

18/98
1/6-98
2x3

541

OPPDRA GSMELDING

Vandring hos radiomerket laks
i Mandalselva i forhold til
minstevannføring, lokkeflommer,
terskler og kalking
- videreføring av tidligere
undersøkelser

Eva B. Thorstad
Karstein Hårsaker

NINA Oppdragsmelding
ex 3 mag
IKKE TIL UTLÅN



NINA • NIKU

NINA Norsk institutt for naturforskning

Vandring hos radiomerket laks
i Mandalselva i forhold til
minstevannføring, lokkeflommer,
terskler og kalking
- videreføring av tidligere
undersøkelser

Eva B. Thorstad
Karstein Hårsaker

NINA•NIKUs publikasjoner

NINA•NIKU utgir følgende faste publikasjoner:

NINA Fagrapport

NIKU Fagrapport

Her publiseres resultater av NINAs og NIKUs eget forskningsarbeid, problemoversikter, kartlegging av kunnskapsnivået innen et emne, og litteraturstudier. Rapporter utgis også som et alternativ eller et supplement til internasjonal publisering, der tidsaspekt, materialets art, målgruppe m.m. gjør dette nødvendig.

Opplag: Normalt 300-500

NINA Oppdragsmelding

NIKU Oppdragsmelding

Dette er det minimum av rapportering som NINA og NIKU gir til oppdragsgiver etter fullført forsknings- eller utredningsprosjekt. I tillegg til de emner som dekkes av fagrapportene, vil oppdragsmeldingene også omfatte befæringsrapporter, seminar- og konferanseforedrag, årsrapporter fra overvåkningsprogrammer, o.a.

Opplaget er begrenset. (Normalt 50-100)

NINA•NIKU Project Report

Serien presenterer resultater fra begge instituttene prosjekter når resultatene må gjøres tilgjengelig på engelsk. Serien omfatter original egenforskning, litteraturstudier, analyser av spesielle problemer eller tema, etc.

Opplaget varierer avhengig av behov og målgrupper.

Temahefter

Disse behandler spesielle tema og utarbeides etter behov bl.a. for å informere om viktige problemstillinger i samfunnet. Målgruppen er "almenheten" eller særskilte grupper, f.eks. landbruket, fylkesmennenes miljøvern-avdelinger, turist- og friluftlivskretser o.l. De gis derfor en mer populærfaglig form og med mer bruk av illustrasjoner enn ovennevnte publikasjoner.

Opplag: Varierer

Fakta-ark

Hensikten med disse er å gjøre de viktigste resultatene av NINA og NIKUs faglige virksomhet, og som er publisert andre steder, tilgjengelig for et større publikum (presse, ideelle organisasjoner, naturforvaltningen på ulike nivåer, politikere og interesserte enkeltpersoner).

Opplag: 1200-1800

I tillegg publiserer NINA og NIKU-ansatte sine forskningsresultater i internasjonale vitenskapelige journaler, gjennom populærfaglige tidsskrifter og aviser.

Thorstad, E.B. & Hårsaker, K. 1998. Vandring hos radio-merket laks i Mandalselva i forhold til minstevannføring, lokkeflommer, terskler og kalking - videreføring av tidligere undersøkelser. - NINA Oppdragsmelding 541: 1-31.

Trondheim, juni 1998

ISSN 0802-4103

ISBN 82-426-0940-3

Forvaltningsområde:

Naturinngrep

Impact assessment

Rettighetshaver ©:

Stiftelsen for naturforskning og kulturminneforskning

NINA•NIKU

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

Redaksjon:

Ann Kristin Schartau

NINA•NIKU, Trondheim

Design og layout:

Synnøve Vanvik

Sats: NINA•NIKU

Kopiering: Norservice

Opplag: 170

Kontaktadresse:

NINA•NIKU

Tungasletta 2

7005 Trondheim

Tel: 73 80 14 00

Fax: 73 80 14 01

Tilgjengelighet: Åpen

Prosjekt nr.: 13151 Vandringsanalyser - Mandalselva

Ansvarlig signatur:

Ann Kristin Schartau

Oppdragsgiver:

Direktoratet for naturforvaltning

Referat

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.

Formålet med undersøkelsen var å analysere vandringsmønster hos oppvandrende laks i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann i Mandalselva ved hjelp av radiotelemetri. I minstevannføringsløpet er det bygd ti løsmasse terskler og to betongterskler. Minstevannføringen er 3 m³/s om sommeren og 1,5 m³/s om vinteren. Det ble spesielt lagt vekt på å undersøke om oppvandringen hindres fysisk på bestemte steder, og om utbedringer kan gjennomføres for å bedre forholdene for oppvandring av laks og sjøørret. Vandringsundersøkelser ble igangsatt i 1996 og videreført i 1997. Denne rapporten inneholder resultatene fra videreføringen i 1997. Fullkalking av vassdraget ble igangsatt i juni 1997, og vannkvaliteten var således bedre under undersøkelsene i 1997 enn i 1996. For å bedre forholdene for oppvandrende laks, ble det foretatt utbedringer ved dammen og fisketrappa ved Mannflåvann før undersøkelsen i 1997.

Fisken ble fanget i felle ved Laudal, og 40 laks (én av disse mulig regnbueørret ut fra skjellanalyser) ble radiomerket og satt ut i elva ved Laudal i perioden 29. august-18. september 1997. Fisken ble registrert etter merking ved manuell peiling. Av de radiomerkede fiskene vandret 21 laks videre oppover i minstevannføringsløpet. Kun én laks passerte hele minstevannføringsløpet og vandret videre oppover elva. I tillegg passerte én laks dammen ved Mannflåvann, men vendte raskt tilbake til minstevannføringsløpet igjen.

I alt fem laks vandret opp til dammen ved Mannflåvann uten å passere dammen. Sammenlignet med resultatene fra året før synes ikke utbedringene av dammen å ha medført en stor forbedring av forholdene for oppvandrende fisk. Et annet vandringshinder i minstevannføringsløpet syntes å være terskelen nedenfor dammen (T 11), som fem laks hadde som øverste registrerte sone. Laksen syntes også å bli forsinket ved Laudal og nedenfor Solkrona (sone 8), hvor to elveløp renner sammen etter deling 500 meter lengre opp. Områdene under Kleveland bru og Solkrona terskel var ikke betydelige vandringshindre. Resultatene samsvarer i stor grad med resultatene fra undersøkelsen i 1996.

Det ble ikke funnet signifikante sammenhenger mellom pH og fiskens forflytning i minstevannføringsløpet. En forbedret vannkvalitet etter fullkalking synes ikke å ha medført at oppvandrende laks lettere passerte minstevannføringsløpet.

To lokkeflommer med samme vannføring og varighet ble sluppet i minstevannføringsløpet henholdsvis i begynnelsen og slutten av september. Gjennomsnittlig forflytning hos laks var signifikant større under og i timene etter (10-13 t) lokkeflommene slått sammen enn ved minstevannføringen

forøvrig, både som forflytning i meter og antall terskelpasseringer per time. Den gjennomsnittlige forflytningen var ikke signifikant forskjellig mellom de to lokkeflommene. Alle terskler ble passert både under lokkeflommene og ved minstevannføring; bortsett fra terskelen nedenfor dammen ved Mannflåvann (T 11) som kun ble passert under minstevannføring.

For å sammenligne vandringsmønster og vandringshastighet før (1996) og etter (1997) fullkalking av vassdraget, ble 20 laks og sjøørret fanget i felle ved Laudal, radiomerket og satt ut nederst i elva ved Mandal både i 1996 (19 laks og 1 sjøørret) og 1997 (20 laks). I 1996 ble tre fisk (2 laks og 1 sjøørret) ikke registrert etter utsetting, og ingen laks vandret så langt opp i elva som til Laudal. I 1997 vandret alle oppover i elva etter merking og utsetting. Tre laks passerte Laudal, og én av disse passerte hele minstevannføringsløpet. Sammenlignet med resultatene fra 1996 var det imidlertid ingen signifikante forskjeller i andelen som vandret oppstrøms, hvor langt opp i vassdraget de vandret, hvor raskt de vandret eller i vandringsmønster. Av den radiomerkede laksen ble 35 % (n = 7) registrert i sidebekker/elver i kortere eller lengre perioder. Andelen registrert i sidebekker var ikke signifikant forskjellig fra andelen i 1996 (53 %, n = 9), men den gjennomsnittlige oppholdstiden i sidebekker/elver var signifikant lavere i 1997 enn i 1996. Resultatene tyder på at fullkalkingen ikke medførte store endringer i vandringsatferd hos oppvandrende laks i Mandalselva. Imidlertid ble det funnet en signifikant negativ sammenheng mellom pH og forflytning hos fisken siden forrige peiling, og effekter av vannkvalitet på oppvandring hos laks kan ikke avvises.

Emneord: Laks, telemetri, vandring, vandringshindre, vannkvalitet.

Eva B. Thorstad & Karstein Hårsaker, Norsk institutt for naturforskning, Tungasletta 2, 7005 Trondheim.

NINA, biblioteket

Abstract

Thorstad, E.B. & Hårsaker, K. 1998. Upstream migration of radio tagged Atlantic salmon in the River Mandalselva in connection with residual flow, artificial freshets, weirs and liming - further studies. - NINA Oppdragsmelding 541: 1-31.

The aim of the study was to analyse upstream migration of Atlantic salmon on a regulated river stretch Laudal-Lake Mannflåvann in the River Mandalselva by use of radio telemetry. Ten weirs constructed from wood and larger stones and two weirs constructed from concrete have been built along this stretch. Residual flow is 3 m³/s during summer and 1,5 m³/s during winter. Emphasis was placed on identifying migration barriers along the stretch and how conditions for migration could be improved. The study started in 1996 and continued into 1997. The results from 1997 are presented in this report. Complete liming of the river started in June 1997, and the water quality improved during the course of the study. Prior to the study in 1997, the fish way and dam at Lake Mannflåvann were reconstructed to improve the conditions for upstream migrating fish.

Fish were caught in a trap at Laudal, and 40 salmon (one was a rainbow trout according to the scale analysis) were radio tagged and released in the period 29 August-18 September in 1997. The fish were recorded after release by manual trackings. Of the radio tagged fish, 21 salmon migrated upstream from the site of release. Only one salmon passed the dam at Lake Mannflåvann and migrated further upstream. One more salmon passed the dam, but turned back immediately after to the stretch with residual flow.

In total, five salmon migrated up to the dam at Lake Mannflåvann without passing it. Compared to the results from the study in 1996, the reconstructions of the dam did not seem to improve the conditions for upstream migrating salmon. Another barrier appears to be the weir downstream from the dam (T 11), because five salmon were recorded without passing. The salmon also seemed to be delayed at Laudal and the weir downstream from Solkrona (zone 8), where two channels run together after the river divides 500 m further upstream. The river stretches downstream from the bridge Klevelandsbrua and at Solkrona were not barriers for upstream migrating fish. The results correspond to those from 1996.

No significant relationship between pH and migration was found. Even after complete liming which resulted in improved water quality, the conditions for fish passing the river stretch Laudal-Lake Mannflåvann were not altered.

Two artificial freshets of the same water discharge and duration were released from the dam at Lake Mannflåvann, one at the beginning and one at the end of September. Migratory behaviour, as measured by migration distance per hour and number of passages of weirs per hour was

significantly higher during and just after (10-13 h) the freshets than during residual flow. Migratory behaviour did not differ between the two freshets. Fish passed all weirs both during artificial freshets and residual flow, except for the weir downstream from the dam (T 11) that was only passed during residual flow.

To test for changes in migratory behaviour of Atlantic salmon before (1996) and after (1997) liming of the river, 20 fish were caught at Laudal, radio tagged and released into the river near its mouth in 1996 (19 salmon and 1 sea trout) and 1997 (20 salmon). In 1996, three fish (2 salmon and 1 sea trout) were not recorded after tagging, and no salmon migrated as far as Laudal. In 1997, all salmon migrated upstream after release. Three salmon passed Laudal and one salmon also passed Lake Mannflåvann. However, compared to the results in 1996, there were no significant difference in the proportion of salmon migrating upstream from the site of release, in migration speed, in migration pattern or how far upstream they distributed themselves. Of the radio tagged salmon, 35 % (n = 7) were recorded in tributaries of the River Mandalselva for either short or long periods. The proportion recorded in the tributaries was not significantly different from the proportion recorded in 1996 (53 %, n = 9), but duration in the tributaries was significantly shorter in 1997 than in 1996. The results indicate that the liming did not highly affect the upstream migration of Atlantic salmon in the River Mandalselva. However, a significant negative relationship was found between pH and migration since last tracking, and an effect of water quality on upstream migration can not be rejected.

Key words: Atlantic salmon, telemetry, upstream migration, migration barriers, water quality.

Eva B. Thorstad & Karstein Hårsaker, Norwegian Institute for Nature Research, Tungasletta 2, N-7005 Trondheim.

Forord

Flerbruksplan Mandalsvassdraget har siden 1991 organisert arbeidet med ulike tiltak for Mandalsvassdraget. I forbindelse med dette arbeidet ble det bestemt at forholdene for oppvandrende laks og sjøørret i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann skulle undersøkes. Norsk institutt for naturforskning (NINA) gjennomførte undersøkelser av vandring hos radiomerket laks og sjøørret i Mandalselva i 1996 (rapportert i Thorstad & Heggberget 1997). Undersøkelsene ble videreført i 1997, og resultatene er oppsummert i denne rapporten. Direktoratet for naturforvaltning (DN) var oppdragsgiver og finansierte prosjektet.

Svein Haugland var ansvarlig prosjektleder ved Flerbruksplan Mandalsvassdraget og Fylkesmannen i Vest-Agder. Oddleiv Kleveland hadde ansvaret for ettersyn av fiskefella og oppsamling av fisk i mæer. Sigurd Haraldstad, Olav Kleveland og Dagfinn Laudal med familier utførte all peiling av radiomerket fisk ovenfor Laudal og samlet inn vannprøver fra minstevannføringsløpet. Dagfinn Laudal utførte all peiling av radiomerket fisk mellom elvemunningen og Laudal. Alle disse, sammen med Morten Kraabøl, deltok i arbeidet med merking og transport av fisk. Kristian Hestevåg, Finså klekkeri, lånte ut transportkar og oksygen til transport av fisk. Jarl Fidje ved Laudal kraftstasjon (Vest-Agder Energiverk, VAE) lånte ut bil til transport av fisk, stilte kraftstasjonen til rådighet som lager og møteplass og bidro med nedbør- og vannføringsdata. Atle Hindar, Rolf Høgberget og Øyvind Kaste ved Norsk institutt for vannforskning (NIVA) var behjelpelige med vannkjemidata. Oddmund Solheim ved Norges vassdrags- og energiverk (NVE) var behjelpelig med vannføringsdata. Gunnel Østborg analyserte skjellprøver fra radiomerket fisk. Helen Guldseth bearbeidet peilekart. Jan Henning L'Abée Lund (NVE) og Steinar Sandøy (DN) leste gjennom og kommenterte en tidligere versjon av rapporten. Lorraine Fleming var språkkonsulent for den engelskspråklige delen av teksten. Kari Sivertsen laget figur 1 og 2. Vi vil takke alle disse for god hjelp og et godt samarbeid.

Trondheim, juni 1998

Eva B. Thorstad
prosjektleder

Innhold

Referat.....	3
Abstract	4
Forord	5
1 Innledning	6
2 Områdebeskrivelse	7
3 Materiale og metoder	9
3.1 Delprosjekt A: Vandring i og ovenfor minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann.....	9
3.1.1 Fangst og radiomerkning av laks	9
3.1.2 Registrering av laksen etter merking.....	9
3.1.3 Lokkeflommer i minstevannføringsløpet	9
3.1.4 Resultatbehandling	9
3.2 Delprosjekt B: Vandring i forhold til kalking	11
4 Resultater.....	12
4.1 Delprosjekt A - vandring i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann.....	12
4.1.1 Vandring og vandringshistorie.....	12
4.1.2 Vandring i forhold til lokkeflommer	13
4.2 Delprosjekt B – vandring i forhold til kalking.....	16
5 Diskusjon	22
5.1 Delprosjekt A - vandring i minstevannføringsløpet Laudal - Mannflåvann.....	22
5.1.1 Vandring og vandringshistorie.....	22
5.1.2 Vandring i forhold til lokkeflommer	23
5.2 Delprosjekt B - vandring i forhold til kalking	24
6 Konklusjon	25
6.1 Delprosjekt A - vandring i minstevannføringsløpet Laudal - Mannflåvann.....	25
6.1.1 Vandring og vandringshistorie.....	25
6.1.2 Vandring i forhold til lokkeflommer	25
6.2 Delprosjekt B - vandring i forhold til kalking	25
7 Litteratur.....	26
Vedlegg 1	28
Vedlegg 2	30

1 Innledning

Mandalsvassdraget (**figur 1**) er sterkt negativt påvirket av sur nedbør. Fullkalking av vassdraget er satt i gang, og målsettingen er, så langt som råd, å få tilbake et normalt fungerende økosystem i vassdraget. Et delmål ved kalkingsprosjektet er å bygge opp igjen en selvreproduserende laksebestand (*Salmo salar*). Mandalselva var tidligere ei god lakseelv, men den stedegne laksen er utdødd på grunn av forsuringen. På 1980- og 1990-tallet har det vært en betydelig oppvandring av laks av ukjent opprinnelse i elva (Anon. 1994). Forholdene for oppvandring, gyting og oppvekst av laks- og sjøørretunger (*Salmo trutta*) er imidlertid vanskelige på elvestrekningene Bjelland-Kavfossen og Laudal-Mannflåvann på grunn av reguleringsinngrep (Anon. 1994).

Oppvandring hos radiomerket laks og sjøørret i Mandalselva ble undersøkt høsten 1996 (Thorstad & Heggberget 1997). Undersøkelsen omfattet to delprosjekter; a) vandring i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann og b) vandring i forhold til kalking og vannkvalitet.

