i elvene frem til i dag, og resultatene fra høstfisket har med dette vært prioritert (Anon. 2015a; Diserud m fl. 2013; Fiske 2013; Fiske m fl. 2014; Fiske m fl. 2006; Fiske m fl. 2001). En nærmere vurdering av denne forutsetningen avdekker imidlertid ikke noen form for klare indikasjoner på faktisk sein og forskjøvet oppvandring av rømt oppdrettslaks i elvene.

Det er derfor viktig at metodene som anvendes for å estimere årsprosent ikke er sensitive for en antatt ulik oppvandringsadferd for oppdrettslaks og villaks. Metodene må også være robuste med tanke på at de ulike laksebestandene kan oppholde seg i forskjellige deler av elvene, og at oppdrettslaksen ikke nødvendigvis er på de viktigste gyteplassene selv om de er på elva i gytetiden (se Moe m fl. 2016).

5.2 Oppsummering: Fangstmetoder for beregning av årsprosent

Ulike metoder som er anvendt for å kvantifisere innslaget av oppdrettsfisk i elvene er beskrevet innledningsvis (Kapittel 3). Metoden som i all hovedsak er blitt anvendt er en kombinasjon av sportsfiske- og høstfiske-metoden, der den såkalte årsprosenten blir beregnet basert på en av disse metodene, eller mest vanlig som et uveid snitt av begge (Kapittel 4). På samme måte blir usikkerheten representert ved 95 % konfidensintervallet for middelverdien til den estimerte årsprosenten. Kapittel 4 viser at dagens anvendte metoder gjennomgående gir usikre estimater.

Som det framgår i Kapittel 3 og 4 vil sportsfisket, og spesielt høstfisket, av mange grunner bare omfatte en mindre andel av bestandene. Dette er en hovedårsak til stor usikkerhet og brede konfidensintervall for estimatene av årsprosent, eller for innslag av oppdrettslaks. Verdiene for konfidensintervallet blir snarere bredere enn smalere ved å kombinere metodene, og gjennomsnittet endres fordi de to metodene er grunnleggende forskjellige. Sportsfiske-metoden blir antatt å gi et underestimat av oppdrettslaks mens høstfiske-metoden antas å gi en overrepresentasjon, siden oppdrettslaksen generelt antas å gå opp seinere i elvene enn villaksen (Fiske m fl. 2006; Anon. 2015a).

Det er allerede satt spørsmålstejn ved antagelsen om en systematisk vesentlig seinere migrasjon opp i elvene av oppdrettslaks. En annen usikkerhet i beregningene er blitt knyttet til en ulik og variabel fangbarhet for villaks og oppdrettslaks i elvene. Undersøkelser har vist opptil ti ganger større fangbarhet for oppdrettslaks enn for villaks, mens andre undersøkelser der uttaket av fisk har skjedd med annen redskap enn stang har vist mer lik fangbarhet (Kapittel 3). Usikkerheten som introduseres ved en ulik fangbarhet resulterer gjennomgående

i at innslaget av oppdrettsfisk overestimeres i årsprosenten; slik den normalt beregnes (Kapittel 4 og Anon. 2015a) vil både middelerdi og grensene for konfidensintervallene i varierende grad representere maksimumsestimater.

Middelerdien for den estimerte årsprosenten for innslaget av oppdrettsfisk i elvene er i de fleste tilfellene lavere enn en grenseverdi på 10 %, men den øvre grensen til konfidensintervallet overskrider normalt denne verdien (Kapittel 4 og Anon. 2015a). Et 95 % konfidensintervall tilsvarer en tosidig hypotesetest med signifikansnivå 2,5 % på nedsiden og 2,5 % på oppsiden av intervallet, og et totalt signifikansnivå på 5 %.

Et krav til signifikansnivå på 5 % er vanlig for å trekke sikre konklusjoner i naturvitenskapen, og dette kan heller ikke enkelt fravikes i forbindelse med estimering av årsprosent. De brede konfidensintervallene knyttet til årsprosenten umuliggjør signifikante konklusjoner for tilstanden til nesten alle elvene, og med dette i praksis en forsvarlig vitenskapelig basert forvaltning. Det eneste alternativet for et sikrere faglig beslutningsgrunnlag for tiltak er å gjennomføre undersøkelsene med metoder som gir smalere konfidensintervall og med dette sikrere konklusjoner. Dette krever normalt et større utvalg av fisk i undersøkelsene, eller en større andel av populasjonen, noe som ikke enkelt lar seg gjennomføre. Selv om høstfisket foregår ved «fang og slipp» metoden, og dermed ikke reduserer antall gytelaks, er det i praksis krevende å skaffe tilstrekkelig store utvalg uten risiko for å skade deler av gytebestanden. For sportsfisket kan representativiteten økes ved å:

1. Sørge for at skjellprøver tas av en større andel (eventuelt all) avlivet fisk
2. Prioritere avlesning av flere skjell fra elver der usikkerheten er for stor

Med rådende beskatningsrater bør man med enkle midler og kjent metodikk klare å øke utvalgsstørrelsen fra sportsfisket i mange elver, og slik forbedre estimatene.

Årsprosenten gir trolig et skjevt estimat, blant annet på grunn av fangbarhet, men det er uklart hvor stor denne skjevheten er. En iboende egenskap ved årsprosenten er derfor at den i praksis er en indeks, altså at den ikke representerer et estimat som i det lange løp tilsvarer den sanne andelen rømt oppdrettslaks, men som kan være proporsjonalt med den sanne andelen rømt oppdrettslaks.

Et annet realistisk alternativ er å videreutvikle og anvende metoder som kvantifiserer hele, eller nær hele, laksebestanden i elvene der dette er praktisk mulig. Slike metoder som omfatter visuell identifisering ved drivtelling eller innsamling av bilde/video materiale er allerede relativt vel utprøvd og etablert i overvåkingen per i dag (Kapittel 3), og bør gi lavere usikkerhet for den estimerte årsprosenten.

5.2 Oppsummering: Kvantifisering av hele laksebestandene

Drivtelling eller ulike metoder for kamera-/video-overvåking kan altså anvendes for å kvantifisere tilnærmet hele laksebestandene i elver der de fysiske forholdene i elvene ligger til rette for dette. Det er klart at usikkerheten i estimering av andelen oppdrettslaks kan reduseres når hele bestandene av oppdrettslaks og villaks kan telles i undersøkelsen (Figur 2). Det er flere elver hvor disse visuelt baserte metodene allerede har vist seg å være effektive, men det er sannsynligvis også elver der de er mindre anvendbare. Nytteverdien er høy om de kan anvendes, selv i deler av et vassdrag. Samtidig er det klart at også de normalt anvendte metodene – sportsfisket og høstfisket – for beregning av årsprosent har sine klare begrensninger (Anon. 2016).

Drivtelling er sannsynligvis den mest fleksible metoden, den kan anvendes i de fleste elvene. Videoovervåkning kan ha større kostnader, men kan gi et verdifullt billedmateriale og kunnskap om adferd og lakseøkologi for bestandene i elver der forholdene ligger godt til rette for mer omfattende studier. Drivtelling er en metode som har vist seg å være godt egnet for overvåkning av laksebestandene i mange elver. Det er vist at drivtelling gjennomgående gir lavere verdier for innslag av oppdrettslaks i elvene enn sportsfisket og høstfisket (Svenning m fl. 2015), noe som kanskje kan skyldes høyere fangbarhet for oppdrettslaks for de alternative metodene.

