

2038

NINA Rapport

Etablering av en laksebestand i en region med intensivt lakseoppdrett – Uskedalselva i Hardangerfjorden

Kjetil Hindar, Harald Sægrov, Sten Karlsson, Bjart Are Hellen, Steinar Kålås og Kurt Urdal



NINAs publikasjoner

NINA Rapport

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

NINA Temahefte

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

NINA Fakta

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

Annen publisering

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

Etablering av en laksebestand i en region med intensivt lakseoppdrett – Uskedalselva i Hardangerfjorden

Kjetil Hindar
Harald Sægrov
Sten Karlsson
Bjart Are Hellen
Steinar Kålås
Kurt Urdal

Hindar, K., Sægrov, H., Karlsson, S., Hellen, B.A., Kålås, S. & Urdal, K. 2023. Etablering av en laksebestand i en region med intensivt lakseoppdrett – Uskedalselva i Hardangerfjorden. NINA Rapport 2038. Norsk institutt for naturforskning.

Trondheim og Bergen, januar 2023

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-4821-1

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

KVALITETSSIKRET AV

Ola Ugedal

ANSVARLIG SIGNATUR

Assisterende forskningssjef Anne Kristin Jøranlid (sign.)

BIDRAGSYTER

Miljødirektoratet

OPPDRAKSGIVERS REFERANSE

M-2442|2023

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER/BIDRAGSYTER

Heidi Hansen

FORSIDEBILDE

Uskedalselva © Bjart Are Hellen

NØKKEWORD

- Norge, Vestland
- laks *Salmo salar*
- forsuring
- reetablering
- rømt oppdrettslaks
- genetisk innkryssing
- Kvalitetsnorm for ville bestander av laks

KEY WORDS

- Norway, Vestland
- Atlantic salmon, *Salmo salar*
- acidification
- reestablishment
- escaped farmed salmon
- genetic introgression
- Quality Standard for wild Atlantic salmon

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

Thormøhlensgate 55
5006 Bergen
Tlf: 73 80 14 00

www.nina.no

Sammendrag

Hindar, K., Sægrov, H., Karlsson, S., Hellen, B.A., Kålås, S. & Urdal, K. 2023. Etablering av en laksebestand i en region med intensivt lakseoppdrett – Uskedalselva i Hardangerfjorden. NINA Rapport 2038. Norsk institutt for naturforskning

I Uskedalselva i Hardangerfjorden forsvant laksebestanden før 1970, sannsynligvis på grunn av forsurening. Elva ble kalket fra januar 2002. Ungfiskundersøkelser dokumenterte vellykket rekruttering av laks i elva allerede etter gytingen høsten 2000, og fangstene av voksne laks økte kraftig fra 2005. Etableringen av laks skjedde uten utsettinger av laks og må derfor ha skjedd ved at fremmed laks vandret opp i elva og gyttet. Uskedalselva ligger i en oppdrettsintensiv region og etableringen mellom 2000 og 2005 skjedde i en periode med høyt innslag av rømt oppdrettslaks i elvene i regionen. Her presenteres resultatene fra en undersøkelse av det genetiske bidraget fra rømt oppdrettslaks under etableringen av laks i Uskedalselva.

Det ble hovedsakelig analysert laksunger med alder 1+. Blant de 164 analyserte prøvene ble det estimert en samlet ikke-signifikant genetisk innkryssing av rømt oppdrettslaks på 5,6 %. Det var en tydelig og signifikant andel laks med oppdrettsopphav i noen årsklasser. Årsklassene fra gytingen i 2000 og 2003 var de mest tallrike i den tidlige etableringsfasen og utgjør 87 % av det analyserte materialet. Innkryssingen i disse ble estimert til hhv. 7,5 % og 1,4 %.

Av voksne laks ble det analysert prøver fra 124 individer fanget i perioden 2010 – 2015. Samlet for disse ble det estimert en ikke-signifikant innkryssing på 6,5 %, men med stor variasjon mellom år og med signifikant høy innkryssing i 2015.

Analyse av slektskap mellom ungfisk etter gyteårene 2000 og 2003 identifiserte henholdsvis 44 og 53 ulike helsøskengrupper. De fleste helsøskengrupperne var representert med ett individ og noen med opptil 6 individer. Helsøskengrupper med genetisk opphav i rømt oppdrettslaks var ikke representert av flere eller færre individer enn helsøskenen med opphav i villaks. Individer med sannsynlig opphav i rømt oppdrettslaks kom fra mange forskjellige helsøskengrupper. Dette indikerer at mange rømte oppdrettslaks bidro i den tidlige reetableringsfasen.

Ut fra sammensetningen av hel- og halvsøsken og ubeslektede individer, ble effektivt antall gytefisk for gyteårene 2000 og 2003 estimert til henholdsvis 35 og 40. En sammenlikning av genetisk variasjon i det mitokondrielle arvestoffet viste store forskjeller mellom ungfisk fra gyteår 2000 og 2003. Sammen med det forholdsvis høye effektive antall gytefisk, indikerer dette at laks fra ulike laksebestander har bidratt i de ulike gyteårene. Sammensetningen av genetisk variasjon i det mitokondrielle arvestoffet blant voksne laks i årene 2008 – 2015 var også forskjellig fra ungfisken fra gyteårene 2000 og 2003. Det kan dermed se ut som de første årene alene ikke ga grunnlag for en egen selvreproduserende bestand, men at det i flere påfølgende år kom gytefisk fra andre bestander til Uskedalselva.

Oppfølgende analyser av laks fra de seneste årene vil kunne gi svar på om bestanden i Uskedalselva nå er etablert som en egen selvreproduserende bestand og også om det er en endring i innkryssingen av rømt oppdrettslaks i bestanden.

Kjetil Hindar, Sten Karlsson, Norsk institutt for naturforskning (NINA), 7485 Trondheim,
kjetil.hindar@nina.no
sten.karlsson@nina.no

Harald Sægrov, Bjart Are Hellen, Steinar Kålås, Kurt Urdal, Rådgivende Biologer, 5003 Bergen, harald.saegrov@radgivende-biologer.no
bjart.are.hellen@radgivende-biologer.no
steinar.kalas@radgivende-biologer.no
kurt.urdal@radgivende-biologer.no

Innhold

Sammendrag	3
Innhold	4
Forord	5
1 Innledning	6
2 Lokalitetsbeskrivelse	7
2.1 Fysiske forhold.....	7
2.2 Ungfisk i Uskedalselva.....	8
2.3 Voksen laks i Uskedalselva.....	8
2.4 Rømt oppdrettslaks.....	9
3 Metoder og materiale	11
3.1 Innsamling av ungfisk.....	11
3.2 Skjellprøver av voksen laks.....	11
3.3 Genetiske analyser.....	11
4 Resultater	13
4.1 Laksens reetablering.....	13
4.2 Innkryssing av rømt oppdrettslaks.....	14
5 Diskusjon	18
5.1 Gyting og genetisk innkryssing av oppdrettslaks.....	18
5.2 Reetableringen i Uskedalselva.....	19
5.3 Utviklingen etter 2015.....	19
6 Referanser	21

Forord

Laksebestanden i Uskedalselva i Hardangerfjorden gikk tapt før 1970, sannsynligvis på grunn av forsuring. Elva ble kalket fra januar 2002. Ungfiskundersøkelser dokumenterte vellykket rekruttering av laks i elva allerede etter gytingen høsten 2000, og fangstene av voksen laks økte kraftig fra og med 2005. Etableringen av laks i Uskedalselva skjedde uten utsettinger av fisk og må derfor ha skjedd ved hjelp av fremmed laks.

Uskedalselva er lokalisert i en oppdrettsintensiv region der det var betydelige innslag av rømt oppdrettslaks i etableringsfasen, mens reetableringen i andre kalkede vassdrag, som i de store elvene på Sørlandet, har skjedd i en region med svært lite oppdrett. Det var derfor sannsynlig at Uskedalselva i større grad enn elvene på Sørlandet ble reetablert med rømt oppdrettslaks.

Norsk institutt for naturforskning (NINA) og Rådgivende Biologer fikk i 2015 støtte fra Miljødirektoratet til å undersøke den genetiske statusen til laksen i Uskedalselva, og takker herved for den økonomiske støtten.

Vi vil også takke personalet på NINA Genlab for genetiske analyser.

Trondheim og Bergen, januar 2023

Kjetil Hindar og Harald Sægrov, prosjektledere

1 Innledning

Sur nedbør har medført tap av minst 25 laksebestander i Norge og i tillegg er 40-50 bestander blitt redusert (Hesthagen 2010). De fleste berørte bestandene fantes på Sørlandet, men også bestander på Vestlandet nord til Sunnfjord ble påvirket. I Uskedalselva i Hardangerfjorden var laksen sannsynligvis forsvunnet før 1970 (Kålås mfl. 2002).

I de store kalkede vassdragene på Sørlandet har laksen blitt reetablert ved aktiv kultivering med materiale fra nærmeste vassdrag der laksen ikke døde ut av forsuring. I andre vassdrag har laksen blitt reetablert ved innvandring og reproduksjon av laks som har feilvandret fra andre vassdrag. I denne delen av landet er det lite fiskeoppdrett, og rømt oppdrettslaks synes å ha bidratt lite til bestandsetableringen på Sørlandet (Hesthagen 2010, Anon. 2022a). Oppfølgende undersøkelser, inkludert genetiske analyser, tyder på at i Tovdalselva ble laksen etablert ved aktiv kultivering av nærmeste laksestamme (Storelva i Holt) som hadde overlevd forsuringen. I Mandalselva skjedde etableringen ved feilvandring av laks fra andre elver og utsettinger med utgangspunkt i feilvandret villaks. Der startet kultivering med nærmeste gjenlevende nabostamme (Bjerkreimselva) først 6-7 år etter kalking og etter at feilvandret laks for første gang hadde reprodusert med suksess i vassdraget. Det ble konkludert med at når vannkjemien ved hjelp av kalking eller redusert forsuring uten kalking var god nok til gytesuksess, oppvekst og overlevelse ved smoltutvandring for laks, måtte den aktive kultiveringen skje raskt hvis en skulle få etablert utvalgte stammer. Hvis det går flere år, vil etableringen domineres av feilvandret villaks og rømt oppdrettslaks som etter hvert etablerer en stedegen laksestamme (Hesthagen 2010). Laksebestanden i Nidelva i Agder gikk også tapt som følge av sur nedbør og ble etter kalking i all hovedsak reetablert av laks fra omkringliggende vassdrag. De fleste forsuringspåvirkede vassdragene på Sørlandet er i liten grad reetablert av rømt oppdrettslaks (Hagen & Karlsson 2020).

I Uskedalselva har etableringen av laks skjedd uten aktiv kultivering. I motsetning til på Sørlandet ligger Uskedalselva i et av de mest oppdrettsintensive områdene i landet, og i et område med høye innslag av rømt oppdrettslaks i elvene (Urdal 2017, Skoglund mfl. 2017, Anon. 2022b). Etablering av laks i Uskedalselva har dermed skjedd som følge av reproduksjon av feilvandret naturlig eller kultivert villaks og/eller rømt oppdrettslaks.

Denne undersøkelsen hadde som målsetting å kartlegge den genetiske statusen til laksebestanden i etableringsfasen i Uskedalselva i et område med mye lakseoppdrett, og der det har skjedd en stor innblanding av gener fra rømt oppdrettslaks i mange laksebestander. For laksebestandene i tidligere Hordaland fylke er det beregnet en uveid innkryssing av rømt oppdrettslaks på 13,9 %, og en veid innkryssing på 11,1 % i gjennomsnitt (Karlsson mfl. 2016).

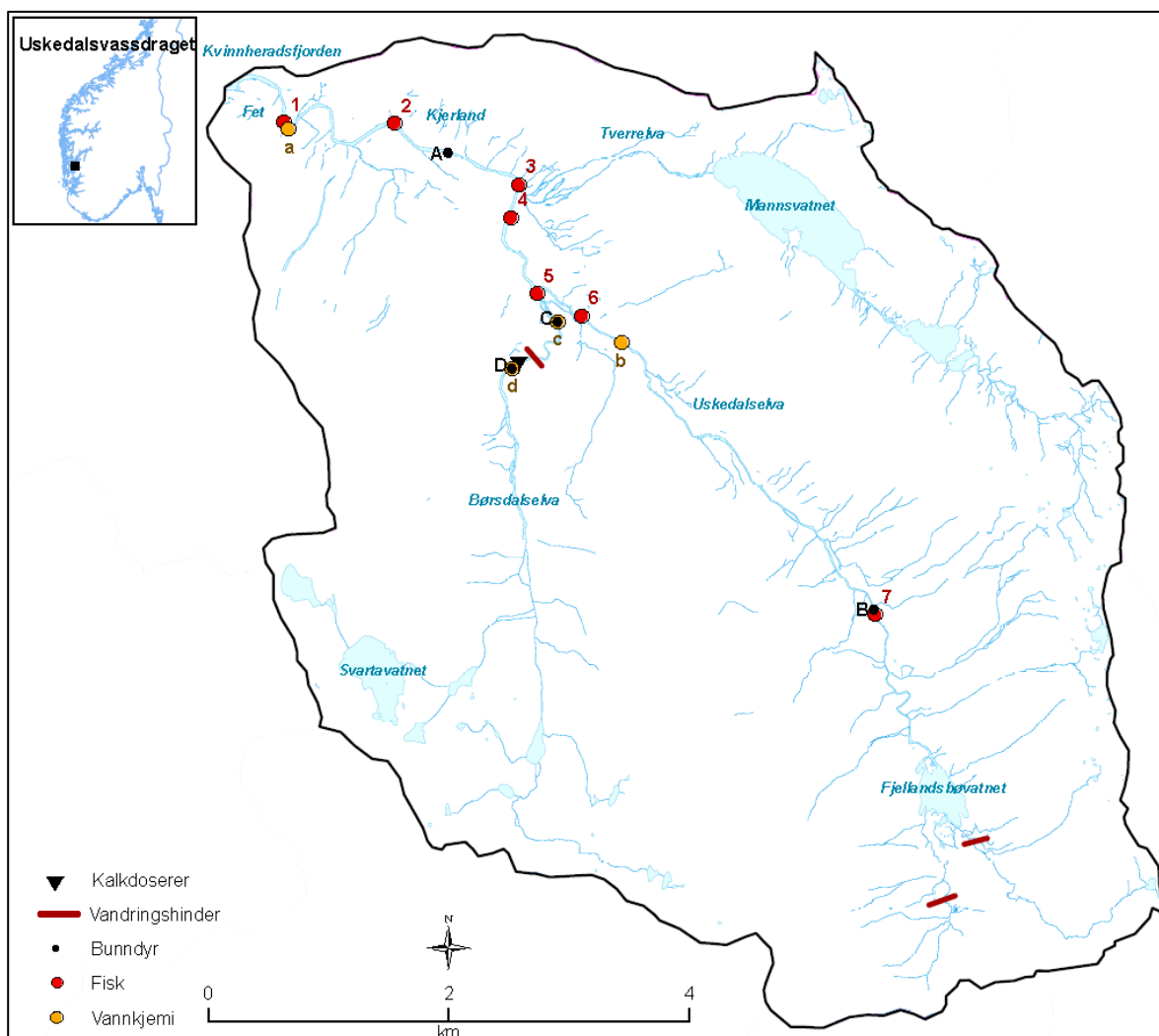
I denne rapporten beskriver vi reetableringen av laks i Uskedalselva siden den første vellykkete reproduksjonen etter gyting høsten 2000. Vi har analysert både ungfisk fra de første årsklassene i elva og voksen laks. Målsettingen med studiet var å følge reetableringsprosessen i et vassdrag som ligger i et oppdrettsintensivt område, spesielt med hensyn til å svare på i hvor stor grad reetableringen er basert på rømt oppdrettslaks.

2 Lokalitetsbeskrivelse

2.1 Fysiske forhold

Uskedalselva, vassdragsnr. 045.2Z, ligger i Kvinnherad kommune midtveis inne i Hardangerfjorden i Vestland fylke (**Figur 1**). Nedbørfeltet er 45,6 km², middelvannføringen er 4,8 m³/s og alminnelig lavvannføring er 0,28 m³/s (NVE, Nevina). Vassdraget har en lakseførende strekning på 11 km opp til Fjellandsbøvatnet (191 moh., overflate 0,12 km²), samt to tilløpsbekker til Fjellandsbøvatnet. I tillegg kan anadrom fisk vandre 1,1 km opp i Børsdalselva (Anon. 2022a). Anadromt areal er beregnet til 135 000 m², eller 13,5 hektar (Skoglund mfl. 2017).

Kalkingen av Uskedalselva har som målsetting å sikre tilstrekkelig god vannkvalitet for reproduksjon av laks, men inntil 2016 var målsettingen tilstrekkelig god vannkvalitet for reproduksjon av sjøaure (Anon. 2022a). Vannkvalitetsmålet er pH \geq 6,2 i perioden 1. januar - 1. juli og pH \geq 6,0 resten av året. Dette oppnås med kalkdoserer i den sureste sideelva, Børsdalselva. Denne kalkdosereren ble satt i drift i januar 2002. I tillegg er det blitt lagt ut grovkalk i hovedelva ovenfor samløp med Børsdalselva i perioden 2002-2013, og grovkalk i Børsdalselva oppstrøms doserer enkelte år frem til 2013 (Anon. 2022a).



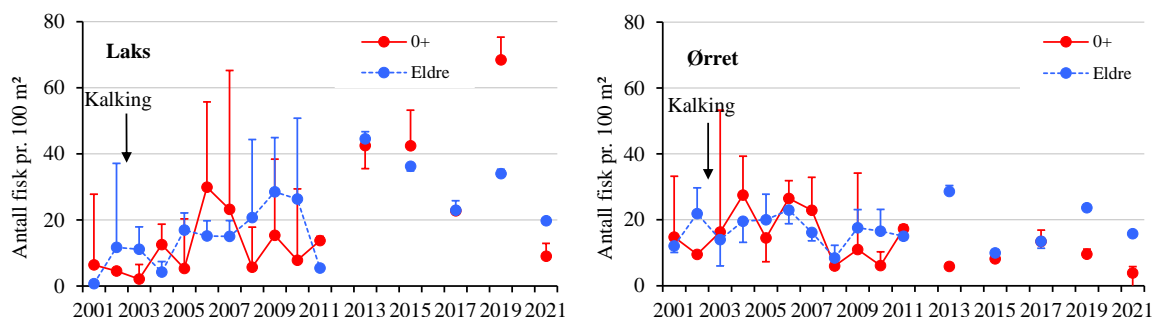
Figur 1. Uskedalselvas nedbørfelt med stedsangivelse for kalkdoserer, vandringshinder for laksefisk og stasjonsnett for overvåking av vannkjemi, bunndyr og fisk (fra Anon. 2022a).

2.2 Ungfisk i Uskedalselva

I 1989 ble det fanget to laksunger og registrert lave til moderate tettheter av aure ved elektrofiske (Vasshaug og Grøndal 1990). Det ble gjennomført elektrofiske på 5 stasjoner i 1995 og i 1997, og også da ble det bare fanget et fåtall laksunger (Kålås mfl. 2002). Resultatene tilsier at det hadde vært meget begrenset rekruttering av laks sent på 1980-tallet og i syv-årsperioden 1993-1999, som dekker mer enn én laksegenerasjon. Ved de samme undersøkelsene var det moderat tetthet av aureunger.

Målinger av vannkjemi og undersøkelser av bunndyr tilsa at vassdraget var preget av forsurening og at vannkvaliteten var for dårlig for laks, på tross av at det hadde vært kalket sporadisk med utlagt grovkalk i elva siden 1990. Kålås mfl. (2002) konkluderte med at laksebestanden i Uskedalselva var utdødd før 1970-tallet og at de voksne laksene som ble fanget i elva etter den tid var feilvandret villaks og/eller rømt oppdrettslaks.

I forbindelse med kalkingsovervåkingen ble ungfisktettheten undersøkt årlig fra 2001 til 2011, og deretter hvert annet år. Mellom 2001 og 2005 ble det tatt prøver av ungfisken, men ikke etter 2005. Tettheten av laksunger har økt siden 2001. Mellom 2005 og 2008 var det like høy tetthet av eldre laksunger ($\geq 1+$) som av eldre aureunger i elva, og etter 2008 har tettheten av eldre laksunger vært høyere enn tettheten av eldre aureunger. Unntaket var i 2011 da tettheten av eldre laksunger var meget lav (Anon. 2022a, **Figur 2**).



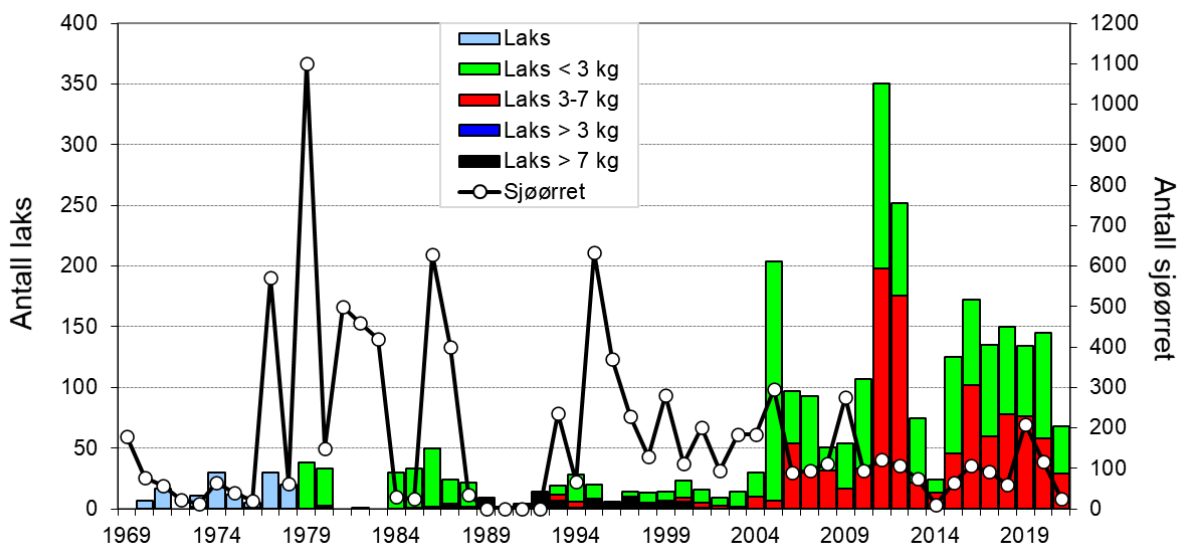
Figur 2. Gjenomsnittlige tettheter av laks og aure (med konfidensintervall) på de seks stasjonene i hovedvassdraget i Uskedalselva i perioden 2001 til 2021. (figur hentet fra Anon. 2022a).

Fra og med 2001 ble det fisket på stasjon 6 og stasjon 7. Stasjon 6 ligger litt ovenfor samløpet med den sure sidegrenen Børsdalselva der kalkdosereren er lokalisert, og 4,8 km ovenfor utløpet i sjøen. Både stasjon 6 og 7 ligger dermed oppstrøms der elva blir kalket. Stasjon 7 ligger langt oppe i elva, ca. 1 km nedenfor Fjellandsbøvatnet (**Figur 1**). Det var alle årene fra 2001 god tetthet av laksunger på stasjon 6, men det ble ikke fanget laks på stasjon 7 øverst i elva før i 2004 og da bare årsyngel (aldersgruppe 0+). I 2015 ble den høyeste tettheten av årsyngel funnet på stasjon 7 (Anon. 2022a).

2.3 Voksen laks i Uskedalselva

I Uskedalselva ble det i perioden 1969 til 2004 i gjennomsnitt fanget 20 laks pr. år i fiske-sesongen, men da er fire år uten rapportert fangst utelatt (**Figur 3**). I 2005 økte fangsten kraftig og i perioden 2005-2021 ble det i gjennomsnitt fanget 137 laks. Disse tallene inkluderer rømt oppdrettslaks og gjenutsatt laks. Gjenutsetting har blitt praktisert siden 2012. Den foreløpige rekordfangsten var i 2011 med 354 laks. For 2014 er det oppgitt en fangst på 25 laks, men denne

høsten ble det talt over 246 gytelaks i elven under drivtelling (Skoglund mfl. 2017). Det var uvanlig varmt og meget lav vannføring på Vestlandet sommeren 2014. Dette medførte at laksen ventet med å gå opp i noen elver, og det var trolig lav fiskeinnsats.



Figur 3. Offisiell fangststatistikk for laks og sjøaure i Uskedalselva i perioden 1969-2021. (<http://ssb.no/>). Fangstdata mangler for perioden 1989-1992. Kalkdosereren i sideelva Børsdalselva ble satt i drift i januar 2002. Merk at verdiene på Y-aksen er forskjellig for laks og sjøaure. Figur hentet fra Anon. 2022a.

2.4 Rømt oppdrettslaks

Registreringene av rømt oppdrettslaks i norske vassdrag tok til i forbindelse med innsamling av melke fra villaks som del av Direktoratet for naturforvaltning (senere Miljødirektoratet) sitt arbeid for å sikre arvematerialet hos ville laksebestander i en genbank. Fra og med 1989 ble arbeidet organisert i et Forskningsrådsstøttet program som ble ledet av NINA og senere ble overtatt av Miljødirektoratet. Registreringene de første årene viste at elvene i Hordaland hadde til dels høye innslag av rømt oppdrettslaks (**Tabell 1**).

Tabell 1. Antall voksne laks undersøkt, med prosentandel rømt oppdrettslaks i parentes, fra sju elver i Hordaland i 1989 og 1990. Skillet mellom sportsfiske om sommeren og registreringsfiske om høsten er satt ved 18. august. Alle fangster er med stang om ikke annet er oppgitt. Fra Økland mfl. (1991).

Elv	Vår	1989-Sommer	1989-Høst	1990-Sommer	1990-Høst
041.Z Etne		138 (26)	164*(74)	47 (17)	102*(79)
052.1Z Granvin			42*(26)		
052.6Z Øystese		18 (22)	35 (23)		
055.7Z Os			111^(77)		176^(79)
060.4Z Lone			85 (20)	59 (10)	20 (15)
061.Z Dale		16 (38)	38' (55)		
062.Z Vosso		73 (11)		52 (4)	

* = stang og not; ^ = stang og elektrofiske; ' = stang og lys og håv

Fra Uskedalselva er det blitt samlet inn og analysert skjellprøver fra laks fanget i fiskesesongen i 2008, 2011 og årlig siden 2014. (**Tabell 2**). Andel rømt oppdrettslaks er også registrert under de årlige gytefisktellningene som NORCE -LFI har gjennomført siden 2006.

Tabell 2. Antall analyserte skjellprøver fra laks fanget i fiskesesongen i Uskedalselva og antall og andel (%) rømte oppdrettslaks (Urdal 2017), og totalt antall laks observert under drivtelling og antall og andel (%) rømte oppdrettslaks (Skoglund mfl. 2008, 2017) i perioden 2006-2016. Tall fra perioden 2017 – 2021 er hentet fra årlige rapporter fra det nasjonale overvåkingsprogrammet om rømt oppdrettslaks i vassdrag, sist i 2021 (Anon. 2022b).

År	Fiskesesong		Drivtelling	
	Antall prøver	% oppdrettslaks	Antall observert	% oppdrettslaks
2006			159	8
2007			60	22
2008	18	11	110	20
2009			25	0
2010	9	0	175	0
2011	47	0	197	8
2012	13	0	220	0
2013	7	0	97	3
2014	29	0	246	8
2015	31	3	299	2
2016	104	3	151	3
2017	36	8	138	1
2018	49	4	293	0
2019	37	0	253	0
2020	54	0	198	2
2021	14	0	408	2

3 Metoder og materiale

3.1 Innsamling av ungfisk

Rådgivende Biologer AS gjennomførte ungfiskundersøkelser i Uskedalselva to år før, og årlig i etableringsfasen av laks i Uskedalselva. I årene 1995 og 1997 ble det elektrofisket på 5 stasjoner à 100 m², i årene 2001-2005 på 7 stasjoner. På hver stasjon ble et areal på 100 m² overfisket tre ganger og all fisk ble avlivet og tatt med for videre prøvetaking.

Hver fisk ble lengdemålt, veid, kjønn og kjønnsmodning ble bestemt, og det ble tatt skjellprøver og otolitter av ungfisk > 50 mm ($\geq 1+$) for aldersbestemmelse. Det ble i alt samlet inn 437 laksunger og 1518 aureunger. Det viste seg å være én aure som var oppført som laks, én aure/laks-hybrid og én rømt oppdrettssmolt i det analyserte materialet. Disse er utelatt i den videre behandlingen av resultatene.

3.2 Skjellprøver av voksen laks

Det er analysert skjellprøver av voksen laks fanget i Uskedalselva i 1992, 2008, og hvert av årene mellom 2010 og 2015 (Urdal 2017). Ved analysene av skjellprøver ble det skilt mellom villaks og rømt oppdrettslaks. Fra gruppen av villaks ble det ekstrahert DNA fra skjellprøver fra 128 individer av voksen laks.

3.3 Genetiske analyser

Genetiske analyser av ungfisk og voksen laks fra Uskedalselva er basert på prøvemateriale listet i **tabell 3**. Disse har blitt genotypet for SNP-markører (Single Nucleotide Polymorphisms) som gir informasjon om sannsynlighet for oppdrettsopphav i tillegg til informasjon om slektskap. De genetiske markørene ble også benyttet for å identifisere mulig aure og hybrider mellom aure og laks. Ved mistanke om aure eller hybrid ble disse analysert for diagnostiske genetiske markører (Karlsson mfl. 2013) og to individer ble stadfestet å være aure X laks hybrider, ett individ var en aure og to prøver ble identifisert å være kontaminerte med DNA fra andre individer.

Analyser av genetisk innkryssing av oppdrettslaks i laksen som etablerte seg i Uskedalselva, ble utført med et sett genetiske SNP-markører som til sammen er gode til å skille mellom villaks og oppdrettslaks (Karlsson mfl. 2011). Genotyper fra disse markørene ble analysert i henhold til en statistisk metode utviklet av Karlsson mfl. (2014). I praksis beregnet vi for hvert enkelt individ sannsynligheten for å tilhøre villaks ($P(\text{wild})$) versus oppdrettslaks ($1-P(\text{wild})$) ved hjelp av programmet STRUCTURE (Pritchard mfl. 2000) som beskrevet av Karlsson mfl. (2014). For å estimere grad av genetisk innkryssing ble gjennomsnittlig estimat av $P(\text{wild})$ for en gruppe fisk sammenliknet med forventet gjennomsnittlig nivå av $P(\text{wild})$ i et referansemateriale av villaks og oppdrettslaks. Sannsynligheten for at dette estimatet var høyere enn null ble statistisk testet som beskrevet av Karlsson mfl. (2014).

Siden vi ikke har noen historisk referanse fra Uskedalselva fra årene før rømt oppdrettslaks kunne ha påvirket resultatet, så kan vi ikke gjøre lokalt baserte vurderinger av innkryssing av rømt oppdrettslaks. Metoden utviklet av Karlsson mfl. (2014) gjør det imidlertid også mulig å beregne genetisk innkryssing av oppdrettslaks i forhold til en «generell villaks» som er summen av alle våre historiske referanser av villaks i Sør-Norge. Dette er nærmere forklart i Diserud mfl. (2020) der forskere fra NINA og Havforskningsinstituttet i fellesskap vurderer et stort antall villaksbestander.

Tabell 3. Antall genotypede individer fra Uskedalselva, fordelt på voksen laks (Ad) og laksunger (Juv), og innsamlingsår. Alle individer er antatt villaks ut fra ytre karakterer.

Innsamlingsår	Ad/juv	N	Kommentar
1992	Ad	7	
2000	Ad	1	
2008	Ad	10	
2010	Ad	8	
2011	Ad	47	
2012	Ad	12	
2013	Ad	5	
2014	Ad	24	
2015	Ad	28	
2001	Juv	3	Én aure/laks hybrid
2002	Juv	68	Én aure/laks hybrid
2003	Juv	4	
2005	Juv	89	Én aure, to med kontaminerte DNA prøver

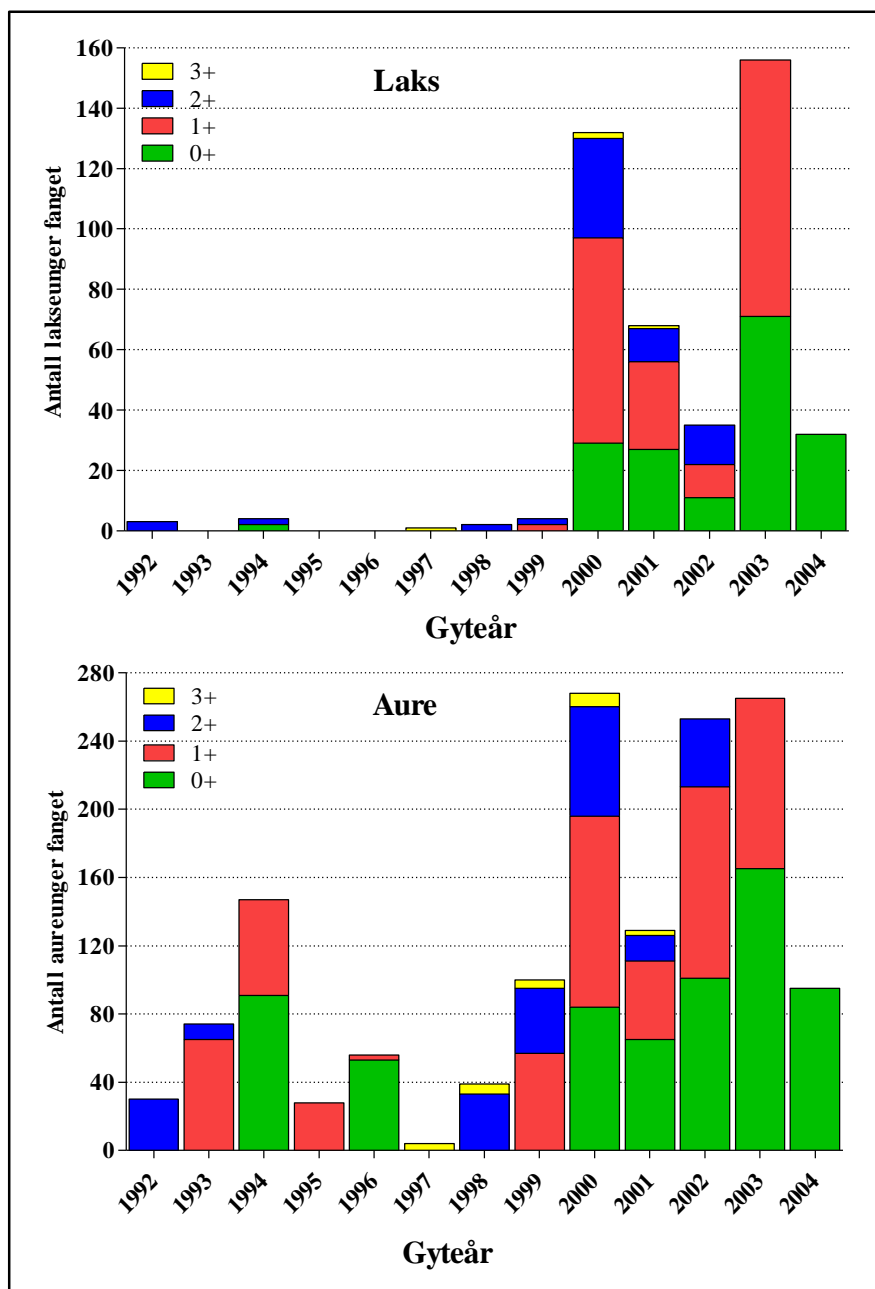
I tillegg til å vurdere i hvor stor grad rømt oppdrettslaks har bidratt til å reetablere bestanden i Uskedalselva, beregnet vi effektivt antall gytefisk som bidro til de første årenes produksjon. Effektivt antall gytefisk er et standardisert mål på hvor mange gytefisk som bidrar til neste generasjon, og tar hensyn til variasjon i antall avkom og kjønnsfordeling (Falconer & Mackay 1996). Effektivt antall gytefisk ble beregnet med den såkalte «Sibship-metoden» (Wang 2009) ved hjelp av programmet COLONY 2.0.2.3 (Jones & Wang 2010), og ble gjort for gyteårene 2000 og 2003 der stikkprøvestørrelsen av ungfisk ble vurdert å være tilstrekkelig. Grunnlaget for å beregne effektivt antall gytefisk er å identifisere grupper av hel- og halvsøsken gjennom genetisk likhet. Denne metodikken ble også brukt for å vurdere hvordan helsøsken var fordelt over innsamlingsstasjoner og om det var noen stasjoner eller områder i elven som hadde større grad av innkrysning.

Analyser av genetisk variasjon inkluderte 15 genetiske markører i det mitokondrielle arvestoffet (mtDNA). Det mitokondrielle arvestoffet nedarves i sin helhet kun fra mor til avkom og ulike haplotyper (unike sammensetninger av genetisk variasjon i de undersøkte markørene) representerer derfor ulike morlinjer som kun forandres ved at nye mutasjoner oppstår. Sammensetningen av haplotyper mellom ulike stikkprøver og år ble brukt til å vurdere den genetiske stabiliteten i Uskedalselva i den undersøkte perioden.

4 Resultater

4.1 Laksens reetablering

Fra de åtte gyteårene 1992-1999 ble det til sammen fanget 14 laksunger, men fra de fem påfølgende gyteårene (2000-2004) ble det totalt fanget 432 laksunger. Siden det ikke ble tatt prøver av ungfisken etter 2005, er det bare fisk fra gyteårene 2000, 2001 og 2002 som ble fanget hvert år fra de var 0+ til de gikk ut som smolt (**Figur 4**). Tallene viser at etableringen av laks startet ved gytingen høsten 2000. De mest rasktvoksende av disse gikk ut som 2-års smolt våren 2003 og de første laksene kom tilbake til elven som voksne gytere høsten 2004.



Figur 4. Antall laksunger (øverst) og aureunger (nederst) i ulike aldersgrupper fra gyteårene 1992-2004 som ble fanget under elektrofiske i Uskedalselva i 1995, 1997 og årlig 2001-2005.

Allerede høsten 2002 var det et betydelig antall kjønnsmodne parrhanner i elva; av 32 parrhanner av laks med alder 1+ og over 90 mm var 12 kjønnsmodne (38 %).

I årene etter 2000 har det vært rekruttering hvert år, med en del variasjon fra år til år. Av aure var det kontinuerlig rekruttering så langt tilbake som det finnes undersøkelser (**Figur 4**).

4.2 Innkryssing av rømt oppdrettslaks

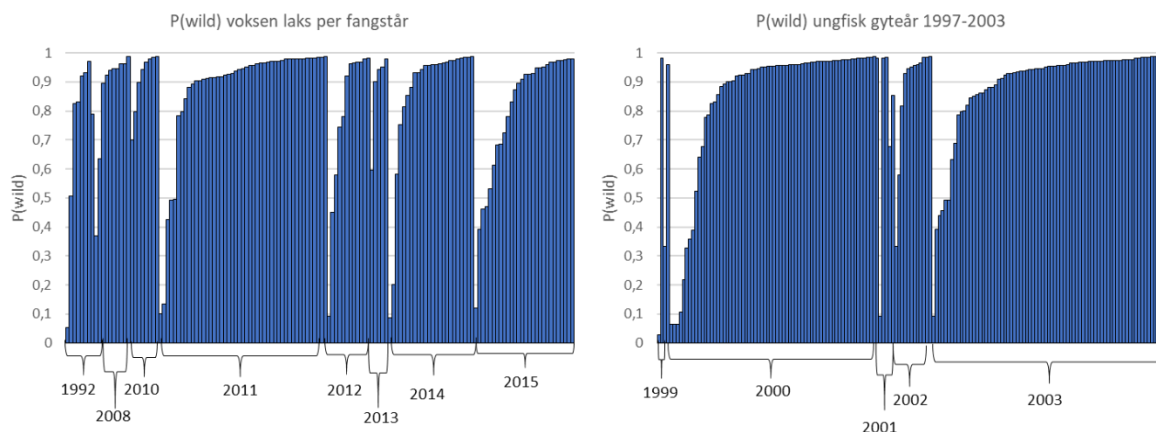
Tabell 4 gir en oppsummering av estimert genetisk innkryssing i de ulike stikkprøvene. Blant ungfisken som ble innsamlet i årene 2001-2005 ble det estimert en moderat grad av innkryssing (5,6 %) og denne var ikke signifikant ($P=0,189$). Blant stikkprøvene av voksen laks ble det estimert en forholdsvis høy grad av innkryssing med en mulig tendens til økt innkryssing de senere årene; i 2015 var det signifikant høy innkryssing på 12,6 % blant 28 voksne laks (**Tabell 4**).

Tabell 4. Oppsummering av estimert grad av innkryssing av rømt oppdrettslaks i stikkprøver fra ulike innsamlingsår av voksen laks (Ad) og ungfisk (Juv). P-verdien angir sannsynlighet for at det ikke er noen innkryssing. Antall individer undersøkt (N) er for noen stikkprøver lav eller veldig lav og bør vurderes med forsiktighet, mens samleprøver fra de ulike årene for voksen laks og ungfisk gir et sikrere estimat.

Innsamlingsår	Ad/juv	N	Innkryssing	P-verdi
1992	Ad	7	0,225	0,005
2000	Ad	1	0,140	0,129
2008	Ad	10	0,054	0,216
2010	Ad	8	0,000	0,539
2011	Ad	47	0,030	0,308
2012	Ad	12	0,147	0,054
2013	Ad	5	0,031	0,295
2014	Ad	24	0,052	0,277
2015	Ad	28	0,126	0,024
2010-2015	Ad	124	0,065	0,138
2001	Juv	3	0,304	0,027
2002	Juv	68	0,084	0,109
2003	Juv	4	0,174	0,317
2005	Juv	89	0,021	0,328
2001-2005	Juv	164	0,056	0,189

Ved å se på estimerte sannsynligheter for å tilhøre villaks ($P(\text{wild})$) for hvert enkelt individ (**Figur 5**) blir det tydelig at det blant stikkprøvene er enkeltindivider som med stor sannsynlighet har opphav i rømt oppdrettslaks, både blant voksenlaksen og ungfisken, til tross for at den gjennomsnittlige graden av innkryssing for stikkprøvene ikke er signifikant forskjellig fra null.

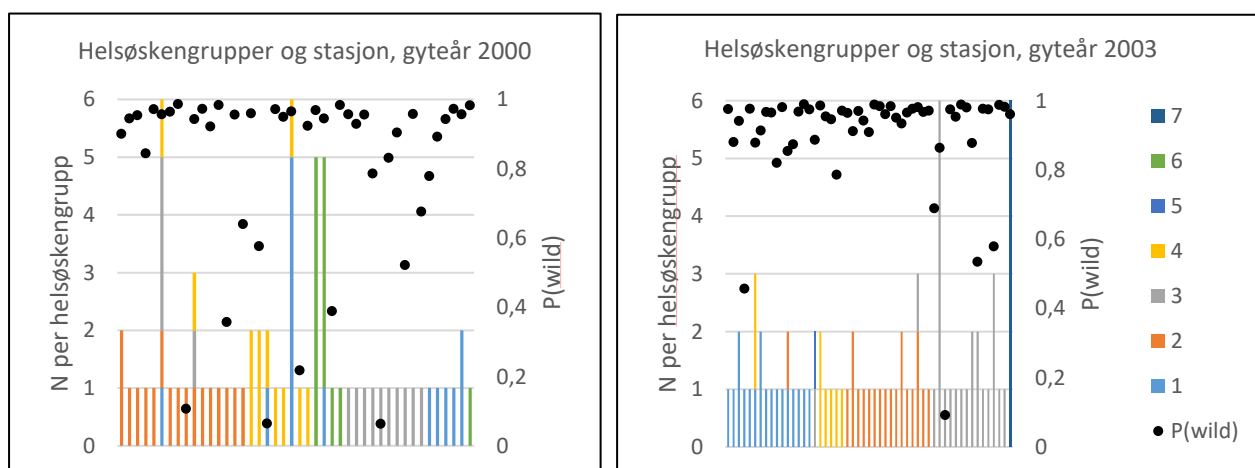
Ved å sortere ungfiskprøvene til gyteår ble det forholdsvis store stikkprøver for gyteårene 2000 og 2003. For gyteår 2000 var det en signifikant større andel av stikkprøven som hadde lavere $P(\text{wild})$ -verdi enn det enn skulle forvente fra en stikkprøve av laks med rent villaksopphav. Dette viser at det i en tidlig fase av reetablering av laks i Uskedalselva sporadisk og i varierende grad skjedd innkryssing med rømt oppdrettslaks.



Figur 5. Individuelle estimater av sannsynlighet å tilhøre villaks ($P(\text{wild})$) for prøver av voksen laks i ulike innsamlingsår og for ungfisk fra ulike gyteårsklasser. Hver blå søyle i diagrammet er ett individ.

Fra gyteåret 1999 var det meget lav rekruttering og det er bare analysert fire individer. Av disse var det to individer med genetisk bakgrunn fra rømt oppdrettslaks. Den ene laksen hadde tydelige ytre tegn på å ha rømt nylig fra et settefiskanlegg, trolig i nærheten, siden den hadde slitte finner og mye fett rundt innvollene. Individet hadde en $P(\text{Wild})$ på 0,029 og var dermed en ren oppdrettslaks som sannsynligvis hadde vandret direkte opp i Uskedalselva etter rømming.

I **figur 6** presenteres antall identifiserte helsøskengrupper og antall laksunger per helsøskengruppe for gyteårene 2000 og 2003, samt på hvilke elfiskestasjoner disse ble fanget. I tillegg presenteres sannsynligheten for villakstilhørighet ($P(\text{wild})$) for de ulike helsøskengruppene.



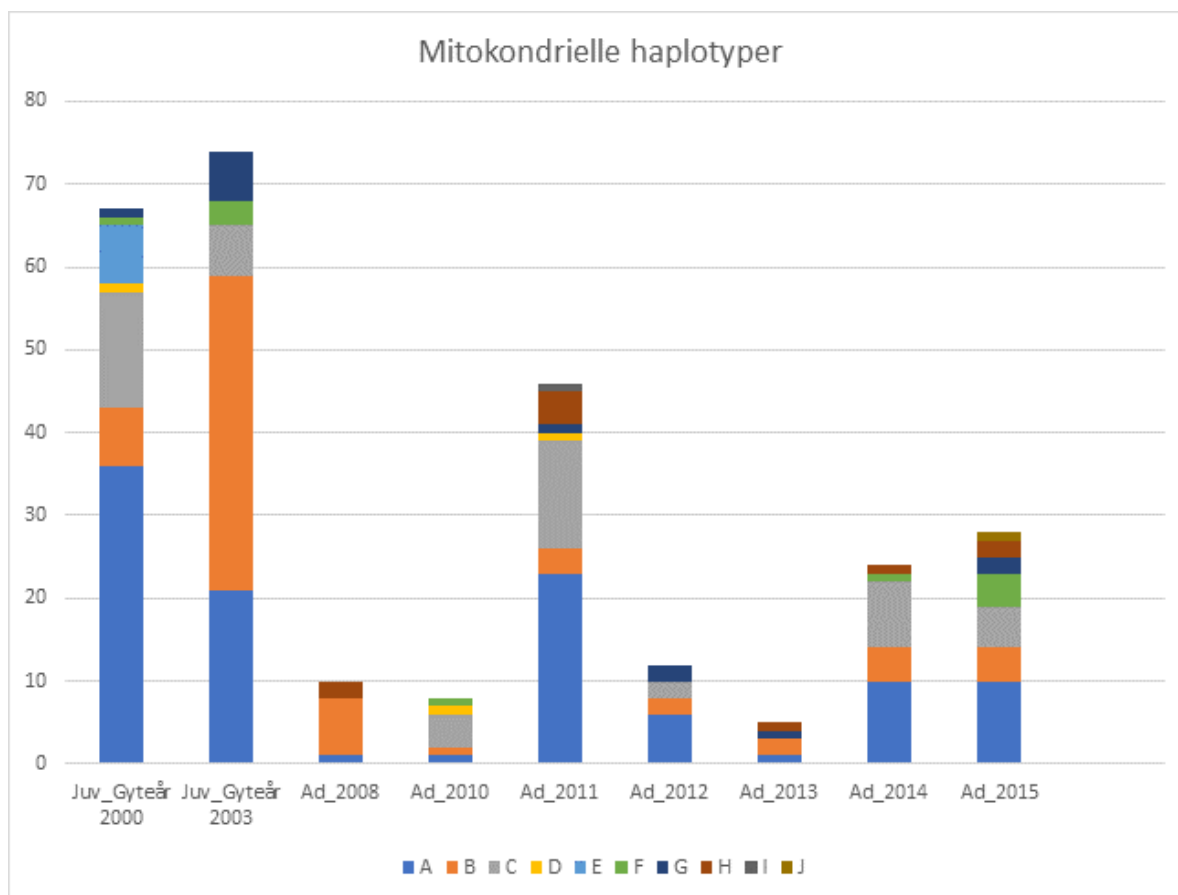
Figur 6. Helsøskengrupper (X-aksen) av ungfisk fra gyteårene 2000 og 2003 og antall individer per helsøskengruppe (1-6 i venstre y-akse). Fargen angir hvilken elfiskestasjon (1-7) de ulike individene ble fanget på. I tillegg presenteres sannsynligheten for å tilhøre villaks ($P(\text{wild})$) i høyre akse) med svarte prikker for hver enkelt helsøskengruppe.

Det var forholdsvis mange helsøskengrupper med kun ett individ representert i stikkprøvene, men også noen helsøskengrupper med opptil seks individer representert. Som forventet dersom ungfisken har spredt seg lite i elven ble de fleste individene innen en helsøskengruppe fanget på den samme elfiskestasjonen, men for noen helsøskengrupper ble individer fanget på flere ulike stasjoner (jf. søyler med flere farger i **figur 6**).

Det var ingen tydelig tendens at helsøskengrupper med lav sannsynlighet for villaksopphav (lav P(wild)) var representert med færre eller flere individer, men individer med lav P(wild) hadde opphav i mange forskjellige helsøskengrupper. Det ser dermed ut som at mange forskjellige individer av rømt oppdrettslaks har bidratt til genetisk innkryssing av laks med oppdrettsopphav.

Ut fra sammensetningen av helsøsken, halvsøsken og ubeslektede individer i stikkprøven av gyteårsklassene 2000 og 2003, ble effektivt antall gytefisk estimert til henholdsvis 35 (95 % konfidensintervall, CI = 22-58) og 40 (95 % CI = 26-63). Et ikke ubetydelig antall gytefisk har dermed bidratt de første årene til å reetablere bestanden av laks i Uskedalselva. Blant disse er flesteparten laks med villaksopphav, men det er også laks med oppdrettsopphav.

Ved å sammenlikne sammensetningen av genetisk variasjon i det mitokondrielle arvestoffet i ungfisk fra gyteårene 2000 og 2003 og stikkprøver av voksen laks i årene 2008 – 2015 er det tydelig at laksen som vandret opp i Uskedalselva i den tidlige reetableringsfasen kommer fra en blanding av ulike morlinjer (**Figur 7**).



Figur 7. Sammensetning av genetisk variasjon (haplotyper) i mitokondrielt arvestoff i stikkprøver av ungfisk fra gyteårene 2000 og 2003 og i stikkprøver av voksen laks fanget i årene 2008 – 2015.

Ut fra disse observasjonene er det sannsynlig at laksen som reetablerte bestanden i Uskedalselva hadde sitt opphav i mange forskjellige bestander, og at både villaksstammer og oppdrettslinjer bidro (**Figur 7**).

5 Diskusjon

Vassdragene i Sør-Norge var i mange tiår utsatt for omfattende forsuring. Effekten var størst i vassdrag på Sørlandet der sur nedbør møtte en berggrunn med liten bufferkapasitet. En tydelig effekt av forsuring var omfattende fiskedød og svekkede laksebestander. I 1991 anslo Hesthagen og Hansen at laksen var tapt i 25 elver på Sør- og Vestlandet (Hesthagen & Hansen 1991). Beregning av produktivt areal på lakseførende strekning i de 25 vassdragene, tydet på at 80 % av villaksproduksjonen på Sørlandet var tapt som følge av forsuring.

Kalking av vassdrag har lenge vært kjent som en metode som kan motvirke effektene av surt vann, både gjennom å øke pH og ved å redusere mengden av giftige aluminiumsforbindelser. Den vanligste kalkingsteknikken var lenge utlegging av skjellsand i klekkerier og på gyteplasser i små bekker. På 1990-tallet ble kalkingsmetodikken utviklet til storskala innsjøkalking og pH-styrt kalkdosering som var egnet til bruk i store laksevassdrag. Et reetableringsprosjekt for laks ble satt i gang på Sørlandet og to av de viktigste laksevassdragene der hadde kalkdosere i drift fra 1996 (Tovdalselva) og 1997 (Mandalselva). I 2003 rapporterte Direktoratet for naturforvaltning at laksen var reetablert i kalkede Sørlandselver (Haraldstad & Hesthagen 2003), delvis ved planlagte utsetninger, men også gjennom streifing og innvandring av laks fra andre vassdrag.

I Uskedalselva midtveis inne i Hardangerfjorden forsvant laksebestanden før 1970, og den stod på listen over de 25 laksebestandene som var antatt utdødd som følge av forsuring (Hesthagen & Hansen 1991). Elva ble kalket fra januar 2002, men hadde som vist i **figur 2** også hatt vellykket rekruttering av laks etter gytingen høsten 2000.

Fangstene av voksen laks i Uskedalselva økte kraftig fra og med 2005. Etableringen av laks skjedde uten lokale utsetninger av laks og må derfor ha skjedd ved gyting av fremmed laks; både naturlig og kultivert villaks fra andre elver og rømt oppdrettslaks. Uskedalselva ligger i en oppdrettsintensiv region og etableringen mellom 2000 og 2005 skjedde i en periode med høyt innslag av rømt oppdrettslaks i elvene i regionen (Urdal 2017, Diserud mfl. 2019). Dette betydde at rømt oppdrettslaks i mye større grad enn på Sørlandet kunne ha bidratt til reetablering av laks i Uskedalselva.

5.1 Gyting og genetisk innkryssing av oppdrettslaks

Det er flere grunner til at rømt oppdrettslaks kan påvirke den genetiske sammensetningen i en laksebestand, og spesielt i elver der laksebestanden er svak. For det første er det påvist omfattende genetisk innkryssing av oppdrettslaks i mange laksebestander i Norge (Diserud mfl. 2020). For det andre er Hardangerfjordregionen et område der bestandene av villaks har vært svake lenge, og flere elver har vært stengt for fiske siden årtusenskiftet. Oppdrettslaks har dårligere gytesuksess enn villaks (Fleming mfl. 1996), særlig hanner som taper i konkurransen om hunnlaks, men selv med dårlig gytesuksess kan rømt oppdrettslaks etterlate seg avkom når de er mange nok og konkurransen om gyteplasser er liten. I Vosso der bestanden kollapset rundt 1990, er det sannsynlig at mer enn 80 prosent av gytende hunnlaks i elva høsten 1995 var rømt oppdrettslaks (Sæggrov mfl. 1997). Forsøk ovenfor en fiskefelle i Imsa med oppdrettslaks og lokal villaks viste også at en betydelig andel av avkommet hadde minst én oppdrettsforelder, selv om oppdrettslaksens gytesuksess var mindre enn villaksens (Fleming mfl. 2000). For det tredje fins det også forsøk som viser at avkom av oppdrettslaks, og krysninger mellom oppdretts- og villaks, kan være betydelige konkurrenter til villaksavkom, særlig under gode vekstbetingelser (Sundt-Hansen mfl. 2015, Robertsen mfl. 2019). For det fjerde er det vist at innkryssing av oppdrettslaks i villaksbestander fører til forandringer i viktige livshistorieegenskaper som alder og tidspunkt for smoltifisering, alder ved kjønnsmodning, og veksthastighet i elvene og i sjøen (Bolstad mfl. 2017, 2021, Skaala mfl. 2019).

Analyser av ungfisk fra Altaelva viser at graden av genetisk innkryssing blir redusert innen en gyteårsklasse etter hvert som fisken ble eldre (Wacker mfl. 2021). Dette indikerer lavere overlevelse for laks med helt eller delvis opphav i oppdrettslaks sammenliknet med laks av rent villaksopphav (Wacker mfl. 2021). Forskjellene i overlevelse mellom oppdretts- og villaksavkom kan skyldes at laksungene ikke bare må finne mat, men også må beskytte seg mot fiender som større ørret (Solberg mfl. 2020) og perioder med ufordelaktige miljøforhold (Wacker mfl. 2021). Kryssing mellom villaks og oppdrettslaks har en kostnad for bestanden (McGinnity mfl. 2003). I Imsa viste eksperimenter at en blanding av like antall villaks og oppdrettslaks på gyteplassen ga 1/3 reduksjon i antallet smolt produsert i forhold til om gytebestanden hadde vært Imsalaks (Fleming mfl. 2000).

5.2 Reetableringen i Uskedalselva

I materialet fra Uskedalselva er det årsklassene fra gytingen i 2000 og 2003 som var de mest tallrike i den tidlige etableringsfasen. Den genetiske innkryssingen av rømt oppdrettslaks i disse ble estimert til hhv. 7,5 % og 1,4 %. I årsklassen med høyest innkryssing, er det også flere individer med så lav $p(\text{Wild})$ at de med høy sannsynlighet har to oppdrettsforeldre (**Figur 5**). Det samme er nylig funnet i en bekk på Sotra blant laksunger i et typisk sjørretvassdrag (Pulg mfl. 2021).

Materialet fra gytingen i årene 2000 og 2003 identifiserte henholdsvis 44 og 53 ulike helsøskengrupper, der de fleste helsøskengrupper var representert med ett individ og noen med opptil 6 individer. Individer med sannsynlig opphav i rømt oppdrettslaks kom fra mange forskjellige helsøskengrupper og dette indikerer at mange rømte oppdrettslakser har bidratt i den tidlige reetableringsfasen i Uskedalselva. I gytingen i 2003 er det ut fra vårt materiale et betydelig lavere genetisk innslag av oppdrettslaks i forhold til villaks enn det var i 2000.

Den genetiske variasjonen i det mitokondrielle arvestoffet, som kun nedarves gjennom morlinjen, viste store forskjeller mellom ungfisk fra gyteår 2000 og 2003. Dette indikerer at laks fra ulike laksebestander har bidratt i de ulike gyteårene. Vi kan ikke generelt peke på haplotyper som er unike for oppdrettslaks i denne delen av Norge, og i materialet fra Uskedalselva ble det ikke observert haplotyper som var spesielle for individer som med høy sannsynlighet hadde oppdrettsopphav. Vi kan derfor ikke avgjøre hvor mye av de genetiske forskjellene i mitokondrielt DNA mellom gyteår som skyldes innkryssing av oppdrettslakshunner og hvor mye som skyldes forskjellige opphav blant villakshunner.

Variasjonen i det mitokondrielle arvestoffet blant voksen laks i årene 2008 til og med 2015 var også forskjellig fra ungfisken (**Figur 7**). Det kan dermed se ut som de første årene alene ikke ga grunnlag for en egen selvreproduserende bestand, men at det i flere påfølgende år kom gytefisk fra andre bestander til Uskedalselva. Vi vet ikke om de voksne laksene med genetisk innkryssing fra rømt oppdrettslaks som er fanget i Uskedalselva, er rekruttert i denne elva, eller om de kommer fra andre elver.

Den genetiske innkryssingen er til dels høy, men ikke høyere enn i andre lakseelver i Hardangervassdraget. En mulig forklaring på dette er at den genetiske innkryssingen i en nylig reetablert bestand etter hvert vil stabilisere seg på det samme nivået som er vanlig i liknende elver i regionen.

5.3 Utviklingen etter 2015

Denne rapporten slutter med gyteåret 2015 da det var høy genetisk innkryssing av rømt oppdrettslaks i den ville laksen i Uskedalselva (**Tabell 4**).

Oppfølgende analyser av laks fra de seneste årene vil kunne gi svar på om bestanden i Uskedalselva nå er etablert som en egen selvreproduserende bestand og også om det er en endring i den genetiske innkryssingen av rømt oppdrettslaks i bestanden.

Andelen rømt oppdrettslaks har avtatt i Uskedalselva og andre elver på Vestlandet de siste årene, og i tillegg har det blitt tatt ut rømt oppdrettslaks ved harpunering. Det er dermed mulig at den genetiske innkryssingen av rømt oppdrettslaks har avtatt i Uskedalselva de aller siste årene, men stikkprøver fra andre elver i Hardangerfjorden har vist høy genetisk innkryssing så sent som i 2018-2020 (Diserud mfl. 2020).

6 Referanser

- Anon. 2022a. Kalking i laksevassdrag skadet av sur nedbør – Tiltaksovervåking i 2021. Miljødirektoratet, rapport M-2372|2022, 510 s.
- Anon. 2022b. Rømt oppdrettslaks i vassdrag i 2021. Rapport fra det nasjonale overvåkingsprogrammet. Rapport fra havforskningen 2022-21, 59 s.
- Bolstad, G.H., Hindar, K., Robertsen, G., Jonsson, B., Sægvog, 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, I.J., Fiske, P., Urdal, K., Sægvog, H., Florø-Larsen, B., Sollien, V.P., Østborg, G., Diserud, O.H., Jensen, A.J. & Hindar, K. 2021. Introgression from farmed escapees affects the full life cycle of wild Atlantic salmon. *Science Advances* 7: eabj3397.
- Diserud, O.H., Fiske, P., Sægvog, H., Urdal, K., Aronsen, T., Lo, H., Barlaup, B.T., Niemelä, E., Orell, P., Erkinaro, J., Lund, R.A., Økland, F., Østborg, G.M., Hansen, L.P. & Hindar, K. 2019. Escaped farmed Atlantic salmon in Norwegian rivers 1989-2013. *ICES Journal of Marine Science* 76: 1140-1150.
- 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.
- Falconer, D.S. & Mackay, T.F.C. 1996. *Introduction to Quantitative Genetics*. Longman, Essex, U.K., 4th edition.
- Fleming, I.A., Jonsson, B., Gross, M.R. & Lamberg, A. 1996. An experimental study of the reproductive behaviour and success of farmed and wild Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Journal of Applied Ecology* 33: 893-905.
- Fleming, I.A., Hindar, K., Mjølnerød, I.B., Jonsson, B., Balstad, T. & Lamberg, A. 2000. Lifetime success and interactions of farm salmon invading a native population. *Proceedings of the Royal Society of London B*, 267: 1517–1523.
- Hagen, I.J. & Karlsson, S. 2020. Genetiske analyser av Nidelva og omkringliggende vassdrag. NINA Rapport 1835. Norsk institutt for naturforskning.
- Haraldstad, Ø. & Hesthagen, T. (red.) 2003. Laksen er tilbake i kalkede Sørlandselver. -Reetableringsprosjektet 1997-2002. DN-utredning 2003-5.
- Hesthagen, T. (red.). 2010. Etablering av nye laksestammer på Sørlandet. Erfaringer fra arbeidet i Mandalselva og Tovdalselva etter kalking. DN-utredning 7-2010, 126 s.
- Hesthagen, T. & Hansen, L.P. 1991. Estimates of the annual loss of Atlantic salmon in Norway due to acidification. *Aquaculture and Fisheries management* 22: 95-91.
- Jones, O.R. & Wang, J. 2010. COLONY: a program for parentage and sibship inference from multi-locus genotype data. *Molecular Ecology Resources* 10: 551-555.
- Karlsson, S., Moen, T., Lien, S., Glover, K. & Hindar, K. 2011. Generic genetic differences between farmed and wild Atlantic salmon identified from a 7K SNP-chip. *Molecular Ecology Resources* 11 (Suppl 1): 247-253.
- Karlsson, S., Hagen, M., Eriksen, L., Hindar, K., Jensen, A.J., Garcia de Leaniz, C., Cotter, D., Gudbergsson, G., Kahilainen, K., Gudjonsson, S., Romakkaniemi, A. & Ryman, N. 2013. A genetic marker for the maternal identification of Atlantic salmon x brown trout hybrids. *Conservation Genetics Resources* 5: 47-49.
- Karlsson, S., Diserud, O.H., Moen, T. & Hindar, K. 2014. A standardized method for quantifying unidirectional genetic introgression. *Ecology & Evolution* 4: 3256-3263.
- 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.

- Kålås, S., Sægrov, H. & Telnes, T. 2002. Fiskeundersøkingar i Uskedalselva hausten 2001. Rådgivende Biologer AS, rapport 582, 18 s.
- McGinnity, P., Prodöhl, P., Ferguson, A., Hynes, R., Ó Maoiléidigh, N., Rogan, G., Taggart, J. & Cross, T. 2003. Fitness reduction and potential extinction of wild populations of Atlantic salmon, *Salmo salar*, as a result of interaction with escaped farm salmon. *Proceedings of the Royal Society London B*, 270: 2443–2520.
- Pulg, U., Karlsson, S., Diserud O.H., Postler, C., Stranzl, S, Espedal, E.O. Lennox, J. R. 2021. Laks i sjørrretbekker – villaks eller oppdrettslaks? NORCE LFI rapport 376. Norwegian Research Center, Bergen.
- Robertson, G., Reid, D., Einum, S., Aronsen, T., Fleming, I.A., Sundt-Hansen, L., Karlsson, S., Kvingedal, E., Ugedal, O. & Hindar, K. 2019. Can variation in standard metabolic rate explain context-dependent performance of farmed salmon offspring? *Ecology & Evolution* 9: 212-222.
- Skaala, Ø., Besnier, F., Borgstrøm, R., Barlaup, B.T., Sørvik, A.G., Normann, E., Østebø, B.I., Hansen, M.M. & Glover, K.A. 2019. An extensive common-garden study with domesticated and wild Atlantic salmon in the wild reveals impact on smolt production and shifts in fitness traits. *Evolutionary Applications* 12: 1001-1016.
- Skoglund, H., Barlaup, B.T., Lehmann G.B., Wiers, T., Gabrielsen, S.E. & Sandven, O.R. 2008. Gytefisktellinger i 18 vassdrag i Hardangerfjordssystemet 2004-2007 - bestandsstatus for villfisk og innslag av rømt oppdrettslaks. LFI-Unifob, rapport nr. 151.
- Skoglund, H., Wiers, T., Normann, E.S., Barlaup, B.T., Lehmann, G.G., Landro, Y., Pulg, U., Velle, G., Gabrielsen, S.-E. & Stranzl, S. 2017. Gytefisktelling og uttak av rømt oppdrettslaks i elver på Vestlandet høsten 2016. LFI-rapport nr: 292, 33 s.
- Solberg, M.F., Robertson, G., Sundt-Hansen, L.E., Hindar, K. & Glover, K.A. 2020. Domestication leads to increased predation susceptibility. *Scientific Reports* 10: 1929.
- Sundt-Hansen, L., Huisman, J., Skoglund, H. & Hindar, K. 2015. Farmed Atlantic salmon *Salmo salar* L. parr may reduce early survival of wild fish. *Journal of Fish Biology* 86: 1699-1712.
- Sægrov, H., Hindar, K., Kålås, S. & Lura, H. 1997. Escaped farmed Atlantic salmon replaces the original salmon stock in the River Vosso. *ICES Journal of Marine Science* 54: 1166-1172.
- Urdal, K. 2017. Analysar av skjelpørvar frå Hordaland i 2016. Rådgivende Biologer AS, rapport nr. 2434, 31 s.
- Vasshaug, Ø. & Grøndahl, H. 1990. Overvåking av lakseparasitten *Gyrodactylus salaris* i Hordaland fylke i 1989. Fylkesmannen i Hordaland, rapport nr. 3/90, 80 sider.
- 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.
- Wang, J. 2009. A new method for estimating effective population sizes from a single sample of multilocus genotypes. *Molecular Ecology* 18: 2148-2164.
- Økland, F., Lund, R.A. & Hansen, L.P. 1991. Rømt oppdrettslaks i sjøfiskerier, elvefiskerier og gytebestander. NINA Forskningsrapport 13: 1-36. Norsk institutt for naturforskning.

The Norwegian Institute for Nature Research, NINA, is as an independent foundation focusing on environmental research, emphasizing the interaction between human society, natural resources and biodiversity.

NINA was established in 1988. The headquarters are located in Trondheim, with branches in Tromsø, Lillehammer, Bergen and Oslo. In addition, NINA owns and runs the aquatic research station for wild fish at lms in Rogaland and the arctic fox breeding center at Oppdal.

NINA's activities include research, environmental impact assessments, environmental monitoring, counselling and evaluation. NINA's scientists come from a wide range of disciplinary backgrounds that include biologists, geographers, geneticists, social scientists, sociologists and more. We have a broad-based expertise on the genetic, population, species, ecosystem and landscape level, in terrestrial, freshwater and coastal marine ecosystems.

ISSN:1504-3312
ISBN: 978-82-426-4821-1

Norwegian Institute for Nature Research

NINA head office

Postal address: P.O. Box 5685 Torgarden,
NO-7485 Trondheim, NORWAY

Visiting address: Høgskoleringen 9, 7034 Trondheim

Phone: +47 73 80 14 00

E-mail: firmapost@nina.no

Organization Number: 9500 37 687

<http://www.nina.no>



Cooperation and expertise for a sustainable future