

Evaluering av nasjonale laksevassdrag og nasjonale laksefjorder: Rømt oppdrettslaks, genetisk innkrysning og bestandsstatus

Kjetil Hindar, Ola H. Diserud, Peder Fiske, Sten Karlsson, Geir H. Bolstad, Anders Foldvik, Vidar Wennevik, Gunnbjørn Bremset og Carolyn Rosten



NINAs publikasjoner

NINA Rapport

Dette er NINAs ordinære rapportering til oppdragsgiver etter gjennomført forsknings-, overvåkings- eller utredningsarbeid. I tillegg vil serien favne mye av instituttets øvrige rapportering, for eksempel fra seminarer og konferanser, resultater av eget forsknings- og utredningsarbeid og litteraturstudier. NINA Rapport kan også utgis på annet språk når det er hensiktsmessig..

NINA Temahefte

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

NINA Fakta

Faktaarkene har som mål å gjøre NINAs forskningsresultater raskt og enkelt tilgjengelig for et større publikum. Faktaarkene gir en kort framstilling av noen av våre viktigste forskningstema.

Annen publisering

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

Evaluering av nasjonale laksevassdrag og nasjonale laksefjorder: Rømt oppdrettslaks, genetisk innkrysning og bestandsstatus

Kjetil Hindar¹, Ola H. Diserud¹, Peder Fiske¹, Sten Karlsson¹
Geir H. Bolstad¹, Anders Foldvik¹, Vidar Wennevik²,
Gunnbjørn Bremset¹ og Carolyn Rosten¹

Hindar, K., Diserud, O.H., Fiske, P., Karlsson, S., Bolstad, G.H., Foldvik, A., Wennevik, V., Bremset, G. og Rosten, C. 2018. Evaluering av nasjonale laksevassdrag og nasjonale laksefjorder: Rømt oppdrettslaks, genetisk innkrysning og bestandsstatus. NINA Rapport 1461. Norsk institutt for naturforskning.

Trondheim, februar 2018

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-3192-3

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

KVALITETSSIKRET AV

Eva B. Thorstad

ANSVARLIG SIGNATUR

Adm. dir. Norunn S. Myklebust (sign.)

OPPDRAUGSGIVER(E)/BIDRAUGSYTER(E)

Miljødirektoratet

OPPDRAUGSGIVERS REFERANSE

M-1070|2018

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAUGSGIVER/BIDRAUGSYTER

Helge Axel Dyrendal

FORSIDEBILDE

Børselva med Porsangen i bakgrunnen – et nasjonalt laksevassdrag der det munner ut i en nasjonal laksefjord

© Foto: Eva B. Thorstad, NINA

NØKKEWORD

- Norge
- laks *Salmo salar*
- nasjonale laksevassdrag (NLV)
- nasjonale laksefjorder (NLF)
- villaks
- oppdrettslaks
- genetisk innkrysning (introgresjon)
- gytebestandsmål
- kvalitetsnormen for laks
- kultivering
- kalking
- vassdragsregulering

KONTAKTOPPLYSNINGER

NINA hovedkontor

Postboks 5685 Torgarden
7485 Trondheim
Tlf: 73 80 14 00

NINA Oslo

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Tlf: 73 80 14 00

NINA Tromsø

Postboks 6606 Langnes
9296 Tromsø
Tlf: 77 75 04 00

NINA Lillehammer

Vormstuguvegen 40
2624 Lillehammer
Tlf: 73 80 14 00

NINA Bergen

Thormøhlensgate 55
5006 Bergen
Tlf: 73 80 14 00

www.nina.no

Sammendrag

Hindar, K., Diserud, O. H., Fiske, P., Karlsson, S., Bolstad, G. H., Foldvik, A., Wennevik, V., Bremset, G. og Rosten, C. 2018. Evaluering av nasjonale laksevasdrag og nasjonale laksefjorder: Rømt oppdrettslaks, genetisk innkrysning og bestandsstatus. NINA Rapport 1461. Norsk institutt for naturforskning.

Formålet med ordningen med nasjonale laksevasdrag (NLV) og nasjonale laksefjorder (NLF) er å gi et utvalg av de viktigste laksebestandene i Norge en særlig beskyttelse mot skadelige inngrep og aktiviteter i vassdragene og mot oppdrettsvirksomhet, forurensning og munningsinngrep i de nærliggende fjord- og kystområdene. De nasjonale laksevasdragene ble plukket ut blant de største laksebestandene i Norge, og de fleste av dem var antatt å være i god tilstand da ordningen ble vedtatt. Dette gjør at det er vanskelig å teste om ordningen har bedret bestandsstatus siden det ikke går å finne liknende bestander å sammenlikne med. Vi har derfor brukt mer indirekte metoder, slik som modellering, for å gjøre vurderingen. I fjorder definert som nasjonale laksefjorder har ordningen ført til at det ikke blir noen økning av oppdrettsbiomasse i den umiddelbare nærheten til vassdragene i fjorden. Vi har derfor sett på sammenhengen mellom innslag av rømt oppdrettslaks og påvirkningen av oppdrettsvirksomheten målt som biomasse, samtidig som vi også tar hensyn til andre faktorer som kan påvirke innslaget av rømt oppdrettslaks.

Vi har sammenfattet undersøkelser av bestandsstatus, innslaget av rømt oppdrettslaks og hvordan gener fra rømt oppdrettslaks har kommet inn i laksebestandene i vassdrag som er eller ikke er omfattet av ordningen. Vi ser også på faktorer som påvirker eller samvarierer med innslaget av rømt oppdrettslaks i vassdraget og genetisk innkrysning av oppdrettslaks i villaksbestandene.

Det ble ikke funnet noen forskjell i bestandsstatus målt etter kvalitetsnormen for villaks mellom nasjonale laksevasdrag og andre vassdrag. Imidlertid hadde nasjonale laksevasdrag i alle år større høstbart overskudd og bedre gytebestandsmåloppnåelse enn andre vassdrag. Disse forskjellene har avtatt fra 2010 til 2016. Både andelen rømt oppdrettslaks i bestandene, beregnet antall rømt oppdrettslaks i bestandene og genetisk innkrysning av rømt oppdrettslaks i bestandene, samvarierte positivt med oppdrettsintensiteten. Oppdrettsintensiteten ble her målt som antallet oppdrettslaks eller biomassen i anleggene veid med avstanden fra elva til anleggene, slik at antallet/biomassen i anlegg som ligger nær teller mer enn antallet/biomassen i anlegg som ligger langt unna.

Analysen vår viser at det å ha liten oppdrettsbiomasse i nærområdet gir lakseelver en viss beskyttelse mot at rømt oppdrettslaks vandrer opp i vassdragene og blander seg med villaksbestandene. Det er også andre faktorer som påvirker innslaget av rømt oppdrettslaks: elver med stor vannføring ser ut fra analysene ut til å tiltrekke seg oppdrettslaks; det gjør også vassdrag med mange villaks. Likevel virker mange villaks (tallrike bestander) positivt ved at de tynner ut betydningen av rømt oppdrettslaks, slik at andelen rømt oppdrettslaks blir lavere i vassdrag med sterke villaksbestander. Sterke villaksbestander ser også ut å ha mindre innkrysning av rømt oppdrettslaks i bestandene.

Nasjonale laksevasdrag og nasjonale laksefjorder ser i våre analyser ut til å forsinke en negativ effekt av rømt oppdrettslaks på villaks, men ser ikke ut til å kunne forhindre den.

Kjetil Hindar, NINA, Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim. kjetil.hindar@nina.no
Ola H. Diserud, NINA, Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim. ola.diserud@nina.no
Peder Fiske, NINA, Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim. peder.fiske@nina.no
Sten Karlsson, NINA, Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim. sten.karlsson@nina.no
Geir H. Bolstad, NINA, Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim. geir.bolstad@nina.no
Anders Foldvik, NINA, Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim. anders.foldvik@nina.no

Vidar Wennevik, Havforskningsinstituttet, Postboks 1870 Nordnes, 5817 Bergen.

vidar.wennevik@hi.no

Gunnbjørn Bremset, NINA, Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim.

gunnbjorn.bremset@nina.no

Carolyn Rosten, NINA, Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim. carolyn.rosten@nina.no

Innhold

Sammendrag	3
Innhold	5
Forord	7
1 Innledning	8
1.1 Ordningen med nasjonale laksevassdrag og nasjonale laksefjorder	8
1.2 Midtveiseevaluering av ordningen med NLV og NLF	10
1.3 Ny kunnskap etter midtveiseevalueringen	11
1.4 Målsetting	12
1.5 Andre rapporter om nasjonale laksevassdrag og laksefjorder	12
2 Metoder	13
2.1 Datagrunnlag og variabler	13
2.1.1 Årsandel som estimat for andel rømt oppdrettslaks i vassdragene	13
2.1.2 Beregning av antall rømt oppdrettslaks i bestandene	13
2.1.3 Beregning av genetisk innkrysning	13
2.1.4 Beregning av andre variabler som ble brukt i modelleringen	14
2.2 Modellering av sammenhengene mellom antall eller andel rømt oppdrettslaks i bestandene og ulike variabler	16
2.3 Oppnåelse av gytebestandsmål og maksimalt tålt beskatning	16
2.4 Presentasjon av resultatene i denne rapporten	17
3 Resultater	18
3.1 Publiserte analyser	18
3.1.1 Midtveiseevalueringen 2013 om rømt oppdrettslaks og bestandsstatus	18
3.1.2 Genetisk innkrysning	18
3.1.3 Kvalitetsnormen og NLV med hensyn til kvalitetselementet genetisk integritet og kvalitetselementet gytebestandsoppnåelse og høstbart overskudd	21
3.2 Nye beregninger	23
3.2.1 Modell for andel rømte oppdrettslaks i en laksebestand	23
3.2.2 Modell for antall rømte oppdrettslaks i et vassdrag	25
3.2.3 Modell for genetisk innkrysning av oppdrettslaks i villaksbestander	27
3.3 Bestandsstatus i nasjonale laksevassdrag og andre vassdrag	30
3.4 Bestandsstatus i vassdrag innenfor og utenfor NLF	32
3.5 Trender i data fra NLV og NLF fra 2006 til 2016	33
3.5.1 Estimert andel rømt oppdrettslaks i elv	33
3.5.2 Estimert antall rømt oppdrettslaks i elv	34
3.5.3 Estimert genetisk innkrysning	35
4 Diskusjon	37
4.1 Har NLV- og NLF-ordningen hatt forventet effekt?	37
4.2 Betydningen av NLF	37
4.3 Betydningen av NLV	38
4.4 Forklaringsvariablene – hvordan virker de?	38
5 Konklusjon	41
6 Referanser	42

7 Vedlegg	46
7.1 Beskrivelse av vassdrag og laksebestand	46
7.1.1 Middelvannføring beregnet av NVE	46
7.1.2 Bestandsstørrelse beregnet av Vitenskapelig råd for lakseforvaltning	47
7.2 Oppdrettsintensitet	47
7.2.1 Antall oppdrettslaks med gaussisk vektning og standardavvik 60 km	47
7.2.2 Antall oppdrettslaks og oppdrettslokaliteter innenfor 60 km radius i perioden 2006-2016	49
7.2.3 Avstand fra elv til nærmeste oppdrettslokalitet i perioden 2006-2016	50
7.3 Prosent kultivert smolt av totalt antall smolt	51
7.4 Sammenlikninger mellom «ikke-NLV i NLF» og «ikke-NLV i ikke-NLF»	52
7.5 Kartgrunnlag oppdrettsanlegg	55

Forord

Da Stortinget sluttførte ordningen med Nasjonale laksevassdrag (NLV) og Nasjonale laksefjorder (NLF), var det en uttrykt forutsetning at ordningen skulle evalueres, senest etter 10 år.

Denne rapporten redegjør for undersøkelser som belyser hvordan innføring av beskyttelsesordningen har virket inn på bestandsstatus, innslaget av rømt oppdrettslaks, og genetisk innkrysning av rømt oppdrettslaks i villaksbestandene i de utvalgte laksevassdragene og i andre vassdrag.

Rapporten inngår som en av flere rapporter som utarbeides som en del av 10-års evalueringen av ordningen. Andre rapporter omhandler ordningens effekt på mengden lakselus innenfor og utenfor de nasjonale laksefjordene, og effektene av ordningen på forvaltningspraksis i nasjonale laksevassdrag og nasjonale laksefjorder.

Et team av forskere fra NINA og Havforskningsinstituttet har gjennomført arbeidet som er initiert av styringsgruppa for overvåknings- og evalueringsprogrammet for NLV/NLF og finansiert av Miljødirektoratet.

Vi takker for all den hjelpen vi har fått av kolleger utenfor prosjektgruppa. Vi vil også rette en takk til Fiskeridirektoratet som har gitt tilgang til informasjon om antall oppdrettslaks og biomasse pr. oppdrettslokalitet for årene 2005-2017.

Trondheim, februar 2018

Kjetil Hindar
Forskningssjef i NINA

1 Innledning

1.1 Ordningen med nasjonale laksevassdrag og nasjonale laksefjorder

Formålet med ordningen med nasjonale laksevassdrag (NLV) og nasjonale laksefjorder (NLF) er å gi et utvalg av de viktigste laksebestandene i Norge en særlig beskyttelse mot skadelige inngrep og aktiviteter i vassdragene og mot oppdrettsvirksomhet, forurensning og munningsinngrep i de nærliggende fjord- og kystområdene.

Nasjonale laksevassdrag og laksefjorder ble først foreslått i Villaksutvalgets innstilling fra 1999 *Til laks åt alle kan ingen gjera?* (NOU 1999:9). Villaksutvalget la frem en rekke forslag som samlet skulle gi en mer helhetlig forvaltning og sikre gjenoppbygging av laksebestandene. Utvalgets hovedforslag var at et utvalg av de viktigste laksebestandene skulle gis særlig beskyttelse gjennom etablering av 50 nasjonale laksevassdrag og ni store nasjonale laksefjorder eller kyststrekninger i tilknytning til 33 av disse vassdragene.

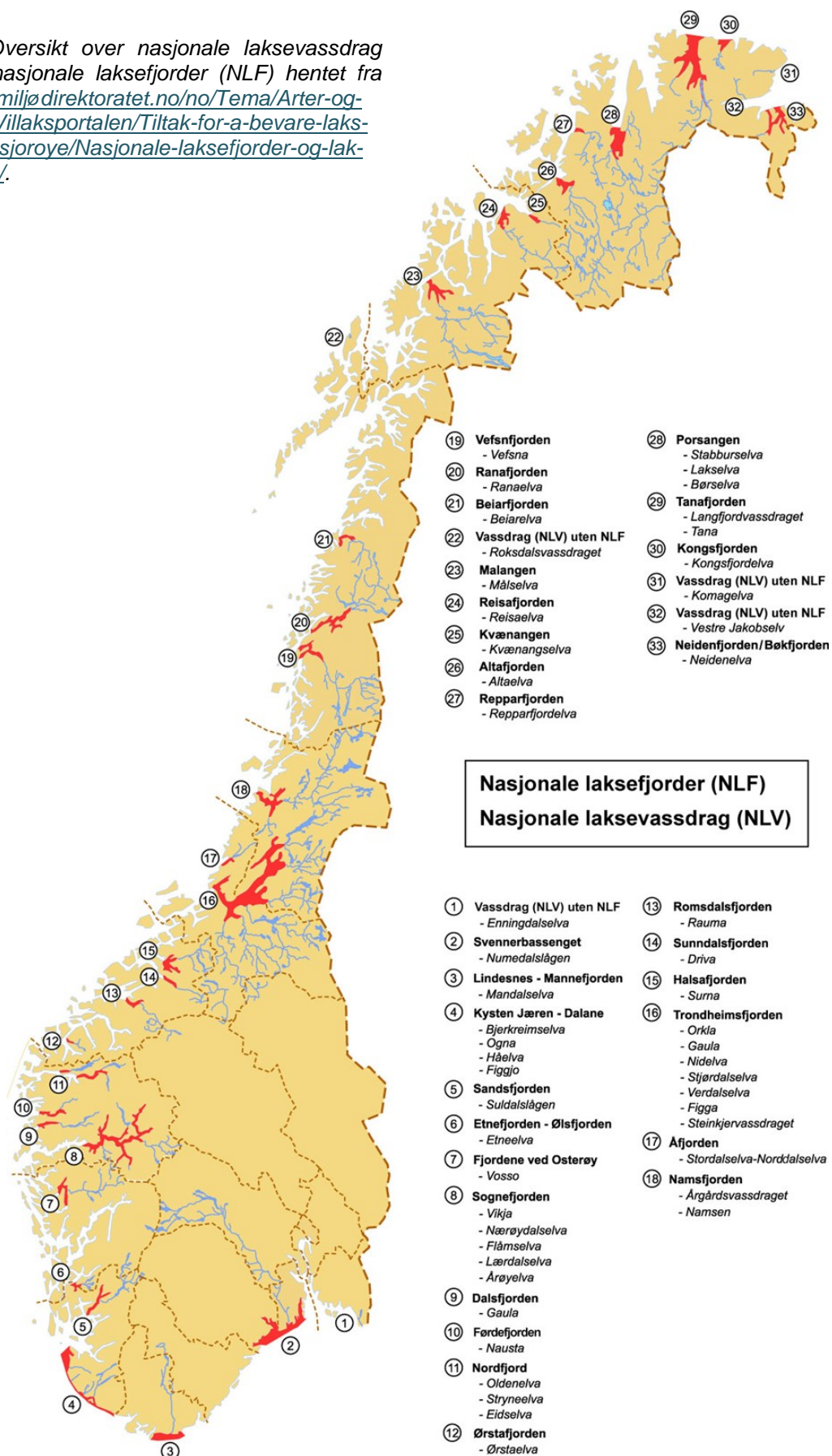
Utvalgets innstilling ble sendt på bred høring våren og sommeren 1999. Høringen viste at det gjennomgående var bred tilslutning til de fleste av utvalgets forslag. Forslaget til nasjonale laksefjorder var imidlertid omstridt.

I St.prp. nr. 79 (2001-2002) *Om opprettelse av nasjonale laksevassdrag og laksefjorder* ble det foreslått rammer og grunnprinsipper for ordningen, forslag til 37 nasjonale laksevassdrag og 21 nasjonale laksefjorder og et opplegg for supplering og ferdigstilling (Anon., 2002).

I Innst. S. nr. 134 (2002-2003) opprettet Stortinget 37 nasjonale laksevassdrag og 21 nasjonale laksefjorder, og bestemte at laksen i disse områdene skulle sikres en særlig beskyttelse i samsvarende med de beskyttelsesregimene som var foreslått i St.prp. nr. 79 (2001-2002) (Anon., 2003). I ettertid er disse vedtakene lagt til grunn for forvaltningens behandling av saker som berører de aktuelle områdene.

I St.prp. nr. 32 (2006-2007) *Om vern av villaksen og ferdigstilling av nasjonale laksevassdrag og laksefjorder* ble det foreslått 15 nye nasjonale laksevassdrag og åtte nye laksefjorder (Anon., 2006). Ordningen omfattet etter dette i alt 52 nasjonale laksevassdrag og 29 nasjonale laksefjorder (**Figur 1**).

Figur 1. Oversikt over nasjonale laksevassdrag (NLV) og nasjonale laksefjorder (NLF) hentet fra <http://www.miljødirektoratet.no/no/Tema/Arter-og-naturtyper/Villaksportalen/Tiltak-for-a-bevare-laks-sjoorret-og-sjoroye/Nasjonale-laksefjorder-og-laksevassdrag/>.



I St.prp. nr. 79 (2001-2002) ble det lagt til grunn at ordningen med nasjonale laksevassdrag og laksefjorder skulle evalueres så snart det var mulig å vurdere de konkrete effektene for de aktuelle laksebestandene. Det ble også varslet et særskilt overvåkingsprogram for å få tilstrekkelig kunnskap om bestandene og de faktorene som påvirker dem. Dette sluttet Stortinget seg til, og forutsatte samtidig at ordningen ble evaluert senest ti år etter at den var ferdigstilt, dvs. i 2017. Med dette som utgangspunkt har fagmyndighetene arbeidet med et tiårig overvåkingsprogram som skal danne grunnlaget for evaluering av nasjonale laksevassdrag og laksefjorder. Sentralt i overvåkingsprogrammet er data om:

- bestandenes tilstand i forhold til negativ menneskeskapt påvirkning,
- lakseoppgang, beskatning og gytebestand i utvalgte nasjonale laksevassdrag og i referansevassdrag,
- utvikling i antall rømt oppdrettsfisk og forekomsten av rømt fisk i gytebestandene i utvalgte nasjonale laksevassdrag og i referansevassdrag,
- frekvens av hybridisering i nasjonale laksevassdrag og referansevassdrag,
- utvikling i reguleringsregimer for vannkraft og fysiske inngrep i nasjonale laksevassdrag,
- utvikling i forurensningskilder og vannkvalitet,
- forekomst og effekt av lakselus og fiskesykdommer på fisk i oppdrettsanlegg,
- mengde rømt oppdrettsfisk i nasjonale laksefjorder og i nærliggende referanseområder.

1.2 Midtveisevaluering av ordningen med NLV og NLF

I 2013 ble det publisert en midtveisevaluering av ordningen med NLV og NLF med hensyn til rømt oppdrettslaks i villaksbestander, og bestandsstatus for villaksbestander (Fiske mfl., 2013). Konklusjonene fra denne midtveisevalueringen var at nasjonale laksevassdrag har mindre andel rømt oppdrettslaks enn andre vassdrag, samt at nasjonale laksefjorder reduserer mengden rømt oppdrettslaks i vassdrag med utløp i disse fjordene. Disse funnene ble forklart ved at nasjonale laksevassdrag har sterke bestander av villaks som tynner ut mengden oppdrettslaks, og at nasjonale laksefjorder bidrar til at det er få oppdrettsanlegg i nærheten av vassdragene som er inkludert i ordningen.

En hovedutfordring med evaluering av nasjonale laksevassdrag og nasjonale laksefjorder er at utvalget er skeivt, slik at det er vanskelig å finne referansevassdrag for en evaluering av ordningen. Hensikten med ordningen var nettopp å beskytte de største og mest verdifulle laksebestandene. Da er det også utfordrende å finne referanseområder, noe som ble påpekt i midtveisevalueringen (Fiske mfl., 2013). I denne rapporten har vi i kapittel **7 Vedlegg** vist hvordan noen viktige egenskaper ved nasjonale laksevassdrag, slik som bestandsstørrelse og vannføring, varierer innen og mellom nasjonale laksevassdrag og andre norske laksevassdrag. Den statistiske analysen er så langt mulig utført som en modellering der vi viser hvilken betydning disse egenskapene (og andre mulige forklaringsvariabler) har for tilstanden i bestandene.

De nasjonale laksefjordene har en forhistorie som går tilbake til 1989, da Fiskeridepartementet opprettet 52 midlertidige sikringssoner for laksefisk utenfor 125 lakseelver. Hensikten var å bevare livskraftige laksebestander som et biologisk og genetisk grunnlag for vekst og utvikling i oppdrettsnæringen og å bidra til å bevare villaksen og annen anadrom laksefisk. Ved opprettelsen av de midlertidige sikringssonene ble det lagt vekt på å beskytte tallrike laksebestander med særlig verdifulle arveanlegg og god naturlig reproduksjon. Det ble også lagt vekt på at sikringssonene skulle bidra til å hindre spredning av fiskesykdommer og forebygge genetiske skadevirkninger av rømt oppdrettslaks på de ville laksebestandene. De nasjonale laksevassdragene og laksefjordene bygger på disse midlertidige sikringssonene fra 1989, og skulle i likhet med sikringssonene i hovedsak omfatte store og tallrike bestander, bestander med høy produktivitet eller potensial for å få det, storlaksbestander og bestander med særskilt genetisk karakter. Dette innebærer at de vassdragene som er valgt ut som NLV med få unntak representerer vassdrag

som ved opprettelsen hadde de sterkeste bestandene av laks, og derfor ikke representerer et tilfeldig utvalg av norske laksebestander. De vassdragene som ligger innenfor en nasjonal laksefjord er også i hovedsak vassdrag som er representanter for det samme utvalget. Et slikt skjevt utgangspunkt kan gjøre statistiske sammenlikninger vanskelig, fordi det i praksis er umulig å finne andre vassdrag/fjordområder som kan benyttes som referansevassdrag (kontroll) i statistiske analyser. Effektene av ordningen kan derfor best vurderes ved å bruke korrelative studier.

Responsvariablene som ble brukt i midtveisevalueringen i 2013, var for hvert vassdrag:

- estimert antall rømt oppdrettslaks,
- andel rømt oppdrettslaks, og
- ulike estimater for gytebestandsmåloppnåelse.

Midtveisevalueringen påpekte at undersøkelser som kan forbedre disse estimatene vil forbedre presisjonen i analysene av mulige effekter av forvaltningsregimet (Fiske mfl., 2013). Forbedringspotensialet i responsvariablene ble foreslått å være økt antall vassdrag med fisketelling, implementering av kvalitetsnormen for villaks, økt utvalgsstørrelse av antall individer som kontrolleres i hvert vassdrag, og forbedret representativitet av utvalg fra store vassdrag.

Effekten av oppdrettskonsentrasjoner (oppdrettsintensitet) ble i midtveisevalueringen studert ved å beregne avstand fra nasjonale laksevassdrag til omkringliggende oppdrettsanlegg (slik oppdrettslokalitetene var kartfestet av Fiskeridirektoratet i 2012). Dette ble gjort uten kunnskap om hvilke av lokalitetene som hadde oppdrettslaks, eller hvor stor biomasse det var på hver enkelt lokalitet. I midtveisevalueringen ble det derfor påpekt at analysene kunne forbedres ved å sette sammen en historisk oversikt over hvilke oppdrettslokaliteter som hadde vært i drift til enhver tid.

1.3 Ny kunnskap etter midtveisevalueringen

Midtveisevalueringen benyttet data fra perioden 2006-2012. Etter at midtveisevalueringen ble publisert i 2013 er det akkumulert flere år med data, og det er gjort viktige vitenskapelige framskritt med tanke på analyse av bestandsstatus i villaksbestander (Forseth mfl., 2013; 2017), atferd hos rømt oppdrettslaks og deres spredning til vassdrag (Skilbrei mfl., 2015; Svenning mfl., 2017; Jonsson & Jonsson, 2017), genetiske markører for å skille oppdrettslaks fra villaks (Karlsson mfl., 2011), metodikk for å beregne genetisk innkrysning (Glover mfl., 2012; 2013; Karlsson mfl., 2014), beregning av genetisk innkrysning i et stort antall villaksbestander (Glover mfl., 2013; Karlsson mfl., 2016) og økologiske effekter av innkrysning i ulike typer laksebestander og fylogeografiske (innvandringshistoriske) grupper (Bolstad mfl., 2017). De to siste årene er det også laget en 'review' over interaksjoner mellom rømt oppdrettslaks og villaks i regi av det internasjonale havforskningsrådet (ICES, 2016) som respons på spørsmål fra den nord-atlantiske laksevernkonvensjonen, NASCO, og det er publisert en stor oversiktsartikkel om lærdommen fra 40 år med genetiske interaksjoner (Glover mfl., 2017).

Studiene av genetisk innkrysning av rømt oppdrettslaks i villaksbestander de siste årene har gitt oss muligheten til å vurdere en ny responsvariabel - estimert innkrysning av oppdrettslaks i villaksbestander - i tillegg til de responsvariablene som ble benyttet i midtveisevalueringen (Fiske mfl., 2013, og kapittel 1.2). Det er også gjort et stort løft med hensyn til å klassifisere et stort antall villaksbestander etter kvalitetsnormen for villaks (Anon., 2016; 2017c; Diserud mfl., 2017).

Kvalitetsnormen for ville bestander av atlantisk laks (*Salmo salar*) ble fastsatt ved Kgl.res. 20. september 2013 med hjemmel i lov 19. juni 2009 nr. 100 om forvaltning av naturens mangfold (naturmangfoldloven) § 13. Kvalitetsnormen for villaks fastsettes bestandsvis av Vitenskapelig råd for lakseforvaltning, som innhenter kunnskap om genetisk integritet (genetisk påvirkning av rømt oppdrettslaks på villaks) fra NINA og Havforskningsinstituttet (Anon., 2017c, Diserud mfl., 2017) og som selv vurderer måloppnåelse av gytebestandsmål og høstingspotensial i bestan-

dene (Anon. 2017a, b). De genetiske analysene som er rapportert av Diserud mfl. (2017) omfatter i alt 175 laksebestander, som til sammen representerer om lag 85 % av de samlede villaksressursene i Norge (beregnet som gytebestandsmål). I 148 av bestandene fins det både vurdering etter kvalitetselementet genetisk integritet og kvalitetselementet gytebestandsmåloppnåelse og høstingspotensial (Anon., 2017c).

Arbeidet som utføres forut for fastsetting av kvalitetsnorm for villaks har også gitt et betydelig større datatilfang på villaksbestander, i tråd med det som ble etterspurt i midtveisevalueringen. Det er gjort beregninger av innsig av gytelaks fra havet til kyst for enkeltelver, innsig til elv, fangst og gytebestand i en lang rekke elver (Anon., 2017b). I tillegg er det gjennom økte bevilgninger fra fiskerimyndighetene utført en betydelig større innsats de siste tre årene i å beregne innslag av rømt oppdrettslaks i villaksbestander, både i sportsfisket om sommeren, i eksperimentelt høstfiske og ordinært stamfiske, og i drivtelling (Anon., 2016b; Anon., 2017d). Det er gjort rede for hvordan den økte informasjonen om villaksbestandene er brukt i denne rapporten i metodekapitlet.

Til analysene av effekten av «oppdrettsintensitet» er det innhentet tillatelse fra Fiskeridirektoratet i å bruke deres statistikk for biomasse og antall fisk i matfiskanlegg/sjøanlegg fra og med 2005 og til og med 2016. Dette er informasjon som er unntatt offentlighet, og vi har i denne rapporten kun brukt aggregerte data i våre analyser og går ikke inn på betraktninger av enkeltanlegg. Lokalteter som er brukt i analysene er kartfestet i kapittel 7 **Vedlegg** for to perioder (2005-06 og 2015-16).

Vi har ikke utført analyser i forhold til lokalisering og antall eller biomasse i settefisk/landanlegg og heller ikke analyser i forhold til slaktemerder og transport mellom matfiskanlegg og slakteanlegg.

1.4 Målsetting

Hensikten med denne rapporten er å legge det faglige grunnlaget for å evaluere om ordningen med nasjonale laksevassdrag og nasjonale laksefjorder (1) har hatt en effekt på bestandsstatus hos villaksbestandene, (2) har hatt en effekt på forekomsten av rømt oppdrettslaks i bestandene, og (3) har hatt en effekt på genetisk innkrysning av rømt oppdrettslaks i villaksbestandene. For å svare på dette har vi testet om graden av måloppnåelse for bestandenes gytebestandsmål og høstingspotensial, og om forekomsten av rømt oppdrettslaks (årsandel og antall) og genetisk innkrysning i et utvalg villaksbestander, avhenger av ulike faktorer som henger sammen med om bestandene er omfattet av ordningen eller ikke. Hovedtilnærmingen vi har valgt, er komparative analyser mellom vassdrag/bestander/områder som er omfattet av ordningen og vassdrag/ bestander/områder som ikke er omfattet av ordningen.

1.5 Andre rapporter om nasjonale laksevassdrag og laksefjorder

Parallelt med denne rapporten blir det også laget annet faglig underlagsmateriale til evaluering av ordningen med NLV og NLF. Det arbeides med å beskrive virkninger av NLV/NLF-ordningen i forhold til forvaltningspraksis og med å beskrive virkninger av NLF-ordningen med hensyn til lakselus på vill laksefisk. En tredje arbeidsgruppe arbeider med å lage en beskrivelse av NLV-ordningen for vassdrag med konsesjonsbelagte vassdragsreguleringer.

2 Metoder

2.1 Datagrunnlag og variabler

I datagrunnlaget inngår alle de vassdragene der det fins informasjon om bestandsstørrelse, rømt oppdrettslaks og genetisk innkrysning. Dataene er innhentet fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning sin statusrapport (Anon., 2017a), kvalitetsnormen for villaks (Anon., 2017c; Diserud mfl., 2017), overvåkingsprogram for rømt oppdrettslaks (Anon., 2017d) og tidligere evalueringer av ordningen med nasjonale laksevassdrag og nasjonale laksefjorder (Fiske mfl., 2013).

Vassdrag der laksebestanden er infisert med parasitten *Gyrodactylus salaris* inngår ikke i analysene, siden de har svært lav bestandsstørrelse i forhold til sin naturlige tilstand og derfor kan ha kunstig høye innslag av rømt oppdrettslaks.

Variablene er logaritmetransformert (naturlig logaritme) i flere av analysene.

2.1.1 Årsandel som estimat for andel rømt oppdrettslaks i vassdragene

Innslaget av rømt oppdrettslaks i vassdragene er beregnet som årsprosent (Diserud mfl., 2013). Som responsvariabel i de sammenligningene og modelleringene vi har gjort her, brukes gjennomsnittlig årsandel (dvs. årsprosent/100) (Diserud mfl., 2013; Anon., 2017d). Årsandel rømt oppdrettslaks er et mål (eller en indeks) som kombinerer informasjon fra andelen rømt oppdrettslaks i prøver fra sommersesongen (sportsfiske) og i prøver tatt om høsten (stamfiske og prøvefiske organisert for å finne innslaget av rømt oppdrettslaks). I utregningen av årsandel ble andelen arcsin-kvadratrottransformert, noe som er vanlig for å normalisere slike data. Dersom både informasjon fra sommer og høst finnes for en elv i et år ble årsandel beregnet som gjennomsnittet av de arcsin-kvadratrottransformerte andelenes.

Årsandel ble også beregnet i tilfeller der bare andel oppdrettslaks fra sommer- eller høstfiske var tilgjengelig. Ut fra en sammenlikning av alle elver og år med både sommer- og høstandel utarbeidet Fiske mfl. (2006) formler for forholdet mellom hver av disse og årsandel. Dette gjorde det mulig å beregne årsandel for hver elv og hvert år der én eller begge av sommer- og høstprøvene var tilgjengelige og var basert på 20 eller flere individer. Vi har justert metoden til Fiske mfl. (2006) litt når vi regner ut årsandel for hver elv, siden vi i formlene for hvordan sommer- og høstandel forholder seg til årsandel har tillatt et skjæringspunkt forskjellig fra 0, som er en mer generell tilnærming. I tillegg utnytter vi fangstdata til og med 2012-sesongen i kalibreringen av formlene. I vårt datamateriale er årsandelen i de tilfellene det bare finnes informasjon fra ett tidspunkt gitt ved:

$$\begin{aligned}\text{Arcsin}(\sqrt{(\text{Årsandel})}) &= 0.116 + 0.888 \times \text{Arcsin}(\sqrt{(\text{Sommerandel})}) \\ \text{Arcsin}(\sqrt{(\text{Årsandel})}) &= 0.044 + 0.699 \times \text{Arcsin}(\sqrt{(\text{Høstandel})})\end{aligned}$$

2.1.2 Beregning av antall rømt oppdrettslaks i bestandene

Vitenskapelig råd for lakseforvaltning har gjort beregninger av antall (og vekt) av villaks som kommer til vassdragene (Anon., 2017a). Vi har i evalueringen benyttet bestandsestimater for villaks i årene 2006-2016, siden det er disse årene VRL har estimater fra. Antall rømt oppdrettslaks i hver enkelt elv for hvert år er estimert fra årsandel rømt oppdrettslaks og bestandsestimat for den ville laksebestanden som $[(\text{årsandel}) \times \text{Antall villaks}] / (1 - \text{årsandel})$.

2.1.3 Beregning av genetisk innkrysning

Genetisk innkrysning av rømt oppdrettslaks i villaksbestander var ikke en del av midtveiseevalueringen. Siden den gangen er det imidlertid publisert flere analyser av genetisk påvirkning fra rømt oppdrettslaks (kapittel 3.1.2 og 3.1.3), og metodikken nevnes her kort. Karlsson mfl. (2011) fant ved å sammenlikne genetisk 12 avlsinjer av oppdrettslaks (fra tre store avlsselskaper) med historiske prøver av 13 villaksbestander fra Sør- til Nord-Norge, at det var mulig å skille oppdrettslaks fra villaks på generell basis ved bruk av SNP-er (fra Single Nucleotide Polymorphisms;

enkeltnukleotidpolymorfismer). I årene etterpå er det publisert to ulike metoder for å utnytte dette materialet til å beregne genetisk innkrysning i villaks som har gjennomført hele livet i det fri (altså; etter at rømte oppdrettslaks er kuttet ut fra materialet) av henholdsvis Glover mfl. (2013) og Karlsson mfl. (2014).

Begge metodene kan måle graden av genetisk innkrysning (såkalt «introgresjon», som er andelen av det totale genetiske materialet som kommer fra rømt oppdrettslaks) og hvorvidt den estimerte innkrysningen er signifikant større enn 0. Metodikken er beskrevet i detalj i artikler i internasjonale vitenskapelige journaler (Glover mfl., 2013; Karlsson mfl., 2014) og sammenliknet i vedlegg til rapport om genetisk integritet etter Kvalitetsnormen for villaks (Diserud mfl., 2016 i Anon., 2016a). I denne rapporten har vi gjort analyser basert på data fra stort antall populasjoner (Glover mfl., 2013; Karlsson mfl., 2016) som er supplert i den nyeste rapporten om kvalitetselementet genetisk integritet til Kvalitetsnormen (Diserud mfl., 2017).

2.1.4 Beregning av andre variabler som ble brukt i modelleringen

Middelvannføring i vassdragene ble hentet fra NVE sin oversikt over nedbørfelt og årsnedbør i vassdragene. Siden antallet, og størrelse av, vassdrag i nærheten kan tenkes å påvirke innslaget av rømt oppdrettslaks i en bestand, beregnet vi også et vassdrags vannføring relativt til total vannføring for alle vassdrag innenfor en 60 km radius.

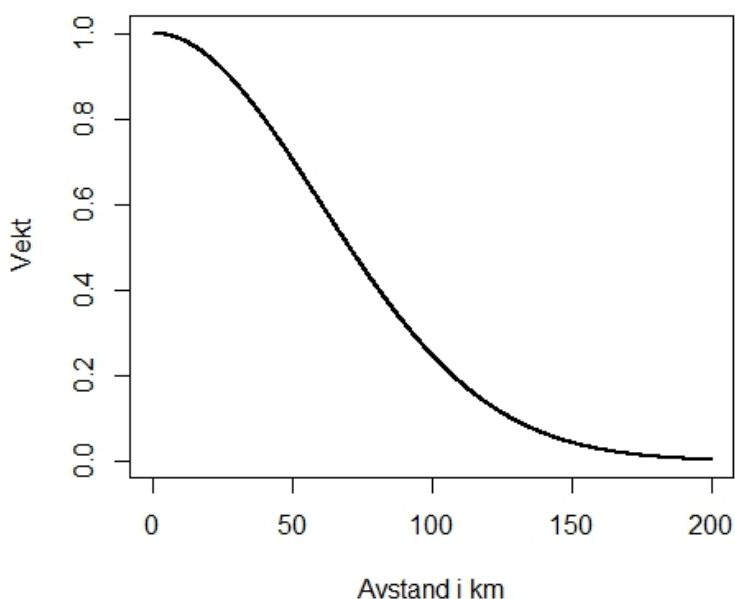
Gytebestandsmålet (i kilogram hunnlaks, eller antall hunnlaks, som er tilstrekkelig for å sikre best mulig rekruttering av ungfisk i bestanden; Hindar mfl., 2007) er benyttet som variabel i noen modeller. Data for norske laksebestander er hentet fra en oppdatert oversikt over gytebestandsmål (se vedlegg 1 i Anon., 2013c). Som for vannføringen, kan det tenkes at antall og størrelsen på nabobestander har betydning for innslaget av rømt oppdrettslaks i en bestand. Vi beregnet derfor også en bestands gytebestandsmål relativt til summen av alle gytebestandsmål innenfor en 60 km radius.

For å beregne avstand fra elveutløp til oppdrettsanlegg benyttet vi UTM-koordinater som er gitt i oversikt over oppdrettsanlegg (lastet ned fra Fiskeridirektoratets akvakulturregister i august 2017 <http://www.fiskeridir.no/fiskeridir/akvakultur/registre>, og for utgåtte lokaliteter fra <https://kart.fiskeridir.no/share/e70a87e2dc26>) kombinert med UTM-koordinater for utløpet av hver enkelt elv (Miljødirektoratets lakseregister). Avstanden over sjø mellom elvene og anleggene ble beregnet i ArcGIS 10.1 (ESRI, 2013). Dette ble gjort ved å lage et raster (50x50 m) basert på polygoner av type «Havflate» fra Kartverkets N50 Kartdata, videre ble dette brukt til å produsere et avstands raster pr. elveutløp ved hjelp av avstandsfunksjonene i ArcMap-utvidelsen «Spatial Analyst Tools». Filer med koordinater for oppdrettslokaliteter og elveutløp ble deretter kombinert med disse avstandsrastrerne, slik at alle oppdrettslokaliteter fikk tilknyttet avstand til samtlige elveutløp.

Data fra Fiskeridirektoratet (mottatt i august 2017) på antall individer og biomasse (kg) av laks på hver oppdrettslokalitet ved to tidspunkt hvert år (slutten av januar og slutten av juni) har gitt mulighet til å beregne nye variabler som kan måle betydningen av oppdrettsaktivitet for tidsrommet 2006-2016. Dette er det samme tidsrommet som NLV/NLF-ordningen evalueres over, og som vi også har gode estimater av bestandsstørrelse i villaksbestander fra. For å tallfeste den samlede påvirkningen av oppdrettsaktiviteten i et område på en bestand beregnet vi flere variabler: minste avstand fra elvemunning til anlegg i produksjon dette året, antall anlegg i produksjon innenfor en 60 km radius, antall fisk eller biomasse fisk produsert innenfor 60 km radius dette året (sum produksjonstall januar og juni), og antall eller biomasse fisk produsert vektet med en gaussisk avtagende funksjon med standardavvik 60 km. Den sistnevnte viste seg å være den variabelen som karakteriserer betydningen av oppdrettsaktivitet best i vårt tallmateriale, og vi kaller den *oppdrettsintensitet*.

Oppdrettsintensitet utnytter både informasjon om hvor mye oppdrettslaks det er på hver lokalitet (i antall eller kg) et gitt år, og hvor stor avstand det er mellom oppdrettslokaliteten og alle elveutløp for laksevassdrag vi har bestandsdata fra. I analysene vektet vi opplysninger om årlig antall

eller biomasse fisk produsert med en gaussisk avtagende funksjon for avstand med standardavvik 60 km. Det betyr at produksjon av én oppdrettslaks, eller ett kg oppdrettslaks, i elvemunningen vil få vekt 1 i analysen, produksjon 60 km unna får vekt 0,61 og produksjon 120 km unna (to standardavvik) får vekt 0,14 og 240 km unna vekt 0,00034 (**Figur 2**). I modelleringen har vi benyttet gjennomsnittlige verdier for perioden 2006-2016. Null-observasjoner kommer med i dette gjennomsnittet, enten de er uttrykk for brakklegging eller de er fra tidsrommet før lokaliteten ble tatt i bruk (evt. etter lokaliteten er avsluttet).



Figur 2. Illustrasjon av gaussisk vektning av antall eller biomasse fisk i oppdrettsanlegg med standardavvik 60 km. Den horisontale aksene er avstand (i antall km) mellom elveutløp og oppdrettslokalitet; den vertikale aksene er vektningen.

Verdien 60 km ble valgt fordi forsøk med utsetting av oppdrettssmolt i utløpet av Imsa viste at de fleste (75 %) av feilvandrende fisk dukket opp i elver som lå mindre enn 60 km fra Imsa (Jonsson mfl., 2003). Dersom oppdrettslaks som rømmer på et tidlig stadium oppfører seg omtrent som disse, kan vi forvente at de fleste vil vandre inn til elver innenfor 60 km radius fra stedet de rømte fra. Dette bildet stemmer godt overens med resultatene fra årlige slipp av oppdrettssmolt fra Matre i Masfjorden fra 2005-2011 (Skilbrei mfl., 2015). To tredjedeler av den voksne oppdrettslaksen som kom tilbake fra havet har blitt rapportert fanget i eller ved ferskvannskilder langt inne i den 20 km lange fjorden i nærheten av slippstedet, mens den siste tredjedelen var spredd til elver helt fra Østlandet til Midt-Norge (Skilbrei mfl., 2015).

Andre potensielle forklaringsvariabler undersøkt var gytebestand som prosent av gytebestandsmålet (Anon., 2017a), effekt av regulering (0 = ingen effekt, 1 = liten effekt, 2 = middels effekt, 3 = stor effekt (Anon., 2016c), prosentandel kultivert smolt (Anon., 2017a), om vassdraget blir kal- ket eller ikke (Anon., 2016d) og avstanden fra elvemunning til grunnlinje (Anon., 2017a).

2.2 Modellering av sammenhengene mellom antall eller andel rømt oppdrettslaks i bestandene og ulike variabler

Vi har her mange sterkt korrelerte forklaringsvariabler, f.eks. vil de alternative målene for oppdrettspåvirkning uttrykke mye av det samme. Noen av disse forklaringsvariablene vil gjensidig kunne erstatte hverandre i en modell for antall eller andel rømt oppdrettslaks i et vassdrag, eller genetisk innkrysning, uten at modelltilpasningen blir nevneverdig påvirket. Det vil dermed kunne eksistere flere alternative, tilnærmet like gode, modeller. For eksempel vil vi for en gruppe av høyt korrelerte forklaringsvariabler ofte kunne fjerne alle utenom én uten at modellen blir nevneverdig dårligere, selv om flere av disse forklaringsvariablene kan ha signifikante koeffisienter.

Dette datasettet har flere variabler med god temporær oppløsning (årvisse observasjoner), men siden mange variabler fortsatt er konstante i tid, det varierer hvilke vassdrag vi har data på i forskjellige år, usikkerheten for enkeltår kan være stor, og vi kan ha usikre tidsforsinkelser f.eks. fra oppdrettsintensitet til genetisk innkrysning i bestander, så har vi hatt problemer med å få tilpasset generaliserte lineære miksede modeller (GLMM). For modelleringen har vi derfor brukt generaliserte lineære modeller (GLM; McCullagh & Nelder, 1989), med poisson link-funksjon for antall og binomisk link-funksjon for andeler, på et datasett med gjennomsnittsverdier for perioden 2006-2016. Dette er årene vi har akseptable estimater for villaksbestandene fra, vi har gode produksjonstall fra anlegg og dette er perioden for ordningen med nasjonale laksefjorder. Modellene har tatt hensyn til evt. overdispersjon, dvs. om det er mer variasjon i dataene enn modellen skulle tilsi. Under modelltilpasningen ble bidraget fra hvert vassdrag vektet med antall år med observasjoner fra dette vassdraget i perioden slik at vassdrag med få observasjoner får mindre betydning for modellen.

Flere forklaringsvariabler er log-transformert (bestandsestimater, vannføring o.l.) siden det ofte er den relative og ikke den absolutte endringen vi er interessert i å modellere.

Modellseleksjonen ble basert på forskjell i residualavvik (residual deviance) for to nøstede modeller, samt en tilnærmet forklaringsgrad (R^2) for vektete observasjoner. Valg av variabel fra grupper med høyt korrelerte variable ble også delvis basert på «biologisk relevans», dvs. hvis to variabler skårer omtrent likt mht. de statistiske kriteriene velges den som gir mest biologisk mening. Flere forhold vanskeliggjør en stringent modellseleksjon, bl.a. så har vi manglende observasjoner for ulike vassdrag for de forskjellige forklaringsvariablene slik at antallet datapunkter brukt i modelltilpasningen endrer seg etter hvilke variable vi har med. Vi kan derfor sjelden basere oss kun på endring i residualavvik. Det er heller ikke tilfeldig hvilke observasjoner vi mangler, slik at noen variable kan skåre godt på å fjerne eller vekte ned vassdrag med store modellavvik uten at modellen nødvendigvis blir bedre. Selv om reduksjonen i residualavvik kan være relativt stor og parameterestimatet svært signifikant når vi inkluderer en ekstra forklaringsvariabel i modellen, trenger ikke modellen nødvendigvis få noe særlig bedre forklaringsgrad. Hvis vi beholder høyt korrelerte forklaringsvariabler i en modell vil det i tillegg gjøre tolkningen av modellen vanskelig. Den kan være god som en prediksjonsmodell men behøver ikke gi oss noen god forståelse av de underliggende mekanismene.

2.3 Oppnåelse av gytebestandsmål og maksimalt tålt beskatning

Som mål for bestandsstatus ble oppnåelse av gytebestandsmål brukt (trunkert til 100 % for høyere verdier) (Forseth mfl., 2013; Anon., 2017a). Siden denne måleparameteren kan være en kombinasjon av hvor effektive fiskereguleringene i et vassdrag har vært og størrelsen på villaksbestanden, ble også estimater av hvor mye beskatning bestandene tåler før de havner under gytebestandsmålet brukt som et mål på bestandsstatus (Anon., 2017a).

2.4 Presentasjon av resultatene i denne rapporten

Resultatene presenteres ved å gi en motivasjon for hvorfor en bestemt type analyse er gjennomført, en kortversjon av de viktigste funnene og en beskrivelse av hvilke analyser som underbygger disse. Enkelte beskrivende detaljer er vist i **Vedlegg**.

Resultatkapitlet er i tillegg delt i to hoveddeler:

1. Oppsummering av de viktigste resultatene fra midtveiseevalueringen (Fiske mfl., 2013) og fra publiserte analyser etter denne som har relevans for – eller motiverer nye typer analyser av – datagrunnlaget for en evaluering av ordningen med NLV og NLF.
2. Beskrivelse av nye typer analyser av ordningen med NLV og NLF med et så oppdatert datasett som mulig.

3 Resultater

3.1 Publiserte analyser

3.1.1 Midtveisevalueringen 2013 om rømt oppdrettslaks og bestandsstatus

I midtveisevalueringen av nasjonale laksevassdrag og nasjonale laksefjorder ble følgende resultater funnet:

- Lavere andel rømt oppdrettslaks i nasjonale laksevassdrag enn i andre vassdrag - gjennomsnittlig årsandel for perioden 1989-2012 var 10,1 % i 46 NLV og 18,6 % i 60 ikke-NLV. Denne forskjellen var signifikant.
- Lavere andel rømt oppdrettslaks i vassdrag som ligger innenfor nasjonale laksefjorder enn i vassdrag som ligger utenfor – gjennomsnittlig årsandel rømt oppdrettslaks i perioden 1989-2012 var 10,5 % i 59 vassdrag innenfor en NLF og 20,5 % i 47 vassdrag som ligger utenfor. Denne forskjellen var signifikant.
- Modellering av andel rømt oppdrettslaks i vassdragene viste følgende signifikante sammenhenger i perioden 1989-2012:
 - jo flere villaks, desto lavere andel rømt oppdrettslaks,
 - jo større vannføring, desto større andel oppdrettslaks,
 - jo flere oppdrettslokaliteter nærmere enn 60 km fra elva, desto større andel rømt oppdrettslaks.
- Modellering av antall rømt oppdrettslaks i vassdragene viste følgende signifikante sammenhenger for 2006-2012 (2006 er første år med antallsberegning):
 - jo større gytebestandsmål et vassdrag har, desto flere oppdrettslaks,
 - jo flere oppdrettslokaliteter nærmere enn 60 km fra elveutløp, desto flere oppdrettslaks i vassdraget,
 - jo større middelvannføring, dess flere oppdrettslaks i vassdraget.
- Bedre bestandsstatus ble funnet i nasjonale laksevassdrag enn i andre vassdrag, målt som:
 - gytebestandsmåloppnåelse, som i perioden 2009-2012 i gjennomsnitt var 93 % i 45 NLV og 84 % i 124 ikke-NLV. Forskjellen var signifikant.
 - maksimalt tålt beskatning (dvs. høstbart overskudd før bestanden er fisket ned til gytebestandsmålet), som for årene 2010 og 2011 var signifikant høyere i NLV enn i ikke-NLV, mens 2012 viste liten (og ikke signifikant) forskjell.
- Bedre bestandsstatus ble funnet i vassdrag innenfor nasjonale laksefjorder enn utenfor, målt som:
 - gytebestandsmåloppnåelse, som i perioden 2009-2012 i gjennomsnitt var 91 % i 66 vassdrag innenfor en NLF og 84 % i 103 vassdrag utenfor en NLF. Forskjellen var signifikant, mens
 - det var ingen forskjell i høstbart overskudd innenfor og utenfor en NLF.

3.1.2 Genetisk innkrysning

Midtveisevalueringen fra 2013 gjorde ikke bruk av data på genetisk innkrysning, som da var kjent for kun et fåtall bestander.

Glover mfl. (2012) brukte 22 mikrosatellitter til å karakterisere 21 laksebestander i Norge med prøveutvalg fra 1970-tallet til 2000-tallet. Med disse genetiske markørene (som ikke er diagnostiske for oppdretts- eller villaks, men som er velegnet til å måle grader av nært slektskap og genetisk variasjon i tid og rom) kunne de vise at seks av de 21 villaksbestandene viste betydelige genetiske endringer over perioder på 15-30 år, og at forandringene i fire av dem var høyt signifikante og dessuten forenlige med at endringene skyldtes genetisk påvirkning fra rømt oppdrettslaks. I 15 av 21 populasjoner fant de få tegn til genetiske endringer, selv om det var registrert

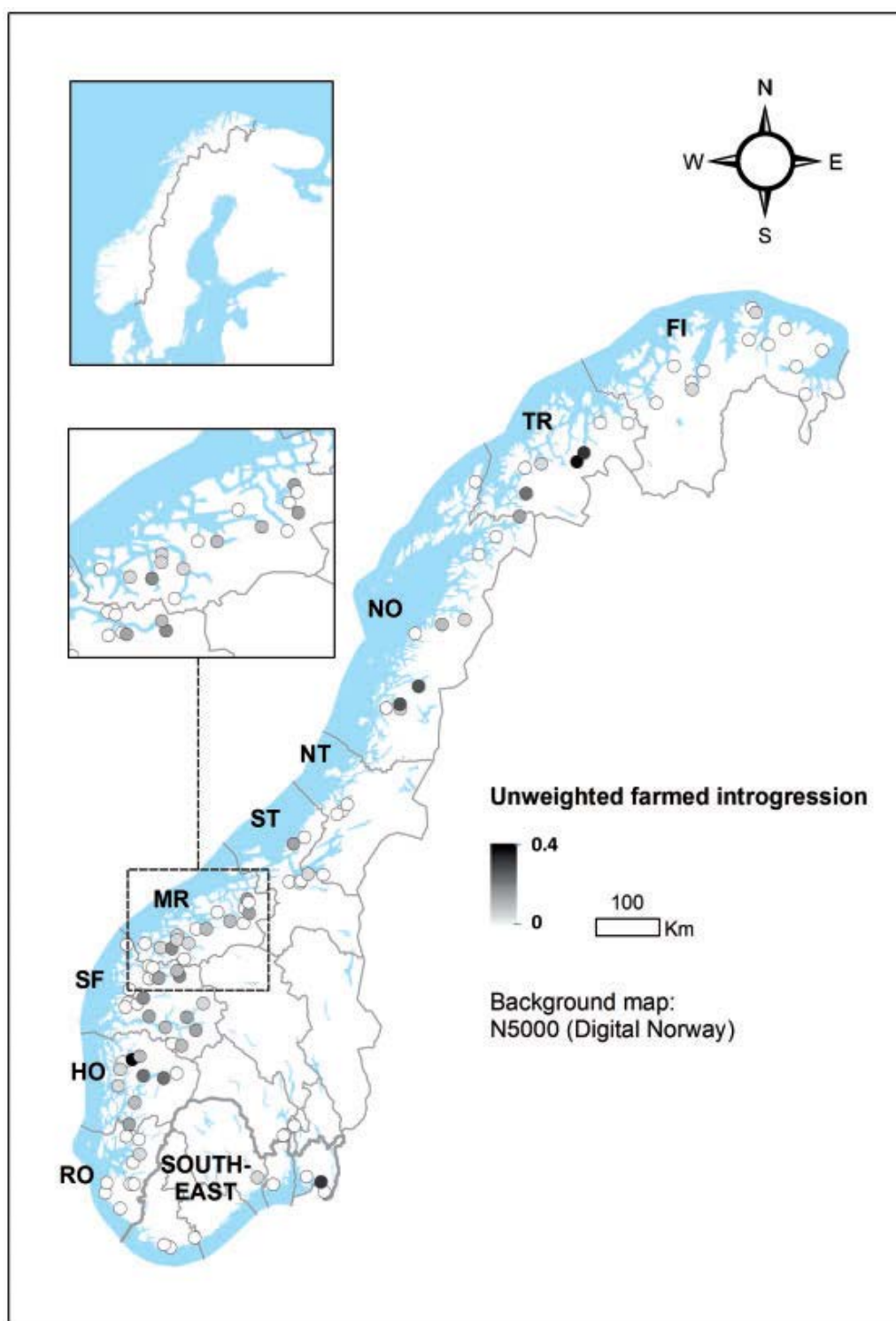
store andeler rømt oppdrettslaks i noen av dem. De konkluderte med: “1. *The majority of the historical population genetic structure throughout Norway still appears to be retained, suggesting a low to modest overall success of farmed escapees in the wild*; 2. *Genetic introgression of farmed escapees in native salmon populations has been strongly population-dependent, and it appears to be linked with the density of the native population.*”

I 2011 ble det utviklet genetisk metodikk basert på SNP-er (enkelt nukleotidpolymorfismer) for å karakterisere oppdrettslaks og villaks genetisk, uavhengig av hvilken oppdrettslinje eller villaks-populasjon de kom fra (Karlsson mfl., 2011), og som derved kunne brukes til å estimere genetisk innkrysning av rømt oppdrettslaks i villaksbestander. Glover mfl. (2013) studerte 20 bestander med disse SNP-ene. De fant at fem av disse bestandene viste signifikante genetiske endringer over tid (**Figur 3**), og at de samme populasjonene ble mer og mer like en samling av oppdrettslaks som de ble sammenliknet med. Det ble beregnet at de ville laksebestandene hadde 2-47 % genetisk innkrysning fra rømt oppdrettslaks, og at det for de 20 bestandene var en signifikant sammenheng mellom vektet andel rømt oppdrettslaks i bestanden (Diserud mfl., 2012) og genetisk innkrysning, med en forklaringsgrad på $R^2 = 0,47$ (dvs. 47 %).



Figur 3. Villaksbestander karakterisert genetisk av Glover mfl. (2013). Høyt signifikante genetiske endringer ble funnet i (fra nord til sør) Vestre Jakobselv, Vosso, Lone, Opo og Etne, konsistent med at disse bestandene var genetisk påvirket av rømt oppdrettslaks.

I en ny metodeutvikling fant Karlsson mfl. (2014) at det var mulig å karakterisere genetisk innkrysning i en bestand, uten at det fantes en historisk prøve fra denne bestanden. Dette ble utnyttet i en genetisk analyse av i alt 147 laksebestander som representerte tre fjerdedeler av det samlede gytebestandsmålet for laks i Norge (Karlsson mfl., 2016). I 109 elver med mer enn 20 voksne laks i utvalget, var gjennomsnittlig genetisk innkrysning 6,4 % (med variasjonsbredde fra 0 til 42 %). Signifikant genetisk innkrysning ble påvist i 51 av 109 bestander (**Figur 4**). Det ble også vist en høy signifikant sammenheng mellom årsprosent rømt oppdrettslaks og genetisk innkrysning i bestanden.



Figur 4. Estimert genetisk innkryssning av rømt oppdrettslaks i 109 laksebestander med 20 eller flere individer av voksen laks i utvalget (Karlsson mfl. 2016). Genetisk innkryssning er vist på en gråtone-skala fra 0 (hvit) til 40 % (svart).

Karlsson mfl. (2016) beregnet også genetisk innkryssning av oppdrettslaks i vassdrag som var omfattet av ordningen med NLV og NLF, og i vassdrag som ikke var omfattet av ordningen. Deres resultater kan sammenfattes slik:

- gjennomsnittlig genetisk innkrysning (uvektede gjennomsnitt) i nasjonale laksevassdrag var 4,5 % og lavere enn i ikke-nasjonale laksevassdrag (7,8 %) - vektete gjennomsnitt (med bestandsstørrelse) var henholdsvis 1,6 % og 4,8 %,
- gjennomsnittlig genetisk innkrysning (uvektede) i vassdrag innenfor nasjonale laksefjorder (6,4 %) var lik den i vassdrag utenfor nasjonale laksevassdrag - vektete gjennomsnitt viste lavere genetisk innkrysning i vassdrag innenfor (1,8 %) enn utenfor NLF (3,5 %).

3.1.3 Kvalitetsnormen og NLF med hensyn til kvalitetselementet genetisk integritet og kvalitetselementet gytebestandsoppnåelse og høstbart overskudd

Kvalitetselementet genetisk integritet til Kvalitetsnormen for villaks består av flere vurderinger, hvorav genetisk påvirkning fra rømt oppdrettslaks til villaks er den som for tiden kan kvantifiseres for et stort antall bestander. NINA og Havforskningsinstituttet har i fellesskap kategorisert 175 ville laksebestander med hensyn til genetisk påvirkning fra rømt oppdrettslaks (Diserud mfl., 2017). Datamaterialet består av ungfisk og voksen laks fanget i elvene, etter at rømt oppdrettslaks er luket ut ved skjellanalyser.

Kriteriesettet NINA og Havforskningsinstituttet brukte til klassifisering, er en kombinasjon av kvalitative og kvantitative kriterier som klassifiserer laksebestander i kategoriene: «Ingen genetiske endringer observert», «Svake genetiske endringer indikert», «Moderate genetiske endringer er påvist», og «Store genetiske endringer er påvist» (**Figur 5**). Med 'endringer er påvist' regnes prøver der det foreligger et statistisk signifikant resultat for genetisk introgresjon i intervallet 4-10 % (moderate genetiske endringer) eller mer enn 10 % (store genetiske endringer). Forslagene til grenseverdier er i tråd med forsøk som er gjort på å sette grenseverdier for genetiske effekter av utsettinger av stillehavslaks på andre ville bestander av samme art (Grant 1997; <http://www.nwfsc.noaa.gov/trt/index.cfm>), og grenseverdier for hybridisering mellom underarter av 'cutthroat trout' i Nord-Amerika (Allendorf mfl. 2004).

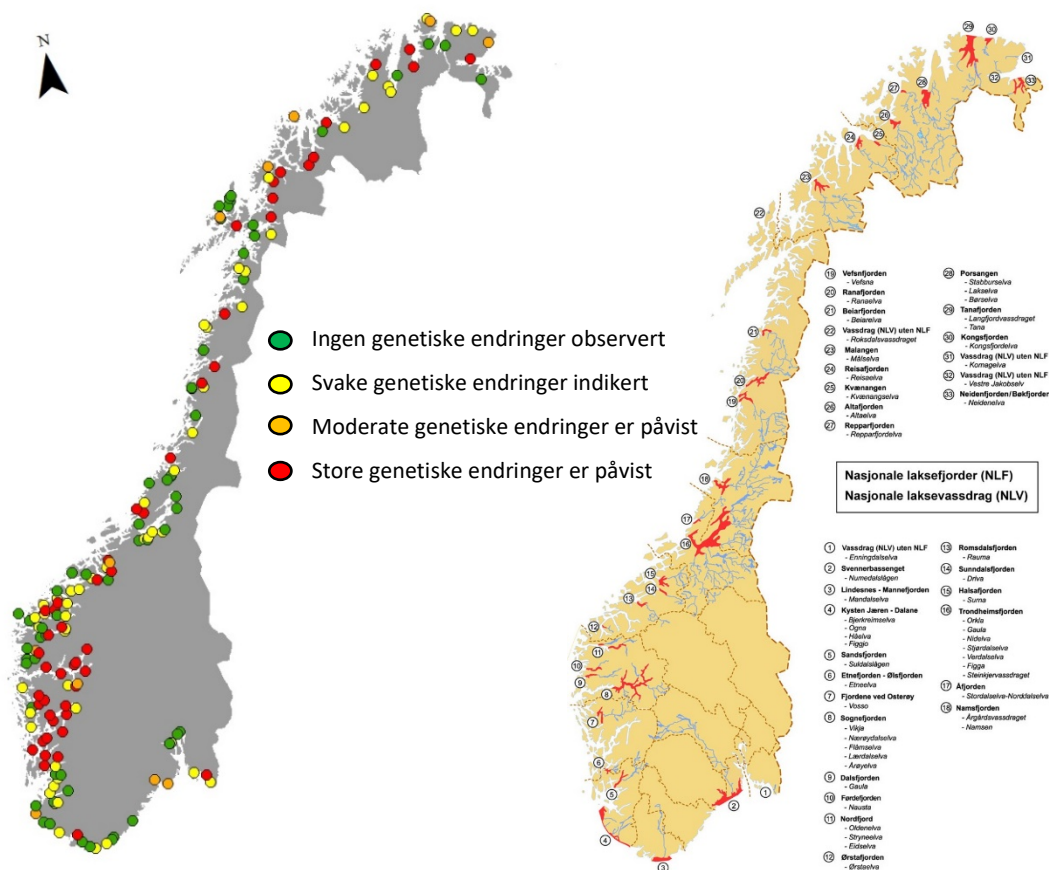
Den genetiske statusen i 175 ville laksebestander vurdert i årsskiftet 2016/2017 fordeler seg slik på fire tilstandsklasser, slik de er karakterisert i normen:

Grønn (tilstand svært god eller god): Ingen genetiske endringer observert – 60 bestander (34 %)
Gul (tilstand moderat): Svake genetiske endringer indikert – 54 bestander (31 %)
Oransje (tilstand dårlig): Moderate genetiske endringer er påvist – 11 bestander (6 %)
Rød (tilstand svært dårlig): Store genetiske endringer er påvist – 50 bestander (29 %).

De største genetiske endringene forårsaket av rømt oppdrettslaks er i Hordaland og i Troms (**Figur 5**). Der er det også store genetiske endringer i vassdrag i nasjonale laksefjorder. Det samme gjelder Sogn og Fjordane, der halve Sognefjorden og deler av Nordfjord er nasjonale laksefjorder med forholdsvis høy genetisk innkrysning fra rømt oppdrettslaks.

I de største nasjonale laksefjordene, Trondheimsfjorden og Tanafjorden, er tilstanden i de ville laksebestandene bedre med hensyn til genetisk innkrysning fra rømt oppdrettslaks (**Figur 5**). Det samme gjelder laksebestandene på Jæren syd i Rogaland.

Generelt er det mulig å finne stor variasjon i genetisk innkrysning mellom laksebestander i alle deler av Norge.



Figur 5. Genetisk status i 175 laksebestander i forhold til kvalitetselementet genetisk integritet. Fra Diserud mfl. (2017). Figuren som viser nasjonale laksevassdrag og -fjorder er satt inn til høyre.

Vitenskapelig råd for lakseforvaltning (VRL) klassifiserte i 2017 i alt 148 laksevassdrag med hensyn til Kvalitetsnormen for villaks (Anon. 2017c). I deres klassifisering av disse vassdragene etter kvalitetselementet (delnorm) genetisk integritet, fant de at nasjonale laksevassdrag og øvrige vassdrag skårte omtrent likt (**Figur 6**). Når det gjaldt delnorm gytebestandsmål og høstingspotensiale, fant VRL at en mindre andel av de nasjonale laksevassdragene hadde svært god eller god kvalitet (52 %) enn de øvrige vassdragene (61 %), og en større andel som hadde dårlig eller svært dårlig kvalitet (36 % vs 26 %) (**Figur 6**).

	Svært god	God	Mod- rat	Dårlig	Svært dårlig	Total
Samlet kvalitetsnorm:						
Øvrige vassdrag	16	4	28	6	48	102
Nasjonale laksevassdrag	7	2	14	8	15	46
Delnorm genetisk integritet:						
Øvrige vassdrag	35	-	34	5	28	102
Nasjonale laksevassdrag	16	-	15	5	10	46
Delnorm gytebestandsmål og høstingspotensial:						
Øvrige vassdrag	38	15	12	5	32	102
Nasjonale laksevassdrag	20	8	6	5	7	46

Figur 6. Kvalitet på laksebestandene i nasjonale laksevassdrag ($n = 46$) og andre vassdrag ($n = 102$) etter kvalitetsnormen, gitt som antall bestander med de ulike klassifiseringene. Grønn farge angir at kvalitetsnormen er nådd. Merk at klassene svært god og god er slått sammen for delnorm genetisk integritet, og antall bestander med denne klassifiseringen er gitt i kolonnen for svært god. Etter Anon. (2017c, deres tabell 3.4).

3.2 Nye beregninger

Modellene som vi bruker for å beregne effekten av NLV/NLF-ordningen for perioden 2006-2016, er tilpasset gjennomsnittsverdiene for perioden. Vi reduserer dermed effekten av tilfeldig variasjon og usikkerhet for responsvariablene, og trenger ikke ta hensyn til tidsforskjell mellom en påvirkning (for eksempel oppdrettsvirksomhet i nærheten) og en respons (for eksempel genetisk innkrysning) i samme grad som modeller som er avhengig av årvisse data. Vi fokuserer på perioden fra 2006 til 2016 for alle responsene som vi modellerer: andel rømt oppdrettslaks i elv, antall rømt oppdrettslaks i elv og estimert innkrysning av oppdrettslaks i villaksbestander. For perioden 2006-2016 har vi gode estimat for hvor tallrike villaksbestandene er (som er viktig for estimeringen av antall rømt oppdrettslaks, og som kommer inn som viktig forklaringsvariabel i de andre modellene), og vi har detaljert informasjon om oppdrettsvirksomheten. En annen mulig forklaringsvariabel (vannføring) har vi kun som beregnet avrenning i et visst tidsrom med én middelerverdi for hvert vassdrag.

3.2.1 Modell for andel rømte oppdrettslaks i en laksebestand

Sentrale problemstillinger for modellering av andel rømt oppdrettslaks i en laksebestand er: 1) Hva er det ved et vassdrag som tiltrekker seg rømt oppdrettslaks? 2) Hva betyr laksebestandens størrelse for hvor stor andelen rømt oppdrettslaks blir? 3) I hvilken grad betyr avstand fra oppdrettsvirksomhet noe for andelen rømt oppdrettslaks i bestanden? *Vår analyse tyder på at store (tallrike) laksebestander har lavere andel rømt oppdrettslaks og at store (vannrike) elver har høyere andel rømt oppdrettslaks. Oppdrettsintensiteten øker innslaget av rømt oppdrettslaks i bestanden, og en variabel som vektet antall oppdrettslaks i anlegg ut fra hvor nær anleggene ligger en lakseelv, ser ut til å forklare denne effekten best.*

Vi har tilpasset en generalisert lineær modell som beskriver sammenhengen mellom årsandel rømt oppdrettslaks (logit-transformert) i elvene og tre ulike forklaringsvariabler: bestandsstørrelse til villaksbestanden, vannføring i elva og oppdrettsintensitet i nærheten. Modellen er tilpasset perioden 2006-2016, der responsvariabelen (årsandel) er vektet med hensyn til hvor mange

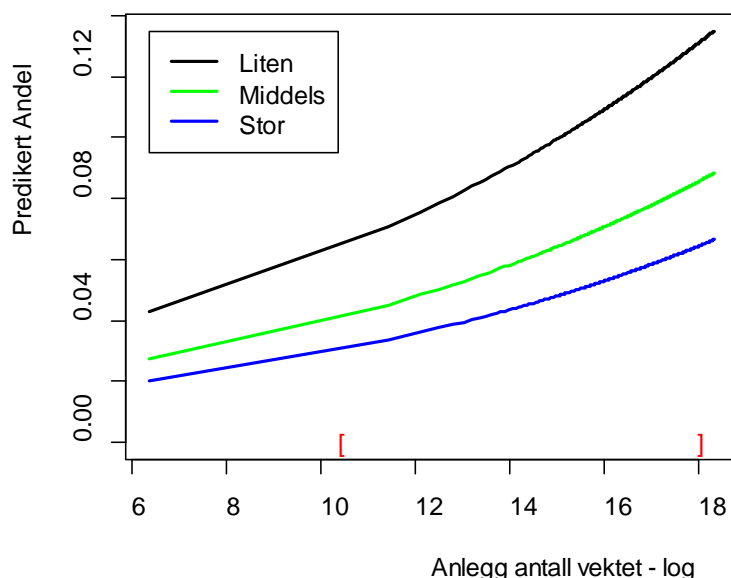
godkjente estimat (fra representative utvalg med mer enn 20 fisk i sommer- eller høstfisket) det fins for disse årene. Bestandsstørrelsen til villaksbestanden er gjennomsnittlig estimert antall laks som kommer inn til elva i perioden 2006-2016. Vannføringsdata er basert på NVEs beregninger av middelvannføring. Oppdrettsintensiteten er antall fisk produsert vektet med en Gaussisk avtagende funksjon for avstand til elvemunning, med standardavvik 60 km. Alle disse tre forklaringsvariablene er log-transformert i modellen (**Tabell 1**).

Tabell 1. Modell for sammenhengen mellom årsandel (logit-transformert) i vassdragene i perioden 2006-2016 og tre mulige forklaringsvariabler. Årsandelene er vektet etter hvor mange år med godkjente estimat for årsandel hvert vassdrag har i perioden. Modellen er tilpasset 125 bestander med observasjoner for de aktuelle variablene.

	Estimat	Std.-feil	t-verdi	P(> t)
Skjæringspunkt	-1.68	0.809	-2.08	0.040 *
log(Villaksbestand)	-0.50	0.075	-6.72	6.2e-10 ***
log(Oppdrettsintensitet)	0.10	0.041	2.52	0.013 *
log(Vannføring)	0.37	0.077	4.81	4.4e-06 ***

Betydningen av bestandsstørrelse (tallrike bestander har lavere andel) og vannføring (vannrike elver har høyere andel) er høyt signifikant (***) = $p < 0,001$), mens betydningen av oppdrettsintensitet er signifikant (*) = $p < 0,05$). Tilnærmet forklaringsgrad, beregnet med vektete datapunkter, er $R^2 = 0,381$ (dvs. 38 %).

I **Figur 7** har vi illustrert noen prediksjoner for årsandel fra modellen i Tabell 1. De tre kurvene i figuren viser hvordan endringer i oppdrettsintensitet (antall oppdrettslaks i anlegg vektet med avstand fra laksevassdragene) virker inn på forventet årsandel i henholdsvis en liten, middels og stor laksebestand. Liten laksebestand er i figuren valgt som tilsvarende 10-persentilen for både estimert bestandsstørrelse og middelvannføring blant vassdragene som ligger innenfor en NLF, middels laksebestand tilsvarer median bestandsstørrelse og vannføring, og stor laksebestand tilsvarer 90-persentilen for bestandsstørrelse og vannføring.



Figur 7. Illustrasjon av hvordan predikert årsandel øker for økende oppdrettsintensitet (log(vektet antall oppdrettslaks)) for en liten, middels og stor laksebestand, som tilsvarer henholdsvis 10-persentilen, medianen og 90-persentilen for bestandsstørrelse og vannføring i laksebestandene som ligger innenfor en nasjonal laksefjord. Figuren bygger på modellen i Tabell 1. De røde hakeparentesene angir intervallet hvor vi nå har observasjoner fra vassdrag innenfor nasjonale laksefjorder.

Kurvene viser at når oppdrettsintensiteten går fra observert minimum til maksimum for vassdrag som omfattes av NLF-ordningen, vil forventet årsandel av rømt oppdrettslaks øke fra 0,031 til 0,064 (dvs fra 3,1 % til 6,4 %) i en stor laksebestand, og fra 6,5 % til 13,1 % i en liten laksebestand (**Figur 7**).

Modellen for perioden 2006-2016 likner mye på den vi fant for andel rømt oppdrettslaks i midtveisevalueringen, som også hadde en negativ effekt (lavere andel rømt oppdrettslaks) av økende bestandsstørrelse, positiv effekt av middelvannføring og positiv effekt av antall oppdrettsanlegg i nærområdet (< 60 km; uten data på antall fisk i anleggene). Midtveismodellen gjaldt for hele perioden 1989-2012, men her regner vi kun for 2006-2016 siden dette er perioden der vi har informasjon om antall oppdrettslaks i hver lokalitet og detaljerte data på oppdrettsintensitet. Flere laksebestander er med i denne analysen enn i midtveismodellen, både ved at vi har fått data fra flere laksebestander og også ved at vektingen tillater at vi kan ha med vassdrag med færre observasjoner enn fire år (som var minste antall år for å karakterisere en årsandel i midtveismodellen [Fiske mfl., 2013]).

3.2.2 Modell for antall rømte oppdrettslaks i et vassdrag

En sentral problemstilling for modellering av antall rømt oppdrettslaks i et vassdrag er hva som er karakteristisk med elver som har stort antall rømt oppdrettslaks. *Vår analyse tyder på at elver med høye gytebestandsmål, høy vannføring og høy oppdrettsintensitet har flere rømte oppdrettslaks i bestanden.*

Når vi modellerer antall rømte oppdrettslaks i bestanden er responsvariabelen en funksjon av andel rømt oppdrettslaks og bestandsstørrelse. Vi kan derfor ikke modellere effekten av laksebestandens størrelse direkte (siden bestandsstørrelse da ville stå på begge sider av likningen), og har tilpasset en modell der bestandens gytebestandsmål (i antall hunnlaks som er nødvendig for å sikre full rekruttering i elva) brukes som et mål på laksebestandens størrelse. Vi tilpasset i utgangspunktet en modell som hadde to forklaringsvariabler for vassdragets størrelse (vannføring, samt relativ vannføring som er elvas vannføring i forhold til hvor mye vann det er i elvene i nabolaget), og to forklaringsvariabler for oppdrettspåvirkning (antall oppdrettslokaliteter innenfor en radius på 60 km fra vassdraget, samt oppdrettsintensitet målt som antall oppdrettslaks i en lokalitet vektet med avstand til vassdraget, som beskrevet over). Alle disse forklaringsvariablene var signifikante i modellen, men vi fant at en modell med log(vannføring) og log(oppdrettsintensitet) i tillegg til log(gytebestandsmål) var tilstrekkelig. Disse tre variablene hadde en tilnærmet forklaringsgrad på $R^2 = 0,56$ (dvs. 56 %) når responsvariabelen er vektet i forhold til antall år med estimater av antall rømt oppdrettslaks.

Tabell 2. Endelig modell for sammenhengen mellom estimert antall rømt oppdrettslaks i vassdragene i perioden 2006-2016 og tre mulige forklaringsvariabler. Alle variablene er log-transformert. Modellen er tilpasset 124 bestander.

	Estimat	Std.-feil	t-verdi	P(> t)
Skjæringspunkt	-1.19	0.68	-1.76	0.082
log(Gytebestandsmål)	0.37	0.06	6.31	4.9e-09 ***
log(Oppdrettsintensitet)	0.14	0.03	4.10	7.6e-05 ***
log(Vannføring)	0.50	0.07	6.88	2.9e-10 ***

Alle de tre forklaringsvariablene er høyt signifikante i modellen ($p < 0,001$). Modellestimatene gir en tilsynelatende fornuftig modell: store vassdrag og mye villaks tiltrekker seg mer rømt oppdrettslaks enn små vassdrag og få villaks, og høy oppdrettsintensitet i nærheten øker også mengden rømt oppdrettslaks i en elv. I en log-lineær modell som denne, går det også an å tolke de enkelte forklaringsvariablenes bidrag på en forholdsvis enkel måte.

Som en tankeøvelse får vi: Hvis vi for en modell som er lineær på log-skalaen dobler gytebestandsmålet (øker med 100 %), og holder resten av forklaringsvariablene konstante, vil forventet

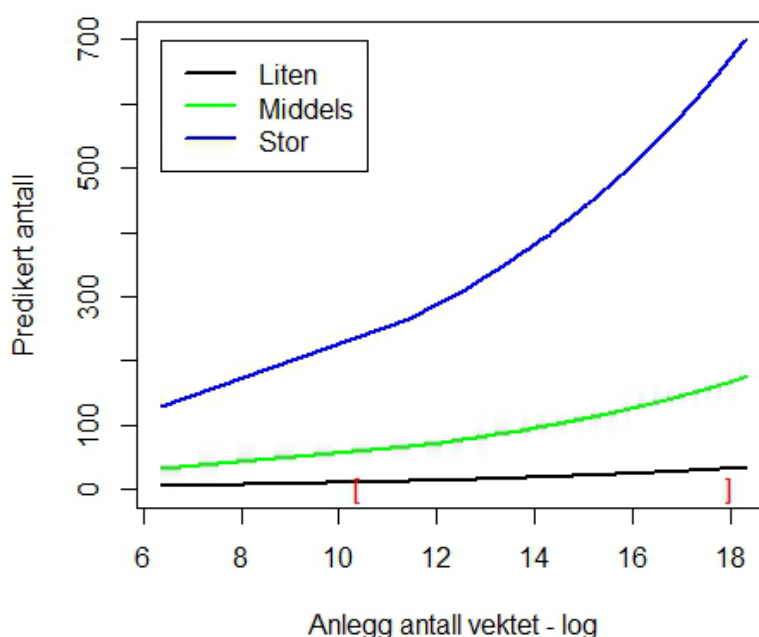
antall rømt oppdrettslaks øke med 29,5 % ($2^{0.3729}=1,295$). Dersom vi dobler vektet antall oppdrettslaks i anlegg, øker forventet antall rømte oppdrettslaks i elva med 10,2 % og dersom vi dobler vannføringen, øker forventet antall rømt oppdrettslaks i vassdraget med 41,3 %.

En annen tankeøvelse: Hvis vi holder de to andre forklaringsvariablene konstant lik sine gjennomsnitt og lar den tredje gå fra minimumsverdi til maksimumsverdi i datasettet, vil forventet antall rømt oppdrettslaks:

- ganges med 18 for gytebestandsmål,
- ganges med 5 for oppdrettsintensitet,
- ganges med 14,5 for vannføring.

Det vassdraget som har høyest estimert antall oppdrettslaks i bestanden er Namsen som både har et høyt estimat for årsprosent av rømt oppdrettslaks og en stor laksebestand. Tanavassdraget kommer også høyt – der er estimert årsprosent rømt oppdrettslaks lav men laksebestanden er mye større enn i andre norske laksevassdrag. Vi har beholdt Namsen og Tana i datagrunnlaget, siden vi jobber på log-skalaen der slike enkeltvassdrag ikke får så stor innflytelse på modellen.

I **Figur 8** har vi illustrert noen prediksjoner fra modellen i Tabell 2 for laksebestander som er omfattet av ordningen med nasjonale laksefjorder (NLF). De tre kurvene i figuren viser hvordan endringer i oppdrettsintensitet (antall oppdrettslaks i anlegg vektet med avstand fra laksevassdragene) virker inn på forventet antall rømt oppdrettslaks i henholdsvis en liten, middels og stor laksebestand som er omfattet av NLF-ordningen.



Figur 8. Illustrasjon av hvordan forventet antall rømt oppdrettslaks øker for økende oppdrettsintensitet ($\log(\text{vektet antall oppdrettslaks})$) for en liten, middels og stor laksebestand, som tilsvarende henholdsvis 10-persentilen, medianen og 90-persentilen for bestandsstørrelse og vannføring i laksebestandene som ligger innenfor en nasjonal laksefjord. Figuren bygger på modellen i Tabell 2. De røde hakeparentesene angir intervallet hvor vi nå har observasjoner fra vassdrag innenfor nasjonale laksefjorder.

Kurvene viser at når oppdrettsintensiteten går fra observert minimum til maksimum for vassdrag som omfattes av NLF-ordningen, vil forventet antall rømt oppdrettslaks øke fra 237 til 665 i en stor laksebestand, og fra 11 til 32 i en liten laksebestand (**Figur 8**).

Modellen for perioden 2006-2016 likner mye på midtveismodellen for perioden 2006-2012 (68 observasjoner), som også ga en positiv effekt av gytebestandsmål, oppdrettsintensitet og vannføring. Der var den relative betydningen av oppdrettspåvirkning (målt som antall anlegg innenfor en radius av 60 km) mindre enn i modellen i Tabell 2, men vi tror vi nå har en mer presis beskrivelse av oppdrettsintensitet når vi ikke bare har antall anlegg i nærheten men også et mål på hvor mange oppdrettslaks det er i anleggene og når de faktisk er i bruk.

3.2.3 Modell for genetisk innkrysning av oppdrettslaks i villaksbestander

Hva er det ved en laksebestand og et vassdrag som gir økt genetisk innkrysning av rømt oppdrettslaks i villaksbestanden? *Vår analyse tyder på at flere faktorer har betydning for genetisk innkrysning. Store laksebestander har lavere genetisk innkrysning og store vassdrag, samt høy oppdrettsintensitet, har høyere genetisk innkrysning (som for andelen rømt oppdrettslaks). Vi finner også en effekt av kultivering (høyere genetisk innkrysning med økt andel utsatt smolt i bestanden), og en effekt av kalking men ikke av vassdragsregulering (begge tatt inn i modellen som 0,1-variable).*

Vi vet fra tidligere forskning at større andel rømt oppdrettslaks i bestanden gir høyere genetisk innkrysning (Karlsson mfl., 2016) og at økt bestandsstørrelse gjør en bestand mindre sårbar for rømt oppdrettslaks (Heino mfl., 2015). Vi har derfor også lagd en forenklet modell her, der vi kan erstatte estimert villaksbestandsstørrelse og vannføring med årsandel, og få høyere forklaringsgrad. Det arbeides videre i NFR-prosjektet QuantEscape med å forstå hvilke egenskaper det er ved laksebestander og vassdragene som gir høy eller lav genetisk innkrysning ved samme andel rømt oppdrettslaks i bestanden.

Vi prøver, som for de andre responsvariablene vi studerer, å belyse hvordan genetisk innkrysning kan påvirkes av ordningen med NLV og NLF (oppdrettsintensitet, samt størrelse på villaksbestanden og middelvannføring), samtidig som vi tar hensyn til andre potensielle faktorer. I denne modelleringen lar vi oppdrettsintensitet være en gaussisk vektet variabel der det er anleggenes biomasse som har betydning (istedenfor antall oppdrettslaks). Vi introduserer denne i modellen som en variabel der samme biomasse får mindre betydning med økende avstand (standardavviket er fortsatt 60 km). Vi benytter her biomasse istedenfor antall oppdrettslaks siden vi forventer at fekunditet, og dermed oppdrettslaksens kroppsstørrelse, har betydning for innkrysningen.

Vi har modellert estimert genetisk innkrysning, som er hvor stor andel av genomet (arvematerialet) i en bestand som stammer fra rømt oppdrettslaks. Estimater er beskrevet i en oversikt over genetisk innkrysning av rømt oppdrettslaks i 175 laksebestander (Diserud mfl., 2017). Der fins det årlige estimat og estimater i samleprøver av flere påfølgende år. Mange bestander har estimert innkrysning = 0, og mange av disse kan ha vært negativ hvis $P(Vill)$ er større enn referansen; dvs. vi har en trunkert variabel der modellen også kan predikere store innkrysninger - dette kan ofte gi lav R^2 (dårlig forklaringsgrad) for modellen.

For perioden 2006- 2016 prøver vi to modeller: Vi prøver både med gjennomsnittlig innkrysning for enkeltår og med samleprøver for flere påfølgende år (jfr. Diserud mfl., 2017), der vi må putte inn enkeltår om det ikke er noen samleprøve. De to modellene gir mer eller mindre samme innkrysningshistorie; forskjellene skyldes forskjellig vektning av de enkelte årene. For en del vassdrag mangler vi samleprøve fordi det er kun ett år med data eller sprang i tid mellom år med data (se Diserud mfl., 2017) - vi har da brukt gjennomsnittet av enkeltår som en erstatning for samleprøve. I modellen for gjennomsnittlig genetisk innkrysning bruker vi antall år med observasjoner som vektning i modellen slik at de vassdragene som har få observasjoner, vil vektes ned. Resultatene fra denne modellen presenteres her.

I en **modell for gjennomsnittlig genetisk innkrysning** får vi under variabelseleksjonen en modell med ganske mange signifikante forklaringsvariabler som for så vidt gir mening, men hvor fjerning av én får konsekvenser for andre. Forklaringsgraden på $R^2 = 0,33$ (dvs. 33 %) er ikke spesielt godt for en modell med mange forklaringsvariabler, men her har vi variabler med relativt

stor usikkerhet og mange faktorer som kan tenkes å påvirke innkrysning som vi ikke har kontrollert for, så vi kan ikke ha for store forventninger til en slik modell.

En litt enklere modell er presentert i **Tabell 3**. Vi finner større innkrysning for mindre bestander, for høyere andel kultivert smolt, for større vektet biomasse oppdrett i nærheten av vassdraget, for større vannføring, og en større innkrysning i vassdrag uten kalking enn i et kalket vassdrag (som 0,1-variabel). Vi kan klare oss uten kultiveringsvariabelen uten å tape noe særlig i forklaringsgrad, men tar vi bort flere variabler blir modellen dårligere.

Tabell 3. Modell for genetisk innkrysning av rømt oppdrettslaks i laksebestandene i perioden 2006-2016 og fem mulige forklaringsvariabler. Responsvariabelen genetisk innkrysning er gjennomsnittsmålinger av de som er målt i perioden. Modellen er tilpasset 119 bestander.

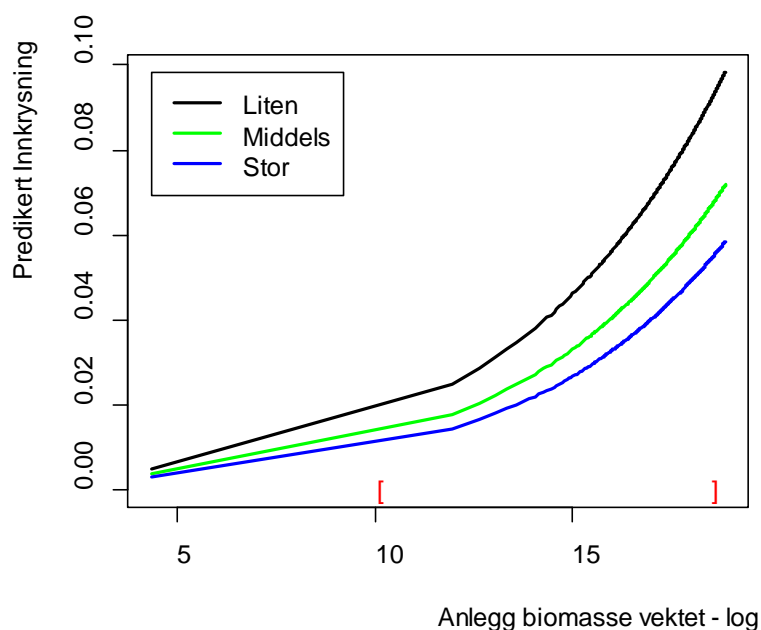
	Estimat	Std.-feil	t-verdi	P(> t)
Skjæringspunkt	-4.624	1.191	-3.882	0.00018 ***
log(Villaksbestand)	-0.373	0.105	-3.560	0.00054 ***
SmoltKultivering	0.007	0.004	1.983	0.04980 *
log(Oppdrettsintensitet)	0.211	0.063	3.362	0.00106 **
log(Vannføring)	0.280	0.108	2.597	0.01065 *
Kalking	-0.952	0.382	-2.489	0.01426 *

Denne modellen har en tilnærmet forklaringsgrad på $R^2 = 0,236$ (dvs. 23,6 %).

Vi har sett litt nærmere på hva kultivering kan bety for genetisk innkrysning. Først skal det nevnes at fordelingen av elver med hensyn til kultiveringsprosenten blant utvandrende smolt er forholdsvis lik blant elver som er NLV og elver som ikke er det (se kapittel 7 **Vedlegg**). Kultiveringsprosent er heller ikke mye korrelert med de andre forklaringsvariablene, så vi kan se på den relativt isolert fra de andre. Men fordelingen av kultiveringsprosenten er skjev (mange har 0), slik at de få vassdragene som har stor kultiveringsindeks får mye å si for den beskrevne sammenhengen. Dersom vi lar de andre forklaringsvariablene være like sine gjennomsnitt og ser hvordan forventet genetisk innkrysning endres hvis kultiveringsindeks går fra 0 til 80 % (som er innenfor observasjonene våre), finner vi at en kultiveringsindeks på 0 har en forventet innkrysning på 4,3 %, mens en kultiveringsindeks på 80 har en forventet genetisk innkrysning på 11,7 %.

I **Figur 9** har vi illustrert noen prediksjoner om genetisk innkrysning fra modellen i Tabell 3. De tre kurvene i figuren viser hvordan endringer i oppdrettsintensitet (her: biomasse oppdrettslaks i anlegg vektet med avstand fra laksevassdragene) virker inn på forventet genetisk innkrysning i henholdsvis en liten, middels og stor laksebestand. Liten, middels og stor laksebestand er her valgt som i figur 7 og 8, mens de to variablene kultivering og kalking er satt lik gjennomsnittet for alle vassdrag innenfor en NLF.

Figuren viser at når oppdrettsintensiteten går fra observert minimum til maksimum, vil forventet genetisk innkrysning øke fra 0,011 til 0,055 (dvs fra 1,1 % til 5,5 %) i en stor laksebestand og fra 2,0 % til 9,2 % i en liten laksebestand.



Figur 9. Illustrasjon av hvordan forventet genetisk innkrysning øker med økende oppdrettsintensitet (log(vektet biomasse oppdrettslaks)) for en liten, middels og stor laksebestand innenfor en nasjonal laksefjord. Figuren bygger på modellen i Tabell 3, der liten, middels og stor laksebestand er definert som i figur 7 og 8, og kalking og kultivering holdes på gjennomsnittet for laksevassdrag i en NLF. De røde hakeparentesene angir intervallet hvor vi nå har observasjoner fra vassdrag innenfor nasjonale laksefjorder.

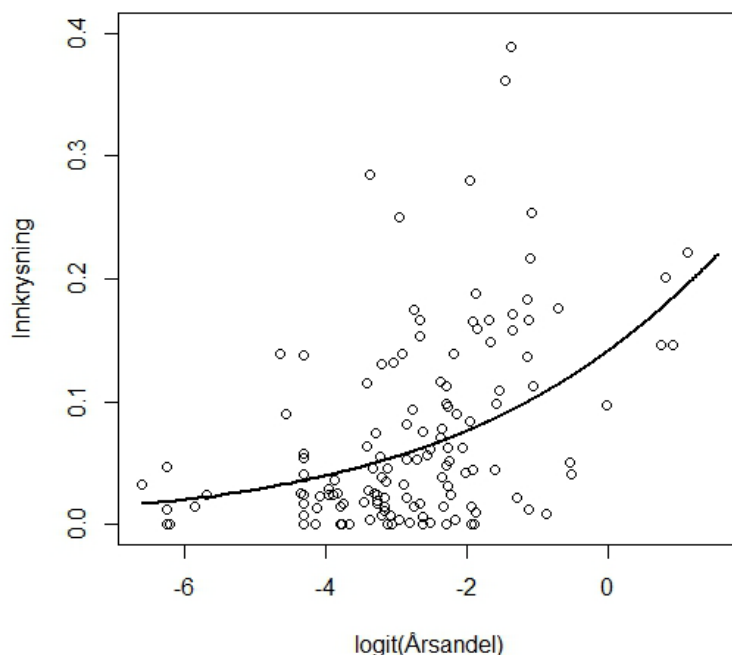
For de vassdragene der vi har gode data på andel rømt oppdrettsfisk i fangstene, kan vi tilpasse en modell for genetisk innkrysning med årsprosent som en av forklaringsvariablene. Hva kan, i tillegg til tilstedeværelse av rømt oppdrettslaks i vassdragene, påvirke den genetiske innkrysningen? Sammenlignet med modellen uten årsandel ser vi at vi kan erstatte estimert bestandsstørrelse og vannføring med årsandel i modellen (**Tabell 4**) og samtidig får en bedre forklaringsgrad.

Tabell 4. Modell for genetisk innkrysning av rømt oppdrettslaks i laksebestandene i perioden 2006-2016 og fire mulige forklaringsvariabler. Responsvariabelen genetisk innkrysning er gjennomsnittsmålinger av de som er målt i perioden. Modellen er tilpasset 124 bestander.

	Estimat	Std.-feil	t-verdi	P(> t)
Skjæringspunkt	-4.230	0.911	-4.718	6.54e-06 ***
SmoltKultivering	0.008	0.003	3.008	0.00321 **
log(Oppdrettsintensitet)	0.144	0.051	2.820	0.00562 **
Kalking	-0.916	0.377	-2.432	0.01650 *
logit(Årsandel)	0.347	0.065	5.369	3.97e-07 ***

Vektet R^2 for modellen med årsandel rømt oppdrettslaks i Tabell 4 øker til 0,329 (32,9 %). Den forventede genetiske innkrysningen i en bestand øker med kultiveringsgrad, den øker med oppdrettsintensiteten i området, den avtar hvis et vassdraget har blitt kalket og den øker med årsandel rømt oppdrettslaks i fangstene.

Figuren under viser hvordan forventet genetisk innkrysning øker med økende årsandel, når resten av forklaringsvariablene er satt konstant til sine respektive gjennomsnitt (**Figur 10**). Hvis årsandelen går fra observert minimumsverdi til maksimumsverdi, vil da forventet innkrysning gå fra 1,6 % til 22,0 %.



Figur 10. Illustrasjon av hvordan forventet genetisk innkrysning varierer med årsandel, når forklaringsvariablene kultiveringsgrad, oppdrettsintensitet og kalking holdes på sine gjennomsnittsverdier. Forventningen (linjen) gjelder for modellen i Tabell 4; punktene er de observerte verdiene. Årsandelen er logit-transformert.

For å gjøre denne modelleringen bedre bør vi gå inn i hele tidsserien med rømt oppdrettslaks fra 1989, der vi utforsker forskjellige tidsforsinkede effekter, slik som tid fra rømming til gyting for rømt oppdrettslaks, eller perioden som går mellom rømt oppdrettslaks gyter i en laksebestand og hvilke årsklasser det er undersøkt innkrysning fra. Tidsforsinkelsen fra gyting til én-somrige laksunger vil f. eks. være ett år, mens effekter som måles i gytebestanden generasjonen etter samme gyting bør måles etter én laksegenerasjon, som kan være 5-8 år. Modeller som fullt ut utforsker genetisk innkrysning akkumulert over flere generasjoner, arbeides det med i NFR-prosjektet QuantEscape.

3.3 Bestandsstatus i nasjonale laksevassdrag og andre vassdrag

Vitenskapelig råd for lakseforvaltning har de siste årene regnet ut innsig av laks til hvert enkelt vassdrag i Norge (for de snaut 200 vassdragene med størst laksebestand). Bestandsstatus er regnet ut på to måter:

- Maksimal totalbeskatning, som er hvor mye laks som kan tas ut av innsiget til kysten før den resterende bestanden (gytebestanden) blir mindre enn gytebestandsmålet. Maksimal totalbeskatning er altså beskatning på kysten og i fjordene, i tillegg til elvebeskatning, og regnes ut som en prosent av innsiget.
- Gytebestandsmåloppnåelse, som er hvor stor gytebestanden er i antall kg hunnlaks i forhold til gytebestandsmålet i kg hunnlaks. Gytebestandsmåloppnåelse regnes ut i prosent av gytebestandsmålet og er trunkert ved 100 % for overskytende verdier.

Nasjonale laksevassdrag har i gjennomsnitt en bedre bestandsstatus med hensyn til maksimal totalbeskatning enn andre laksevassdrag for årene 2010-2016 (**Tabell 5a**). Forskjellen mellom NLV og ikke-NLV i maksimal totalbeskatning er signifikant for årene 2010-2012 og ikke signifikant for årene 2013-2016. Gjennomsnittlig prosent maksimalbeskatning var i hvert av årene 2010-2016 høyere i NLV enn i ikke-NLV. Mens forskjellen i 2010 og 2011 var henholdsvis 14 og

11 prosentpoeng i favør av NLV, var forskjellen redusert til 3-4 prosentpoeng i årene 2015-2016 (**Tabell 5a**).

Gjennomsnittlig gytebestandsmåloppnåelse var også høyere i nasjonale laksevasdrag enn i andre vassdrag i hvert av årene 2010-2016. Her var imidlertid forskjellen statistisk signifikant i kun ett av de sju årene, i 2010 (**Tabell 5b**). Gytebestandsmåloppnåelsen har i disse årene ligget på i gjennomsnitt mellom 91 og 97 % for NLV, og mellom 85 og 94 % i andre vassdrag.

Tabell 5a. Maksimal totalbeskatning i nasjonale laksevasdrag og i andre vassdrag. Vi har testet om det er en forskjell mellom NLV og andre vassdrag både ved parametriske tester (t-test) og ikke-parametriske tester (Mann-Whitney U-test), og testenenes t- eller z-verdier, med tilhørende p-verdier, er gitt i tabellen.

	2010		2011		2012		2013	
	NLV	Andre	NLV	Andre	NLV	Andre	NLV	Andre
Maks totalbeskatning	62 %	48 %	67 %	56 %	67 %	57 %	53 %	46 %
N	44	125	44	123	45	126	45	128
t-test t-verdi	2,89		2,22		2,09		1,32	
t-test p	0,004		0,028		0,039		0,19	
MW u-test z-verdi	2,55		1,84		1,92		1,15	
MW u-test p	0,011		0,066		0,055		0,25	

	2014		2015		2016	
	NLV	Andre	NLV	Andre	NLV	Andre
Maks totalbeskatning	54 %	46 %	59 %	56 %	63 %	59 %
N	44	123	45	126	44	127
t-test t-verdi	1,61		0,59		0,84	
t-test p	0,11		0,56		0,40	
MW u-test z-verdi	1,28		0,07		0,71	
MW u-test p	0,20		0,94		0,48	

Tabell 5b. Gjennomsnittlig gytebestandsoppnåelse i nasjonale laksevasdrag og i andre vassdrag. Vi har testet om det er en forskjell mellom NLV og andre vassdrag både ved parametriske tester (t-test) og ikke-parametriske tester (Mann-Whitney U-test), og testenenes t- eller z-verdier, med tilhørende p-verdier, er gitt i tabellen.

	2010		2011		2012		2013	
	NLV	Andre	NLV	Andre	NLV	Andre	NLV	Andre
Prosent gytebestandsmåloppnåelse	95 %	87 %	95 %	89 %	96 %	93 %	91 %	87 %
N	45	123	45	122	45	126	45	128
t-test t-verdi	2,21		1,64		1,18		1,15	
t-test p	0,029		0,10		0,24		0,25	
MW u-test z-verdi	2,64		1,92		1,58		0,64	
MW u-test p	0,008		0,055		0,11		0,52	

	2014		2015		2016	
	NLV	Andre	NLV	Andre	NLV	Andre
Prosent gytebestandsmåloppnåelse	92 %	85 %	95 %	93 %	97 %	94 %
N	45	126	45	126	44	127
t-test t-verdi	1,77		0,60		1,06	
t-test p	0,079		0,54		0,29	
MW u-test z-verdi	0,91		0,77		0,52	
MW u-test p	0,36		0,44		0,60	

3.4 Bestandsstatus i vassdrag innenfor og utenfor NLF

Laksebestander i vassdrag innenfor og utenfor nasjonale laksefjorder er forholdsvis like hverandre både i maksimal totalbeskatning (**Tabell 6a**) og i gytebestandsmåloppnåelse (**Tabell 6b**).

Det kan i gjennomsnitt tåles større maksimal totalbeskatning i vassdrag innenfor nasjonale laksefjorder enn i vassdrag utenfor de nasjonale laksefjordene i hvert av årene 2010-2016, men forskjellen er ikke signifikant for noen av årene (**Tabell 6a**).

Det er i gjennomsnitt høyere gytebestandsmåloppnåelse i vassdrag innenfor nasjonale laksefjorder enn utenfor fjordene i fem av de sju årene 2010-2016 (**Tabell 6b**). Forskjellen var ikke signifikant i noen av disse årene, ei heller i de to årene (2014-2015) da det i gjennomsnitt var litt bedre måloppnåelse i vassdrag utenfor nasjonale laksefjorder enn i de innenfor.

Tabell 6a. Maksimal totalbeskatning for vassdrag i nasjonale laksefjorder og i andre vassdrag. Vi har testet om det er en forskjell mellom NLF og andre vassdrag både ved parametriske tester (t-test) og ikke-parametriske tester (Mann-Whitney U-test), og testenenes t- eller z-verdier, med tilhørende p-verdier, er gitt i tabellen.

	2010		2011		2012		2013	
	NLF	Andre	NLF	Andre	NLF	Andre	NLF	Andre
Maks totalbeskatning	55 %	50 %	61 %	57 %	62 %	58 %	51 %	46 %
N	65	104	65	102	66	105	66	107
t-test t-verdi	1,14		0,88		1,08		1,03	
t-test p	0,26		0,38		0,28		0,30	
MW u-test z-verdi	1,12		0,33		0,96		0,88	
MW u-test p	0,26		0,74		0,34		0,38	

	2014		2015		2016	
	NLF	Andre	NLF	Andre	NLF	Andre
Maks totalbeskatning	49 %	47 %	58 %	56 %	60 %	60 %
N	65	102	65	106	65	106
t-test t-verdi	0,50		0,47		0,09	
t-test p	0,62		0,64		0,93	
MW u-test z-verdi	0,52		0,09		0,23	
MW u-test p	0,61		0,93		0,82	

Tabell 6b. Gjennomsnittlig gytebestandsoppnåelse for vassdrag i nasjonale laksefjorder og i andre vassdrag. Vi har testet om det er en forskjell mellom NLF og andre vassdrag både ved parametriske tester (t-test) og ikke-parametriske tester (Mann-Whitney U-test), og testenenes t- eller z-verdier, med tilhørende p-verdier, er gitt i tabellen.

	2010		2011		2012		2013	
	NLF	Andre	NLF	Andre	NLF	Andre	NLF	Andre
Prosent gytebestandsmål-oppnåelse	91 %	89 %	94 %	90 %	95 %	94 %	89 %	87 %
N	65	103	66	101	66	105	66	107
t-test t-verdi	0,65		1,17		0,53		0,61	
t-test p	0,51		0,25		0,60		0,54	
MW u-test z-verdi	0,86		0,28		0,71		0,26	
MW u-test p	0,39		0,78		0,48		0,78	

	2014		2015		2016	
	NLF	Andre	NLF	Andre	NLF	Andre
Prosent gytebestandsmål-oppnåelse	86 %	88 %	94 %	94 %	96 %	95 %
N	66	105	65	106	65	106
t-test t-verdi	-0,43		-0,05		0,53	
t-test p	0,67		0,96		0,60	
MW u-test z-verdi	0,23		0,84		0,16	
MW u-test p	0,82		0,40		0,87	

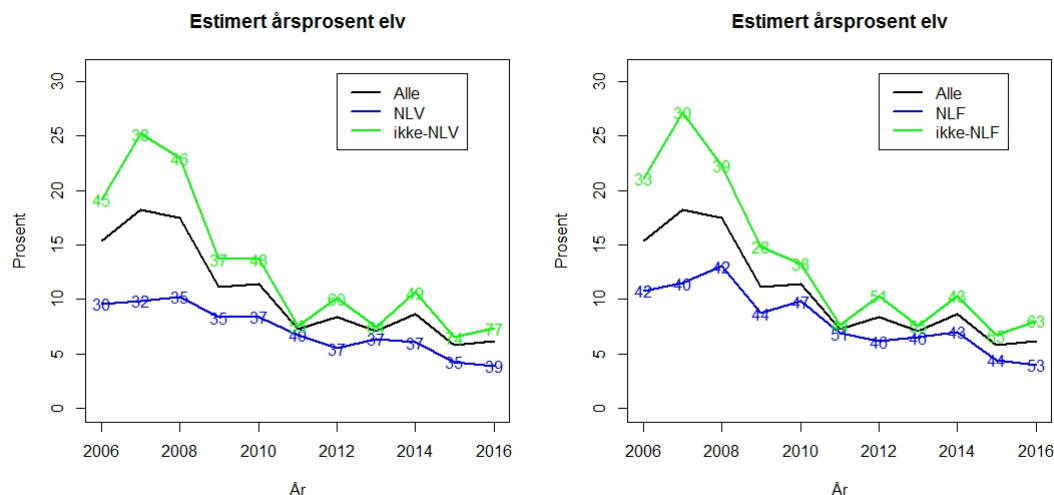
3.5 Trender i data fra NLF og NLF fra 2006 til 2016

For plottene under gjelder at det varierer hvilke, og hvor mange, vassdrag som ligger bak hver verdi. Tallene i figuren viser hvor mange vassdrag som er med hvert år. Der det står NLFV betyr det at tallene/kurven gjelder for vassdrag som er nasjonale laksevassdrag (NLFV) eller ligger innenfor en nasjonal laksefjord (NLF).

3.5.1 Estimert andel rømt oppdrettslaks i elv

I midtveisevalueringen (Fiske mfl., 2013) ble årsandel av rømt oppdrettslaks sammenliknet mellom nasjonale laksevassdrag og andre vassdrag ved å se på hele tidsserien vi hadde fra og med 1989.

Her har vi lagt vekt på å vise hvordan årsandelene har utviklet seg gjennom perioden fra og med 2006 til og med 2016 (**Figur 11**). Det er disse årsandelene som er brukt i modelleringen i kapittel 3.2.



Figur 11. Estimert årsprosent av rømt oppdrettslaks i laksebestander som er nasjonale laksevassdrag (NLV) eller ikke-NLV (venstre panel) eller som ligger i en nasjonal laksefjord (NLF) eller ikke-NLF (høyre panel). Tallene i hvert datapunkt viser hvor mange vassdrag som er med i datagrunnlaget. Data er hentet fra flere kilder for årene 2006-2013 (oppsummert av Anon. 2017b) og fra Anon. (2017d) for årene 2014-2016.

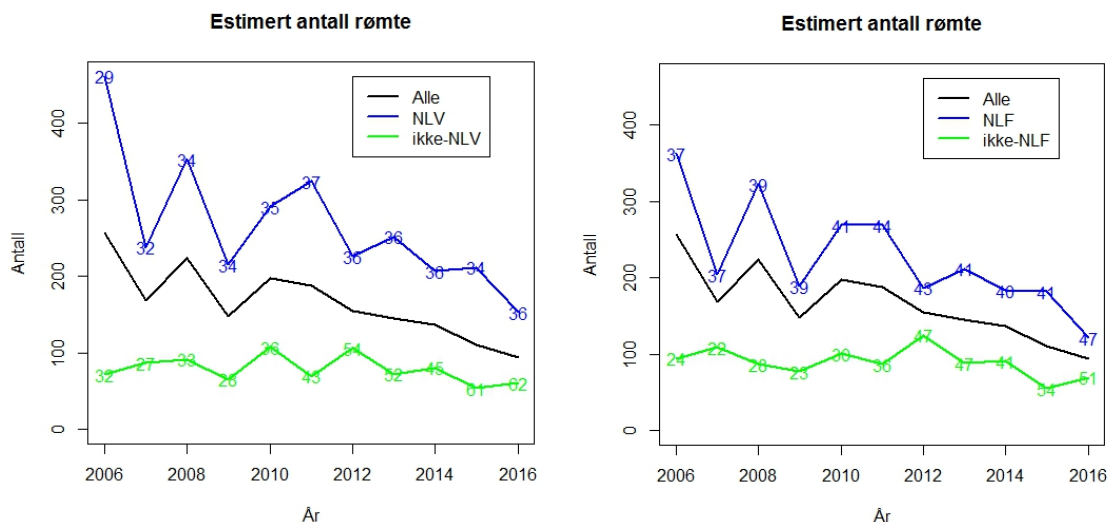
Estimert årsprosent rømt oppdrettslaks ligger lavere i vassdrag som er nasjonale laksevassdrag enn i ikke-NLV i alle årene fra og med 2006 til 2016 (**Figur 11, venstre panel**). Vi ser det samme bildet i sammenlikningene mellom vassdrag innenfor og utenfor NLF (**Figur 11, høyre panel**). Det er ikke så uventet siden NLV i alle år utgjør hovedandelen av vassdragene som ligger innenfor en NLF. Samtidig viser figuren at forskjellene mellom NLV og ikke-NLV, og mellom NLF og ikke-NLF, avtar gjennom perioden 2006-2016, parallelt med at gjennomsnittlig årsprosent rømt oppdrettslaks i alle laksevassdrag vi har data fra (svart linje) avtar fra 15-16 % i 2006 til 7-8 % i 2016. Dette tilsvarer en halvering av årsprosent rømt oppdrettslaks gjennom perioden 2006-2016.

3.5.2 Estimert antall rømt oppdrettslaks i elv

Estimert antall rømt oppdrettslaks framkommer som et produkt av estimert årsprosent og beregnet innsig av villaks til vassdraget.

Estimert antall rømt oppdrettslaks ligger høyere i nasjonale laksevassdrag enn i ikke-NLV (**Figur 12, venstre panel**), og ligger også høyere i vassdrag innenfor en NLF enn i ikke-NLF (**Figur 12, høyre panel**). Det ser ut til å ha vært en nedgang i estimert antall rømt oppdrettslaks i NLV i perioden 2006-2016, fra gjennomsnittlig rundt 300 rømte oppdrettslaks pr. vassdrag i de første årene i perioden til 150-200 oppdrettslaks i de siste årene i perioden.

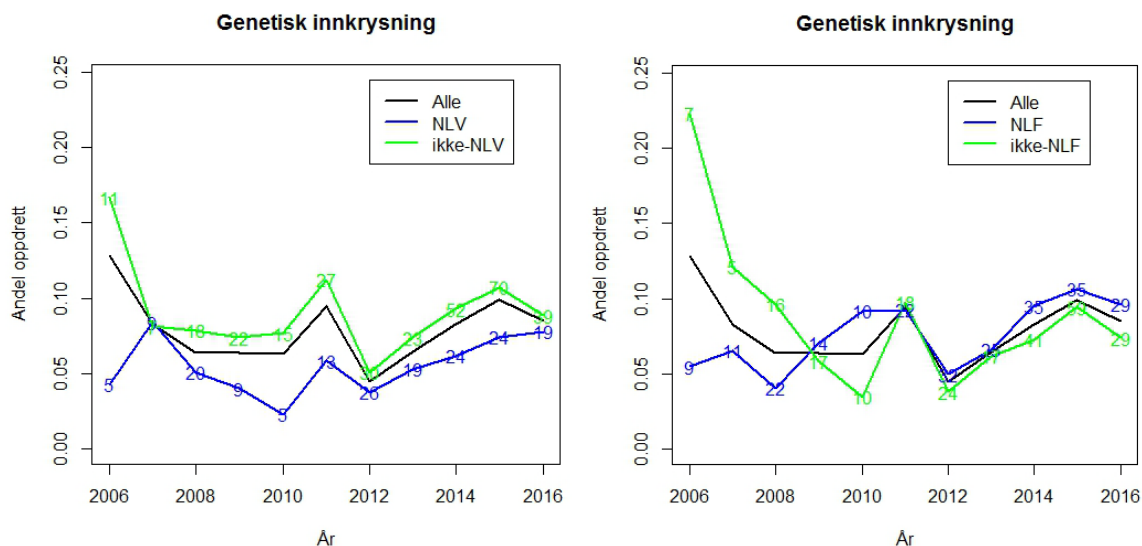
I de vassdragene som ikke er nasjonale laksevassdrag, ser antallet rømt oppdrettslaks ut til å ha holdt seg på omtrent samme nivå gjennom perioden 2006-2016, med gjennomsnittlig omkring 100 rømte oppdrettslaks eller i underkant av dette.



Figur 12. Estimert antall rømt oppdrettslaks i laksebestander som er nasjonale laksevassdrag (NLV) eller ikke-NLV (venstre panel) eller som ligger i en nasjonal laksefjord (NLF) eller ikke-NLF (høyre panel). Tallene i hvert datapunkt viser hvor mange vassdrag som er med i datagrunnlaget for det året. Data for rømt oppdrettslaks er fra de samme kildene som i figuren over; data for estimert bestandsstørrelse er hentet fra Anon. (2017b).

3.5.3 Estimert genetisk innkrysning

Genetisk innkrysning har i løpet av de siste årene blitt estimert i et stort antall bestander (Diserud mfl., 2017). Et hovedmål for undersøkelsene har vært å sikre data fra så mange vassdrag som mulig, slik at dataene kan inngå i en beskrivelse av tilstanden for delnorm «genetisk integritet» til Kvalitetsnormen for villaks (Anon. 2017c). Det er stor variasjon i antall bestander undersøkt pr. år (og spesielt få bestander i de første årene i perioden 2006-2016), og delvis ulike bestander som er karakterisert i de ulike årene. Estimert genetisk innkrysning er derfor ikke like godt egnet til å beskrive trender gjennom perioden 2006-2016 som det andelen rømt oppdrettslaks er.



Figur 13. Estimert genetisk innkrysning i laksebestander som er nasjonale laksevassdrag (NLV) eller ikke-NLV (venstre panel) eller som ligger i en nasjonal laksefjord (NLF) eller ikke-NLF (høyre panel). Tallene i hvert datapunkt viser hvor mange vassdrag som er med i datagrunnlaget for det året. Data er hentet fra Diserud mfl. (2017).

Generelt ser det ut til å være noe lavere genetisk innkrysning av rømt oppdrettslaks i nasjonale laksevassdrag enn i ikke-NLV (**Figur 13, venstre panel**) med unntak av noen år, som 2007, 2012 og 2016 der genetisk innkrysning i NLV og ikke-NLV er ganske like. Nivået ser også ut til å ligge forholdsvis stabilt (fra i underkant av 0,05 til i overkant av 0,10) gjennom hele perioden med større år-til-år-variasjon i de første årene. Dette kan komme av at det er færrest observasjoner/elver i disse årene, og beskriver ikke nødvendigvis noen trend.

Sammenlikningene av vassdrag innenfor NLF og utenfor NLF (**Figur 13, høyre panel**) ser ut til å vise større likheter mellom de to gruppene i genetisk innkrysning av rømt oppdrettslaks. Det er stort sprik i de første årene, noe som kan skyldes det sparsomme utvalget av elver.

4 Diskusjon

Denne rapporten beskriver ordningen med NLV og NLF med hensyn til bestandsstatus for laks, og forekomst og påvirkning av rømt oppdrettslaks i laksebestander. Andre effekter av ordningen, slik som lakselus i og utenfor NLF, og forvaltningspraksis, omhandles i andre rapporter.

4.1 Har NLV- og NLF-ordningen hatt forventet effekt?

Resultatene kan oppsummeres med at nasjonale laksevassdrag og andre vassdrag som ligger i nasjonale laksefjorder har mindre andel rømt oppdrettslaks i bestandene, og lavere genetisk innkrysning av rømt oppdrettslaks i villaks, enn vassdrag som ikke er nasjonale laksevassdrag og ligger utenfor nasjonale laksefjorder.

Effekten av å ligge langt fra oppdrettsanlegg (og langt fra store oppdrettskonsentrasjoner) er en lavere andel rømt oppdrettslaks også for vassdrag som ikke har status som nasjonale laksevassdrag.

År-for-år-betraktninger viser at forskjellene mellom NLV og ikke-NLV, og mellom vassdrag innenfor og utenfor NLF, er mindre på slutten av perioden 2006-2016 enn den var rundt og før 2010. Dette gjelder særlig bestandsstatus (maksimal totalbeskatning som bestanden tåler før gytebestandsmåloppnåelsen faller under 100 %, og også gjennomsnittlig gytebestandsmåloppnåelse), men også andel rømt oppdrettslaks i bestandene.

År-for-år-betraktninger av genetisk innkrysning kan ennå ikke beskrives like godt, siden det ikke er de samme laksebestandene som er karakterisert gjennom hele tiårsperioden (Diserud mfl., 2017).

4.2 Betydningen av NLF

NLF-ordningen har detaljerte bestemmelser om fiskeoppdrett, og har hatt som fokus å sikre - så langt mulig - oppdrettsfrie områder i nærheten av nasjonale laksevassdrag. I det perspektivet kan man si at et viktig formål er oppnådd ved at vi finner en høyt signifikant reduksjon av andelen og antallet rømt oppdrettslaks, og genetisk innkrysning, i bestander som ligger langt unna store oppdrettskonsentrasjoner. Samtidig kan vi ikke si at dette har beskyttet laksebestandene slik det kan framgå av Stortingets intensjon, som formuleres slik (St. prp. 32 2006-2007, s. 78):

I de nasjonale laksefjordene skal summen av endringer i akvakulturvirkomheten i fjordene ikke medføre økt, men snarere redusert risiko for de laksebestandene som skal ivaretas. Større inngrep i munningsområdene og virksomhet med risiko for alvorlig forurensning er ikke tillatt.

Vi finner fortsatt høye til svært høye andeler rømt oppdrettslaks i mange av de nasjonale laksefjordene, og mange av laksebestandene innenfor disse er karakterisert ved høy til svært høy genetisk innkrysning av rømt oppdrettslaks (Glover mfl., 2013; Karlsson mfl., 2016; Diserud mfl., 2017). Nasjonale laksefjorder kan derfor sies å forsinke en negativ effekt av rømt oppdrettslaks på villaks, men ikke stoppe den.

Våre analyser viser lavere antall rømt oppdrettslaks i nasjonale laksevassdrag i slutten av perioden 2006-2016 enn i de første årene av perioden. Spesielt ser nedgangen ut til å være stor i begynnelsen av perioden, noe som også støttes av beregninger Vitenskapelig råd for lakseforvaltning (VRL) har gjort (deres figur 5.5 i Anon. 2017a) som viser en tydelig nedgang i antallet rømt oppdrettslaks i fangstene i årene før 2010. Dette tyder på at tiltak i oppdrettsnæringen, både i form av bedre teknologi og endrete driftsrutiner, har hatt en merkbar effekt på antallet rømt oppdrettslaks som når vassdragene (Jensen mfl., 2010; Skilbrei mfl., 2015).

4.3 Betydningen av NLV

Stortingsproposisjonen omtaler intensjonene med ordningen for NLV slik (St. prp. 32 2006-2007, s. 72):

Beskyttelsesregimet for nasjonale laksevassdrag skal sikre at det ikke gjennomføres nye tiltak som kan være til nevneverdig skade for laksen,

og videre:

Summen av endringer av ulike vassdragstiltak skal imidlertid over tid ikke medføre økt, men snarere redusert risiko for villaksen.

Funnene våre tyder på at det viktigste ved NLV-ordningen sannsynligvis er selve utvelgelsen av hvilke vassdrag og hva slags type vassdrag som omfattes av ordningen. Egenskaper ved vassdragene og deres laksebestander, som hvor tallrik villfiskbestanden er og hvor stor vannføring vassdraget har, ser ut til å ha stor betydning for hvor mange rømte oppdrettslaks som er i vassdraget og hvor stor andel av bestanden som utgjøres av rømt oppdrettslaks. Disse faktorene har også betydning for hvor stor genetisk innkrysning av rømt oppdrettslaks det er i villaksbestanden, men forklaringsgraden er her betydelig lavere selv om flere faktorer (forklaringsvariabler) er med i analysen.

Dersom beskyttelsen som nasjonalt laksevassdrag gir, også fører til større villaksbestand, vil dette kunne føre til en reduksjon i andel rømt oppdrettslaks gjennom en uttynningseffekt, og også en lavere genetisk innkrysning. Det er godt mulig at ett av de viktigste tiltakene de siste årene, er et økt fokus i forvaltningen på å sikre en stor nok gytebestand i vassdragene (Forseth mfl., 2013, 2017). Dette inkluderer fokus på gytebestandsmåloppnåelse og på hvor stort fiske som kan tillates i sjøen og i elvene til sammen, før det går på bekostning av 100 % måloppnåelse for gytebestanden.

Det er også viktig å sikre at det er kontroll på alle påvirkningsfaktorer som kan redusere måloppnåelsen – dette gjelder både faktorer som påvirker rekrutteringen i ferskvann og faktorer som påvirker overlevelsen i havet (Anon. 2017a).

4.4 Forklaringsvariablene – hvordan virker de?

Resultatene av analysene av påvirkningsfaktorer samsvarer godt med eksperimentelle studier med merket, utsatt oppdrettslaks. Disse eksperimentene har vist at rømt oppdrettssmolt ofte finner veien tilbake til fjorden når de kommer fra havet for å gyte (Hansen 2006; Skilbrei mfl., 2015), og at voksen oppdrettslaks kan oppholde seg i fjorden i flere måneder etter rømming. Denne atferden øker risikoen for at voksen, kjønnsmodnende oppdrettslaks også kan vandre opp i nærliggende elver.

Selv om rømt oppdrettslaks kan spre seg over store områder dersom de rømmer som stor fisk i sesongen før de kjønnsmodnes (Hansen 2006; Skilbrei mfl., 2015), finner vi likevel en positiv sammenheng mellom oppdrettsintensitet og både mengden og andelen rømt oppdrettslaks i vassdragene. Oppdrettslaks som rømmer som smolt og postsmolt ser i større grad ut til å vende tilbake til omtrent samme område som de rømte fra (Hansen, 2006b), og dette kan være med på å forklare at det er en viss sammenheng mellom antall oppdrettsanlegg i nærheten og antall oppdrettslaks i vassdragene. Dersom oppdrettslaksen rømmer relativt kort tid før gyting er det også en tendens til at de går opp i nærliggende vassdrag (Heggberget mfl., 1993; Chittenden mfl., 2011), og dette kan også være en tilleggsforklaring til sammenhengen mellom oppdrettsanlegg i nærheten og mengden rømt oppdrettslaks.

På bakgrunn av sammenhengene som er funnet her, er det rimelig å anta at nasjonale laksefjorder til en viss grad vil virke for å beskytte mot rømt oppdrettslaks i vassdragene dersom laksefjordene er store nok. På grunn av de store spredningsavstandene til rømt oppdrettslaks vil imidlertid nasjonale laksefjorder ikke gi noen fullstendig beskyttelse mot rømt oppdrettslaks. Skilbrei mfl. (2015) mente at misforholdet mellom rapportert antall rømt oppdrettslaks i Fiskeridirektoratets statistikk, og det beregnede antall rømt oppdrettslaks i årene 2006-2011, kunne skyldes lekkasje av smolt fra tiden når de settes i nøter i sjøen. De mente også det var sannsynlig at denne lekkasjen ble mindre etter at det ble fokusert mer på å hindre smoltrømming i næringen. Det er mulig at redusert smoltrømming kan ha bidratt til at forskjellen mellom rømtandeler i laksebestandene innenfor og utenfor nasjonale laksefjorder har blitt redusert de siste årene, parallelt med en nedgang i antallet rømt oppdrettslaks.

Gytebestandsmåloppnåelsen er generelt bedre i nasjonale laksevassdrag enn i andre vassdrag. Det er vanskelig å si om dette skyldes at nasjonale laksevassdrag er blitt plukket ut blant vassdrag som i utgangspunktet hadde god status, eller om det er den ekstra beskyttelsen som statusen som nasjonalt laksevassdrag som har ført til at de ser ut til å ha bedre bestandsstatus enn andre vassdrag. Imidlertid vil flere villaks i vassdragene føre til en uttynning av rømt oppdrettslaks, og kanskje til en reduksjon av deres gytesuksess (Fleming mfl., 1997, Lura, 1995, Skaala mfl., 2006). I så fall er det grunn til å anta at statusen som nasjonalt laksevassdrag også vil kunne redusere de negative effektene av rømt oppdrettslaks i vassdragene.

Et annet aspekt er den store variasjonen i størrelse mellom de ulike nasjonale laksefjordene. Laksefjordene varierer mye i utstrekning: fra små laksefjorder som Etnefjorden i Hordaland til de største laksefjordene som er Trondheimsfjorden i Trøndelag og Tanafjorden i Finnmark (**Figur 1**). Dette gir både utfordringer og muligheter i analysen av rømt oppdrettslaks og bestandsstatus i elvene innenfor og utenfor nasjonale laksefjorder. Siden de nasjonale laksefjordene varierer mye i størrelse, har vi brukt et «vektet» antall oppdrettsfisk (eller biomasse) i omegnen til hver elv som en indeks for oppdrettsintensitet. Vi bruker enten antall anlegg, eller mengde oppdrettslaks (antall og biomasse), innenfor en radius til hver enkelt elv, og denne påvirkningsfaktoren er vektet slik at oppdrettslokaliteter (med sine antall eller biomasse oppdrettslaks) langt borte får mindre vekt i analysen enn oppdrettslokaliteter som ligger nær en enkelt elv.

Resultatene fra modellene som er utviklet gjennom våre analyser, kan bidra til å belyse hvor store de nasjonale laksefjordene bør være for at de skal fungere som en beskyttelse mot negative påvirkninger på laksebestandene i fjorden. Alternativt kan de også brukes til å beregne hvor mange rømte oppdrettslaks det ville vært i nasjonale laksevassdrag, dersom ordningen med NLV og NLF ikke var blitt opprettet.

En ny studie av Jonsson og Jonsson (2017) viser at utsatt smolt som er avkom av rømt oppdrettslaks har en mye større feilvandringsrate enn utsatt avkom fra lokal villaks. Laks med oppdrettslaks som begge foreldre hadde en feilvandringsrate på 88 %. Hybrider med vill mor hadde 36 % feilvandringsrate, mens hybrider med oppdrettsmor hadde en feilvandringsrate på 64 %. Avkom fra den lokale villaksbestanden (Imsa) utsatt som smolt, hadde en feilvandringsrate på 28 %. Dette tyder på at genetisk innkrysning i en bestand ikke bare er avhengig av hvor mye rømt oppdrettslaks det er i denne bestanden, men også kan være påvirket av gyting av rømt oppdrettslaks i nabobestander. Dette er særlig viktig der store bestander (som i de nasjonale laksevassdragene) har opplevd en stor genetisk innkrysning, som igjen kan spre seg ved feilvandring til andre bestander i samme region. Store laksebestander som har liten genetisk innkrysning, kan på samme måte medvirke til å begrense innkrysningen i nabobestander.

Kultiveringsomfang, som i våre analyser ble beregnet som antall smoltekvivalenter i forhold til antall naturlig produsert smolt, ble funnet å øke graden av genetisk innkrysning i bestanden. Det kan være flere forklaringer på dette: (1) det kan ha blitt brukt stamfisk som er avkom av rømt oppdrettslaks til kultivering, (2) fravær av naturlig partnervalg laks kan ha vært en faktor som svekker konkurranseevnen til avkom av kunstig produserte laksunger, for eksempel på grunn av ufordelaktige genkombinasjoner i immunresponsgener eller andre gener (Garant mfl., 2005;

Consuegra del Olmo, 2010), eller (3) det kan være andre grunner til at laksebestander med høyt innslag av kultivert laks er mer sårbare overfor rømt oppdrettslaks. Fra og med 2014 har Miljødirektoratet satt som forutsetning at det skal gjennomføres en gentest av alle potensielle stamfisk med hensyn til deres genetiske opphav; dvs. av all gjenværende stamfisk etter at rømt oppdrettslaks var luket ut (2014; se Karlsson mfl., 2015). Dette vil langt på vei eliminere forklaringen i punkt (1), men i liten grad endre andre effekter av kultivering.

Kalking av vassdrag ble funnet å ha en negativ korrelasjon med genetisk innkrysning, dvs. forventet innkrysning var større i vassdrag uten kalking enn i kalkete vassdrag. Dette betyr ikke nødvendigvis at vi har en årsak-virkning-sammenheng mellom kalking og genetisk innkrysning. Siden de fleste av de kalkede vassdragene ligger på Sørlandet, og mange av disse har en historikk med forsuring og utdødde bestander, kan den underliggende årsaken like gjerne være andre regionale forhold på Sørlandet eller en effekt av at reetablerte bestander ikke har rukket å bli så påvirket av rømt oppdrettslaks ennå.

Vassdragsreguleringer ble ikke funnet å ha noen entydig effekt i modellene for andelen/antallet rømt oppdrettslaks i vassdrag, eller i modellene for genetisk innkrysning i laksebestandene. Dette kan skyldes at de fleste vassdragsreguleringene er fra tiden før ordningen med nasjonale laksevasdrag ble vedtatt, og at regulerte vassdrag er ganske jevnt fordelt blant nasjonale laksevasdrag og ikke-NLV. Når påvirkningen fra vassdragsregulering ble klassifisert som en 0,1-variabel (uregulert og regulert) fant vi ingen signifikant forskjell mellom de to. Når påvirkningen fra vassdragsregulering ble gradert i klassene 0, 1, 2 og 3 for ingen til økende påvirkning (etter Vitenskapelig råd for lakseforvaltning sin klassifisering; Anon. 2016c), fant vi en svakt negativ effekt fra ingen (0) til liten påvirkning (1), og den motsatte effekten fra ingen effekt (0) til middels og stor påvirkning (2 og 3). Siden våre vannføringsdata er fra beregninger av middelvannføring fra nedbørfelt, og ikke årlige registreringer av vannføring eller vanntemperatur i vassdragene, er det mulig at dataene vi har brukt, ikke har oppløsningsgrad til å avdekke ulike effekter av vassdragsreguleringer i vassdrag som er nasjonale laksevasdrag og vassdrag som ikke er omfattet av ordningen.

5 Konklusjon

Nasjonale laksevasdrag har mindre andel rømt oppdrettslaks enn andre vassdrag. Dette skyldes ifølge vår analyse en kombinasjon av at de har færre oppdrettsanlegg i nærheten enn andre vassdrag og at de har sterke bestander av villaks som tynner ut mengden oppdrettslaks. Nasjonale laksefjorder reduserer mengden rømt oppdrettslaks i vassdragene i fjorden ved at laksefjordene bidrar til at det blir få oppdrettsanlegg i nærheten av vassdragene, men for at denne effekten skal få betydning må laksefjordene være relativt store siden rømt oppdrettslaks kan spre seg over store avstander. Resultatene av analysene av påvirkningsfaktorer samsvarer godt med eksperimentelle studier med merket, utsatt oppdrettslaks, og også med vurderinger av påvirkningsfaktorer utført av Vitenskapelig råd for lakseforvaltning (Anon. 2017a; Anon. 2017c).

Nasjonale laksevasdrag har også mindre genetisk innkrysning av rømt oppdrettslaks i villaksbestanden enn laksevasdrag som ikke er omfattet av ordningen. Sterke villaksbestander, og lav oppdrettsintensitet er, som for andelen rømt oppdrettslaks, faktorer som reduserer den genetiske innkrysningen av oppdrettslaks i villaks. Høy andel kultivert smolt i bestanden ser ut til å øke den genetiske innkrysningen av rømt oppdrettslaks i villaks. Mekanismene bak dette er lite undersøkt.

År-for-år-betraktninger viser at forskjellene mellom NLV og ikke-NLV, og mellom vassdrag innenfor og utenfor NLF, er mindre tydelige på slutten av perioden 2006-2016 enn i første halvdel av perioden. Dette gjelder særlig bestandsstatus, men også andel rømt oppdrettslaks i bestandene.

Nasjonale laksevasdrag og nasjonale laksefjorder kan sies å forsinke en negativ effekt av rømt oppdrettslaks på villaks, men ikke stoppe den.

6 Referanser

- Akaike, H. 1974. A new look at statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19: 716-723.
- Allendorf, F. W., Leary, R. F., Hitt, N. P., Knudsen, K. L., Lundquist, L. L. & Spruell, P. 2004. Inter-crosses and the U.S. Endangered Species Act: should hybridized populations be included as westslope cutthroat trout? *Conservation Biology*, 18: 1203–1213.
- Anon. 2002. Om opprettelse av nasjonale laksevassdrag og laksefjorder. Stortingsproposisjon, nr. 79: <http://odin.dep.no/repub/01-02/stprp/79/>.
- Anon. 2003. Innstilling fra energi- og miljøkonteen om opprettelse av nasjonale laksevassdrag og laksefjorder. Inst. S. nr. 134 (2002-2003).
- Anon. 2006. Om vern av villaksen og ferdigstilling av nasjonale laksevassdrag og laksefjorder. Tilråding fra Miljøverndepartementet av 15. desember 2006, godkjent i statsråd samme dag (Stoltenberg II). Det Kongelige Miljøverndepartement, St.prp. nr. 32 (2006-2007): 1-143.
- Anon. 2011. Kvalitetsnormer for laks – anbefalinger til system for klassifisering av villaksbestander. Temarapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning, 1: 1-105.
- Anon. 2013a. Effekten av nasjonale laksefjorder på risikoen for lakselusinfeksjon hos vill laksefisk langs norskekysten. Midtevalueringen av ordningen med nasjonale laksefjorder. Rapport fra Havforskningen, 19-2013: 1-28.
- Anon. 2013b. Kvalitetsnorm for ville bestander av atlantisk laks (*Salmo salar*) - *Fastsatt ved kgl.res. 23.08.2013 med hjemmel i lov 19. juni 2009 nr 100 om forvaltning av naturens mangfold § 13. Fremmet av Miljøverndepartementet.*
- Anon. 2013c. Status for norske laksebestander i 2013. Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning, nr 5: 1-136.
- Anon. 2016. Klassifisering av 104 laksebestander etter kvalitetsnorm for villaks. Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning, Temarapport nr 4, 85 s.
- Anon. 2016b. Rømt oppdrettslaks i vassdrag. Rapport fra det nasjonale overvåkingsprogrammet 2015. Fisken og Havet, særnummer 2b-2016, 56 s.
- Anon. 2016c. Status for norske laksebestander i 2016. Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr 9, 190 s.
- Anon. 2016d. Kalking av laksevassdrag skadet av sur nedbør. Tiltaksovervåking i 2015. Miljødirektoratet Rapport M-582/2016, 397 s.
- Anon. 2017a. Status for norske laksebestander i 2017. Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr 10, 152 s.
- Anon. 2017b. Vedleggsrapport med vurdering av måloppnåelse for de enkelte bestandene. Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr 10b, 865 s.
- Anon. 2017c. Klassifisering av 148 laksebestander etter kvalitetsnorm for villaks. Temarapport nr 5, 81 s.
- Anon. 2017d. Rømt oppdrettslaks i vassdrag 2016. Rapport fra det nasjonale overvåkingsprogrammet. Fisken og Havet, særnummer 2b-2017, 52 s.
- Barson, N.J., Aykanat, T., Hindar, K., Baranski, M., Bolstad, G.H., Fiske, P., Jacq, C., Jensen, A.J., Johnston, S.E., Karlsson, S., Kent, M.P., T. Moen, Niemelä, E., Nome, T., Næsje, T.F., Orell, P., Romakkaniemi, A., Sægrov, H., Urdal, K., Erkinaro, J., Lien, S. and Primmer, C.R. 2015. Sex-dependent dominance at a single locus maintains variation in age at maturity in salmon. *Nature* 528: 405-408.
- Bolstad, G.H., Hindar, K., Robertsen, G., Jonsson, B., Sægrov, H., Diserud, O.H., Fiske, P., Jensen, A.J., Urdal, K., Næsje, T.F., Barlaup, B.T., Florø-Larsen, B., Lo, H., Niemelä, E. & Karlsson, S. 2017. Gene flow from domesticated escapes alters the life history of wild Atlantic salmon. *Nature Ecology & Evolution*, 1: 0124. DOI: 10.1038/s41559-017-0124.

- Bourret, V., Kent, M. P., Primmer, C.R., Vasemägi, A., Karlsson, S., Hindar, K., McGinnity, P., Verspoor, E., Bernatchez, L. & Lien, S. 2013. SNP-array reveals genome wide patterns of geographical and potential adaptive divergence across the natural range of Atlantic salmon (*Salmo salar*). – *Molecular Ecology*, 22: 532-551.
- Chittenden, C. M., Rikardsen, A., Skilbrei, O., Davidsen, J. G., Halttunen, E., Skarðhamar, J., & McKinley, R. S. 2011. An effective method for the recapture of escaped farmed salmon. *Aquaculture Environment Interactions*, 1: 215-224.
- Consuegra del Olmo, S. 2010. Marrying for love or money? MHC, parasites and fish mate choice. Pp. 5-9.
- Diserud, O. H., Fiske, P. & Hindar, K. 2012. Forslag til kategorisering av laksebestander som er påvirket av rømt oppdrettslaks. – NINA Rapport 782: 32 s. + vedlegg.
- Diserud, O., Fiske, P., & Hindar, K. 2013. Forslag til kategorisering av laksebestander som er påvirket av rømt oppdrettslaks – Oppdatering for perioden 1989-2012. NINA Rapport, 976: 1-24.
- Diserud, O. H., Hindar, K., Karlsson, S., Glover, K. & Skaala Ø. 2017. Genetisk påvirkning av rømt oppdrettslaks på ville laksebestander – status 2017. - NINA Rapport 1337. 55 s.
- ESRI 2013. ArcGIS Desktop: Release 10.1 Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- Felsenstein, J. 1997. Population differentiation and evolutionary processes. I Grant, W. S. (red.) Genetic effects of straying of non-native hatchery fish into natural populations: proceedings of the workshop. – U.S. Dep. Commer., NOAA Tech Memo. NMFS-NWFSC-30.
- Fiske, P., Lund, R., & Hansen, L. P. 2006. Relationships between the frequency of farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in wild salmon populations and fish farming activity in Norway, 1989-2004. *ICES Journal of Marine Science*, 63: 1182-1189.
- Fiske, P., & Wennevik, V. 2011. Overvåking- og utfisking av rømt oppdrettslaks i Namsen og Namsenfjorden 2007–2009. Oppdragsrapport Kunnskapssenteret for Laks og Vannmiljø, 11: 1-18.
- Fiske, P., Diserud, O. H., Robertsen, G., Foldvik, A., Skilbrei, O., Heino, M., Helland, I. P. og Hindar, K. 2013. Midtveisvurdering av nasjonale laksevassdrag og nasjonale laksefjorder. Rømt oppdrettslaks og bestandsstatus. - NINA Minirapport 470: 24 s.
- Fleming, I. A., Lamberg, A., & Jonsson, B. 1997. Effects of early experience on the reproductive performance of Atlantic salmon. *Behavioral Ecology*, 8: 470-480.
- Forseth, T., Fiske, P., Barlaup, B., Gjøsæter, H., Hindar, K., & Diserud, O. 2013. Reference point based management of Norwegian Atlantic salmon populations. *Environmental Conservation*, 40: 356-366.
- Forseth, T., Barlaup, B.T., Finstad, B., Fiske, P., Gjøsæter, H., Falkegård, M., Hindar, A., Mo, T.A., Rikardsen, A.H., Thorstad, E.B., Vøllestad, L.A. & Wennevik, V. 2017. The major threats to Atlantic salmon in Norway. *ICES Journal of Marine Science*, doi:10.1093/icesjms/fsx020.
- Garant, D., Dodson, J.J. & Bernatchez, L. 2005. Offspring genetic diversity increases fitness of female Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Behav. Ecol. Sociobiol.* 57: 240–244.
- Glover, K. A., Pertoldi, C., Besnier, F., Wennevik, V., Kent, M., and 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., Quintela, M., Wennevik, V., Besnier, F., Sørvik, A. G. E., and Skaala, Ø. 2012. Three decades of farmed escapees in the wild: a spatio-temporal analysis of Atlantic salmon population genetic structure throughout Norway. *PLoS ONE*, 7: e43129.
- Glover, K.A., Solberg, M.F., McGinnity, P., Hindar, K., Verspoor, E., Coulson, M.W., Hansen, M.M., Araki, H., Skaala, Ø. & Svåsand, T. 2017. Wild Atlantic salmon, farmed escapees and genetic interactions: status of knowledge and unanswered questions after 40 years of research. *Fish and Fisheries*, accepted January 2017. DOI: 10.1111/faf.12214

- Grant, W. S. (red.). 1997. Genetic effects of straying of non-native hatchery fish into natural populations: proceedings of the workshop. – U.S. Dep. Commer., NOAA Tech Memo. NMFS-NWFSC-30, 130 s.
- Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L., & Black, W. C. 1998. Multivariate data analysis, 5te utgave. Prentice-Hall International, New Jersey, USA.
- Hansen, L. P. 2006a. Migration and survival of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) released from two Norwegian fish farms. ICES Journal of Marine Science, 63: 1211-1217.
- Hansen, L. P. 2006b. Vandring og spredning av rømt oppdrettslaks. NINA Rapport, 162: 1-21.
- Hansen, L. P., Jacobsen, J. A., & Lund, R. A. 1999. The incidence of escaped farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in the Faroese fishery and estimates of catches of wild salmon. ICES Journal of Marine Science, 56: 200-206.
- Hansen, L. P., & Youngson, A. F. 2010. Dispersal of large farmed Atlantic salmon, *Salmo salar*, from simulated escapes at fish farms in Norway and Scotland. Fisheries Management and Ecology, 17: 28-32.
- Heggberget, T. G., Økland, F., & Ugedal, O. 1993. Distribution and migratory behaviour of adult wild and farmed atlantic salmon (*Salmo salar*) during return migration. Aquaculture, 118: 73-83.
- Helland, I. P., Finstad, B., Uglem, I., Diserud, O. H., Foldvik, A., Hansen, F., Bjørn, P. A., Nilsen, R., & Jansen, P. A. 2012. Hva avgjør påslag av lakselus hos vill laksefisk? Statistisk bearbeiding av data fra nasjonal lakselus-overvåking, 2004-2010. NINA Rapport, 891: 1-52.
- Hindar, K., Diserud, O., Fiske, P., Forseth, T., Jensen, A. J., Ugedal, O., Jonsson, N., Storeid, S.-E., Saltveit, S. J., Sægrov, H., & Sættem, L. M. 2007. Gytebestandsmål for laksebestander i Norge. NINA Rapport, 226: 1-78.
- Hindar, K., Hutchings, J.A., Diserud, O.H. & Fiske, P.A. 2011. Stock, recruitment and exploitation, pp. 299-331. In Ø. Aas, S. Einum, A. Klemetsen & J. Skurdal (Eds) Atlantic Salmon Ecology. Wiley-Blackwell, Oxford.
- ICES. 2016. Report of the Workshop to address the NASCO request for advice on possible effects of salmonid aquaculture on wild Atlantic salmon populations in the North Atlantic (WKCULEF), 1–3 March 2016, Charlottenlund, Denmark. ICES CM 2016/ACOM:42. 44 pp.
- Jansen, P. A., Kristoffersen, A. B., Viljugrein, H., Jimenez, D., Aldrin, M., & Stien, A. 2012. Sea lice as a density-dependent constraint to salmonid farming. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 279: 2330-2338.
- Jensen, A. J., Karlsson, S., Fiske, P., Hansen, L. P., Hindar, K., & Østborg, G. M. 2013. Escaped farmed Atlantic salmon grow, migrate and disperse throughout the Arctic Ocean like wild salmon. Aquaculture Environment Interactions, 3: 223-229.
- Jonsson, B. & Jonsson, N. 2017. Maternal inheritance influences homing and growth of hybrid offspring between wild and farmed Atlantic salmon. Aquaculture Environment Interactions, 9: 231–238.
- Jonsson, B., Jonsson, N., & Hansen, L. P. 2003. Atlantic salmon straying from the River Imsa. Journal of Fish Biology, 62: 641-657.
- Karlsson, S., Moen, T., Lien, S., Glover, K. & Hindar, K. (2011) Generic genetic differences between farmed and wild Atlantic salmon identified from a 7K SNP-chip. Molecular Ecology Resources 11(Suppl 1): 247-253.
- Karlsson, S., O.H. Diserud, T. Moen & K. Hindar. 2014. A standardized method for quantifying unidirectional genetic introgression. Ecology & Evolution 4: 3256-3263.
- Karlsson, S., Diserud, O. H., Fiske, P., and Hindar, K. 2016. Widespread genetic introgression of escaped farmed Atlantic salmon in wild salmon populations. ICES Journal of Marine Science 73: 2488–2498.
- Lura, H. 1995. Domesticated female Atlantic salmon in the wild: spawning success and contribution to local populations. DSc thesis, University of Bergen.
- McCullagh, P., & Nelder, J. A. 1989. Generalized linear models, Chapman & Hall, London.

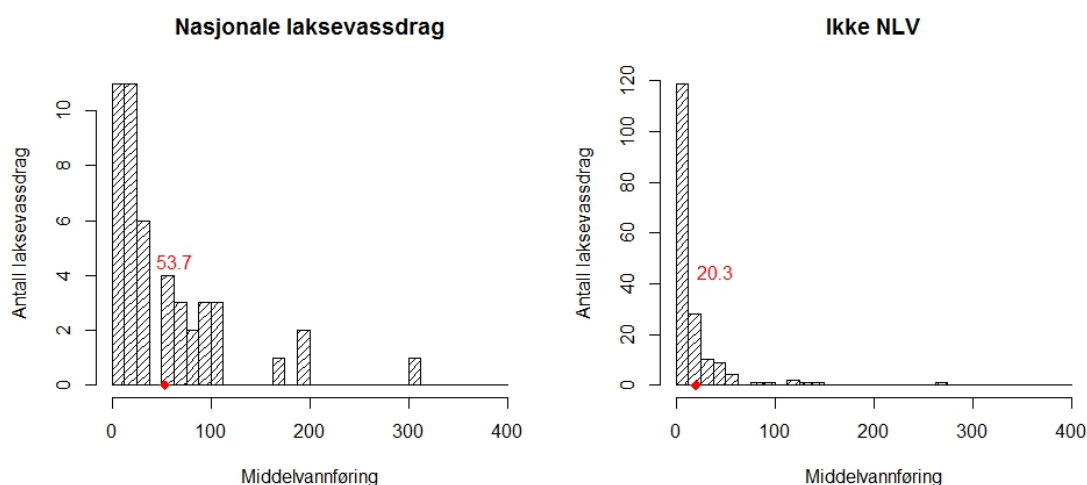
- NINA 2012. Forskningsbasert kunnskap om rømming og lakselus. NINA Minirapport, 384: 1-101.
- NOU 1999. Til laks åt alle kan ingen gjera? Om årsaker til nedgangen i de norske villaksbestandene og forslag til strategier for å bedre situasjonen. Norges offentlige utredninger, 1999:9: 1-297.
- Næsje, T. 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. 2013. Atferd og spredning av rømt oppdrettslaks og villaks i Namsen og andre elver i Midt-Norge. Resultater fra merking av laks i Namsfjorden og Vikna. NINA Rapport, 931: 1-76.
- Olsen, R. E., & Skilbrei, O. T. 2010. Feeding preference of recaptured Atlantic salmon *Salmo salar* following simulated escape from fish pens during autumn. *Aquaculture Environment Interactions*, 1: 167-174.
- Pritchard, J. K., Stephens, M. & Donnelly, P. 2000. Inference of population structure using multilocus genotype data. – *Genetics*, 155: 945-959.
- Ryman, N. 1997. Minimizing adverse effects of fish culture: understanding the genetics of populations with overlapping generations. – *ICES Journal of Marine Science*, 54: 1149-1159.
- 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.
- Skaala, Ø., Glover, K. A., Barlaup, B. T., Svåsand, T., Besnier, F., Hansen, M. M. & Borgstrøm, R. 2012. Performance of farmed, hybrid, and wild Atlantic salmon (*Salmo salar*) families in a natural river environment. – *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 69: 1994-2006.
- 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, 7-2011: 1-38.
- Skilbrei, O. T. 2010a. Adult recaptures of farmed Atlantic salmon post-smolts allowed to escape during summer. *Aquaculture Environment Interactions*, 1: 147-53.
- Skilbrei, O. T. 2010b. Reduced migratory performance of farmed Atlantic salmon post-smolts from a simulated escape during autumn. *Aquaculture Environment Interactions*, 1: 117-125.
- Skilbrei, O. T., Holst, J. C., Asplin, L., & Holm, M. 2009. Vertical movements of "escaped" farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) a simulation study in a western Norwegian fjord. *ICES Journal of Marine Science*, 66: 278-288.
- Skilbrei, O. T., Holst, J. C., Asplin, L., & Mortensen, S. 2010. Horizontal movements of simulated escaped farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) in a western Norwegian fjord. *ICES Journal of Marine Science*, 67: 1206-1215.
- Skilbrei, O. T., & Jørgensen, T. 2010. Recapture of cultured salmon following a large-scale escape experiment. *Aquaculture Environment Interactions*, 1: 107-115.
- Skilbrei, O. T., Heino, M., and Svåsand, T. 2015. Using simulated escape events to assess the annual numbers and destinies of escaped farmed Atlantic salmon of different life stages from farm sites in Norway. – *ICES Journal of Marine Science*, 72: 670–685.
- Solem, Ø., Hedger, R., Urke, H. A., Kristensen, T., Økland, F., Ulvan, E. M., & Uglem, I. 2012. Atferd hos rømt oppdrettslaks i Sunndalsfjorden. NINA Rapport, 805: 1-23.
- Solem, Ø., Hedger, R. D., Urke, H. A., Kristensen, T., Økland, F., Ulvan, E. M., & Uglem, I. 2013. Movements and dispersal of farmed Atlantic salmon following a simulated-escape event. *Environmental Biology of Fishes*, 96: 927-939.
- Svenning, M.-A., Lamberg, A., Dempson, B., Strand, R., Kanstad Hanssen, Ø. & Fauchald, P. 2017. Incidence and timing of wild and escaped farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Norwegian rivers inferred from video surveillance monitoring. *Ecology of Freshwater Fish*, 26: 360-370.
- Taranger, G. L., Svåsand, T., Kvamme, B. O., Kristiansen, T. S., & Boxaspen, K. K. (red.) 2012. Risikovurdering norsk fiskeoppdrett 2012. Fisken og havet, særnummer 2-2012.
- Vøllestad, L. A., Skurdal, J., & L'Abée-Lund, J. H. 2014. Evaluation of a new management scheme for Norwegian Atlantic salmon *Salmo salar*. *Fisheries Management and Ecology*, 21: 133–139.

7 Vedlegg

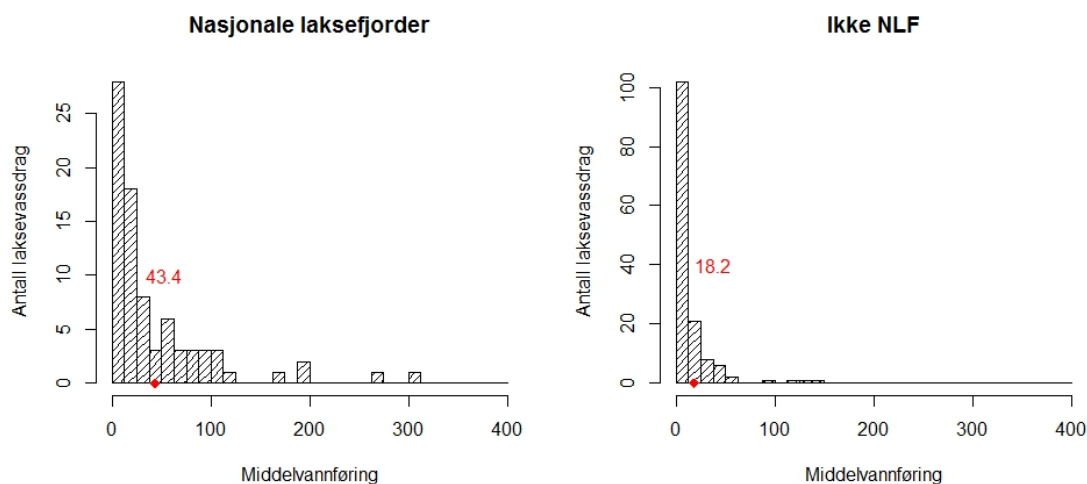
7.1 Beskrivelse av vassdrag og laksebestand

Her illustreres noen av forskjellene mellom vassdrag som er valgt ut som NLV eller ligger i en NLF, og vassdrag som verken faller inn under NLV- eller NLF-ordningen.

7.1.1 Middelvannføring beregnet av NVE

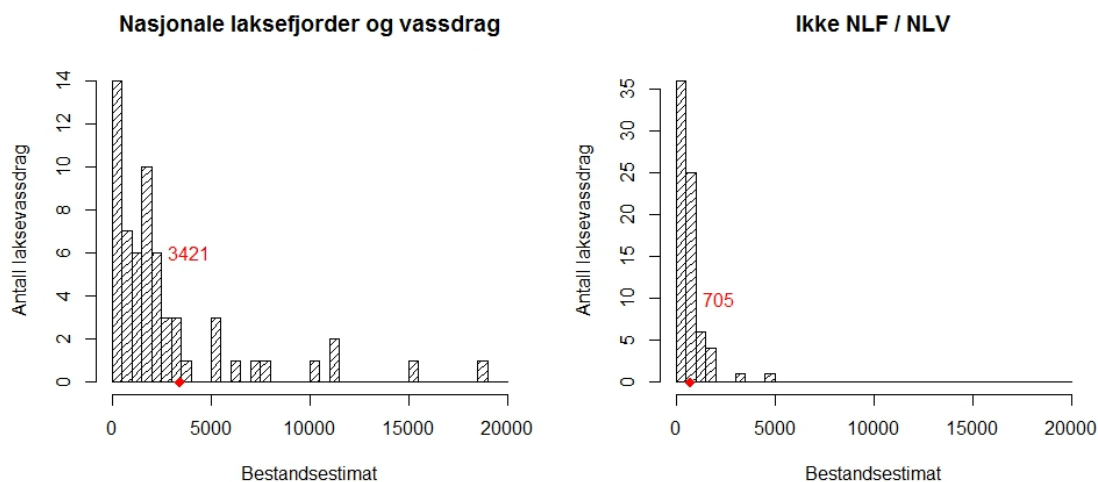


Nasjonale laksevassdrag har i gjennomsnitt en middelvannføring på 53,7 m³/s, mens ikke-NLV laksevassdrag (som er med i vår analyse) har i gjennomsnitt en middelvannføring på 20,3 m³/s. X-aksen er kuttet på 400, så Norges mest vannrike vassdrag, Glomma på 705 m³/s (ikke-NLV), er ikke inntegnet.



Nasjonale laksefjorder har vassdrag som i gjennomsnitt har en middelvannføring på 43,4 m³/s. Vassdrag utenfor en NLF (som er med i analysen vår) har en middelvannføring på 18,2 m³/s.

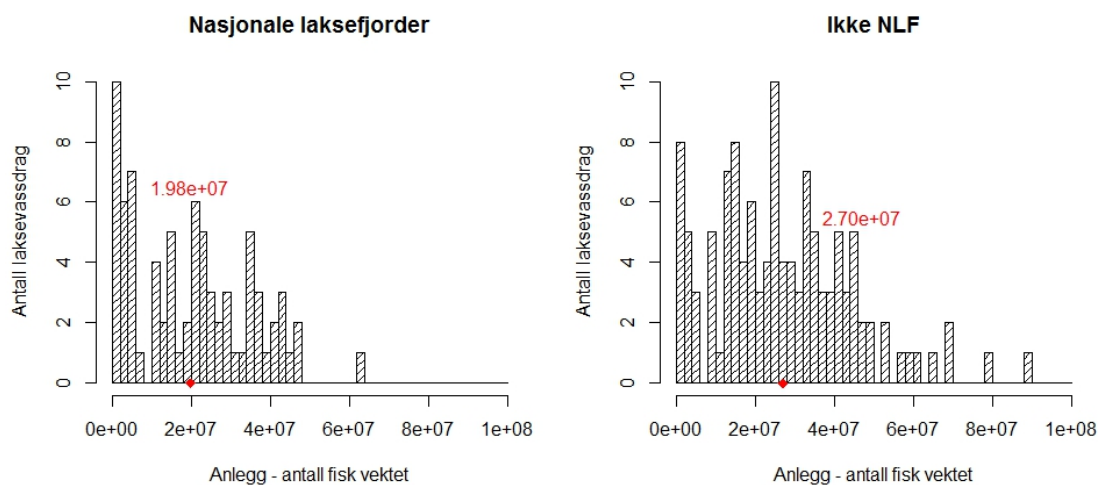
7.1.2 Bestandsstørrelse beregnet av Vitenskapelig råd for lakseforvaltning

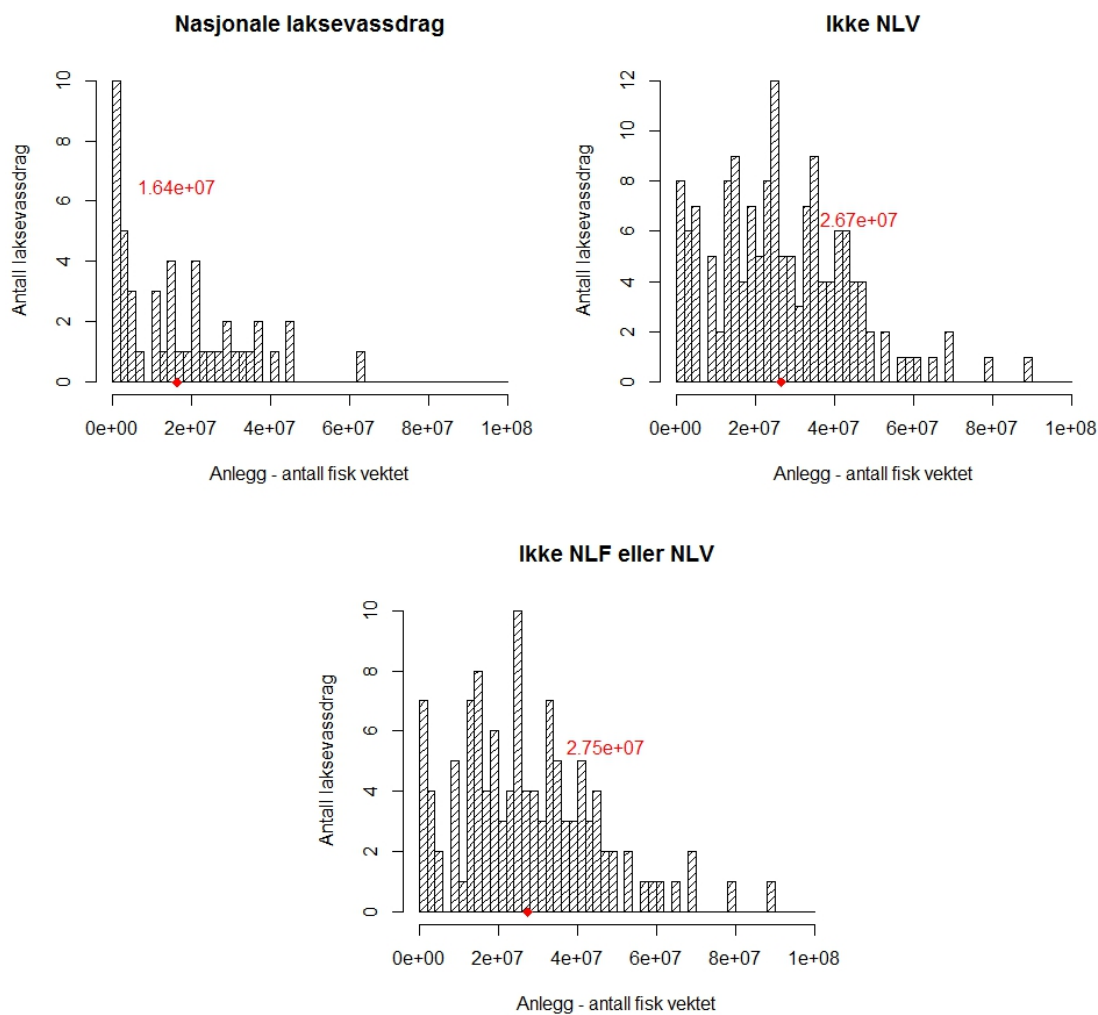


Laksebestandene som faller inn under NLV- eller NLF-ordningen er beregnet til å ha en gjennomsnittlig gytebestandsstørrelse på 3421 individer for årene 2006-2016, mens de bestandene som faller utenfor ordningen (og er med i våre analyser) har et gjennomsnitt på 705 individer for samme periode. X-aksen er kuttet på 20 000, så Norges største bestand, Tana med estimat på snaut 40 000, er ikke inntegnet.

7.2 Oppdrettsintensitet

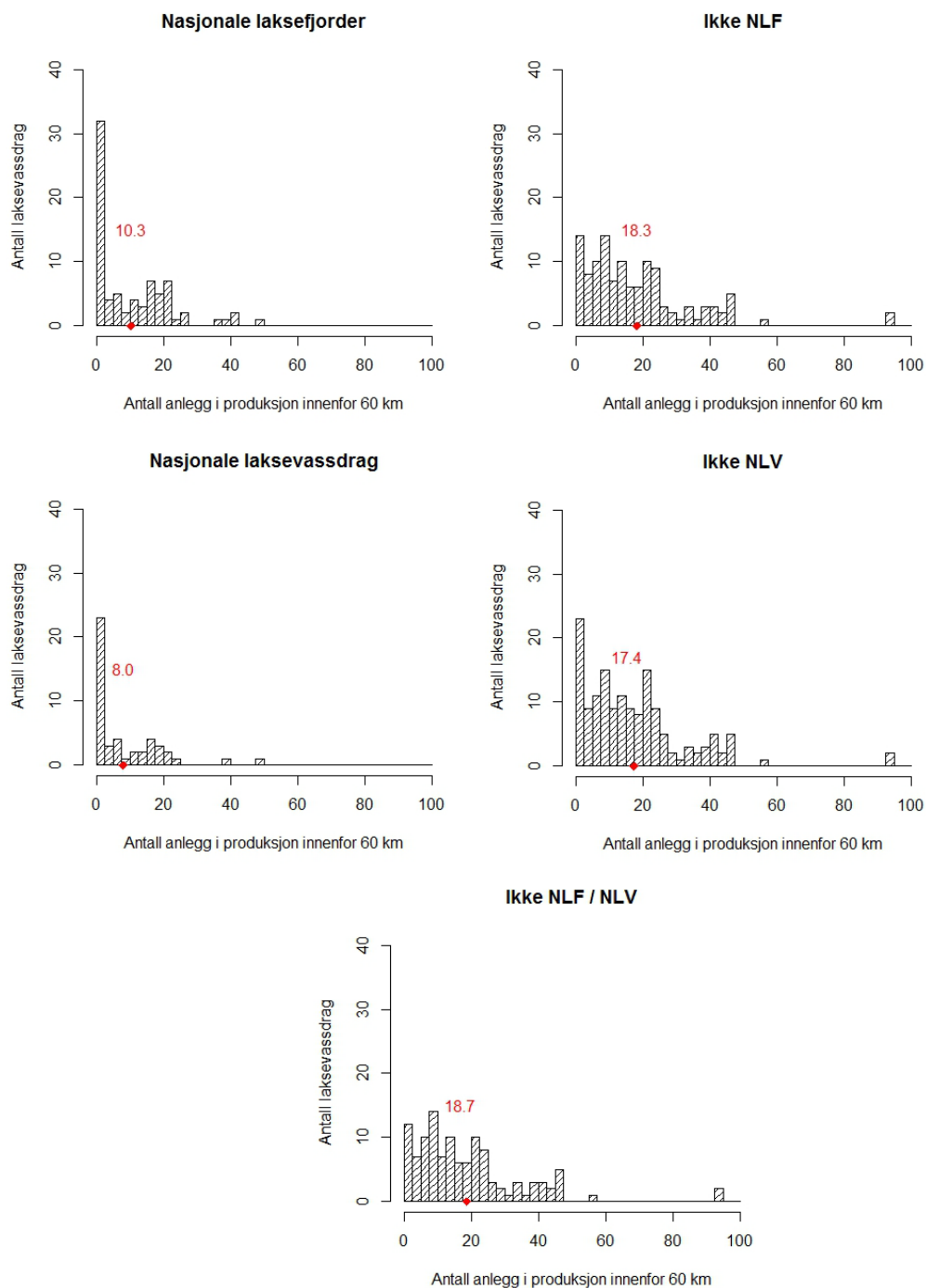
7.2.1 Antall oppdrettslaks med gaussisk vekting og standardavvik 60 km





Fordelingen av *oppdrettsintensitet* for vassdrag som ligger i nasjonale laksefjorder (øvre venstre) eller er nasjonale laksevassdrag (nedre venstre) og for vassdrag som ikke omfattes av ordningene (høyre paneler). Det er stor variasjon i oppdrettsintensitet for alle typer vassdrag – i de nasjonale laksefjordene og laksevassdragene er det en overvekt av helt lave verdier.

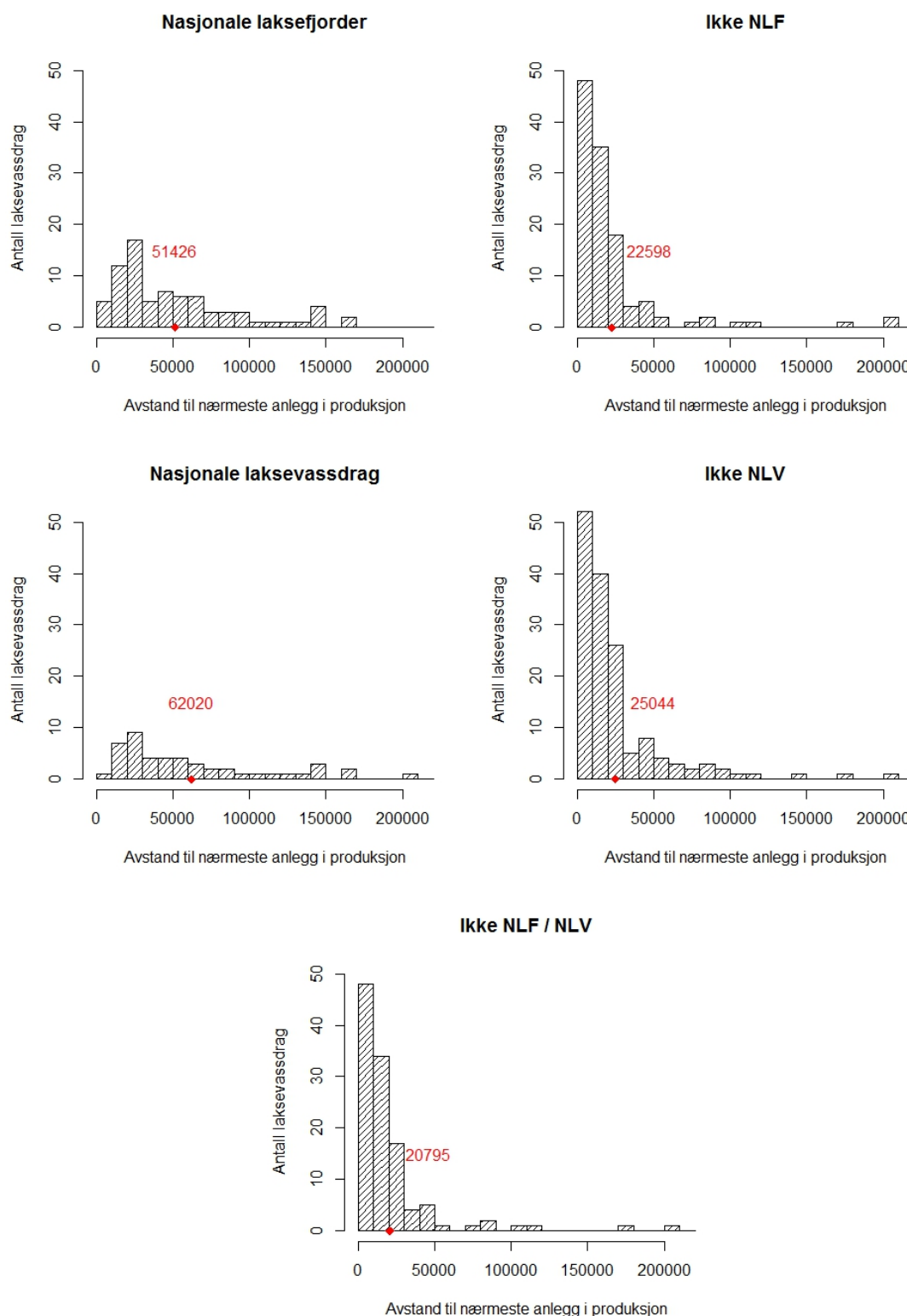
7.2.2 Antall oppdrettslaks og oppdrettslokaliteter innenfor 60 km radius i perioden 2006-2016



Laksebestander som er omfattet av NLV/NLF-ordningen har i gjennomsnitt 10,2 oppdrettslokaliteter i produksjon innenfor en radius av 60 km, mens laksebestander som ikke omfattes av ordningen har i gjennomsnitt 18,7 oppdrettslokaliteter i produksjon innenfor 60 km. Gjennomsnittene er regnet ut over perioden 2006-2016 med to måletidspunkt pr år.

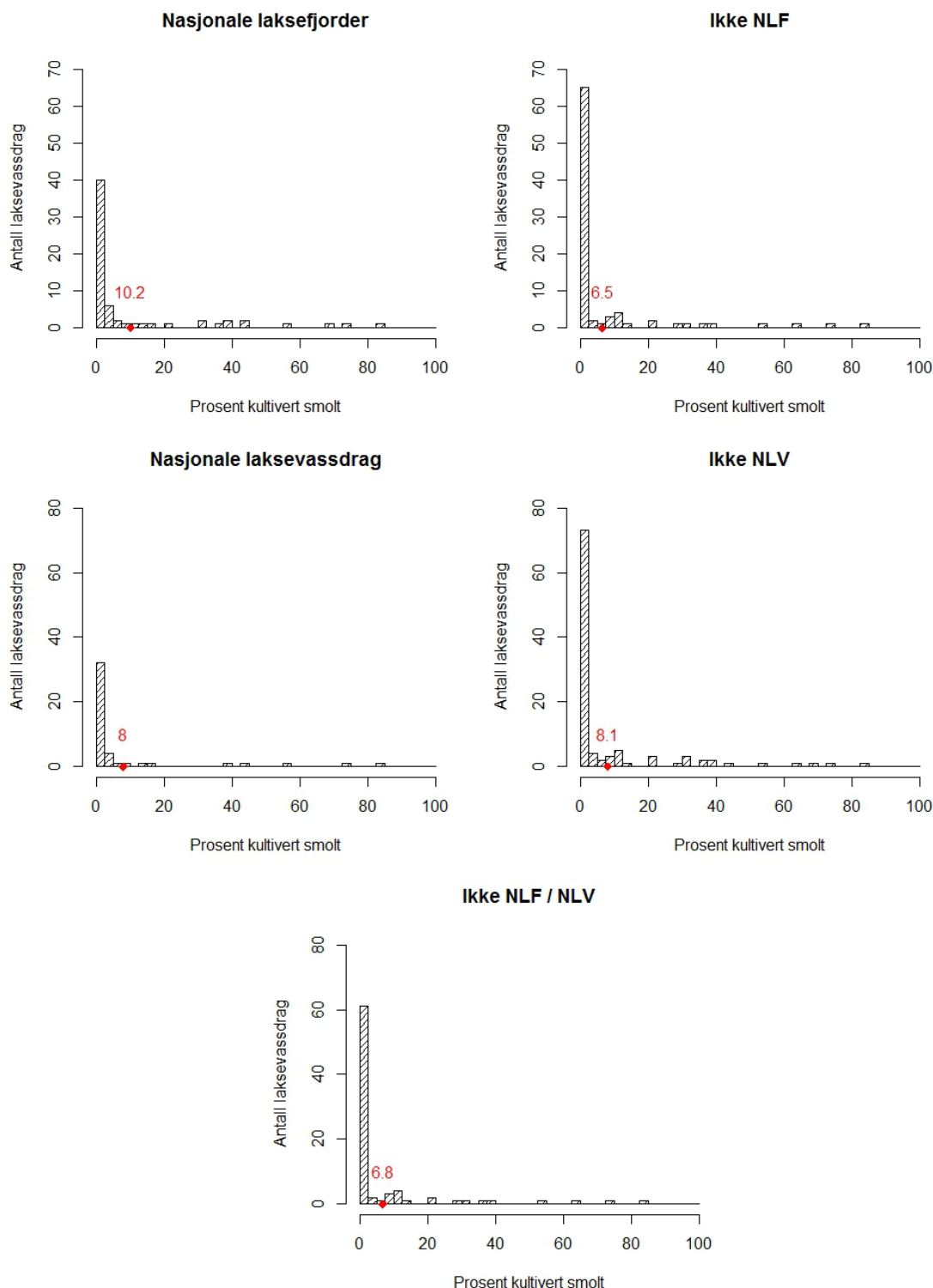
Femten av laksebestandene som er omfattet av NLF/NLV ordningen har 0 oppdrettslaks innenfor 60 km radius, og like mange har i størrelsesorden 14 millioner oppdrettslaks innenfor samme radius. Laksebestandene som ikke omfattes av ordningen har fire laksebestander i den første gruppen og 25 i den andre. Gjennomsnittlig antall for NLV/NLF er 240 000 og for ikke-NLV/ikke-NLF er det 6,5 millioner.

7.2.3 Avstand fra elv til nærmeste oppdrettslokalitet i perioden 2006-2016



Avstand til nærmeste oppdrettslokalitet for laksebestander som omfattes av NLV/NLF-ordningen og for laksebestander som ikke omfattes av ordningen. Gjennomsnittlig avstand fra elv til oppdrettslokalitet i produksjon 2006-2016 (med to målepunkt pr år) er henholdsvis 52 km for laksebestander som omfattes av ordningen og 21 km for laksebestander som ikke omfattes av ordningen.

7.3 Prosent kultivert smolt av totalt antall smolt

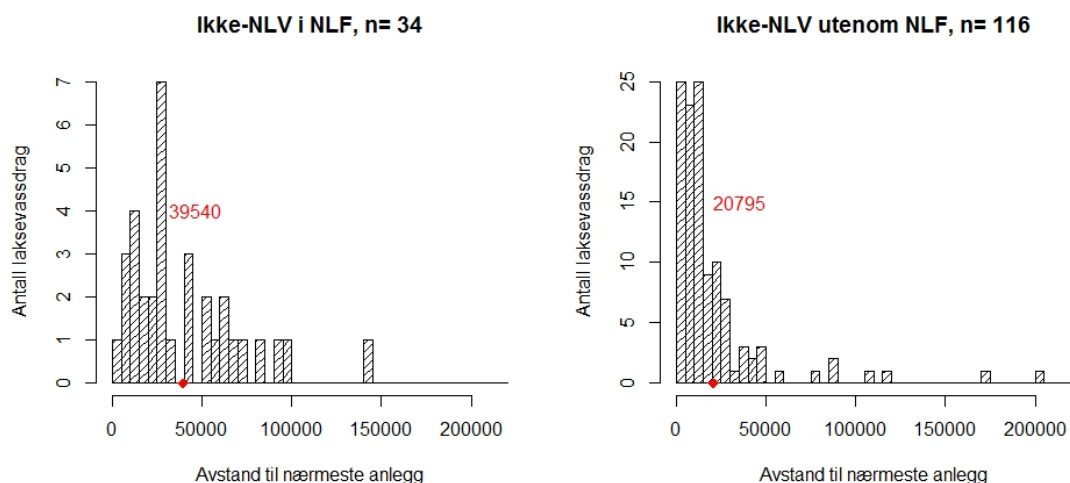


Fordelingen av laksebestander med hensyn til hvor mange prosent kultivert smolt det er i bestanden. Alle utsettingsstadier fra øyerogn til smolt er med i beregningen, og fisk utsatt tidligere enn smolt er regnet om til antall smolt ut fra en forventet overlevelse fram til smolt (Anon. 2016c). Gjennomsnittsverdiene er henholdsvis 9,6 % kultivert smolt i laksebestander som omfattes av NLF/NLF-ordningen og 6,8 % kultivert smolt i laksebestander som ikke omfattes av ordningen. I begge gruppene har de fleste vassdragene ingen kultivering, men det fins også vassdrag innenfor begge gruppene der 60-85 % av smolten er kultivert smolt.

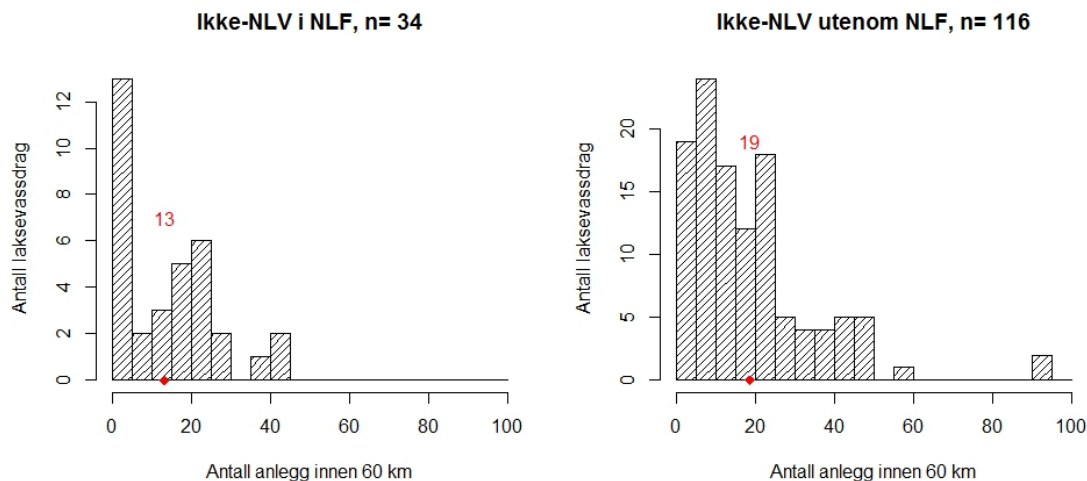
7.4 Sammenlikninger mellom «ikke-NLV i NLF» og «ikke-NLV i ikke-NLF»

Både i midtveisrapporten (Fiske mfl., 2013) og i dette vedlegget har vi vist at nasjonale laksevassdrag og nasjonale laksefjorder er valgt ut slik at det er vanskelig å finne referansevassdrag som kan teste effekten av ordningen.

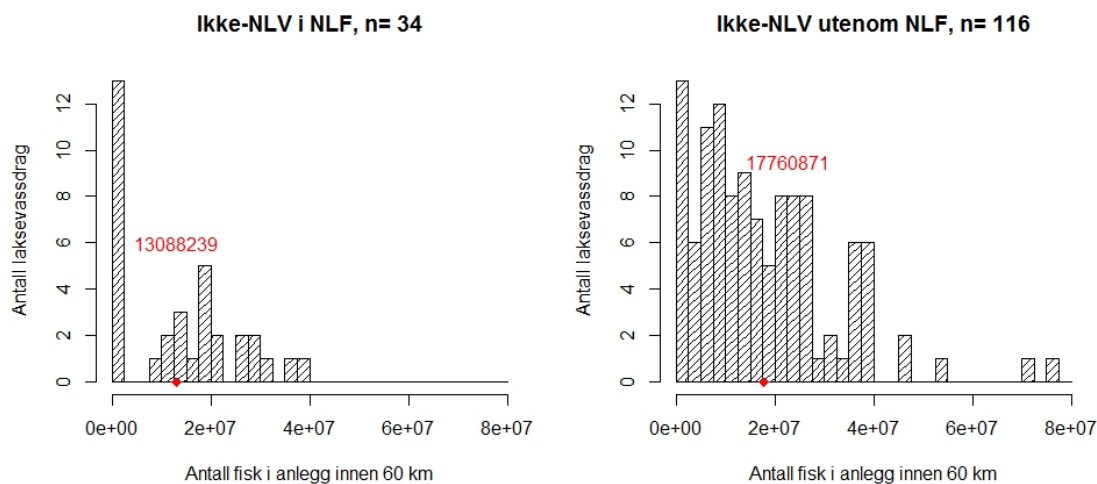
En måte som kan tillate tester av deler av ordningen, er denne: både innenfor og utenfor nasjonale laksevassdrag finnes det en rekke vassdrag som ikke er nasjonale laksevassdrag. Dette er altså vassdrag som ikke ble ansett som så viktige laksevassdrag at de ble valgt blant de 52 nasjonale vassdragene, men noen av dem (34 vassdrag i vårt materiale) ligger innenfor en nasjonal laksefjord og 116 av dem ligger utenfor. Her følger en sammenlikning av dem.



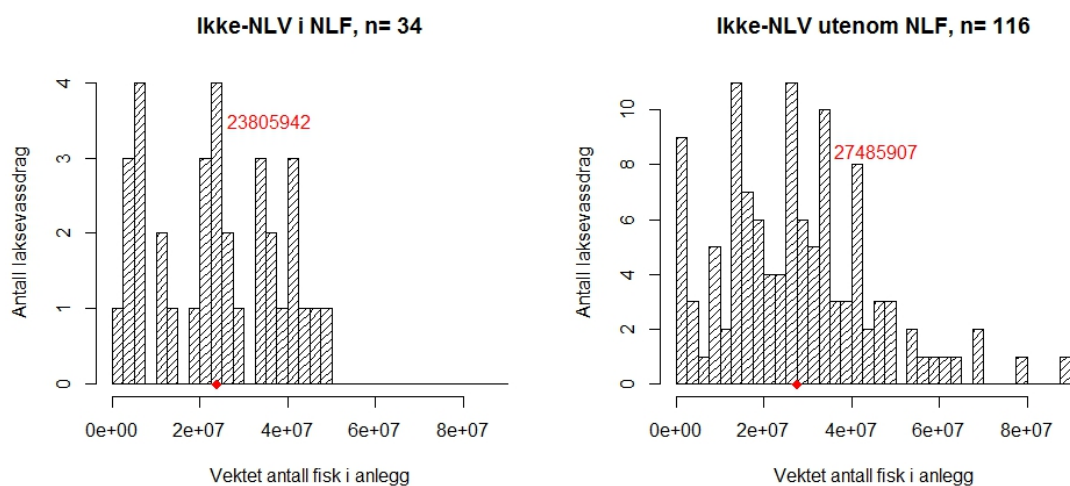
Avstanden til nærmeste oppdrettsanlegg for et ikke-NLV inne i en NLF er i gjennomsnitt 39 km, mens den er gjennomsnittlig 21 km for ikke-NLV som ligger utenfor en NLF.



Et ikke-NLV har i gjennomsnitt 13 oppdrettslokaliteter innenfor en radius av 60 km om det ligger innenfor en NLF, og 19 oppdrettslokaliteter innenfor samme radius om det ligger utenfor en NLF.

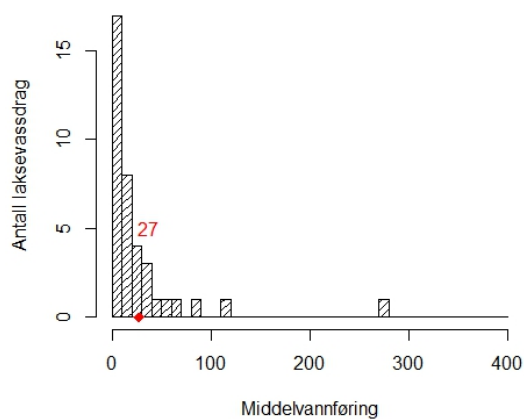


Antall oppdrettslaks i oppdrettslokaliteter innenfor en radius av 60 km fra utløpet av et laksevassdrag er i gjennomsnitt 13 millioner for ikke-NLV innenfor en NLF og 17,8 millioner for ikke-NLV utenfor en NLF. Gjennomsnittene gjelder for oppdrettslokaliteter i produksjon i årene 2006-2016 med to målepunkt pr år.

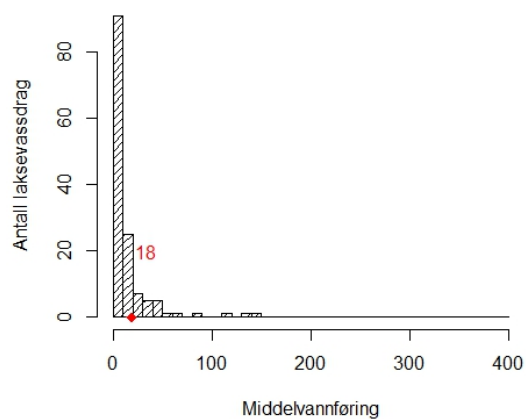


Fordelingen av *oppdrettsintensitet* for ikke-NLV som ligger i en NLF er marginalt forskjellig fra ikke-NLV som ligger utenfor en NLF. Gjennomsnittlig oppdrettsintensitet er henholdsvis 23.8 millioner for ikke-NLV innenfor en NLF og 27.5 millioner for ikke-NLV utenfor en NLF.

Ikke-NLV i NLF, n= 38

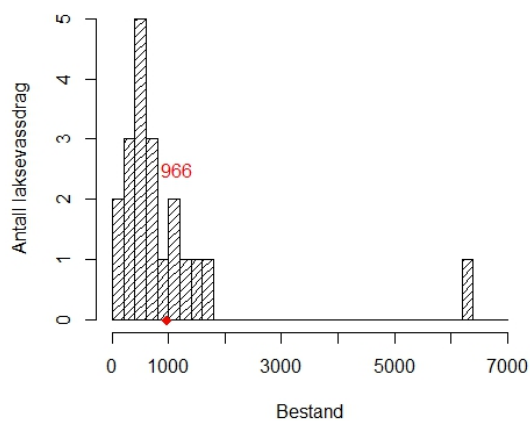


Ikke-NLV utenom NLF, n= 140

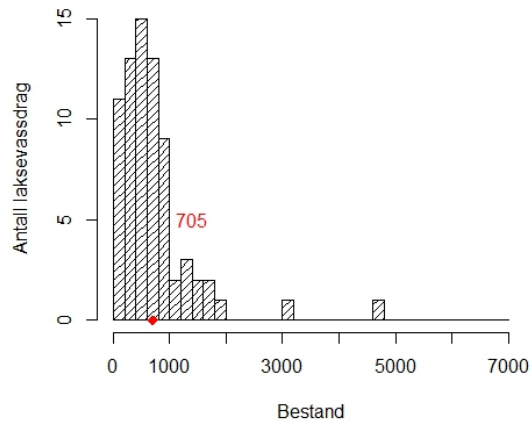


Middelvannføringen er etter NVE sine beregninger i gjennomsnitt 27 m³/s for ikke-NLV som ligger innenfor en NLF og 18 m³/s for ikke-NLV som ligger utenfor en NLF.

Ikke-NLV i NLF, n= 20

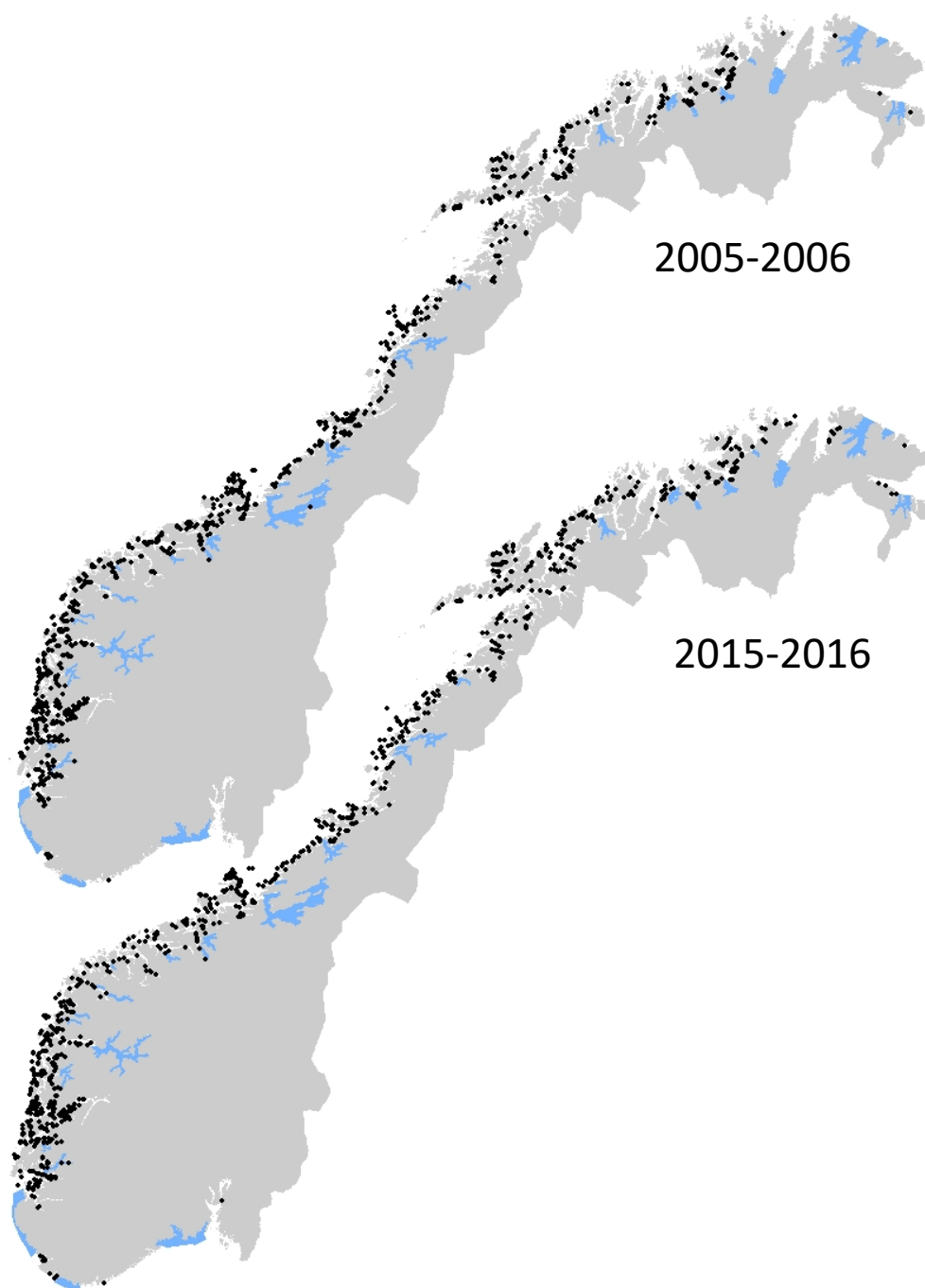


Ikke-NLV utenom NLF, n= 73



Gytebestandsstørrelsen er i gjennomsnitt 966 individer i ikke-NLV som ligger innenfor en NLF og 705 individer i ikke-NLV som ligger utenfor en NLF.

7.5 Kartgrunnlag oppdrettsanlegg



Figurene viser lokaliteter for mattiskanlegg i 2005-2006 (øverst) og i 2015-2016 (nederst), basert på informasjon om oppdrettslokaliteter fra Fiskeridirektoratet. Blå fargetone angir utbredelsen av Nasjonale laksefjorder.

*Norsk institutt for naturforskning, NINA,
er en uavhengig stiftelse som forsker på natur og
samspillet natur–samfunn.*

*NINA ble etablert i 1988. Hovedkontoret er i
Trondheim, med avdelingskontorer i Tromsø,
Lillehammer, Bergen og Oslo. I tillegg driver NINA
Sæterfjellet avlsstasjon for fjellrev på Oppdal,
og forskningsstasjonen for vill laksefisk på lms i
Rogaland.*

*NINAs virksomhet omfatter både fors–kning
og utredning, miljøovervåking, rådgivning og
evaluering. NINA har stor bredde i kompetanse og
erfaring med både naturvitere og sam–funnsvitere
i staben. Vi har kunnskap om artene, naturtypene,
samfunnets bruk av naturen og sammenhenger
med de store drivkreftene i naturen.*

ISSN:1504-3312
ISBN: 978-82-426-3192-3

Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim

Besøks-/leveringsadresse: Høgskoleringen 9, 7034 Trondheim

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

E-post: firmapost@nina.no

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>



Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger