

NINA Norsk institutt for naturforskning

Undersøkelser av smoltøkologi i Mandalselva

Nils Arne Hvidsten

Frode Kroglund

Jens Chr. Holst

Bjørn Ove Johnsen

NINA•NIKUs publikasjoner

NINA•NIKU utgir følgende faste publikasjoner:

NINA Fagrapport

NIKU Fagrapport

Her publiseres resultater av NINA 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, års-rapporter fra overvåkningsprogrammer, o.a.

Opplaget er begrenset. (Normalt 50-100)

NINA•NIKU Project Report

Serien presenterer resultater fra begge instituttenes 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 "allmennheten" eller særskilte grupper, f.eks. landbruket, fylkesmennenes miljøvern-avdelinger, turist- og friluftlivskretser o.l. De gis derfor en mer populærfaglig form og med mer bruk av illustrasjoner enn ovennevnte publikasjoner.

Opplag: Varierer

Fakta-ark

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

Opplag: 1200-1800

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

Hvidsten, N.A., Kroglund, F., Holst, J.Chr. & Johnsen, B.O. 2002. Undersøkelser av smoltøkologi i Mandalselva.-NINA Oppdragsmelding 730: 1-23.

Trondheim, februar 2002

ISSN 0802-4103

ISBN 82-426-1291-9

Forvaltningsområde:

Rettighetshaver ©:

NINA•NIKU

Stiftelsen for naturforskning og kulturminneforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

Redaksjon:

Torbjørn Forseth

Design og layout:

Synnøve Vanvik

Sats: NINA•NIKU

Kopiering: Norservice

Opplag: 100

Kontaktadresse:

NINA•NIKU

Tungasletta 2

N-7485 Trondheim

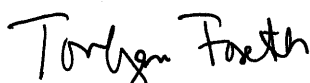
Telefon: 73 80 14 00

Telefax: 73 80 14 01

Tilgjengelighet: Åpen

Prosjekt nr.: 13555 Smoltutvandring i Mandalselva

Ansvarlig signatur:



Oppdragsgiver:

Direktoratet for naturforvaltning

Referat

Hvidsten, N.A., Kroglund, F., Holst, J.Chr. & Johnsen, B.O. 2002. Undersøkelser av smoltøkologi i Mandalselva. - NINA Oppdragsmelding 730: 1-23.

Direktoratet for naturforvaltning i regi av 'Reetableringsprosjektet' ønsket å undersøke økologien hos laksesmolt i et vassdrag hvor bestanden er under etablering. Hensikten med denne rapporten er å beskrive utvandringen hos laksesmolt. Det gjelder smolt som har vokst opp naturlig på elva og smolt som ble satt ut som laksunger. Tidspunkt for utvandring hos laksesmolt er ikke undersøkt tidligere på Sørlandet. Tidspunkt for utvandring og omgivelsesvariablene som styrer utvandringen er viktig i en regulert og kalket elv.

Mandalselva er regulert med i alt 6 kraftverk og har en gjennomsnittlig avrenning på $85,5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ gjennom året. Laks og sjøaure kan vandre 48 km oppover i elva. Mandalselva har vært kronisk sur, men med bedre vannkvalitet i noen uregulerte sideelver. Hovedvassdraget har vært kalket siden mai 1997 og det er satt krav til minimum pH gjennom året.

Smoltens fysiologiske status er gitt høy prioritet i undersøkelsen fordi en bedre kan sette krav til vannkvalitet.

Innfanging av smolt ble foretatt i elva ved Finså klekkeri hvor det var egnete forhold for fangst av smolt. Det er her fysiske forhold som er egnet for å fange smolt. Samtidig var det mulig å gjennomføre nødvendig prøvetakingsprogram ved hjelp av personell fra klekkeriet.

Det ble gjennomført parallelle forsøk med to typer smoltfeller trål (River Fish Lift) og med smoltskrue. Hensikten var å studere fangsteffektivitet og smoltstatus hos smolt fanget i de to typene fangstredskap. Bakgrunnen for dette var at kostnadene med å anskaffe disse to typene redskap er forskjellig.

For å kartlegge smoltstatus under smoltifisering og smoltutgang er det gjennomført ulike fysiologiske tester. Smolt fra klekkeriet og smolt fanget i fellene har blitt undersøkt. Fysiologisk tilstand ble evaluert på bakgrunn av dødelighet, plasmaklorid, hematokritt og glukose.

Smolten gikk hovedsakelig ut i perioden 13. mai til 8. juni. Det var senere utvandring hos smolt fra utsatt herkomst i forhold til villsmolt. Dette kan ha sammenheng med avlsmaterialet fra klekkeriet eller at den utsatte smolten hadde lenger vandringsvei ned til fella siden den ble satt ut langt oppe i vassdraget. Det var generelt god smoltstatus på den utvandrende smolten. Imidlertid var det vesentlig forskjell på smolt fanget i skrue og trål. Smolten som ble fanget i trålen var vesentlig mer stresset enn smolt fanget i skruen samtidig med at det var stor dødelighet på trålfanget smolt.

Smolten vandret ut noe senere enn forventet. Det ble påvist tendens til desmoltifisering på noe av smolten på slutten av innsamlingsperioden. Det er viktig å følge smoltutvandringen i en lengre periode om våren enn i 2001.

Det ble fanget få Carlin-merkete smolt fra utsatte smolt som passerte Laudal kraftverk i forhold til smolt som ble satt ut nedenfor kraftverket. Det kan derfor tyde på en betydelig dødelighet på smolten som passerer kraftverks-turbinene.

Emneord: Mandalselva smoltutvandring – smoltstatus - smoltfeller

Nils Arne Hvidsten & Bjørn Ove Johnsen, Norsk institutt for naturforskning, Tungasletta 2, 7485 Trondheim.

Frode Kroglund, Norsk institutt for vannforskning, Televeien 3, 4879 Grimstad.

Jens Chr. Holst, Havforskningsinstituttet, Postboks 1870 Nordnes, 5817 Bergen.

Abstract

Hvidsten, N.A., Kroglund, F., Holst, J.Chr. & Johnsen, B.O. 2002. Analysis of salmon smolt ecology in River Mandalselv. - NINA Oppdragsmelding 730: 1-23.

The Directorate for Nature Management wanted through the 'Reetableringsprosjektet' an analysis of the smolt ecology in the River Mandalselva during a period of establishment of the salmon stock. The main goal was to describe the migration pattern during the smolt descent. The smolt population consists of hatchery reared smolts and wild smolts. The smolt migration pattern is not analysed previously in this southern part of Norway. Timing of smolt migration and variables influencing smolt descent is important in a regulated and artificially limed river.

Totally there are six hydro-power stations in the River Mandalselva and the annual average discharge is 85,5 m³s⁻¹. Salmon and brown trout ascend 48 km in the River Mandalselva. The River Mandalselva has been chronic sour, but with better water quality in some smaller tributaries. The main river has been limed since May 1997.

The liming procedure is adjusted according to smolt physiology.

The smolt was caught at Finså where suitable facilities were found. The water current was good for catching smolts. The staff at the hatchery located here took care of the sampling program. Two types of smolt traps were tested in parallel. A river fish lift (RFL) a more traditional net trap and a fish screw. The objective was to compare the two types of methods concerning catch efficiency; survival and physiological status of caught smolts.

In order to compare to smolt status during the smolting progress and smolt migration a series of different physiological tests were performed. Smolts originating from the hatchery and from the traps were analysed. The physiological status has been analysed based on plasma chlorous, hematokritt and glucose.

Main smolt migration occurred in the period 13. May to 8. June. The smolts with hatchery origin migrated later than wild smolts. Different genetic background of the hatchery fish or that this fish were released in the upper stretches of the anadrome section of the river might be the reason for late descent among the hatchery fish. The status was generally good for the migrating smolt. However, a significant difference was found when the smolts caught in the fish screw compared to the fish lift. The smolts caught in the fish lift was more stressed than smolts caught in the fish screw in addition that smolts caught in the river fish lift suffered high mortality.

The smolts migrated later than expected. A tendency to desmoltification in the end of the migration period was found. Future analysis of smolt descent will be performed for a longer period.

Few smolts were caught from smolts released upstream the turbines of Laudal Power station compared to smolt released downstream Laudal Power Station. A significant mortality might therefore occur when smolts pass the turbines.

Keywords: River Mandalselv – smolt descent – smolt quality – smolt traps.

Nils Arne Hvidsten & Bjørn Ove Johnsen, Norwegian Institute for Nature Research, Tungasletta 2, N-7485 Trondheim, Norway.

Frode Kroglund, Norwegian Institute of Water Research, Televeien 3, N-4879 Grimstad, Norway.

Jens Chr. Holst, Institute of Marine Research, P.O.box 1870 Nordnes, N-5817 Bergen, Norway.

Forord

Undersøkelsene av smoltutvandring i Mandalselva gjennomføres som en del av Reetableringsprosjektet i Direktoratet for naturforvaltning. Rapporten omhandler utvandring hos smolt fra naturlig reprodusert laks og smolt med opphav fra utsatte laksunger. Tidspunkt for utvandring av laksesmolt fra elver på Sørlandskysten er ikke undersøkt tidligere. Denne rapporten er derfor den første som beskriver tidspunkt og atferd hos utvandrende laksesmolt.

Vi vil takke alle på Finså Klekkeri som har gjennomført feltundersøkelsene, tatt alle prøver, gjennomført merking av smolten og montert og tatt opp utstyr.

Trondheim februar 2002

Nils Arne Hvidsten
prosjektleder

Innhold

Referat	3
Abstract	4
Forord	5
1 Innledning.....	6
2 Beskrivelse av Mandalselva	6
2.1 Område og stasjonsbeskrivelse.....	6
2.2 Vannkvalitet og kalking.....	7
2.3 Reguleringer	8
2.4 Anadrom strekning	8
3 Materiale og metoder	9
3.1 Forsøksmaterialet.....	9
3.1.1 Fangstfelle	9
3.1.2 Eksponeringsbur	9
3.1.3 Prøvetakingsstørrelse og saltvannstester ..	9
3.2 Prøvetaking og analysemetoder samt responsevaluering	11
3.2.1 Fysiologiske prøver.....	11
3.2.2 Responsevaluering	11
3.2.3 Bearbeiding	12
4 Resultat.....	13
4.1 Fysio-kjemiske forhold.....	13
4.1.1 Hydrologi.....	13
4.1.2 Temperatur.....	13
4.1.3 Vannkvalitet	13
4.1.4 Sammendrag av hydrologi og vannkjemi	13
4.2 Fangstfellene	14
4.2.1 Utvandringsperiode for laks- og auresmolt	14
4.2.2 Vandringsatferd.....	15
4.2.3 Alder, vekst og kjønnsmodning hos smolt.....	15
4.2.4 Smoltfangst i trål og smoltskrue	15
4.2.5 Dødelighet hos smolt under utvandringen	17
4.3 Fysiologisk status	17
4.3.1 Smolt ved klekkeriet	17
4.3.2 Smolt eksponert i bur	17
4.3.3 Smoltfelle	19
5 Diskusjon	20
5.1 Smoltutvandring, smolt av kultivering- og naturlig opphav	20
5.2 Smoltkvalitet.....	20
5.2.1 Klekkeri og burfisk.....	20
5.2.2 Sammenligning av trål og smoltskrue	21
6 Konklusjon.....	22
7 Litteratur.....	22

1 Innledning

Laksen i Mandalselva er under reetablering. Det har blitt satt ut ungfisk i elva og det er registrert gyting i elva slik at laksesmolten har både opphav fra fiskeutsettinger og naturlig gyting. Det ble sommeren 2000 gjennomført en registrering av egnet lokalisering av smoltfelle for fangst av smolt. En samlet vurdering av egnethet for fangst og hensiktsmessighet for nødvendig røkting av fellene tilsa at strømmen nedenfor Finså klekkeri var best egnet som fangststed. På den måten var det mulig å få arbeidshjelp fra Finså klekkeri hvor det er personell med nødvendige kunnskap og ferdigheter til å gjennomføre prosjektet.

Formålet med prosjektet er å registrere smoltutgangen med hensyn til tidsrom og hvilke omgivelsesvariabler som styrer utvandringen. Smoltutvandringen blir styrt av ultimate og proximate omgivelsesvariabler. Daglengde synes å være avgjørende for når på våren smolten skal gå ut. Det er vanligvis forhold som vannføring, endring i vannføring, vanntemperatur og endring i vanntemperatur og månefase som er de viktigste proximate faktorene som styrer smoltutvandringen.

Det er en målsetting for undersøkelsen å vite hvordan laksesmolten oppfører seg i en nyetablert bestand av laks. En ønsker å se på om det er forskjeller i atferd hos smolt med kultivert opphav og smolt som er naturlig reproduert. All kultivert laks er merket ved at fettfinnen er klipt før den er satt ut som sommergammel yngel. For å studere vandring og overlevelse hos smolt har smolt fanget i fella blitt merket med Carlin-merker. Smoltens fysiologiske status under utvandringen er målt. Dette er sett i sammenheng med elvas vannkvalitet.

Fangsteffektivitet, dødelighet og fysiologisk status hos smolt i to forskjellige smoltfelletyper (smoltskrue og trål) er analysert.

Sentralt står også spørsmål omkring reguleringen av vassdraget (vannføring og kraftverksinntak) i forhold til vandring hos smolt.

2 Beskrivelse av Mandalselva

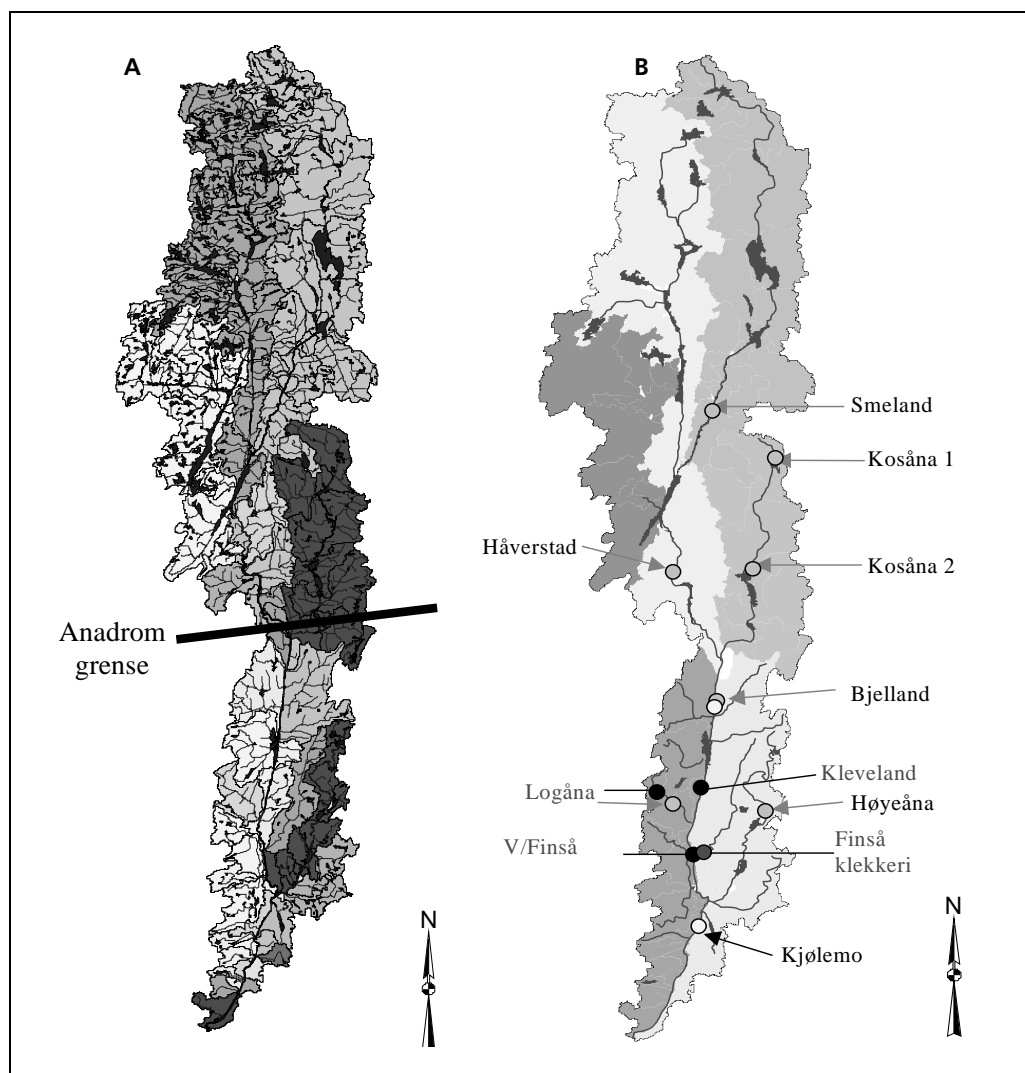
2.1 Område og stasjonsbeskrivelse

Mandalsvassdraget har sitt utspring i fjellene mellom Ose i Setesdalen og Øvre Sirdal og ligger i fylkene Vest-Agder og Aust-Agder. Nedbørfeltet er 1809 km² stort, med en spesifikk avrenning på 47,6 l/s/km² og middelvannføringen på 85,5 m³/s. Vassdraget er 115 km langt og renner gjennom kommunene Åseral, Audnedal, Marnardal og Mandal. De største tilløpselvene er Monn, Logna, Skjerka, Kosåna, Logåna og Røyselandsbekken. Laks og sjørørret kan gå helt opp til Kavfossen, en strekning på omlag 48 km. Laks kan også vandre et stykke opp i Kosåna (**figur 1a**). Lokalfeltene (sidebekkene) til den anadrome strekningen utgjør ca 12 % av hele vassdraget. De ulike eksponeringslokalitetene for fisk, prøvetakingsstasjonene for vannkjemi (overvåkingsprosjektet) og kalkingsanleggene er vist i **figur 1 b**.

Lokalfeltene langs den anadrome strekningen har ingen markerte høydedrag over 100 moh (**figur 2**). Oppstrøms den anadrome strekningen øker høyden på terrenget. Store deler av de innerste delfeltene ligger mer enn 500 m o.h. Tidspunkt for snøsmelting vil være påvirket av høyde over havet, og vil inntreffe tidligere i de lavtliggende delene av vassdraget enn i de høyere delene. Dette vil påvirke den relative betydningen av vanntilførsler fra de ulike delfeltene. Reguleringen av vassdraget kan likeledes påvirke den normale årstidsvariasjonen i avrenning. Som følge av forskjeller i tidspunkt for snøsmelting, lokale forskjeller i nedbørintensitet og hydrologiske forandringer som følge av reguleringen kan vannkvaliteten på anadrom strekning på seinvinteren være mer preget av vanntilførsler fra de nære lokalfeltene enn av vannkvaliteten i hovedelva oppstrøms lakseførende strekning. Senere på våren, når snøsmeltingen i fjellet tiltar, vil vannbidragene fra lokalfeltene sannsynligvis avta og vannkvaliteten oppstrøms anadrom strekning vil i større grad bestemme vannkvaliteten på den lakseførende delen av vassdraget. Det er ikke utført noen evaluering av vannkvaliteten i Mandalselva basert på hydrologiske variasjoner slik det er gjort for en rekke andre vassdrag (Kaste et al. 2000, Hindar og Kroglund, 2000; Finstad et al. 1999; Kroglund et al. 2001 upublisert Otra-materiale).

Akkumulert arealbidrag fra lokalfeltene til anadrom strekning er vist i **figur 3**. Arealøkningen skjer gradvis, med unntak av der nedbørfeltene til Høyåna og Finsåna løper (ca 20 km fra elvemunningen) sammen med hovedelva. Dette antyder at disse lokalfeltene kan ha relativt stor innflytelse på vannkvaliteten.

Figur 1.a) Sidevassdragene til Mandalselva. **b)** Mandalsvassdraget. Stasjoner for fiskeforsøk (svarte sirkler), kalkingsanlegg (gråe sirkler) og overvåkingsstasjoner (hvite sirkler) er vist. Plasseringen av Finså klekkeri er vist.



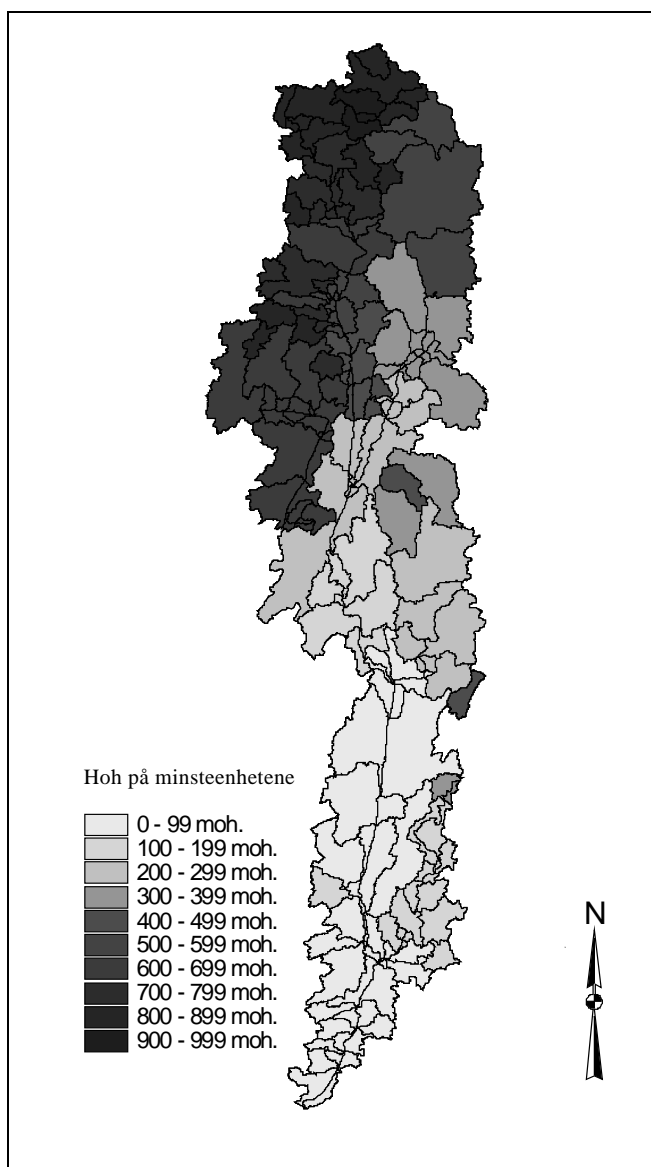
2.2 Vannkvalitet og kalking

Vassdraget ligger i det sørnorske grunnfjellsområdet, som hovedsakelig består av gneiser og granitter. Bergartene er fattige på kalsium og har derfor liten evne til å nøytralisere sur nedbør. Mandalselva har følgelig vært kronisk sur, med målte pH-verdier mellom 4,7-4,9 i perioden 1989-90 (Blakar & Digernes 1991). Imidlertid var vannkvaliteten vært langt bedre i de fleste uregulerte sideelvene, spesielt i tørrværsperioder med liten avrenning (Blakar & Digernes 1991). Årsaken til dette var kalking i større og mindre grad i sideelvene (Larsen & Haraldstad 1994). Langtidsmålinger av pH i Mandalselva ved Marnardal siden 1964 har vist at pH har ligget under 4,9 siden 1967 (Anon 1993).

Hovedvassdraget har vært kalket siden mai 1997. Kalkingsanleggene ved Håverstad og i Kosåna skal sikre tilfredsstillende vannkvalitet fra Sundet (øverste del av den anadrome strekningen) ned til Bjelland. Kalkdosereren ved Bjelland skal sikre at vannkvaliteten ikke forringes når vannbidrag fra lokalfeltene innen den anadrom strekning tilføres hovedelva. Både Hesså, Logåna og Høyåna kalkes for å redusere tilførselen av giftig aluminium til hoved-

vassdraget. Kalkingen i disse sidebakkene har vært ustabil og vannkvaliteten i disse sidevassdragene har i perioder vært dårlig (Kaste 2000). Det er i perioder registrert betydelig pH-reduksjon fra Bjelland til Kjølmo. Disse sammenfaller med hydrologiske episoder med kraftig nedbør og snøsmelting i de lavereliggende delene av vassdraget. Selv om sidebakkens betydning for vannkvalitet i hovedelva ikke er undersøkt eksplisitt, viser denne pH-reduksjonen at sidebakkene har betydning for vannkvaliteten.

Vannkvalitetsmålet, er å holde pH på lakseførende strekning på 6.2 i perioden 15. februar til 31. mai og på 6.0 fra 1. juni til 15. februar. Høyere pH om våren er begrunnet utfra den innvirkning H^+ har på avgiftingshastigheten til aluminium og laksesmoltens følsomhet for Al. pH-målet mellom 15. april og 31. mai er satt 0.2 pH-enheter lavere enn målet som benyttes i andre vassdrag. Dette er begrunnet fra vassdragets moderat høye innhold av humus (4-6 mg TOC L^{-1}). Det høye pH-målet som benyttes om våren er satt for **å sikre at Al avgiftes**, ikke fordi fisken ikke tåler pH-verdier under 6.2 slik enkelte har oppfattet intensjonen bak pH-målet (Kroglund et al. 1998b; 1999).



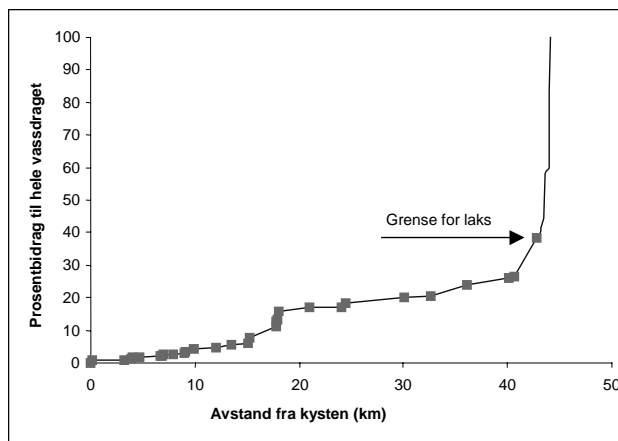
Figur 2. Høyde over havet på de ulike minsteenheterne (REGINE) i Mandalsvassdraget.

Vassdraget har lite av annen forurensing enn surt vann (Larsen & Haraldstad 1994).

2.3 Reguleringer

Kraftutbygging i vassdraget i større målestokk startet i 1930. Per i dag er det seks kraftstasjoner i vassdraget: Logna, Smeland, Skjerka, Håverstad, Bjelland og Laudal.

Det foreligger en forsøksordning for manøvrering av vannføringen i Mandalsvassdraget. Dette er et tilleggsgreglement i regi av 'Flerbruksplanen for Mandalsvassdraget'. I flerbruksplanen er det inngått avtale om en prøveperiode fra 16.6.97. VAE skal når Mandalselva er fullkalket levere en minstevannføring om sommeren på $2,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (perioden mai-september) og vintervannføring på $1,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ målt nedenfor samløpet med Kosåna.



Figur 3. Akkumulert nedslagsfeltareal i prosent i forhold til avstand fra kysten for lokalfeltene i den lakseførende delen av vassdraget.

Forsøksopplegget innebærer at det blir sluppet $1,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ i perioden 1. oktober til 30. april og $3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ om sommeren i minstevannføringsløpet nedenfor Manflåvannet. Når Laudal kraftstasjon stanses skal det slippes $8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ når tilsiget til Manflåvann er større enn dette. Laudal kraftverk skal ellers kjøres med minimum $15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ når tilsiget er større enn dette.

Det skal ikke foretas lastvariasjoner som overstiger hhv 5 og 2 MW per time om vinteren og sommeren.

2.4 Anadrom strekning

Det biologiske målet for kalkingen er å sikre tilstrekkelig god vannkvalitet for reproduksjon av laks i elva. Dette vil samtidig sikre livsmiljøet for de fleste andre forsøringsfølsomme vannorganismer. Laks og sjøaure kan vandre opp til Kavfossen, en strekning på 48 km. I vassdraget fins det sjøaure, stasjonær aure, abbor, ål og bekkerøye. Bekkerøye er satt ut, og naturlig rekruttering skjer i noen bekker (Heggenes & Saltveit 1992). Det er satt ut laksunger fra stamfisk fanget i Mandalselva. Denne er merket ved at fettfinnen er klipt. Stamlaksen er sortert slik at oppdrettslaks er ekskludert som avlsmateriale.

All settefisker er satt ut oppstrøms Laudal.

Det har blitt registrert oppvandring av merket laks som var satt ut som smolt i Audna. Det er ingen oversikt over hvor umerket laks kommer fra i Mandalselva, men ved registreringer på dam Manflåvann i 2000 og 2001 var det hhv 55 og 59 % umerket voksen laks (Hvidsten & Lamberg 2000, 2001).

3 Materiale og metoder

3.1 Forsøksmaterialet

Forsøksmaterialet består av vassdragets egenproduserte laksesmolt (villfisk) og anleggsprodusert smolt. Villfisken har et ukjent opphav. Fangst og eksponeringslokaliteter er angitt i **figur 1b**. Stamfisken er hentet fra Mandalselva hvor det er tatt fisk fra fangstfelle ved Laudal. Laksen er sortert slik at oppdrettsfisk er utelatt i settefiskproduksjonen. Produksjonsforholdene ved anlegget er dokumentert gjennom kultiveringsutvalgets års-rapporter.

Det ble satt ut tre grupper Carlin-merket smolt den 14. mai, hver på 1000 stk smolt. To grupper ble satt i kraftverks tunnelen til Laudal kraftverk og en gruppe ble satt nedenfor kraftverksutløpet.

Forskjeller i smoltkvalitet kan være relatert til forskjeller i vannkvalitet, men ettersom man ikke vet hvor fisken var før fangst, kan det derfor være vanskelig og uriktig å relatere den målte vannkjemien på fangststedet til fiske-responsene. Samtidig påvirker andre miljøvariabler innen vassdraget smoltkvaliteten uten at disse nødvendigvis måles eller registreres i en undersøkelse som denne. Det trenger således ikke være noen entydig sammenheng mellom "dose" og "respons" hos stedegen villfisk. Evalueringsgrunnlaget ble derfor supplert med anleggsprodusert fisk. Disse ble satt ut i bur plassert ved Kleveland, Logåna (sur bekk) samt på fangstområdet for villfisk (Finså). Eksponering av anleggsprodusert fisk på de ulike stasjonene vil representere et materiale hvor forhistorien til fisken er lik og eventuelle forskjeller som etableres gjennom en eksponeringsperiode i hovedsak vil skyldes egenskaper ved den enkelte eksponeringsstasjon. Forskjellene mellom stasjoner kan skyldes forskjeller i vannhastighet, temperatur og vannkvalitet. Ulik transportavstand kan også ha betydning. Faktorene vil normalt være kjente og kan inkluderes i evaluering av "dose-respons".

3.1.1 Fangstfelle

Smolt ble fanget med to ulike fangstredskaper 'River fish lift' (RFL) (**figur 4**) og en smoltskrue (**figur 5**). RFL fanger som en trål. Lysåpningen i trålen var 2x0,5 m,. (Tyler & Wright 1974 og Hesthagen & Garnås 1986). Fangstdelen av notposen ble utstyrt med akvarie for oppbevaring av smolten (Holst & McDonald 2000). RFL sto ute om natta og ble tatt opp om dagen.

Smoltskruen består av en trommel med en sentral aksling. Trommelens åpning er 1,5 m i diameter. Trommelen vender mot strømmen og er forsynt med innvendige skovler. Skovlene er vinklet i forhold til vann-strømmen og fører til at trommelen roterer. Når trommelen roterer blir smolten øst bakover av skovlene og ført til et fangst-

kammer bak trommelen. Smoltskruen var operativ hele døgnet.

Fellene var plassert ved Finså klekkeri.

Innsamlingen startet 25. april og varte til 14. juni. Smoltfellene ble tømt hver morgen og kveld. Det ble i alt registrert 507 laksesmolt, 226 aure og 24 laksunger. I alt ble det merket og satt ut igjen 361 laksesmolt med Carlin-merker. Smolten ble bedøvet ved hjelp av metomidat under merkingen. All smolt ble satt ut om kvelden etter akklimatisering. Det var trolig både sjøaure og innlands-aure i fangstene av aure, men det er ikke mulig å skille disse i fangstene.

Det ble tatt saltvannstest på grupper av smolt fra begge fellene for å avgjøre hvordan toleransen var for saltvann etter innfangingen. I alt ble det samlet inn 139 laksesmolt og 16 aure for analyse av livshistorieparametre. Det ble analysert lengde vekt, alder, kjønn, gonadeutvikling og om smolten var finneklipt.

3.1.2 Eksponeringsbur

Det ble benyttet samme type eksponeringsbur som benyttet tidligere i Mandal, samt i en rekke andre vassdrag på Sørlandet. Selve eksponeringsburene består av aluminiumsplater med slissehull (5 x 20 mm). Vannstrømmen brytes av en plog. Plogen fylles med stein for å holde burene nede og sørger for at de står støtt, selv under flom. Tekniske data er angitt i **figur 6**. I tillegg plasseres 4-6 større stein inni eksponeringsburet. Burene plasseres på steder hvor elva er "rolig" for å minimalisere fiskens energiforbruk. Burene plasseres normalt 0,5 til 2,0 m fra land, avhengig av vandedybde og strømforhold.

3.1.3 Prøvetakingsstørrelse og saltvannstester

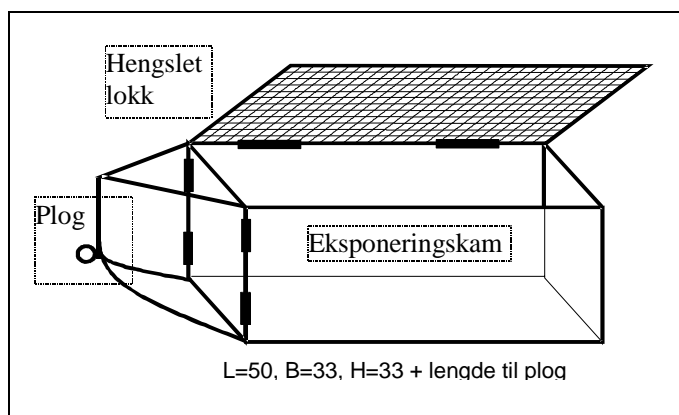
Inntil 10 laksesmolt ble prøvetatt av de enkelte fiskegruppene eksponert i elva, mens resten av fiskematerialet (inntil 20 smolt) ble benyttet til saltvannstesting (Clarke og Blackburn, 1987). Sjøvann til saltvannstestene ble produsert ved å løse ca. 30 g salt (Instant Ocean) pr. liter ferskvann. Dette vil gi en salinitet omkring 28-33 psu (promille). Saliniteten ble deretter justert til ca 34 psu ved bruk av en salinoterm. Alt vann til saltvannstester ble blandet samtidig for å unngå forskjeller i salinitet mellom eksponeringsgruppene. Hver saltvannseksponering ble utført i svarte plastkar med minst 40 L vannvolum. Vannet ble luftet med akvarieluftere. Dødelighet, plasmaklorid høyere enn 160 mmol eller økning i plasmaklorid på mer enn 20 mmol i saltvannstesten tolkes som sviakt i saltvannstoleranse (Hansen, 1998).



Figur 4. Trål (RFL) med akvarie for oppbevaring av smolten.



Figur 5. Smoltskrue plassert på strømsiden av elva.



Figur 6. Eksponeringsbur benyttet i fiskeforsøk utført våren 2001 i Mandalselva.

Temperaturen under saltvannstesten varierte mellom 5 og 9°C i løpet av døgnet, med de laveste temperatuene tidlig på morgenen eller ca 12 timer etter igangsatt eksponering. Lav temperatur (< 5-6 °C) vil forsinke smoltens evne til å reetablere normal blodsaltkonsentrasjon i saltvannstesten. Alle saltvannstestene hadde lik temperaturvariasjon og saltholdighet, slik at eventuelle variasjoner i respons mellom gruppene må tilskrives forskjeller i fiskematerialet, ikke testmiljøet.

3.2 Prøvetaking og analysemetoder samt responsevaluering

3.2.1 Fysiologiske prøver

Fra burene ble håndtert til all fisk var prøvetatt tok det normalt mindre enn 12 minutter. Fisken ble under prøvetakingsperioden holdt i en bøtte med vann under konstant lufting. Vann ble skiftet mellom hver gruppe og fisken ble kun oppbevart i vann fra samme lokalitet som fisken var eksponert til. Fisken ble forut for prøvetaking bedøvd med et lett slag (knipsing) mot hodet. Samtlige fisk ble veid til nærmeste tidels gram og lengdemålt (maksimal lengde naturlig utlagt) til nærmeste mm. Blodprøvene ble tatt fra kaudalårene med heparinisert sprøyter og overført til eppendorf rør og sentrifugert ved 11 000 rpm i 3,5 minutt. Plasma andelen av blodprøven ble deretter overført til et 0,5 ml eppendorf rør og frosset ned for senere analyse. Hematokritt ble fastsatt direkte etter sentrifugering (Compur M 1100 mikrosentrifuge) i felt. Glukose ble analysert på helblod ved bruk av blod glukose elektroder (Medisense) i felt.

Blodplasmaklorid konsentrasjon (plasma-Cl) ble bestemt på en Radiometer CMT-10 klorid-titrator etter tining. Før analyse ble prøvene sentrifugert i 30 sekunder og deretter ristet i 15 sekunder i en vibrator for å hindre feilanalyse på grunn av utfrysing av klorid fra prøven. Denne fremgangsmåten har vist seg å redusere måleavviket mellom 10 påfølgende prøver til under ± 2 mmol. Uten denne

prosedyren kan spredningen innen en prøve være på inntil ± 20 mmol, med ca 5 mmol i gjennomsnitt.

Andre gjellebue på fiskens høyre side ble dissekert ut umiddelbart etter prøvetaking av blod, og lagt på forhåndsinnveide syrevaskede telleglass for bestemmelse av total aluminiumkonsentrasjon ved LAK/IKB. Gjellen ble frosset ned i felt og transportert til laboratoriet i frosset tilstand. Ved laboratoriet ble hver prøve frysetørket og veid, før de ble oppsluttet i 10 % HNO_3 . Oppsluttede gjeller ble målt for aluminium ved bruk av induktivt koblet plasma emisjons spektroskopi (ICP). Resultatet angir konsentrasjon av aluminium som $\mu\text{g Al/l}$ pr. g tørrvekt gjelle.

Smoltifiseringsgraden ble bestemt på grunnlag av en sterkt modifisert versjon av smolt indeksen til Johnston og Eales (1970). Denne beskriver endringer i smolt drakten fra parr til sjøvannstolerant smolt (**tabell 1**).

3.2.2 Responsevaluering

Fysiologiske responser ble evaluert på bakgrunn av måling av dødelighet, plasmaklorid, hematokritt og glukose. Akkumulering av Al på gjellene er i bearbeidingen av materialet inkludert som dose i forhold til fysiologiske responser og representerer en respons i forhold til vannkvalitet.

I denne og i tidligere rapporter utarbeidet av NIVA og NINA er det forsøkt å standardisere vurderingene av tilstandsendringene i størst mulig grad. Kriteriene gitt i **tabell 2** er fastlagt av Kroglund og Finstad (upublisert) og vil bli justert etterhvert som erfaringene tilsier at det er nødvendig. Responsevalueringen i forhold til de fastsatte grensene representerer heller ikke strenge grenser, og må vurderes både på bakgrunn av art, livsstadium, vannkjemisk forhistorie samt endringer over tid eller i løpet av et forsøk. Det er ingen nødvendig sammenheng mellom responsnivåene mellom de ulike parametrene slik at hver verdi evalueres individuelt. Kompensatoriske mekanismer kan redusere effektene av en påvirkning (stressor).

Vi benytter mindre strenge kriterier for sjøvannstoleranse enn det som benyttes for fastsettelse av smoltkvalitet innen oppdrettsindustrien (Hansen, 1998). Mens oppdrettsindustrien krever at laksesmolt skal kunne regulere plasmaklorid konsentrasjonen til under 150 mmol i løpet av en 24 timers sjøvannstest, har vi satt grensen til 160 mmol. Foruten skadeevaluering basert på målte parametre, evalueres også smoltkvalitet på bakgrunn av beregnede differanser i plasmaklorid mellom konsentrasjoner, målt i ferskvann og etter at saltvannstestene er foretatt. I henhold til anbefalinger benyttet innen oppdrettsindustrien (T. Rosten pers. medd) bør denne differansen ikke overskride 12 mmol. Vi benytter en grenseverdi for mulig skade på 40 mmol (160 mmol-120 mmol = 40 mmol).

Tabell 1. Endringer i smolt drakten fra parr til sjøtolerant smolt (1-3) og hos desmoltifiserende fisk (4). Skalaen er basert på visuelle karakterer. Endring fra 1,5 til 2,5 (3) vil erfaringsmessig ta 3-4 uker, men modifiseres sterkt av bl.a. temperatur. Verdiene må fastsettes før fisken har tørket. Både uttørring og saltvannseksponering medfører sannsynlighet for feilbedømmelse.

Verdi	Morfologiske karakterer
-------	-------------------------

- | | |
|------|--|
| 1,0: | Parr-merker er tydelig synlig, ingen sølvfarging av fisken (typisk parr); |
| 1,5: | Parr-merker er synlig, noe sølvfarging. Fisken er ikke utvandningsklar. |
| 2,0: | Fisken er sølvfarget, parr-merker kan skimtes, mørkning av bryst- og halefennene, skjell sitter fast. Fisken er sjøvannsdyktig og kan vandre til sjøvann. |
| 2,5: | Fisken <u>er</u> sølvfarget, parr-merker er ikke synlig, finnene har mørke kanter (typisk smolt). Skjellene sitter fast. Fisken er smolt og er sjøvannsdyktig. |
| 3,0: | Fisken er smolt, skjellene er løse, men fortsatt lite skjelltap (maks 1-10 skjell). |
| 4,0: | Stort skjelltap ved håndtering. Smolten desmoltifiserer. |

Tabell 2. Kriterier for evaluering av fysiologiske effekter benyttet i denne rapporten. I saltvannstestene må smoltstatus og referanseverdier inkluderes som vurderingsgrunnlag.

		Enhet	Normaltilstog/in gen effekt påvist	Grense for effekt	Moderat effekt	Betydelig effekt	Akutt
Ferskvann	Dødelighet	%	0	> 0	1-10	10-30	100
	Plasmaklorid	mmol	> 120	120	119-110	109-90	< 90
	Hematokritt	%	< 45	45	46-54	55-65	> 65
	Glukose	mmol	< 5	5	5-9	9-12	> 12
	Gjelle-Al*	µg Al/g (tv)	< 10	10-30	31-100	> 100	> 400
Saltvannstest	Dødelighet	%	0	> 0	1-10	10-30	
	Plasmaklorid	mmol	< 160	160	161-170	171-190	> 190
	Hematokritt	%	> 40	40	39-30	29-20	< 20
Beregninger	Plasma Cl i sjøvann minus plasma Cl i ferskvann	mmol	< 30	40	41-60	61-100	> 100

3.2.3 Bearbeiding

Responser er tolket i henhold til kriterier angitt i vedlegg A. Forskjeller mellom ulike fiskegrupper ble testet med ANOVA. Kruskal Wallis ble benyttet for å påvise signifikansniva. Tukey ad hoc test ble benyttet for å påvise grupper som var signifikant forskjellige enten fra referansefiskene ved klekkeriet, eller for å påvise gruppeforskjeller. Signifikansnivået er satt til 0,05.

4 Resultat

4.1 Fysio-kjemiske forhold

4.1.1 Hydrologi

Vannføring på anadrom strekning i Mandalselva er sterkt påvirket av reguleringene oppstrøms Bjelland, samt av vannbidrag fra sidebekker på anadrom strekningen. Vannføringsstasjonen på henholdsvis Bjelland og Kjølmo kan representere vannføringen midtveis på anadrom strekning og i elvemunningen. Differansen i vannføring mellom de to stasjonene kan representere vannføringsbidrag fra sidebekker på strekningen fra Bjelland til Kjølmo.

Vannføringen på anadrom strekning varierer betydelig gjennom året, med lavest vannføring om sommeren og høyest om høsten (**figur 7**). I perioder er det en betydelig økning i vannføringen fra Bjelland til Kjølmo. Denne økningen skyldes vannføringsbidrag fra sidebekker nedstrøms Bjelland. I perioder hvor disse bidrar med minst 50 % av vannføringen ved Kjølmo vil vannkvaliteten i disse sidebekkene avgjøre vannkvaliteten i hovedelva. Sidebekkene bidro med > 50 % av vannføringen i perioden januar til slutten av mars. I april var bidraget normalt mellom 30 og 50 %, mens bidraget normalt var lavt (< 25 %) fra midten av april til september. I perioden januar til mars vil sidebekkene kunne påvirke vannkvaliteten i hovedløpet. Påvirkningen vil sannsynligvis ha vært marginal i smoltifiseringsperioden. Dersom de relative bidragene målt i 2001 er representative for normale årsvariasjoner i vannføring, vil den mest kritiske vannkvaliteten kunne oppstå på vinterstid.

4.1.2 Temperatur

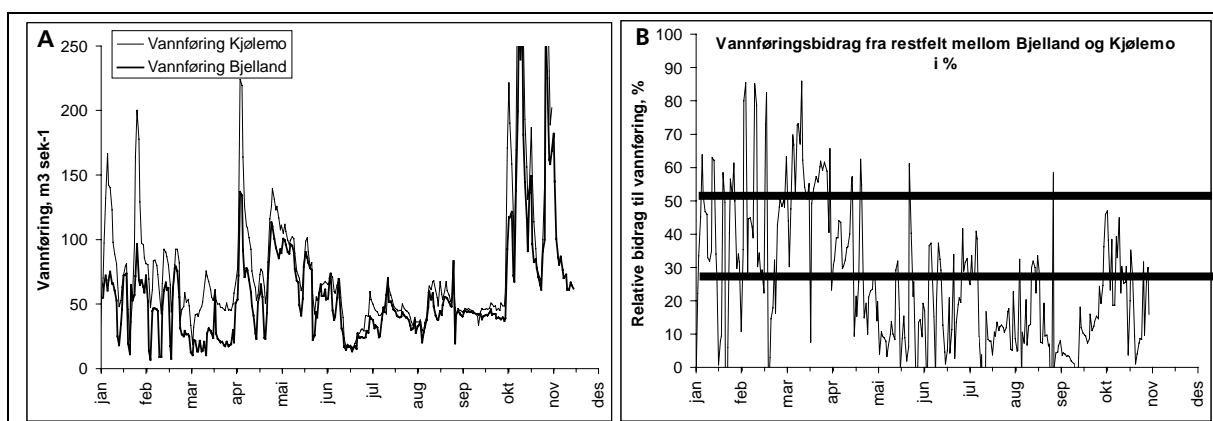
Det skjer et betydelig temperaturfall fra Bjelland til Kjølmo i vinterhalvåret. I perioder hvor vannbidraget fra restfeltet er stort avtar temperaturen nedover i vassdraget (**figur 8**).

4.1.3 Vannkvalitet

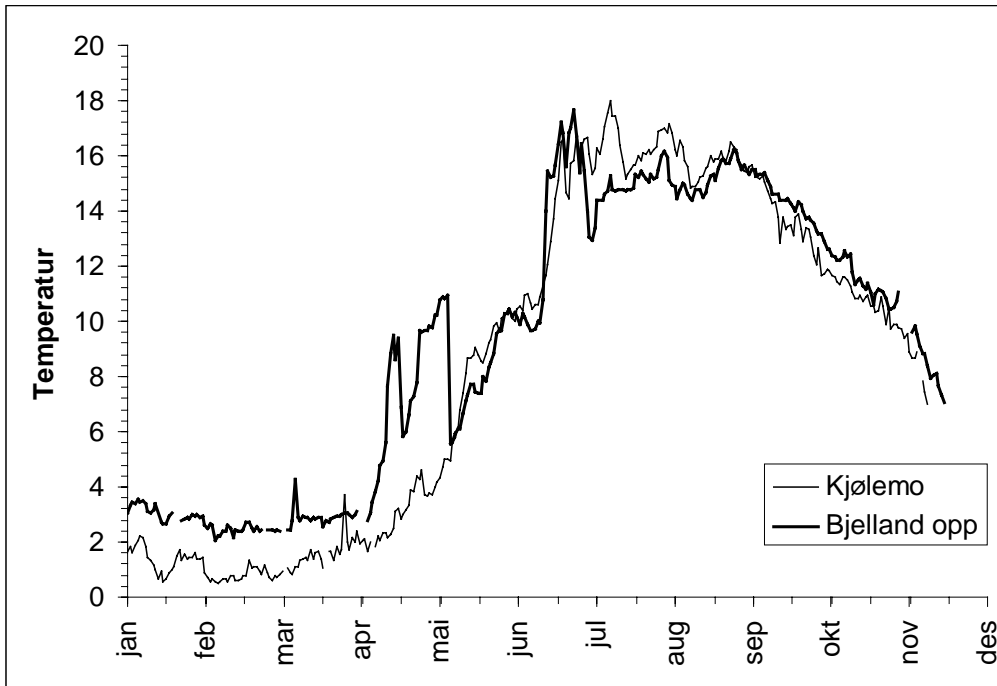
Basert på kontinuerlig logging av pH var pH nedstrøms Bjelland normalt høyere enn 6,0. pH sank til i overkant av 5,8 en kort periode i overgangen mellom januar og februar. Effektene av vannbidraget fra sidefeltene er mer tydelige i **figur 9b**. Fra januar til midten av februar var pH ved Kjølmo alltid lavere enn pH nedstrøms Bjelland. Denne pH-reduksjonen må skyldes bidrag av surt vann fra sidebekker.

4.1.4 Sammendrag av hydrologi og vannkjemi

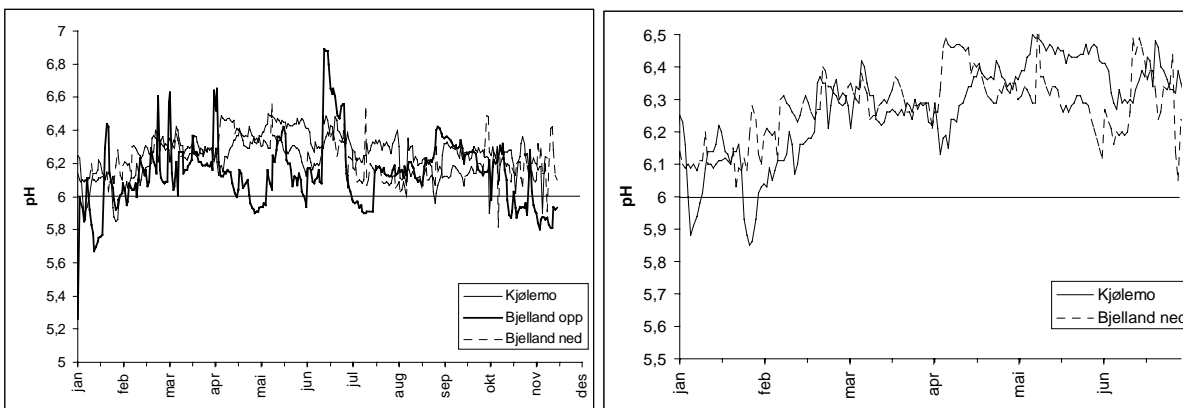
Sidebekkene bidro med store vannmengder fra januar til slutten av mars. Deretter avtok bidragene, som i mai og juni var små. Disse vannbidragene kan være årsak til temperaturreduksjonen fra Bjelland til Kjølmo over samme tidsperiode. Endringene i det hydrologiske mønsteret med påfølgende effekter på temperatur vil kunne innvirke på smoltutvikling og utvandringstidspunkt.



Figur 7a) Vannføring ved henholdsvis Bjelland og Kjølmo fra januar til november 2001. **b)** Vannføringsbidrag fra sidebekker mellom Bjelland og Kjølmo uttrykt i prosent av vannføringen ved Kjølmo.



Figur 8. Vanntemperatur ved Bjelland og Kjølemo fra januar til november 2001.



Figur 9. a) Kontinuerlig logging av pH ved Kjølemo, Bjelland nedstrøms kalkdoserer og Bjelland oppstrøms kalkdoserer. **b)** pH målt ved Bjelland nedstrøms kalkdoserer og ved Kjølemo.

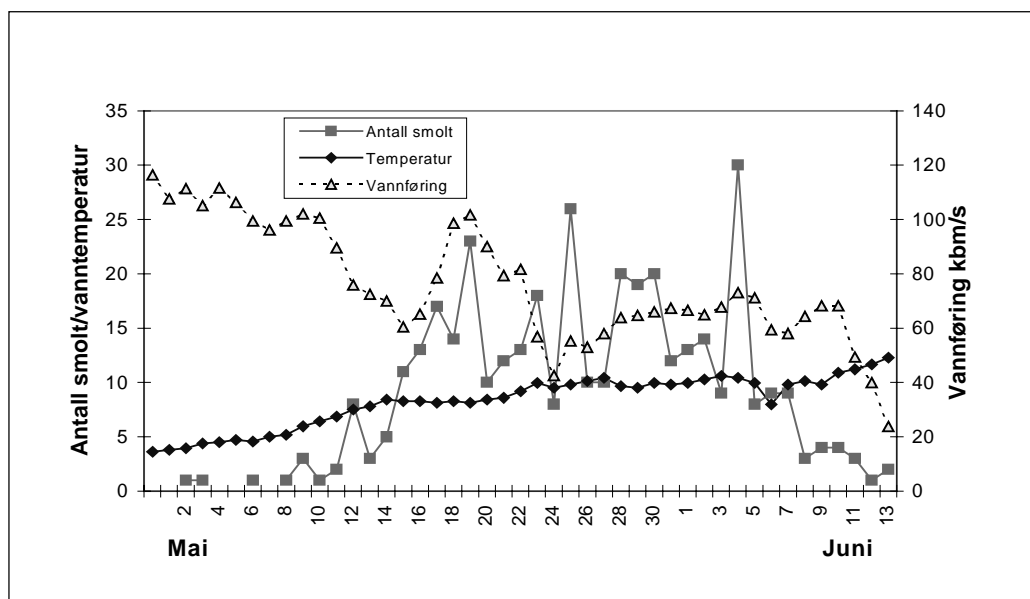
Vannbidragene fra restfeltet kan også være årsak til at pH var lavere ved Kjølemo enn nedstrøms Bjelland fra januar til midten av februar samt i det to første ukene av april. Utenfor disse periodene var forskjellene marginale, eller gikk i motsatt retning. Forskjellene i pH tyder på at vassdraget mottar surt vann. Disse vannkildene vil kunne bidra med aluminium. Ettersom pH i hele perioden fra februar til juni var høyere enn 6,1 og ettersom pH var høyere enn 6,3 i smoltutvandringsperioden, forventes det at aluminium ble avgiftet moderat raskt og at areal berørt av pågående Al-polymerisering var begrenset.

4.2 Fangstfellene

4.2.1 Utvandringsperiode for laks- og auresmolt

Innsamlingen startet 25. april og varte til 14. juni. Hovedutvandringen for laksesmolt var i perioden 13. mai til 8. juni (**figur 10**). Det var ingen store toppe av utvandrende smolt som ble registrert. Vannføringen varierte mellom 42 og 101 m³s⁻¹, mens vanntemperaturen økte jevnt fra 7,5 til ca 10 °C i utvandringsperioden. Under utvandringen var det en positiv sammenheng mellom antall smolt fanget og øking i vannføring. Det var utgang av smolt hver dag i perioden 13. mai til 8. juni.

Figur 10. Smoltutvandring av laks basert på fangst i skruen, sammenholdt med vannføring og vanntemperatur i Mandalselva 2001.



Vannføringen økte fra 60 til 120 m³s⁻¹ den 24. til 26. april uten at det ble registrert laksesmolt. Dette tyder på at smolten ikke var vandringsklar så tidlig som i april. Smoltregistreringen ble avsluttet 14. juni. På dette tidspunkt var det fortsatt noen smolt på utvandring.

Det ble i alt gjenfanget 10 Carlin-merkete laksesmolt som var satt ut, 7 stk ble registrert 15. mai, og en hver av dagene 16., 25. og 27. mai. Åtte smolt stammer fra utsettingene nedenfor utløpet av Laudal kraftverk. En smolt satt ut i tunnelen (14/5) ble gjenfanget død den 15., mens den andre gjenfangsten fra tunnelutsatt fisk var den 27. mai.

Auresmolten synes å vandret ut noe senere enn laksesmolten (**figur 11**).

4.2.2 Vandringsatferd

Andelen av finneklipte smolt var 39,7 % (149/226) av totalt antall smolt.

Den finneklipte smolten ble fanget noe seinere enn villsmolten. Halvparten av den umerkede smolten (ikke finneklipte) ble registrert inntil den 23. mai, mens halvparten av den merkede smolten (finneklipte) ikke ble fanget før 29. mai.

Utvandringstida var forskjellig for merket og umerket smolt ($p < 0,000$) (MannWhitney U test). Den umerkede (villsmolten) syntes å ha vandret ut før den finneklipte smolten (**figur 12**). Etter 20. mai synes vill og fettfinneklipt smolt å reagere likt på vandringsstimuli (**figur 12**).

All smolt ble fanget om natta.

4.2.3 Alder, vekst og kjønnsmodning hos smolt

Smolten som ble analysert besto av to og treåring. Det ble registrert en fireåring. Smoltalderen hos laksen var $2,3 \pm 0,1$ år (c.i. = 0,95) gjennomsnittslengden var $128,7 \pm 1,8$ mm (c.i. = 0,95). Toårig og treårig smolt var henholdsvis $129,3 \pm 2,4$ og $135,7 \pm 5,7$ mm (c.i. = 0,95). Det var ingen forskjell på merket (fettfinneklipt) og villsmolt i alder og lengde. Det var tendens til større variasjonsbredde i lengdefordelingen hos villsmolt i forhold til finneklipt smolt (**figur 13**).

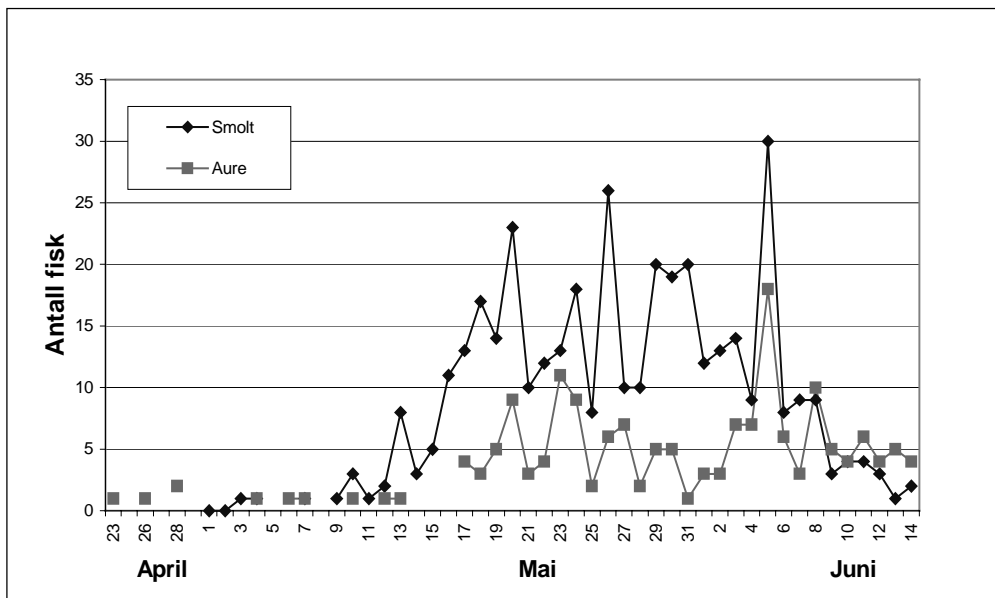
Det var ingen tendens til systematiske endringer i verken smoltlengde eller alder under utvandringen. Imidlertid var det noen smolt som hadde begynt å vokse våren 2001 (med opptil 4 sirkuli).

Andelen hunner og hanner var lik (52,2 og 47,7 % hhv hanner og hunner). Det var ikke forskjell mellom finneklipt og villsmolt (48,8/51,2 og 53,1/45,8)

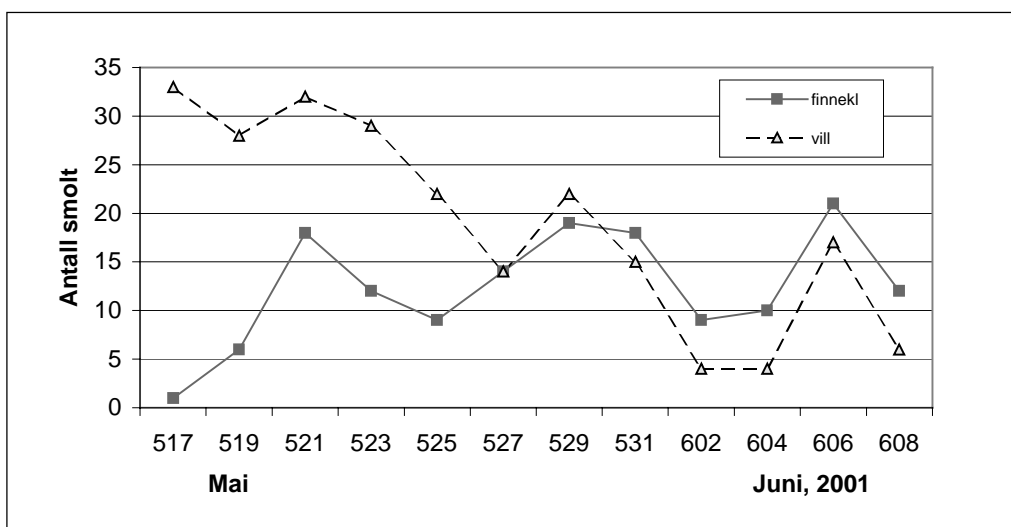
4.2.4 Smoltfangst i trål og smoltskrue

Sammenligning av trål (RFL) og smoltskrue kan ikke bli helt likt i alle sammenhenger. Blant annet vil plasseringen ha betydning for fangsteffektiviteten. Fellenes evne til å fange smolt skånsomt kan imidlertid sammenlignes direkte.

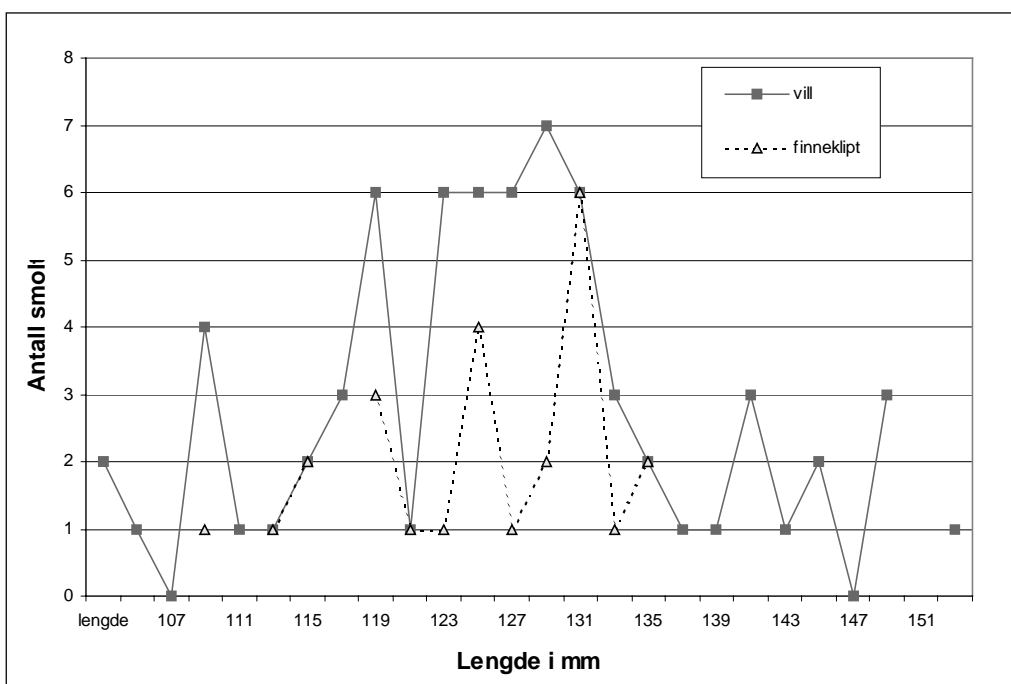
Fangsten var størst i smoltskruen i 24 av 27 felles fangst-døgn i perioden 2. mai til 1. juni. I smoltskruen og RFL ble det fanget henholdsvis 282 og 122 laksesmolt, dvs 2,3 ganger flere laksesmolt i skruen.



Figur 11. Utvandring hos lakse-smolt og aure i Mandalselva 2001.



Figur 12. Utvandring av fett-finneklippt- og villsmolt av laks i Mandalselva våren 2001.



Figur 13. Lengdefordeling hos vill og finneklippt toårig smolt fanget i Mandalselva 2001.

4.2.5 Dødelighet hos smolt under utvandringen

I perioden 2. mai til 1. juni ble det funnet hhv 2 og 29 døde laksesmolt i smoltskruen og i RFL. Dette utgjør en øyeblikkelig dødelighet på hhv 0,7 % og 23,8 %.

4.3 Fysiologisk status

4.3.1 Smolt ved klekkeriet

Fisk prøvetatt ved Finså klekkeri 9. mai 2001 kunne basert på morfologiske karakterer karakteriseres som smolt. Fisken var ca. 13,3 cm lang, veide 22,5 gram og hadde en K-faktor på 0,94 (**tabell 3**). Fiskens fysiologiske status basert på plasmaklorid og glukose var innenfor konsentrasjonsområdet som tolkes til å indikere "ingen negativ påvirkning"; dvs innenfor normalområdet for smolt i ferskvann. I sjøvannstesten hadde 27 % av fisken svakt forhøyet plasma Cl⁻ konsentrasjon (**tabell 4**). Gjennomsnittskonsentrasjonen (159 ± 20 mmol) for gruppen (n = 15) var likevel innenfor det vi har betraktet som akseptabelt for smolt (**tabell 2**). Det var en sammenheng mellom fiskestørrelse og plasmaklorid, hvor fisk som var < 12.5 cm ioneregulerte dårligere og ble dehydrert sammenliknet med fisk som var > 13.5 cm. Fisken ved klekkeriet ble vurdert til å være god smolt hvor enkeltindivid med svak hypoosmotisk kapasitet kan skyldes forskjeller i størrelse og utviklingsnivå.

Fisken hadde en gjelle-Al konsentrasjon på 23 µg Al g⁻¹ tv. Denne konsentrasjonen er noe høyere enn påvist tidligere år, men fortsatt innenfor et konsentrasjonsområde hvor det ikke forventes vesentlige effekter av Al på smoltkvalitet. Denne konsentrasjonen representerer bakgrunnsnivå hos fisk eksponert i bur.

4.3.2 Smolt eksponert i bur

Fisk prøvetatt i burene var gjennomgående mindre (lengde og vekt) enn referansefisken prøvetatt ved klekkeriet (**tabell 5**). Dette skyldes at de "store" fiskene var forbeholdt Carlinmerking og utsetting i elva. De "store" fiskene eksponert i burene ble forbeholdt saltvannstestene.

Bakgrunnskonsentrasjonen mhp gjelle-Al var 23 µg Al g⁻¹ tv (**tabell 6**). Konsentrasjoner høyere enn dette representerer en akkumulering i forhold til bakgrunnsverdiene, lavere konsentrasjoner en eliminering. Det var ingen endring i gjelle-Al i løpet av den første eksponeringsuken. Fra 15. til 22. mai avtok konsentrasjonen på begge stasjonene i Mandalselva, mens konsentrasjonen økte i Logåna. Fra 22. mai til 4. juni forble gjelle-Al konsentrasjonen uforandret ved Kleveland, mens denne økte med ca 10 µg ved Finså.

Tabell 3. Lengde, vekt og beregnet K-faktor på fisk prøvetatt ved Finså klekkeri 9.mai 2001. FW (n = 6) og SW (n = 15) skiller mellom fisk prøvetatt i ferskvann og etter saltvannstest.

			Vekt	Lengde	K-faktor
Finså klekkeri	9.mai	FW	22,5 ± 4,8	13,3 ± 0,8	0,94 ± 0,06
Finså klekkeri	9.mai	SW	21,3 ± 5,2	13,2 ± 1,0	0,91 ± 0,05

Tabell 4. Gjelle-Al (µg Al g⁻¹ tv), plasmaklorid (mmol), hematokritt (%), glukose (mmol) og dødelighet (%; kun saltvannstest) på fisk prøvetatt ved Finså klekkeri 9.mai 2001. FW (n = 6) og SW (n = 15) skiller mellom fisk prøvetatt i ferskvann og etter saltvannstest. Andel skadet fisk (%) er beregnet på bakgrunn av dødelighet og fisk som overskrider "ingen effekt" grensene angitt i **tabell 2**.

			n =	Gjelle-Al	Plasma Cl ⁻	Hematokritt	Glukose	Dødelighet	Andel skadet fisk Fysiologisk + andel død
Finså klekkeri	9.mai	FW	6	23,2 ± 6,8	124,9 ± 4,3	39,3 ± 1,5	5,0 ± 1,8		0
Finså klekkeri	9.mai	SW	15		159,2 ± 19,6	38,4 ± 3,1		0	27

Tabell 5. Lengde, vekt og beregnet K-faktor på fisk eksponert i bur plassert ved Kleveland, Logåna og ved Finså. FW (n = 6) og SW (n = 15) skiller mellom fisk prøvetatt i ferskvann og etter saltvannstest.

		Dato		Vekt	Lengde	K-faktor
Kleveland	Bur	15.05.2001	FW	12,3 ± 2,1	10,9 ± 0,8	0,94 ± 0,06
Logåna	Bur	15.05.2001	FW	11,9 ± 1,2	11,00 ± 0,3	0,89 ± 0,07
Finså elvestasjon	Bur	15.05.2001	FW	12,8 ± 2,5	11,2 ± 0,7	0,91 ± 0,05
Kleveland	Bur	22.05.2001	FW	10,1 ± 1,8	10,8 ± 0,6	0,8 ± 0,15
Logåna	Bur	22.05.2001	FW	15,0 ± 3,0	12,2 ± 0,8	0,82 ± 0,08
Finså elvestasjon	Bur	22.05.2001	FW	11,7 ± 3,1	11,4 ± 1,1	0,79 ± 0,08
Kleveland	Bur	04.06.2001	FW	14,3 ± 4,3	11,9 ± 1,3	0,84 ± 0,05
Finså elvestasjon	bur	04.06.2001	FW	13,1 ± 1,6	11,6 ± 0,6	0,83 ± 0,06
Kleveland	bur	04.06.2001	SW	23,9 ± 5,1	14,6 ± 1,3	0,76 ± 0,04
Finså elvestasjon	bur	04.06.2001	SW	19,5 ± 2,9	13,6 ± 0,5	0,78 ± 0,05

Tabell 6. Gjelle-Al ($\mu\text{g Al g}^{-1}$ tv), plasmaklorid (mmol), hematokritt (%), glukose (mmol) og dødelighet (%; kun saltvannstest) på fisk prøvetatt på bureksponert fisk i 2001. FW (n = 6) og SW (n = 15) skiller mellom fisk prøvetatt i ferskvann og etter saltvannstest. Andel skadet fisk (%) er beregnet på bakgrunn av dødelighet og fisk som overskrider "ingen effekt" grensene angitt i **tabell 2**.

	Dato		Gjelle-Al	Plasma Cl ⁻	Hematokritt	Glukose	Dødelighet	Andel skadet fisk Fysiologisk + andel død	
Finså klekkeri	9. mai	FW	6	23,2 ± 6,8	124,9 ± 4,3	39,3 ± 1,5	5,0 ± 1,8	0	
		SW	15		159,2 ± 19,6	38,4 ± 3,1		0	27
Kleveland	15. mai	FW		21,3 ± 6,5	126,5 ± 2,4	41,7 ± 6,4	3,9 ± 1,4	0	
Logåna		FW		21,8 ± 3,8	131,0 ± 3,3	45,8 ± 2,9	3,5 ± 0,2	0	
Finså elvestasjon		FW		23,9 ± 5,2	117,8 ± 4,0	48,5 ± 1,0	8,7 ± 4,8	0	17
Kleveland	22. mai	FW		13,5 ± 5,1	126,2 ± 1,3	46,6 ± 1,5	3,8 ± 0,6	0	
Logåna		FW		41,2 ± 49,2	121,2 ± 5,1	39,3 ± 3,9	8,6 ± 3,3	0	20
Finså elvestasjon		FW		18,4 ± 5,7	128,8 ± 4,7	47,7 ± 4,6	4,5 ± 2,1	0	
Kleveland	04. juni	FW		16,1 ± 5,1	125,4 ± 3,5	46,4 ± 5,8	4,0 ± 0,9	0	
Finså elvestasjon		FW		29,4 ± 36,0	118,8 ± 12,6	44,5 ± 1,0	8,6 ± 4,1	0	
Kleveland		SW			167,4 ± 11,8	31,8 ± 1,8		0	57
Finså elvestasjon		SW			184,4 ± 11,6	26,7 ± 3,3		0	100

Fiskens fysiologiske status varierte mellom stasjonene og over tid. Bakgrunnsverdier for plasma Cl⁻ var 125 mmol, 39 for hematokritt og 5 mmol for glukose (**tabell 6**). Avvik fra denne bakgrunnstilstanden ble registrert ved Finså elvestasjon 15. mai og 4. juni hvor plasmaklorid var redusert mens glukose var forhøyet. Fisken i bur hadde dårligere hypoosmotiske egenskaper tidlig i juni enn det fisken hadde ved klekkeriet 9. mai. Dette kan skyldes at den anleggsproduserte fisken hadde en påbegynnende desmoltifisering. Det var en økende tendens til skjelltap i juni i forhold til prøver tatt i mai.

Fisken i burene ble kun saltvannstestet i juni. På dette tidspunktet var fisk prøvetatt ved Kleveland mer saltvannstolerant enn fisk prøvetatt ved Finså-bur. Forskjellene i respons mellom Kleveland og Finså elvestasjon kan ikke uten videre forklares. Begge burene sto godt plassert mhp stømforhold, men buret ved Finså kan ha blitt mer forstyrret av aktiviteter forbundet med stell av smoltfellene. Forskjellene kan også skyldes forskjeller i vannkvalitet, hvor Al synes å være mer gjelle-reaktiv ved Finså-bur enn ved Kleveland.

Burplassering må forandres dersom forsøket skal gjennomføres også til neste år.

4.3.3 Smoltfelle

Gjelle-Al konsentrasjonen målt på fisk fanget i smoltfella var høy 15. mai, lav 4. juni. Det var stor spredning i konsentrasjon mellom enkeltindividene (22 til 130 $\mu\text{g Al g}^{-1}$ tv). Dette tyder på at enkeltindivid var eksponert for høyere konsentrasjoner av akkumulert Al enn det gjennomsnitt verdiene antyder. Resultatet tolkes som å indikere at det i vassdraget fortsatt forekommer kilder til akkumulert Al. Disse vil f.eks. være nedstrøms sure sidebekker.

Av prøvene tatt 15. mai (**tabell 7**) hadde 15 % gjelle-Al konsentrasjoner lavere enn 25 $\mu\text{g Al g}^{-1}$ tv, 70 % av prøvene hadde konsentrasjoner mellom 25 og 75 $\mu\text{g Al}$ og 15 % hadde konsentrasjoner høyere enn 75 $\mu\text{g Al}$. 4. juni var gjennomsnittsverdien lavere og 85 % av fisken hadde konsentrasjoner lavere enn 25 $\mu\text{g Al g}^{-1}$ tv. Denne variasjonen over tid er å forvente basert på endringer i det hydrologiske mønsteret innen vassdraget. Vannbidraget fra sidebekker var > 25 % umiddelbart forut for prøvetakingen 15. mai og avtok til < 15 % tidlig i juni. Likeledes kan både pH og transport av Al i sidebekkene ha blitt endret over tid, hvor det normale er økende pH utover sommeren. År med annet hydrologisk mønster eller annen vannkjemi i sidebekkene kan gi svært avvikende resultat.

Basert på prøver tatt av den nedvandrende "villfisken" var den fysiologiske statusen til fisk fanget i smoltskruen tilfredsstillende 15. mai, men noe svakere 4. juni (**tabell 8**). Samme forskjell i kvalitet ble også påvist i burekspo-

Tabell 7. Lengde, vekt og beregnet K-faktor på fisk prøvetatt på fisk innfanget i henholdsvis skruer og trål. FW ($n = 6$) og SW ($n = 15$) skiller mellom fisk prøvetatt i ferskvann og etter saltvannstest.

			Vekt	Lengde	K-faktor
Skrue	15. mai	FW	20,3 ± 4,8	14,1 ± 1,1	0,72 ± 0,04
Trål	15. mai	FW	21,4 ± 3,9	14,3 ± 1,2	0,73 ± 0,04
Skrue	4. juni	FW	18,9 ± 1,2	13,9 ± 0,3	0,70 ± 0,02
Trål	4. juni	FW	20,3 ± 6,0	14,0 ± 1,3	0,72 ± 0,06
Skrue	15. mai	SW	15,2 ± 3,9	13,1 ± 0,9	0,66 ± 0,05
Trål	15. mai	SW	19,4 ± 1,6	14,5 ± 0,6	0,63 ± 0,03
Skrue	4. juni	SW	20,8 ± 5,9	14,6 ± 1,3	0,66 ± 0,03
Trål	4. juni	SW	19,2 ± 9,6	14,3 ± 2,0	0,62 ± 0,05

neringene. Forringelsen kan ikke forklares med aluminium ettersom gjelle-Al avtok. Svekkelsen kan skyldes langt fremskredet smoltifisering, hvor påbegynnende desmoltifisering ikke kan utelukkes. Denne responsen kan ikke forklares tilfredsstillende basert på dette materialet.

Det ble foretatt komparative ferskvannsprøver mellom smoltskruen og trålen 4. juni. Begge gruppene hadde da lav plasmaklorid. Dette er et klassisk stressfenomen i ferskvann. Begge ferskvannsverdiene er 'unormale' stressverdier. Kun fisk prøvetatt i smoltskruen hadde normale hypoosmotiske egenskaper på dette tidspunkt. Det var betydelig dødelighet blant fisk eksponert i saltvannstest fra trålen. Forskjellene i respons tyder på at trålen opplever mer "stressende" enn smoltskruen.

Tabell 8. Gjelle-Al ($\mu\text{g Al g}^{-1}$ tv), plasmaklorid (mmol), hematokritt (%), glukose (mmol) og dødelighet (%; kun saltvannstest) på fisk prøvetatt på fisk innfanget i henholdsvis skruer og trål i 2001. FW ($n = 6$) og SW ($n = 15$) skiller mellom fisk prøvetatt i ferskvann og etter saltvannstest. Andel skadet fisk (%) er beregnet på bakgrunn av dødelighet og fisk som overskrider "ingen effekt" grensene angitt i **tabell 2**.

	n =	Gjelle-Al	Plasma Cl ⁻	Hematokritt	Glukose	Dødelighet	Andel skadet fisk Fysiologisk + andel død	
Skrue	15. mai	FW	6	63,6 ± 36,2	125,8 ± 4,1	42,5 ± 5,5	6,3 ± 1,5	0
Trål	15. mai	FW	6	68,3 ± 25,8	120,2 ± 8,3	49,1 ± 8,9	8,4 ± 3,2	75
Skrue	4. juni	FW	6	22,1 ± 5,3	109,3 ± 11,5	51,8 ± 8,2	6,4 ± 0,6	0
Trål	4. juni	FW	6	21,3 ± 4,9	91,3 ± 13,3	42,7 ± 23,4	8,7 ± 1,0	100
Skrue	15. mai	SW	19		147,7 ± 12,4	32,9 ± 6,7	4,0 ± 1,1	0
Trål	15. mai	SW	12		160,0 ± 5,9	38,5 ± 3,0		67
Skrue	4. juni	SW	15		150,5 ± 5,2	31,8 ± 8,1		0
Trål	4. juni	SW	9		171,7 ± 18,0	31,7 ± 13,3		67

5 Diskusjon

5.1 Smoltutvandring, smolt av kultivering- og naturlig opphav

Smoltutvandringen i 2001 var i perioden 13. mai til 8 juni. Det var forskjell på villsmolt og finneklipt smolt med hensyn til utvandringstidspunkt. Femtiprosent av villsmolten hadde vandret ut innen 23/5, mens 50 % av den fettfinneklipte smolten hadde vandret ut en uke senere. Dette kan ha sammenheng med at den finneklipte smolten er satt ut langt oppe i vassdraget og derfor har lenger strekning å vandre enn en del av villsmolten. I Stjørdalselva fikk en også senere utgang av smolt satt ut som yngel i øvre deler av vassdraget i forhold til villsmolt (Arnekleiv et al. 1999). Det kan heller ikke utelukkes at kultivert fisk har en annen utvandringssatferd enn villfisk, uten at mekanismene bak dette er kjent. Dersom dette er riktig kan marin overlevelse til kultiveringsfisk være svakere enn overlevelse til villfisk.

Smoltutvandringen tar vanligvis en måneds tid, og skjer normalt når sjøtemperaturen når 8 °C (Hvidsten et al. 1998). Ut fra Flødevigens historiske databaser som viser temperatur i kystvannet, vil det derfor være grunn for å anta at hovedutvandring i elva skal inntreffe i perioden 6.-10. mai (Hvidsten et al. 2000). Utvandringen i Mandalsvassdraget var om lag to uker senere enn dette. Denne tidsforsinkelsen kan ikke uten videre forklares, men ulike hypoteser kan fremsettes.

- Forventet utvandringstidspunkt er feilaktig satt
- Bestanden er under etablering og vassdragsspesifikke migrasjons-triggere er ikke etablert
- Vannføringsregimet er forandret gjennom reguleringene
- Sub-optimal vannkvalitet forsinket vekst og smoltifiseringstidspunkt

Et forhold som sannsynliggjør at smoltutvandringen var sen er at smolten på slutten av registreringene hadde begynnede tendenser til desmoltifisering. Smolt skal normalt vandre ut før den desmoltifiserer.

Det er mulig at utvandringstida ikke er optimal på grunn av at bestanden er under etablering. Smoltutvandringen var positivt korrelert til vannføringen. Vannføringen vil kunne regulere vandringshastigheten til smolten slik at større vannføring eller spyleflommer kan øke vandringshastigheten. Vannføringen er relativt stor, men det er lite trolig at laksestammen i elva er optimalt tilpasset denne og de øvrige omgivelsesvariablene som influerer på vandringsmønsteret. Imidlertid vil utvandringen, både initiering og vandringshastighet, hos smolt bli tilpasset gjennom naturlig seleksjon såfremt disse egenskapene ikke utvaskes gjennom immigrasjon av ikke-tilpassede gener.

På minstevannføringsløpet nedenfor dam Mannflåvann og ned til Laudal er det et problem for smolt på nedvandring at vannføringen er liten og lite variert. Trolig kan det være nødvendig å ha spyleflommer i mai for å sikre utvandringen fra dette oppvekstområdet. Det kan også være nødvendig av hensyn til smolten som vokser opp ovenfor dam Mannflåvann med spyleflommer. Det er imidlertid vesentlig å vite hvor stor dødeligheten er hos smolt som går gjennom kraftverket. Dersom det blir satset på et 'spyleprogram for utvandrende smolt' bør dette være et opplegg som en ser for seg kan benyttes gjennom mange år. Det er trolig behov for å hjelpe vinterstøinger nedover vassdraget fra dam Mannflåvann, og dette må sees i sammenheng med smoltutvandringen som faller sammen i tid.

Det kan synes som om smolten vandrer ut sent, og i forbindelse med lokkeflom 12-13 juni ble det observert betydelig med smolt (ca 200) på vandring ned fra dam Mannflåvann. Det er derfor trolig en viss utvandring av smolt utover sommeren.

Det synes å være forskjell på utvandringstida for den finneklipte smolten og villsmolten. Den finneklipte smolten ble satt ut som sommergammel yngel. Opphavet til både villfisk og den fettfinneklipte smolten er laks fra Mandalselva. Foreldrene til den anleggsproduserte fisken var villaks (hvor oppdrettslaks er tatt ut fra stamlaks-materialet), mens foreldrebakgrunnen til egg lagt naturlig i vassdraget er ukjent. Forskjellen på de to gruppene kan både skyldes effekter av selve oppdrettet, men også forskjeller i foreldrenes bakgrunn. Forskjellen i utvandringstid kan være en direkte effekt av at den finneklipte smolten er fra de øvre delene av vassdraget.

Det var få gjenfangster Carlin-merket smolt som er satt ut i tunnelen inn til Laudal kraftverk. Det ble bare gjenfanget en promille av disse i forhold til 8 promille fra utsettingene nedenfor Laudal kraftverk. Dette kan tyde på en betydelig dødelighet på den smolten som passerer kraftverket.

5.2 Smoltkvalitet

5.2.1 Klekkeri og burfisk

Carlin-merket smolt ved Finså klekkeri hadde en fysiologisk status innenfor normalområdet for smolt. Konsentrasjonen av gjelle-Al var lav ($23 \pm 7 \mu\text{g Al g}^{-1}$ tv), dog høyere enn grensen på $10 \mu\text{g Al g}^{-1}$ tv som normalt registreres hos smolt eksponert i vann uten Al. I saltvannstesten ioneregulerte de fleste fiskene normalt tidlig i mai. Fire individer hadde på det tidspunktet plasma Cl⁻ verdier høyere enn 160 mmol, hvorav to hadde verdier høyere enn 170 mmol. Ingen fisk døde i løpet av testen. Det konkluderes med at smolten ved klekkeriet hadde utviklet tilnærmet normale hypoosmotiske egenskaper. Akkumuleringen av gjelle-Al og fiskens fysiologiske status

var på samme nivå som i 1999, men betydelig bedre enn i 2000.

I løpet av bur-eksponeringene ble det etablert små, men signifikante forskjeller i gjelle-*Al* mellom stasjonene. Konsentrasjonen målt ved Kleveland avtok gjennom eksponeringsperioden, mens konsentrasjonen ved Finså burstasjon avtok frem til 22. mai for så å øke med 10 µg til 4. juni. Denne variasjonen i konsentrasjon i gjelle-*Al* antyder at det fortsatt er små mengder gjelle-reaktivt *Al* tilstede i vassdraget. Denne vil variere med variasjoner i det hydrologiske mønsteret samt med variasjoner i vannkjemii i de respektive sidebekkene innen anadrom strekning. Mer overraskende er de lave konsentrasjonene målt i Logåna. Denne sidebekken representerer en av de "sure" sidebekkene til vassdraget og høyere konsentrasjoner var forventet. Fisk eksponert ved Finså hadde svak fysiologisk status på to av prøvetakingstidspunktene. Dette ble påvist som lav plasma *Cl*- og forhøyet glukose. Denne responsen kan skyldes forskjeller i vannkvalitet, noe som delvis kan relateres til forskjeller i gjelle-*Al*. Andre årsaker, f.eks. forskjeller i håndteringsstress kan ikke utelukkes. Ettersom tilsvarende forskjeller også er påvist i tidligere år kan det ikke utelukkes at vannkvalitet er en viktig bidragsyter til responsen. De påviste forskjellene innen vassdraget tilsvarte forskjellene som også ble påvist i 1999 og 2000. Akkumuleringen av gjelle-*Al* var høyere i 2000 enn de andre to årene. Resultatet fra de tre undersøkelsesårene indikerer at vassdraget fortsatt tilføres aluminium.

Svak hypoosmotisk kapasitet ved Finså-bur i 2001, eller ved Holum i 2000 kan indikere at smolten i vassdraget har svekket marin overlevelse. Denne svekkelsen tiltar fra Kleveland og ned mot elvemunningen. Reguleringsnivået etter 24 timer i en saltvannstest er samtidig ikke så dårlig at det forventes massivt smolt-tap.

5.2.2 Sammenligning av trål og smoltskrue

I Mandalselva fisket smoltskruen vesentlig bedre enn tradisjonell trål. Våren 2000 ble det i perioden 28. til 31. mai fisket parallelt med smoltskrue og to ordinære smoltfeller (trål) (lysåpning 1 m²) i Orkla. Til sammen ble det fanget 33 smolt i de to ordinære fellene og 92 smolt i smoltskruen, dvs 2,8 ganger flere smolt i smoltskruen i forhold til de to andre fellene.

Plassering av fellene i elvetverrsnittet har betydning for fangsteffektiviteten. Smolten driver med strømmen i overflatelaget, trolig i det området av elvetverrsnittet som gir størst vandringshastighet. For at forsøket skulle være korrekt gjennomført skulle fellene ha byttet plass slik at de fisket på det samme området etter turnus. Dette var praktisk umulig. Imidlertid var det varierende vannføring under forsøket slik at hovedstrømmen flyttet seg i forsøksperioden og plasseringen var derfor ikke avgjørende for samlet fangstresultatet.

Fangsteffektiviteten til smoltskruen synes derfor å være betydelig bedre enn tradisjonell trålpose. Begge fangst-innretningene påvirket fisken i en uønsket retning. Graden av påvirkning var imidlertid forskjellig. Mens det i smoltskruen ble påvist et lite antall "skadet" fisk, påvirket trålposen flertallet av fiskene. Forskjellene var like store mhp intensitet i respons. I løpet av saltvannstestene døde 67 % av smolten som ble fanget i trålen. Denne hadde tildels betydelig skjelltap. Det var tilsvarende ingen dødelighet på smolt fanget i smoltskruen.

I tillegg var det en øyeblikkelig dødelighet på 1 og 23 % i hhv skruen i og trålen.

Fysiologiske forhold i ferskvann, for eksempel plasmaklorid viser at begge innretninger stresser fisken, men mindre i skruen. Dette fremkommer tydelig under sjøvannstestene som viser at skruen er det klart beste alternativet. Smolt som påvirkes av ulike stressorer forut for saltvannsfasen kan få redusert marin overlevelse. Dette er påvist i forbindelse med forsuring og etter håndteringsstress.

Det er ukjent om og eventuelt hvor mye av (den umerkede) smolten som ble fanget i smoltfellene som eventuelt har gått gjennom Laudal kraftverk. Det kan tenkes at smolt som har gått gjennom kraftverket kan ha blitt stesstet og forsinket i utvandringen selv om den ikke har blitt skadet.

6 Konklusjon

Smoltutvandringen var 14 dager senere enn forventet. Vi vet imidlertid ikke når optimalt smoltutvandringstidspunkt er. Forsinket nedvandring kan resultere i redusert marin overlevelse. Det vil i fremtiden være viktig å fastslå om forventet nedvandringstidspunkt er riktig fastsatt. Smoltinnfangingsperioden vil bli foreslått utvidet våren 2002.

Til tross for lite materiale, er det grunn til å anta at det er en betydelig dødelighet på smolt som passerer turbinene i Laudal kraftverk.

Basert på de fysiologiske målingene tatt av nedvandrende smolt synes smoltkvaliteten i vassdraget med visse merknader i hovedsak å være god. Enkeltindivid er fortsatt "skadet". Skadeomfanget, slik det påvises her, trenger ikke medføre tetthetsreduksjoner i ferskvannsfasen, men kan påvirke vekst og etablering av saltvannstoleranse. Smoltens fysiologiske status tidlig i juni kan påvirke marin overlevelse dersom resultat oppnådd ved NINAs forskningsstasjon, Ims legges til grunn (Kroglund og Finstad, 2000). I de forsøkene ble det registrert en 30% reduksjon i marin overlevelse hos subletalt stresset smolt som hadde gjelle-Al konsentrasjoner i området 30 til 40 $\mu\text{g Al g}^{-1}$ tv. En tilsvarende reduksjon i marin overlevelse er også påvist i smoltutsettinger i Altavassdraget. Her er stressoren håndtering, hvor smolt med fysiologiske responser som følge av transport hadde lavere overlevelse enn tilsvarende smolt som var restituert (Finstad og Iversen 2002).

Selv om målsettingen med kalkingen i hovedsak synes oppnådd, kan forbedringer i dagens kalkingsstrategi bidra til å øke marin overlevelse og derved til å øke fangst av tilbakevandrende voksen laks.

7 Litteratur

- Anon. 1993. Overvåking avlangtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport 1992. Statlig program for forurensingsovervåking, - Statens Forurensingstilsyn, rapport 533/93.
- Arnekleiv, J.V., Kjærstad, G. Rønning, L., Koksvik, J. & Urke, H.A. 1999. Fiskeribiologiske undersøkelser i Stjørdalselva 1990-1999. - Vitenskapsmuseet rapport Zoologisk serie: 2000-3.
- Clarke, W. C. & J. Blackburn. 1977. A seawater challenge test to measure smolting of juvenile salmon. - Fish. Mar. Serv. Tech. Rep. 705: 1-11.
- Blakar, I. & Digernes, L. 1991. Vannkvalitet i Mandalselva med sidevassdrag. - VAE, rapport (upublisert)
- Finstad, B., Iversen, M. & Sandodden, R. 2002. Stress reducing methods for release of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts in Norway. - Aquaculture, in press.
- Hansen, T. 1998. Oppdrett av laksesmolt. Landbruksforlaget. 232 s.
- Heggenes, J. & Saltveit, S.J. 1992. Reetablering av fiskebestanden i Mandalselva. - Rapp. Lab. Ferskv. Økol. Innlandsfiake, Oslo. 135: 1-77.
- Hesthagen, T. & Garnås, E. 1986. Migration of Atlantic salmon smolts in river Orkla of Central Norway in relation to management of a hydroelectric station. - North American Journal of Fisheries Management. 6: 376-382.
- Hindar, A. & Kroglund, F. 2000. Forsuringssituasjonen for laks i Vosso og vurdering av behov for ytterligere kalkingstiltak. -NIVA-rapport 4255: 1-40.
- Holst, J.C. & MacDonald, G. 2000. A device for gentle live catch of anadromous salmonids in surface trawl. - Fisheries Research 48: 87-91.
- Hvidsten, N.A., Heggberget, T.G & Jensen, A.J. 1998. Sea water temperatures at Atlantic salmon smolt entrance. - Nordic J. Fresh. Res. 74: 79-86.
- Hvidsten, N.A. & Lamberg, A. 2000. Telling av laks med Logie fisketeller koblet mot video. - NINA, rapport (upublisert) 13 s.
- Hvidsten, N.A. & Lamberg, A. 2001. Telling av laks med Logie fisketeller koblet mot video. - NINA, rapport (upublisert)
- Hvidsten, N.A., Knutsen, J.A., Torstensen, E., Danielsen, D. & Gjøseter, J. 2000. Konsekvenser av havneutbygging for laksesmolt fra Numedalslågen. - NINA Oppdragsmelding 661: 1-22.
- Johnston, C. E. & Eales, J. G., 1970. Influence of body size on silvering of Atlantic salmon (*Salmo salar*) during parr-smolt transformation. - J. Fish. Res. Bd. Canada 24: 955-964.
- Kaste, Ø. Kroglund, F. & Enge, E. 2000. Revidert kalkingsstrategi for Audnavassdraget i Vest-Agder - NIVA-rapport 4273: 1-38.

- Finstad, B., Kroglund, F., Hartvigsen, R., Teien, H.-C., Rosseland, B.O. & Salbu, B. 1999. Suldalslågen: Fisk og vannkjemisk status våren 1997. - NINA Oppdragsmelding 588: 1-32.
- Kroglund, F., H.C. Teien B.O. Rosseland E. Lucassen B. Salbu & Å. Åtland 1998a. Endring i aluminiums-giftighet i en humus-fattig elv ved bruk av kjemiske tiltak. Forsøk med laksesmolt i Suldalslågen.- NIVA rapport 3970-98: 1-102.
- Kroglund, F., Teien, H.C., Håvardstun, J., Rosseland, B.O., Salbu, B. & Kvellestad, A. 1998b. Varighet av blandsoner og betydningen av ulike aluminiumskonsentrasjoner og kalking for giftighet overfor lakseparr. Renneforsøk utført i Suldalslågen, høst 1996. - NIVA rapport 3815-98: 1-61.
- Kroglund, F., Teien, H.C., Lucassen, E., Håvardstun, J., Rosseland, B.O., Salbu, B. & Pettersen, M.N. 1999a. Avgiftingsrater til aluminium i humusrike vannkvaliteter og effekter på fisk. I. Reetableringsprosjektet, årsrapport 1998. - Utredning for DN, 1999-7: 1-40.
- Kroglund, F. & Finstad, B. 2000. Effekter av ulik vannkvalitet på fysiologisk respons, vekst, vandring og marin overlevelse hos to stammer av atlantisk laks. - NIVA-rapport 4381: 1-45.
- Larsen, P.A. & Haraldstad, Ø. 1994. Kalkingsplan for Mandalsvassdraget i Vest-Agder. - Flerbruksplan for Mandalsvassdraget. Fagrapport til faggruppe for fisk og forurensing, 57 s.
- Tyler, R.W. & Wright, T.E. 1974. A method of enumerating blueback salmon smolts from Quinalt Lake and biological parameters of the 1974 outmigration. - University of Wasington, Fisheries Research Institute, Final Report, Seattle.