

2496

NINA Rapport

Vossolaksen – genetisk status 2023

Sebastian Wacker, Bjørn T. Barlaup, Ola H. Diserud, Eirik S. Normann
og Sten Karlsson



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 2023

Sebastian Wacker¹

Bjørn T. Barlaup²

Ola H. Diserud¹

Eirik S. Normann²

Sten Karlsson¹

¹Norsk institutt for naturforskning - NINA

²NORCE

Wacker, S., Barlaup, B. T., Diserud, O. H., Normann, E. S. & Karlsson, S. 2024. Vossolaksen – genetisk status 2023. NINA Rapport 2496. Norsk institutt for naturforskning.

Trondheim, oktober 2024

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-5309-3

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

KVALITETSSIKRET AV

Arne Johan Jensen

ANSVARLIG SIGNATUR

Forskningsjef Anne Kristin Jøranlid (sign.)

OPPDRAAGSGIVER(E)/BIDRAGSYTER(E)

Miljødirektoratet og Statforvalteren i Vestland

OPPDRAAGSGIVERS REFERANSE

M-2860|2024

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER/BIDRAGSYTER

Atle Kambestad og Silje Elvatun Sikveland

FORSIDEBILDE

Elfiske i Vossovassdraget © Eirik Normann, NORCE

NØKKEWORD

- 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

Sammendrag

Wacker, S., Barlaup, B. T., Diserud, O. H., Normann, E. S. & Karlsson, S. 2024. Vossolaksen – genetisk status 2023. NINA Rapport 2496. Norsk institutt for naturforskning.

De store smoltutsettingene av Vossolaks ble avsluttet i 2020, etter en tiårsperiode med utsettinger av rogn, yngel og anleggsprodusert smolt. Etter 2020 har redningsarbeidet fortsatt med utsettinger av rogn og yngel. Under perioden med utsettinger av anleggsprodusert smolt har innsiget av laks vært dominert av laks satt ut som smolt, og etter 2020 har andelen gradvis minket og det totale innsiget har blitt kraftig redusert. På oppdrag fra Statsforvalteren i Vestland overvåker NINA den genetiske statusen til laksebestanden i Vossovassdraget. Overvåkingen inkluderer innkrysning av rømt oppdrettslaks og effektivt antall gytefisk. Analysene er basert på både voksen laks og ungfisk. Tidligere har ungfisk innsamlet i 2019 og 2020 blitt analysert og her gir vi en oppdatering med analyser av ungfisk fra 2021 og 2022.

Innkrysning av rømt oppdrettslaks har siden 2010 vært stabilt høy (rundt 10 %) i voksen laks satt ut som smolt. Innkrysning i voksen laks klassifisert som villaks fra skjellanalyse har vist en nedgående trend med 21,6 % innkrysning i perioden 2014-2019, 9,8 % i perioden 2015-2000 og samlet for den siste seksårsperioden (2018-2023) ingen innkrysning. Voksen laks satt ut som smolt har opphav i genbanken og den høye graden av innkrysning i denne laksen kan forklares med at opphavsfisken til genbanken som ble samlet inn i 2008 til 2010 også hadde tilsvarende høy grad av innkrysning. Tilbakevandrende laks satt ut som smolt, med opphav i genbanken, har i sin tur blitt brukt som stamfisk lokalt for å produsere rogn og yngel til utsett. Denne stamfisken fra perioden 2013 til 2019 ble analysert og bekreftet en forventet høy grad av innkrysning (12,3 %). De omfattende utsettingene av rogn, yngel og anleggsprodusert smolt har dermed i stor grad medvirket til å opprettholde et høyt nivå av innkrysning av rømt oppdrettslaks i Vossolaksen.

På bakgrunn av det dokumenterte høye nivået av innkrysning i laks satt ut som smolt var det overraskende at det ikke ble funnet innkrysning i laks klassifisert som villaks i de senere årene. Laks satt ut som smolt har utgjort en stor andel av gytebestanden og man kunne derfor forvente at innkrysningen i disse hadde blitt videreført inn i den ville bestanden. I tillegg har det hvert år blitt registrert rømt oppdrettslaks blant den returnerende voksne laksen. Ungfisken hadde en forholdsvis høy grad av innkrysning som reflekterte graden av innkrysning i gytebestanden. Det var en tydelig trend at graden av innkrysning i ungfisken ble redusert med økende alder innen gyteårsklasse. Disse observasjonene peker i retning av at det foregår en sterk seleksjon mot laks med opphav i rømt oppdrettslaks i Vossovassdraget. Høy dødelighet blant fisk med opphav i rømt oppdrettslaks har dermed bidratt til å redusere smoltproduksjonen i Vossovassdraget. Innkrysning av rømt oppdrettslaks kan derfor være med på å forklare den negative bestandsutviklingen og manglende effekten av iverksatte tiltak.

Effektivt antall gytefisk ble beregnet basert på sammensetningen av hel- og halvsøsken og ubeslektede individer innen gyteårsklassene 2018, 2019 og 2020, og var på henholdsvis 218, 168 og 297. Estimaten av effektivt antall gytefisk varierer i samsvar med variasjon i beregnet innsig av laks. Estimatet av effektivt antall gytefisk ble vurdert som usikkert for gyteår 2021, men i forhold til beregnet innsig av laks dette året forventes effektivt antall gytefisk å være i området mellom gyteår 2019 og 2020. Et kritisk lavt nivå av effektivt antall gytefisk har blitt foreslått å være 100. Våre analyser viser at effektivt antall gytefisk i Vossovassdraget ligger over dette nivået.

Utfasingen av utsett av anleggsprodusert smolt, som tidligere utgjorde en veldig stor andel av gytefisken i Vossovassdraget, har gjort at bestanden raskt har blitt redusert og i 2023 returnerte tresjøvinterlaksen fra siste smoltutsett i 2020. Laksebestanden gjennomgår derfor en kritisk fase som det blir ekstra viktig å overvåke.

Vi har i denne rapporten gjort viktige observasjoner av innkrysning av rømt oppdrettslaks og betydningen dette har for laksebestandens produktivitet. Alt eksisterende materiale i genbanken blir nå analysert slik at videre utsetninger av fisk med oppdrettsgenetisk opphav i rømt oppdrettslaks blir luket ut. Med en bedre kontroll på opphavet til laksen i genbanken forventes at fisken som settes ut er bedre tilpasset miljøet i Vossovassdraget og at man derfor også får en økt produksjon av smolt. I tillegg vil den pågående innsatsen med å fange og slepe naturlig produsert smolt forhåpentligvis også øke overlevelsen til smolten og øke antall gytelaks som returnerer til vassdraget. I de videre genetiske analysene av ungfisk og voksen laks vil det, i tillegg til overvåking av innkrysning av rømt oppdrettslaks og effektivt antall gytefisk, være mulig å spore fisk med opphav i utsetninger fra genbanken og dermed også vurdere bidraget fra utsetninger i forhold til naturlig produksjon av laks i vassdraget.

Sebastian Wacker, Norsk institutt for naturforskning (NINA), Postboks 5685 Torgarden, Trondheim, e-post: sebastian.wacker@nina.no

Bjørn Torgeir Barlaup, NORCE, Hav og miljø, LFI, Nygårdsgaten 112, 5008 Bergen, e-post: bjba@norce-research.no

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

Eirik Normann, NORCE, Hav og miljø, LFI, Nygårdsgaten 112, 5008 Bergen, e-post: eino@norce-research.no

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

Innhold

Sammendrag	3
Innhold	5
Forord	6
1 Innledning.....	7
2 Metoder	9
2.1 Materiale	9
2.2 Genetiske analyser	9
2.3 Innkrysning av rømt oppdrettslaks	10
2.4 Effektivt antall gytefisk	10
3 Resultater	12
3.1 Innkrysning av rømt oppdrettslaks i voksen laks.....	12
3.2 Innkrysning av rømt oppdrettslaks i ungfisk	13
3.3 Effektivt antall gytefisk	14
4 Diskusjon.....	17
4.1 Innkrysning.....	17
4.2 Effektivt antall gytefisk	18
5 Referanser	21
6 Vedlegg	23

Forord

Siden 2020, da den formelle «Redningsaksjonen for Vossolaksen» ble avsluttet, har man erstattet utsetninger av anleggsprodusert smolt med slep av villfanget smolt. Samtidig har man forsterket genbanken og videreført utsetninger av rogn og yngel. Miljødirektoratet og Statsforvalteren i Vestland har bedt NINA om å overvåke utviklingen av bestandens innkrysning av rømt oppdrettslaks og effektivt antall gytefisk.

Vi takker Miljødirektoratet, Statsforvalteren og Eviny for oppdraget, Geir Ove Henden og Ove Kambestad ved Voss klekkeri, og Rådgivende biologer som sammen med NORCE LFI organiserte og gjennomførte innsamlingen av ungfiskmaterialet, og genetikklaboratoriet ved NINA (NINAGEN) for DNA-isolasjon og genotyping.

17 oktober 2024, 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 (Barlaup, 2022). 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 innkrysning av rømt oppdrettslaks. Dette gjenspeiles i resultatene fra det årlige stamfisket hvor rømt oppdrettslaks dominerer fangstene fra 1993 til 2003. I registreringsfiske med not som begynte i 2000 ble det tilsvarende funnet at rømt oppdrettslaks dominerte fangstene i perioden fram til 2010. For å styrke laksestammen og motvirke innkrysning 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 har blitt avsluttet med siste slep av klekkeriproduisert smolt i 2020 (Barlaup 2022).

I henhold til kvalitetselementet «Genetisk integritet» etter «Kvalitetsnorm for ville bestander av laks (*Salmo salar*)» er laksebestanden i Vossovassdraget klassifisert som oransje (tilstand dårlig) med en estimert grad av innkrysning av rømt oppdrettslaks på 7,5 % i voksen laks samlet inn i perioden 2017-2022 (Diserud et al. 2023). I 2014 ble det innført en obligatorisk genetisk kontroll av all stamlaks som blir brukt til kultivering og til innlegg i genbanken (Karlsson et al. 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 innkrysning enn naturlig produsert laks. Dette ble også observert av Karlsson et al. (2020) i voksen laks fanget i perioden 2010-2017. Graden av innkrysning var dog like høy i returnerende laks med opphav i utsettinger som i naturlig produsert laks ved den siste undersøkelsen (Karlsson et al. 2022). Det blir derfor viktig å overvåke bestandsutviklingen både med hensyn til innkrysning av rømt oppdrettslaks og bestandsstørrelsen når utsettingsprogrammet stoppes eller blir redusert. Vitenskapelig råd for lakseforvaltning beskriver situasjonen for bestanden i Vossovassdraget som svært dårlig med hensyn på 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. I fireårsperioden 2018-2021 ble gytebestandsmålet kun nådd i 2020 og i dette året utgjorde den ville hunfiskpopulasjonen ca. 500 kg av gytebestandsmålet på 2110 kg hunlaks (Barlaup 2022). Bestandsstatusen klassifiseres derfor som svært dårlig med en nedadgående trend etter at utsettinger av klekkerismolt ble avsluttet. Etter råd fra NINA er utsett av klekkerismolt avsluttet og isteden blir det nå gjort en innsats for å fange inn og slepe villsmolt ut av fjorden, med håp om en bedre sjøoverlevelse og en høyere naturlig produktivitet i vassdraget (Forseth et al. 2023). I tillegg fortsetter utsett av rogn med opphav i genbanken.

