

Smoltutvandring forbi Laudal Kraftverk i Mandalselva i 2013

Finn Økland
Eli Kvingedal
Anders Lamberg
Frode Kroglund
Torbjørn Forseth
Ola Diserud
Ingebrigt Uglem



NINAs publikasjoner

NINA Rapport

Dette er en elektronisk serie fra 2005 som erstatter de tidligere seriene NINA Fagrapport, NINA Oppdragsmelding og NINA Project Report. Normalt er dette NINAs rapportering til oppdragsgiver etter gjennomført forsknings-, overvåkings- eller utredningsarbeid. I tillegg vil serien favne mye av instituttets øvrige rapportering, for eksempel fra seminarer og konferanser, resultater av eget forsknings- og utredningsarbeid og litteraturstudier. NINA Rapport kan også utgis på annet språk når det er hensiktsmessig.

NINA Temahefte

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

NINA Fakta

Faktaarkene har som mål å gjøre NINAs forskningsresultater raskt og enkelt tilgjengelig for et større publikum. De sendes til presse, ideelle organisasjoner, naturforvaltningen på ulike nivå, politikere og andre spesielt interesserte. Faktaarkene gir en kort framstilling av noen av våre viktigste forskningstema.

Annen publisering

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

Smoltutvandring forbi Laudal Kraftverk i Mandalselva i 2013

Finn Økland
Eli Kvingedal
Anders Lamberg
Frode Kroglund
Torbjørn Forseth
Ola Diserud
Ingebrigt Uglem

Økland, F., Kvingedal, E., Lamberg, A., Krog Lund, F., Forseth, T., Diserud, O. & Uglem, I. 2013. Smoltutvandring forbi Laudal Kraftverk i Mandalselva i 2013. - NINA Rapport 1067. 38 s.

Lillehammer, august 2014

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-2685-1

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

REDAKSJON

Torbjørn Forseth & Eli Kvingedal

KVALITETSSIKRET AV

Kjetil Olstad

ANSVARLIG SIGNATUR

Jon Museth (sign.)

OPPDRAKSGIVER(E)/BIDRAGSYTER(E)

Agder Energi Vannkraft

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER/BIDRAGSYTER

Svein Haugland

FORSIDEBILDE

Kraftverksinntaket til Laudal kraftverk. Foto: Torbjørn Forseth

NØKKELOORD

Mandalselva, Vest-Agder, Marnardal, laks, smolt, vinterstøinger, vassdragsreguleringer, turbindødelighet, telemetri, video, bestandsestimat, utvandring, oppvandring

KEY WORDS

River Mandalselva, Vest-Agder, Marnardal, Atlantic salmon, *Salmo salar*, smolts, kelts, hydropower regulation, turbine mortality, telemetry, video, population estimates, downstream & upstream migration

KONTAKTOPPLYSNINGER

NINA hovedkontor

Postboks 5685 Sluppen
7485 Trondheim
Telefon: 73 80 14 00

NINA Oslo

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon: 73 80 14 00

NINA Tromsø

Framsenteret
9296 Tromsø
Telefon: 77 75 04 00

NINA Lillehammer

Fakkeldgården
2624 Lillehammer
Telefon: 73 80 14 00

www.nina.no

Sammendrag

Økland, F., Kvingedal, E., Lamberg, A., Kroglund, F., Forseth, T., Diserud, O. & Uglem, I. 2013. Smoltutvandring forbi Laudal Kraftverk i Mandalselva i 2013. - NINA Rapport 1067. 38 s.

Vellykket produksjon av laks og muligheter for fiske øverst i Mandalsvassdraget forutsetter at smolt fra øvre deler av elva kan vandre forbi Laudal kraftverk uskadd ut i sjøen. Kraftverket har inntak ved utløpet av Mannflåvann der fisken enten kan vandre inn i kraftverket eller ned minste vannstrekningen. I løpet av de siste ti årene har det blitt gjennomført flere studier av smoltutvandringen i dette området, og det har blitt utviklet statistiske modeller som 1) beregner når smolten mest sannsynlig vandrer ut basert på bl.a. vanntemperatur og vannføring, og 2) hvor den vandrer avhengig av fordelingen av vann til kraftverket og i minste vannstrekningen. I den siste modellen inngår også effekten av strobelys som er montert ved kraftverksinntaket og som reduserer vandringen inn i kraftverket om natta. Disse modellene, sammen med observasjoner av fangst av smolt i ei smoltfelle ved Hesså (oppstrøms Mannflåvann), har vært grunnlag for manøvreringstiltak og vannslipp forbi Laudal Kraftverk i perioden 2009-2012. I henhold til modellverktøyene har en høy andel av smolten vandret utenom kraftverket i disse årene. Overvåkning av smoltutvandringen gjennom luka i Mannflå dam (starten av minste vannstrekningen) ved hjelp av video i 2012 viste imidlertid et mønster i utvandringen som ikke umiddelbart samsvarer med modellverktøyet. Videoobservasjonene dannet også grunnlag for spørsmål om hvor stor smoltproduksjonen oppstrøms dammen var, når på døgnet hovedmengden av smolten vandret (tiltakene er fokusert mot nettene) og om smolt fra ulike deler av vassdraget oppstrøms dammen vandret til ulike tidspunkt. Det var således behov for å lære mer om smoltutvandringen i denne delen av Mandalselva. Våren 2013 ble det derfor gjennomført ytterligere studier av smoltutvandringen som hadde som formål (1) å validere modellene, (2) å studere utvandringsmønster fra ulike deler av vassdraget oppstrøms kraftverksinntaket og (3) å estimere hvor mange smolt som vandret ut.

Modellen som beskriver utvandningsforløpet ble validert ved å sammenligne modellens prediksjoner med daglige fangster i to smoltfeller, ett smolthjul ved Hesså og ett i minste vannstrekningen, samt med videoobservasjoner i luka i Mannflå dam. Modellen som forutsier smoltens valg av utvandningsrute ble validert ved å følge atferden til 100 radiomerkede smolt og bestemme vandningsruten til de av smoltene som passerte kraftverksinntaket (inn i kraftverket eller ned minste vannstrekningen). Før smoltutvandringen ble det fisket med elektrisk fiskebåt etter smolt i Mannflåvann og i nedre del av elva oppstrøms vannet. Fanget smolt ble pit-merket og satt ut igjen. Videre ble det pit-merket smolt fanget i begge fellene (ved Hesså og i minste vannstrekningen) som også ble satt ut igjen. Merket smolt ble gjenfanget i fella i minste vannstrekningen og tidspunktet for gjenfangst ble brukt til å vurdere om smolt fra ulike deler av elva (fra elvestrekningene oppstrøms Hesså, fra elvestrekningen fra Hesså til Mannflåvann og fra Mannflåvann) hadde forskjellig utvandningsmønster. Antall utvandrende smolt ble estimert ved merking-gjenfangst metodikk. Fanget og pit-merket fisk ble gjenutsatt oppstrøms fellene slik at fellenes fangsteffektivitet og dermed antall smolt som passerte fellene kunne estimeres. Utvandningsforløpet ble også beskrevet og antall utvandrende smolt talt basert på videoobservasjoner i luka på Mannflå dam. Her ble en høy andel av smolten som passerte dammen registrert. En samlet vurdering av resultatene fra de ulike studiene ble brukt som grunnlag for konklusjonene.

Våren 2013 viste seg å bli den kaldeste våren som ga den seneste utvandringen i de 10 årene det har blitt fanget smolt ved Hesså. Til tross for at observasjonene lå utenfor temperaturområdet som modellen er utviklet for, var det generelle bildet at modellprediksjonen for smoltutvandringen (ut fra vannføring og vanntemperaturdata) stemte godt med den observerte fangstfordelingen. Det var videre godt samsvar mellom utvandningsforløpet ved Hesså (smolthjul), over Mannflå dam (video i luka) og i minste vannstrekningen (smolthjul). Dessverre ble fangsten av laksesmolt i Mannflåvann overraskende lave (sammenlignet med forventninger fra tidligere studier) og gjenfangstene i fella i minste vannstrekningen for små til at de kunne brukes til å avgjøre om smolten herfra har et annet utvandningsmønster. Studiene gir imidlertid støtte for at

fellefangstene ved Hesså, og således også den utviklede modellen, representerer den faktiske utvandringen på en god måte.

Utvandringsmodellen (tidspunkt for vandring) og utvandringsrutemodellen (basert på fordeling av vann) samt effekten av strobelys tilsa at 63 % av smolten vandret ned minstevannløpet i 2013. Av de 70 radiomerkede smoltene med sikker bestemmelse av vandringsrute ut av Mannflåvann, vandret 79 % (55 smolt) ned minstevannstrekingen. Vandring rett vei var således en god del større enn det modellverktøyet predikerte, og det er sannsynlig at vannslipp basert på modellverktøyet gjorde at en høy andel av smolten vandrer utenom kraftverket. Smoltestimatet ved Hesså og videoregistreringen i luka i dammen ved Mannflå (se nedenfor) ga støtte for at også en tilsvarende høy andel av ikke-merket smolt vandret ned minstevannstrekingen. Hovedkonklusjonen er at valideringen i 2013 viste at manøvrering av kraftverket og vannslipp basert på det utviklede modellverktøyet gjør at en høy andel (trolig i størrelsesorden 70-80 %) av smolten vandrer utenom Laudal kraftverk. Med noe overlevelse også for smolt som vandrer gjennom turbinene kan opp mot 90 % av smolten produsert oppstrøms Dam Mannflå ha nådd sjøen uskadd.

Bestandsestimatet ved Hesså var overraskende lavt (3015 smolt) ut fra at produksjonskapasiteten oppstrøms Mannflåvann har blitt estimert til minimum 12 500 smolt. Bestandsestimatet vurderes som moderat sikkert med moderat store konfidensintervall. Dessverre var gjenfangstene fra merkeforsøket basert på fisk fanget i fella i minstevannstrekingen så små at bestandsestimatet ble svært usikkert (konfidensintervall: 2550-20 810). Videoregistreringene i Mannflå dam ga bare moderat færre laksesmolt enn estimert ved Hesså og fordelingen av denne smolten mellom kraftverket og minstevannløpet (80 %) skulle tilsi (1646 smolt i video mot estimert 2412 smolt). Både bestandsestimatene og fangsten i fella i minstevannløpet antyder at videotellingene kan ha underestimert smoltutvandringen noe. Vandring utenom luka (over damkrona) og utvandring i den mørke tiden av døgnet (når smolten kan være vanskeligere å se) er mulige forklaringer på dette. Selv om videotellingene representerer et minimumstall, gir tellingene i 2013 sammen med bestandsestimatet ved Hesså (som er det sikreste av merke-gjenfangstestimatene) et signal om at smoltproduksjonen i øvre del av Mandalselva er lavere enn forventet. Mulige forklaringer er at smoltproduksjonskapasiteten oppstrøms Mannflå faktisk er lavere enn antatt, at en ukjent faktor har gitt unormalt lav overlevelse fra egg til smolt i de siste år, eller at både merke-gjenfangstforsøket på Hesså og videotellingene underestimerer smoltutvandringen. Det var ikke mulig å vurdere disse forklaringene uten ytterligere undersøkelser. Dette arbeidet er startet, og vil bli rapportert senere.

En generell erfaring fra dette prosjektet er at vi ved å bruke et sett med ulike metoder, som fangst, merking og gjenfangst i smolthjul, videoovervåking og radioteleometri, som alle har metodiske styrker og svakheter, samlet sett får bedre og mer nyansert kunnskap om smoltutvandringen enn om bare en av metodene hadde vært benyttet.

Finn Økland, Eli Kvingedal, Ola Diserud & Ingebrigt Uglem, Norsk institutt for naturforskning (NINA), Postboks 5685 Sluppen, epost: finn.okland@nina.no
Torbjørn Forseth, Norsk institutt for naturforskning (NINA), Fakkelgården, 2624 Lillehammer, epost: torbjorn.forseth@nina.no
Anders Lamberg, Skandinavisk naturovervåking as, Ranheimsvegen 281, 7054 Ranheim, epost: anders@lakseinfo.com
Frode Kroglund, Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Region Sør, Jon Lilletuns vei 3, 4879 Grimstad.

Innhold

Sammendrag	3
Innhold	5
Forord	6
1 Innledning	7
2 Metoder	9
2.1 Radiotelemetry	9
2.1.1 Fangst og radiomerking av laksesmolt	9
2.1.2 Registrering av laksen etter merking	10
2.1.3 Resultatbehandling	11
2.2 Smolt i Mannflåvann	12
2.2.1 Fangst av fisk ved båt-elektrofiske	12
2.2.2 Behandling og PIT-merking av fisk	13
2.3 Smoltutvandring forbi Hesså og i minstevannstrekningen	13
2.3.1 Smolthjul og behandling av fangst	13
2.3.2 Estimerer av bestandsstørrelser	14
2.4 Videoregistering av smolt og vinterstøinger	15
2.5 Validering av statistiske modeller for utvandringstidspunkt og rutevalg	16
2.5.1 Modell for utvandringstidspunkt	16
2.5.2 Modell for rutevalg	17
3 Resultater og diskusjon	20
3.1 Smoltens vandringsrute - radiotelemetry	20
3.1.1 Radiomerket laksesmolt	20
3.1.2 Deteksjon av merket smolt på loggestasjonene	20
3.1.3 Vandring til og gjennom Mannflåvann	20
3.1.4 Vandring ut av Mannflåvann	20
3.1.5 Vandring nedenfor Mannflåvann	21
3.1.6 Diskusjon telemetry	22
3.2 Fangst av laksesmolt og aure i Mannflåvann	23
3.3 Smoltutvandring ved Hesså og i minstevannløpet	24
3.3.1 Fangster og utvandringsforløp	24
3.3.2 Bestandsestimater	28
3.4 Videoovervåking ved dam Mannflå	30
3.4.1 Resultater	30
3.4.2 Diskusjon videoovervåking	30
3.5 Validering av modellverktøy	31
4 Samlet diskusjon	34
5 Referanser	37

Forord

Etter at en laksebestand ble reetablert i Mandalsvassdraget har det vært et sentralt spørsmål om smolten fra de øvre delene følger det gamle elveløpet, eller blir trukket inn gjennom kraftverkstunnelen og turbinene ved Laudal Kraftverk under utvandring til sjøen. Undersøkelser av andelen laksesmolt som vandrer ut fra Mannflåvann gjennom kraftverksturbinen ble igangsatt i 2003. I årene etter ble det utviklet modeller som forutsier når smolten vandrer forbi inntaket og hvor mye som vandrer inn gjennom kraftverket ved ulike vannfordelinger. Disse har vært benyttet som grunnlag for manøvrering av kraftverket i smoltutvandringsperioden i de senere år. Strobelys ble også satt inn som et skremmetiltak ved inngangen til tunnelen, og ble vist å ha effekt. Det var et behov for å verifisere disse modellene og de gjennomførte tiltakene, og å lære mer om utvandring av smolt i vassdraget.

Agder Energi Vannkraft, ved Svein Haugland, ga vinteren 2013 Norsk institutt for naturforskning (NINA) i oppdrag å gjennomføre undersøkelser av smoltutvandringen oppstrøms Laudal Kraftverk våren 2013. Samtidig fikk Skandinavisk naturovervåkning as i oppdrag å kartlegge nedvandring av smolt og vinterstøinger og oppvandring av gytefisk gjennom luka i Mannflå dam. Resultatene fra de to oppdragene blir her rapportert samlet. Frode Kroglund, Norsk institutt for vannforskning (NIVA), var underleverandør hos NINA og var ansvarlig for drift av en av smoltfellene. Flere lokale krefter bidro også i prosjektet. Bjørgulv Foss driftet smoltfella i Hesså, Arne Finsdal og Gardar Nordstrøm driftet fella i minstevannløpet og sto for det meste av PIT-merkingen. Jim Güttrup (engasjert hos NIVA) bidro vesentlig til at fella i minstevannstrekningen ble operativ under utfordrede forhold. Vi vil takke alle disse for god hjelp og et godt samarbeid. John Gunnar Dokk (NINA), Olav Berge og Frode Næstad (begge Høgskolen i Hedmark) gjennomførte fiske med elfiskebåt etter presmolt i Mannflåvann.

Jeg takker Agder Energi Vannkraft for oppdraget og alle prosjektdeltagerne og samarbeidspartnerne for flott innsats.

Lillehammer, august 2014

Torbjørn Forseth
prosjektleder

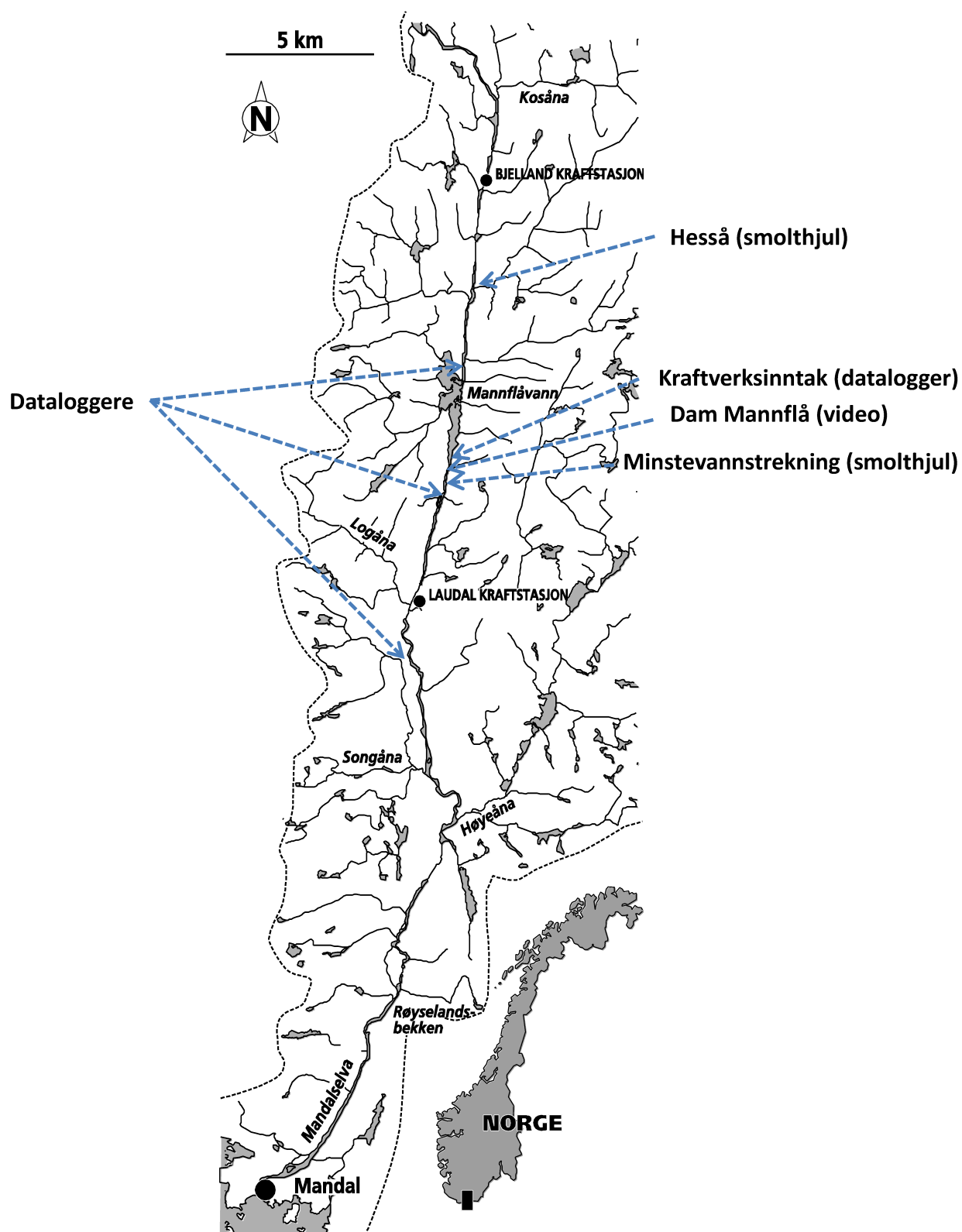
1 Innledning

Laksestammen i Mandalselva (**figur 1**) gikk tapt på grunn av forsuring rundt 1970 (Hesthagen 2010). Våren 1997 ble det startet kalking i vassdraget, og i løpet av 15 år er det etablert en ny laksestamme av en størrelse som ser ut til å nærme seg vassdragets bærekapasitet (Hesthagen 2010). Fangstene nådde en topp i 2006 med en rapportert fangst på nesten 12 tonn laks. I 2011 ble det rapportert en fangst på ca 8 tonn laks, under betydelig strengere fiskereguleringer. Dagens fangstutbytte ligger relativt nær det som ble rapportert på slutten av 1800-tallet og starten av 1900-tallet (10-15 tonn; Hesthagen 2010). Vellykket produksjon av laks og muligheter for fiske øverst i Mandalsvassdraget forutsetter imidlertid at smolt fra øvre deler av elva kan vandre forbi Laudal kraftverk uskadd ut i sjøen.

Våren 2003 startet en serie av undersøkelser av smoltens vandringer forbi Laudal kraftverk, ved at laksesmolt ble radiomerket og satt ut i elva like ovenfor Mannflåvann. Utvandrende laksesmolt har to alternative vandringsruter nederst i vannet. De kan enten vandre gjennom kraftverksturbinen, eller ned det gamle elveløpet, dvs. ned minstevannløpet. Vannføringen i minstevannløpet og gjennom kraftverket styres i smoltutvandringsperioden etter to ulike prediksjonsmodeller utviklet de siste 10 årene. Den ene modellen forutsier når smolten er ved tunnelinntaket og indikerer dermed når tiltak må iverksettes, siden tilnærmet all smolt vandrer inn gjennom turbinene med normal kjøring (Uglem mfl. 2005). Den andre modellen predikerer andel smolt som forventes å vandre gjennom kraftverket ved ulik fordeling av vann mellom turbinen og i minstevannløpet (Uglem mfl. 2005; Kvingedal mfl. 2011, Fjeldstad mfl. 2012). Disse modellene, sammen med observasjoner av fangst av smolt i ei smoltfelle ved Hesså (oppstrøms Mannflåvann), har vært grunnlag for manøvreringstiltak og vannslipp forbi Laudal Kraftverk i perioden 2009-2012. I henhold til modellverktøyene har dette gjort at en høy andel av smolten har vandret utenom kraftverket i disse årene (Kvingedal mfl. 2011). Det er imidlertid et behov for å verifisere modellverktøyet for å se om de tiltakene som har vært gjennomført (vannslipp og strobelys) har så god effekt som modellene tilsier. I 2013 ble det derfor gjennomført en validering av modellverktøyet.

Overvåkning av smoltutvandringen gjennom luka i Mannflå dam (starten av minstevannstrekningen forbi Laudal Kraftverk) ved hjelp av video i 2012 (Anders Lamberg, upubliserte data) viste et mønster i utvandringen over sesongen som ikke umiddelbart samsvarte med modellverktøyet. Videoobservasjonene dannet også grunnlag for spørsmål om hvor stor smoltproduksjonen oppstrøms dammen var, når på døgnet hovedmengden av smolten vandret (tiltakene er fokusert mot nettene) og om smolt fra ulike deler av vassdraget oppstrøms dammen vandret til ulike tidspunkt. Det var således behov for å lære mer om smoltutvandringen i denne delen av Mandalselva og det ble derfor i 2013 gjennomført flere undersøkelser:

- 1) Validering av det utviklede modellverktøyet og tiltakene (vannslipp og strobelys) som skal sikre at en høy andel av smolten vandrer ned minstevannstrekningen og utenom kraftverket. Dette ble gjennomført ved en telemetristudie supplert med observasjoner fra videoregistreringene i luka og fellefangst (ved Hesså og i minstevannløpet).
- 2) Studier av utvandring av smolt fra Mannflåvann for å undersøke om disse har et annet utvandringsforløp enn smolt fra oppstrøms elvestrekninger. Studiene ble gjennomført ved å fange smolt i innsjøens strandsone ved hjelp av elfiskebåt, merking av disse og gjenfangster i felle i minstevannstrekningen (se delstudie 3).
- 3) Estimerer av mengden utvandrende smolt forbi Hesså (3 km oppstrøms Mannflåvann) og gjennom minstevannstrekningen forbi Laudal Kraftverk. Estimatenes var basert på fangst, merking og gjenfangst i to smoltfeller – ved Hesså og i minstevannstrekningen. I fellene ble også fangstforedlingen i løpet av utvandringsperioden registrert.
- 4) Videoregistreringer av antall og fordeling (innen døgnet og i løpet av sesongen) av utvandrende smolt gjennom luka i Mannflå dam. Registreringene supplerer og sammenlignes med de øvrige estimatene og observasjonene.



Figur 1. Lakseførende del av Mandalselva med plassering av dataloggere, videoutstyr og smolthjul benyttet i undersøkelsen våren 2013.

2 Metoder

2.1 Radiotelemetri

2.1.1 Fangst og radiomerking av laksesmolt

Laksesmolt ble fanget ved bruk av et smolthjul i Hesså i perioden fra 23. mai til 6. juni 2013. Til sammen ble 100 fisk merket med radiosendere. Den merkede smolten hadde en median lengde på 14,9 cm (variasjonsbredde: 11,2 til 17,7 cm). Fra fangst til merking og etter merking ble fisken oppbevart i sylindriske bur i elva, 1 m dype med diameter på 50 cm. Burene fløt i overflaten og ble plassert slik at vannstrømmen gjennom burene var om lag 0,5 kroppslengder pr sekund. All smolten ble merket samme dag som den ble fanget og sto mellom 5 og 12 timer før merking, med unntak av 7 smolt som ble fanget dagen før og sto i burene fra 29 til 36 timer. Etter merking ble fisken satt tilbake i burene. All fisk merket samme dag ble sluppet samtidig. De 80 første fiskene ble satt tilbake på fangstplassen ved Hesså mellom kl 20:30 og 21:30 mens de 20 siste ble satt ut i Mannflåvann 1 km ovenfor inntaket til Laudal kraftverk mellom kl 11:30 og 13:00.

Kroppslengde og smoltstatus ble registrert for hver enkelt fisk (med unntak av smoltstatus for to smolt). Smoltstatus ble klassifisert etter en skala fra 1 til 3 (senere kalt *smoltindeks*), der 1 = normal parr med kraftige parrmerker, 1,5 = parr med svakere parrmerker og svakt sølvfargede sider, 2 = svake men synlig parrmerker, tydelig sølvfargete sider, 2,5 = meget svake parrmerker, sølvblanke sider, kraftigst pigmentering langs kanten av bryst-, rygg- og halefinne, og 3 = ikke parrmerker, helt sølvfargede sider, pigmentering kun langs kanten av bryst-, rygg- og halefinne. Parr med smoltindeks under 2 ble ikke merket.

Tre typer sylindriske radiosendere ble benyttet. Alle modellene var produsert av Advanced Telemetry Systems, ATS, USA). Modell F1415, var 12 mm lang, 6 mm i diameter, pulsbredden var 20 ms, pulsraten 40 ppm og vekten 0,8 g i luft. Garantert levetid var 7 dager. Modell F1425 var 12 mm lang, 7 mm i diameter, pulsbredden var 20 ms, pulsraten 35 ppm og vekten 1,0 g i luft. Garantert levetid var 12 dager. Modell F1435 var 14 mm lang, 7 mm i diameter, pulsbredden var 15 ms, pulsraten 30 ppm og vekten 1,0 g i luft. Garantert levetid var 24 dager. Signalene var i frekvensområdet 142.024-142.364 MHz. Estimert batteriliv er dobbelt så langt som den garanterte. Individuelle fisk kunne gjenkjennes ved at senderne hadde en unik kombinasjon av frekvens og pulsrate.

Miniatyr radiosendere er ikke så stabile på frekvens eller pulsrate som større radiosendere. Alle senderne ble derfor startet og kjølt ned til ca. 8 grader før frekvens og pulsrate ble målt. Med unntak av to frekvenser kunne alle modellene registreres på samme frekvens, det vil si tre sendere på hver frekvens (men med ulik pulsrate). Dette gjorde at vi kunne registrere alle senderne på 35 frekvenser.

Før operasjonen ble fisken lagt i bedøvelse (0,5 ml 2-phenoxy-ethanol per liter vann) i ca. 3 minutter inntil gjelleventilasjonen var langsam og urytmisk. Smolten ble så lagt på et operasjonsbord med hodet dykket i en sirkulerende løsning av vann og bedøvelse med 30 % av styrken til innsovningsbadet. Radiosenderen ble lagt inn i bukhulen på fisken gjennom et 8 - 10 mm langt snitt i fremkant av bukfinnene. Antennen ble ført gjennom bukveggen med en skarp kanyle, slik at antennen ble hengende langs siden på utsiden av fisken. Snittet ble lukket med to separate sting med permanent monofilament sutur. Hele operasjonen tok ca. 2 minutter. Alt kirurgisk utstyr og radiosenderne ble desinfisert i en 70 % løsning av alkohol. Etter merking ble smolten overført til et kar med rent elvevann, luft i munnhule og gjeller ble evakuert og fisken ventilert inntil normal gjelleaktivitet kunne registreres. Ingen dødelighet ble observert under eller umiddelbart etter operasjonene.

2.1.2 Registrering av laksen etter merking

Fire automatiske dataloggestasjoner (SRX_400, Lotek Wireless Inc. Canada) registrerte når den radiomerkede smolten passerte innen deteksjonsområdet. Den øverste loggeren ble satt opp ved Mannflå, ca. 1 km overfor innløpet til Mannflåvann. En dataloggestasjon ble installert ved inntaket til Laudal kraftverk, en logger i minstevannløpet og den siste ved Heddeland lengre ned i elva.

Mannflå

Loggeren ved Mannflå skulle registrere når den radiomerkede smolten passerte og ankom Mannflåvann 2,9 km nedenfor utsettingsplassen ved Hesså. Det var i perioder varierende og tildel sterk støy på flere av de benyttede frekvensene. Loggeren ble innstilt for å kunne filtrere og bare lagre signalene fra radiosenderne. På grunn av liten batterikapasitet er radiosignalene fra miniatyr radiosendere svake. Det betyr at følsomheten på loggeren må være høy. Støyen måtte derfor skilles fra signalene fra radiosenderne ved å benytte signalidentifisering. Loggeren settes opp til å identifisere signalene fra radiosenderne ved å beregne avstand mellom signalene, bredden på signalene og signalstyrken på et gitt antall signaler. Toleransen i avvik settes slik at støyen ikke registreres av loggeren. Dette kan medføre at noen fisk passerte uten å ha blitt registrert, siden loggeren registrerte både støy og signaler og nivået på støyskjermingen var høyt.

Loggerne ble satt opp til å sammenligne fem intervaller mellom radiosignaler (trenger seks signaler fra en radiosender for å få en registrering). Toleransen i avvik ble satt til 10 ms mens minste aksepterte signalstyrke ble satt til 42 dBm. Siden noen sendere hadde 15 ms signalbredde, måtte deteksjonsterskelen for minste akseptable signalbredde settes ned til 10 ms mot normalt 15 – 20 ms. Dette fører til dårligere støyskjerming i systemet. Årsaken til at 10 ms ble benyttet er at signalbredden forkortes ettersom signalene vandrer bort fra senderen. Det medfører at en sender med signalbredde 15 ms vil ha kortere rekkevidde enn en sender med samme signalstyrke og 20 ms signalbredde når samme terskelverdi for signalbredde benyttes. Samme signalbredde ble benyttet på alle loggestasjonene.

Loggerne ble videre satt opp med en 9 element Yagi-antenne og 3 m koaksial (RG58) overføringskabel. Under normale forhold gir dette et deteksjonsområde på opp mot 1000 m av elva, men det vil variere, spesielt med variasjon i svømmedyp og støyforhold på frekvensene. Mellom 30 og 33 frekvenser ble lagt inn i loggetabellen og lyttetiden satt til 2,4 sekunder på hver frekvens. Uten fisk eller støy på frekvensene tar det da 1 min 18 sekunder å lytte gjennom frekvenstabellen. Men, hvis loggeren registrerer signaler på frekvensen (signaler fra sendere men også noen typer støy) vil den ligge på frekvensen og prøve å identifisere en radiosender i opptil 15 sekunder. Denne tidsperioden ble valgt siden sendere med 30 pulser pr minutt trenger 12 sekunder for å produsere de 6 signalene som var nødvendig til signalidentifisering.

Inntak Laudal kraftverk

Ved inntaket til Laudal kraftverk ble den radiomerkede smolten registrert av 4 ulike antenner. Årsaken var at vi i tillegg til å registrere at smolten ankom området også ville registrere bevegelsene i området. Det primære var å registrere om smolten vandret inn i tunnellinntaket eller fortsatte forbi inntaket og vandret ned det gamle elveløpet. Støybildet her er betydelig bedre enn ved Mannflå. Loggeren ble satt opp til å gå til neste frekvens umiddelbart etter en deteksjon som her tok 8 til 10 sekunder.

Som for loggeren i Mannflå ble lyttetiden på en frekvens satt til 2,4 sekunder og antall frekvenser i loggetabellen var mellom 30 og 33. Loggeren kan kun lytte på en frekvens og en antenne samtidig. For å sørge for at tiden mellom hver gang en frekvens ble aktivert ikke ble for lang benyttet vi et system der de enkelte antennene kun ble aktivert når det var en radiosender innenfor deteksjonsområdet til alle antennene. Loggeren lyttet først på en frekvens på alle antenner samtidig. Kun når signaler fra en sender ble registrert startet systemet å lytte til de enkelte antennene og lagre signalstyrken for disse separat.

Et sterkt signal på en antenne vil normalt bety at senderen er nær antennen. Men, siden signalstyrken også påvirkes av svømmedyp blir beregningene mer nøyaktige når signalstyrken for flere antenner sammenlignes. Antennene ble derfor satt opp med overlappende deteksjonsområder slik at vi i det meste av deteksjonsområdet registrerte fisken på minst to antenner samtidig. Hvilket område antennen registrerte signaler fra ble justert ved valg av følsomheten og egenskapene til antennene (fra 9-element til 4-element Yagi-antenner), lengden på overføringsledningen (fra 10 m til 200 m), følsomheten for hver antenne ble justert i loggeprogrammet.

Signalforsterkere ble satt opp på overføringsledningen til to av antennene. Radiomerket smolt som kom ned mot tunnellinntaket ville normalt bli registrert på følgende antenner. Første registrering på antenne nummer 1 (9 element Yagi-antenne, signalforsterker og 100 m overføringsledning) plassert 100 m ovenfor inntaket pekende oppover i Mannflåvann. Når senderen kom nærmere enn ca. 60 m fra inntaket ble den fortsatt registrert av antenne nummer 1 men også av antenne nummer to med økende signalstyrke når den nærmet seg tunnellinntaket. Denne antennen var plassert rett over inntaksåpningen (4 – element Yagi-antenne, 15 m overføringsledning). Hvis smolten fortsatte mot inntaket ble den sterkere på antenne nummer 2 og forsvant på antenne nummer 1. Smolt som gikk inn tunnelen avsluttet med sterke signaler på antenne 2 før de forsvant.

Hvis smolten fortsatte forbi inntaket ble den også registrert på antenne nummer 3 (6 – element Yagi-antenne, 30 m overføringskabel) plassert 25 m nedenfor inntaket pekende ned mot utløpet av vannet. Fortsatte smolten å bevege seg nedover mot utløpet ble signalene sterkere på antenne nummer 3 før de samtidig startet å bli registrert av antenne nummer 4 (4 element Yagi-antenne, 200 overføringskabel med to signalforsterkere). Antenne nummer 4 dekket området nesten ned til utløpet fra Mannflåvann. Fisk som vandret forbi inntaket ble derfor registrert på antenne nummer 3 og siste registrering ble på antenne nummer 4. Sannsynligheten for feiltolkning av vandringsruten er svært liten med dette oppsettet.

Minstevannsløp

Loggeren i minstevannløpet ble plassert 2,7 km nedenfor inntaket til Laudal kraftverk. Loggeren skulle registrere all smolt som vandret forbi og verifisere at tolkningen av bevegelsene og vandringsruten vi registrerte ved tunnellinntaket var korrekt. Loggeren ble koblet til to antenner (9-element Yagi) ved bruk av en splitter. Den ene antennen pekte oppover elva mens den andre pekte nedover elva. Under normale forhold dekket loggeren en 1500 m elvestrekning. Ved bruk av splitter oppfatter loggeren begge antennene som én antenne og vi hadde ikke separat registrering. Dette gav en vesentlig kortere tidsperiode mellom hver gang vi lyttet til en frekvens og sannsynligheten for at merket fisk kunne passere uten å bli registrert var svært liten. Støyforholdene her var som ved inntaket til kraftverket og samme støyskjerming ble benyttet. Lyttetiden på en frekvens var 2,4 sekunder og antall frekvenser mellom 30 til 33.

Heddeland

Den siste loggeren ble plassert ved Heddeland 11,3 km nedenfor loggeren i minstevannløpet og 8,2 km nedenfor utløpet fra Laudal kraftverk. Vi antar, men det er ikke dokumentert, at skadet eller død merket smolt ikke driver så langt fra utløpet til stasjonen og at registrering her er en indikasjon på at smolten har overlevet passasjen gjennom turbinen. Støyforholdene var dårlige (som ved Mannflå) og samme støyskjerming ble benyttet. Det gav en deteksjonstid på opp til 12 sekunder. Én 6-element Yagi-antenne og 3 m overføringskabel gav et deteksjonsområde på ca 500 m.

2.1.3 Resultatbehandling

For smolt satt ut ved Hesså ble tiden for vandring gjennom Mannflåvann beregnet fra siste registrering på loggeren ved Mannflå til første registrering på loggeren ved inntaket til Laudal kraftverk. Smolten som ble satt ut direkte i Mannflåvann ble ikke inkludert og ingen av disse ble registrert av loggeren ved Mannflå. Ved inntaket til Laudal kraftverk ble ankomst, første registrering og oppholdstid (første til siste registrering) beregnet. Videre ble vandringsruten hos

fisken bestemt ved å analysere hvilken kombinasjon av antenner og signalstyrken senderen ble registrert på. Tidspunkt for rutevalg ble satt til siste registrerte signal på loggeren. For analyse av vandringsrute mot vannføring og temperatur ble avgangstidspunkt for smolten sammenlignet med forholdene registrert nærmeste time for vannføring og nærmeste 4 timer for temperatur.

Loggeren ved inntaket hadde en driftsstans på 11 timer. Smolt som passerte i denne perioden ble ikke benyttet i analyse av forhold knyttet til fysiske parametere siden avgangstidspunkt ikke kunne bestemmes nøyaktig. Vandringsruten kunne bestemmes siden alle ble registrert på loggeren i minstevannløpet. For smolt som ankom inntaket og passerte men siden snudde og vandret opp i vannet eller ble stående ved eller nær inntaket benyttet vi ankomsttiden men ikke avgangstiden til inntaket og passeringen ble registrert og klassifisert som ned minstevannløpet. Årsaken til dette er at slik avvikende atferd kan være en indikasjon på predasjon. Dette gjaldt bare fire merket smolt. De andre loggerne hadde ingen driftsstans.

Vandringshastigheter fra inntaket til loggeren i minstevannløpet og til Heddeland ble beregnet på samme måte, fra siste registrering i minstevannløpet til første registrering på Heddeland. Andelen merket smolt som passerte en logger uten å bli detektert kunne beregnes for alle loggerne, bortsett fra loggeren nederst ved Heddeland. Dette ble gjort ved å sammenligne registrert smolt på loggeren med data fra stasjonene lengre nede i vassdraget.

Vanntemperatur ble registrert hver 4. time ved Hesså mens vannføring og fordeling av vann gjennom stasjonen og ned minstevannløpet ble beregnet hver time. Vannføringen i minstevannløpet er avhengig av vannivå i Mannflåvann, og det er brukt modeller for beregning. Nøyaktigheten i vannføring, spesielt i perioder med endringer i vannføringen i minstevannløpet er ikke kjent.

2.2 Smolt i Mannflåvann

For å teste om tidspunktet for utvandring hos smolt som vokser opp i Mannflåvann avviker fra smolt som vandrer ned i vannet fra øvre deler av Mandalselva, ble det fanget og PIT-merket presmolt fra Mannflåvann så snart det ble tilstrekkelig isfritt. Opprinnelig var det planlagt at dette skulle skje i april, men på grunn av den sene våren var det ikke mulig før andre uke i mai. For å fange presmolt ble det benyttet båt-elektrofiske.

2.2.1 Fangst av fisk ved båt-elektrofiske

Foran baugen på elfiskebåten er det anbragt to anoder med stålvaier festet til justerbare svingarmer. Under det elektriske fisket fungerer båtenes skrog som katode. Når strømmen slås på oppstår et elektrisk felt rundt hver anode som til dels overlapper avhengig av vinklingen på svingarmene. Strømmen sendes ut via en 7,5 kW generator drevet (Kohler Marin Generator) pulsator. Strømfeltet har en maksimal horisontal og vertikal rekkevidde på henholdsvis 5 og 3 meter. Det er mulig å variere mellom pulserende likestrøm (DC) og vekselstrøm (AC). Av dyrevelferdsmessige grunner benytter vi alltid pulserende likestrøm. Spennning (0 -1000 volt) og pulsfrekvens (7,5-120 hertz) kan justeres etter vannets ledningsevne og etter hvilke fiskegrupper som er hovedfokus for undersøkelsene. Dette sikrer at den akutte dødeligheten til fisk fanget under båtelfiske er meget lav (< 1 %). Utgangsstrømmen etter riktig justering i forhold til vannkvaliteten ligger i intervallet 1,5 - 2,5 ampere (avleses og justeres kontinuerlig av båtfører). Det faktiske antallet sekunder som elfiskeaggregatet (model Smith-Root Electrofisher 7.5 GPP) er i drift blir logget.

Fiskene som svimeslås under elektrofisket blir håvet opp av to personer som står bak sikringsrekkverk i baugen på båten. Det benyttes langskaftete håver med maskevidde på 15 mm. Fanget fisk ble overført til en stor oppbevaringstank med kontinuerlig vanngjennomstrømming.

Innledningsvis ble hele vannets kantsone fisket over. Fangsten av laksunger var lav de fleste steder unntatt i en steinfylling langs veien på vestsiden av Mannflåvann. Det ble derfor satt inn ekstra innsats i dette området etter første gangs overfiske, og ca. 70 % av all laks ble fanget her. Totalt ble det fanget 239 laksunger, hvorav 16 laksunger i Manndalselva mellom Hesså og Mannflåvann. Det ble observert 3 vinterstøinger.

2.2.2 Behandling og PIT-merking av fisk

Presmolt over 11 cm ble merket med PIT-merker og gitt en smoltindeks (SI) ut fra morfologiske trekk (se **kapittel 2.1.1**). Til merking ble det benyttet halv duplex PIT-merker som var 23 mm lange, 3,65 mm i diameter og veier 0,6 g i luft (ISO 11784/11785, Oregon RFID). Hvert merke har en unik id. Merketyperen er vanlig benyttet i smoltforsøk. Nedre størrelse på smolt som kan merkes er 10 cm. Merkene ble plassert i bukhulen på fisken. Et lite snitt ble laget med skalpell og merket ble ført forsiktig inn og bakover i bukhulen. Fisken ble bedøvet i bedøvelsesbad (0,5 ml 2-phenoxy-ethanol per liter vann) før inngrepet. Fisken ble deretter lengdemålt (gaffellengde, fra snute til halekløft). Etter merking og måling ble fisken overført til oppbevaringstanken igjen for oppvåkning. Når fisken hadde kommet seg etter bedøvelsen, ble den sluppet ut et stykke fra fangstplassen, men innenfor samme område av vannet. Laksunger under 11 cm ble også lengdemålt, i tillegg til et utvalg av ørreten som ble fanget. Ved gjenfangst ble merke-id registrert med bruk av en Agrident håndleser.

2.3 Smoltutvandring forbi Hesså og i minstevannstrekningen

2.3.1 Smolthjul og behandling av fangst

På grunn av sen snøsmelting, ble smoltfella på Hesså først satt ut 2. mai og den ble driftet til og med 17. juni. Fella var imidlertid ute av drift 11-12. mai og dels fra kvelden 16. mai til midt på dagen 22. mai på grunn av flom. Det er lite sannsynlig ut fra miljøforholdene at det gikk særlig med smolt 11.-12. mai, mens det kan ha gått noe smolt mot slutten av den andre perioden fella ikke ble driftet. Fella var plassert på samme sted som i tidligere smoltundersøkelser (Hvidsten mfl. 2002).

Smoltfella i minstevannløpet ble montert 2. mai. og satt ut 14. mai like nedstrøms dam Mannflå. Lav vannføring førte til ujevn drift av fella og den ble derfor flyttet til et område med sterkere strøm lengre ned i minstevannløpet 21. mai. Her økte fangstene, men dødeligheten var høy (på grunn av for høy rotasjonshastighet). På grunn av den høye dødeligheten ble felleplasseringen justert 2. juni. Etter dette ble fangstene opprettholdt, mens dødeligheten ble lav. Andelen smolt som ble fanget var trolig svært avhengig av plasseringen av fella og fangstene fra de tre periodene er derfor ikke direkte sammenliknbare.

Laksesmolt som skulle PIT-merkes ble overført fra oppbevaringsburene (se **kapittel 2.1.1**) til merkekar. Det meste av fangsten ble merket samme dag som den ble tatt ut av fella. Maksimal oppbevaringstid før merking var 3 døgn.

På Hesså ble lengden (fra snute til halekløft) og smoltstatus (se **kapittel 2.1.1**) registrert på all fisk som ble merket. Bare fisk over 11 cm og med en smoltindeks (SI) på 2 eller høyere ble merket (tre unntak der SI var 1,5). Merkingen fulgte samme prosedyre som ved merking av presmolt fanget i Mannflåvann (**kapittel 2.2.2**). Etter merking ble fisken lagt i en bøtte med friskt vann for oppvåkning og deretter over i en transporttank. Fisken ble transportert opp til utsettingsplassen ca. 1 km ovenfor Hesså, der den ble satt i oppbevaringsbur og sluppet fri etter en restitusjonstid på 4-8 timer.

Fangst og merking av smolt på minstevannstrekningen fulgte en liknende prosedyre som på Hesså, men uten vurdering av smoltindeks. Smolten ble her sluppet ut ca. 800 m ovenfor smolthjulet, rett nedstrøms Dam Mannflå.

På begge stedene ble merkenumrene til eventuelt gjenfanget fisk registrert før de ble sluppet fri.

2.3.2 Estimer av bestandsstørrelser

Med individuell merking av smolten kan fangstsannsynligheten, $\hat{p}$, for grupper av merket smolt beregnes. Dersom fangstsannsynligheten er lik for ulike fangstperioder kan en benytte Petersens metode til å estimere smoltproduksjonen (Ricker 1975; Dempson & Stansbury 1991).

Estimert antall smolt, $\hat{N}_C$, er gitt ved:

$$\hat{N}_C = \frac{(M + 1)(C + 1)}{(R + 1)} \quad (1)$$

hvor M er antall merket smolt, C er total fangst og R er antall smolt som fanges igjen. Denne estimatoren er uten bias når antall fisk er få og tilnærmet lik $\hat{p} \cdot C$, der p er fangstrate, ved store antall smolt.

Variasjonen i estimert antall smolt, $Var(\hat{N}_C)$, er da gitt ved:

$$Var(\hat{N}_C) = \frac{(M + 1)(C + 1)(M - R)(C - R)}{(R + 1)^2(R + 2)} \quad (2)$$

Når fangstsannsynligheten varierer i tid eller rom, finnes det flere metoder for å estimere bestanden fra merke-gjenfangst eksperimenter (Schwarz & Seber 1999). Darroch (1961) var den første til å vurdere stratifisering i tid eller rom for å fjerne effektene av heterogenitet i fangstsannsynlighet, men hans tilnærming hadde visse begrensninger. Schwarz & Taylor (1998) presenterer en undersøkelse over bruken av stratifiserte Petersen estimatorer innen fiskeriforvaltning, og diskuterer mange av de praktiske problemene som kan oppstå med reelle data. Hvis bevegelsesmønsteret kan modelleres kan en også få mer effisiente estimater, dvs. estimater med mindre bias og varians. For eksempel, så brukte Dempson og Stansbury (1991) partiell telling og et to-utvalgs stratifisert design for å estimere smoltbestanden under utvandring. Schwarz og Dempson (1994) videreutviklet denne tilnærmingen ved å modellere de faktiske vandringstidene mellom slipp av merkede smolt og gjenfangstene, og unngikk dermed mange av problemene som kan oppstå ved bruk av ordinære stratifiserte Petersen estimatorer. Ved å slå sammen data over en gitt periode (1 dagers intervall) må det for eksempel antas at det er konstante forhold gjennom hele denne perioden. Schwarz og Dempsons (1994) modell tillater estimering av daglige fangstsannsynligheter.

Det å kunne estimere daglige fangstsannsynligheter stiller store krav til datasett mht. antall merkede og gjenfangede individer. For Mandalselva vil ikke dette være mulig, det vil være for mange "0'er" (ingen gjenfangster en gitt dag) i datasettet. Derfor må vi ta ett skritt tilbake og slå sammen dager til lenger perioder hvor vi kan anta relativt like fangstforhold og dermed være i stand til å estimere fangstsannsynligheten, samtidig som vi ikke ønsker å måtte stratifisere med faste intervall som Dempson og Stansbury (1991) forutsetter. Bjorkstedt (2005, 2010) argumenterte med at små vassdrag, eller små og sårbare bestander, begrenser antallet smolt som kan merkes og dermed muligheten for større merke-gjenfangst eksperimenter. Merkede fisk kan også utsette den videre migrasjonen, noe som vil spre gjenfangstene utover i tid og dermed øke vanskelighetene forårsaket av et lavt antall merket fisk. I tillegg vil flere faktorer kunne få sannsynligheten for at et individ som passerer fella skal fanges til å variere temporært, for eksempel endringer i vannføring. Hvis slike forhold og variasjon ikke tas hensyn til i analysen, vil en kunne få alvorlige skjevheter i bestandsestimatene. Bjorkstedt (2005, 2010) utviklet derfor algoritmer for temporært stratifiserte merke-gjenfangst data (modifisert fra Darroch 1961) som kan benyttes under slike forhold. Disse algoritmene forsøker å kompensere for små utvalgsstørrelser ved å anvende enkle regler for å aggregere dataene på en slik måte at

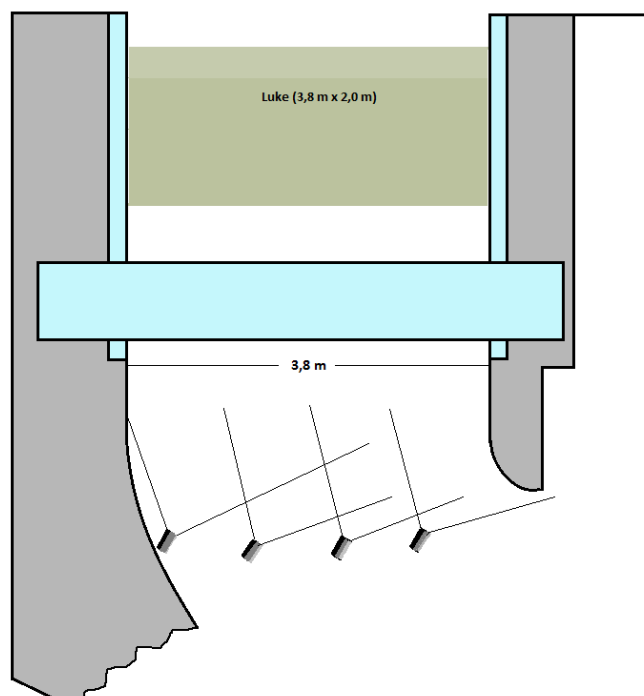
de tillater "gyldig" estimering av fangst og migrasjonssannsynligheter, samtidig som så mye som mulig av informasjonen om temporær variabilitet beholdes. Aggregeringen foregår ved at dager hvor en ikke har grunn for å tro at det er forskjeller i fangstsannsynlighet eller migrasjonssannsynlighet slås sammen, inntil en har nok gjenfangster til å kunne få gode nok estimater. Dagene som skal slås sammen kan enten spesifiseres manuelt (ut fra kunnskap om fangstforhold) eller optimeres ved hjelp av R-programmet DARR 2.0.2 (Bjorkstedt 2010).

