

2271

NINA Rapport

## Evaluering av kultivering i Suldalslågen

Ingerid Julie Hagen, Sten Karlsson, Harald Sægrov, Kurt Urdal, Bjørn Bjøru & Håvard Lo



## **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.

# Evaluering av kultivering i Suldalslågen

Ingerid Julie Hagen  
Sten Karlsson  
Harald Sægrov  
Kurt Urdal  
Bjørn Bjøru  
Håvard Lo

Hagen, I.J., Karlsson, S., Sægrov, H. & Urdal, K., Bjørn, B., Lo, H.,  
2023. Evaluering av kultivering i Suldalslågen. NINA Rapport 2271.  
Norsk institutt for naturforskning.

Trondheim, april 2023

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-5068-9

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

KVALITETSSIKRET AV

Kjetil Hindar

ANSVARLIG SIGNATUR

Assisterende forskningssjef Tonje Aronsen (sign.)

OPPDRAGSGIVER(E)/BIDRAGSYTER(E)

Statkraft AS

OPPDRAGSGIVERS REFERANSE

4500372320

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER/BIDRAGSYTER

Eirik Bjørkhaug

FORSIDEBILDE

Suldalslågen © Edvin Vårvik Bakka

NØKKEWORD

Suldalslågen

Laks

*Salmo salar*

Kultivering

Evaluering

Genetikk

Ryman-Laikre effekt

Tilslag

Slektskap

Slektskapsanalyser

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

Hagen, I.J., Karlsson, S. Bjørn, B., Lo, H., Sæggrov, H. & Urdal, K. 2023. Evaluering av kultivering i Suldalslågen. NINA Rapport 2271. Norsk institutt for naturforskning.

Vi har i dette prosjektet evaluert effekten av kultivering av laks i Suldalslågen for gyteårene 2014 og 2015. Videre har vi vurdert om stamfisken representerer gytebestanden slik forvaltningen anbefaler, og vi har benyttet historiske skjellprøver fra 1979 og 1980 til å vurdere genetiske endringer i bestanden over tid.

I Suldalslågen er regulanten pålagt å sette ut 40 000 ettårige smolt årlig, og andel kultivert laks i bestanden har i henhold til fangstrapper ligget på rundt 40 % de siste årene. Til produksjon av smolt har det blitt benyttet i underkant av 30 stamlaks. For 2014 var stamfisken godt utnyttet med et forholdsvis jevnt bidrag fra hver stamfisk, og effektivt antall stamfisk var for dette året høyere enn faktisk antall som ble benyttet i krysninger. For 2015 ble det observert en større variasjon i antall avkom blant stamfisken, og effektivt antall stamfisk for dette året var derfor lavere enn det antallet som ble krysset.

For de evaluerte gyteårene ble det observert en sterk Ryman-Laikre effekt. I forhold til effektiv bestandsstørrelse i den naturlig produserte andelen av bestanden har kultiveringen redusert den totale effektive bestandsstørrelsen med rundt 51 – 65 % for 2014 og 75 – 82 % for 2015. Årsaken til dette er at effektivt antall stamfisk har vært for lavt i forhold til den relativt tallrike gytebestanden og den høye andelen kultivert laks. Analyser av endringer i bestanden over tid tilsier at den effektive bestandsstørrelsen er redusert i forhold til historiske prøver, og det er sannsynlig at kultiveringen har bidratt til denne reduksjonen i effektiv bestandsstørrelse.

I Suldalslågen har stamfisken vært betydelig større enn gjennomsnittsvekten i sportsfisket, basert på offentlige fangstrapper. Dette tilsier at stamfisken ikke har vært et tilfeldig utvalg av gytebestanden. En slik kunstig seleksjon er ikke understøttet av forvaltningens anbefalinger. Det er mulig at selektivt fiske med fredning av store naturlig produserte hunnlaks bidrar til forskjellen i størrelse mellom sportsfiske og stamfisk. Fredning av de største individene og høy beskatning kan føre til at stamfisken hentes ut fra en bestand som allerede har vært gjenstand for størrelsesbetinget seleksjon.

Basert på beregnet innsig og andel fellfinneklippet fisk i fangstene de siste årene er det sannsynlig at laksebestanden i Suldalslågen vil kunne oppnå gytebestandsmålet uten smoltutsettinger. Smoltutsettingenes funksjon blir dermed å øke innsiget av laks til vassdraget og det høstbare overskuddet. Basert på et stort kunnskapsgrunnlag som viser inngripende negative effekter på bestanders genetiske tilpasning og produktivitet anbefaler vi på generelt grunnlag at smoltutsettinger ikke bør praktiseres med mindre sjøoverlevelsen er så lav at bestanden ikke er i stand å opprettholde seg selv. Dersom man velger å fortsette med smoltutsettinger i Suldalslågen bør antall smolt som settes ut reduseres samtidig som at flere stamlaks benyttes i krysninger.

Ingerid Julie Hagen, NINA, Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim;

[ingerid.hagen@nina.no](mailto:ingerid.hagen@nina.no)

Sten Karlsson, NINA; [sten.karlsson@nina.no](mailto:sten.karlsson@nina.no)

Harald Sæggrov, Rådgivende Biologer AS, Edvard Griegs vei 3, 5059 Bergen;

[harald.saeggrov@radgivende-biologer.no](mailto:harald.saeggrov@radgivende-biologer.no)

Kurt Urdal, Rådgivende Biologer AS; [kurt.urdal@radgivende-biologer.no](mailto:kurt.urdal@radgivende-biologer.no)

Bjørn Bjørn, Veterinærinstituttet, Postboks 4024, Angelltrøa, 7457 Trondheim;

[bjorn.bjorn@vetinst.no](mailto:bjorn.bjorn@vetinst.no)

Håvard Lo, Veterinærinstituttet; [havard.lo@vetinst.no](mailto:havard.lo@vetinst.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>
1.1 Behovet for å evaluere kultivering.....	6
1.2 Innkrysning av rømt oppdrettslaks og genetisk integritet.....	7
1.3 Tilstand og historikk i Suldalslågen.....	7
1.4 Kultivering i Suldalslågen.....	10
1.5 Prosjektets delmål.....	10
<b>2 Metode</b> .....	<b>12</b>
2.1 Prøvemateriale og skjell-lesing.....	12
2.2 DNA isolasjon og genotyping.....	12
2.3 Genetisk tilordning av villfanget gytefisk til stamfiskforeldre.....	12
2.4 Beregning av andel kultivert fisk.....	13
2.5 Beregning av effektiv bestandsstørrelse.....	13
2.6 Antall foreldre i vill andel av voksen bestand.....	13
2.7 Vurdering av en Ryman-Laikre effekt som følge av kultivering.....	13
2.8 Endringer i bestanden over tid.....	14
2.8.1 Effektiv bestandsstørrelse.....	14
2.8.2 Mitokondrielle haplotyper.....	14
2.9 Beregning av slektskap i vill og kultivert andel av gytebestanden.....	14
2.10 Stamfiskens vekt i forhold til individer fanget i sportsfisket.....	14
2.11 Innkrysning av rømt oppdrettslaks.....	14
<b>3 Resultater</b> .....	<b>16</b>
3.1 Andel kultivert fisk.....	16
3.2 Genotypesuksess og foreldretilordning.....	16
3.3 Effektivt antall foreldre i stamfisk og vill gytefisk og vurdering av en Ryman-Laikre effekt som følge av kultiveringen i Suldalslågen.....	16
3.4 Endringer i bestanden over tid.....	18
3.4.1 Effektiv bestandsstørrelse basert på koblings-ulikevekt.....	18
3.4.2 Mitokondrielle haplotyper.....	19
3.5 Slektskap i vill og kultivert andel av bestanden.....	20
3.6 Stamfiskens vekt i forhold til sportsfiskefangster.....	20
3.7 Genetisk innkrysning av oppdrettsfisk i Suldalslågen.....	21
<b>4 Diskusjon</b> .....	<b>24</b>
4.1.1 Nedtrapping av kultivering og hva dette kan bety for bestanden.....	26
<b>5 Konklusjoner og anbefalinger</b> .....	<b>27</b>
<b>6 Referanser</b> .....	<b>28</b>

## Forord

NINA ble kontaktet av Statkraft Energi AS høsten 2021 med ønske om at NINA sammen med Rådgivende Biologer og Veterinærinstituttet kunne gjennomføre en evaluering av kultiveringen av laks i Suldalslågen. Evalueringen skulle omfatte gyteårene 2014 og 2015, og benytte genetiske verktøy. Våren 2023 ytret Statkraft Energi AS et ønske om at prosjektet også skulle ta for seg en vurdering av hvordan en eventuell nedtrapping av kultivering vil påvirke produksjonen i Suldalslågen. Prosjektet ble finansiert av Statkraft Energi AS. Vi takker Statkraft Energi AS for oppdraget og vi takker Suldal Kultivering for informasjon og innspill. Vi vil også takke labingeniørene på NINAGEN for DNA ekstraksjon og genotyping.

30 april 2023, Ingerid Julie Hagen



# 1 Innledning

På 1850-tallet ble de første klekkeriene for utsetting av anadrom fisk i flere norske elver etablert (Berg 1986). I oppstarten av kultiveringspraksisen var kunnskapsgrunnlaget begrenset, og klekkeriene hadde få eller ingen føringer for hvordan kultivering burde drives. Etter hvert som kunnskapsgrunnlaget har økt, har også regelverket rundt kultivering blitt mer detaljert. Stamfiskutvalget anbefalte i sin innstilling fra 1988 bruk av stedegen stamme ved kultivering (Anonym 1988). Dette ble i 1992 et lovfestet krav i den nye Lakseloven (<https://lov-data.no/dokument/NL/lov/1992-05-15-47>). I 1995 ble det tilrettelagt for å sende inn skjellprøver til skjellkontroll for å ta ut rømt oppdrettslaks basert på vekstmønstre i skjell, og fra og med 2014 ble det i tillegg til vanlig skjellkontroll vedtatt at all stamlaks skulle testes genetisk for å identifisere og fjerne individer som sannsynligvis ikke har rent villaksopphav (hybrider mellom villaks og oppdrettslaks). Videre har miljømyndighetene på grunnlag av faglige anbefalinger (Anonym 2011) utarbeidet retningslinjer for utsetting av anadrom fisk (Anonym 2014), og det har blitt utarbeidet en veileder for utsetting av fisk for å ivareta genetisk variasjon og integritet (Karlsson et al. 2016a). I 2022 ble det tatt ut stamlaks fra 50 vassdrag i Norge (Karlsson et al. 2023).

## 1.1 Behovet for å evaluere kultivering

Kultiveringstiltak i form av fiskeutsettinger er et betydelig avvik fra naturlige bestandsregulerende prosesser og kan føre til uønskede genetiske og økologiske effekter. Fiskeutsettinger benyttes i dag hovedsakelig som et bevaringstiltak, og retningslinjene fra forvaltningen tilsier at kultivering bør gjøres etter at andre kompensierende tiltak har blitt forsøkt (Anonym 2014). Dersom det er behov for at en bestand kultiveres, er det viktig at effekten av kultiveringen evalueres (Anonym 2011; Karlsson et al. 2016a). Evaluering gir informasjon om tilslag av kultivert fisk og hvordan både tilslaget og antall stamfisk bør tilpasses for å få et best mulig forholdstall mellom antall gytefisk i elven, antall kultiverte foreldre og bidraget fra de enkelte stamfiskene.

Dersom en stor del av gytebestanden har opphav i et begrenset antall stamfisk kan den totale effektive bestandsstørrelsen bli redusert (**figur 1**). Dette kalles Ryman-Laikre effekten (Ryman & Laikre, 1991) og har blitt dokumentert som følge av kultivering i laksebestandene i Eira, Bævra, Årøyelva (Hagen et al. 2021) og Daleelva i Vaksdal (Hagen et al. 2023) og internasjonalt (Christie et al. 2012). For å unngå en Ryman-Laikre effekt er det viktig å tilpasse andelen utsatt fisk i totalbestanden i forhold til effektivt antall stamfisk og effektivt antall vill gytefisk. Et sentralt fokus ved evaluering av kultivering er derfor å tallfeste andel kultivert fisk i bestanden, effektivt antall stamfisk og effektivt antall vill gytefisk, og ut fra dette tilpasse kultiveringen slik at eventuelle negative effekter unngås, og utfallet blir mest mulig positivt for elvebestanden.



**Figur 1.** Illustrasjon over påvirkning på genetisk variasjon dersom et fåtall stamfisk blir opphav til en stor andel av gytebestanden i neste generasjon. Dersom denne praksisen gjentas over flere år vil kultiveringen føre til en utarming av bestandens genetiske variasjon.



Andelen kultivert fisk i gytebestanden har stor betydning for hvor stor genetisk påvirkning kultivering kan ha (Hagen et al. 2021). Dersom tilslaget ved kultivering er stort kan utsetting av klekkeriproduserte individer føre til store endringer i mottakerbestanden, mens effekten vil som regel være liten dersom tilslaget er lite.

For å kunne tilordne villfanget gytefisk til stamfiskforeldre benyttes molekylærgenetiske metoder. En forutsetning for å evaluere kultivering er derfor at det blir samlet inn skjellprøver av all stamfisk, samt stikkprøver av bestanden i elva. Stamlaks kontrollen som ble innført i 2014 har medført at prøver av stamfisken er sikret og at utsatte individer er sporbare til stamlaksforeldre.

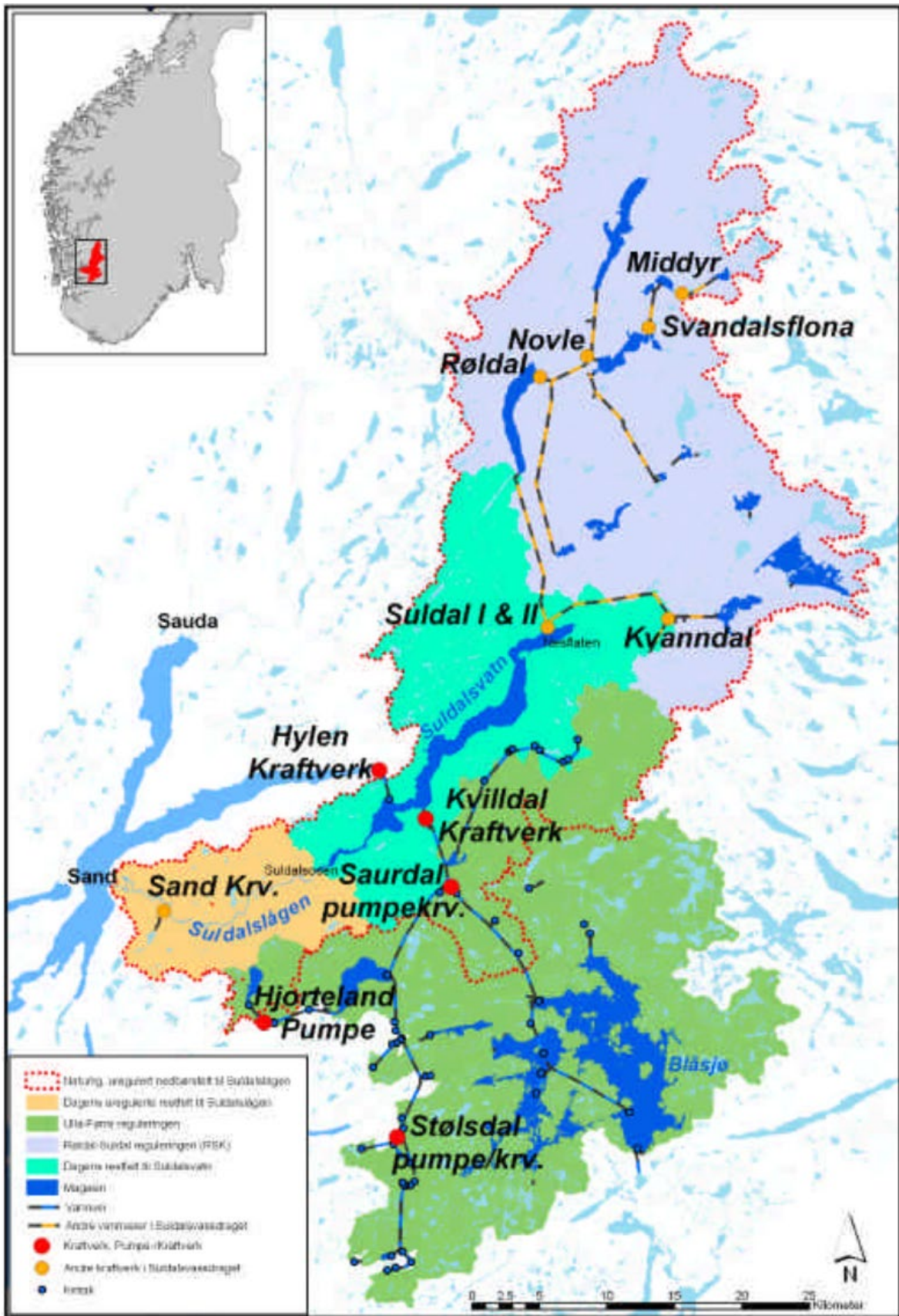
## 1.2 Innkryssning av rømt oppdrettslaks og genetisk integritet

Sterk seleksjon for økonomisk viktige trekk har ført til at oppdrettslaks er mindre tilpasset livet i naturen enn villaks, og innkryssning av oppdrettslaks i ville bestander har derfor negative konsekvenser for villaksen (Glover et al. 2017). Laks født i naturen som har gener som helt eller delvis stammer fra oppdrettslaks har dårligere overlevelse (Wacker et al. 2021) og reproduksjon enn laks med rent villaksopphav. I eksperiment i seminaturlig miljø er det vist at overlevelsen til villaksunger er dårligere når de konkurrerer med hybrider mellom oppdrettslaks og villaks sammenliknet med når det kun er villaksunger til stede (Robertsen et al. 2018). Det er også vist at innkryssning av rømt oppdrettslaks fører til endret vekst og sjøalder i villfisk (Bolstad et al. 2017; 2021). I kunstige miljø har derimot oppdrettslaksen bedre overlevelse, slik at oppdrettslaks og hybrider mellom oppdrettslaks og villaks vil utkonkurrere villaks når de er holdt i oppdrettsmiljø (Solberg et al. 2013). I kultiveringsprogrammet for Eira i Møre og Romsdal hvor det har blitt satt ut ettårig og toårig smolt, er det vist at stamlaks med helt eller delvis opphav i oppdrettslaks fikk flere voksne avkom enn stamlaks med rent villaksopphav. Denne effekten har forsterket graden av innkryssning av oppdrettslaks i elvebestanden og dokumenterer risikoen for utilsiktet seleksjon i kultiveringsanlegg (Hagen et al. 2019). Fra og med 2014 har det blitt gjennomført obligatorisk genetisk stamlaks kontroll for å fjerne stamlaks som sannsynligvis ikke har rent opphav i villaks (Karlsson et al. 2023).

## 1.3 Tilstand og historikk i Suldalslågen

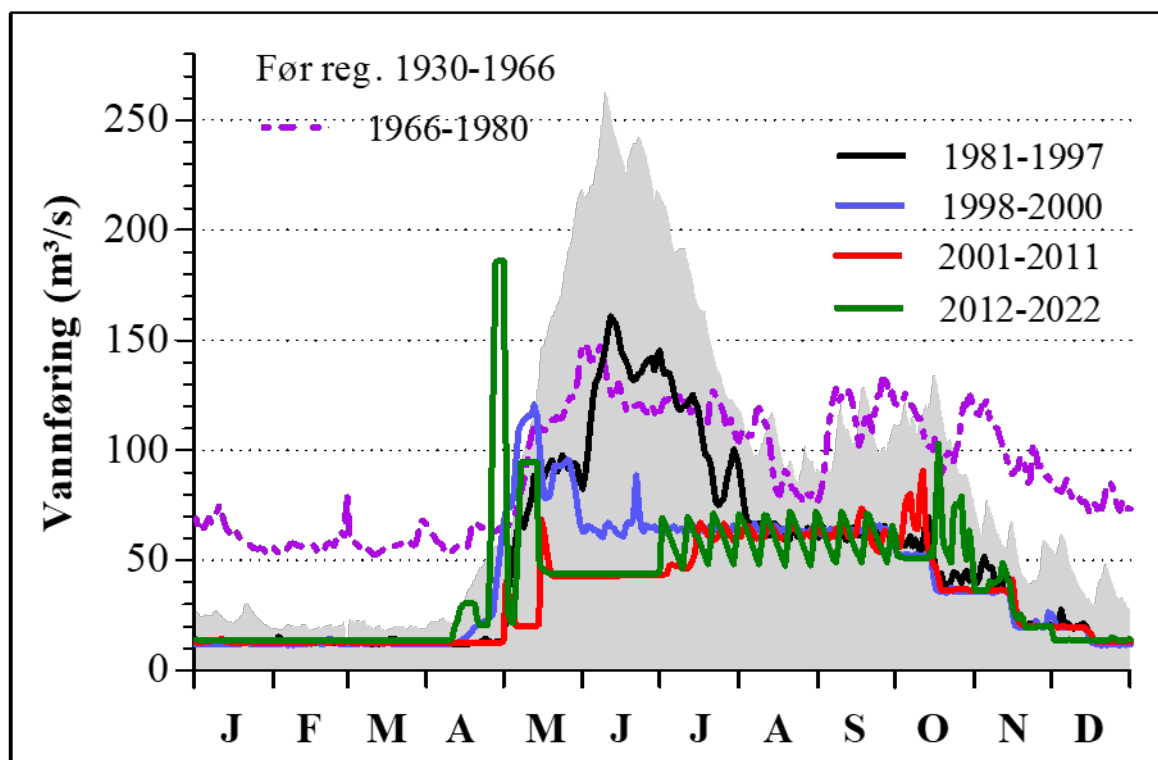
Gytebestandsmålet i Suldalslågen er på 2319 kg hunnfisk. Suldalslågen er sterkt reguleringspåvirket. I henhold til Vitenskapelig råd for lakseforvaltning (VRL) har Suldalslågen god gytebestandsmåloppnåelse og et noe varierende, men i hovedsak tilfredsstillende høstbart overskudd ([Hjem - Vurdering av enkeltbestander \(vitenskapsradet.no\)](#)). Fiskeutsettingene bidrar til det høstbare overskuddet i Suldalslågen. Genetisk integritet i Suldalslågen er vurdert til å være god (Diserud et al. 2020), hvilket betyr at det i liten grad er observert genetiske endringer i bestanden som følge av innkryssning med rømt oppdrettslaks.

Reguleringen av Suldalsvassdraget startet med utbyggingen av Røldalsgreinen i nord-øst i perioden 1965 – 1967. Den nederste kraftstasjonen hadde avløp i nordenden av det 29 km lange Suldalsvatnet og påvirkningene på Suldalslågen ble dempet gjennom Suldalsvatnet. I årene 1979 til 1986 ble Ulla-Førre utbyggingen gjennomført. Ved denne utbyggingen ble det overført vann fra Ulla- og Førrevassdragene og samlet i Blåsjømagasinet. Når dette magasinet er fullt, er overflatearealet 82 km<sup>2</sup> og magasinet kan reguleres 125 meter mellom HRV på kvote 1055 moh. og 930 moh. Blåsjø tappes til Kvilldal kraftstasjon med avløp på sørsiden i nedre del av Suldalsvatnet. Denne kraftstasjonen er den enkeltstasjonen i Norge som produserer mest kraft. Fra den andre siden av Suldalsvatnet tappes vann videre til Hylen kraftverk som har avløp til sjøen innerst i Hylsfjorden (**figur 2**)



**Figur 2:** Kartoversikt over Suldalsvassdraget med reguleringer og kraftsystemer. Kopiert fra Magnell et al. 2004.

Over utløpet av Suldalsvatnet er det bygget dam og vannet øverst i Suldalslågen blir tappet via denne dammen. Tappingen fra Suldalsvatnet er regulert etter et fastsatt mønster hele året. I perioden fra reguleringen startet og frem til 2011 ble det praktisert ulike manøvreringsreglementer, men fra juni 2012 ble det gjort gjeldende et endelig reglement. Vannslippet fra Suldalsvatnet for to perioder med ulike reguleringsreglement og det endelige reglementet er illustrert i **figur 3**. Ved det nåværende reglementet varierer vannslippet om sommeren mellom 40 og 80 m<sup>3</sup>/s etter et fastsatt mønster og gjennomsnittlig slipp er 60 m<sup>3</sup>/s (**figur 3**). Om vinteren, fra 1. desember til 10. april slippes det konstant 12 m<sup>3</sup>/s. Merk at tilsiget fra sideelver langs Suldalslågen bidrar til periodevis betydelig høyere vannføring nederst i elva sammenlignet med øverst ved dammen. Reglementet fra og med juni 2012 omfatter to større såkalte smoltflokker om våren, den første sent i april og den andre mellom 5. og 14. mai. Ved prøvereglementet fra 2001 til 2012 ble det også sluppet smoltflokker, men disse var langt mindre og noe senere. Etter 2012 blir det sluppet to spyleflokker om høsten mens det i den foregående perioden bare var én spyleflok. I forkant av vårflokkene må Suldalsvatnet fylles opp ved tapping fra magasin, og da fortrinnsvis kaldt og næringsfattig bunnvann fra Blåsjø. Disse vannmengdene gjør at vanntemperaturen i Suldalslågen på denne tiden av året er lavere enn sammenlignet med den foregående prøveperioden. Det medfører at lakseyngelen kommer noe senere opp av grusen og at lakseungene vokser senere enn i foregående periode (Skår og Sægrov 2023). Redusert vekst har også medført høyere gjennomsnittlig smoltalder for laksen, mens gjennomsnittlig smoltlengde ikke har endret seg (Gravem 2023). Den omfattende tappingen av bunnvann fra høytliggende magasiner til nedre av Suldalsvatnet gjør at denne delen av vatnet er næringsfattig og biologisk produksjon er lavere i nedre enn i øvre del av vatnet (Sægrov 2014), i de fleste innsjøer er dette omvendt.



**Figur 3.** Gjennomsnittlig døgnvannføring ved Stråpa øverst i Suldalslågen før regulering (grått felt, 1930-1966), i perioden med bare Røldal-Suldal reguleringen (1966-1980) og ved fire forskjellige reguleringsreglementer i perioden 1981-2022.

Vannslippet til Suldalslågen består av de samme vannmassene som i nedre del av Suldalsvatnet og det er sannsynlig at produksjonen av næringsdyr for fisk er redusert sammenlignet med

situasjonen før regulering. De store vårflommene etter 2012 kan ha forsterket denne effekten og sammen med høyere smoltalder medført redusert produksjonspotensiale for laksemolt i Suldalslågen sammenlignet med i perioden 2001 – 2012.

## 1.4 Kultivering i Suldalslågen

Kultivering av laks i Suldalslågen har en historikk som strekker seg tilbake til tidlig 1900-tall (<https://www.vitenskapsradet.no/VurderingAvEnkeltbestander/#/map>), men dokumentasjonen vedrørende antall har vært mangelfull. Fra 1982 er antall utsatte individer godt dokumentert og frem til 2003 ble det satt ut varierende antall av startfåret yngel, énsomrig settefisk og smolt. I perioden 2003 – 2012 ble det utelukkende satt ut ettårig smolt i størrelsesorden 80 000 i året. Fra 2013 ble dette redusert til 40 000 ettårig smolt. Denne utsettingen er et reguleringspålegg som kompensasjon for tapt produksjon i elven. Fangstrapper av voksen laks fra årene 1993 – 2002 tilsier at andel utsatt laks i denne perioden varierte fra 2,7 % til 18,9 % (Saltveit 2003). Fangstrapper og gytefisktellinger med registrering av fettfinne tilsier at andelen utsatt fisk i bestanden ligger på rundt 40 % de siste årene. Tilslaget av utsatt smolt har dermed økt i løpet av de to siste ti-årene. Generelt blir rundt 30 stamfisk benyttet i krysninger.

En tidligere studie av laksebestanden i Suldalslågen (Karlsson 2015) viste at bestanden har endret seg noe over tid, at slektskapet innen den kultiverte andelen av bestanden var høyere enn innen den ville andelen og at effektiv bestandsstørrelse var blitt redusert i forhold til en historisk referanse fra 1979 og 1980.

Denne rapporten omfatter gyteårsklassene 2014 og 2015. Fra stamfisken brukt i 2014 og 2015 ble det satt ut rundt 40 000 ettårig smolt fra hvert gyteår (**tabell 1**). Vi har kvantifisert bidraget fra de til sammen 80 000 utsatte individene og vurdert hvilke effekter utsetting av disse har hatt på laksebestanden i Suldalslågen.

**Tabell 1.** Oversikt over antall stamfisk som ble fanget og antall stamfisk som ble godkjent etter opphavskontroll og antall smolt som ble satt ut. Data er hentet fra Karlsson et al. (2023) og VRL (<https://www.vitenskapsradet.no/VurderingAvEnkeltbestander/#/map>). De evaluerte gyteårene er uthevet.

Utsetting-sår	Stamfisk fanget	Stamfisk til genetisk kontroll	Stamfisk godkjent	Antall utsatt (gyteårsklasse)
2014	34	33	30	40 000 (2012)
2015	60	38	30	40 000 (2013)
<b>2016</b>	<b>54</b>	<b>38</b>	<b>34</b>	<b>40 000 (2014)</b>
<b>2017</b>	<b>49</b>	<b>38</b>	<b>38</b>	<b>40 000 (2015)</b>
2018	63	50	47	40 000 (2016)
2019	68	50	45	40 000 (2017)
2020	67	48	43	40 000 (2018)
2021	64	48	40	40 000 (2019)
2022	50	50	48	40 000 (2020)

## 1.5 Prosjektets delmål

Prosjektet hadde følgende delmål:

1. Vurdere tilslaget av utsatt laks fra gyteårsklassene 2014 og 2015.
2. Vurdere om kultiveringen har medført en Ryman-Laikre effekt og om kultiveringen bidrar til å bevare den genetiske variasjonen og integriteten i bestanden.
3. Vurdere graden av innkrysning fra rømt oppdrettslaks i bestanden og om kultiverte individer er mindre innkrysset enn naturlig produsert laks som følge av stamlakskontrollen.
4. Vurdere om stamfisken representerer gytebestanden i størrelse og alder.

5. Vurdere om bestanden har endret seg genetisk over tid.
6. Beregne slektskap i kultivert og vill andel av bestand, basert på individer som stammer fra gyteårene 2014 og 2015.
7. Gi forslag til eventuelle nødvendige endringer i kultiveringspraksis.



## 2 Metode

### 2.1 Prøvemateriale og skjellanalyser

Vi har benyttet skjellprøver som er samlet inn i løpet av sportsfiskesesongene 2017 – 2022. Alle innsamlede skjellprøver ble analysert for vekstmønstre i skjellene og klassifisert som vill, utsatt smolt eller oppdrettsfisk, i tillegg til at både smoltalder og sjøalder ble bestemt slik at de kunne tilordnes gyteårsklasse. I løpet av disse årene ble det til sammen analysert skjell av 3409 laks, hvorav 228 ble klassifisert som oppdrettslaks, ikke lesbar eller uviss. Blant de resterende var 1993 klassifisert som utsatt smolt og 1188 klassifisert som naturlig produsert. I dette prosjektet har vi studert laks som etter alderslesing på skjell har blitt tilordnet gyteårene 2014 og 2015. Totalt ble 486 individer tilordnet gyteåret 2014 og 439 ble tilordnet gyteåret 2015 etter skjellanalyse. Fra disse ble det tilfeldig valgt ut 205 individer klassifisert som utsatt smolt og 256 individer klassifisert som naturlig produsert til genotyping (**tabell 2**). Dette utvalget utgjør rundt 10 % av innsiget til Suldalslågen, og regnes dermed som en representativ stikkprøve. I tillegg har vi benyttet 59 individer fra fangstårene 1979 og 1980 som en historisk referanse, og stamfisk som ble samlet inn i perioden 2011 – 2022.

**Tabell 2.** Skjellprøver plukket ut til genotyping, sortert etter fangstår (2017 – 2022) og gyteår (2014 – 2015)

Fangstår	Gyteår 2014		Gyteår 2015	
	Ville	Utsatt smolt	Ville	Utsatt smolt
2017	0	8	0	0
2018	23	34	0	13
2019	30	52	3	33
2020	23	7	45	54
2021	22	1	77	2
2022	3	0	30	1
Total	101	102	155	103

### 2.2 DNA isolasjon og genotyping

Arvestoffet (DNA) ble ekstrahert fra skjell ved bruk av Qiagen tissue ekstraksjons-kit, og 96 SNP-markører (Single Nucleotide Polymorphisms) ble genotypet på en Fluidigm SNP genotypingsplattform. Dette er det samme SNP-verktøyet som benyttes til å skille mellom villaks og oppdrettslaks og til å beregne grad av innkrysning med rømt oppdrettslaks (Karlsson et al. 2011). Femten av markørene er lokalisert i det mitokondrielle arvestoffet og 81 av markørene er lokalisert i kjerne-DNA. Blant den sistnevnte gruppen ble 68 brukt til foreldre-avkom tilordning.

### 2.3 Genetisk tilordning av villfanget gytefisk til stamfiskforeldre

De genetiske i markørene i kjerne-DNA nedarves Mendelsk. Dette innebærer at avkom arver ett av to gener fra hver av foreldrene. Ved å analysere et tilstrekkelig høyt antall gener kan vi med tilnærmet 100 % sikkerhet identifisere foreldrene til et individ. I denne analysen brukte vi 68 SNP-markører. Analysen ble utført ved hjelp av et skript i Visual Basic (Thomas Moen, AquaGen AS, upublisert). For å ta høyde for mulige feil i krysningslistene og som en ekstra kvalitetskontroll, ble all stamfisk samlet inn for et gitt gyteår satt som mulige foreldre, uavhengig av oppgitt kjønn. Genetisk tilordning av avkom til stamfiskforeldre ble ytterligere kvalitetssikret ved å sammenlikne mitokondriell haplotype (basert på 15 mitokondrielle SNPer) hos hunnstamfisk med avkom. Prinsippet her er at mødre og avkom er nødt til å ha samme haplotype, da mitokondriet i sin helhet og utelukkende nedarves fra mor til avkom.



## 2.4 Beregning av andel kultivert fisk

I Suldalslågen tilsier fiskereglene at kultivert fisk i større grad enn villaks kan avlives etter fangst. Dette betyr at andel kultivert fisk i skjellmaterialet forventes å være større enn fra en tilfeldig stikkprøve fra gytebestanden. For å beregne andel kultivert fisk har vi isteden benyttet informasjon fra fangstrapporter fra årene 2018 – 2022. I fangstrapporten skal det blant annet angis om fisken var fettfinneklippet og om den ble gjenutsatt. Fangstårene 2018 – 2022 omfatter det meste av laksen som ble produsert i gyteårene 2014 og 2015 (**tabell 2**) og vil dermed i gjennomsnitt reflektere andel kultivert fisk fra disse gyteårene.

## 2.5 Beregning av effektiv bestandsstørrelse

Effektivt antall foreldre er som regel forskjellig og ofte mindre enn det faktiske antall foreldre. Ulikt antall hunn- og hannfisk og en stor forskjell i antall avkom, vil føre til at effektivt antall foreldre blir mindre enn faktisk antall foreldre. Effektivt antall foreldre for kultivert fisk ( $N_{eKultivert}$ ) ble beregnet separat for hanner og hunner for hvert gyteår ut ifra antall tilordnede avkom i henhold til følgende formel (Caballero 1994):

$$N_{eKultivert} = \frac{N\mu - 1}{\mu - 1 + \left(\frac{\sigma^2}{\mu}\right)}$$

$N$  er antall hunn-stamfisk eller hann-stamfisk,  $\mu$  er gjennomsnittlig antall avkom per stamfisk og  $\sigma^2$  er variansen i antall avkom blant stamfiskene. Variansen i antall avkom ble skalert til 2, hvilket tilsvarer gjennomsnittlig antall avkom for å opprettholde en stabil bestandsstørrelse. Ut ifra dette ble totalt effektivt antall stamfisk beregnet i henhold til følgende formel:

$$\text{Total}N_{eKultivert} = \frac{4 (N_{eK} \cdot N_{eH})}{N_{eK} + N_{eH}}$$

## 2.6 Antall foreldre i vill andel av voksen bestand

Det ble gjort gytefisktelling i Suldalslågen i 2014 (Skoglund et al. 2015), og denne gir et relativt nøyaktig tall på antall gytefisk. Ettersom ikke alle individer bidrar likt, kan ikke antall gytefisk observert ved telling benyttes direkte som det effektive antallet foreldre. I laksebestander kan forholdet mellom effektivt antall gytefisk og antall gytefisk i elva variere mye både mellom bestander og mellom forskjellige år innen hver bestand (Ferchaud et al. 2016; Wacker et al. 2022). I evaluering av kultivering bruker vi et forhold mellom effektivt antall gytefisk og gytefisk observert ved tellinger eller beregnet innsig på  $1/3$  til  $1/2$  (Ferchaud et al. 2016; Wacker et al. 2022).

## 2.7 Vurdering av en Ryman-Laikre effekt som følge av kultivering

Dersom en stor andel av gytefisken stammer fra et lite antall stamfisk vil dette føre til at den totale effektive bestandsstørrelsen (som inkluderer bidraget fra stamfisk og bidraget fra vill gytefisk) blir redusert som følge av kultivering. Den totale effektive bestandsstørrelsen med bidrag fra kultivering og den naturlige reproduksjonen ble beregnet med følgende formel (Ryman & Laikre 1991):

$$N_{eTotal} = \frac{1}{\left(\frac{x^2}{N_{eKultivert}}\right) + \frac{(1-x)^2}{N_{eVill}}}$$

$N_{eVill}$  tilsvarer effektiv bestandsstørrelse i den ville bestanden,  $N_{eKultivert}$  er effektivt antall stamfisk og  $x$  er andel kultivert fisk i gytebestanden for hvert gyteår. Beregning av  $N_{eTotal}$  ble gjort separat for hvert gyteår. Dersom  $N_{eTotal}$  er mindre enn effektiv bestandsstørrelse i den naturlig produserte andelen av bestanden ( $N_{eVill}$ ) kan man si at den totale effektive bestandsstørrelsen hadde vært større uten noe bidrag fra utsatt fisk, det vil si at vi ser en Ryman-Laikre effekt.

## 2.8 Endringer i bestanden over tid

### 2.8.1 Effektiv bestandsstørrelse

For å vurdere om den effektive bestandsstørrelsen for totalbestanden har endret seg over tid har vi beregnet effektiv bestandsstørrelse for laksebestanden i Suldalslågen med stikkprøver av bestanden fra tre forskjellige perioder. Tall i parentes er utvalgsstørrelse for hver periode:

- Prøver fra fangstårene 1979 og 1980 (N = 59)
- Stamfisk fra fangstårene 2011 – 2013 (N = 83)
- Stamfisk fra fangstårene 2020 og 2022 (N = 145)

Beregning av effektiv bestandsstørrelse ( $N_e$ ) ble gjort for hver av disse periodene ved hjelp av en metode som baserer seg på koblings-ulikevekt mellom genetiske markører (Hill 1981, Waples 2006) i programmet LDNe (Waples & Do 2008). Vi benyttet 68 SNP-markører og en minste allelfrekvens terskel på 0,05.

### 2.8.2 Mitokondrielle haplotyper

De til sammen 15 mitokondrielle markørene ble benyttet til å studere sammensetningen av mitokondrielle haplotyper i de samme stikkprøvene fra Suldalslågen som skissert ovenfor. Haplotyperikhet som tar hensyn til stikkprøvestørrelse ble regnet ut i EXCEL, i henhold til El Mousadik og Petit (1996) med en minste utvalgsstørrelse på 59 individer.

## 2.9 Beregning av slektskap i vill og kultivert andel av gytebestanden

For å vurdere om slektskapet mellom individer var høyere eller lavere for den kultiverte andelen av bestanden sammenliknet med den ville andelen, analyserte vi slektskapet med programmet COANCESTRY 1.0.1.8 (Wang 2011). Metoden baserer seg på en forventning om «identity by descent», altså at like gener i individer innen samme populasjon skyldes nedarving fra en felles slekting og ikke mutasjon. Enkelt forklart estimeres slektskapet ut fra hvor mange gener som er felles mellom par av individer, vektet med frekvensen av de undersøkte genene i populasjonen. Denne analysen ble utført med kultivert laks fanget i sportsfiskefangster, og sammenliknet med slektskapet blant naturlig produserte individer fanget i sportsfiske. Analysen var begrenset til individer med opphav i gyteårene 2014 og 2015. Individer fra de to gyteårene ble analysert separat. Gjennomsnittlig slektskap til gruppene av kultivert og naturlig produsert laks ble sammenliknet med en bootstrap-analyse med 1000 repetisjoner, der par av individer med tilhørende slektskapsestimat ble tilfeldig plassert i en av to grupper og gjennomsnittlig forskjell mellom gruppene ble estimert for hver repetisjon og til slutt sammenliknet med den observerte forskjellen mellom gruppene. Dersom den observerte forskjellen var utenfor 95 % av de tilfeldig genererte forskjellene anså vi gruppene for å ha signifikant forskjellig gjennomsnittlig slektskap.

## 2.10 Stamfiskens vekt i forhold til individer fanget i sportsfisket

Stamfisken bør i størst mulig grad representere gytebestanden (Anonym 2011; Karlsson et al. 2016a). Dette betyr at stamfisken bør ha tilsvarende alders- og størrelsesfordeling som elvas gytebestand. I dette studiet har vi sammenliknet stamfiskens vekt med vekten blant fisk fanget i sportsfiske, i henhold til Norske Lakseelver sin fangstrapport for Suldalslågen fra 2014 til 2022 (<https://statistikk.skynordic.no/DataTable.aspx?Lokasjon=1&Type=8>). Vi har da antatt at fangstrapportene representerer gytebestanden i elva. For å undersøke om det var en forskjell i vekt mellom de to gruppene utførte vi en tosidig t-test i programvaren R (R Development Team 2018).

## 2.11 Innkryssing av rømt oppdrettslaks

Beregning av genetisk innkryssing av oppdrettslaks ble utført med et sett genetiske markører som er gode til å skille mellom villaks og rømt oppdrettslaks (Karlsson et al. 2011). Genotyper

fra disse markørene ble analysert i henhold til en metode utviklet av Karlsson et al. (2014). I praksis betyr dette at genetisk innkrysning med oppdrettslaks ble vurdert individuelt for hver enkelt fisk og presentert som en  $P(\text{Wild})$ -verdi mellom 0 og 1 i henhold til Karlsson et al. (2014; 2016b). Individuer med rent villaksopphav får generelt høye  $P(\text{Wild})$ -verdier nær 1, mens individer med rent oppdrettsopphav får generelt lave  $P(\text{Wild})$ -verdier nær 0. For å skille ut individer med sannsynlig oppdrettsopphav har vi benyttet en  $P(\text{Wild})$ -grenseverdi på 0,71, som er den samme som brukes som terskelverdi for å godkjenne stamfisk i stamlakskontrollen (Karlsson et al. 2022).

## 3 Resultater

### 3.1 Andel kultivert fisk

Til å beregne andel kultivert fisk benyttet vi gjennomsnitt av andel rapportert fettfinneklippet fisk i fangstrapper fra fangstårene 2018 – 2022. I gjennomsnitt var andel kultivert fisk 40 % basert på fangstrapper (**tabell 3**). Til sammenlikning var andel kultivert fisk rapportert i gytefisktel-linger i gjennomsnitt 52 % (Skoglund et al. 2018 - 2023). I Suldalslågen har det vært observert oppkonsentrering av fettfinneklippet laks på enkelte elvestrekninger, for eksempel i nærheten av klekkeriet. Det er sannsynlig at registrering av fettfinneklipping dermed kan bli noe overestimert under gytefisktellingene. Vi har derfor benyttet andel fettfinneklippet laks (kultivert) som ble regi-strert i fangstrapper.

**Tabell 3.** Antall laks som i henhold til fangstrapper ble fanget i årene 2018 – 2022, og andel av disse som hadde klippet fettfinne (FFK), antall laks observert ved gytefisktelling og andel av disse som hadde klippet fettfinne (FFK). Individuer uten fettfinne er antatt å stamme fra smoltutsettinger fra Suldal Klekkeri.

År	Fangstrapper		Gytefisktel-linger	
	Antall laks fanget	Andel FFK	Antall laks observert	Andel FFK
2018	999	32 %	1251	44 %
2019	2058	42 %	1267	49 %
2020	1668	37 %	845	50 %
2021	2037	40 %	1055	57 %
2022	2330	48 %	1376	62 %
Gjennomsnitt	2023	40 %	1136	52 %

### 3.2 Genotypesuksess og foreldretilordning

Av de til sammen 461 individene fanget i sportsfisket som ut fra aldersanalyse ble tilordnet gyteår 2014 og 2015 og som ble genotypet, fungerte ikke genotypingen for 12 individer. Ni av disse var klassifisert som utsatt smolt. Fire individer ble tilordnet stamfisk brukt i 2016 mens 13 individer klassifisert som utsatt smolt ikke matchet noen stamfiskforeldre. Det er mulig at disse er utsatt smolt og har feilvandret fra andre elver hvor det drives smoltutsett.

### 3.3 Effektivt antall foreldre i stamfisk og vill gytefisk og vurdering av en Ryman-Laikre effekt som følge av kultivering i Suldalslågen

For gyteåret 2014 ble det krysset 28 stamfisk (15 hunner og 13 hanner), og fra disse har det blitt gjenfanget 93 avkom. I gjennomsnitt ble det identifisert 6,2 avkom fra hver hunnfisk (variasjon fra 3-12 avkom hver), mens det i gjennomsnitt ble identifisert 7,15 avkom fra hver hannfisk (variasjon på 3-17 avkom hver). Alle stamfiskene fra 2014 har bidratt til gytebestanden og variasjon i antall avkom per stamfisk var relativt lav. Dette bidrar til at effektivt antall stamfisk i 2014 var høyere enn det antallet som ble benyttet i krysningene, med en  $N_e/N_{\text{stamfisk}}$ -ratio på 1,27. Dette betyr at stamfiskene i 2014 ble godt utnyttet. For gyteåret 2015 ble det krysset 27 stamfisk (14 hunner og 13 hanner), og fra disse har det blitt gjenfanget 89 avkom. I gjennomsnitt ble det identifisert 6,4 avkom fra hver hunnfisk (variasjon fra 0 – 26 avkom hver), mens det i gjennomsnitt ble identifisert 6,9 avkom fra hver hannfisk (variasjon på 0 – 24 avkom hver). Fem stamfisk har ikke bidratt til gytebestanden med registrerte tilbakevendende avkom i stikkprøven. Selv om enkelte stamfisk ikke er representert med avkom i stikkprøven, er det likevel mulig at et fåtall avkom fra disse finnes i gytebestanden. Stikkprøven vi har benyttet er likevel stor nok til at vi med høy sikkerhet kan beregne skjevheten i bidrag mellom de forskjellige stamfiskparene. At noen

stamfisk ikke bidrar (eller bidrar lite), mens andre gir et høyt bidrag fører til at effektivt antall stamfisk blir lavere enn det kunne ha vært dersom alle hadde bidratt likt. Denne variasjonen er årsaken til at det effektive antallet stamfisk for 2015 er lavere enn det antallet som ble benyttet i kryssninger, og lavere enn for 2014 (**tabell 4**).  $N_e/N_{\text{stamfisk}}$ -ratioen for 2015 var 0,61.

Det ble utført gytefisktelling i Suldalslågen i 2014 (Skoglund et al. 2015). Vi har benyttet antall gytefisk observert og antagelsen om at effektivt antall gytefisk i forhold til faktisk antall gytefisk er mellom  $1/3$  og  $1/2$  (se avsnitt 2.6) og representerer usikkerhetsintervallet i effektivt antall vill gytefisk (**tabell 4**).

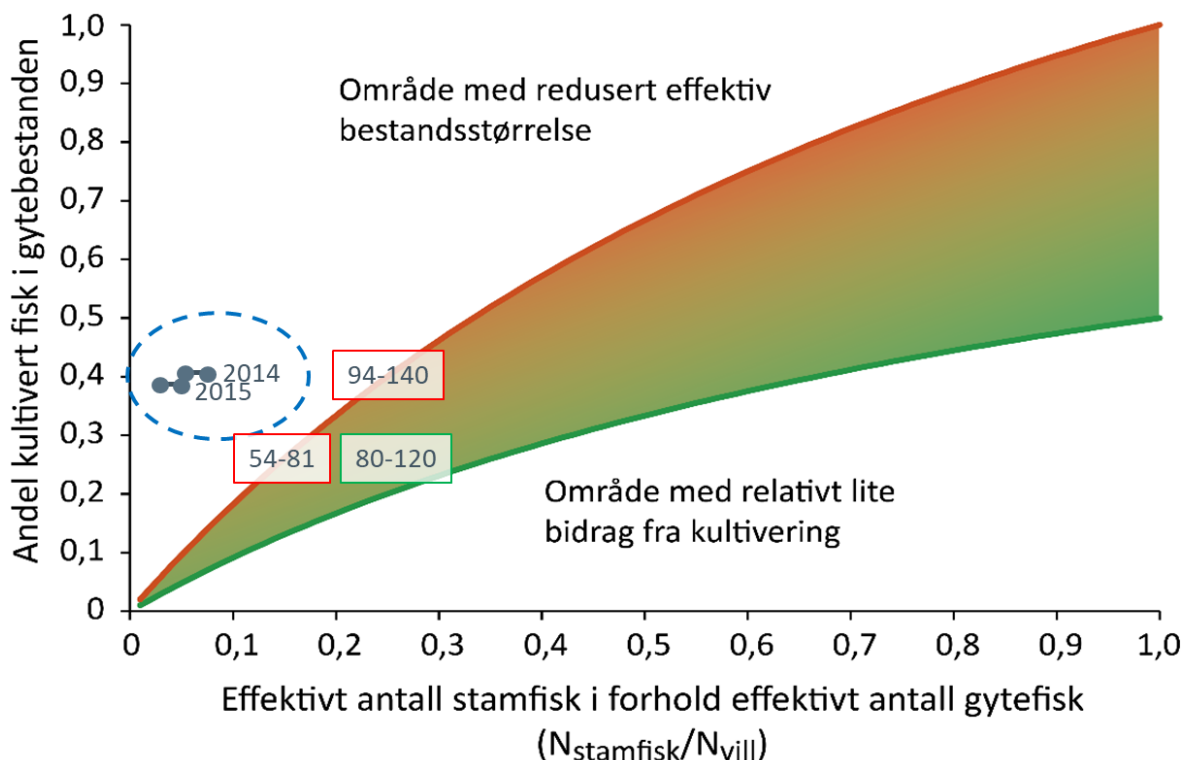
**Tabell 4.** Antall gytefisk observert, effektivt antall vill gytefisk ( $N_{eVill}$ ) med en antagelse om en  $N_e/N$  ratio mellom  $1/3$  og  $1/2$ , effektivt antall gytefisk (stamfisk) for kultivert ( $N_{eKultivert}$ ) andel av bestanden, antall registrerte kultiverte avkom for hvert gyteår, antall registrerte ville avkom for hvert gyteår, antall stamfisk ( $N_{\text{stamfisk}}$ ) som er brukt i kryssninger, forholdstallet mellom effektiv bestandsstørrelse i totalbestanden og vill bestand ( $N_{eTotal}/N_{eVill}$ ) og andel kultivert fisk i for hvert gyteår i Suldalslågen.

Gyte år	Gytefisk	$N_{eVill}$ $1/3-1/2$ gytefisk	$N_{e-}$ Kultivert	Antall kultiverte avkom	Antall ville avkom	$N_{\text{stamfisk}}$	$N_{eTotal}/N_{eVill}$	Andel kultivert
2014	1119	373-560	35,7	93	96	28	0,35-0,49	40 %
2015	>1119*	373-560	16,5	89	154	27	<0,17-0,25	40 %

\*Det ble ikke gjort gytefisktelling i 2015, men innsiget var sannsynligvis større enn i 2014 (VRL).

For både 2014 og 2015 ligger forholdet mellom total effektiv bestandsstørrelse og vill effektiv bestandsstørrelse ( $N_{eTotal}/N_{eVill}$ ) betydelig under 1, hvilket tilsier at kultivering har ført til en reduksjon i den totale effektive bestandsstørrelsen i elven, og dermed en betydelig Ryman-Laikre effekt. Et relativt lite antall stamfisk (effektivt antall på 35,5 og 16,5 for henholdsvis gyteår 2014 og 2015) har produsert 40 % av bestanden, mens et høyere antall ville gytefisk har produsert 60 % av bestanden. Dette betyr at et lite antall stamfisk har produsert uforholdsmessig mange avkom sammenliknet med den ville bestanden. For disse to gyteårene førte kultiveringen til en reduksjon i den totale effektive bestandsstørrelsen på rundt 51 – 65 % for 2014 og 75 – 82 % reduksjon for 2015 (intervallene gjenspeiler usikkerheten i vill effektiv bestandsstørrelse).

I **figur 4** er andel kultivert fisk i bestanden plottet mot  $N_{eStamfisk}/N_{eVill}$  for hvert av gyteårene 2014 og 2015. Usikkerheten i estimatene er indikert som de to ulike punktene for hvert gyteår i henhold til nedre ( $1/3$ ) og øvre ( $1/2$ ) beregning for  $N_{eVill}$  basert på gytefisktellinger. Gyteårene 2014 og 2015 befinner seg inne i det området av figuren hvor kultiveringen kraftig reduserer den effektive bestandsstørrelsen i bestanden. En sannsynlig grad av usikkerhet i tilslag, effektivt antall stamfisk og effektivt antall vill gytefisk er indikert som en stiplet sirkel i figuren. For å unngå en Ryman-Laikre effekt i Suldalslågen ved samme andel kultivert laks (40 %) og tilsvarende gytebestand som i 2014, må effektivt antall stamfisk ligge på 94 – 140 (intervallet gjenspeiler usikkerheten i  $N_{eVill}$ ). Dersom andelen kultivert laks reduseres til 25 %, må effektivt antall stamfisk ligge på 54 – 81 for å unngå en Ryman-Laikre effekt. Ved et scenario på 25 % kultivert laks og tilsvarende gytebestand som i 2014, vil et effektivt antall stamfisk på 80 – 120 føre til at kultiveringen bidrar til en økning i den effektive bestandsstørrelsen i elven.



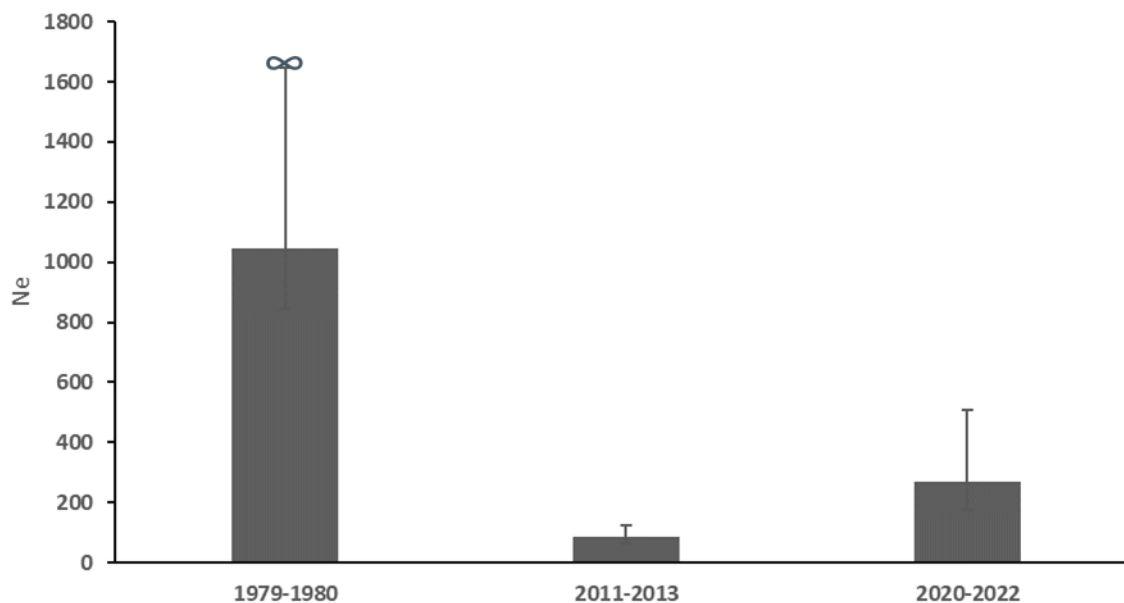
**Figur 4.** Forhold mellom kultivert fisk i gytebestanden (y-aksen) og  $N_{eStamfisk}/N_{eVill}$  (x-aksen) for gyteårene 2014 og 2015 i Suldalslågen. Punktene angir forholdet mellom andel kultivert fisk og  $N_{eStamfisk}/N_{eVill}$  og i forhold til nedre og øvre estimat (angitt ved linjen mellom punktene) for  $N_{eVill}$ . Den stiplede sirkelen illustrerer at det er noe usikkerhet i estimatene. Rød linje angir forhold der totalt effektivt antall gytefisk (bidrag fra naturlig produksjon og fra kultivering) er den samme som bidraget fra kun naturlig produksjon. Grønn linje angir forhold som gir maksimalt effektivt antall gytefisk ved bidrag fra kultivering. Tall i røde bokser indikerer forventede forhold ved henholdsvis effektive antall stamfisk på 94 – 140 ved 40 % tilslag og effektive antall stamfisk på 54 – 81 ved 25 % tilslag, begge tilfeller dersom  $N_{eVill}$  ligger på 373 – 560. Tall i den grønne boksen indikerer at effektivt antall stamfisk på 80 – 120 vil øke den totale effektive bestandsstørrelsen i elva ved 25 % kultivert fisk og  $N_{eVill}$  på 373 – 560.

### 3.4 Endringer i bestanden over tid

#### 3.4.1 Effektiv bestandsstørrelse basert på koblings-ulikevekt

Den effektive bestandsstørrelsen basert på koblings-ulikevekt mellom genetiske markører, var betydelig høyere i den historiske referansen sammenliknet med stikkprøvene fra senere år. Perioden 2011 – 2013 hadde lavest effektiv bestandsstørrelse, før en økning i den siste stikkprøven fra 2020 – 2022 (**figur 5**). Bestanden gikk igjennom en flaskehals på 1990-tallet, og dette har sannsynligvis bidratt til reduksjonen i effektiv bestandsstørrelse, særlig for perioden 2011 – 2013. Det er overveiende sannsynlig at kultiveringen også har bidratt til å ytterligere redusere den effektive bestandsstørrelsen over tid, da kultivering med en påfølgende Ryman-Laikre effekt vil ha forsterket flaskehalseffekten i bestanden.

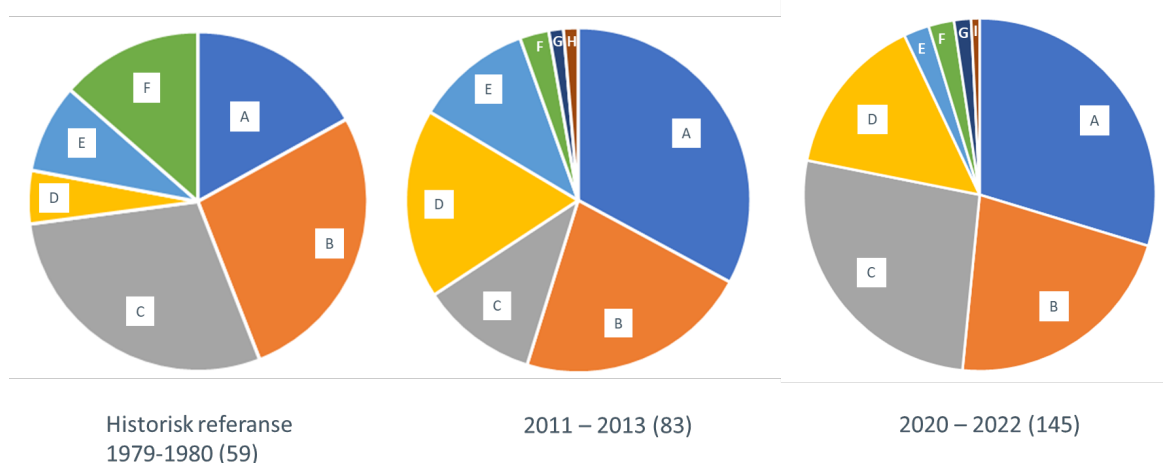




**Figur 5.** Effektiv populasjonsstørrelse ( $N_e$ ) i stikkprøver fra 1979 – 1980 (historisk referanse), 2011 – 2013 og 2020 – 2022, beregnet med koblingsulikevekt-metoden. Stolpene angir estimert  $N_e$  og linjene angir 95 % konfidensintervall for estimatene. For den historiske referansen var øvre 95 % konfidensintervall uendelig.

### 3.4.2 Mitokondrielle haplotyper

Det ble observert et større antall mitokondrielle haplotyper i de to siste studieperiodene (2011 – 2013 og 2020 – 2022) sammenliknet med referansen fra 1979 – 1980. Haplotyperikhet (altså observerte haplotyper i forhold til utvalgsstørrelse) viste en økning fra 6 i de historiske prøvene til 6,71 i prøvene fra 2022 – 2013, og 7,18 i prøvene fra 2020 – 2022. Videre har frekvensen av haplotype E og F blitt lavere i løpet av den siste studieperioden, sammenliknet med stikkprøven fra 2011-2013) (**figur 6**).



**Figur 6.** Mitokondrielle haplotyper i individer fanget i Suldalslågen i tre perioder fra 1979 til 2022. Individene er gruppert etter tidsperiode. For hver gruppe er det angitt (N) hvor mange individer som ble analysert. De forskjellige haplotypene er illustrert med ulike farger og bokstaverer.

### 3.5 Slektskap i vill og kultivert andel av bestanden

Naturlig produserte individer fanget i sportsfisket og som stammer fra gyteårene 2014 og 2015 hadde et innbyrdes lavere slektskap sammenliknet med individer av kultivert opphav fra de samme gyteårene (**tabell 5**). Slektskapsanalyser av stamfisker som ble brukt disse årene tilsier at nært beslektede individer ikke har blitt krysset. Resultatene i **tabell 5** viser at slektskapsanalyser av stamfisker ikke forhindrer et høyt innbyrdes slektskap blant de kultiverte individene, da disse stammer fra et fåtall foreldre.

**Tabell 5.** Gjennomsnittlig slektskap basert på stikkprøver av naturlig produsert (vill) og kultivert andel av bestanden i Suldalslågen fra gyteårene 2014 og 2015. Forskjeller i slektskap der p-verdien er under 0,05 er statistisk signifikante.

Gyteår	Slektskap vill andel	Slektskap kultivert andel	Konfidensnivå
2014	-0,012	0,047	$p < 0,01$
2015	-0,053	0,131	$p < 0,01$

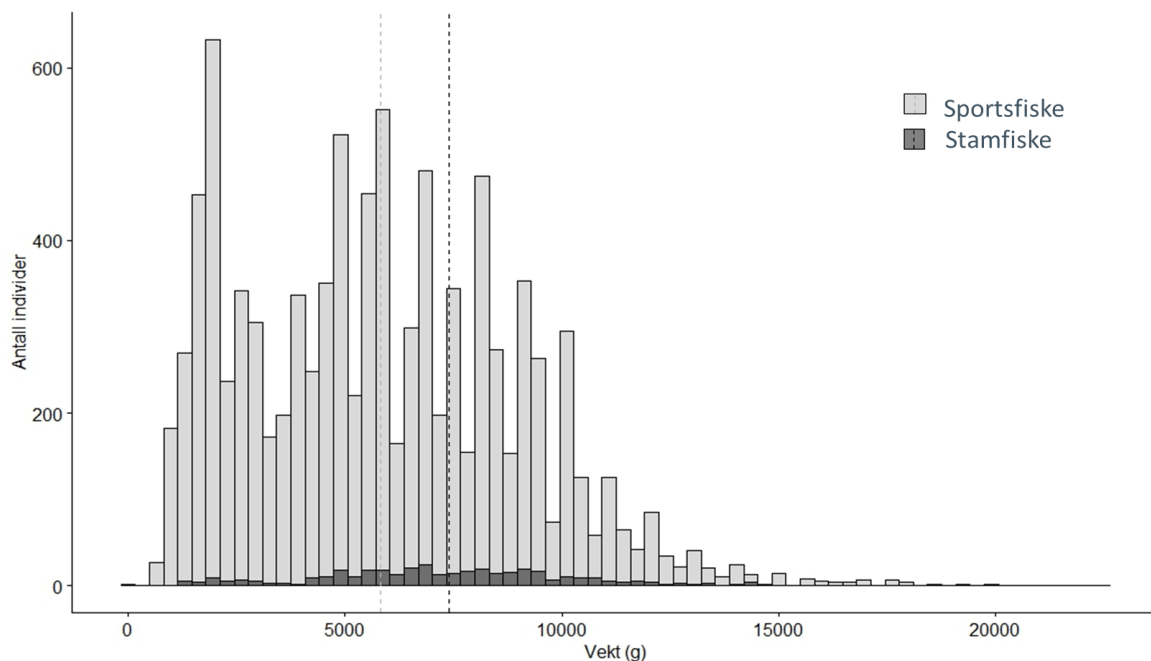
### 3.6 Stamfiskens vekt i forhold til sportsfiskefangster

Stamfiskens vekt ble sammenliknet med vekt for individer fanget i Suldalslågen i løpet av sportsfiskesesongene 2014 – 2022. Stamfisker var i gjennomsnitt 1 584 gram tyngre enn individer fanget under sportsfisket de samme årene (**tabell 6**). Denne forskjellen er statistisk signifikant (tosidig t-test) og tilsier at stamfisker generelt har vært betydelig større enn gjennomsnittet i sportsfiskefangstene. Dette betyr at stamfisker ikke er et tilfeldig utvalg av elvebestanden, men at store individer oftere har blitt valgt ut som stamfisk.

**Tabell 6.** Gjennomsnittlig vekt for stamfisk og individer fanget under sportsfisket i løpet av sesongene 2014 – 2022 i Suldalslågen. En p-verdi under 0,05 tilsier at forskjellene er statistisk signifikante.

	Stamfisk	Sportsfiske	p-verdi
Gjennomsnittlig vekt (g)	7406	5822	$< 0,000$

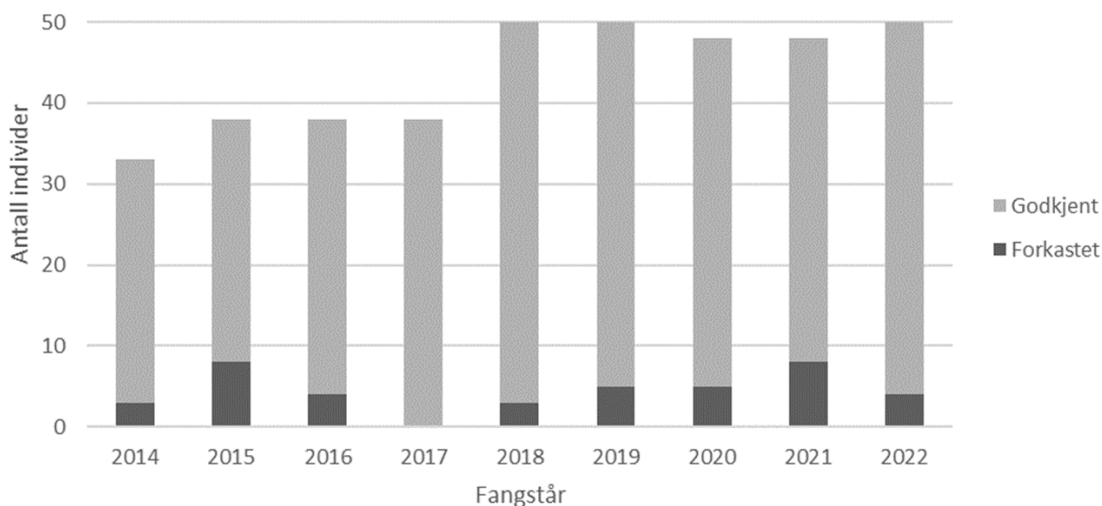
Ved å studere størrelsesfordelingen for individer fanget i sportsfisket og individer fanget som stamfisk (**figur 7**) ser vi at størrelsesfordelingen til stamfisker er forskjøvet i forhold til individer fanget i sportsfiske.



**Figur 7.** Størrelsesfordeling presentert som vekt (g) blant individer fanget i Suldalslågen under sportsfiske og individer fanget som stamfisk i fangstårene 2014 – 2022. De stiplede linjene angir gjennomsnittlig vekt for hver av de to gruppene.

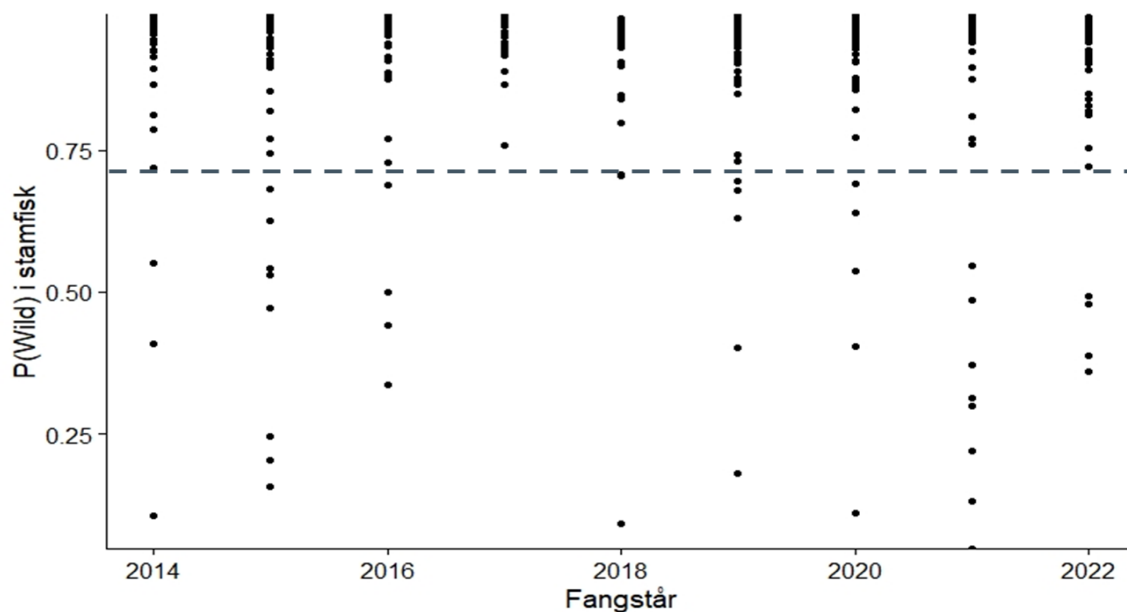
### 3.7 Genetisk innkryssing av oppdrettsfisk i Suldalslågen

Etter at stamlakskontroll ble innført i 2014 har i gjennomsnitt 10 % av laksen som ble sendt til genetisk opphavskontroll blitt forkastet som stamfisk på grunn av innkryssing med rømt oppdrettslaks (**figur 8**).

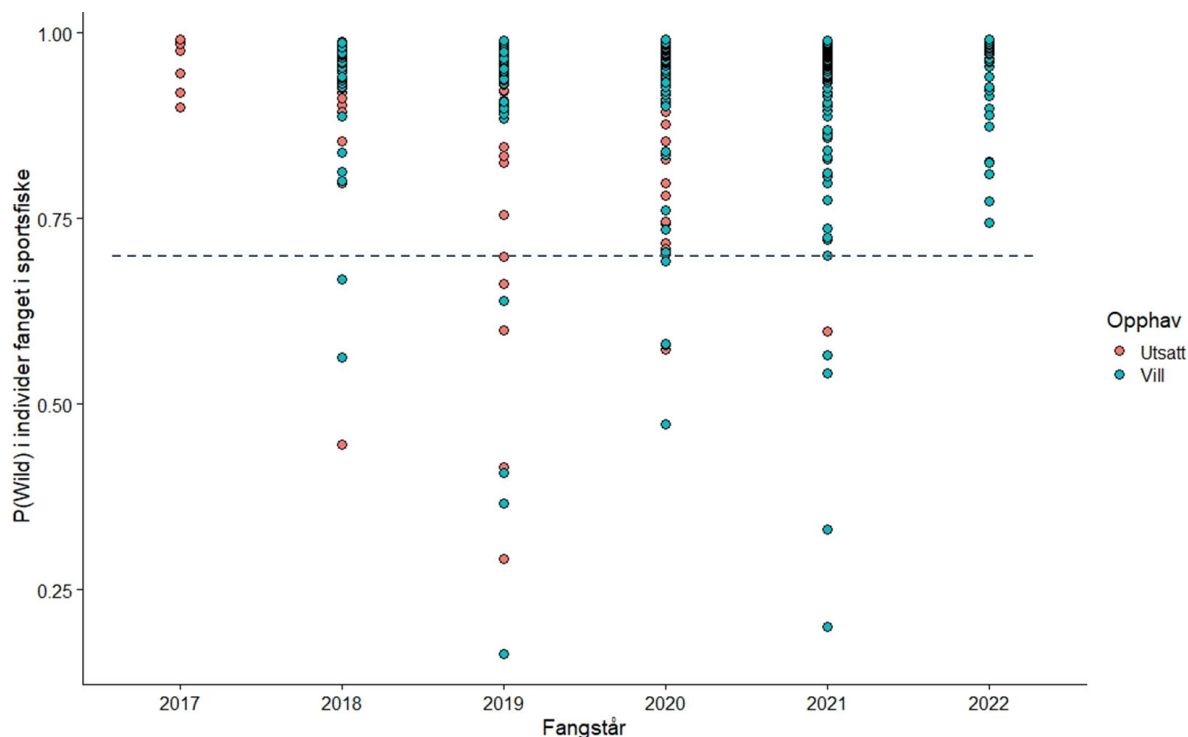


**Figur 8.** Antall stamlaks sendt til genetisk opphavskontroll som ble godkjent eller forkastet fra og med 2014 til 2021 i henhold til stamlakskontrollens kriterier i Suldalslågen.

I **figur 9** er sannsynligheten for rent villaksopphav illustrert for all stamlaks som har vært gjenstand for genetisk opphavskontroll fra 2014 til 2022, og tilsvarende for individer fanget i sportsfisket og som har gyteår 2014 og 2015 i **figur 10**. Sannsynligheten er indikert som en  $P(\text{Wild})$  verdi fra 0 til 1. Individer med en  $P(\text{Wild})$  nær null er sannsynligvis av rent oppdrettsopphav.



**Figur 9.** Sannsynlighet for rent villaksopphav uttrykt som  $P(\text{Wild})$  i alle genotypede individer (både fra stamfiske og sportsfiske) fra fangstårene 2014 – 2022. Den stiplede linjen indikerer  $P(\text{Wild})$  terskelverdi (0,71) for å forkaste stamfisk i henhold til stamfiskkontrollen.



**Figur 10.** Sannsynlighet for rent villaksopphav uttrykt som  $P(\text{Wild})$  i individer som er fanget i sportsfiske 2017 – 2022 og som har gyteår 2014 og 2015. Den stiplede linjen indikerer  $P(\text{Wild})$  terskelverdi (0,71) for å forkaste stamfisk i henhold til stamfiskkontrollen.

At enkelte kultiverte individer får lavere  $P(\text{Wild})$  enn sine godkjente stamfiskforeldre skyldes at  $P(\text{Wild})$ -estimatet er mindre nøyaktig på individnivå enn på bestandsnivå (Karlsson et al. 2014). Det var ingen forskjell i gjennomsnittlig  $P(\text{Wild})$  mellom kultiverte (gjennomsnittlig  $P(\text{Wild})$  på

0.926) og naturlig produserte individer (gjennomsnittlig  $P(\text{Wild})$  på 0.913) som stammer fra gyteårene 2014 og 2015. Dette har sammenheng med at det generelt ikke er observert en betydelig grad av innkrysning med oppdrettslaks i Suldalslågen (Diserud et al. 2020).

## 4 Diskusjon

Vi har i dette prosjektet evaluert effekten av kultivering av laks i Suldalslågen for gyteårene 2014 og 2015. Til evalueringen har vi benyttet skjellprøver fra individer fanget i sportsfiske fra fangst-årene 2017 – 2022, og som ved aldersanalyser ble tilordnet gyteårene 2014 og 2015. Videre har vi brukt stamfisk fra 2014 – 2022 til å vurdere om stamfisken representerer gytebestanden slik forvaltningen anbefaler. Evalueringen omfatter tilslag av kultivert fisk og forholdet mellom effektiv bestandsstørrelse for kultivert andel av bestanden i forhold til vill andel. I tillegg har vi brukt historiske skjellprøver fra 1979 og 1980, og stamfisk fra periodene 2011 – 2013 og 2020 – 2022 til å vurdere genetiske endringer i bestanden over tid.

Den årsklassevise evalueringen omfatter gyteårene 2014 og 2015, men ettersom andel kultivert fisk har vært stabilt høy over mange år, og antall stamfiskpar som har blitt benyttet har vært relativt stabilt i løpet av de siste årene, er det sannsynlig at resultatene i noen grad kan videreføres også til senere gyteår.

Tilslaget av kultivert fisk i Suldalslågen er høyt, og både fangstrapporter og gytefisktelinger tilsier at andelen kultivert fisk har vært rundt 40 – 50 % de senere årene. Dette er betydelig høyere enn på 1990-tallet og begynnelsen på 2000-tallet, da andel kultivert fisk varierte fra 2,7 % til 18,9 % (Saltveit 2003). Effekten av kultivering var derfor trolig langt mindre før 2000, enn det vi har vist for gyteårene 2014 og 2015. Andelen kultivert fisk i bestanden har stor betydning for graden av påvirkning som kultivering kan ha på bestanden (Hagen et al. 2021). Ved høyt tilslag er det svært viktig å sørge for at effektivt antall stamfisk balanseres mot effektivt antall vill gytefisk slik at den totale effektive bestandsstørrelsen opprettholdes (Karlsson et al. 2016a). I Suldalslågen har ikke effektivt antall stamfisk vært tilstrekkelig balansert mot den relativt store gytebestanden og det høye tilslaget. Ved tilsvarende størrelsesorden på gytebestanden i elven (som består av både naturlig produserte og smoltutsatte individer) som i 2014 (altså i overkant av 1000 individer), må effektivt antall stamfisk være minst 94 – 140 for å unngå en Ryman-Laikre effekt. Dersom andel kultivert fisk halveres til rundt 25 % må effektivt antall stamfisk være minst 54 – 120 for å unngå en Ryman-Laikre effekt. Under ellers like forhold (25 % kultivert fisk) vil et effektivt antall stamfisk på 80 - 120 medføre et positivt bidrag til den totale effektive bestandsstørrelsen i elven. Stamfisken i Suldalslågen er generelt godt utnyttet, og for 2014 var effektivt antall stamfisk høyere enn det antallet som var krysset. Dette betyr at bidraget fra de forskjellige stamfiskene dette året sannsynligvis var jevnere enn det som forventes ved naturlig gyting.

Det foreligger etter hvert et stort antall studier som tilsier at utsatt laks - da særlig anleggsprodusert smolt - er dårligere tilpasset enn naturlig produsert laks. Dette er vist for flere arter av stillehavslaks som regnbueørret (*Oncorhynchus mykiss*) (Araki et al. 2007; 2008; 2009), Chinook laks (*O. tshawytscha*) (Williamson et al. 2010) og Coho laks (*O. kisutch*) (Theriault et al. 2011) og for Atlantisk laks på østkysten av Canada (Milot et al. 2013). O'Sullivan et al. (2020) viste tilsvarende effekter med lavere reprodutiv suksess for individer med anleggsbakgrunn i en lrsk bestand av Atlantisk laks, og at økt andel kultivert fisk i bestanden medførte redusert produktivitet. Jonsson et al. (2019) fant tilsvarende resultater basert på en liknende studie i lmsa i Rogaland. Hagen et al. 2019 viste at stamlakshunner som selv var av kultivert opphav (utsatt som smolt) produserte egg som var av en mindre størrelse enn hunner som var naturlig produsert. Basert på denne kunnskapen er det ikke umulig at dersom gytefisken består av en stor andel utsatt laks, vil det produseres færre laksesmolt enn dersom gytebestanden består av et tilsvarende antall ville gytere. Det er dermed mulig at en lavere andel individer med anleggsopphav og satt ut som smolt kan føre til en økt naturlig produksjon i elva.

Den effektive bestandsstørrelsen i Suldalslågen har blitt redusert over tid. Bestanden gikk igjennom en flaskehals på 1990-tallet, noe som kan ha bidratt til reduksjonen i effektiv bestandsstørrelse. I og med at vi har observert en direkte og stor reduksjon (54 – 84 %) i total effektiv bestandsstørrelse for to årsklasser som følge av kultivering, er det sannsynlig at kultiveringen også har bidratt til å redusere den effektive bestandsstørrelsen over tid, og særlig ettersom andel kultivert laks i bestanden har økt. Tilsvarende reduksjon i effektiv bestandsstørrelse er også funnet i andre bestander der kultivering har medført en kraftig Ryman-Laikre effekt, som for eksempel i Årøyelva (Skoglund et al. 2019) og Eira (Ingerid Hagen; upublisert).



Selv om det er observert en betydelig Ryman-Laikre effekt og reduksjon i effektiv bestandsstørrelse ble det ikke observert tap av mitokondrielle haplotyper over tid. I stikkprøvene fra 2011 – 2013 og 2020 – 2022 ble det funnet flere haplotyper og en høyere haplotyperikhet enn i 1979 – 1980. Dette sammenfaller med resultater i Karlsson (2015), der det ble funnet en økning av genetisk variasjon over tid. Laksebestanden i Suldalslågen var sterkt redusert på 1990-tallet. Det er sannsynlig at bestanden i denne perioden (og muligens i årene etterpå) har vært mer mottakelig for genflyt (feilvandring) både fra andre elver, og fra rømt oppdrettslaks som har etterlatt seg avkom i elva. Dette kan ha bidratt til økt genetisk variasjon.

Den kultiverte andelen av bestanden hadde betydelig høyere innbyrdes slektskap enn det som ble observert blant naturlig produserte individer. Disse resultatene er relevante med tanke på at stamfisken har vært gjenstand for slektskapsanalyser hvert år fra og med 2014, for å unngå å krysse individer som er i direkte slekt med hverandre. Å unngå krysninger mellom nært beslektede individer er viktig for å unngå innavl, men vil ikke nødvendigvis begrense slektskapet innen den kultiverte andelen av bestanden, dersom et lite antall stamfisk ligger til grunn for de kultiverte individene. Også i Karlsson (2015) ble det konkludert at kultivert laks hadde en gjennomgående lavere genetisk variasjon og høyere innbyrdes slektskap sammenliknet med villaksen.

Stamlaksen i Suldalslågen var for fangstårene 2014 – 2022 betydelig tyngre enn gjennomsnittet i sportsfiskefangstene. Dette tilsier at stamfisken ikke har vært et tilfeldig utvalg av elvebestanden slik forvaltningen anbefaler (Anonym 2014) og at det har vært en kunstig seleksjon for store individer. Det er mulig at størrelsesbetinget seleksjon under sportsfisket har bidratt til at stamfisken har vært større enn gjennomsnittet i sportsfiskefangstene. I Suldalslågen ligger beskatningen i overkant av 40 %, og naturlig produsert hunnlaks over 75 cm er fredet, mens fettfinneklippet laks kan avlives uavhengig av størrelse (innenfor døgnkvoten på to fisk). I kultiveringsprogrammet benyttes fortrinnsvis naturlig produsert laks. Stamlaksen blir samlet inn ovenfor Sandsfossen etter at fiskesesongen er over og den naturlig produserte andelen av bestanden har dermed allerede vært gjenstand for størrelsesbetinget fiske. Det er kjent fra en rekke ville bestander at selektiv høsting kan medføre seleksjon (Allendorf & Hard 2009). Hvis en ved fangst av stamlaks etterstreber å oppnå den samme størrelsesfordelingen som i fangsten i fiskesesongen og bruker gyteparr kan denne effekten motvirkes.

Det ble ikke observert noen forskjell i gjennomsnittlig  $P(\text{Wild})$  mellom kultiverte og naturlig produserte individer som stammer fra gyteårene 2014 og 2015. Ettersom det er generelt lav grad av innkrysning med oppdrettslaks i bestanden i Suldalslågen (Diserud et al. 2020) er det ikke overaskende at det ikke ble observert en forskjell i  $P(\text{Wild})$  mellom de to gruppene. Dersom gyteår før 2014 (da den genetiske opphavskontrollen ble innført) hadde vært inkludert i evalueringen, er det mulig at en høyere grad av innkrysning hadde vært observert i kultivert andel, ettersom individer med oppdrettsopphav er vist å ha bedre overlevelse i anleggsmiljø enn villaks (Solberg et al. 2013). Hagen et al. (2019) viste at smoltproduksjon i fravær av genetisk opphavskontroll som ga mulighet til å identifisere og fjerne innkrysset stamfisk, førte til en seleksjon for individer med slektskap til oppdrettslaks. Dette førte igjen til signifikant høyere grad av innkrysning med oppdrettslaks i bestanden som smolten ble satt ut i. Stamlakskontrollen har stor betydning i kultivering, og særlig der det produseres et stort antall smolt med høyt tilslag, slik som i Suldalslågen, og spesielt også i bestander med en høy grad av innkrysning med rømt oppdrettslaks.

Basert på det store kunnskapsgrunnlaget som viser at smoltutsettinger kan ha betydelige negative effekter på bestanders genetiske tilpasning og produktivitet, anbefaler vi på generelt grunnlag at smoltutsettinger ikke bør praktiseres med mindre sjøoverlevens er så lav at bestanden ikke er i stand å opprettholde seg selv. Dersom smoltutsettinger i Suldalslågen vedvarer bør antall smolt som settes ut reduseres for å redusere andel kultivert fisk i bestanden samtidig som at effektivt antall stamlaks økes betydelig. For å oppnå et tilstrekkelig effektivt antall stamlaks må flere individer benyttes i krysninger og stamlaksen må utnyttes godt ved at bidraget fra hver stamfisk blir så likt som mulig.

#### 4.1.1 Nedtrapping av kultivering og hva dette kan bety for bestanden

Basert på tidligere års gytefisktelinger eksisterer det gode data på den årlige gytebestanden i Suldalslågen. Gytebestandsmålet på 2319 kg hunnfisk har vært oppnådd de siste 10 årene og de siste fem årene har gytebestanden vært >1000 kg over gytebestandsmålet (<https://www.vitenskapsradet.no/VurderingAvEnkeltbestander>). Samtidig har det vært et høstbart overskudd i bestanden, da rundt 700 – 900 laks årlig har vært avlivet i sportsfisket. I **tabell 7** har vi beregnet hvor stor andel av gytebestanden (i kg hunnfisk) før høsting som består av individer som ikke er fettfinneklippede og dermed naturlig produserte for fangstårene 2018 – 2022. Andel fettfinneklippet fisk er basert på tall fra fangstrapporter.

**Tabell 7.** Totalt innsig av laks (fra Skoglund et al. 2019 - 2023) andel av disse som var fettfinneklippet (FFK) i henhold til fangstrapport, antall ikke FFK hunnlaks (gitt lik kjønnsfordeling) og hvor stor gytebestand dette representerte i kg hunnfisk (gitt en gjennomsnittsvekt på 6,45 kg).

År	Innsig (antall laks)	% FFK fangstrapport	Antall ikke FFK	Antall ♀ ikke FFK	Naturlig produsert gytebestand i kg ♀ (å 6,45 kg)
2018	1981	32 %	1347	674	4344
2019	2058	42 %	1194	597	3851
2020	1668	37 %	1051	526	3389
2021	2037	40 %	1222	611	3941
2022	2330	48 %	1212	606	3909
Gj.snitt	2015	40%	1206	603	3887

Vi har antatt at hunner og hanner utgjør like store andeler av gytebestanden, og en gjennomsnittlig vekt for hunnfisk på 6,45 kg. Dette er gjennomsnittsvekten for rapporterte hunnfisk i fangstrapportene for 2018 – 2022. Vi ser i **tabell 7** at for årene 2018 – 2022 var innsiget av naturlig produserte hunnlaks beregnet til 3887 kg. Dette er 1568 kg over gytebestandsmålet og tilsvarer rundt 243 hunnlaks med en vekt på 6,45 kg. Ved lik kjønnsfordeling tilsvarer dette et gjennomsnittlig høstbart overskudd på rundt 486 individer i perioden 2018 – 2022 uten bidrag fra kultivert fisk. De naturlig produserte individene i innsiget til Suldalslågen representerer hva Suldalslågen produserte av vill laksesmolt, gitt sjøoverlevelsen i årene fra smoltutvandring til oppgang i elva. Gitt at sjøoverlevelsen ikke endres betydelig i negativ retning, er det dermed sannsynlig at gytebestandsmålet (slik det er satt per 2023) vil bli oppnådd i Suldalslågen også uten kultivering. En reduksjon i smoltutsettinger vil trolig medføre et lavere høstbart overskudd. Som beskrevet ovenfor, er det mulig at en reduksjon i andelen utsatt laks vil påvirke smoltproduksjonen positivt. Dersom utsettingen av smolt reduseres i omfang anbefaler vi videreføring av ung-fiskundersøkelser og gytefisktelinger, slik at produksjonen i Suldalslågen overvåkes i årene fremover. Videre må fremtidig smoltproduksjonen i Suldalslågen vurderes i sammenheng med sjøoverlevelse.

## 5 Konklusjoner og anbefalinger

1. Det ble påvist en sterk Ryman-Laikre effekt som følge av kultivering av laksebestanden i Suldalslågen. Denne kan unngås ved å redusere utsettingene og ta inn et større antall stamfisk som utnyttes godt.
2. Stamfisken tatt inn i årene 2014 – 2022 har ikke vært et tilfeldig utvalg av elvebestanden slik retningslinjene fra forvaltningen tilsier. Det er mulig at selektivt fiske med fredning av store naturlig produserte individer bidrar til forskjellen i størrelse mellom sportsfiske og stamfisk. Fredning av de største individene og høy beskatning kan føre til at stamfisken hentes ut fra en bestand som allerede har vært gjenstand for størrelsesbetinget seleksjon. Hvis en ved fangst av stamlaks etterstreber å oppnå den samme størrelsesfordelingen som i fangsten i fiskesesongen samt bruk av gytepar, kan bidra til å motvirke denne effekten.
3. Gitt at sjøoverlevelsen ikke endres betydelig i negativ retning, er det sannsynlig at gytebestandsmålet vil bli oppnådd i Suldalslågen også uten kultivering. Videre har vi beregnet et høstbart overskudd på 243 naturlig produserte hunnlaks også uten kultivering. Ved lik kjønnsfordeling tilsvarer dette rundt 486 individer.
4. Avslutning eller nedtrapping av kultiveringen forventes føre til et lavere innsig av laks, men det er også mulig at dette vil kunne kompenseres noe ved en høyere produktivitet, i og med at utsatt smolt er vist å ha betydelig dårligere reproduktiv suksess enn villaks.
5. Dersom kultiveringspraksisen i Suldalslågen skal fortsette anbefaler vi en reduksjon i smoltutsett for å redusere den høye andelen kultivert laks i bestanden, samtidig som et økt antall stamfisk tas inn og utnyttes godt. Dette uttaket kan kompenseres ved en noe lavere høsting av naturlig produsert laks.

## 6 Referanser

- Allendorf, F.W. & Hard, J.J. 2009. Human-induced evolution caused by unnatural selection through harvest of wild animals. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106 (supplement\_1): 9987-9994.
- Anonym 1988. Vurdering av kultiveringsvirksomheten, og bruk av stedefegen fiskestamme til utsetninger. Innstilling fra stamfiskutvalget, Trondheim, februar 1988. Direktoratet for naturforvaltning.
- Anonym. 2011. Innstilling fra utvalg om kultivering av anadrom laksefisk (Utvalg utnevnt i brev av 26.10.10 fra Direktoratet for naturforvaltning). DN-utredning 11-2011. Direktoratet for naturforvaltning.
- Anonym. 2014. Retningslinjer for utsetting av anadrom fisk. Miljødirektoratet, M186-2014. Miljødirektoratet.
- Anonym 2022. Status for norske laksebestander i 2022. Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr. 17. Vitenskapelig råd for lakseforvaltning. <https://www.vitenskapsradet.no/VurderingAvEnkeltbestander/#/map>
- Araki, H., Cooper, B. & Blouin, M.S. 2007. Genetic Effects of Captive Breeding Cause a Rapid, Cumulative Fitness Decline in the Wild. *Science* 318(5847): 100.
- Araki, H., Berejikian, B. A., Ford, M. J. & Blouin, M. S. 2008. Fitness of hatchery-reared salmonids in the wild. *Evol. Appl.* 1, 342–355.
- Araki, H., Cooper, B. & Blouin, M.S. 2009. Carry-over effect of captive breeding reduces reproductive fitness of wild-born descendants in the wild. *Biology Letters* 5(5): 621-624.
- Barson, N.J., Aykanat, T., Hindar, K., Baranski, M., Bolstad, G.H., Fiske, P., Jacq, C., Jensen, A.J., Johnston, S.E., Karlsson, S., Kent, M., Moen, T., Niemelä, E., Nome, T., Næsje, T.F., Orell, P., Romakkaniemi, A., Sægrov, H., Urdal, K., Erkinaro, J., Lien, S. & Primmer, C.R. 2015. Sex-dependent dominance at a single locus maintains variation in age at maturity in salmon. *Nature* 528: 405.
- Berg, M. 1986. Det norske lakse- og innlandsfiskets historie, Universitetsforlaget AS, Oslo.
- Bolstad, G.H., Hindar, K., Robertsen, G., Jonsson, B., Sægrov, H., Diserud, O.H., Fiske, P., Jensen, A.J., Urdal, K., Næsje, T.F., Barlaup, B.T., Florø-Larsen, B., Lo, H., Niemelä, E. & Karlsson, S. 2017. Gene flow from domesticated escapes alters the life history of wild Atlantic salmon. *Nature Ecology & Evolution* 1: 0124.
- Bolstad, G.H., Karlsson, S., Hagen Ingerid, J., Fiske, P., Urdal, K., Sægrov, H., Florø-Larsen, B., Sollien Vegard, P., Østborg, G., Diserud Ola, H., Jensen Arne, J. & Hindar, K. 2021. Introgression from farmed escapees affects the full life cycle of wild Atlantic salmon. *Science Advances* 7(52): eabj3397.
- Caballero, A. 1994. Developments in the prediction of effective population size. *Heredity* 73 (Pt 6): 657-679.
- Christie, M.R., Marine, M.L., French, R.A., Waples, R.S. & Blouin, M.S. 2012. Effective size of a wild salmonid population is greatly reduced by hatchery supplementation. *Heredity* 109: 254.
- Christie, M.R., Marine, M.L., French, R.A. & Blouin, M.S. 2012b. Genetic adaptation to captivity can occur in a single generation. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109: 238-242.
- 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.
- El Mousadik, A. & Petit, R.J. 1996) High level of genetic differentiation for allelic richness among population of the argan tree (*Argania spinosa* (L.) Skeels) endemic to Morocco. *Theor Appl Genet* 92: 832–839.
- 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(4): 268-278.

- Gravem, F. 2023. Smoltutvandring hos laks og aure i Suldalslågen 2022. Sweco-rapport 10231364-1, 28 s. Glover, K. A., Solberg, M. F., McGinnity, P., Hindar, K., Verspoor, E., Coulson, M. W., Hansen, M. M. et al. 2017. Half a century of genetic interaction between farmed and wild Atlantic salmon: status of knowledge and unanswered questions. *Fish and Fisheries*, 18: 890–927.
- Hagen, I.J., Karlsson, S., Wacker, S., Florø-Larsen, B., Urdal, K. & Sægvov, H. 2023. Evaluering av frivillig kultivering av laks i Vestland fylke. Arnaelva, Daleelva, Loneelva og Osenelva Vestre Hyen. NINA Rapport 2174. Norsk institutt for naturforskning.
- Hagen, I.J., Jensen, A.J., Bolstad, G.H., Diserud, O.H., Hindar, K., Lo, H. & Karlsson, S. 2019. Supplementary stocking selects for domesticated genotypes. *Nature Communications* 10(1): 199.
- Hagen, I.J., Ugedal, O., Jensen, A.J., Lo, H., Holthe, E., Bjørn, B., Florø-Larsen, B., Sægvov, H., Skoglund, H. & Karlsson, S. 2021. Evaluation of genetic effects on wild salmon populations from stock enhancement. *ICES Journal of Marine Science*, 78: 900-909
- Hagen, I.J., Karlsson, S., Sægvov, H., Hellen, B.A., Øygaard, J.-I. & Lo, H. 2021a. Genetiske undersøkelser av laksen i Fortunelva. NINA Rapport 1987. Norsk institutt for naturforskning (NINA).
- Hagen, I.J., Karlsson, S., Urdal, K. & Hellen, B.A. 2021b. Evaluering av kultivering av laks i Korsbrekelva. NINA Rapport 1961. Norsk institutt for naturforskning (NINA).
- Hagen, I.J., Karlsson, S., Fiske, P., Bjørn, B., Holthe, E., Lo, H., Florø-Larsen, B. & Sollien, V.P. 2021c. Evaluering av kultivering i Ørstaelva. NINA Rapport 1960. Norsk institutt for naturforskning (NINA).
- Hagen, I.J., Karlsson, S., Bjørn, B., Holthe, E., Lo, H., Florø-Larsen, B. & Sollien, V.P. 2022. Evaluering av frivillig kultivering i Fetvassdraget. NINA Rapport 2027. Norsk institutt for naturforskning (NINA).
- Jonsson, B., Jonsson, N. & Jonsson, M. 2019. Supportive breeders of Atlantic salmon *Salmo salar* have reduced fitness in nature. *Conservation Science and Practice* 1(9): e85.
- 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(16): 3256-3263.
- Karlsson S. 2015. Kultivering og genetisk variasjon i Suldalslågen. NINA Rapport 1183. Norsk institutt for naturforskning.
- Karlsson, S., Bjørn, B., Holthe, E., Lo, H., & Ugedal, O. 2016a. Veileder for utsetting av fisk for å ivareta genetisk variasjon og integritet. NINA Rapport 1269. Norsk institutt for naturforskning.
- Karlsson, S., Diserud, O. H., Fiske, P., & Hindar, K. 2016b. 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., Havn, J. B., Sollien, V. G., Tønder, T. S., Andersskog, I. P. Ø., Brands-egg, H., Eriksen, L. B., Forfang, K., Opsahl, N. N., & Spets, M. H. 2023. Stamlakskontroll 2022. NINA Rapport 2268. Norsk institutt for naturforskning.
- Magnell, J.P., Sandsbråten, K. & Kvambekk, Å.S. 2004. Hydrologiske forhold i Suldalsvassdraget. Sluttrapport prøvereglementet. Suldalslågen – Miljørapport nr. 38, 109 s.
- Milot, E., Perrier, C., Papillon, L., Dodson, J. J. & Bernatchez, L. 2013. Reduced fitness of Atlantic salmon released in the wild after one generation of captive breeding. *Evolutionary Applications*, 6: 472–485.
- O'Sullivan, R. J., Aykanat, T., Johnston, S. E., Rogan, G., Poole, R., Prodhöl, P. A., de Eyto, E., Primmer, C. R., McGinnity, P. & Reed, T. E. 2020. Captive-bred Atlantic salmon released into the wild have fewer offspring than wild-bred fish and decrease population productivity. *Proceedings of the Royal Society B* 287: 20201671. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2020.1671>
- R Development Core Team. 2018. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria.

- Robertson, G., Reid, D., Einum, S., Aronsen, T., Fleming, I. A., Sundt-Hansen, L., Karlsson, S., Kvingedal, E., Ugedal, O. & Hindar, K. 2018. Can variation in standard metabolic rate explain context-dependent performance of Atlantic salmon offspring? *Ecology and Evolution*, 2018: 1-11
- Ryman, N. & Laikre, L. 1991. Effects of Supportive Breeding on the Genetically Effective Population Size. *Conservation Biology* 5(3): 325-329.
- Saltveit S.J. 2003. Effekter av fiskeutsettinger i Suldalslågen. Suldalslågen-Miljørapport 22, 27 s.
- Skoglund, H., Lehmann, G. B., Normann, E. S. & Wiers, T. 2015. Gytedefisketelling i Suldalslågen desember 2014. LFI Uni Miljø. Notat.
- Skoglund, H., Wiers, T., Normann, E. & Stranzl, S. 2019. Gytedefisketelling i Suldalslågen høsten 2018. Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske (LFI). Notat.
- Skoglund, H., Karlsson, S., Hagen, I.J., Wiers, T., Normann, E. S. & Postler, C. 2019. Fiskebiologiske undersøkelser i Årøyelva i perioden 2014 – 2018. Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske (LFI). Rapport nr. 346
- Skoglund, H., Wiers, T., Normann, E. & Pulg, U. 2020. Gytedefisketelling i Suldalslågen høsten 2019. Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske (LFI). Notat.
- Skoglund, H., Wiers, T., Normann, E. & Landro, Y. 2021 Gytedefisketelling i Suldalslågen høsten 2020. Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske (LFI). Rapport nr. 400.
- Skoglund, H., Wiers, T., Lehmann, G. B. & Landro, Y. 2022. Gytedefisketelling i Suldalslågen høsten 2021. Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske (LFI). Rapport nr. 429.
- Skoglund, H., Wiers, T., Lehmann, G. B. & Postler, C. 2023. Gytedefisketelling i Suldalslågen høsten 2022. Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske (LFI). Rapport nr. 467.
- Skår K., Barlaup B., Bremset G., Dyrendal H.A., Limstrand R. & Wennevik V. 2011. Innstilling fra utvalg om kultivering av anadrom laksefisk (Utvalg utnevnt i brev av 26.10.10 fra Direktoratet for naturforvaltning). DN-utredning 11-2011.
- Skår, S. & H. Sæggrov 2023. Ungfiskundersøkelser i Suldalslågen i 2022. Rådgivende Biologer AS, rapport 3928, 15 s.
- Solberg, M.F., Skaala, Ø., Nilsen, F. & Glover, K.A. 2013. Does Domestication Cause Changes in Growth Reaction Norms? A Study of Farmed, Wild and Hybrid Atlantic Salmon Families Exposed to Environmental Stress. *PLOS ONE* 8(1): e54469.
- Sæggrov, H. 2014. Fiskeundersøkingar i Suldalsvatnet i 2013. Rådgivende Biologer AS, rapport 1902, 32 s
- Theriault, V., Moyer, G.R., Jackson, L.S., Blouin, M.S. & Banks, M.A. 2011. Reduced reproductive success of hatchery coho salmon in the wild: insights into most likely mechanisms. *Molecular Ecology* 20(9): 1860-1869.
- Vitenskapelig råd for lakseforvaltning 2022. Status for norske laksebestander i 2022. Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr. 17, 125 s. <https://www.vitenskapsradet.no/VurderingAvEnkeltbestander/#/map>
- 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., Sæggrov, 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. 2011. Coancestry: a program for simulating, estimating and analysing relatedness and inbreeding coefficients. *Molecular Ecology Resources* 11: 141-145.
- Wang, J. 2017. Estimating pairwise relatedness in a small sample of individuals. *Heredity* 119: 302.
- Waples, R.S. & Do, C.H.I. 2008. Ldne: a program for estimating effective population size from data on linkage disequilibrium. *Molecular Ecology Resources* 8(4): 753-756.

Williamson, K.S., Murdoch, A.R., Pearsons, T.N., Ward, E.J. & Ford, M.J. 2010. Factors influencing the relative fitness of hatchery and wild spring Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in the Wenatchee River, Washington, USA. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 67(11): 1840-1851.







*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: 978-82-426-5068-9

## 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