

2014

ØSTFOLD  **ENERGI**

 SOGN OG FJORDANE
FYLKESKOMMUNE



Sulefisk



Haugland Gruppen



FHL



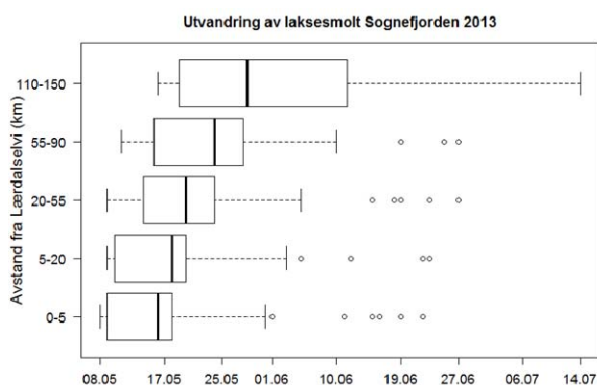
uni Research



UNIVERSITETET I
NORDLAND

NIVA

Vandringsåtferd og smoltifisering hjå laksesmolt frå Lærdalselvi – opphaldstid i ytre delar av Sognefjorden



INAQ AS

1/12/2014



4

 <p>INAQ AS Postboks 1223, Sluppen 7462 Trondheim www.inaq.no</p>	PROSJEKTITTEL: Vandringsåtferd og smoltifisering hjå laksesmolt frå Lærdalselvi- opphaldstid i ytre delar av Sognefjorden
	OPPDRAGSNUMMER: GyroLus2013
OPPDRAGSGJEVAR Østfold Energi AS, Sulefisk AS, Osland Havbruk AS, Marine Harvest Norway AS, Hauglandgruppen AS, Firda Sjøfarmer AS, Vestnorsk Havbrukslag, Sogn og Fjordane Fylkeskommune	KONTAKTPERSON: Magne Netland, Øystein Espeland, Erik Osland, Arne Kvalvik, Endre Haugland, Carl- Erik Arnesen, Hans Inge Algrøy, Lena Søderholm

UTFØRT AV: INAQ AS	PROSJEKTLEIAR Henning Andre Urke
UTARBEIDA AV: Henning Andre Urke John Birger Ulvund Tom Ole Nilsen (UNI-Research) Torstein Kristensen (UiN) Andre Staalstrøm (NIVA)	KVALITETSKONTROLL: Frode Blakstad
GODKJENT AV: Frode Blakstad	
DATO: 1.12.14	GRADERING OPEN
STIKKORD: Laksefisk Smoltifisering Vandringsåtferd Akustisk telemetri Kultivering Lakselus	

Forord

I samband med gjennomføringa av prosjektet, takkar vi spesielt Torkjell Grimelid, Ljosne klekkeri og Rein-Arne Golf, SNO. Stor takk går også til Morten Andre Bergan, Lasse Sælthun, Vidar Åsen og Olav Wendelbo.

AkvaVetGulen AS, SubAquaTech AS og Fjordforsk AS har bidrege med innsamling av vertikalprofilar og tilsyn av lyttebøyer. Hans Rasmus Astrup skal ha takk for losji på Kapteinsgården og Thelma Biotel AS for rask klargjering av akustiske merke.

Prosjektet er finansiert av Østfold Energi AS, Haugland Gruppen AS, Marine Harvest Norway AS, Osland Havbruk AS, Vestnorsk Havbrukslag, Sulefisk AS, Firda Sjøfarmer AS og Sogn og Fjordane Fylkeskommune gjennom Marint Verdiskapingsfond. Marine Harvest Norway AS og Osland Havbruk AS har vidare ytt ein vesentleg innsats i samband med innsamling av vertikalprofilar.

Vi vonar at prosjektet har mellom anna etablert ny og relevant kunnskap som kan bidra til ein betre kunnskapsbasert dialog knytt til dei utfordringar ein finn mellom vill laksefisk og oppdrettsaktivitet i regionen. Prosjektet er vidare eit godt døme på at dersom kraftsselskap og oppdrettarar går saman kan dei opppnå store synergjar i forhold til relevant kunnskapsinnhenting på fleire områder. Her er det eit stort potensiale for samarbeid framover.

Trondheim, 1. desember 2014

Henning Andre Urke
prosjektleder

Innhald

Samandrag	6
1. Innleiing	7
1.1 Infeksjonspress av lakselus	7
1.2 Smoltkvalitet	7
1.3 Kultivering	8
1.4 Mål	8
2. Metodikk	9
2.1 Områdeskildring	9
2.1.1 Lærdalselvi	9
2.1.2 Ljøsne klekkeri	9
2.2 Miljødata	9
2.2.1 Temperatur og vassføring i Lærdalselvi	9
2.2.2 Salinitet i Sognefjorden	10
2.3 Fysiologisk smoltkvalitet	12
2.3.1 Innsamling	12
2.3.2 Gjennomføring og prøvetaking	12
2.4 Åtferdsforsøk	12
2.4.1 Innsamling og merking av fisk	12
2.4.2 Utsettingstidspunkt og - stad	13
2.5 Stasjonsnett	13
3. Resultat	16
3.1 Utvikling av sjøtoleranse	16
3.1.1 Ioneregulering og osmolalitet	16
3.1.2 NKA enzymaktivitet	19
3.1.3 Genuttrykk (mRNA innhald) av sentrale ionereguleringskomponentar i gjeller.	20
3.2 Registreringar av akustisk merka laksesmolt	21
3.3 Vandring i elv	22
3.3.1 Utvandringsperiode	22
3.3.2 Effekt av utsettingstidspunkt og - stad	23
3.3.3 Effekt av opphav	25
3.3.4 Utvandringstid på døgnet	26
3.3.5 Symjefart	27
3.4 Vandring i sjø	27
4. Diskusjon	29
4.1 Teknisk gjennomføring	29
4.2 Evaluering av klekkeriprodusert laksesmolt	30
4.3 Vandring i elv	30
4.4 Vandring i sjø	31
4.5 Når bør det være minimalt med lakselus i ytre deler av Sognefjorden med tanke på å redusere eventuelle negative effektar på smolt frå den viktigaste laksebestanden i Sognefjorden?	31

5. Oppsummering	32
6. Framover	33
7. Referansar	34

Samandrag

Kartlegging av utvandringstidspunkt og marin åtfærd til smolt av laks vart undersøkt ved hjelp av akustisk telemetri. Det vart i april- mai 2013 akustisk merka totalt 120 vill og 119 klekkerismolt av laks i Lærdalselvi. Smolt vart sett ut oppstrøms og nedstrøms kraftverket ved Stuvane i Lærdalselvi på tre tidspunkt i april- mai før smoltutvandring. Betydning av utsettsstad og -tidspunkt på utvandring vart analysert, saman med betydning av fisken sitt opphav (vill eller klekkeriproduert). Samstundes med at villfisk og klekkerifisk vart merkt og sette ut i elva, vart fysiologisk smoltkvalitet og smoltutvikling dokumentert gjennom sjøtoleransetestar (24 t SWT), Na/K ATPase aktivitetsanalysar, og genuttrykk av sentrale smoltifiseringskomponentar.

Både vill og klekkeriproduert fisk utvikla sjøtoleranse i siste veka av april.

Av dei 120/119 presmolt som vart merka frå kvar gruppe, vart 89 villaks og 83 klekkerifisk registrert i sjø.

I 2013 var ein auke i vassføring den utløysande faktoren for utvandring. Smolten gjekk hovudsakleg ut på to markerte topper, rundt 7. mai og rundt 19. mai der 90 % av smolten vandra ut. Det var ingen skilnad i utvandringstidspunkt for laksesmolt mellom oppstrøms og nedstrøms Stuvane kraftverk. Det var ikkje registrert skilnadar på utvandringstidspunkt mellom fisk satt ut i dei ulike periodane. Klekkeriproduert laksesmolt hadde eit likt utvandringsforløp som vill laksesmolt, og den reagerer på same stimuli som vill laksesmolt i høve til utvandring.

Både klekkerismolt og laksesmolt har relativt kort opphaldstid i utløpsområdet, og begge grupper av fisk søkjer seg raskt utover Lærdalsfjorden og vidare utover Sognefjorden mot kysten. Laksesmolten bruker omlag 10- 14 dagar på å komme seg ut av Sognefjorden.

I 2013 vandrar smolten ut på eit tidspunkt der midtre og ytre del av Sognefjorden har lavt innslag av ferskvatn i øvre vasslag. Smolten har kort opphaldstid i ytre og midtre del av Sognefjorden. Gjennomsnittleg opphaldstid for enkeltfisk var 3,3 dagar frå Vangsnes/Balestrand til Sognesjøen.

I 2013 er mesteparten av laksemolten registrert i ytre del av Sognefjorden frå 17. mai til 10. juni. Sjøtoleranse utvikling indikerer at det ikkje vil vere utvandring før i slutten av april- tidleg mai i Lærdalselvi. Resultata indikerer at det infektive lusepresset bør vere redusert i Sognefjorden frå tidlegast 10. mai og utover for at Lærdalslaksen skal vandre gjennom systemet med lavast risiko for påslag av lakselus.

Prosjektet har etablert kunnskap om når det burde vore minimalt med infektive lakseluslarvar i ytre deler av Sognefjorden sesongen 2013 med tanke på å redusere negative effektar på laksesmolt frå den viktigaste laksebestanden i regionen. Utvandringstidspunkt og opphaldstid i miljø med moglege infektive luselarver vil vere viktig informasjon i risikovurderingar knytt til næringa sin påverknad på Lærdalslaksen.

Dokumentasjon av smoltifiseringsegenskapar hjå klekkerifisken før utsett som her er dokumentert, er i tråd med dei krav som er sett både i dyrevernslova og akvakulturdriftsforskrifta.

1. Innleiing

1.1 Infeksjonspress av lakselus

Ei av dei viktigaste utfordringane for oppdrettsnæringa er å gjennomføre kunnskapsbaserte tiltak for å redusere lakselusa sin negative effekt på vill laksefisk. Regional koordinering av avlusing og områdebrakklegging er openbare verktøy, men om tiltaka skal være effektive, fordrar dette eit langt betre kunnskapsgrunnlag og forståing av smittedynamikken mellom oppdrettsverksemd og villfisk enn vi har i dag. Regjeringa ynskjer å utvikle oppdrettsnæringa og har sendt på høyring forslag til korleis forutsigbar vekst og berekraft i langt større grad enn tidlegere vert sett i sammenheng. *I notatet legges det frem tre ulike alternativer for vekst: 1) fortsatt tildelingsrunder med objektive kriterier fastsatt fra gang til gang, 2) en fast årlig vekstrate, eller 3) et system basert på handlingsregler/miljøindikatorer.*

Arbeidet som her er gjort er særskild relevant i forhold til det kravet næringa truleg vil oppleve i framtida i forhold til å dokumentere bærekraftig vekst: *Dersom miljøsituasjonen er akseptabel, vil næringen få tilbud om vekst i form av økt MTB eller nye tillatelse. Dersom miljøsituasjonen er uakseptabel vil MTB på selskapsnivå reduseres. Departementet foreslår imidlertid at oppdrettere som kan dokumentere at en tillatelse anvendes på en slik måte at produksjonen ikke bidrar til den aktuelle miljøutfordringen, ikke skal få redusert MTB på sin tillatelse.*

Sjølv om Lærdalselvi har vore regulert sidan 1973 og er den viktigaste lakseelva i Sognefjorden, har vi minimalt med kunnskap omkring utvandringsmønsteret til vill laksefisk og kva slags miljøfaktorar som påverka smoltutvandringa. I så måte hadde ein heller ikkje ei formeining om når det burde vere minimalt med infektive lakseluslarvar i ytre del med tanke på å redusere eventuelle negative effektar på villaksen frå den viktigaste laksebestanden i Sognefjorden. Eit pilotstudie, som nytta akustisk telemetri på eit mindre tal smolt, vart gjennomført i Lærdalselvi i 2009 (Urke m fl 2010, Urke m fl 2013- LÆST prosjektet). I forhold til vidare arbeid vart det poengtert: *«For å få betre data på vandringsmønster og opphaldstid i midtre og ytre del av Sognefjorden, bør ein vurdere å merke opp eit større tal fisk og etablere eit nettverk med større tettleik av lyttebøyer i denne delen av fjorden. Basert på prestasjonane til den klekkeriproduserte fisken så vil denne være godt eigna for vidare studium av til dømes sjøoverleving og effekten av ulike pressfaktorar i marint miljø. Dette vil sikre at ein kan få eit meir heilskapleg bilete av både utvandringstidspunkt og ikkje minst vandringsmønster i ytre del av Sognefjorden der ein skulle forvente moglege negative effektar av lakselus».*

Lærdalselvi er vonleg snart friskmeldt for lakseparasitten *G. salaris*, og det er viktig at elveeigarar og matfiskoppdrettarane skaffar seg mest mogleg kunnskap om bestandens sårbarheit ovanfor infeksjonspress av lakselus. Dersom ein skal ha ei berekraftig oppdrettsnæring i Sogn, er det avgjerande at ein får inn denne kunnskapen, for å seinare kunne gjere kunnskapsbaserte tiltak med størst mogleg presisjon. Eit slikt studie vart finansiert opp i 2013.

1.2 Smoltkvalitet

Mykje av kunnskapen om smolt og smoltutvandring i Noreg er nyleg oppsummert (Ugedal m fl 2014). Uttrykket smoltifisering vert brukt om dei mange ulike prosessane som parren, den unge laksefisken, gjennomgår i ferskvatn før den som smolt vert i stand til å leve i sjøvatn (Hoar 1988). Denne prosessen er styrt av ein indre biologisk rytme som vert synkronisert av fisken sine ytre miljøforhold, slik at utvandring kan skje på eit tidspunkt som er optimalt i høve til overleving og vekst (Hoar 1988, Hansen 1993). Smoltifisering inneber endringar i morfologi, åtferd, fysiologi, biokjemi og metabolisme for parren. Mesteparten av smolten vandrar ut i løpet av ein kort periode om våren eller tidleg sommar i løpet av det såkalla "smoltvindauget" (Ruggles 1980, Hansen & Jonsson 1989, Hansen 1993, Urke et al., 2014a). Ved utvandring innanfor smoltvindauget, har laksesmolt normalt

kapasitet til ioneregulering med små endringar i indre salbalanse ved direkte overføring til full salinitet (såkalla sjøtoleranse). Dette er ein eigenskap som utveklas gradvis gjennom smoltifiseringa, og kan halde seg i opptil 6 veker (Urke et al., 2014a). Etter dette mistar smolten denne kapasiteten (desmoltifisering) og vil tilpasse seg eit fortsatt liv i ferskvatn eller få store ionereguleringsproblem om han skulle vandre ut i sjøen.

Daglengd er ein svært viktig synkroniserande faktor for smoltifisering, medan vassstemperatur er viktig for kor hurtig smoltifiseringsegenskapane kan utviklast, og kor lenge dei vert oppretthelde. Innanfor smoltifiseringsvindauget kan endringar i abiotiske faktorar som vassføring, temperatur (og daglengd) være dei utløysande faktorane for vandring. Det same kan truleg vandring hjå artsfrendar, då det er vist aukande «stimtørrelse» hjå vandrane smolt nedover i vassdrag (Ugedal mfl., 2014). Tidspunktet for når fisken har utvikla sjøvassstoleranse er ikkje kjent verken for klekkeri- eller villfisk i Lærdalselvi. Dette er viktig informasjon med tanke på avgrensning av perioden der vassføring og andre miljøvariablar kan påverke smoltutvandring. Det er først når ein har belyst dette at ein kan vurdere effekten ulike miljøvariablar har på utvandringstidspunkt (Urke m fl 2014a).

1.3 Kultivering

Utsetting av fisk som kompensasjonstiltak for tapt naturleg produksjon ved vassdragsregulering er ein vanleg praksis i Noreg, ofte tufta som vilkår i konsesjonar etter vassdragslovgivinga. Miljødirektoratet har et overordna ansvar for å påse at miljøtiltak retta mot ivaretaking av anadrome fiskebestandar er hensiktsmessige og har ønsket effekt på bestanden. Et utval oppnevnt av Direktoratet for Naturforvaltning (nå Miljødirektoratet) har utreda den anadrome kultiveringa i Noreg og kome med ei rekke anbefalingar der evaluering av prestasjonar til klekkeriprodusert fisk er et vesentlig moment: *«Utvalget anbefaler at all utsetting av fisk følges opp med krav om dokumentasjon av måloppnåelse.»* Effektiviteten av kultiveringstiltaket i Lærdalselvi har aldri vore grundig evaluert. Ei første tilnærming til å evaluere dette vart gjort i 2009 ved å sjå på korleis klekkeriprodusert laksesmolt presterte samanlikna med vill laksesmolt. Sjølv om studien er basert på berre eit år, så er det tydeleg at klekkeriprodusert laksesmolt reagerer på dei same stimuli som vill laksesmolt i forhold til utvandring.

Drift av kultiveringsanlegg, er som alt anna dyrehold underlagt Lov om Dyrevelferd (DVL): § 28. *Utsetting av dyr i naturen. Dyr fra dyrehold kan bare settes ut i naturen for å bli villlevende når dyret har gode muligheter for å tilpasse seg og overleve i det nye miljøet.* Kultiveringsanlegg er også underlagt regelverket som gjelder for akvakulturanlegg (Avakultur Driftsforskriften med fleire): § 26. *Anadrom fisk skal være av en slik størrelse og i en slik kondisjon at den etter utsetting skal kunne overleve over tid i saltvann uten redusert velferd, og tilstrekkelig smoltifisering skal dokumenteres gjennom egnede tester.* Det vart derfor utarbeid metodikk for dokumentasjon av fysiologisk smoltkvalitet hjå både villfisk og klekkeriprodusert fisk for å kunne samanlikne desse, samt evaluere smoltifiseringsegenskapar hjå klekkerifisken før utsett i tråd med krav både i dyrevernslova og akvakulturdriftsforskrifta.

1.4 Mål

Målet med dette prosjektet har vore å:

- Dokumentasjon av smoltkvalitet til vill og klekkeriprodusert laksesmolt sesongen 2013
- Kartlegge utvandringstidspunkt til smolt av vill og klekkeriprodusert laksesmolt 2013
- Dokumentere effekt av utsettsidspunkt og -stad på utvandring
- Evaluere korleis klekkeriprodusert laksesmolt presterer i høve til vill laksesmolt
- Dokumentere vandringsmønsteret til smolt av laks frå Lærdalselvi i oppdrettsintensive områder

Utvandring og marin åtferd hjå smolten vart undersøkt ved bruk av akustisk telemetri som vitsskapeleg metode. Smoltkvalitet vart undersøkt gjennom sjøvassstoleransetestar.

2. Metodikk

2.1 Områdeskildring

2.1.1 Lærdalselvi

Lærdalselvi er 44 km lang og munnar ut i Lærdalsfjorden innerst i Sognefjorden i Sogn og Fjordane fylke. Lærdalselvi sitt nedbørfelt er 1188 km², der ca. 1000 km² ligg høgare enn 900 m o.h. og spesifikk avrenning er 30,6 l/s/km². Middelvassføringa er 36,4 m³/s (www.nve.no). Vassdraget er regulert av Østfold Energi AS, og reguleringa har direkte innverknad på vassføringa i elva frå Sjurhaugfoss til utløpet ved Lærdalsøyri. Sjurhaugfoss ligg 24 km frå utløpet, og er eit naturleg vandringshinder for oppvandrande fisk. Ved Sjurhaugfoss er der i dag ei laksetrapp som er stengt grunna *G. salaris* smitte. Laks og sjøaure er dei dominerande fiskartane i vassdraget.

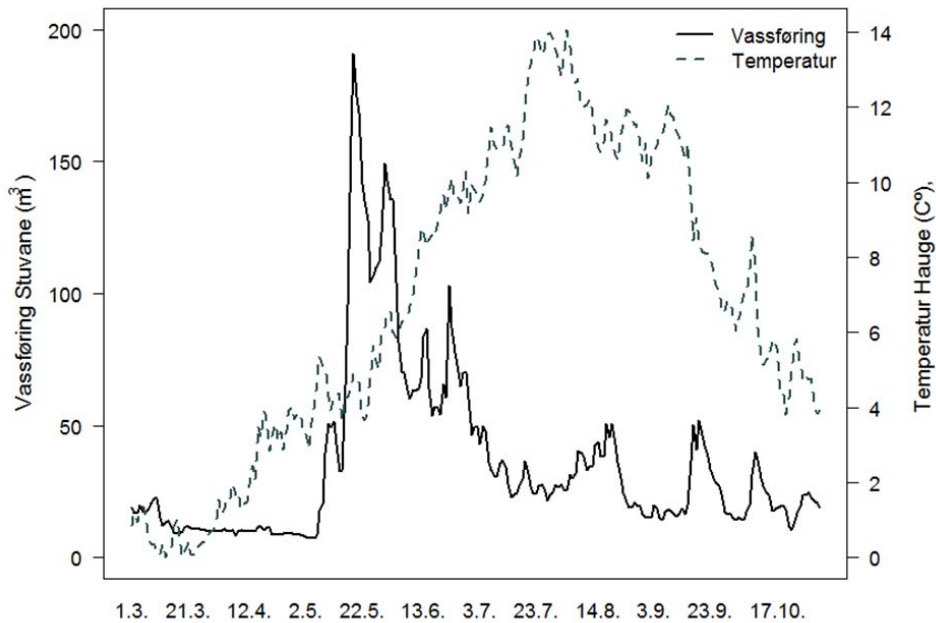
2.1.2 Ljøsne klekkeri

Ljøsne Klekkeri vart starta samstundes med at Borgund kraftverk kom i drift i 1974. Etableringa av eit klekkeri var del av konsesjonsvilkåra sett av styresmaktene, og sidan har det vore stabil drift av klekkeriet. Klekkeriet produserar 1-årig smolt, og nyttar Skretting Ultra Nutra Parr fôr (0,6 til 1,2 mm) via fôringsautomatar. Rogn vert henta frå stamfisk fanga i Lærdalselvi som vert stroken i oktober-november. Rogn vert inkubert og klekt i standard EWOS klekkebakkar på 6-7 °C. Startføring vert gjort i 1*1 meters kar frå omlag 1. mars med ein starttemperatur på omlag 11,5 °C som gradvis vert redusert til 10 °C. Utsortering skjer i september. Fram til oktober-november går fisken på kontinuerleg lys, medan han etter dette går på naturleg fotoperiode gjennom påfølgande vinter og vår. Gjennom påfølgande vinter ligg temperaturen stabilt på mellom 6-7 °C. Utsett av omlag 6000 smolt skjer normalt 15. mai. Grunnvatn vert nytta til produksjon av fisk i klekkeriet og anlegget har ingen kjende vasskjemiske utfordringar (Urke m fl 2010).

2.2 Miljødata

2.2.1 Temperatur og vassføring i Lærdalselvi

Vassføring registrert ved Stuvane (Båthølen ved Lysne) og vassstemperatur ved Hauge er vist i Figur 1.



Figur 1. Vassføring(Stuvane) og –temperatur (Hauge) i Lærdalselvi i perioden 1. mars – 1. november 2013.

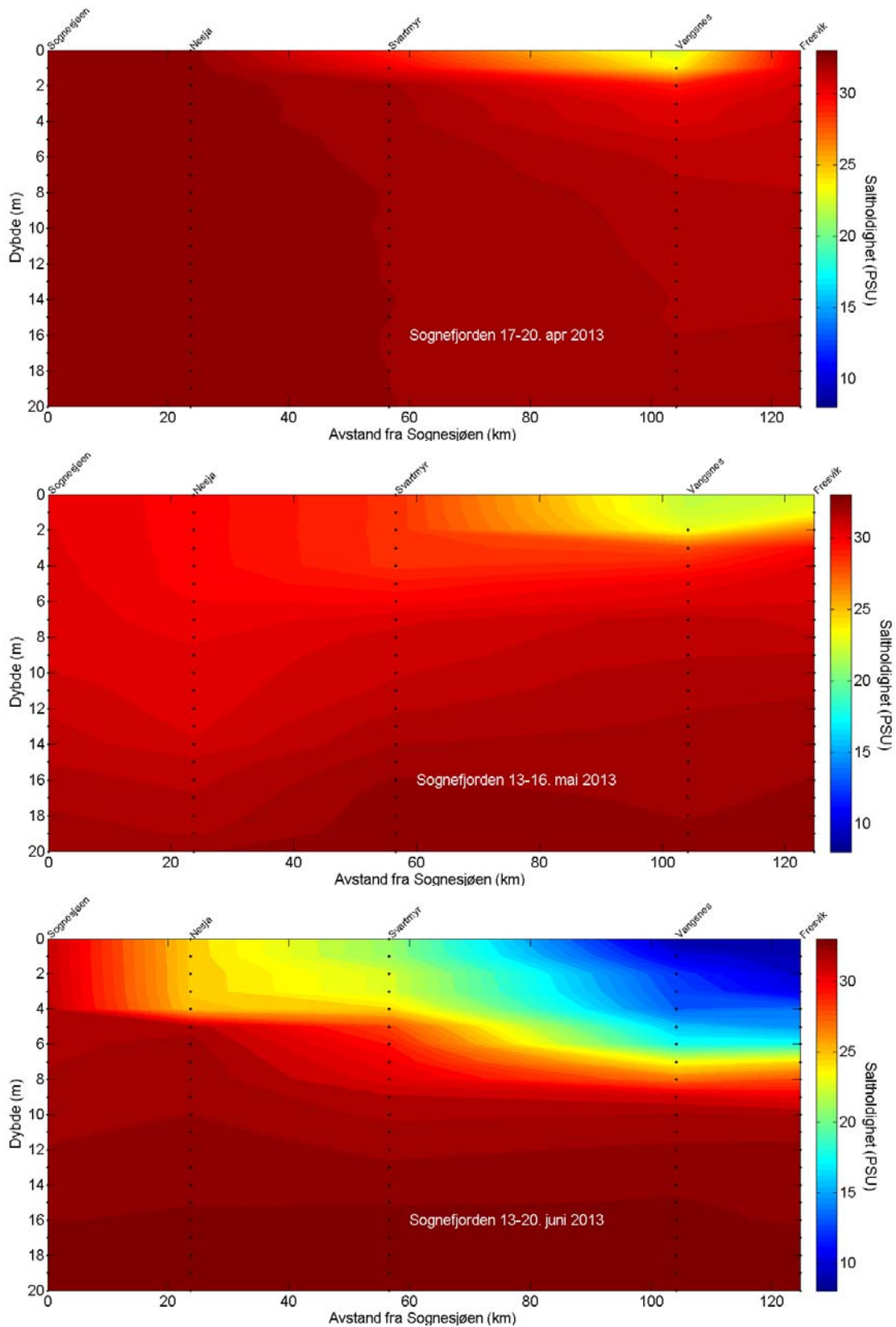
2.2.2 Salinitet i Sognefjorden

Vertikalprofilar (Conductivity-Temperature-Depth (CTD) vart innsamla rundt 15 april, 15. mai og 15 juni ved bruk av ein SAIV SD204 på ulike stasjonar i Sognefjorden (Figur 2) . Salinitet vart rekna ut frå konduktivitets- og temperaturkurvene ved bruk av standard metodikk (Fofonoff & Millard 1983). Informasjon ned til 20 m m djup er tatt med (Figur 3).



Figur 2. Stasjonar brukt til innsamling av vertikalprofilar (CTD) i Sognefjorden i april- juni 2013. 1 er Sognesjøen, 2 er Nesja, 3 er Svartemyr, 4 er Vangsnæs og 5 er Fresvik.

Figur 3 viser hydrografiske profiler av salinitet innover Sognefjorden; frå Sognesjøen til Fresvik. Vi ser at det både i april og mai er ferskvannspåverknad i dei øvste 5 metrane minimal. Dette endrar seg i juni.



Figur 3. Lengdesnitt over vertikalprofil av salinitet innover Sognefjorden fra Sognesjøen (stasjon 1) medio april, mai og juni 2013. Stasjoner (1-5) angitt jf figur 2.

2.3 Fysiologisk smoltkvalitet

2.3.1 Innsamling

Vill pre-smolt av laks vart innsamla ved hjelp av elektrisk fiskeapparat i ulike delar av elva. Klekkeriproduisert laksesmolt frå Ljosne klekkeri vart henta rett frå holdekar i klekkeriet.

Tabell 1. Lengde og vekt av smolt brukt i sjøtoleransetestar på 3 tidspunkt ($N=40$, per gruppe).

Periode	Opphav	Lengde (cm)	Vekt (g)
1 (07.04.2014)	Klekkeri	16,0 ± 1,5	35,5 ± 8,1
	vill	12,6 ± 1,7	13,1 ± 4,6
2 (23.04.2014)	Klekkeri	17,5 ± 1,5	45,0 ± 12,1
	vill	12,4 ± 0,7	12,9 ± 2,1
3 (06.05.2014)	Klekkeri	16,7 ± 1,2	36,6 ± 7,9
	vill	13,1 ± 0,8	14,7 ± 2,5

2.3.2 Gjennomføring og prøvetaking

Fysiologisk smoltkvalitet og smoltutvikling vart dokumentert gjennom sjøvasstoleransetestar (24 t SWT) Na/K ATPase aktivitetsanalysar, og genuttrykk av sentrale smoltifiseringskomponentar (sjå Urke m fl 2010, Urke mfl. 2013, for metodikk)), 6. april, 24. april, 6. mai og 24. mai. Kun villfisk vart sampla 24. mai. Tidspunkta var samanfallande med tidspunkt for utsett av akustisk merka fisk. 10-14 fisk i kvar eksponeringsgruppe, samt kontrollgrupper i ferskvatn vart brukt. Forsøka vart gjennomført i 60 l murestamper med karintern lufting/sirkulasjon. Sjøvatn (34 ppt) vart henta frå sjøvassinntak ved Skjer Forskingsstasjon i Sogndalsfjorden rett i forkant av eksponering. Etter eksponering vart fiskene avlivet med et slag i hodet før lengde (1 mm) og vekt (0,1g) ble bestemt. Blod blei tatt med 1 ml heparinisert sprøyte fra kaudalvenen og sentrifugert (5 min, 3000 rpm) før plasma ble pipettert av og oppbevart i 1 ml eppendorfrør på - 20 °C fram til analyse. 2. gjellebue på høyre side ble konservert på nedkjølt SEI buffer og fryst på flytende nitrogen for analyse av NKA enzymaktivitet. Analysen ble utført ved UiB som beskrevet i Urke m. fl (2013). 3. gjellebue på høyre side ble konservert på romtemperert RNA later og lagret forskriftsmessig i 24 timer på 4 °C før nedfrysning i flytende nitrogen og senere analyse av mRNA uttrykk av NKA $\alpha 1a$, NKA $\alpha 1b$ (ferskvatn- og sjøvatn komponentane av NKA enzymet), NKCC1a og CFTR-I (ionekanalalar i kloridcellene i fiskegjeller) ved UNI-research i Bergen etter metodikk beskrevet i Urke m. fl (2013a).

2.4 Åtferdsforsøk

I arbeidet i Lærdalselvi er akustisk telemetri nytta som metodikk, og denne metoden inneber å operere inn merke i fisken som sendar koda lydsignal til utplasserte lyttbøyer. Akustisk telemetri fungerer både i ferskvann og sjø, og er difor føretrekt metode når ein ynskjer informasjon om heile vandringsforløpet. På tross av vanskelige mottakarforhold med mykje støy i rennande vatn, kan ein ved god plassering av mottakar få gode data også frå elvar med denne metodikken. Merkekostnadar set grenser for tal fisk i slike studiar, men til gjengjeld ein får langt meir informasjon per fisk på vandring gjennom elv, estuarie og i fjorden enn ved å nytta andre metodar.

2.4.1 Innsamling og merking av fisk

All villfisk vart samla inn med elektrisk fiskeapparat i ulike deler av elva, medan klekkerifisk blei henta frå holdekar i klekkeriet. Merking vart gjennomført ved klekkeriet utanfor smittevernsone. For detaljar om kirurgiprotokollen for implantering av akustiske merke viser ein til Urke m. fl 2013. Kort fortalt implanterast merke i bukhola, og såret lukkast med 2 enkle sting og vevslim. All kirurgi gjennomførast under anestesi, og fisken si oppvakningstid og åtferd monitorerast over nokre timar før fisken settast ut i elva. Løyve frå forsøksdyrutvalget (FDU) vart innhenta (ID: 4638). Merka som vart

brukt var 7,3 x 18 mm, veg 1,2 g i vatn, og har ei estimert levetid på minimum 7 månader. Desse merka er programmert til å sende ut ein unik ID-kode som identifiserer kvar enkelt fisk. Smolten hadde merke som sendte periodisk med intervall 30 til 90 sekund. Senderekkevidden til merka er avhengig av dei akustiske tilhøva i sjøen og elva rundt mottakarane, og kan variere frå få meter og opp i fleire hundre meter. Merka er utvikla og produsert av Thelma Biotel AS (www.biotel.no) i Trondheim.

2.4.2 Utsettingstidspunkt og - stad

Akustisk merka fisk vart delt inn i to like store grupper på kvart av dei tre tidspunkta (**7. april, 23. april og 6. mai**), og sett ut ved Langhølen, Seltun (18 km frå sjø) og Båthølen ved Lysne (13,9 km frå sjø). Dei to utsettsstadane representerer to elvesegment med ulik påverknad frå reguleringa, med øvre utsettsstad primært fråførd vatn, medan nedre påverkast vassførings –og temperaturmessig frå kjøremønster ved Stuvane kraftverk.

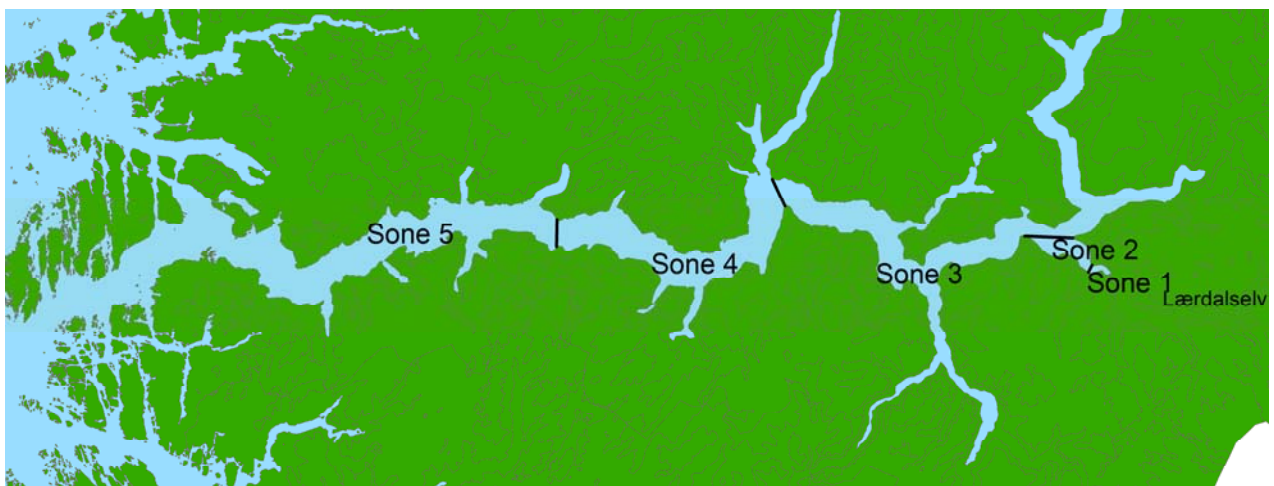
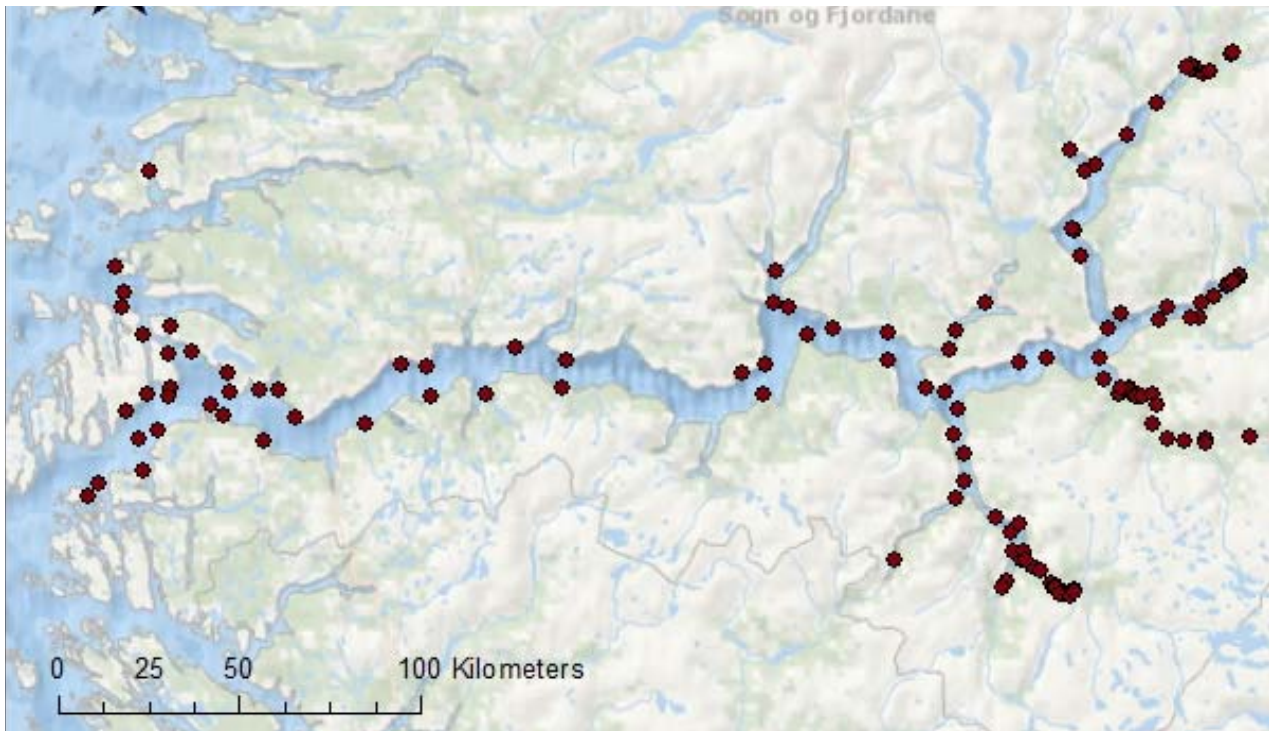
Tabell 2. Lengde (cm) - og vekt (g) fordeling for akustisk merka smolt (N=40, per gruppe). Nedre er ved Båthølen ved Lysne, Øvre er Langhølen Seltun.

Opphav	Utsettsted	Lengde (cm)	Vekt (g)
Klekkeri	nedre	17,1 ± 1,3	46,6 ± 11,3
	øvre	17,3 ± 1,1	47,5 ± 11,3
Vill	nedre	13,6 ± 0,8	19,9 ± 3,8
	øvre	13,9 ± 0,9	20,4 ± 4,2

Når det gjeld miljøtriggarar for utvandring hjå laksesmolten, vart utvandringsmønstera analysert med «Generalized Additive Models», GAM, med tilhørande AIC-seleksjon (Akaike Information Criterion) (Burnham & Anderson 2002; 2004) for å komme fram til beste mulig modell med alle forklaringsfaktorar lagt inn i dataene (vassføring, forandringar i vassføring over dei siste 3 døgn, temperatur og endringar i temperatur over dei siste 3 døgn). Alle modellane vart log-transformert på responsfaktoren (utvandra laksesmolt), og deretter blei det kjørt «generalized linear models» (GLM) på dei selekterte modellane med tilhørande respons på forklarande parametarar (vassføring, temperatur etc) generert ut fra GAM-modellane.

2.5 Stasjonsnett

Det vart sett ut automatiske lyttestasjonar (lyttébøyer) i fjord og i elv (Figur 4).



Figur 4. Øvst: Plassering av akustiske lyttebøyer i Sognefjorden og ulike vassdrag (Lærdalselvi, Aurlandsvassdraget, Fortun og Årdalsvassdraget) Nedst. Inndeling i ulike soner (1-5) i forhold til registrering av utvandrande laksesmolt i 2013.

Tabell 3. Inndeling av utplasserte lyttebøyer i soner utover i Sognefjorden med estimert avstand frå Lærdalselvi.

Bøye	Lokalitet	Avstand (km)	soner
105698	Bruosen	0	1
122228	Laksesenter	0	1
105709	Osen Lærdal	0,35	1
109707	Osen Lærdal	0,35	1
102912	Erdal N	1,1	1
106228	Erdal S	1,1	1
121325	Erdal	1,1	1
105128	Erdalelv utløp	2,7	1
105958	Tråna	2,7	1
112560	Klovsteinen	5	2
123470	Klovsteinen	5	2
105761	Fodnes	7,7	2
109708	Ombadsnes	11,7	2
104257	Revsnes	12,6	2
105713	Holme	26,2	3
105140	Solsnes	27,2	3
122233	Gagernes	28,4	3
109699	Simlenes	30,6	3
101261	Hønseneset	30,9	3
121316	Bårlog	37,4	3
121329	Fimreite	38,3	3
121197	Leikanger	39,9	3
121190	Suppam	45,4	3
121328	Vangsnes	49,7	3
121205	Hella	51,3	3
121202	Dragsvik	53,3	3
121313	Målsnes	56,5	4
121332	Lyktvorholmen	59,7	4
121199	Kvamsøya	59,9	4
121212	Mjølsvik	86,3	4
121214	Måren	86,3	4
105130	Oppedal	114,8	5
112559	Hjartholm	128	5
121219	Tveit	128,8	5
121216	Kjekeneset	131,3	5
121193	Rutledal	134,1	5
121215	Nesholmen	134,2	5
121217	Losna	141,6	5
121213	Skredstivik	141,8	5
121198	Vardeneset	143,4	5
121203	Djuvika	144,4	5
121218	Kvernhusvika	148,1	5
121211	Klubben	149,1	5
121191	Lyngholmen	157,4	5

3. Resultat

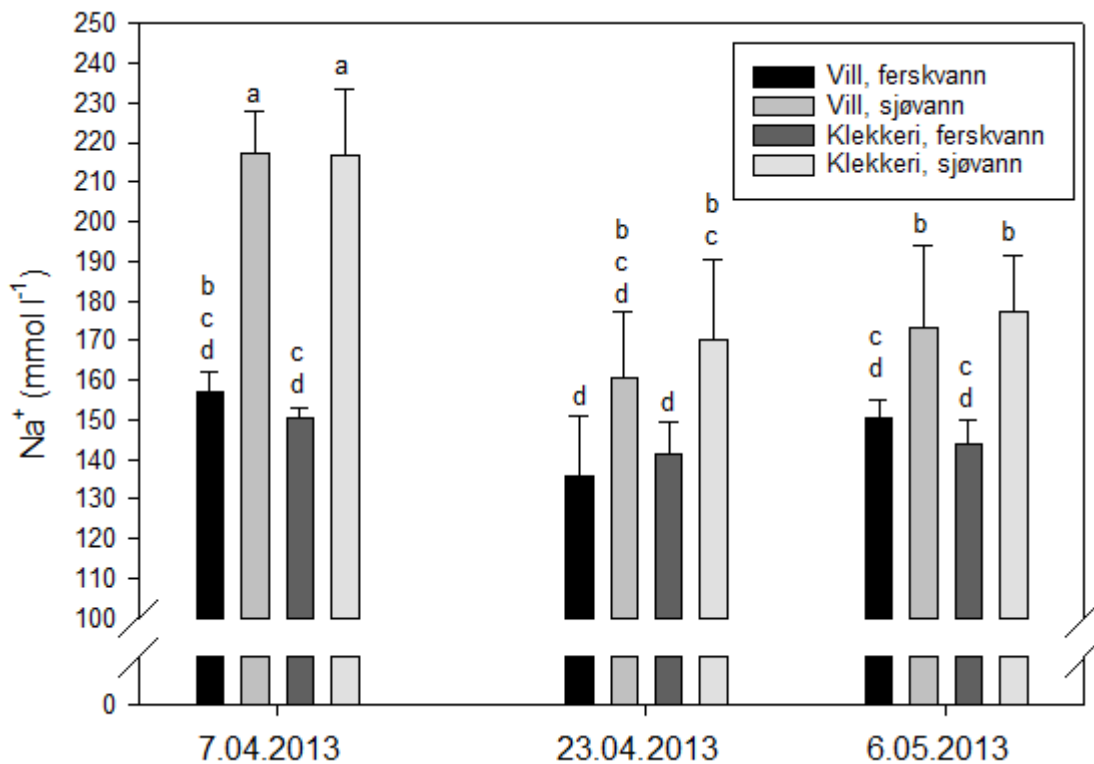
3.1 Utvikling av sjøtoleranse

Både vill og klekkeriprodusert laksesmolt utvikla sjøtoleranse i løpet av siste veka i april.

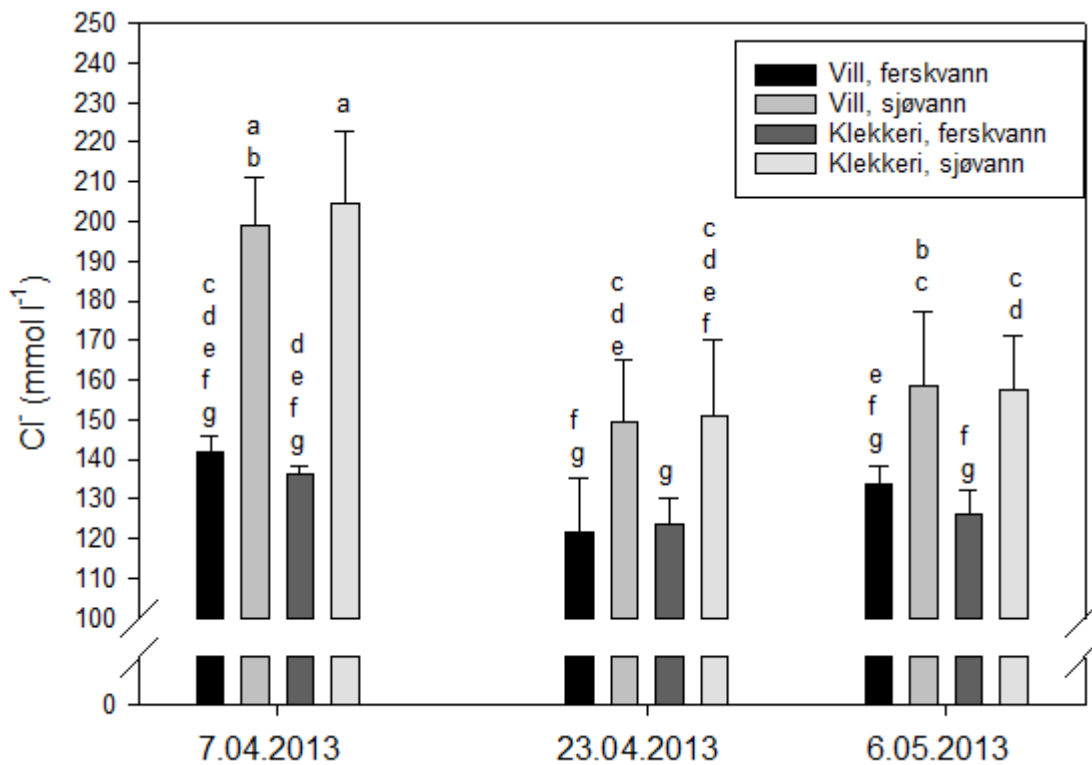
Ingen fisk døyde under eksponering, eller viste teikn til så store ionereguleringsproblem at normal fluktrespons eller anna åtferd var påverka.

3.1.1 Ioneregulering og osmolalitet

Natrium og klorid er hovedionane som normalt gir størst utslag dersom fisken har reguleringsproblem. (figur 6 og 7). under. For kalium var det ingen signifikante skilnader mellom fiskegrupper eller prøvetakingspunkt. Osmolalitet (indirekte mål mengd osmolyttar) vart og målt (figur 8).

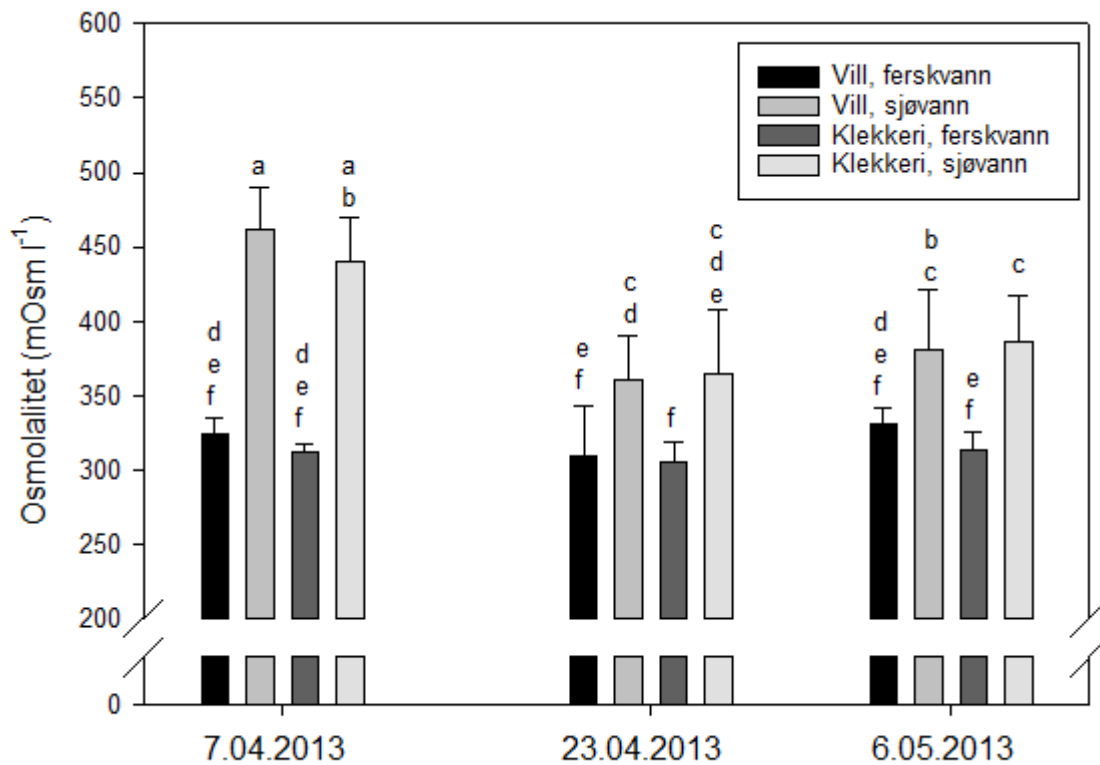


Figur 6. Plasma natrium i kontrollgrupper i ferskvann og etter 24 timars sjøvassstoleransetest hos vill –og klekkeriprodusert smolt. Søyler som ikkje er forbunde med felles bokstav er signifikant ulike ($p < 0,05$). Statistisk analyse basert på Tukey-Kramer HSD test etter fullfaktoriell Least square fit analyse (tidspunkt, klekkeri/villfisk og ferskvatn/sjøvatn som parametarar) på log transformerte data).



Figur 7. Plasma klorid i kontrollgrupper i ferskvann og etter 24 timars sjøvassstoleransetest hos vill- og klekkeriproduisert smolt. Søyler som ikkje er forbunde med felles bokstav er signifikant ulike ($p < 0,05$). Statistisk analyse basert på Tukey-Kramer HSD test etter fullfaktoriell Least square fit analyse (tidspunkt, klekkeri/villfisk og ferskvatn/sjøvatn som parametarar) på log transformerte data).

Både Na og Cl viste ein klar respons på sjøvassseksponering, men signifikant høgre verdiar. Dette mønsteret var klart sterkast på første prøvetakingspunkt, der verdiane indikerer store ionereguleringsutfordringar. Verdiane på dei to andre punkta var samanliknbart med god smoltifiseringsstatus (ca. 150 mmol/l klorid). Noko reduserte (ikkje signifikant) verdiar i ferskvatn utover i perioden vart funne, noko som er normalt når fisken under smoltifiseringa erstattar ferskvassformen av ionepumpene med sjøvassformen (sjå til dømes: Esbaugh et al., 2014).



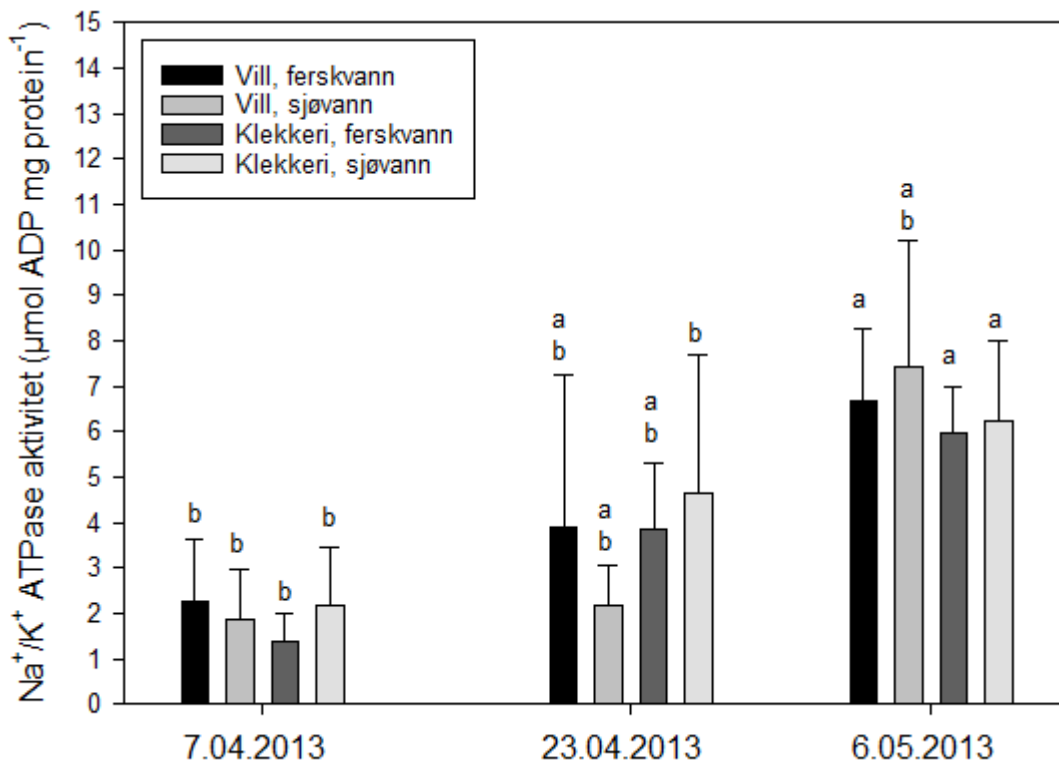
Figur 8. Osmolalitet i kontrollgrupper i ferskvann og etter 24 timars sjøvavastoleransetest hos vill – og klekkeriprodusert smolt. Søylar som ikkje er forbunde med felles bokstav er signifikant ulike ($p < 0,05$). Statistisk analyse basert på Tukey-Kramer HSD test etter fullfaktoriell Least square fit analyse (tidspunkt, klekkeri/villfisk og ferskvatn/sjøvatn som parametrar) på log transformerte data).

Osmolaliteten følgde same mønster som ionane, med signifikant auke i sjøvasseksponeringane, men avtagande forskjell mellom sjøvattn og ferskvattn over tid.

3.1.2 NKA enzymaktivitet

Natrium-Kalium-ATPase (NKA) er eit mebranproteinkompleks som hydrolyserar ATP for å oppretthalde livsnødvendige transmembran-gradientar (ioneregulering). Aktiviteten i gjeller av dette enzysystemet, er en mye brukt indikator på ionereguleringskapasitet hos fisk (Urke m fl 2010), og spesielt smoltifiseringsgrad hos laksefisk. Generelt indikerer høgre enzymaktivitet betre ionereguleringskapasitet i sjøvatn, og verdiar på <10 er i dei fleste tilfelle å regne som fullverdig smolt.

Aktiviteten av det viktigste enzymet for ionetransport i kloridceller i fiskegjellene vart målt, og er gjengitt i figur 9 under.

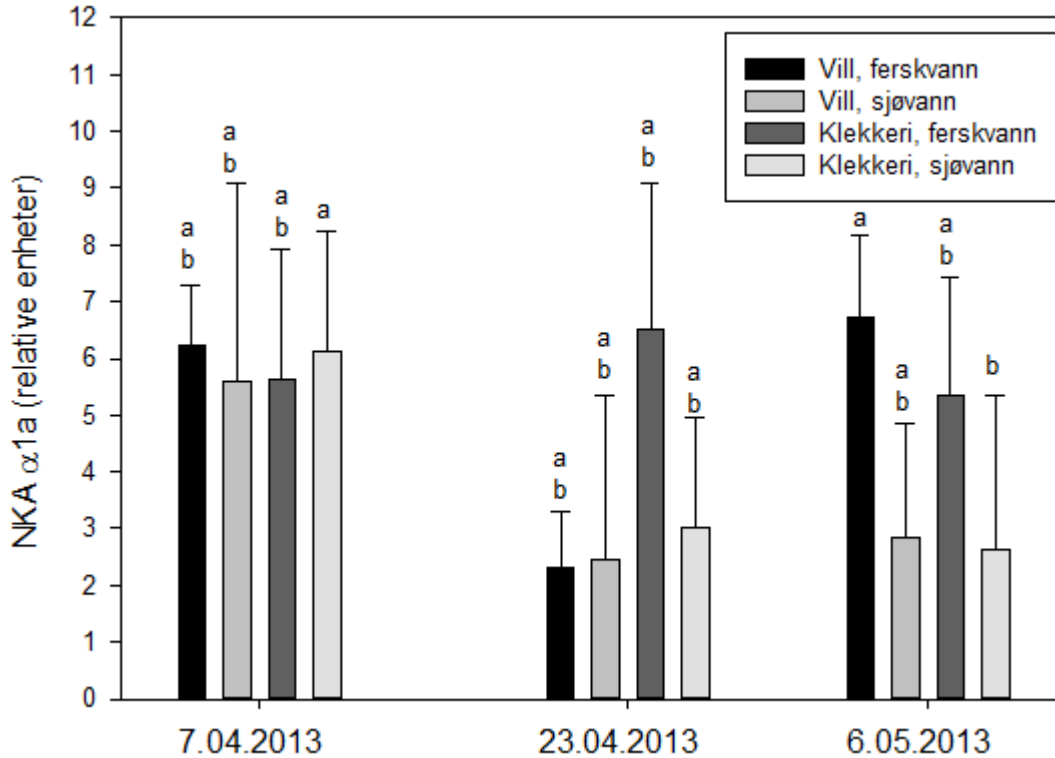


Figur 9. NKA enzymaktivitet i kontrollgrupper i ferskvann og etter 24 timars sjøvassstoleransetest hos vill- og klekkeriprodusert smolt. Søylar som ikkje er forbunde med felles bokstav er signifikant ulike ($p < 0,05$). Statistisk analyse basert på Tukey-Kramer HSD test etter fullfaktoriell Least square fit analyse (tidspunkt, klekkeri/villfisk og ferskvatn/sjøvatn som parametarar) på log transformerte data.

Enzymaktiviteten auka gradvis over tid, og nådde verdiar assosiert med full smoltifisering på siste prøvetakingsdato. Generelt er verdiane låge samanlikna med oppdrettsfisk, men ein skal ta i betraktning at dei sær s låge temperaturane i Lærdalselvi på våren kan halde NKA aktiviteten på eit lågare nivå. Liknande nivå på vandrane smolt er målt i Driva (Urke et al, 2010; 2013a), Eira og Talvik (Kristensen, upubliserte data).

3.1.3 Genuttrykk (mRNA innhald) av sentrale ionereguleringskomponentar i gjeller.

Hjå laksefisk er der to variantar av alfa-1 subenheten av Natrium-Kalium-ATPase (NKA) enzymet, som antas å være det katalytisk aktive setet for ionetransport. $\alpha 1a$ antas å være "ferskvannsformen", og er mest aktivt uttrykt hos parr og presmolt, mens $\alpha 1b$ antas å vere "saltvannsformen". Genuttrykket (mRNA nivåer) av denne er vist å auke mot slutten av smoltifiseringsperioda i ferskvatn, og uttrykkast maksimalt etter overgang til sjøvatn (Urke m fl 2013a).

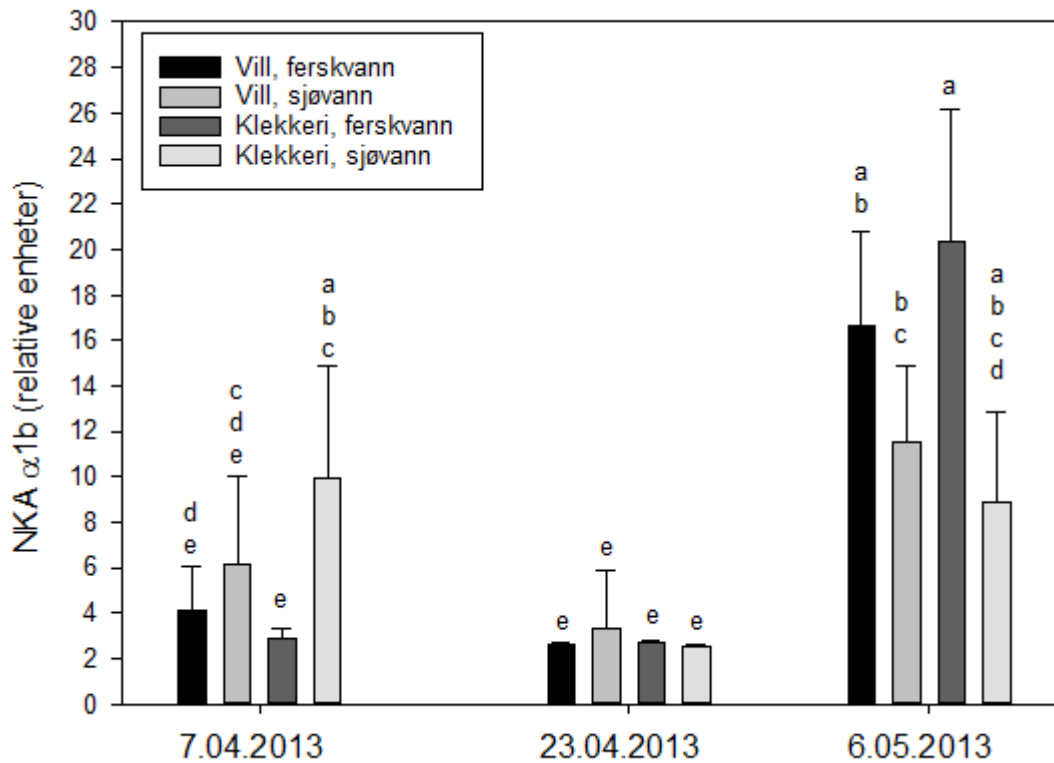


Figur 10. mRNA konsentrasjon av NKA $\alpha 1a$ subenhet i gjellevev i kontrollgrupper i ferskvann og etter 24 timars sjøvassstoleransetest hos vill –og klekkeriproduisert smolt. Søylar som ikkje er forbunde med felles bokstav er signifikant ulike ($p < 0,05$). Statistisk analyse basert på Tukey-Kramer HSD test etter fullfaktoriell Least square fit analyse (tidspunkt, klekkeri/villfisk og ferskvatn/sjøvatn som parametar) på log transformerte data).

Det var ingen tydelege utslag på denne parameteren med tid eller behandling, men ein tendens til lågare verdiar over tid kan observerast, noko som er å forvente ettersom sjøvassforma overtek gjennom smoltifiseringsprosessen.

Ein klar auke på siste prøvetakingspunkt kunne observerast, medan midtre prøvetakingspunkt hadde låge verdiar. Høgre verdiar i sjøvatn enn ferskvatn på første prøvetakingspunkt kan indikera stimulering av genuttrykk her, medan på siste prøvetakingspunkt var verdiane i ferskvatn høgare enn i sjøvatn.

For dei siste to genene som blei analysert, var det mindre og usystematisk variasjon som ikkje tydar på noko særskild endring i uttrykk over tid, eller med behandling.



Figur 11. mRNA konsentrasjon av NKA α 1b subenhet i gjellevev i kontrollgrupper i ferskvann og etter 24 timers sjøvavasstoleransetest hos vill –og klekkeriproduisert smolt. Søyer som ikkje er forbunde med felles bokstav er signifikant ulike ($p < 0,05$). Statistisk analyse basert på Tukey-Kramer HSD test etter fullfaktoriell Least square fit analyse (tidspunkt, klekkeri/villfisk og ferskvatn/sjøvatn som parametar) på log transformerte data).

3.2 Registreringar av akustisk merka laksesmolt

Av totalt 120 merka laksesmolt av vill opphav vart 89 individ registrert med utvandring i sjøen, med siste registrerte individ utvandra 29.05.2013. Det ga ei utvandringfordeling med hhv 27, 24 og 38 fisk av 40 merka individ per periode hhv. 6. april, 24. april og 6. mai (Tabell 4).

Av totalt 119 merka laksesmolt av klekkeriopphav vart 83 individ registrert utvandra til sjø, med siste registrerte fisk 22.06.2013. Her hadde vi ei utvandringfordeling over periodane på hhv. 27, 27 og 29 av 39 merka individ per periode hhv. 6. april, 24. april og 6. mai (Tabell 4).

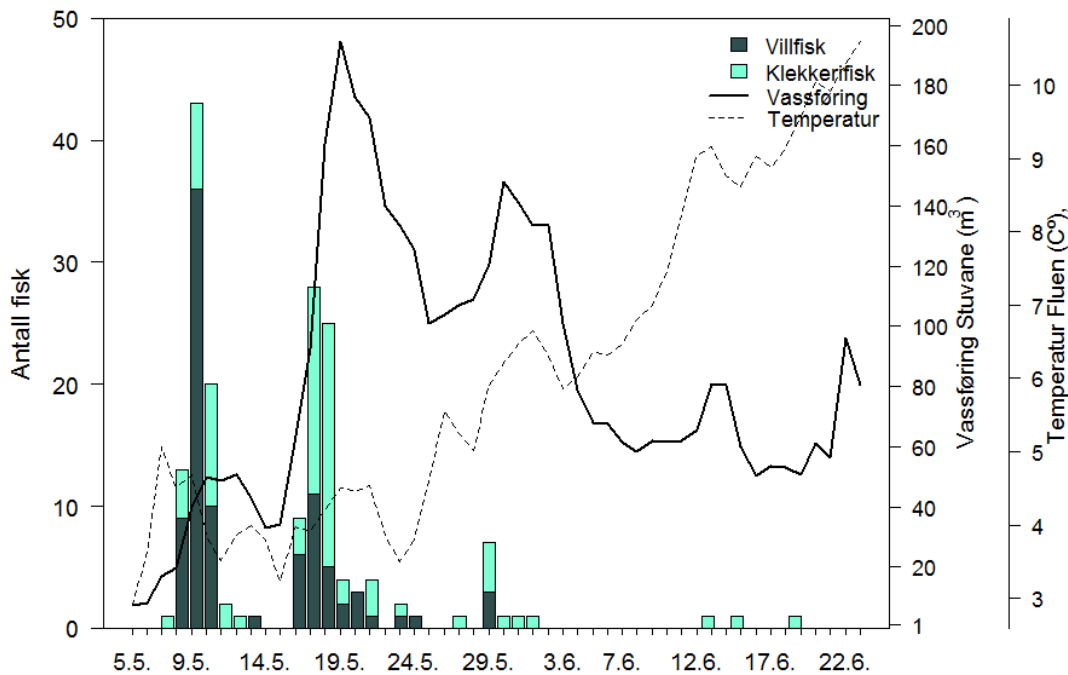
Tabell 4. Oversikt over fisk merket dei forskjellige periodane samt utvandring prosentar.

Periode	Opphav	Satt ut	Tal merket	Tal observert i sjø	% utvandra til sjø
1	Vill	6.4.2013	40	27	67,5
1	Klekkeri	6.4.2013	40	27	67,5
2	Vill	24.4.2013	40	24	60,0
2	Klekkeri	24.4.2013	40	27	67,5
3	Vill	6.5.2013	40	38	95,0
3	Klekkeri	6.5.2013	39	29	74,4
Totalt			239	172	72,0

3.3 Vandrings i elv

3.3.1 Utvandringsperiode

Den første registrerte utvandringa i studiet skjedde på våren sin første større flomtopp (jf. Figur 6), og alle toppane i utvandring skjer ved ein auke i vassføring (Figur 12).



Figur 5.

Figur 12. Utvandringstidspunkt for akustisk merka smolt av laksesmolt (vill- og klekkeriproduisert) og vinterstøingar av laks i Lærdalselvi sesongen 2013. Vassføring og temperaturar er registrert ved Rikheim, Båthølen ved Lysne.

Utvandringsperioden varte i all hovudsak frå 7.05.13 til 30.05.13, med nokon få individ frå klekkerifisken som kjem utover i juni. Utvandringa av smolten var prega av at fisken gjekk i store grupper ut frå elv, og ser ut til å vera utløyst av ei stigning i vassføring samt prega av ei auke i temperatur (Figur 6).

I perioden mellom 7 og 21 mai hadde vel 90 % av laksesmolten vandra ut frå Lærdalselvi, fordelt over to markerte tidspunkt.

Utvandringsanalysane viste ei auking i vassføring som den einaste signifikante faktoren for å trigga utvandring både hos vill laksesmolt og klekkerifisk (Tabell 5). Utvandringanalysane vart kjørt med ei GAM-modellering for å finne beste respons frå aktuell fisk på dei forskjellige utvandringstriggarane (vassføring, temperatur, vassføringsforandringar over dei siste 3 døgn og temperaturforandringar over dei siste 3 døgn), deretter selektert på grunnlag av AIC-vekting, og kjørt som ein GLM-modell med dei selekterte faktorane. Alle modeller har tatt eit offset i betraktningen med kor mykje fisk som står igjen på elva, slik ein ikkje analyserer på vassføringstoppar der det ikkje er merka fisk igjen på elva.

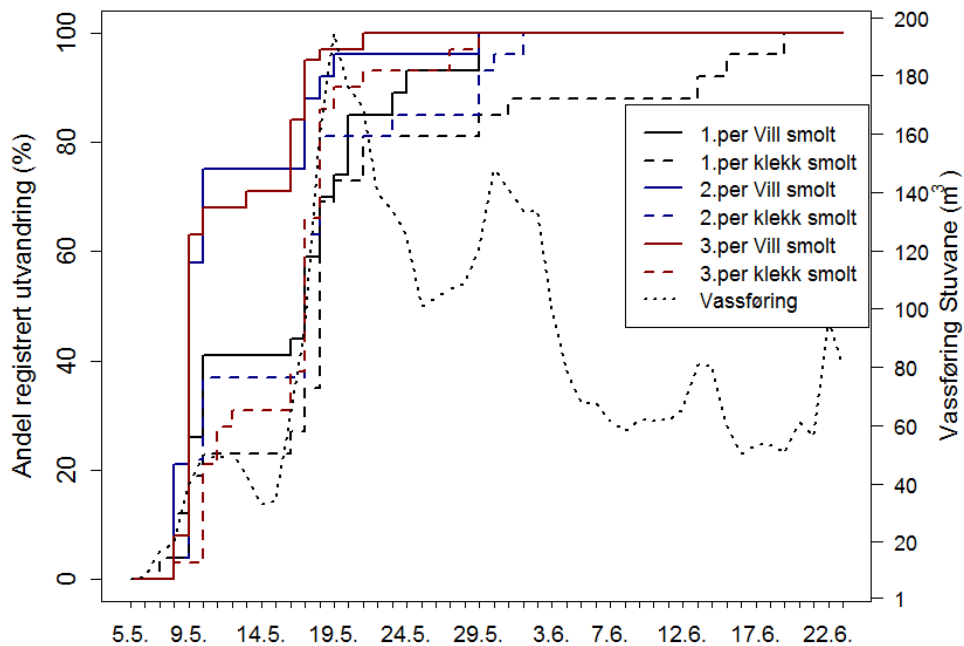
Tabell 5. Resultat frå GLM-modellar basert på GAM-modeller av alle moglege modellar selektert på AIC-vekt. Signifikante resultat er framheva i **feit skrift**.

Villfisk				
Faktor	Estimat	Std. Error	t-verdi	p-verdi
Intercept	-0.169	0.456	-0.370	0.713
(Vassføring Stuvane (m ³)) ³	1.799e-07	7.727e-08	2.328	0.024
Temperatur Hauge	1.219e-02	6.714e-02	0.182	0.857

Klekkeri				
Faktor	Estimat	Std. Error	t-verdi	p-verdi
Intercept	-1.619	0.282	-5.744	6.55e-07
(Vassføring Stuvane (m ³)) ²	5.213e-05	1.674e-05	3.113	0.003

3.3.2 Effekt av utsettingstidspunkt og - stad

Det var ikkje registrert nokon skilnad på utvandringstidspunkt mellom fisk satt ut i dei ulike periodane. Dei første gruppene såg ut til å halde seg på elva etter utsett, og responderte i samsvar med dei seinare gruppene, då dei vandra ut på ei auke i vassføring (Figur 13).

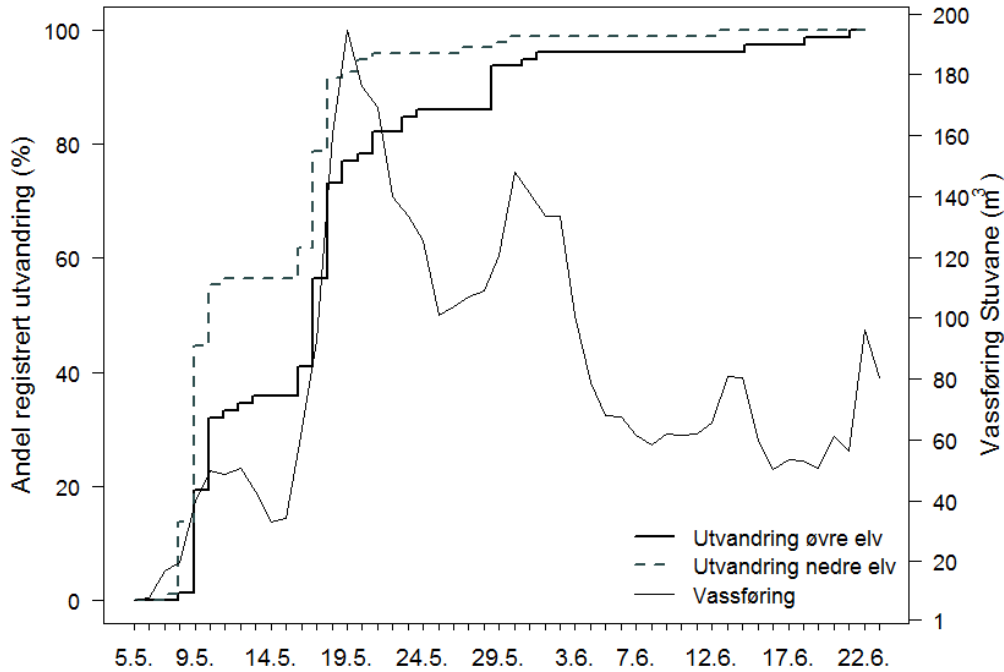


Figur 13. Akkumulert utvandring for alle gruppene samt vassføring ved Stuvane.

Dei to siste gruppene for villfisk (24. april og 6. mai) har en større del av fisk som går på sjøen i løpet av den første auken i vassføring samanlikna med gruppa satt ut 6. april (Figur 13). Klekkerifisken viser på sin side at det er ein større del av alle gruppene som står over den første vassføringsauken, og som deretter vandrar på neste topp den 17. mai 2013.

Når ein ser utvandringprosentane mellom dei to gruppene, er det ein høgare prosentdel som kommer seg til sjøen frå sist utsatt gruppe (Gruppe 1: 67,5%, gruppe 2: 63,8% Gruppe 3: 84,8%).

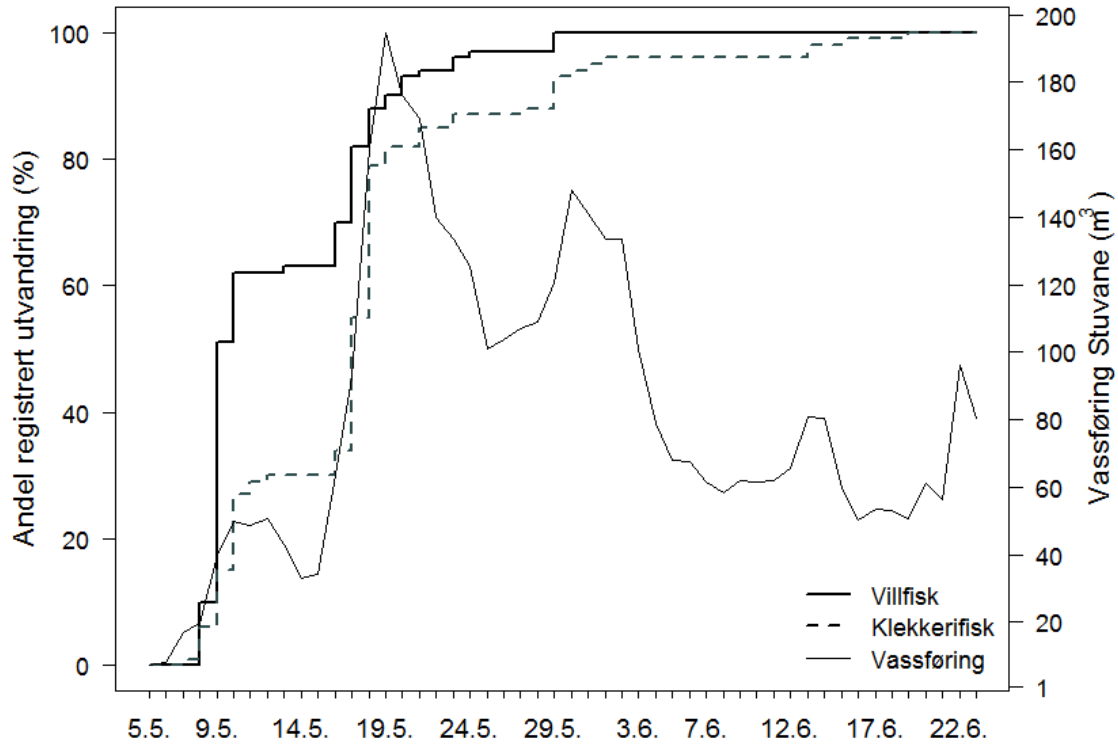
Det var liten effekt av utsetningssted på utvandring til sjø mellom oppstrøms og nedstrøms Stuvane kraftverk (øvre og nedre elv). Her var det så stor korrelasjon mellom gruppene av vill- og klekkerifisk, at dei vart plotta saman (Figur 14). Figuren viser at det er liten skilnad mellom dei to gruppene, men samstundes kan ein sjå at det er ei større gruppe fisk frå nedre del som vandrar på den første vassføringstoppen enn fisk satt i dei øvre delar.



Figur 14. Akkumulert utvandring frå fisk satt ut i dei øvre kontra nedre del av Lærdalselvi opp mot vassføring ved Stuvane.

Totalt sett vart 94 av fisk sett ut i nedre deler og 78 av fisk sett ut i øvre deler av Lærdalselvi observert i sjø. Utvandringa var meir uniform frå nedre deler av elva, kor 55 % av all detektert fisk i sjø vandra ved den første vassføringstoppen med ein etternølar den 13. juni (klekkerifisk). Fisk satt ut i øvre delar hadde ein større spreiding i utvandringstidspunkt, men framleis var det ein god korrelasjon på utvandring ved vassføringstoppane (hovudsakleg 8. og 17. mai). Frå øvre delar var det registrert 4 etternølarar i juni, kor alle var klekkerifisk.

3.3.3 Effekt av opphav

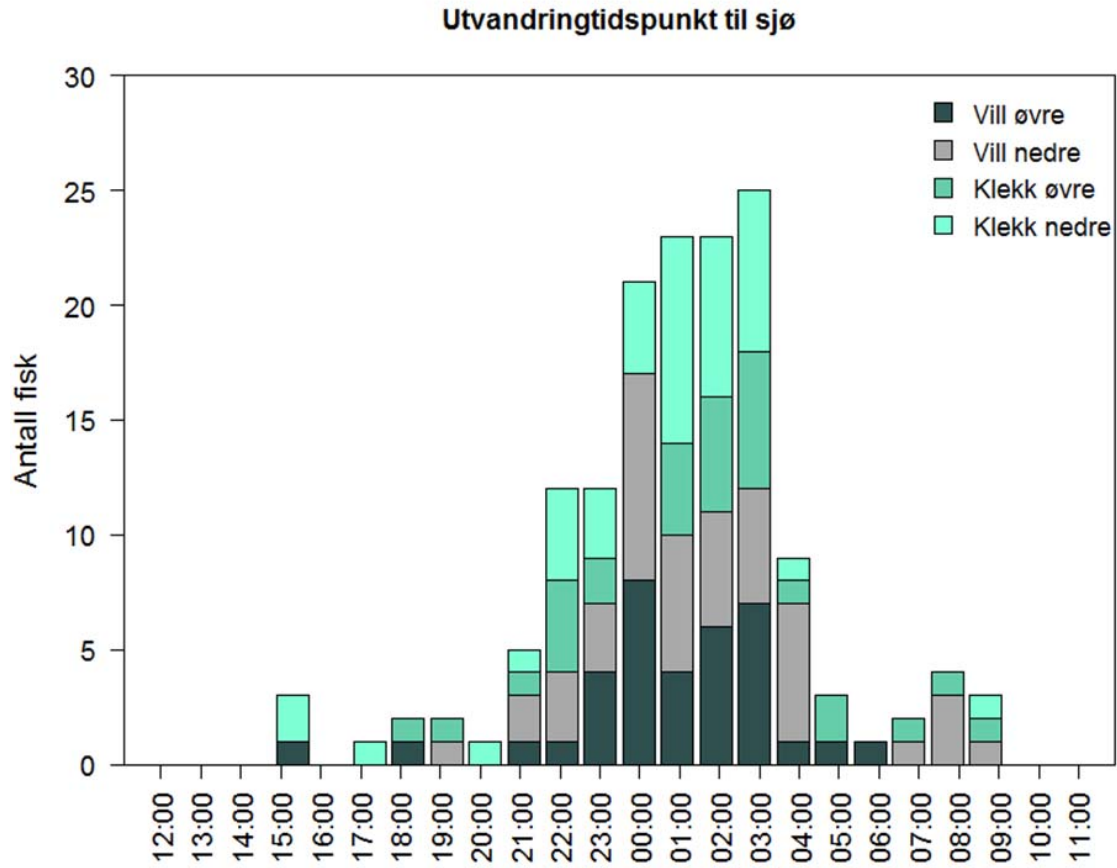


Figur 15. Akkumulert utvandring frå vill kontra klekkerfisk satt ut i Lærdalsevi, med vassføring ved Stuvane.

Det var hovudsakleg liten skilnad mellom vill og klekkerfisk når ein ser på analysar av utvandringstriggarar. Utvandringstidspunkt hadde ein sterk korrelasjon med auke i vassføring for begge grupper, samt ein noko svakare korrelasjon med auke i temperatur. Hå gruppa med villfisk gjekk ein større prosentdel på første vassføringstopp (> 60%), mens om lag 30% av klekkerfisken responderte på den same vassføringstoppen. Utvandringa gjekk i all hovudsak på dei første vassføringstoppane, med eit par etternølarar etter 30.05 (6 stk. klekkerfisk).

3.3.4 Utvandringstid på døgnet

Det var ei gjennomgåande trend at fisken vandra på natta medan det var mørkt (Figur 16). Utvandringstida er berekna av første deteksjon i Bruosen/osen.



Figur 16. Tid på døgnet for registrert utvandring hjå villfisk og klekkerifisk satt i hhv øvre og nedre delar av elva etter merking.

3.3.5 Symjefart

Estimert symjefart hjå utvandrande klekkerismolt og villsmolt i Lærdalselvi, framstilt som kroppslengdar per sekund (tabell 6), var samsvarande med andre liknande studiar (Ruggles 19801), med ei total gjennomsnittshastighet for alle grupper på 1,81 bl/sek. Det vart registrert høgare fart hjå fisk satt ut i øvre delar av elva.

Tabell 6. *Utvandringshastighet i elv for dei ulike gruppene med fisk. Alle grupper er korrelert for gjennomsnittleg kroppslengde for gruppa.*

Opphav	Satt ut	Tal (N)	Gj. Hastighet (kroppslengder/sekund)	SD
Vill	Øvre	14	2,46	2,35
Vill	Nedre	29	2,40	2,48
Klekkeri	Øvre	3	5,36	3,29
Klekkeri	Nedre	10	3,14	2,53
Tot		56	2,66	2,53

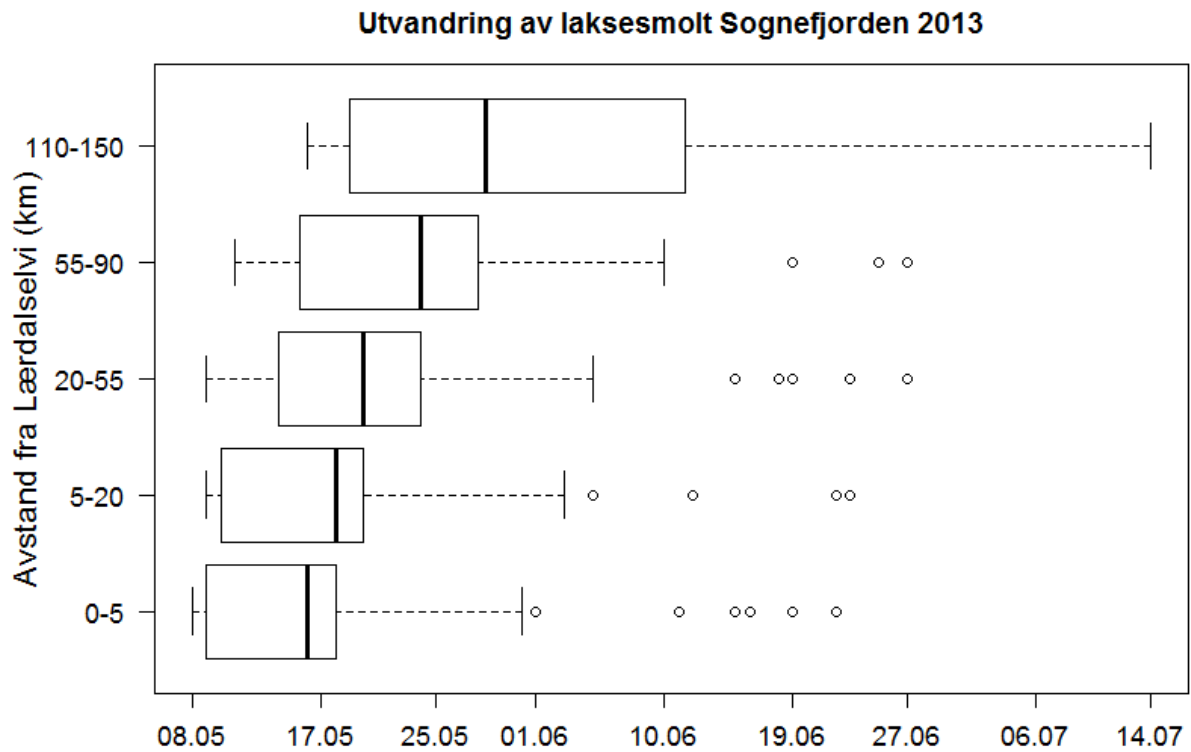
3.4 Vandring i sjø

Utvandring i fjorden er vist i figur 17 med opphald i dei ulike sonene og avstand (km) frå Lærdalselvi over dato. All laksefisk merka i 2013 er representert med første og siste deteksjon innanfor kvar lyttebøye. Det er her tatt med bøyer i Sognefjorden og Lærdalsfjorden. Bøyer i større sidefjorlar innover Aurland, Lustra, Sogndalsfjord er ikkje inkludert. Hovudfokus i denne del av studiet har vore vandring ut Sognefjorden.

Mesteparten av smolten har kome seg ut av Lærdalsfjorden innan 18. mai (Figur 17). Frå 17. mai til 10. juni er mesteparten av laksemolten registrert i ytre del av Sognefjorden (figur 17).

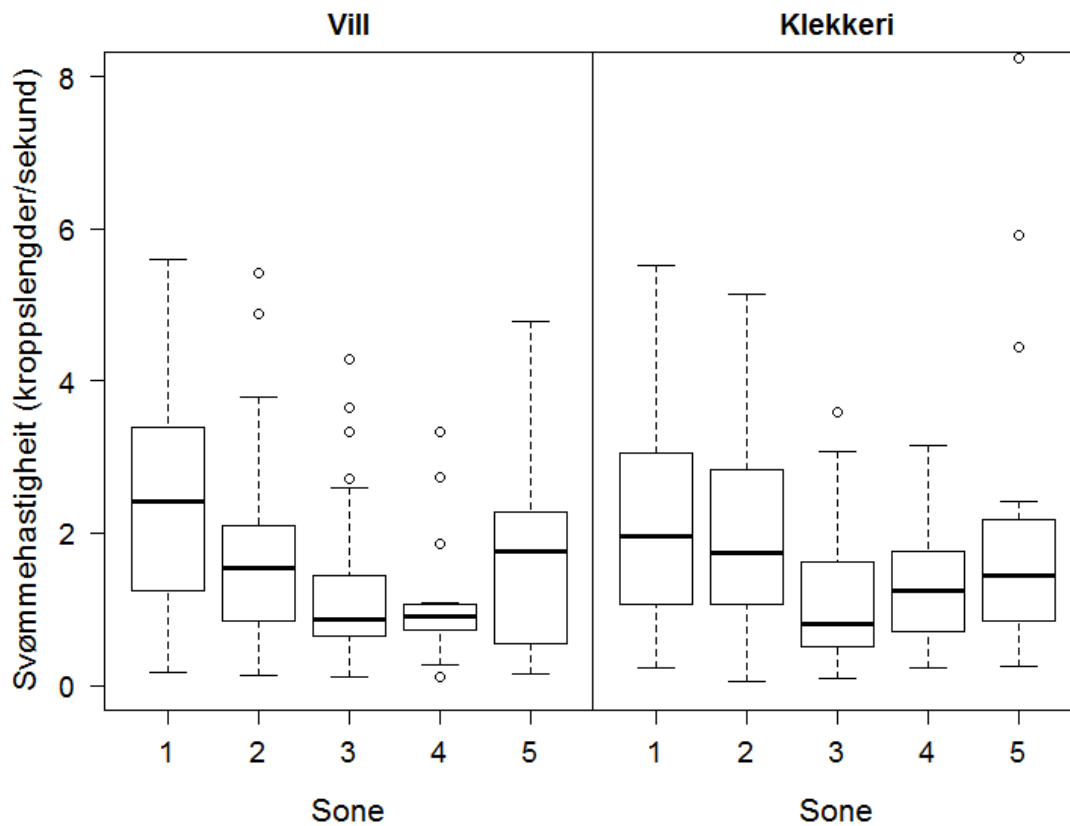
I sone 4 er det registrert totalt 33 individ, 15 vill og 18 klekkerifisk , medan det i sone 5 er registrert totalt 28 individ, 10 vill og 18 klekkeri . Gjennomsnittleg opphaldstid for enkeltfisk er 2,5 dagar i sone 4 (Vangsnes til Mjølsvik) og 4 dagar i sone 5 (Mjølsvik til Sognesjøen). Slår vi saman sone 4 og 5 er gjennomsnittleg opphaldstid 3,3 dagar.

Dette viser at smolten har kort opphaldstid i ytre del av Sognefjorden og at tiltak mot lakselus må tilpassast slik at ein kan halde nivået av infektive luselarvar på eit minst mogleg nivå i den perioden laksemolten passerer.



Figur 17. Avstand fra Lærdalselvi over dato for all akustisk merka laksesmolt detektert utover Sognefjorden sesongen 2013. Første og siste deteksjon per ID er representert innanfor dei ulike sonene Sone1: 0-5 km, sone 2: 5-20 km, sone 3: 20-55 km, sone 4: 55-90 km og sone 5: 110-150 km. Vertikal linje er medianverdien (den midtarste observerte verdien), boksen er 25-75 percentilen (50% av observasjonane ligg innanfor dette intervallet), vertikal linje er 5-95 percentilen (90% av observasjonane ligg innafor dette intervallet), og runde punkt er enkeltobservasjonar utanfor dette området.

Estimert symjefart i sjø hjå utvandrande klekkeri- og villsmolt i Sognefjorden er vist i Figur 18. Det var ikkje noko statistisk skilnad på vandringsfart til klekkeri- og villsmolt.



Figur 18. Estimert symjefart hjå utvandrande klekkeri- og villsmolt i **Sognefjorden**, framstilt som kroppslengd per sekund. Horisontal linje er medianverdien (den midtarste observerte verdien), boks er 25-75 percentilen (50% av observasjonane ligg innanfor dette intervallet), vertikal linje er 5-95 percentilen (90% av observasjonane ligg innafør dette intervallet), og runde punkt er enkeltobservasjonar utanfor dette området. Klekkerismolt og villsmolt er statistisk testa for skilnader (t-test) og det vart ikkje detektert statistisk signifikant skilnad på gruppene ($t = -0.24$, $p = 0.98$).

4. Diskusjon

4.1 Teknisk gjennomføring

Granskingane i Lærdalselvi har vist ein høg forklaringsstyrke på kva faktorar som har effekt for utvandring, sjølv om ein baserer seg på eit relativt lite tal fisk. Akustisk telemetri som metodikk har vesentlege fortrinn samanlikna med tradisjonelle smoltfeller/smolthjul. Ein vil ha fangst/registrering i stor grad uavhengig av vassføring (særleg i elvemunning og sjø) på det tidspunktet når fisken faktisk vandrar ut. Metodikken er ikkje spesielt sårbar for «nedetid» på grunn av tekniske problem. Slike granskingar kan gjennomførast kostnadseffektivt med tanke på kostnader til drift av smolthjul/-feller. Eit stor fortrinn er også at fangst /registrering av fisk skjer på lav vassføring og gjennom heile døgnet.

Det er av fleire grunnar knytt ganske mykje usikkerheit til merking av pre-smolt, og ein må forvente at mange fisk ikkje vil verte registrert i ettertid. Ein kan risikere å merke fisk som ikkje skal smoltifisere det aktuelle året, og som då ikkje vil vandre ut. Denne risikoen er størst for dei gruppene som vart merka tidleg i april. Ein kan og miste ein del fisk grunna predasjon, samt at sjølve merkinga vil kunne ha ein negativ effekt på gjenfangstresultatet.

Rett merkemethodikk er eit vesentleg moment i å lukkast i alle telemetriprosjekt (Urke mfl. 2013 b). I alle dei tre åra det er gjennomført studiar på vill laksesmolt i Lærdalselvi, har ein hatt stor grad av registreringar på fisk etter merking. Dette er ein viktig føresetnad for å bruke desse datasetta inn mot å belyse aktuelle utfordringar for laksefisk både i elv og sjø.

4.2 Evaluering av klekkeriprodusert laksesmolt

På trass av ulikt levemiljø og ikkje minst temperaturforhold, var det ikkje mogleg å påvise nokre redusert smoltifiseringsgrad eller asynkronitet hjå klekkerifisk samanlikna med villfisk. Dette indikerer ein stor grad av (truleg daglengderelatert) synkronisering av smoltifisering uavhengig av miljøvariablar. Dette betyr at ein kan rekne klekkerifisken som utsettingsklar på same tidspunkt som villfisken tar til å vandre, det vil seie frå slutten av april. Dersom ein ikkje endrar mykje på produksjonstilhøva i klekkeriet, kan ein difor rekne utsett på dette tidspunkt som dyrevelferdsmessig forsvarleg og forvaltningsmessig fornuftig.

Den fysiologiske evalueringa av smoltifiseringsegenskapar hjå klekkerifisken før utsett som her er dokumentert, er i tråd med krav både i dyrevernlova og akvakulturdriftsforskrifta. I tillegg er det inkludert parametrar som representerer neste generasjons dokumentasjonsverktøy (genuttrykk) for smoltifiseringsstatus. Ein er dermed sikra ein robust og god dokumentasjon.

I dagens praksis ved Ljøsne klekkeri skjer utsett av 1-årig smolt rundt den 15. mai. Basert på tidlegare studie i Lærdalselvi i 2009 vart det tilråda at utsett bør skje på tidlegare tidspunkt (Urke m. fl 2010), og da helst nokre dagar før forventta auke i vassføring.

I 2009 fekk ein utvandring i slutten av april, berre få dagar etter utsett av fisk (Urke m fl 2010). Dette tyda på at smolten truleg var klar til å vandre på eit tidlegare tidspunkt. Resultat frå sesongen 2013 viser at smolten utviklar sjøtoleranse i slutten av april, og at dei første gruppene av smolt dermed ikkje vil vandre før etter dette tidspunktet. Studiet i 2009 ser derfor ut til å ha dokumentert den første utvandringstoppen, som kom med ein auke i vassføring rundt 29. april.

4.3 Vandring i elv

I dataene frå 2013 var auke i vassføringa den viktigaste utløysande faktoren for utvandring av laksesmolt. Dette stemmer godt med tidlegare utvandringsdata i Lærdalselvi (Urke mfl. 2013b), samt med det som er vist i mange andre laksevassdrag (Saksgård *et al.*, 1992, Hvidsten *et al.*, 1995, Arnekleiv *et al.*, 2000). I 2009 hadde laksesmolten eit utvandringsvindaug som strakk seg frå 6. mai til 19. juni, med hovudmengda av fisk på utvandring mellom 8. mai til 30. mai. Eit smoltvindaug på 6-7 veker er i samsvar med resultat frå mange andre norske vassdrag (Arnekleiv *et al.*, 2000, Urke *et al.*, 2010). I 2013 vandra 90 % av smolten mellom 7. og 21. mai. I 2014 vandra 90 % av smolten i løpet av 17.-20.mai (Urke m fl 2014c).

Det var ikkje registrert store forskjellar mellom vill- og klekkerifisk på utvandringsutløysare. Begge gruppene vandra i hovudsak på auke i vassføring, og sjølv om det var en større prosentdel av villfisken som vandra på første vassføringstopp samanlikna med klekkerifisken, var skilnadane små. Det same kan seiast om både tidspunkt og sted for utsetting.

I 2013 hadde vi 3 forskjellige utsettstidspunkt for å sjå på skilnader mellom gruppene. Resultatet var ei samanfallande utvandring, styrt av vassføring for alle de aktuelle gruppene. Dei som var sett i elva 6. og 24. april vart ståande og venta på vassføringsaukinga, medan dei som vart satt ut 6. mai rakk den første vassføringstoppen som kom rundt 8. mai. Fisken synast å ha god kondisjon etter operasjonen og vandra på dei «rette» miljøendringane for utvandring i samsvar med Urke *et al.* 2013b.

4.4 Vandrings i sjø

Opphaldstid i elvemunningen er kort for både klekkerismolt og villsmolt. Frå andre studiar rapporterast det ofte om at smolt brukar lengre tid i dette området og at vandringsfarta dermed er lågare enn lenger ute i fjordane.

Som i elv er det også i sjøfasen dokumentert stor variasjon i vandringsfart for utvandrande laksesmolt, medan vandringsdjup generelt synest å ligge i dei øvste tre metrane av vassøyla gjennom døgnet (Moore *et al.*, 2000; Lacroix *et al.*, 2004, Davidsen *et al.*, 2008). Vandringsdjup på utvandrande villsmolt er ikkje kartlagt i dette studiet, då fiskemerker som gir informasjon om djup krev at fisken er betydeleg større enn vill laksesmolt frå Lærdalselvi.

I 2009 vart det gjort utrekningar av vandringsfart frå Fodnes til Gagernes som tyder på at laksesmolten har ein vandringsfart på rundt 10 km/dag (Urke m fl 2010). Om dette er tilfelle for den vidare vandrainga utover i Sognefjorden, betyr det at smolten bruker omlag 14 dagar på å kome seg ut til Sognesjøen i ytre del av Sognefjorden. Registreringane frå 2013 viser at dette stemmer ganske bra. Med bakgrunn i resultat frå 2009 og 2013, kan ein bruke 10-14 dagar som tid frå utvandring frå Lærdalselvi til at smolten opptrer i ytre delar av fjordsystemet.

I 2013 er saliniteten slik at lakseluslarvar kan opptre i øvre vasslag inn til Vangsnes. Variasjon mellom år med tanke på mengde ferskvatn og tidspunkt for utvandring, vil gje ulik moglegheit for lusepress. Ein betre oppløysing på vertikale profilar av salinitet i perioden medio april til medio juni med hyppigare innsamlingar vil danne eit betre kunnskapsgrunnlag omkring dette. Føreliggande resultat viser at laksesmolten vandra før overflatelaget i midtre del av Sognefjorden var påverka av ferskvatn i særleg grad, og at lakseluslarvar teoretisk sett kan møte laksesmolten inne ved Vangsnes i 2013.

4.5 Når bør det være minimalt med lakselus i ytre deler av Sognefjorden med tanke på å redusere eventuelle negative effektar på smolt frå den viktigaste laksebestanden i Sognefjorden?

Utvandringstidspunkt og opphaldstid i miljø med moglege infektive lusearver vil være viktig informasjon i risikovurderingar knytt til næringa sin påverknad på Lærdalslaksen. Lærdalselvi har historisk vore lokomotivet i Sognefjorden både i forhold til mengd laks og at elva stod for 60-70 % av lakseproduksjonen. Elva er no under friskmelding etter *G. salaris* og har dei siste to åra kome seg litt til hektene, sjølv om fangstane fortsatt historisk sett er låge. Ein laksebestand som i eit normalår vil bidra til eit middels godt laksefiske i alle andre vassdrag i fjordsystemet grunna naturleg «feilvandring». Utan meir robuste tal/større kunnskapsgrunnlag, vil ein om tre eller ti år fortsatt ha eit usikker grunnlag for å vite kva eit bestemt tal kjønnsmoden lus i oppdrett verkeleg betyr for villaksen i fjordsystemet.

I 2013 er mesteparten av laksesmolten registrert i ytre del i perioden frå 17. mai til 10. juni. Dette er fisk som er fordelt på to markerte utvandringstoppar frå elv. I 2014 gjekk 90 % av laksesmolten i Lærdalselvi i perioden 17. -19. mai (Urke m fl 2014c). Sjøtoleranseutvikling indikerer at det ikkje vil vere utvandring før i slutten av april- tidleg mai.

Oppdrettsnæringa brukar i dag store ressursar på å halde lusenivå under fastsett grense frå Mattilsynet. I tillegg vert det årleg gjort laksleusregistreringar på laksesmolt i ytre del av Sognefjorden. Tala frå den nasjonale overvakinga og risikovurderinga knytt til lakselus er oppsummert i Taranger m. fl., 2014.

Våre resultat indikerer at det infektive lusepresset bør vere redusert i Sognefjorden frå tidlegast 10. mai og utover for at laksesmolten frå Lærdalselvi skal vandre gjennom systemet med lavast risiko for

påslag av lakselus. Gjennomsnittleg opphaldstid for enkeltfisk var i 2,5 dagar i Sone 4 (Vangnes til Mjølsvik) og 4 dagar i sone 5 (Mjølsvik til Sognesjøen). Slår vi saman sone 4 og 5 er opphaldstida i snitt 3,3 dagar. I fjølge innrapporterte behandlingar til fiskehelsenettverket, var det flest behandlingar i veke 13,14 og 15 våren 2013 (T. Lysne pers. med). I 2014 var våravlusingsperioden veke 12, 13 og 14. Ettersom lakselusa bruker omtrent 250 døgngrader på utvikling frå egg-klekking til infektivt stadium (P. A, Jahnsen, pers med) og etter dette overlever nokre dagar som infektive (forventa levetid er 4-5 dagar, uavhengig av temperatur), må tidspunktet for felles våravlusing tilpassast lusas biologi og aktuell sjøtemperatur.

5. Oppsummering

Både vill og klekkeriprodusert laksesmolt utviklar sjøtoleranse i løpet av siste veka i april. Den evalueringa av smoltifiseringsegenskapar hjå klekkerifisken før utsett som her er dokumentert, er i tråd med krav både i dyrevernslova og akvakulturdriftsforskrifta.

Studien har sikra eit omfattande datasett på vandringsmønsteret til Lærdalssmolten. I 2013 var ei auke i vassføring den utløysande faktoren for utvandring. Klekkeriprodusert laksesmolt hadde likt utvandringmønster som vill laksesmolt i elva, og begge hadde ei kort opphaldstid i elvemunningen. I perioden mellom 7. og 21. mai hadde vel 90 % av laksemolten vandra ut frå Lærdalselvi, fordelt over to markerte tidspunkt.

I 2013 vandrar smolten ut før Sognefjorden har større innslag av ferskvatn i øvre vasslag. Smolten har kort opphaldstid i ytre del av Sognefjorden og mesteparten av laksesmolten er registrert i ytre del frå 17. mai til 10. juni. Sjøtoleranseutvikling indikerer at det ikkje vil vere utvandring før i slutten av april tidleg mai i Lærdalselvi. Resultata indikerer at det infektive lusepresset bør vere redusert i Sognefjorden frå tidlegast 10. mai og utover for at Lærdalslaksen skal vandre gjennom systemet med lavast risiko for påslag av lakselus.

Prosjektet har etablert kunnskap om når det burde vore minimalt med infektive lakseluslarvar i ytre deler av Sognefjorden sesongen 2013 med tanke på å redusere negative effektar på laksesmolt frå den viktigaste laksebestanden i regionen. Utvandringstidspunkt og opphaldstid i miljø med moglege infektive luselarver vil være viktig informasjon i risikovurderingar knytt til næringa sin påverknad på Lærdalslaksen. Tiltak mot lakselus må tilpassast slik at ein kan halde nivået av infektive luselarvar på eit minst mogleg nivå i den perioden smolten frå det viktigaste laksevassdraget passerer.

6. Framover

Østfold Energi AS, E- Co Energi AS og Osland Havbruk har i 2014 finansiert akustisk merking av 130 laksesmolt i Lærdalselvi og 100 aure-/laksesmolt frå Aurlandselva. Dette materialet er grunna manglande finansiering ikkje bearbeida i forhold til registreringar i marint miljø.

Sesongen 2015 vil det også vere mogleg å realisere eit år til med relevante data på vandringsmønster til Lærdalslaksen, der ein nyttar eksisterande nettverk av lyttebøyer som er operative i KUSTUS prosjektet. I tillegg vil ein her kunne ta i bruk ny teknologi som vil sikre at ein også får symjedjup på vill laksesmolt. Symjedjup på vill laksesmolt er hittil ikkje dokumentert i verdslitteraturen, og djupnebruk er ein kritisk faktor i forhold til spesielt risiko for lakseluspåslag i områder der ein har sjiktning med salinitetsgradientar i øvre vasslag; slik som utover Sognefjorden.

Vi har i dag ikkje gode nok måltall på å vurdere om oppdrettsnæringa er berekraftig i forhold til eventuelle negative påverknadar på bestandar av vill laksefisk. Jamfør den vedtekne kvalitetsnorma for laksefisk basert på omforeint forslag til klassifisering av effektar av lus på vill laksefisk (Taranger m. fl. 2012), er det gjort prosentvise estimat på ingen, låg, middels og høg bestandseffekt. For å nytta seg av dette, bør vi sørgje for å ha kunnskap om dette for den viktigaste laksebestanden i fjordsystemet.

Utvandringstidspunkt og opphaldstid i miljø med moglege infektive luselarver vil være viktig informasjon i risikovurderingar knytt til næringa sin påverknad på Lærdalslaksen og utvikling av «bærekraftmodeller». Her bør ein kople vandringsmønster til både laks og sjøaure frå pågåande prosjekt i Sognefjorden med strømodeller som er sett opp og lusetal/berekna lusespreiing basert på beste tilgjengelege modellar (kjernetetthetsmodell, Veterinærinstituttet). Dette vi gje ein vesentleg betre presisjon i forhold til å vurdere bærekraft. Det er først etter at ein har gode nok input data på desse ulike faktorane at ein «bærekraftmodell» vert påliteleg.

Data fremskaffa gjennom dette prosjektet sikrar ein viktig komponent som sikrar presise risikovurderingar og koplingar til andre tilgjengelige verktøy knytt til infeksjonsrisiko av lakselus.

7. Referansar

- Arnekleiv, J. V., Kjærstad, G., Rønning, L., Koksvik, J. og Urke, H. A. 2000. Fiskebiologiske undersøkelser i Stjørdalselva 1990-1999. Del 1. Vassdragsregulering, hydrografi, bunndyr, ungfisktettheter og smolt. Vitenskapsmuseet, NTNU, Rapport Zoologisk Serie 2000-3: 1-91.
- Burnham K.P, Anderson DR (2002) Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach, 2nd edn. Springer, New York.
- Burnham K.P, Anderson DR (2004) Multimodel inference: understanding AIC and BIC in model selection. *Sociol Methods Res* 33:261–304.
- Davidsen, J. G., Plantalech Manel-La, N., Økland, F., Diserud, O.H., Thorstad, E.B., Finstad, B., Sivertsgård, R., McKinley and Rikardsen, A. 2008. Changes in swimming depths of Atlantic salmon *Salmo salar* post-smolts relative to light intensity. *Journal of Fish Biology* 73, 1065–1074.
- Fofonoff, P., and Millard, R.C. Jr. 1983. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. UNESCO Technical Papers in Marine Science No. 44, 53 pp.
- Hansen, L. P. 1993. Movement and migration of salmon at sea. In Mills, D. (ed) "Salmon in the sea and new enhancement strategies". Fishing News Books. Blackwell, Oxford.
- Hansen, L. P. and Jonsson, B. 1989. Salmon ranching experiments in the River Imsa; effect of timing of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolt migration on survival to adults. *Aquaculture* 82: 367-373.
- Hoar, W. S. 1988. The physiology of smolting salmonides. In "Fish physiology" Hoar, W. S. and Randall, D. J. (eds). Academic Press, New York. XIB: 275-343.
- Hvidsten, N. A., Jensen, A. J., Vivås, H., Bakke, Ø. and Heggberget, T. G. 1995. Downstream migration of Atlantic salmon, *Salmo salar*, in relation to water flow, water temperature, moon phase and social interaction. *Nordic Journal of Freshwater Research* 70:38-48.
- Lacroix, G. L., McCurdy, P. & Knox, D. 2004. Migration of Atlantic salmon postsmolts in relation to habitat use in a coastal system. *Transactions of the American Fisheries Society* 133, 1455–1471.
- Moore, A., Lacroix, G. L. and Sturlaugsson, J. 2000. Tracking Atlantic salmon postsmolts in the sea. In *The Ocean Life of Atlantic Salmon: Environmental and Biological Factors Influencing Survival* (Mills, D. D., ed.), pp. 49–64. Oxford: Fishing News Books.
- Ruggles, C. P. 1980. A review of the downstream migration of Atlantic salmon. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* No 952. Ix + 39p.
- Saksgård, L.M., Heggberget, T.G., Jensen, A.J. & Hvidsten, N.A. 1992. Utbyggingen av Altaelva– virkninger på laksebestanden. NINA Forskningsrapport 34: 1-98.
- Taranger, G.L., Karlsen, Ø., Bannister, R.J., Glover, K.A., Husa, V., Karlsbakk, E., Kvamme, B.O., Boxaspen, K.K., Bjørn, P.A., Finstad, B., Madhun, A.S., Morton, H.C. and Svåsand, T. 2014. Risk assessment of the environmental impact of Norwegian Atlantic salmon farming. *ICES Journal of Marine Science*. Doi:10.1093/icesjms/fsu132
- Ugedal, O, Kroglund, F., Barlaup, B., Lamberg, A. 2014. Smolt en kunnskapsoppsummering. Miljødirektoratet M136-2014. 128 sider.
- Urke, H. A. Kristensen, T., Alfredsen, K.T., Daae, K. L.D. og Alfredsen. J.A. 2010a. Utvandringstidspunkt og marin åtferd hjå smolt frå Lærdalselvi. NIVA rapport. 6033-2010 48 sider.
- Urke H. A., Koksvik, J., Kristensen, T., Arnekleiv, J. V., Hindar, K. and Kroglund, F. 2010b. Seawater tolerance in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., brown trout, *Salmo trutta* L., and *S. salar* × *S. trutta* hybrids smolt. *Fish Physiology and Biochemistry*. 36:845–853.
- Urke, H. A., Kristensen, T. Arnekleiv, J. V., Haugen, T. O. Kjærstad, G., Stefansson, S O., Ebbesson, L.O.E and Nilsen, T. O. 2013a. Seawater tolerance and post smolt migration of wild Atlantic salmon x brown trout hybrid smolts. *Journal of Fish Biology* 82, 206–227.
- Urke, H. A., Kristensen, T. Ulvund, J.B. Alfredsen, J. A. 2013b. Riverine and fjord migration of wild and hatchery reared Atlantic salmon smolts. *Fisheries Management and Ecology* 20, 544- 552.

Urke, H.A, Arnekleiv, J.V., Nilsen, T.O and Nilssen, K. J. 2014a. Seawater tolerance and downstream migration of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Journal of Fish Biology* 84, 178–192.

Urke, H.A., Arnekleiv, J.V., Nilsen, T.O., Nilsen K.J., Rønning, L., Ulvund, J.B. and Kristensen, T. 2014b. Long term hypoosmoregulatory capacity in downstream migrating Atlantic salmon *Salmo salar* L. smolts. *Journal of Fish Biology*, 85, 1131-1144.

Urke, H. A., Ulvund, J. B og Kristensen, T. 2014c. Vandringsmønsteret til laksesmolt oppstrøms og nedstrøms Stuvane kraftverk i Lærdalselvi sesongen 2014 og smoltutvandringsmodell basert på datasett frå 2009, 2013 og 2014. INAQ rapport.