

1907

NINA Rapport

## Vossolaksen – genetisk status

Sten Karlsson, Bjørn T. Barlaup, Ola H. Diserud & Eirik S. Normann



## **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 engelsk, som NINA Report.

### **NINA Temahefte**

Heftene utarbeides etter behov og serien favner svært vidt; fra systematiske bestemmelsesnøkler til informasjon om viktige problemstillinger i samfunnet. Heftene har vanligvis en populærvitenskapelig form med vekt på illustrasjoner. NINA Temahefte kan også utgis på engelsk, som NINA Special Report.

### **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 forskningsresultater i internasjonale vitenskapelige journaler og i populærfaglige bøker og tidsskrifter.

## Vossolaksen – genetisk status

Sten Karlsson<sup>1</sup>  
Bjørn T. Barlaup<sup>2</sup>  
Ola H. Diserud<sup>1</sup>  
Eirik S. Normann<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Norsk institutt for naturforskning - NINA

<sup>2</sup>NORCE

Karlsson, S., Barlaup, B. T., Diserud, O. H. & Normann, E. S.  
2020. Vossolaksen – genetisk status. NINA Rapport 1907. Norsk  
institutt for naturforskning.

Trondheim, november, 2020

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-4682-8

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

[Åpen]

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

KVALITETSSIKRET AV

Kjetil Hindar

ANSVARLIG SIGNATUR

Forskningsjef Ingeborg Palm Helland (sign.)

OPPDRAKSGIVER(E)/BIDRAGSYTER(E)

Fylkesmannen i Vestland

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER/BIDRAGSYTER

Gry Walle

FORSIDEBILDE

Vill laksesmolt på vei ut av Vosso tidlig i juni ©Foto: NORCE LFI  
v/Bjørn Barlaup

NØKKELORD

- Norge
- Vosso
- Laks
- Salmo salar
- Overvåking
- Rømt oppdrettslaks
- Kultivering
- Genetisk variasjon
- Effektiv bestandsstørrelse

KONTAKTOPPLYSNINGER

**NINA hovedkontor**  
Postboks 5685 Torgarden  
7485 Trondheim  
Tlf: 73 80 14 00

**NINA Oslo**  
Sognsveien 68  
0855 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**  
Thormøhlens gate 55  
5006 Bergen  
Tlf: 73 80 14 00

[www.nina.no](http://www.nina.no)

## Sammendrag

Karlsson, S., Barlaup, B. T., Diserud, O. H. & Normann, E. S. 2020. Vossolaksen – genetisk status. NINA Rapport 1907. Norsk institutt for naturforskning.

*Redningsaksjonen for Vossolaksen* startet i 2010 og blir formelt avsluttet i 2020. I den forbindelse ønsker forvaltningen en oppsummering av kunnskapen om den genetiske statusen til laksen i vassdraget. I henhold til kvalitetselementet «genetisk integritet» i «Kvalitetsnormen for ville bestander av laks» har laksebestanden i Vossovassdraget stor grad av innkryssing av rømt oppdrettslaks og er klassifisert som svært dårlig tilstand (rødt). I dette prosjektet har vi gjennomgått eksisterende data av voksen laks for å se hvordan innkryssing har forandret seg over tid og på forskjeller i innkryssing mellom kultivert og naturlig produsert laks. I tillegg har vi analysert et stort materiale av laksunger med alder 0+ (laksyngel) og 1+ innsamlet i Bolstadelva og Vosso i 2019 for å undersøke grad av innkryssing og for å beregne effektivt antall gytefisk. Resultatene indikerer at det allerede tidlig på 90-tallet var en del innkryssing med oppdrettslaks. Estimater av innkryssing viser en betydelig mindre grad av innkryssing i kultivert fisk sammenliknet med naturlig produsert fisk og viser effekten av skjellanalyser og genetiske analyser av stamfisk for å luke ut rømt oppdrettslaks og avkom etter rømt oppdrettslaks. De siste 10 årene viser en mulig økning i innkryssing av oppdrettslaks blant den naturlig produserte fisken og en mulig nedgang i den kultiverte laksen.

Årsyngel (0+) viste en stor grad av innkryssing i Bolstadelva og i Vosso på henholdsvis 12,7 % og 11,6 % mens det var en betydelig mindre og ikke signifikant grad av innkryssing i aldersgruppe 1+ fra Bolstadelva (7,0 %) og Vosso (2,5 %). Vi kan ikke konkludere med hvorvidt denne forskjellen skyldes ulike gyteår med forskjellig innslag av rømt oppdrettslaks eller innkryssede individer i de ulike gyteårene eller en mye høyere dødelighet hos innkryssede individer fra 0+ til 1+. Estimater av innkryssing ved de ulike innsamlingsstasjonene viste ingen tydelig tendens til at noen områder i vassdraget genererer avkom med en større grad av innkryssing enn andre områder. Ved å identifisere hel- og halvsøsken beregnet vi effektivt antall gytefisk og det var høyere effektivt antall gytefisk i Vosso (58 i 0+ og 64 i 1+) enn i Bolstadelva (40 i 0+ og 47 i 1+). Familiestrukturen var forholdsvis flat med høyst to, og i de fleste tilfeller én, representanter fra de ulike helsøkengruppene. Det var ingen tydelig forskjell i antall avkom avhengig av sannsynlighet for opphav i villaks (versus oppdrettslaks).

Så lenge utsatt laks i Vossovassdraget utgjør en stor andel av bestanden, viser våre resultater at kultivering av laks der stamfisken har blitt kontrollert for oppdrettsopphav kan redusere omfanget av innkryssing i bestanden. Ved en nedtrapping av utsatt fisk bør derfor bestanden nøye overvåkes og så langt det er mulig bør rømt oppdrettslaks tas ut fra vassdraget. Muligheten å ta ut innkryssede individer, etter genetisk kontroll av opphav bør også vurderes. Det er også viktig å overvåke den effektive bestandsstørrelsen som direkte kan relateres til tap av genetisk variasjon og innavl. Analysene av effektivt antall gytefisk og familiestruktur i dette prosjektet, basert på ungfiskprøver, kan være en god måte å overvåke bestanden på og vil kunne gi oppdaterte tall på bestandsstatus.

Sten Karlsson, Norsk institutt for naturforskning (NINA), Postboks 5685 Torgarden, Trondheim, e-post: [sten.karlsson@nina.no](mailto:sten.karlsson@nina.no)

Bjørn Torgeir Barlaup, NORCE, Nygårdsgaten 112, 5008 Bergen, e-post: [bjba@norceresearch.no](mailto:bjba@norceresearch.no)

Ola Diserud, Norsk institutt for naturforskning (NINA), Postboks 5685 Torgarden, Trondheim, e-post: [Ola.Diserud@nina.no](mailto:Ola.Diserud@nina.no)

Eirik Normann, NORCE, Nygårdsgaten 112, 5008 Bergen, e-post: [eino@norceresearch.no](mailto:eino@norceresearch.no)

# Innhold

<b>Sammendrag</b> .....	<b>3</b>
<b>Innhold</b> .....	<b>4</b>
<b>Forord</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Innledning</b> .....	<b>6</b>
<b>2 Materiale og metoder</b> .....	<b>8</b>
<b>3 Resultater</b> .....	<b>10</b>
3.1 Innkrysning i voksen laks.....	10
3.2 Innkrysning i ungfisk .....	11
3.3 Effektivt antall gytefisk .....	12
<b>4 Diskusjon</b> .....	<b>14</b>
<b>5 Referanser</b> .....	<b>16</b>

## Forord

I forbindelse med den formelle avslutningen av redningsaksjonen for Vossolaksen som har pågått i perioden 2010 til 2020 har Fylkesmannen i Vestland bedt NINA om å undersøke den genetiske statusen til Vossolaksen med hensyn til genetisk innkrysning med rømt oppdrettslaks og effektivt antall gytefisk i elven.

Vi takker Fylkesmannen for oppdraget, Geir Ove Henden og Ove Kambestad ved Voss klekkeri som organiserte og gjennomførte innsamlingen av ungfiskmaterialet og Line Birkeland Eriksen, Merethe Hagen Spets, Hege Brandsegg og Ida Pernille Øystese Andersskog ved NINA GenLab for DNA-isolasjon og genotyping.

Trondheim og Bergen, 17. november 2020

Sten Karlsson

# 1 Innledning

Vossolaksen var tidligere en av Norges mest kjente storlaksbestander. Fangststatistikken for perioden 1949 til 1987 viser at det i gjennomsnitt ble tatt 11,3 tonn laks per år samlet for stangfiske i vassdraget og notfiske i fjordene utenfor, og så sent som i 1980 ble det tatt over 20 tonn (**Figur 1**). Deretter skjedde det et bestandssammenbrudd på slutten av 1980-tallet og til tross for en rekke tiltak, inkludert et omfattende program for fiskeutsettinger, er enda ikke målet om en selvreproduserende og høstbar bestand nådd.

Den dramatiske bestandsnedgangen gjorde bestanden sårbar for innkryssing av rømt oppdrettslaks. Dette gjenspeiles i resultatene fra det årlige stamfisket hvor rømt oppdrettslaks dominerer fangstene fra 1993 til 2003 (**Figur 2**). I registreringsfiske med not som begynte i 2000 ble det tilsvarende funnet at rømt oppdrettslaks dominerte fangstene i perioden fram til 2010 (**Figur 3**). Basert på innhold av astaxanthin i egg ble det allerede i 1996 demonstrert at rømt oppdrettslaks dominerte gytingen i Vosso (Sæggrov mfl. 1997). For å styrke laksestammen og motvirke innkryssing er det satt ut rogn, yngel og smolt med opphav i materiale fra nasjonal genbank. Ettårig smolt har blitt produsert ved Voss klekkeri i årene 2000-2020 (med unntak av 2004) og brukt både i utsettingsforsøk for å belyse trusler og som kultiveringstiltak for å bygge opp bestanden. De første årene viste forsøkene at smolt som slepes ut fjordene i en perforert tank før frislipp har langt bedre overlevelse sammenliknet med smolt satt ut i vassdraget. Slep av smolt ble derfor valgt som metode for å bygge opp gytebestanden i «Redningsaksjonen for Vossolaksen» som har pågått siden 2010 og som avsluttes i 2020 (Barlaup, 2018).

I femårsperioden fra 2009 til 2013 ble det gjennomført storskala smoltslep (ca 100 000 smolt slept ut per år) som resulterte i et betydelig økt innsig av gytelaks fra og med 2011. Dette førte både til at gytebestandsmålet ble oppnådd i perioden 2011- 2017 og at andelen rømt oppdrettslaks ble betydelig redusert (**Figur 3**).

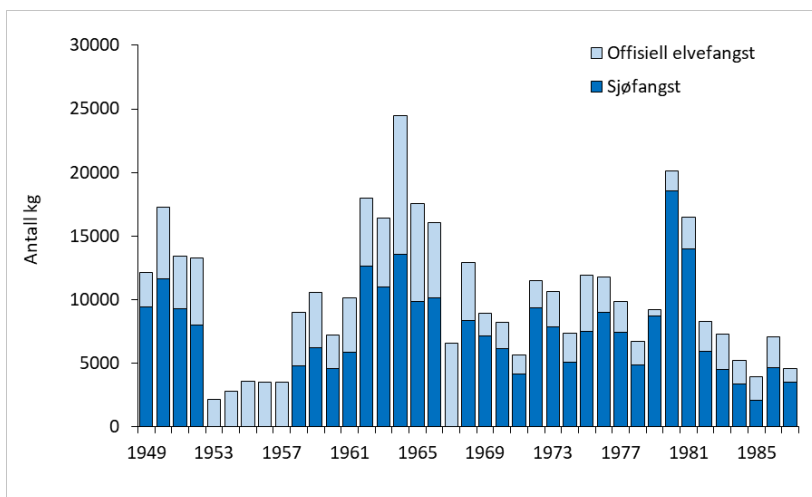
I henhold til kvalitetselementet «Genetisk integritet» etter «Kvalitetsnorm for ville bestander av laks (*Salmo salar*)» er laksebestanden i Vossovassdraget klassifisert som rødt (tilstand svært dårlig) med en estimert grad av innkryssing av rømt oppdrettslaks på 16,7 % i voksen laks samlet inn i perioden 2013-2018 (Diserud mfl. 2019). Vitenskapelig råd for lakseforvaltning beskriver situasjonen for bestanden i Vossovassdraget som svært dårlig både med hensyn på innkryssing med rømt oppdrettslaks og gytebestandsmåloppnåelse\*. Et viktig forvaltningsmål er at laksebestander skal oppnå gytebestandsmål og et høstbart overskudd ved naturlig produksjon. Vosso har kun i noen år oppnådd gytebestandsmålet og det takket være utsettinger av et stort antall smolt og derfor klassifiseres bestandsstatusen som svært dårlig.

I 2014 ble det innført en obligatorisk genetisk kontroll av all stamlaks som blir brukt til kultivering og til innlegg i genbanken (Karlsson mfl. 2015). Fordi stamlakskontrollen luker ut rømt oppdrettslaks og laks med helt eller delvis opphav i rømt oppdrettslaks forventes at returnerende laks med opphav i utsettinger har en lavere grad av innkryssing enn naturlig produsert laks. Det blir derfor viktig å overvåke bestandsutviklingen både med hensyn til innkryssing av rømt oppdrettslaks og bestandsstørrelsen når utsettingsprogrammet stoppes eller blir redusert. I dette prosjektet har vi sammenstilt eksisterende data på genetisk innkryssing og generert nye data fra ungfisk (0+ og 1+) samlet inn i 2019 fra både Bolstadelva og Vosso i Vossovassdraget. Bolstadelva er den nedre delen av vassdraget fra Bolstadfjorden opp til Evangervatnet, og Vosso er den øvre delen av vassdraget fra Evangervatnet til Vangsvatnet.

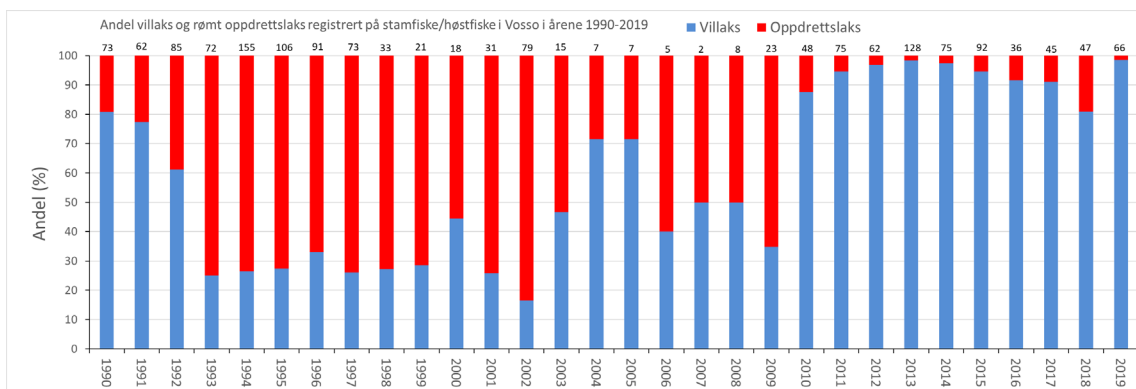
Resultatene fra dette prosjektet gir en statusbeskrivelse for innkryssing med rømt oppdrettslaks og effektivt antall gytefisk og vil kunne fungere som en metode for videre overvåking av bestanden.

\*<https://www.vitenskapsradet.no/VurderingAvEnkeltbestander/#/report/51>

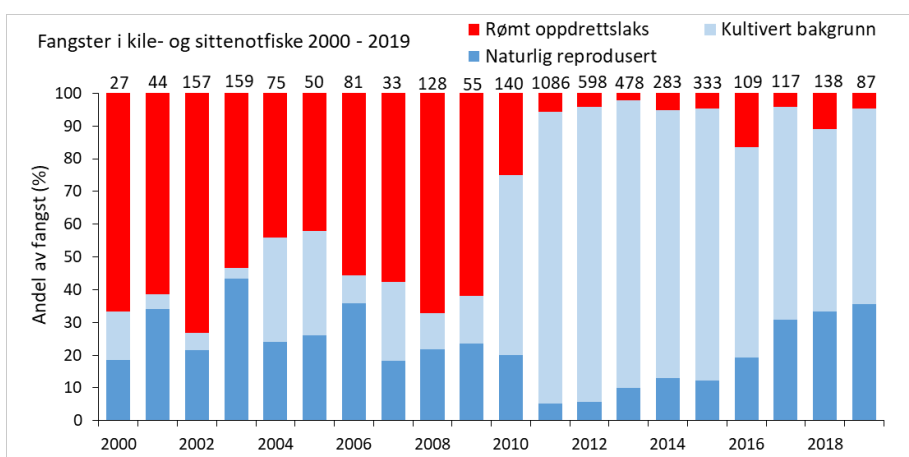




**Figur 1.** Sammenstilling av fangster fra fjordene utenfor Vosso (mørk blå) og fangster fra vassdraget (lys blå) i perioden 1949-1987. Tallgrunnlaget for figuren er den offisielle fangststatistikken for Voss-ovassdraget og kvantum av laks omsatt av Stamnes Handelslag. For årene 1953-57 og 1967 finnes det ikke data fra sjøfangst.



**Figur 2.** Andel villaks (blå) og rømt oppdrettslaks (rød) i fangstene fra stamfiske/høstfiske gjennomført av Voss klekkeri i perioden 1990-2019. Tall over søylene viser sum fangst per år. Data fra Voss klekkeri v/Geir Ove Henden.



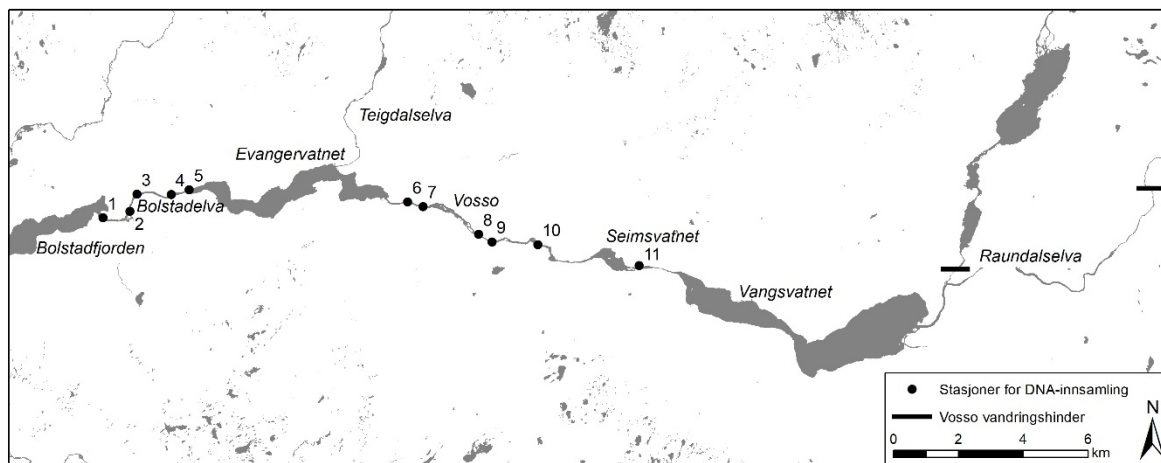
**Figur 3.** Fangster i notfiske utenfor Vosso fordelt på andel av villaks som har bakgrunn i naturlig utvandrende smolt (blå), villaks som stammer fra smoltslep (lyseblå) og rømt oppdrettslaks (rød). Tall over søylene viser sum fangst per år. Merk oppgangen i fangstene fra 2011 som skyldes storskala slep av smolt i perioden 2009-2013.

## 2 Materiale og metoder

Datamaterialet i dette prosjektet er oppsummert i **tabell 1**. Datamaterialet består av en historisk prøve av voksen laks fra 1977 og 1978 og ble benyttet som en referanse for villaks i Vosso før den ble påvirket av rømt oppdrettslaks. Estimerer av innkryssning med rømt oppdrettslaks er relatert til denne. Videre består materialet av stikkprøver av voksen laks fra 1990 til 2019, men vi mangler prøver i tidsperioden 1996-2009. Ungfiskmaterialet fra 2019 består av aldersgruppene 0+ og 1+ og representerer dermed gyteårsklassene 2018 og 2017. Ungfisken er innsamlet på flere elfiskestasjoner i både Vosso og i Bolstadelva (**Figur 4**).

**Tabell 1.** Prøvemateriale av laks fra Vossovassdraget analysert genetisk. *N* er antall individer, *ad/juv* indikerer om det er voksen laks (*adult*) eller ungfisk (*juvenil*; aldersgruppe 0+ eller 1+), *Innkryssning %* angir estimert andel av arvematerialet i stikkprøven som har opphav i oppdrettslaks og er estimert i forhold til en historisk prøve fra Vosso innsamlet i 1977 og 1978, *ns* er ikke signifikant og *\** er signifikant ved en sannsynlighetsgrense på  $< 0,05$  og *\*\*\** ved en sannsynlighetsgrense på  $< 0,001$ . *N<sub>eb</sub>* er effektivt antall gytefisk estimert utfra identifisering av hel- og halvsøsken innen en gyteårsklasse og er kun beregnet i ungfiskmaterialet der alder er kjent.

Innsamlingsår	N	ad/juv	utsatt/vill	Innkryssning %	Neb	Kommentar
1977-1978	40	ad	vill	0	na	Historisk ref.
1990-1995	49	ad	vill	5,4 % ns	na	
2010-2013	41	ad	vill	14,9 % *	na	
2010-2013	35	ad	utsatt smolt	8,6 % *	na	
2015-2019	27	ad	vill	27,1 % ***	na	stamfisk
2016-2017	15	ad	utsatt smolt	2,6 % ns	na	stamfisk
2017-2018	79	ad	vill	4,8 % ns	na	Bolstadfjorden
2019	39	0+	vill	12,7 % ***	40 (26-65)	Bolstadelva
2019	40	1+	vill	7,0 % ns	47 (30-78)	Bolstadelva
2019	58	0+	vill	11,6 % ***	64 (43-98)	Vosso
2019	54	1+	vill	2,5 % ns	58 (39-89)	Vosso



**Figur 4.** Elfiskestasjoner for innsamling av ungfisk (0+ og 1+) av laks i Vossovassdraget i 2019. Innsamlingene ble gjort i Bolstadhølen (st.1), Langahølen (st.2), Rongahølen (st.3), Keilo (st. 4), Vassenden (st.5), oppstrøms Presthølen (st.6), Skorve (st.7), Kvilekvål (st.8), Geitle v/Blåbrua (st 9), samløp Tverrelva (st 10) og utløp Flagehølen (st 11).