Innsig og antall gytefisk er godt egnet for å vurdere bestandens produksjonsevne og potensialet for høstbart overskudd, men beskriver ikke nødvendigvis bestandens evne til å opprettholde genetisk variasjon. Genetisk variasjon er grunnlaget for bestandens evne til genetisk tilpasning under miljøendringer (Frankham 2005). Bestander taper genetisk variasjon over tid ved tilfeldige svingninger i allelfrekvenser (genetisk drift) og dette går raskere i små bestander enn store bestander. Hvor fort den genetiske variasjonen blir tapt avhenger av antall hunner og hanner som gyter i bestanden og variasjon i antall avkom mellom individene. Effektivt antall gytefisk er et mål som er direkte knyttet til forventet tap av genetisk variasjon (Wright 1931; Luikart et al. 2010) og er derfor et egnet mål for å overvåke bestandsutviklingen og vurdere hvorvidt bestandsstørrelsen er kritisk lav med tanke på å opprettholde genetisk variasjon og egenart. Hvis det er like mange

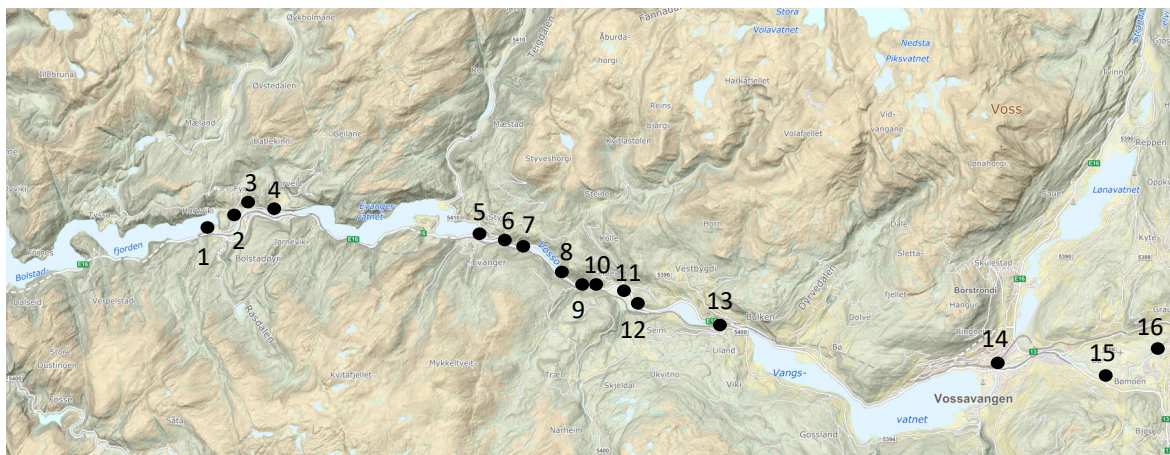
hanner og hunner og alle hunner og hanner i bestanden bidrar til neste generasjonen og variasjonen i antall avkom mellom individene ikke er større enn forventet utfra tilfeldigheter, er effektivt antall gytefisk lik bestandsstørrelsen (Crow & Kimura 1970; Caballero 1994). I naturlige laksebestander forventes det at ikke alle oppvandrende individer får avkom eller at alle får like mange avkom. Effektivt antall gytefisk ligger vanligvis mellom en tredjedel og halvparten av bestandsstørrelsen hos laks (Johnstone et al. 2013; Ferchaud et al. 2016; Wacker et al. 2022; Hagen & Karlsson 2023). Effektivt antall gytefisk kan estimeres utfra slektskap blant avkomgenerasjonen (Jones & Wang 2010; Luikart et al. 2010). Hvis det er et stort effektivt antall gytefisk, forventes det en lav grad av slektskap blant avkom. Ved bruk av genetisk slektskapsanalyse kan effektivt antall gytefisk i foreldregenerasjonen estimeres.

I dette prosjektet har vi sammenstilt eksisterende data på genetisk innkrysning og analysert nye data fra ungfisk (0+, 1+ og 2+) samlet inn i 2020, 2021 og 2022 fra hovedsakelig Bolstadelva og Vosso på strekningen opp til Vangsvatnet i Vossovassdraget. Bolstadelva er den nedre delen av vassdraget fra Bolstadfjorden opp til Evangervatnet, og Vosso er den øvre delen av vassdraget fra Evangervatnet og opp til samløpet mellom Strandaelva og Raundalselva ved Tvildemoen på Voss. Resultatene fra dette prosjektet gir en statusbeskrivelse for innkrysning med rømt oppdrettslaks og effektivt antall gytefisk.

2 Metoder

2.1 Materiale

Datamaterialet i dette prosjektet er oppsummert i **tabell 1** (ungfisk) og i **vedlegg tabell 1** (voksenfisk). Datamaterialet består også av en historisk prøve av voksen laks fra 1977 og 1978 som ble benyttet som en referanse for villaks i Vosso før den ble påvirket av rømt oppdrettslaks. Estimer av innkryssing med rømt oppdrettslaks er relatert til denne. Videre består materialet av stikkprøver av voksen laks fra 1990 til 2023, men vi mangler prøver i tidsperioden 1996-2009. Ungfiskmaterialet fra 2019 til 2022 består av aldersgruppene 0+, 1+ og 2+ og representerer dermed gyteårsklassene 2017 til 2021. Gyteårsklassene 2017 til 2019 ble tidligere undersøkt for innkryssing og effektivt antall gytefisk (Karlsson et al. 2022). I denne undersøkelsen ble ungfiskprøver fra 2021 og 2022 lagt til det bestående materiale, som gir et godt grunnlag for undersøkelse av gyteårsklassene 2018 til 2020. Ungfisken er innsamlet på flere elfiskestasjoner i både Vosso og i Bolstadelva (**figur 1**). Fisken ble fryst i hver sin pose, og fisken ble lengdemålt, otollitter tatt ut for aldersanalyse og skjellprøve tatt for videre genetiske analyser på laboratorium.



Figur 1. Elfiskestasjoner for innsamling av ungfisk (0+, 1+ og 2+) av laks i Vossovassdraget i 2019, 2020 og 2021. Innsamlingene i Bolstadelva ble gjort i Bolstadhølen (st.1), Langahølen (st. 2), Rongahølen (st. 3) og Keilo (st. 4). Innsamlingene i Vosso nedstrøms Vangsvatnet ble gjort i Osen ved Evanger (st. 5), Presthølen (st. 6), Skorve (st. 7), Kvilekvål (st. 8), Blåbrua (st. 9), oppstrøms Blåbrua (st. 10), Tverrelva (st. 11), Hohølen (st. 12) og Flagehølen (st. 13). Innsamlingene i Vosso oppstrøms Vangsvatnet ble gjort på en stasjon ved Langebrua (st. 14) og innsamlingene i Raundalselva ble gjort oppstrøms Palmafossen (st. 15) og ved Bjørke (st. 16).

2.2 Genetiske analyser

DNA ble ekstrahert fra skjellprøver ved bruk av et Qiagen DNeasy®, blood and tissue kit (Qiagen). Totalt 192 (to ganger 96) enkelt-nukleotide-polymorfe-markører (SNPer) ble genotypet på en EP1™ 96.96 Dynamic array IFCs (Fluidigm, San Fransisco, CA.). 170 SNPer i kjerne-DNA ble brukt for slektskapsanalyse (estimering av effektivt antall gytefisk). Åtte SNP-er som viser generelt store forskjeller mellom ørret og laks ble benyttet for å identifisere og luke ut ørret og ørret X laks hybrider.

Genotypingssuksess var lavere enn vanlig for laksunger innsamlet 2021 og 2022 og 157 individer med en genotypingsrate under 80 % ble reanalysert. Individer som etter reanalyse fortsatt hadde en genotypingsrate under 80 % ble luket ut fra undersøkelsen (gyteårsklasse 2019: 16 individer, gyteårsklasse 2020: 4 individer, gyteårsklasse 2021: 36 individer).

2.3 Innkrysning av rømt oppdrettslaks

Genetisk innkrysning ble estimert på grunnlag av 48 SNPer som er diagnostiske for å skille mellom villaks og oppdrettslaks (Karlsson et al. 2011), og med de statistiske metodene utviklet av Karlsson et al. (2014). Denne metoden har blitt brukt i landsdekkende undersøkelser av genetisk innkrysning i norske villaksbestander (Karlsson et al. 2016, Diserud et al. 2023).

For hver fisk estimerer metoden sannsynligheten for å tilhøre villfisk ($P(vill)$) versus oppdrettsfisk (Karlsson et al. 2014). Referansegrunnlaget for villfisk består av historiske (ikke oppdrettspåvirkete) prøver. Deretter blir graden av genetisk innkrysning i den undersøkte bestanden estimert ved å sammenlikne fordeling av sannsynligheten for å tilhøre villfisk med tilsvarende fordeling i en historisk referanseprøve (Karlsson et al. 2014). Vi testet om estimert genetisk innkrysning var signifikant større enn null (Karlsson et al. 2016). For voksen laks ble analysene av innkrysning delt opp i tidsperiodene 1990 – 1995, 2010 – 2013, 2015 – 2023 og 2018 – 2023. I forrige analyse av innkrysning (Karlsson et al. 2022) ble det vist en økt grad av innkrysning i laks klassifisert som utsatt smolt i forhold til naturlig produsert laks. Fordi utsatt klekkerismolt har opphav i genbanken er dette overraskende og indikerer at opphavsfisken til genbanken har hatt stor grad av innkrysning som er blitt ført videre til anleggsprodusert smolt. Innsamling av nytt materiale til genbanken siden innsamling på 90-tallet ble gjort i årene 2008-2010 og denne opphavsfisken er analysert i denne rapporten. All stamfisk fanget til genbanken siden genetiske tester ble innført i 2014 har blitt analysert. Imidlertid, stamfiskbeholdningen før 2014 har i begrenset grad blitt undersøkt. Etter 2014 har i tillegg stamfisk innsamlet til lokalt klekkeri som har vært CWT- eller PIT-merket og satt ut som smolt ikke blitt genetisk testet fordi disse hadde opphav i genbanken og derfor ble antatt godkjent med tanke på innkrysning av rømt oppdrettslaks. Disse individene fra perioden 2013-2019 har også blitt analysert i denne rapporten.