På elvestrekningen Laudal-Mannflåvann er vannføringen redusert fordi vannet ledes i tunnel gjennom Laudal Kraftstasjon fra utløpet av Mannflåvann og ned til Laudal (**figur 2**). Minstevannføring på strekningen er 3,0 m³/s om sommeren og 1,5 m³/s om vinteren (se kap. 2). For å beholde vannspeil og gi et rimelig stort vanndekket areal for fisk ble flere terskler bygd på strekningen (Brabrand & Saltveit 1995). Konklusjoner fra vandringsundersøkelsene i 1996 var at laksen forsinkes i minstevannføringsløpet og ankommer områdene lengre opp i vassdraget forsinket i forhold til fiskesesong og trolig også gytasesong (Thorstad & Heggberget 1997). De største vandringshindre i minstevannføringsløpet ble identifisert til demningen ved Mannflåvann, et område nedenfor Solkrona hvor elva tidligere var delt i to elveløp og området ved Laudal like etter at fisken har vandret opp i minstevannføringsløpet. Summen av vandringshindre kan også være en medvirkende årsak til at fisk forsinkes eller stanser i minstevannføringsløpet (Thorstad & Heggberget 1997).

Undersøkelsene ble videreført høsten 1997 ved å radiomerke laks på samme måte som i 1996. Resultatene fra 1997 er oppsummert i denne rapporten. På forsommeren 1997 ble det gjennomført utbedringer av dammen ved Mannflåvann i forhold til oppvandring av laks og sjøørret. Et "falskt trinn" i fisketrappa ble stengt, og inngangen til fisketrappa ble senket og endret. I tillegg ble det gjort utgravninger av substratet i elva nedenfor demningen. Formålet var å gjøre det enklere for oppvandrende fisk å finne inngangen til fisketrappa, og dessuten hindre at fisken tiltrekkes vann fra en flomluke i demningen på østsiden av trappa. Fullkalking av vassdraget ble igangsatt i juni 1997.

Formålet med vandringsundersøkelsene i 1997 var:

- Undersøke om utbedringer av dammen ved Mannflåvann sammen med en bedre vannkvalitet medførte

bedrede forhold for oppvandrende laks i minstevannføringsløpet.

- Videreføre undersøkelser av effekter av lokkeflommer i minstevannføringsløpet.
- Kartlegge forholdene for oppvandrende laks på elvestrekninger ovenfor Laudal-Mannflåvann. Laksen kan vandre helt opp til Kavfossen i Mandalselva, men oppstrøms utløpet til Bjelland Kraftstasjon har vannføringen kun bestått av naturlig tilsig fra Kosåna. Fra og med 1997 er det bestemt at vannføring på denne strekningen aldri skal være mindre enn 2 m³/s om sommeren og 1 m³/s om vinteren.
- Analysere vandring hos laks i forhold til kalking og vannkvalitet ved å sammenligne oppvandring hos laks satt ut i elvemunningen før og etter fullkalking. Før fullkalking, i 1996, vandret en stor andel av laksen opp i sidebekker som hadde bedre vannkvalitet enn hovedelva (Thorstad & Heggberget 1997). Undersøkelser etter fullkalking ble gjennomført i 1997.

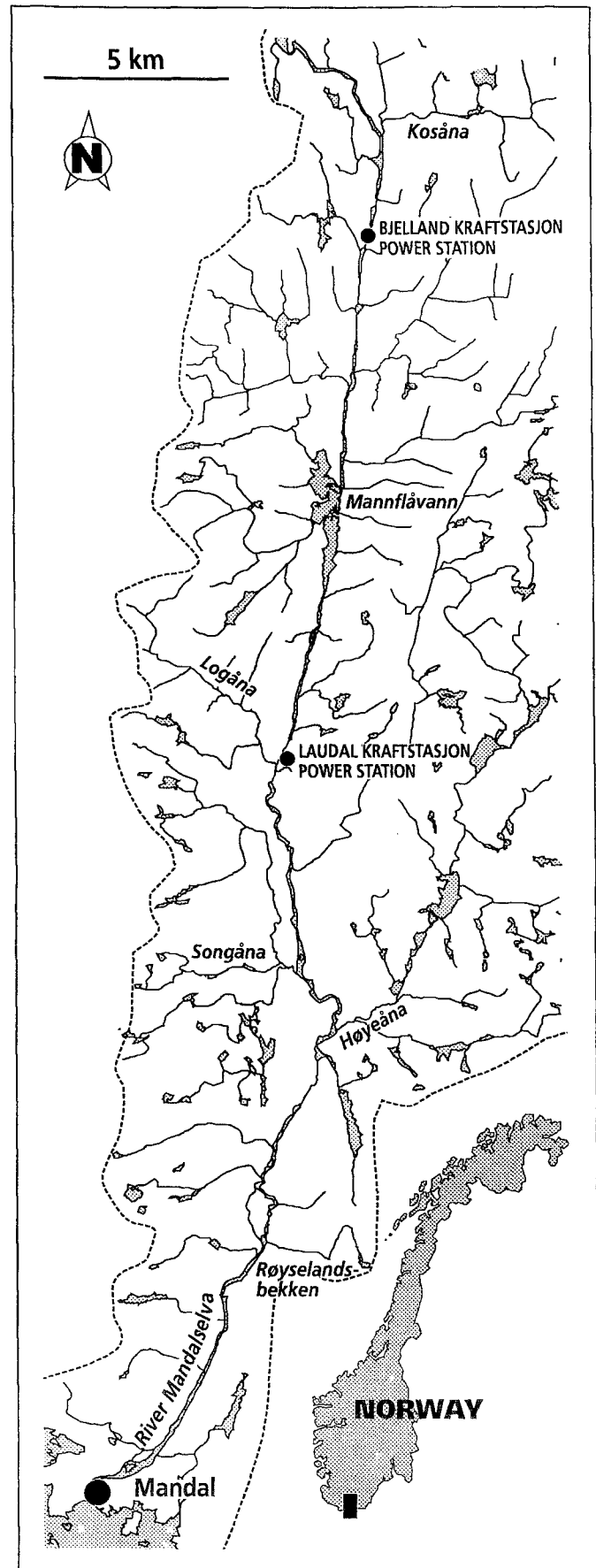
2 Områdebeskrivelse

Mandalsvassdraget 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 (figur 1) renner ut fra Ørevann og gjennom kommunene Åseral, Audnedal, Marnardal og Mandal. Utløpet ved Mandal har middelvannføring på ca 88 m³/s. Blant store tilløpselver til Mandalselva er Monn, Logna, Skjerka, Kosåna og Logåna.

Langtidsmålinger av pH i Mandalselva siden 1964, har vist årlige middelerverdier lavere enn pH 4,9 siden 1967 (Anon. 1993). I perioden 1989-90 var målte pH-verdier 4,7-4,9 (Blakar & Digernes 1991). Innholdet av giftige aluminiumskomponenter for fisk var også høye (Blakar & Digernes 1991). Årsaken til forsureningen er langtransportert sur nedbør. Vassdraget ligger i det sørnorske grunnfjellsområdet med harde gneiser og granitter. Bergartene er fattige på kalsium og har liten evne til å nøytralisere sur nedbør. Noen sidevassdrag har blitt kalket i større eller mindre grad og har derfor hatt bedre vannkvalitet enn hovedelva (Larsen & Haraldstad 1994). Bortsett fra forsuringproblemet er Mandalselva lite forurenset (Larsen & Haraldstad 1994).

Vannkvaliteten i Mandalselva er overvåket i forbindelse med kalking siden 1995 (Kaste et al. 1998). Fra og med juni 1997 har vassdraget blitt fullkalket ved hjelp av tre store doserere i hovedelva og fem mindre doserere plassert i sure sidevassdrag. Kalkingen i hovedelva skjer ved Smeland, Håverstad og Bjelland. Sidevassdragene som kalkes er Kosåna (to doserere), Hesså, Logåna og Høyåna. Til sammen ble det i 1997 brukt 3290 tonn NK3 (86 % CaCO₃) (Kaste et al. 1998). Det er lagt opp til en gradvis opptrapping av vannkvaliteten i løpet av 1997, 1998 og 1999 for å sikre tilstrekkelig god vannkvalitet for reproduksjon av laks i elva. Dette vil samtidig sikre livsmiljøet for andre forsuringfølsomme vannorganismer. pH-verdiene i Mandalselvas hovedløp økte fra omlag 5,0 i første halvår til omlag 6,0 i andre halvår av 1997 etter at fullkalking av vassdraget ble igangsatt fra juni 1997 (Kaste et al. 1998). Samtidig ble konsentrasjonene av labilt aluminium redusert fra et nivå omkring 60-100 µg/l i første halvår til omkring 5-35 µg/l i andre halvår (Kaste et al. 1998). pH-verdiene fra andre halvår av 1997 var også høyere enn i samme periode i 1996 (5,9-6,4 mot 5,2-6,0) (Kaste et al. 1998). Mengden labilt aluminium i hovedløpet var lavere i andre halvår av 1997 enn i samme periode i 1996 (9-15 µg/l mot 17-98 µg/l) (Kaste et al. 1998). For å unngå skader på laksesmolt i smoltifiseringsperioden (mars-juni) bør konsentrasjonen av labilt aluminium være under 10 µg/l (Hindar et al. 1997).

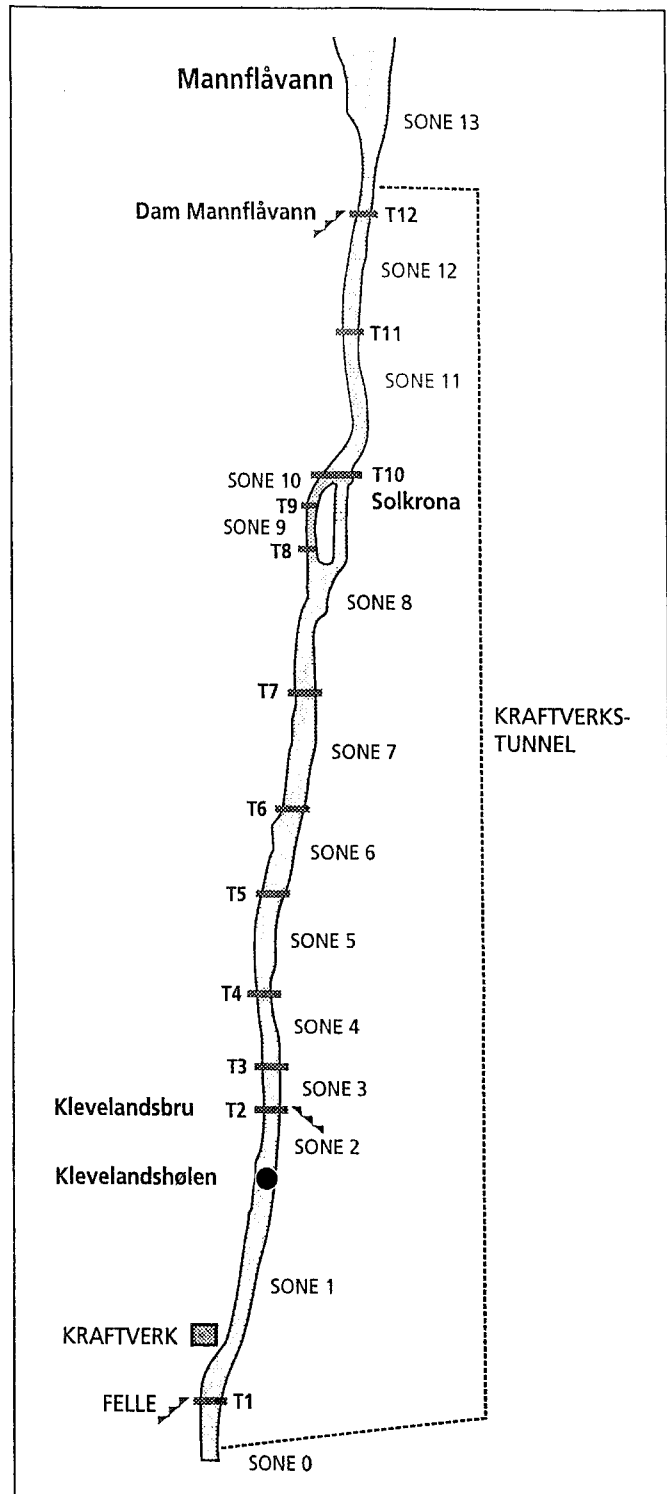
Seks kraftstasjoner er bygd i vassdraget: Logna, Smeland, Skjerka, Håverstad, Bjelland og Laudal (Larsen & Haraldstad 1994). Bare Bjelland og Laudal ligger i lakseførende strekning. På elvestrekningen mellom inntaket og utløpet til Bjelland Kraftstasjon, har vannføringen bestått av kun naturlig tilsig fra Kosåna. Fra og med 1997 er det bestemt



Figur 1. Kart som viser lakseførende del av Mandalselva med sidevassdrag.

at vannføring på denne strekningen aldri skal være mindre enn 2 m³/s om sommeren (5 måneder) og 1 m³/s om vinteren (7 måneder). På den seks km lange elvestrekningen mellom inntaket til Laudal Kraftstasjon ved Mannflåvann og utløpet ved Laudal er minstevannføring 3,0 m³/s om sommeren og 1,5 m³/s om vinteren. Tidspunkt for overgang fra sommer- til vintervannføring og omvendt er foreløpig ikke fastsatt. På strekningen Laudal-Mannflåvann er det bygd ti løsmasseterskler og to betongterskler (figur 2). I de to betongtersklene og den nederste løsmassetersklene ved Laudal er det bygd fisketrapper. Minstevannføringen fra Laudal Kraftstasjon skal være minst 15 m³/s når tilsiget til Mannflåvann er mer enn dette. Når tilsiget fra Mannflåvann er mindre og verket stoppes, skal det slippes minst 8 m³/s fra Mannflåvann, men ikke mer enn naturlig tilsig. Maksimal driftsvannføring ved Laudal Kraftstasjon er 110 m³/s (Heggenes & Saltveit 1992).

I Mandalsvassdraget finnes laks, sjørret, 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 sjørret. Allerede i 1914 ble det rapportert om massedød av laks på grunn av forsurening. Den stedegne laksebestanden er nå utdødd (Anon. 1994). Sjørretbestanden har overlevd, men tettheten av ungfisk er lav (Anon. 1994). Fortsatt fanges det laks i Mandalselva; i perioden 1982-93 var årlig totalfangst av laks og sjørret gjennomsnittlig 778 kg, hvorav en stor andel var laks (Anon. 1994). Laksen som fanges er trolig laks av ulike stammer som ble satt ut som smolt i Mandalselva, laks som er satt ut andre steder, feilvandrende villaks og rømt oppdrettslaks (Heggenes & Saltveit 1992). I Mandalselva kan laks og sjørret vandre opp til Kavfossen, 48 km fra elvemunningen. Utbyggingen av Bjelland og Laudal kraftstasjoner har imidlertid vanskeliggjort oppvandring på strekningene Bjelland Kraftstasjon-Kavfossen og Laudal-Mannflåvann (Larsen & Haraldstad 1994).



Figur 2. Minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann i Mandalselva. Terskler er markert med tykke streker og nummerert T1-T12. Elva er inndelt i soner. Sone 0 er elva nedenfor T1, sone 1 er strekningen T1 til Klevelandshølen, sone 2 er strekningen fra Klevelandshølen til T2, sone 13 er vassdraget ovenfor T12 og de øvrige sonene utgjør de ulike terskelbassengene. Fisketrapper er angitt med et trappe-symbol.

3 Materiale og metoder

3.1 Delprosjekt A: Vandring i og ovenfor minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann

3.1.1 Fangst og radiomerking av laks

Laksen ble fanget i ei felle like ovenfor kraftverksutløpet ved Laudal. Fella var plassert i øverste trinnet av ei fisketrapp i nederste terskel (T1) i minstevannføringsløpet (**figur 2**). Oppvandrende fisk ble ledet inn i fella gjennom et ruseprinsipp laget av sveisetråder. Hele fella kunne heises opp i luft og tømmes for fisk. Ved vannføring 3 m³/s eller mindre ble all oppvandrende fisk fanget i fella. Ved høyere vannføring renner vann utover terskelen, og fisk kan passere utenfor fisketrappa. Fella ble inspisert 1-2 ganger i døgnet.

Fanget laks ble transportert fra fella til ei finmasket mær som stod i skyggen under ei bru ved kraftverket. Transporten (230 m) foregikk ved sleping etter robåt i transportnot med aluminiumsramme og flottører. Laksen ble oppbevart i mæra 1-8 dager, før de ble merket med radiosender og satt ut i elva på samme sted.

I perioden 29. august-18. september ble 40 fisk (19 hanner og 21 hunner) merket med radiosender (**tabell 1**). Ved merking ble skjellprøver tatt av fisken. Ut fra skjellanalyser ble fisken klassifisert som 1) villaks, 2) oppdrettslaks eller 3) av usikker opprinnelse. Ved skjellanalyser identifiseres omlag 97 % av oppdrettslaksen, 55 % av oppdrettssmolten og 98 % av villaksen korrekt (Lund et al. 1989). For å skåne fisk som skulle settes ut i elva igjen ble det tatt 3-5 skjell fra hver fisk, noe som medførte at det var vanskeligere enn normalt ved skjellanalyser å identifisere fisken. Av den radiomerkede fisken ble 55 % (n = 22) identifisert som villaks, 23 % (n = 9) som oppdrettslaks og 20 % (n = 8) som av usikker opprinnelse (**tabell 1**). I tillegg ble det antatt ut fra skjellprøven at én fisk kunne være en regnbueørret (*Oncorhynchus mykiss*) fordi den hadde så små skjell (**tabell 1**). Dette er imidlertid usikkert da det under merkingen ikke ble oppdaget kjennetegn som tydet på at dette var en regnbueørret.

Radiosenderne (modell 7PN, Advanced Telemetry Systems, ATS) var 3,8 cm lange, 2,0 cm brede, 1,0 cm tykke, veide 3,4 g i vann og 14,0 g i luft. Garantert levetid var 170 dager. Signalene var i frekvensområdet 142.210-142.500 MHz. Individuelle fisk kunne gjenkjennes ved at senderne hadde unike kombinasjoner av frekvens og pulsrate. Senderne ble festet med ståltråd gjennom ryggmuskulaturen ved basis av ryggfinnen.

3.1.2 Registrering av laksen etter merking

Radiomerket laks i lakseførende strekning fra og med Laudal ble peilet manuelt (mottaker modell R2100, ATS) fra bil hver 3. dag i perioden 2. september-1. november og hver 6. dag i perioden 1. november-18. desember. I tillegg ble laksen i minstevannføringsløpet peilet morgen og kveld i løpet av to lokkeflommer som varte i to dager hver, samt morgen/formiddag dagen etter lokkeflommene. Ved peiling ble fisken posisjonert i alle fall til nærmeste 300 m. De fleste posisjoneringene var mer nøyaktige, særlig i tilfeller hvor fisk oppholdt seg nær en terskel og det skulle avgjøres i hvilket terskelbasseng de befant seg. Posisjoner til hver enkelt fisk i minstevannføringsløpet ble plottet på et kart med målestokk 1: 23 400, hvor alle tersklene var inntegnet. Et kart med målestokk 1: 50 000 ble benyttet for posisjonering av fisk oppstrøms minstevannføringsløpet. Fisk som vandret nedover i elva, ble peilet samtidig som radiomerket fisk i delprosjekt B (kap. 3.2).

3.1.3 Lokkeflommer i minstevannføringsløpet

Det ble sluppet to lokkeflommer i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann fra demningen ved Mannflåvann. Begge lokkeflommene bestod av 12 timer med økt vannføring til 13 m³/s i to påfølgende dager fra kl 8.30 til kl 20.30. Den første lokkeflommen ble sluppet 6. og 7. september og den andre lokkeflommen ble sluppet 24. og 25. september.

3.1.4 Resultatbehandling

Resultater om oppvandring i forhold til vandringshindre i minstevannføringsløpet inkluderer peiledata fra 29. august til og med 29. oktober. Peiledata fra 2. november og fram til 18. desember ble ikke tatt med for å unngå feiltolkninger av resultater i forhold til hva som var stans på grunn av gyting og stans for vandringshindre i minstevannføringsløpet. Resultater om øverste registrerte oppholdssted i minstevannføringsløpet inkluderer peiledata for hele perioden fra 29. august til 18. desember. Beregninger av oppvandring i forhold til vannføring inkluderer peiledata fra 29. august til 2. oktober. Peiledata fra perioden etter 2. oktober ble ikke tatt med fordi minstevannføringen ble endret fra sommervannføring (3,0 m³/s) til vintervannføring (1,5 m³/s) fra 1. oktober. Det antas også at motivasjonen for oppvandring reduseres senere på høsten, nærmere gyteperioden.

Radiomerket fisk som vandret nedover i elva i forhold til utsettingsstedet ved Laudal, er ikke inkludert i resultatene om vandring videre oppover i minstevannføringsløpet og vassdraget ovenfor Mannflåvann. Årsaken til at noen fisker vandret nedover i elva etter merking og utsetting kan være effekt av fangst og merkeprosedyre. Det har også tidligere blitt registrert at fangst og merking av laks fører til en slik

Tabell 1. Radiomerket laks i Mandalselva 1997. Fisken ble fanget i felle ved Laudal, oppbevart i mær under brua ved Laudal kraftverk, radiomerket og satt ut i elva samme sted. Fisk nr 15 ble antatt å være en regnbueørret ut fra skjellanalysen fordi den hadde så små skjell.

Fisk nr	Fre-kvens/ Pulsrate	Type 1 = villaks 2 = oppdrett 3 = usikker	Kjønn (1 = hann) (2 = hunn)	Naturlig lengde (cm)	Mærke- dato	Klokke- slett	Anmerkninger
1	400/45	1	1	66	29.08.	07.45	maksimum 1 dag i mær
2	288/45	1	2	48	29.08.	07.53	maksimum 1 dag i mær
3	360/45	1	1	68	29.08.	07.57	maksimum 1 dag i mær
4	460/45	1	1	63	29.08.	08.17	maksimum 8 dager i mær
5	440/45	1	1	57	29.08.	08.25	maksimum 8 dager i mær
6	350/45	3	1	76	29.08.	08.35	maksimum 8 dager i mær
7	250/45	2	1	57	29.08.	08.45	maksimum 8 dager i mær
8	210/45	3	2	53	29.08.	08.55	maksimum 8 dager i mær
9	500/45	2	2	76	29.08.	09.03	maksimum 8 dager i mær
10	478/45	1	2	54	29.08.	09.10	maksimum 8 dager i mær
11	239/45	3	1	62	29.08.	09.20	maksimum 8 dager i mær
12	430/45	3	2	58	02.09.	18.00	maksimum 5 dager i mær
13	489/45	1	2	58	02.09.	18.07	maksimum 5 dager i mær
14	329/45	1	1	62	02.09.	18.15	maksimum 5 dager i mær
15	420/45		2	51	02.09.	18.23	maksimum 5 dager i mær
16	309/45	1	2	58	02.09.	18.32	maksimum 5 dager i mær
17	368/45	2	2	65	02.09.	18.40	maksimum 5 dager i mær
18	410/45	1	1	62	02.09.	18.45	maksimum 5 dager i mær
19	260/45	3	1	67	10.09.	15.23	maksimum 7 dager i mær
20	449/60	2	2	57	10.09.	15.28	maksimum 7 dager i mær
21	270/60	1	1	65	10.09.	15.34	maksimum 7 dager i mær
22	299/60	1	2	55	10.09.	15.40	maksimum 7 dager i mær
23	470/60	2	1	66	10.09.	15.46	maksimum 7 dager i mær
24	390/60	3	2	60	10.09.	15.51	maksimum 7 dager i mær
25	344/60	1	1	63	10.09.	15.57	maksimum 7 dager i mær
26	279/60	1	2	56	10.09.	16.05	maksimum 7 dager i mær
27	230/60	2	2	52	10.09.	16.11	maksimum 7 dager i mær
28	380/60	2	1	62	10.09.	16.17	maksimum 7 dager i mær
29	211/60	1	1	65	18.09.	19.00	maksimum 7 dager i mær
30	369/60	2	2	64	18.09.	19.07	maksimum 7 dager i mær
31	220/60	1	2	60	18.09.	19.15	maksimum 7 dager i mær
32	310/60	2	1	65	18.09.	19.25	maksimum 7 dager i mær
33	420/60	1	2	75	18.09.	19.30	maksimum 7 dager i mær
34	259/60	1	1	70	18.09.	19.37	maksimum 7 dager i mær
35	250/60	1	2	60	18.09.	19.47	maksimum 7 dager i mær
36	240/60	3	2	65	18.09.	19.55	maksimum 7 dager i mær
37	288/60	3	1	55	18.09.	20.02	maksimum 7 dager i mær
38	319/60	1	2	60	18.09.	20.10	maksimum 7 dager i mær
39	330/60	1	1	60	18.09.	20.17	maksimum 7 dager i mær
40	400/60	1	2	62	18.09.	20.23	maksimum 7 dager i mær

adferd hos enkelte fisk (Finn Økland, NINA, pers. medd.). Én fisk ble stående i sone 1 under hele undersøkelsesperioden, og én fisk ble ikke registrert etter 8. oktober. Disse fiskene er heller ikke inkludert i resultatene om vandring videre oppover i vassdraget.

I perioder med nedbør vil vannføringen i minstevannføringsløpet øke i forhold til de 3 m³/s som slippes fra Mannflåvann. Den eksakte vannføringen i minstevannføringsløpet i slike perioder er ikke beregnet. Fiskens vandring er derfor analysert i forhold til daglig nedbør (mm/døgn) målt ved Laudal Kraftstasjon i perioden 2. september-18. desember. Fiskens vandring er også ana-

lysert i forhold til pH målt i vannprøver fra nederst i minstevannføringsløpet i perioden 5. september-13. desember. I tillegg ble fiskens vandring analysert i forhold til nedbør og pH i perioden fram til 2. oktober. Vannprøvene ble samlet inn nederst i minstevannføringsløpet på samme dager som peilingene ble utført i minstevannføringsløpet. Vannprøvene ble analysert ved Høgskolen i Agder, Vannlaboratoriet.

Fiskens vandring er også analysert separat for periodene under lokkeflom, etter lokkeflom og sammenlignet med vandring ved minstevannføring. Perioden under lokkeflom inkluderer to 12 timers pulser med økt vannføring. Perioden etter lokkeflom inkluderer 12 timersperioden mellom flompulsene og 10-13 timers perioden like etter andre flompuls. Minstevannføring inkluderer perioden 29. august-2. oktober forøvrig. I tillegg ble fiskens vandring for periodene under og etter lokkeflom slått sammen og sammenlignet med vandring ved minstevannføring, samt at det ble undersøkt om det var forskjeller i fiskens vandring mellom de to lokkeflommene. Peiledata fra perioden etter 2. oktober ble ikke inkludert fordi minstevannføringen ble endret fra sommervannføring til vintervannføring fra 1. oktober.

3.2 Delprosjekt B: Vandring i forhold til kalking

Fisken ble fanget og merket på samme måte som beskrevet i kap. 3.1. Etter merking ble fisken transportert med bil i et kar med vann og oksygentilførsel fra Laudal til munnings-

området av Mandalselva. Fisken ble satt ut i elva 2,5 km nord for bru (E 39) ved Mandal by. Ti laks (7 hanner og 3 hunner) ble satt ut 9. september og ti laks (4 hanner og 6 hunner) ble satt ut 29. september (**tabell 2**). Ved skjell-analyser ble 60 % (n = 12) av fisken identifisert som villaks, 20 % (n = 4) som oppdrettslaks og 20 % (n = 4) som av usikker opprinnelse (**tabell 2**).

Etter utsetting ble laksen peilet manuelt som beskrevet i kap 3.1.2. Peilinger ble foretatt fra munningsområdet til Laudal annenhver dag i perioden 10. september-30. november og sjeldnere i perioden 30. november-19. desember. Posisjoner til hver enkelt fisk ble plottet på et kart med målestokk 1: 50 000. Fisk som passerte Laudal ble peilet samtidig som radiomerket fisk i delprosjekt A (kap. 3.1.2). På grunn av høyt elektrolytt innhold i saltvann, reduseres rekkevidde for radiosendere i saltvann nærmest til null (Heggberget & Økland 1992). I munningsområdet i Mandalselva varierer saltinnholdet med tidevann og værforhold, og ved noen peilinger var det ikke mulig å motta signaler fra fisk som trolig oppholdt seg i munningsområdet, eller signalene var svært svake.

Ved resultatbehandling ble vandringsmønsteret hos radiomerket fisk beskrevet med posisjoner angitt som avstand fra munningen, det vil si avstand fra bru (E 39) over Mandalselva ved Mandal by. Resultater om vandringshastighet inkluderer peiledata fra 9. september og fram til fiskene nådde sine høyeste posisjoner i elva, det vil si peiledata fram til 14. november. Undersøkelser av Hauge

Tabell 2. Radiomerket laks i Mandalselva 1997. Fisken ble fanget i felle ved Laudal, oppbevart i mær under brua ved Laudal kraftverk, radiomerket og satt ut i elva 2,5 km nord for bru (E 39) ved Mandal by.

Fisk nr	Fre-kvens/ Pulsrate	Type 1 = villaks 2 = oppdrett (1 = hann) 3 = usikker	Kjønn (1 = hann) (2 = hunn)	Naturlig lengde (cm)	Merke- dato	Klokke- slett	Anmerkninger
1	220/45	1	1	65	09.09.	19.07	satt ut kl 20.00, maksimum 6 dg i mær
2	470/45	2	1	70	09.09.	19.16	satt ut kl 20.00, maksimum 6 dg i mær
3	340/45	1	1	65	09.09.	19.22	satt ut kl 20.00, maksimum 6 dg i mær
4	380/45	1	2	58	09.09.	19.29	satt ut kl 20.00, maksimum 6 dg i mær
5	270/45	2	2	64	09.09.	19.34	satt ut kl 20.00, maksimum 6 dg i mær
6	299/45	3	1	61	09.09.	20.36	satt ut kl 21.30, maksimum 6 dg i mær
7	229/45	1	1	57	09.09.	20.41	satt ut kl 21.30, maksimum 6 dg i mær
8	449/45	3	1	62	09.09.	20.46	satt ut kl 21.30, maksimum 6 dg i mær
9	279/45	1	2	52	09.09.	20.55	satt ut kl 21.30, maksimum 6 dg i mær
10	390/45	3	1	65	09.09.	20.59	satt ut kl 21.30, maksimum 6 dg i mær
11	410/60	3	1	70	29.09.	18.30	satt ut kl 20.00, trolig < 10 dg i mær
12	479/60	1	1	65	29.09.	18.35	satt ut kl 20.00, trolig < 10 dg i mær
13	489/60	2	2	68	29.09.	18.40	satt ut kl 20.00, trolig < 10 dg i mær
14	459/60	2	2	62	29.09.	18.45	satt ut kl 20.00, trolig < 10 dg i mær
15	350/60	1	2	65	29.09.	18.50	satt ut kl 20.00, trolig < 10 dg i mær
16	500/60	1	2	65	29.09.	19.55	satt ut kl 20.00, trolig < 10 dg i mær
17	430/60	1	2	57	29.09.	19.00	satt ut kl 20.00, trolig < 10 dg i mær
18	360/60	1	1	62	29.09.	19.05	satt ut kl 20.00, trolig < 10 dg i mær
19	440/60	1	1	50	29.09.	19.10	satt ut kl 20.00, trolig < 10 dg i mær
20	080/45	1	2	60	29.09.	19.15	satt ut kl 20.00, trolig < 10 dg i mær

fossen som vandringshinder inkluderer peiledata fram til 18. november. Undersøkelser av fisk som vandret opp i sidebekker/elver inkluderer peiledata fram til 10. november. Resultatene om vandringsmønster er basert på de ti første peilingene etter merking og utsetting. Bare laks med registrert posisjon ved alle ti peilinger er tatt med (1996: n = 8, 1997: n = 14). Fiskens vandring i vassdraget nedenfor Laudal er analysert i forhold til vannføring (døgnmiddel) ved Kjølemo for perioden 9. september-5. desember (data fra NVE) og pH (døgnmiddel) for perioden 9. september-19. desember (data fra NIVA). De samme analysene ble også foretatt i perioden fram til 30. oktober for å undersøke om analyser i perioden før antatt gyting ga andre resultater enn hele peilesesongen sett under ett.

4 Resultater

4.1 Delprosjekt A - vandring i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann.

4.1.1 Vandring og vandringshistorie

Av radiomerket fisk som ble satt ut ved Laudal, vandret 43 % (n = 17) nedover elva i forhold til utsettingsstedet. Dette var en større andel enn i 1996 (18 %, n = 7), men forskjellen var ikke signifikant (Kji-kvadrat, korrigert i henhold til Yates' correction for continuity, $\chi^2 = 3,66$, P = 0,056). De radiomerkede fiskene som vandret nedover i elva oppholdt seg i sone 1 i kortere eller lengre tid før de vandret nedover. Fire fisk vandret nedover elva umiddelbart etter utsetting, og ble ikke registrert i minstevannføringsløpet. Fem fisk hadde Klevelandshølen og åtte fisk hadde kraftverksbrua som øverste registrerte oppholdssted før de vandret nedover. I tillegg vandret én fisk opp i sone 2 før den vandret nedover elva. Tiden det tok fra merking til første registrering i elva nedenfor fella ved Laudal var i gjennomsnitt 24 dager (n = 17, SD = 19, variasjonsbredde = 4-73). Fiskene som vandret nedover fra Laudal oppholdt seg på strekningen Øyslebø til Mjåland (19 175-28 300 m ovenfor bru (E39) ved Mandal by). Av disse fiskene vandret sju opp i Logåna én eller flere ganger, og én fisk vandret opp i Røyselandsbekken. I tillegg til fiskene som vandret nedover elva oppholdt én fisk (nr. 38) seg i sone 1 under hele undersøkelsesperioden, mens én fisk (nr. 35) ikke ble registrert etter 8. oktober.

Kun én radiomerket fisk satt ut ved Laudal (5 %) (nr. 3) passerte hele minstevannføringsløpet og vandret videre oppover i vassdraget. Denne fisken passerte minstevannføringsløpet i løpet av 8 dager, noe som tilsvarer en vandringshastighet på 0,75 km/døgn. Den ble peilet sør for Sundet (Bjelland) 8. september (ti dager etter merking) og i Kosåna 11. september. I resten av undersøkelsesperioden ble den peilet like nord for Foss. Gjennomsnittlig vandringshastighet etter passering av dammen ved Mannflåvann var 3,2 km/døgn. I tillegg passerte én laks dammen ved Mannflåvann, men vandret etter én peiling i Mannflåvann ned i minstevannføringsløpet igjen. I 1996 passerte en større andel av fiskene (25 %, n = 7) hele minstevannføringsløpet og vandret videre oppover i vassdraget enn i 1997, men forskjellen var ikke signifikant (Fishers exact test, P = 0,12). Av fiskene som vandret opp i sone 12, var det ingen forskjell mellom 1996 og 1997 i andelen som passerte dammen ved Mannflåvann (7 av 15 mot 2 av 7, Fishers exact test, P = 0,65).

Fiskene som ikke vandret nedover i elva i forhold til utsettingsstedet (n = 21), oppholdt seg i forskjellige deler av minstevannføringsløpet i perioden fra merking og fram til 29. oktober. Gjennomsnittlig andel av total tid radiomerket fisk oppholdt seg i de ulike sonene av minstevannføringsløpet varierte i perioden fra merking til 29. oktober

(figur 3). Fiskene oppholdt seg en stor del av tiden i sone 1 (17 % av tiden), men de oppholdt seg også mye i sonene 5, 7, 8 og 11 (henholdsvis 9 %, 10 %, 10 % og 11 % av tiden). Fiskene oppholdt seg minst i sonene 2, 6 og 9 (henholdsvis 5 %, 5 % og 1 % av tiden). Første gang fisken ble registrert lenger opp i minstevannføringsløpet enn sone 1 var i gjennomsnitt 13,2 dager etter utsetting (SD = 8,8, variasjonsbredde = 4 - 31). Vandringsmønsteret i minstevannføringsløpet for individuelle fisk er vist i vedlegg 1.

Mange av de radiomerkede fiskene ($n = 17$) snudde under sin oppvandring i minstevannføringsløpet og vandret nedover igjen én eller flere ganger i løpet av perioden fra merking og fram til 29. oktober (figur 4). Dette skjedde oftest i sonene 11 og 12, hvor henholdsvis 7 og 5 fisk var oppe og snudde 12 og 6 ganger. Det ble ikke registrert at fisk snudde i sone 3 og 10, og det var lave verdier i sonene 2 til 9 (variasjonsbredde = 1 - 4). Øverste registrerte oppholdssted for fisk som vandret opp i minstevannføringsløpet ble også registrert (figur 4). Av de 21 laks som vandret opp forbi sone 2, passerte to fisk dammen ved Mannflåvann. Fem fisk vandret opp til sone 12 og fem fisk vandret opp til sone 11. Ingen fisk hadde sone 3 eller 10 som øverste sone. Ellers var de spredt jevnt med én til to fisk på hver av sonene 2 til 9.

Fiskens merkedato hadde ingen signifikant innvirkning på hvor langt opp i elva de ble peilet 29. oktober (lineær regresjonsanalyse, posisjon angitt i meter: $r^2 = 0,063$, $P = 0,29$, $n = 20$, posisjon angitt som sone: $r^2 = 0,002$, $P = 0,87$, $n = 19$). Fiskens lengde hadde heller ingen signifikant innvirkning på hvor langt opp i elva de ble peilet 29. oktober (lineær regresjonsanalyse, posisjon angitt i meter: $r^2 = 0,004$, $P = 0,79$, $n = 20$, posisjon angitt som sone: $r^2 = 0,139$, $P = 0,12$, $n = 19$).

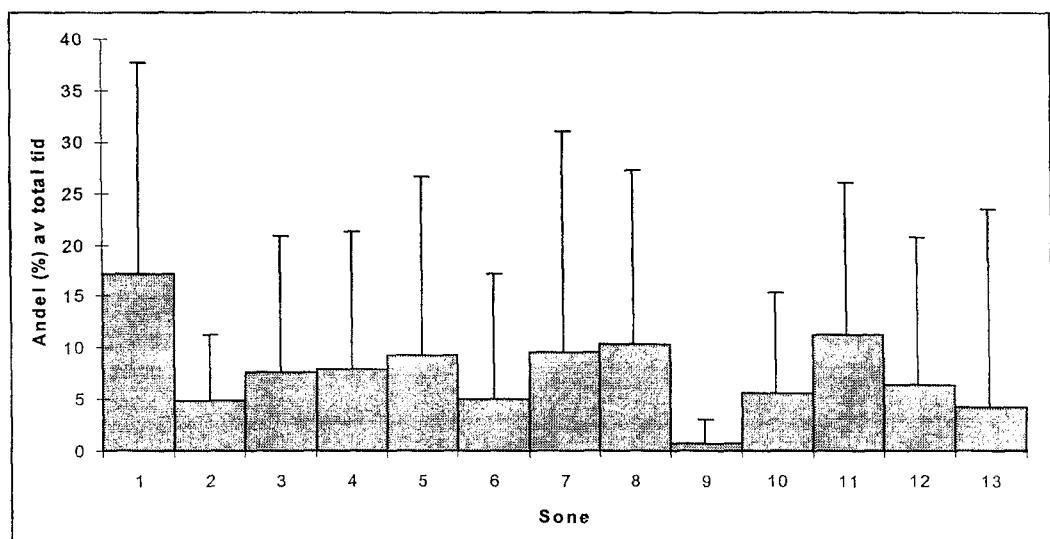
I perioden 2. september-18. desember ble det ikke funnet noen signifikant sammenheng mellom fiskens forflytning i meter siden forrige peiling og nedbør siden forrige peiling (lineær regresjonsanalyse, $r^2 = 0,000$, $P = 0,99$, $n = 30$). Det ble heller ikke funnet noen signifikant sammenheng for perioden 2. september til 2. oktober (lineær regresjonsanalyse, $r^2 = 0,002$, $P = 0,86$, $n = 14$). I perioden 5. september til 13. desember ble det ikke funnet noen sammenheng mellom fiskens forflytning i meter siden forrige peiling og pH ved peiling (lineær regresjonsanalyse, $r^2 = 0,045$, $P = 0,25$, $n = 30$) eller mellom forflytning siden forrige peiling og pH-endring siden forrige peiling (lineær regresjonsanalyse, $r^2 = 0,001$, $P = 0,88$, $n = 30$). Det ble heller ikke funnet noen signifikant sammenheng for perioden 5. september til 2. oktober (lineær regresjonsanalyse, pH: $r^2 = 0,008$, $P = 0,73$, $n = 16$, pH-endring: $r^2 = 0,04$, $P = 0,46$, $n = 15$). pH-verdier målt nederst i minstevannføringsløpet er vist i figur 5.

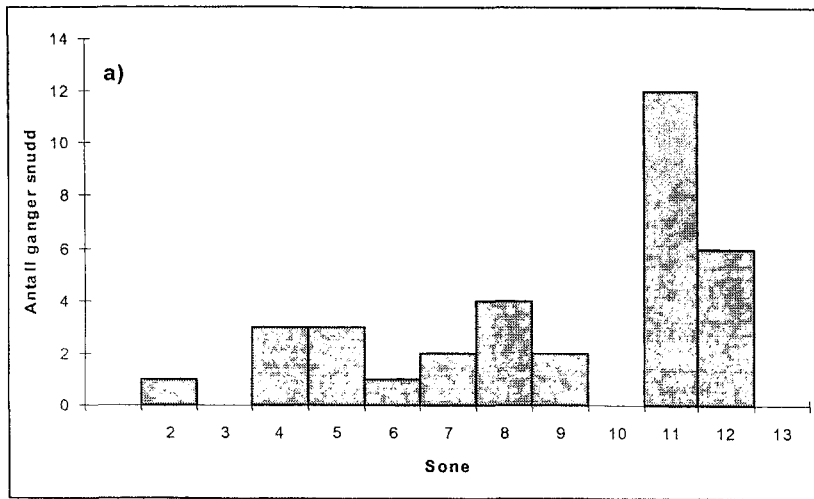
4.1.2 Vandring i forhold til lokkeflommer

Den gjennomsnittlige forflytningen per time hos laks var ikke signifikant forskjellig mellom perioden under lokkeflom, perioden 10-13 timer etter lokkeflom og ved minstevannføring verken for lokkeflom 1 eller lokkeflom 2 (Friedmans test, verdier gitt i tabell 3). Dette var tilfellet både for forflytning i meter per time og antall terskelpasseringer per time.

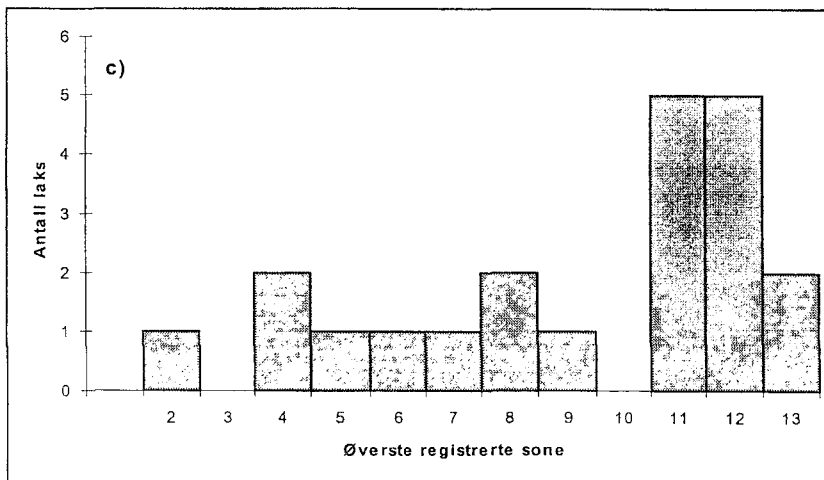
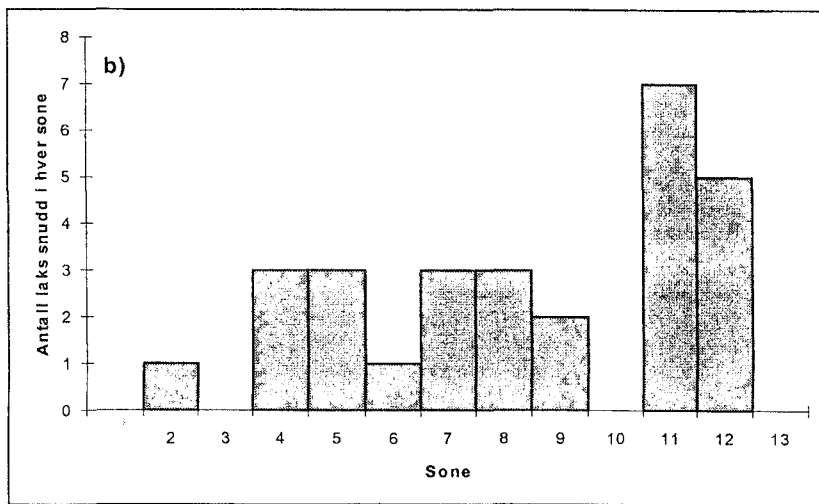
Den gjennomsnittlige forflytningen per time i periodene under lokkeflom 1 og under lokkeflom 2 var ikke signifikant forskjellig fra forflytning ved minstevannføring, verken for forflytning i meter per time eller i antall terskelpasseringer per time (Wilcoxon's rang korrelasjons test, verdier gitt i tabell 4).

Figur 3. Gjennomsnitt av total tid (+ 1 SD) fra merking til 29. oktober individuelle radiomerkede laks ($n = 21$) ble registrert i de ulike sonene i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann i Mandals-elva 1997.

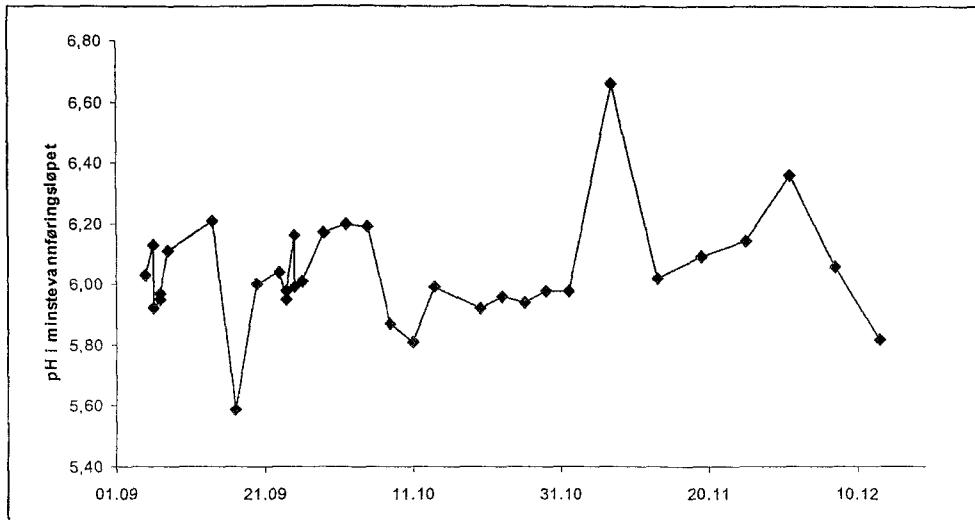




Figur 4. Vandring hos radiomerket laks ($n = 21$) i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann i Mandalselva 1997. a) Antall ganger laks under oppvandring i minstevannføringsløpet snudde i de enkelte sonene og vandret nedover elva igjen i perioden fra merking til 29. oktober. b) Antall individuelle laks som snudde under oppvandring i de ulike sonene og vandret nedover elva igjen i perioden fra merking til 29. oktober. c) Øverste registrerte sone for individuelle laks i løpet av perioden fra merking til siste peiling 18. desember.



Figur 5. pH-verdier i vannprøver samlet inn nederst i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann i Mandalselva 1997. Vannprøver ble samlet inn på samme dager som peiling av radiomerkede fisk ble gjennomført.



Tabell 3. Vandring hos radiomerket laks i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann i Mandalselva i 1997. Testverdier for Friedmanns test, der nullhypotesen er at det ikke er noen forskjell i henholdsvis forflytning (m) per time og antall terskelpasseringer per time i løpet av lokkeflommer, 10-13 t perioder like etter lokkeflommer og i perioder med minstevannføring. Lokkeflom 1 ble sluppet 6. og 7. september og lokkeflom 2 ble sluppet 24. og 25. september.

Lokkeflom nr	Antall radio merkede fisk	Forflytning (m) per time		Antall terskelpasseringer per time	
		χ^2	P	χ^2	P
1	12	4,17	0,13	3,80	0,15
2	19	1,37	0,50	1,04	0,59

Tabell 4. Vandring hos radiomerket laks i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann i Mandalselva i 1997. Testverdier for Wilcoxon's signed rank test, der nullhypotesen er at det ikke er noen forskjell i forflytning (m) og antall terskelpasseringer per time mellom perioder under lokkeflom og i perioder med minstevannføring. Lokkeflom 1 ble sluppet 6. og 7. september og lokkeflom 2 ble sluppet 24. og 25. september.

Lokkeflom nr	Antall radio merkede fisk	Forflytning (m) per time		Antall terskelpasseringer per time	
		Z	P	Z	P
1	13	-0,73	0,46	-0,47	0,64
2	19	-1,89	0,059	-0,81	0,42

Den gjennomsnittlige forflytningen per time i periodene etter lokkeflom 1 og etter lokkeflom 2 var ikke signifikant forskjellig fra forflytning ved minstevannføring, verken for forflytning i meter per time eller i antall terskelpasseringer per time (Wilcoxon's rang korrelasjons test, verdier gitt i **tabell 5**).

Laksens gjennomsnittlige forflytning per time var større for periodene under og etter lokkeflom slått sammen enn under periodene med minstevannføring forøvrig (**figur 6**). For lokkeflom 1 var forflytningen signifikant større enn ved minstevannføringen i antall terskelpasseringer per time (Wilcoxon, $Z = -2,28$, $P = 0,023$), men ikke i meter per time (Wilcoxon, $Z = -0,31$, $P = 0,75$). For lokkeflom 2 var forflytningen signifikant større enn ved minstevannføringen både i meter per time (Wilcoxon, $Z = -2,58$, $P = 0,010$) og i antall terskelpasseringer per time (Wilcoxon, $Z = -2,11$, $P = 0,035$). Det ble derimot ikke funnet signifikante forskjeller i gjennomsnittlig forflytning mellom de to lokkeflommene, verken i meter per time (Wilcoxon, $Z = -0,78$, $P = 0,43$) eller antall terskelpasseringer per time (Wilcoxon, $Z = -0,16$, $P = 0,88$). Gjennomsnittlig forflytning hos radiomerket fisk i minstevannføringsløpet i forhold til vannføring og nedbør er vist i **figur 7**. Fiskens gjennomsnittlige forflytning i meter og i antall terskelpasseringer per time er vist i detalj i **figur 8**.

Under lokkeflom 2 var det ingen forskjeller i gjennomsnittlig forflytning per time for nymerket fisk (merket og satt ut mindre enn åtte dager før lokkeflom) og ikke nymerket fisk (merket og satt ut mer enn åtte dager før lokkeflom), verken i meter per time (Mann-Whitney U test, $U = 21,0$, $P = 0,79$) eller i antall terskelpasseringer per time (Mann-Whitney U test, $U = 13,5$, $P = 0,25$). Under lokkeflom 1 var bare nymerket fisk tilstede. For fisk satt ut før lokkeflom 1 var det ikke signifikante forskjeller i forflytning mellom lokkeflom 1 og de samme fiskenes forflytning under lokkeflom 2 (Wilcoxon, forflytning i m/t: $Z = -0,78$, $P = 0,43$, forflytning i ant. terskelpasseringer/t: $Z = -0,16$, $P = 0,88$).

Hos radiomerket laks skjedde 16 % av terskelpasseringene under lokkeflommer, 23 % i timene like etter lokkeflommer (10–13 timer) og 61 % under minstevannføring. Av den totale tiden fra 29. august til 2. oktober utgjorde både lokkeflommer og timene etter lokkeflommer 6 % av tiden, mens minstevannføringen utgjorde 88 % av tiden. Forholdet mellom andel av terskelpasseringer og andel av tid var større under og like etter lokkeflommer enn under minstevannføring (**figur 9**). Forholdet var også større under og etter lokkeflom 2 enn under og etter lokkeflom 1. Under lokkeflommene ble alle terskler unntatt T11 passert, mens etter lokkeflommene og under minstevannføring ble alle terskler passert.

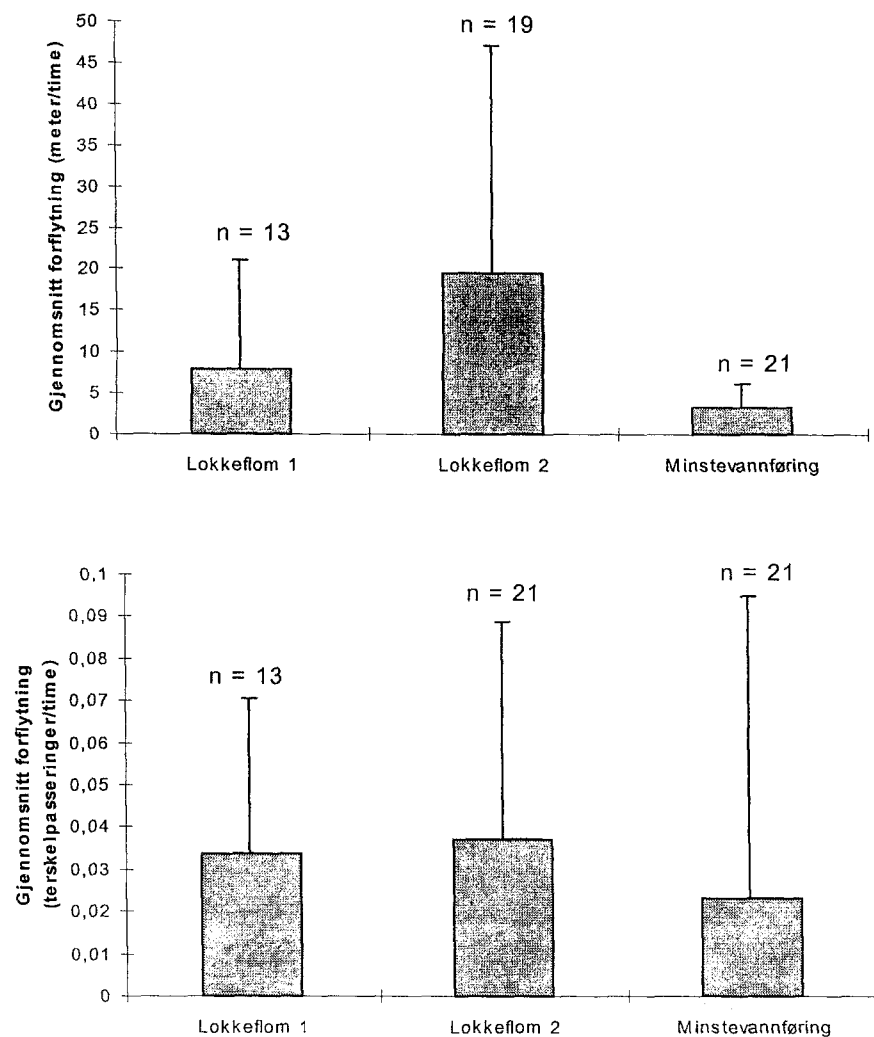
4.2 Delprosjekt B - vandring i forhold til kalking

Av de radiomerkede fiskene som ble satt ut ved Mandal, ble alle senere registrert lenger opp i vassdraget. Vandringsmønster for individuelle laks er vist i **vedlegg 2**. Gjennomsnittlig høyeste registrerte posisjon for fiskene som ikke vandret opp til Laudal ($n = 17$) var 12 180 meter ovenfor bru (E39) ved Mandal by (SD = 2 460, variasjonsbredde = 9 650-15 600). Fiskene hadde brukt gjennomsnittlig 28 dager (SD = 14, variasjonsbredde = 9-62) opp til høyeste posisjon. Dette tilsvarte en vandringshastighet på 416 meter/døgn (SD = 195, variasjonsbredde = 148-903). De fleste fiskene (82 %, $n = 14$) hadde nådd sin høyeste posisjon før 30. oktober. I 1996 var tilsvarende resultater for gjennomsnittlig høyeste posisjon 12 700 m ovenfor Mandal (SD = 3 330, variasjonsbredde = 9 240-21 120), antall dager for å vandre så langt opp i elva 22 dager (SD = 10, variasjonsbredde = 10-41), vandringshastighet 651 meter/døgn (SD = 439, variasjonsbredde = 173-1 270) og for andel som nådde høyeste posisjon før 30. oktober 88 % ($n = 15$). Det var ingen signifikant forskjell mellom 1996 og 1997 i hvor stor andel av fisken som ble registrert etter merking (Fishers exact test, $P = 0,23$), hvor høyt opp i elva fisken fordelte seg etter merking (Kolmogorov-Smirnov two-sample test, $Z = 0,86$, $P = 0,45$) eller hvor raskt fisken vandret oppover i elva etter merking (Mann-Whitney U-test, $U = 110,0$, $P = 0,35$). Dersom de to fiskene som vandret opp forbi Laudal i 1997 tas med, var det heller ikke signifikant forskjell i hvor høyt opp i elva fisken fordelte seg etter merking (Kolmogorov-Smirnov two-sample test, $Z = 0,75$, $P = 0,63$), eller hvor raskt fisken vandret oppover elva etter merking (Mann-Whitney U-test, $U = 132,0$, $P = 0,51$). (Dersom det antas at den tredje fisken som vandret opp til Laudal og mistet senderen i fiskefella vandret helt opp i Kosåna, var det heller ikke forskjell i hvor høyt i elva fisken fordelte seg etter merking, $Z = 0,86$, $P = 0,46$). I 1997 var det ikke signifikant forskjell i hvor langt oppover i elva fisk satt ut 9. september og 29. september fordelte seg (Kolmogorov-Smirnov two-sample test, $Z = 1,12$, $P = 0,16$).

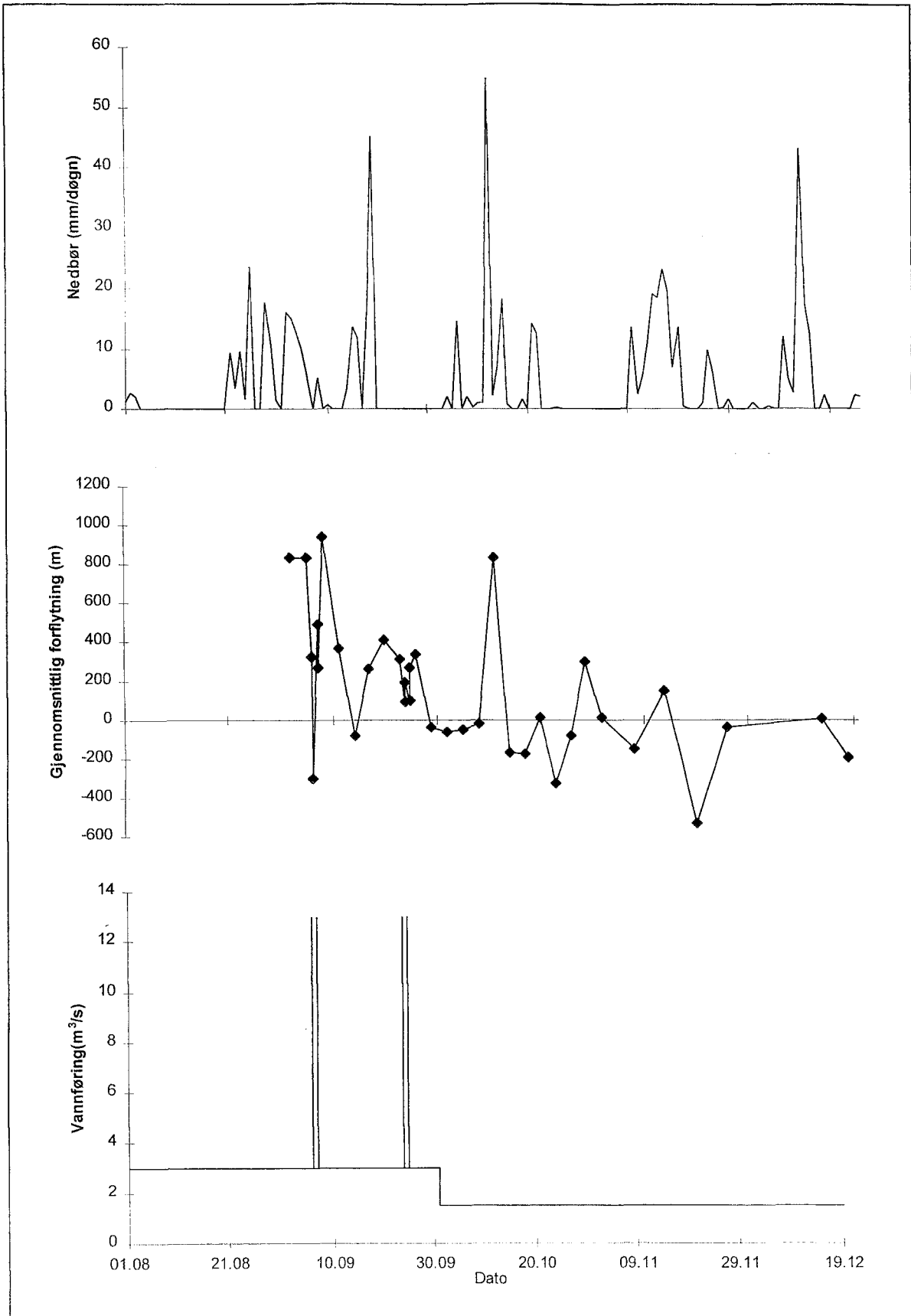
I løpet av de ti første peilingene etter utsetting ble fisken registrert på ny plass i elva i forhold til forrige peiling gjennomsnittlig 3,6 ganger i 1997 ($n = 14$, SD = 1,7) og 3,6 ganger i 1996 ($n = 8$, SD = 1,4). Det var ingen signifikant forskjell i antall registreringer på ny plass i 1996 og 1997 (Mann-Whitney U-test, $U = 52,0$, $P = 0,78$). Gjennomsnittlig lengde på forflytningene (oppstrøms og nedstrøms) hos individuelle fisk var gjennomsnittlig 1880 m i 1997 ($n = 14$ laks med til sammen 100 forflytninger, SD = 954) og 2 028 m i 1996 ($n = 8$ laks med til sammen 57 forflytninger, SD = 873). Det var ingen signifikant forskjell i lengde på forflytningene i 1996 og 1997 (Mann-Whitney U-test, $U = 49,0$, $P = 0,63$). I 1997 var 37 av 100 (37 %) registrerte forflytninger i nedstrøms retning, og i 1996 20 av 57 (35 %). Det var ingen signifikante forskjeller i andel nedstrøms forflytninger hos laks i 1996 og 1997 (Kji-kvadrat test, korrigert i henhold til Yates' correction for continuity, $\chi^2 = 0,004$, $P = 0,95$).

Tabell 5. Vandring hos radiomerket laks i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann i Mandalselva i 1997. Testverdier for Wilcoxon's signed rank test, der nullhypotesen er at det ikke er noen forskjell i forflytning (m) og antall terskelpasseringer per time mellom perioder 10-13 t etter lokkeflom og i perioder med minstevannføring. Lokkeflom 1 ble sluppet 6. og 7. september og lokkeflom 2 ble sluppet 24. og 25. september.

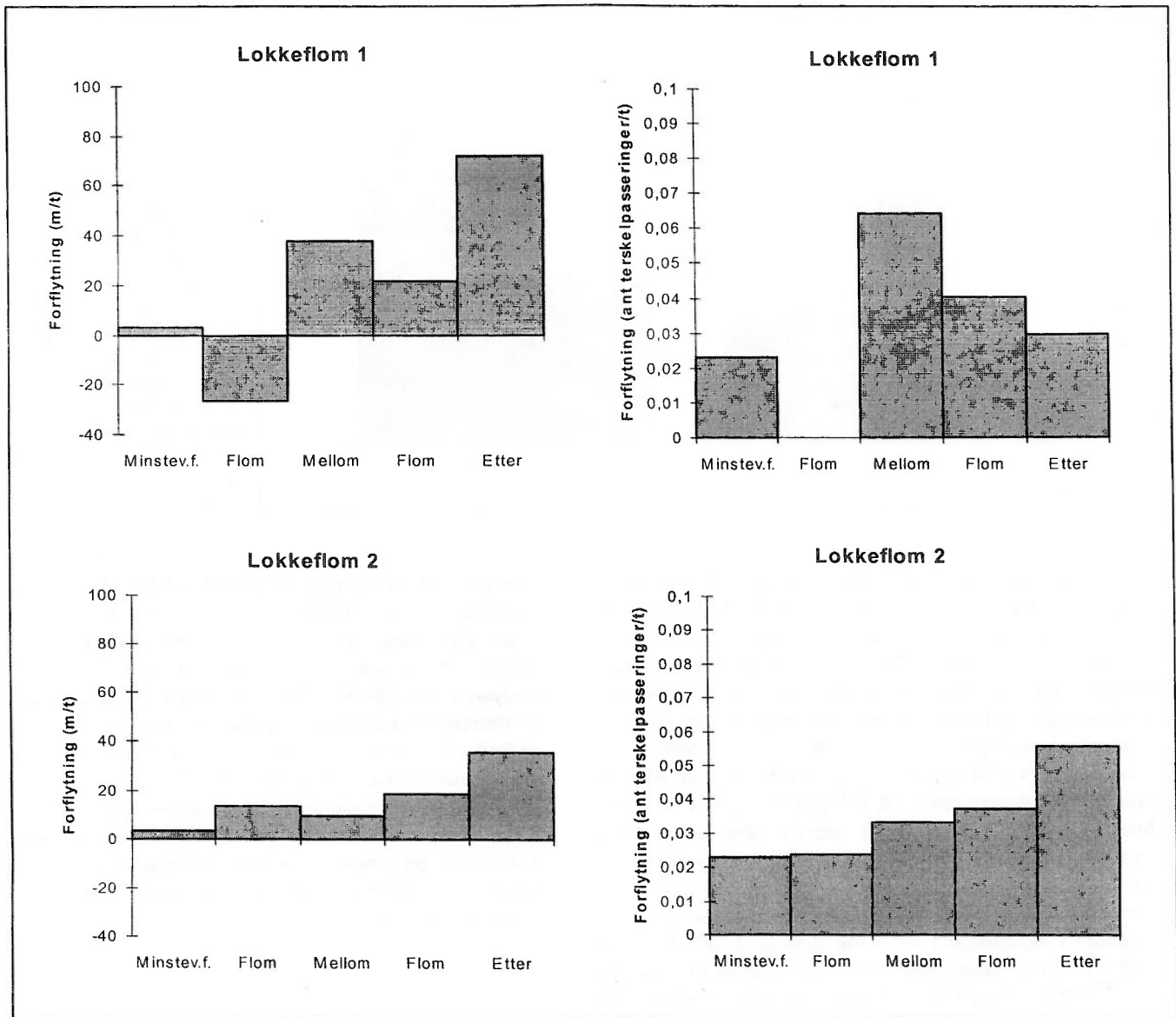
Lokkeflom nr	Antall radio merkede fisk	Forflytning (m) per time		Antall terskelpasseringer per time	
		Z	P	Z	P
1	12	-1,41	0,16	-1,60	0,11
2	19	-1,25	0,21	-1,72	0,085



Figur 6. Gjennomsnittlig forflytning hos radiomerket laks i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann i Mandalselva 1997. Forflytning er oppgitt som meter (øverst) og antall terskelpasseringer (nederst) per time (+ 1 SD) for lokkeflom 1, lokkeflom 2 og minstevannføring. Antall fisk (n) er gitt i figuren. Lokkeflommene inkluderer hele perioden fra første flompuls til og med 10-13 t etter andre flompuls.



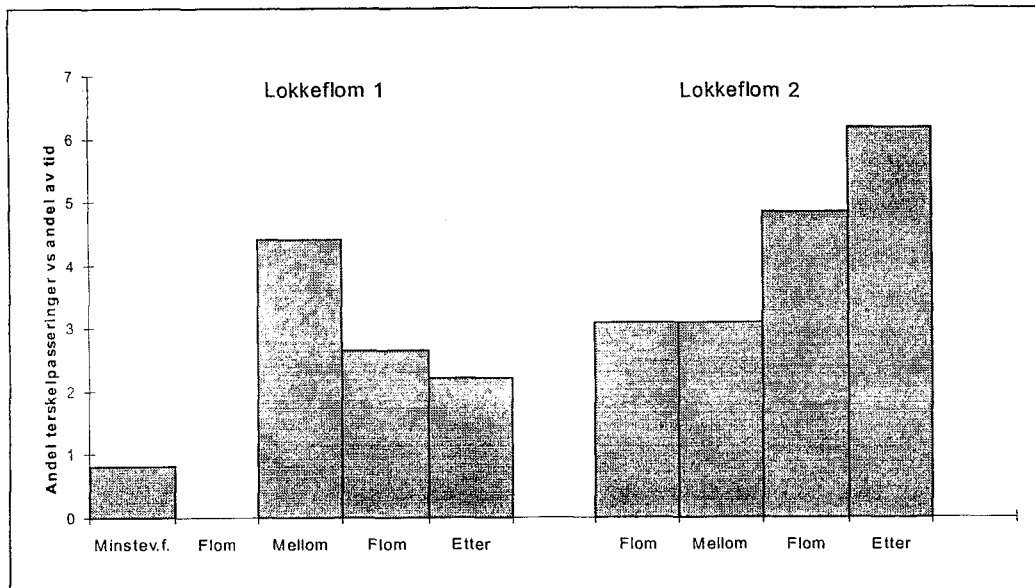
Figur 7. Øverst: Nedbør registrert ved Laudal kraftstasjon daglig i perioden 1. august til 19. desember 1997. Midten: Gjennomsnittlig forflytning hos radiomerket laks i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann i Mandalselva 1997. Antall fisk varierer fra 8 til 21 i løpet av sesongen. Nederst: Vannføring sluppet fra Mannflåvann og ned i minstevannføringsløpet i perioden 1. august til 19. desember.



Figur 8. Gjennomsnittlig forflytning hos radiomerket laks i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann, Mandalselva 1997. Forflytningen er oppgitt i meter (venstre) og antall terskelpasseringer (høyre) per time for de fire ulike fasene av lokkeflom 1 og 2 og ved minstevannføring. Lokkeflom 1 (øverst) foregikk i perioden 06.09.-08.09. og lokkeflom 2 (nederst) foregikk i perioden 24.09.-26.09. Hver av lokkeflommene bestod av to flomperioder på 12 timer med økt vannføring ("flom") adskilt av en 12 timers periode med minstevannføring ("mellom") og avsluttet med en 10-13 timers periode med minstevannføring ("etter").

Haugefossen er et mulig vandringshinder for oppvandrende fisk. I 1996 vandret sju fisk (41 %) opp til Haugefossen, og to av disse fiskene passerte fossen. I 1997 vandret ni fisk (45 %) opp til fossen, og tre av disse fiskene passerte fossen. Det var ingen signifikant forskjell mellom 1996 og 1997 i hvor mange fisk som passerte Haugefossen (Fishers exact test, $P = 1,00$). Den gjennomsnittlige oppholdstiden nedenfor Haugefossen var 8 døgn i 1996 (SD = 5,8, variasjonsbredde = 0-18) og 11 døgn i 1997 (SD = 7,2, variasjonsbredde = 0-21). Det var ingen signifikant forskjell i oppholdstiden nedenfor Haugefossen i 1996 og 1997 (Mann-Whitney U test, $U = 15,0$, $P = 0,46$).

Av totalt 20 fisk ble tre fisk senere registrert ved Laudal eller høyere opp i vassdraget. Én fisk (nr. 10) mistet radiosenderen i fella ved Laudal 13. oktober og ble derfor ikke registrert videre. Én fisk (nr. 9) vandret opp i sone 8 i minstevannføringsløpet i perioden 8. oktober-7. november før den vandret sørover igjen. Den tredje fisken (nr. 2) passerte minstevannføringsløpet i perioden 2.-8. oktober og vandret så langt opp i elva som nord for Bjelland. Øverste registrering var 17,8 km ovenfor Laudal i perioden 17.-20. oktober. De tre fiskene som passerte kraftverksutløpet ved Laudal oppholdt seg ved kraftverksutløpet i henholdsvis 6 døgn, < 2 døgn og < 2 døgn. I 1996 var det ingen fisk som vandret opp til Laudal etter merking og utsetting ovenfor Mandal.



Figur 9. Andel av terskelpasseringer i forhold til andel av tid for radiomerket laks i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann i Mandalselva 1997. Forholdet er gitt for de fire ulike fasene av lokkeflom 1 og 2 og for minstevannføring i perioden fra merking til 2. oktober. Lokkeflom 1 foregikk i perioden 06.09.-08.09. og lokkeflom 2 foregikk i perioden 24.09.-26.09. Hver av lokkeflommene bestod av to flomperioder på 12 timer med økt vannføring ("flom") adskilt av en 12 timers periode med minstevannføring ("mellom") og avsluttet med en 10-13 timers periode med minstevannføring ("etter").

Av de radiomerkede fiskene ble 35 % ($n = 7$) registrert i sidebekker/elver ved én eller flere peilinger (tabell 6). Alle disse registreringene ble gjort i Røyselandsbekken i perioden 8. - 20. oktober. Det var ingen signifikant forskjell mellom 1996 og 1997 i hvor stor andel av fiskene som vandret opp i sidebekker/elver etter merking og utsetting (Kji-kvadrat, korrigert i henhold til Yates' correction for continuity, $\chi^2 = 0,59$, $P = 0,44$). I gjennomsnitt oppholdt fiskene seg i sidebekker/elver i 4,3 døgn (SD = 3,4, variasjonsbredde = 2-10) i 1997 og 26 døgn i 1996 (SD = 18,4, variasjonsbredde = 2-50). Oppholdstiden i sidebekker/elver var signifikant lengre i 1996 enn i 1997 (Mann-Whitney U test, $U = 7,5$, $P = 0,01$). Lengden på fiskene som ble registrert i sidebekker i 1997 var gjennomsnittlig 64,7 cm (SD = 3,4) og fiskene som bare ble registrert i hovedelva 60,8 cm (SD = 5,8). Det var ingen forskjell i lengde på fisk som ble registrert i sidebekker og fisk som ikke ble registrert i sidebekker (Mann Whitney U test, $U = 27,5$, $P = 0,15$). Det samme var også tilfellet i 1996.

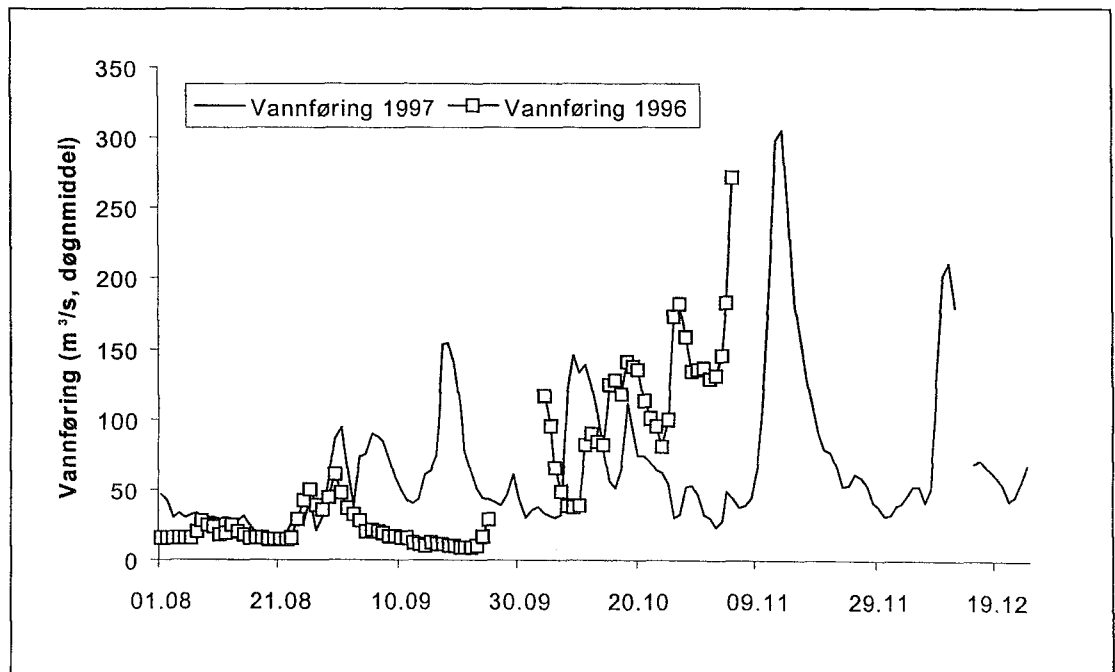
Av de radiomerkede fiskene forsvant 20 % ($n = 4$) i perioden fra utsetting til 10. november. Én fisk mistet senderen i fiskefella ved Laudal 13. oktober, én fisk ble innrapportert fanget i Mandalselva 19. oktober og to fisker ble ikke peilet etter henholdsvis 6. oktober og 10. november. Alle fiskene ble registrert lenger opp i vassdraget enn 10 km fra elvemunningen før de forsvant.

I perioden 9. september-5. desember ble det ikke funnet noen signifikant sammenheng mellom fiskens forflytning i meter siden siste peiling og vannføring (døgnmiddel, data fra NVE) ved Kjølamo (lineær regresjonsanalyse, $r^2 = 0,016$, $P = 0,42$, $n = 42$). Det ble heller ikke funnet noen signifikant sammenheng mellom vannføring og forflytning i perioden 9. september-30. oktober (lineær regresjonsanalyse, $r^2 = 0,008$, $P = 0,67$, $n = 26$). Vannføringen i Mandalselva ved Kjølamo (figur 10) var mer variabel i 1997 enn i 1996, og var heller ikke så jevnt økende fra tidlig i oktober og ut over i sesongen som i 1996.

I perioden 9. september-19. desember ble det funnet en signifikant negativ sammenheng mellom fiskens forflytning i meter siden forrige peiling og gjennomsnittlig pH (data fra NIVA) ved Kjølamo i samme periode (lineær regresjonsanalyse, $r^2 = 0,239$, $P = 0,001$, $n = 45$). Det ble også funnet en tilsvarende signifikant negativ sammenheng mellom pH og forflytning i perioden 9. september til 30. oktober (lineær regresjonsanalyse, $r^2 = 0,165$, $P = 0,035$, $n = 26$). pH i Mandalselva ved Kjølamo var gjennomsnittlig 6,1 i perioden 1. september-24. desember (SD = 0,23, variasjonsbredde = 5,56–6,61). pH verdiene var ikke avhengig av vannføringen i elva ved Kjølamo i samme periode (lineær regresjon, $r^2 = 0,004$, $P = 0,52$, $n = 112$).

Tabell 6. Vandring opp i og oppholdstid i sidebekker/elver til Mandalselva for laks fanget ved Laudal, radiomerket og satt ut 2,5 km ovenfor bru (E39) ved Mandal by i 1997.

Fisk nr	Sidebekk/elv	Datoer peilet i sidebekk/elv	Antall døgn
3	Røyselandsbekken	8.10.	2
6	Røyselandsbekken	10.11.	2
11	Røyselandsbekken	8.10., 10.10., 12.10., 14.10.	8
12	Røyselandsbekken	18.10.	2
13	Røyselandsbekken	18.10., 20.10.	4
14	Røyselandsbekken	10.10.	2
18	Røyselandsbekken	12.10., 14.10., 16.10., 18.10., 20.10.	10



Figur 10. Vannføring (døgnmiddelverdi, data fra NVE) i perioden 1. august til 24. desember 1997 og 1. august til 7. november 1996 ved Kjølemo stasjon i Mandalselva. (Verdier fra perioden 26. september-3. oktober 1996 og 13.-14. desember 1997 mangler).

5 Diskusjon

5.1 Delprosjekt A - vandring i minstevannføringsløpet Laudal - Mannflåvann.

5.1.1 Vandring og vandringshistorie

Hovedmålet med prosjektet var å identifisere eventuelle vandringshindre i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann ved å peile radiomerket fisk. Dammen ved Mannflåvann (T12) synes å være et hovedhinder for vandring av laks videre oppover i vassdraget ovenfor minstevannføringsløpet. Dette samsvarer med resultatene fra undersøkelserne i 1996 (Thorstad & Heggberget 1997). For å passere dammen ved Mannflåvann må fisken vandre opp ei fiske-trapp eller gjennom ei flomluke på østsiden av fiske-trappa. Ved liten vannføring kan ikke fisken passere gjennom flomluka. Flomluka kan da fungere som vandringshindre ved at fisk blir tiltrukket av vannstrømmen fra loka og blir stående uten å kunne passere. Etter undersøkelsen i 1996 ble det utført utbedringer ved dammen for å bedre forholdene for oppvandrende fisk. Det ble gjort utgravinger av substratet i elva nedenfor demningen for å gjøre det enklere for oppvandrende fisk å finne inngangen til fiske-trappa og samtidig hindre fiskens tilgang til flomluka. Samtidig ble det falske trappetrinnet i fiske-trappa fjernet og inngangen til fiske-trappa ble senket og endret. Basert på resultatene i denne undersøkelsen ser det ikke ut til at utbedringene har forbedret forholdene for oppvandrende fisk. Av fiskene som vandret opp i sone 12, var det ingen forskjell mellom 1996 og 1997 i andelen som passerte dammen ved Mannflåvann.

Terskel 11 nedenfor dammen ved Mannflåvann syntes også å være et betydelig vandringshindre. Av fiskene som vandret oppover i minstevannføringsløpet hadde 5 fisk sone 11 som øverste registrerte sone. Sju fisk snudde til sammen 12 ganger i sone 11 og oppholdstiden i sone 11 var lang. Disse resultatene samsvarer ikke med resultatene fra undersøkelsen i 1996, da terskel 11 ikke ble funnet å være et hinder for oppvandringen (Thorstad & Heggberget 1997).

I 1997 oppholdt fisken seg en stor andel av tiden i sone 8. Imidlertid var det få fisk som snudde i denne sonen eller hadde sonen som øverste registrerte sone i forhold til resultatene fra 1996 (Thorstad & Heggberget 1997). Det var derfor ikke grunnlag for å vurdere terskel 8 som et viktig vandringshindre i 1997. På grunnlag av den lange oppholdstiden i sonen kan det imidlertid ikke utelukkes at sone 8 fungerte som en forsinkelse i oppvandringen, men lang oppholdstid i området kan også skyldes at området har gunstige miljøforhold som reduserer motivasjonen for å vandre videre. Det kan også skyldes at fisk blir stående i elvas østre løp uten å komme seg videre. Sone 8 inkluderer et område hvor østre og vestre elveløp renner sammen etter en deling 500 m lenger oppe. Tidligere var østre løp hovedløp for laksevandringen, med svært gode fiskeplasser

(Thorstad & Heggberget 1997). Etter reguleringen ble vestre løp bygd om til hovedløp. Ved minstevannføring renner det ikke vann i østre løp, men det står vann i en høl nederst i dette elveløpet. Undersøkelsen i 1996 viste at fisk ofte ble stående i denne hølen. En ombygging av østre løp til hovedløp igjen kan ha positiv effekt på oppvandrings-hastigheten (Thorstad & Heggberget 1997).

Fra lokalt hold ble det antatt at terskelen og trappa ved Klevelandsbua (T2) kunne være et vandringshindre. Det samme ble antatt for Solkrona terskel (T10). Resultater fra radiopeilingene viste at få fisk under oppvandring snudde og vandret nedstrøms igjen ved disse stedene. Oppholdstiden nedenfor Klevelandsbua og Solkrona terskel før passering var også relativt kort. Disse resultatene tyder på at Klevelandsbua og Solkrona terskel ikke er vandringshindre i minstevannføringsløpet. Dette samsvarer med resultatene og konklusjonen fra 1996 (Thorstad & Heggberget 1997).

Fisken oppholdt seg størst andel av tiden i sone 1 ved Laudal sammenlignet med andre soner i minstevannføringsløpet. Dette er samme resultat som i undersøkelsen fra 1996 (Thorstad & Heggberget 1997). Dette kan være en effekt av fellefangst og radiomerkning, men det kan også skyldes at motivasjonen til å vandre reduseres når fisken kommer fra hovedløpet med en stor vannføring til minstevannføringsløpet med en lavere vannføring. Etter fangst og merking vandret 17 laks nedover i vassdraget. Av disse vandret fem fisk opp til Klevelandshølen før de vandret nedover, mens de øvrige ikke vandret oppstrøms fra utsettingsstedet i det hele tatt. Om denne nedstrøms vandringen er et resultat av radiomerkning, fellefangst, lavere vannføring eller vandringshindre er usikkert. Imidlertid anbefales det at fiskefella ved Laudal ikke blir benyttet til annet enn fangst av laks ved behov for stamfisk, fisk til merking eller lignende formål, og at det heller installeres en automatisk fisketeller hvis det er ønskelig med en videre registrering av oppvandrende fisk. Fiskefella kan representere en stressfaktor for oppvandrende fisk som i tillegg til andre stressfaktorer kan påvirke vandringsmønstret.

På bakgrunn av undersøkelsene i 1997 har tersklene ved Mannflåvann, sone 11 og sone 1 blitt registrert som de antatt største vandringshindre for fisken i minstevannføringsløpet. Dette er tilsvarende resultatene fra undersøkelsene i 1996, hvor tersklene ved Mannflåvann, sone 8 og sone 1 ble identifisert som hovedhindre for oppvandring av fisk (Thorstad & Heggberget 1997). Summen av alle vandringshindre ved minstevannføring 3 m³/s kan imidlertid være en medvirkende årsak til forsinkelse eller stans i minstevannføringsløpet. Det anbefales derfor å foreta en grundig vurdering av alle terskler ved minstevannføringen 3 m³/s. Den bedre vannkvaliteten etter igangsetting av kalking i juni 1997 synes ikke å ha hatt positiv innvirkning på oppvandringen av laks i minstevannføringsløpet.

Vurderinger av resultatene fra radiomerkningen i Mandals-elva i 1996 og 1997 og identifisering av mulige vandringshindre er gjort på bakgrunn av tidligere kjent kunnskap

om vandring hos gytelaks. Under gytevandring i elver vandrer laks oppover elvene før de stanser på et bestemt sted før og under gyteperioden (Hawkins & Smith 1986, Webb 1989, Baglinière et al. 1990, Heggberget et al. 1996, Johnsen et al. 1996, Thorstad et al. 1996, 1998, Økland et al. 1996). Under oppvandringen kan fisken veksle mellom etapper med rask oppvandring og perioder hvor den stanser opp i kortere eller lengre tid. Rømt oppdrettslaks har et mer uryddig vandringmønster enn villaks, med hyppigere og lengre oppstrøms og nedstrøms forflytninger (Power & McCleave 1980, Jonsson et al. 1990, 1991, Økland et al. 1995, Thorstad et al. 1996, 1998). Resultatene fra Mandalselva er hovedsakelig vurdert ut fra hvor fisken stanset opp under oppvandring, hvor de snudde og vandret nedover igjen, hvor de oppholdt seg mest og hastighet på forflytninger i elva.

Laksen som ble radiomerket i Mandalselva var ikke stedegen laks, og hadde varierende bakgrunn. Stedegen laks har en tendens til å returnere til sin egen oppvekstplass i elva (Heggberget et al. 1986, 1988, Heggberget 1989, Hovey et al. 1989). Rømt oppdrettslaks ser imidlertid ut til å fordele seg lengre opp i elvene enn stedegen villaks (Økland et al. 1995, Heggberget et al. 1996, Thorstad et al. 1996, 1998), noe som kan skyldes at de er hjemløse og sprer seg oppover i elvene dersom det ikke finnes fysiske hindringer for oppvandring. Resultater fra Suldalslågen tyder på at oppdrettslaks har større problemer enn villaks med å passere store vandringshindre (Johnsen et al. 1996). Slike forskjeller mellom stedegen og ikke stedegen laks kan være forårsaket av stedegne stammers tilpasninger til ulike miljø gjennom naturlig utvalg (Taylor 1991). En stedegen stamme i Mandalselva vil ifølge en slik teori være bedre i stand til å møte særegne miljøforhold. En eventuell tilpasning vil skje i løpet av mange generasjoner, og nylig reetablert laks i Mandalselva møter trolig ikke vandringshindre i minstevannføringsløpet på en bedre måte enn den radiomerkede fisken i denne undersøkelsen. Imidlertid er det sannsynlig at fisk som blir klekket i øvre del av vassdraget vil ha en større motivasjon for oppvandring enn rømt oppdrettslaks.

5.1.2 Vandring i forhold til lokkeflommer

Vannføring er den faktoren som oftest omtales som en kontrollerende faktor i forhold til oppvandring av laks i elver. Vannføringens effekter kan modifiseres av andre faktorer som vanntemperatur, turbiditet, atmosfærisk trykk, skydekke, værforhold og temperatur, vannkvalitet og tidevann (Banks 1969). I små elver med varierende vannføring under oppvandringsperioden kan økt vannføring stimulere til økt oppvandring (Banks 1969, Jonsson 1991). Det er også funnet at vandring videre oppover i elver kan stimuleres av økninger i vannføring (f.eks. Huntsman 1948, Hayes 1953, Dunkley & Shearer 1982, Laughton 1989, Webb & Hawkins 1989, Baglinière et al. 1990, Jensen et al. 1996). Imidlertid er det også undersøkelser hvor det ikke er påvist noen sammenheng mellom vandring og vannføring (Hawkins &

Smith 1986, McKinnell et al. 1994). I regulerte elver med muligheter til å manipulere vannføringen kan kunstige lokkeflommer stimulere laks til oppvandring (f.eks. Huntsman 1948, Hayes 1953, Banks 1969).

I Mandalselva hadde kunstige lokkeflommer en positiv innvirkning på laksens oppvandring ved at den gjennomsnittlige oppvandringshastigheten i meter per time var signifikant større under og like etter lokkeflommer samlet enn ved minstevannføring. Dette ble også funnet i undersøkelsen fra 1996 (Thorstad & Heggberget 1997). I 1997 ble det brukt et ekstra vannvolum på 1,73 mill m³ til to kunstige lokkeflommer med lik vannføring og varighet. Hver av lokkeflommene bestod av to flomperioder på 12 timer med vannføring på 13 m³/s, hvor de to flomperiodene var adskilt av 12 timer med minstevannføring. Det ble ikke funnet signifikante forskjeller i gjennomsnittlig forflytning per time mellom de to lokkeflommene.

Det ble ikke funnet signifikante forskjeller i gjennomsnittlig forflytning per time hos nymerket (merket og satt ut mindre enn åtte dager før lokkeflom) og ikke nymerket (merket og satt ut mer enn åtte dager før lokkeflom) laks under og like etter lokkeflom 2. Antall nymerkede fisk var imidlertid lavt, noe som medfører at det er vanskelig å påvise små forskjeller. Under og like etter den første lokkeflommen var bare nymerket fisk tilstede i minstevannføringsløpet. Det ble imidlertid ikke funnet forskjeller i forflytning mellom de to lokkeflommene for fisk som var nymerket under lokkeflom 1 og som dermed hadde vært i minstevannføringsløpet en tid under lokkeflom 2. Resultatene tyder på at effekten av lokkeflommer ikke var forskjellig for nymerket og ikke nymerket fisk. Dette samsvarer med resultatene fra 1996 (Thorstad & Heggberget 1997).

Flere undersøkelser har registrert de største antall oppvandrende laks ved fallende vannføring i etterkant av lokkeflommer (Huntsman 1948, Allan 1966, Swain & Champion 1968, Dunkley & Shearer 1982, Lawson et al. 1991). Jensen et al. (1986) registrerte derimot flest oppvandrende laks før vannføringen hadde nådd høyden, og forklarte disse forskjellene med at økt vannføring utløser vandring hos laks, og at laksen vil vandre en viss strekning uansett varighet på lokkeflommen. Ved lokkeflommer av kort varighet vil fisk som aktiveres ikke nå feller eller telleapparater før vannføringen er på vei ned igjen. En tilsvarende forklaring ble framsatt av Allan (1966). Resultatene fra Mandalselva viste at økt vandring skjedde både i periodene under og like etter lokkeflommene, både i meter og antall terskelpasseringer per time. Alle terskler ble passert både under lokkeflommene og ved minstevannføring; bortsett fra terskelen nedenfor dammen ved Mannflåvann (T 11) som kun ble passert under minstevannføring. Resultatene tyder på at økt vannføring øker motivasjonen til å vandre. Samtidig viser resultatene at det er fysisk mulig å passere alle tersklene ved minstevannføring. Dette ble også påvist i undersøkelsen i 1996 (Thorstad & Heggberget 1997).

Under begge lokkeflokkene økte vandringsmønsteret mest under andre puls med økt vannføring, men resultatene var ikke signifikante. Resultatene kan tyde på at økt vandring ikke nødvendigvis skjer umiddelbart ved økt vannføring. Resultatene fra 1996 tydet på det samme (Thorstad & Heggberget 1997). Det anbefales derfor lokkeflokker med økt vannføring over en lengre periode (minimum 36 timers varighet), enten som en kontinuerlig økt vannføring eller som påfølgende pulser med økt vannføring.

5.2 Delprosjekt B - vandring i forhold til kalking

Tre av fiskene som ble fanget ved Laudal, merket og satt ut i elvemunningen vandret helt opp til Laudal igjen. Av disse passerte én fisk hele minstevannføringsløpet. De resterende fiskene ($n = 17$) vandret oppover i vassdraget, og ingen forlot elva etter merking. I 1996 nådde ingen fisk Laudal etter merking og utsetting ved elvemunningen, samtidig med at tre fisker forsvant etter merking (Thorstad & Heggberget 1997). Av fiskene som ble satt ut, ble 35 % ($n = 7$) registrert i sidebekker/elver til Mandalselva i kortere eller lengre perioder, alle i Røyselandsbekken. Andelen fisk registrert i sidebekker er ikke signifikant forskjellig fra 1996, da 53 % ($n = 9$) ble registrert i sidebekker/elver. Imidlertid var oppholdstiden i sidebekkene/elvene signifikant kortere i 1997 enn i 1996. At fisken ikke vandret opp til Laudal igjen etter utsetting ved elvemunningen kan skyldes at fisken ikke er stedegen, og derfor har et mer variabelt vandringmønster enn stedegen fisk (f.eks. Power & McCleave 1980, Jonsson et al. 1990, 1991, Økland et al. 1995, Thorstad et al. 1996). Det kan også skyldes at fisken i 1996 ble satt ut noe senere ved Mandal enn i 1997 (1996: tre fisk satt ut 17. september, 14 fisk satt ut 2. oktober, 1997: ti fisk satt ut 9. september, ti fisk satt ut 29. september), og at vandringmøtivasjonen kan reduseres nærmere gytetiden. Resultater fra 1997 viste imidlertid at det ikke var signifikant forskjell på hvor langt opp i elva fisk satt ut 9. september og 29. september vandret. Dette tyder på at vandringmøtivasjonen ikke ble redusert i perioden fra 9. til 29. september.

pH-verdiene i Mandalselvas hovedløp økte fra omlag 5,0 i første halvår til omlag 6,0 i andre halvår 1997 etter at fullkalking av vassdraget ble igangsatt fra juni 1997 (Kaste et al. 1998). Samtidig ble konsentrasjonene av labilt aluminium redusert fra et nivå omkring 60-100 $\mu\text{g/l}$ i første halvår til omkring 5-35 $\mu\text{g/l}$ i andre halvår. pH-verdiene fra andre halvår av 1997 var også høyere enn pH i samme periode i 1996 (5,9-6,4 mot 5,2-6,0). Også mengden labilt aluminium i hovedløpet var lavere i andre halvår av 1997 enn i samme periode i 1996 (9-15 $\mu\text{g/l}$ mot 17-98 $\mu\text{g/l}$).

Radiomerket laks som ble satt ut ved Mandal og som ble registrert i sidebekker/elver i 1997, ble bare registrert i Røyselandsbekken. I tillegg ble sju laks satt ut ved Laudal registrert i Logåna og én i Røyselandsbekken. Etter undersøkelser i 1996 ble det antydning at en mulig bedre vannkvalitet i sidebekkene kunne være årsaken til at laksen

vandret opp i bekkene (Thorstad & Heggberget 1997). Resultatene kunne være en unnvikelsesatferd fra surt vann, noe som er funnet i andre studier (Skogheim et al. 1984, Åtland 1996). Samling av gytelaks i gunstige mikrohabitater med bedre vannkvalitet er registrert under episoder med pH 5,65 og konsentrasjoner av labilt aluminium på 84 $\mu\text{g/l}$ (Rosseland et al. 1986). At en like stor andel av laksen vandret opp i sidebekker/elver etter fullkalking tyder imidlertid på at dette vandringmønsteret ikke var en unnvikelsesatferd fra dårlig vannkvalitet i hovedelva. Imidlertid oppholdt laksen seg i signifikant lengre tid i sidebekkene i 1996 enn i 1997.

Det var ingen signifikant forskjell mellom 1996 og 1997 i hvor høyt opp i elva fisken fordelte seg eller hvor raskt fisken vandret oppover elva etter merking. Det var heller ingen signifikante forskjeller i vandringmønster for øvrig. I motsetning til disse resultatene ble det funnet indikasjoner på høyere vandringshastighet hos laks i Vossovassdraget ved kalking (Lamberg et al. 1998). Resultatene tyder på at fullkalkingen ikke førte til store endringer i vandringssatferd hos oppvandrende laks i Mandalselva. Imidlertid ble det funnet en signifikant negativ sammenheng mellom pH og forflytning hos fisken siden forrige peiling, og effekter av vannkvalitet på oppvandring hos laks kan ikke avvises.

6 Konklusjon

6.1 Delprosjekt A - vandring i minstevannføringsløpet Laudal - Mannflåvann.

6.1.1 Vandring og vandringshistorie

- Undersøkelsene i 1996 og 1997 viser at laksen forsinkes i minstevannføringsløpet, selv om vannføringen er økt til 3 m³/s. Dette medfører at fisken ankommer områdene lenger oppe i vassdraget forsinket både med hensyn til gytesesong og fiskesesong.
- Oppgangen av laks i fisketrappa i dammen ved Mannflåvann ble ikke forbedret selv om fysiske utbedringer ble gjennomført forsommeren 1997.
- Den igangsatte fullkalkingen og bedre vannkvalitet synes ikke å ha medført en positiv effekt på oppvandringen av laks i minstevannføringsløpet.
- De største vandringshindrene i minstevannføringsløpet ble i 1997 identifisert som dammen ved Mannflåvann (T13), terskelen nedenfor Mannflåvann (T12) og sone 1 ved Laudal. Fra 1996 er også sone 8 nedenfor Solkrona identifisert som et mulig vandringshinder. Ut fra disse resultatene bør følgende tiltak vurderes:
 - 1 Vurdere konstruksjonen av fisketrapp, flomluke og tappeanordninger i dammen ved Mannflåvann ut fra formålet om å forbedre forholdene for oppvandrede laks og ørret. Eventuelt foreta ombygginger og endringer i forhold til vurderingene.
 - 2 Vurdere konstruksjonen av terskel T11.
 - 3 Vurdere om østre elveløp ved Solkrona bør ombygges til hovedløp, samtidig med en fullstendig stenging av vestre elveløp.
 - 4 Benytte feller ved Laudal og Mannflåvann minst mulig. Hvis registrering av fisk er ønskelig bør det installeres elektroniske fisketellere i stedet for å benytte fellene.
- Trappa under Klevelandsbua (T2) og Solkrona terskel (T10) ble tidligere utpekt som mulige vandringshindre. Resultatene fra undersøkelsene i 1996 og 1997 viste at disse ikke var betydelige vandringshindre i minstevannføringsløpet.
- Summen av alle vandringshindrene kan være en medvirkende årsak til at fisken forsinkes i minstevannføringsløpet. Derfor bør utformingen av alle tersklene i minstevannføringsløpet vurderes på nytt ved vannføring på 3 m³/s.
- Undersøkelsene fra 1996 og 1997 har gitt god informasjon om oppvandring av fisk i minstevannføringsløpet. Ytterligere undersøkelser for å identifisere vandringshindre under de rådende forhold anses ikke å være nødvendig. Videre undersøkelser kan eventuelt vurderes etter utbedringer av terskler og trapper, eller ved et endret vannføringsregime. Undersøkelser av vandring hos laks som fanges, merkes og settes ut i elvemunningen kan i større grad gi informasjon om vand-

ringssatferd ved Laudal enn laks som er fanget og merket ved Laudal.

6.1.2 Vandring i forhold til lokkeflommer

- Lokkeflommer hadde en positiv innvirkning på fiskenes oppvandring ved at både gjennomsnittlig vandringshastighet og antall terskelpasseringer per time var høyere i perioden under og like etter lokkeflommer samlet enn ved minstevannføringen forøvrig.
- Resultatene fra 1997 ga ingen indikasjoner på at effekten av lokkeflommer var avhengig av tid på sesongen. Lokkeflommene ble sluppet i begynnelsen og slutten av september.
- Ut fra resultatene i 1996 og 1997 anbefales det en økt vannføring over en lengre periode (minimum 36 timers varighet), enten som en kontinuerlig økt vannføring eller som påfølgende pulser med økt vannføring. Pulser med økt vannføring ser ut til å ha en gunstig virkning på oppvandring med forbruk av minst mulig vann. Vannføring under lokkeflommer bør trolig ikke være mindre enn totalt 13 m³/s. Ved en eventuell ombygging av dammen ved Mannflåvann bør det vurderes å bygge inn muligheter for å kunne slippe større lokkeflommer enn 13 m³/s i minstevannføringsløpet.
- Fisken passerte alle tersklene både under lokkeflommer og ved minstevannføring; bortsett fra dammen ved Mannflåvann som kun ble passert under lokkeflom, og terskelen nedenfor (T 11) som kun ble passert under minstevannføring. Dette tyder på at lokkeflommer ikke er fysisk nødvendig for å passere tersklene, men at økt vannføring stimulerer motivasjonen for vandring hos fisken.

6.2 Delprosjekt B - vandring i forhold til kalking

- Laksen oppholdt seg i kortere tid i sidebekker/elver i 1997 enn i 1996. Utover dette ble det ikke funnet signifikante forskjeller i vandringsatferd for radiomerket laks mellom de to årene. Det var ingen signifikante forskjeller i oppvandringshastighet etter utsetting ved Mandal, hvor langt opp i elva de vandret eller vandringsmønster for øvrig. Resultatene tyder på at kalkingen ikke hadde en stor betydning for vandringsatferd hos laks under oppvandring i Mandalselva. Små forskjeller i vandring ved relativt dårlig vannkvalitet i 1996 i forhold til ved kalking i 1997 kan imidlertid ikke avvises ut fra denne undersøkelsen. Faktorer som vannføring og værforhold varierer mellom år, noe som gjør det vanskelig å påvise effekter av én enkelt faktor ved en sammenligning mellom to år.
- Det ble funnet en signifikant negativ sammenheng mellom pH og forflytning hos fisken siden forrige peiling. Effekter av vannkvalitet på oppvandring hos laks kan dermed ikke avvises.

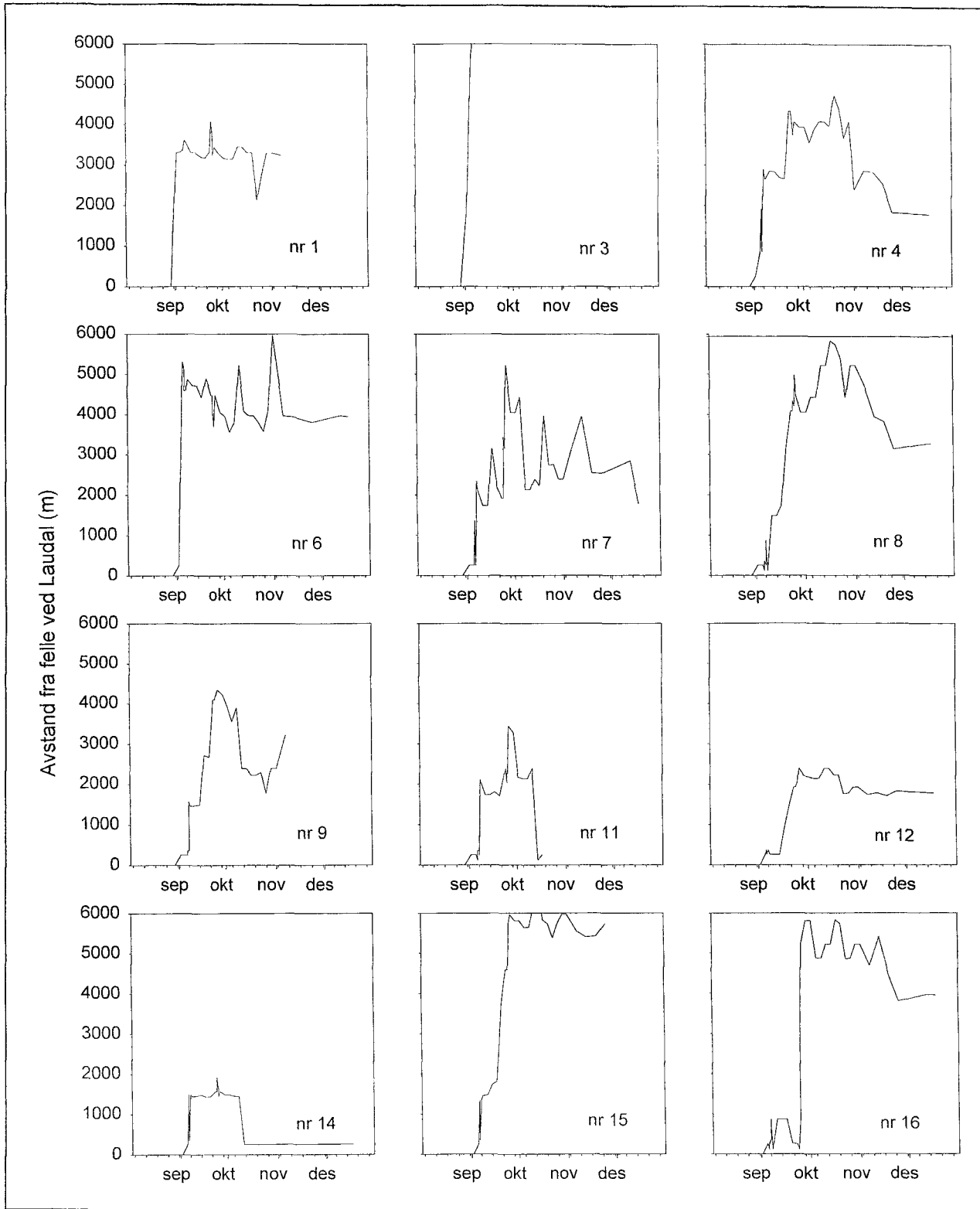
7 Litteratur

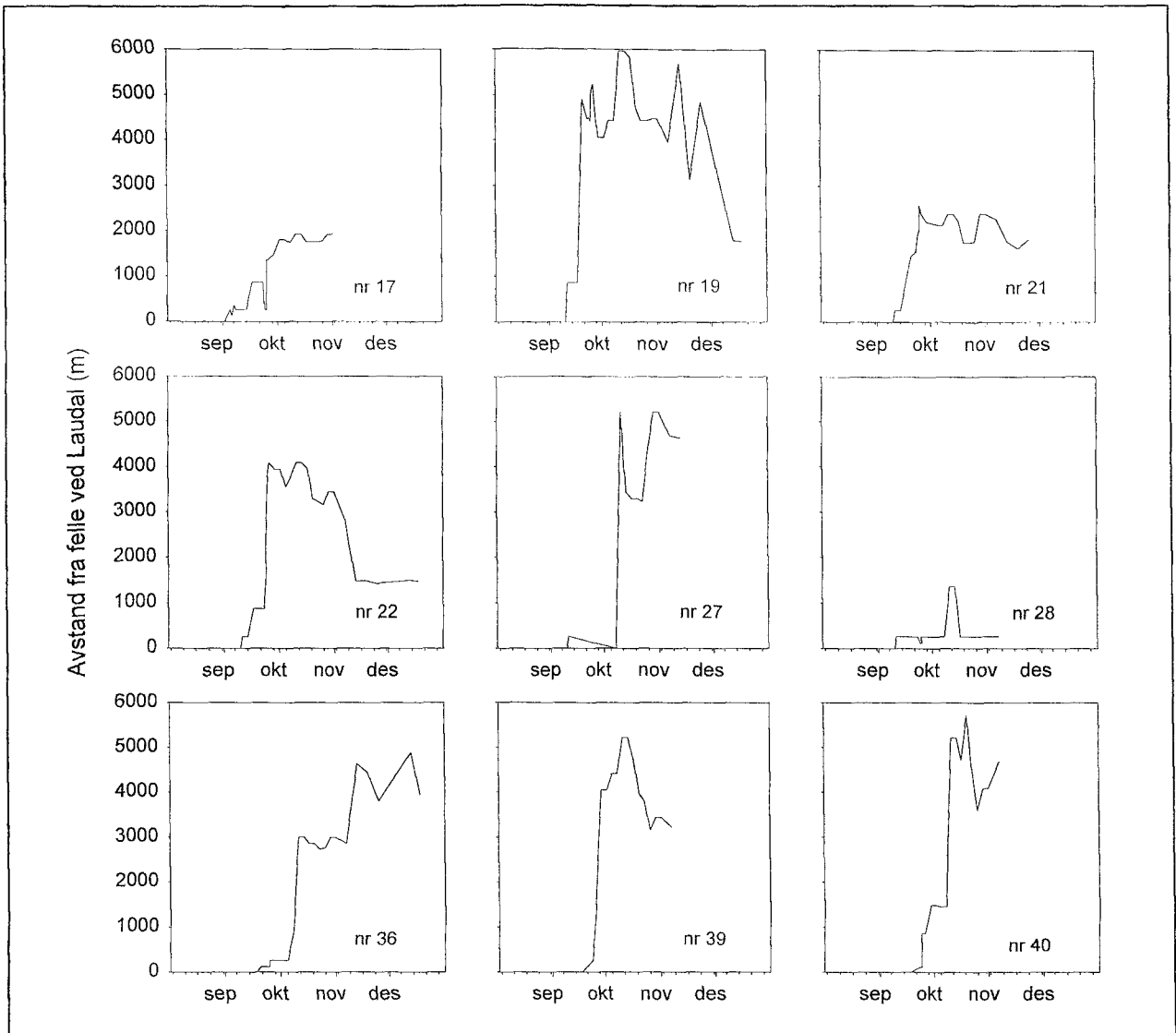
- Allan, I.R.H. 1966. Counting fences for salmon and sea trout, and what can be learned from them. - *Salm. Trout Mag.* 176: 19-26.
- Anon. 1993. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport 1992. - Statlig program for forurensningsovervåking, Statens forurensningstilsyn, rapport 533/93.
- Anon. 1994. Flerbruksplan Mandalsvassdraget. Faggruppe for fisk og forurensing. - Sluttrapport fra faggruppen, januar 1994, 28 s.
- Baglinière, J.L., Maise, G. & Nihouarn, A. 1990. Migratory and reproductive behaviour of female adult Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in a spawning stream. - *J. Fish Biol.* 36: 511-520.
- Banks, J.W. 1969. A review of the literature on the upstream migration of adult salmonids. - *J. Fish Biol.* 1: 85-136.
- Blakar, I. & Digernes, L. 1991. Vannkvalitet i Mandalselva med sidevassdrag. - VAE, rapport (upublisert).
- Brabrand, Å. & Saltveit, S.J. 1995. Vandrings av laks og sjøørret i Mandalselva mellom Mannflåvann og Laudal kraftverk. - Notat Lab. Ferskv. Økol. Innlandsfiske, Oslo, 3: 1-5.
- Dunkley, D.A. & Shearer, W.M. 1982. An assessment of the performance of a resistivity fish counter. - *J. Fish Biol.* 20: 717-737.
- Hawkins, A.D. & Smith, G.W. 1986. Radio-tracking observations on Atlantic salmon ascending the Aberdeenshire Dee. - *Scott. Fish. Res. Rep.* 36: 1-24.
- Hayes, F.R. 1953. Artificial freshets and other factors controlling the ascent and population of Atlantic salmon in the LaHave River, Nova Scotia. - *Bull. Biol. Bd. Can.* 99: 1-47.
- Heggberget, T.G. 1989. The population structure and migration system of Atlantic salmon *Salmo salar*, in the River Alta, North Norway. A summary of the studies 1981-86. - Salmon migration and distribution symposium (2:1987: Proceedings of the salmonid migration and distribution). University of Washington, Seattle, s. 124-139.
- Heggberget, T.G., Hansen, L.P. & Næsje, T.F. 1988. Within-river spawning migration of Atlantic salmon (*Salmo salar*). - *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45: 1691-1698.
- Heggberget, T.G., Økland, F. & Ugedal, O. 1996. Pre-spawning migratory behaviour of wild and farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) in a North Norwegian river. - *Aquacult. Res.* 27: 313-322.
- Heggberget, T.G., Lund, R.A., Ryman, N. & Ståhl, G. 1986. Growth and genetic variation of Atlantic salmon (*Salmo salar*) from different sections of the River Alta, North Norway. - *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43: 1828-1835.
- Heggenes, J. & Saltveit, S.J. 1992. Reetablering av fiskebestanden i Mandalselva. - Rapp. Lab. Ferskv. Økol. Innlandsfiske, Oslo, 135: 1-77.
- Hindar, A., Kroglund, F. & Skiple, A. 1997. Forsurings-situasjonen i lakseførende vassdrag på Vestlandet; vurdering av behovet for tiltak. NIVA-rapport 3606, 96 s.
- Hovey, S.J., King, D.P.F., Thompson, D. & Scott, A. 1989. Mitochondrial DNA and allozyme analysis of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in England and Wales. - *J. Fish Biol.* 35 (Suppl. A): 253-260.
- Huntsman, A.G. 1948. Freshets and fish. - *Trans. Am. Fish. Soc.* 75: 257-266.
- Jensen, A.J., Heggberget, T.G. & Johnsen, B.O. 1986. Upstream migration of adult Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in the River Vefsna, northern Norway. - *J. Fish Biol.* 29: 459-465.
- Johnsen, B.O., Økland, F., Lamberg, A., Thorstad, E.B. & Jensen, A.J. 1996. Undersøkelser av laksens vandringer i Sandsfjordsystemet og i Suldalslågen i 1995 ved hjelp av radiotelemetri. - NINA Oppdragsmelding 421: 1-44.
- Jonsson, B., Jonsson, N. & Hansen, L.P. 1990. Does juvenile experience affect migration and spawning of adult Atlantic salmon? - *Behav. Ecol. Sociobiol.* 26: 225-230.
- Jonsson, B., Jonsson, N. & Hansen, L.P. 1991. Differences in life history and migratory behaviour between wild and hatchery-reared Atlantic salmon in nature. - *Aquaculture* 98: 69-78.
- Jonsson, N. 1991. Influence of water flow, water temperature and light on fish migration in rivers. - *Nordic J. Freshw. Res.* 66: 20-35.
- Kaste, Ø., Brandrud, T.E., Larsen, B.M., Lindstrøm, E.A. & Raddum, G.G. 1998. Utkast til årsrapport for Mandalsvassdraget, 1997. NIVA-rapport. (Til trykking).
- Lamberg, L., Økland, F. & Jensen, A.J. 1998. Vandringsatferd hos laks og sjøaure i Vossovassdraget. En studie av vandringshastighet i relasjon til vannkvalitet i 1994. - NINA Oppdragsmelding 000: 0-0 (Til trykking).
- Larsen, P.A. & Haraldstad, Ø. 1994. Kalkingsplan for Mandalsvassdraget i Vest-Agder. - Flerbruksplan for Mandalsvassdraget. Fagrapport til faggruppe for fisk og forurensing, 57 s.
- Loughton, R. 1989. The movements of adult salmon within the River Spey. - *Scott. Fish. Res. Rep.* 41: 1-19.
- Lawson, J.D., Sambrook, H.T., Solomon, D.J. & Weilding, G. 1991. The Roadford scheme: minimizing environmental impact on affected catchments. - *Water and Environmental Management* 5: 671-681.
- Lund, R.A., Hansen, L.P. & Järvi, T. 1989. Identifisering av oppdrettslaks og villaks ved ytre morfologi, finnestørrelse og skjellkarakterer. - NINA Forskningsrapport 1: 1-54.
- McKinnell, S., Lundqvist, H. & Johansson, H. 1994. Biological characteristics of the upstream migration of naturally and hatchery-reared Baltic salmon, *Salmo salar* L. - *Aquacult. Fish. Manage.* 25 (Suppl. 2): 45-63.
- Power, J.H. & McCleave, J.D. 1980. Riverine movements of hatchery-reared Atlantic salmon (*Salmo salar*) upon return as adults. - *Env. Biol. Fish.* 5: 3-13.

- Rosseland, B.O., Skogheim, O.K. & Sevaldrud, I.H. 1986. Acid deposition and effects in Nordic Europe. Damage to fish populations continue to apace. - *Wat. Air Soil Pollut.* 30: 65-74.
- Skogheim, O.K., Rosseland, B.O. & Sevaldrud, I.H. 1984. Deaths of spawners of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in River Ognå, SW Norway, caused by acidified aluminium-rich water. - *Rep. Inst. Freshw. Res. Drottningholm* 61: 195-202.
- Swain, A. & Champion, A.S. 1968. Upstream movements of migratory salmonids in relation to river flows on the River Axe, Devon. - I.C.E.S. Anadromous and Catadromous Fish Committee. CM 1868/M 9: 1-7.
- Taylor, E.B. 1991. A review of local adaptation in Salmonidae, with particular reference to Pacific and Atlantic salmon. - *Aquaculture* 98: 185-207.
- Thorstad, E.B. & Heggberget, T.G. 1997. Oppvandring hos radiomerket laks og sjørret i Mandalsvassdraget i forhold til minstevannføring, lokkeflommer, terskler og kalking. - NINA Oppdragsmelding 470: 1-41.
- Thorstad, E.B. & Heggberget, T.G. 1998. Migration of adult Atlantic salmon (*Salmo salar*); the effects of artificial freshets. - *Hydrobiologia*, akseptert manuskript.
- Thorstad, E.B., Heggberget, T.G. & Økland, F. 1996. Gytvandring og gyteatferd hos villaks og rømt oppdrettslaks (*Salmo salar*) i Namsen og Altaelva. - NINA Fagrapport 017: 1-35.
- Thorstad, E.B., Heggberget, T.G. & Økland, F. 1998. Migratory behaviour of adult wild and escaped farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L., before, during and after spawning in a Norwegian river. - *Aquacult. Res.* 29: 101-110.
- Webb, J. 1989. The movements of adult Atlantic salmon in the River Tay. - *Scott. Fish. Res. Rep.* 44: 1-32.
- Webb, J.H. & Hawkins, A.D. 1989. The movements and spawning behaviour of adult salmon in the Girnock Burn, a tributary of the Aberdeenshire Dee, 1986. - *Scott. Fish. Res. Rep.* 40: 1-42.
- Økland, F., Heggberget, T.G. & Jonsson, B. 1995. Migratory behaviour of wild and farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) during spawning. - *J. Fish Biol.* 46: 1-7.
- Økland, F., Moen, K., Niemelä, E. & McKinley, R.S. 1996. Behaviour of multi-sea winter Atlantic salmon (*Salmo salar*) during return migration in the River Tana, North Norway. - Manuskript.
- Åtland, Å. 1996. Low pH and elevated Al concentrations as behavioural modifiers in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and brown trout (*Salmo trutta* L.) - laboratory and field studies. - Dr. scient. thesis, Universitetet i Bergen.

Vedlegg 1

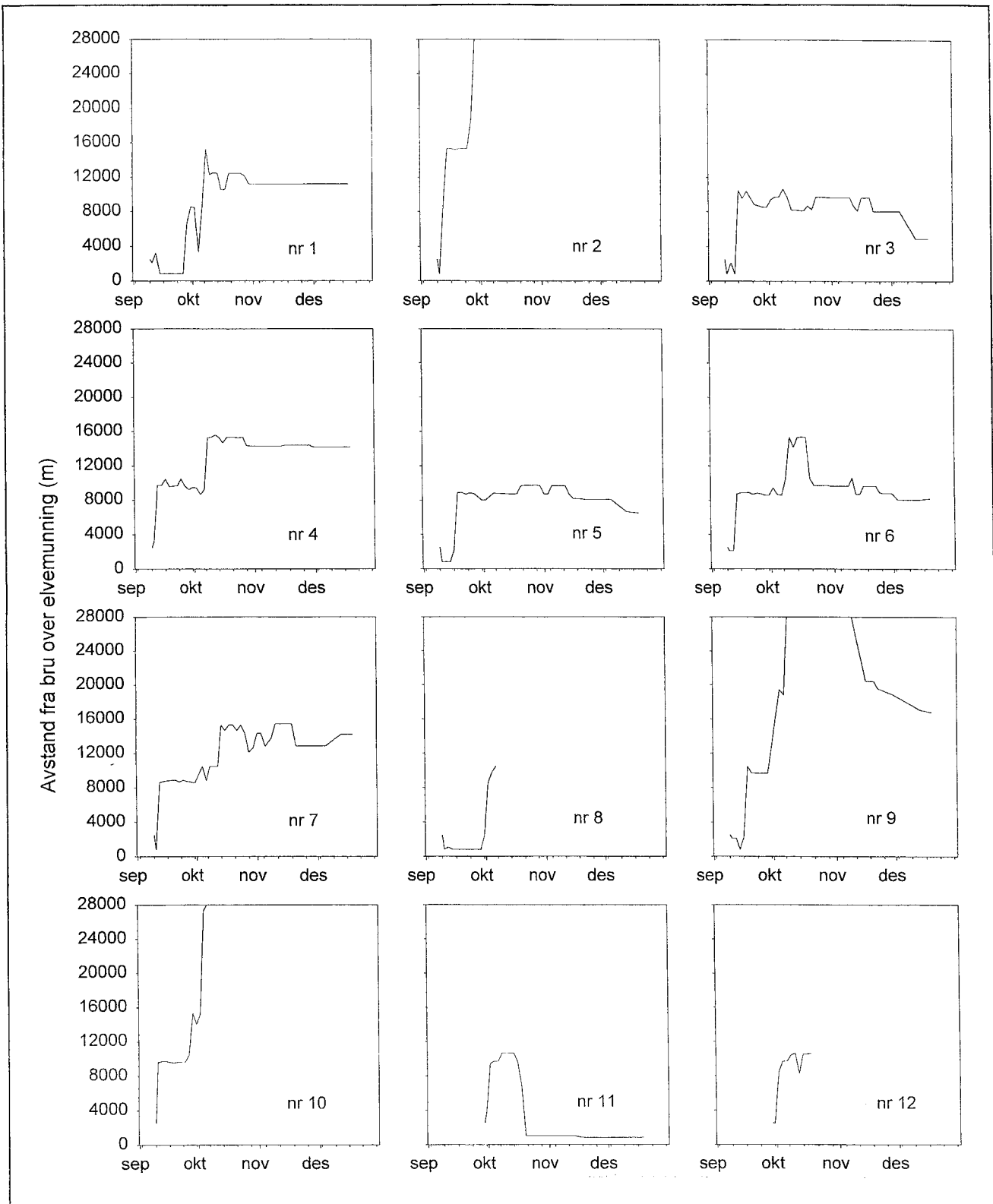
Vandring hos individuelle radiomerkede laks og sjørøret i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann i Mandalselva i 1996. Laksen ble fanget i felle ved Laudal og satt ut samme sted etter merking.

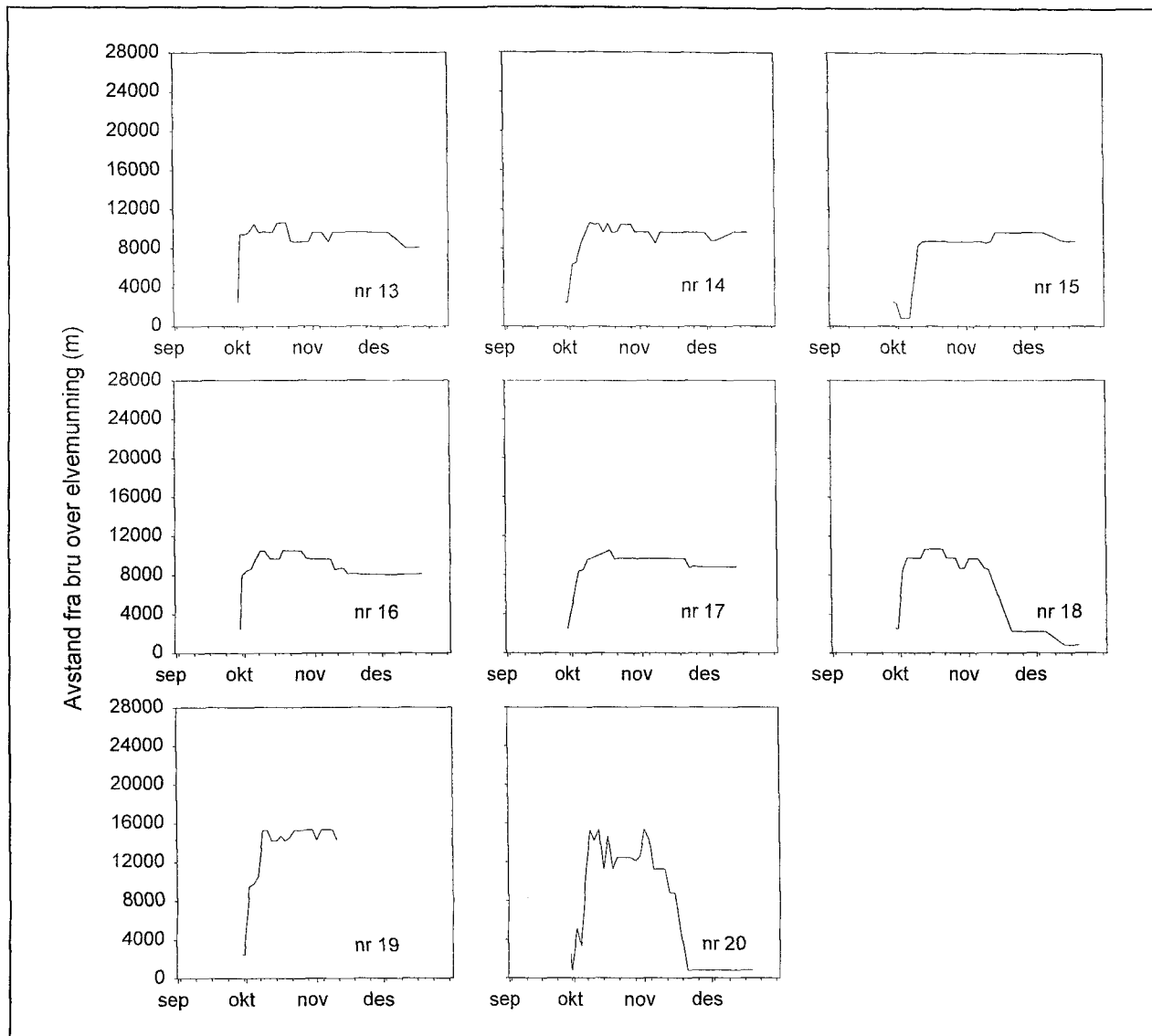




Vedlegg 2

Vandring hos individuelle radiomerkede laks og sjørøret i Mandalselva i 1996. Laksen ble fanget i felle ved Laudal og satt ut i elvemunningen etter merking.





ISSN 0802-4103
ISBN 82-426-0940-3

541

NINA
OPPDRAGS-
MELDING

NINA Hovedkontor
Tungasletta 2
7005 TRONDHEIM
Telefon: 73 80 14 00
Telefax: 73 80 14 01

NINA
Norsk institutt
for naturforskning