DNA fra skjellprøver ble ekstrahert med DNEASY tissue kit fra QIAGEN og genotypet for 96 SNP-markører med EP1™ 96.96 Dynamic array IFCs SNP-genotypingsplattformen (Fluidigm). Førtiltatte av disse SNP-markørene har tidligere blitt identifisert som gode til å skille mellom norsk villaks og oppdrettslaks uavhengig av villakspopulasjon og oppdrettspopulasjon (Karlsson mfl. 2011). Disse ble benyttet for å estimere sannsynlighet for hvert enkelt individ å tilhøre oppdrettslaks versus villaks ( $P(\text{wild})$ ) og grad av innkryssing med oppdrettslaks for den samlede stikkprøven fra de ulike stikkprøvene i henhold til metoder beskrevet av Karlsson mfl. (2014, 2016a).

Åtte SNP-er som viser generelt store forskjeller mellom ørret og laks ble benyttet for å identifisere ørret og laks og mulige ørret X laks hybrider. Det ble identifisert noen ørret eller ørret/laks hybrider blant de undersøkte fiskene.

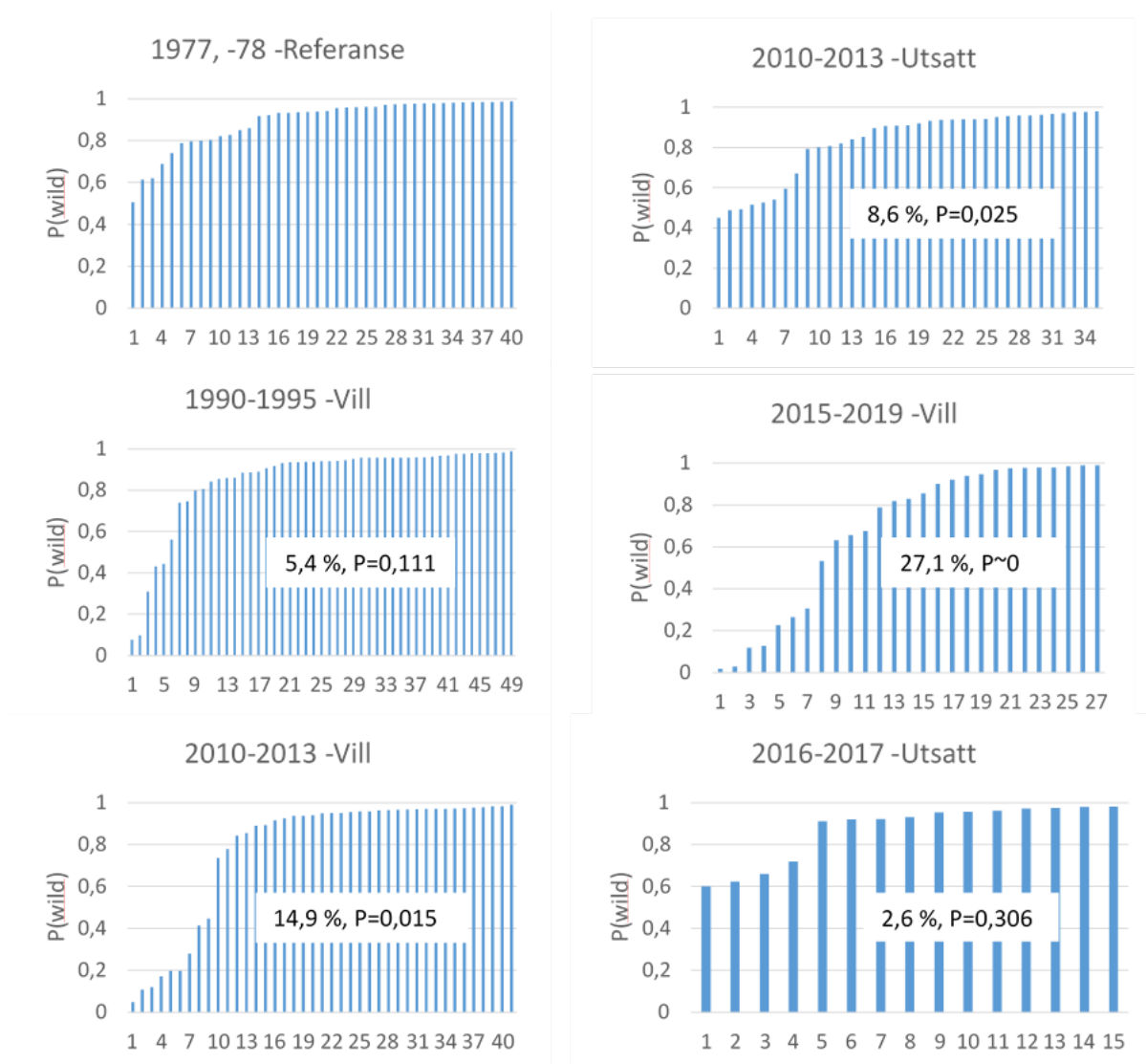
Syttifire SNP-markører ble benyttet for å identifisere hel- og halvsøsken og for å beregne effektivt antall gytefisk i henhold til den såkalte sibship-metoden (Wang 2009), implementert i programmet COLONY 2.0.2.3 (Jones & Wang 2010). Effektivt antall gytefisk ( $N_{\text{eb}}$ ) er et standardisert mål på hvor mange fisk som fører sine gener videre til neste generasjon og tar hensyn til ulikt antall hunner og hanner og variasjon i antall avkom (Karlsson mfl. 2016b).

Genetiske distanser ( $F_{\text{ST}}$ ) mellom stikkprøvene av ungfisk og den seneste stikkprøven av naturlig produsert voksen laks (2015-2019) ble estimert og visualisert i et prinsippal koordinat-analyse (PCoA) plot ved hjelp av programmet GENALEX (Peakall & Smouse 2006). Dette ble gjort for å undersøke mulige genetiske forskjeller mellom laks fra Bolstadelva og Vosso og mellom aldergruppene av ungfisk.

## 3 Resultater

### 3.1 Innkryssning i voksen laks

Det er en betydelig grad av innkryssning av rømt oppdrettslaks i Vossovassdraget og ut fra fordelingen av individuelle estimater av sannsynlighet å tilhøre villaks (versus oppdrettslaks) kan det se ut som stikkprøven innsamlet i 1990-1995 allerede består av individer med oppdrettsopphav (**Figur 5**). Om man ser på stikkprøver av naturlig produsert laks så er den estimerte graden av innkryssning økende fra 5,4 % på 90-tallet til 14,9 % i årene 2010-2013 og 27,1 % i årene 2015-2019. For utsatt laks er innkryssningsgraden høyere i 2010-2013 (8,6 %) enn i stikkprøven fra 2015-2019 (2,6 %) (Figur 3). At innkryssningen er lavere i utsatt fisk sammenliknet med naturlig produsert fisk er forventet fordi skjellkontrollen luker ut rømt oppdrettslaks og siden 2014 også avkom etter rømt oppdrettslaks ved genetisk kontroll. For produksjon og utsetting av smolt har det kun blitt brukt rogn fra levende genbanken og opphavsfisk har i senere tid blitt genetisk testet for å luke ut familier med sannsynlig delvis opphav i oppdrettslaks.

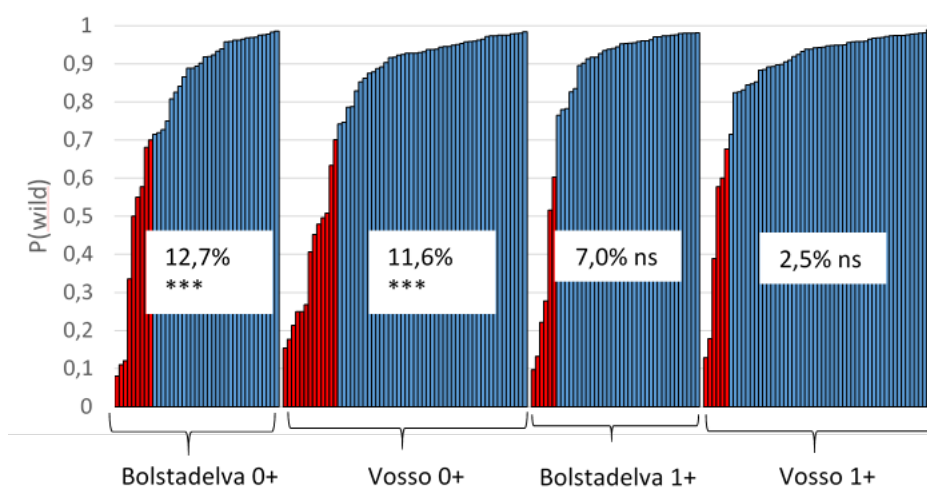


**Figur 5.** Estimater av sannsynlighet å tilhøre villaks ( $P(\text{wild})$ ) kontra oppdrettslaks for hvert enkelt individ av laks samlet inn i Vossovassdraget i ulike år og for naturlig produsert laks og for utsatt laks. De angitte prosentandelene er estimert andel av det samlede arvestoffet i stikkprøvene som har opphav i oppdrettslaks og  $P$ -verdien er sannsynligheten for at det ikke er noen innkryssning.

Stikkprøven av naturlig produsert laks fanget i Bolstadfjorden i 2017 og 2018 viste en liten (4,8 %) og ikke signifikant grad av innkrysning (Tabell 1, figur ikke vist) og står i sterk kontrast til den høye graden av innkrysning i den naturlig produserte laksen fanget i stamfisket i elva i årene 2015-2019.

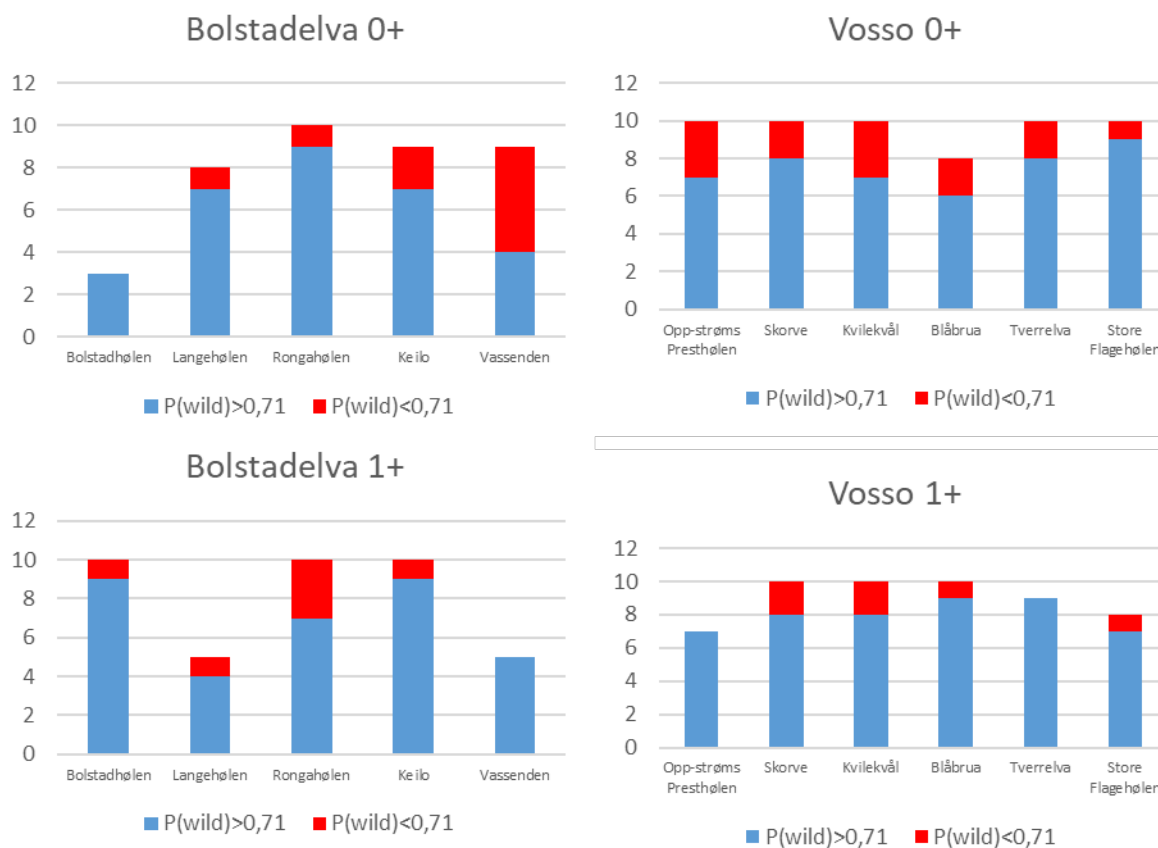
### 3.2 Innkrysning i ungfisk

Det var signifikant og høy grad av innkrysning i årsyngel men ikke i den ettårige ungfisken i både Bolstadelva og i Vosso (**Figur 6**). Prøvematerialet representerer både ulike aldre og ulike årsklasser og det er derfor uvisst om den forholdsvis store forskjellen skyldes ulike innslag av rømt oppdrettslaks og/eller grad av innkrysning i gytepopulasjonen disse gyteårene eller om observasjonen skyldes seleksjon mot (større dødelighet) innkryssede individer fra 0+ til 1+ (Aronsen mfl. 2017, Wacker mfl. 2020).



**Figur 6.** Estimer av sannsynlighet for å tilhøre villaks ( $P(wild)$ ) kontra oppdrettslaks for hvert enkelt individ av 0+ og 1+ laksunger samlet inn i Vossovassdraget i 2019. De angitte prosentandelene er estimert andel av det samlede arvestoffet i stikkprøvene som har opphav i oppdrettslaks, ns er ikke signifikant grad av innkrysning og \*\*\* er signifikant grad av innkrysning med  $P$ -verdi  $< 0,001$ .

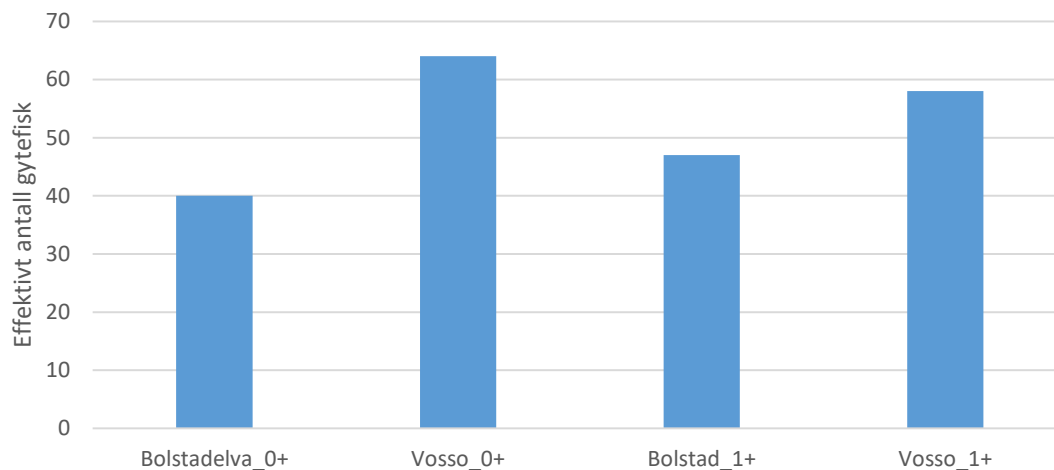
At ungfisken fra Bolstadelva og Vosso viser liknende fordelinger av innkrysning i de to ulike aldre og årklassene (**Figur 6**) antyder at bidraget fra rømt oppdrettslaks og/eller gytefisk med delvis oppdrettsopphav ikke er ulikt fordelt mellom Bolstadelva og Vosso i vassdraget. I denne sammenheng kan det være viktig å påpeke at ikke har blitt plantet rogn eller satt ut yngel etter 2017 og at prøvene kun er avkom etter naturlig gyting. Det var heller ingen tydelig forskjell i innkrysningsgrad mellom ulike elfiskestasjoner (**Figur 7**) og det kan dermed ut fra dette materialet se ut som videre innkrysning ikke skjer i spesielle områder i vassdraget men er forholdsvis jevnt fordelt.



**Figur 7.** Innkryssning av oppdrettslaks i ungfisk (0+ og 1+) innsamlet ved ulike elfiskestasjoner i 2019 i Bolstadelva og Vosso. Innkryssningen er presentert som antall individer med en sannsynlighet å tilhøre villaks ( $P(\text{wild})$ ) lavere enn 0,71 (rødt) og høyere enn 0,71 (blått) som er lik grensen for å forkaste stamlaks ved genetisk stamlakskontroll (Karlsson mfl. 2020). For geografisk beliggenhet av elfiskestasjoner se Figur 4.

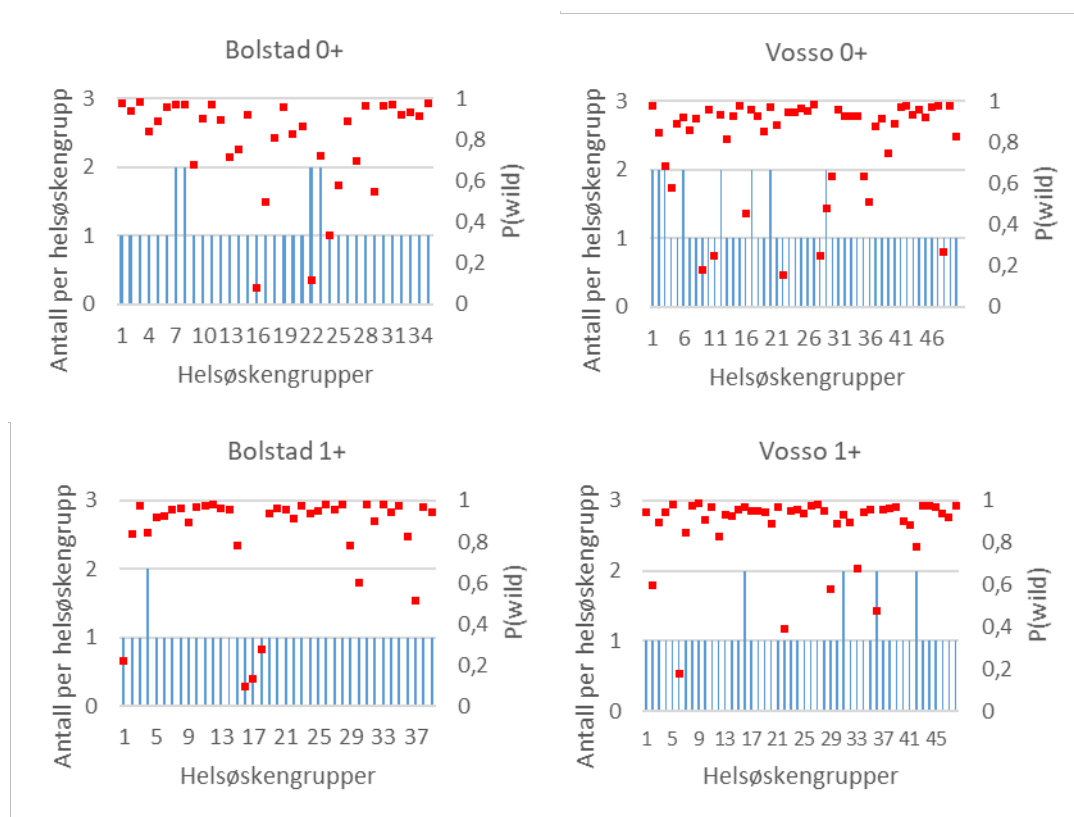
### 3.3 Effektivt antall gytefisk

Effektivt antall gytefisk er et standardisert mål på antall gytefisk ved å ta hensyn til ulikt antall hunn-fisk og hann-fisk og at gytefisken får ulikt antall avkom. Vi estimerte effektivt antall gytefisk med metoden til Wang (2009) som enkelt forklart går ut på at med genetiske markører identifisere hel- og halvsøsken i stikkprøven og ut fra sammensetningen beregne effektivt antall gytefisk. I en stikkprøve der en stor andel er hel- og halvsøsken vil effektivt antall gytefisk være liten, mens det i en stikkprøve med få eller ingen hel- og halvsøsken vil effektivt antall gytefisk være stor. Fordi sammensetningen i stikkprøven skal representere deres foreldre er det nødvendig at stikkprøven består av individer fra det samme gyteåret og at stikkprøven er et tilfeldig utvalg. Effektivt antall gytefisk varierte mellom 40 for 0+ i Bolstadelva til 64 for 0+ i Vosso og effektivt antall gytefisk var høyere i Vosso enn i Bolstadelva for både 0+ og 1+ (**Figur 8**).



**Figur 8.** Effektivt antall gytefisk estimert fra en stikkprøve av 0+ og 1+ laksunger fra Bolstadelva og Vosso innsamlet i 2019.

Stikkprøvene av lakseunger bestod av forholdsvis mange familiegrupper og ut fra fordelingen av antall individer per hel-søskengrupper var det ingen familie som dominerte årsklassen (**Figur 9**). I tillegg til antall individer per hel-søskengruppe viser **Figur 9** også sannsynligheten for villaksopphav ( $P(\text{wild})$ ) for de enkelte hel-søskengruppene og det ser ikke ut som foreldre med helt eller delvis opphav i oppdrettslaks hadde bidratt med forholdsvis flere eller færre antall avkom enn gytefisk med rent villaksopphav.



**Figur 9.** Antall individer per helsøskengruppe (blå stolper og venstre x-akse) og sannsynlighet for villaksopphav ( $P(\text{wild})$ ) for hver enkelt helsøskengruppe (røde firkanter og høyre x-akse) i stikkprøver av 0+ og 1+ laksunger fra Bolstadelva og Vosso.

