

Evaluering av kultivering og kalking for laksebestanden i Flekkeelva



R
A
P
P
O
R
T

Rådgivende Biologer AS 2748



Rådgivende Biologer AS

RAPPORT TITTEL:

Evaluering av kultivering og kalking for laksebestanden i Flekkeelva

FORFATTERE:

Harald Sægrov, Ingerid Julie Hagen Arnesen, Bjart Are Hellen & Sten Karlsson

OPPDRAKSGIVER:

Flekkje Elveeigarlag

OPPDRAGET GITT:

20. desember 2017

RAPPORT DATO:

16. oktober 2018

RAPPORT NR:

2748

ANTALL SIDER:

28

ISBN NR:

978-82-8308-547-1

EMNEORD:

- Laks
- Genetisk merking
- Bestandsstatus

RÅDGIVENDE BIOLOGER AS
Bredsgården, Bryggen, N-5003 Bergen
Foretaksnummer 843667082-mva

Internett : www.radgivende-biologer.no E-post: post@radgivende-biologer.no
Telefon: 55 31 02 78 Telefax: 55 31 62 75

Forsidebilde: Flekkeelva mot Breidvatnet.

Rapporten må ikke kopieres ufullstendig uten godkjenning fra Rådgivende Biologer AS.

FORORD

Laksefangstene i Flekkevassdraget økte samtidig som fullkalkingen av vassdraget startet i 1997. For å styrke bestanden og øke fangstutbyttet ytterligere har det blitt satt ut plommeseekkyngel og plantet befruktede lakseegg på elvestrekninger både på og ovenfor anadrom del av vassdraget. Bidraget fra kultiveringen til bestanden har så langt vært ukjent og det er heller ikke gjort noen vurdering av den genetiske effekten av kultiveringen på bestanden. Flekke Elveeigarlag har bedt Rådgivende Biologer AS i samarbeid med Norsk institutt for naturforskning (NINA) om å evaluere følgende problemstillinger og spørsmål:

- 1. Kultiveringen som har foregått over mange år må evalueres (kost/nytte for bestand, genetisk påvirkning av kultivering m.m.)*
- 2. Videre må følgende besvares:
Er det nødvendig å styrke fiskebestanden i vassdraget?
Er det mulig å gjennomføre habitattiltak i stedet for å sette ut fisk?
Hvordan skal en eventuell kultivering skje?*
- 3. I tillegg ønsker vi også en vurdering av om den pågående kalkingen er fornuftig, eller om den bør endres eller avsluttes.*

De genetiske undersøkelsene og evalueringen av pågående og vurdering av fremtidig kultivering er gjennomført av Ingerid Julie Hagen Arnesen og Sten Karlsson ved NINA, mens vurderingene knyttet til styrking av bestanden, habitattiltak og kalking er gjort av Harald Sægrov og Bjart Are Hellen ved Rådgivende Biologer AS. Det er ikke gjort egne undersøkelser, for eksempel habitatkartlegging, i forbindelse med utarbeidelsen av denne rapporten. Vurderinger og konklusjoner er basert på genetiske analyser av lakseskjell og på tidligere undersøkelser i vassdraget i forbindelse med den nasjonale kalkingsovervåkingen.

Veterinærinstituttet ved Håvard Lo takkes for utlån av skjellmateriale fra stamlaks, Ida Pernille Øystese Andersskog, Hege Brandsegg, Line Birkeland Eriksen, Bente Uhre Halvorsen og Elisa Keeling Hemphill takkes for DNA isolasjon og genotyping ved NINAs genetikklaboratorium, og Kurt Urdal, Rådgivende Biologer AS, takkes for analyse av skjell fanget i sportsfisket. Vi takker Flekke Elveeigarlag for oppdraget.

Bergen, 16. oktober 2018

INNHOLD

FORORD.....	2
SAMMENDRAG	4
1. INNLEDNING	5
2. METODER.....	12
3. RESULTATER	15
4. DISKUSJON	21
5. REFERANSER	26
VEDLEGG	1

SAMMENDRAG

Sægvog, H., I.J. Hagen Arnesen, B.A. Hellen & S. Karlsson 2018.

Evaluering av kultivering og kalking for laksebestanden i Flekkeelva. Rådgivende Biologer AS, rapport 2748, 28 sider.

Fangstene av laks i Flekkeelva økte mye fra midt på 1990-tallet og fram til 2008 og har siden da ligget på et høyt nivå. Innslaget av rømt oppdrettslaks har vært relativt lavt og det har ikke blitt påvist genetiske endringer som følge av innblanding av rømt oppdrettslaks.

I dette prosjektet har vi med genetiske analyser sporet utsatt laks i Flekkeelva til stamlaksforeldre brukt i gyteårene 2009, 2010 og 2011. Andelen kultivert laks fra disse gyteårene var henholdsvis 5, 25 og 8 %. I forhold til effektivt antall stamlaks og effektivt antall vill gytelaks er dette tilslaget fra kultivering lavt og bidrar relativt lite til den totale bestanden i Flekkeelva. Vi anbefaler at man ved ulike tiltak i kultiveringspraksisen forsøker å øke overlevelsen til utsatt fisk, alternativt at man avslutter kultiveringsprogrammet, siden bestanden ligger godt over gytebestandsmålet, også med det beskjedne bidraget fra utsettinger. Det bør imidlertid påpekes at vi kun har studert tre gyteår og at vi ikke kan utelukke at andel kultivert laks fra påfølgende gyteår kan være/bli større.

Fra og med 2014 ble det innført en obligatorisk gentest av all stamlaks i Norge for å luke ut stamlaks med genetisk opphav i rømt oppdrettslaks. Hvis denne testen hadde blitt gjort på stamlaks fra Flekkeelva i 2009-2011 hadde syv av 60 stamlaks (11,7 %) ikke blitt godkjent. Av totalt 42 avkom sporet tilbake til stamlaksforeldre var 7 avkom etter stamlakspar der den ene eller begge foreldrene hadde sannsynlig opphav fra rømt oppdrettslaks.

Vill og utsatt laks fra gyteårene 2009-2011 gikk ut som smolt i årene 2012-2015 og returnerte som voksne laks i elven i årene 2013-2017. Av laks fra gyteårene 2009-2011 er det beregnet en samlet fangst på ca. 1700 voksne laks i Flekkeelva, av disse var ca. 220 utsatt som plommeseckkyngel/rogn. Den relative fangsten av returnert laks fra de tre årsklassene var høy i Flekkeelva sammenlignet med ni referanseelver i fylket.

Vannkvaliteten i Flekkevassdraget har blitt overvåket kontinuerlig siden 1996 og viser en tendens til lavere pH og høyere konsentrasjoner av labilt (giftig) aluminium de siste fire årene; et gjennomgående trekk for Vestlandet. Sammenlignet med ni andre laksebestander i Sogn og Fjordane har fangstene i Flekkeelva vært spesielt høye av smoltårsklassene som gikk ut fra og med 2006. Dette var fra da det ble satt ut rogn/plommeseckkyngel oppstrøms anadrom strekning. Relativisert fangst i Flekkeelva sammenlignet med de ni referanseelvene viste ingen sammenheng mellom vannkvalitet i Flekkeelva under smoltutvandringen og relativ gjengefangst av voksen laks. Overvåkingen av vannkvaliteten startet først i 1996, i en periode da det hadde skjedd og skjedd en betydelig bedring i vannkvaliteten i alle forsurningspåvirkede vassdrag på Vestlandet. Det er ikke usannsynlig at en ville funnet en sammenheng mellom relativisert fangst og vannkvalitet hvis det hadde foreligget data om vannkvalitet på 1980- og første halvdel av 1990-tallet. Den negative utviklingen i vannkvalitet de siste årene gjør at det anbefales å opprettholde kalking av vassdraget.

Det er ikke påvist noen sammenheng mellom bestandsøkningen og økning av gytearealet. Den store økningen i relativisert fangst faller i tid sammen med kultiveringen oppstrøms anadrom strekning. Innslaget av kultivert fisk på i gjennomsnitt 13 % for tre av årene med best relativisert fangst, indikerer at det må være en annen faktor som også har betydning for de økte fangstene. En mulig forklaring på bestandsøkningen de siste 12 årene kan være at lakseungene benytter innsjøene som oppvekstområde i større grad enn tidligere. Det er betydelig usikkerhet i beregningen av fangst av returnert laks fra de ulike smoltårsklassene og denne usikkerheten dras med ved analyse av sammenhenger. Bestandens gode status tilsier likevel at det er høy smoltproduksjon i vassdraget i forhold til produksjonsarealet og det er dermed ingen opplagte habitattiltak som kan medføre økt smoltproduksjon på anadrom strekning.

1. INNLEDNING

1.1. Bakgrunn

Kultivering av laks har blitt drevet i lang tid for å kompensere for tapt produksjonskapasitet etter inngrep i vassdrag eller for å øke mengden fisk som kan fanges. Kultivering har skjedd ved utsetting av ulike stadier fra øyerogn til utvandringssklar laksesmolt. Smolten er vanligvis merket ved fjerning av fettfinnen slik at fisken kan identifiseres som kultivert når den vender tilbake til elven og blir fanget eller observert. I senere tid har det vært et uttrykt ønske fra forvaltningsmyndighetene at utsettingene skal skje på tidligst mulig stadium slik at fisken får mest mulig av livet i naturlige omgivelser (Jøranlid 2014). De siste 20 årene har derfor en økende andel av kultiveringen skjedd ved utsetting av tidlige stadier som befruktet rogn eller plommeseekkyngel, det vil si uten at de er blitt foret i anlegg. I mange tilfeller er egg blitt otolittmerket, men dette forutsetter avlaving, prøvetaking og analyse av otolittene for identifisering av kultivert fisk. Dette er i praksis vanskelig å få gjennomført på voksen laks som blir fanget, og det foreligger derfor lite informasjon om tilslaget på utsettinger av unge stadier.

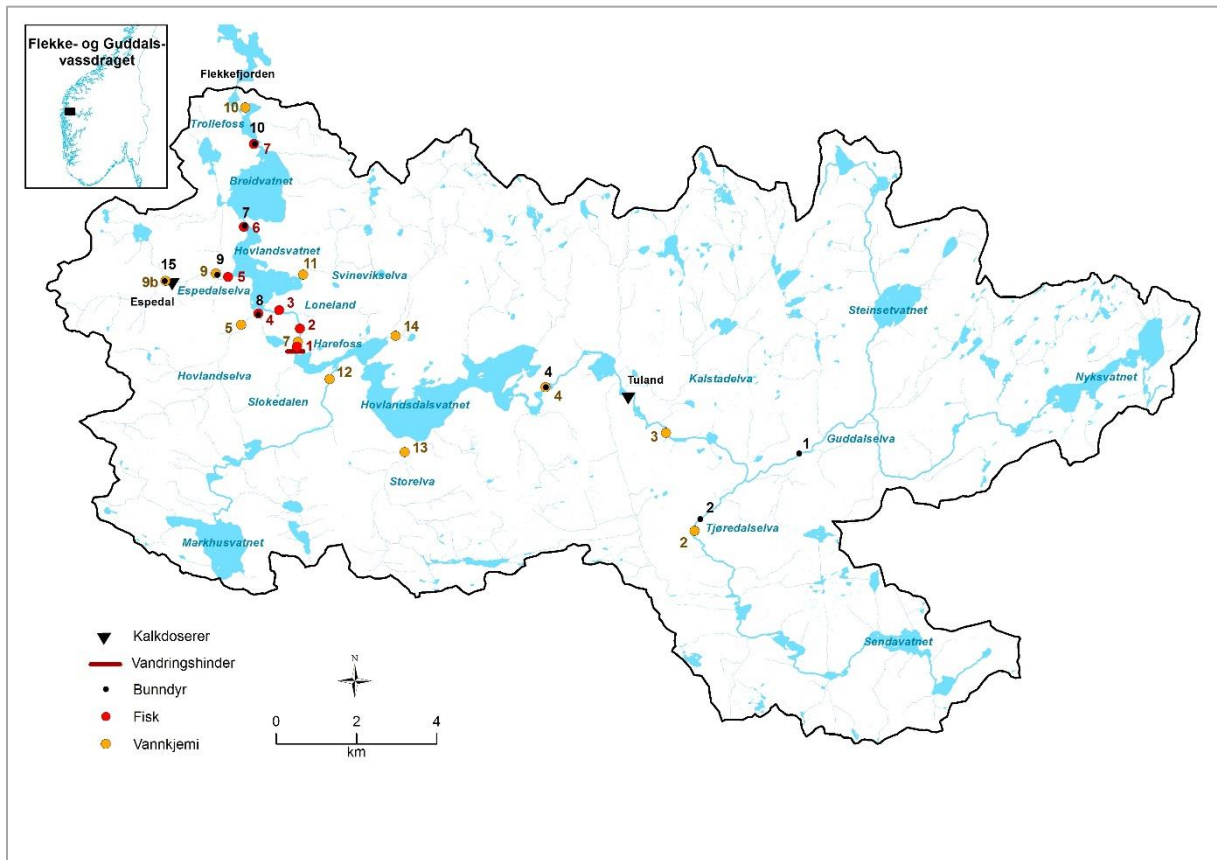
Genotyping er et alternativ til merking som kan benyttes til å evaluere tilslag og andel kultivert fisk i bestanden. Ved å analysere alle stamfiskene genetisk og lage et «foreldrearkiv» kan man finne ut om fisken som blir fanget er kultivert eller ikke ved å sammenholde fiskens DNA mot foreldrearkivet. Siden 2014 har det blitt analysert DNA fra all stamlaks som er blitt benyttet til kultivering i Norge (Karlsson mfl. 2018). I tillegg til identifisering av kultivert fisk gir genetisk sporing informasjon om relativt bidrag fra de ulike stamfiskene og dermed et godt grunnlag for å vurdere hvorvidt kultivering ivaretar den genetiske variasjonen (Karlsson mfl. 2016a; Hagen Arnesen mfl. 2018a, 2018b).

I Flekkeelva har det blitt drevet kultivering av laksebestanden siden 1964, hovedsakelig ved utsetting av plommeseekkyngel, men det har også blitt satt ut rogn, både på og ovenfor anadrom strekning. I foreliggende undersøkelse blir utsettingene evaluert ved genetisk analyse av skjellprøver fra laks fanget i Flekkeelva og som ble gytt i årene 2009, 2010 og 2011. Fra disse tre gyteårene foreligger det skjellprøver fra alle stamlaksene hos Veterinærinstituttet og DNA fra disse er ekstrahert og analysert. Laks fra disse gyteårene som ble utsatt ovenfor anadrom strekning etterfølgende år kan dermed identifiseres via foreldrearkivet. Det er blitt innsamlet og analysert et omfattende skjellmateriale fra fisket i Flekkeelva alle år siden 2000 (Urdal 2018), og sammenlignet med prøver av stamlaksen gir de genetiske analysene en god mulighet til å tallfeste innslaget av kultivert fisk i bestanden. Dette innslaget blir videre vurdert i forhold til potensielle negative genetiske effekter av kultivering (Karlsson mfl. 2016a), og er grunnlaget for råd om videre kultiveringspraksis.

Flekkeelva har blitt fullkalket siden høsten 1997 for å redusere effektene av sur nedbør. Vassdraget inngår i den nasjonale kalkingsovervåkingen og det blir gjennomført undersøkelser av vannkjemi gjennom hele året, og annethvert år blir det samlet inn bunndyrprøver fra vassdraget og utført ungfiskundersøkelser på anadrome strekninger (Hellen 2018). I denne rapporten blir effektene av kalkingen evaluert og det blir vurdert om kalkingen bør fortsette.

1.2. Vassdragsbeskrivelse

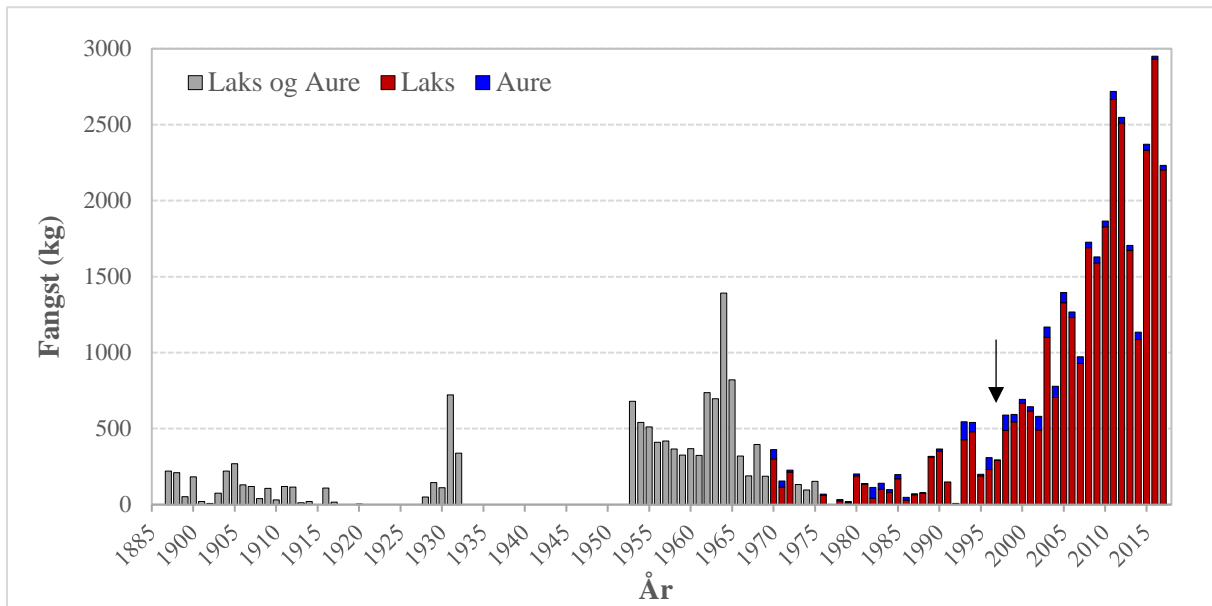
Flekkevassdraget (082.Z) har et nedbørfelt på 263 km² og en middelvannføring på 19,2 m³/s (se Hellen 2018). Lakseførende strekning er 8 km opp til Harefossen; av dette er 2,5 km elvestrekning, og de resterende 5,5 km er innsjøer (figur 1.2.1).



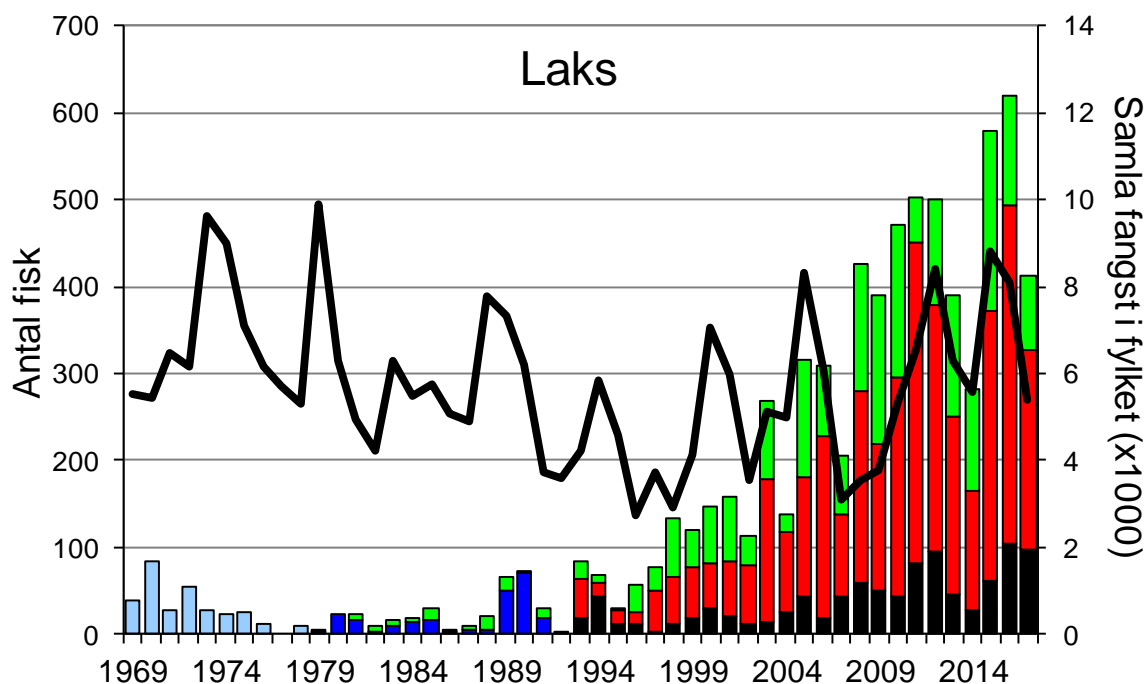
Figur 1.2.1. Flekke- og Guddalsvassdraget med nedbørfelt og stedsangivelse for kalkdoserere, vandringshinder for laksefisk og stasjonsnett for overvåking av vannkjemi, bunndyr og fisk (figur hentet fra Hellen & Hindar 2017).

1.3. Fangststatistikk

Den offisielle fangststatistikken for Flekkevassdraget går tilbake til 1900. Det ble ikke skilt mellom sjøaure og laks i fangstene før 1969 (**figur 1.3.1**). Den høyeste fangsten før 1950 var på 722 kilo i 1931, men statistikken var mangelfull før 1950. I perioden fra 1950 til 2017 har fangstene av både sjøaure og laks variert mye. Fangstene var relativt gode på 50- og 60-tallet, med et maksimum i 1964 på 1392 kg og en gjennomsnittlig årlig fangst på 502 kg. I perioden 1970 til 1998 var gjennomsnittlig årlig fangst 196 kg, med et maksimum på 590 kg. Fangstene økte fra midt på 90-tallet, og økte markert fra rundt årtusenskiftet til 2012. Det var en liten nedgang i 2013 og 2014, men i 2016 var fangsten rekordhøy med totalt 617 laks med samlet vekt på over 2,9 tonn. I 2017 var fangsten også god; 412 laks med en samlet vekt på 2,2 tonn.



Figur 1.3.1. Fangst i kilo av laks og aure fra 1887 og fram til 2017. I store deler av perioden er det ikke skilt mellom laks og aure. I lange perioder er det mangelfull rapportering. Pilen viser når kalkingen av vassdraget startet.



Figur 1.3.2. Fangst av laks og sjøaure i Flekkeelva i perioden 1969-2017 (antall, stolper). Fra 1979 er laksefangstene skilt som tert (<3 kg, grønn) og laks (>3 kg, blå). Fra 1993 er det skilt mellom smålaks (<3 kg, grønn), mellomlaks (3-7 kg, rød) og storlaks (>7 kg, svart). Linjen viser samlet fangst av laks i resten av Sogn og Fjordane. **NB!** Fangst inkluderer både avlivet og gjenutsatt fisk (fra Urdal 2018).

Fra og med 2003 (smoltårsklassene fra 2001 og 2002) økte fangsten i Flekkeelva tydelig i forhold til de andre elvene i fylket, og med en videre økning i 2008 (smoltårsklassene fra 2006 og 2007), etter den tid har fangsten stabilisert seg på et relativt høyt nivå i forhold til fangsten i resten av fylket (**figur 1.3.2**).

Av smoltårsklassene fra perioden 2000 til 2014 er det analysert skjellprøver av 3353 villaks fanget i Flekkeelva (Urdal 2018). Av disse utgjorde 1-sjøvinterlaks 17 %, 2-sjøvinter 44 %, 3-sjøvinter 36 % og 4-sjøvinter og eldre utgjorde 3 %. I materialet var det 93 som gyttet for andre gang (2,8 %).

Gjennomsnittlig smoltalder var 2,3 år og gjennomsnittlig smoltlengde 15,4 cm ($\pm 2,4$ cm) i et materiale på 684 laks. 2-års-smolt dominerte med 68 % og disse hadde en gjennomsnittlig smoltlengde på 14,8 cm ($\pm 2,2$ cm), mens 3-årssmolten utgjorde 32 % og smoltlengden var 16,5 cm ($\pm 2,3$ cm).

Det er anslått en teoretisk produksjon på 11.246 laksesmolt på den anadrome delen av Flekkevassdraget (Ugedal mfl. 2017). I perioden 2008-2017 har det som årlig gjennomsnitt blitt fanget 457 voksne laks i vassdraget. Tar man utgangspunkt i estimert smoltproduksjon og antar en beskatningsrate på 50 %, er sjøoverlevelsen over 8 %. Dette er en relativt høy sjøoverlevelse i nåværende periode (Anon 2018a). Det er mulig at smoltproduksjonen er høyere enn det teoretiske anslaget, i så fall vil sjøoverlevelsen være lavere.

1.4. Kultivering

Opplysningene om kultivering og utsettinger er hentet fra Gabrielsen mfl. (2007) og fra Anon (2018a). Det har vært drevet kultivering i vassdraget siden 1964, men omfanget er ikke kjent før etter 1991. I perioden 1991 til og med gyteåret 2000 ble det satt ut i gjennomsnitt 35.000 plommeseckkyngel årlig i sideelvene (**tabell 1.4.1**). I gyteårene 2001-2005, 2009 og 2012 ble det satt ut øyerogn på den anadrome strekningen. Fra gyteårene 2001-2005 ble rognen satt ut på utløpet av Hovlandsvatnet og på inn- og utløpet av Breidvatnet (Gabrielsen og Barlaup 2003). Fra gyteåret 2003 ble det også plantet øyerogn ovenfor anadrom strekning. Fra og med gyteåret 2003 har det alle år, med unntak av i 2008, blitt satt ut plommeseckkyngel ovenfor den anadrome strekningen (Gabrielsen mfl. 2007, Anon 2018a).

Tabell 1.4.1. Kultivering i Flekkeelva (fra Anon 2018a og Gabrielsen mfl. 2007). Det er ikke helt samsvar mellom disse rapportene og for gyteårene tom. 2005 har vi benyttet tallene til Gabrielsen mfl. (2007). Antall og opphav for foreldregenerasjonen, antall utsatt og årstall for smoltutvandring for fisk fra de respektive gyteårene. Merk at i tabellen følges gytefisken slik at rogn/ynge er satt ut året etter gyteåret. Eksempelvis ble det ikke strøket stamfisk høsten 2008 og dermed ble det heller ikke satt ut rogn eller ynge i 2009. Antall rogn og plommeseckkyngel utsatt ovenfor anadrom strekning er uthevet. Vanligste smoltalder er 2 år (68 %). Årsklassene som er genotypet er vist med rød skrift.

Gyteår	Foreldre	Antall stamfisk		Antall utsatt			Smoltår	Fangstår
		Hunn	Hann	Rogn	Plomme- seckkyngel	Sum utsatt		
1992					35000	35000	1995 (96)	1996-1999
1993					35000	35000	1996 (97)	1997-2000
1994					35000	35000	1997 (98)	1998-2001
1995					35000	35000	1998 (99)	1999-2002
1996					35000	35000	1999 (00)	2000-2003
1997					35000	35000	2000 (01)	2001-2004
1998					35000	35000	2001 (02)	2002-2005
1999					35000	35000	2002 (03)	2003-2006
2000					35000	35000	2003 (04)	2004-2007
2001	Genbank			69800		68000	2004 (05)	2005-2008
2002	Genbank			164000		164000	2005 (06)	2006-2009
2003	Genbank			126800 + 150000	50000	326800	2006 (07)	2007-2010
2004	Genbank			144000	250000	394000	2007 (08)	2008-2011
2005	Genbank				553000	553000	2008 (09)	2009-2012
2006	Genbank				260000	260000	2009 (10)	2010-2013
2007	Genbank				260000	260000	2010 (11)	2011-2014
2008				0	0	0	2011 (12)	2012-2015
2009	Stamfisk elv	11	7	50000	22000	72000	2012 (13)	2013-2016
2010	Stamfisk elv	11	9		70000	70000	2013 (14)	2014-2017
2011	Stamfisk elv	12	8		100000	100000	2014 (15)	2015-2017
2012	Stamfisk elv	12	8	50000	100000	150000	2015 (16)	2016-2019
2013	Stamfisk elv	8	7		100000	100000	2016 (17)	2017-2020
2014	Stamfisk elv	5	5		30700	30700	2017 (18)	2018-2021
2015	Stamfisk elv	11	10		64000	64000	2018 (19)	2019-2022
2016	Stamfisk elv	13	8		93000	93000	2019 (20)	2020-2023
2017	Stamfisk elv	8	9				2020 (21)	2021-2024

Fra og med gyteåret 2001 økte utsettingen og frem til gyteåret 2004 ble det i tillegg til plommeseckkyngel satt ut et betydelig antall øyerogn. Etter gyteåret 2004 har det kun blitt satt ut plommeseckkyngel, unntatt

fra gyteårene 2009 og 2012 da det også ble satt ut 50.000 øyerogn. For gyteårene 2001-2007 ble det hentet øyerogn fra genbanken og disse kan ikke spores tilbake til foreldre. Fra og med gyteåret 2009 har det blitt benyttet stamlaks fanget i Flekkeelva og fra disse stamfiskene finnes det skjellprøver som kan genotypes. Merk at i **tabell 1.4.1** følges gytefiskens slik at oppgitt antall rogn/ungel er satt ut året etter gyteåret. Eksempelvis ble det ikke strøket stamfisk høsten 2008 og dermed ble det heller ikke satt ut rogn eller ungel i 2009.

Gyteåret 2003 ble det for første gang kultivert ovenfor anadrom strekning. Dette året ble det satt ut både øyerogn og plommeseckkyngel, og senere bare plommeseckkyngel. Det har blitt satt ut mest ovenfor anadrom strekning i Skorselva i Slokedalen, men også en del i Guddalselva. I hver elv har utsettingsmaterialet blitt spredd på en 4 km lang elvestrekning (Hellen 2018). Til sammenligning er lakseførende anadrom elvestrekning bare 2,5 km, men lakseunger vokser også opp i innsjøene på den anadrome delen av vassdraget (Gabrielsen og Barlaup 2003).

1.5. Bestandsstatus

Vitenskapelig råd for lakseforvaltning har vurdert forvaltningsnivået som nådd for denne bestanden med et større høstbart overskudd enn det som hadde blitt utnyttet (Anon 2018a). Vurdert etter kvalitetsnormen for villaks for perioden 2010-2014 var samlet status svært god/god og samme vurdering ble gitt for gytebestandsmål og høstbart overskudd, og for genetisk integritet (Anon 2018a). Det har vært et relativt lavt innslag av rømt oppdrettslaks i laksefangstene i Flekkeelva, i 2017 var innslaget 0,8 % (Urdal 2018). Gytebestandsmålet for bestanden er satt til 277 kg hunnfisk, tilsvarende 55 hunnlaks med snittvekt på 5 kg. I fem av de siste 7 årene (2011-2017) har gytebestanden av hunner blitt beregnet til over 2 tonn, og rundt tre tonn i fire av årene, det vil si rundt 10 ganger høyere enn gytebestandsmålet (Anon 2018b). I Flekkevassdraget er gytefisketellingene imidlertid meget vanskelig å gjennomføre og derfor usikre. Dette skyldes det humøse vannet som gir dårlig sikt og at det dessuten er mange dype høl på elvestrekningene der en ikke ser bunnen. I tillegg kan laksen oppholde seg i innsjøene helt frem til gyting. Det foreligger derfor lite kunnskap om beskatningsrater under sportsfisket i Flekkeelva.

1.6. Kalking

Flekkvassdraget har vært fullkalket med to doserere siden 1997. Nåværende kalkingsmål, som ble justert i 2013, er pH 6,0 hele året på lakseførende strekning (se Hellen 2018). Det meste av elvestrekningene der det blir drevet kultivering er ukalket. I ukalkete sidegreiner har pH falt siden 2014 og har siden da variert mellom pH 5,5 og 5,8 gjennom året (Hellen 2017).

1.7. Effektiv bestandsstørrelse

Effektiv bestandsstørrelse er et standardisert mål på bestandsstørrelse som direkte kan relateres til tap av genetisk variasjon ved tilfeldig genetisk drift; jo lavere effektiv bestandsstørrelse desto raskere tap av genetisk variasjon. Effektiv bestandsstørrelse beregnes ved å relatere til en idealisert bestand der det er lik kjønnsfordeling, tilfeldig parring og der variasjon i antall avkom per familie er lik to, forutsatt en bestand som opprettholder seg selv (Falconer & Mackay 1996). Naturlige bestander avviker som regel fra denne idealiserte situasjonen ved at det som regel er stor variasjon i antall avkom, og effektivt antall foreldre vil da være lavere enn potensielle antall foreldre (Frankham 1995, Nunney 1999, Wright 1931). Dette kan også være tilfellet for stamfisk som brukes i kultivering og vil påvirke i hvor stor grad kultivering vil kunne føre til en reduksjon eller økning i effektiv bestandsstørrelse, avhengig av hvor stort tilslaget er.

Dersom et lite antall stamfisk gir opphav til at stort antall utsatt fisk kan den totale effektive bestandsstørrelsen i bestanden bli redusert, selv om det totale antall individer i elven øker. Dette kalles Ryman-Laikre effekten (Ryman & Laikre 1991). Dersom tilslaget er svært dårlig vil kultivering ha liten effekt på bestanden. Det er derfor viktig å etterstrebe en god balanse mellom tilslag og antall stamfisk og gytefisk i bestanden.

Tallfesting av andel kultivert fisk i bestanden, effektivt antall stamfisk og effektivt antall vill gytefisk er dermed sentrale fokus ved evaluering av kultivering. En slik evaluering krever at utsatt fisk kan bli sporet til sine stamfiskforeldre ved hjelp av molekylærgenetiske metoder (Karlsson mfl. 2016a).

1.8. Innkryssing av rømt oppdrettslaks

Etter 12 generasjoner med sterk genetisk drift og seleksjon for økonomisk viktige trekk er oppdrettslaks både genetisk (Debes & Hutchings 2014, Einum & Fleming 1997, Fraser mfl. 2010, Solberg mfl. 2013, Thodesen mfl. 1999, Yates mfl. 2015) og fenotypisk (Glover mfl. 2017) forskjellig fra villaks. Dette har ført til at oppdrettslaksen er dårligere tilpasset livet i naturen enn villaksen (Fleming mfl. 2000, McGinnity mfl. 2003). Det er dermed svært viktig å ikke benytte stamfisk som er genetisk innkrysset med oppdrettslaks under kultivering. Fra og med 2014 har det vært obligatorisk med genetisk test av all stamlaks for mulig opphav i rømt oppdrettslaks, slik at individer som sannsynligvis ikke har rent villaksopphav ikke blir brukt som stamlaks (Karlsson mfl. 2018). Under stamlakskontrollen i 2017 ble tre av 20 stamlaks (15 %) fra Flekkeelva forkastet fordi de var innkrysset med gener fra rømt oppdrettslaks (Karlsson mfl. 2018). I 2016 ble ingen av de 21 undersøkte stamlaksene forkastet (Karlsson mfl. 2017), mens i 2015 ble én av 21 forkastet (5 %) (Karlsson mfl. 2016), og i 2014 ble én av 17 forkastet (Karlsson mfl. 2015). Etter å ha undersøkt skjellprøver fra hovedsakelig voksen laks fanget i Flekkeelva i perioden 1998 til 2016 ble det ikke funnet genetiske endringer i bestanden som følge av innkryssing av rømt oppdrettslaks (Diserud mfl. 2017).

2. METODER

2.1. Genetisk tilordning av avkom til stamfiskforeldre

Fra hvert gyteår (2009, 2010 og 2011) ble 100 voksne individer fanget i sportsfisket i perioden 2013-2017 genotypet. I tillegg ble all stamfisk fra skjellkontrollen for de samme gyteårene genotypet for å kunne identifisere avkom etter utsetninger fra disse produksjonsårene. I tillegg ble stamfisk fra 2012 genotypet for å kunne ta høyde for mulig feil i aldersavlesing av skjell og dermed feil i tilordning av gyteår. Kultivert fisk ble tilordnet stamfiskforeldre basert på Mendelsk nedarving. Dette innebærer at avkom arver ett av to gener fra hver av foreldrene og ved å analysere et tilstrekkelig høyt antall gener kan vi med tilnærmet 100 % sikkerhet identifisere hvilke foreldre et individ har. Analysen ble utført ved hjelp av et skript i Visual Basic (Thomas Moen, AquaGen AS, upublisert). I denne analysen er det brukt genotyper for 74 Single Nucleotide Polymorphisms (SNPs). Mulige avkom med mer enn 20 % manglende genotyper ble fjernet fra analysen. Stamfisken ble genotypet for alle genetiske markører (SNPer). For å ta høyde for mulige feil ved genotyping, ble det tillatt mismatches mellom identifiserte foreldre og avkom. Foreldrepar ble tilordnet med opptil to mismatch, dersom krysningen stemte med krysningslisten, tilordnet mor hadde samme mitokondrielle haplotype (se beskrivelse nedenfor) og det ikke var noe annet par med tilsvarende match. For å videre øke sikkerheten av den genetiske tilordningen ble all stamfisk uavhengig av gyteår, kjønn og oppgitt krysning satt som mulige foreldre. Det ble tatt høyde for mulig feil i aldersbestemmelse fra skjellanalysen ved at genetisk tilordning av avkom til foreldre ble gjort uavhengig av gyteår. Genetisk tilordning av avkom til stamfiskforeldre ble sjekket ved å sammenlikne mitokondriell haplotype (basert på 15 mitokondrielle SNPer) hos hunn-stamfisk 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.

2.2. Beregning av effektiv bestandsstørrelse

Effektivt antall foreldre er som regel forskjellig og ofte mindre enn faktisk antall foreldre. Med ulikt antall hunn- og hannfisk og en stor forskjell i antall avkom vil effektivt antall foreldre bli mindre enn faktisk antall foreldre. Effektivt antall foreldre for kultivert fisk beregnes separat for hanner og hunner for hvert gyteår ut fra antall tilordnede avkom i henhold til følgende formel (Caballero 1994):

$$NeK = \frac{N\mu - 1}{\mu - 1 + \left(\frac{\sigma^2}{\mu}\right)} \quad (\text{Likning 1})$$

Der N er antall stamfisk, μ er gjennomsnittlig antall avkom per stamfisk og σ^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, mens μ ble satt = 2. Ut i fra dette ble totalt antall effektivt stamfisk beregnet som følger:

$$NeK = \frac{4 (NeK_{\text{♀}} \cdot NeK_{\text{♂}})}{NeK_{\text{♀}} + NeK_{\text{♂}}} \quad (\text{Likning 2})$$

Beregning av effektivt antall gytefisk for villfisk ble gjort ved hjelp av «Sibship» metoden (Wang 2009), som er implementert i programmet COLONY 2.0.2.3 (Jones & Wang 2010). Denne estimerer effektivt antall foreldre i bestanden ved å identifisere halv- og helsøsken ut fra genotypisk likhet og ut fra sammensetningen av hel- og halvsøsken og ubeslektede individer i en stikkprøve av bestanden.

2.3. Vurdering av en Ryman-Laikre effekt som følge av kultivering

Dersom et fåtall stamfisk får mange avkom som returnerer som voksen gytefisk og bidrar uforholdsmessig mye til den samlede bestanden, vil dette kunne lede til at den totale effektive bestandsstørrelsen (bidraget fra stamfisk og bidraget fra vill gytefisk) blir redusert som følge av kultivering.

Den totale effektive bestandsstørrelsen ble beregnet ut fra følgende formel:

$$N_{eTotal} = \frac{1}{\left(\frac{x^2}{N_{eK}}\right) + \frac{(1-x)^2}{N_{eV}}} \quad (\text{Likning 3})$$

Hvor N_{eV} er effektivt antall gytefisk i den ville bestanden (fra Sibship-analyser), N_{eK} er effektivt antall stamfisk og x er andel kultivert fisk i bestanden for hvert gyteår. Andel kultivert fisk ble beregnet ut fra hvor mange individer som ble tilordnet foreldre i hvert gyteår. Beregning av N_{eTotal} ble gjort separat for hvert gyteår. Dersom N_{eTotal} er mindre enn effektiv bestandsstørrelse i den ville bestanden (N_{eV}) kan man slutte at den totale effektive bestandsstørrelsen hadde vært større uten bidrag fra utsatt fisk, det vil si en Ryman-Laikre effekt. Dersom N_{eTotal} er større enn effektiv bestandsstørrelse i den ville bestanden (N_{eV}) kan man slutte at kultivering har bidratt til den effektive bestandsstørrelsen.

$$\frac{N_{eTotal}}{N_{eV}} < 1 \quad (\text{Likning 4})$$

I hvilken grad villaks er innkrysset med oppdrettslaks ble vurdert individuelt for alle genotypedestamlaks fra 2009 til 2012 som beskrevet i Karlsson mfl. (2014, 2016a, 2016b), der hvert individ gis en P(wild)-verdi mellom 0 og 1. Individer med P(wild)-verdi under 0,71 har sannsynligvis ikke rent villaksopphav i henhold til grenseverdi brukt ved stamlakskontroll (Karlsson mfl. 2016b). Til sammenlikning og for å vurdere utviklingen, presenterer vi i tillegg resultater fra stamlakskontrollen av stamlaks fra Flekkeelva i årene 2014 til 2017.

2.4. Fangststatistikk

Fra og med 1993 er det skilt mellom små, mellom og storlaks i fangststatistikken. Disse tre størrelsesgruppene representerer i grove trekk en-, to- og tresjøvinter laks. Ved å bruke dette som forutsetning er samlet fangst av hver enkelt smoltårsklasse fra og med 1992 beregnet. En smoltårsklasse er den smolten som forlater elva samme vår og kan bestå av flere aldersgrupper av fisk; i Flekkeelva hovedsakelig to- og treåringer. For smoltårsklassene 2015 og 2016 foreligger det enn så lenge bare fangst fra henholdsvis to og ett år. Forventet fordeling av mellomlaks og storlaks for disse to smoltårsklassene er beregnet ved å anta samme fordeling mellom de ulike størrelsesgruppene som i 5-årsperioden 2010-2014.

For å vurdere utviklingen av fangst av de ulike smoltårsklassene i Flekkeelva over tid er det gjort en sammenlikning med fangsten av smoltårsklassene i et utvalg elver fra Sogn og Fjordane. Utvalget av elver er gjort etter følgende kriterier: Kun elver med komplett fangststatistikk for hele perioden (1993-2017) og hvor det er fanget minst 100 laks ett av årene er tatt med. Elver med store utsetninger eller etablering av laksetrapper i den aktuelle perioden er utelatt. Samlet ble ni elver inkludert for sammenlikning med Flekkeelva, disse er Sogndalselva, Gaula i Sunnfjord, Nausta, Å- og Ommedalselva, Hopselva i Hyen, Gloppenelva, Ryggelva, Eidselva og Ervikelva. Inkludert Flekkeelva ble det fanget 87.961 laks i disse elvene i perioden 1993-2017, noe som utgjorde 62 % av totalfangsten av laks i elver i Sogn og Fjordane. Rømt oppdrettslaks er inkludert i fangstene, og siden innslaget av rømt oppdrettslaks har variert mellom elver og år er dette en mulig feilkilde i analysene.

For å kunne sammenligne fangstene av de ulike årsklassene er fangststatistikken for perioden

normalisert. Normaliseringen er gjort ved å gi gjennomsnittlig fangst for de fem beste årene i hvert enkelt vassdrag indeksverdi 1. Deretter er fangsten av hver enkelt smoltårsklasse skalert i forhold til denne indeksen. For hver enkelt smoltårsklasse er indeksverdiene til Flekkeelva sammenlignet med gjennomsnittet av indeksverdiene for de ni referansevassdragene. Den relative smoltårsklassestyrken for Flekkeelva er beregnet ved å trekke normalisert verdi for de ni referanseelvene fra normalisert verdi i Flekkelva.

Vurderingen av den relative fangsten i Flekkeelva i forhold til de ni referanseelvene kan være påvirket av ulike innslag av rømt oppdrettslaks. Andelen av rømt oppdrettslaks har vært lav i Flekkelva i hele perioden, mens den har variert mer i de andre elvene (Urdal 2018). Det er sannsynlig at andelen rømt laks i gjennomsnitt har vært større i referanseelvene på det meste av 2000-tallet sammenlignet med i Flekkelva. Det er også sannsynlig at andelen rømt oppdrettslaks har blitt mer redusert i referanseelvene etter 2010 enn den har blitt i Flekkelva. Dersom dette er tilfellet ligger fangstene i referanseelvene «kunstig» høyt i første del av sammenligningsperioden. Dette vil i så fall føre til at den positive utviklingen i Flekkelva som vises i siste del av sammenligningsperioden sannsynligvis ligger noe for høyt. Påvirkning av lakselus er en annen faktor som kan påvirke sammenligningen, men det er usikkert om påvirkningen har vært forskjellig på smolten fra Flekkelva sammenlignet med referanseelvene. Det er sannsynlig at påvirkningen av lakselus var større på 1990-tallet enn senere i alle elvene (se Nilsen mfl. 2017).

2.5. Vannkvalitet

Det har siden 1996 vært utført vannkjemiske undersøkelser en rekke steder i Flekkevassdraget. De vannkjemiske målingene er rapportert årlig av Miljødirektoratet (se. f.eks. Hellen & Hindar 2017). Laks er ekstra sensitiv for dårlige vannkjemiske forhold i smoltutvandringsperioden (Stefansson mfl. 2007). Det er særlig høye konsentrasjoner av labilt aluminium som er skadelig og kan gi redusert sjøoverlevelse (Poleo 1995, Kroglund mfl. 2007). Episoder med dårlig vannkvalitet om våren kan føre til opphopning av aluminium på fiskegjellene, og det er dette som er skadelig (Poleo 1995). Fisk som får mye aluminium på gjellene vil, når den kommer i vann med bedre vannkvalitet, gradvis restituere skadene på gjellene. Restitusjonstiden vil avhenge av hvor lenge fisken var eksponert og hvor mye aluminium den var eksponert for (Kroglund mfl. 2007). For å vurdere om vannkvaliteten i Flekkevassdraget har hatt en direkte effekt på smoltårsklassene er normalisert fangst sammenlignet med de høyeste registrerte konsentrasjonene av labilt aluminium og de laveste verdiene av pH oppe (Harefoss) og nede (Trollefoss) på den anadrome elvestrekningen i april og mai (rådata i **vedleggstabell 1**). For å få et uttrykk for vannkvaliteten det enkelte året er gjennomsnittet av høyeste konsentrasjon av labilt aluminium og laveste pH disse to stedene hvert enkelt år benyttet.

3. RESULTATER

3.1. Genetisk tilordning til stamfiskforeldre

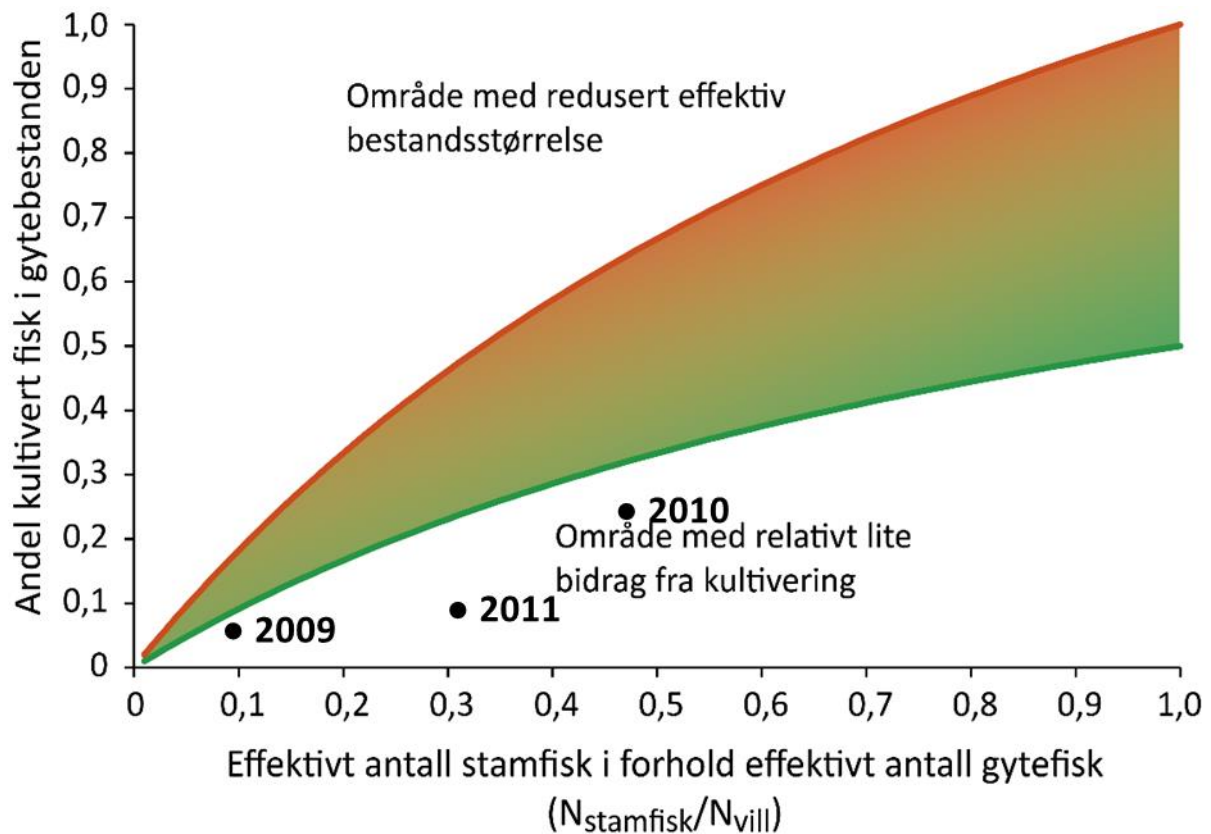
Totalt ble det identifisert 42 avkom fra stamfisk fra gyteårene 2009, 2010 og 2011. Ut ifra dette er effektivt antall stamfisk beregnet. I **tabell 3.1.1** ser vi at effektivt antall stamfisk ($N_{\text{ebKultivert}}$) for 2009 er betydelig lavere (4,4) enn antall stamfisk brukt i henhold til krysningslisten (18). For 2010 er effektivt antall stamfisk tilnærmet det antall som er oppgitt i krysningslisten.

Tabell 3.1.1. Effektiv bestandsstørrelse for vill (N_{eVill}) og kultivert ($N_{\text{eKultivert}}$) andel av bestanden, antall ikke tilordnet stamfiskforeldre og derfor antatt vill (N_{Vill}), antall registrerte avkom ($N_{\text{Kultivert}}$), antall stamfisk (N_{Stamfisk}), forholdstallet mellom effektiv bestandsstørrelse i totalbestanden og vill bestand ($N_{\text{eTotal}}/N_{\text{eVill}}$) og andel kultivert fisk for hvert gyteår.

Gyteår	N_{eVill}	$N_{\text{eKultivert}}$	N_{Vill}	$N_{\text{Kultivert}}$	N_{Stamfisk}	N_{eTotal}	$N_{\text{eTotal}}/N_{\text{eVill}}$	Andel kultivert
2009	45	4,4	94	5	18	48,5	1,08	0,05
2010	40	18,5	76	26	20	57,5	1,44	0,25
2011	44	13,8	86	11	20	50,4	1,14	0,08

Dersom totalt effektivt antall gytefisk (bidrag fra vill gytefisk og kultivert fisk) er større enn effektivt antall vill gytefisk alene ($N_{\text{eTotal}}/N_{\text{eVill}} > 1$) indikerer dette at kultivering har bidratt til den effektive bestandsstørrelsen i elven. I **tabell 3.1.1** ser vi at $N_{\text{eTotal}}/N_{\text{eVill}}$ ligger svært nær 1 for 2009 og 2011, hvilket tilsier at kultivering har hatt liten effekt på den effektive bestandsstørrelsen i elven for disse årene. Dette skyldes i stor grad den lave andelen kultivert fisk for disse gyteårene. For 2010 har kultivering hatt større effekt, noe som har nær sammenheng med høyere andel kultivert fisk fra dette gyteåret.

I **tabell 3.1.1** er andel kultivert fisk i bestanden plottet mot $N_{\text{eStamfisk}}/N_{\text{eVill}}$ for hvert gyteår fra 2009 – 2011. Alle gyteårene ligger under det ønskede området mellom de to linjene, hvilket tilsier at utsettinger fra disse gyteårene har bidratt relativt lite til bestanden i forhold til antall stamfisk (eller effektivt antall stamfisk) benyttet, og at andel utsatt fisk i gytebestanden bør være høyere for å oppnå maksimal total effektiv bestandsstørrelse (grønn linje).

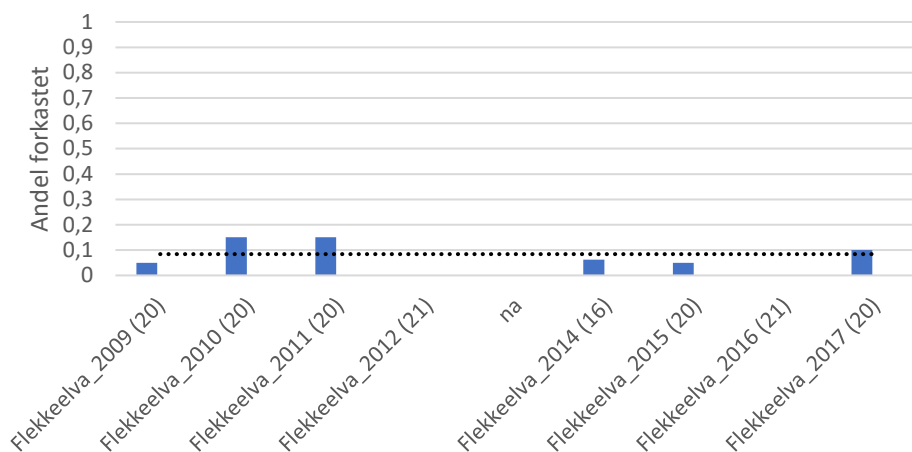


Figur 3.1.1. Forhold mellom kultivert fisk i gytebestanden (y-aksen) og $N_{\text{Stamfisk}}/N_{\text{Vill}}$ (x-aksen) for hvert gyteår fra 2009 – 2011. Rød linje angir forhold der totalt effektivt antall gytefisk (bidrag fra naturlig produksjon og fra kultivering) er den samme som bidraget fra kun naturlig produksjon. Grønn linje angir forhold som gir maksimalt effektivt antall gytefisk ved bidrag fra kultivering.

3.2. Innkryssing av rømt oppdrettslaks

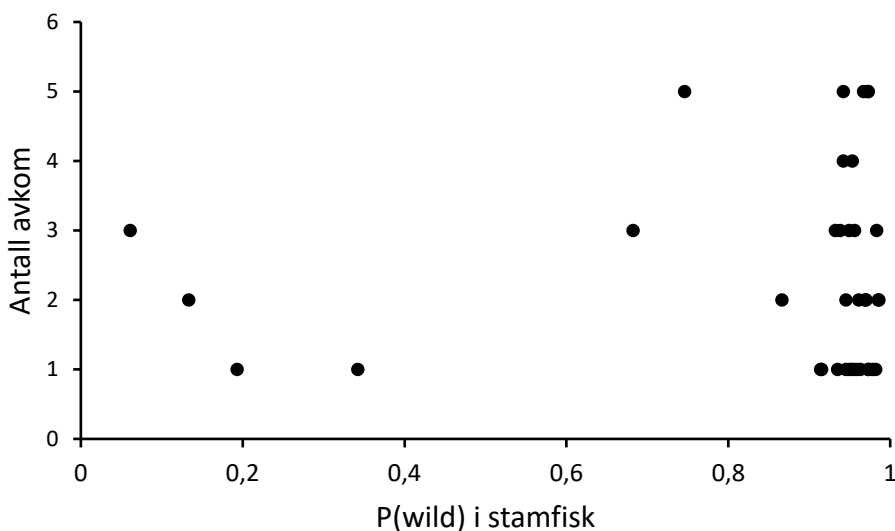
Med dagens stamfiskkontroll for mulig opphav i oppdrettslaks ville syv av 81 laks (8,6 %) karakterisert som vill ut fra skjellanalysen blitt forkastet i årene 2009 til 2012. Dette er på nivå med andel stamfisk forkastet i årene 2014 til 2017 (**figur 3.2.1**), og tilsvarer det en skulle forvente å forkaste om stamfisken kun hadde rent villaksopphav, på grunn av usikkerhet i analysene. Disse resultatene er også sammenfallende med kvalitetsnormen for genetisk integritet, der Flekkeelva er plassert i grønn kategori, det vil si ingen genetiske endringer observert (Diserud mfl. 2017).

Stamlakskontroll Flekkeelva 2009 - 2017



Figur 3.2.1. Andel stamfisk fra Flekkeelva kategorisert som villaks ut fra skjellanalyser, men forkastet på grunn av mulig opphav i oppdrettslaks ut fra genetisk analyse. Data fra årene 2009 til 2017 (unntatt 2013). Stiplet sort linje angir gjennomsnittlig forventet andel (8,4 %) rene villfisk forkastet dersom bestanden er genetisk upåvirket av oppdrettslaks. Tall i parentes etter elvenavnet er antall fisk genetisk analysert.

Fem av 36 stamfisk hvis avkom er gjenfanget har en sannsynlighet for rent villaksopphav ($P(\text{wild})$) under grensen satt i stamlakskontrollen ($P(\text{Wild}) < 0,71$) og ville dermed vært forkastet som stamfisk etter dagens stamfiskkontroll. **Figur 3.2.2** viser fordelingen av $P(\text{wild})$ i stamfisk og antall avkom. Det var ingen signifikant forskjell i estimert grad av innkryssing mellom vill og kultivert fisk fra gyteårene 2009, 2010 og 2011. Stamlaks med en estimert lav sannsynlighet for rent villaksopphav som har gitt returnerende avkom til Flekkeelva ser derfor ikke ut å være av et slikt omfang at det har forsterket innkryssing av oppdrettslaks i bestanden (**figur 3.2.2**).

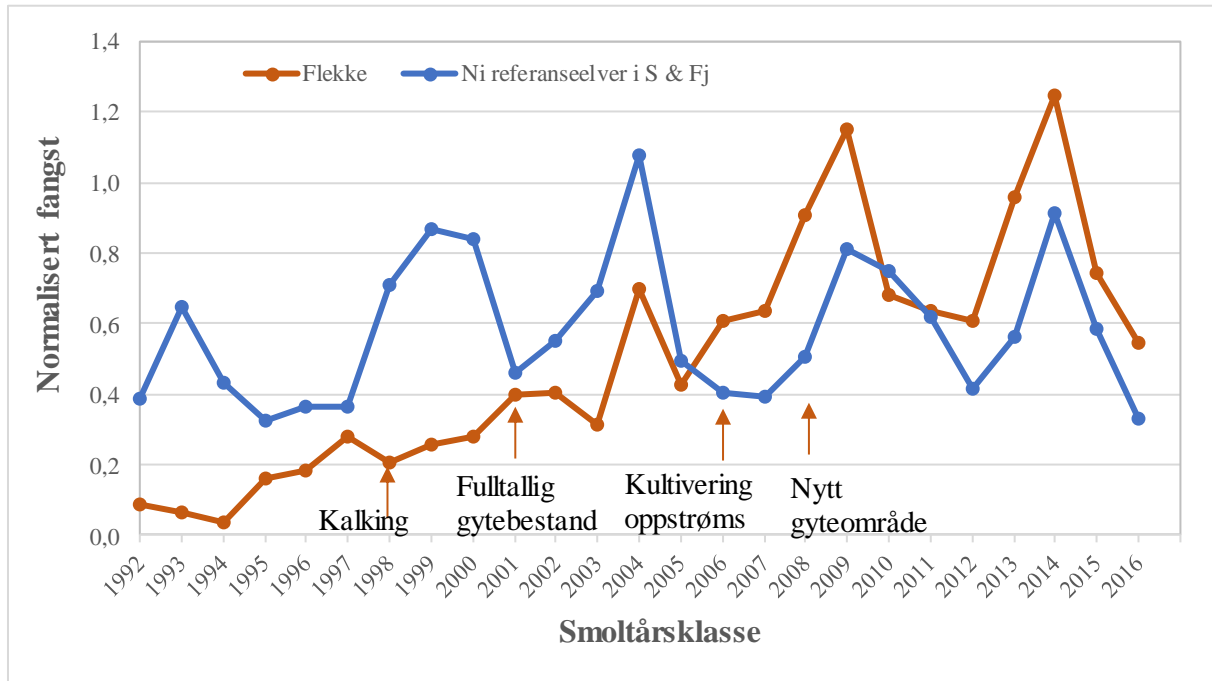


Figur 3.2.2: Antall avkom fra hver stamfisk (y-aksen) og sannsynlighet for villaksopphav ($P(\text{wild})$) i stamfisken (x-aksen) for gyteårene 2009, 2010 og 2011.

Det var ingen forskjell i $P(\text{wild})$ mellom kultivert og vill fisk (**figur 3.2.2**). For gyteåret 2011 var gjennomsnittlig $P(\text{wild})$ i kultivert andel av bestanden (0,805) noe lavere enn for vill andel (0,915), men denne forskjellen er ikke signifikant (1-sidig t-test, $p = 0,12$).

3.3. Fangststatistikk

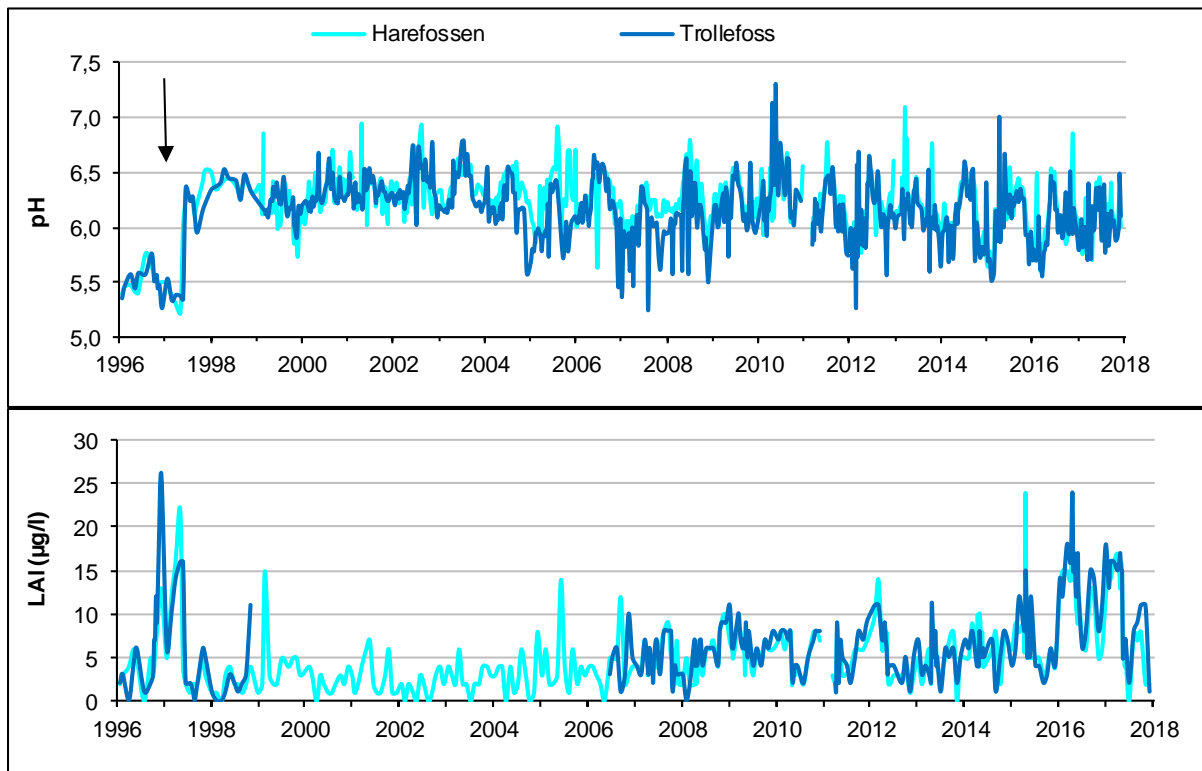
Resultatene av den normaliserte fangstutviklingen for de ulike smoltårsklassene viser at fangsten i Flekkeelva har hatt en svært positiv utvikling helt siden 1994, mens det ikke har vært noen tilsvarende utvikling i referanseelvene i Sogn og Fjordane (**figur 3.3.1**).



Figur 3.3.1. Normalisert fangst av de ulike smoltårsklassene av laks i Flekkeelva sammenlignet med ni andre tallrike laksebestander i Sogn og Fjordane.

3.4. Vannkjemi

Kalkingen av Flekkevassdraget med dosereren ved Tuland har gitt en bedring av vannkvaliteten i nedenforliggende deler av vassdraget. Fra en pH på omkring 5,5 gjennom hele året i 1996 skjedde det en betydelig økning til i underkant av pH 6,5 fra våren 1997, både ved Harefossen (stasjon 7) og Trollefoss (stasjon 10) (**figur 3.4.1**). Siden 2005 har det imidlertid vært dårligere vannkvalitet, med noe større variasjon i pH og høyere aluminiumskonsentrasjoner ved Harefossen og Trollefoss. Dette kan skyldes avtakende effekt av terrengkalkingen som ble gjennomført i 1998 i nedbørfeltet til sideelven Hovlandselva. De tre siste årene har gjennomsnittlig pH ved Trollefoss vært den laveste siden 2007, og ved Harefossen den laveste siden kalkingen startet.



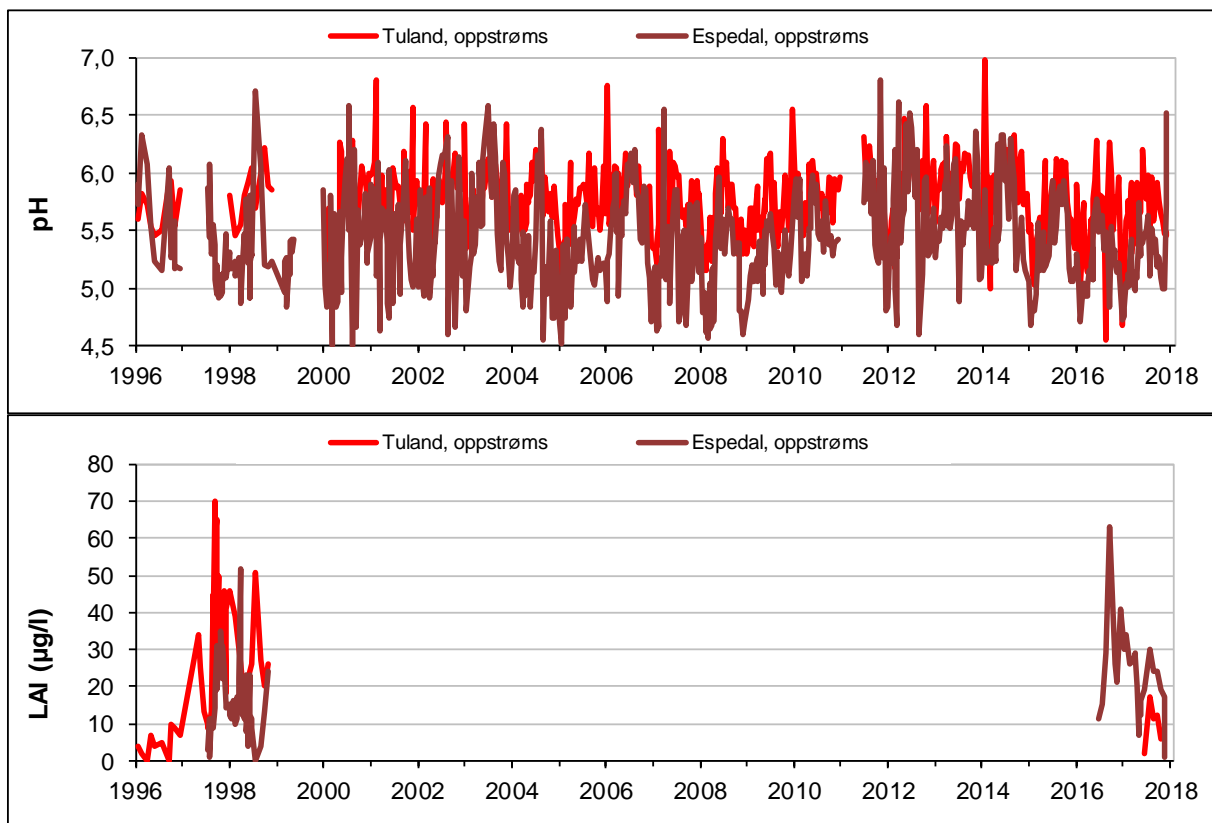
Figur 3.4.1. pH og labilt aluminium på anadrom strekning på lokalitetene Harefossen (st. 7 - **figur 1.2.1**) og Trollefoss (st. 10 - **figur 1.2.1**) i Flekke- og Guddalsvassdraget i perioden 1996-2017. Pil indikerer oppstart av kalking høsten 1997.

Trollefoss ligger langt nedenfor kalkdosereren ved Tuland, med store innsjøer mellom og svært lite lokalt nedbørfelt rett før målepunktet. Dette tilsier at vannkvaliteten her er forventet å være relativt stabil. Lokal tilrenning fra svært sure sidebekker i forbindelse med rask vannstandsøkning kan imidlertid være en forklaring på kortvarige episoder med surt vann.

Etter at kalkingen av Flekkevassdraget kom i gang, har det fram til 2014 bare vært et fåtall målinger av labilt aluminium over 10 µg/l, som er satt som klassegrense god/moderat med hensyn på sjøoverlevelse for laksesmolt (Anon 2013). Men fra og med 2015 har dette skjedd stadig hyppigere; i 2015 var konsentrasjonen av labilt aluminium over 10 µg/l ved ett tilfelle ved Harefoss, og i 2016 og 2017 skjedde det henholdsvis tolv og ni ganger av mellom 15 og 20 målinger gjennom året. Ved Harefossen var høyeste gjennomsnittlige konsentrasjon av labilt aluminium i årene 2015-2017 den høyeste som er registrert siden 1996. Tilsvarende har det vært over 10 µg/l henholdsvis 4, 14 og 11 ganger ved Trollefoss de tre siste årene. Det var særlig om vinteren og våren at det var høye verdier av labilt aluminium de to siste årene.

Oppstrøms kalkdosererne ved Tuland og i Espedalen har det bare vært små endringer i gjennomsnittlig pH i perioden 1996 til 2017 (**figur 3.4.2**). Ved Tuland har det imidlertid vært noen flere episoder med

lav pH de siste årene. For labilt aluminium er det relativt begrenset med data (**figur 3.4.2**) og det er vanskelig å si om det har vært noen endring mellom de to periodene med målinger (1996-1998 vs. 2016-2017). Mange av målingene har imidlertid relativt høye verdier av labilt aluminium. Samlet sett indikerer resultatene av de vannkjemiske prøvene fra referanseområdene i vassdraget at det ikke har vært noen markert utvikling i vannkvaliteten i perioden der det foreligger data. Tilsvarende er også målt i andre mindre bekker i vassdraget som ikke er påvirket av kalking (**figur 3.4.2**) (Hellen & Johnsen 2017). Flere episoder med lav pH og høye konsentrasjoner av labilt aluminium ser imidlertid ut til å være en trend de siste årene. At det ikke har vært en utvikling i de vannkjemiske forholdene i Flekkevassdraget fra 1996 til 2017 er noe uventet, siden det for denne regionen (Nord-Vestlandet) i gjennomsnitt har blitt 0,5 enheter høyere pH og konsentrasjonen av labilt aluminium har blitt halvert i denne perioden (Garmo mfl. 2016). En mulig forklaring kan være at mye av den vannkjemiske forbedringen som har skjedd på grunn av reduksjon i avsetningene av sulfat siden midten på 1980-tallet (Garmo mfl 2016), kom før overvåkingsprogrammet for vannkjemi kom i gang i Flekkevassdraget.



Figur 3.4.2. pH og labilt aluminium ved Tuland (st. 3 - **figur 1.2.1**), oppstrøms kalkdosereren, og i Espedalselva oppstrøms kalkdosereren (st. 9b - **figur 1.2.1**) i Flekke- og Guddalsvassdraget i perioden 1996-2017.

4. DISKUSJON

4.1. Tilslag og effekter av kultiveringen

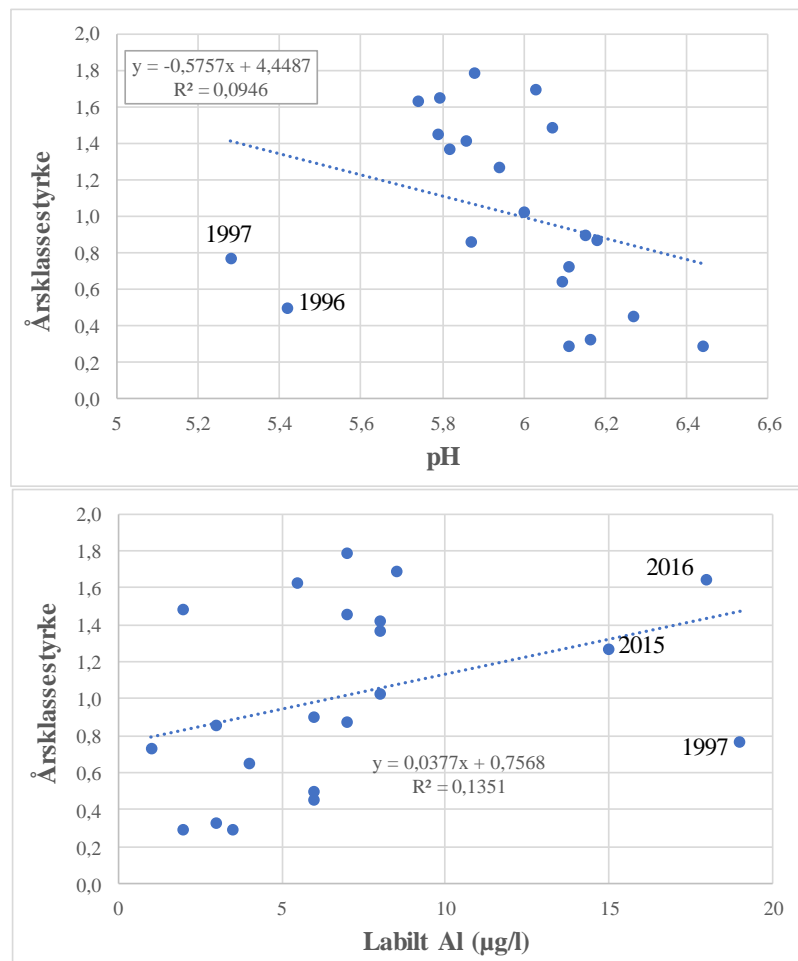
Tilslaget fra kultivering fra de undersøkte gyteårene varierte mye, med et beskjedent tilslag fra gyteårene 2009 og 2011, mens utsatt fisk fra gyteårsklassen 2010 utgjorde 25 % av fangsten. I forhold til estimert effektivt antall stamfisk og vill gytefisk i disse gyteårene er denne andelen liten og kultiveringen har ikke ført til en reduksjon i total effektiv bestandsstørrelse (det vil si ingen Ryman-Laikre effekt), men heller ikke bidratt med så mange gytefisk tilbake til elven som antall stamfisk benyttet skulle tilsi. Ut fra dette er det rom for å øke tilslaget av kultivert fisk i elven uten å få en negativ effekt på den effektive bestandsstørrelsen. Imidlertid, siden tilslaget av kultivering er lav i de årsklassene som er evaluert, og at Flekkeelva er vurdert å ha en bestand langt over gytebestandsmålet, kan det se ut som at kultivering ikke er nødvendig i Flekkeelva i dag. Denne vurderingen er basert på analyser av returnerende kultivert laks de siste årene fra tre gyteårsklasser. Den store økningen i fangster av laks i Flekkeelva fra og med smoltårsklassen 2006 sammenfaller med at man da startet med utsetting av plommeseekkyngel ovenfor anadrom strekning. Det er derfor nærliggende å tro at den markerte økningen i fangster henger sammen med utsettinger. Tre påfølgende gyteårsklasser med utsettinger undersøkt i dette prosjektet har imidlertid ikke gitt et stort tilslag. De undersøkte årsklassene ble fanget som voksne laks i en periode med relativt sett svært gode fangster i Flekkeelva.

Flekkeelva er plassert i grønn kategori i henhold til kvalitetsnormen for villaks siden det ikke er observert genetiske endringer som følge av innkryssing med rømt oppdrettslaks (Diserud mfl. 2017). Estimerte sannsynligheter for villaksopphav i dette prosjektet antyder i tråd med kvalitetsnormen at det ikke har vært mye innkryssing av oppdrettslaks. Vi observerte imidlertid at fem stamfisk med en lav sannsynlighet for å ha rent villaksopphav hadde produsert avkom som returnerte som voksen laks til elven. Tidligere bruk av stamfisk med sannsynlig oppdrettsopphav har ikke ført til en signifikant grad av innkryssing i bestanden, men våre observasjoner viser at dette kan skje og at det derfor er behov for stamlakskontroll for å luke ut stamlaks med helt eller delvis opphav i oppdrettslaks.

Etter det vi kjenner til er denne undersøkelsen den første i Norge der genotyping er benyttet til å evaluere tilslaget fra utsetting av plommeseekkyngel til gjenfangst som voksne laks. Den genetiske metoden som vi benytter tar høyde for mulige avvik: 1. Ved å analysere alle stamfiskene som har vært inne til skjellkontroll og ikke bare de som inngår i krysningslisten blir det mulig å identifisere foreldre som eventuelt ikke har blitt registrert i krysninger. 2. Den genetiske tilordningen tillater at all stamfisk uavhengig av kjønn, år og hva som er oppgitt i krysningslisten kan være foreldrepar. 3. Ved å tillate mismatch i genotype mellom foreldre og avkom tar vi høyde for mulig feilgenotyping. 4. Match i genotyper mellom foreldrepar og avkom blir sammenliknet med krysningslisten for å verifisere en reell match. 5. Den mitokondrielle haplotypen som kun nedarves fra mor til avkom blir sammenliknet mellom tilordnet mor og avkom som en ekstra verifisering av riktig tilordning. 6. Mulig feil i aldersavlesing for beregning av gyteårsklasse tas hensyn til ved å tillate tilordning til stamfisk fra tidligere og senere gyteår. Av 43 individer tilordnet stamfiskforeldre i dette prosjektet hadde fire individ feil alder fra skjellanalysen: ett individ som ut fra aldersavlesing var fra gyteår 2009 ble tilordnet stamfisk fra 2010, to individer satt til gyteår 2011 ble tilordnet stamfisk fra 2010 og ett individ satt til gyteår 2011 ble tilordnet stamfisk fra 2012. I 2008 ble det ikke produsert fisk i anlegget og det var derfor ikke nødvendig (eller mulig) å ta høyde for at utsatt fisk satt til gyteår 2009 kunne komme fra gyteår 2008.

4.2. Vannkvalitet og smoltårsklasser

For å vurdere om vannkvaliteten har hatt en direkte påviselig effekt ble den relative fangsten av de ulike smoltårsklassene i Flekkeelva sammenlignet med dårligste vannkvalitet like før og i smoltutvandningsperioden, siden denne fasen er den mest sensitive i forhold til vannkvalitet i laksens livssyklus (Staurnes mfl. 1995). I **figur 4.2.1** er relativ fangst i Flekkeelva plottet mot snittet av laveste pH ved Trollefoss og Harefossen (øvre figur), og mot snittet av høyeste konsentrasjon av labilt aluminium de samme stedene (nedre figur). Resultatene viser at det ikke er noen sammenheng mellom relativ fangst og de to vannkjemiske parameterne (p-verdier på hhv. 0,18 og 0,10). Dette tyder på at de vannkjemiske forholdene som har vært i vassdraget i perioden 1996 til 2016 har vært tilstrekkelige til å gi god overlevelse for smolten, og at andre faktorer er av større betydning for bestanden.



Figur 4.2.1. Forholdet mellom relativ fangst (smoltårsklassestyrke) og laveste gjennomsnittlige pH målt ved Trollefoss og Harefossen (øverste figur) og mellom gjennomsnittlige høyeste konsentrasjon av labilt aluminium ($\mu\text{g/l}$) målt på de to stedene om våren (nederste figur) for smoltårsklassene fra 1996 til 2016 i Flekkeelva.

Det har vært en generell bedring i vannkvaliteten med hensyn på forsurening i Sør-Norge i siden midten på 1980-tallet. I ikke-kalket del av Flekkevassdraget har det derimot ikke vært noen markert forbedring i perioden da det foreligger data, dette kan indikere at vannkvaliteten var blitt bedre i vassdraget før den vannkjemiske overvåkingen startet opp i 1996. Dette indikerer også at de vannkjemiske forholdene selv uten kalking ville gitt en bærekraftig bestand av laks i vassdraget, noe også vurderingene av gytebestanden midt på 1990-tallet indikerer (Anon 2018b).

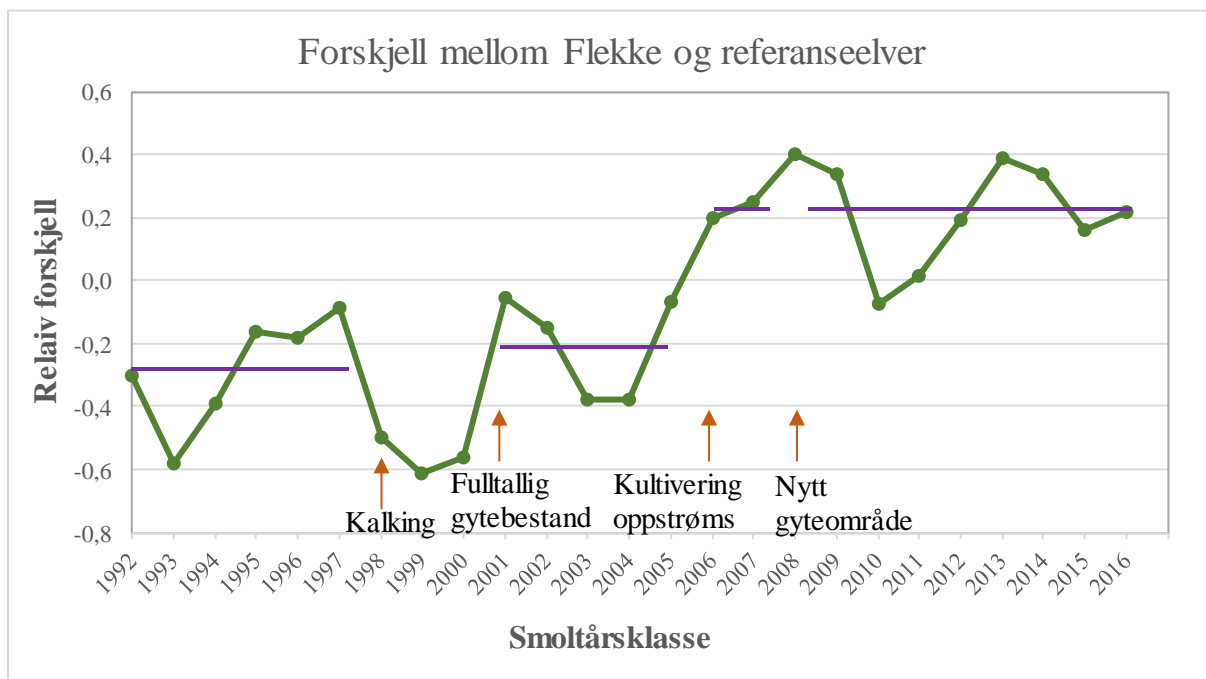
4.3. Kultivering og smoltårsklasser

Slik vi forstår det var det fram til 2004 bare kultivering på anadrom strekning i vassdraget. Fra og med 2004 har det meste av kultiveringen foregått oppstrøms den anadrome strekningen. Primært har Skorselva (Slokedalen) blitt brukt til kultivering, men det har også blitt satt ut fisk i Guddalselva oppstrøms Hovlandsdalsvatnet. Vannkvaliteten har vært målt nederst i Slokedalen siden januar 2016,

og gjennomsnittlig pH har vært 5,7. I forbindelse med en kraftig sjøsaltepisode i januar 2017 falt pH til 4,8, mens alle de andre målingene har vært over pH 5,3. Perioder med pH så lav som under 5,0 kan gå ut over overlevelsen til lakseegg og lakseyngel. Vannkvalitetsmålingene indikerer imidlertid at vannkjemien de fleste år er tilstrekkelig for ungfiskproduksjon av laks på strekningene som benyttes til kultivering. Relativt høye tettheter av ungfisk av laks på disse strekningene underbygger dette (Gabrielsen 2011).

Arealene på de kultiverte elvestrekningene tilsier at det er potensiale for å doble smoltproduksjonen i vassdraget. Basert på betraktninger om fisketettheter antok Gabrielsen mfl. (2007) en smoltproduksjon på 20.000-30.000 laksesmolt på den anadrome strekningen og en smoltproduksjon på mellom 10.000 og 15.000 oppstrøms den anadrome strekningen om en satte ut mellom 200.000 og 300.000 egg eller yngel. De forventet da en overlevelse på 5 % fra egg/yngel til smolt. Basert på så stor utsetting ble det da forventet en økning i smoltproduksjonen på mellom 30 og 50 %. For årene 2009 til 2011 varierte utsettingene mellom 70.000 og 100.000 og ut fra resonnementet til Gabrielsen mfl. (2007) skulle en da forvente at utsatt fisk utgjorde mellom 10 og 25 % av smolten som ble produsert i vassdraget.

En grov tilnærming for å få et uttrykk for hvordan styrken av de ulike smoltårsklassene varierer over tid, er å relativisere dem i forhold til de normaliserte beregningene av smoltårsklassestyrke i de andre elvene i Sogn og Fjordane (**figur 4.3.1**). Når en gjør dette ser en at smoltårsklassene fra 1990-tallet, før kalkingen kom i gang, er betydelig svakere enn i referanseelvene. Fra 1998 er gytebestanden i Flekkeelva regnet som fulltallig, og antall gytefisk er dermed ikke antatt å være begrensende for produksjon av smolt som gikk ut av elven fra 2001/2002. Dette stemmer også overens med at tettheten av laksunger eldre enn årsyngel først høsten 1999 kom opp på det nivået den har vært siden. Før den tid var tettheten av ungfisk relativt lav (Hellen 2018).



Figur 4.3.1. Beregnet relativ fangst av smoltårsklasser fra perioden 1992-2016 i Flekkeelva sammenlignet med 9 referanseelver i Sogn og Fjordane. Piler angir når de ulike opplistede tiltakene er ventet å virke på smoltoverlevelsen eller smoltproduksjonen. Kalking fra høsten 1997 gir økt smoltoverlevelse fra 1998, fulltallig gytebestand fra 1998 gir full smoltproduksjon fra 2001 og kultivering ovenfor anadrom strekning fra 2004 gir økt smoltproduksjon fra 2006. Nytt gyteområde i utløpet av Hovlandsvatnet etablert i 2005 er ventet å eventuelt gi effekt på smoltproduksjonen fra 2008. Lilla linjer representerer gjennomsnittet for periodene etter ulike tiltak.

Våren 2005 ble det etablert et nytt gyteområde på utløpet av Hovlandsvatnet. Gyteområdet ble raskt

benyttet av både laks og aure (Gabrielsen mfl. 2007). Det ble likevel ikke registrert økte tettheter av årsyngel eller eldre laksunger på denne elvestrekningen etter at tiltaket ble satt i verk (Gabrielsen 2011). Det kan imidlertid ikke utelukkes at det har blitt en økt yngelproduksjon og at ungfisk klekt på utløpet av Hovlandsvatnet har trukket inn i innsjøene. Ved prøvofiske med garn i Hovlandsvatnet i 1998 ble det fanget bare en ensomrig laksunge, men 85 aure og 28 røye (Raddum og Gabrielsen 1999). I 2001 og 2002 ble det fisket med garn med maskevidde 12 mm i strandsonen i Hovlandsvatnet og fangsten var hhv. 4,8 og 4,5 tosomrige laksunger pr. garnnatt og tilsvarende fangst av aureunger. Ved elektrofiske i strandsonen i Hovlandsvatnet i 2002 ble det fanget ensomrige laksunger. I Breidvatnet var fangsten av laksunger meget lav (Gabrielsen og Barlaup 2003).

Undersøkelsene i 2001 og 2002 viste at lakseunger i betydelig grad brukte strandsonen i Hovlandsvatnet som oppvekstområde, mens strandsonen Breidvatnet i liten grad ble benyttet. Det er ikke blitt gjennomført fiskeundersøkelser i innsjøene etter 2002, det er derfor ukjent om lakseungene også har tatt i bruk Breidvatnet. Samlet lengde på strandsonen i Hovlandsvatnet, Breidvatnet og det nedenforliggende Rennestraumsvatnet er hhv 8,2 km, 6,7 km og 2,9 km, totalt 17,8 km. Hvis en antar at laksungene benytter arealene fra strandsonen og 10 meter utover utgjør strandsonen et potensielt oppvekstareal på 179 000 m². Til sammenligning er lakseførende elvestrekning 2,5 km med et areal på 155 000 m² (Gabrielsen mfl. 2007).

I utløpselven fra Hovlandsvatnet og fra Breidvatnet ble det ikke fanget laksunger ved årlig elektrofiske i perioden 1994 -1997, og et fåtall i 1998. Fom. 1999 ble det fanget ensomrige laksunger på alle stasjonene på anadrom strekning noe som tilsa at det gytte laks på alle delstrekningene (Gabrielsen og Barlaup 2003). I 2002, 2003 og 2004 ble det gravd ned rogn på utløpet av Hovlandsvatnet og Breidvatnet (**tabell 1.4.1**), men tetthetene av ensomrig og eldre laks har likevel vært betydelig lavere i utløpselvene fra Hovlandsvatnet og Breidvatnet sammenlignet med i innløpselven til Hovlandsvatnet (Gabrielsen 2011).

Det er mulig at økt gyting på det nye gyteområdet på utløpet av Hovlandsvatnet og på andre gytelokaliteter i nedre del av vassdraget har medført at lakseungene i senere tid har benyttet strandsonen i det nedenforliggende Breidvatnet som oppvekstområde. Det var en markert økning i relativ fangst av voksne laks i Flekkeelva av smolten som gikk ut i 2006 og senere (**figur 4.3.1**). Denne økningen sammenfaller i tid med utsettinger ovenfor anadrom strekning, men genotypingen antyder altså at utsettingene bare kan forklare en beskjeden del av økningen. Det kan tenkes at lakseungene bruker innsjøene på anadrom strekning som oppvekstområde i større grad enn tidligere, men dette er ikke undersøkt nærmere.

Voksen laks som stammet fra gyteårene 2009, 2010 og 2011 er genotypet og andelen kultivert laks var i gjennomsnitt 13 %. Smolten som stammet fra disse gyteårene gikk i hovedsak ut i årene 2012, 2013 og 2014, og i tillegg noen tre-årsmolt i 2015 (**tabell 1.4.1**). De ble gjenfanget som voksne laks i årene 2013-2018, i et samlet antall på ca. 1700. Med et gjennomsnittlig innslag på 13 % kultivert fisk utgjorde disse totalt ca. 220 laks. Den relative fangsten av laks i Flekkeelva fra disse smoltårsklassene er blant de høyeste i hele perioden sammenlignet med referanseelvene (**figur 4.3.1**).

4.4. Konklusjoner

- Kultivering oppstrøms anadrom strekning i Flekkevassdraget har gitt relativt beskjedent bidrag til laksebestanden, med 13 % av returnert laks fra 3 undersøkte gyteår (2009, 2010 og 2011). Kultivering har ikke hatt negativ genetisk påvirkning.
- Flekkevassdraget har en meget tallrik gytebestand av laks i forhold til produksjonsarealet og det er ikke nødvendig med tiltak for å styrke bestanden. En relativt stor økning i antall returnert laks fra smoltårsklassene etter 2006 kan bare delvis forklares med innslag av kultivert fisk, og kalking kan heller ikke forklare økningen. En mulig forklaring kan være økt bruk av innsjøene som oppvekstområde for lakseunger, men dette er ikke nærmere undersøkt.
- Lakseungene i vassdraget synes å benytte tilgjengelig areal i elver og innsjøer som oppvekstområde, og det er ingen tiltak på anadrom strekning som kan bidra til å øke smoltproduksjonen uten å påvirke det naturlige habitatet.

- Det ble ikke påvist noen sammenheng mellom relativ fangst av returnert laks i Flekkeelva og vannkjemiske parametere (pH og LAI). Det synes derfor som om vassdraget ville hatt en bærekraftig laksebestand uten kalking. Vannkvaliteten med omsyn på pH og labilt aluminium har likevel blitt dårligere siden 2014. En del av dette skyldes kraftige sjøsaltepisoder, men det kan også tenkes at jordsmonnet er blitt tappet for kationer. Sjøsaltepisoder opptrer som regel under kraftige stormer fra vest-sørvest, og fortrinnsvis i vinterhalvåret, og vi kan ikke utelukke hyppigere forekomst av slike i fremtiden. Vi foreslår derfor at kalkingen opprettholdes. Terrengekalking av sidebekker vil sannsynligvis være en av de mest gunstigste kalkingsstrategiene i nedre del av vassdraget, mens dosereren på Tuland bør driftes så lenge de vannkjemiske forholdene er slik de har vært de siste årene.

5. REFERANSER

- Anon 2013. Klassifisering av miljøtilstand i vann. Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver. Veileder 02:2013. Direktoratgruppen for gjennomføringen av vanddirektivet. 254 s.
- Anon 2018a. Status for norske laksebestander i 2018. Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr. 11, 122 s.
- Anon 2013. Klassifisering av miljøtilstand i vann. Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver. Veileder 02:2013. Direktoratgruppen for gjennomføringen av vanddirektivet. 254 s.
- Anon 2018b. Vedleggsrapport med vurdering av måloppnåelse for de enkelte bestandene Sogn og Fjordane - Trøndelag. Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr. 11c, 343 s.
- Caballero, A. 1994. Developments in the prediction of effective population size. *Heredity* 73: 657-679.
- Debes, P.V. & Hutchings, J.A. 2014. Effects of domestication on parr maturity, growth, and vulnerability to predation in Atlantic salmon. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 71: 1371-1384.
- Diserud, O.H., K. Hindar, S. Karlsson, K. Glover & Ø. Skaala 2017. Genetisk påvirkning av rømt oppdrettslaks på ville laksebestander – status 2017. NINA Rapport 1337, 55 s.
- Einum, S. & Fleming, I.A. 1997. Genetic divergence and interactions in the wild among native, farmed and hybrid Atlantic salmon. *Journal of Fish Biology* 50: 634-651.
- Falconer, D.S. & Mackay, T.F.C. 1996. Introduction to quantitative genetics (4th edn). Longman, (red.), Essex, U.K.
- 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. Series B: Biological Sciences* 267: 1517-1523.
- Frankham, R. 1995. Effective population size/adult population size ratios in wildlife: a review. *Genetical Research* 66: 95-107.
- Fraser, D.J., Minto, C., Calvert, A.M., Eddington, J.D. & Hutchings, J.A. 2010. Potential for domesticated–wild interbreeding to induce maladaptive phenology across multiple populations of wild Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 67: 1768-1775.
- Gabrielsen, S-E. & B.T. Barlaup 2003. Overvåking av fisk i Flekke-Guddalsvassdraget. - Kalking i vann og vassdrag. Overvåking av større prosjekter 2002. DN - Notat 2003-3, s. 128-131.
- Gabrielsen, S-E., B.T. Barlaup, H. Skoglund og T. Wiers 2007. Rognplanting, etablering av et nytt gyteområde og gytetellinger i Flekke og Guddalsvassdraget – undersøkelser i perioden 2001-2006. LFI-rapport nr. 144.
- Gabrielsen, S-E. 2011. Flekke-Guddalsvassdraget - Fisk. I Kalking i laksevassdrag. Effektkontroll 2010. DN Notat 4-2011.
- Garmo, Ø., L.B. Skancke & T. Høgåsen 2016. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport – Vannkjemiske effekter 2015. Miljødirektoratet, rapport M-613 2016, 82 s.
- Glover, K.A., Solberg, M.F., McGinnity, P., Hindar, K., Verspoor, E., Coulson, M.W., Hansen, M.M., Araki, H., Skaala, Ø. & Svåsand, T. 2017. 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 Arnesen, I.J., H. Sægrov & S. Karlsson 2018a. Genetiske undersøkelser av villaksen i Samnangervassdraget. NINA Rapport 1520. Norsk institutt for naturforskning.
- Hagen Arnesen, I.J., A.J. Jensen, B. Bjørn, E. Holthe, B. Florø-Larsen, H. Lo, O. Ugedal & S. Karlsson 2018b. Molekylærgenetisk kultivering. NINA Rapport 1531. Norsk institutt for naturforskning.
- Hellen, B.A. 201. Flekke og Guddalsvassdraget 2016. I: Kalking i laksevassdrag skadet av sur nedbør. Tiltaksovervåking i 2016. Miljødirektoratet, rapport M-821 2017, 374 s.
- Hellen, B.A. & A. Hindar 2017. Kalking i laksevassdrag skadet av sur nedbør - Tiltaksovervåking i 2016. Miljødirektoratet rapport M-821 – 2017, 374 s.

- Hellen, B.A. & G.H. Johnsen 2017. Flekke og Guddalsvassdraget 2017 – vannkjemi. I Kalking i laksevassdrag skadet av sur nedbør. Tiltaksovervåking i 2017. Miljødirektoratet, rapport M-821 2017, 374 s.
- Jones, O.R. & Wang, J. 2010. COLONY: a program for parentage and sibship inference from multilocus genotype data. *Molecular Ecology Resources* 10: 551-555.
- Jørnland, A.K. 2014. Retningslinjer for utsetting av anadrom fisk. Miljødirektoratet, veileder M186-2014, 12 s.
- Karlsson, S., B. Bjørn, E. Holthe, H. Lo & O. Ugedal 2016a. Veileder for utsetting av fisk for å ivareta genetisk variasjon og integritet. NINA Rapport 1269. Norsk institutt for naturforskning.
- Karlsson, S., B. Florø-Larsen, T. Balstad, L.B. Eriksen & M.H. Spets 2016b. Stamlakskontroll 2015. NINA Rapport 1266, 14 s.
- Karlsson, S., B. Florø-Larsen, T. Balstad, L.B. Eriksen & M.H. Spets 2017. Stamlakskontroll 2016. - NINA Rapport 1330, 14 s.
- Karlsson, S., B. Florø-Larsen, V.P. Sollien, L.B. Eriksen, I.P.Ø. Andersskog, H. Brandsegg, B.U. Halvorsen & E.J.K. Hemphill 2018. Stamlakskontroll 2017. NINA Rapport 1486. Norsk institutt for naturforskning.
- Kroglund, F., B.O. Rosseland, H-C. Teien, B. Salbu, T. Kristensen, & B. Finstad 2007. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 4: 3317–3355.
- McGinnity, P., Prodöhl, P., Ferguson, A., Hynes, R., Maoiléidigh, N.ó., Baker, N., Cotter, D., O'Hea, B., Cooke, D., Rogan, G., Taggart, J. & Cross, T. 2003. Fitness reduction and potential extinction of wild populations of Atlantic salmon, *Salmo salar*, as a result of interactions with escaped farm salmon. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 270: 2443-2450.
- Nunney, L. 1999. The effective size of a hierarchically structured population. *Evolution* 53: 1-10.
- Poleo, A.B S. 1995. Aluminium polymerization — a mechanism of acute toxicity of aqueous aluminium to fish. *Aquatic Toxicology* 31: 347-356.
- Raddum, G.G. & S.-E. Gabrielsen 1999. Flekke-Guddalsvassdraget - 4 Fisk. I Kalking i vann og vassdrag. Overvåking av større prosjekter i 1998. DN Notat 1999-4.
- Ryman, N. & Laikre, L. 1991. Effects of Supportive Breeding on the Genetically Effective Population Size. *Conservation Biology* 5: 325-329.
- 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: e54469.
- Staurnes, M, F. Kroglund & B.O. Rosseland 1995. Water quality requirement of atlantic salmon (*salmo salar*) in water undergoing acidification or liming in Norway. *Water, Air and Soil Pollution* 85: 347-352, 1995.
- Stefansson, S. mfl 2007. Water quality-salmonids. I: Thomassen, M., R. Gudding, B. Norberg & L. Jørgensen (red). *Aquaculture Research: Aquaculture – Production of Aquatic Organisms (2000 – 2005)*.
- Thodesen, J., Grisdale-Helland, B., Helland, S.J. & Gjerde, B. 1999. Feed intake, growth and feed utilization of offspring from wild and selected Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 180: 237-246.
- Ugedal, O., B. Barlaup, B. Finstad, Ø. Skaala, H. Sægrov & K.W. Vollset 2017. Utvandringstidspunkt for laksesmolt i Norge ved vurdering av lakselusindusert dødelighet på smolt av villaks. Appendiks 1b i: *Nilsen, F., I. Ellingsen, B. Finstad, P.A. Jansen, Ø. Karlsen, A. Kristoffersen, A.D. Sandvik, H. Sægrov, O. Ugedal, K.W. Vollset & M.S. Myksvoll 2017. Vurdering av lakselusindusert villfiskdødelighet per produksjonsområde i 2016 og 2017. Rapport fra ekspertgruppe for vurdering av lusepåvirkning. ISBN 978-82-8088-414-5, 64 sider og 10 appendiks.*
- Urdal, K. 2018. Analysar av skjelpørvar frå Sogn og Fjordane i 2017. Rådgivende Biologer AS, rapport 2674, 36s.
- Wang, J.L. 2009. A new method for estimating effective population sizes from a single sample of multilocus genotypes. *Molecular Ecology* 18: 2148-2164.
- Wright, S. 1931. Evolution in Mendelian Populations. *Genetics* 16: 98-159.
- Yates, M.C., Debes, P.V., Fraser, D.J. & Hutchings, J.A. 2015. The influence of hybridization with domesticated conspecifics on alternative reproductive phenotypes in male Atlantic salmon in multiple temperature regimes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 72: 1138-1145.

VEDLEGG

Vedleggstabell 1. Snitt, minimum og maksimum pH og konsentrasjon av labilt aluminium på ulike steder i Flekkevassdraget i april og mai, som er perioden rett før og under utvandringen til laksesmolt.

Stasjon	Parameter	Verdi	År																					
			1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Tuland, oppstrøms	pH	n	10		11		35	39	33	34	33	33	36	34	34	34	33	12	33	34	34	34	32	38
		snitt	5,69		5,84		5,67	5,86	5,77	5,81	5,76	5,66	5,89	5,66	5,60	5,68	5,78	5,91	5,83	5,97	5,93	5,63	5,58	5,64
		min-april			5,80		5,31	5,59	4,97	5,65	5,45	5,44	5,79	5,35	5,23	5,50		5,50	5,76	5,76	5,65	5,44	5,13	5,38
		min-mai	5,46		5,92		5,57	5,75	5,56	5,63	5,74	5,61	5,57	5,57	5,52	5,16		5,57	5,79	5,84	5,86	5,63	5,36	5,63
		min-apr/mai	5,46		5,80		5,31	5,59	4,97	5,63	5,45	5,44	5,57	5,35	5,23	5,16	0,00	5,50	5,76	5,76	5,65	5,44	5,13	5,38
Espedal, Oppstrøms		n	14	20	31	11	35	35	32	32	32	29	33	34	33	32	30	13	32	34	33	34	35	39
		snitt	5,55	5,24	5,32	5,20	5,35	5,44	5,43	5,65	5,28	5,16	5,60	5,27	5,14	5,24	5,52	5,71	5,62	5,66	5,58	5,32	5,24	5,25
		min-april			5,22	5,11	4,83	5,50	4,92	5,64	4,84	4,84	4,93	5,08	4,67	5,06	5,10		5,40	5,53	5,24	5,21	4,93	4,98
		min-mai	5,24		5,21	5,31	4,97	4,74	5,20	5,53	4,84	5,13	5,45	4,86	5,41	4,94	5,38		5,61	5,52	5,41	5,16	5,08	5,14
		min-apr/mai	5,24		5,21	5,11	4,83	4,74	4,92	5,53	4,84	4,84	4,93	4,86	4,67	4,94	5,10	0,00	5,40	5,52	5,24	5,16	4,93	4,98
Harefoss		n	10	12	12	27	34	36	29	26	33	34	35	34	33	34	33	28	39	39	35	35	36	39
		snitt	5,51	5,95	6,39	6,17	6,33	6,33	6,39	6,43	6,33	6,27	6,27	6,12	6,26	6,28	6,32	6,2	6,12	6,25	6,14	6,09	6,06	6,08
		min-april			6,43	6,14	6,32	6,2	6,05	6,36	6,16	5,96	6,13	6,02	6,16	6,24	6,06	6,04	5,77	6,23	5,93	6	5,82	5,91
		min-mai	5,4	5,22	6,45	6,13	6,14	6,23	6,36	6,44	6,31	6,22	6,23	6,08	6,31	5,99	6,09	6,05	6,02	6,06	6,07	6,16	5,98	5,7
		min-apr/mai	5,4	5,22	6,43	6,13	6,14	6,2	6,05	6,36	6,16	5,96	6,13	6,02	6,16	5,99	6,06	6,04	5,77	6,06	5,93	6	5,82	5,7
Trollefoss		n	14	12	11	23	36	35	34	32	32	29	33	35	33	27	32	30	39	38	37	34	36	39
		snitt	5,5	5,86	6,4	6,19	6,3	6,33	6,37	6,32	6,18	5,97	6,24	5,91	6,05	6,2	6,38	6,12	6,08	6,12	6,08	6,09	6	6,02
		min-april			6,53	6,09	6,19	6,16	6,17	6,18	6,03	5,78	6,01	5,46	6,1	6,05	6,24	6,03	5,83	6,14	5,71	5,88	5,77	5,72
		min-mai	5,44	5,34	6,45	6,24	6,25	6,24	6,31	6,31	6,07	5,92	6,16	5,83	5,6	5,73	6,39	5,96	5,81	6	6,03	6,01	5,84	5,97
		min-apr/mai	5,44	5,34	6,45	6,09	6,19	6,16	6,17	6,18	6,03	5,78	6,01	5,46	5,6	5,73	6,24	5,96	5,81	6	5,71	5,88	5,77	5,72
Tuland, oppstrøms	Lab Al	n	10	22	10																		5	
		snitt	4,8	34,2	30,4																		9,6	
		maks-april			21																			
		maks-mai	7	34	22																			
		maks-apr/mai	7	34	22																			
Espedal, Oppstrøms		n	20	30																			6	19
		snitt	18,7	14,7																			27,5	21,89
		maks-april			16																			29
		maks-mai			23																			20
		maks-apr/mai			23																			29
Harefoss		n	10	12	11	10	12	12	12	12	12	13	22	20	20	17	13	15	18	16	18	18	20	
		snitt	4,9	6,33	1,91	4,6	2,33	2,92	1,67	2,83	3	4,17	4	4,82	5,15	6	5,76	4,69	5,47	5,11	6,44	7	11,6	9,1
		maks-april			3	2	3	6	1	6	0	2	2	6	4	7	8	9	8	9	10	24	19	17
		maks-mai	6	22	4	2	2	7	0	2	4	3	0	5	7	6	3	6	8	8	9	8	14	16
		maks-apr/mai	6	22	4	2	3	7	1	6	4	3	2	6	7	7	8	9	8	9	10	24	19	17
Trollefoss		n																						
		snitt	7,07	6,67	2,4								4,71	4,55	5,55	6,9	5,59	5,07	6,06	4,95	5,76	6,59	13,7	10,5
		maks-april	14	12	10								7	22	20	20	17	14	16	19	17	17	18	20
		maks-mai		1										6	7	7	8	9	9	11	8	15	24	17
		maks-apr/mai	6	16	3									5	7	9	4	7	6	8	6	6	17	15