2.4 Effektivt antall gytefisk

Effektivt antall gytefisk ble estimert i programmet COLONY (Jones & Wang 2010). Programmet estimerer effektivt antall gytefisk for foreldregenerasjonen utfra andelen halv- og helsøsken blant alle parvise sammenlikninger mellom avkom fanget som ungfisk fra den samme gyteårsklassen. For hver parvis sammenlikning av ungfisk blir slektskap identifisert som enten ubeslektet, halvsøsken eller helsøsken. Halv- og helsøsken ble identifisert i COLONY med en sannsynlighetsmetode som tar hensyn til både sannsynlighet av parvis slektskap og rekonstruksjon av slektskap mellom alle individer. For bestander uten betydelig grad av innavl kan effektivt antall gytefisk N_{eb} estimeres ved bruk av en forenkling av likning (10) i Wang (2009):

$$N_{eb} = \frac{1}{0,25 \times (Hp + 2 \times Fp)}$$

Der Hp og Fp er henholdsvis andel halvsøskenpar (engelsk: halfsib) og helsøskenpar (engelsk: fullsib) blant alle parvise sammenlikninger mellom ungfisk.

Effektivt antall gytefisk blir underestimert i programmet COLONY ved (i) utilstrekkelig antall prøver (genotyper), (ii) utilstrekkelig antall genetiske markører og (iii) et ikke-representativt prøveutvalg, der søsken er overrepresentert (Wacker et al. 2022). Estimerer av effektivt antall gytefisk i COLONY bør derfor i mange tilfeller anses som minimumsestimater. Effektivt antall gytefisk ble i denne undersøkelsen estimert ved bruk av 170 markører, som begrenser underestimering av effektivt antall gytefisk ved bruk av tilstrekkelig antall prøver (Wacker et al. 2022). Vi undersøkte om antall prøver og prøveutvalget var egnet til å estimere effektivt antall gytefisk uten skjevhet

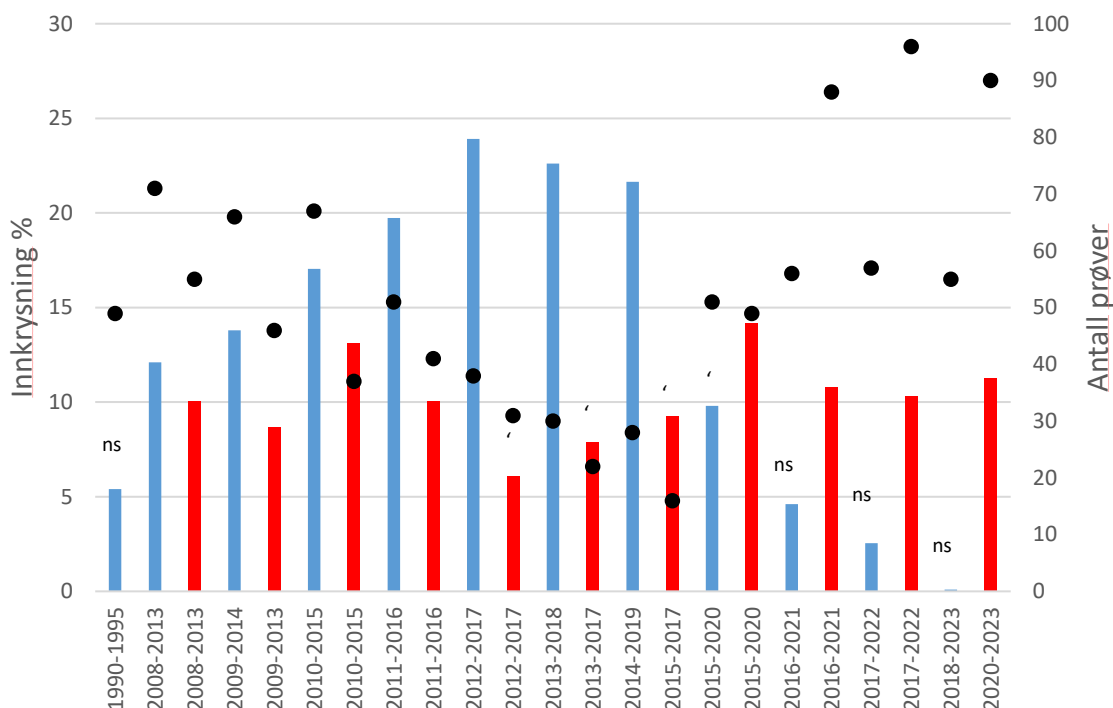
eller om effektivt antall gytefisk ble underestimert, ved bruk av metoder beskrevet i Wacker et al. (2022).

Søsken er generelt overrepresentert blant ungfisk fra samme innsamlingsstasjon, mens forekomst av søsken imellom innsamlingsstasjoner er lavere. Effektivt antall gytefisk estimert på grunnlag av bare parvise sammenlikninger innenfor innsamlingsstasjoner (høy grad av slektskap) er derfor lavere enn effektivt antall gytefisk estimert på grunnlag av bare parvise sammenlikninger mellom innsamlingsstasjoner (lav grad av slektskap). Innsamlingsstasjonene omfatter bare en liten andel av arealet av tilgjengelig gytehabitat i Vossovassdraget (Gabrielsen et al. 2022). Parvise sammenlikninger av slektskap mellom ungfisk innenfor innsamlingsstasjoner er derfor sterkt overrepresentert i det undersøkte materiale. Estimater beregnet ved bruk av parvise sammenlikninger mellom innsamlingsstasjoner forventes derfor å være en god tilnærming til faktisk effektivt antall gytefisk, og bedre enn ved bruk av parvise sammenlikninger mellom alle de innsamlede ungfiskene.

3 Resultater

3.1 Innkrysning av rømt oppdrettslaks i voksen laks

Det var høy grad av genetisk innkrysning av rømt oppdrettslaks i tilbakevandrende voksenfisk (**figur 2**). Graden av genetisk innkrysning i laks karakterisert som villaks, viser en klar nedadgående trend de siste årene. I henhold til Diserud et al. (2023), definerer vi en lakse-generasjon til seks år. For å fremstille utviklingen i innkrysning har vi valgt å slå sammen stikkprøvene i seksårsperioder og estimert glidende gjennomsnitt over hele perioden og delt opp stikkprøvene i villaks og utsatt laks (**figur 2**). Laks karakterisert som villaks kan være både naturlig produsert eller satt ut som rogn eller yngel. I stor kontrast til laksen karakterisert som villaks viser laksen satt ut som smolt en vedvarende høy grad av innkrysning i perioden (**figur 2**).



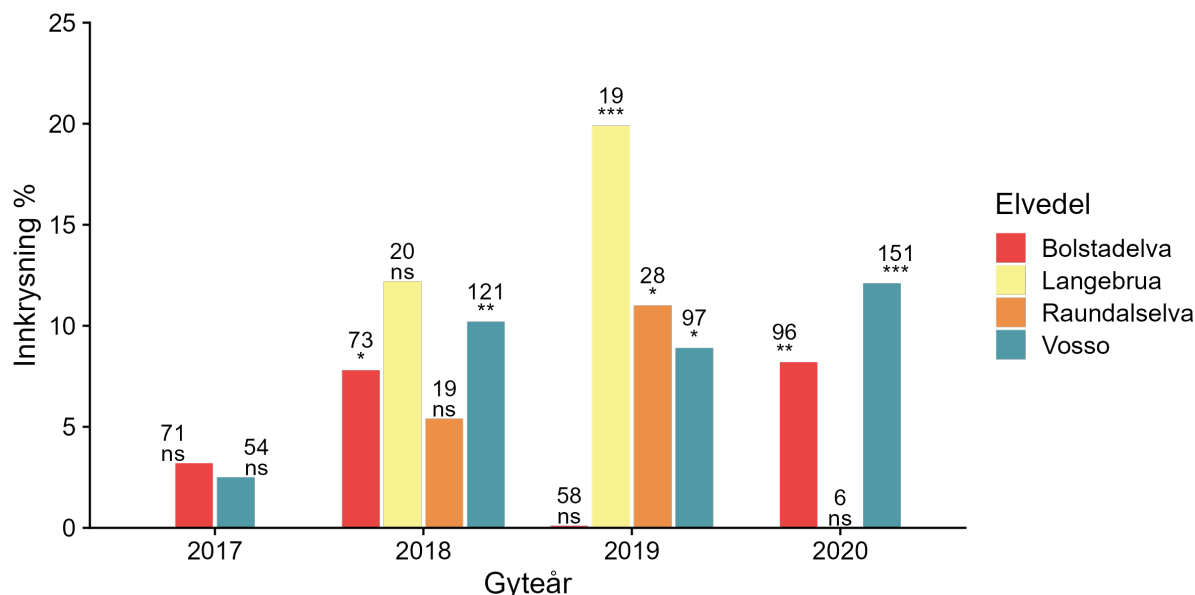
Figur 2. Estimert grad av innkrysning (%) av rømt oppdrettslaks i voksen laks fanget i Vossovassdraget, presentert som glidende gjennomsnitt der stikkprøver innen en seksårsperiode er slått sammen, tilsvarende én laksegenerasjon. År med manglete stikkprøver medfører at ikke alle seksårsintervaller er komplette. Blå stolper er villaks og røde stolper er utsatt laks. Svarte fylte sirkler er stikkprøvestørrelsen. Alle estimater er signifikant større enn null unntatt de indikert med ns eller de indikert med ‘, der sannsynlighetsgrensen er mellom 0,05 og 0,1.

At det er så høy grad av innkrysning i voksen laks utsatt som smolt er urovekkende fordi denne laksen har opphav i genbanken. Utsetninger av anleggsprodusert smolt i Vossovassdraget ser dermed ut til å ha bidratt til å videreføre innkrysning av rømt oppdrettslaks i bestanden. I 2008 til 2010 ble det samlet inn nytt materiale til genbanken og disse har i stor grad (i tillegg til stamfisk fra 90-tallet) bidratt til utsettingene av anleggsprodusert smolt i de påfølgende årene. All opphavsfisk fra 2008-2010 har nå blitt analysert (52 stk) og estimert grad av innkrysning for 50 av fiskene med vellykket genotyping var 11,0 % og forklarer dermed hvorfor det er høy grad av innkrysning i laksen satt ut som smolt. Det forklarer imidlertid ikke hvorfor det er så lav grad av innkrysning i laksen karakterisert som villaks, som også kan ha foreldre fra genbanken (satt ut som rogn eller yngel), eller være avkom etter utsatt fisk, i tillegg til å være hybrider mellom villaks og rømt oppdrettslaks. Til utsetninger av rogn og yngel har det blitt benyttet både materiale fra

genbanken og villfanget stamfisk. Den villfangede stamfisken som utfra skjellanalyse var karakterisert som villaks har blitt gentestet for oppdrettsopphav siden 2014, men laksen som var CWT- eller PIT-merket og dermed har hatt opphav i genbanken har ikke blitt gentestet. All denne stamfisken fanget i årene 2013-2019 har nå blitt analysert (118 stk) og estimert grad av innkrysning var 12,3 %. Fordi både opphavsmateriale til genbanken og fra lokalt klekkeri (villfanget stamfisk) benyttet til utsetninger av rogn og yngel viste en høy grad av innkrysning er det en forventning om at voksen laks karakterisert som villaks fanget i de siste seks årene skulle ha en tilsvarende høy grad av innkrysning og på nivå med voksen laks satt ut som smolt. **Kapitel 3.2** presenterer høy grad av innkrysning av rømt oppdrettslaks i ungfiskmaterialet, som forventet utfra innkrysningsgraden i voksen laks satt ut som smolt og den store andelen av gytelaks som stammer fra smoltutsett (Barlaup 2022). Når ungfiskmaterialet ble delt opp etter alder innen gyteårsklasse er det imidlertid tydelig at graden av innkrysning blir kraftig redusert med økende alder. Den mest nærliggende forklaringen på hvorfor vi ikke observerer innkrysning i voksen laks karakterisert som villaks i de senere årene er dermed en høy relativ dødelighet på ungfisk med opphav i rømt oppdrettslaks.

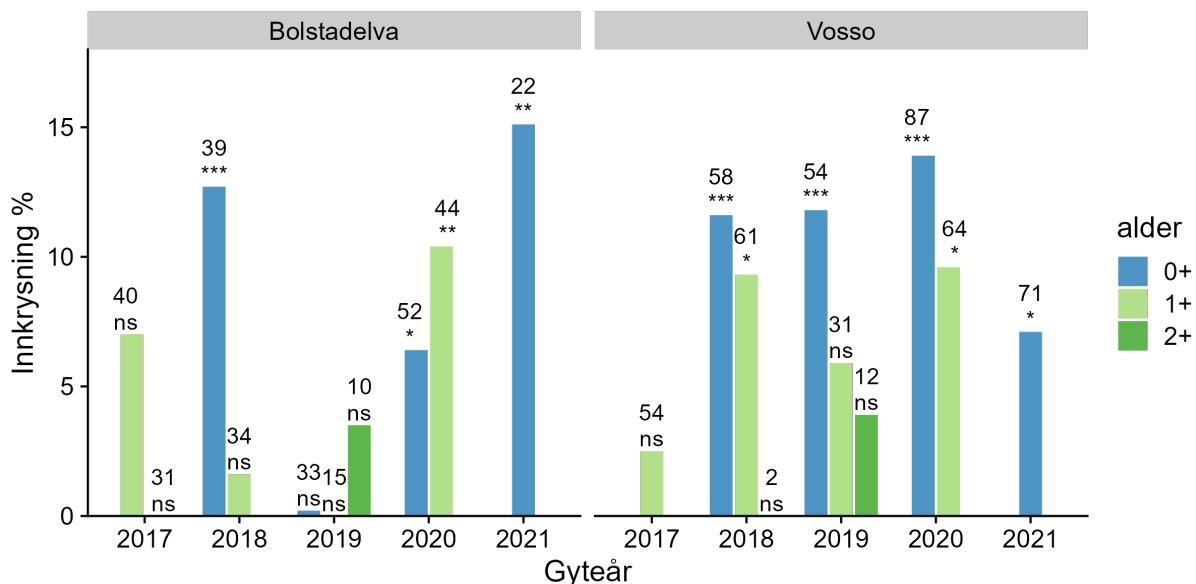
3.2 Innkrysning av rømt oppdrettslaks i ungfisk

Det var høy grad av innkrysning i stikkprøvene av ungfisk fra alle gyteårsklasser unntatt 2017, men også store variasjoner mellom gyteår, alder og de ulike områdene i vassdraget (**figur 3**; **figur 4**). Graden av innkrysning var stabilt høy i ungfisk fra Vosso fra alle undersøkte gyteårsklasser etter 2017 og omkring like høy i ungfisk fra Bolstadelva fra gyteårsklassene 2018 og 2020 (**figur 3**). I ungfisk fra Bolstadelva fra gyteårsklassen 2019 ble det derimot ikke målt innkrysning (**figur 3**). Det ble heller ikke målt signifikant innkrysning i ungfisk fra gyteårsklasse 2018 innsamlet i Langebrua eller Raundalselva, men usikkerheten er stor på grunn av liten stikkprøve (**figur 3**). For gyteårsklassen 2019 ble det målt en høy grad av innkrysning i ungfisk fra Langebrua og Raundalselva (**figur 3**).



Figur 3. Estimert grad av innkrysning (%) av rømt oppdrettslaks i ungfisk av ulik alder gruppert til gyteårsklasse og til hvilken del av Vossovassdraget de ble fanget. Stikkprøver mangler fra Raundalselva for gyteårsklassen 2017 og fra Langebrua for gyteårsklassene 2017 og 2020. * angir en signifikant innkrysning med en P-verdi < 0,05, ** med en P-verdi < 0,01, *** med en P-verdi < 0,001 og ns er ikke signifikant.

Graden av innkrysning ble lavere med høyere alder av ungfisk. I fire av de fem gyteårsklassene med signifikant innkrysning og prøver av ungfisk av ulik alder (Bolstadelva: 2018, 2020; Vosso: 2018, 2019, 2020) ble innkrysning lavere med høyere alder (**figur 4**). Dette tyder på høyere dødelighet i innkrysset ungfisk enn i ungfisk med vilt opphav.



Figur 4. Estimert grad av innkrysning (%) av rømt oppdrettslaks i ungfisk fra Vosso og Bolstadelva gruppert til gyteårsklasse og alder. Tall over stolpene viser stikkprøvestørrelse. * angir en signifikant innkrysning med en P-verdi < 0,05, ** med en P-verdi < 0,01, *** med en P-verdi < 0,001 og ns er ikke signifikant. For noen gyteårsklasser ble innkrysning estimert til 0 %.

3.3 Effektivt antall gytefisk

Effektivt antall gytefisk i gyteårene 2019 og 2020 ble estimert til 63 og 103 i Bolstadelva og til 82 og 131 i Vosso (**figur 5; tabell 1**). Antall ungfiskprøver var ikke tilstrekkelig for å estimere effektivt antall gytefisk i Bolstadelva og Vosso i gyteår 2021 eller for de undersøkte gyteårene for Raundalselva og Langebrua (**figur 5; tabell 1**).

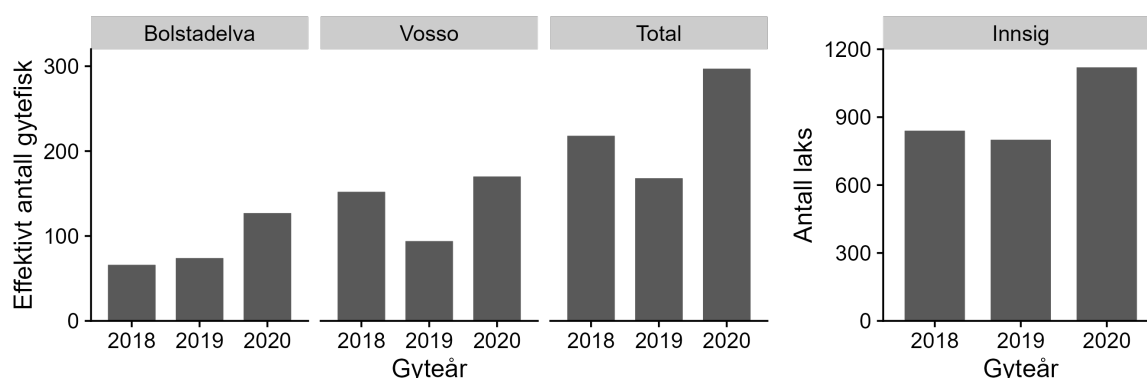
Vi undersøkte om stikkprøvestørrelsen av ungfisk var tilstrekkelig ved å trekke et tilfeldig utvalg av ungfiskprøvene gjentatte ganger og estimere effektivt antall gytefisk fra disse genotypene (Wacker et al. 2022). Resultatene tyder på at antallet prøver var tilstrekkelig for Vosso og Bolstadelva for gyteår 2019 og 2020, men ikke for gyteår 2021 (**vedlegg figur 1, vedlegg figur 2**). Tidligere undersøkelser har vist at antall prøver burde være minst likt effektivt antall gytefisk for å unngå underestimering i programmet COLONY (Jones & Wang 2010; Ackerman et al. 2017; Wacker et al. 2022). For gyteårene 2019 og 2020 var dette tilfelle for Vosso, mens antallet prøver var noe lavere enn estimert effektivt antall gytefisk for Bolstadelva (**tabell 1**). Effektivt antall gytefisk for gyteår 2019 var som forventet større enn estimert tidligere ved bruk av et lavere antall ungfiskprøver (0+ ungfisk; Karlsson et al. 2022).

Familiegrupper av ungfisken var delvis spredd i elva og en betydelig andel søskenpar ble funnet mellom innsamlingsstasjoner (**tabell 1**). Likevel var det større grad av slektenskap innenfor innsamlingsstasjoner enn forventet ved tilfeldig fordeling av søsken i elva (**tabell 1**). Effektivt antall gytefisk beregnet ved bruk av bare parvise sammenlikninger gjort innenfor innsamlingsstasjoner var derfor betydelig lavere enn ved bruk av bare parvise sammenlikninger gjort mellom innsamlingsstasjoner (**tabell 1**).

For å undersøke effekten av antall undersøkte innsamlingsstasjoner på estimatet beregnet vi effektivt antall gytefisk basert på prøver av ulike kombinasjoner av innsamlingsstasjoner. Resultatene viser en økning i estimatet for effektivt antall gytefisk ved bruk av flere innsamlingsstasjoner og dermed en høyere andel av parvise sammenlikninger som blir gjort mellom innsamlingsstasjoner (**vedlegg figur 3, vedlegg figur 4**). Resultatene viser underestimering av effektivt antall gytefisk på grunn av overrepresentasjon av søsken innenfor innsamlingsstasjoner. For Bolstadelva ble bare mellom tre og fire innsamlingsstasjoner undersøkt, som begrenset muligheten for å vurdere effekten av antall innsamlingsstasjoner på estimering av effektivt antall gytefisk.

Effektivt antall gytefisk var betydelig større for gyteår 2020 enn for gyteår 2019 for både Vosso (60 % større) og Bolstadelva (63 % større) (**figur 5, tabell 1**). Også estimert innsig til Vossovassdraget var større (ca. 40 %) i 2020 (ca. 1400 laks) enn i 2019 (ca. 1000 laks; Barlaup 2022). Estimert vekt hunnlaks til Vossovassdraget var ca. 100 % større i 2020 (ca. 2400 kg hunnlaks) enn i 2019 (ca. 1200 kg hunnlaks; Barlaup 2022). Det var større usikkerhet i estimatet av effektivt antall gytefisk for Vosso for gyteår 2021, men i likhet med estimert innsig (ca. 1200 laks; Barlaup 2022) og vekt hunnlaks (ca. 1700 kg hunnlaks) ligger estimatet imellom estimatene for gyteårene 2019 og 2020 (**tabell 1**).

Effektivt antall gytefisk ble ikke estimert for områdene ovenfor Vangsvatnet, der ca. 20 % av gytearealet til Vossovassdraget ligger (Gabrielsen et al. 2022). Innsiget til Bolstadelva og Vosso estimert som 80 % av det totale innsiget til Vossovassdraget var 840, 800 og 1120 laks for gyteår 2018, 2019 og 2020 (**figur 5**). Effektivt antall gytefisk oppsummert for Bolstadelva og Vosso (bare parvise sammenlikninger gjort mellom innsamlingsstasjoner) i forhold til innsiget for gyteårene 2018, 2019 og 2020, var på henholdsvis 26 %, 21 % og 27 % (**tabell 1; figur 5**).



Figur 5. Effektivt antall gytefisk for Bolstadelva, Vosso og de to elvedelene sammenlagt («Total») og antall gytefisk («Innsig») for Bolstadelva og Vosso sammenlagt for gyteårene 2018 (Barlaup 2022), 2019 og 2020 (denne undersøkelsen). Innsiget til de to undersøkte elvedelene sammenlagt er estimert ved å korrigere innsiget til hele Vossovassdraget (Barlaup 2022) for at 20 % av gytehabitatet ligger ovenfor Vangsvatnet.

Helsøskenpar ble nesten utelukkende funnet innenfor samme elvedel (gyteår 2019: 19 av 19; gyteår 2020: 41 av 43). Det er lite usikkerhet i genetisk tilordning av helsøsken ved den brukte metoden og resultatet tyder på ubetydelig forflytning av ungfisk mellom elvedelene. Av 352 og 472 halvsøskenpar i gyteår 2019 og 2020 ble 277 (79 %) og 382 (81 %) par funnet innenfor samme elvedel. Dette var en betydelig høyere andel enn forventet ved en tilfeldig romlig fordeling av søsken (gyteår 2019: 33 %; gyteår 2020: 50 %). Det forventes noe feiltildordning av halvsøsken, og andelen halvsøskenpar som ble funnet i ulike elvedeler var lavere enn andelen halvsøskenpar som forventes å bli feiltildordnet med den brukte metoden (Wacker et al. 2022).

Resultatene tyder altså på lite gyting av samme fisk i flere elvedeler, og lite forflytning av ungfisk mellom elvedeler. Det er derfor mest hensiktsmessig å beregne effektivt antall gytefisk separat for hver elvedel.

Tabell 1. Effektivt antall gytefisk for Vossovassdraget i gyteårene 2018 (Karlsson et al. 2022) og 2019 - 2021 (denne undersøkelsen) estimert ved bruk av ungfiskprøver (alder 0+, 1+ og 2+) tatt ved ulikt antall innsamlingsstasjoner. Andel søskenpar som ble funnet innenfor stasjoner er vist som forventet ved tilfeldig fordeling og som observert i elva. Effektivt antall gytefisk ble estimert ved bruk av alle prøver (95 % konfidensintervall) og ved bruk av utelukkende parvise sammenlikninger gjort innenfor og mellom innsamlingsstasjoner. Asterisk viser at antallet prøver ble vurdert som ikke tilstrekkelig for estimering av effektivt antall gytefisk.

N					Antall stasjoner	Søskenpar innfor innsamlingsstasjon		Effektivt antall gytefisk		
Total	0+	1+	2+	forventet		observert	Total	Innenfor stasjoner	Mellom stasjoner	
2018										
Bolstadelva	74	39	35	0	5	0,232	0,408	50 (35 – 76)	28	66
Vosso	115 *	54	61	0	6	0,184	0,242	135 (104 – 182)	91	152
Raundalselva	20 *	0	20	0	1	1	1	30 (17 – 59)	--	--
Langebrua	20 *	0	20	0	1	1	1	38 (22 – 84)	--	--
2019										
Bolstadelva	57	32	15	10	4	0,268	0,359	63 (44 – 97)	47	74
Vosso	89	46	31	12	10	0,121	0,222	82 (60 – 115)	43	94
Raundalselva	27 *	18	9	0	2	0,545	0,538	56 (34 – 106)	54	58
Langebrua	17 *	16	0	1	1	1	1	29 (16 – 64)	--	--
2020										
Bolstadelva	95	52	43	0	3	0,332	0,451	103 (75 – 139)	74	127
Vosso	152	88	64	0	6	0,220	0,386	131 (101 – 168)	73	170
2021										
Bolstadelva	22 *	22	0	0	3	0,398	0,750	21 (11 – 44)	11	46
Vosso	71 *	71	0	0	6	0,217	0,436	97 (67 – 139)	48	134
Langebrua	17 *	17	0	0	1	1	1	45 (24 – 110)	--	--

4 Diskusjon

4.1 Innkrysning

Graden av innkrysning av rømt oppdrettslaks i Vosso er høy. Bestanden har tidligere vært kategorisert som i svært dårlig tilstand (Diserud et al. 2020), men ble i den seineste oppdateringen kategorisert som i dårlig tilstand (Diserud et al. 2023). I voksenfisk fra innsamlingsperioden 2018 til 2023 (denne undersøkelsen) ble ingen innkrysning målt i voksen laks klassifisert som villaks. Dette er laks som enten er naturlig produsert, utsatt som rogn, eller satt ut som yngel. Graden av innkrysning i denne voksenfisk-gruppen har dermed minnet drastisk de siste årene. Samtidig var graden av innkrysning i voksenfisk utsatt som smolt gjennomgående høy. Dette har forandret bildet over forskjellen mellom naturlig produsert og utsatt fisk, fra høyere innkrysning i villaks til høyere innkrysning i utsatt fisk. I gyteårene der ingen innkrysning ble målt i villaks var innkrysning likevel høy i ungfisk. Dette kan forklares med høy grad av innkrysning i gytefisk kategorisert som utsatt som smolt (som utgjør en stor andel av innsiget).

Vi har nå analysert opphavsfisken til genbanken samlet inn i perioden 2008 til 2010 og påvist en høy grad av innkrysning. Vi har også analysert stamfisk som ble tatt inn til lokalt klekkeri i årene 2013 til 2019, men som ikke var blitt gentestet fordi disse var CWT- eller PIT-merkede og dermed fra genbanken, og som man derfor vurderte å ha riktig opphav. Fordi disse stamfiskene hadde opphav i genbanken var det ikke overaskende at også disse hadde en høy grad av innkrysning. Genetisk materiale fra genbanken ser dermed ut å ikke ha ført til en reduksjon av oppdretts-innkrysset laks, men isteden bidratt til å opprettholde en høy grad av innkrysning.

Hvorfor vi ikke oppdager innkrysning i voksen laks karakterisert som villaks kan ikke direkte kobles til innkrysningsgraden i genbanken, og ikke til innkrysningsgraden generelt i gytebestanden som er dominert av utsatt fisk. Fordi vi også observerte en høy grad av innkrysning i ungfisken, men en tydelig reduksjon i innkrysning innen gyteårsklasse med økende alder, er den mest nærliggende forklaringen at det er en sterk naturlig seleksjon mot innkrysset fisk i Vossovassdraget og dette kan være med på å forklare hvorfor vi observerer en liten grad av innkrysning i laksen karakterisert som villaks. Seleksjon mot innkrysset ungfisk har også blitt observert i Altaelva (Wacker et al. 2021). Hvorfor det i tidligere år var høy og høyere grad av innkrysning i villaks sammenliknet med utsatt laks kan kanskje forklares med at det var en høyere andel rømt oppdrettslaks i bestanden disse årene (Barlaup et al. 2024) og kanskje også at det i de senere årene med lav generell overlevelse har vært en ekstra sterk naturlig seleksjon mot innkrysset fisk. Videre analyser av prøver fra utvandrende smolt og aldersanalyser av voksen laks med mulighet for tilordning til årsklasser vil kunne bidra til å forstå denne dynamikken.

Etter at utsettinger av anleggsprodusert smolt ble avsluttet i 2020 har det totale innsiget av laks til Vossovassdraget blitt redusert og den naturlige produksjonen ser ikke ut å ha tatt seg opp (Barlaup et al. 2024). Innkrysning av rømt oppdrettslaks ser ut å kunne spille en viktig rolle ved å redusere den naturlige smoltproduksjonen og dermed være en viktig medvirkende årsak til den negative utviklingen. Med tanke på den høye graden av innkrysning i anleggsprodusert fisk med opphav i genbanken og den store andelen denne har utgjort i bestanden vurderer vi at avslutningen av dette bidraget var riktig. I tillegg er det også mulig at produksjon og utsett av anleggsprodusert smolt kan ha forsterket graden av innkrysning ytterligere ved at stamfisk med oppdrettsopphav har fått en fordel i anleggsmiljøet, slik som observert i Eira (Hagen et al. 2019). Samtidig vil bestanden også være sårbar for videre innkrysning av rømt oppdrettslaks, som vil kunne utgjøre en stor andel så lenge bestanden er på et lavt nivå (Barlaup et al. 2024).

Resultatene viser delvis stor variasjon i innkrysning mellom elvedelene. Høyest grad av innkrysning ble målt på stasjonen ved Langebrua for gyteår 2019 (også gyteår 2018, men ikke signifikant). Rognplanting og utsetting av ungfisk har primært foregått oppstrøms Vangsvatnet (Langebrua og Raundalselva), på ikke-anadrom strekning og i perioden der utsettinger av laks foregikk har innslag av settefisk vært opptil 43 % for énsomrige (Barlaup 2022). En høy grad av

innkrysning i Langebrua kan derfor skyldes en høy grad av innkrysning i kultivert fisk. Alternativt kan forskjeller i innkrysning mellom elvedeler skyldes vandringsmønster av rømt oppdrettslaks, enten ved tilfeldig variasjon eller på grunn av en tendens for oppdrettslaks til å vandre til de øvre delene av et vassdrag (Moe et al. 2016). Det kan heller ikke utelukkes at laks utsatt som egg eller årsyngel tilbakevandrer til utsettingsområdet, som primært ligger oppstrøms Vangsvatnet, eller at utsatt smolt søker tilbake til klekkeriet som ligger ca 0,7 km oppstrøms Langebrua. En mulig høy grad av innkrysning i gytefisk kategorisert som utsatt fisk kan dermed ha bidratt til en høy grad av innkrysning i Langebrua.

Resultatene viser betydning av at alle elvedeler blir undersøkt for innkrysning for å kunne konkludere på innkrysning i hele Vossovassdraget. Hvis det er store forskjeller i graden av innkrysning mellom elvedeler, kan bidraget til prøvene til et samlet estimat med fordel vektas i forhold til for eksempel smoltproduksjon i de ulike elvedelene. Dette ville gi et bedre estimat for hele vassdraget enn sammenslåing av prøvene hvis antall prøver per elvedel ikke er representativt for smoltproduksjonen.

I denne rapporten viser vi at det er en betydelig grad av innkrysning i opphavsfisken til genbanken og i avkom etter fisk fra genbanken brukt som stamfisk til utsetninger. Utsatt anleggsproduisert smolt har siden 2010 utgjort mellom 65 % og 91 % av laksen fanget i kilenota i Nautoneset (Barlaup et al. 2024) og det er derfor tydelig at den samlede innkrysningen av rømt oppdrettslaks i gytebestanden har vært og er høy. Fra analyser av ungfisk som i all hovedsak er naturlig produsert observerer vi også en høy grad av innkrysning av rømt oppdrettslaks, men også at det er en sterk naturlig seleksjon mot ungfisk med opphav i rømt oppdrettslaks. Innkrysning av rømt oppdrettslaks ser dermed ut å spille en viktig rolle i den sterkt nedadgående trenden i innsig av naturlig produsert laks til Vossovassdraget. Potensialet for smoltproduksjon er betydelig redusert i forhold til antall gytefisk. Det har ikke blitt kvantifisert hvor stor denne effekten i form av redusert smoltproduksjon er. Oppfølgende studier med detaljerte analyser av innkrysning for enkelte gyteårsklasser vil kunne gi verdifull innsikt i hvor stor effekten av innkrysning kan være. Det vil inkludere analyser av utvandrende smolt og tilbakevandrende voksen laks

Siden 2020 har det blitt samlet inn ny opphavsfisk til genbanken og all denne fisken har blitt analysert genetisk for å luke ut fisk med sannsynlig oppdrettsopphav. I tillegg blir nå hele beholdningen av stamfisk i genbanken genetisk analysert både for å luke ut fisk med sannsynlig opphav i rømt oppdrettslaks, men også for at utsatt materiale fra genbanken skal kunne spores genetisk. Fremtidige utsetninger av rogn og yngel fra genbanken vil kun ha opphav i godkjent stamfisk, og ved genetisk foreldretilordning vil vi kunne vurdere tilslaget fra rognplanting og yngelutsett. Samtidig vil det også være viktig å overvåke og ta ut rømt oppdrettslaks.

4.2 Effektivt antall gytefisk

Effektivt antall gytefisk for gyteårene 2018 til 2020 for Bolstadelva og Vosso sammenlagt varierte mellom 168 og 297. Et effektivt antall gytefisk i denne størrelsesorden vurderer vi som tilstrekkelig for å opprettholde bestandens genetiske variasjon og genetiske integritet, og er betydelig høyere enn den foreslåtte kritiske grensen for Vossovassdraget på 100 (Forseth et al. 2023). Dette er i sin tur betydelig høyere enn den foreslåtte grensen for definisjon på en laksebestand på 50 gytefisk (Karlsson et al. 2023). I tillegg er det naturlig rekruttering oppstrøms Vangsvatnet og disse bidrar til at den samlede effektive gytebestanden for Vossovassdraget er noe høyere enn den i Bolstadelva og Vosso. I samsvar med innsiget (Barlaup 2022) var estimatene av effektivt antall gytefisk større for gyteår 2020 enn for gyteår 2019. Resultatet viser at et større innsig kan øke effektivt antall gytefisk i vassdraget. For gyteår 2018 var dog innsiget på omtrent samme nivå som for gyteår 2019, mens effektivt antall gytefisk var noe større for gyteår 2018 enn for gyteår 2019. Ungfiskmateriale for gyteår 2021 besto av bare 0+ ungfisk og antallet prøver med vellykket genotyping var ikke tilstrekkelig for estimering av effektivt antall gytefisk. Estimert innsig av laks til Vossovassdraget var 1200 i 2021, og ut fra dette forventes effektivt antall gytefisk å ligge mellom 168 og 297.

Effektivt antall gytefisk i gyteårene 2018 til 2020 var større i Vosso enn i Bolstadelva. Andel av gytehabitat og andelen smoltproduksjon er betydelig større i Vosso enn i Bolstadelva (Barlaup 2022). Sammenliknet med fordelingen av gytehabitatet og smoltproduksjonen var det mindre forskjell i effektivt antall gytefisk mellom Bolstadelva og Vosso for gyteår 2019 og 2020. Generelt vil mellomårsvarisjon i størrelse på gytebestanden gjelde for hele vassdraget der gytefisken fordeler seg forholdsvis likt mellom år. For gyteår 2018 var dog forskjellen i effektivt antall gytefisk mellom elvedelene større. Resultatet kan tyde på at gytefisken ikke fordeler seg likt, eller har den samme relative gytesuksessen mellom år i Vosso og Bolstadelva.

Forholdet mellom effektivt antall gytefisk og innsiget varierer mye mellom elv og år, men ligger ofte mellom 0,33 og 0,5 (Hagen & Karlsson 2023). Effektivt antall gytefisk for Bolstadelva og Vosso sammenlagt for gyteårene 2018, 2019 og 2020 tilsvarte 21 til 27 % av innsiget (til disse elvedelene). Forholdet mellom effektivt antall gytefisk og innsiget var altså ganske stabilt over tid og lavt i forhold til undersøkelser i andre laksebestander. Resultatene tyder ikke på at dette skyldes underestimering av effektivt antall gytefisk. Et lavt effektivt antall gytefisk relativt til innsiget kan forventes når vekt hunnlaks vesentlig overstiger gytebestandsmålet, siden konkurranse for gytehabitat kan utelukke hunnlaks fra gyting. Gytebestandsmålet ble dog ikke oppnådd for gyteår 2019 og ubetydelig oversteget for gyteår 2020 (Barlaup 2022). Det er ukjent hvordan forholdet mellom effektivt antall gytefisk og innsiget påvirkes av en høy del av gytefisk med klekkeriopp-hav, men utfra den observerte relativt høyere dødeligheten til avkom etter foreldre med opp-drettsopphav er det mulig at dette vil kunne påvirke forholdet mellom antall gytefisk og effektivt antall gytefisk. En studie av akustisk merket laks som vandret tilbake til Vosso viste at laks som stammet fra utsatt smolt vandret gjentatte ganger fram og tilbake mellom Bolstadelva og Bolstadfjorden. Dette var en atferd som ikke ble observert for noen av de merkede villaksene (Nilsen et al. 2023). Selv om det ikke ble funnet noen forskjell i overlevelse mellom de to gruppene ble det påpekt at den avvikende atferden er energikrevende og at dette kan ha negative konsekvenser for gytesuksessen til laksen som stammet fra utsatt smolt.

Effektivt antall gytefisk beregnet i denne undersøkelsen er sammensatt av gytefisk som bidro til produksjon i elva og mulig stamfisk som bidro til kultivert rogn og ungfisk. For gyteåret 2018 ble det plantet 36 000 rogn og 108 800 årsyngel. For gyteåret 2019 ble det ikke plantet rogn, men 47 000 årsyngel. For gyteåret 2020 ble det plantet 140 000 rogn og ingen årsyngel (Barlaup 2022). Utsetting ble primært gjort i Raundalselva, og i perioden der utsetninger av laks foregikk har innslag av settefisk oppstrøms Vangsvatnet vært opptil 43 % for énsomrige. Hvordan dette påvirket effektivt antall gytefisk i Bolstadelva og Vosso er avhengig av tilslag og nedstrøms vandring av kultivert ungfisk.

Effekten av kultivering på effektivt antall gytefisk kan ikke undersøkes i dette materialet fordi det ikke foreligger prøver fra stamfiskforeldrene og ungfisken dermed ikke identifiseres som naturlig produsert eller utsatt. Ungfisk fra Raundalselva og Langebrua ble bare innsamlet i mindre antall og ved én eller to stasjoner. Derfor kan ikke effektivt antall gytefisk undersøkes i området der det meste av utsetningene ble gjort. Vi vurderer det imidlertid som usannsynlig at prøvene fra Bolstadelva og Vosso bestod av nedvandrende kultivert fisk, og også at prøvene fra stasjonene oppstrøms Vangsvatnet ved Langebrua og Raundalselva i liten grad bestod av kultivert fisk. En viktig premiss for å overvåke den naturlige rekrutteringen ved estimerer av effektivt antall gytefisk er at prøvene ikke består av anleggsprodusert fisk. Den mest kostnadseffektive overvåkingen er derfor å fokusere på områdene nedstrøms Vangsvatnet (Bolstadelva og Vosso), som i liten grad kan bestå av kultivert fisk, mens analyser av ungfisk oppstrøms Vangsvatnet, og spesielt i områder med utsetninger vil kreve identifisering og utsortering av ungfisk satt ut som rogn eller yngel.

Undersøkelse av gyteår 2018 (Karlsson et al. 2022) og 2019 til 2021 (denne rapporten) viser at ungfiskprøver er godt egnet for estimering av effektivt antall gytefisk i Vossovassdraget. Antallet ungfiskprøver som behøves for å unngå underestimering av effektivt antall gytefisk ved bruk av 170 SNP-er varierer fra år til år, blant annet avhengig av innsiget, men undersøkelsene tyder på at 150 ungfiskprøver for Vosso, 100 ungfiskprøver for Bolstadelva og 50 ungfiskprøver for

henholdsvis Langebrua og Raundalselva er tilstrekkelig. Antallet innsamlingsstasjoner varierte for Vosso og Bolstadelva mellom gyteårene og det er betydelig enklere å vurdere om effektivt antall gytefisk ble underestimert når prøvene er romlig fordelt på fem eller flere innsamlingsstasjoner. Samtidig blir estimering av effektivt antall gytefisk ved bruk av bare parvise sammenlikninger mellom innsamlingsstasjoner forbedret ved øking av antall innsamlingsstasjoner. Effektivt antall gytefisk i Raundalselva og Langebrua ble estimert ved bruk av én innsamlingsstasjon og kan dermed ikke anses som et estimat for elvedelen. Estimaten kan likevel gi kunnskap om utviklingen av effektivt antall gytefisk over tid hvis prøvene blir tatt ved samme innsamlingsstasjon. Estimaten blir mest sammenliknbare over tid hvis innsamling (antall stasjoner og antall prøver) holdes mest mulig likt. Den relative utviklingen over tid er under disse forhold mindre påvirket av usikkerhet i estimeringen enn absolutt effektivt antall gytefisk for et gitt gyteår.

Siden utsett og slep av anleggsprodusert smolt ble avsluttet i 2020, har strategien for å opprettholde laksebestanden i Vossovassdraget vært en aktiv bruk av genbanken i form av rognplanting og utsett av énsomrig yngel, og å fange og slepe naturlig produsert smolt. Ved analysene i denne rapporten har vi demonstrert en betydelig grad av innkrysning av rømt oppdrettslaks i beholdningen i genbanken, samtidig som vi også har vist en sterk naturlig seleksjon mot innkrysset fisk i ferskvannsfasen. Innkrysning av rømt oppdrettslaks i laksebestanden ser dermed ut til å kunne redusere den naturlige smoltproduksjonen. All stamfisk i genbanken har nå blitt analysert og fisk med sannsynlig opphav i rømt oppdrettslaks blir tatt ut. Fremtidige utsetninger av materiale fra genbanken vil derfor ikke bidra, men være viktig for å motvirke innkrysning av rømt oppdrettslaks i bestanden. En forsterkning av bestanden i form av utsett av unge livsstadier (rogn og yngel), og slep av villsmolt vil være viktig for å reetablere Vossolaksen og bygge opp en bestand med en så høy smoltproduksjon som mulig. Samtidig vil det være viktig med uttak av rømt oppdrettslaks fra elven og fra fjorden.

5 Referanser

- Ackerman, M.W., Hand, B.K., Waples, R.K., Luikart, G., Waples, R.S., Steele, C.A., Garner, B.A., McCane, J. & Campbell, M.R. 2017. Effective number of breeders from sibship reconstruction: empirical evaluations using hatchery steelhead. *Evolutionary Applications* 10(2): 146-160.
- Barlaup, B.T. (red). 2022. Redningsaksjon for Vossolaksen 2010-2020, status per 2021. LFI-rapport nr: 426.
- Barlaup, B.T., Vollset, K.W., Skoglund, H., Normann, E.S., Nilsen, C.I., Isaksen, T.E., Wiers, T. & Landro, Y. 2024. Løypemelding ang. Vossolaksen per mai 2024. NORCE-LFI Notat mai 2024.
- Caballero, A. 1994. Developments in the prediction of effective population size. *Heredity* 73: 657-679.
- Crow, J.F. & Kimura, M. 1970. An introduction to population genetics theory. Harper & Row, New York.
- Diserud, O.H., Hindar, K., Karlsson, S., Glover, K.A. & Skaala, Ø. 2020. Genetisk påvirkning av rømt oppdrettslaks på ville laksebestander – oppdatert status 2020. NINA Rapport 1926. Norsk institutt for naturforskning.
- Diserud, O.H., Hindar, K., Karlsson, S., Glover, K.A. & Skaala, Ø. 2023. Genetisk påvirkning av rømt oppdrettslaks på ville laksebestander – oppdatert status 2023. NINA Rapport 2393. Norsk institutt for naturforskning.
- Ferchaud, A.L., Perrier, C., April, J., Hernandez, C., Dionne, M. & Bernatchez, L. 2016. Making sense of the relationships between N_e , N_b and N_c towards defining conservation thresholds in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Heredity* 117: 268-278.
- Forseth, T., Karlsson, S., Barlaup, B., Skoglund, H., Vollset, K.W. & Pulg, U. 2023. Bevaringsstrategier for Vossolaksen. NINA Prosjektnotat 475. Norsk institutt for naturforskning.
- Frankham, R. 2005. Genetics and extinction. *Biological Conservation* 126(2): 131-140.
- Gabrielsen, S.E., Barlaup, B.T., Skaar, B. & Wiers, T. 2022. I: Barlaup, B.T. (red). 2022. Redningsaksjon for Vossolaksen 2010-2020, status per 2021. NORCE LFI-rapport nr: 426: 110-118.
- Hagen, I.J., Jensen, A.J., Bolstad, G.H., Diserud, O.H., Hindar, K. & Karlsson, S. 2019. Supplementary stocking selects for domesticated genotypes. *Nature Communications* 10:199, <https://doi.org/10.1038/s41467-018-08021-z>.
- Hagen, I.J. & Karlsson, S. 2023. Knowledge gained from evaluating 16 Norwegian stocking programs for Atlantic salmon (*Salmo salar*). NINA Report 2347. Norwegian Institute for Nature Research.
- Johnstone, D.L., O'Connell, M.F., Palstra, F.P. & Ruzzante, D.E. 2013. Mature male parr contribution to the effective size of an anadromous Atlantic salmon (*Salmo salar*) population over 30 years. *Molecular Ecology* 22(9): 2394-2407.
- Jones, O.R. & Wang, J.L. 2010. COLONY: a program for parentage and sibship inference from multilocus genotype data. *Molecular Ecology Resources* 10(3): 551-555.
- Karlsson, S., Moen, T., Lien, S., Glover, K.A. & Hindar, K. 2011. Generic genetic differences between farmed and wild Atlantic salmon identified from a 7K SNP-chip. *Molecular Ecology Resources* 11: 247-253.
- Karlsson, S., Diserud, O.H., Moen, T. & Hindar, K. 2014. A standardized method for quantifying unidirectional genetic introgression. *Ecology and Evolution*, 4: 3256-3263.
- Karlsson, S., Florø-Larsen, B., Balstad, T. & Eriksen, L. B. 2015. Stamlauskontroll 2014. – NINA Rapport 1143. 13 s.
- Karlsson, S., Diserud, O.H., Fiske, P. & Hindar, K. 2016. Widespread genetic introgression of escaped farmed Atlantic salmon in wild salmon populations. *ICES Journal of Marine Science*, 73: 2488-2498.
- Karlsson, S., Barlaup, B.T., Diserud, O.H. & Normann, E.S. 2020. Vossolaksen – genetisk status. NINA Rapport 1907. Norsk institutt for naturforskning.

- Karlsson, S., Wacker, S. & Diserud, O.H. 2022. Genetiske analyser av Vossolaksen. I: Barlaup, B. T. (red). 2022. Redningsaksjon for Vossolaksen 2010-2020, status per 2021. NORCE LFI-rapport nr: 426: 49-61.
- Karlsson, S., Diserud, O.H., Fiske, P., Forseth, T., Hagen, I.J., Hindar, K., Raunsgard, A., Skaala, Ø., Skoglund, H. & Sægrov, H. 2023. Forslag til definisjon av laksebestander. NINA Rapport 2266. Norsk institutt for naturforskning.
- Luikart, G., Ryman, N., Tallmon, D.A., Schwartz, M.K. & Allendorf, F.W. 2010. Estimation of census and effective population sizes: the increasing usefulness of DNA-based approaches. *Conservation Genetics* 11(2): 355-373.
- Moe, K., Næsje, T.F., Haugen, T.O., Ulvan, E.M., Aronsen, T., Sandnes, T. & Thorstad, E.B. 2016. Area use and movement patterns of wild and escaped farmed Atlantic salmon before and during spawning in a large Norwegian river. *Aquaculture Environment Interactions* 8:77-88.
- Nilsen, C.I., Vollset, K.W., Velle, G., Barlaup, B.T., Normann, E.S., Stöger, E. & Lennox, R.J. 2023. Atlantic salmon of wild and hatchery origin have different migration patterns. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 80(4): 690-699. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2022-0120>.
- Wacker, S., Aronsen, T., Karlsson, S., Ugedal, O., Diserud, O.H., Ulvan, E.M., Hindar, K. & Næsje, T. 2021. Selection against individuals from genetic introgression of escaped farmed salmon in a natural population of Atlantic salmon. *Evolutionary Applications*, 14: 1450-1460.
- Wacker, S., Aronsen, T., Hagen, I.J., Karlsson, S., Berntsen, H.H., Skoglund, H., Solem, Ø., Sægrov, H. & Ugedal, O. 2022. Estimering av effektivt antall gytefisk fra stikkprøver av ungfisk av laks. Betydning av genetiske markører, antall prøver og romlig fordeling. HydroCen rapport 28. Norwegian Research Centre for Hydropower Technology.
- Wang, J.L. 2009. A new method for estimating effective population sizes from a single sample of multilocus genotypes. *Molecular Ecology* 18(10): 2148-2164.
- Wright, S. 1931. Evolution in mendelian populations. *Genetics* 16(2): 97-159.

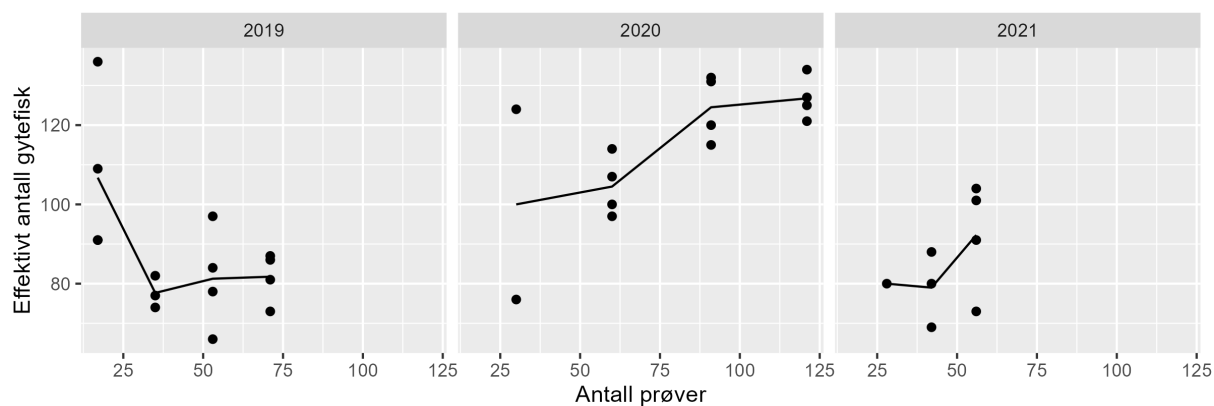
6 Vedlegg

Vedlegg tabell 1. Det samlede datamaterialet av voksen laks og laksunger fra Vossovassdraget analysert genetisk. Innsamlingsår er angitt og gyteår dersom prøvene er aldersbestemt og i kommentar er det angitt hvor eller til hvilket formål prøvene blitt tatt. N er stikkprøvestørrelse, ad/juv angir om det er voksen laks (ad) eller ungfisk (juv) angitt med alder på ungfisken. Utsatt/vill angir om prøver består av laks som ble satt ut som anleggsprodusert smolt (utsatt) eller om stikkprøven består av laks som er naturlig produsert eller satt ut som rogn eller yngel (vill). Innkrysning angir i prosent estimert andel av arvematerialet som har opphav i rømt oppdrettslaks. Neb er estimert effektivt antall gytefisk. Signifikanssannsynlighetene er gitt slik: ns for $p > 0,1$, ' for $0,1 > p > 0,05$, * for $p < 0,05$, ** for $p < 0,01$, og *** for $p < 0,001$. I kommentarfeltet er det for voksen laks angitt om prøver kommer fra sportsfiske, stamfiske, er opphavsfisk tatt inn til genbanken (GB), og for ungfiskprøve er vassdragsavsnitt angitt. Na betyr at estimater ikke foreligger.

Innsamlingsår	Gyteår	N	ad/juv	utsatt/vill	Innkrysning %	Neb	Kommentar
2019	2018	39	0+	vill	12,7 % ***	40 (26-65)	Bolstadelva
2019	2017	40	1+	vill	7,0 % ns	47 (30-78)	Bolstadelva
2019	2018	58	0+	vill	11,6 % ***	64 (43-98)	Vosso
2019	2017	54	1+	vill	2,5 % ns	58 (39-89)	Vosso
2020	2019	33	0+	Vill	0,2 % ns	36 (22-63)	Bolstadelva
2020	2018	34	1+	vill	1,6 % ns	41 (26-69)	Bolstadelva
2020	2017	31	2+	vill	0,0 % ns	53(33-93)	Bolstadelva
2020	2019	19	0+	Vill	15,9 % *	43 (24-99)	Raundalselva
2020	2018	19	1+	vill	5,4 % ns	21 (11-44)	Raundalselva
2020	2019	18	0+	vill	21,0 % ***	30 (16-63)	Langebrua
2020	2018	20	1+	vill	12,2 % ns	35 (20-71)	Langebrua
2020	2019	54	0+	Vill	11,8 %***	44 (27-71)	Vosso
2020	2018	61	1+	Vill	9,3 %*	87 (56-152)	Vosso
2021	2020	52	0+	Vill	6,4 % *	79 (55-120)	Bolstadelva
2021	2019	15	1+	Vill	0,0 % ns	Na	Bolstadelva
2021	2020	6	0+	Vill	0,0 % ns	Na	Raundalselva
2021	2019	9	1+	Vill	0,6 % ns	Na	Raundalselva
2021	2020	87	0+	Vill	13,9 % ***	114 (85-156)	Vosso
2021	2019	31	1+	Vill	5,9 % ns	74 (45-133)	Vosso
2021	2018	2	2+	Vill	0,0 % ns	Na	Vosso
2022	2021	22	0+	Vill	15,1 % **	21 (11-44)	Bolstadelva
2022	2020	44	1+	Vill	10,4 % **	84 (56-136)	Bolstadelva
2022	2019	10	2+	Vill	3,5 % ns	Na	Bolstadelva

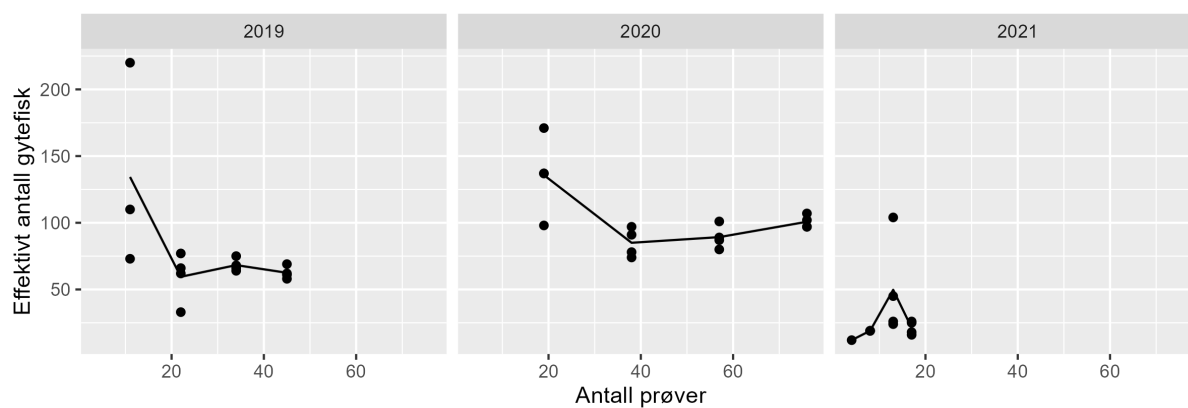
2022	2021	17	0+	Vill	6,5 % ns	Na	Langebrua
2022	2021	71	0+	Vill	7,1 % *	97 (67-139)	Vosso
2022	2020	64	1+	Vill	9,6 % *	96 (69-139)	Vosso
2022	2019	12	2+	Vill	3,9 % ns	Na	Vosso
2019, 2020	2017	71	1+, 2+	Vill	3,2 % ns	69 (48-101)	Bolstadelva
2019,2020,2021	2018	73	0+, 1+	Vill	7,8 % *	50 (35-76)	Bolstadelva
2020,2021,2022	2019	58	0+, 1+, 2+	Vill	0,1 % ns	63 (44-97)	Bolstadelva
2021,2022	2020	96	0+, 1+	Vill	8,2 % **	103 (75-139)	Bolstadelva
2020,2021,2022	2019	19	0+, 1+, 2+	Vill	19,9 % ***	29 (16-64)	Langebrua
2020,2021,2022	2019	28	0+, 1+, 2+	Vill	11,0 % *	56 (34-106)	Raundalselva
2019,2020,2021	2018	121	0+, 1+, 2+	Vill	10,2 % **	135 (104-182)	Vosso
2020,2021,2022	2019	97	0+, 1+, 2+	Vill	8,9 % *	82 (60-115)	Vosso
2021, 2022	2020	151	0+, 1+	Vill	12,1 % ***	131 (101-168)	Vosso

Vosso

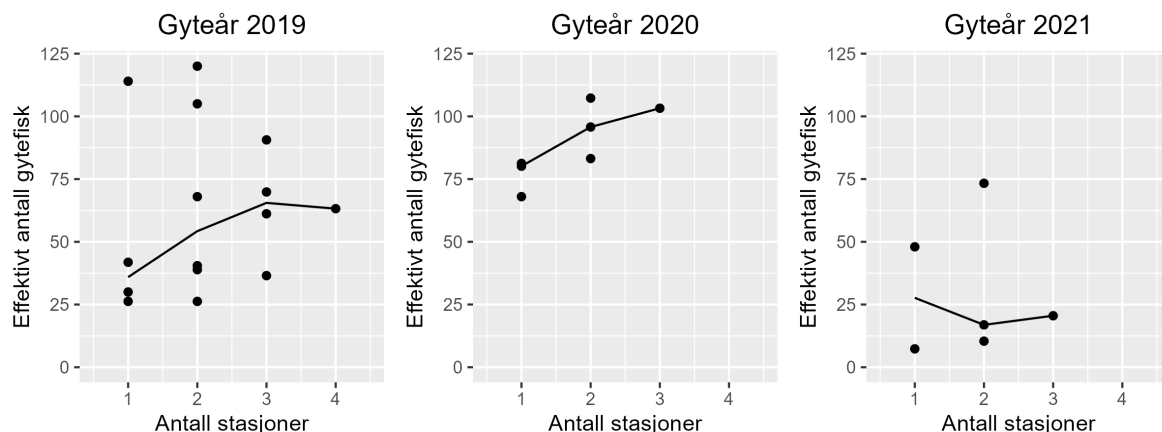


Vedlegg figur 1: Effektivt antall gytefisk estimert for gyteår 2019 til 2021 fra ulikt antall ungfiskprøver fra Vosso. Hver sirkel viser en analyse i programmet COLONY og linjen forbinder gjennomsnitt.

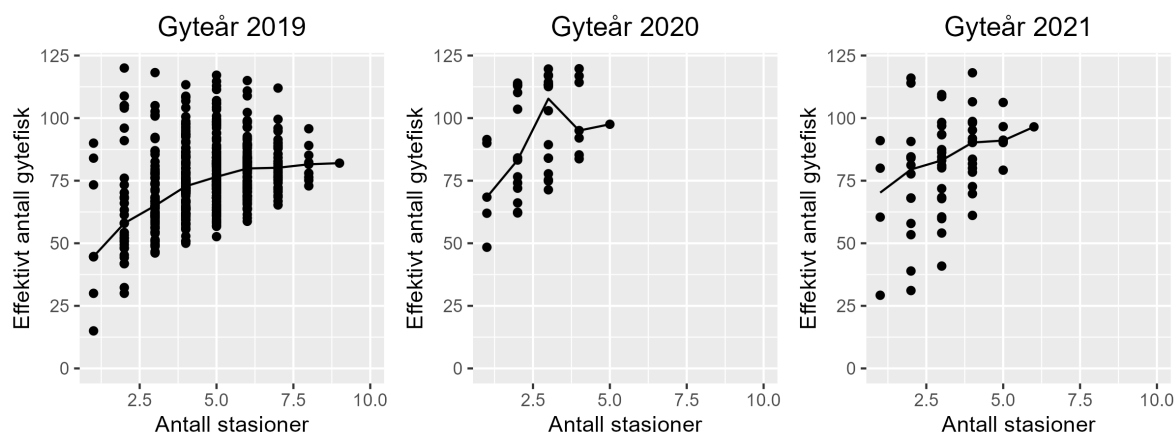
Bolstadelva



Vedlegg figur 2: Effektivt antall gytefisk estimert for gyteår 2019 til 2021 fra ulikt antall ungfiskprøver fra Bolstadelva. Hver sirkel viser en analyse i programmet COLONY og linjen forbinder gjennomsnitt.



Vedlegg figur 3: Effektivt antall gytefisk beregnet fra slektskap blant ungfisk i Bolstadelva. Ungfisk ble innsamlet ved elfiskestasjoner og effektivt antall gytefisk er beregnet ved gjentatt utvalg av prøver fra ulikt antall stasjoner. Dette ble gjort for alle mulige kombinasjoner av et gitt antall innsamlingsstasjoner. Hver svart sirkel viser en kombinasjon av innsamlingsstasjoner og linjen forbinder medianer.



Vedlegg figur 4: Effektivt antall gytefisk beregnet fra slektskap blant ungfisk i Vosso. Ungfisk ble innsamlet ved elfiskestasjoner og effektivt antall gytefisk er beregnet ved gjentatt utvalg av prøver fra ulikt antall stasjoner. Dette ble gjort for alle mulige kombinasjoner av et gitt antall innsamlingsstasjoner. Hver svart sirkel viser en kombinasjon av innsamlingsstasjoner og linjen forbinder medianer.

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: 978-82-426-5309-3

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