## 4 Diskusjon

Vossovassdraget har siden 1990-tallet hatt en høy og vedvarende grad av innkryssing av rømt oppdrettslaks. Klekkeriproduisert smolt som er slept ut fjordene utgjør en stor andel av den voksne laksen som gyter i Vossovassdraget. Det storstilte utsettingsprogrammet av smolt i Vosso med kontrollert opphav av stamfisken ved skjellanalyser og genetiske analyser har i stor grad dempet utviklingen av økt innkryssing med rømt oppdrettslaks i bestanden. En sammenlikning av innkryssingsgrad i kultivert og naturlig produsert fisk viste en meget høy og noe økende grad av innkryssing i naturlig produsert laks sammenliknet med kultivert laks. Ungfisken samlet inn i 2019 viste en høy grad av innkryssing i 0+, men en forholdsvis liten, og ikke signifikant grad av innkryssing i 1+. I forhold til den høye andelen kultivert fisk i gytebestanden forventes en større andel av ungfisken være avkom etter kultivert laks og dermed også ha en lavere grad av innkryssing enn om foreldrene var naturlig produsert, avhengig av hvor stor andel rømt oppdrettslaks det var i disse gyteårene (2017 og 2018).

I notfiske ble det i 2017 (gyteåret for 1+ i 2019) fanget 5 % rømt oppdrettslaks og i 2018 (gyteåret for 0+ i 2019) 10 % rømt oppdrettslaks\* og dette kan være med på å forklare en høyere grad av innkryssing i 0+ enn i 1+ fanget i 2019. En annen forklaring er at det skjer seleksjon mot innkryssede individer ved at dødeligheten er høyere for individer med helt eller delvis opphav i oppdrettslaks enn for individer med villaksopphav, som observert hos laksunger i Altaelva (Aronsen mfl. 2017, Wacker mfl. 2020). Oppfølgende analyser av ungfisk av ulik alder innen en gyteårs-klasse vil kunne si noe om muligheten for naturlig seleksjon til å motvirke innkryssing av rømt oppdrettslaks og hva dette kan ha å si for produktiviteten.

Effektivt antall gytefisk i Bolstadelva og i Vosso ble estimert til henholdsvis 40 og 64 for gyteåret 2018 (0+ fanget i 2019) og henholdsvis 47 og 58 for gyteåret 2017 (1+ fanget i 2019). Gytebestandsmålet ble oppnådd i 2017 men kun til 87 % i 2018\* og effektivt antall gytefisk ble estimert å være lavere i 2018 sammenliknet med i 2017 i Bolstadelva, men høyere i Vosso. Det er derfor uklart hvorvidt effektivt antall gytefisk reflekterer oppnåelsen av gytebestandsmålet. Effektivt antall gytefisk per gyteår til sammen for Bolstadelva og Vosso er dermed estimert til drøyt 100 individer. For å sette dette estimatet i perspektiv så er dette noe høyere enn det som er estimert med den samme metoden for laksebestanden i Eira, Bævra, Flekkeelva og Årøyelva og noe lavere eller på sammen nivå som det estimert i Surna (Hagen mfl. 2020). Ut fra denne sammenlikningen er estimatet for Vossovassdraget verken oppsiktsvekkende lavt eller høyt. I forhold til gytebestandsmålet på 2110 kg hunnfisk (Hindar mfl. 2007) og registrert vekt på hunnfisken i notfangster de siste årene på 6,5 kg (pers. med. Eirik S. Normann) tilsvarer gytebestandsmålet ca. 650 til 800 gytelaks. Dersom bestanden har nådd gytebestandsmålet er forholdstallet mellom effektivt antall og faktisk antall (mellom 0,13 og 0,18) forholdsvis lavt (Hagen mfl. 2019). Familiestrukturen i form av antall helsøskengrupper og antall individer per helsøskengruppe viste et forholdsvis jevnt bidrag der ingen helsøskengruppe hadde flere enn to individer representert i stikkprøven. Denne fordelingen var tilnærmet like for 0+ og 1+ og prøvetakingen vurderes derfor som god med tanke på å representere gytebestanden for de respektive gyteårsklassene.

Prøvetaking av 0+ er utfordrende med tanke på tilfeldig prøvetaking av familiegrupper fordi årssyngel vandrer lite og oppholder seg i området de ble klekket. Prøvetakingen i dette prosjektet ser imidlertid ut til å ha lyktes med å samle inn et representativt utvalg og kan tjene som en mal for videre innsamling. Prøvetakingen i 2019 var begrenset til hovedområdene for lakseproduksjonen dvs. Bolstadelva og Vosso. Ved framtidig prøvetaking vil det også være relevant å inkludere de øvrige delene av vassdraget hvor det forekommer gyting av laks, dvs. strekningene oppstrøms Vangsvatnet (i Strandaelva og Raundalselva) og Teigdalselva som munner ut i Evangervatnet (**Figur 4**).

\*<https://www.vitenskapsradet.no/VurderingAvEnkeltbestander/#/report/51>



De omfattende smoltslepene har ført til en betydelig økning i gytebestanden fra og med 2011. Dette har høyst sannsynlig også økt antallet smolt som vandrer ut fra vassdraget. Til tross for dette er ikke målet om å reetablere en selvreproduserende bestand som når gytebestandsmålet nådd. En medvirkende årsak er at smoltens lange utvandningsrute (ca. 100 km) går gjennom et oppdrettsintensivt område hvor angrep av lakselus reduserer smoltens overlevelse (Vollset mfl. 2016a, Grefsrud mfl. 2020). I tillegg er det funnet høy dødelighet for akustisk merket smolt som vandrer gjennom innsjøene i vassdraget (Vangsvatnet og Evangervatnet), og på visse strekninger i Bolstadfjorden til Stamnes, trolig som følge av predasjon (Haugen mfl. 2017, Vollset mfl. 2016b; 2017). Det er også kjent at Evanger kraftverk som var ferdig i 1977 har endret vannføringsregime og ført til økt smoltalder i Bolstadelva som følge av redusert temperatur, og det pågår undersøkelser for å bestemme om kjøringen av Evanger kraftverk som munner ut i Evangervatnet påvirker overlevelsen til smolt som vandrer gjennom innsjøen. En annen påvirkningsfaktor er konsentrasjonene av aluminium målt i brakkvannsområdene rundt Osterøy som på grunn av sur nedbør er på et nivå som kan være skadelig for smolt som vandrer ut fra Vosso (Åtland mfl. 2018).

Med en fortsatt lav overlevelse av naturlig produsert smolt vil en nedtrapning eller avslutning av utsetninger med kontrollert stamfisk kunne føre til økt grad av innkrysning i bestanden. Dette som følge av to årsaker: 1) bestandsstørrelsen går ned og rømt oppdrettslaks vil kunne utgjøre en større andel, og 2) naturlig produsert gytefisk ikke blir kontrollert for mulig genetisk opphav i rømt oppdrettslaks, slik som stamlaks til kultivering. Utfordringen illustreres ved at rømt oppdrettslaks, kultivert laks og villaks (inklusive rognplanting og startfôret yngel) har stått for hhv. 7 %, 70 % og 23 % av totalt 784 laks registrert i notfiske de siste fem årene (2015-2019). Uten kultivert laks i ville andelen oppdrettslaks i notfiske økt fra 7 til 25 % i samme femårsperiode. Når bidraget fra utsatt fisk de kommende årene reduseres, bør det derfor så langt som mulig legges til rette for at rømt oppdrettslaks tas ut fra vassdraget og fra fjordene før den når vassdraget.

Det blir viktig å overvåke utviklingen av laksebestanden i Vossovassdraget både med tanke på innkrysning av rømt oppdrettslaks og effektiv bestandsstørrelse for å kunne gjøre fortløpende vurderinger om behov av utsetninger. Et alternativ til utsetninger med opphavskontroll av stamfisken kan være å kontrollere den oppvandrende gytefisken for mulig opphav i rømt oppdrettslaks. En slik kontroll vil kreve at det finnes mulighet til å fange og oppbevare et stort antall gytefisk i påvente av resultater fra genetiske analyser. Hvorvidt dette er gjennomførbart og ønskelig, må nøye vurderes. Parallelt med en slik overvåkning vil det også være viktig å identifisere flaskehalser for overlevelsen til den naturlig produserte smolten og sette inn tiltak som bedrer deres overlevelse.

## 5 Referanser

- Aronsen, T., Karlsson, S.O., Ugedal, O., Diserud, O.H., Ulvan, E.M., Saksgård, L. & Næsje, T.F. 2017. Undersøkelser av genetisk innkryssning av rømt oppdrettslaks i villaksbestanden i Altaelva - NINA Rapport 1385. 32 s.
- Barlaup, B. T. 2018. Redningsaksjonen for Vossolaksen - fremdriftsrapport per 2017. LFI Rapport 300. Bergen: Uni Research. Nedlastet fra [www.uni.no/media/manual\\_upload/LFI\\_300.pdf](http://www.uni.no/media/manual_upload/LFI_300.pdf)
- Diserud, O. H., Hindar, K., Karlsson, S., Glover, K. A. & Skaala Ø. 2019. Genetisk påvirkning av rømt oppdrettslaks på ville laksebestander – oppdatert status 2019. NINA Rapport 1659. Norsk institutt for naturforskning.
- Grefsrud, E.S., Karlsen, Ø., og T. Svåsand (redaktører). 2020. [Risikoreport norsk fiskeoppdrett 2020](#). Havforskningsinstituttet. Fisken og havet 2020-4.
- Hagen, I.J., Jensen, A.J., Bjørn, B., Holthe, E., Florø-Larsen, B., Lo, H., Ugedal, O. & Karlsson, S. 2019. Evaluering av kultivering med molekylærgenetiske metoder. NINA Rapport 1531. Norsk institutt for naturforskning.
- Hagen, I.J., Ugedal, O., Jensen, A.J., Lo, H., Holthe, E., Bjørn, B., Florø-Larsen, B., Sægvog, H., Skoglund, H. & Karlsson, S. 2020. Evaluation of genetic effects on wild salmon populations ICES Journal of Marine Science, innsendt.
- Haugen, T.O., Kristensen, T., Nilsen, T.O. & Urke, H.A. 2017. Vandringsmønsteret til laksesmolt i
- Hindar, K., Diserud, O., Fiske, P., Forseth, T., Jensen, A. J., Ugedal, O., Jonsson, N., Storeid, S.-E., Arnekleiv, J. V., Saltveit, S. J., Sægvog, H. & Sættem, L. M. 2007. Gytebestandsmål for laksebestander i Norge. – NINA Rapport 226. 78 s.
- Vossovassdraget med vekt på detaljert kartlegging av åtfærd i innsjøsystema og effektar av miljøtilhøve. - MINA fagrapport 41. 85 s.
- Jones, O.R. & Wang, J. 2010. COLONY: a program for parentage and sibship inference from multi-locus genotype data. *Molecular Ecology Resources* 10: 551-555.
- Karlsson, S., Diserud, O.H., Moen, T. & Hindar, K. 2014. A standardized method for quantifying uni-directional genetic introgression. *Ecology and Evolution* 4: 3256-3263.
- Karlsson, S., Bjørn, B., Holthe, E., Lo, H. & Ugedal, O. 2016b. Veileder for utsetting av fisk for å ivareta genetisk variasjon og integritet - NINA Rapport 1269. 25 s.
- Karlsson, S., Diserud, O.H., Fiske, P. & Hindar, K. 2016a. Widespread genetic introgression of escaped farmed Atlantic salmon in wild salmon populations. *ICES Journal of Marine Science* 73: 2488-2498
- Karlsson, S., Florø-Larsen, B., Balstad, T. & Eriksen, L. B. 2015. Stamlakskontroll 2014. NINA Rapport 1143. Norsk institutt for naturforskning.
- Peakall, R., & Smouse, P. E. 2006. GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular Ecology Notes* 6: 288-295.
- Sægvog, H., Hindar, K., Kålås, S. & Lura, H. 1997. Escaped farmed Atlantic salmon replace the original salmon stock in the River Vosso, western Norway. *ICES Journal of Marine Science* 54: 1166-1172.
- Vollset K. W. , Krontveit R. I., Jansen P. A., Finstad B., Barlaup B. T., Skilbrei O. T., Krkošek M. et al. 2015. Impacts of parasites on marine survival of Atlantic salmon: a meta-analysis. *Fish and Fisheries* 17: 714–730. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsx104>
- Vollset K.W., Barlaup B.T., Mahlum, S., Bjørn, P.A. & Skilbrei, O.T. 2016 a. Estimating the temporal overlap between post-smolt migration of Atlantic salmon and salmon lice infestation pressure from fish farms. *Aquaculture Environment Interactions* 8: 511-525. <https://doi.org/10.3354/aei00195>
- Vollset, K. W., Mahlum, S., Davidsen, J. G., Skoglund, H. & Barlaup, B. T. 2016 b. Interaction between migration behaviour and estuarine mortality in cultivated Atlantic salmon *Salmo salar* smolts. *Journal of Fish Biology* 89: 1974-1990.

- Vollset, K. W., Barlaup, B. T., & Normann, E. S. (2017). Release during night enhances survival of wild Atlantic salmon smolts. *Fisheries Management and Ecology* 24: 256-264. <https://doi.org/10.1111/fme.12230>
- Wacker, S., Aronsen, Y., Karlsson, S., Ugedal, O., Diserud, O. H., Ulvan, E. M., Hindar, K. & Næsje, T. 2020. Selection against individuals from genetic introgression of escaped farmed salmon in a natural population of Atlantic salmon. *Evolutionary Applications*, innsendt.
- Wang, J.L. 2009. A new method for estimating effective population sizes from a single sample of multilocus genotypes. *Molecular Ecology* 18: 2148-2164.
- Åtland, Å., Kvalsvik Stenberg, S., Gabrielsen, S-E., Normann, E. & Barlaup, B.T. 2018. Forsuring og aluminium som trusselfaktorer. Kapittel i *Redningsaksjonen for Vossolaksen - fremdriftsrapport per 2017* (LFI Rapport 300). Bergen, side 180-200: Uni Research. Nedlastet fra [www.uni.no/media/manual\\_upload/LFI\\_300.pdf](http://www.uni.no/media/manual_upload/LFI_300.pdf)





*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 forskning og utredning, miljøovervåking, rådgivning og evaluering. NINA har stor bredde i kompetanse og erfaring med både naturvitere og samfunnsvitere i staben. Vi har kunnskap om artene, naturtypene, samfunnets bruk av naturen og sammenhenger med de store drivkreftene i naturen.*

ISSN:1504-3312  
ISBN: 978-82-426-4682-8

## 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](mailto:firmapost@nina.no)

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>



Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger