

Smoltutvandring forbi Laudal kraftverk i Mandalselva

Ingebrigt Uglem
Finn Økland
Torbjørn Forseth
Ola Diserud
Peder Fiske
Eva B. Thorstad
Nils Arne Hvidsten
Hans Mack Berger



NINAs publikasjoner

NINA Rapport

Dette er en ny, 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 og populærfaglige bøker og tidsskrifter.

Norsk institutt for naturforskning

Smoltutvandring forbi Laudal kraftverk i Mandalselva

Ingebrigt Uglem

Finn Økland

Torbjørn Forseth

Ola Diserud

Peder Fiske

Eva B. Thorstad

Nils Arne Hvidsten

Hans Mack Berger

Uglem, I., Økland, F., Forseth, T., Diserud O., Fiske, P., Thorstad, E.B., Hvidsten, N.A. & Berger, H.M. 2005. Smoltvandring forbi Laudal kraftverk i Mandalselva - NINA Rapport 13. 31 pp.

Trondheim, januar 2005

ISSN: 1504-3312

ISBN: 82-426-1527-6

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

REDAKSJON

Torbjørn Forseth

KVALITETSSIKRET AV

Odd Terje Sandlund

ANSVARLIG SIGNATUR

Forskningssjef Odd Terje Sandlund (sign.)

OPPDRAGSGIVER(E)

Agder Energi Produksjon

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER

Martin Lysne

FORSIDEBILDE

Ingebrigt Uglem

NØKKEWORD

Laksesmolt, telemetri, vandring, vandringshindre, kraftverk

KEY WORDS

Atlantic salmon smolt, telemetry, migration barriers, hydropower

KONTAKTOPPLYSNINGER

NINA Trondheim

NO-7485 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00

Telefaks: 73 80 14 01

NINA Oslo

Postboks 736 Sentrum

NO-0105 Oslo

Telefon: 73 80 14 00

Telefaks: 22 33 11 01

NINA Tromsø

Polarmiljøsentret

NO-9296 Tromsø

Telefon: 77 75 04 00

Telefaks: 77 75 04 01

NINA Lillehammer

Fakkeltgården

NO-2624 Lillehammer

Telefon: 73 80 14 00

Telefaks: 61 22 22 15

<http://www.nina.no>

Sammendrag

Uglem, I., Økland, F., Forseth, T., Diserud O., Fiske, P., Thorstad, E.B, Hvidsten, N.A. & Berger, H.M. 2005. Smoltvandring forbi Laudal kraftverk i Mandalselva - NINA Rapport 13. 31 pp.

Denne rapporten presenterer modeller for hvordan vannføring kan manipuleres for å minimalisere tapet av smolt i Laudal kraftverk i Mandalselva.

Utvandrende laksesmolt har to alternative vandringsruter nederst i Mannflåvann i Mandalselva. Smolten kan enten vandre gjennom kraftverkstunnelen ved Laudal kraftverk, og mest sannsynlig bli drept i turbinene, eller vandre ned elva gjennom minstevannføringsløpet (det opprinnelige elveleiet). Vannføringen i minstevannføringsløpet er ved normale nedbørsmengder $3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ om våren, og kjøring av kraftverket varierer mellom 60 og $110 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Hensikten med undersøkelsen var å kartlegge utvandringsruten for radiomerket laksesmolt når kraftverket ble kjørt som normalt (2003) og deretter å undersøke om smoltens valg av utvandringsrute kan påvirkes gjennom regulering av vannføring i tunnel og minstevannføringsløp (2004). I tillegg ble det laget en modell for estimering av omfang og tidspunkt for smoltutvandring basert på smoltfangstdata fra perioden 2001 til 2004.

I 2003 ble 50 laksesmolt radiomerket og sluppet i elva 07.05 rett ovenfor innløpet til Mannflåvann. Smoltens bevegelser ble registrert i perioden 08.05 til 06.06 ved daglig manuell peiling og ved hjelp av to automatiske dataloggestasjoner, én ved inntaket til Laudal kraftverk og én i minstevannføringsløpet. Vannføringen i kraftverket varierte mellom 85 og $110 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, mens vannføring i minstevannføringsløpet var $3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, med unntak av to perioder med kraftig nedbør. Av 50 merkede smolt gikk 19 ut av Mannflåvann. Av disse vandret 17 gjennom tunnelen i Laudal kraftverk, mens 2 vandret ned minstevannføringsløpet. Resultatene fra 2003 tyder derfor på at en svært høy andel av smolten går gjennom tunnelen ved ordinær drift av Laudal kraftverk.

I 2004 ble 95 smolt merket og satt ut på tre lokaliteter i perioden 29.04 til 22.05. Total vannføring og fordeling av denne ble regulert ved fire anledninger mellom 08.05 og 24.05 for å undersøke om varierende vannføring i tunnel og minstevannføringsløp påvirket smoltens valg av utvandringsrute. Smoltens bevegelser ble overvåket på samme måte som i 2003. I løpet av hele perioden gikk 70 radiomerkede smolt ut av Mannflåvann, 32 i tunnelen og 38 ned minstevannføringsløpet. Sammenlignet med 2003 var vannstanden i Mannflåvann en halv meter høyere og den totale vannføringen i vassdraget vesentlig lavere. Kombinasjonen lav total vannføring og høy vannstand skapte trolig mindre overflatestrøm inn mot tunnelen og bidro til at færre fisk gikk inn i tunnelen i 2004 enn 2003.

Basert på resultatene fra 2004, og ved hjelp av en multivariat regresjonsanalyse, utviklet vi en utvandringsrutemodell. Det var flere faktorer som påvirket smoltens valg av utvandringsrute, og de viktigst var *total vannføring*, *andel av total vannføring i minstevannføringsløp*, *smoltifiseringsstatus* og *tid på døgnet for utvandring*. I store trekk viste resultatene at andelen av smolten som vandret minstevannføringsløpet gikk ned når total vannføring økte, og at en økt andel av total vannføring i minstevannføringsløp førte til at færre smolt gikk i tunnelen. Det var også en tendens til at smolt som gikk i tunnelen var mindre smoltifisert enn smolt som gikk i minstevannføringsløpet. Videre gikk smolten i minstevannføringsløpet relativt spredt over døgnet, mens fisk som gikk i tunnelen gjorde dette hovedsakelig om natten.

Forutsatt at en prognose for størrelse og tidspunkt for smoltutvandring foreligger kan følgende scenarier settes opp:

- **Sporadisk smoltutvandring:** Vannføring i minstevannføringsløp kan holdes på et minimum og kraftverket kjøres maksimalt.
- **Middels til stor smoltutvandring – små vannreserver:** Total vannføring holdes så lav som mulig, noe som betyr at vann magasineres lenger oppe i elva. En høy andel av

den utvandrende smolten vil gå minstevannføringsløpet, selv om andelen av total vannføring i minstevannsføringsløpet er lav.

- **Middels til stor smoltutvandring – normale vannreserver:** Andel vannføring i minstevannføringsløp holdes over 40-50% av total vannføring, som på sin side holdes så lav som mulig. Forutsetter at det er kapasitet å magasinere vann lenger opp i elva.
- **Middels til stor smoltutvandring – store vannreserver:** Andel av total vannføring i minstevannføringsløpet bør være så stor som mulig.
- **Stor smoltutvandring:** Fordeling av vann til minstevannsføringsløp bør være så stor som mulig, uavhengig av total vannføring. Toppene i smoltutvandringen tenderer til å være relativt kortvarige (noen dagers varighet) og et alternativ kan være å stenge kraftverket under disse periodene – eller holde vannføringen i tunnelen på et minimum.

Utvandringsrutemodellen kan brukes for å påvirke smoltens valg av utvandningsrute fra Mannflåvann gjennom å regulere total vannføring og andelen som føres ned minstevannføringsløpet. Bruk av utvandningsrutemodellen forutsetter imidlertid en smoltutvandningsprognose, noe som kan skaffes ved å modellere tidspunkt og størrelse på utvandringen fra aktuelle miljøvariabler og/eller å kontinuerlig overvåke smoltutvandringen ovenfor Mannflåvann. Smoltutvandningsmodellen (basert på data fra 2001-03) som ble laget for å forutsi hvor mye av smolten som hver dag ankommer Mannflåvann, forutsa det generelle mønstret i utvandringen i 2004 på en brukbar måte. Modellen var imidlertid basert på data fra en felle som var plassert nedenfor utløpet av kraftverket og en ny modell med betydelig høyere forklaringsgrad ble derfor tilpasset utvandningsdataene fra 2004.

Både utvandningsrute- og smoltutvandningsmodellen for 2004 er basert på et relativt lavt antall fisk. Vannstanden i Mannflåvann var høyere og vannføringen lavere enn normalt i 2004. Det vil derfor være fordelaktig at modellene verifiseres og utvikles videre ved ytterligere innsamling av utvandningsdata, spesielt ved høyere total vannføring enn i 2004. Om mulig anbefaler vi at Mannflåvann holdes permanent på vintervannstand ut mai, siden dette antageligvis vil resultere i et mer gunstig strømbilde i utløpet av vannet.

Ingebrigt Uglem, Finn Økland, Torbjørn Forseth, Ola Diserud, Peder Fiske, Eva B. Thorstad, Nils Arne Hvidsten & Hans Mack Berger, Norsk institutt for naturforskning, Tungasletta 2, 7485 Trondheim. ingebrigt.uglem@nina.no

Abstract

Uglem, I., Økland, F., Forseth, T., Diserud O., Fiske, P., Thorstad, E.B., Hvidsten, N.A. & Berger, H.M. 2005. Migration of salmon smolts through Laudal Power Plant in River Mandalselva - NINA Report 13. 31 pp.

Here we develop models for manipulation of water flows that can be used to minimize salmon smolt mortality in Laudal Power Plant in the River Mandalselva

Descending Atlantic salmon smolts have two alternative migration routes when they arrive at the lower part of Lake Mannflåvann in River Mandalselva. The smolts may migrate through the tunnel in Laudal Power Plant, and most likely be killed when passing the turbines, or they may migrate down the residual flow stretch. The residual flow is maintained at $3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ under normal conditions during the spring months, while the flow through the tunnel varies between 60 and $110 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. In this study we first recorded the migration route when the power plant was operated at normal flows without manipulation (2003). Secondly, we tested if the choice of migration route could be influenced by manipulating the flow in the tunnel and the residual flow (2004). In addition, a smolt migration model was developed based on data from a smolt trap during 2001-04. This model was designed to estimate the time of arrival in Lake Mannflåvann for salmon smolts.

In 2003 radio tagged salmon smolts ($n = 50$) were released 7 May above the inlet of Lake Mannflåvann. The movements of the tagged fish were recorded between 8 May and 6 June by daily manual tracking and by the use of two automatic data loggers, one placed at the inlet of the power plant tunnel and the second in the residual flow stretch. The water flow in the power plant varied between 85 and $110 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, while the residual flow was $3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, with the exception of two shorter periods with heavy rain. In total, 19 out of 50 tagged smolts migrated out of Lake Mannflåvann. Seventeen of these migrated through the tunnel, while only two fish migrated down the residual flow stretch. Hence, the results from 2003 indicated that a high proportion of the migrating smolts enter the tunnel under normal operation of the power plant.

In 2004 tagged smolts ($n = 95$) were released at three locations above the outlet of Lake Mannflåvann between the 29th of April and the 22nd of May. The flow in the river was manipulated during four periods between the 8th and the 24th of May, to examine how allocation of flow between the tunnel and the residual flow stretch affects the proportion of smolt entering the tunnel. The total flow was lower in 2004 than in 2003, and varied between 20 and $80 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Fish movements were surveyed as in 2003. During the surveillance period 70 tagged smolts migrated out of Lake Mannflåvann; 32 through the tunnel and 38 down the residual stretch. The water level in Lake Mannflåvann was 0.5 m higher in 2004 than in 2003, probably creating more favorable hydraulic conditions at the outlet of the lake (i.e. weaker directed surface currents towards the tunnel). This may have contributed to the higher proportion of smolts migrating down the residual flow stretch in 2004 than 2003.

A migration route model developed by multivariate regression analysis on the data from 2004 showed that several factors co-varied in determining the choice of migration route. The most relevant of these factors were *total flow*, *proportion of residual flow*, *smoltification status* and *time of the day*. The analysis showed that the proportion of smolts migrating down the residual flow stretch decreased when the total flow increased and that an increased proportional residual flow resulted in a lower proportion of the smolts entering the tunnel. It was also a significant trend that smolts migrating through the tunnel were less smoltified than smolts moving into the residual flow stretch. Furthermore, the diurnal pattern for migration differed between the residual flow stretch and the tunnel, with smolts entering the residual flow stretch almost at all hours of the day, whereas smolts entered the tunnel mainly during nighttime.

In general, the model suggest the following alternatives for operation of the power plan under different flow scenarios, under the assumption that the size and time of the smolt run can be predicted:

- **Sporadic migration of smolts:** the water flow in the river should be kept at a minimum, while the power plant is operated at maximum capacity.
- **Medium to large migration of smolts – low water reserves in the river system:** The total flow should be kept at a minimum, while that water is stored in upstream reservoirs. A high proportion of the smolts will enter the residual flow stretch even though the proportion of residual flow is relatively low.
- **Medium to large migration of smolts – low water reserves in the river system:** The proportion of the flow directed down the residual flow stretch should be kept at 40 – 50 % of the total flow, while the total flow should be kept as low as possible. Thus, upstream reservoirs must have capacity for holding water.
- **Medium to large migration of smolts – large water reserves:** The proportion of the total flow directed down the residual flow stretch should be as high as possible.
- **Large migration of smolts:** The proportion of the flow directed to residual flow should be as high as possible, irrespective of total flow. The peaks in smolt migration are short (a few days) and the power plant could, if feasible, be stopped during these periods.

The migration route model demonstrates how distribution of water to power production and residual flow influence the probability of smolt entering the tunnel. However, application of the model in operation of the power station depends on reliable prognosis for the daily rate of smolt migration. Such knowledge can be obtained by modeling the size and the time of the smolt run based on environmental parameters, or by continuous surveillance of the migration above Lake Mannflåvann. Based on data from 2001-03, a model was developed for prediction of size and time of smolt migration. This model described the overall migration pattern for 2004 fairly well. However, since the model was based on data from a smolt trap downstream the power station we developed a new and improved model from the 2004 data.

It should be emphasized that both the migration route and smolt migration models are based on data from a relatively low number of fish. Moreover, the water level in Lake Mannflåvann was maintained at a higher level than normal, whereas the water flow was low compared to average flow in the river. We therefore recommend further verification and/or development of the models by collection of migration data for a higher number of fish, and for periods with higher total flow. It should also be considered to permanently maintain a higher water level in Lake Mannflåvann until the end of May, since this probably will result in a current pattern that will facilitate smolt migration down the residual flow stretch

Ingebrigt Uglem, Finn Økland, Torbjørn Forseth, Ola Diserud, Peder Fiske, Eva B. Thorstad, Nils Arne Hvidsten & Hans Mack Berger, Norwegian Institute for Nature Research, Tungasletta 2, N-7485 Trondheim. ingebrigt.uglem@nina.no

Innhold

Sammendrag	3
Abstract	5
Innhold	7
Forord	8
1 Innledning	9
2 Områdebeskrivelse	11
3 Materiale og metoder	12
3.1 Fangst av laksesmolt	12
3.2 Merking	12
3.3 Registrering av laksen etter merking	14
3.4 Miljødata	14
3.5 Resultatbehandling - vandringsdata	14
3.6 Modellering av smoltens valg av utvandningsrute (utvandningsrutemodellen)	16
3.7 Modellering av tidspunkt for smoltutvandring (smoltutvandningsmodellen)	17
4 Resultater	18
4.1 Utvandningsmønster ved ordinær kjøring av kraftverk (2003)	18
4.1.1 Vandring ut av Mannflåvann	18
4.2 Utvandningsmønster ved manipulering av vannføring (2004).....	19
4.2.1 Faktorer som påvirker vandringsruten i 2004	19
4.2.2 Modell for valg av utvandningsrute (Utvandningsrutemodellen).....	21
4.2.3 Modellering av tidspunkt for smoltutvandring (Smoltutvandningsmodellen)	23
5 Diskusjon	27
5.1 Fangst, merking og vandringsvillighet	27
5.2 Valg av utvandningsrute – 2003.....	27
5.3 Valg av utvandningsrute – 2004.....	28
6 Forslag til oppfølging av prosjektet	30
7 Referanser	31

Forord

Etter at en laksestamme igjen har begynt å etablere seg i Mandalsvassdraget er det reist spørsmål om smolten under utvandring til sjøen klarer å følge det gamle elveløpet, eller blir trukket inn gjennom kraftverkstunnelen og turbinene ved Laudal kraftverk, noe som kan medføre betydelig dødelighet. I en undersøkelse i 2003 ble kraftverket kjørt med tilnærmet maksimal driftsvannføring, noe som viste at majoriteten av smolten gikk i tunnelen. På forhånd ble det bestemt at hvis denne manøvreringen viste seg å ikke være akseptabel fordi en høy andel fisk vandret gjennom turbinen, skulle andre testsituasjoner prøves ut i 2004, med redusert kjøring av kraftverket og økt vannføring i minstevannføringsløpet. Hensikten var å undersøke om smoltens utvandningsrute kunne styres ved regulering av vannføringen. Resultater og konklusjoner fra undersøkelsene i 2003 og 2004 presenteres i denne rapporten. I tillegg ble resultater fra smoltfangst ved hjelp av smolthjul ved Finså klekkeri i periode 2001 til 2003 brukt for å lage en modell for prediksjon av tidspunkt og omfang av smoltutvandring. Denne modellen ble verifisert basert på resultatene fra smoltfangsten i 2004 ved Hesså.

Agder Energi Produksjon var oppdragsgiver og finansierte prosjektet. Martin Lysne (Agder Energi Produksjon) hjalp til med fangst av smolt for merking og Sigurd Haraldstad bistod under planlegging og merking av fisken i 2003. Dagfinn Laudal og Bjørn Ivar Birkeland utførte peiling av radiomerket fisk og drift av dataloggestasjoner i feltperioden både i 2003 og i 2004. Bjørgulf Foss var ansvarlig for drift av smoltfella i 2004. Finså klekkeri lånte ut transportkar og oksygen til transport av fisk. Kari Sivertsen laget figur 2 og 6. Frode Kroglund, NIVA, bidro med data for surhetsgrad i elva. Daniel Laudal bistod også ved merking og utsetting av fisk. Vi vil takke alle disse for god hjelp og et svært godt samarbeid.

Trondheim, januar 2005

Torbjørn Forseth
Prosjektleder

1 Innledning

Mandalsvassdraget (**figur 1 og 2**) er sterkt negativt påvirket av sur nedbør. Elva var tidligere ei god lakseelv, men den stede egne laksestammen er utdødd på grunn av forsuringen. Etter fullkalking av vassdraget er målsettingen er å få tilbake et tilnærmet normalt fungerende økosystem i vassdraget, slik det var før forsuringen startet. Et delmål er å bygge opp igjen en selvreproduserende laksebestand (*Salmo salar* L.). Ungfiskundersøkelser i perioden fra 1997 til 2002 viser at en slik bestand nå er i ferd med å etablere seg i vassdraget (Mejdell Lasen m. fl. 2004).

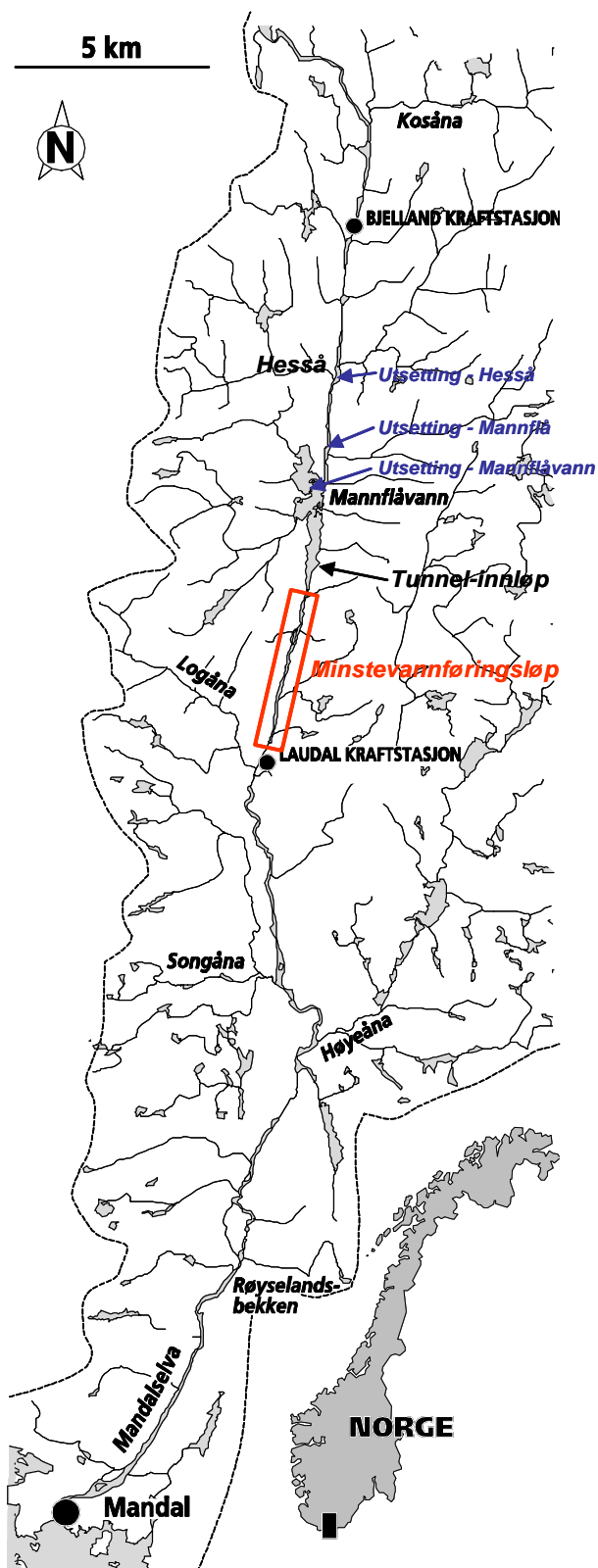
Produksjon av laks og sjørret (*Salmo trutta* L.), samt muligheter for fiske øverst i Mandalsvassdraget (over Mannflåvann), er imidlertid avhengig av 1) at oppvandrende fisk kan passere den regulerte strekningen Laudal-Mannflåvann og ikke forsinkes i forhold til gyte- og fiske-sesong, og 2) at nedvandrende smolt kan passere strekningen ut til sjøen i live og uskadd.

På den 6 km lange elvestrekningen mellom Laudal og Mannflåvann er vannføringen redusert fordi vannet ledes i tunnel gjennom Laudal kraftstasjon fra utløpet av Mannflåvann og ned til Laudal. For å beholde vannspeil og å gi et rimelig stort vanddekt areal for fisk, er det bygd flere terskler i det opprinnelige elveløpet (minstevannføringsløpet). Undersøkelser av oppvandring hos voksen laks i 1996 og 1997 viste at laksen ble hindret og forsinket i oppvandringen på denne strekningen, trolig på grunn av en kombinasjon av lav vannføring og mange terskler (Thorstad & Heggberget 1997, Thorstad & Hårsaker 1998).



Figur 1. A) Terskel ved utløp av Mannflåvann ved minstevannføring (ca. $3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Fisketrappa sees i midten av bildet og luke for regulering av vannstand i vannet skimtes ned til høyre. Mannflåvann er holdt på vintervannstand. **B)** Inntak for Laudal kraftverk i Mannflåvann ved lav vannføring. Overflatestrømmen er relativt svak i forhold til ved høy vannføring.

Utvandrende laksesmolt fra områdene ovenfor Mannflåvann har to alternative utvandningsruter. De kan enten vandre gjennom Laudal kraftverkstunnel, eller over terskelen i utløpet av Mannflåvann og ned det gamle elveløpet (minstevannføringsløpet) (**figur 1**). I 2003 var hensikten med undersøkelsen å kartlegge utvandningsruten for laksesmolt når kraftverket ble kjørt med tilnærmet full kapasitet ($110 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Dersom det viste seg at en uakseptabel høy andel av smolten vandret gjennom tunnelen i Laudal kraftverk, noe som antas å føre til høy dødelighet, skulle det i 2004 undersøkes hvordan smoltens utvandningsrute kan påvirkes ved regulering av vannføring i tunnel og minstevannføringsløp.



En annen målsetning med prosjektet var å benytte data fra fangst av laksesmolt i en smoltfelle ved Finså klekkeri i årene 2001 til og med 2003 for å lage en modell for prediksjon av tidspunkt og omfang for utvandring av smolt (smoltmodellen). Denne modellen skulle deretter testes basert på resultatene fra smoltfangst ved Hesså i 2004. Hensikten med smoltmodellen var å skaffe til veie løpende informasjon om tidspunkt og størrelse på smoltutvandringen i Mandalselva, slik at tiltak for å påvirke smolten valg av utvandringsrute kan settes inn i kortere perioder med maksimal effekt.

Figur 2. Mandalsvassdraget. Utsettingslokaliteter er indikert i blått og minstevannføringsløp er indikert med rød ramme

2 Områdebeskrivelse

Mandalsvassdraget (**figur 2**) har utspring i fjellene mellom Ose i Setesdalen og øvre Sirdal og ligger i fylkene Vest-Agder og Aust-Agder. Vassdraget er 115 km langt og har gjennomsnittlig bredde på 15 m. Nedbørsfeltet er 1 800 km². Mandalselva renner ut fra Ørevann og gjennom kommunene Åseral, Audnedal, Marnardal og Mandal. Utløpet ved Mandal har middelvannføring på ca 88 m³ s⁻¹. Blant store tilløpselver til Mandalselva er Monn, Logna, Skjerka, Kosåna og Log-åna.

Seks kraftstasjoner er bygd i vassdraget: Logna, Smeland, Skjerka, Håverstad, Bjelland og Laudal (Larsen & Haraldstad 1994). Kun Bjelland og Laudal ligger i lakseførende strekning. På strekningen mellom inntaket og utløpet til Bjelland Kraftstasjon, har vannføringen bestått av kun naturlig tilsig fra Kosåna. Fra og med 1997 ble det bestemt at vannføring på denne strekningen aldri skal være mindre enn 2 m³ s⁻¹ om sommeren og 1 m³ s⁻¹ om vinteren.

På den seks km lange elvestrekningen mellom inntaket til Laudal kraftstasjon ved Mannflåvann og utløpet ved Laudal er minstevannføringen 3,0 m³ s⁻¹ om sommeren og 1,5 m³ s⁻¹ om vinteren. På strekningen Laudal-Mannflåvann er det bygd 12 terskler. Minstevannføringen fra Laudal kraftstasjon skal være minst 15 m³ s⁻¹ når tilsiget til Mannflåvann er mer enn dette. Når tilsiget fra Mannflåvann er mindre og verket stoppes, skal det slippes minst 8 m³ s⁻¹ fra Mannflåvann, men ikke mer enn naturlig tilsig. Maksimal driftsvannføring ved Laudal kraftstasjon er 110 m³ s⁻¹ (Heggenes & Saltveit 1992).

I Mandalsvassdraget finnes laks, sjøørret, stasjonær ørret, abbor (*Perca fluviatilis*), ål (*Anguilla anguilla*) og bekkerøye (*Salvelinus fontinalis*). Fiskebestandene i vassdraget er sterkt negativt påvirket av surt vann (Heggenes & Saltveit 1992). Mandalselva var fra gammelt av ei god lakseelv. I 1890 var rapportert fangst 34 tonn laks og sjøørret, men allerede i 1914 ble det rapportert om massedød av laks på grunn av forsuring. Den stede egne laksebestanden er nå utdødd (Anon. 1994). Sjøørretbestanden har overlevd, men tettheten av ungfisk har vært lav (Anon. 1994). Undersøkelser av ungfisk i perioden fra 1997 til 2002 viser at en laksebestand nå er i ferd med å etablere seg i vassdraget igjen. I Mandalselva kan laks og sjøørret vandre opp til Kavfossen, 48 km fra elvemunningen.

3 Materiale og metoder

3.1 Fangst av laksesmolt

I 2003 ble laksesmolt fanget ved bruk av elektrisk fiskeapparat i Kosåna 06.05. Om lag 100 fisk ble fanget slik at de største kunne velges ut til forsøket. Fisken ble umiddelbart transportert i en tank med oksygenert vann til oppbevaringsbur i elva rett ovenfor innløpet til Mannflåvann. I 2004 ble fisken fanget i en smoltfelle (**figur 3**) ved Hesså i perioden 28.04 – 22.05. Smolten ble, umiddelbart etter at de var tatt ut av fangstkassen, satt i oppbevaringsbur like ved smolt-hjulet. Maksimal oppholdstid i burene var 5 dager, men de fleste merkede fiskene ble holdt mindre enn tre dager i oppbevaringsbur før merking.



Figur 3. Smoltfella ved Hesså.

Vekt, lengde og smoltstatus ble registrert for hver enkelt fisk (**tabell 1**). Smoltstatus ble klassifisert etter en skala fra 1 til 3, 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 smoltstatus 1 ble ikke radiomerket. På grunn av en lav utvandningsandel av merket fisk i 2003, ble kun fisk større enn 12 cm og med en smoltindeks på 2,5 til 3 merket i 2004.

3.2 Merking

To typer sylindriske radiosendere ble benyttet. Den minste radiosenderen (modell F1410, Advanced Telemetry Systems, ATS) var 15 mm lang, 7 mm i diameter og veide 1,0 g i luft. Garantert levetid var 14 dager. Den største radiosenderen (modell F1420, ATS) var 16 mm lang, 8 mm i diameter og veide 1,3 g i luft. Garantert levetid var 28 dager. Signalene var for begge sendertypene i frekvensområdet 142.000-142.500 MHz. Hver enkelt fisk ble identifisert ved en unik kombinasjon av frekvens og pulsrate.

Tabell 1. Oversikt over merket smolt i 2003 og 2004.

Utsettingsdato	N	Utsett. Lok.	<u>Lengde</u> (mm)		<u>Vekt (g)</u>		<u>Smoltindeks</u>		<u>K-faktor</u>	
			Snitt	StAv	Snitt	StAv	Snitt	StAv	Snitt	StAv
07.05.2003	50	Mannflå	12,5	1,3	17,0	5,1	2,3	0,5	0,86	0,11
29.04.2004	6	Hesså	14,0	1,1	19,8	4,5	2,3	0,4	0,72	0,06
03.05.2004	19	Mannflå	14,1	0,8	21,4	3,7	2,8	0,3	0,75	0,05
04.05.2004	24	Hesså	14,3	0,9	22,5	4,6	2,7	0,3	0,77	0,05
09.05.2004	10	Hesså	15,5	2,1	30,6	14,6	2,9	0,2	0,77	0,07
10.05.2004	5	Hesså	14,7	1,2	25,4	6,2	3,0	0,0	0,79	0,03
11.05.2004	3	Hesså	13,9	0,2	20,7	1,5	2,7	0,3	0,76	0,03
16.05.2004	10	Mannflå	14,3	0,5	22,7	3,0	2,7	0,2	0,77	0,03
22.05.2004	18	Mannflåvann	14,1	0,8	20,7	4,1	2,9	0,3	0,73	0,05
Total 2004	95		14,4	0,9	23,0	5,3	2,7	0,3	0,76	0,05

Før operasjonen ble fisken lagt i bedøvelse (0,5 ml 2-phenoxy-ethanol per liter vann) i ca 3 minutter inntil gjelleventilasjonen var langsom og urytmisk. Radiosenderen ble lagt inn i bukholen på fisken gjennom et 10-12 mm langt snitt i framkant av bukfinnene. Trådantennen ble ført gjennom bukveggen med en skarp kanyle, slik at antennen ble hengende langs siden på utsiden av fisken. Snittet ble lukket med to-tre separate sting med silkesutur (**figur 4**). Hele operasjonen tok to til tre minutter. Alt kirurgisk utstyr og radiosenderne ble desinfisert i 70 % alkohol før operasjonen. Før fisken ble satt ut i elva ble de satt i et kar med rent elvevann inntil de var i stand til å svømme normalt. Ingen dødelighet ble observert under eller umiddelbart etter operasjonene, men to smolt ble avlivet etter å ha blitt operert i 2004 på grunn av unormal atferd like etter oppvåkning fra bedøvelsen.



Figur 4. Lukking av snitt på merket smolt (Foto: Daniel Laudal)

3.3 Registrering av laksen etter merking

Radiomerket laksesmolt ble manuelt peilet fra utsettingsplassen og ned til utløpet av Mannflåvann fra bil hver dag i periodene 08.05 til 06.06.03 og 29.04 til 31.05.04 (radiomottaker modell R2100, ATS). Fram til 16.05.03 ble fisken også peilet fra båt i Mannflåvann, men peiling fra faste stasjoner langs bredden viste seg å være raskere og flere fisk ble funnet. Derfor ble all peiling etter dette, både for resten av 2003 og for 2004, foretatt fra bil. I 2003 ble minstevannføringsløpet peilet daglig etter 16.05, mens minstevannføringsløpet i 2004 ble peilet en til fire ganger daglig i perioder der enten vannføringen var høy eller manuell peiling i Mannflåvann indikerte at en kunne forvente utvandring av smolt. Ved peiling ble fisken posisjonert til nærmeste 200 m, med unntak av området nær tunnelinntaket, der fisken ble posisjonert til nærmeste 50 m. Posisjonene til hver enkelt fisk ble plottet på et kart med målestokk 1 : 50 000.

To dataloggestasjoner (SRX_400, Lotek Wireless Inc.) registrerte automatisk når den radiomerkede fisken kom innenfor rekkevidde av antennen (9-element Yagi antenne). En dataloggestasjon ble satt opp ved inntaket til kraftverkstunnelen og den andre i minstevannføringsløpet, ca. 1600 m nedenfor utløpet i Mannflåvann. På grunn av variabel radiostøy på flere frekvenser, måtte følsomheten i dataloggerne justeres ved flere anledninger og loggernes rekkevidde varierte. Stasjonen ved tunnelinntaket dekket et område på 250 - 350 m oppover fra inntaket og 200 - 250 m nedover. Stasjonen i minstevannføringsløpet registrerte signaler opp til 300 - 950 m oppover og 200 - 550 m nedover elva. Estimatenes av rekkevidden var basert på kalibrering av loggerne opp mot testsendere plassert på 15 - 20 cm dyp.

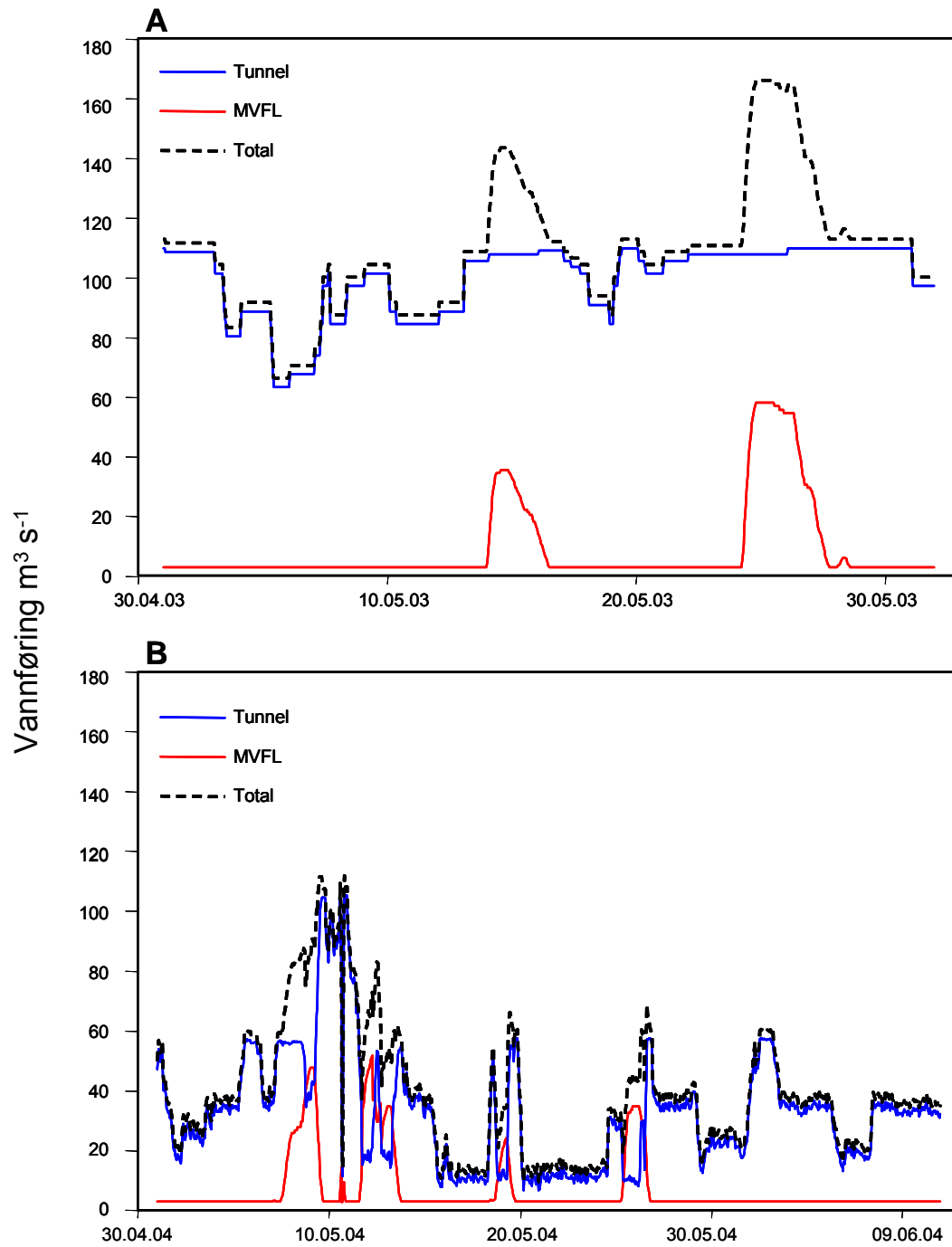
3.4 Miljødata

I 2003 varierte vannføringen i kraftverkstunnelen mellom 80 og 110 m³ s⁻¹ i store deler av observasjonsperioden, mens vannføringen i minstevannføringsløpet kun i to perioder var vesentlig høyere enn 3 m³ s⁻¹ (**figur 5**). I 2004 var total vannføring generelt lavere enn i 2003 og fordeling av vann mellom tunnel og minstevannføringsløp ble ved fire anledninger kunstig manipulert (**figur 5**). For å muliggjøre regulering av vannføringen ble vannstanden i Mannflåvann holdt på vintervannstand ut mai, dvs. 0,5 m høyere enn sommervannstand. Dette påvirket trolig strømbildet utenfor tunnelinntaket slik at overflatestrømmen like utenfor inntaket ble svakere enn vanlig. Videre førte problemer med reguleringsluka i terskelen i utløpet til at opp eller nedjustering av vannføringen i Mannflåvann gikk senere enn antatt og at vannføringen ved ulike settinger ble mer variabel enn forventet.

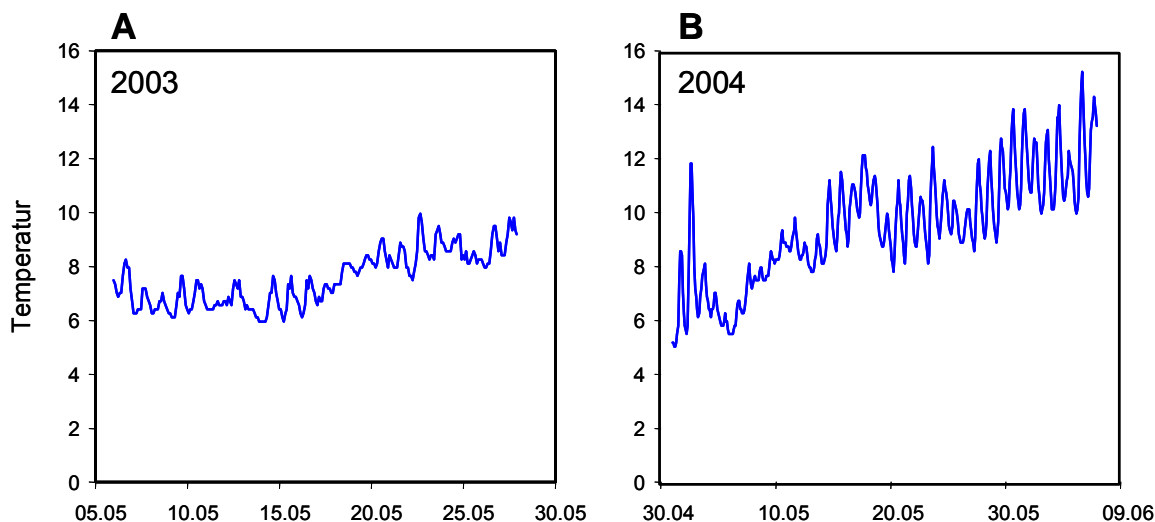
Temperaturen økte utover i sesongen både i 2003 og 2004 (**figur 6**). Generelt var gjennomsnittstemperaturen i forhold til tid på sesongen relativt lik mellom de to årene, men variasjonen var større i 2004 enn i 2003. Dette kan skyldes at loggerne var plassert på to steder i elva de ulike årene. pH målt nedstrøms for kalkingsanlegget ved Bjelland (data fra Frode Kroglund, NIVA) varierte mellom 6,25 og 6,63 under observasjonsperioden i 2004, noe som kan vurderes som tilfredsstillende (Kroglund, pers medd.).

3.5 Resultatbehandling - vandringsdata

Data fra manuell peiling sammen med data fra de automatiske loggestasjonene ble benyttet til å analysere hovedbevegelsene til fisken og for å bestemme utvandringstidspunktet. Daglig manuell peiling viste om fisken hadde vandret fra utsettingslokaliteten og hvor langt den hadde igjen til utløpet av Mannflåvann. Data fra loggeren ved tunnelen sammen med manuelle peiledata viste når fisken ankom utløpet av vannet. Fisk som forsvant fra vannet og som ikke ble registrert på loggeren i minstevannføringsløpet ble registrert som utvandret gjennom tunnelen.



Figur 5. A Vannføring i 2003 og B i 2004



Figur 6. A Vanntemperatur i 2003 og **B** i 2004.

I periodene der vannføringen ble manipulert i 2004 og i perioder der det ble antatt at fisk skulle vandre ut av vannet ble det utført intensive manuelle peilinger i minstevannføringsløpet. Årsaken var å verifisere om fisken passerte denne loggeren uten å bli registrert. Basert på analyser av manuelle peilinger og loggedata ble det anslått at tre fisk passerte loggeren i minstevannføringsløpet og at to fisk gikk gjennom tunnelen uten å bli registrert i 2004. Fem smolt ble ikke registrert verken i vannet, tunnel eller minstevannføringsløpet i 2004. Disse er utelatt fra analysene siden det ikke kan utelukkes at de vandret ut uten å bli registrert. Sett under ett vurderes dette som å være normalt for denne typen studier og manglende registreringer kan ikke betraktes som en feilkilde slik som dataene er analysert.

3.6 Modellering av smoltens valg av utvandringsrute (utvandringsrutemodellen)

Regulering av vannføringen mellom tunnel og minstevannføringsløp gikk betydelig tregere enn antatt. Dette medførte at dataene ble analysert som kontinuerlige variable, noe som gjorde det mulig å tilpasse en prediktiv modell for smoltens valg av utvandringsrute på basis av 1) *variasjon i total vannføring* og 2) *andel av total vannføring i minstevannføringsløpet*.

Hensikten med modellen er å estimere sannsynligheten for at utvandrende smolt velger å gå ut minstevannføringsløpet istedenfor i tunnelen, basert på informasjon om *total vannføring* og *andel av total vannføring ført ned minstevannføringsløpet* og eventuelle andre variable som kan påvirke valg av utvandringsrute. Modellen er en generalisert lineær modell (GLM; f. eks. Dobson 1990) av binomisk familie siden responsvariabelen er en sannsynlighet som nødvendigvis må ligge mellom 0 og 1. Modelleringen ble utført i den statistiske programvaren R (fritt tilgjengelig fra f. eks. <http://lib.stat.cmu.edu/R/CRAN/>). Siden datamaterialet for 2003 er relativt lite med kun to smolt som gikk ut minstevannføringsløpet, og da under relativt ekstreme forhold, ble data fra 2003 ikke benyttet under modelltilpasningen. Selve modelleringen er en avveining mellom optimalisering av statistiske modellkriteria, hovedsakelig Aikaikes Information Criterion (AIC; Aikaie 1974), og biologiske vurderinger.

3.7 Modellering av tidspunkt for smoltutvandring (smoltutvandringsmodellen)

Før modelleringen ble dataene klargjort ved å skaffe til veie informasjon om antall smolt og utvandringsmønster, vannføring, vanntemperatur, endringer i vannføring og vanntemperatur fra forrige dag, månefase, nedbør og lufttemperatur i årene 2001 til og med 2003. Dager uten fangstinsats ble utelatt fra materialet. Døgnet som miljødataene ble hentet fra var døgnet da smoltfella ble åpnet, siden dette best vil beskrive forholdene under og like før smolten vandret.

Smoltutvandringen ble modellert med generaliserte lineære modeller (Poisson log-linære modeller) (McCullagh & Nelder, 1989). Responsvariabelen var antall smolt som vandret ut på de ulike dagene. Selve testene ble utført i programpakken R. I modelleringen ble det antatt at antall smolt som ble fanget i løpet av sesongen representerte hele utvandringen, og antall smolt igjen i elva delt på antall dager som er igjen ble brukt som en "offset" i modellen. Dette vil si at antallet som kan vandret ut i følge modellen er avhengig av antallet smolt som er tilgjengelig for utvandring. Slik tar modellen hensyn til at gode forhold for utvandring som oppstår når det er få smolt igjen ikke kan resultere i store utvandring. Valget mellom ulike modeller ble gjort ved Akaikes Informasjons Kriterium (AIC; Akaike 1974). Modellen ble verifisert og testet basert på data fra smoltfangsten i 2004. Dette ble gjort siden smoltfella i 2004 var plassert lengre opp i elva enn i 2001 til 2003. Videre vil en modell basert på data fra smoltfangst ovenfor Mannflåvann være mer anvendbar for å forutsi størrelse og tidspunkt for smoltutvandring i sammenheng med å påvirke valg av utvandringsrute fra Mannflåvann enn en smoltmodell basert på kun data fra Finså.

4 Resultater

4.1 Utvandringmønster ved ordinær kjøring av kraftverk (2003)

Seksten radiomerkede smolt (32 %) vandret ikke ut i vannet, men ble stående i elva ved utsetningsplassen. De øvrige (n = 34, 68 %) vandret ut i Mannflåvann, og 19 (38 %) av disse vandret gjennom vannet ned til kraftverkstunnelen og starten på minstevannføringsløpet (**tabell 2**).

Smolt som vandret ut av Mannflåvann var forskjellige fra smolt som ikke vandret ut av Mannflovann med hensyn til flere morfologiske mål (**Tabell 2**). Utvandrende smolt var lengre (t = 2,17; p = 0,036) og mer smoltifisert (t = 3,24; p = 0,002) enn ikke-utvandrende smolt. I tillegg var det en tendens til at kondisjonsfaktoren var lavere for utvandrende smolt sammenlignet med ikke-utvandrende smolt (t = -1,90; p = 0,063).

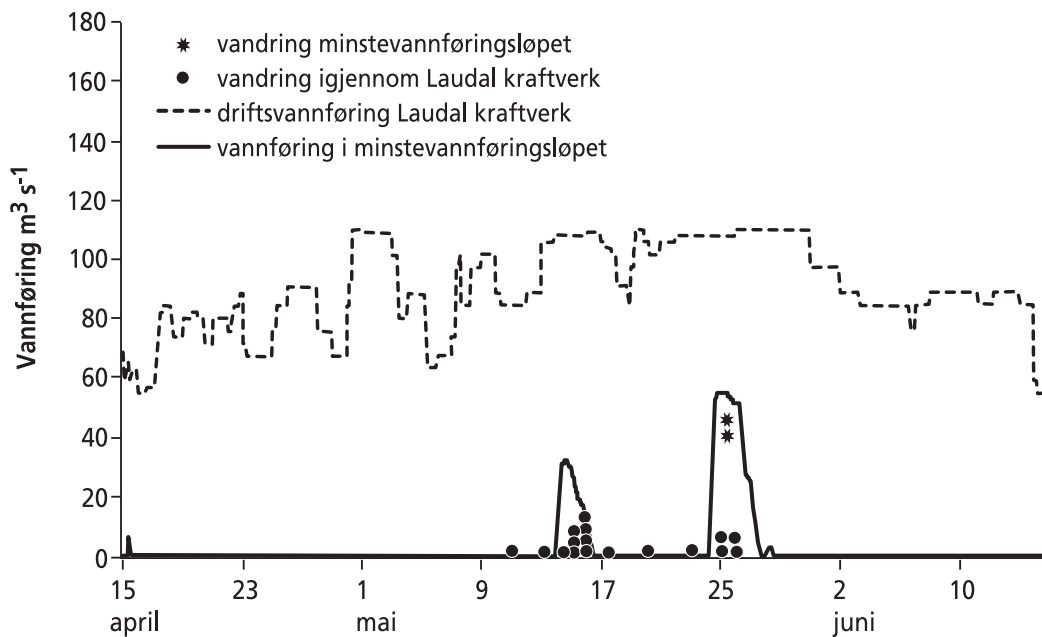
Tabell 2. Oppsummering av merket fisk i 2003 og 2004 med hensyn på utvandringstidspunkt og morfometriske parametere.

		Lengde (mm)		Vekt (g)		K-faktor		Smolt index		Dager til vandring fra merkested		Dager i Mannflåvann		
		n	Snitt	StAv	Snitt	StAv	Snitt	StAv	Snitt	StAv	Snitt	StAv	Snitt	StAv
2003	Utvandret fisk	19	13	1,2	18	5	0,83	0,06	2,6	0,4	3,9	2,5	9,9	5,7
	Ikke utvandret	31	12,2	1,3	16	5	0,88	0,13	2,2	0,5	7,7	6,4		
2004	Tunnel	32	14,3	0,9	22	5	0,75	0,6	2,7	0,3	2,4	1,6	2,7	2
	Minstevannsføringsløp	38	14,5	1,3	24	9	0,75	0,05	2,8	0,3	3,9	3,8	4,5	3,8
	Ikke utvandret	20	14,1	0,9	22	5	0,76	0,04	2,8	0,4	3,4	2,2		

Det var også en forskjell mellom utvandrende og ikke-utvandrende smolt med hensyn til hvor raskt de vandret fra utsetningsstedet etter merking. Utvandrende smolt forlot utsetningsstedet mer enn dobbelt så raskt som ikke-utvandrende smolt (Tabell 2; t = -2,13; p = 0,048). Gjennomsnittlig oppholdstid i Mannflåvann var 9,9 dager (median: 8,0 dager) for utvandrende smolt i 2003.

4.1.1 Vandring ut av Mannflåvann

Av de 18 smoltene som ble registrert på den automatiske dataloggestasjonen ved tunnelen (én fisk ble ikke registrert ved tunnelen, men derimot på loggeren i minstevannføringsløpet), vandret 12 (67 %) smolt ut om natten (kl 22.00 - 08.00), mens de resterende seks (33 %) vandret ut om dagen (kl 08.00 - 22.00) (Binomialtest; test proporsjon = 0,5; p = 0,23). Av de 19 smoltene som vandret ut av Mannflåvann, vandret 17 (89 %) ut gjennom kraftverkstunnelen i perioden fra 11.-26. mai, mens kun to (11 %) vandret ned minstevannføringsløpet (25. - 26. mai, Figur 6) (Binomialtest; test proporsjon = 0,5; p < 0,001). To perioder med mye nedbør førte til kraftig økning i vannføringen, overløp over dammen og maksimale vannføringer i minstevannføringsløpet på henholdsvis 33 og 55 m³ s⁻¹ (**figur 7**). Under den første perioden med økt vannføring vandret åtte smolt ut av vannet, alle gjennom kraftverkstunnelen. Under den andre perioden vandret seks smolt ut; fire gjennom kraftverkstunnelen og to ned minstevannføringsløpet. I forkant og mellom flomperiodene vandret fem smolt ut av Mannflåvann, alle gjennom tunnelen.



Figur 7. Tidspunkt for vandring hos individuelle radiomerkede laksesmolt fra nedre del av Mannflåvann i 2003. Smoltene vandret enten gjennom kraftverkstunnelen og turbinen ved Laudal kraftverk ($n = 17$), eller ned gjennom minstevannføringsløpet ($n = 2$). Figuren viser også driftsvannføringen i kraftverket og vannføringen i minstevannføringsløpet.

4.2 Utvandringmønster ved manipulering av vannføring (2004)

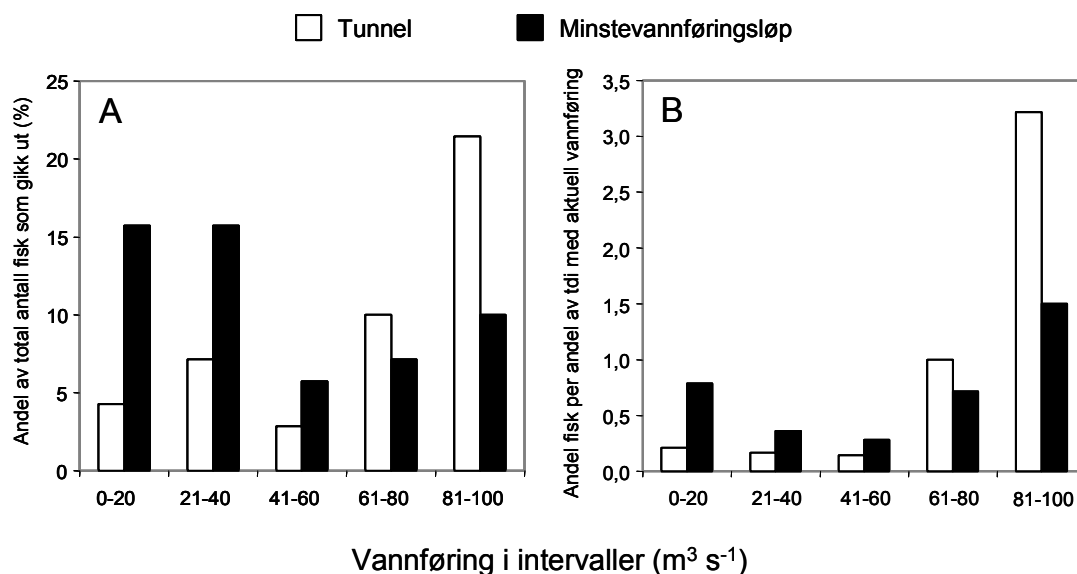
Totalt 90 av 95 merkede fisk var registrert enten som utvandrende eller som ikke-utvandrende fisk ved slutten av observasjonsperioden i 2004. Av disse vandret 38 (42 %) ned minstevannføringsløpet, 32 (36 %) gjennom tunnelen og 20 (22 %) ble stående igjen i vannet ved forsøkslutt. Av de 20 fiskene som ikke gikk ut av vannet forlot 14 stedet de ble satt ut, mens de resterende seks fiskene fortsatt oppholdt seg på utsettingsstedet ved avslutning av manuell peiling (30.05.04)

4.2.1 Faktorer som påvirker vandringsruten i 2004

Det var i 2004 ingen signifikant variasjon med hensyn til morfometriske mål mellom utvandrende og ikke-utvandrende smolt ($-1,10 < t < 0,88$; $0,28 < p < 0,97$). Det var heller ingen forskjell mellom utvandrende og ikke-utvandrende fisk i antall dager før fisken forlot utsettingslokaliteten ($t = 0,30$; $p = 0,77$).

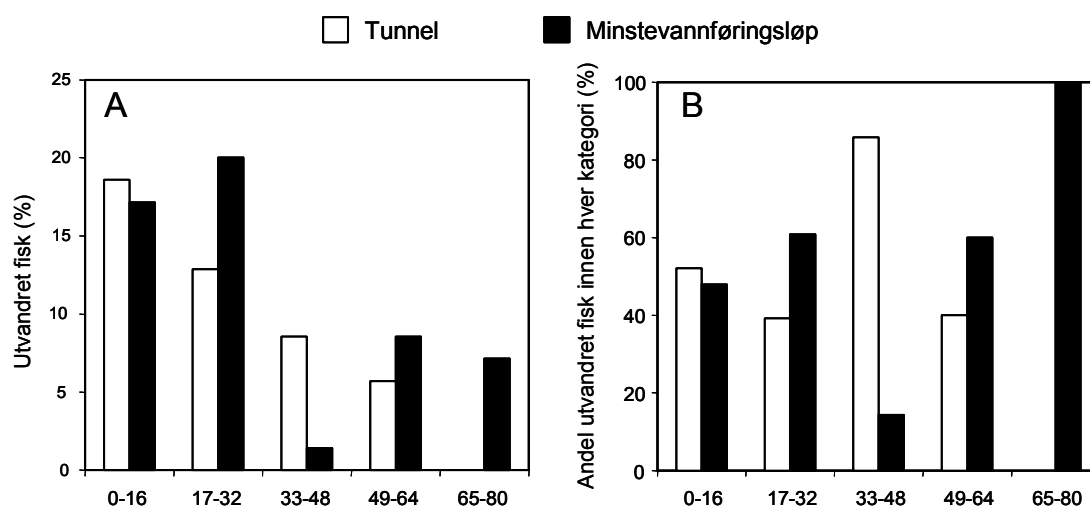
Det var imidlertid en tendens til at fisk som gikk i tunnelen var forskjellig fra fisk som gikk minstevannføringsløpet. Fisk som gikk i tunnelen var mindre smoltifisert enn smolt som gikk i minstevannføringsløpet ($t = 2,17$, $p = 0,034$). Denne forskjellen var meget marginal (**tabell 2**). Videre indikerer resultatene at smolt som gikk minstevannføringsløpet oppholdt seg lengre på utsettingsplassen før den vandret ($t = -2,12$, $p = 0,031$) og brukte lengre tid gjennom Mannflåvann ($t = -2,34$, $p = 0,024$) enn fisk som gikk tunnelen. Både oppholdstid ved merkeplassen og i Mannflåvann var markant kortere i 2004 sammenlignet med 2003. Også i 2004 var det forskjeller med hensyn til tid på døgnet smoltene vandret ut. Av totalt 70 fisk som gikk ut vandret 44 (63 %) om natten (Binomialtest; test proporsjon = 0,5; $P=0,041$), noe som er sammenlignbart med 2003. Det var også en tendens til smoltene gikk ned minstevannføringsløpet mer spredt over døgnet (dag: 47 %, natt: 53 %) enn fisk som gikk i tunnelen (dag: 25 %, natt: 75 %) (Kji-kvadrat test; $\chi^2 = 3,72$; $p = 0,054$).

Smoltens valg av utvandningsrute var avhengig av total vannføring og en høyere andel av den merkede smolten gikk ned minstevannføringsløpet ved lave vannføringer i forhold til ved høyere vannføringer, der relativt flere smolt gikk i tunnelen (**figur 8A**). Periodene med middels og høy vannføring var imidlertid kortere enn periodene med lav vannføring. Dette ble korrigert ved å dele andel av totalt antall utvandrede fisk på andel av utvandningsperioden der vannføringen reelt var som definert i de ulike vannføringskategoriene, noe som indikerer at utvandningsraten var klart høyest ved høye vannføringer (**figur 8B**).



Figur 8. Utvandring av merket smolt enten i tunnel eller i minstevannføringsløp i forhold til total vannføring. **A)** Andel smolt som gikk ut ved ulike totale vannføringer av totalt antall utvandret smolt. **B)** Smoltutvandningsrater for tunnel og minstevannføringsløp ved ulike vannføringer illustrert som andel smolt som gikk ut i forhold til andel av utvandningsperioden (07.05 – 05.06.04) der vannføringen reelt var innen de skisserte vannføringskategoriene.

Valg av utvandningsrute var også avhengig av hvor mye av total vannføring som ble ledet ned minstevannføringsløpet. Når en relativt lav andel av total vannføring ble ført ned minstevannføringsløpet vandret omlag like mye fisk ut tunnelen og minstevannføringsløpet (**figur 9**). Når en middels høy andel av vannføringen ble ført ned minstevannføringsløpet vandret betydelig flere fisk ut tunnelen i forhold til minstevannføringsløpet (**figur 9**). Når en relativt høy andel av total vannføring ble ledet ned minstevannføringsløpet vandret forholdsvis mer av fisken ned dette i forhold til tunnelen (**figur 9**). Denne sammenhengen var imidlertid mest sannsynlig relatert til total vannføring siden lav andel av total vannføring i minstevannføringsløpet hovedsakelig var sammenfallende med lav total vannføring.



Andel av vannføring i minstevannføringsløp (%)

Figur 9. Utvandring av merket smolt enten i tunnel eller i minstevannføringsløp. **A)** Andel av totalt antall utvandret fisk ved ulike andeler av total vannføring ført ned minstevannføringsløpet. **B)** Andel utvandret fisk enten i tunnel eller i minstevannføringsløp innen hver kategori

4.2.2 Modell for valg av utvandningsrute (Utvandringsrutemodellen)

I vår endelige modell, beregnet kun fra data for 2004, endte vi opp med 1) *total vannføring*, 2) *andel av total vannføring i minstevannføringsløpet*, 3) *smoltifiseringsstatus* og 4) *tid på døgnet for utvandring* som de viktigste faktorene som påvirker smoltens utvandningsrute. Tid fra utsetting av merket fisk til utvandring hadde også signifikant effekt, men ble likevel ikke inkludert i den endelige modellen siden denne variabelen biologisk sett ikke kan antas å påvirke valg av utvandningsrute. Modellen forklarer 31 % av variasjonen i valg av utvandningsrute (dvs. $R^2 = 0,31$), og ser ut som følger:

$$\log it(\pi) = \log\left(\frac{\pi}{1-\pi}\right) = \beta_1 \times Total + \beta_2 \times Andel + \beta_3 \times Smolt + \beta_4 \times Tid$$

hvor π er sannsynligheten for at en smolt skal velge minstevannføringsløpet, og β 'ene parameterestimaterne (Total = total vannføring, Andel = andel av total vannføring i minstevannføringsløpet, Smolt = smoltifiseringsgrad, Tid = tid på døgnet for utvandring). Merk at konstantleddet ikke er signifikant forskjellig fra null (se også **tabell 3**). Et estimats p-verdi beskriver sannsynligheten for at vi skal få det estimatet vi får, eller et som er enda lenger unna null, gitt at variabelen ikke har noen effekt (dvs. koeffisienten skulle egentlig vært lik null). Lave p-verdier tyder derfor på at forklaringsvariabelen har effekt på responsen. Tabell 3 viser at variablene *andel vannføring i minstevannføringsløpet*, *smoltifiseringsstatus* og *tid på døgnet for utvandring* er i gråsonen for å være signifikante (p-verdier mellom 0,05 og 0,10). Vi valgte likevel å ta dem med fordi vi mener at de har effekt på valget av utvandningsrute, men at datamengden ikke var stor nok til å kunne vise en signifikant sammenheng.

Tabell 3. Parameterestimer og p-verdier for vår endelige modell for smoltens valg av utvandringssrute.

Forklaringsvariable	Estimat	SE	z-verdi	p-verdi
Konstantledd	-1,45	2,78	-0,52	0,603
<i>Total vannføring</i>	-0,033	0,010	-3,16	0,0016
<i>Andel vannføring i minstevannføringsløpet</i>	0,032	0,017	1,91	0,056
<i>Smoltifiseringsstatus</i>	1,62	0,95	1,70	0,089
<i>Tid på døgnet</i>	-1,11	0,59	-1,87	0,061

I den endelige modellen kan *smoltifiseringsstatus* og *tid på døgnet for utvandring* holdes konstante ved å sette dem lik sine respektive gjennomsnittsverdier. Så lenge variablene *smoltifiseringsstatus* og *tid på døgnet* er uavhengige av *total vannføring* og *andel vannføring i minstevannføringsløpet*, tilsvarer dette å tilpasse en modell basert kun på de to siste forklaringsvariablene. I denne reduserte modellen vil også p-verdien for *andel vannføring i minstevannføringsløpet* være mindre enn 0,05. *Total vannføring* og *andel av total vannføring i minstevannføringsløpet* ble variert innen realistiske grenser for å estimere sannsynligheten for at smolten velger minstevannføringsløpet under ulike og realistiske vannførings- og vannføringsfordelingsscenarioer. For å velge ut realistiske og representative grenser for vannføring er følgende kriterier lagt til grunn:

- Ikke mer enn $60 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ vannføring i minstevannføringsløpet – for å unngå eventuelle flomproblemer.
- Ikke mer enn $170 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ total vannføring – dette tilsvarer antatt maksimumsvannføring i minstevannføringsløpet og maksimal vannføring i tunnel.
- Ikke mindre enn $20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ total vannføring.
- Ikke mer enn 80 % av total vannføring i minstevannføringsløpet.
- Total vannføring skal ikke i vesentlig grad være høyere enn vannføringene som utvandringssrutedataene er innhentet ved, siden sannsynligheten for feilestimering vil øke når vannføring avviker fra observerte vannføringer i 2004.

Utvandringssrutemodellen indikerer at andel smolt som velger minstevannføringsløpet går ned med økende total vannføring og avtagende andel av total vannføring i minstevannføringsløpet (**tabell 4**). Ved lav total vannføring vil en forholdsvis høy andel av den utvandrende smolten velge minstevannføringsløpet selv når andel av total vannføring i minstevannføringsløpet er lav. Ved høye totale vannføringer vil relativt lite fisk velge minstevannføringsløpet, selv om andel av total vannføring som ledes ned minstevannføringsløpet er innen realistiske volum.

Tabell 4. Predikert andel smolt som velger å gå ned minstevannføringsløpet i forhold til total vannføring og andel av total vannføring som føres ned minstevannføringsløpet. Grønne felter: en høy andel av smolten velger minstevannføringsløpet, gule felter: middels andel, røde felter: relativt lave andeler. Felter med grå kursiv skrift er verdier som faller utenfor realistiske og representative vannføringer, men som er tatt med for å gi et mer helhetlig bilde av modellen.

		Total vannføring (m ³ s ⁻¹)											
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Andel av total vannføring i minstevannføringsløpet (%)	10	70	63	55	47	39	31	25	19	14	11	8	6
	20	76	70	63	55	46	38	31	24	19	14	11	8
	30	82	76	70	62	54	46	38	31	24	19	14	11
	40	86	81	76	69	62	54	46	38	30	24	18	14
	50	89	86	81	76	69	62	54	45	37	30	24	18
	60	92	89	86	81	75	69	61	53	45	37	30	23
	70	94	92	89	85	81	75	68	61	53	45	37	29
	80	96	94	92	89	85	81	75	68	61	53	44	36

4.2.3 Modellering av tidspunkt for smoltutvandring (Smoltutvandringsmodellen)

I denne modellen endte vi opp med 1) *total vannføring*, 2) *antall smolt igjen i elva*, 3) *dato*, 4) *endring i temperatur* og 5) *endring i total vannføring* som de viktigste forklaringsvariable for smoltens valg av utvandningsrute. Modellen ble som følger:

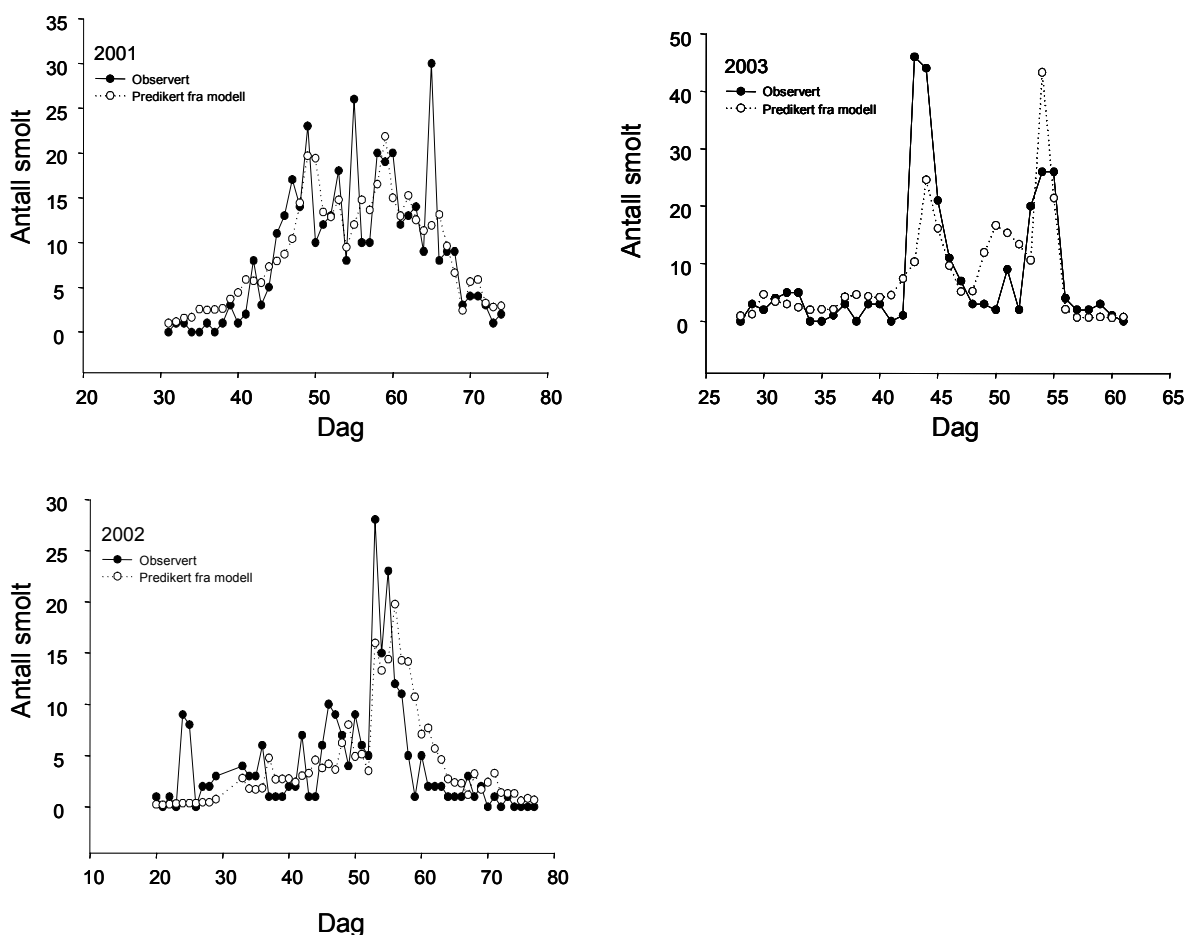
$$\ln(\pi S) = \ln(\text{SmoltIlgjen} / \text{DagerIlgjen}) + \beta_1 * (\text{Total}) + \beta_2 * \ln(\text{Temp}) + \beta_3 * (\Delta \text{Total}) + \beta_4 * (\Delta \text{Temp}) + \beta_5 * \ln(\text{SmoltIlgjen} + 1) + \beta_6 * \ln(\text{Dag}) + \text{konstant}$$

hvor πS er forventet antall utvandrende smolt, og β 'ene parameterestimaterne. Videre er *SmoltIlgjen* = Antall gjenværende smolt, *DagerIlgjen* = antall gjenværende dager, *Total* = total vannføring, *Temp* = vanntemperatur, ΔTotal = endring i total vannføring fra dagen før, ΔTemp = endring i vanntemperatur fra dagen før, *Dag* = dag etter antatt start av utvandring.

Smoltmodellen viser at smoltutvandringen var negativt korrelert med *endring i vanntemperatur*, og positivt korrelert med *vannføring*, *vanntemperatur*, *antall smolt igjen i elva*, *endring i vannføring* og *dato* (tabell 5). De viktigste forklaringsvariablene i modellen var *vannføring*, *antall smolt igjen* og *dag*. Modellen beskriver smoltutvandringen for årene 2001 til og med 2003 relativt godt (figur 10). Vi har her benyttet modellen basert på samtlige tre år for å beregne smoltutvandringen, slik at figur 10 bare kan betraktes som hvor godt modellen beskriver dataene, og ikke som en "test" av generaliteten til modellen.

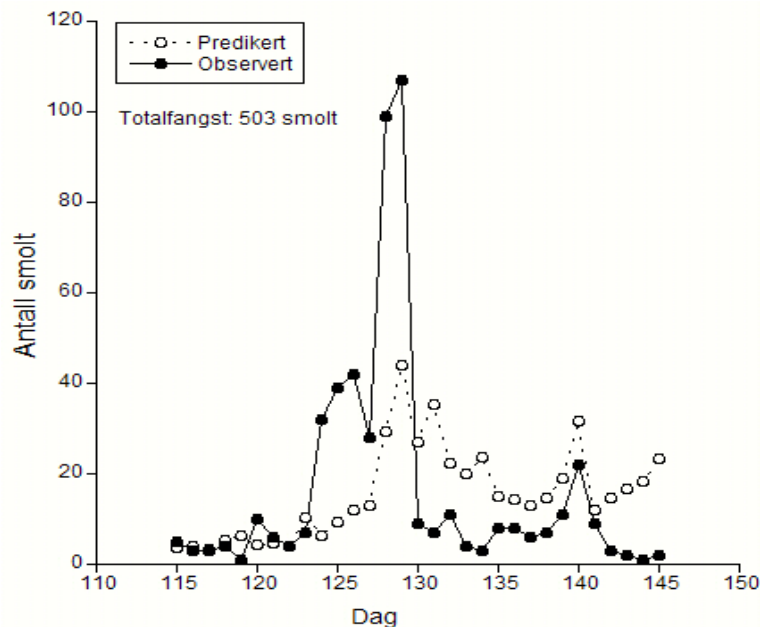
Tabell 5. Parameterestimer og standardavvik i GLIM analysen for utvandningsdata fra 2001-2004. Z-verdien blir brukt for å teste null hypotesen at parametereffekten er null. Små p-verdier (dvs. store z-verdier) indikerer at parameterverdien er forskjellig fra null. I denne analysen har vi benyttet temperaturen i slutten av april i stedet for årseffekter for å forklare forskjeller mellom år i utvandningsmønster. AIC = 752.

Forklaringsvariable	Estimat	SD	z	p
Konstantledd	-11,31	0,86	-13,08	<0,001
Vannføring	0,015	0,001	11,33	<0,001
$\ln(\text{Antall smolt igjen}+1)$	0,52	0,06	8,56	<0,001
Dag	0,062	0,008	7,28	<0,001
$\ln(\text{Vanntemperatur})$	2,03	0,35	5,73	<0,001
Endring i vanntemperatur fra forrige dag	-0,35	0,07	-5,18	<0,001
Endring i vannføring fra forrige dag	0,007	0,002	3,38	<0,001

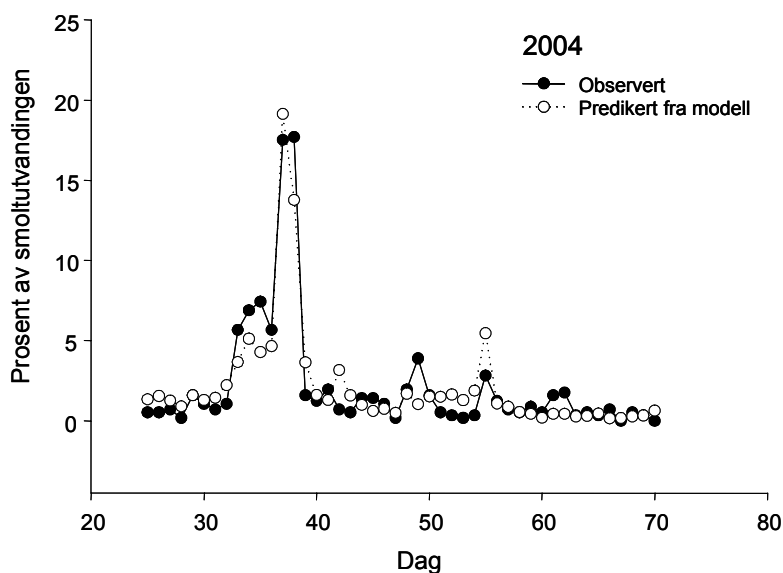


Figur 10. Samlet fangst av villsmolt og smolt satt ut som fettfinneklippet ensomrig yngel, samt beregnet antall smolt fra modellen for årene 2001-2003 i Mandalselva. Dag 1 er 01.04. Fangst av utsatt smolt er ikke med i figuren.

Modellen fra 2001 til 2003 ble brukt for å forutsi smoltutvandringen ved Hesså i 2004. Selv om de modellerte utvandringstoppene i en rimelig stor grad overlappet med observerte topper for smoltutvandringen, var ikke modellen i stand til å forutsi omfanget av smoltutvandringen tilstrekkelig nøyaktig (**figur 11**). Data fra smoltfella ved Hesså i 2004 ble derfor brukt til å tilpasse en ny modell (**figur 12, tabell 6**), som bedre forklarer variasjonen i smoltutvandring i 2004.



Figur 11. Predikert smoltutvandring i Mandalselva for 2004 basert på modellen fra 2001-2003 og observert smoltutvandring ved Hesså. Dag 115 er 24.04



Figur 12. Observert smoltutvandring i ved Hesså i 2004 og predikert utvandring basert på utvandringsdata for 2004 i henhold til ny modell. Dag 1 er 01.04.

Tabell 6. Parameterestimer og standardavvik i GLIM analysen for utvandringsdata fra 2004. $R^2 = 0,74$.

Forklaringsvariable	Estimat	SE	z	p
Konstantledd	-20,28	0,455	-44,55	<0,001
Vannføring	0,013	0,001	25,93	<0,001
Endring i vanntemperatur fra forrige dag	0,028	0,001	35,87	<0,001
Vanntemperatur	-2,678	0,063	-42,74	<0,001
$\ln(\text{vanntemperatur})$	18,54	0,439	42,26	<0,001
Dag	0,087	0,003	27,78	<0,001

5 Diskusjon

5.1 Fangst, merking og vandringsvillighet

Radiomerking av laksesmolt er krevende av flere årsaker. Under smoltifiseringsprosessen sitter skjellene løst og fisken tåler stress og håndtering dårlig. Selv de minste radiosenderene er også relative store når de legges inn i små laksesmolt. Resultatene fra begge år tyder imidlertid på at smolten tålte fangsten og merkingen bra, med minimal dødelighet etter merking.

I 2003 var det en tendens til at den største smolten var mer vandringsvillig enn den minste smolten. Årsaken er mest trolig at den største smolten var kommet lengre i smoltifiseringsprosessen og derfor var mer motivert til å vandre enn mindre smolt. Dette støttes av det faktum at kondisjonsfaktoren hos utvandrende smolt var lavere enn hos ikke-utvandrende smolt. Generelt sett er kondisjonsfaktor klart lavere hos smolt enn hos parr.

I 2004 var det ingen sammenheng mellom størrelse, smoltifiseringsstatus eller kondisjon og utvandringsevne. Dette er trolig et resultat av ulike fangstmetodikk mellom de to årene. I 2003 ble fisken fanget ved el-fiske, noe som medførte at det var vanskelig å skille vandrere fra fisk som var stasjonære. I 2004 ble imidlertid fisken fanget ved hjelp av et smolthjul. Dette innebar at de aller fleste av smolten som ble merket i 2004 var på vandring ut av elva. En variasjon i størrelse og kondisjon kan derfor ikke forventes mellom utvandrende og ikke-utvandrende fisk i 2004.

Resultatene fra 2004 tydet også på at fisk som gikk i tunnelen vandret fra utsettingslokaliteten etter kortere tid enn fisk som gikk ned minstevannføringsløpet. Årsaken kan være at en høy andel av smolten som gikk i tunnelen gjorde dette ved høye vannføringer. Hovedutgangen av laksesmolt foregår vanligvis ved høye vannføringer, noe som resultatene fra 2004 også indikerer, og det er rimelig å anta at smolt som vandrer ut i løpet av disse periodene er mer vandringsmotivert enn fisk som vandrer i andre perioder. Videre kan det antas at høyere strømhastighet som følge av høy vannføring, samt tilstedeværelse av andre utvandrende smolt, også fremskynder utvandringstidspunktet. En tidligere utvandring fra utsettingslokaliteten for smolt som gikk i tunnelen kan derfor være forårsaket av en generell høyere vandringsmotivasjon ved høye vannføringer.

Tid på dagen påvirket også utvandringsevnen. Omlag to tredjedeler av smolten gikk ut om natten. Videre gikk flere fisk i tunnelen enn i minstevannføringsløpet mellom 22:00 og 08:00. Det faktum at tid på døgnet ser ut til å påvirke utvandringsevnen kan skyldes at fisken oppfatter tunnelen som mer truende om dagen på grunn av forskjeller i lysforholdene i vannet og tunnelen. En annen forklaring kan være at lyskasteren ved tunnelåpningen lokker til seg utvandrende fisk om natten.

5.2 Valg av utvandringsevne – 2003

Formålet med undersøkelsene i 2003 var å beregne andelen utvandrende laksesmolt som gikk i tunnelen når Laudal kraftverk kjørte med tilnærmet full kapasitet, mens vannføringen i minstevannføringsløpet var minimal. I perioden når merkede smolten ankom området ved inntaket til Laudal kraftverk var vannføringen mellom 85 og 110 m³ s⁻¹. Kraftig nedbør førte til at vannføringen i minstevannføringsløpet økte i to perioder til henholdsvis 33 og 55 m³ s⁻¹. Kun fem smolt ankom og vandret ut av Mannflåvann mens minstevannføringen var lav, og alle vandret inn i kraftverkstunnelen. Selv med øket vannføring til 33 m³ s⁻¹ ned minstevannføringsløpet vandret alle passerende smolt (n = 8) inn i kraftverkstunnelen. Først når vannføringen i minstevannføringsløpet økte til 55 m³ s⁻¹, vandret to smolt forbi tunnelinntaket og ned i minstevannføringsløpet. Fire smolt gikk likevel i tunnelen. Resultatene fra 2003 tyder dermed på at en majo-

ritet av den utvandrende smolten går i tunnelen når Laudal kraftverk kjøres med tilnærmet full kapasitet.

Årsaken til at smolten hovedsakelig antas å gå i tunnelen ved full kjøring av kraftverket er trolig relatert til strømbildet utenfor tunnelinngangen. Når vandrende smolt ankommer nedre del av Mannflåvann, møter de strømmen inn mot tunnelinntaket før strømmen ned i minstevannføringsløpet. Med full kjøring av Laudal kraftverk er den dominerende strømmen i området rettet mot tunnelinntaket, mens strømmen ned mot minstevannføringsløpet er meget svak og kun kan registreres i et avgrenset område nær dammen nederst i vannet.

5.3 Valg av utvandningsrute – 2004

Undersøkelsen i 2003 viste at hovedparten av den utvandrende smolten trolig går i tunnelen når Laudal kraftverk blir kjørt som normalt med kun $3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ i minstevannføringsløpet. Undersøkelsen i 2004 ble derfor vinklet mot å undersøke om smoltens valg av utvandningsrute kan påvirkes gjennom regulering av vannføring i tunnel og minstevannføringsløp. Dette ble gjort ved å merke og sette ut smolt til ulike tidspunkt for så å sette ulike fordelinger av total vannføring mellom tunnel og minstevannføringsløp når et tilstrekkelig antall merket fisk ble antatt å være i ferd med å gå ut.

Resultatene fra 2004 viste at flere faktorer påvirker valg av vandringsrute. Disse faktorene var total vannføring, andel av total vannføring i minstevannføringsløpet, smoltifiseringsstatus og tid på døgnet for utvandring. Siden en kan anta at disse faktorene samvirker med hensyn til å påvirke smoltens valg av utvandningsrute, ble de ulike parametrene innvirkning i forhold til hverandre undersøkt ved hjelp av en multivariat regresjonsanalyse. På basis av denne ble det laget en prediksjonsmodell for valg av utvandningsrute. Modellen predikerer blant annet at

- andel fisk som velger minstevannføringsløpet går ned med økende total vannføring og minkende andel av total vannføring i minstevannføringsløpet
- ved lave totale vannføringer vil en forholdsvis høy andel av den utvandrende smolten velge minstevannføringsløpet, selv når andelen av total vannføring som ledes ned minstevannføringsløpet er lav
- ved høye vannføringer vil relativt lite fisk velge minstevannføringsløpet, selv om andelen av total vannføring som ledes ned minstevannføringsløpet er maksimalt av realistiske og representative volum.

Estimatene av andel smolt som går i minstevannføringsløp ved varierende total vannføring og andel av denne som ledes ned minstevannføringsløpet er i denne rapporten presentert i tabellform, noe som synliggjør potensialet for å bruke slike modeller som verktøy for å påvirke smoltens valg av utvandningsrute. Slik modellbruk er imidlertid avhengig av forhåndskunnskap om tidspunkt for smoltutvandringen og antall smolt som vil gå ut, helst noen dager før dette skjer. Årsaken er at regulering av vannføringen i et vassdrag er en tidkrevende prosess som krever planlegging.

En prognose for tidspunkt og omfang av smoltutvandringen kan skaffes ved bruk av en prediksjonsmodell for smoltutvandring. I dette prosjektet ble smoltfangstdata fra perioden 2001 til 2003 brukt for å tilpasse en modell for prediksjon av størrelse og tidspunkt for smoltutvandring (smoltmodellen). Denne modellen viste at størrelse og tidspunkt for utvandring kunne beregnes med relativ stor nøyaktighet for perioden 2001 til 2003. Bruk av modellen for 2001 – 2003 for å predikere smoltutvandringen i 2004 resulterte imidlertid ikke i et like presist estimat av utvandringssraten, selv om utvandringstoppene ble forholdsvis nøyaktig påvist. Et mindre presist estimat for smoltutvandringen i 2004 kan skyldes at smoltfella var plassert lengre opp i elva (Hessa), og miljøforholdene som påvirker utvandringen kan være noe forskjellig i denne delen av elva. I tillegg ble total vannføring i 2004 regulert på en annen måte enn foregående år. Derfor ble en ny modell tilpasset datamaterialet fra 2004. Selv om forklaringsgraden for den nye mo-

dellen er høy, bør denne modellen verifiseres og styrkes ved ytterligere innsamling av smoltutvandringsdata fra Hesså før modellens presisjon vil kunne vurderes.

En alternativ metode for å forutsi smoltutvandringstidspunkt/omfang er kontinuerlig registrering av smoltutvandring ved hjelp at en smoltfelle (eller andre metoder for å fastslå smoltutvandring) plassert i elva ovenfor Mannflåvann, for eksempel ved Hesså. Bruk av en smoltfelle vil indikere tidspunkt for utvandring med anslagsvis en halv dags nøyaktighet. Resultatene fra 2004 indikerer at smolten bruker omlag en til tre dager fra Hesså der fella var plassert i 2004 til tunnel eller minstevannføringsløp. Dette vil kunne gi tilstrekkelig tid for optimal regulering av vannføringen ut av Mannflåvann.

Modellen for valg av utvandringsrute ble også brukt til å formulere generelle anbefalinger for regulering av vannføring med tanke på å maksimere både andel smolt som går i minstevannføringsløpet og produksjonen ved Laudal kraftverk. Anbefalingene er summert nedenfor:

- **Sporadisk smoltutvandring:** Vannføring i minstevannføringsløp holdes på et minimum og kraftverket kjøres maksimalt
- **Middels til stor smoltutvandring – små vannreserver:** Total vannføring holdes så lav som mulig, noe som betyr at vann spares lenger oppe i elva. En høy andel av den utvandrende smolten vil gå minstevannføringsløpet selv om andel av total vannføring i dette løpet er relativt liten.
- **Middels til stor smoltutvandring – normale vannreserver:** Andel vannføring i minstevannføringsløp holdes over 40-50% av total vannføring, som på sin side holdes så lav som mulig. Forutsetter at det er kapasitet til å magasinere vann lenger opp i elva.
- **Middels til stor smoltutvandring – store vannreserver:** Andel av total vannføring i minstevannføringsløpet bør være så stor som mulig.
- **Stor smoltutvandring:** Fordeling av vann til minstevannføringsløp bør være så stor som mulig, uavhengig av total vannføring. Toppene i smoltutvandringen tenderer til å være relativt kortvarige (noen dagers varighet) og et alternativ kan være å stenge kraftverket under disse periodene – eller holde vannføringen i tunnelen på et minimum.

Mannflåvann ble av tekniske årsaker holdt på vintervannstand i hele forsøksperioden, og vannstanden var således en halv meter høyere enn normalt. Ved vintervannstand framstår strømbildet i utløpet av vannet som gunstigere enn ved sommervannstand når strømmen inn i tunnelen er langt sterkere. Dette kan ha bidratt til at antall smolt som vandret ned minstevannføringsløpet i 2004 er høyere enn i det man kan forvente i et normalår, og vi anbefaler at Mannflåvann også i framtiden holdes på vintervannstand i utvandringsperioden.

Utvandringsrutemodellen er basert på et relativt lite datamateriale der antall utvandrende fisk varierer tildels betydelig mellom ulike vannføringer. I tillegg ble våren 2004 relativt vannfattig. Dette innebærer at en ikke kan forvente like stor presisjon i modellprediksjonene ved alle vannføringer, og spesielt ved store vannføringer (slik det vil bli i våte år) er prediksjonene usikre fordi man må ekstrapolere til vannføringsforhold hvor vandringsrutene ikke er undersøkt. Resultatene fra 2003, når vannføringen var høyere, kan dessverre ikke brukes til å styrke modellen fordi vannstanden i Mannflåvann var lavere. Forhåndskunnskap om omfang og tidspunkt for utvandring er videre en forutsetning for å kunne påvirke smoltens valg av utvandringsrute. Som beskrevet ovenfor kan smoltutvandringsprognoser enklest skaffes til veie ved modellering (Smoltutvandringsmodellen). Selv om smoltutvandringsmodellen som ble tilpasset for datamaterialet fra 2004 viste seg å være relativt presis for det gjeldende datasettet, betyr ikke dette at en uten videre kan forvente at modellen vil være like presis for kommende års smoltutvandring. Ytterligere innsamling av smoltutvandringsdata vil dermed styrke begge modellene betraktelig.

6 Forslag til oppfølging av prosjektet

Resultatene fra prosjektet viser at hovedparten av den utvandrende smolten går i tunnelen og turbinene når Laudal kraftverk kjøres ved tilnærmet maksimal kapasitet og når vannføringen i minstevannføringsløpet er kun $3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Imidlertid viser resultatene også at en optimal fordeling av vannføringen mellom minstevannføringsløpet og tunnelen kan føre til at denne trenden reverseres slik at en høy andel av smolten vil vandre ut minstevannføringsløpet. Prosjektet har resultert i en prediksjonsmodell som gjør det mulig å estimere sannsynligheten for valg av utvandningsrute (Utvandningsrutemodellen). I tillegg kan tidspunkt og omfang for smoltutvandring predikeres ved hjelp av en generell smoltutvandningsmodell. Disse modellene vil, dersom de viser seg å være presise også for kommende års smoltutvandring, kunne bli viktige verktøy for å øke overlevelsen på utvandrende smolt i Mandalselva.

Begge modellene er imidlertid basert på data fra et relativt begrenset antall fisk fra kun en sesong i det aktuelle området (ovenfor Mannflåvann). I likhet med andre regresjonsbaserte modeller for biologiske data vil innsamling av ytterligere data fra flere fisk over en lengre periode både verifisere og styrke modellene. Utvandningsrutemodellen er spesielt usikker for høye vannføringer, men forutsier at høye andeler av vannet må sendes utenom turbinene og ned minstevannføringsløpet for å hindre at mye av smolten skal gå i kraftverket. En forbedring av denne modellen, fortrinnsvis ved høyere vannføringer, kan derfor potensielt bidra til å bedre både kraftproduksjon og smoltoverlevelse.

I dag er bruk av radiomerker den sikreste måten for å samle inn data for verifisering og styrking av utvandningsrutemodellen, men andre metoder bør også vurderes med tanke på å øke antall registrerte fisk. Et alternativ til bruk av radiosendere er å bruke videokamera for å estimere antall smolt som passerer terskelen i utløpet av Mannflåvann. Slike videoundersøkelser er imidlertid teknisk krevende og vil av praktiske og økonomiske hensyn ikke være aktuelle for å estimere antall smolt som går gjennom tunnelen. En vellykket videoundersøkelse vil derfor bare gi et *estimat på antall smolt som går ned minstevannsføringsløpet ved gitte tidspunkt*. Testing og styrking av utvandningsrutemodellen er imidlertid også avhengig av informasjon om *antall/andel smolt som går i tunnelen ved gitte tidspunkt*. Registrering av smoltutvandringen ved hjelp av video vil derfor i beste fall resultere i en vurdering av om praktisk bruk av modellene har gitt det ønskede resultatet etter sesongslutt, forutsatt at man har et relativt nøyaktig estimat på totalt antall utvandrende smolt som passerer Mannflåvann i den aktuelle sesongen. En videoundersøkelse vil dermed ikke resultere i et datamateriale som kan brukes til å styrke utvandningsmodellen.

Et annet alternativ til bruk av radiosendere er såkalte PIT-merker (passive integrated tags). PIT-merkene er mindre, koster en brøkdel av radiosendere og det vil derfor være mulig å merke et høyere antall fisk. PIT-merker har imidlertid en kort rekkevidde ($< 1 \text{ m.}$) og har aldri vært brukt for å registrere smoltutvandring i et så stort vassdrag av som Mandalselva. Det er lite trolig at PIT-merker kan brukes for å registrere smoltens valg av utvandningsrute i Mandalselva, og pilotstudier er påkrevd.

En undersøkelse som inkluderer bruk av radiosendere og en smoltfelle er derfor den eneste metoden som *per i dag*, og med relativt stor sikkerhet, kan brukes for å fremskaffe data for både å teste og styrke både utvandningsrutemodellen og smoltmodellen. En optimal oppfølging av aktivitetene i 2003 og 2004 vil derfor bestå i et studium som kombinerer bruk av radiomerker og en smoltfelle. Ulempen med denne typen undersøkelser er at utgiftene er forholdsvis høye. Det vil imidlertid være mulig å redusere disse utgiftene ved i større grad å benytte automatiske loggestasjoner og lokal arbeidskraft enn det som ble gjort i 2004.

7 Referanser

- Akaike, H. 1974. A new look at statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control* 19:716-723.
- Anon. 1994. Flerbruksplan Mandalsvassdraget. Faggruppe for fisk og forurensing. - Sluttrapport fra faggruppen, januar 1994, 28 s.
- Dobson, A.J. 1990. *An Introduction to Generalized Linear Models*. Chapman & Hall, London, Storbritannia.
- Heggenes, J. & Saltveit, S.J. 1992. Reetablering av fiskebestanden i Mandalselva. - Rapp. Lab. Ferskv. Økol. Innlandsfiske, Oslo, 135: 1-77.
- Larsen, P.A. & Haraldstad, Ø. 1994. Kalkingsplan for Mandalsvassdraget i Vest-Agder. - Flerbruksplan for Mandalsvassdraget. Fagrapport til faggruppe for fisk og forurensing, 57 s.
- McCullagh, P., & J. A. Nelder. 1989. *Generalized linear models*. Chapman & Hall, London
- Mejdell Lasen, B., Berger, H.M., Hårsaker, K., Kleiven, E., Kvellestad, A. & Simonsen, J.H. 2004. Delkap. 3 Fisk, s 60-65 i Direktoratet for naturforvaltning, 2003. Kalking i vann og vassdrag. Effektkontroll av større prosjekter 2003. Notat 2004-2.
- Thorstad, E.B. & Heggberget, T.G. 1997. Oppvandring hos radiomerket laks og sjøørret i Mandalsvassdraget i forhold til minstevannføring, lokkeflommer, terskler og kalking. - NINA Oppdragsmelding 470: 1-41.
- Thorstad, E.B. & Hårsaker, K. 1998. Vandring hos radiomerket laks i Mandalselva i forhold til minstevannføring, lokkeflommer, terskler og kalking - videreføring av tidligere undersøkelser. - NINA Oppdragsmelding 541: 1-31.

NINA Rapport 13

ISSN:1504-3312

ISBN: 82-426-1527-6



Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: NO-7485 Trondheim

Besøks/leveringsadresse: Tungasletta 2, NO-7047 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00

Telefaks: 73 80 14 01

Organisasjonsnummer: 9500 37 687

<http://www.nina.no>