Det kan hevdes at erfaringene med drivtelling er noe begrenset, men flere aktører gjennomfører nå slike undersøkelser. Gjennom drivtelling kan bestandene av villaks og oppdrettslaks innen størrelseskategorier telles med relativt god statistisk sikkerhet (Figur 2). Undersøkelser har vist at av oppdrettslaksen identifiseres (Svenning m fl. 2015), og denne andelen kan kanskje økes gjennom videre utprøving og optimalisering av metoden, der analyser av skjellprøver kan brukes som grunnlag for å bestemme effektiviteten. Uansett vil et utvalg på 70-100 % (gjennomsnitt 90 %) av laksebestanden være langt større enn utvalgene i høstfisket og sportsfisket, noe som tilsier at metoden kan gi langt sikrere resultater som grunnlag for tilstandsvurdering og eventuelle tiltak.

5.3 Tiltak: Uttak av oppdrettslaks under drivtelling

En avgjørende mulighet ved drivtelling er at oppdrettslaksen som observeres i elvene kan tas ut umiddelbart av den/de som gjennomfører drivtelling. Dette er svært viktig for det som må være et primært mål for overvåkingen av oppdrettslaks i elvene; å hindre gyting av oppdrettslaks og beskytte de stedegne stammene av villaks. Om oppdrettslaksen kan tas ut før gyting vil den uansett, uavhengig av avkommets økologiske tilpasning og evne til å konkurrere om føde og andre ressurser i oppvekstperioden, ikke kunne påvirke villaksen genetisk. Direkte uttak av oppdrettslaksen under/like etter drivtelling vil være en langt bedre strategi enn å iverksette tiltak med uttak året etter at det er påvist for høyt innslag av oppdrettslaks.

Uttak av oppdrettslaks foregår i dag ved bruk av harpun, stangfiske og not. Metodene krever at oppdrettslaksen gjenkjennes ut fra morfologiske kjennetegn. I de få studiene det er gjort tester av dette, blir svært få villaks avlivet fordi de blir feilbestemt til å være oppdrettslaks (Næsje m fl. 2013b; Skoglund m fl. 2016; Kanstad-Hanssen m fl. 2016). Metodene er derfor også blitt en del av OUROs strategi for utfisking i 2016.

6 Måling og prediksjon av negativ genetisk påvirkning av oppdrettslaks på villaks

6.1 Oppdrettslaks gener versus villaks gener

I norsk presse er det ofte oppslag om såkalte oppdretts gener som forurensner og ødelegger den norske villaksstammen. Denne språkbruken er noe misvisende da det ikke eksisterer dokumentasjon på at det har oppstått nye gener i oppdrettspopulasjonen som har spredd seg til villakspopulasjonen. I verste fall er det snakk om nye varianter av et gitt gen, det vil si alleler som har oppstått i den norske oppdrettspopulasjonen og som ikke finnes i de villakspopulasjonene som ble brukt for å sette opp de norske oppdrettspopulasjonene.

Hva vi oppfatter som et gen er under kraftig revidering etter at vi har måttet oppgi den klassiske fortolkningen som definerte et gen som en proteinkodende DNA-sekvens. Totalt utgjør proteinkodende DNA 2-3 % av det totale arvematerialet (genomet) til virveldyr, og det aller meste av genomet blir lest og kopiert til RNA-sekvenser (transskribert). Vi vet med sikkerhet at variasjon i dette ikke-proteinkodende transskriberte DNAet kan ha store fenotypiske effekter, men akkurat hvordan er for tiden del av forskningen innen biologi.

Om det vil komme en ny gen-definisjon fra denne forskningen er for tidlig å si, men for de fleste praktiske formål står en uansett trygt dersom en definerer et genlokus som en gitt nukleotideposisjon i DNA-sekvensen. Et seksuelt reproduserende individ med et gitt antall homologe kromosompar (diploidi) vil derfor alltid ha to nukleotider (det vil si minste DNA-byggesteiner) i denne posisjonen. Disse nukleotidene eksisterer i fire varianter ut fra hvilken av de fire mulige DNA-basene nukleotiden inneholder. Dersom det eksisterer to eller flere ulike nukleotider i en gitt populasjon har vi en såkalt **single-nucleotide polymorphism** (SNP). De fire nukleotidene kan derfor betraktes som alleler, og de to SNP-allelene i et gitt diploid individ kan enten være like (homozygoti) eller ulike (heterozygoti). De aller fleste SNPer som er avdekket til nå hos diploide organismer er di-alleliske, men det er også påvist tri-alleliske SNPer, det vil si tilfeller hvor tre forskjellige nukleotider eksisterer i samme populasjon. Frekvensen til de to eller tre nukleotidene i en spesifikk genomposisjon i en gitt populasjon kan variere dramatisk.

For at oppvandringen av oppdrettslaks skal ha tilført nytt genetisk materiale til norske villakspopulasjoner totalt sett, må det i all hovedsak ha skjedd via nye mutasjoner som har skapt SNPer som ikke forefinnes hos villaksen, det vil si introdusert variasjon i genomposisjoner hvor alle villakser enten er homozygote (monoalleliske) for en spesifikk nukleotide-posisjon eller er dialleliske. Selv om mutasjonsfrekvensen er lav, og at sannsynligheten er ytterst lav for at en gitt mutasjon har økt i oppdrettslakspopulasjonen så raskt at den har blitt overført via en eller flere av de 8000 oppdrettslaksene som vandrer opp i norske elver hver høst (Lamberg m fl 2016), kan det ikke utelukkes. Men før det foreligger mer dokumentasjon omkring nye SNPer i oppdrettspopulasjonen, er det grunn til å hevde at oppvandringen av oppdrettslaks i en gitt elv ikke bidrar med nevneverdig *de facto* ny genetisk variasjon på SNP-allel nivå enn fra den som ville kunne komme via feilvandring eller den som måtte ha blitt tilført elva fra eventuelle tidligere utsettingsprogrammer.

På den annen side er det empirisk grunnlag for å hevde at oppdrettslaksen kan bidra med andre haplotyper enn det som karakteriserer en gitt elvepopulasjon, det vil si kromosomsegmenter med en SNP-allelstruktur som opptrer samtidig med høy frekvens; det vil si er sterkt assosiert rent statistisk på grunn av lav genetisk rekombinasjon i kromosomsegmentet. Disse haplotypene kan komme fra de opprinnelige villaksstammene oppdrettspopulasjonene ble etablert fra, eller oppstått senere på grunn av genetiske rekombinasjonshendelser unike for oppdrettspopulasjonene. Uansett vil de kunne gi betydelige negative effekter på grunn av at vedvarende induserte allelfrekvensforandringer i

en gitt elvepopulasjon vil kunne dreie viktige fenotypiske egenskaper bort fra den fordelingen som karakteriserer en naturlig tilpasset populasjon.

6.2 Allelfrekvensforskjeller mellom oppdrettslaks og villaks

Et avlsprogram leder per definisjon til en økende grad av homozygoti i de genomposisjoner som enten har en direkte effekt på de egenskaper det selekteres for, eller de som nedarves sammen med disse på grunn av koblinger som sjelden brytes opp av genetisk rekombinasjon (det vil si endring i haplotyfefrekvens). De allelene som er under indirekte seleksjon kan være fenotypisk nøytrale i oppdrettspopulasjonen, men behøver ikke være det i villakspopulasjoner. Endring i haplotyfefrekvens vil forårsake endring i frekvens av både funksjonelt nøytrale og ikke-nøytrale SNP-alleler som kan fanges opp av SNP-chip analyse (Karlsson m fl. 2011; 2013; 2014; Glover m fl. 2013; Heino m fl. 2015) og derved brukes til å skille oppdrettslaks fra villaks.

Vi har i dag svært få kvantitative data som beskriver denne forventede økningen av homozygoti i oppdrettspopulasjonen, og bortsett fra i noen få tilfeller har det vist seg veldig krevende å påvise akkurat hvilke nukleotidealleler som har økt eller gått ned i frekvens grunnet seleksjon på en gitt egenskap. Den store avlsmessige responsen som er oppnådd for en rekke karakterer vil imidlertid måtte ha en underliggende genetisk basis som vil kunne kvantifiseres som endringer i frekvensen av SNP-alleler (nukleotide-varianter). Det er ingen grunn til å betvile at disse frekvensendringene, så vel som de som skyldes indirekte seleksjon, har forårsaket frekvensreduksjon av SNP-alleler som kan ha betydning for levedyktigheten i laksens naturlige miljøer (Besnier m fl. 2015; Reed m fl. 2015).

De populasjonsdynamiske effektene på villakspopulasjoner av disse frekvensendringene hos oppdrettslaksen avhenger av en rekke faktorer i et uhyre komplekst samspill, og vi er dessverre langt fra å kunne forutsi dem med sikkerhet for en gitt elv med en gitt årlig innvandring av oppdrettslaks. Det begynner imidlertid å foreligge data og metodiske tilnærminger som tillater en viss kvalifisering av problemstillingen og som etter hvert kan fungere som rettesnor for forvaltningen.

6.3 Nødvendigheten av å koble populasjonsgenetikk med populasjonsdynamikk

For en gitt elv kan miljøet variere sterkt fra år til år. Likeledes vil abiotiske og biotiske faktorer kunne variere betydelig i de marine økosystemene villaksen er en del av. Denne variasjonen betyr at hvilke genotyper som favoriseres fra år til år kan variere betydelig, noe som innebærer at frekvensen av SNP-alleler i en laksepopulasjon tilhørende en gitt elv er en dynamisk størrelse uavhengig av eventuell innvandring av oppdrettslaks eller feilvandring. Å forstå hvordan denne populasjonsgenetiske variasjonen påvirker fenotypiske trekk og populasjonsdynamikken er en uhyre krevende problemstilling i seg selv. Når en på toppen av dette ønsker å forstå hvilken effekt innvandringen av oppdrettslaks har på populasjonsgenetikken i form av endring av SNP-allelfrekvenser og dennes innvirkning på populasjonsdynamikken i den enkelte elv over lange tidsperioder, er en eksponert for et kompleksitetsnivå hvor konseptuelle modeller eller standard populasjonsgenetiske modeller informert av SNP-allelfrekvensdata kommer til kort.

Denne vurderingen er underbygget av den første studien som kvantifiserte den kumulative effekten av påvirkningen som oppdrettslaks har hatt i 20 norske lakseelver på SNP-allelfrekvensnivå (Glover m fl. 2013). Selv om de i tråd med en rekke tidligere studier fant tydelig evidens for genetisk introgresjon i flere elver, konkluderte de med at

introgresjonsgraden ikke kunne predikeres særlig godt ut fra antall oppvandret oppdrettslaks i forhold til antall villaks. Fra et forvaltningsperspektiv gir dette grunn til refleksjon da dagens forvaltningspraksis er basert på forestillingen om en tilnærmet lineær sammenheng mellom eksponeringen av oppdrettslaks og genetisk introgresjon. Selv om det hadde vært en slik relasjon er det ennå ingen dokumentasjon på relasjonen mellom graden av introgresjon og populasjonsutviklingen til en eksponert villaksstamme. Inntil det måtte foreligge ny informasjon (se under) som tilsier behov for en praksisendring, er dagens føre-var strategi om å iverksette tiltak dersom årsprosenten overstiger 10 % velbegrunnet sett i lys av de empiriske data som viser at innkryssing av oppdrettslaks har en negativ påvirkning på fitness og levedyktighet til avkommet (McGinnity m fl. 1997; Fleming m fl. 2000). Kompleksiteten knyttet til utvikling av et elvespesifikt og forvaltningsmessig velbegrunnet prediksjonsregime, som håndterer både variabiliteten av introgresjon som funksjon av eksponering av oppdrettslaks og de populasjonsdynamiske effektene av en gitt introgresjon, kan kun håndteres ved bruk av matematiske modeller som gjør bruk av genotype-fenotype-avbildninger, det vil si modeller som kobler populasjonsgenetikk med populasjonsdynamikk. Det eksisterer ulike modellrammeverk innen evolusjonær økologi som ivaretar denne koblingen, men den mest intuitive tilnærmingen er å anvende såkalt **agentbasert modellering**. Innenfor dette modelleringsparadigmet anvendes en matematisk representasjon som følger alle individer i en populasjon fra unnfangelse til død og de innbyrdes interaksjonene mellom individer. Hvert individ blir tildelt en genotype basert på foreldrenes genotyper og fenotypen for et sett av utvalgte karakterer konstrueres ut fra en så godt som mulig empirisk fundert genotype-fenotype-avbildning. Denne avbildningen fungerer som bindeledd mellom populasjonsgenetikken og populasjonsdynamikken, det vil si at den muliggjør prediksjoner av hvordan genetisk drevne individuelle fenotypiske variasjoner påvirker populasjonsdynamikken over tid.

En agentbasert modell med et gitt premissgrunnlag kan utsettes for omfattende sensitivitetsanalyser og påfølgende state-of-the-art analyseverktøy som er utviklet innen matematisk biologi og fysikk og innen ingeniørvitenskapene for å studere hvor følsom modellprediksjonene er for endringer i premissgrunnlaget.

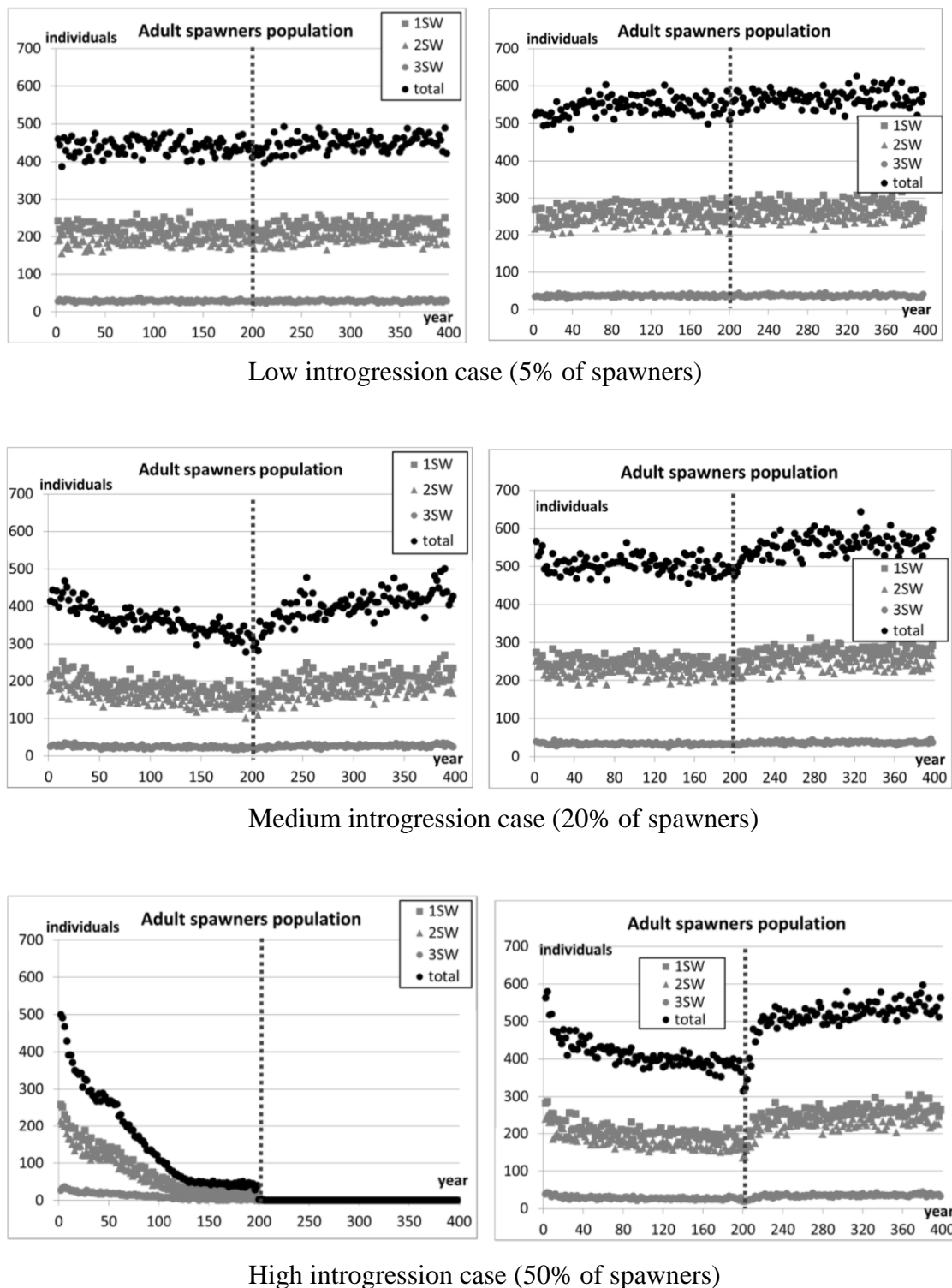
Et fortrinn ved slik agentbasert modellering er at modellpremissene er langt mer tilgjengelige for empirisk orienterte biologer uten trening innen matematikk og informatikk enn de fleste andre modellrammeverk. Dette betyr at agentbaserte modeller har et grensesnitt som tillater en effektiv kommunikasjon mellom de som har dybdekunnskap om de domener modellene adresserer og de som konstruerer og analyserer modellene. Likeledes åpner dette transparente grensesnittet for aktiv bruk av modellene som beslutningsstøtteverktøy for forvaltningen.

Den eneste tilgjengelige agentbaserte modellen på markedet som adresserer oppdrettslaks-villaks interaksjonen i tråd med hva som er skissert over ble publisert i september 2015 (Castellani m fl. 2015) (men se også Piou & Prévost (2012) og Hedger m fl. (2013) for tilsvarende tilnærminger). I det følgende vil noen av premissene til denne modellen bli brukt som bakteppe for å drøfte hva vi vet, og hva burde vite mer om, vedrørende effekten av oppvandring av oppdrettslaks i norske lakseelver. Denne drøftingen vil danne grunnlag for konkrete anbefalinger for videreutvikling av denne modelltilnærmingen.

6.4 IBSEM: An individual-based Atlantic salmon population model

Castellani m fl. (2015) er åpent tilgjengelig og det vil derfor ikke bli gitt noe fyldig resyme i det følgende. Noen av de viktigste resultatene vil imidlertid bli skissert, og premisser knyttet til genotype-fenotype avbildningen av relevans for denne rapportens mandat vil bli gitt noe

oppmerksomhet. Figur 3 viser betydningen av hvilken genotype-fenotype-avbildning man antar for de ulike karakterene som påvirker fitness (levedyktighet og reproduksjon).



Figur 3. Predikerte populasjonsutvikling for voksne gytere over en periode på 400 år som funksjon av graden av introgresjon med utgangspunkt i to ulike genotype-fenotype avbildninger (venstre og høyre kolonne) for vekst og mortalitet, etter Castellani m.fl. (2015). Vertikal stiplede linje viser når introgresjonsfasen i simuleringene avsluttes og populasjonen får utvikle seg uten ytterligere oppdrettslakseksponering.

Figur 3 viser et utdrag fra Figurene 9 og 11 i Castellani m fl. (2015) og viser den predikerte populasjonsutviklingen for voksne gytere over en periode på 400 år som funksjon av graden av introgresjon med utgangspunkt i to ulike genotype-fenotype avbildninger (venstre og høyre kolonne) for vekst og mortalitet. De tre panelene som utgjør kolonnen til høyre beskriver effekten av en dobling av den genetiske forskjellen (fitness-forskjell) mellom oppdrettslaks og villaks med hensyn til vekst og mortalitet i forhold til de verdiene som ligger bak de tre panelene i kolonnen til venstre. Den stiplede vertikale linjen viser når introgresjonsfasen i simuleringene avsluttes og populasjonen får utvikle seg uten ytterligere oppdrettslakseksponering.

Figur 3 viser at med genotype-fenotype avbildningen bak venstre kolonne må 50 % av gyterne hver høst være oppdrettslaks for at populasjonen skal kollapse innen 200 år. Genotype-fenotype avbildningen bak høyre kolonne som antar en øket fitnessforskjell mellom oppdrettslaks med hensyn til mortalitet og vekst predikerer også en tydelig nedgang over 200 år ved 50 % gytere av oppdrettslaks, men populasjonen er langt fra å kollapse.

Artikkelen presenterer også et tredje scenario med en genotype-fenotype-avbildning hvor fitnessforskjellene halveres mellom oppdrettslaks og villaks for vekst og mortalitet i forhold til de verdiene som ligger bak venstre kolonne i figuren over. I dette tilfellet kolliderer populasjonen etter 200 år også når 20 % av gyterne er oppdrettslaks. Det faktum at flere elver hvor oppgangen av oppdrettslaks har vært svært høy over flere år ikke viser tegn til reell populasjonsnedgang i forhold til forventede naturlige svingninger peker i retning av at premissene bak høyre kolonne i Figur 3 ikke umiddelbart kan avfeies som urealistiske.

Det er en rekke spørsmål knyttet til realismen bak flere av premissene til IBSEM og deres matematisering som trenger nærmere avklaring. Blant annet er den matematiske implementeringen og modelldokumentasjonen unødvendig ugjennomsiktig for ikke-eksperter. Uansett viser disse simuleringresultatene med all tydelighet at de genotype-fenotype avbildningene som legges til grunn har en dominerende effekt på hvilke prediksjoner modellen gir. I Konklusjoner og anbefalinger foreslås det hvordan den agentbaserte tilnærmingen kan videreutvikles, slik at den kan bli et effektivt hjelpemiddel for forvaltningen.

7 Konklusjoner og anbefalinger

7.1 Metoder for registrerings innslag av oppdrettslaks

Metodene som anvendes for estimering av andelen oppdrettslaks i villaksbestandene er oppsummert i Tabell 1. **Høstfisket** er sensitivt for hvor laksen tas ut, av tidspunktet for uttak, av størrelse av utvalget som tas ut og av redskapen som anvendes for fangst. Men den kanskje viktigste svakheten med metoden er de lave utvalgsstørrelsene og de store konfidensintervallene for estimatene. Med alle usikkerhetsmomentene genererer metoden data som har stor usikkerhet. Data generert fra **sportsfisket** kan ha god representativitet gjennom at utvalget normalt utgjør en vesentlig del av bestanden. Usikkerheten er knyttet til at det brukes en fangstmetode som gir stor forskjell i fangbarhet for villaks og oppdrettslaks, at rapporteringen har svakheter og at skjellprøvene eventuelt ikke alltid analyseres. Ved **drivtelling** registreres oppdrettslaks og villaks i nærmest hele laksebestanden. Usikkerheten er mest knyttet til hvor sikkert drivteller kan identifisere oppdrettslaksen i bestanden, noe som er knyttet til erfaring. Andre metoder som i mindre grad er grunnlag for beregninger av andelen rømt oppdrettslaks er stamfiske og video-/billedbasert registrering og telling.

7.2 Årsprosent: Beregninger og statistisk vurdering

Årsprosenten er ment å representere andelen rømt oppdrettslaks i et vassdrag og gjøre det mulig å sammenligne denne andelen i vassdrag hvor bare sports- eller høstfisket, eller begge datakildene er tilgjengelig. Den største svakheten ved årsprosenten, slik den estimeres, er de brede konfidensintervallene for estimatene. Dessuten gir årsprosenten trolig et skjevt estimat, blant annet på grunn av ulik fangbarhet, men det er uklart hvor stor denne skjevheten er. Det må tas hensyn til at den reelle usikkerheten i mange tilfeller er høyere enn det gis inntrykk av i dag. Videre er metodikken for beregning av konfidensintervallene inkonsekvent.

Konfidensintervallene bør også brukes i en føre-var-tilnærming, hvor en planlegger/iverksetter tiltak med mindre en er (signifikant) sikker på at ikke andelen oppdrettsfisk, inkludert usikkerhet, er under grenseverdien(e). Konfidensintervallene benyttes ikke alene og kan heller ikke regnes ut for alle vassdrag. Når de vurderes å være gode nok, er det fortsatt en utfordring at dagens **årsprosenter er så usikre** at en for ofte vil måtte planlegge/iverksette tiltak. Derfor bør det anvendes sikrere metoder for å måle andelen rømt oppdrettslaks. Økt bruk av metoder som gir betydelig flere prøver, som for eksempel **drivtellinger**, kan være en måte å imøtekomme denne utfordringen på.

7.3 Gytebestander: Innslag av og tiltak mot oppdrettslaks i gytebestanden

Hovedmålet for overvåkingen av laksebestandene er at stedegne stammer av villaks ikke skal påvirkes negativt av oppdrettslaks som vandrer opp og gyter i elvene. Det er tilsynelatende enighet om at den såkalte årsprosenten, det vil si prosent oppdrettslaks av den totale laksebestanden i en elv, er miljøvariabelen som best kan uttrykke grad av potensiell genetisk påvirkning (Taranger m fl. 2015). Den kan også gi en indikasjon på omfanget av rømming i en region, men estimeringen representerer bare det første delmålet mot hovedmålet for overvåkingen.

Den genetiske innblandingen bestemmes av hvor mange oppdrettslakser som gjennomfører en suksessfull gyting, av hvor levedyktig avkommet blir i elva og hvor mange av avkommene som gyter de neste årene. I elver hvor oppdrettslaksen kan tas ut direkte under drivtellingene før gytseasongen, vil årsprosenten ikke gi et direkte uttrykk for den mulige genetiske påvirkningen av laksebestanden, men bare si noe om andelen oppdrettslaks før uttaket. Om

drivtellere for eksempel tar ut 90 % av oppdrettslaksen i den gjenværende bestanden, vil dette redusere presset for genetisk påvirkning til 10 % av det som årsprosenten uttrykker (betegnet «gyteprosenten»). Direkte uttak under drivtelling kan med dette bidra til at villaksen beskyttes ytterligere mot mulig genetisk innblanding av oppdrettslaks, noe som må være sterkt ønsket.

Om gyteprosenten for elvene reduseres til 10 % av årsprosenten, vil ingen elver i realiteten være sterkt truet av rømt villaks med dagens metoder for en slik vurdering (Figur 1). Det er vanskelig å se argumenter imot en endret metodikk der oppdrettslaksen tas ut før den kan gyte, og et slikt uttak vil langt på vei sikre at hovedmålet for lakseovervåkingen kan nås.

OURO er oppdrettsnæringens sammenslutning for utfisking av rømt oppdrettsfisk og kan vurdere å ta en aktiv rolle i utprøvingen, implementeringen og finansieringen av de foreslåtte metodene for bestemmelse av andelen opp-vandrende oppdrettslaksen og for en videre uttesting av metodene for uttak av oppdrettslaks fra gytebestandene.

7.4 Anbefalt metode for registrering av oppdrettslaks og årsprosent

Det er sannsynlig at **drivtelling i kombinasjon med sportsfiske-metoden** vil kunne være effektive metoder i de fleste norske laksevassdrag. En slik kombinasjon av metoder sikrer at utvalget som registreres blir stort, i prinsippet nærmest hele laksebestanden, og usikkerheten i en estimert andel rømt oppdrettslaks blir lav. Dessuten kan den potensielle genetiske effekten reduseres ved at oppdrettslaksen tas ut ved sportsfisket og drivtelling. Følgende kombinerte metode anbefales for overvåking av laksebestander i norske laksevassdrag:

1. Antall fisket villaks og oppdrettslaks **registreres av fiskere** over fiskesesongen og observasjonene bekreftes i ettertid ved analyser av skjellprøver.
2. Drivtelling gjennomføres etter fiskesesongen, men før gytetiden. Antall villaks og oppdrettslaks registreres og den identifiserte **oppdrettslaksen tas ut umiddelbart av drivtelleren**. Skjellprøver tas av den uttatte oppdrettslaksen for bekreftelse av opphav i ettertid.
3. Mer avansert overvåking av bestander i utvalgte elver gjennomføres ved bruk av metoder som registrerer all oppvandrende fisk, for eksempel **heldekkende fiskefeller eller videoovervåking**. Data fra denne type overvåking kan sammenlignes med data fra sportsfisket og drivtelling for å lære mer om feilkilder og bias generert ved det anbefalte overvåkingsregimet angitt i 1 og 2.

Laks som tas ut av fiskere i fiskesesongen, registreres i de fleste laksevassdragene, men dokumentasjonen som samles inn er av variabelt omfang og kvalitet. Det vurderes og registreres blant annet om laksen er en rømt oppdrettslaks eller en villaks, men metoden kan forbedres ved standardisering og ved at myndighetene krever at elveeierne gjennomfører en slik registrering.

Etter prosedyren ovenfor vil registreringen i sportsfisket gjennom sesongen dokumentere totalt antall oppdrettslaks og antall villaks som er tatt ut av bestanden i elva gjennom fiskesesongen. Om villaksen slippes tilbake i elva kan eventuell gjenfangst og dødelighet være en feilkilde. Analyse av skjellprøver gir det endelige svaret på uttaket av begge bestandene.

Når det så etter den foreslåtte prosedyren, gjennomføres en drivtelling i perioden mellom avslutning av fiskesesongen og gytning, kan denne dokumentere antall oppdrettslaks og antall villaks i den gjenværende bestanden i elva på det tidspunktet. Den totale summen av oppvandrende oppdrettslaks kan da estimeres som summen av oppdrettslaks tatt gjennom

sportsfisket og antallet som blir identifisert og tatt ut ved drivtelling. På samme måte kan det totale antallet villaks i elva estimeres, og innslaget av oppdrettslaks kan estimeres som forholdet mellom de totale estimerte bestandene av oppdrettslaks og villaks (årsprosent). Verdien vil uttrykke innslaget av oppdrettslaks som vandrer opp elva og gi en indikasjon på omfanget av rømmingen fra oppdrett. Det reelle innslaget av oppdrettslaks som gyter (gyteprosenten) kan beregnes ut fra reelt antall oppdrettslaks etter uttak under drivtelling. Om drivtellerne tar så mye som 90% av oppdrettslaksen, vil gyteprosenten være av størrelse 10% av årsprosenten. Gyteprosenten kan da foreslås som miljøvariabel for genetisk påvirkning.

Usikkerheten i estimatene fra den anbefalte metoden forventes å være lav og metoden vil med stor sannsynlighet være akseptabel som grunnlag for forvaltning fordi tilnærmet hele bestander kartlegges. Usikkerheten blir intuitivt også av mer systematisk enn tilfeldig art. Personrelatert variasjon i rapporteringen fra sportsfiskerne og treffsikkerheten til drivtelleren vil kunne influere på beregnet innslag/andel. Dekningsgrad av elvesystemet for sportsfisker og drivteller kan introdusere en ytterligere usikkerhet som blir elvespesifikk. Det viktigste poenget er imidlertid at den store usikkerheten knyttet til deler av dagens praksis, variabel fangbarhet, tidspunkt for oppvandring samt valg av elvestrekning for høstfiske, vil ha liten eller ingen betydning ved anvendelse av den foreslåtte metoden.

7.5 Forskningsbehov og standardisering av metoder for registrering

Det vil som nevnt ovenfor være nyttig å standardisere metodebeskrivelsen som fiskerne følger og kanskje gjøre disse registreringene noe mer omfattende enn det som er vanlig i dag. Det er også viktig at elveeiere får pålegg om en viss minstestandard for rapportering. Skjellprøvene som tas ut av fiskere må anvendes som et korrektiv til målingene som gjøres basert på visuell karakterisering.

Ved drivtelling og uttak av oppdrettslaks vil skjellprøvene vise om individer som er bestemt til oppdrettslaks i virkeligheten var villaks. På denne måten vil analyse av skjellprøver bidra til en kvalitetssikring av resultatene. Det vil også være viktig å gjennomføre interkalibreringer av drivtelling gjennomført av forskjellige personer og andre kontroller på metodens egnethet og sikkerhet, dette selv om metoden er anvendt i lang tid og virker robust.

Det bør være et minimumskriterium at det blir tatt skjellprøver og gitt øvrige relevante opplysninger av all laksefisk som blir avlivet i Nasjonale Laksevassdrag. Genetiske analyser kan også gjennomføres på et slikt materiale. Miljøforvaltningen må kunne anføre at dette blir gjort gjennom driftsplan godkjenninger og dagens midtsesongevaluering jamfør *Lov om laksefisk og innlandsfisk mv. (lakse- og innlandsfiskloven) kapittel 5 (LOV-1992-05-15-4)*. Kvaliteten i registreringen og innsending av skjellmateriale bør inn som et vurderingspunkt for å tillate videre fiske i vassdraget. Dette betyr at en kan ferdigstille analyser innen kort tid slik at en kan gjennomføre risikobasert overvåking og tiltak i aktuelle elver.

Når det gjelder sporing av kultivert laksesmolt bør det vurderes å innføre andre merkemethoder enn fettfinneklipping. Ved en slik innskjerping vil en oppnå både økt sikkerhet knyttet til estimater på innslag av rømt fisk, samt få bedre kunnskap om sjøoverlevelse, feilvandring og bidrag til oppnåelse av gytebestandsmål for smolt satt ut i forbindelse med kultivering.

7.6 Genetisk påvirkning -- konsept og modeller

Ettersom detaljert kunnskap om de aktuelle genotype-fenotype avbildningene nevnt over ikke vil være tilgjengelige på lang tid, er det viktig at fagmiljøene i fellesskap raskest mulig identifiserer en familie av mulige, men divergerende avbildninger med bakgrunn i

foreliggende data og data som vil være tilgjengelige om kort tid. Denne familien av avbildninger kan brukes direkte i utvikling av en forvaltningsrelevant agentbasert modell. Sentrale spørsmål i denne sammenheng er: Hvilke karakterer er rimeligvis oligogene, hva er rimelige fordelinger av allel-effektene, hvilke karakterer er rimeligvis polygene, i hvor stor grad er oppdrettslaksen blitt homozygot for de områder av genomet som er blitt utsatt for sterk seleksjon gjennom avlsarbeidet, er disse fikserte allelene dominante eller additive i forhold til allelene som er i villakspopulasjonen, og er det grunn til å tro at epistasifenomener (komplekse ikke-additive allelinteraksjonseffekter) er involvert?

I tillegg er det viktig at fagmiljøene i fellesskap også går gjennom alle ikke-genetiske modellpremisser/parametre som en forvaltningsrelevant agentbasert modell vil måtte inkludere, identifisere hvilke premisser/parametre som er kontroversielle og hvilke som ikke er det, og bli enige om hvordan usikkerhet og reell uenighet kan tas høyde for i fremtidige analyser. Likeledes bør fagmiljøene i fellesskap bli enige om hvordan de biologiske premissene skal implementeres og hvilket språk modellrammeverket skal programmeres i. Dette er viktige aspekter for å sikre at personer med spesifikk biologisk domenekunnskap skal være i stand til å etterprøve at det er konsistens mellom premisser og modellutforming, og at koden kan være gjenbrukbar og etterprøvbar for flere.

Etter en slik dugnad har en et rasjonelt begrunnet ståsted for å utvikle en agentbasert modell som kan brukes til å avdekke utfallsrommet av mulige scenarier som implisitt ligger innebakt i de (ofte motstridende) forestillinger som eksisterer i fagmiljøene. Det finnes i dag sterke verktøy for å analysere høydimensjonale avbildninger av koblingen mellom parameter- og premissvariasjon og modellresultater (Tøndel m fl. 2012; Transtrum & Qiu 2014). Med bakgrunn i slike analyser vil en kunne avdekke hvilke eksperimentelle eller empiriske studier en bør fokusere på for å etablere det kunnskapstilfanget som er nødvendig for å kunne bruke agentbaserte modeller som beslutningsstøtteverktøy i forvaltningen av en rekke elver.

En empirisk velbegrunnet agentbasert modell kan brukes til å prediktere konsekvensene av den usikkerheten som er knyttet til estimering av årsprosenten og eventuell forbedring av denne. Den vil også kunne brukes til å prediktere effektene av direkte uttak av oppdrettslaks i forbindelse med høsttellingen.

I tråd med hva som nå er standard for bio-matematiske modeller bør noen tildeles ansvar for å vedlikeholde en webside som beskriver den agentbaserte modellen, muliggjør kjøring av modellen direkte fra websiden (slik at den kan brukes for eksempel av videregående skoler og i undervisning på høyere nivå) og som tilbyr nedlasting av kildekoden for de som ønsker å gjøre endringer for å teste effekten av endrede premisser/parametre. Websiden kan også fungere som et diskusjonsforum slik at alle kan få innsyn i ulike synspunkter vedrørende modellutforming og modellimplementering som kan danne grunnlag for fremtidige revisjoner. En webside organisert langs disse linjene vil sikre at modellen kan fungere som et grensesnitt som muliggjør en rasjonell diskusjon og samhandling mellom en rekke fagdisipliner og forvaltningsetater.

I det NFR-finansierte prosjektet QuantEscape2 (hvor NINA, HI og NMBU deltar) som akkurat er startet er det satt av midler til utvikling av agentbaserte modeller som bygger videre på de modellene som utviklet ved HI og NINA. NINA arbeider også med å utvikle en statistisk populasjonsmodell for laks som skal integrere individdata. Denne modellen vil kunne estimere effekten av introgresjon på populasjonsvekstraten, og estimatene vil kunne fungere som premissunderlag for det mer høyoppløselige agentbaserte modellarbeidet. QuantEscape2 vil derfor kunne fungere som en utmerket ramme for den fellesøvelsen som er foreslått over, gitt at det bevilges midler som muliggjør at andre relevante miljøer i Norge og

eventuelt utlandet kan inviteres inn for å sikre et best mulig fundament for modellutforming, modellanalyser, resultatpresentasjoner og modellgjennbruk.

8 Referanser

- Anon. 2010. Status for norske laksebestander i 2010. Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr. 2, 213 sider.
- Anon. 2015a. Rømt oppdrettslaks i vassdrag. Rapport fra det nasjonale overvåkingsprogrammet 2014. Fisken og havet, særnr. 2b-2015.
- Anon. 2015b. Vedleggsrapport med vurdering av måloppnåelse for de enkelte bestandene. Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr 8b, 785 s.
- Anon. 2016. Rømt oppdrettslaks i vassdrag. Rapport fra det nasjonale overvåkingsprogrammet 2015. Fisken og havet, særnr. 2b-2016.
- Besnier, F., Glover, K. A., Lien, S., Kent, M., Hansen, M. M., Shen, X. & Skaala, Ø. 2015. Identification of quantitative genetic components of fitness variation in farmed, hybrid and native salmon in the wild. *Heredity*, 115: 47-55.
- Castellani, M., Heino, M., Gilbey, J., Araki, H., Svåsand, T. & Glover, K. A. 2015. IBSEM: An Individual-Based Atlantic Salmon Population Model. *PLoS ONE* 10(9): e0138444. doi:10.1371/journal.pone.0138444.
- Diserud, O., Fiske, P. & Hindar, K. 2010. Regionvis påvirkning av rømt oppdrettslaks på ville laksebestander i Norge. NINA Rapport 622. 40 s
- Diserud, O. H., Fiske, P. & Hindar, K. 2013. Forslag til kategorisering av laksebestander som er påvirket av rømt oppdrettslaks. Oppdatering for perioden 1989-2012. NINA Rapport 976. 22 s.
- Finstad, A. G. & Jonsson, N. 2001. Factors influencing the yield of smolt releases in Norway. *Nordic Journal of Freshwater Research* 75, 37-55.
- Fiske, P., Lund, R. A., Østborg, G. M. & Fløystad, L. 2001. Rømt oppdrettslaks i sjø - og elvefisket i årene 1989-2000. NINA Oppdragsmelding 704:26s.
- Fiske, P., Lund, R. A. & 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 J. Marine Sci.* 63: 1182-1189.
- Fiske, P. & Wennevik, V. 2011. Overvåking- og utfisking av rømt oppdrettslaks i Namsen og Namsenfjorden 2007 - 2009. Oppdragsrapport for Laks og Vanmiljø 11, 18 s.
- Fiske, P. 2013. Overvåking av rømt oppdrettslaks i elv om høsten 2010 - 2012. NINA Rapport 989. 33 s. *Vedlegg 8. Utvalgsstørrelse og presisjon i beregninger av andelen rømt oppdrettslaks.*
- Fiske, P., Aronsen T. & Hindar, K. 2014. Overvåking av rømt oppdrettslaks i elver om høsten 2013. NINA Rapport 1063. 44 s.
- Fleming, I. A., Hindar, K., Mjølnerod, I. B., Jonsson, B., Balstad, T. & Lamberg, A. 2000. Lifetime success and interactions of farm salmon invading a native population. *Proceedings of the Royal Society of London Series B -Biological Sci.* 267: 1517- 1523.
- FOR-2013-09-20-1109. Kvalitetsnorm for ville bestander av atlantisk laks (*Salmo salar*) (<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2013-09-20-1109>)
- FOR-2015-02-05-89. Forskrift om fellesansvar for utfisking mv. av rømt oppdrettsfisk. [https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2015-02-05-89.](https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2015-02-05-89)

- Gjertsen, V., Lamberg, A. Bjørnbet, S. & Bakken M. 2014. Videoovervåking av laks og sjøørret i Moelva i Salsvassdraget i Nord-Trøndelag-2013. SNA-rapport 01/2014: 30 s.
- Gjertsen, V., Lamberg, A. Bjørnbet S. & Bakken, M. 2015. Videoovervåking av laks og sjøørret i Moelva i Salsvassdraget i Nord-Trøndelag-2014. SNA-rapport 02/2015: 31 s.
- Gjertsen, V., Lamberg, A., Strand, R., Kanstad-Hanssen, Ø. & Bjørnbet, S. 2016a. Overvåking av laks, sjøørret og sjørøye i Lakselva på Senja 2014 SNA - 2/2016.
- Gjertsen, V., Lamberg, A. & Bjørnbet, S. 2016b. Videoovervåking av laks og sjøørret i Moelva i Salsvassdraget i 2015 SNA-3/2016.
- Glover, K. A., Quintela, M., Wennevik, V., Bensier, F., Sørvik, A. G. E. & Skaala, Ø. 2012. Three decades of farmed escapees in the wild: a spatio-temporal analysis of salmon population genetic structure throughout Norway. PLoS ONE 7(8): e43129.
- Glover, K., Pertoldi, C., Besnier, F., Wennevik, V., Kent, M. & Skaala, Ø. 2013. Atlantic salmon populations invaded by farmed escapees: quantifying genetic introgression with a Bayesian approach and SNPs. BMC Genetics.14:74.
- Glover, K. A., Aronsen, T., Bakke, G., Barlaup, B., Fiske, P., Florø-Larsen, B., Hindar, K., Næsje, T. F., Otterå, H., Skaala, Ø., Skilbrei, O. T., Skoglund, H., Sægrov, H., Urdal H. & V. Wennevik. 2016. Felthåndbok for overvåking av rømt oppdrettslaks. Rapport fra havforskningen 16-2016. ISSN 1893-4536.
- Heino, M., Svåsand, T., Wennevik, V. & Glover, K. A. 2015. Genetic introgression of farmed salmon in native populations: quantifying the relative influence of population size and frequency of escapees. Aquaculture Environment Interactions 2015 vol: 6 (2) pp: 185-190.
- Hiilivirta, P., Ikonen, E. & Lappalainen, J. 1998. Comparison of two methods for distinguishing wild from hatchery-reared salmon (*Salmo salar* Linnaeus, 1758) in the Baltic Sea. ICES Journal of Marine Science Volume: 55, Pages: 981-986.
- Kanstad-Hanssen, Ø. 2010. Drivtelling av gytefisk i lakseførende elver i Troms i 2010. Ferskvannsbiologen Rapport 2010-07, 18 sider.
- Kanstad-Hanssen, Ø. & Bentsen, V. 2013. Oppvandring av anadrom laksefisk i 10 vassdrag i Nordland i 2012 - en vurdering av innslag av rømt oppdrettslaks. Ferskvannsbiologen. Rapport 2013-05. ISSN: 1.978-82-8312-038-7.
- Kanstad-Hanssen, Ø., Lamberg, A., Gjertsen, V. & Bakken, M. 2015. Gytefiskregistrering i Saltdalselva i 2014. SNA-rapport 05/2015: 27 s.
- Kanstad-Hanssen, Ø., Bakken, M., Gjertsen, V. & Lamberg, A. 2016. Drivtelling av gytefisk, med registrering av innslag og uttak av rømt oppdrettslaks, i lakseførende elver i Nordland og Troms i 2015. Ferskvannsbiologen Rapport 02/2016.
- Karlsson, S., Moen, T., Lien, S. & Hindar, K. 2011. Generic genetic differences between farmed and wild Atlantic salmon identified from a 7K SNP-chip. Molecular Ecology Resources, 11: 247-253.
- Karlsson, S., Hagen, M., Eriksen, L., Hindar, K., Jensen, A. J. Garcia de Leaniz, C., Cotter, D., Gudbergsson, G., Kahilainen, K., Gudjonsson, S., Romakkaniemi, A. & Ryman, N. 2013. A genetic marker for the maternal identification of Atlantic salmon x brown trout hybrids. Conservation Genetics Resources 5: 47-49.
- Karlsson, S., Diserud, O., Moen, T. & Hindar, K. 2014. A standardized method for quantifying unidirectional genetic introgression. Ecology and Evolution 4(16):3256 - 3263.

- Karlsson, S., Florø- Larsen, B., Balstad, T. & Eriksen, L. B. 2015. Stamlakskontroll 2014. - NINA Rapport 1143. 13 s.
- Lamberg, A., Øksenberg, S. & Strand, R. 2008. Gytebestander av laks og sjøørret i Åbjøravassdraget i Bindal kommune i 2008. Resultater fra videoregistrering i Brattfossen og drivtelling av gytetisk. VFI-rapport 7/2008.
- Lamberg, A., Bjørnbet, S., Gjertsen, V., Strand, R. & Kanstad- Hanssen, Ø. 2014. Videoovervåking av laks, sjøørret og sjørøye i Lakselva på Senja i 2012. SNA 4/2014.
- Lamberg, A., Kanstad- Hanssen, Ø., Strand, R., Gjertsen, V. & Bjørnbet, S. 2016. Innslag av rømt oppdrettslaks i Orkla og Gaula i 2013 til 2015, en test av metoder. SNA - 4/2016.
- Lamberg m fl. 2016- Videoovervåking av laks og sjøørret i Roksdalsvassdraget i årene 2006 til 2015. *In prep.*
- Lehmann, G. B., Wiers, T. & Gabrielsen, S. E. 2008. Uttak av rømt oppdrettslaks i vassdrag - undersøkelser høsten 2007. LFI-rapport nr. 149. 31 s.
- Lund, R. A., Hansen, L. P. & Järvi, T. 1989. Identifisering av oppdrettslaks og villaks ved ytre morfologi, finnestørrelse og skjellkarakterer. NINA forskningsrapport, 001: 1-5.
- LOV-1992-05-15-4. Lov om laksefisk og innlandsfisk mv. (lakse- og innlandsfiskloven). <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1992-05-15-47>.
- McGinnity, P., Stone, C., Taggart, J. B., Cooke, D., Cotter, D., Hynes, R., McCamley, C., Cross, T. & Ferguson, A. 1997. Genetic impact of escaped farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) on native populations: use of DNA profiling to assess freshwater performance of wild, farmed, and hybrid progeny in a natural river environment. ICES Journal of Marine Science, 54: 998-1008.
- Moe, K., Næsje, T., Haugen, T. O., Ulvan, E. M., Aronsen, T., Sandnes, T. & Thorstad, E. B. 2016. Area use and movement patterns of wild and escaped farmed Atlantic salmon before and during spawning in a large Norwegian river. Aquaculture Environment Interactions. DOI: 8: 77- 88, 2016doi: 10.3354/aei00165.
- Moen, V., Holthe, E., Skår, K., Hokseggen, T. & Lo, H. 2009. Innslag av kultivert laks i Nidelva i 2005-2007. Veterinærinstituttets rapportserie 09-2009.
- NS 9456. 2004. Vannundersøkelse - Visuell telling av laks, sjøørret og sjørøye. Norsk standard.
- NS 9456. 2015. Visuell registrering av sjøvandrende laksefisk i vassdrag. Norsk standard.
- Næsje, T. F., Ulvan, E. M., Sandnes, T., Jensen, J. L., Staldvik, F., Holm, R., Landstad, J. A., Økland, F., Moe, K., Fiske, P., Heggberget, T. G. & Thorstad, E. B. 2013a. Atferd og spredning av rømt oppdrettslaks og villaks i Namsen og andre elver. Resultater fra merking av laks i Namsfjorden og Vikna. - NINA Report 931, 76 pp.
- Næsje, T. F., Barlaup, B. T., Berg, M., Diserud, O. H., Fiske, P., Karlsson, S., Lehmann, G. B., Museth, J., Robertsen, G., Solem, Ø. & Staldvik, F. 2013b. Muligheter og teknologiske løsninger for å fjerne rømt oppdrettsfisk fra lakseførende vassdrag. NINA Rapport 972. 84 s.
- Næsje, T. F., Aronsen, T., Ulvan, E. M., Jørrestol, A., Økland, F., Fiske, P. & Krogdahl, R. 2014. Tiltaksrettet overvåking av villaks og rømt oppdrettslaks i Trondheimsfjorden og tilsluttende elver 2013. NINA Rapport 1062: 70 s.
- Næsje, T. F., Aronsen, T., Ulvan, E. M., Moe, K., Fiske, P., Økland, F., Østborg, G., Diserud, O., Skorstad, L., Sandnes, T. & Staldvik, F. 2015. Villaks og rømt oppdrettslaks i

- Namsfjorden og Namsenvassdraget: Fangst, atferd og andel er rømt oppdrettslaks . 2012-2014. NINA Rapport 1138. 106 s.
- Orell, P., Erkinaro, J. & Karppinen, P. 2011. Accuracy of snorkelling counts in assessing spawning stock of Atlantic salmon, *Salmo salar*, verified by radio-tagging and underwater video monitoring. *Fisheries Management and Ecology* 18(5):392-399 doi:10.1111/j.1365-2400.2011.00794.x.
- Piou, C. & Prévost, E. 2012. A demo-genetic individual-based model for Atlantic salmon populations: Model structure, Parameterization and sensitivity. *Ecological Modelling* 231 (2012) 37–52.
- Reed, T. E., Prodohl, P., Hynes, R., Cross, T., Ferguson, A. & McGinnity, P. 2015. Quantifying heritable variation in fitness -related traits of wild, farmed and hybrid Atlantic salmon families in a wild river environment. *Heredity*, 115: 173-184.
- Skaala, O., Wennevik, V. & 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., Vølstad, J. H., Bøthun, G. & 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 Havforskningen Nr. 7-2011.
- Skoglund, H., Barlaup, B. T., Normann, E. S., Wiers, T., Lehmann, G. B., Skår, B., Pulg, U., Vollset, K. W., Velle, G., Gabrielsen, S. E. & Stranz, S. 2016. Gytefisktelling og uttak av rømt oppdrettslaks i elver på Vestlandet høsten 2015. ISSN-1892-8889 LFI-rapport nr: 266.
- Staldvik, F. 2012. Sorteringsfiske etter rømt oppdrettslaks og overvåkingsfiske i Namsen 2011 KLV-notat nr 4, 2012.
- Svenning, M. A., Kanstad-Hanssen, Ø., Lamberg, A., Strand, R., Dempson, J. B. & Fauchald, P. 2015. Oppvandring og innslag av oppdrettslaks i norske lakseelver; basert på videoovervåking, fangstfeller og drivtelling. NINA Rapport 1104. 53.
- Svenning, M. A., Lamberg, A., Dempson, B., Strand, R., Kanstad-Hansen, Ø. & Fauchald, P. 2016. Incidence and timing of wild and escaped farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Norwegian rivers inferred from video surveillance monitoring. *Ecology of Freshwater Fish* 2016 doi: 10.1111/eff.12280.
- Taranger, G. L., Svåsand, T., Kvamme, B. O., Kristiansen, T. S. & Boxaspen, K. 2014. Risikovurdering norsk fiskeoppdrett 2013. Fisken og havet, særnummer 2-2014
- Taranger, G. L., Karlsen, Ø., Bannister, R. J., Glover, K. A., Husa, V., Karlsbakk, E., Kvamme, B. O., Boxaspen, K. K., Bjørn, P. A., Finstad, B., Madhun, A. S., Morton, H.C. & Svåsand, T. 2015. Risk assessment of the environmental impact of Norwegian Atlantic salmon farming. *ICES Journal of Marine Science* 72: 997-1021.
- Transtrum, M. K., & Qiu, P. 2014. Studies in Mechanobiology, Tissue Engineering and Biomaterials *Phys. Rev. Lett.* 113, 098701.
- Thorstad, E. B., Heggberget, T. G. & Okland, F. 1998. Migratory behaviour of adult wild and escaped farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L., before, during and after spawning in a Norwegian river. *Aquaculture Research*, 29: 419-428.
- Tøndel, K., Indahl, I. G., Gjuvsland, A. B., Omholt, S.W. & Martens, H. 2012. Multi-way metamodelling facilitates insight into the complex input-output maps of nonlinear dynamic

models. *BMC Systems Biology* 6:88 . DOI: 10.1186/1752-0509-6-88.

Urdal, K., Sægrov, H., Hellen, B. A. & Kålås, S. 2004. Fiskeundersøkingar i Årøyelva 1997-2003 Rådgivende Biologer AS Rapport nr. 637.

Ugedal, O., Kroglund, F., Barlaup, B. & Lamberg, A. 2014. Smolt - en kunnskapsoppsummering. Miljødirektoratet M136-2014.

Ugedal, O., Aronsen, J.L. A., Jensen, A., Lamberg, A. & Næsje, T. 2015. Bestandsestimering ved bruk av drivtelling og merke-gjensyn av gytelaks i Sautso i Altaelva. NINA Minirapport 581: 23 s.



ISBN 978-82-998249-3-4 (PDF)