Stratifiserte merke-gjenfangst eksperimenter, hvor en enten har individuell merking eller merking slik at gjenfangede individer kan tilordnes slipptidspunkt ("dag-merker"), tillater dermed bruken av statistiske estimatorene som eksplisitt tilpasser variasjonen i fangstsannsynligheter og fordelingen av merkede individer mellom sampling perioder.

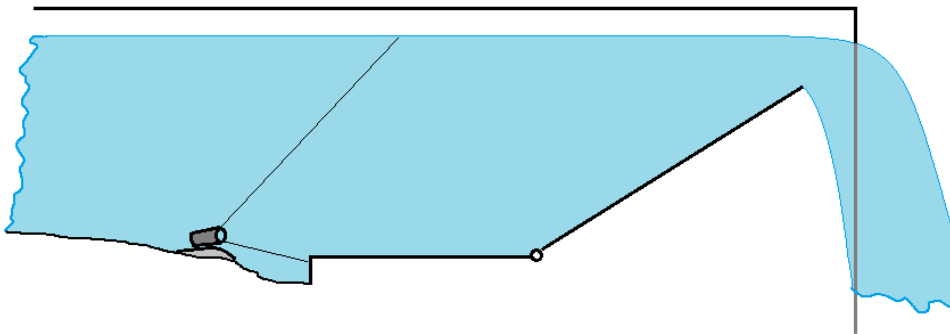
2.4 Videoregistrering av smolt og vinterstøinger

Utvandring av smolt og vinterstøing over dam Mannflåvann foregår gjennom en reguleringsluke som er 3,8 m bred (**figur 2 og 4**). Vanddybden over luken varierer med vannføringen men er normalt fra 1,8 til 2,0 m innerst på luka og fra 0,5 til 0,8 m på lukekanten der fisken slipper seg videre i elven nedenfor. Fire undervannskamera ble plassert på bunnen ca. 4,5 m fra vannfallet på lukekanten (**figur 3**). Det totale tverrsnittet som ble overvåket var ca. 9 til 11 m² avhengig av vannføring. De fire kamerasektorene overlappet hverandre slik at den samme fisken ofte kunne registreres i flere kamera samtidig. Tverrsnittet ble belyst med fire undervannslys plassert ett ved hvert kamera. I tillegg var det montert en 400 W halogenlampe over vann.

Hvert kamera ble koblet til en videoopptaker der hvert signal ble lagret i full oppløsning (720 x 576). Det ble gjort opptak med 3,1 bilder pr sekund gjennom hele sesongen. Videoopptakene ble analysert ved manuell avspilling. Bilderaten under avspilling tilsvarer 20 ganger høyere hastighet en ved «live» visning.



Figur 2. Reguleringsluken i dam Mannflåvann med fire undervannskamera.



Figur 3. Lengdesnitt av reguleringsluken i dam Mannflåvann.



Figur 4. Reguleringsluke i dam Mannflåvann regulert helt opp og stengt.

2.5 Validering av statistiske modeller for utvandringstidspunkt og rutevalg

2.5.1 Modell for utvandringstidspunkt

Basert på fangstdata fra smolthjulet på Hesså i perioden 2004-2008, ble det tilpasset en prediksjonsmodell for daglig utvandring av smolt (S) med miljøparametere som forklaringsvariabler (Fjeldstad mfl. 2012). Denne er senere revidert:

$$\ln S = \ln \bar{N}_S + \beta_1 T_{\text{april}} + \beta_2 T + \beta_3 Q + \beta_4 Q_{\text{diff}} + \beta_5 \ln Q + \beta_6 \ln T + \beta_7 D + C \quad (3)$$

I modellen er $\bar{N}_S$ antall smolt som ennå ikke er vandret ut delt på antall dager igjen av migrasjonsperioden, T_{april} er gjennomsnittlig vanntemperatur fra 11. til 20. april, T er gjennomsnittlig vanntemperatur den bestemte dagen, T_{diff} er endring i gjennomsnittlig temperatur fra dagen før, Q er gjennomsnittlig vannføring og Q_{diff} er endring i gjennomsnittlig vannføring fra dagen før, D er antall dager siden 1. april og C er en konstant. Modellkoeffisientene er gitt i **tabell 1**.

Tabell 1. Modellkoeffisienter fra statistisk modell tilpasset utvandningsdata i perioden 2004 – 2008.

β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7	C
0,107	-0,773	-0,029	0,03	1,97	7,75	-0,021	-14,65

For å validere modellen, ble forventet utvandring gitt av modellen sammenliknet med smoltfangstene på Hesså i 2013. Temperaturene under smoltutvandringen er fra NINA sin logger på Hesså, mens vannføringsdataene er hentet fra kalkdoseringsanlegget på Bjelland. Vanntemperaturen i april er også hentet fra kalkdoseringsanlegget.

2.5.2 Modell for rutevalg

Bakgrunn

I 2003 og 2004 ble det radiomerket smolt for å se hvor stor andel som vandret via turbininntaket til Laudal kraftverk og hvorvidt vannføringsforholdene eller andre miljøfaktorer virket inn på rutevalget (Uglem mfl. 2005). Det første året ble kraftverket kjørt med tilnærmet maksimal driftsvannføring, mens kraftverket i testperioder i 2004 ble kjørt med redusert drift og økt vannføring i minstevannløpet (MVL). Vannføringen i 2004 var forholdsvis lav på grunn av lite nedbør og snø i fjellet. Basert på telemetridataene for 2004, ble det laget en statistisk modell for hvordan vannføringsforholdene påvirket valg av rute (se Uglem mfl. 2005). Denne viste at sannsynligheten for å vandre ned MVL var avhengig av total vannføring og hvor stor andel av vannet som gikk i MVL. Høy samlet vannføring hadde en negativ effekt på denne sannsynligheten, mens andel vann i MVL virket positivt inn. I tillegg fant Uglem mfl. (2005) tendenser til at høy smoltindeks (godt utviklet smolt ut fra utseende) kunne ha en positiv innvirkning på antall fisk i MVL, og at fisken som vandret om dagen i mindre grad vandret inn inntaket. I etterfølgende arbeid (Kvingedal mfl. 2011, Fjeldstad mfl. 2012), ble tidsinndelingen (dag og natt) endret og modellen inneholdt kun parameterne total vannføring og minstevannføring.

Statistisk modell for sannsynligheten (π) for at fisken vandrer ned minstevannløpet ble da:

$$\log \text{it}(\pi) = \log \left(\frac{\pi}{1-\pi} \right) = a \times VF_{\text{total}} + b \times R_{\text{MVL}} + c, \quad (4)$$

hvor VF_{total} er total vannføring og R_{MVL} er andel vann i minstevannløpet (Fjeldstad mfl. 2012). Basert på datasettet for 2004 ga dette koeffisienter gitt i **tabell 2**.

Tabell 2. Estimerte koeffisienter med standardfeil (SE) og statistisk signifikans (p-verdi) for den forenklede modellen for valg av utvandningsrute i 2004.

Forklaringsvariabel	Estimat	SE	p-verdi
Konstantledd	1,14	0,62	0,07
Total vannføring (VF_{total})	-0,032	0,010	0,001
Andel vann i MVL (R_{MVL})	0,031	0,016	0,045

Før smoltutvandringen i 2008 fikk Agder Energi Produksjon AS satt opp en flytende lense med et 80 cm dypt gummiskjørt i en halvsirkel 15-30 meter fra tunnelinntaket. Denne ble installert for å sikre båttrafikk, men det ble også antatt at skjørtet kan bidra til å lede fisken vekk fra tunnelen. I tillegg ble det montert blinkende strobelys under vann på hver side av inntaket for å skremme bort fisken. For å unngå at fisken ble tilvendt strobelyset blinket lyset i 5 minutter for så å være avslått i 5 minutter. Effekten av strobelyset ble kvantifisert ved at lysene kun ble brukt hvert annet døgn. Basert på telemetridataene for 2008 ble det så gjort en tilsvarende statistisk modellering som for 2004. Denne viste ingen effekt verken av tid på døgnet, total vannføring eller andel vann i minstevannløpet på sannsynligheten for at smolten vandret ned MVL.

Den parameteren som hadde en effekt på rutevalget var strobelyset, men da bare om natta (**tabell 3**).

Tabell 3. Antall radiomerket laksesmolt som vandret ned minstevannløpet kontra inntaket gitt tid på døgnet og om strobelyset var av eller på. Totalt 58 laksesmolt ble registrert i 2008.

	Strobelys av		Strobelys på	
	Dag	Natt	Dag	Natt
MVL	3	13	4	16
Inntak	3	11	4	4

For smolten som vandret om natta, ble modellen for sannsynligheten(π) for utvandring ned MVL:

$$\log \text{it}(\pi) = \log\left(\frac{\pi}{1-\pi}\right) = a \times \text{SL} + b, \quad (5)$$

hvor SL er strobelys (0=av og 1=på) og estimerte parametere gitt i **tabell 4** (se også Fjeldstad mfl. 2012).

Tabell 4. Estimerte koeffisienter med standardfeil (SE) og statistisk signifikans (p-verdi) for rutevalgsmodellen for 2008.

Forklaringsvariabel	Estimat	SE	p-verdi
Konstantledd	0,17	0,41	0,68
Strobelys (SL)	1,22	0,69	0,079

Analysene av telemetridataene for 2008 viste ingen effekt av vannføringsforhold (samlet vannføring og andel vann i minstevannløpet) på sannsynligheten for å velge MVL. Vannføring i 2008 var spesielt høy, noe som også ga mye vann i MVL under den registrerte utvandringen. Det er ikke usannsynlig at når vannføringen blir over et visst nivå, både totalt og i MVL, har variasjonen i andel vann til MVL og samlet vannføring mindre betydning for fiskens rutevalg.

I 2009 og 2010 ble Laudal kraftverk manøvrert i henhold til anbefalingene som fulgte av den statistiske modellen (**likning 4**). Fjeldstad mfl. (2012) gjorde beregninger av forventet smoltgevinst, dvs. økt overlevelse forbi kraftverket, som følge av denne manøvreringen og innførte fysiske tiltak (strobelys og skjørt). Siden vannføringen i 2009 og 2010 var relativt lik forholdene i 2004, ble det antatt at vannføringsforholdene hadde en tilsvarende innvirkning på rutevalget. For å inkludere virkningen av strobelyset, ble koeffisienten estimert for 2008 (**tabell 4**), lagt til 2004-modellen for den andelen smolt som ble antatt å vandre ut om natta. Se Fjeldstad mfl. (2012) og Kvingedal mfl. (2011) for detaljer.

Validering av rutevalgsmodellen

Til valideringen benyttes telemetridata for 57 individer der det er sikre opplysninger både om tidspunktet for når smolten forlot kraftverksinntaket i Mannflåvann og hvilken rute den valgte. I valideringen utelates da 9 smolt som ble definert som utvandret via minstevannsløpet fordi de ble registrert svømmende bort fra inntaket, men som ikke ble registrert i minstevannløpet (antenne eller smoltfelle) eller lenger ned i vassdraget. Selv om disse sannsynligvis ikke har vandret inn turbininntaket, så er det en mulighet for at de har dødd eller ikke har vandret ut. Det utelates også 4 smolt som ble registrert i MVL, men ikke ved inntaket fordi antenne der var ute av drift en periode. Dette gjøres siden det heller ikke er mulig å ta med smolt som eventuelt gikk inn tunnelinntaket i samme periode.

Basert på vannføringsdata fra Laudal kraftverk, data fra en temperaturlogger i elva ved Hesså og tidspunkt for utvandring, ble det beregnet sannsynlig utvandningsrute gitt av rutevalgsmodellen. Våren 2013 virket bare ett av strobelysene, men i beregningene blir det antatt at effekten er den samme som ved bruk av to strobelys. Predikert sannsynlighet gitt av rutevalgsmodellen ble deretter sammenliknet med realisert rutevalg gitt av telemetri-observasjonene.

3 Resultater og diskusjon

3.1 Smoltens vandringsrute – radiotelemetri

3.1.1 Radiomerket laksesmolt

Til sammen ble 100 laksesmolt med en median lengde på 14,9 cm (variasjonsbredde 11,2-17,7 cm) merket med radiosendere. Den minste smolten ble merket med de minste senderne (modell 1415F) og hadde en median kroppslengde på 13,6 cm (variasjonsbredde 11,9-15,9 cm, $n = 32$) mens større smolt ble merket med en av de to største senderne (modell 1425F og 1435F) uten å skille mellom de ulike modellene. Denne smolten var større og hadde en median kroppslengde på 15,0 cm (variasjonsbredde 12,4-17,7 mm, $n = 68$).

Det var ingen forskjell i kroppsstørrelse på den merkede smolten og de som ble registrert på loggerne nedover i vassdraget (median lengde all merket smolt 14,9 cm, inntaket Laudal kraftverk 15,0 cm, i minstevannløpet 14,9 cm og ved Heddeland 15,1 cm,). Det var heller ingen forskjell i kroppslengde mellom smolt som vandret gjennom tunellen (median 15,0 cm) og den som vandret ned minstevannløpet (median 14,9 cm, Mann-Whitney U-test, $p = 0,88$).

3.1.2 Deteksjon av merket smolt på loggestasjonene

Av de 20 smoltene som ble satt ut direkte i Mannflåvann registrerte vi ikke signaler på noen av loggerne fra 5 smolt. Av de 80 smoltene som ble satt ut ved Hesså fikk vi ingen registreringer fra 10 smolt. Ved loggeren i Mannflå passerte 8 smolt uten å bli registrert mens 61 smolt ble registrert. For 70 smolt kunne vi detektere vandringsrute forbi inntaket til Laudal kraftverk og kun to smolt passerte her uten å bli registrert mens loggeren var i drift. I tillegg mistet vi passeringen til to smolt som passerte de 11 timene loggeren var nede. Loggeren i minstevannløpet registrerte 45 smolt, og registrerte trolig all merket smolt som passerte. På loggeren ved Heddeland ble det registrert 30 smolt.

3.1.3 Vandring til og gjennom Mannflåvann

Den første gruppen med 30 merket smolt ble satt ut ved Hesså 24. mai og 28 ble registrert ved Mannflå eller på loggeren ved inntaket til Laudal kraftverk. Av de 30 som ble satt ut samme sted dagen etter ble 25 registrert på de samme loggestasjonene. Den siste gruppen på 20 smolt ble satt ut 26. mai og 16 smolt ble registrert på loggestasjonene. Det var ingen forskjell i tid fra utsetting til registrering på dataloggestasjonen i Mannflå for smolt med forskjellig smoltindeks (Kruskal-Wallis Test, $p = 0,22$, $n = 59$).

For 48 smolt hadde vi registreringer både ved Mannflå og inntaket slik at vandringshastigheten gjennom Mannflåvann kunne beregnes nøyaktig. Median tid for vandring gjennom vannet var 61 timer, men variasjonsbredden var stor (4-310 timer). Beregnet i kroppslengder pr sekund var hastigheten gjennom vannet median 0,13 (variasjonsbredde 0,02-1,80). Vandringshastigheten gjennom vannet økte med minskende smoltindeks (Kruskal Wallis Test, $p = 0,05$), mens det var ingen korrelasjon mellom vandringshastigheten og kroppslengden (Pearson tosidig Korrelasjon, $p = 0,77$).

Av smoltene som ble registrert på den automatiske dataloggestasjonen ved utløpet med nøyaktig klokkeslett for ankomst, ankom 16 smolt (26 %) utløpsområdet om natten (kl 22.00-04.59), mens 54 (77 %) ankom om dagen (kl 05.00-21.59). Ankomsten pr time var også noe lavere om natta enn om dagen (henholdsvis 2,3 og 3,2 smolt pr time), i hovedsak fordi det ankom relativt mange i time 13 (midt på dagen) og få i de mørkeste timene 23 og 24.

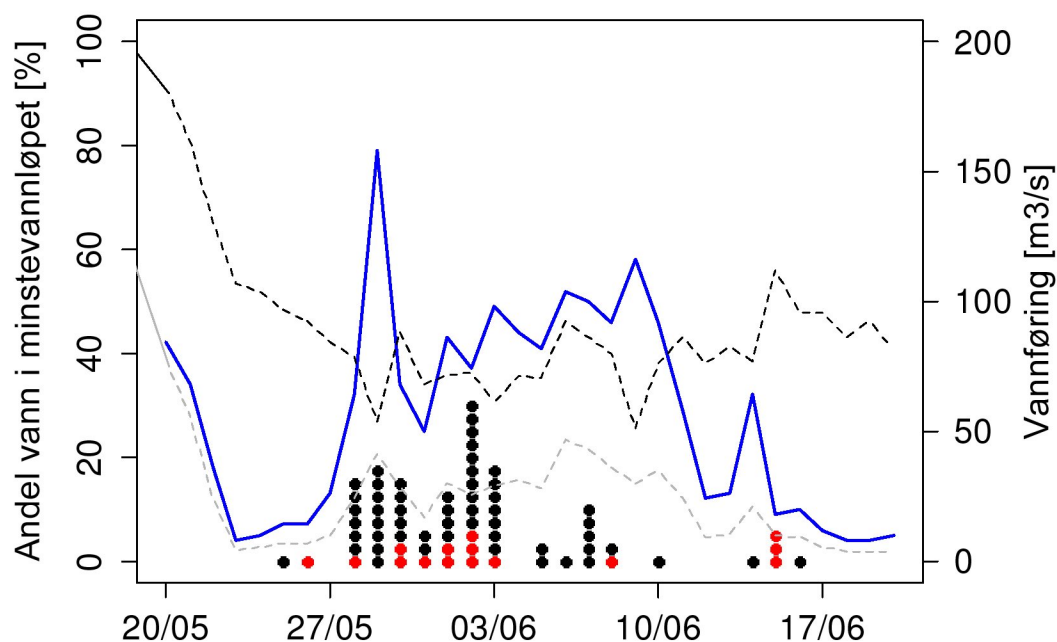
3.1.4 Vandring ut av Mannflåvann

Oppholdstiden ved inntaket til kraftverkstunnelen var kort (median 30 minutter, $n = 70$), men varierte betydelig (variasjonsbredde 1 min - 8,5 dager). Av smoltene som ble registrert på den automatiske dataloggestasjonen med nøyaktig klokkeslett for avgang, vandret 19 (28 %) smolt

ut om natten (kl 22.00-04.59), mens 49 (72 %) vandret ut om dagen (kl 05.00-21.59). Utvandringen pr time var imidlertid lik for natt og (henholdsvis 2,7 og 2,8 smolt pr time), slik at smolten forlot området relativt jevnt fordelt over døgnet. Av de 70 smoltene med beregnet vandringsrute ut av Mannflåvann, vandret 15 (21 %) ut gjennom kraftverkstunnelen mens 55 (79 %) vandret ned minstevannløpet. Det var ingen forskjell i smoltindeks hos smolt som vandret inn tunnelen og de som vandret ned minstevannløpet, Mann-Whitney U-test, $p=0,22$, $n=68$). Det var heller ingen forskjell i kroppslengden for de to gruppene (Mann-Whitney U-test, $p=0,88$, $n=70$).

Både driftsvannføringen gjennom kraftverket og i minstevannløpet varierte mye den perioden den merkede smolten passerte kraftverkinntaket (**figur 5**). Andelen av total vannføring som ble sendt forbi kraftverket var signifikant mindre når smolt vandret inn tunnelen (median 31,6 % (variasjonsbredde 6,9 – 46,2 %, $n=15$) sammenlignet med når smolten vandret forbi og ned minstevannløpet (median 42,4 % variasjonsbredde 7,2 – 82,7, $n=49$, Mann Whitney U-test, $p=0,001$).

Vanntemperaturen målt ved Hesså var ved passeringen av inntaket til Laudal Kraftverk median 8,2 °C, men varierte fra 6,2 til 10,6 °C i løpet av datainnsamlingsperioden.



Figur 5. Tidspunkt for utvandring hos individuelle radiomerkede laksesmolt fra nedre del av Mannflåvann i 2013 og andel av total vannføring som går i minstevannløpet (—). Smolten vandret enten gjennom kraftverkstunnelen og turbinen ved Laudal kraftverk (●, $n=15$), eller ned gjennom minstevannløpet (●, $n=55$). Figuren viser også driftsvannføringen i kraftverket (--) og vannføringen i minstevannløpet (—). Vannføring og andel vann i minstevannløpet er gitt ved døgnmiddelverdier.

3.1.5 Vandring nedenfor Mannflåvann

Totalt 40 smolt ble registrert både på loggestasjonene ved inntaket til kraftverket og i minstevannløpet. Median tid for vandring på denne strekningen var 14,1 timer, men variasjonsbredden var stor også her (0,6 - 469 timer). Beregnet i kroppslengder pr sekund var hastigheten

median 0,34 (variasjonsbredde 0,01- 8,7). Oppholdstiden ved loggeren i minstevannløpet var kort men varierte betydelig (median 1,7 timer, variasjonsbredde 1 min – 38,5 dager, $n = 44$).

For 23 smolt hadde vi registreringer både i minstevannløpet og på loggeren ved Heddeland. Median tid for vandring på denne strekningen var 24,3 timer, men variasjonsbredden var stor også her (2,9 timer – 10,1 dager). Beregnet i kroppslengder pr sekund var hastigheten mellom stasjonene median 0,9 (variasjonsbredde 0,08- 7,5).

I tillegg til 23 smolt fra minstevannløpet ble 7 smolt registrert på Heddeland etter at de hadde passert gjennom kraftverket. Dette tilsvarer 47 % av de 15 som vandret gjennom tunellen.

3.1.6 Diskusjon telemetri

Radiomerking av laksesmolt er krevende av flere årsaker. Under smoltifiseringsprosessen sitter skjellene løst og fisken tåler stress og håndtering dårlig. Selv om vi i dette prosjektet benyttet sendere som var mindre enn de vi har benyttet tidligere er selv de minste radiosendere relative store når de legges inn i laksesmolt. Resultatene tyder på at smolten tålte fangsten og merkingen bra, og det ble ikke registrert dødelighet etter merking. Imidlertid vandret den mest utviklede smolten (smoltindeks 3) seinere gjennom Mannflåvann enn merket smolt med lavere smoltindeks. Dette kan være en indikasjon på at fangst og merkeprosedyrene som ble benyttet var en større belastning for den mest utviklede smolten. Det var ikke noen sammenheng mellom kroppsstørrelsen til den merkede smolten og overlevelsen registrert som passering av loggerene nedover i vassdraget. Dette tyder på at størrelsen på senderne ikke utgjorde noen viktig faktor for overlevelsen og vandringsevnen nedover vassdraget.

Bare 8 av 69 smolt som vandret inn i Mannflåvann ble ikke registrert på loggeren i Mannflå. Dette er et svært tilfredsstillende resultat gitt de vanskelige støyforholdene på denne loggeren. Samlet sett fikk vi således 48 smolt som både ble registrert i Mannflå og ved tunellinntaket til Laudal kraftverk, og som kunne brukes til å beregne vandringshastigheten gjennom vannet.

Fangst og håndtering av laksesmolt fra smolthjul har blitt betraktet som en skånsom fangstmetode. Denne studien understreker imidlertid viktigheten av god fiskehåndtering og at stress og skader assosiert med dette kan påvirke atferden en tid etter at fisken er utsatt, selv om den overlever behandlingen. Det er imidlertid ingen grunn til å tro at dette forholdet har påvirket hovedresultatene i denne studien vesentlig siden median (og gjennomsnittlig) smoltindeks var identisk for smolt som vandret gjennom tunellen og de som vandret ned minstevannløpet. En slik effekt vil også forventes å avta over tid etter som fisken henter seg inn etter fangst og merking. Vandringsvilligheten var også den samme i alle gruppene av smolt med forskjellig klassifisering når vi måler det som tid fra utsetting til registrering på dataloggeren i Mannflå.

I tidligere studier i Mandalselva har det meste av smolten passert inntaket til kraftstasjonen om natten. Dette var ikke tilfelle i år da fisken passerte relativt jevnt fordelt gjennom døgnet. Også ankomsttiden til tunellområdet var relativt jevnt fordelt over døgnet, men med gjennomsnittlig noe større aktivitet per time om dagen enn om natta. Sammenlignet med tidligere år var smoltutvandringen svært sein noe som gjorde at daglengden var betydelig lengre. Vanntemperaturen var ikke spesielt høy med median 8,2 °C men økte fra 6,2 °C tidlig i perioden til 10,6 °C mot slutten av datainnsamlingsperioden. Dette kan tyde på at smolten i dette vassdraget fordeles seg jevnere gjennom døgnet når smoltutvandringen skjer sent på våren. Et slikt mønster er også funnet i andre studier (se oppsummering i Ugedal mfl. 2014).

Syv av de 15 smoltene som vandret gjennom kraftverket ble senere registrert på loggeren mer enn 8 km nedenfor utløpet fra kraftverket. Selv om materialet er lite gir det en indikasjon på at den umiddelbare overlevelsen hos smolt som vandrer gjennom turbinen kan være betydelig. Det hefter imidlertid usikkerhet ved disse tallene fordi vi ikke har informasjon om hvordan og hvor langt død smolt kan drive nedover elva. Det er derfor ikke sikkert at den registrerte fisken var i live. Det kan være nyttig med ytterligere undersøkelser av dette som grunnlag for å evaluere den samlede overlevelsen hos smolt som vandrer forbi Laudal. Mulige senskader (Coutant

& Whitney, 2000; Ferguson mfl. 2006) og redusert overlevelse i havet kompliserer imidlertid bildet.

Resultatene i denne undersøkelsen viser at styring av kraftverk og allokering av vann forbi inntaket kan gi svært gode resultat og sterkt redusere andelen smolt som vandrer inn i kraftstasjoner uten brukt av rister eller annen fysiske sperringer. Sammen med bruk av strobelys viser resultatene at en slik manøvrering kan være et effektivt tiltak.

I forhold til metodikken konkluderer vi som følger:

- Fangst og radiomerking av utvandrende laksesmolt fungerte svært godt og overlevelsen etter merking var høy. Resultatene tyder imidlertid på at fangst i smolthjul og håndtering påvirket vandringshastigheten hos den mest utviklede smolten en tid etter utsetting.
- Registrering av de nye og mindre radiosenderne fungerte svært bra og passering av stasjoner og registrering av bevegelsene ved inntaket til Laudal kraftverk gjorde det mulig og bestemme vandringsruten til 70 av de totalt 100 merkede laksesmoltene.

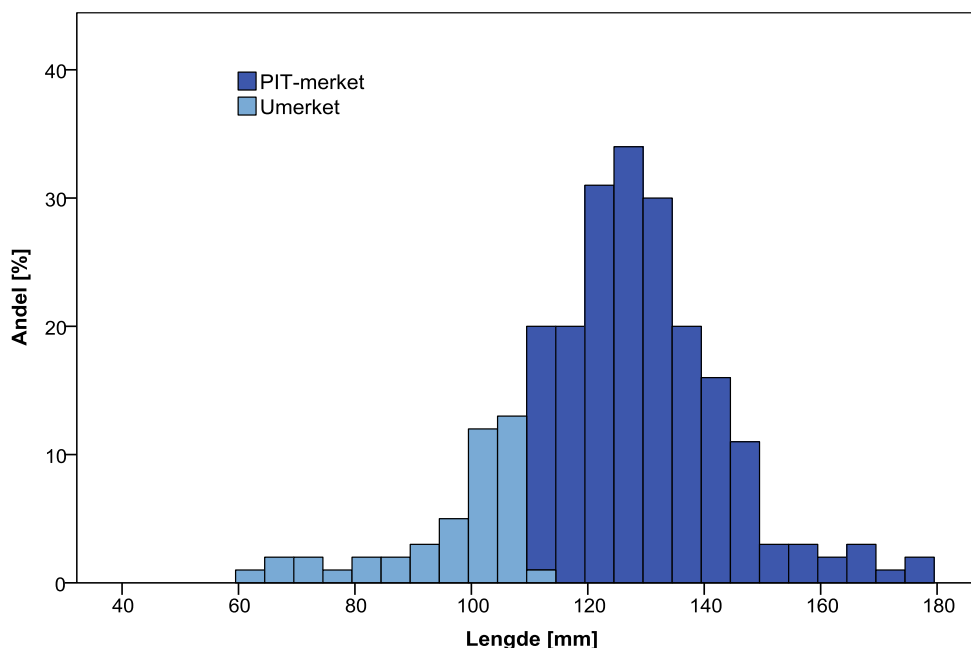
3.2 Fangst av laksesmolt og aure i Mannflåvann

Det ble fisket med elfiskebåt i Mannflåvann i perioden 10.-14. mai og i Mandalselva nedenfor smoltfella på Hesså 13. mai. Totalt ble det fanget 239 laksunger, hvorav 16 laksunger ble fanget i elva og det ble observert 3 vinterstøinger. Fangstene av laksunger var en del mindre enn ønskelig, da målet opprinnelig var satt til å merke 500 presmolt. Fangstene var sterkt dominert av aure (både i elva og i innsjøen), og det ble fanget laksesmolt bare i relativt begrensede deler av Mannflåvann. Ca. 70 % av all laks ble fanget i en steinfylling langs veien på vestsiden av Mannflåvann.

Laks over 11 cm ble merket med PIT-merker (se **kapittel 2.2.2**) og i tillegg ble det målt gaffellengde og gitt en smoltindeks (SI) ut fra morfologiske trekk (se **kapittel 2.1.1**). Samlet ble det merket 195 presmolt (**tabell 5**), mens 44 var parr eller presmolt under merkegrensen (**figur 6**).

Tabell 5. Antall (N), lengde og smoltindeks (SI) hos parr og presmolt av laks fanget ved båtelfiske i Mannflåvann mai 2013.

Merke	N	Lengde (middelverdi [variasjonsintervall])	SI (middelverdi [variasjonsintervall])
PIT	195	130 [110 - 176]	1,8 [1,0 - 3,0]
Ingen	44	96 [62 - 110]	-
Totalt	239	124 [62 - 176]	1,8 [1,0 - 3,0]



Figur 6. Lengdefordeling av parr og presmolt fanget i Mannflåvann, fordelt på umerket og pit-merket fisk.

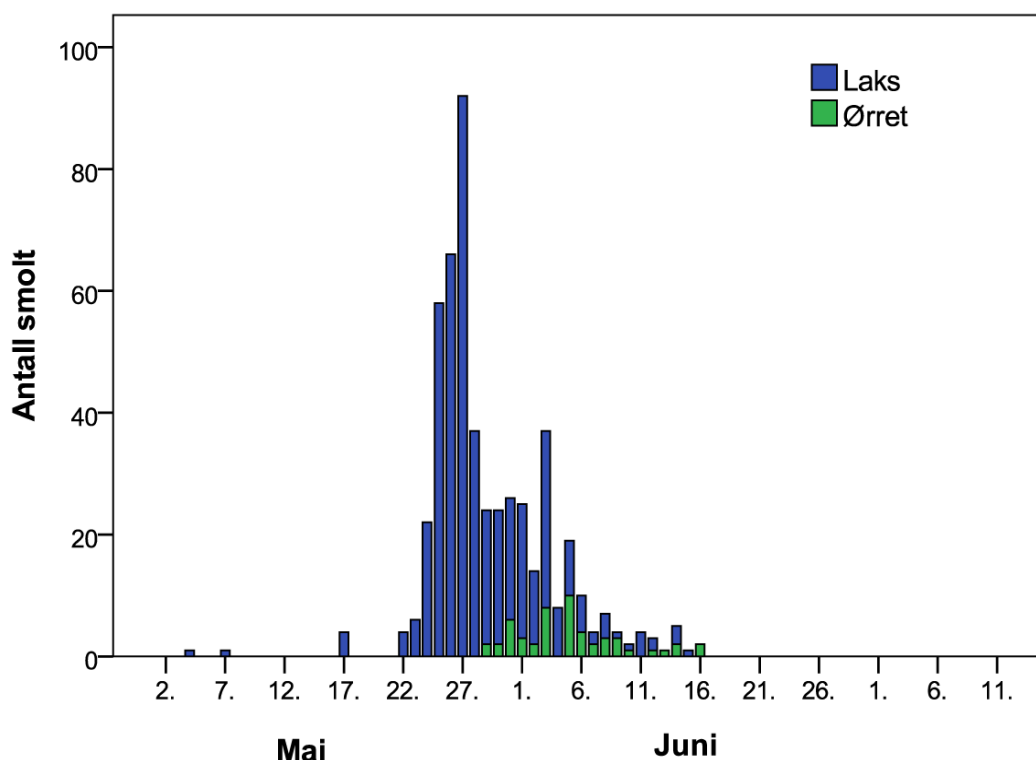
Av de 195 merkede presmoltene ble bare tre fisk gjenfanget i fella i minstevannløpet, hvorav to var fra Mannflåvannet og ankom 11. og 12. juni, mens én var fra elva og ankom 13. juni. Smolt merket i/ved Mannflåvann og som ble fanget i fella i minstevannløpet kom således i samme periode som smolt merket på Hesså, men gjenfangstene er for små til å kunne trekke konklusjoner om utvandringsmønsteret fra innsjøen.

3.3 Smoltutvandring ved Hesså og i minstevannløpet

3.3.1 Fangster og utvandringsforløp

På Hesså ble det i løpet av smoltutvandringsperioden fanget totalt 457 smolt, den tredje laveste fangsten i tidsserien (**tabell 6**). Den første laksen ble fanget på kvelden 3. mai og den siste 15. juni, med en utvandringstopp mellom 24. og 28. mai (**figur 7**). Ørretsmolt vandret ut senere enn laksesmolten, noe som samsvarer med tidligere år (Hvidsten mfl. 2010) og ørret har en utvandringstopp ca. en uke etter laksen (**figur 7**). Totalt ble det fanget 52 ørret, slik at ørret utgjorde 10 % av samlet fellefangst.

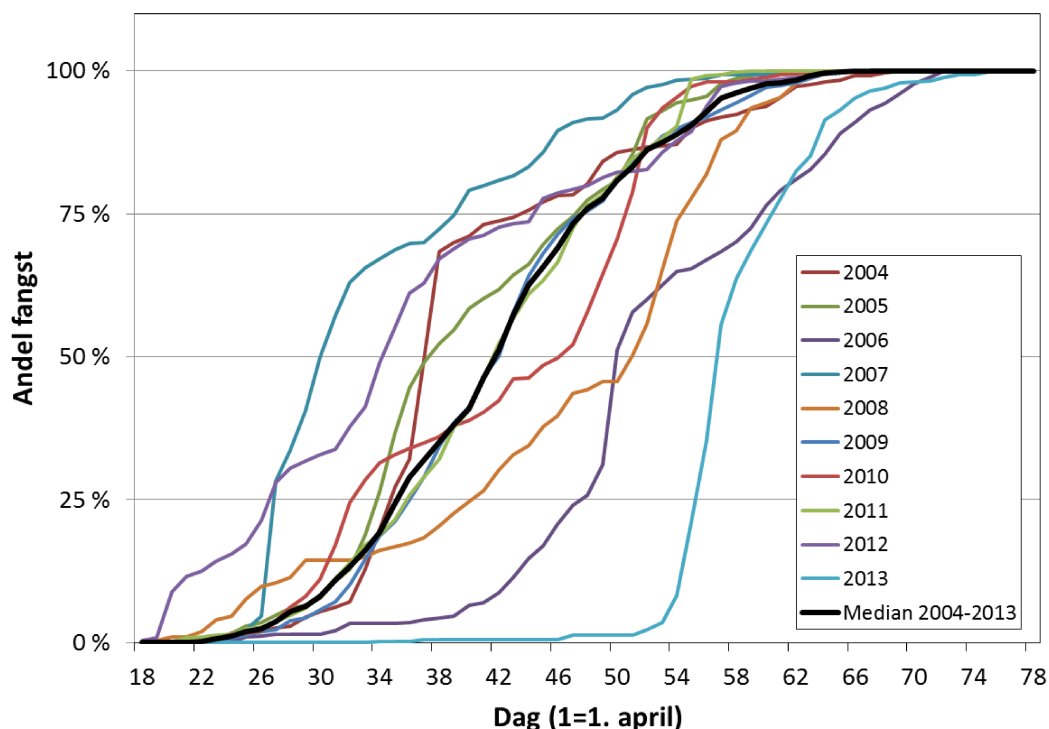
Utvandringen i 2013 er den seneste som er registrert på Hesså i perioden 2004-2013 med 25 % av fangsten tatt 25. mai (**tabell 6, figur 8**). Varigheten på utvandringsperioden var også den korteste som er registrert med bare 5 dager mellom datoene for 25 og 75 % utvandring.



Figur 7. Antall laks- og ørretsmolt fanget i smoltfella ved Hesså våren 2013.

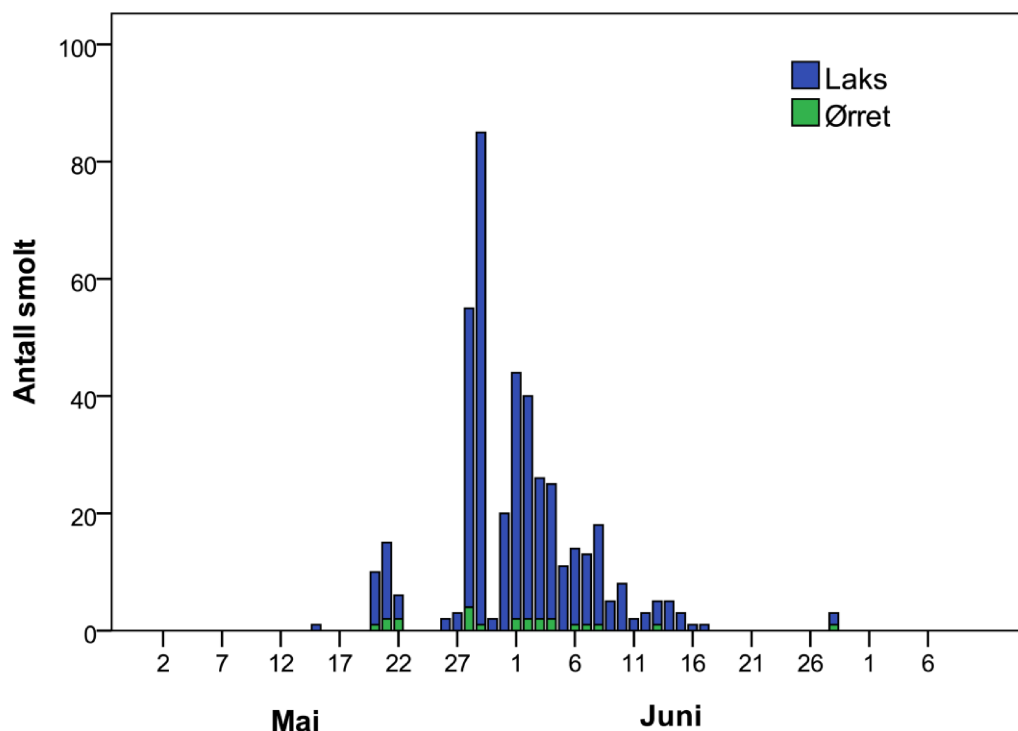
Tabell 6. Totalfangst, dato for 25, 50 og 75 % utvandring av laksesmolt og varighet i dager mellom 25 og 75 % utvandring av smolt fanget i smoltskruve ved Hesså 2004-2013.

År	Total fangst	25 %	50 %	75 %	Antall dager fra 25 til 75 %
2004	568	5. mai	8. mai	14. mai	9
2005	447	4. mai	8. mai	18. mai	14
2006	542	19. mai	21. mai	31. mai	12
2007	537	27. april	30. april	8. mai	11
2008	305	11. mai	21. mai	25. mai	14
2009	797	6. mai	12. mai	18. mai	12
2010	835	3. mai	17. mai	21. mai	18
2011	770	6. mai	12. mai	18. mai	12
2012	337	27. april	5. mai	15. mai	18
2013	457	25.mai	27.mai	31.mai	5
Snitt/ Median	560	6. mai	12. mai	18. mai	12

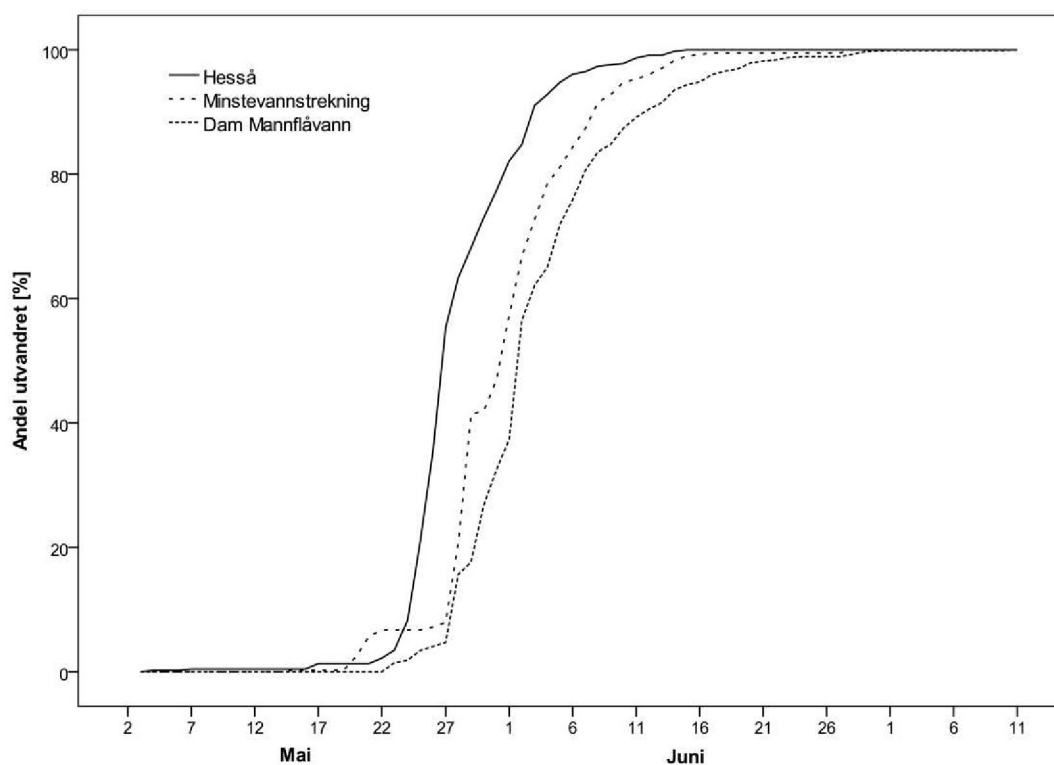


Figur 8. Akkumulert fangst av laksesmolt i fella i Hesså i årene 2004-2013. Medianforløpet er vist med svart linje.

I fella på minstevannstrekingen ble det i perioden 15. mai til 28. juni fanget totalt 403 laksesmolt og 23 ørretsmolt. Det vil si at ørret utgjorde kun ca. 5 % av fangsten i den perioden smoltfella var operativ. Det var en topp i fangsten av laksesmolt 1.-2. juni (**figur 9**). Toppen i smoltfangsten var ca. en uke senere her enn toppen på Hesså (**figur 10**).

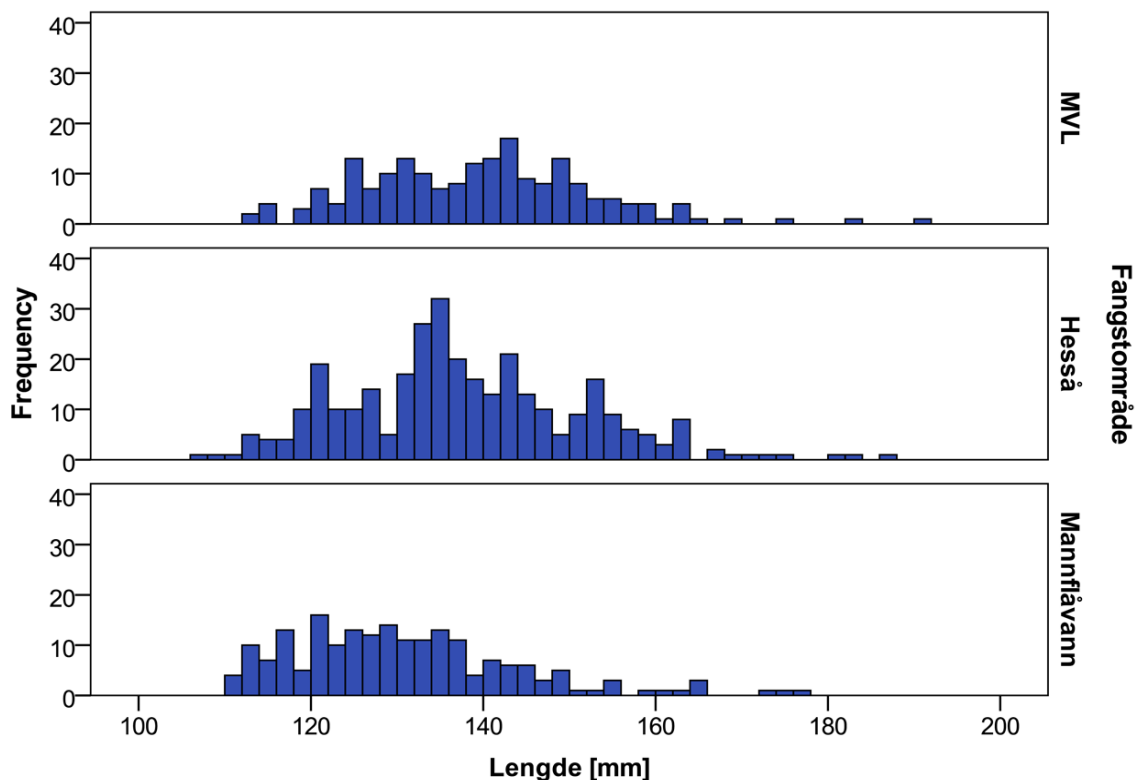


Figur 9. Antall laks- og ørretsmolt fanget i smoltfella i minstevannløpet våren 2013.



Figur 10. Akkumulert fellefangst av laksesmolt i Hesså (–), på minstevannstrekingen (–) og tellinger av laks- og ørretsmolt fra videoovervåkingen i luka på demningen til Mannflåvann (···).

All merket laksesmolt (169) og noen umerkede laksesmolt (27) fanget på minstevannstrekingen ble lengdemålt. Gjennomsnittlig lengde på all målt smolt var 138 ± 13 mm (std) (**figur 11**). Dette er ikke signifikant forskjellig fra laks PIT-merket på Hesså (137 ± 14 mm, 2-sidig t-test: $t=1,2$, $df=517$, $p=0,2$), men signifikant større enn presmolten merket i Mannflåvann (130 ± 13 mm, 2-sidig t-test: $t=6,4$, $df=389$, $p<0,001$) (**figur 11**).



Figur 11. Størrelsesfordelingen hos laksesmolt som ble fanget og lengdemålt på minstevannstrekningsområdet (MVL) og Hesså, og hos presmolt merket i Mannflåvann noen uker før utvandringen.

3.3.2 Bestandsestimater

Beregninger basert på fangst ved Hesså

Det ble merket og satt ut 312 laksesmolt ovenfor fella på Hesså og av disse ble 47 gjenfanget, noe som gir en gjenfangstrate på ca. 15 % (**tabell 7**). Hvis en bruker Petersens metode med antakelse om konstant gjenfangstrate (**kapittel 2.3.2**), blir estimert smoltproduksjon ovenfor Hesså 2990 smolt og 95 % konfidensintervall lik 2260-3710

Tabell 7. Fangst og gjenfangst av laksesmolt på Hesså og i minstevannløpet (MVL)

	Hesså	MVL
Fangst ekskludert gjenfangst ¹	457	403
Antall utsatt merka laksesmolt	312	145
Antall gjenfanget	47	4
Prosent gjenfangst	15 %	3 %

¹ På minstevannstrekningsområdet er fisk merket i Mannflåvann, på Hesså og radiomerket fisk inkludert.

Tar en hensyn til at fangstraten kan variere over tid og modellerer gjenfangstene ved en stratifisert metode (kapittel 2.3.2), gir dette ulike fangstsannsynlighet for to perioder, men med nær identiske verdier:

1. De 7 første dagene: $\hat{p} = 0.1509$
2. De siste 14 dagene: $\hat{p} = 0.1571$

Samlet produksjon ovenfor Hesså beregnet etter den stratifiserte metoden blir 3015 smolt (**tabell 8**) med 95 % konfidensintervall omtrent lik 1970-4060.

Tabell 8. Merket og gjenfanget smolt dag for dag og tilhørende estimert fangstsannsynlighet og estimert bestand gitt av stratifisert metode.

Dato	Ant. merket	Ant. gjenfangst	Total fangst	Estimert N	Estimert p	Strata
-> 20130525	0	0	38	252	0.1509	
20130525	32	0	58	384	0.1509	1
20130526	62	0	66	437	0.1509	1
20130527	59	1	92	610	0.1509	1
20130528	39	1	37	245	0.1509	1
20130529	12	12	22	146	0.1509	1
20130530	19	4	22	146	0.1509	1
20130531	19	7	20	133	0.1509	1
20130601	6	2	22	140	0.1571	2
20130602	19	1	12	76	0.1571	2
20130603	20	5	29	185	0.1571	2
20130604	0	1	8	51	0.1571	2
20130605	15	3	9	57	0.1571	2
20130606	0	1	6	38	0.1571	2
20130607	0	0	2	13	0.1571	2
20130608	0	0	4	25	0.1571	2
20130609	0	0	1	6	0.1571	2
20130610	8	7	1	6	0.1571	2
20130611	0	0	4	25	0.1571	2
20130612	2	2	2	13	0.1571	2
20130613	0	0	0	0	0.1571	2
20130614	0	1	3	19	0.1571	2
20130615	0	0	1	6	0.1571	
Sum	312	47	457	3013		

Beregninger basert på fangst i minstevannløpet

I minstevannløpet ble det til sammen fanget 403 laksesmolt. Her ble totalt 145 laksesmolt merket og satt ut ovenfor smoltfella, hvorav 4 ble gjenfanget (**tabell 7**). Dette gir en gjenfangst på ca. 3 % og estimert utvandring ned elveleiet blir ca. 11 680 [2550, 20 810] om en antar konstant fangstrate. På grunn av få merket og gjenfanget smolt blir estimatet svært usikkert, og det har heller ikke et stort nok tallmateriale for å bruke en stratifisert beregningsmetode.

Det ble også fanget smolt som var merket på Hesså (12 smolt) og i Mannflåvann (2 smolt) og i Manddalselva mellom Hesså og Mannflåvann (1 smolt). Ved å gjøre beregning av bestanden basert på merket smolt på Hesså og gjenfangst i minstevannløpet, får vi en estimert utvandring ned minstevannløpet på 7710 [1970, 11 580] smolt, når en antar at 20 % av den merkede smolten fra Hesså gikk inn i inntaket, slik at 250 merkede Hesså-smolt var tilgjengelig for gjenfangst i den nedre fella og 12 av disse ble gjenfanget.

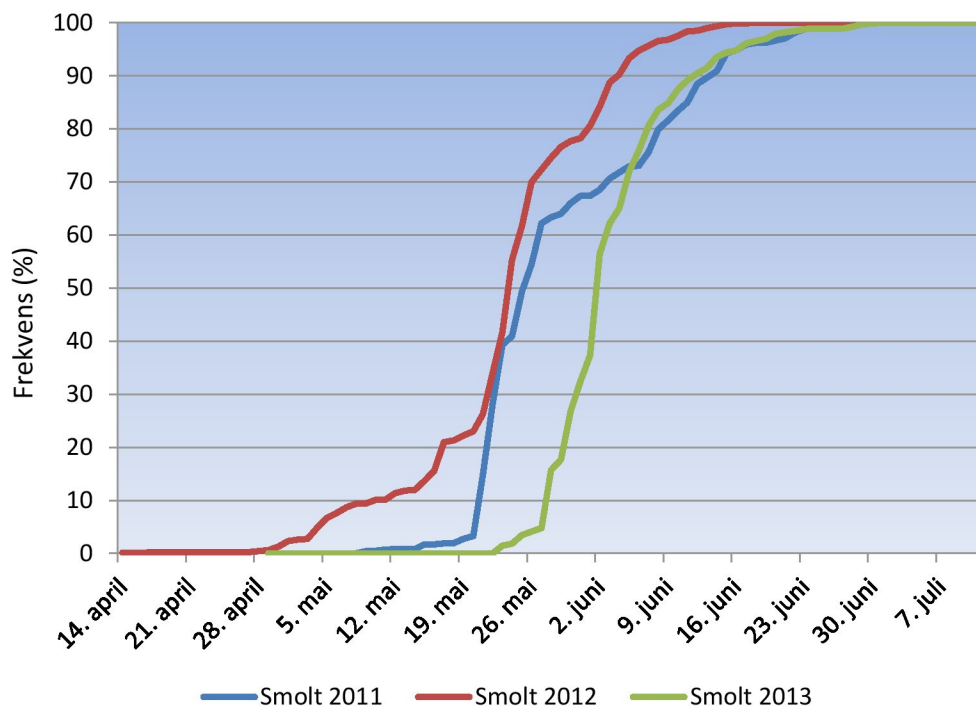
I tillegg til smolten som vandrer over dammen i Mannflåvann, er det smolt som svømmer inn turbininntaket. Av den radiomerkede smolten vandret ca. 80 % ned minstevannsløpet. Antas det at denne fordelingen er representativ for hele smoltutvandringsperioden, blir estimert smoltproduksjon ovenfor utløpet av Mannflåvann omtrent 25 % høyere enn det som vandrer ned elveleiet. Basert på merket fisk fra nedre felle, blir da estimert produksjon: 14 600 [3190, 26 010], og basert på fisk merket på Hesså og gjenfanget i nedre felle: 9640 [4800, 14 470].

3.4 Videoovervåking ved dam Mannflå

3.4.1 Resultater

Videosystemet som overvåket utløpet av dam Mannflåvann i 2013 ble plassert ut og startet opp 29. april og ble stanset 6. november. Høy vannføring og isgang i elven 30. april førte til at kameraene forskjøv seg og ikke dekket hele tverrsnittet. Kameraene ble rettet opp 23. mai og dekket da hele tverrsnittet igjen.

Det ble registrert totalt 1372 smolt som passerte dam Mannflåvann i 2013. Utvandringen foregikk senere i 2013 enn i de to tidligere årene (**figur 12**). Halvparten av smolten hadde passert dammen i Mannflåvann den 2. juni dette året mens tilsvarende dato i 2011 og 2012 var i begge årene 24. mai (**tabell 9**). I 2011 og 2012 ble det med tilnærmet samme videooppsett observert henholdsvis 1293 og 2876 smolt (laks og aure).



Figur 12. Kumulativ utvandring av smolt (laksesmolt og sjørretsmolt samlet) registrert med et undervannsvideosystem på dam Mannflåvann i årene 2011 til 2013.

Tabell 9. Kumulativ utvandring og totalt antall smolt observert over dam Mannflåvann i årene 2011 til 2013.

	2011	2012	2013
25 %	22.mai	21.mai	30.mai
50 %	24.mai	24.mai	02.jun
75 %	07.jun	28.mai	06.jun
Antall	1293	2876	1372

3.4.2 Diskusjon videoovervåking

Videosystemet på dam Mannflåvann var i drift fra 29. april til 6. november i 2013. I perioden fra 30. april til 23. mai var kameraene kommet ut av posisjon og dekket bare en begrenset del av tverrsnittet. Selv om smoltutvandringen var sen i 2013, begynte det trolig å vandre smolt over dammen allerede rundt den 20. mai. I dagene fra 20. mai til 23. mai er det derfor trolig at det har vandret smolt uten at de er registrert. Forskyvingen av kameraene har trolig ført til at kun

en liten del av vinterstøingen er registrert i 2013. I 2012 vandret vinterstøingen før smolten over dam Mannflåvann og det var liten overlapp i vandringstid. Det relativt høye antallet vinterstøing registrert i perioden 20. - 29. mai i 2013 tyder på at smoltvandringen ikke startet for alvor før etter 20. mai det samme året.

Sikten i vannet i utløpet av Mannflåvann er stabilt lav med en oppdagelsesavstand til fisk på 3 til 4 meter, og bare unntaksvis lavere enn 1 meter. Om natten er det vanskeligere å oppdage smolt som vandrer i overflaten, så smolttallene fra ca. kl 23 til 04 i slutten av mai og begynnelsen av juni er minimumstall. Særlig er det lett å gå glipp av enkeltsmolt. Stimer er lettere å oppdage også om natten. I tidligere undersøkelser i flere andre norske elver er det imidlertid registrert få stimer når det er mørkt. Plassering av kameraene i 2013 førte også til at det var vanskeligere å skille mellom sjørret- og laksesmolt. Vi har derfor, basert på artsfordelingen i Hesså (10 %) og i minstevannløpet (5 %), i de videre beregningene antatt at 90 % av smolten var laksesmolt i 2013. Ved å plassere kameraene mer på tvers og nærmere luken vil det være mulig å øke kvaliteten på opptakene.

I tillegg kan noe smolt ha vandret over damkrona i perioder når vannføringen var høy. Det er vist at både laksesmolt (Strand & Lamberg 2014) og vinterstøinger av ørret (Kraabøl mfl. 2009) kvier seg fra å passere over damkroner/luker når vannhøyden er liten. Strand & Lamberg (2014) fant at en vanddybde på 18 cm var for lite for laksesmolt, og førte til betydelige forsinkelser i Hustadvassdraget. I Mandalselva må vannføringen i minstevannløpet være større enn ca 30 m³/s for at vanddypet over damkrona skal være mer enn 20 cm. Det var flere perioder med slike forhold i 2013, og i den perioden det ble observert smolt i videoopptakene (23/5-30/6) var vannføringen høyere enn 30 m³/s i ca 20 % av tiden, noe som antyder at en del smolt kan ha vandret over damkrona. Imidlertid er funnene fra disse studiene ikke direkte sammenlignbare med situasjonen ved Dam Mannflå, fordi det der er ei luke med betydelig større vanddyp (som ikke var tilgjengelig i de andre lokalitetene). Det er sannsynlig, men ikke dokumentert, at smolten vil fortrekke denne under de fleste relevante vannføringsforhold. I 2011 og 2012 var det kortere perioder med vannføringer over 30 m³/s enn i 2013, og denne mulige feilkilden var trolig mindre.

3.5 Validering av modellverktøy

Utvandringsmodellen (tidspunkt for vandring) og utvandringsrutemodellen (basert på fordeling av vann) samt effekten av strobelyset tilsier at 63 % av smolten vandret ned minstevannløpet i 2013. Av de 70 radiomerkede smoltene med sikker bestemmelse av vandringsrute ut av Mannflåvann, vandret 79 % (55 smolt) ned minstevannløpet. Vandring rett vei var således en god del større enn det modellverktøyet predikerte. Under forutsetning av at den radiomerkede smoltens valg av utvandringsrute er representativ for den samlede smoltutvandringen viser denne valideringen at de gjennomførte slippene basert på modellverktøyet gjør at en høy andel av smolten vandrer utenom kraftverket. Det er viktig å huske at manøvreringen av kraftverket var basert på fellefangstene ved Hesså kombinert med utvandringsmodellen (som ble kjørt med prognoser for vannføringsforhold) og utvandringsrutemodellen, *uten* kunnskap om hvor den radiomerkede smolten befant seg og hvor de hadde vandret.

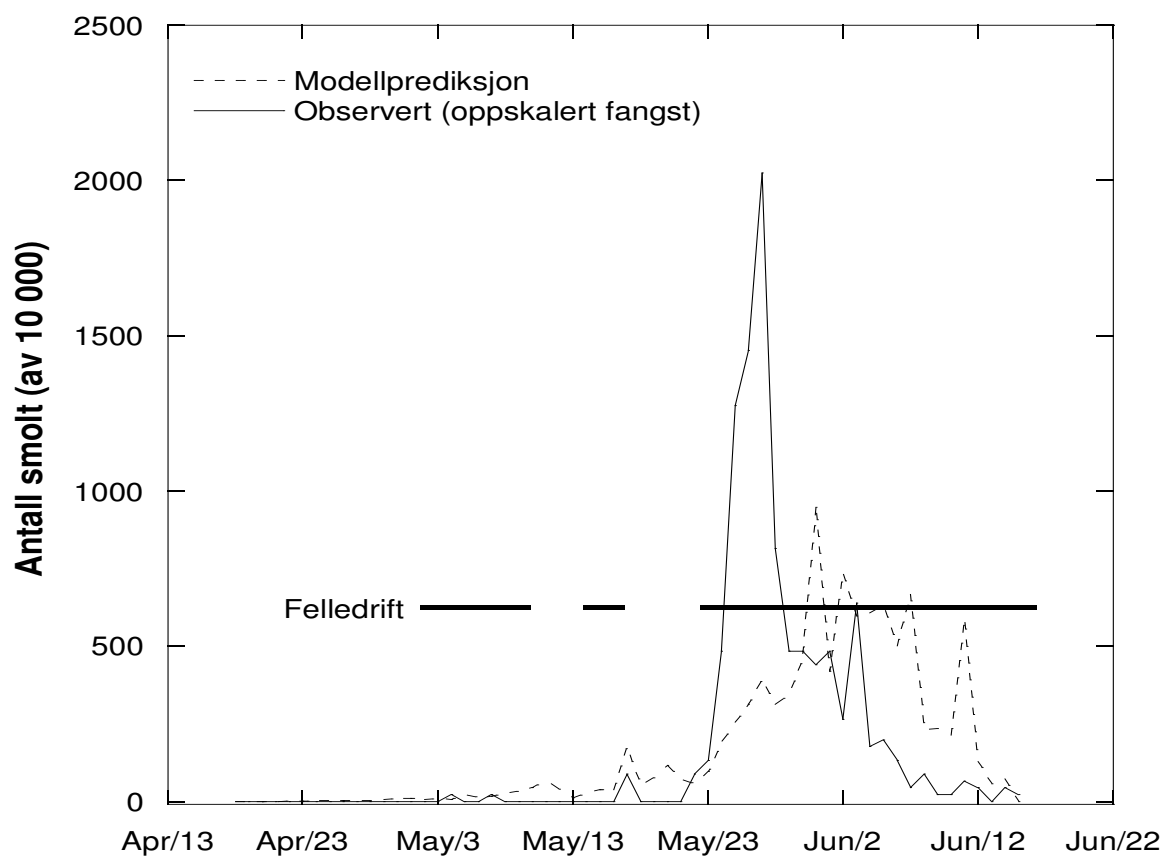
Smoltestimatet ved Hesså og videoregistreringen i luka i dammen ved Mannflå gir støtte for at også en tilsvarende høy andel av ikke-merket smolt vandret ned minstevannløpet. Merking-gjenfangst ved Hesså antyder en utvandring forbi Hesså på mellom ca 1900 og 4000 smolt. Antar vi at disse fordelte seg mellom tunellen og minstevannløpet på samme måte som radiomerket fisk, skulle det ha passert mellom 1500 og 3200 smolt over dammen ved Mannflå. I tillegg kommer smolt som vandret ut fra elvestrekningen mellom Hesså og Mannflåvann og fra Mannflåvann. Båtefiske i elvestrekningen nedstrøms Hesså antyder at ørret dominerte denne strekningen, og i Mannflåvann ble det nesten bare fanget laksesmolt i en 1500 m lang steinfylling langs vestsiden av vannet. Denne kartleggingen antyder at bidraget av smolt fra disse områdene ikke er så stort, men det er selvsagt mulig at smolt oppholdt seg dypere i innsjøen eller

ute i de frie vannmassene, og at elfiske langs land gir et skjevt bilde. Den generelle kunnskapen tilsier at laksunger primært bruker strandsonen av innsjøer (Halvorsen 1996), men kunnskapen om hvor laksesmolt oppholder seg er dårligere. I videokameraene i luka i dammen ble det observert 1235 laksesmolt (antatt 90 % laks), og dette er et minimumstall fordi man trolig går glipp av noe fisk i den mørke tiden av døgnet (22.00-04.00 dvs 6 av 24 timer). Bruker man ankomsttid og avgangtid for radiomerket smolt ved inntaket som indikasjon for aktivitetsmønster var smolten våren 2013 tilnærmet like aktiv gjennom hele døgnet. Antar vi at det gikk like mange smolt de 6 timene kameraene har dårligere deteksjon som i de andre 18 timen, får vi et estimat for utvandring gjennom luka på 1646 laksesmolt. Det relativt høye antallet smolt som passerte luka forutsetter at en høy andel av smolten valgte å vandre denne veien, og gir støtte for at den radiomerkede smolten er rimelig representativ for den samlede smoltutvandringen.

Konseptet for å sikre at en høy andel av smolten vandrer utenom kraftverket er basert på at vannslippene gjennomføres til rett tid. Våren 2013 ble den kaldeste våren som ga den seneste utvandringen i de 10 årene med smoltfangster ved Hesså. Til tross for observasjonene ligger utenfor temperaturområdet som modellen er utviklet for, er det generelle bildet at modellprediksjonen for smoltutvandringen (ut fra vannføring og vanntemperaturdata) stemte godt med den observerte fangstfordelingen (**figur 13**). Modellen predikerer lite utvandring før 19. mai og en markant økning fra 23. mai. Avviket i tidspunkt for 10, 25, 50, 75 og 90 % utvandring var generelt bare noen få dager (**tabell 10**), men modellen fanger ikke helt opp høyden på den første utvandringstoppen og predikerer mer smolt i starten av juni enn observert (**figur 13**). Årsaken er dels modellteknisk, fordi modellen har relativt mye smolt igjen til utvandring i juni (fordi den ikke sender ut tilstrekkelig med smolt på vandringstoppen sent i mai). Samsvaret (se **figur 10**) mellom utvandringsforløpet ved Hesså (smolthjul), over dam Mannflå (video) og i minstevannløpet (smolthjul) gir støtte for at fellefangstene ved Hesså og således også den utviklede modellen representerer den faktiske utvandringen på en god måte, og ikke bare er et resultat av variasjoner i fangsteffektivitet i smolthjulet (relatert til for eksempel variasjon i vannføring).

Tabell 10. Kumulative utvandringstidspunkt for smolt forbi Hesså basert på fangstfordelingen i fella (observert) og predikert fra smoltutvandringsmodellen (predikert).

	10 %	25 %	50 %	75 %	90 %
Observert	25. mai	26. mai	27. mai	31. mai	3. juni
Predikert	22. mai	28. mai	2. juni	6. juni	10. juni



Figur 13. Sammenligning av observert fangst av laksesmolt i fella ved Hesså våren 2013 og prediksjoner fra smoltutvandringsmodellen. Fangstene er oppskalert slik at både modell og fangst oppsummerer til 10 000 smolt. Dagene hvor fella var i drift er også indikert. I periodene uten drift var det for høy vannføring til at fella kunne driftes.

4 Samlet diskusjon

Det ble i dette prosjektet gjennomført omfattende studier av smoltutvandringen i øvre deler av Mandalselva. En generell erfaring er at vi ved å bruke et sett med ulike metoder, som fangst, merking og gjenfangst i smolthjul, videoovervåking og radiotelemetri, som alle har metodiske styrker og svakheter, samlet sett får bedre og mer nyansert kunnskap om smoltutvandringen enn om bare en av metodene hadde vært benyttet. De ulike metodene både utfyller og utfordrer hverandre.

Det utviklede modellverktøyet og de målrettede vannslippene som benyttes for å sikre at en høy andel av smolten oppstrøms inntaket til Laudal kraftverk går utenom turbinene ble suksessfullt validert. Både smoltutvandringsmodellen (som predikerer når smolten vandrer) og smoltrutemodellen (som predikerer hvor smolten vandrer) beskriver utvandringen på en god måte. Alle metodene som ble benyttet støtter denne hovedkonklusjonen.

Selv om det var avvik mellom predikert og observert fangstforløp i fella i Hesså, beskrev modellen tidsforløpet i utvandringen på en tilfredsstillende måte, til tross for at den kalde og sene våren ga miljøforhold som lå utenfor området som modellen er basert på. Det var også godt og logisk samsvar mellom utvandringsforløpet slik det ble beskrevet ut fra fangster i fella i Hesså, videoobservasjoner i Dam Mannflå og fangstene i fella i minstevannløpet. Forløpet var forskjøvet i tid på grunn av smoltens vandringstid. Dette gir støtte for at fellefangstene ved Hesså og således også den utviklede modellen, representerer det faktiske utvandringsforløpet på en bra måte, og ikke bare var et resultat av variasjoner i fangsteffektivitet i smolthjulet (relatert til for eksempel variasjon i vannføring). I 2011 og 2012 var det et større avvik mellom smoltutvandringen observert på video i Dam Mannflå (Anders Lamberg, upublisert notat) og utvandringen gitt av fellefangstene i Hesså. Spesielt i 2011 var det en betydelig "hale" med smoltobservasjoner (etter en topp rundt 20. mai) utover i juni, mens smoltfella i Hesså ble tatt inn i månedsskiftet etter sterk reduksjon i fangstene. Det er mulig at økende grad av dagvandring når temperaturen øker utover våren (Ugedal mfl. 2014) og kortere netter gjør at smolthjulet, som fanger fisk i overflata, får redusert fangsteffektivitet. Det bør derfor vurderes om manøvreringsstrategien for kraftverket bør ta hensyn til at det kan være fisk under nedvandring noe lengre enn det smoltfangstene ved Hesså og smoltutvandringsmodellen tilsier.

Smoltrutemodellen, inklusive effekten av strobelys, predikerte at 63 % av smolten vandret ned minstevannløpet med den vannfordelingen som ble resultatet av de målrettede kraftverksmanøvreringene og vannslippene våren 2013. Resultatet for de radiomerkede smoltene ble bedre enn modellen tilsa, da 79 % av dem valgte minstevannløpet. Bestandsestimatene ved Hesså og i minstevannløpet, samt videotellingene i Dam Mannflå, gir støtte for at en høy andel av smolten valgte å vandre utenom kraftverket i 2013 (**figur 14**). Manøvreringen av kraftverket og vannslippene ble planlagt og gjennomført uten kunnskap om hvor de radiomerkede smoltene befant seg, og forsøket representerer således en solid validering av modellverktøyet og tiltakene. Lignende manøvreringstiltak etter de samme prosedyrene ble også gjennomført i årene 2009-2012, og ved hjelp av smoltrutemodellen, inklusive effekten av strobelys, ble det estimert at henholdsvis 60 og 74 % av smolten vandret utenom kraftverket og ned minstevannløpet i 2009 og 2010 (Kvingedal mfl. 2011). Basert på valideringen i 2013 kan dette være underestimer, men forskjeller i miljøforhold og vandringsmønster fra år til år gjør at vi ikke kan trekke sikre konklusjoner om dette. I videokameraene i Dam Mannflå i 2011 ble det observert nesten like mange smolt som 2013, og dette gir støtte for at mange smolt også vandret rett vei i 2011. I 2012 ble det registrert over dobbelt så mange smolt i videokameraene som i 2013, noe som gir støtte for at manøvreringen ga godt resultat også dette året.

Hovedkonklusjonen er at valideringen i 2013 viste at manøvrering av kraftverket og vannslipp basert på det utviklede modellverktøyet gjør at en høy andel (trolig i størrelsesorden 70-80 %) av smolten vandrer utenom Laudal kraftverk. Med noe overlevelse også for smolt som vandrer gjennom turbinene (se **kapittel 3.1.6**), kan opp mot 90 % av smolten produsert oppstrøms Dam Mannflå ha nådd sjøen uskadd.

Førsøkene i 2013 ga også kunnskap om smoltutvandringens størrelse i 2013 (**figur 14**). Bestandsestimatet ved Hesså var overraskende lavt (3015 smolt) ut fra at produksjonskapasiteten oppstrøms Mannflåvann har blitt estimert til minimum 12 500 smolt (Ugedal mfl. 2006). Bestandsestimatet ved Hesså vurderes som moderat sikkert med moderat store konfidensintervall. Både merkeantallet (312) og gjengefangst delen (15 %) var tilfredsstillende, mens ujevn fordeling av gjengefangstene og mulighetene for mer variabel fangstsannsynlighet enn det vi har estimert, bidrar til usikkerhet. Dessverre var gjengefangstene fra merkeforsøket basert på fisk fanget i fella i minstevannløpet så små at bestandsestimatet blir svært usikkert og med et svært bredt konfidensintervall (2550-20 810). Gjengefangstene i denne fella av smolt merket ved Hesså var høyere og ga et bestandsestimat på 7710 smolt, og et smalere konfidensintervall. I dette estimatet ligger det imidlertid inn en antagelse om at 20 % av den merkede smolten (tilsvarende den radiomerkede) hadde vandret inn i kraftverkstunellen og således ikke var tilgjengelig for gjengefangst. I tillegg kan noe smolt ha dødd på vei ut elva, gjennom Mannflåvann og ved dammen. Det er således betydelig usikkerhet i dette estimatet. Sammenlignet med estimatet ved Hesså, og sannsynlig smoltproduksjon i elvestrekningen fra Hesså til Mannflåvann og i Mannflåvann, er estimatet i minstevannløpet høyt. Det kan imidlertid ikke utelukkes at det har vært mer smolt i Mannflåvann enn det båtelfisket der ga inntrykk av.

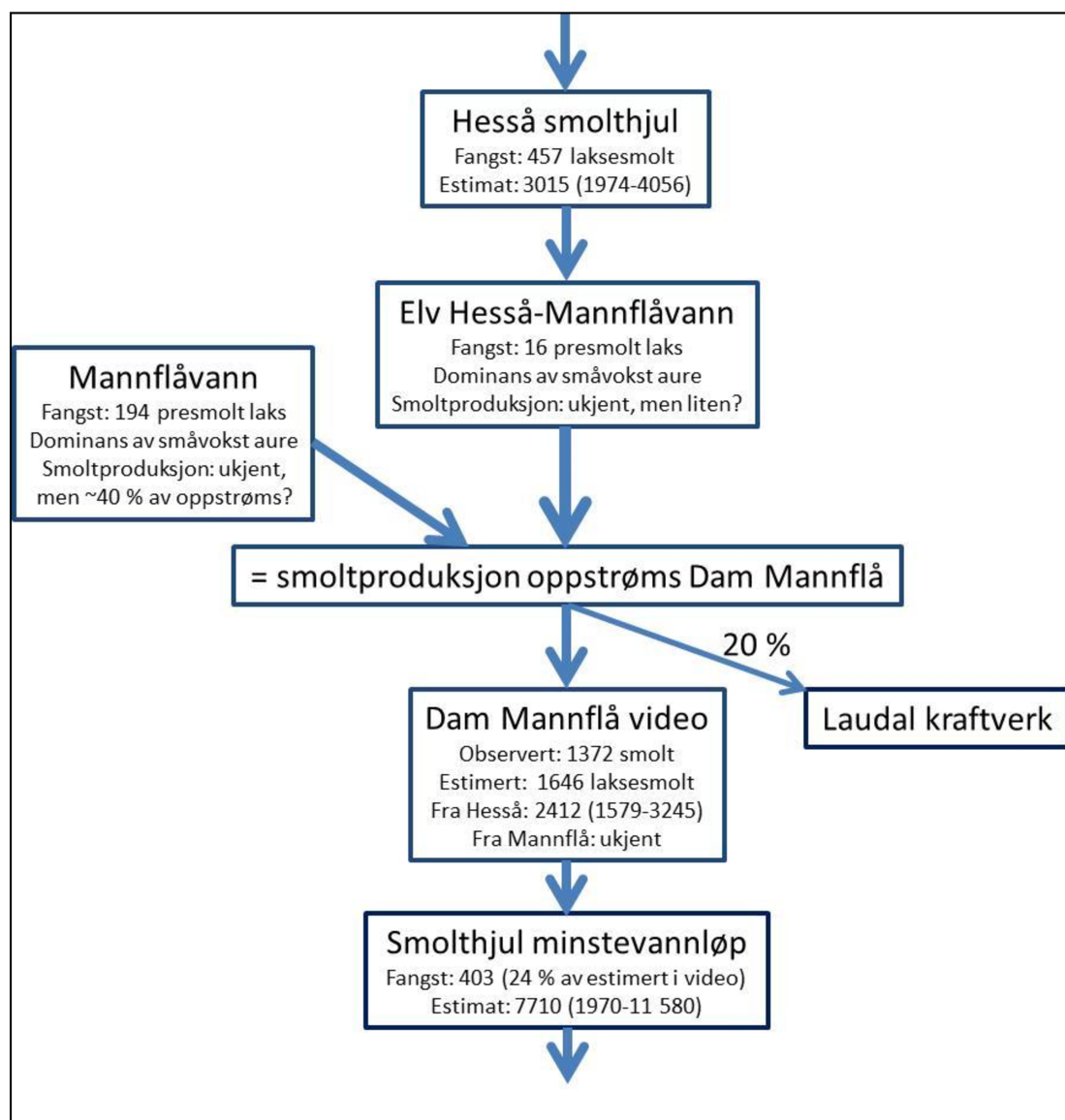
Videoregistreringene i Dam Mannflå ga bare moderat færre laksesmolt enn estimert ved Hesså og fordelingen av denne smolten mellom kraftverket og minstevannløpet (80 %) skulle tilsi (1646 vs 2412 smolt). Avviket blir større når vi tar hensyn til smolt produsert fra elvestrekningen fra Hesså til Mannflåvann (trolig liten) og som oppholdt seg i Mannflåvann (**figur 14**). Fangsten av laksesmolt i fella i minstevannløpet utgjorde 23 % av estimert utvandring gjennom luka. Dette er høyt sammenlignet med fangstsannsynligheten til merket smolt, som ble estimert til 3 % (for smolt merket og sluppet i minstevannløpet oppstrøms fella) og 5 % (for smolt merket og sluppet oppstrøms Hesså). Selv om den faktiske effektiviteten til fella kan ha vært høyere, framstår 23 % som høyt, når man også tar hensyn til at fella var ute av drift eller fungerte dårlig (starten av perioden) i flere dager. Både bestandsestimatene og fangsten i fella i minstevannløpet antyder at videotellingene, selv etter korrigeringen for dårligere observasjonsforhold om natta, underestimerer smoltutvandringen noe. Både vandring utenom luka (over damkrona), som kan ha vært større i 2013 enn tidligere år, og større utvandring i den mørke tiden av døgnet er mulige forklaringer.

Selv om videotellingene representerer et minimumstall, gir tellingene i 2013 sammen med bestandsestimatet ved Hesså (som er det sikreste av merke-gjengefangstestimatene) et signal om at smoltproduksjonen i øvre del av Mandalselva er lavere enn forventet (Ugedal mfl. 2006). Antall smolt som har blitt fanget i smoltfella i Hesså har også gått noe ned i de senere år i forhold til toppårene 2009-2011 (se **tabell 6**). Smoltobservasjonene over luka i Dam Mannflå ble mer enn halvert fra 2012 til 2013, men var på samme nivå som i 2011 (se **tabell 9**). Oppvandringen av gytelaks gjennom luka i Dam Mannflå har vært stor i flere år nå (upubliserte data fra Anders Lamberg og Jan Magne Gilje), og Vitenskapelig råd for lakseforvaltning har estimert at gytebestandsmålet har vært nådd i Mandalselva i alle år siden 2008 (Anon. 2013). Det er således sannsynlig at Mandalselva oppstrøms Dam Mannflå i utgangspunktet skal være fullrekrutert. Etter at det ble talt 1293 smolt med video i luka i 2011, ble det registrert nesten 1600 oppvandrende laks i 2012 (A. Lamberg, upubliserte data), hvorav over 600 fisk trolig stammet fra smoltutvandringen i 2011 (ensjøvinter). Selv om videoregistreringene kan underestimere smoltutvandringen (se overfor) er forholdene mellom disse tallene vanskelig å forstå. Mulige forklaringer på disse observasjonene er:

- Smoltproduksjonskapasiteten oppstrøms Mannflå er lavere enn estimert i Ugedal mfl. 2006.
- En ukjent faktor har gitt unormalt lav overlevelse fra egg til smolt i de siste år.
- Både merke-gjengefangstforsøket på Hesså (i 2013) og videotellingene (2011-13) underestimerer smoltutvandringen.

- Det vandrer opp mye voksenlaks forbi Dam Mannflå som ikke er produsert på strekningen oppstrøms.

Vi har ikke funnet resultater i effektovervåkingen av kalkingsprogrammet som tyder på svikt i kalking (Hindar mfl. 2012). Ungfiskundersøkelsene kan imidlertid antyde at det *kan* ha skjedd noe på strekningen Bjelland-Mannflå (egne vurderinger av resultater fra ungfiskundersøkelsene i Saksgård & Larsen 2012), men datagrunnlaget er ikke godt nok til å trekke konklusjoner om det kan ha vært overdødelighet hos laksunger i området. De andre forklaringene kan ikke undersøkes uten nye studier, og vi foreslår at det gjennomføres nye estimer av smoltutvandringens størrelse. Smoltfella ved Hesså og videoovervåkingen i dammen er gode oppsett som med små forbedringer i metodikk kan gi gode og utfyllende estimer. Det ble gjort et forsøk på å estimere smoltutvandringens størrelse på nytt i 2014, men vanskelige vannføringsforhold og problemer med smoltfella gjorde at forsøket ble stoppet. Videoregistreringene ble imidlertid også videreført, og utvidet med overvåking også i laksetrappa (som nå er åpnet), og resultatene vil foreligge senere i år.



Figur 14. Prinsippsskisse som viser smoltmengdene i ulike deler av Mandalselva oppstrøms minstevannstrekningen ved Laudal basert på undersøkelsesprogrammet våren 2013.

5 Referanser

- Anon. 2013.. Vedleggsrapport med vurdering av måloppnåelse for de enkelte bestandene. Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr 5b, 670 s.
- Bjorkstedt, E.P. 2005. DARR 2.0: updated software for estimating abundance from stratified mark-recapture data. U.S. Depart. Commer., NOAA Technical memorandum NMFS-SWFSC-368, 13 p.
- Bjorkstedt, E.P. 2010. DARR 2.0.2: DARR for R. (<http://swfsc.noaa.gov/textblock.aspx?Division=FED&id=3346>).
- Coutant, C.C. & Whitney, R.R., 2000. Fish behavior in relation to passage through hydropower-turbines: a review. Transactions of the American Fisheries Society, 129(2): 351-380
- Darroch, J.N. 1961. The two-sample capture-recapture census when tagging and sampling are stratified. Biometrika 48: 241-260.
- Dempson, J.B. & Stansbury, D.E. 1991. Using partial counting fences and a two-sample stratified design for mark-recapture estimation of an Atlantic salmon smolt population. North American Journal of Fisheries Management 11: 27-37.
- Ferguson, J.W., Absolon, R.F., Carlson, T.J. & Sandford, B.P., 2006. Evidence of delayed mortality on juvenile Pacific salmon passing through turbines. Transactions of the American Fisheries Society 135: 139-150
- Fjeldstad, H.P., Uglem, I., Diserud, O.H., Fiske, P., Forseth, T., Kvingedal, E., Hvidsten, N.A., Økland, F. & Järnegren, J. 2012. A concept for improving Atlantic salmon smolt migration past hydro power intakes. Journal of Fish Biology 81, 642-663.
- Halvorsen, M. 1996. Lake use by Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) parr and other salmonids in northern Norway. Dr. scient. thesis, Tromsø museum, Universitetet i Tromsø.
- Hesthagen, T. 2010 (redaktør). Etablering av nye laksestammer på Sørlandet. Erfaringer fra arbeidet i Mandalselva og Tovdalselva etter kalking. Dn-utredning 7-2010. 124 s.
- Hindar, A., Skancke, L.B., Høgåsen, T. & Høgberget, R.. 2012. Mandalselva. Vannkjemi. s. 80-83, I Kalking i laksevassdrag skadet av forsurening. Tiltaksovervåkning 2012. Miljødirektoratet Rapport M18-2012. 410 s.
- Hvidsten, N.A., Kroglund, F., Holst, J.Chr. & Johnsen, B.O. 2002. Undersøkelser av smoltøkologi i Mandalselva.-NINA Oppdragsmelding 730: 1-23.
- Hvidsten, N.A., Barlaup, B.T., Fiske, P. & Johnsen, B.O. 2010. Smolten i Mandalselva, utvandringstidspunkt, størrelse og alder i perioden 2001-09. - DN Utredning 7-2010: p. 83-90. Direktoratet for naturforvaltning (DN), Trondheim.
- Kraabøl, M., Arnekleiv, J.V., Johnsen, S.I. & Museth, J. 2009. Nedvandring av vinterstøing og smolt av Hunderfossørret ved Hunderfossen kraftverk. Anbefalinger om vannslipp og lukemanøvrering. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Rapport 4-2009, 18 s.
- Kvingedal, E., Forseth, T., Fjeldstad, H-P., Uglem, I. & Diserud, O. (2011). Smoltutvandring forbi Laudal kraftverk i Mandalselva: estimert effekt av ekstra vannslipp i 2009 og 2010. NINA Minirapport 339. 11 s.
- Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. –Bull. Fish. Res. Board. Can. 191. 382 s.
- Saksgård, R. & Larsen B.M. 2012. Mandalselva. Fisk. s. 83-85 I Kalking i laksevassdrag skadet av forsurening. Tiltaksovervåkning 2012. Miljødirektoratet Rapport M18-2012. 410 s.
- Schwarz, C.J. & Dempson, J.B. 1994. Mark-recapture estimation of a salmon smolt population. Biometrics 50: 98-108.
- Schwarz, C.J. & Seber, G.A.F. 1999. Estimating animal abundance: review III. Statistical Science 14: 427-456.

- Schwarz, C.J. & Taylor, C.G. 1998. The use of stratified-Petersen estimator in fisheries management: estimating the number of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) spawners in the Frasier River. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 55: 281-297.
- Strand, R. & Lamberg, A. 2014. Videoovervåkning av smoltutvandring over dammen i utløpet av Langvatnet i Fræna kommune i 2013. SNA-rapport 3/2014. 18 s.
- Uglen, I., Økland, F., Forseth, T., Diserud, O., Fiske, P., Thorstad, E.B., Hvidsten, N.A. & Berger, H.M. 2005. Smoltutvandring forbi Laudal kraftverk i Mandalselva. - NINA Rapport 13. 31 s.
- Ugedal, O., Larsen, B.M., Forseth, T. & Johnsen, B.O. 2006. Produksjonspotensial for laks i Mandalselva og vurdering av tap som følge av kraftutbygging. NINA Rapport 146. 45 s.
- Ugedal, O., Kroglund, F., Barlauo, B. & Lamberg, A. 2014. Smolt – en kunnskapsoppsummering. Miljødirektoratet Rapport M 136-2014. 128 s.



Norsk institutt for naturforskning (NINA) er et nasjonalt og internasjonalt kompetansesenter innen naturforskning. Vår kompetanse utøves gjennom forskning, utredningsarbeid, overvåking og konsekvensutredninger.

NINAs primære aktivitet er å drive anvendt forskning. Stikkord for forskningen er kvalitet og relevans, samarbeid med andre institusjoner, tverrfaglighet og økosystemtilnærming. Offentlig forvaltning, næringsliv og industri samt Norges forskningsråd og EU er blant NINAs oppdragsgivere og finansieringskilder.

Virksomheten er hovedsakelig rettet mot forskning på natur og samfunn, og NINA leverer et bredt spekter av tjenester gjennom forskningsprosjekter, miljøovervåking, utredninger og rådgiving.

ISSN:1504-3312
ISBN: 978-82-426-2685-1

Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Sluppen, 7485 Trondheim

Besøks/leveringsadresse: Høgskoleringen 9, 7034 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00, Telefaks: 73 80 14 01

E-post: firmapost@nina.no

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>

Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger