

470

OPPDRA GSMELDING

Oppvandring hos radiomerket laks og sjøørret i Mandalsvassdraget i forhold til minstevannføring, lokkeflommer, terskler og kalking

Eva B. Thorstad
Tor G. Heggberget



NINA • NIKU

NINA Norsk institutt for naturforskning

Oppvandring hos radiomerket laks og
sjøørret i Mandalsvassdraget i forhold
til minstevannføring, lokkeflommer,
terskler og kalking

Eva B. Thorstad
Tor G. Heggberget

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 befaringsrapporter, 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, fylkesmennesenes 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. & Heggberget, T.G. 1997. Oppvandring hos radiomerket laks og sjøørret i Mandalsvassdraget i forhold til minstevannføring, lokkeflommer, terskler og kalking. - NINA Oppdragsmelding 470: 1-41.

Trondheim, april 1997

ISSN 0802-4103

ISBN 82-426-0795-8

Forvaltningsområde:

Naturinngrep

Impact assessment

Rettighetshaver ©:

Stiftelsen for naturforskning og kulturminneforskning

NINA•NIKU

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

Redaksjon:

Tor G. Heggberget

NINA•NIKU, Trondheim

Design og layout:

Synnøve Vanvik

Sats: NINA•NIKU

Kopiering: Norservice

Opplag: 170

Kontaktadresse:

NINA

Tungasletta 2

7005 Trondheim

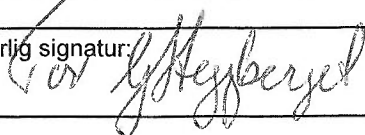
Tel: 73 58 05 00

Fax: 73 91 54 33

Tilgjengelighet: Åpen

Prosjekt nr.: 13151 Vandringsanalyser - Mandalselva

Ansvarlig signatur:



Oppdragsgiver:

Fylkesmannen i Vest-Agder

Direktoratet for naturforvaltning

Referat

Thorstad, E.B. & Heggberget, T.G. 1997. Oppvandring hos radiomerket laks og sjøørret i Mandalsvassdraget i forhold til minstevannføring, lokkeflommer, terskler og kalking. - NINA Oppdragsmelding 470: 1-41.

Formålet med prosjektet var å analysere vandringsmønster hos oppvandrede laks og sjøørret i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann i Mandalselva ved hjelp av radioteleometri. På denne strekningen er det bygd ti løsmasse terskler og to betongterskler. Minstevannføringen er 3 m³/s om sommeren. Det ble lagt spesielt 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.

Fisk ble fanget i felle ved Laudal, og 36 laks og 5 sjøørret ble radiomerket og satt ut i elva ved Laudal. Fisken ble registrert etter merking ved automatisk datalogging under Klevelandsbua og Solkrona i tillegg til manuell peiling. Av radiomerket fisk vandret 28 laks og 5 sjøørret videre oppover i minstevannføringsløpet.

Av laksen passerte 25 % (n = 7) hele minstevannføringsløpet, og ingen sjøørret. Andelen laks som passerte minstevannføringsløpet i 1996 var høyere enn andelen laks som passerte tidligere år ved lavere minstevannføringer. Laksen brukte fra 14 til 69 dager på å passere hele minstevannføringsløpet; gjennomsnittlig 41 dager. Dette tilsvarer en gjennomsnittlig vandringshastighet på 0,15 km/døgn. Gjennomsnittlig vandringshastighet etter passering av minstevannføringsløpet var 3,6 km/døgn. Resultatene i undersøkelsen viser at laksen ble forsinket i minstevannføringsløpet og ankom områdene videre oppover i vassdraget sent i forhold til gytasesong og fiskesesong.

Det største vandringshinderet i minstevannføringsløpet var dammen ved Mannflåvann. Hele 8 laks vandret opp til dammen uten å passere. Et annet vandringshinder var området hvor to elveløp renner sammen etter deling av elva 500 m lengre opp. Laksen ble også forsinket ved Laudal like etter ankomst i minstevannføringsløpet. Områdene under Klevelandsbua og Solkrona var ikke betydelige vandringshindre.

Seks lokkeflommer som var ulike med hensyn til vannføring og varighet, ble utprøvd. Gjennomsnittlig forflytning per time hos laks var større under lokkeflommer enn ved minstevannføring (en-halet P = 0,041). Det samme var ikke tilfelle hos sjøørreten (en-halet P = 0,46). Terskelpasseringer per time hos laks var høyere under og i timene etter lokkeflommer enn ved minstevannføring forøvrig (P = 0,031). Alle terskler ble imidlertid passert både under lokkeflommer og ved minstevannføring. Gjennomsnittlig forflytning hos radiomerket laks var størst under de to første lokkeflommene og minst under de tre siste.

I tillegg til undersøkelser i minstevannføringsløpet, ble 19 laks og én sjøørret fanget ved Laudal, radiomerket og satt ut i munningen av Mandalselva. Formålet er å sammenligne vandringsmønster og vandringshastighet før og etter fullkalking av vassdraget. Undersøkelsen omfatter enda bare vandring før fullkalking av vassdraget. To laks og én sjøørret ble ikke registrert etter utsetting. Ingen laks vandret opp til Laudal igjen, men 53 % (n = 9) ble registrert i kortere og lengre perioder i sidebekker/elver til Mandalselva. Disse sidebekkene/elvene har bedre vannkvalitet enn hovedelva.

Emneord: Laks, sjøørret, telemetri, vandring, minstevannføring, kalking.

Eva B. Thorstad & Tor G. Heggberget, Norsk institutt for naturforskning, Tungasletta 2, 7005 Trondheim.

Abstract

Thorstad, E.B. & Heggberget, T.G. 1997. Upstream migration of radio tagged Atlantic salmon and sea trout in connection to residual flow, artificial freshets, traverses and liming. - NINA Oppdragsmelding 470: 1-41.

The aim of the project was to analyse the upstream migration of Atlantic salmon and sea trout on the regulated river stretch Laudal-Lake Mannflåvann by radio telemetry. Ten traverses constructed from wood and larger stones and two traverses constructed from concrete were built along this stretch. Residual flow during summer had been recorded at 3 m³/s. Emphasis was placed on identifying migration barriers along the stretch and how conditions for migration could be improved.

Fish were caught in a trap at Laudal, and 36 salmon and 5 sea trout were radio tagged and released. The fish were recorded after release by data logging under the bridge Klevelandsbrua and at Solkrona, in addition to manual tracking. Of the radio tagged fish, 28 salmon and 5 sea trout migrated upstream from the site of release.

Twenty-five percent (n = 7) of the radio tagged salmon passed the dam at Lake Mannflåvann. No sea trout passed the dam. The proportion of salmon passing the dam in 1996 was higher than previous years when the river had a lower residual flow. The salmon spent between 14 and 69 days passing the stretch Laudal-Lake Mannflåvann. On average the migration took 41 days. This corresponds to a mean migration speed of 0.15 km/day. The results show that the salmon were delayed on this river stretch, and that they arrived in areas further up the water course late in relation to spawning time and also the angling season.

The greatest barrier to migration was the dam at Lake Mannflåvann. As many as 8 salmon migrated up to the dam without passing it. Another barrier was a section of the river where two channels run together after a partition of the river 500 m further upstream. The salmon were also delayed at Laudal, just after entering the stretch of residual flow. The river stretches under the bridge Klevelandsbrua and at Solkrona were not barriers for upstream migrating fish.

Six artificial freshets that differed in water discharge and duration were released from the dam at Lake Mannflåvann. Mean migration per hour was higher during the artificial freshets than during residual flow in salmon (one-tailed P = 0.041), but not in sea trout (one-tailed P = 0.46). Traverse passages per hour were higher during artificial freshets and the hours following the freshets, than during the rest of the time with residual flow (P = 0.031). All of the traverses were passed both during artificial freshets and residual flow. Mean migration of radio tagged salmon was highest during the two first artificial freshets and lowest during the three last freshets.

In addition to the studies upstream from Laudal, 19 salmon and one sea trout were caught at Laudal, radio tagged and released into the river near the river mouth. The aim of this study is to analyse the migration before and after liming of the river. Only migration before liming are yet analysed. Two salmon and one sea trout were not recorded after release. No salmon migrated upstream to Laudal, but a proportion of 53 % (n = 9) were recorded in tributaries to the River Mandalselva for short or long periods. The water quality of these tributaries was better than that of the main river.

Key words: Atlantic salmon, sea trout, telemetry, migration, residual flow, liming.

Eva B. Thorstad & Tor G. Heggberget, Norwegian Institute for Nature Research, Tungasletta 2, N-7005 Trondheim, Norway.

Forord

Mandalsvassdraget er planlagt fullkalket fra og med 1997, og målet er at selvreproduserende stammer av laks og sjørret igjen kan etableres i vassdraget. Flerbruksplan Mandalsvassdraget har siden 1991 organisert arbeidet med ulike tiltak for vassdraget. I forbindelse med Flerbruksplanens arbeid ble det bestemt at forholdene for oppvandrende laks og sjørret i minstevannføringsløpet mellom Laudal og Mannflåvann skulle undersøkes. Ved en henvendelse fra Fylkesmannen i Vest-Agder v/miljøvern avdelingen og Flerbruksplan Mandalsvassdraget 18.06.96 ble Norsk institutt for naturforskning (NINA) bedt om å utarbeide et forslag til undersøkelser av vandring hos laks og sjørret ved hjelp av radioteleometri. Etter befarings av minstevannføringsløpet 26.06.96 med representanter fra Fylkesmannen, Flerbruksplan, grunneierne og NINA ble det bestemt at et prosjekt skulle gjennomføres samme år (delprosjekt A). Etter oppdrag fra Direktoratet for naturforvaltning (DN) ble det bestemt at undersøkelser av vandring i forhold til kalking skulle tilknyttes prosjektet (delprosjekt B). Formålet er å sammenligne vandringsmønster og vandringshastighet i forsuret og kalket elv. Dette innebærer at laks og sjørret skal radiomerkes og settes ut på samme sted i 1997, etter at fullkalkingen er gjennomført.

Oppdragsgivere for prosjektet er Fylkesmannen i Vest-Agder (vandring i minstevannføringsløpet) og Direktoratet for naturforvaltning (DN) (vandring/kalking). Prosjektet ble finansiert av Flerbruksplan Mandalsvassdraget, Fylkesmannen i Vest-Agder og DN.

Prosjektet ble gjennomført med en betydelig lokal innsats. Svein Haugland var ansvarlig prosjektleder ved Flerbruksplan Mandalsvassdraget og Fylkesmannen. Han organiserte blant annet peilerne Sigurd Haraldstad, Olav Kleveland og Dagfinn Laudal, som sammen med sine familier utførte alt arbeidet med peiling av radiomerket fisk. Dagfinn Laudal utførte alt peilearbeidet på vandring/kalkings delen av prosjektet. Oddleiv Kleveland hadde ansvaret for etter-syn av fiskefella og oppsamling av fisk i mærer. Alle de ovenfornevnte deltok i arbeidet med fangst og merking av fisk. Jarl Fidje, stasjonsleder ved Laudal Kraftstasjon, deltok i merkearbeidet, stilte kraftstasjonen til rådighet som lager- og møteplass under prosjektet, og stilte alle temperatur-, nedbør og vannføringsdata til rådighet. Jarl Fidje har i tillegg drevet et omfattende registrerings- og rapporteringsarbeid av fangst i fiskefeller, fiskerennet i løsmasseterskler, fisketellinger fra Laudal bru, fiskesperre foran kraftverksutløpet, og andre observasjoner siden 1992. Disse resultatene ble i sin helhet stilt til fri disposisjon for denne rapporten. Finn Ugland, Terrenghtransport A/S, skaffet tilveie oksygen og oksygenutstyr til fisketransport, og Kristian Hestevåg, Finså klekkeri, lånte ut et transportkar.

Gunnel Østborg (NINA) analyserte skjellprøver fra radiomerket fisk. Leiv G. Ruud (NVE) skaffet tilveie vannføringsdata fra Mandalselva. Øyvind Kaste (NIVA Sørlands-

avdelingen) skaffet tilveie vannkjemidata fra Mandalselva, Høyeåna og Logåna.

Vi vil benytte anledningen til å rette en stor takk til alle disse for et godt samarbeid under utførelse av prosjektet.

Innhold

| | |
|---|----|
| Referat | 3 |
| Abstract | 4 |
| Forord | 5 |
| 1 Innledning | 6 |
| 1.1 Delprosjekt A - vandring i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann | 6 |
| 1.2 Delprosjekt B - vandring i forhold til kalking | 7 |
| 2 Områdebeskrivelse | 7 |
| 2.1 Mandalsvassdraget | 7 |
| 2.2 Fiskebestander i Mandalsvassdraget | 8 |
| 3 Materiale og metoder | 10 |
| 3.1 Delprosjekt A - vandring i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann | 10 |
| 3.1.1 Fangst og radiomerking av fisk | 10 |
| 3.1.2 Manuell posisjonering av radiomerket fisk | 10 |
| 3.1.3 Automatisk datalogging av radiomerket fisk | 10 |
| 3.1.4 Lokkeflommer i minstevannføringsløpet | 12 |
| 3.1.5 Resultatbehandling | 12 |
| 3.2 Delprosjekt B - vandring i forhold til kalking | 13 |
| 4 Resultater | 14 |
| 4.1 Identifikasjon av radiomerket laks | 14 |
| 4.2 Delprosjekt A - vandring i minstevannførings- løpet Laudal-Mannflåvann | 14 |
| 4.2.1 Vandring og vandringshindre | 14 |
| 4.2.2 Vandring og lokkeflommer | 16 |
| 4.3 Delprosjekt B - vandring i forhold til kalking | 21 |
| 5 Diskusjon | 29 |
| 5.1 Delprosjekt A - vandring i minstevannførings- løpet Laudal-Mannflåvann | 29 |
| 5.1.1 Vandring og vandringshindre | 29 |
| 5.1.2 Vandring og lokkeflommer | 31 |
| 5.2 Delprosjekt B - vandring i forhold til kalking | 32 |
| 6 Konklusjon | 33 |
| 6.1 Delprosjekt A - vandring i minstevannførings- løpet Laudal-Mannflåvann | 33 |
| 6.2 Delprosjekt B - vandring i forhold til kalking | 34 |
| 7 Litteratur | 35 |
| Vedlegg 1 | 37 |
| Vedlegg 2 | 40 |

1 Innledning

Mandalselva var tidligere ei god lakseelv, men har i dag ingen selvreproduserende laksestamme på grunn av forsurening. På 1980- og 1990-tallet har det vært en betydelig oppvandring av laks av ukjent opprinnelse i elva (Anon. 1994a). Vassdraget skal fullkalkes i 1997, og selvreproduserende laksebestander kan igjen etableres. Forholdene for oppvandring, gyting og oppvekst av laks- og ørretunger er imidlertid vanskelige på elvestrekningene Bjelland-Kavfossen og Laudal-Mannflåvann på grunn av reguleringsinngrep (Anon. 1994a).

1.1 Delprosjekt A - vandring i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann

Flerbruksplan Mandalsvassdraget har som ett av sine mål å bedre forholdene for laks og sjørret på elvestrekningen Laudal-Kavfossen (Anon. 1994b). Dette prosjektet omfatter forholdene for gytevandring hos laks og sjørret i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann. Produksjon av laks og sjørret, samt muligheter for fiske videre oppover i vassdraget, er avhengig av at oppvandrende fisk passerer dette minstevannføringsløpet og ikke forsinkes i forhold til gyte- og fiskesesong.

Redusert vannføring på strekningen Laudal-Mannflåvann skyldes at vannet ledes i tunnel gjennom Laudal Kraftstasjon fra utløpet av Mannflåvann og ned til Laudal. Minstevannføring på strekningen var tidligere fastsatt til 0,25 m³/s (Anon. 1994a). I sommerhalvåret 1994 ble vannføringen økt til 1,5 m³/s (Jarl Fidje pers. komm.). Fra og med 1996 ble minstevannføringen fastsatt til 3,0 m³/s i perioden 1. juli-4. oktober og 1,5 m³/s resten av året (Brabrand & Saltveit 1995). For å beholde vannspeil og gi et rimelig stort vanddekket areal for fisk ble det bygd flere terskler på strekningen (Brabrand & Saltveit 1995). Terskelbygging kan skape et rikere og mer variert miljø i regulerte elver, men terskler representerer også en fysisk sperre som kan være til hinder for vandrende fisk (Fjellheim 1993). Tidligere år har mindre enn 4 % av laks og sjørret som vandret opp i minstevannføringsløpet ved Laudal, passert hele strekningen og vandret videre oppover i vassdraget (Jarl Fidje pers. komm.).

Formålet med delprosjekt A var å analysere vandringsmønster hos oppvandrende laks og sjørret på strekningen Laudal-Mannflåvann ved hjelp av radiotelemetri. Det ble lagt spesielt vekt på å undersøke om oppvandringen hindres fysisk på bestemte steder i minstevannføringsløpet, og om utbedringer kan gjennomføres for å bedre forholdene for oppvandring. I tillegg ble et vannvolum på 10 mill m³ avsatt til kunstige lokkeflommer. Lokkeflommer med ulik vannføring og varighet ble utprøvd for å undersøke hvordan en slik ekstra vannmengde best kan utnyttes for å bedre forholdene for oppvandring i minstevannføringsløpet.

1.2 Delprosjekt B - vandring i forhold til kalking

I Vossovassdraget var det klare indikasjoner på at radiomerket laks hadde høyere vandringshastighet i perioder hvor vassdraget ble kalket, enn i perioder hvor kalkdoserer var ute av drift (Lamberg et al. 1997). Imidlertid er det lite kjent hvordan kalking av vassdrag påvirker vandringsatferd hos laks og sjøørret.

Formålet med delprosjekt B var å kartlegge vandringsmønster og vandringshastighet hos oppvandrende laks og sjøørret før og etter fullkalking av Mandalselva. Prosjektet er ikke fullført, da undersøkelser enda bare omfatter vandring før fullkalking. Foreløpige resultater fra delprosjekt B er likevel inkludert i denne rapporten. Vandring ble analysert hos laks og sjøørret som ble fanget ved Laudal, radiomerket og satt ut i munningsområdet. Samme prosedyre er planlagt gjennomført etter fullkalking i 1997.

2 Områdebeskrivelse

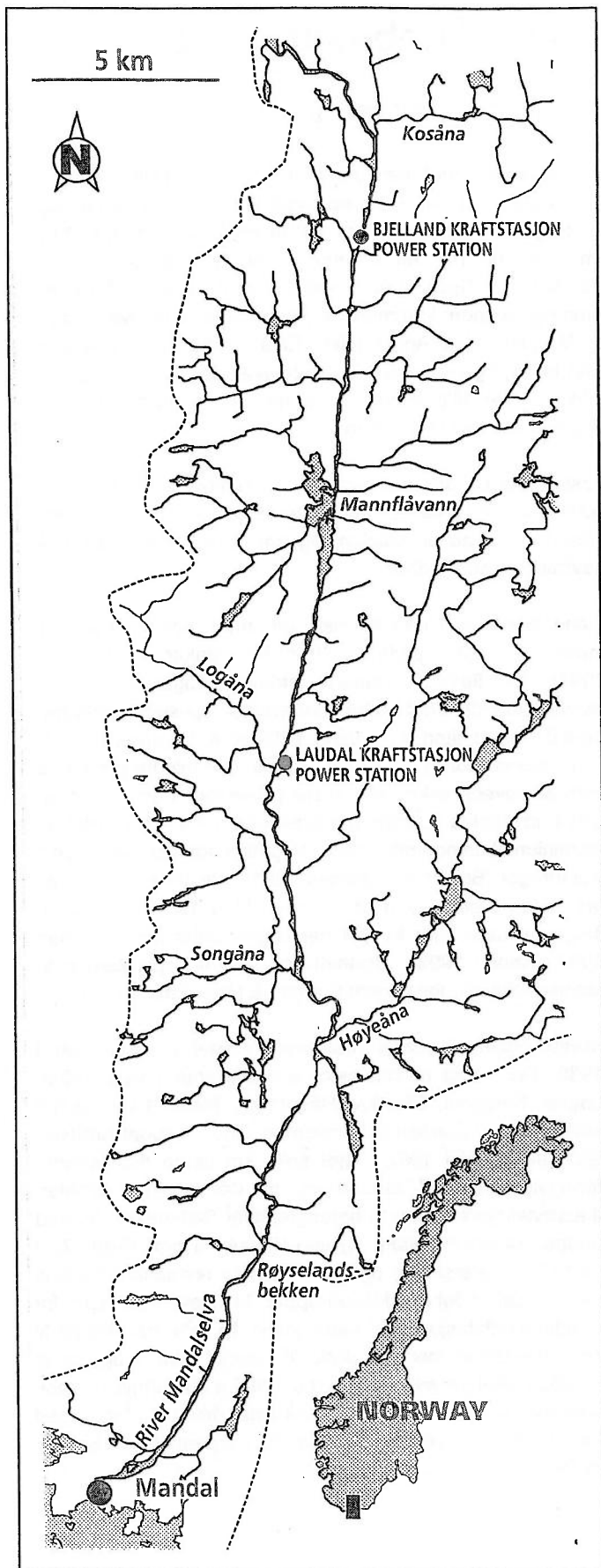
2.1 Mandalsvassdraget

Mandalsvassdraget har utspring i fjellene mellom Ose i Setesdalen og Øvre Sirdal og ligger i fylkene Vest-Agder og Aust-Agder. Nedbørsfeltet er 1 800 km². Vassdraget er 115 km langt og har en gjennomsnittlig bredde på 15 m. Mandalselva (figur 1) er hovedelva som renner ut fra Ørevann og gjennom kommunene Åseral, Audnedal, Marnardal og Mandal i Vest-Agder fylke. Elva renner ut i havet ved Mandal by, og ved utløpet er middelvannføringen om lag 88 m³/s. Større tilløpselver er blant annet Monn, Logna, Skjerka, Kosåna og Logåna.

Vassdraget ligger i det sørnorske grunnfjellsområdet, som hovedsakelig består av harde gneiser og granitter. Bergartene er fattige på kalsium og har derfor liten evne til å nøytralisere sur nedbør.

Mandalselva er i dag kronisk sur, med målte pH-verdier mellom 4,7-4,9 i perioden 1989-90 (Blakar & Digernes 1991). De fleste uregulerte sidevassdragene hadde i samme periode langt bedre vannkvalitet, spesielt i tørrværsperioder med liten avrenning (Blakar & Digernes 1991). Flere sidevassdrag blir kalket i større eller mindre grad, noe som er hovedårsaken til høyere pH-verdier i sidevassdrag enn i hovedelva (Larsen & Haraldstad 1994). Innholdet av aluminiumskomponenter som er giftige for fisk, er høye i vassdraget (Blakar & Digernes 1991). Langtidsmålinger av pH i Mandalselva ved Marnardal siden 1964 har vist at årlige middelerdier for pH har ligget under pH 4,9 siden 1967 (Anon. 1993). Bortsett fra forsuringproblemet er Mandalselva lite forurenset (Larsen & Haraldstad 1994).

Kraftutbygging i større målestokk startet i vassdraget i 1930. Per i dag er det seks kraftstasjoner i vassdraget: Logna, Smeland, Skjerka, Håverstad, Bjelland og Laudal kraftstasjoner (Larsen & Haraldstad 1994). Laudal Kraftstasjon ble åpnet i 1982. I det seks km lange minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann ble det bygd tolv terskler; ti løsmasseterskler og to betongterskler (betongterskler ved utløpet fra Mannflåvann og ved Kleveland bro) (figur 2). I de to betongtersklene og den nederste løsmasseterskelen ved Laudal er det bygd fisketrapper. Minstevannføringen fra Laudal Kraftstasjon skal være minst 15 m³/s når tilsiget til Mannflåvann er mer enn dette. Er tilsiget 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).



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

2.2 Fiskebestander i Mandalsvassdraget

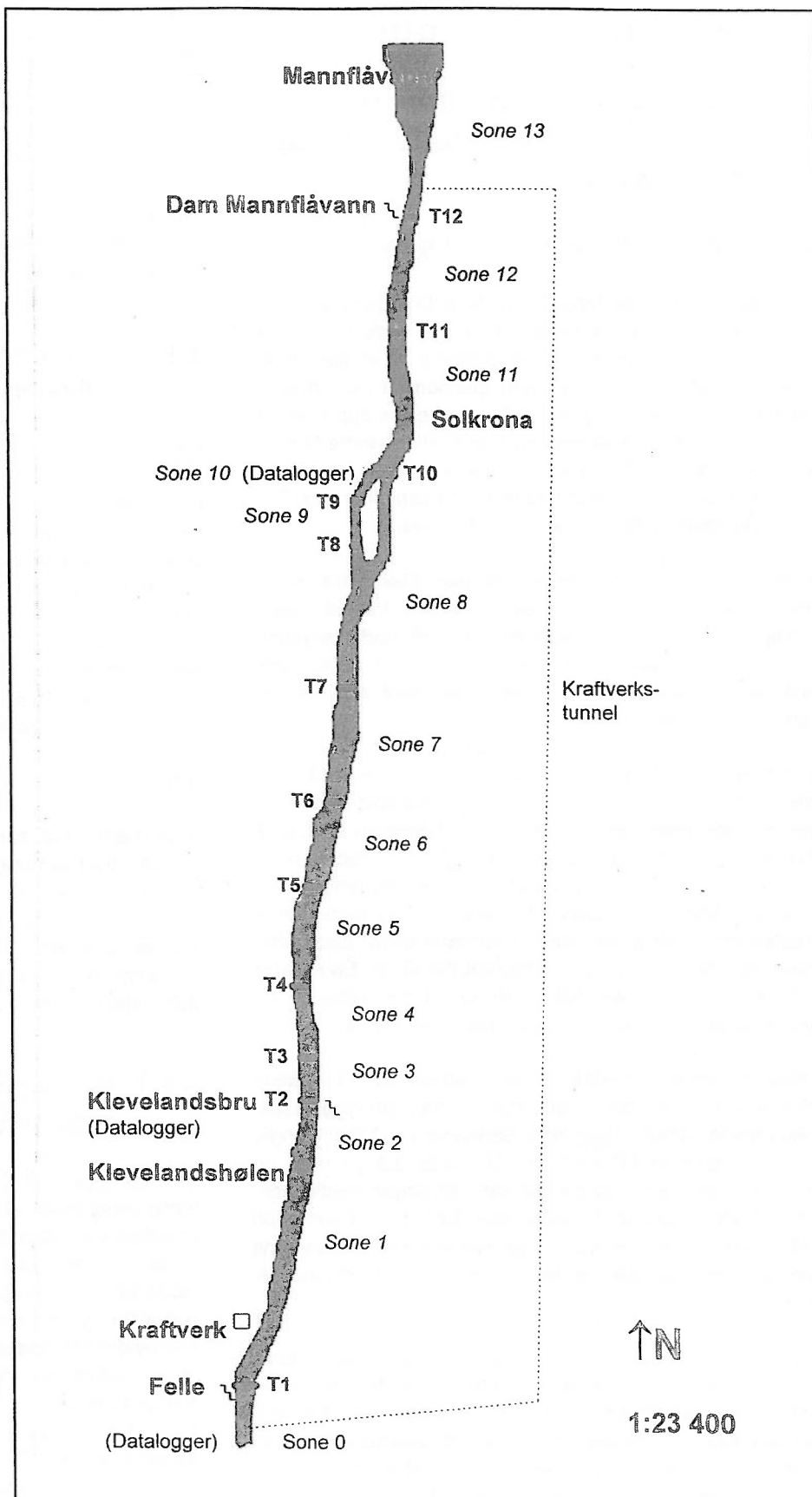
I vassdraget finnes laks, sjøørret, stasjonær ørret, abbor, ål og bekkerøye. Bekkerøye har blitt satt ut i vassdraget de senere år, og naturlig reproduksjon foregår i noen bekker (Heggenes & Saltveit 1992). Fiskebestandene i vassdraget er sterkt negativt påvirket av surt vann (Heggenes & Saltveit 1992).

Mandalselva var tidligere ei av Norges beste lakseelver. I 1890 var rapportert fangst av laks og sjøørret 34 tonn. I dag er den stedegne laksebestanden i elva utdødd på grunn av forsurening. De første opplysningene om massedød av voksen laks i Mandalselva på grunn av forsurening er fra 1914 (Anon. 1994a). Sjøørretbestanden har så langt overlevd og reproducerer naturlig i deler av vassdraget. Tettheten av ungfisk er imidlertid lav, og mye av reproduksjonen forgår i bekkene (Anon. 1994a).

Det fanges fortsatt både laks og sjøørret i Mandalselva; i perioden 1982-93 var årlig totalfangst gjennomsnittlig 778 kg (Anon. 1994a). En stor andel av fangstene var laks. Dette var 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). Merkeforsøk har vist at en del av lakse-smolten som er satt ut i naboelva Audna, vandrer opp i Mandalselva. Dette skyldes trolig at vannføringen i Audna har vært lav i forhold til i Mandalselva (Anon. 1994a).

Laks og sjøørret kan vandre helt opp til Kavfossen, en strekning på 48 km. Utbygging av Bjelland og Laudal Kraftstasjon har imidlertid vanskeliggjort oppvandring på strekningene Kavfossen-utløpet fra Bjelland Kraftstasjon og Laudal-Mannflåvann (Larsen & Haraldstad 1994). Oppvandrende laks og sjøørret har blitt registrert ved fangst i felle like ovenfor kraftverksutløpet ved Laudal fra og med 1992. På samme måte har oppvandrende fisk som passerer dammen ved utløpet av Mannflåvann blitt registrert fra og med 1993.

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 og med Klevelandshølen til T2, sone 13 er vassdraget ovenfor T12 og de øvrige sonene utgjør de ulike terskelbassengene. Fiske fosser er avmerket med et trappesymbol.



3 Materiale og metoder

3.1 Delprosjekt A - vandring i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann

3.1.1 Fangst og radiomerking av fisk

Laks og sjørret ble fanget i ei felle like ovenfor kraftverksutløpet ved Laudal. Fella er plassert i nederste terskel i minstevannføringsløpet i øverste trinnet av ei fisketrapp (figur 2). Fisken ledes inn i fella gjennom et ruseprinsipp laget av sveisetråder, og hele fella kan heises opp i luft og tømmes for fisk. Ved vannføring 3 m³/s eller mindre fanges all oppvandrende laks og sjørret i fella. Ved høyere vannføring renner vann ut over terskelen, og oppvandrende fisk kan trolig passere flere steder utenfor trappa.

Fella ble inspisert 1-2 ganger i døgnet. Fisken ble enten merket umiddelbart etter at de ble tatt ut fra fella, eller transportert til to finmaskede mærer som stod i skyggen under brua ved kraftverket. Transporten (230 m) foregikk ved sleping etter robåt i transportnot med aluminiumsramme og flottører.

I perioden 9. august-8. september ble til sammen 41 fisk merket med radiosender; 36 laks og 5 sjørret (tabell 1). Kjønnfordelingen var 26 hanner og 11 hunner av laks, og 2 hanner og 3 hunner av sjørret (tabell 1). Av radiomerket fisk ble 10 laks merket og satt ut i elva ved fella umiddelbart etter tømning av fella (tabell 1). De øvrige ble merket etter oppbevaring i ett til åtte døgn i mærene under kraftverksbrua, og satt ut i elva ved kraftverket (tabell 1). Én laks (nr 15) ble funnet død ved fella to dager etter merking og ble ikke inkludert i resultatene. Dødsårsaken er ukjent.

Radiosenderne (modell 7PN, Advanced Telemetry Systems, ATS) ble festet med ståltråd gjennom ryggmuskulaturen ved basis av ryggfinna. Senderne var 3,8 cm lange, 2,0 cm brede og 1,0 cm tykke. De veide 3,4 g i vann og 11,0 g i luft. Garantert levetid var 130 dager. Radiosenderne hadde signaler i frekvensområdet 142.010-142.500 MHz. Individuelle fisk kunne gjenkjennes ved at senderne hadde unike kombinasjoner av frekvens og pulser per minutt.

Før fisken ble sluppet ut i elva ble de lengdemålt (naturlig lengde), kjønnsbestemt og artsbestemt. Laks ble klassifisert som villaks eller oppdrettslaks ut fra utseende. Det ble tatt skjellprøver fra laksen, som ut fra skjellanalyser ble klassifisert i følgende grupper: 1) villaks, 2) usikker, 3) rømt oppdrettslaks, 4) oppdrettssmolt og 5) utsatt som 0+/1+ (tabell 1). Ved skjellanalyser identifiseres omlag 97 % av oppdrettslaksen, 55 % av oppdrettssmolten og 98 % av villaksen korrekt (Lund et al. 1989). For å skåne fisken ved radiomerking kan det bare samles et begrenset antall skjell (3-5 skjell). En del fisk blir derfor vanskelig å identifisere på

grunn av få gode skjell. Skjellprøver med udefinerbart eller rotete vekstmønster i elvevekst ble klassifisert som oppdrettssmolt, og skjellprøver med rotete vekstmønster i første halvdel av elveveksten ble klassifisert som utsatt som 0+/1+. Fire laks ble klassifisert som rømt oppdrettslaks (tabell 1) til tross for at de ved skjellanalyser ble klassifisert som usikker vill (nr 39) og oppdrettssmolt (nr 36, 38 og 60). Dette fordi de av utseende hadde minst tre oppdrettskarakterer (klump/bølget ryggfinne, slitt/avrundet halefinne og minst én bølget brystfinne) (Lund et al. 1989).

3.1.2 Manuell posisjonering av radiomerket fisk

Radiomerket fisk på strekningen Laudal-Mannflåvann ble peilet manuelt (mottaker modell R2100, ATS) fra bil hver 3. dag i perioden 10. august-31. oktober, og hver 6. dag i perioden 6. november-18. desember. I tillegg ble fisken peilet like før start av hver lokkeflom (0-3 t før), to ganger i døgnet (morgen/formiddag og kveld) de dagene lokkeflomene varte samt morgen/formiddag etter hver lokkeflom (unntatt den siste). Ved peiling ble fisken posisjonert 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 ble plottet på et kart med målestokk 1:23 400, hvor alle tersklene var inntegnet.

Radiomerket fisk som passerte Mannflåvann, ble med få unntak peilet samtidig som radiomerket fisk på strekningen Laudal-Mannflåvann. Dette var ikke med i prosjektplanen, men var et resultat av innsatsen til ivrige peilere. Radiomerket laks som vandret nedover i elva i forhold til utsettingsstedet, ble peilet samtidig som radiomerket fisk i delprosjekt B (kap. 3.2).

3.1.3 Automatisk datalogging av radiomerket fisk

To dataloggere (DCC II Modell D5041, ATS) registrerte kontinuerlig radiomerket fisk som passerte. En av disse ble installert ved Klevelandbrua (T2, figur 2), fordi dette fra lokalt hold ble utpekt som et mulig vandringshinder. Rekkevidde for registrering av radiomerket fisk var 150 m nedover i elva fra og med fisketrappa. Ved enkelte tilfeller omfattet rekkevidden nederste del av sone 3. Ved beregning av hvor lenge radiomerket fisk oppholdt seg i området nedenfor Klevelandbrua, ble fisk som oppholdt seg en tid nederst i sone 3 ikke inkludert i resultatene fordi nøyaktig passeringstidspunkt for T2 var usikkert. Dataloggeren var kontinuerlig i drift i perioden 9. august-11. desember.

Den andre dataloggeren ble installert ved vestlige elveløp ved Solkrona (T10), fordi dette fra lokalt hold ble utpekt som et annet mulig vandringshinder. Rekkevidden omfattet T9, T10 og hele terskelbassenget mellom disse tersklene (Sone 10, figur 2). Ved enkelte tilfeller omfattet rekkevidden

Tabell 1. Radiomerket laks og sjøørret i Mandalselva 1996. Art: L = laks, Ø = sjøørret. Type: 1 = villaks, 2 = usikker, 3 = rømt oppdrettslaks (voksen), 4 = oppdrettssmolt, 5 = utsatt som 0+/1+. Kjønn: 1 = hann, 2 = hunn. Utsetningssted: 1 = ved kraftverksbrua, 2 = ved fiskefella, 3 = i elvemunningen.

| Fisk nr. | Art | Type | Kjønn | Naturlig lengde (mm) | Merke-dato | Utsetnings-sted | Anmerkninger |
|----------|-----|------|-------|----------------------|------------|-----------------|-------------------------|
| 1 | L | 2 | 1 | 590 | 09.08. | 2 | Blind på ett øye |
| 2 | L | 3 | 1 | 960 | 10.08. | 2 | |
| 3 | L | 4 | 1 | 550 | 10.08. | 2 | |
| 4 | L | 4 | 1 | 590 | 10.08. | 2 | Blank med lus |
| 5 | L | 5 | 2 | 550 | 11.08. | 2 | |
| 6 | L | 2 | 1 | 600 | 17.08. | 1 | Fettfinneklipt |
| 7 | L | 2 | 1 | 570 | 17.08. | 1 | |
| 8 | L | 2 | 1 | 620 | 17.08. | 1 | |
| 9 | Ø | | 1 | 560 | 17.08. | 1 | |
| 10 | L | 2 | 1 | 550 | 17.08. | 1 | |
| 11 | L | 2 | 1 | 580 | 17.08. | 1 | |
| 12 | L | 5 | 2 | 590 | 17.08. | 1 | |
| 13 | L | 3 | 1 | 820 | 18.08. | 2 | Med lus |
| 14 | L | 2 | 1 | 650 | 18.08. | 2 | |
| 15 | L | 3 | 2 | 580 | 18.08. | 2 | |
| 16 | L | 3 | 1 | 690 | 28.08. | 1 | |
| 17 | L | 2 | 1 | 690 | 28.08. | 1 | |
| 18 | L | 2 | 1 | 580 | 28.08. | 1 | |
| 19 | L | 1 | 1 | 670 | 28.08. | 1 | NZ 034566 ¹⁾ |
| 20 | L | 5 | 2 | 610 | 28.08. | 1 | |
| 21 | L | 2 | 2 | 630 | 28.08. | 1 | |
| 22 | L | 2 | 1 | 660 | 28.08. | 1 | |
| 23 | L | 3 | 2 | 630 | 28.08. | 1 | |
| 24 | Ø | | 2 | 460 | 28.08. | 1 | |
| 25 | Ø | | 2 | 540 | 28.08. | 1 | |
| 26 | L | 4 | 1 | 580 | 30.08. | 2 | |
| 27 | L | 4 | 1 | 580 | 30.08. | 2 | |
| 28 | L | 2 | 1 | 630 | 08.09. | 1 | |
| 29 | L | 5 | 2 | 600 | 08.09. | 1 | |
| 30 | L | 3 | 1 | 620 | 08.09. | 1 | |
| 31 | L | 3 | 1 | 640 | 08.09. | 1 | |
| 32 | L | 3 | 2 | 790 | 08.09. | 1 | |
| 33 | Ø | | 1 | 530 | 08.09. | 1 | |
| 34 | L | 2 | 2 | 540 | 08.09. | 1 | |
| 35 | L | 2 | 1 | 620 | 08.09. | 1 | |
| 36 | L | 3 | 1 | 640 | 08.09. | 1 | |
| 37 | Ø | | 2 | 530 | 08.09. | 1 | |
| 38 | L | 3 | 1 | 640 | 08.09. | 1 | |
| 39 | L | 3 | 1 | 640 | 08.09. | 1 | |
| 40 | L | 3 | 1 | 650 | 08.09. | 1 | |
| 41 | L | 5 | 2 | 600 | 08.09. | 1 | |
| 42 | L | 3 | 1 | 730 | 17.09. | 3 | |
| 43 | L | 2 | 2 | 840 | 17.09. | 3 | |

Tabell 1 forts.

| Fisk nr. | Art | Type | Kjønn | Naturlig lengde (mm) | Merke- dato | Utsettings- sted | Anmerkninger |
|----------|-----|------|-------|----------------------|-------------|------------------|--------------|
| 44 | Ø | 1 | 1 | 590 | 17.09. | 3 | |
| 45 | L | 4 | 1 | 680 | 17.09. | 3 | |
| 46 | L | 3 | 1 | 710 | 17.09. | 3 | |
| 47 | L | 2 | 1 | 640 | 02.10. | 3 | |
| 48 | L | 1 | 2 | 750 | 02.10. | 3 | |
| 49 | L | 2 | 2 | 770 | 02.10. | 3 | |
| 50 | L | 4 | 1 | 680 | 02.10. | 3 | |
| 51 | L | 2 | 2 | 780 | 02.10. | 3 | |
| 52 | L | 4 | 2 | 850 | 02.10. | 3 | |
| 53 | L | 3 | 2 | 710 | 02.10. | 3 | |
| 54 | L | 4 | 2 | 630 | 02.10. | 3 | |
| 55 | L | 2 | 1 | 920 | 02.10. | 3 | |
| 56 | L | 4 | 2 | 830 | 02.10. | 3 | |
| 57 | L | 2 | 1 | 540 | 02.10. | 3 | |
| 58 | L | 5 | 1 | 610 | 02.10. | 3 | |
| 59 | L | 1 | 2 | 490 | 02.10. | 3 | |
| 60 | L | 3 | 2 | 510 | 02.10. | 3 | |
| 61 | L | 2 | 1 | 530 | 02.10. | 3 | |

¹⁾ Carlinmerket som vill i Audna i 1995, var 13,8 cm ved merking

nederste del av sone 11, og fisk som oppholdt seg lengre tid nederst i denne sonen ble ikke inkludert i beregningene av oppholdstid i sone 10. Dataloggeren var kontinuerlig i drift i perioden 9. august-17. september. Én fisk passerte dataloggeren uten å bli registrert fordi frekvensen ved feiltakelse ikke var lagt inn i frekvenstabellen. Dataloggeren ble senere i sesongen benyttet i delprosjekt B (kap. 3.2).

3.1.4 Lokkeflommer i minste- vannføringsløpet

I perioden 26. august-4. oktober ble 6 ulike lokkeflommer (ulike med hensyn til vannføring og varighet) sluppet fra dammen ved Mannflåvann (tabell 2). På grunn av den tekniske konstruksjonen av dammen kan per i dag maksimum 13 m³/s vann slippes fra dammen og nedover minste- vannføringsløpet, det vil si 10 m³/s i tillegg til minste- vannføringen på 3 m³/s. Vann som slippes ved Mannflå- vann, når Laudal ca 1 t 40 min senere (Jarl Fidje pers. komm.).

Under lokkeflom nr 1, 2 og 3 var både nymerket laks (merket 3-8 dager før start av lokkeflommen) og laks som var merket tidligere i minstevannføringsløpet. Effekten av disse lokkeflommene kunne derfor sammenlignes for nymerket laks og for laks som hadde oppholdt seg i lengre tid i minstevannføringsløpet.

3.1.5 Resultatbehandling

Resultater om oppvandring og vandringshindre i minste- vannføringsløpet inkluderer peileresultater til og med 28. oktober. Senere peilinger ble ikke inkludert for å unngå feiltolkning av resultater i forhold til hva som var stans for vandringshindre og hva som var stans på grunn av gyte- periode. Resultater om oppvandring i forhold til vannføring inkluderer peileresultater til og med 4. oktober, fordi minste- vannføringen ble endret fra sommervannføring til vinter- vannføring etter avslutning av siste lokkeflom 4. oktober.

Radiomerket fisk som vandret nedover i elva i forhold til fangst-, merke- og utsettingsstedet, ble ikke inkludert i resultater om vandring videre oppover i vassdraget. Ut fra tidligere erfaringer antas det at denne vandringsatferden var et resultat av fangst og merkeprosedyren. Ved fangst og radiomerkning av laks i elv er det også tidligere registrert en slik atferd hos enkelte fisk (Finn Økland pers. komm.).

Resultater fra fellefangster ved Laudal og Mannflåvann ble benyttet fra årene 1993, 1994 og 1995. Resultater fra 1996 ble ikke inkludert fordi fellefangstene ikke utgjorde en fullstendig registrering av passerende fisk ved Laudal og Mannflåvann i perioder med lokkeflommer. Dette ble demonstrert ved at radiomerket fisk passerte fella både ved Laudal og Mannflåvann uten å bli fanget under lokke- flommer.

Tabell 2. Lokkeflommer sluppet fra dammen ved Mannflåvann i Mandalselva 1996.

| Start tapping | | Stopp tapping | | Varighet tapping (timer) | Vannføring (m ³ /s) |
|--------------------|-------------|---------------|-------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| Dato | Klokkeslett | Dato | Klokkeslett | | |
| Lokkeflom 1 | | | | | |
| 26.08. | 12.00 | 28.08. | 12.00 | 48 | 8 |
| Lokkeflom 2 | | | | | |
| 02.09. | 12.00 | 04.09. | 12.00 | 48 | 13 |
| Lokkeflom 3 | | | | | |
| 11.09. | 12.00 | 11.09. | 20.00 | 8 | 13 |
| 12.09. | 12.00 | 12.09. | 20.00 | 8 | 13 |
| Lokkeflom 4 | | | | | |
| 16.09. | 08.00 | 16.09. | 16.00 | 8 | 13 |
| 16.09. | 16.00 | 16.09. | 18.00 | 2 | 11 |
| 16.09. | 18.00 | 16.09. | 20.00 | 2 | 9 |
| 16.09. | 20.00 | 16.09. | 22.00 | 2 | 7 |
| 16.09. | 22.00 | 16.09. | 24.00 | 2 | 5 |
| 17.09. | 08.00 | 17.09. | 16.00 | 8 | 13 |
| 17.09. | 16.00 | 17.09. | 18.00 | 2 | 11 |
| 17.09. | 18.00 | 17.09. | 20.00 | 2 | 9 |
| 17.09. | 20.00 | 17.09. | 22.00 | 2 | 7 |
| 17.09. | 22.00 | 17.09. | 24.00 | 2 | 5 |
| Lokkeflom 5 | | | | | |
| 22.09. | 08.30 | 22.09. | 20.30 | 12 | 13 |
| 23.09. | 08.30 | 23.09. | 20.30 | 12 | 13 |
| 24.09. | 08.30 | 24.09. | 20.30 | 12 | 13 |
| Lokkeflom 6 | | | | | |
| 28.09. | 10.00 | 28.09. | 18.00 | 8 | 13 |
| 29.09. | 10.00 | 29.09. | 18.00 | 8 | 13 |
| 30.09. | 10.00 | 30.09. | 18.00 | 8 | 13 |
| 01.10. | 10.00 | 01.10. | 18.00 | 8 | 13 |
| 02.10. | 10.00 | 02.10. | 18.00 | 8 | 13 |
| 03.10. | 10.00 | 03.10. | 18.00 | 8 | 13 |
| 04.10. | 10.00 | 04.10. | 18.00 | 8 | 13 |

En limnigraf nedenfor kraftverksutløpet ved Laudal måler vannstand kontinuerlig, men vannføringstabellen for limnigrafisk utskrift er ikke korrekt (Jarl Fidje pers. komm.). Riktig forhold mellom vannstand og vannføring for limnigrafen vil beregnes av NVE i løpet av sommeren 1997. Vi kjenner derfor ikke eksakt vannføring i minstevannføringsløpet i løpet av undersøkelsen. I nedbørfattige perioder tilføres minstevannføringsløpet svært lite vann fra restfeltet (15 km²), men i nedbørrike perioder vil vannføringen øke i forhold til vannføring som slippes fra Mannflåvann. Restfeltet til minstevannføringsløpet har årsavløp 35 l/s km², som tilsvarer 0,53 m³/s (Blakar & Digernes 1991). Vandring hos radiomerket fisk i undersøkelsen vurderes derfor også i forhold til daglige nedbørmålinger (mm/døgn) foretatt ved Laudal Kraftstasjon.

3.2 Delprosjekt B - vandring i forhold til kalking

Det ble fanget og merket 19 laks (9 hanner og 10 hunner) og 1 sjørøret (hann) (tabell 1) på samme måte som beskrevet i kap 3.1. Før merking ble fisken oppbevart i mære under kraftverksbrua i ett til åtte døgn. Etter merking ble fisken transportert på bil i et kar med oksygen fra Laudal til munningsområdet av Mandalselva. Fisken ble satt ut i elva 2,5 km nord for bru (E18) ved Mandal by.

Laksen ble peilet manuelt på samme måte som beskrevet i kap. 3.1.2. Posisjoner til hver enkelt fisk ble plottet på kart med målestokk 1 : 40 000. Peilinger ble foretatt annenhver

dag i perioden 18. september-30. oktober og én gang i uka i perioden 6. november-4. desember.

En datalogger (DCC II Modell D5041, ATS) ble installert ved Laudal (overfor kraftverksutløpet under Mjålandsbru) for å registrere vandringshastighet fra utsetting i elvemunningen til eventuell ankomst Laudal. Dataloggeren hadde rekkevidde om lag 150 m oppover elva og 100 m nedover elva. Dataloggeren var kontinuerlig i drift i perioden 17. september-11. desember.

Ved resultatbehandling ble vandringsmønsteret hos radiomerket fisk beskrevet med posisjoner angitt som avstand fra munning; det vil si avstand fra bru (E18) over Mandalselva ved Mandal by.

Vannkjemidata (pH, Ca og Al) fra månedlige vannprøver fra hovedutløpet av Mandalselva og sideelvene Logåna og Høyeåna ble innhentet fra Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Vannføringsdata fra Kjølemo stasjon i Mandalselva ble innhentet fra NVE.

4 Resultater

4.1 Identifikasjon av radiomerket laks

Av radiomerket laks i delprosjekt A og B ble 7 % (n = 4) klassifisert som villaks, 38 % (n = 21) som usikker, 29 % (n = 16) som oppdrettslaks, 15 % (n = 8) som oppdretts-smolt og 11 % (n = 6) som utsatt som 0+/1+ (tabell 1).

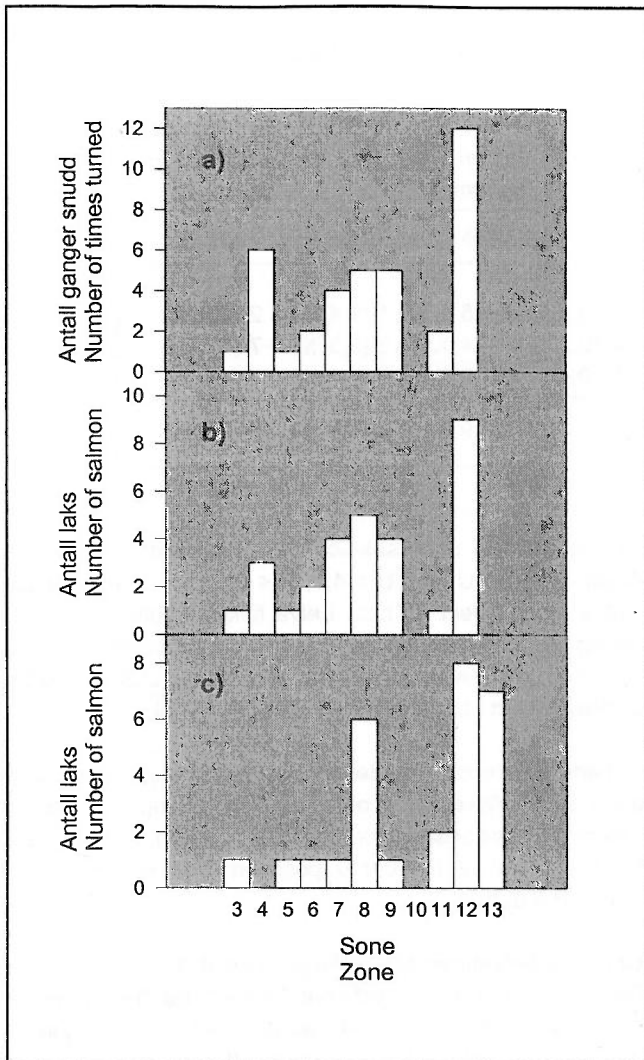
4.2 Delprosjekt A - vandring i minste vannføringsløpet Laudal-Mannflåvann

4.2.1 Vandring og vandringshindre

Av radiomerket fisk vandret 18 % (n = 7) nedover elva i forhold til utsettingsstedet ved Laudal; alle var laks. To av disse vandret opp i sone 2 før de vandret nedover. De øvrige oppholdt seg bare i sone 1 før de vandret nedover i elva. Tid fra merking til første registrering i elva nedenfor fella var gjennomsnittlig 26 dager (n = 7, SD = 23, variasjonsbredde 1-55). Disse fiskene oppholdt seg på strekningen Mjåland-Helland, 1-6 km sør for utsettingsstedet; bortsett fra én som oppholdt seg i Logåna fra og med 14. oktober til og med siste peiling 4. desember, og én som vandret opp i Logåna og ned i Mandalselva igjen minst fire ganger i perioden 14. oktober-4. desember.

Av radiomerket laks som ikke vandret nedover i elva i forhold til Laudal, passerte 25 % (n = 7) hele minste vannføringsløpet og vandret videre oppover i vassdraget (figur 3). Ingen sjørret passerte hele minste vannføringsløpet (figur 4). Andelen radiomerket laks som passerte hele minste vannføringsløpet var imidlertid ikke signifikant forskjellig fra andelen radiomerket sjørret (Kji-kvadrat test, $\chi^2 = 0,81$, P = 0,37). Radiomerket laks som passerte minste vannføringsløpet, brukte gjennomsnittlig 40,9 dager (SD = 21,3, variasjonsbredde = 14-69) fra merking og utsetting ved Laudal til siste registrering i minste vannføringsløpet. Dette tilsvarer en gjennomsnittlig vandringshastighet på 0,15 km/døgn i minste vannføringsløpet.

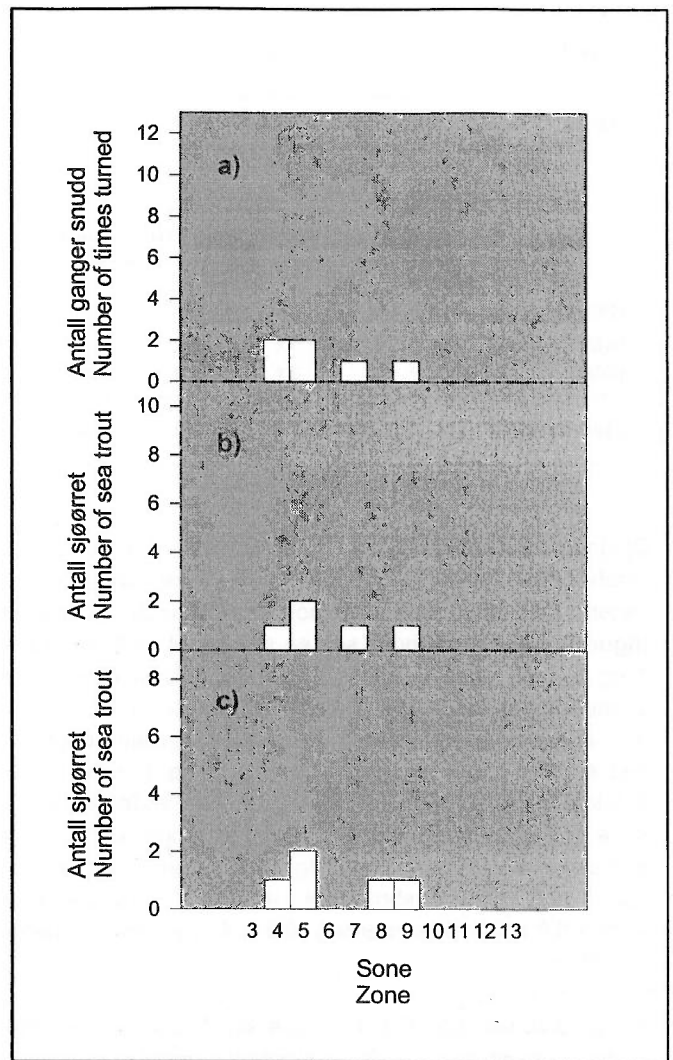
Av laks som passerte hele minste vannføringsløpet, vandret to opp i Kosåna (nr 18 og 27), én opp til Sundet (nr 4), to opp til utløpet ved Bjelland Kraftstasjon (nr 12 og 13), én opp til Bjelland kirke (nr 11) og én like nord for Mannflåvann (nr 8). Tre av disse vandret nedover elva igjen i løpet av peileperioden; én til nedre del av Mannflåvann (nr 13), én ned i minste vannføringsløpet (nr 11) og én til Mjåland nedenfor Laudal (nr 8). Tid fra siste registrering i T0 eller nederst i Mannflåvann til første registrering på strekningen Bjelland-Kosåna var gjennomsnittlig 5,7 døgn (SD = 4,2, variasjonsbredde = 1-12). Dette tilsvarer gjennomsnittlig vandringshastighet på 3,6 km/døgn (SD = 3,2, variasjonsbredde = 1,1-9,65).



Figur 3. Vandring hos radiomerket laks ($n = 28$) i Mandalselva 1996.

- Antall ganger laks under oppvandring i minstevannføringsløpet snudde i de ulike sonene og vandret nedover elva igjen i perioden fra merking til 28. oktober.
- Antall laks som snudde under oppvandring i de ulike sonene og vandret nedover elva igjen i perioden fra merking til 28. oktober.
- Soner som var øverste registrerte oppholdssted i elva hos individuelle laks fra merking til siste peiling 18. desember.

Resultater fra fellefangster av oppvandrende fisk ved Laudal og Mannflåvann i perioden 1993-95 (tabell 3) viser at gjennomsnittlig 3 % av laksen som ble registrert ved Laudal, passerte hele minstevannføringsløpet og 4 % av sjørørret. Andelen laks som passerte hele minstevannføringsløpet var ikke forskjellig fra andelen sjørørret i noe år i perioden 1993-95 (Kji-kvadrat tester, 1993: $\chi^2 = 0,016$, $P = 0,90$; 1994: $\chi^2 = 0,021$, $P = 0,89$; 1995: $\chi^2 = 1,0$, $P = 0,32$).



Figur 4. Vandring hos radiomerket sjørørret ($n = 5$) i Mandalselva 1996.

- Antall ganger sjørørret under oppvandring i minstevannføringsløpet snudde i de ulike sonene og vandret nedover elva igjen fra merking til 28. oktober.
- Antall sjørørret som snudde under oppvandring i de ulike sonene og vandret nedover elva igjen fra merking til 28. oktober.
- Soner som var øverste registrerte oppholdssted i elva hos individuelle sjørørret fra merking til 18. desember.

Fella ved Mannflåvann ble tatt ned henholdsvis 4. og 5. oktober i 1994 og 1995. På samme tidspunkt (7. oktober) i 1996 hadde 14 % ($n = 4$) av den radiomerkede laksen passert hele minstevannføringsløpet. Andelen radiomerket laks som passerte minstevannføringsløpet før 7. oktober 1996, var høyere enn andelen laks som i følge fellefangster passerte minstevannføringsløpet i 1993 og 1995 (Kji-kvadrat tester, 1993: $\chi^2 = 6,6$, $P = 0,010$; 1994: $\chi^2 = 3,4$, $P = 0,065$; 1995: $\chi^2 = 4,6$, $P = 0,031$).

Vandringsmønster i minstevannføringsløpet for individuelle fisk er vist i vedlegg 1.

Tabell 3. Fellefangster av laks og sjørørret i fisketrapper ved Laudal og Mannflåvann i Mandalselva.

| Årstall | Periode med fellefangst Laudal | Antall fisk fanget ved Laudal | | | Periode med fellefangst Mannflåvann | Antall fisk fanget ved Mannflåvann (andel (%) av fisk fanget ved Laudal) | | |
|--------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------|-----|-------------------------------------|--|-----------|-----------|
| | | Laks | Sjørørret | Sum | | Laks | Sjørørret | Sum |
| 1993 | 24.06.-28.10. | 68 | 57 | 125 | 25.08.-28.10. | 1 (1,5 %) | 1 (1,4 %) | 2 (1,6 %) |
| 1994 | 11.07.-04.10. | 92 | 62 | 154 | 16.07.-04.10. | 4 (4,4 %) | 3 (3,3 %) | 7 (4,6%) |
| 1995 | 18.07.-27.10. | 71 | 80 | 151 | 20.09.-05.10. | 2 (2,8 %) | 5 (7,0 %) | 7 (4,6 %) |
| Gjennomsnitt | | 77 | 66 | 143 | | 2 (2,9 %) | 3 (3,9 %) | 5 (3,6 %) |

Gjennomsnittandel (%) av total tid fra merking til 28. oktober radiomerket fisk oppholdt seg i ulike soner av elva varierte mellom sonene både hos laks (**figur 5**) og sjørørret (**figur 6**). Laksen oppholdt seg en stor andel av tiden i sone 1 og 8, men også i sone 12 og 13; i forhold til at disse sonene ligger langt oppe i elva. Laksen oppholdt seg en liten andel av tiden i sone 5, 9 og 10. Sjørørreten oppholdt seg en stor andel av tiden i sone 3, 6 og 7, men i motsetning til laksen oppholdt de seg en liten andel av tiden i sone 1. Første gang laks ble registrert lengre oppe i elva enn sone 1 var gjennomsnittlig 15,9 dager etter merking (SD = 10,5, variasjonsbredde = 1-43) og sjørørret gjennomsnittlig 5,8 dager etter merking (SD = 4,9, variasjonsbredde = 1-11).

Flere radiomerkede fisk (19 laks og 4 sjørørret) snudde under oppvandring i minstevannføringsløpet og vandret nedover igjen én eller flere ganger i perioden fra merking til 28. oktober (**figur 3**, **figur 4**). Hos laksen skjedde dette hyppigst i sone 12, hvor 9 laks snudde 12 ganger under oppvandring. Også i sonene 7, 8 og 9 var disse verdiene relativt høye. Sjørørreten snudde under oppvandring i sone 4, 5, 7 og 9.

Oversikt over sone som var øverste registrerte oppholdssted for individuelle laks fra merking til siste peiling 18. desember (**figur 3**, **figur 4**), viser at foruten de 7 laks som passerte hele minstevannføringsløpet, hadde 8 laks sone 12 som øverste oppholdssted og 6 laks sone 8. De øvrige radiomerkede laks vandret lengre opp i elva enn sone 2 og spredte seg i resten av minstevannføringsløpet med hensyn til øverste oppholdssted. Individuelle sjørørret hadde øverste oppholdssted spredt i sonene 4, 5, 8 og 9.

Radiomerket laks oppholdt seg innen rekkeviddeområdet for dataloggeren nedenfor Klevelandsbua gjennomsnittlig 14,2 t (n = 20, SD = 16,2, variasjonsbredde = 0,7-55,9) og radiomerket sjørørret 13,5 t (n = 2, SD = 18,7, variasjonsbredde = 0,25-26,7). Bare laks ble registrert på dataloggeren ved Solkrona, og de oppholdt seg innen rekkeviddeområdet gjennomsnittlig 1,0 t (n = 5, SD = 1,5, variasjonsbredde = 0,25-3,75).

Laksen i denne undersøkelsen var lengre enn sjørørreten (Mann-Whitney U test, U = 4,5, P < 0,001). Fiskens lengde hadde ingen effekt på hvor i elva fisken oppholdt seg ved peiling 28. oktober (lineære regresjonsanalyser, n = 33, posisjon målt i avstand (m) fra felle: $r^2 = 0,028$, P = 0,36, posisjon angitt som sone: $r^2 = 0,010$, P = 0,59).

Fiskens merkedato hadde en positiv effekt på hvor langt oppe i elva fisken oppholdt seg ved peiling 28. oktober (lineære regresjonsanalyser, n = 33, posisjon målt i avstand fra felle: $r^2 = 0,12$, P = 0,050, posisjon angitt som sone: $r^2 = 0,042$, P = 0,25).

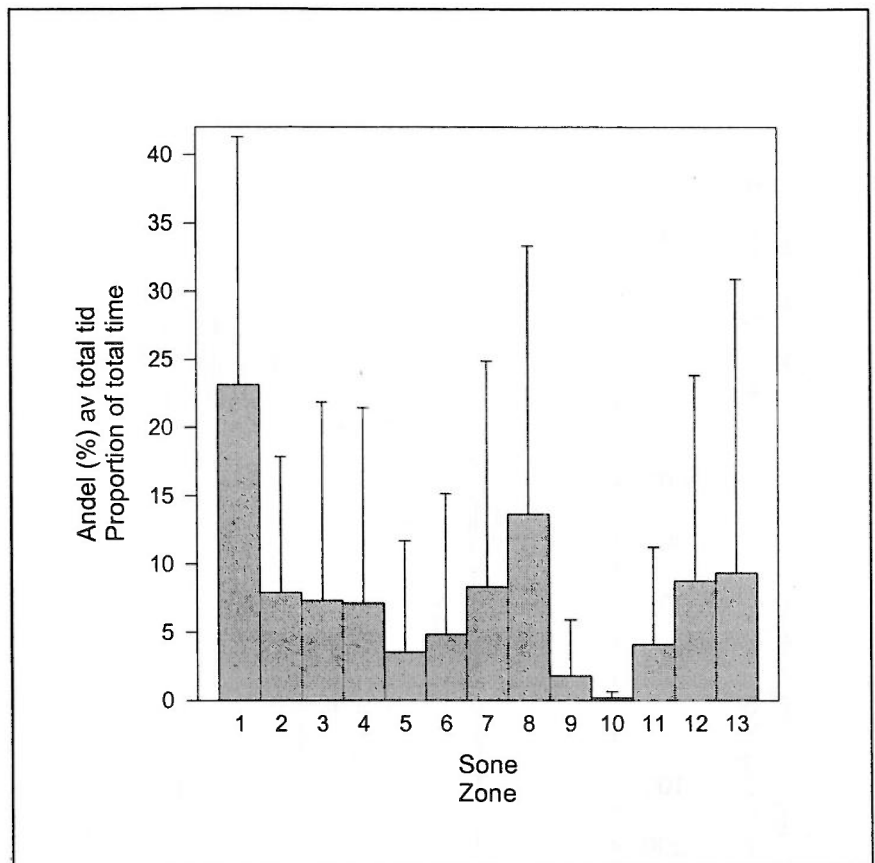
Under lokkeflommer ble peilinger foretatt to ganger daglig. Det ble ikke funnet signifikant forskjell på hvor innen et terskelbasseng radiomerket fisk oppholdt seg morgen/formiddag og kveld for fisk som oppholdt seg i samme terskel ved begge peilingene (Mann-Whitney U test, n = 290, U = 42683, P = 0,69).

4.2.2 Vandring og lokkeflommer

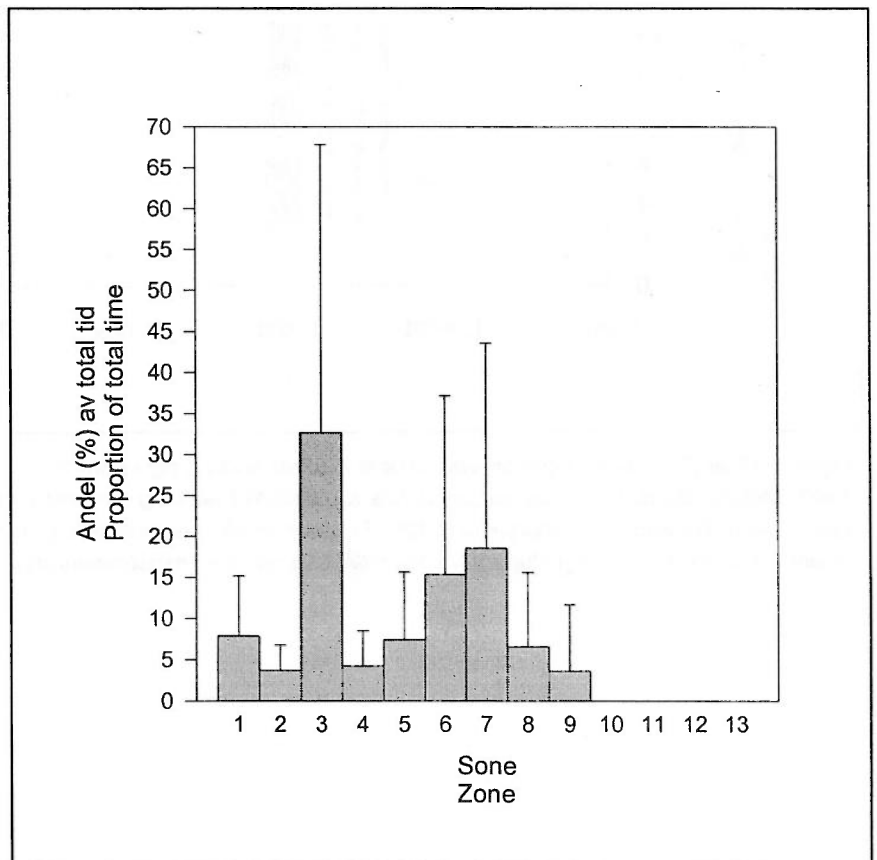
Gjennomsnittlig forflytning per time hos laks var større under lokkeflommer enn ved minstevannføring (Mann-Whitney U test U = 243,0, en-halet P = 0,041). Det samme var ikke tilfelle hos sjørørret (Mann-Whitney U test, U = 12,0, en-halet P = 0,46). Gjennomsnittlig forflytning per time var ikke høyere i løpet av ca 11 timer etter lokkeflommer enn ved minstevannføring forøvrig, hverken hos laks (Mann-Whitney U test, U = 338,0, en-halet P = 0,19) eller sjørørret (Mann-Whitney U test, U = 10,0, en-halet P = 0,35). Gjennomsnittlig forflytning hos radiomerket fisk i minstevannføringsløpet i forhold til vannføring og nedbør er vist i **figur 7**.

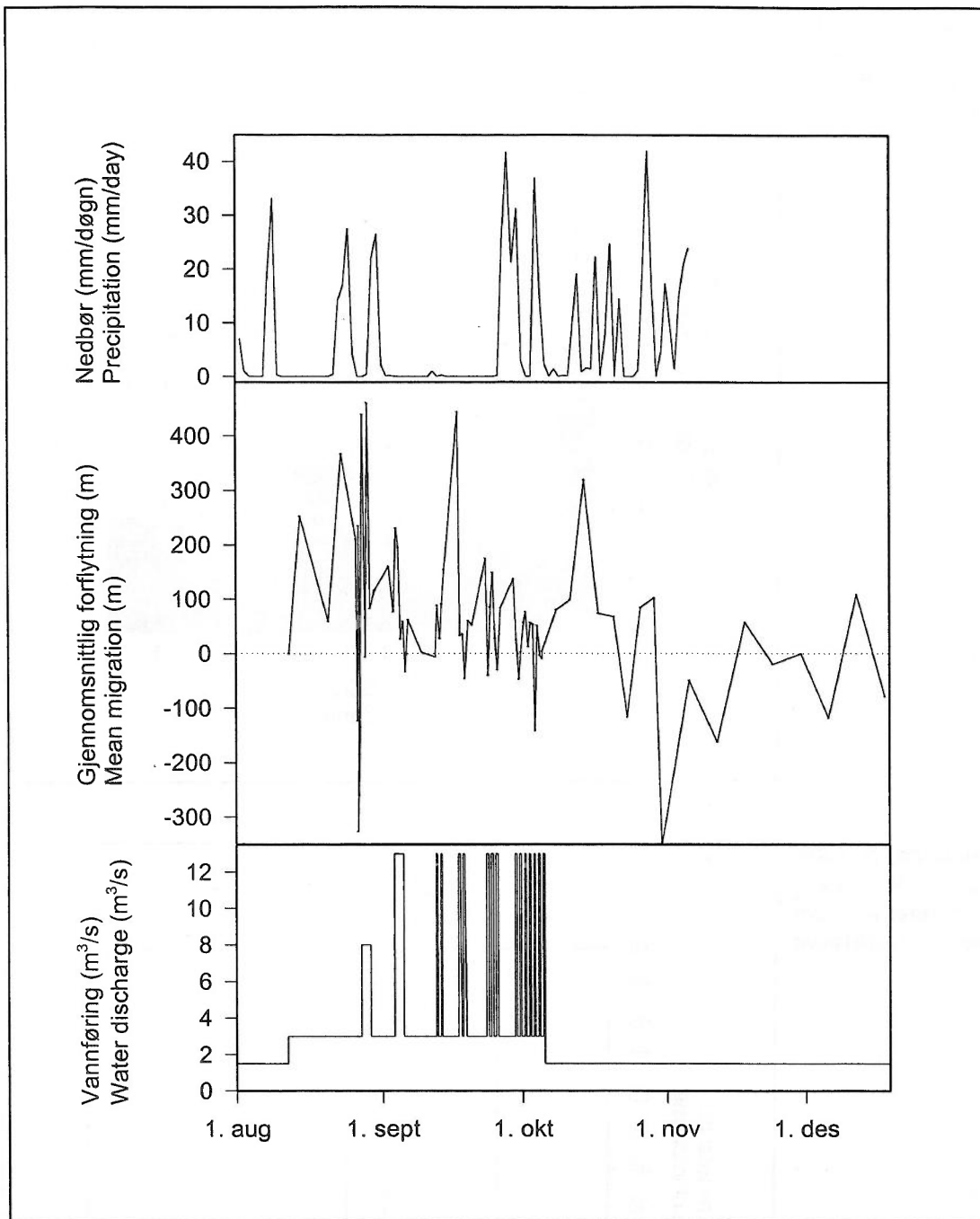
Gjennomsnittlig forflytning per time hos laks under lokkeflommer var størst under de to første lokkeflommene og minst under de tre siste (**figur 8**). Forflytningen var svært liten under lokkeflom 4 (**figur 8**). Gjennomsnittlig forflytning per time i forhold til forbrukt vannvolum i tillegg til minstevannføringen var størst under de to første lokkeflommene og minst under de tre siste (**figur 9**).

Figur 5. Gjennomsnittlig andel (%) (+ 1 SD) av total tid fra merking til 28. oktober individuelle radiomerkede laks ($n = 28$) ble registrert i de ulike sonene i Mandalselva 1996.

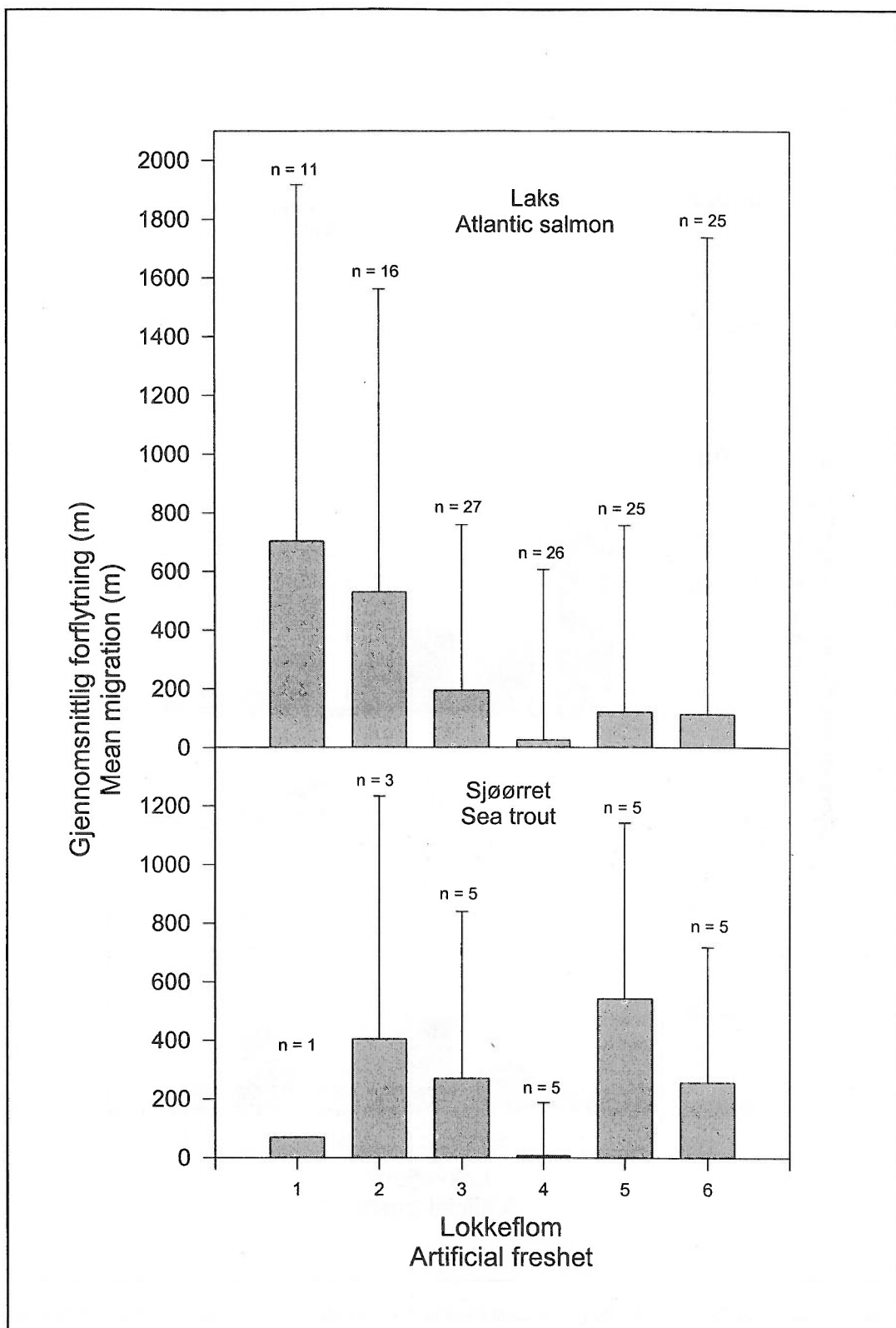


Figur 6. Gjennomsnittlig andel (%) (+ 1 SD) av total tid fra merking til 28. oktober individuelle radiomerkede sjøørret ($n = 28$) ble registrert i de ulike sonene i Mandalselva 1996.

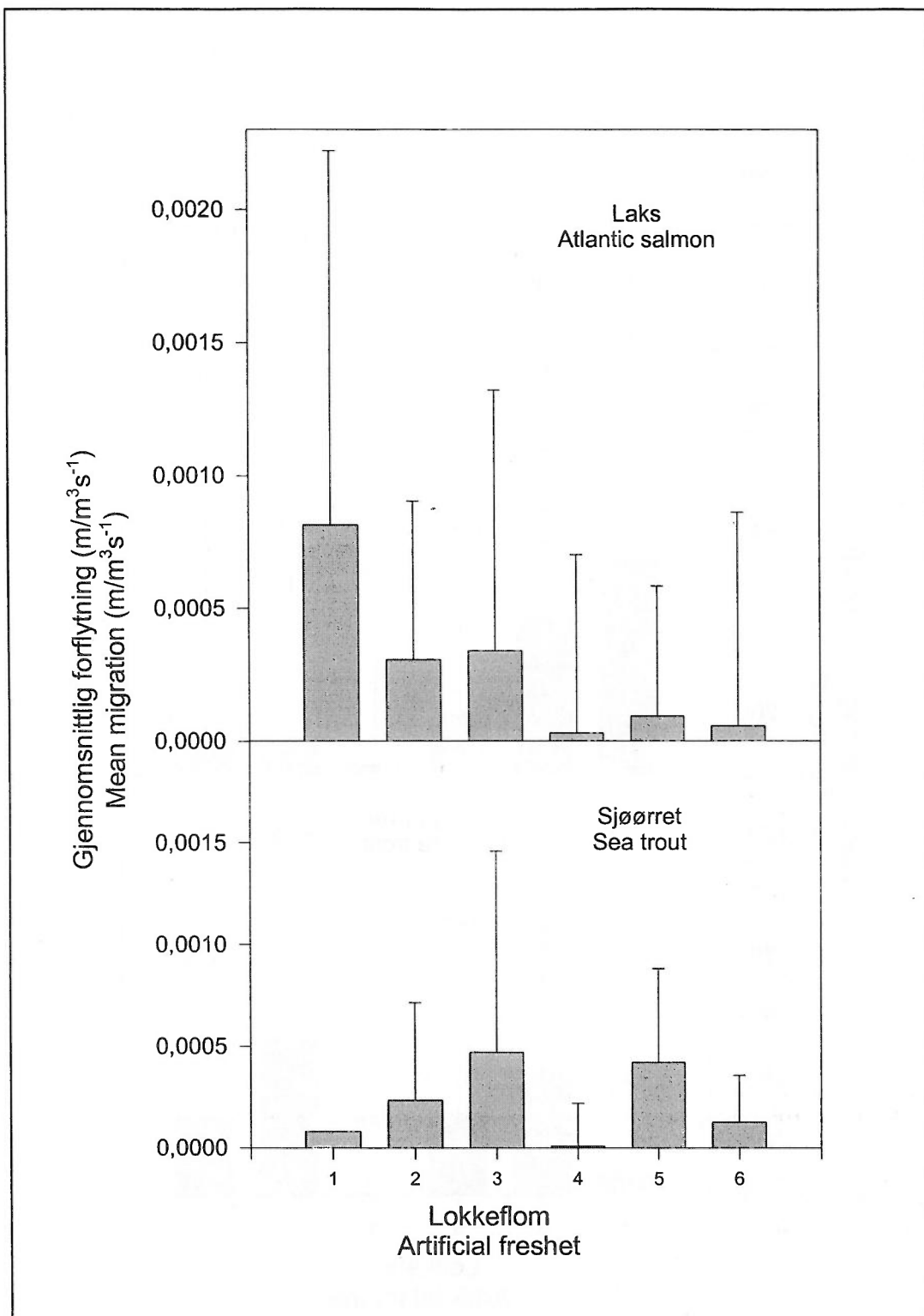




Figur 7. Øverst: Nedbør registrert ved Laidal Kraftstasjon daglig i perioden 1. august-6. november i 1996. Midten: Gjennomsnittlig vandring hos radiomerket laks og sjørørret i minstevannføringsløpet Laidal-Mannflåvann i Mandalselva 1996. Punkter angir gjennomsnittlig forflytning siden forrige peiling. Nederst: Vannføring sluppet fra Mannflåvann og ned i minstevannføringsløpet.



Figur 8. Gjennomsnittlig forflytning hos radiomerket laks og sjørøret (+ 1 SD) i løpet av seks ulike lokkeflommer i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann i Mandalselva 1996.



Figur 9. Gjennomsnittlig forflytning hos radiomerket laks og sjørørret (+ 1 SD) i forhold til forbrukt vannvolum i tillegg til minstevannføringen i løpet av seks ulike lokkeflommer i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann i Mandalselva 1996.

Gjennomsnittlig forflytning per time var ikke forskjellig hos nymerket laks og ikke nymerket laks under lokkeflom 1, 2 eller 3 (Mann-Whitney U test; lokkeflom 1: $U = 12,0$, $P = 0,70$; lokkeflom 2: $U = 28,0$, $P = 0,83$; lokkeflom 3: $U = 56,0$, $P = 0,83$) (figur 10).

Detaljert vandringsmønster under og like etter de seks ulike lokkeflommene er vist i figur 11-figur 16.

Hos radiomerket laks skjedde gjennomsnittlig 57 % av terskelpasseringene under lokkeflommer og gjennomsnittlig 12 % i timene like etter (ca 11 timer) lokkeflommer (figur 17). Av total tid utgjorde lokkeflommene gjennomsnittlig 37 % av tiden og timene etter lokkeflom gjennomsnittlig 6 % av tiden (figur 17). Hos sjøørreten skjedde gjennomsnittlig 46 % av passeringene under lokkeflommer og ingen av passeringene i timene etter lokkeflommer (figur 18). Av total tid utgjorde lokkeflommene gjennomsnittlig 38 % av tiden og timene etter lokkeflom gjennomsnittlig 6 % av tiden (figur 18).

Terskelpasseringer per time var ikke høyere under lokkeflommer enn ved minstevannføring hos hverken laks (Mann-Whitney U test, $U = 299,0$, $P = 0,12$) eller sjøørret (Mann-Whitney U test, $U = 6,0$, $P = 0,17$). Hos laks var terskelpasseringer per time ikke høyere i løpet av ca 11 timer etter lokkeflommer enn ved minstevannføring forøvrig (Mann-Whitney U test, $U = 329,0$, $P = 0,25$). Imidlertid var terskelpasseringer per time høyere under lokkeflommer og ca 11 timer etter lokkeflommer slått sammen, enn ved minstevannføring forøvrig. Alle terskler ble passert både under lokkeflommer og ved minstevannføring (figur 19).

4.3 Delprosjekt B - vandring i forhold til kalking

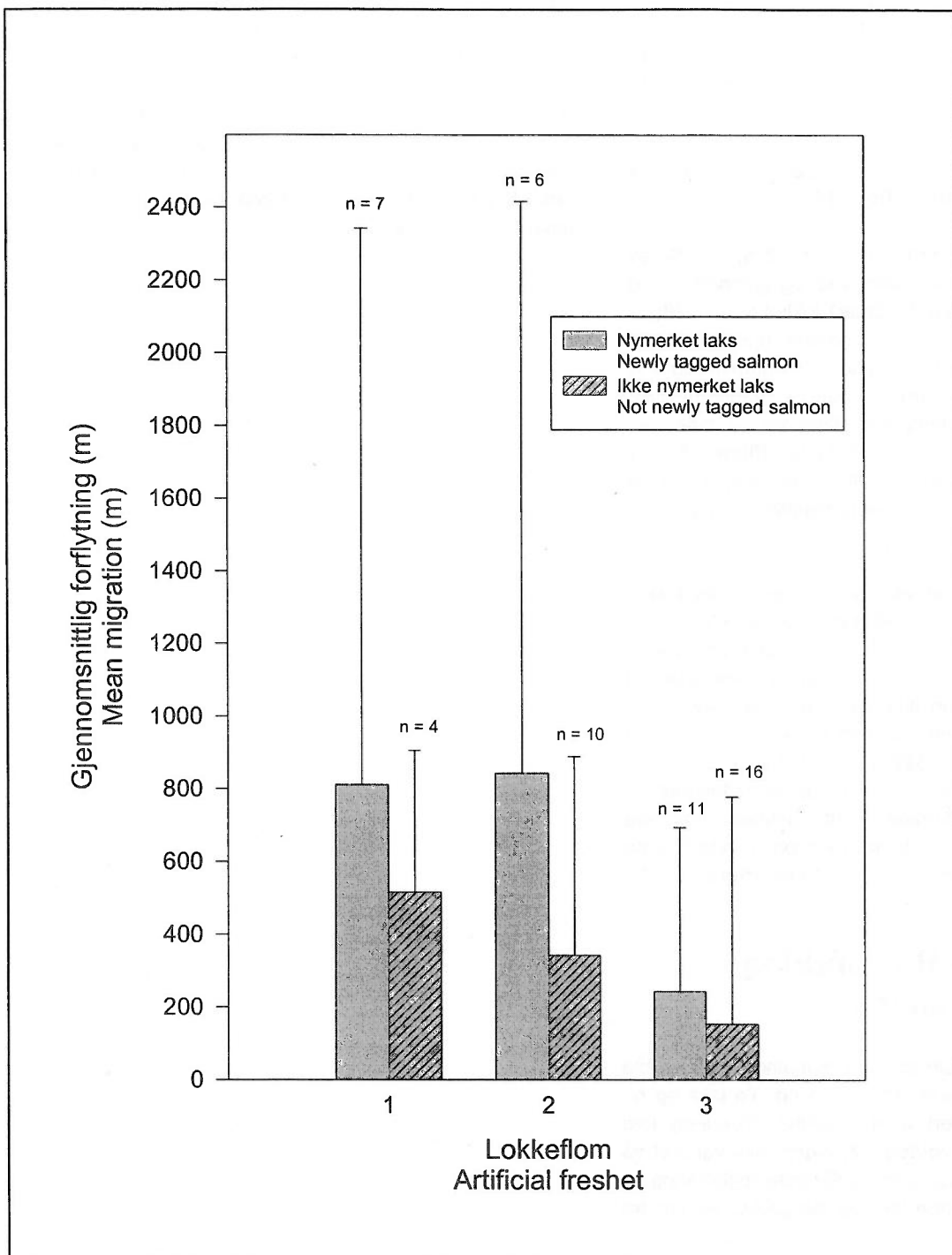
Av radiomerket fisk som ble satt ut i munningsområdet, ble 85 % ($n = 17$ laks) registrert etter merking. To laks og én sjøørret ble ikke registrert etter merking. Vandring hos individuelle laks er vist i vedlegg 2. Ingen laks vandret så langt opp i elva som til Laudal igjen. Øverste registrering av radiomerket laks var Heddeland og Songåna, 21 km fra elvemunningen.

Av laks som ble registrert etter utsetting, ble 53 % ($n = 9$) registrert i sidebekker/elver til Mandalselva ved én eller flere peilinger (tabell 4). Laks nr 42 ble registrert både i Høyeåna og Songåna, mens de øvrige ble registrert i Røyselandsbekken (tabell 4). Lengde på laks som ble registrert i sidebekker/elver var gjennomsnittlig 54 cm ($SD = 6$), og på laks som ikke ble registrert i sidebekker/elver 49 cm ($SD = 4$). Det var ingen forskjell i lengde på laks som ble registrert i sidebekker/elver og de som ikke ble det (Mann-Whitney U test, $U = 17$, $P = 0,068$).

Vannkvaliteten (pH, Ca og Al) i Høyeåna og Logåna var bedre enn i hovedutløpet av Mandalselva i løpet av hele undersøkelsen (figur 20). Vannføringen i Mandalselva økte

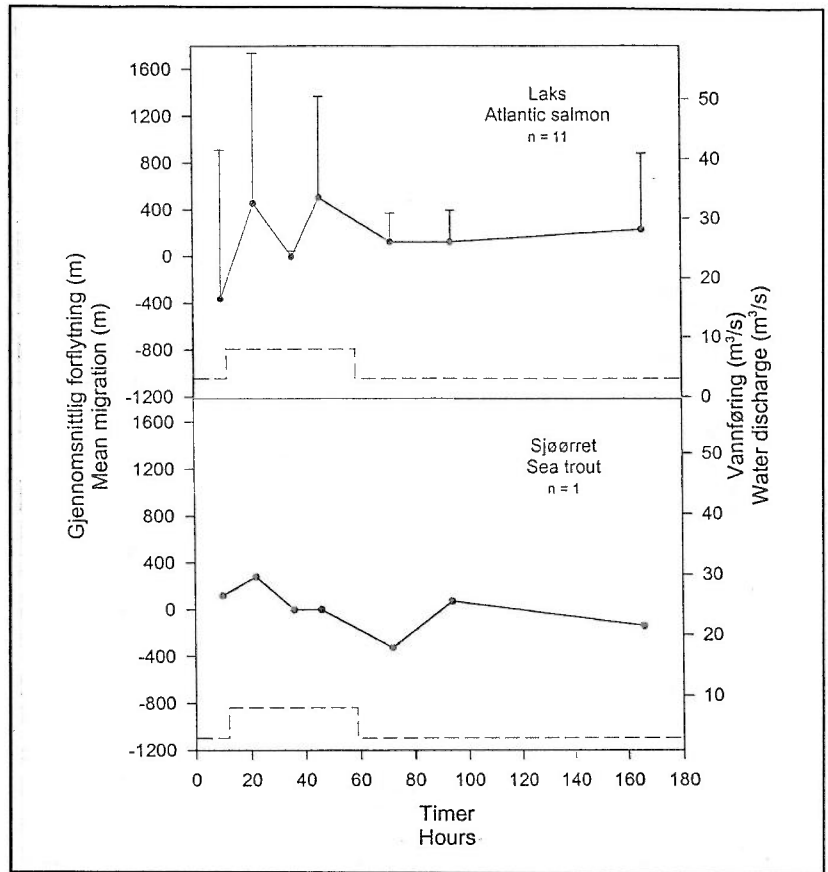
fra tidlig i oktober og ut over i sesongen (figur 21). Samtidig sank pH i hovedutløpet og konsentrasjonen av aluminium økte i hovedutløpet (figur 20).

Av laks som ble registrert etter merking, forsvant 35 % ($n = 6$) før de to siste peilingene. Disse forsvant på ulike tidspunkt i perioden 8. oktober-20. november. Alle ble registrert lengre oppe i vassdraget enn 9 km fra elvemunningen tidligere i peileperioden.

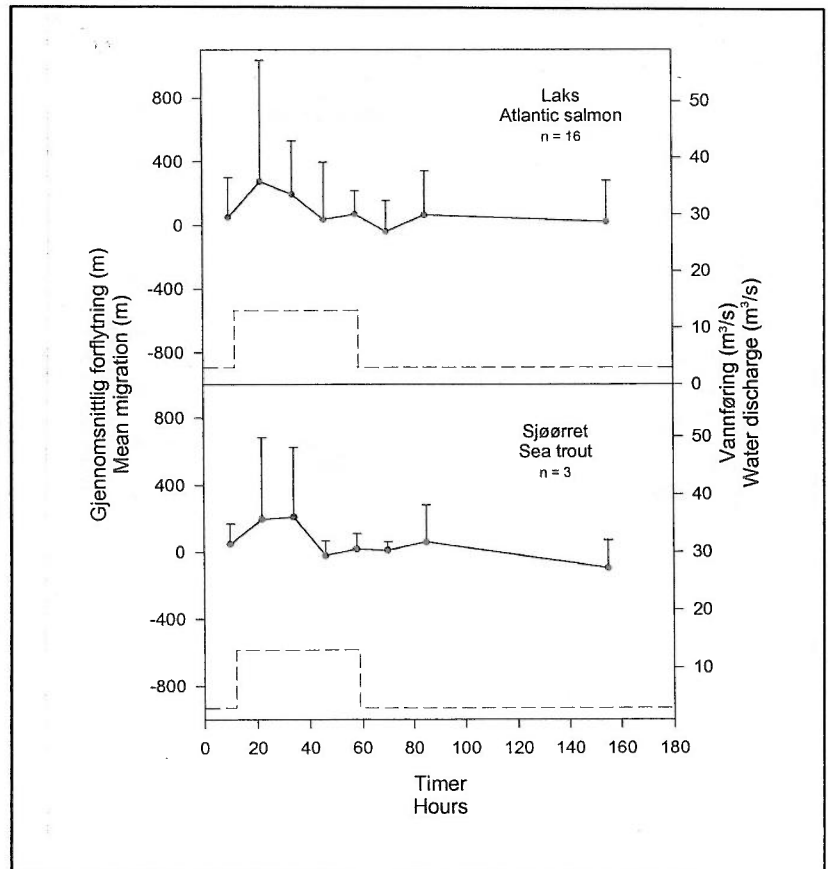


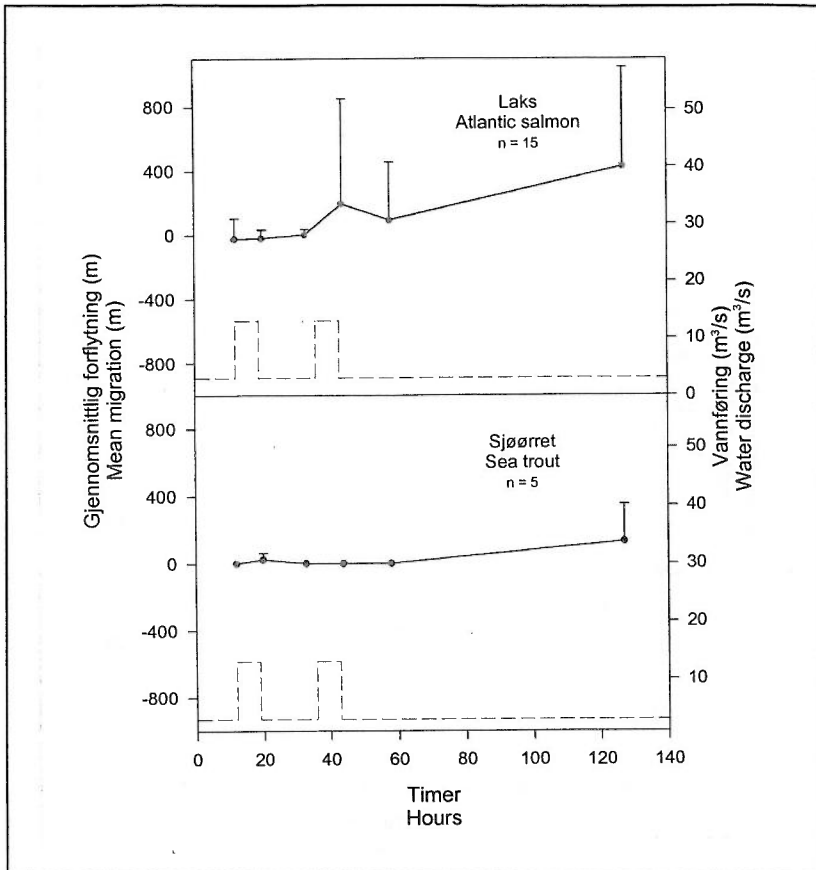
Figur 10. Gjennomsnittlig forflytning (+ 1 SD) hos nymerket laks og ikke nymerket laks i løpet av tre ulike lokkeflommer (nr 1, 2 og 3) i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann i Mandalselva 1996.

Figur 11-16. Vandring hos laks og sjøørret (heltrukket linje) i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann i Mandalselva 1996 under og like etter seks ulike lokkeflommer. Prikker (+ 1 SD) angir gjennomsnittlig forflytning siden forrige peiling. Vannføring sluppet fra Mannflåvann er vist med stiplet linje. Tiden er oppgitt som antall timer fra midnatt (= 0 timer) før start av lokkeflom.

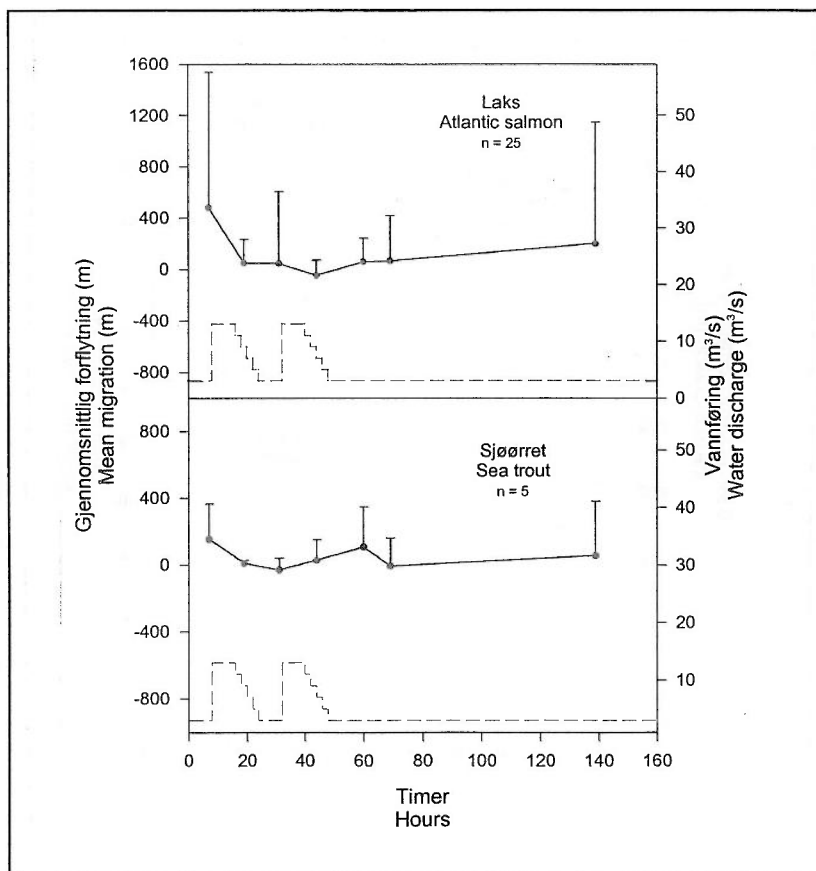


Figur 12.



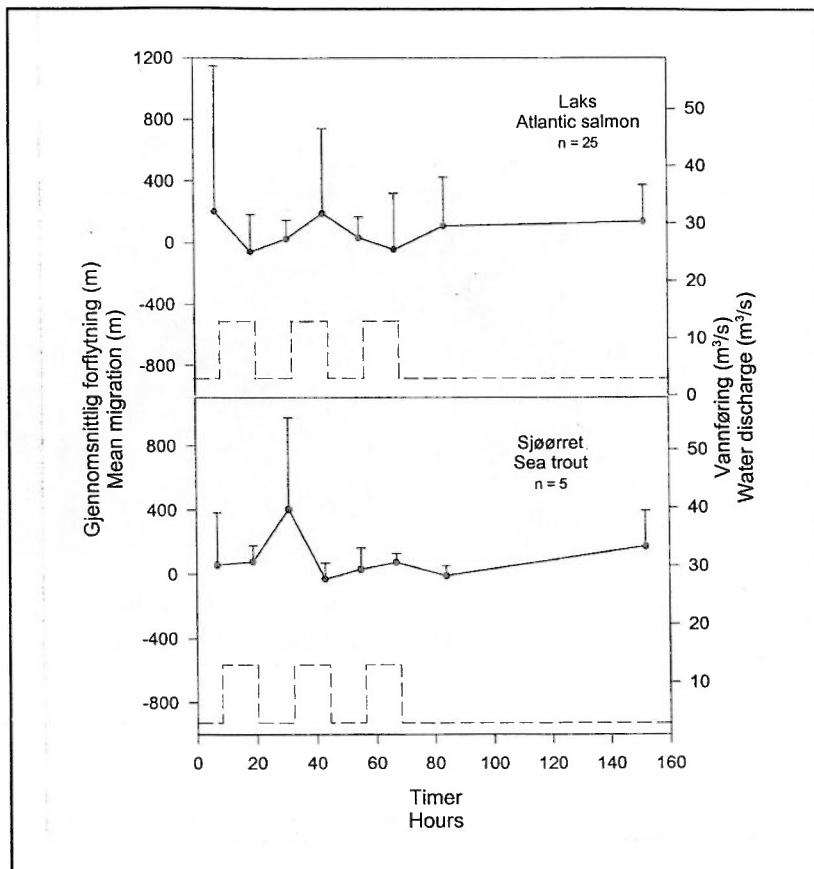


Figur 13.

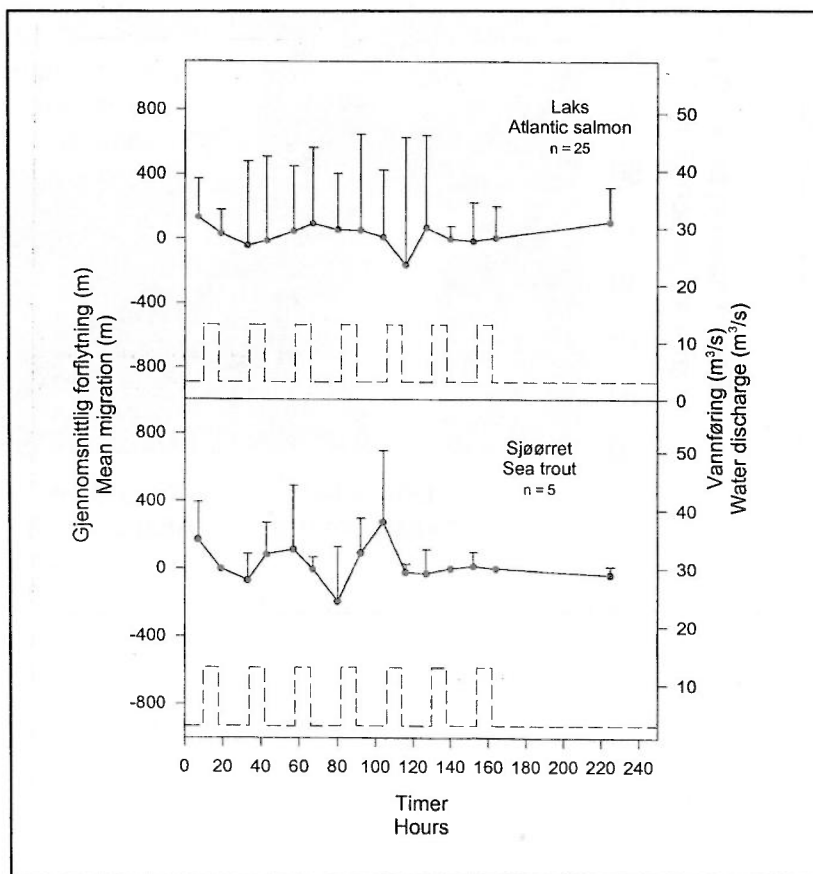


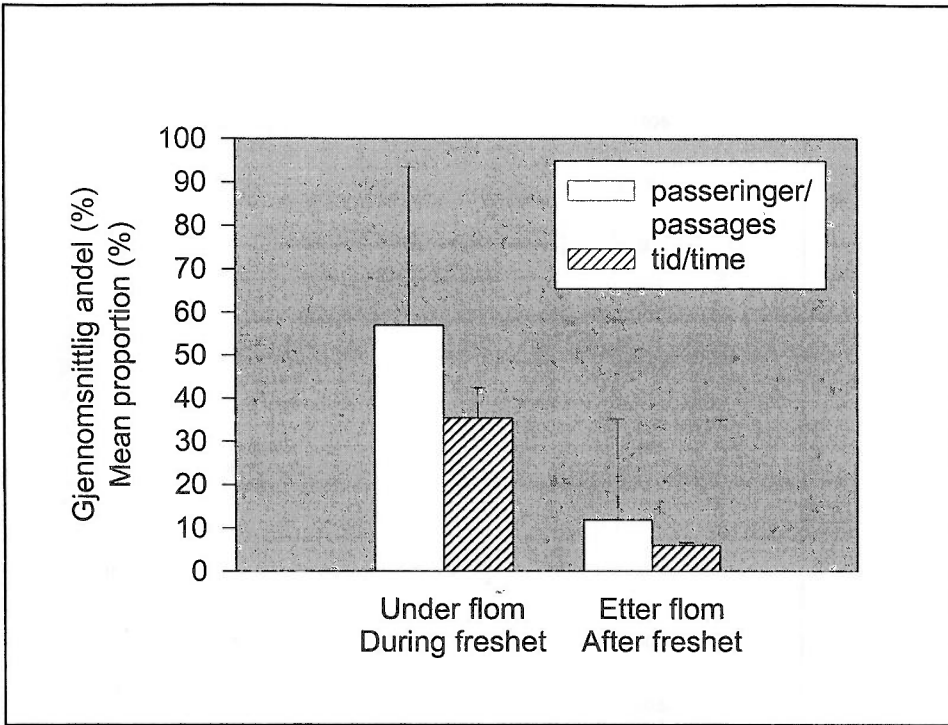
Figur 14.

Figur 15.

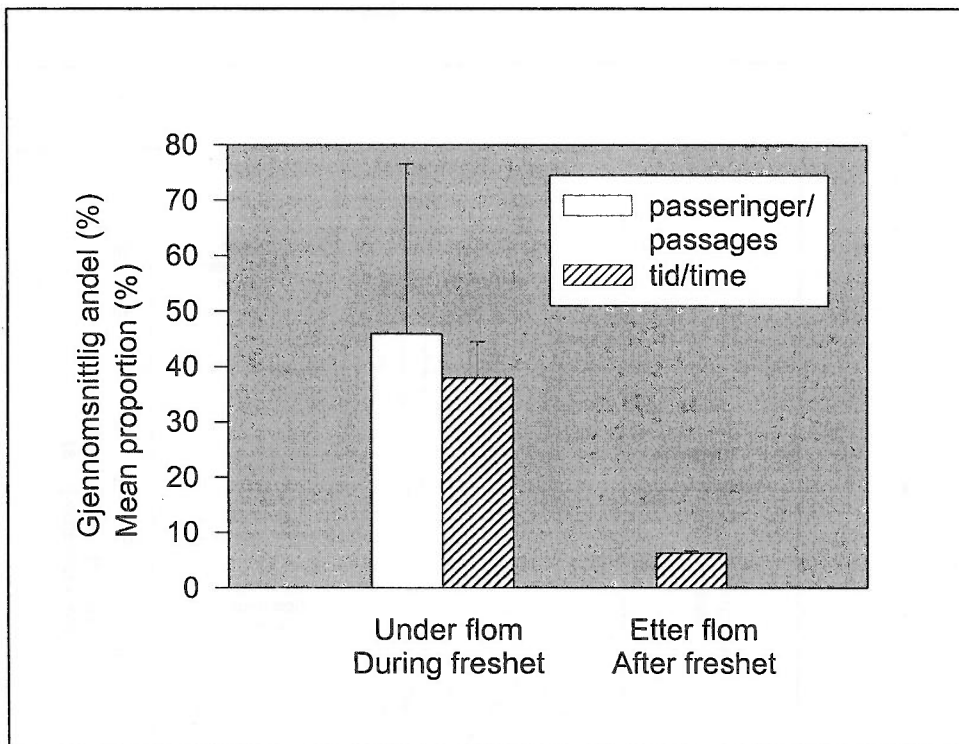


Figur 16.



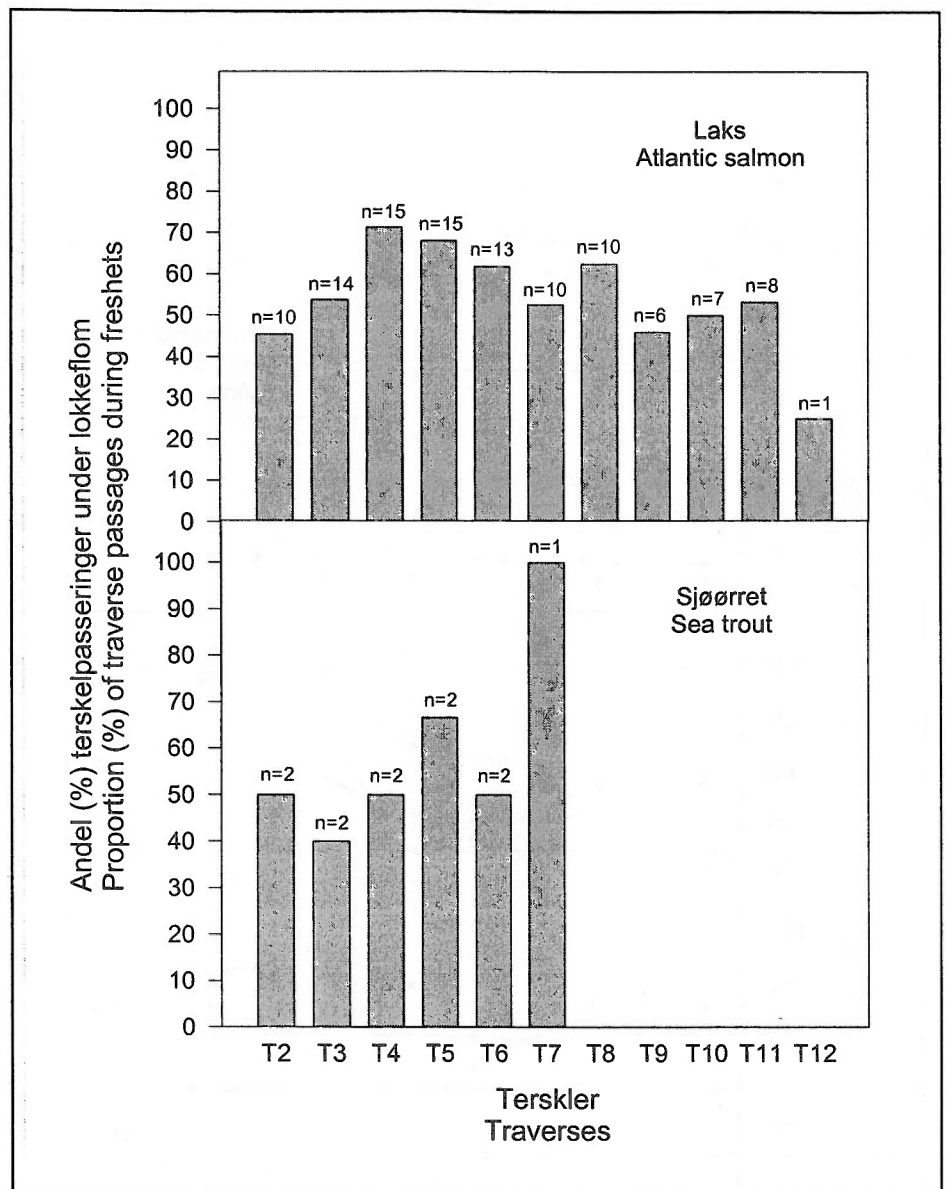


Figur 17. Vandring hos radiomerket laks i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann i Mandalselva 1996. Gjennomsnittlig andel av terskelpasseringene hos individuelle laks (åpne stolper, + 1 SD) som skjedde i løpet av lokkeflommer (venstre) og i løpet av ca 11 timer etter lokkeflommer (høyre). Gjennomsnittlig andel av total tid (+ 1 SD) fra merking til 4. oktober som lokkeflommer og "etter lokkeflommer" utgjorde, er vist med skraverte stolper.



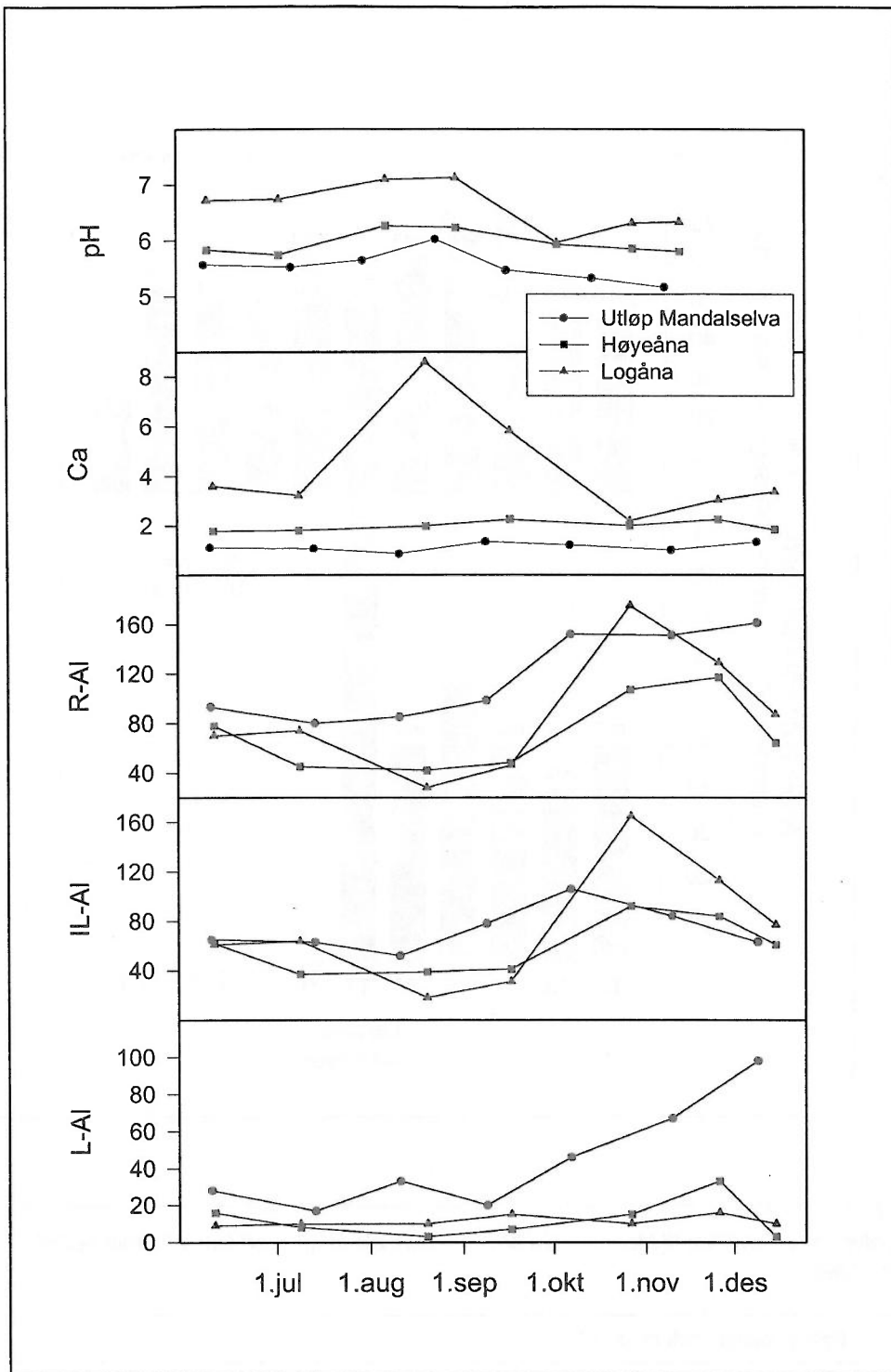
Figur 18. Vandring hos radiomerket sjørret i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann i Mandalselva 1996. Gjennomsnittlig andel av terskelpasseringene hos individuelle sjørret (åpne stolper, + 1 SD) som skjedde i løpet av lokkeflommer (venstre) og i løpet av ca 11 timer etter lokkeflommer (høyre). Gjennomsnittlig andel av total tid (+ 1 SD) fra merking til 4. oktober som lokkeflommer og "etter lokkeflommer" utgjorde, er vist med skraverte stolper.

Figur 19. Andel (%) av passeringene av ulike terskler som skjedde under lokkeflom hos radiomerket laks og sjøørret i minstevannføringsløpet i Mandalselva 1996. Antall passeringer av hver terskel under lokkeflommer er oppgitt over hver stolpe.



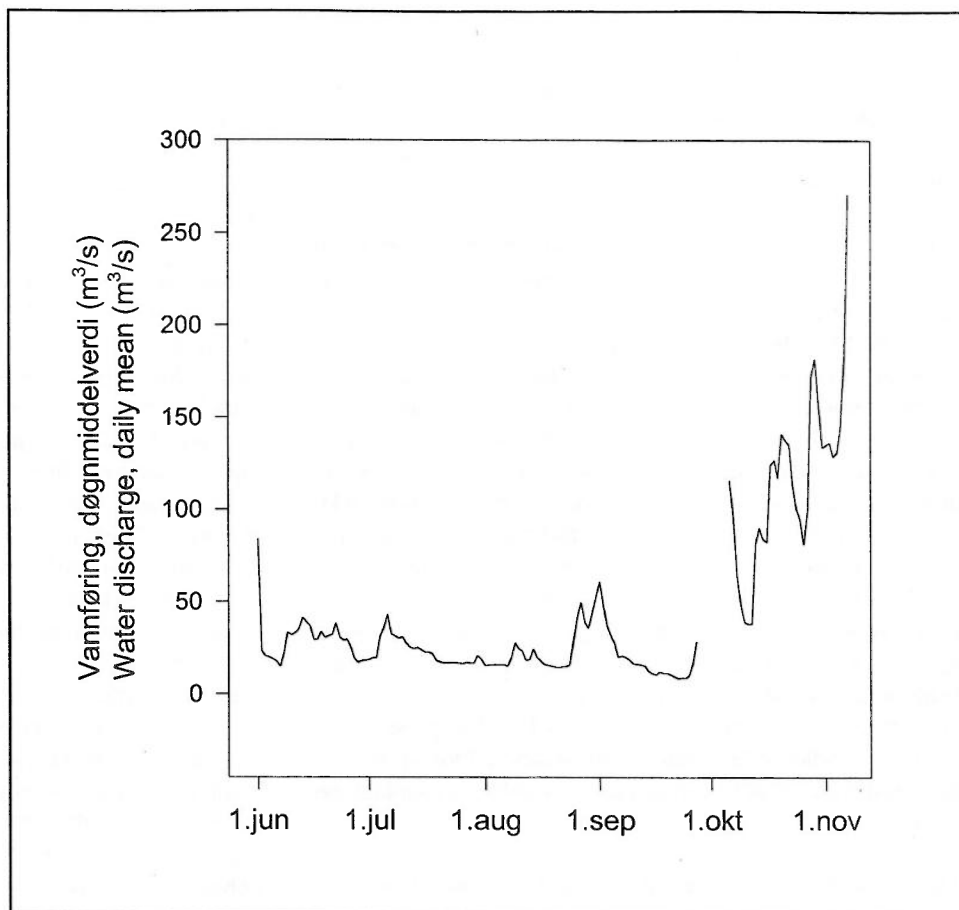
Tabell 4. Vandring opp i sideelver og sidebekker til Mandalselva hos laks som ble fanget ved Laudal, radiomerket og satt ut i munningsområdet i 1996.

| Fisk nr | Sidebekk/elv | Datoer peilet i sidebekk/elv |
|---------|------------------|---|
| 42 | Høyeåna | 08.10., 10.10., 12.10., 14.10., 16.10., 18.10., 28.10., 30.10. 06.11., 13.11., 20.11., 27.11., 04.12. |
| | Songåna | 22.10. |
| 48 | Røyselandsbekken | 18.10., 21.10., 22.10., 24.10., 26.10., 28.10. |
| 50 | Røyselandsbekken | 22.10., 24.10., 26.10., 28.10., 30.10., 06.11., 13.11. |
| 55 | Røyselandsbekken | 28.10. |
| 56 | Røyselandsbekken | 28.10., 30.10. |
| 57 | Røyselandsbekken | 24.10., 26.10., 28.10., 30.10., 06.11., 13.11., 20.11., 27.11. |
| 58 | Røyselandsbekken | 14.10., 16.10., 18.10., 20.10., 22.10., 24.10., 26.10., 28.10. |
| 60 | Røyselandsbekken | 22.10., 24.10., 26.10., 28.10., 30.10., 06.11., 13.11., 20.11., 27.11., 04.12. |
| 61 | Røyselandsbekken | 20.10., 22.10., 24.10., 26.10., 28.10., 06.11., 13.11. |



Figur 20. pH, kalsium (Ca) og ulike aluminiumsfraksjoner (R-AI, IL-AI og L-AI) i vannprøver fra hovedutløpet av Mandalselva og sideelvene Logåna og Høyeåna. (Data fra NIVA.)

Figur 21. Vannføring (døgnmiddel) ved Kjølemo stasjon i Mandalselva i perioden 1. juni-7. november 1996. (Data fra NVE. Verdier fra perioden 28. september-5. oktober mangler.)



5 Diskusjon

5.1 Delprosjekt A - vandring i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann

5.1.1 Vandring og vandringshindre

Resultatene i undersøkelsen viser at minstevannføring 3 m³/s i sommerhalvåret 1996 var en forbedring for oppvandring av laks i forhold til tidligere års lavere vannføringer. Tidligere år passerte bare 3 % av laksen som ble registrert ved Laudal hele minstevannføringsløpet. I 1996 passerte 25 % av den radiomerkede laksen. Tidligere års registreringer er imidlertid basert på fangst av fisk i felle ved Laudal og Mannflåvann. Fella ved Mannflåvann ble tatt ut av drift første uke i oktober i 1994 og 1995. Første uke i oktober i 1996 hadde 14 % av den radiomerkede laksen passert hele minstevannføringsløpet, noe som fremdeles er en økning i forhold til tidligere år. Ingen radiomerket sjøørret passerte hele minstevannføringsløpet, men det var ingen signifikant forskjell på andelen laks og andelen sjøørret som passerte hele minstevannføringsløpet verken i 1996 eller tidligere år. Imidlertid var antallet radiomerket sjøørret lavt, og det er dermed vanskelig å trekke konklusjoner om betydningen av økt minstevannføring for sjøørreten.

Laksen brukte fra 14 til 69 dager på å passere hele minstevannføringsløpet; gjennomsnittlig 41 dager. Dette tilsvarer en vandringshastighet på 0,15 km/døgn. Etter passering av dammen ved Mannflåvann spredte laksen seg på strekningen Bjelland-Kosåna; unntatt én laks som stanset nord for Mannflåvann. Gjennomsnittlig vandringshastighet etter passering av dammen ved Mannflåvann var 3,6 km/døgn. Til sammenligning beregnet Lindroth (1952) gjennomsnittlig oppvandringshastighet i Indalselven til 10-20 km/døgn. Hawkins & Smith (1986) fant oppvandringshastigheter på mer enn 10 km/døgn hos radiomerket laks i Aberdeenshire Dee i begynnelsen av elvevandringen. Laks som vandret opp på en 64 km lang strekning i Miramichi, vandret med en hastighet på 4,3 km/døgn (Hayes 1953), mens fisk som vandret gjennom estuariet, ble registrert med vandringshastigheter 3,5-12 km/døgn (Stasko 1975, Mills 1989). I følge Smirnov (1971) var oppvandringshastigheter for Onega-laks sjelden mer enn 4 km/døgn. I en telemetriundersøkelse i Suldalslågen ble de raskeste radiomerkede laksene registrert med vandringshastighet 6,5 km/døgn (Johnsen et al. 1996). Registrert vandringshastighet hos radiomerket laks i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann var altså lav sammenlignet med vandringshastigheter funnet i andre undersøkelser, og lav sammenlignet med vandring videre oppover i Mandalsvassdraget. Oppvandringsende laks i Mandalselva ser derfor ut til å forsinkes betydelig i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann. Vandring videre oppover i vassdraget til utløpet fra Bjelland Kraftstasjon ser ut til å foregå uten store problemer.

Vandringshastigheter på disse strekningene var imidlertid også lavere enn vandringshastigheter referert fra andre undersøkelser (se ovenfor). Dette kan skyldes at laksen nådde disse områdene sent i sesongen. Forsinkelsen i minstevannføringsløpet kan også ha redusert vandringshastigheten videre.

Laks som vandret videre oppover i vassdraget i forhold til minstevannføringsløpet, passerte dammen ved Mannflåvann i perioden 13. september-25. oktober. Imidlertid passerte bare tre av syv laks før oktober. Laksen ankommer altså øvre deler av vassdraget sent i forhold til fiskesesongen, og ankomst til gyteområder i siste halvdel av oktober synes også sent i forhold til gytesesongen. Laksen som ble merket i denne undersøkelsen var av ukjent opprinnelse, og hadde dermed ukjent gytetidspunkt. Hovedgutting i mange norske elver forekommer i siste halvdel av oktober, men i enkelte elver så sent som november, desember og til og med tidlig i januar (Heggberget 1988). Etter gyteperioden vandrer mange laks nedover elvene igjen (Hawkins & Smith 1986, Baglinière et al. 1990, Heggberget et al. 1995, Thorstad et al. 1996). Etter 1. november ble det registrert en netto forflytning nedover i elva hos radiomerket laks i minstevannføringsløpet, noe som kan tyde på at hovedguttingen på dette tidspunktet var over.

Hovedformålet med prosjektet var å identifisere eventuelle vandringshindre i minstevannføringsløpet ved å peile radiomerket fisk. Fra lokalt hold ble det antatt at terskelen og trappa ved Klevelandsbua kunne være et betydelig vandringshinder, og likedan området ved Solkrona terskel. På disse to stedene ble det installert dataloggere som kontinuerlig registrerte radiomerket fisk. Resultater fra dataloggingen viste at oppvandrende laks og sjørret oppholdt seg henholdsvis 14 og 13 timer i gjennomsnitt nedenfor Klevelandsbua før de vandret videre oppover i elva. Disse resultatene, støttet av peileresultatene, viser at terskelen med trapp under Klevelandsbua ikke er et betydelig vandringshinder i minstevannføringsløpet, men at fisken stanser opp nedenfor trappa eller i trappa noen få timer før de vandrer videre. Bare laks passerte dataloggeren ved Solkrona før loggeren ble flyttet ned til Laudal. Laksen oppholdt seg i sone 10 gjennomsnittlig én time. Disse resultatene, støttet av peileresultatene, viser at sone 10 inkludert terskel ovenfor ikke utgjør et vandringshinder i minstevannføringsløpet.

Et hovedhinder for laks i minstevannføringsløpet synes å være betongterskelen som utgjør dammen ved Mannflåvann. Hele 8 laks vandret opp i sone 12 like nedenfor terskelen, uten å passere terskelen og vandre videre oppover i vassdraget. Samtlige av disse vandret nedover i minstevannføringsløpet igjen. For å passere terskelen må fisken vandre opp ei fisketrapp eller gjennom ei flomluke på høyre side av fisketrappa. Ved minstevannføring slippes 1.66 m³/s vann gjennom flomluka, og enda mere ved lokkeflommer. I følge peileresultatene passerte radiomerket fisk flomluka i perioder med lokkeflom. Imidlertid kan vannstrømmen ut flomluka tiltrekke seg oppvandrende fisk også

i perioder med for liten vannføring til at de kan passere, og dermed forsinke eller hindre oppvandringen. Ved siden av nederste trinn i fisketrappa strømmer vann ut i et "falskt" trappetrinn som fisk kan vandre opp i uten å komme videre. Konstruksjonen av trapp, luker og tappeanordninger ved dammen bør derfor vurderes i forhold til oppvandring av laks og sjørret, og eventuelt endres/bygges om.

Peileresultatene viste at laksen oppholdt seg i stor andel av tiden i sone 8, og at 21 % av radiomerket laks vandret så langt opp i minstevannføringsløpet som denne sonen, uten å vandre videre oppover i elva. Denne sonen inkluderer et område hvor østre og vestre elveløp renner sammen etter en deling 500 m lengre opp. Tidligere var østre løp hovedløp for laksevandring, med svært gode fiskeplasser (Sigurd Haraldstad, Olav Kleveland og Dagfinn Laudal pers. komm.). Etter reguleringen ble vestre løp bygd om til hovedløp. Ved minstevannføring renner ikke vann i østre løp, men det står vann nederst i dette elveløpet. Radiomerket fisk som ble registrert i sone 8 ved peiling, ble ofte peilet til en høl nederst i østre løp. Resultatene i undersøkelsen tyder på at delingen i to elveløp representerer et vandringshinder eller en forsinkelse for oppvandrende fisk, og at flere fisk vandrer opp i østre løp hvor de ikke kan komme videre. En ombygging av østre løp til hovedløp igjen kan ha en positiv effekt på oppvandringen. Imidlertid kan det ikke utelukkes at terskelen ovenfor sone 8 i vestre elveløp er årsak, eller medvirkende årsak, til at fisken forsinkes og stopper opp i sone 8. Det kan heller ikke utelukkes at "forsinkelsen" i sone 8 er et resultat av at dette området har gunstige miljøforhold som reduserer motivasjonen for å vandre videre.

Laksen oppholdt seg gjennomsnittlig 16 dager i sone 1 ved Laudal. Dette utgjorde en stor andel av tiden sammenlignet med andre soner. Noen dagers opphold ble forventet som effekt av radiomerkingen, men det lange oppholdet hadde trolig flere årsaker. Andre årsaker kan være redusert vandringsmotivasjon når laksen kommer fra hovedløpet med høyere vannføring og opp i minstevannføringsløpet, problemer etter fangst i fiskefella ved Laudal og/eller for oss usynlige vandringshindre i strykene mellom kraftverket og Klevelandshølen. Den samme forsinkelsen ble ikke registrert hos radiomerket sjørret, og årsaken ser derfor ut til å være en faktor eller kombinasjon av faktorer som oppvandrende laks er mer sårbar for enn ørret. Selv om vi ikke kjenner årsaken til den registrerte forsinkelsen nederst i minstevannføringsløpet, anbefales det at fiskefella ved Laudal ikke blir benyttet til registrering av fisk, men kun til fangst av laks ved behov for stamfisk, fisk til merking og lignende formål. Fiskefella er en unødvendig stressfaktor for oppvandrende fisk. En slik stressfaktor kan medføre endringer i vandringsmønsteret, særlig hvis fangsten skjer i tillegg til andre stressfaktorer, som tilfelle ved Laudal. Hvis det fortsatt er ønskelig å registrere oppvandrende fisk, kan dette gjennomføres ved å installere et elektronisk telleapparat.

Denne undersøkelsen har altså identifisert dammen ved Mannflåvann, sone 8 nedenfor Solkrona og sone 1 ved Lau-

dal som hovedhindre for oppvandring av laks i minstevannføringsløpet. Imidlertid kan summen av vandringshindre være medvirkende årsak til en forsinkelse eller stans i minstevannføringsløpet. Det anbefales derfor å foreta en sakkyndig vurdering av samtlige terskler ved minstevannføring 3 m³/s, med særlig vekt på utforming av renner i løsmassetersklene og overvann over tersklene. Under lokkeflommene i 1996 ble det observert overvann av varierende mengde over samtlige løsmasseterskler.

Vurdering av resultatene fra radiomerkingen i Mandalselva og identifisering av vandringshindre er gjort på bakgrunn av tidligere kjent kunnskap om vandring hos gytelaks. Resultater fra andre undersøkelser av gytevandring viser at villaks vandrer 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. 1995, Johnsen et al. 1996, Thorstad et al. 1996, Økland et al. 1996). I oppvandringsfasen veksler laksen mellom raske oppvandringssetapper og stansperioder, de siste med varighet på få timer til flere dager. Rømt oppdrettslaks som vandrer opp i elvene har et mer urolig vandringmønster enn villaks, med hyppigere og lengre oppstrøms og nedstrøms forflytninger (Power & McCleave 1980, Jonsson et al. 1990a, 1991, Økland et al. 1995, Thorstad et al. 1996). Resultatene fra Mandalselva er hovedsakelig vurdert ut fra hvor laksen stanset opp under oppvandringen og hvor de snudde og vandret nedover elva igjen i stedet for å vandre videre oppover.

Det eksisterer lite kunnskap om hvilke faktorer som avgjør hvorfor ikke stedegen laks stanser eller vandrer videre i vassdraget. 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 villaksen (Heggberget et al. 1995, Thorstad et al. 1996), noe som kan skyldes at de er hjemløse og sprer seg oppover i elvene dersom det ikke finnes fysiske hindringer for oppvandring.

Laksen som ble radiomerket i Mandalselva var ikke stedegen laks og hadde varierende bakgrunn. Resultater fra Sandsfossen (4 m høy) i Suldalslågen tyder på at oppdrettslaks har større problemer enn villaks med å passere store vandringshindre (Johnsen et al. 1996). Slike forskjeller kan være forårsaket av stedegne stammers tilpasninger til ulike miljø gjennom naturlig utvalg (Taylor 1991). En stedegen stamme i Mandalselva vil i følge en slik teori være bedre i stand til å møte særegne miljøforhold i Mandalselva. Eventuelle tilpasninger vil imidlertid skje i løpet av flere generasjoner, og det er ingen grunn til å anta at nylig reetablert laks i Mandalselva møter vandringshindrene i minstevannføringsløpet på en bedre måte enn den radiomerkede laksen i denne undersøkelsen. Imidlertid er det sannsynlig at laks som blir født i øvre del av elva vil ha stor motivasjon for oppvandring. En bedre vannkvalitet etter kalking kan også gjøre passering av minstevannføringsløpet lettere.

5.1.2 Vandring og lokkeflommer

Vannføring er den faktoren som oftest er omtalt som kontrollerende faktor i forhold til oppvandring av laks i elver. Effekter av vannføring kan imidlertid være modifisert av andre faktorer som vanntemperatur, turbiditet, atmosfæretrykk, skydekke, vær og temperatur generelt, vannkvalitet og tidevann (Banks 1969). Det er kjent av oppvandring av laks fra sjø til elv blir stimulert av økninger i vannføring, særlig i mindre elver med fluktuerende vannføring i oppvandringsperioden (Banks 1969, Jonsson 1991). Vandring videre oppover i elv kan også stimuleres av økninger i vannføring (f eks Huntsman 1948, Hayes 1953, Dunkley & Shearer 1982, Laughton 1989, Webb & Hawkins 1989, Baglinière et al. 1990). I Vefsna ble det funnet at økninger i vannføring førte til økt vandring av laks opp Lakseforsen, et 16 m høyt vannfall (Jensen et al. 1986). I Namsen hadde radiomerket laks økende tendens til å forflytte seg i elva når variasjon i vannføring økte (Thorstad et al. 1996). Hawkins & Smith (1986) og McKinnell et al. (1994) undersøkte elvevandring hos radiomerket laks uten å finne sammenheng mellom vandring og vannføring, Hawkins & Smith (1986) rapporterte imidlertid at vannføringen var jevnt høy under hele forsøket. I regulerte elver med muligheter til å kontrollere vannføringen kan kunstige lokkeflommer stimulere laks til å vandre oppover elvene (f eks Huntsman 1948, Hayes 1953, Banks 1969).

I Mandalselva ble et vannvolum på 10 mill m³ avsatt til kunstige lokkeflommer i tillegg til minstevannføringen. Seks lokkeflommer som var ulike med hensyn til vannføring og varighet, ble utprøvd. Lokkeflommene hadde en positiv effekt på vandring hos radiomerket laks, ved at gjennomsnittlig forflytning per time var større under lokkeflommene enn ved minstevannføring. Det samme var ikke tilfelle hos sjørret, noe som støtter antakelsen om at sjørret krever mindre vannføring enn laks for å vandre (Baxter 1961, Beach 1984).

Effekten av de ulike lokkeflommene var imidlertid forskjellig. Gjennomsnittlig forflytning hos radiomerket laks var størst under de to første lokkeflommene og minst under de tre siste. Gjennomsnittlig forflytning hos radiomerket laks i forhold til forbrukt vannvolum var størst under lokkeflom 1, mindre under lokkeflommene 2 og 3 og minst under lokkeflommene 4, 5 og 6. Det kan derfor være grunn til å anta at den forskjellige effekten av de ulike lokkeflommene på vandring hos laks kan skyldes ulik vannføring og varighet og/eller ulik tid av sesongen. Resultatene i denne undersøkelsen gir ikke grunnlag for å skille mellom disse faktorene. Nedbør i forkant av de to første lokkeflommene kan også ha medvirket til økt vandring under disse lokkeflommene. I tillegg kan en faktor som varierende vannkvalitet ha påvirket vandringsatferden.

Under de tre første lokkeflommene var både nymerket laks og laks som var merket tidligere i minstevannføringsløpet. Det ble ikke funnet forskjeller i gjennomsnittlig forflytning

per time hos nymerket og ikke nymerket laks under noen av de tre lokkeflommene.

En av lokkeflommene som ble utprøvd i denne undersøkelsen hadde gradvis nedtrapping fra 13 m³/s til minstevannføring 3 m³/s i løpet av 8 timer. En slik lokkeflov ble utprøvd fordi raske svingninger i vannføringen kan føre til stranding av ungfisk på tørrlagte elvbredder (Hvidsten 1985). Baxter (1961) anbefalte dessuten korte og hyppige lokkeflommer og foreslo varighet på lokkeflommen til 18 timer; 12 timer med høyeste vannføring og 6 timer med nedtrapping av vannføringen til normal minstevannføring. Dette hadde sin bakgrunn i observasjoner av størst antall oppvandrende laks i etterkant av lokkeflommer (se nedenfor). Imidlertid hadde lokkeflommen med gradvis nedtrapping svært liten effekt på vandring hos både radiomerket laks og sjørret. Det er usikkert om dette skyldes lokkeflomtype eller andre faktorer.

Flere undersøkelser (Huntsman 1948, Allan 1966, Swain & Champion 1968, Dunkley & Shearer 1982, Lawson et al. 1991) registrerte de største antallene oppvandrende laks ved fallende vannføring i *etterkant* av lokkeflommer, mens Jensen et al. (1986) registrerte flest oppvandrende laks *før* vannføringen hadde nådd høyden. Jensen et al. (1986) forklarte disse forskjellene med at en økning i vannføring utløser vandring hos laks, og at laksen vil vandre en viss periode uansett varighet på lokkeflommen. Ved lokkeflommer som varer noen få timer, vil fisk som aktiveres ikke nå fellar og telleapparater før vannføringen er på vei ned igjen. En tilsvarende forklaring ble framsatt av Allan (1966). Resultatene fra Mandalselva viste at økt vandring hovedsakelig skjedde under den økte vannføringen. Imidlertid foretok laksen i større grad terskelpasseringer under lokkeflommer og i timene like etter lokkeflommer enn ved minstevannføring forøvrig. Ingen terskler ble kun passert under lokkeflommer. Disse resultatene tyder på at en økning i vannføring medfører økt motivasjon til å vandre, og at høyere vannføring ikke bare gjør det fysisk enklere å vandre.

Under to av lokkeflommene skjedde økningen i vandring umiddelbart i løpet av de tolv første timene av lokkeflommen, mens under to andre lokkeflommer som bestod av pulser med økt vannføring i henholdsvis 8 og 12 timer, skjedde økningen i vandring først under andre puls med økt vannføring. Resultatene viser at økt vandring som respons på økt vannføring ikke nødvendigvis skjer umiddelbart. Ut fra disse resultatene anbefales minimum 36 timers varighet på lokkeflommer; enten kontinuerlig økt vannføring eller påfølgende pulser med økt vannføring.

På bakgrunn av resultatene i denne undersøkelsen anbefales videre undersøkelser av laksens vandring i forhold til lokkeflommer i minstevannføringsløpet. Økt kunnskap om effekter av lokkeflommer til ulik tid av sesongen, i tillegg til vandring i forhold til varierende vannkvalitet, bør prioriteres. Slike undersøkelser vil i tillegg til å gi ny informasjon, også kunne sette vandringsresultatene fra 1996 i et nytt lys.

5.2 Delprosjekt B - vandring i forhold til kalking

Ingen laks som ble fanget ved Laudal, radiomerket og satt ut i elvemunningen vandret helt opp til Laudal igjen. Mer enn halvparten av laksen ble imidlertid registrert i sidebekker/elver til Mandalselva i kortere eller lengre perioder; de fleste i Røyselandsbekken. Laksen var ikke stedegen, noe som kan være medvirkende årsak til at de ikke vandret samme rute opp til Laudal igjen. Imidlertid var andelen laks som vandret opp i sidebekker/elver høy sammenlignet med andre undersøkelser. I Namsen ble 8 % (n = 1) av radiomerket ikke-stedegen laks registrert i sidebekker/elver til Namsen (Thorstad et al. 1996). Store elver ser dessuten ut til å tiltrekke seg større mengder oppdrettslaks enn små elver (Heggberget et al. 1993). Imidlertid er det ikke undersøkt om dette også gjelder ved valg mellom hovedelv og sidebekker/elver til hovedelva.

Oppvandringen til Laudal før fisken ble fanget og merket skjedde trolig i løpet av september. Vannføringen i Mandalselva i løpet av august og september var lav, med vannføringer ca 10-30 m³/s. Ved en vannprøvetaking i hovedutløpet av Mandalselva i september var pH 6,02 og konsentrasjon av labilt aluminium 20 µg/l. Når laksen skulle foreta andre gangs oppvandring fra munningen av Mandalselva etter radiomerking, var disse forholdene betydelig endret. I oktober og november var vannføringen høyere, de fleste døgn over 100 m³/s. Samtidig sank pH til 5,46 i oktober og videre ned til 5,16 i desember. Konsentrasjoner av labilt aluminium økte til 46 µg/l i oktober og videre opp til 98 µg/l i desember. Endret vannføring og endret vannkvalitet kan være medvirkende årsaker til at laksen ikke vandret hovedelva opp til Laudal igjen etter utsetting i elvemunningen.

Registreringer av radiomerket laks i sidebekker/elver ble gjort i Høyeåna, Songåna og Røyselandsbekken. I tillegg ble to laks som ble satt ut ved Laudal (delprosjekt A) registrert i Logåna. De fleste sidebekkene til Mandalselva har bedre vannkvalitet enn hovedelva (Larsen & Haraldstad 1994). Vannprøver fra Logåna og Høyeåna i 1996 viste pH verdier i området 5,80-7,12 og konsentrasjoner av labilt aluminium mindre enn 20 µg/l fra september til desember. I hele sesongen var pH høyere og konsentrasjonen av labilt aluminium lavere i disse bekkene enn i hovedelva. Hovedårsaken til den bedre vannkvaliteten er kalking fra tidsstyrt kalkdoserer i Logåna og fra vannføringsstyrt kalkdoserer i Høyeåna. Vannkjemidata fra Songåna og Røyselandsbekken foreligger ikke fra 1996. Imidlertid har både Songåna og Røyselandsbekken hatt høyere pH enn hovedelva tidligere år (Larsen & Haraldstad 1994). Hovedårsaken er blant annet at det legges ut skjellsand både i Songåna og Røyselandsbekken.

Hos de fleste undersøkte arter av fisk observeres en unntakelsesatferd fra surt vann ved pH 4,0-5,0 og lavere (Åtland 1996). Få undersøkelser omfatter imidlertid voksen laks (Åtland 1996). I skandinaviske vassdrag er trolig

aluminium den mest giftige komponenten i surt vann (Gunn & Belzile 1994). Labilt aluminium inkluderer de giftige komponentene (Driscoll et al. 1980). Hos gytelaks er det registrert unnvikelsesatferd ved nedstrøms forflytning ved pH 5,2-5,5 og konsentrasjoner av labilt aluminium 110-130 µg/l (Skogheim et al. 1984). Samling av gytelaks i mikrohabitater med bedre vannkvalitet er registrert under episoder med pH 5,65 og konsentrasjon av labilt aluminium 84 µg/l (Rosseland et al. 1986). Resultatene fra Mandalselva tyder på at en lignende unnvikelsesatferd ble registrert ved at over halvparten av laksen vandret opp i sidebekker/elver med bedre vannkvalitet enn hovedelva. Imidlertid vil den planlagte videreføringen av undersøkelsen gi bedre informasjon, ved at vi kan sammenligne vandringsmønster og vandringshastighet i ukalket og kalket hovedelv.

6 Konklusjon

6.1 Delprosjekt A - vandring i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann

- Minstevannføring 3 m³/s om sommeren er en forbedring av forholdene for oppvandrende laks i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann i forhold til minstevannføring 0,25 m³/s og 1,5 m³/s.
- Laksen forsinkes i oppvandringen i minstevannføringsløpet selv med minstevannføring 3 m³/s, og ankommer områdene lengre opp i vassdraget forsinket i forhold til gytelsesong og fiskesesong.
- De største vandringshindre i minstevannføringsløpet ble identifisert til dammen ved Mannflåvann, sone 8 nedenfor Solkrona og sone 1 ved Laudal. På grunnlag av resultatene fra 1996 bør følgende tiltak vurderes:
 - 1) Vurdere konstruksjon av trapp, luker og tappeanordninger i dammen ved Mannflåvann i forhold til oppvandrende laks og sjøørret og foreta endringer/ombygginger i forhold til disse vurderingene.
 - 2) Ombygging av østre elveløp ved Solkrona til hovedløp igjen, og stenge vestre løp fullstendig.
 - 3) Vurdere konstruksjonen av terskel T8.
 - 4) Benytte feller ved Laudal og Mannflåvann kun til fangst av laks til stamfisk, merking og lignende formål. Ved eventuell fortsatt registrering av oppvandrende fisk ved Laudal og Mannflåvann bør elektroniske fisketellere installeres i stedet for å benytte fellene.
- Trappa under Klevelandsbrua og terskel T10 ved Solkrona ble fra lokalt hold utpekt som mulige vandringshindre for oppvandrende fisk i minstevannføringsløpet. Resultatene i denne undersøkelsen viste at de ikke er det.
- Summen av vandringshindre kan være en medvirkende årsak til at fisk forsinkes eller stanser i minstevannføringsløpet. Samtlige terskler bør vurderes av sakkyndig ved minstevannføring 3 m³/s, med særlig vekt på renner i løsmassetersklene og overvann over tersklene.
- Denne undersøkelsen har gitt god informasjon om vandringshindre i minstevannføringsløpet, og ytterligere undersøkelser for å identifisere vandringshindre anses ikke som nødvendig.
- Lokkeflommer hadde en positiv effekt på vandring hos laks men ikke hos sjøørret. Laksen foretok en høyere andel av terskelpasseringene under og like etter lokkeflommer enn ved minstevannføring forøvrig. Det samme var ikke tilfelle hos sjøørreten. Imidlertid skjedde passering av alle terskler også i perioder uten

lokkeflom, noe som viser at fisken fysisk ikke behøver mer vann enn minstevannføring for å være i stand til å passere noen av tersklene. Lokkeflommer synes derfor primært å påvirke motivasjon for vandring hos laks.

- Det var ingen signifikant forskjell på andelen laks og andelen sjøørret som passerte hele minstevannføringsløpet i noen av årene 1993-96. Imidlertid tyder resultatene i denne undersøkelsen på at sjøørreten ikke krever så høy vannføring som laksen for å vandre, noe som er i tråd med tidligere undersøkelser (Baxter 1961, Beach 1984). Sjøørreten i denne undersøkelsen var mindre enn laksen, noe som kan ha betydning for krav til vannføring. Høy vannføring for å stimulere oppvandring av laks ser ut til å være viktigere for større laks enn for små laks (van den Berghe & Gross 1989 (coho laks *Oncorhynchus kisutch*), Jonsson et al. 1990b). Imidlertid var utvalgsstørrelsen av sjøørret for liten i denne undersøkelsen i forhold til å kartlegge vandring i minstevannføringsløpet. Generelt antar vi at ved å legge forholdene til rette for oppvandrende laks i minstevannføringsløpet, vil forholdene også være relativt gode for sjøørreten.
- Ulike typer lokkeflommer hadde ulik effekt på vandring hos laks. Resultatene i denne undersøkelsen kan tyde på at ulike lokkeflommer har ulik virkning til ulik tid av sesongen. Imidlertid gir ikke resultatene grunnlag for å skille mellom effekten av ulike typer lokkeflommer og effekten av ulik tid av sesongen. Det anbefales derfor å videreføre disse undersøkelsene for å tilegne seg ytterligere kunnskap om virkninger av lokkeflommer og for å kunne sette resultatene fra 1996 i et nytt lys. Resultatene fra undersøkelsen viste at lokkeflommer hadde en positiv effekt på vandring hos laks i minstevannføringsløpet. Vi antar at en større forståelse av virkninger av lokkeflommer vil gi en gevinst i form av raskere oppvandring i minstevannføringsløpet og forbruk av minst mulig vann.
- Resultatene i denne undersøkelsen viste at laks som var merket tidligst i sesongen hadde de øverste posisjonene i elva ved peiling 28. oktober. Dette viser at tidspunkt for ankomst Laudal har en effekt på vandring videre oppover i vassdraget. Eventuelle vandringshindre lengre nede i elva kan altså ha en betydning for om og når laksen ankommer de øvre delene av vassdraget.
- Laksen som ble radiomerket i denne undersøkelsen, var av ulik opprinnelse. Bare 7 % ble identifisert som villaks. Disse var ikke stedegen laks fra Mandalselva, da stedegen laks er utdødd på grunn av sur vannkvalitet. En reetablert laksestamme i Mandalselva vil ikke være bedre tilpasset vandring i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann i løpet av de første generasjonene. Imidlertid er det sannsynlig at laks som blir født i øvre del av elva vil ha stor motivasjon for oppvandring. En bedre vannkvalitet etter kalking kan

også gjøre passering av minstevannføringsløpet lettere.

6.2 Delprosjekt B - vandring i forhold til kalking

- Årsaken til at laksen ikke vandret opp til Laudal igjen etter utsetting i elvemunningen, men at mer enn halvparten heller vandret opp i sidebækker/elver, synes å være forårsaket av endringer i vannføring og vannkvalitet i hovedelva. I hovedelva økte vannføringen samtidig som vannkvaliteten ble dårligere etter at laksen hadde vandret første gang opp til Laudal før merking. At laksen vandret opp i sidebækker/elver med bedre vannkvalitet kan ha vært en unnvikelsesrespons i forhold til lav pH og høy konsentrasjon av labilt aluminium.

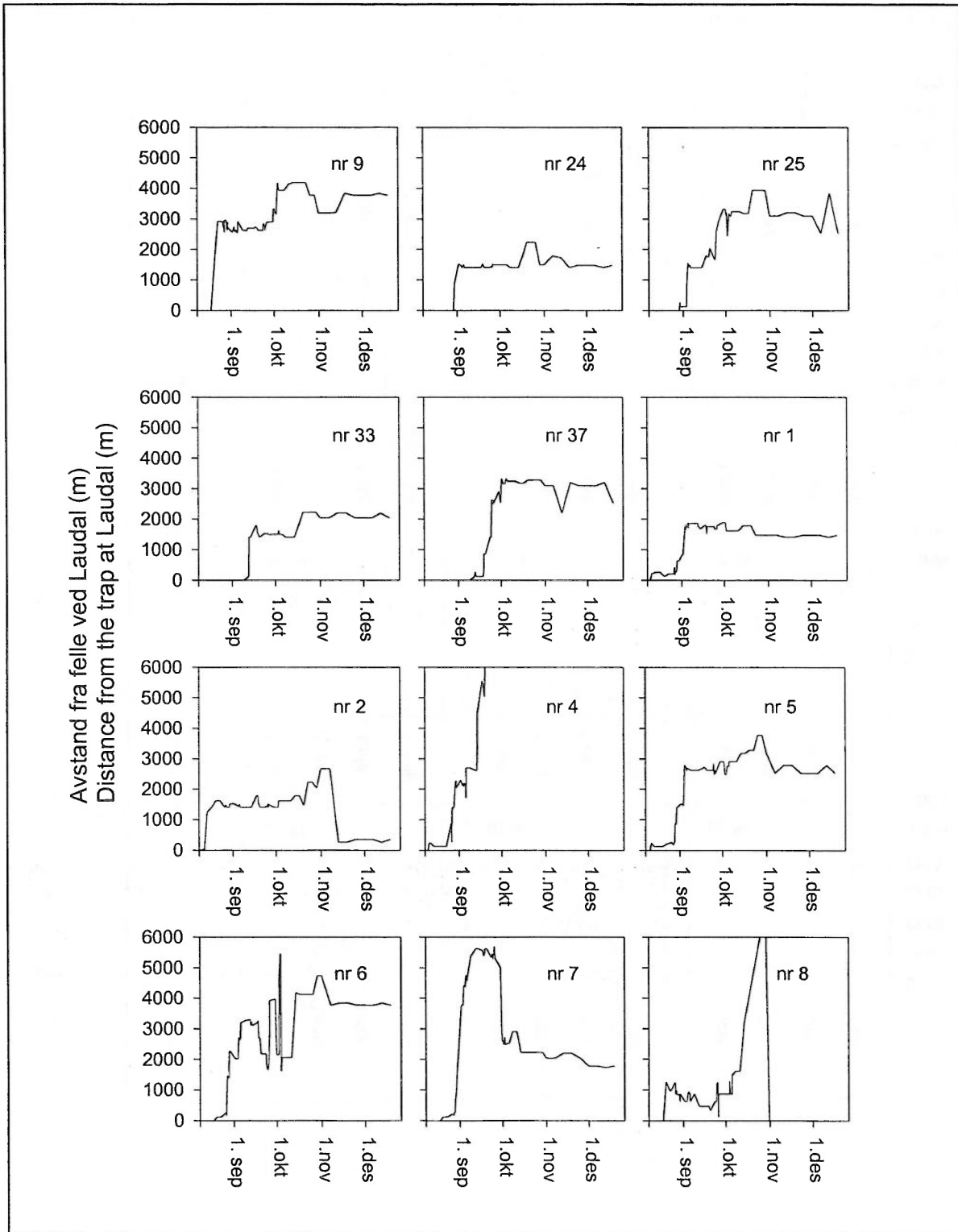
7 Litteratur

- 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. 1994a. Flerbruksplan Mandalsvassdraget. Faggruppe for fisk og forurensing. - Sluttrapport fra faggruppen, januar 1994, 28 s.
- Anon. 1994b. Flerbruksplan Mandalsvassdraget. - Sluttrapport fra styringsgruppen, 36 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.
- Baxter, G. 1961. River utilization and the preservation of migratory fish life. - *Proc. Instn. civ. Engrs.* 18: 225-244.
- Beach, M.H. 1984. Fish pass design - criteria for the design and approval of fish passes and other structures to facilitate the passage of migratory fish in rivers. - *Fish. Res. Tech. Rep., MAFF Direct. Fish. Res. Lowestoft* 78: 1-46.
- Blakar, I. & Digernes, L. 1991. Vannkvalitet i Mandalselva med sidevassdrag. - VAE, rapport (upublisert).
- Brabrand, Å. & Saltveit, S.J. 1995. Vandring av laks og sjørret i Mandalselva mellom Mannflåvann og Laudal kraftverk. - *Notat Lab. Ferskv. Økol. Innlandsfiske, Oslo*, 3: 1-5.
- Driscoll, C.T., Baker, J.P., Bisogni Jr., J.J. & Schofield, C.L. 1980. Effects of aluminium speciation on fish in dilute acidified waters. - *Nature* 284: 161-164.
- Dunkley, D.A. & Shearer, W.M. 1982. An assessment of the performance of a resistivity fish counter. - *J. Fish Biol.* 20: 717-737.
- Fjellheim, A. 1993. Tersklers virkning på miljøet i regulerte vassdrag. - I Faugli, P.E., Erlandsen, A. & Eikenæs, O., red. Inngrep i vassdrag; konsekvenser og tiltak - en kunnskapsoppsummering. Publikasjon nr 13/1993, bind 2. Vassdragsregulantenenes forening og Norges vassdrags- og energiverk.
- Gunn, J.M. & Belzile, N. 1994. Extrapolating from toxicological findings to regional estimations of acidification damage. - S. 217-226 i Steinberg, C.E.W. & Wright, R.F., red. Acidification of freshwater ecosystems: Implications for the future. John Wiley and Sons Ltd.
- 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. - *Bulletin of the Biological Board of Canada* 99: 1-47.
- Heggberget, T.G. 1988. Timing of spawning in Norwegian Atlantic salmon (*Salmo salar*). - *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45: 845-849.
- 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. 1993. Distribution and migratory behaviour of wild and farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) during return migration. - *Aquaculture* 118: 73-83.
- Heggberget, T.G., Økland, F. & Ugedal, O. 1995. Pre-spawning migratory behaviour of wild and farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) in a North Norwegian river. - *Aquaculture Research* 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.
- 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.
- Hvidsten, N.A. 1985. Mortality of pre-smolt Atlantic salmon, *Salmo salar* L., and brown trout, *Salmo trutta* L., caused by fluctuating water levels in the regulated River Nidelva, central Norway. - *J. Fish Biol.* 27: 711-718.
- 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 vandring i Sandsfjordssystemet og i Suldalslågen i 1995 ved hjelp av radiotelemetri. - NINA Oppdragsmelding 421: 1-44.
- Jonsson, B., Jonsson, N. & Hansen, L.P. 1990a. 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.

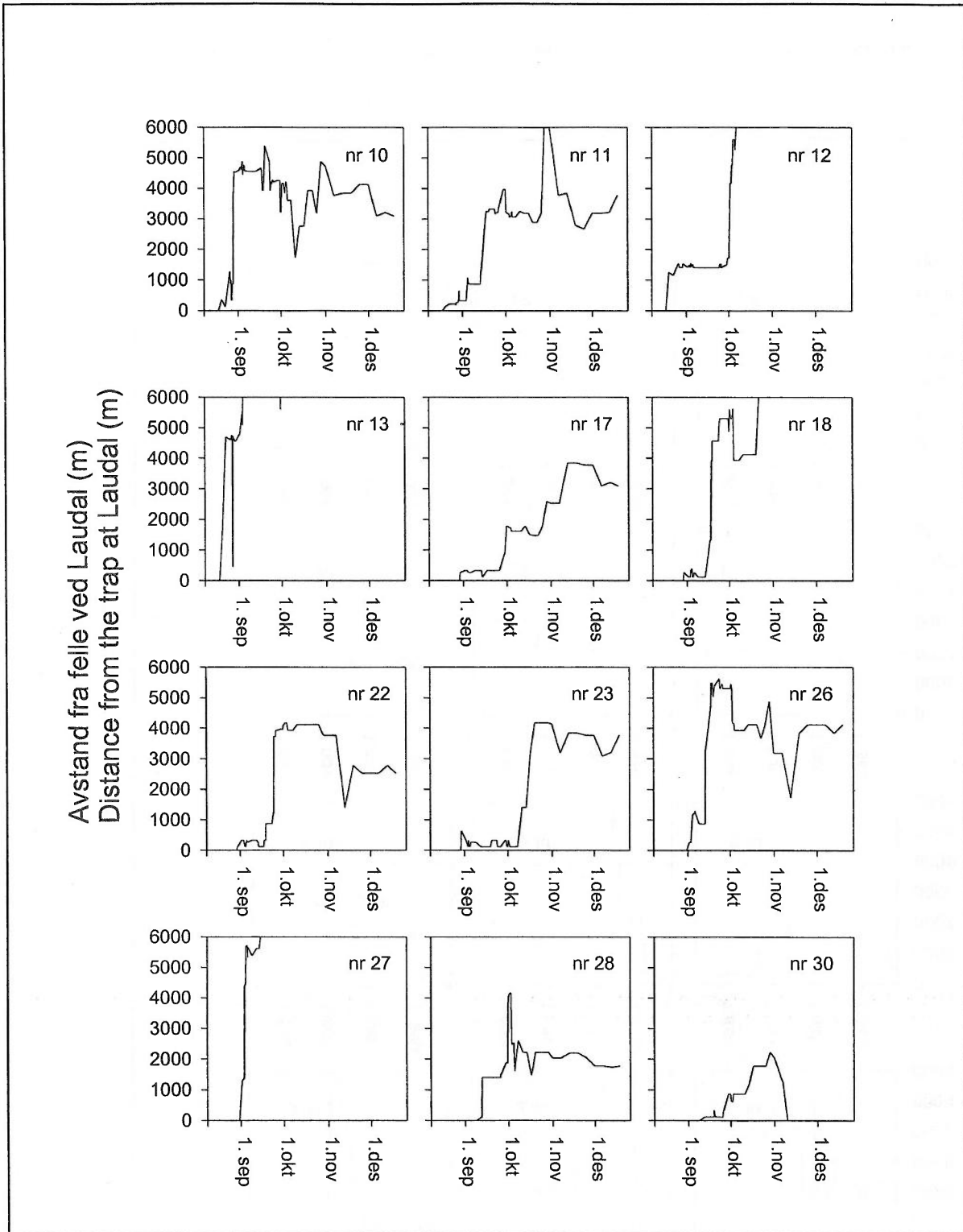
- Jonsson, N. 1991. Influence of water flow, water temperature and light on fish migration in rivers. - *Nordic J. Freshw. Res.* 66: 20-35.
- Jonsson, N., Jonsson, B. & Hansen, L.P. 1990b. Partial segregation in the timing of migration of Atlantic salmon of different ages. - *Anim. Behav.* 40: 313-321.
- Lamberg, L., Økland, F. & Jensen, A.J. 1997. Vandringsatferd hos laks og sjøaure i Vossovassdraget. En studie av vandringshastighet i relasjon til vannkvalitet i 1994. - NINA Oppdragsmelding 475: 0-0.
- Larsen, P.A. & Haraldstad, Ø. 1994. Kalkingsplan for Mandalsvassdraget i Vest-Agder. - Flerbruksplan for Mandalsvassdraget. Fagrapport til faggruppe for fisk og forurensing, 57 s.
- Laughton, 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.
- Lindroth, A. 1952. Salmon tagging experiments in Sundsvall Bay of the Baltic in 1950. - *Rep. Inst. Freshw. Res., Drottningholm*, 33: 57-69.
- 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.
- Mills, D. 1989. Ecology and management of Atlantic salmon. - Chapman and Hall Ltd. London, New York, 351 s.
- 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.
- Smironov, Y.A. 1971. Salmon of Lake Onega. - *Fish. Res. Bd. Can. Transl. Ser.*, 2137: 212 s.
- Stasko, A.B. 1975. Progress of migrating Atlantic salmon (*Salmo salar*) along an estuary, observed by ultrasonic tracking. - *J. Fish Biol.*, 7: 329-338.
- 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 adaption in Salmonidae, with particular reference to Pacific and Atlantic salmon. - *Aquaculture* 98: 185-207.
- 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 17: 1-35.
- van den Berghe, E.P. & Gross, M.R. 1989. Natural selection resulting from female breeding competition in a Pacific salmon (coho: *Oncorhynchus kisutch*). - *Evolution* 43: 125-140.
- 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

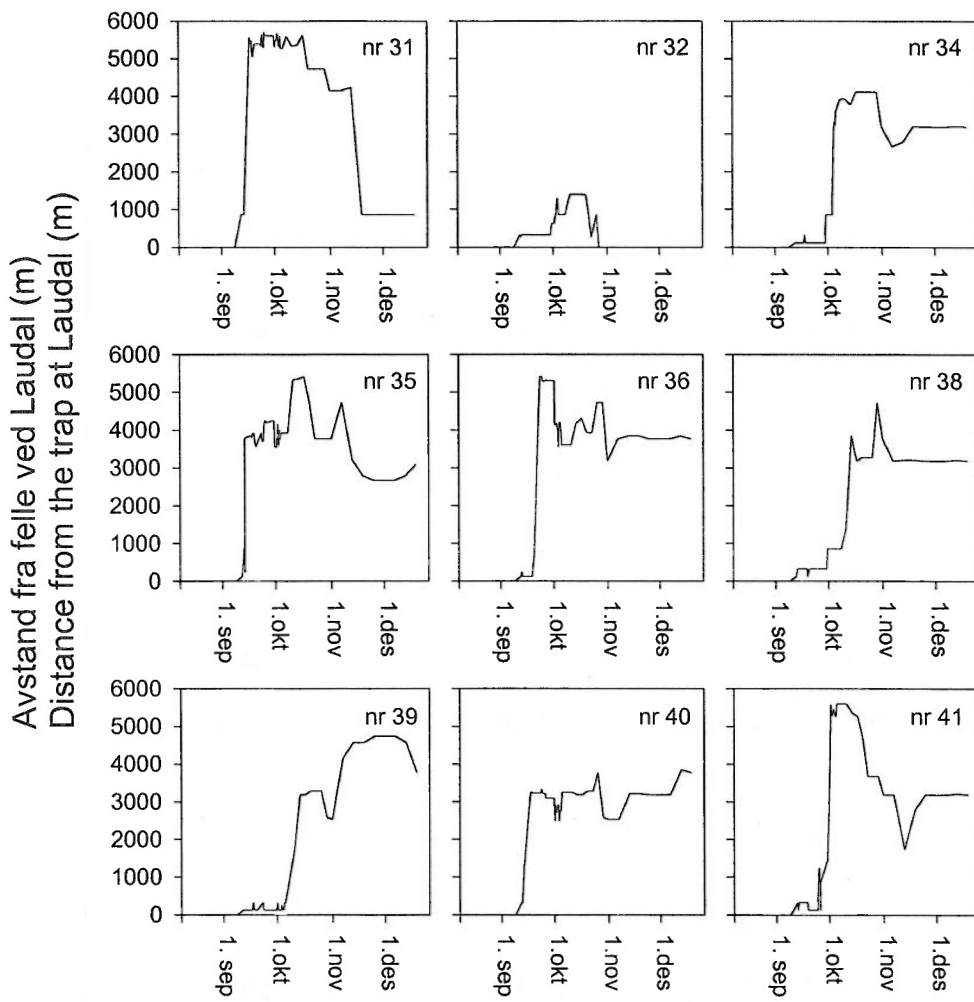
Vandring hos individuelle radiomerkede laks og sjørøret i minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann i Mandalselva i 1996.



Vedlegg 1 forts.

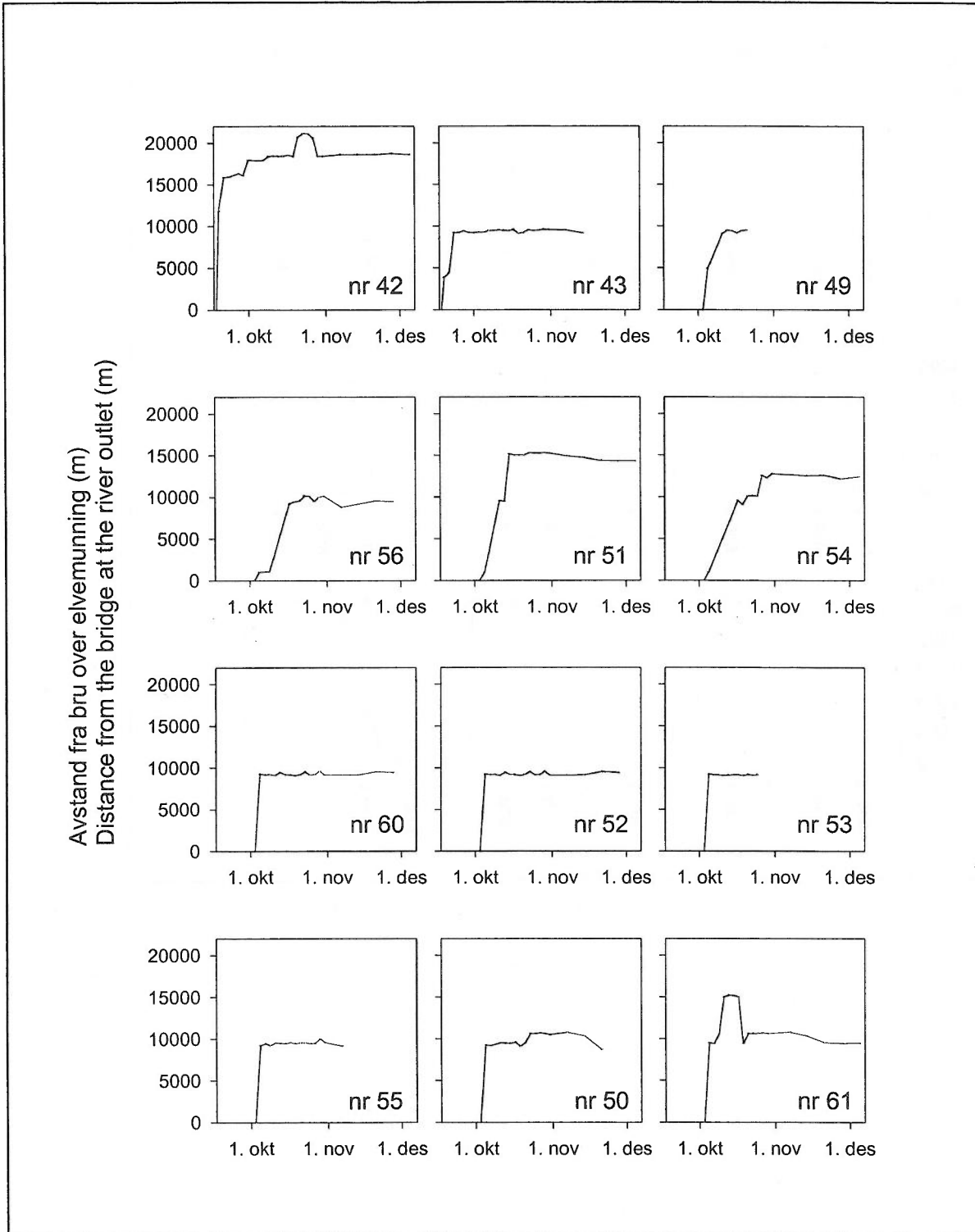


Vedlegg 1 forts.

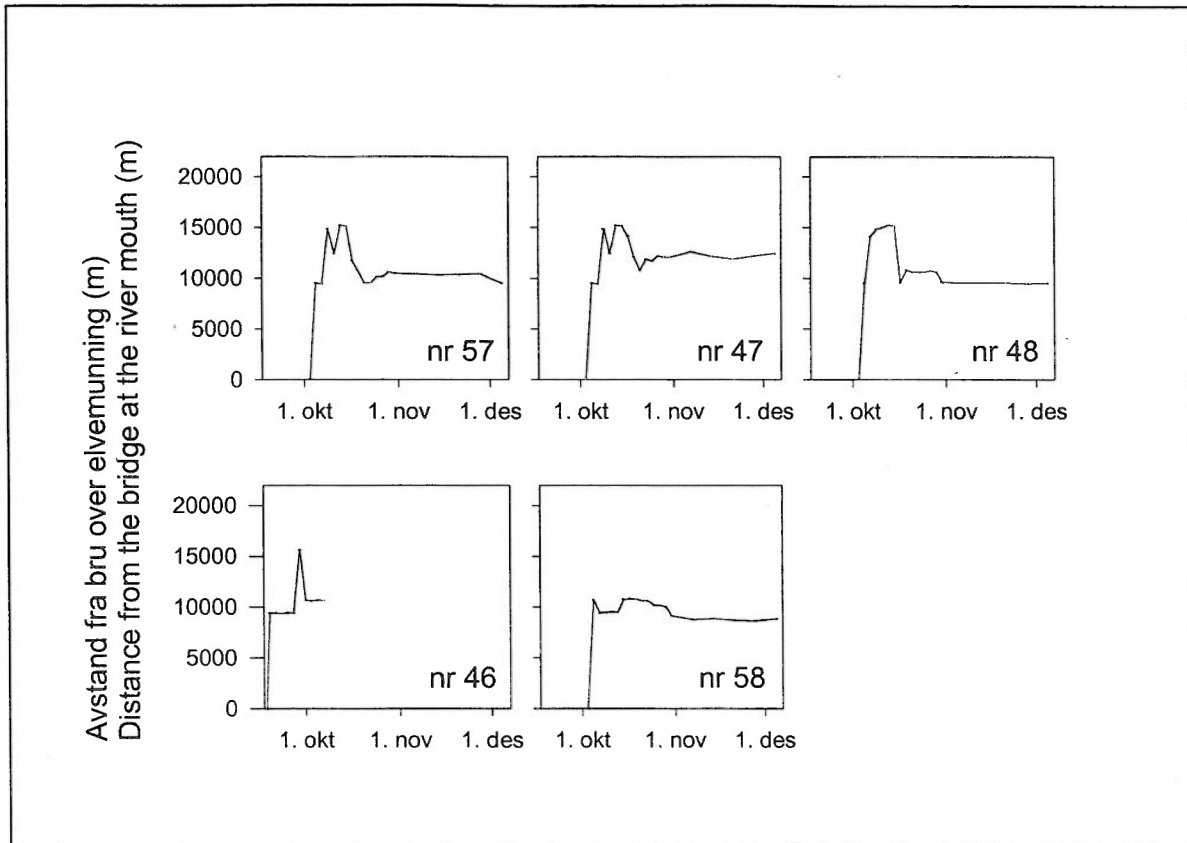


Vedlegg 2

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



Vedlegg 2 forts.



ISSN 0802-4103
ISBN 82-426-0795-8

470

**NINA
OPPDRAGS-
MELDING**

NINA Hovedkontor
Tungasletta 2
7005 TRONDHEIM
Telefon: 73 58 05 00
Telefax: 73 91 54 33

NINA
Norsk institutt
for naturforskning