

469

# OPPDRAKSMELDING

Overlevelse og vandring av laks utsatt  
som smolt i Audna og Lygna

Lars P. Hansen  
Magne Staurnes  
Kjell Fugelli  
Ørnulf Haraldstad



NINA • NIKU

NINA Norsk institutt for naturforskning

# Overlevelse og vandring av laks utsatt som smolt i Audna og Lygna

Lars P. Hansen  
Magne Staurnes  
Kjell Fugelli  
Ørnulf Haraldstad

## 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 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 "almenheten" eller særskilte grupper, f.eks. landbruket, fylkesmennenes miljøvern-avdelinger, turist- og friluftlivskretser o.l. De gis derfor en mer populærfaglig form og med mer bruk av illustrasjoner enn ovennevnte publikasjoner.

Opplag: Varierer

### Fakta-ark

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

Opplag: 1200-1800

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

Hansen, L.P., Staurnes, M., Fugelli, K. & Haraldstad, Ø. 1997. Overlevelse og vandring av laks utsatt som smolt i Audna og Lygna. - NINA Oppdragsmelding 469: 1-17.

Oslo, april 1997

ISSN 0802-4103

ISBN 82-426-0793-1

Forvaltningsområde:

Forurensning, Naturovervåking

Pollution, Environmental monitoring

Rettighetshaver ©:

Stiftelsen for naturforskning og kulturminneforskning

NINA•NIKU

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

Redaksjon:

Erik Framstad

NINA•NIKU, Oslo

Design og layout:

Synnøve Vanvik

Sats: NINA•NIKU

Kopiering: Norservice

Opplag: 150

Kontaktadresse:

NINA

Dronningensgt. 13

0105 Oslo

Tel: 22 94 03 00

Fax: 22 94 03 02

Tilgjengelighet: Åpen

Prosjekt nr.: 15386 Kalking

Ansvarlig signatur:



Oppdragsgiver:

Direktoratet for naturforvaltning

## Referat

Hansen, L.P., Staurnes, M., Fugelli, K. & Haraldstad, Ø. 1997. Overlevelse og vandring av laks utsatt som smolt i Audna og Lygna. - NINA Oppdragsmelding 469: 1-17.

Laksesmolt fra forskjellige stammer ble satt ut på to lokaliteter; i brakkvannsområdet og ca. 5 km. opp i en sur (Lygna) og en kalket elv (Audna) i syd Norge. Det ble observert høy sammenheng mellom gjenfangstprosent av voksen laks og fysiologisk tilstand og dødelighet av smolt som ble holdt i flytekasser på utsettingstedene. Av smolten som ble satt ut 5 km opp i Lygna, ble det gjenfanget svært få voksne laks, Smolten hadde store problemer med osmoreguleringen, noe som resulterte i dødelighet i saltvann etter kort tid. Na-K-ATPase aktiviteten i gjellene ble samtidig signifikant redusert. Disse resultatene tyder på at man kan utføre enkle tester, fysiologiske og med saltvannstoleranse etter eksponering til vannkvaliteten smolten skal settes ut i. Dette vil bidra til å fastslå når og hvor smolt skal settes ut for å gi god overlevelse i sjøen.

Smolten som ble satt ut i Audna kom tilbake til kysten av syd Norge, men til ferskvann var feilvandringen stor, og svært mye av laksen ble tatt i andre elver i syd Norge. De viktigste av disse var Otra hvor ialt 31.1 % av ferskvannsgjenfangstene var rapportert, mens 23.6 % ble rapportert gjenfanget i Mandalselva. Til sammenligning ble kun 10.9 % av gjenfangstene i ferskvann rapportert fra Audna. Mulige årsaker til feilvandringen er diskutert.

Emneord: Forsuring, kalking, vandring, overlevelse, atlantisk laks

Lars P. Hansen NINA, Tungasletta 2, 7005 Trondheim.  
Magne Staurnes Zoologisk Institutt, NTNU, 7034 Trondheim.  
Kjell Fugelli Biologisk Institutt, UiO, P.O. Box 1066, Blindern, 0316 Oslo.  
Ørnulf Haraldstad Fylkesmannen i Vest Agder, Miljøvernnavd., Rådhusgt. 34, 4065 Kristiansand.

## Abstract

Hansen, L.P., Staurnes, M., Fugelli, K. & Haraldstad, Ø. 1997. Survival and migration of Atlantic salmon released as smolts in River Audna and River Lygna. - NINA Oppdragsmelding 469: 1-17.

Smolts from several stocks of Atlantic salmon were released in the estuary of and 5 km upstream in an acid river (River Lygna) and a neighbouring limed river (River Audna) in southern Norway. There was good agreement between recapture rates of released smolts and physiological effects and mortality of fish retained over the same period in floating cages at the different release sites. Of the smolts released upstream in the acid river, scarcely any were recaptured as adults. The smolts retained in the cages in this river suffered from severe osmoregulatory failure and high mortality within a few hours. Gill Na-K-ATPase activities were significantly reduced. A few hours exposure in the acid river impaired the seawater tolerance of the fish. The results suggest that simple physiological challenge tests of smolts after exposure to the water in which they are to be released may be a useful tool for predicting survival after release, and may help decide when and where smolts should be released.

Adults released as smolts in the River Audna returned to the coast of southern Norway, but strayed considerably to freshwater, and the majority of returning salmon was recaptured in other rivers in southern Norway. Of the freshwater returns 31.1 % were reported from the neighbouring river Otra, and 23.6 % from another neighbouring river Mandalselv. In comparison, only 10.9 % of the freshwater returns were recaptured in River Audna. Possible explanations for this considerable straying are discussed.

Key words:

Lars P. Hansen NINA, Tungasletta 2, N-7005 Trondheim, Norway.  
Magne Staurnes Department of Zoology, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), N-7034 Trondheim, Norway.  
Kjell Fugelli Department of Biology, University of Oslo, P.O. Box 1066, Blindern, N-0316 Oslo 3, Norway.  
Ørnulf Haraldstad Environmental Protection Department, The County Governor of Vest-Agder, Rådhusgt. 34, N-4065 Kristiansand, Norway.

## Forord

I 1986 satte Direktoratet for naturforvaltning igang et prosjekt hvor effekten av usettinger i et surt vassdrag (Lygna) og et fullkalket vassdrag (Audna) skulle undersøkes. Utsettingene ble kombinert med fysiologiske undersøkelser av smolten som ble satt ut. Forsøkene ble gjentatt i 1987, og det ble også satt ut merket smolt i Audna i 1988, 1989, 1990 og 1992. Forsøkene har siden blitt vidreført som et del av et større opplegg. Det er mange som har deltatt i dette arbeidet, spesielt ønsker vi å takke staben på fiskeanleggene på Lundamo og på Ims. Dag Ekeland, Gordon Gyland og Berit Larsen har bidratt betydelig til gjennomføringen av opplegget. Direktoratet for naturforvaltning har finansiert undersøkelsene.

Trondheim, april 1997.

Lars P. Hansen  
prosjektleder

## Innhold

Referat.....	3
Abstract .....	3
Forord .....	4
1 Innledning .....	5
2 Materiale og metoder .....	6
3 Resultater.....	8
4 Diskusjon .....	15
5 Litteratur.....	16

# 1 Innledning

Forsuring av elver i syd Norge har sterkt påvirket den atlantiske laksen (Jensen & Snekvik 1972; Leivestad et al. 1976), og laksen er nå utryddet i minst 25 vassdrag (Hesthagen & Hansen 1991). I bløtt vann hvor det er lite organisk materiale, noe som er typisk for forsurede vassdrag i Skandinavia, er  $H^+$  (pH) og monomeriske aluminiumsforbindelser, sammen med calcium (Ca), vurdert til å være mest viktig for giftigheten av surt vann på livet i ferskvann (se for eksempel Wood & McDonald 1987; Exley & Phillips 1988; Rosseland et al. 1990).

De vanligste fysiologiske forstyrrelsene hos fisk som blir eksponert til surt vann er svikt i osmoreguleringen, syre-base reguleringen, respirasjonen og sirkulasjonen. Av disse er den første og siste vurdert til å være hovedårsaken til fiskedød i surt vann, også hvor det er mye aluminium tilstede (se for eksempel McDonald 1983; Wood & McDonald 1987; Exley & Phillips 1988; Wood 1989). De fleste problemene kan direkte eller indirekte relateres til effekter på struktur og funksjon av gjellene, og konsekvensene av aluminium i surt vann blir intercellulær oppsamling av mucus, skader på gjellene, økt permeabilitet på grunn av tap av Ca fra gjelleepitelet, akkumulering av Al intracellulært, og inhibering av enzymer som er viktige for opptak av ioner og for syre-base regulering, som Na-K-ATPase og karbonsyre anhydrase (sammenfattet av Wood & McDonald 1987; Exley & Phillips 1988; Rosseland et al. 1990; Rosseland & Staurnes 1994).

I innsjøer er det for lenge siden vist at kalking kan være et godt hjelpemiddel til å få ørret til å overleve, og kalking er idag rutine i mange innsjøer som et tiltak for å opprettholde fisket. I Norge har Audna blitt fullkalket siden 1985 (Rosseland & Hindar 1988), og det har blitt satt inn flere laksestammer for å restaurere en utdødd laksebestand. Dette har medført at laksen har kommet tilbake, og det har også blitt påvist naturlig reproduksjon i systemet.

Atlantisk laks er velkjent for sine presise hjemvandring til elva de forlot som smolt. Hjemvandringen synes å være inndelt i to faser; den første fasen dekker vandringen i åpent hav til kysten, og presisjonen er grov. Dette kan vi se fra en rekke merkeforsøk som viser at laksen ofte treffer norskekysten både langt nord og syd for hjemmelva (se for eksempel Hansen et al. 1993). Herfra må laksen velge riktig retning og navigere mellom holmer og skjær til den finner fjorden hvor barndommens elv munner ut. Denne andre fasen er svært presis, og laksen finner sin elv med stor presisjon. Noen laks finner ikke sin barndoms elv og vandrer opp i et vassdrag i nærheten av den for å gyte. At det finnes laks som vandrer opp i feil elv for å gyte synes naturlig, da dette vil bidra til å spre arten og sørge for å motvirke innavl i små populasjoner.

Hvordan finner laksen sin barndoms elv? Mange hypoteser har blitt foreslått, men fremdeles er ikke gåten løst i detalj. Noen forskere mener at laks som er kjønnsmoden kjenner

igjen og navigerer etter luktsporet av utvandrende smolt (feromoner) fra elva til oppvekstområdene i havet (Nordeng 1977). I følge feromonhypotesen er lukkestoffene populasjonsspesifikke. Andre forskere mener at den utvandrende smolten lærer veien ut i havet, og bruker informasjonen på sin tilbakevandring (Hasler & Wisby 1951; Harden Jones 1968). Hva den lærer kan være flere ting, for eksempel retning av himmellegemer, utnytter jordas magnetfelt, eller har en kartsans som gjør fisken i stand til å instille den riktige kompassretningen. Luktesansen synes også å være viktig. De fleste nyere undersøkelser støtter læringshypotesen.

Denne rapporten beskriver resultater av noen utsetninger av merket smolt i Audna og Lygna. Vi rapporterer fysiologisk status i forhold til marin overlevelse av laksen, dessuten ser vi på vandringsmønster til den voksne laksen.

## 2 Materiale og metoder

### Beskrivelse av lokaliteter

Audna og Lygna munner ut i de sydligste områdene av Norge, og nedbørfeltene grenser til hverandre (se figur 3). Den årlige middelvannføringen er noe større i Lygna ( $30 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) enn i Audna ( $22 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) (NVE 1987). I begge vassdrag ble laksen totalt utryddet tidligere i dette århundrede på grunn av forsurening (Jensen & Snekvik 1972; Hesthagen & Hansen 1991), men ørret finnes fremdeles naturlig.

Audna har blitt kontinuerlig kalket med et automatisk kalkingssystem siden 1985 (Rosseland & Hindar 1988), og man har startet et systematisk arbeide med å reintrodusere den atlantiske laksen i systemet. I denne rapporten presenteres resultater fra en rekke utsetningsforsøk med smolt i perioden 1986-92 (ikke data fra 1991). I 1986 og 1987 var problemstillingen å undersøke muligheter for å bruke smolt av forskjellige laksestammer til å etablere et fiske av laks i Audna, mens Lygna ble brukt som kontroll. Det ble lagt vekt på å finne fram til den beste utsetningsmetodikken, og det ble satt ut grupper av smolt både i brakkvannsområdet utenfor begge elver og ca. 5 km. opp i vassdragene. Samtidig ble det satt ut grupper av smolt i kasser på de respektive utsetningssteder for å undersøke smoltfysiologien i kalket og surt vann, for å sammenligne resultatene av disse med overlevelse av utsatt smolt både i kassene og etter ett til to års opphold i havet. Fra 1988 til 1992 ble utsettingene kun gjort i Audna, oppe i elva, men nedenfor kalkingsstedene.

Ved utsettingene i Lygna i 1986 ble pH målt til 4,8, mens ledningseven var  $20 \mu\text{Si cm}^{-1}$ , og vanntemperaturen var henholdsvis  $8,7^\circ\text{C}$  ved elvemunningen og  $8,5^\circ\text{C}$  5 km oppe i elva. I Audna var pH 6,6 og ledningsevnen  $23 \text{ m Si cm}^{-1}$ , mens vanntemperaturen var  $10,7^\circ\text{C}$  ved elvemunningen og  $6,0^\circ\text{C}$  5 km. oppe i elva. I begge elvemunningene var ledningsevnen kun litt høyere enn 5 km. opp i elvene, som viser at overflatevannet var svært lite brakt.

I 1987 var pH i Lygna 4,9 ved utsetting av fisk, mens ledningseven var  $20 \mu\text{Si cm}^{-1}$ . Vanntemperaturen var  $11,0^\circ\text{C}$  i elvemunningen og  $10^\circ\text{C}$  5 km. lenger opp. I Audna var pH 7,3 og ledningsevnen  $32 \mu\text{Si cm}^{-1}$ . Vanntemperaturen var  $11^\circ\text{C}$  i munningen og  $10,2^\circ\text{C}$  5 km. opp i elva. Dette året ble fisket utsatt lenger ut i estuariet, og saliniteten på 0,5 m dyp var 10 ‰ i Lygna estuariet, og 19 ‰ i Audna estuariet. **Tabell 1** viser størrelsesorden av pH, konsentrasjon av monomerisk labil aluminium og kalsium konsentrasjon målt flere ganger i begge elvene i 1986.

### Smoltfarge

For å estimere smoltfiseringen av laksen basert på farge, brukte vi en metode modifisert fra Johnston & Eales (1967) og Birt & Green (1986). Fisken ble inndelt i 4 kategorier: (1) parrmerker er klart synlige, ingen sølvfarge. (2) parrmerker er synlige, noe sølvfarging. (3) Sølvfarging, mindre synlige parrmerker, finnene er noe mørke, (4) Sølvfarget, parrmerker usynlige, mørke finner.

### Eksponeringsforsøk

I 1986 og 1987 ble 75-100 smolt fra henholdsvis Gaula og Loneelv plassert i flytekasser av tre (1,5 m lang, 0,75 m bred og 0,5 m dyp) og holdt på hvert av utsetningsstedene. Dødeligheten av smoltene ble registrert. Noen fisk ble på de forskjellige lokalitetene undersøkt for bestemmelse av hematokrit, blodplasma  $\text{Cl}^-$  konsentrasjon, vanninnhold i muskelvev og aktiviteten i gjellene av ionepumpeenzymet  $\text{Na}^+, \text{K}^+$ -ATPase aktivitet.

I 1986 ble laks fra Gaula undersøkt etter transport, men før utsetting, og etter 12 og 25,5 timer etter eksponering til henholdsvis Audna og Lygna, mens smolt fra Lonestammen ble undersøkt før utsetting og etter 26 og 33 timers eksponering til de samme vannkildene. I 1987 ble smolt fra begge stammer undersøkt før utsetting og etter 12 og 24 timers eksponering til begge vanntypene.

### Sjøvannstester

I 1986 undersøkte vi sjøvannstoleransen for smolt fra Gaula og Lone stammene før transport ved å måle  $\text{Cl}^-$  konsentrasjonen i blodplasma etter 24 timers eksponering til sjøvann (Clarke & Blackburn 1977). Testing av Gaula smolt foregikk på Lundamo fiskeanlegg i  $1 \text{ m}^2$  plastikk kar som inneholdt 800 liter sjøvann (33 ‰ salinitet, temperatur  $10^\circ\text{C}$ ). Vannet ble resirkulert og kontinuerlig gjennomblåst med luft. Lonestammen ble undersøkt på NINAs forskningsstasjon på lms i  $1 \text{ m}^2$  plastikk kar som kontinuerlig ble tilført saltvann (28-30 ‰, temperatur  $9^\circ\text{C}$ ).

I 1987 undersøkte vi sjøvannstoleransen av smolt fra begge stammer ved å holde dem i 24 timer ved saliniteter på henholdsvis 20 og 30 ‰, etter eksponering i 12 timer i vann fra Lygna og Audna. Forsøket foregikk i kar som inneholdt 80 liter saltvann som ble resirkulert og kontinuerlig gjennomblåst med luft. Vanntemperaturen varierte mellom  $9$  og  $12^\circ\text{C}$ .

For mer detaljert beskrivelse av metoder se Staurnes et al. (1996).

### Utsetting av smolt

I 1986 og 1987, som endel av Havbeiteprogrammet til Direktoratet for Naturforvaltning ble det satt ut smolt av forskjellige stammer på forskjellige lokaliteter i Audna og Lygna. I senere år har utsettingen fortsatt i Audna. Oversikt over smoltmateriale utsatt er vist i **tabell 2**.

Smolten ble produsert på to anlegg; Lundamo i Sør Trøndelag (Gaulastamme) og på NINAs forskningsstasjon på lms i Rogaland (Imsa, Loneelv og diverse stammer). Smolten ble individuelt merket med Carlinmerker (Carlin 1955) under bedøvelse med chlorobutanol, og etter en periode på minst 2 uker, ble smolten transportert med lastebil i tanker med gjennombobling av oksygen. Smolten ble satt direkte ut i elva. Gjenfangster ble rapportert fra sjøfiskerier og sportsfisket i vassdrag.



**Tabell 1. Størrelsesorden av noen vannkvalitetsparametere i Audna og Lygna i mai og juni 1986.**

	Audna	Lygna
pH	5.5-6.6	4.7-4.9
Ca, mg·L <sup>-1</sup>	2.1-3.8	0.7-1.4
Labil Al, µg·L <sup>-1</sup>	3-35	30-120

**Tabell 2. Oversikt over grupper av merket laksesmolt satt ut i Audna og Lygna 1986-1992.**

År	Elv	Uts. Sted	Stamme	Alder	Ant. Utsatt
14 mai 1986	Audna	Elva	Gaula	2+	2000
14 mai 1986	Audna	Elva	Lone	1+	433
14 mai 1986	Audna	Elva	Imsa	2+	465
14 mai 1986	Audna	Estuariet	Gaula	2+	2000
14 mai 1986	Audna	Estuariet	Lone	1+	440
14 mai 1986	Audna	Estuariet	Imsa	2+	489
14 mai 1986	Lygna	Elva	Gaula	2+	1999
14 mai 1986	Lygna	Elva	Lone	1+	246
14 mai 1986	Lygna	Elva	Imsa	2+	250
14 mai 1986	Lygna	Estuariet	Gaula	2+	1993
14 mai 1986	Lygna	Estuariet	Lone	1+	490
14 mai 1986	Lygna	Estuariet	Imsa	2+	246
21 mai 1987	Audna	Elva	Gaula	2+	1781
21 mai 1987	Audna	Elva	Lone	1+	912
21 mai 1987	Audna	Estuariet	Gaula	2+	1807
21 mai 1987	Audna	Estuariet	Lone	1+	958
21 mai 1987	Lygna	Elva	Gaula	2+	1851
21 mai 1987	Lygna	Elva	Lone	1+	851
21 mai 1987	Lygna	Estuariet	Gaula	2+	1877
21 mai 1987	Lygna	Estuariet	Lone	1+	948
19 mai 1988	Audna	Elva	Diverse	1+ og 2+	2906
28 april 1989	Audna	Elva	Imsa	1+	3982
16 mai 1990	Audna	Elva	Diverse	1+ og 2+	1991
19 mai 1992	Audna	Elva	Imsa	1+	2989
19 mai 1992	Audna	Elva	Lone	1+	2913



### 3 Resultater

#### Smoltstatus

Både i 1986 og 1987 hadde smolt fra Gaulastammen mindre tydelig smoltutseende enn smolt fra Lonestammen hvor smoltifiseringen syntes å være fullstendig (**tabell 3**). Imidlertid var det for alle fire grupper som ble testet ingen forskjell i Na-K-ATPase aktivitet, og denne var flere ganger høyere enn den som er målt ved hjelp av samme metode hos parr (se Staurnes et al. 1992). Derfor konkluderte vi at all fisk som ble utsatt var typisk smolt.

#### Dødelighet etter transport og eksponering i flytekassene

Det var ingen fisk som døde under transporten. Men både i 1986 og i 1987 døde all fisk som ble holdt i kasser 5 km oppstrøms i Lygna, og dermed ble eksponert til denne sure vanntypen, i løpet av 2 døgn (**figur 1 og 2**). I 1986 tok det noe lenger tid før Gaulasmolten døde enn for de andre gruppene. I 1986 døde omtrent 2/3 av Lone- og lmsasmolten etter 2 døgn eksponering til Audnavann 5 km oppstrøms, mens det var ingen dødelighet på Gaulasmolten. I 1987.

For gruppene som ble eksponert i elvemunningene i 1986 var dødeligheten omtrent tilsvarende den som ble observert 5 km opp i de to elvene (**figur 1**). I 1987 da flytekassene ble transportert lenger ut i estuariene og derved i brakkvann var det ingen dødelighet for noen av gruppene (**figur 2**).

#### Fysiologi etter transport og eksponering i flytekassene

I 1986 var gjennomsnittelig kloridkonsentrasjonene i blodplasma lavere og hematokritverdiene høyere etter transport enn gjennomsnittsverdiene før transport, mens vanninnholdet i epaxialmuskulatur var uforandret (**figur 1**). I 1987 ble effektene av transport ikke studert, men Lonesmolten hadde lavere plasmakloridnivå og høyere hematokritverdier etter transport enn Gaulasmolt (**figur 2**).

Sammenlignet med verdiene før eksponering i flytekasser, ble det i forbindelse med den høye dødeligheten av smolt i

Lygnavann observert nedgang i plasmaklorid, økning i hematokritnivå og høyere vanninnhold i muskulatur etter 12 eller 24-33 timers eksponering til vannkvaliteten. Alle forandringer var høyst signifikante (**figur 1 og 2**). Bortsett fra en lavere hematokritverdi for Lonesmolt på slutten av eksponeringen i 1987, var verdiene relativt like for begge stammene. Den relativt høye dødeligheten for Lonesmolt eksponert i Audna i 1986 samvarierte med signifikant lavere plasmakloridverdier og signifikant høyere vanninnhold i muskel sammenlignet med startverdiene, og også sammenlignet med tilsvarende verdier for Gaulasmolt eksponert til den samme vannkvaliteten (**figur 1**). Ingen av Gaulasmolten døde, og det ble heller ikke observert noen forandringer i fysiologiske parametere for denne stammen. I 1987 ble det verken observert dødelighet eller fysiologiske forstyrrelser for fisk eksponert til Audnavann.

Både i 1986 og 1987 og for fisk av både Gaula og Lonestamme ble det observert en nedgang i Na-K-ATPase aktiviteten etter 22-33 timers eksponering i Lygnavann, sammenlignet med startverdiene. Denne aktiviteten var også lavere enn for tilsvarende grupper eksponert til Audnavann (**tabell 4**).

#### Sjøvannstoleranse etter eksponering i flytekassene

Eksponering av Gaula og Lonesmolt i 12 timer i Lygnavann resulterte i en betydelig reduksjon i saltvannstoleransen, demonstrert av 100 % dødelighet av fisk fra begge stammer etter en 24 timers test i 30 ‰ saltvann og nær 50 % dødelighet etter 24 timer i 20 ‰ (**tabell 5**).

#### Overlevelse av utsatt smolt

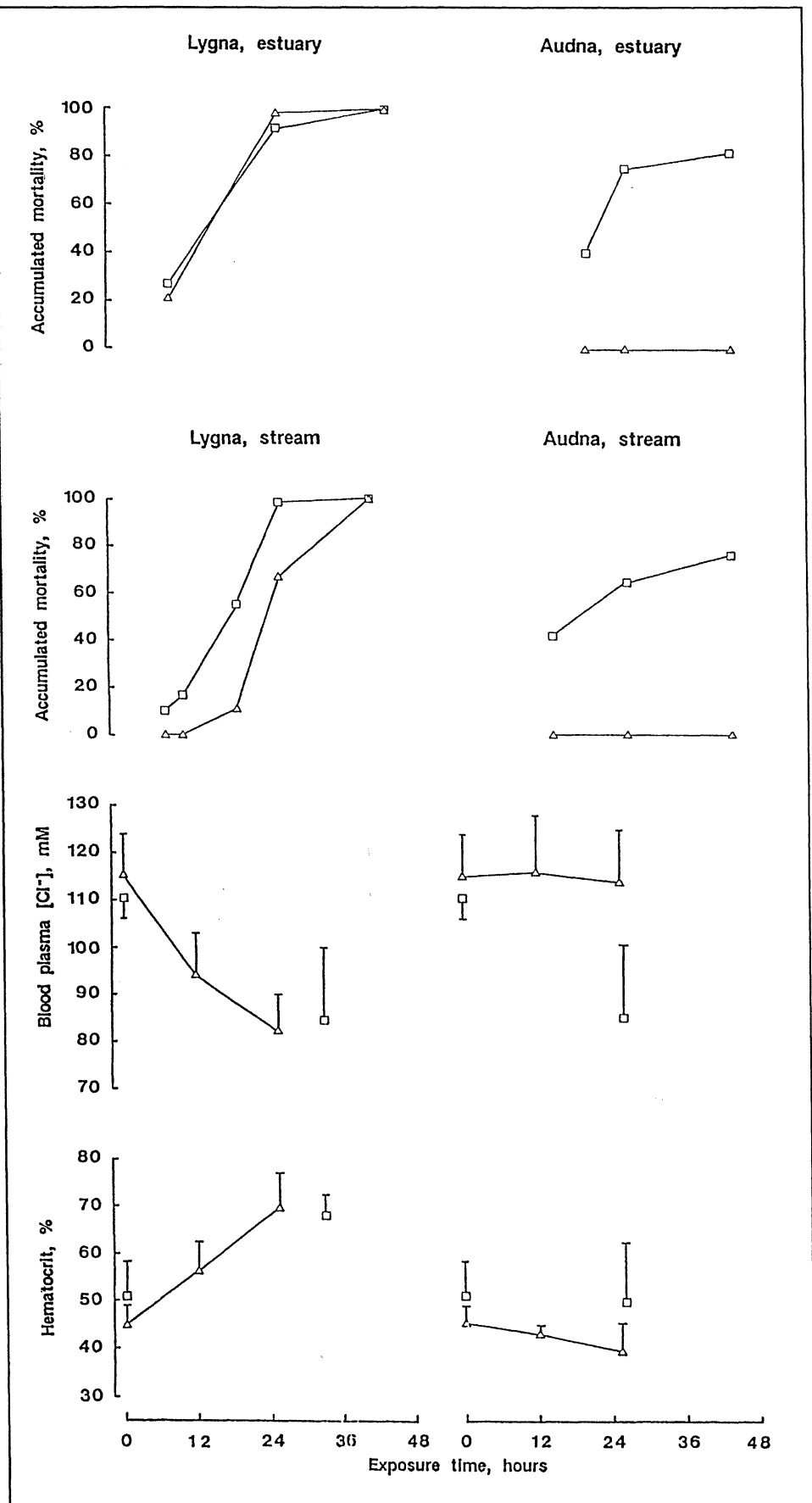
De rapporterte gjenfangst av voksen laks varierte med utsetningssted, stamme og år utsatt (**tabell 6**). Av smolten satt ut i 1986 var det svært dårlig gjenfangst av den som ble satt ut både i munningen og 5 km oppe i Lygna, mens tilsvarende grupper som ble satt ut i Audna ga mye høyere overlevelse. I 1987 overlevde ikke smolten som ble satt ut i selve Lygna, men den som ble satt ut i brakkvann i munningen overlevde relativt godt og omtrent i samme grad som gruppene satt i Audna.

**Tabell 3.** Smoltfarge (skala 1-4), gjelleaktivitet av Na-K-ATPase ( $\mu\text{mol } P_i \cdot (\text{mg prot.})^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) av de forskjellige grupper av smolt i ferskvann ( $N=12$ ) og  $\text{Cl}^-$  konsentrasjon (mM) i blodplasma 24 timer etter overføring til 33‰ saltvann (test med fisk av Gaula stamme,  $N=12$ ) og 28-30‰ (Lone stamme,  $N=10$ ). Smoltfarge og aktivitet av Na-K-ATPase ble registrert etter transport, men før utsetting. Verdier er gitt som gjennomsnitt  $\pm$  SD.

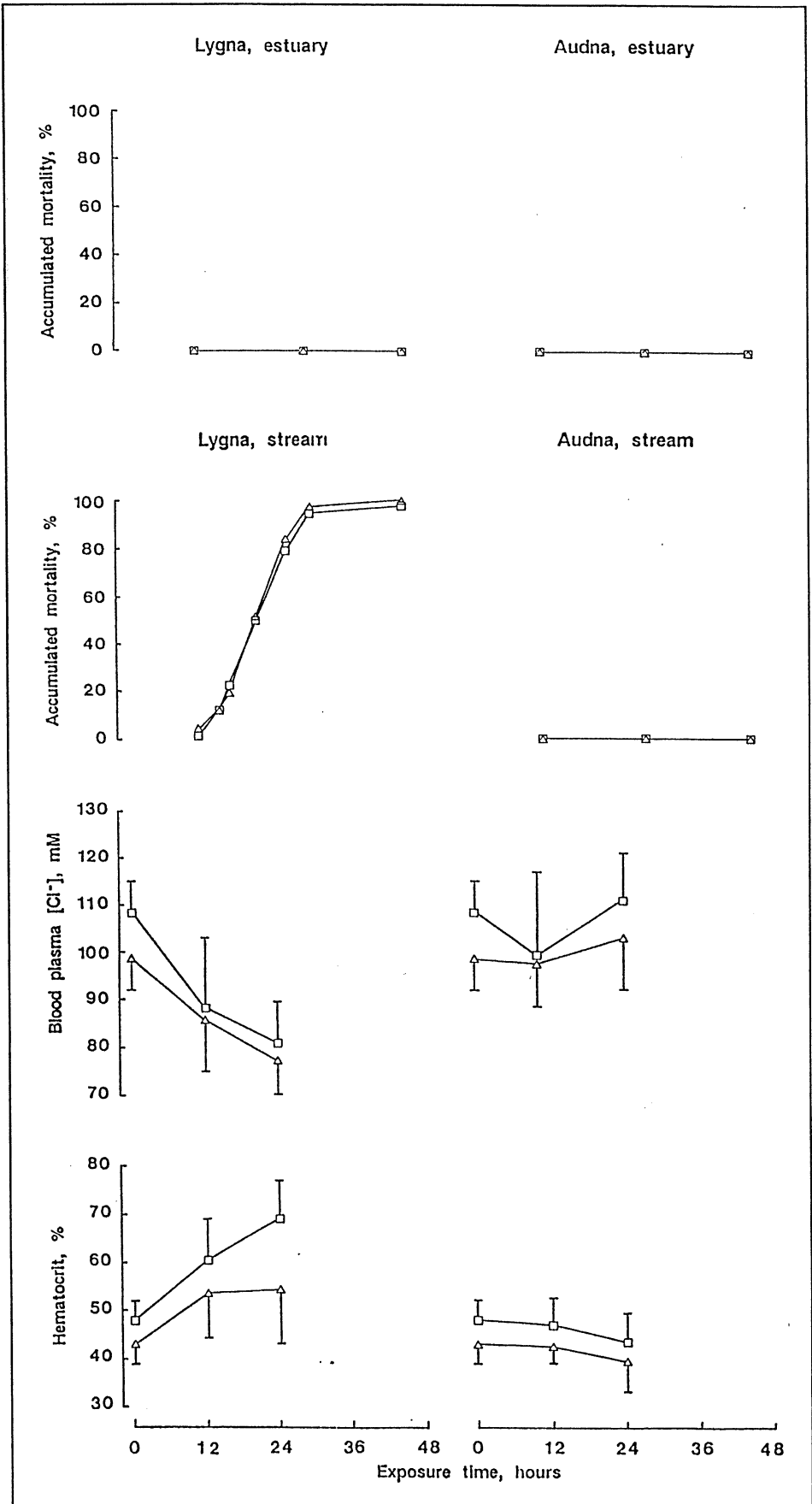
Utsetningsår	Stamme	Smoltfarge	Gjelle Na-K-ATPase	Plasma klorid
1986	Gaula2+	3,0 $\pm$ 0,5	4,72 $\pm$ 1,22	144 $\pm$ 12
1986	Lone1+	4,0 $\pm$ 0,0 <sup>a</sup>	4,22 $\pm$ 1,01	140 $\pm$ 6
1987	Gaula2+	3,1 $\pm$ 0,4	5,39 $\pm$ 0,88	-
1987	Lone1+	4,0 $\pm$ 0,0 <sup>a</sup>	5,18 $\pm$ 1,02	-

<sup>a</sup>Signifikant forskjellig fra tilsvarende fisk av Gaulastamme samme år.

**Figur 1.** Akkumulert dødelighet, plasmakloridkonsentrasjon, hematokrit og vannmengde i epaxial-muskulatur av smolt av atlantisk laks fra Gaula (●), Loneelv (◆) og Imsa (▼) etter eksponering i Lygna og Audna in 1986. Negativ tid representerer transporttid. Verdier er vist som gjennomsnitt med standardavvik, N = 7-12 (a: verdi som er signifikant forskjellig fra den før utsetting; b: verdien er signifikant forskjellig etter 12 timers eksponering; c: verdien er signifikant forskjellig fra tilsvarende fisk fra Gaula-stamme; d: verdien etter transport var signifikant forskjellig fra den tilsvarende verdi før transport).



**Figur 2.** Akkumulert dødelighet, plasmakloridkonsentrasjon og hematokrit av laksesmolt fra Gaula (●) og Loneelv (◆) etter eksponering i Lygna og Audna in 1987. Verdier er vist som gjennomsnitt med standardavvik, N=8-12 (a, b og c som i figur 1.).



**Tabell 4.** Gjelleaktiviteten av Na-K-ATPase ( $\mu\text{mol P}_i(\text{mg prot.})^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ) hos smolt av Gaula og Lonestammen etter 24-33 timers eksponering til Audna og Lygnavann, men før utsetting. Verdiene er gitt som gjennomsnitt  $\pm$  SD (N = 9-12).

Utsetningsår	Stamme	Før utsetting	24-33t i Audna	24-33t i Lygna
1986	Gaula2+	4,72 $\pm$ 1,22	4,39 $\pm$ 1,01	3,46 $\pm$ 0,55 <sup>ab</sup>
1986	Lone1+	4,22 $\pm$ 1,01	3,19 $\pm$ 1,27 <sup>c</sup>	1,13 $\pm$ 0,35 <sup>abc</sup>
1987	Gaula2+	5,39 $\pm$ 0,88	4,91 $\pm$ 0,81	4,59 $\pm$ 0,44 <sup>a</sup>
1987	Lone1+	5,18 $\pm$ 1,02	5,57 $\pm$ 1,04	3,37 $\pm$ 0,77 <sup>abc</sup>

- a Signifikant forskjellig fra tilsvarende gjennomsnittsverdi før utsetting,  
 b Signifikant forskjellig fra tilsvarende gjennomsnittsverdi etter 24-33 timers eksponering til Audnavann,  
 c Signifikant forskjellig fra tilsvarende gjennomsnittsverdi for smolt av Gaulastamme samme år,

**Tabell 5.** Dødelighet av smolt (%) eksponert til vann fra Audna og Lygna i 12 timer etter 24 timers opphold i vann med 20 ‰ or 30 ‰ salinitet,

Salinitet ‰	Stamme	Lygnavann	Audnavann
20	Gaula2+	47	0
20	Lone1+	40	0
30	Gaula2+	100	13
20	Lone1+	100	13

**Tabell 6.** Rapportert gjenfangst som voksen (% av antall utsatte smolt) av de forskjellige gruppene satt ut i Lygna og Audna i 1986 og 1987,

Utsetningsår	Stamme	Lygna Utsatt estuariet	Lygna Utsatt elva	Audna Utsatt estuariet	Audna Utsatt elva
1986	Gaula 2+	0,5	0,0	2,5 <sup>ab</sup>	4,5 <sup>abc</sup>
1986	Lone 1+	0,8	0,8	5,9 <sup>abd</sup>	2,6 <sup>abc</sup>
1986	Imsa 2+	0,6	0,0	5,9 <sup>ab</sup>	2,6 <sup>ab</sup>
1987	Gaula 2+	3,8 <sup>e</sup>	0,0 <sup>c</sup>	5,2 <sup>abe</sup>	5,0 <sup>b</sup>
1987	Lone 1+	4,1 <sup>e</sup>	0,0 <sup>c</sup>	4,7 <sup>b</sup>	4,8 <sup>b</sup>

- a Signifikant forskjellig fra gjenfangstprosenten av smolt av samme stamme utsatt det samme året i estuariet utenfor Lygna,  
 b Signifikant forskjellig fra gjenfangstprosenten av smolt av samme stamme utsatt det samme året i Lygna,  
 c Signifikant forskjellig fra gjenfangstprosenten av smolt av samme stamme utsatt det samme året i estuariet til den samme elva,  
 d Signifikant forskjellig fra gjenfangstprosenten av fisk av Gaulastamme utsatt på det samme sted samme år,  
 e Signifikant forskjellig fra gjenfangstprosenten av laks av samme stamme utsatt på det samme sted i 1986,

## Vandring

Flere grupper av den utsatte smolten ga svært dårlig gjenfangst. Disse er ikke tatt med i analysen over presisjon i tilbakevandring, og gjelder all smolt utsatt i Lygna, bortsett fra gruppen som ble satt ut i brakkvann i fjorden utenfor elven i 1987. Dessuten ga smolten som ble utsatt i Audna i 1988 og 1990 svært dårlig overlevelse, og denne er heller ikke tatt med (**tabell 2**). De fleste gjenfangstene ble rapportert fra sjøfiskerier, og mange av disse ble fanget på Sørvestlandet og på Sørlandet. Dette kan sees av **figur 3** som viser geografisk fordeling av gjenfangst av voksen laks satt ut som smolt i brakkvannsområdet i Audna i 1987. Feilvandringen, målt som prosent av total antall gjenfangster i ferskvann rapportert fra andre elver enn ut-

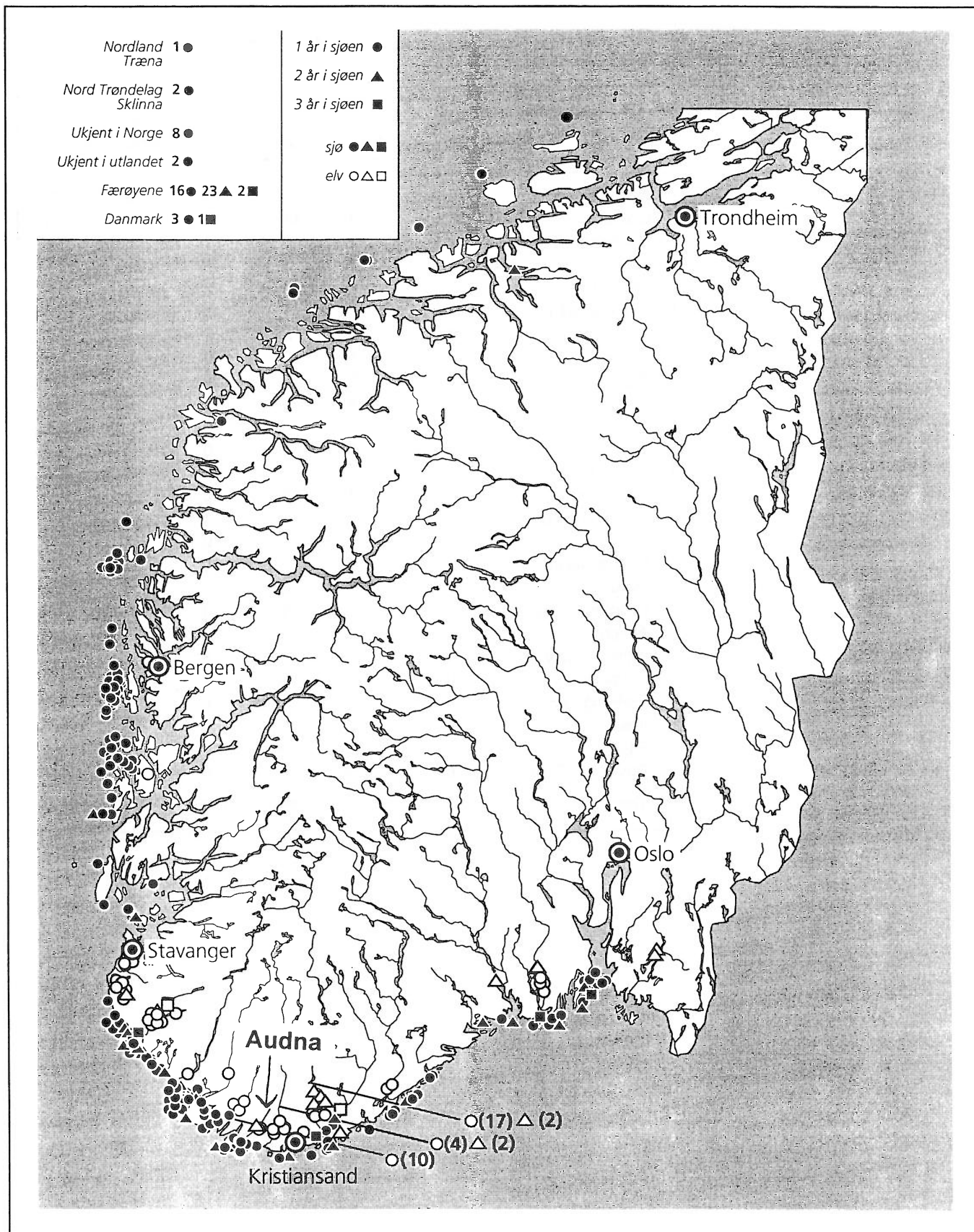
settingslokaliteten, var meget høy for alle grupper satt ut i Audna (83-97 %) (**tabell 7**). Feilvandringen var stor for alle stammer satt ut, og derfor er disse slått sammen. Det er også interessant å merke seg at det var ingen forskjell på feilvandring mellom gruppene som ble satt ut 5 km opp fra munningen av Audna, og gruppene som ble satt ut i brakkvann i munningen. Gruppen som ble satt ut i brakkvann utenfor Lygna hadde signifikant mindre feilvandring enn tilsvarende grupper utsatt i Audna. Feilvandrerne var utbredt over et relativt stort område fra Hordland til Østfold (**tabell 8**), men de fleste ble tatt i nabovasdragene til Audna. Hele 31,1 % og 23,6 % av ferskvannsgjenfangstene ble rapportert fra henholdsvis Otra og Mandalselva, men 10,9 % ble rapportert fra Audna.

**Tabell 7.** Fordeling av gjenfangster av voksen laks på elv og sjø, feilvandring (% laks fanget i andre elver enn utsettingselven/ total antall gjenfangster i ferskvann) og total gjenfangst i prosent av antall utsatte smolt, De forskjellige stammene satt ut på de enkelte lokaliteter de enkelte år er slått sammen, (R) = utsatt i elva; (E) = utsatt i brakkvann,

Utsettingsår	Sted	Antall utsatt	Gjenfanget uts,elv	Gjenfanget andre elver	Gjenfanget sjø	% feilvandring	% gjenfangst
1986	Audna (R)	2929	3	23	66	88	3,1
1986	Audna (E)	2898	3	23	78	88	3,6
1987	Audna (R)	2693	3	43	88	96	4,9
1987	Audna (E)	2765	1	32	106	97	5,0
1987	Lygna (E)	2825	13	11	86	46	3,9
1989	Audna (R)	3982	7	34	69	83	2,8
1992	Audna (R)	5903	12	94	72	89	3,0

**Tabell 8.** Antall laks utsatt som smolt i Audna som er gjenfanget i forskjellige vassdrag

Elv	Utsatt 1986	Utsatt 1987	Utsatt 1989	Utsatt 1992	Totalt antall	Fordeling %
Audna	6	3	7	13	29	10,9
Mandalselv	26	13	14	10	63	23,6
Tovdalselv	4	1	0	1	6	2,2
Otra	1	27	7	48	83	31,1
Nidelva	2	2	0	2	6	2,2
Numedalslågen	2	6	1	1	10	3,7
Tengselv	2	5	2	7	16	6,0
Håelv	0	5	0	0	5	1,9
Ogna	0	0	2	18	20	7,5
Figgjo	1	4	0	1	6	2,2
Oma, Krokstadvatn	1	0	0	0	1	0,4
Skienselv	1	0	0	0	1	0,4
Hageneselv	1	0	0	0	1	0,4
Søgneelv	1	1	0	0	2	0,7
Kammerfosselv	1	0	0	1	2	0,7
Lygna	1	0	0	0	1	0,4
Soknedalselv	1	0	0	0	1	0,4
Kvina	1	1	0	0	2	0,7
Lundeelv (Søgne)	0	1	0	0	1	0,4
Akerselv	0	1	0	0	1	0,4
Hellelandselv	0	1	0	0	1	0,4
Glomma	0	1	1	2	4	1,5
Varhaugselv	0	1	0	0	1	0,4
Imsa	0	1	0	1	2	0,7
Fitjar	0	1	0	0	1	0,4
Bøvågen, Radøy	0	1	0	0	1	0,4
Total	52	76	34	105	267	100,0



Figur 3. Geografisk fordeling av gjenfangst av voksen laks satt ut som smolt i munningen av Audna 1987.



## 4 Diskusjon

### Fysiologiske forstyrrelser og overlevelse

I de to årene hvor det ble undersøkt (1986 og 1987), var det god overenstemmelse mellom gjenfangsten som voksne av utsatt smolt og de fysiologiske effektene på fisken som ble holdt i flytekassene på utsettingsstedene. Dette underbygger ideen om at fysiologiske stresstester kan være verdifulle hjelpemidler for å bestemme smoltkvalitetskrav og vannkvalitetskrav ved utsettinger slik at overlevelsen kan økes (se Staurnes et al. 1993a). De gruppene av smolt som hadde fysiologiske forstyrrelser, høy dødelighet og nedsatt sjøvannstoleranse etter eksponering i flytekassene, hadde generelt også lavest gjenfangst som voksne. Bortimot ingen av smolten som ble satt ut 5 km opp i Lygna ble gjenfanget. Tilsvarende grupper som ble holdt i kassene i elva hadde alvorlige osmoregulatoriske problemer, og dødeligheten var stor innen få timer. I tillegg hadde fisken som i 1987 ble testet etter 12 timers eksponering i Lygna svært redusert sjøvannstoleranse. Fisken som vandret ut første natten etter utsetting ville trolig ha for dårlig sjøvannstoleranse til å tåle overgangen til sjøvann, mens det meste av de som ble stående igjen i elva ville dø før de nådde sjøvann. I 1986 var utsettingsstedet i estuariet nært elveutløpet, og overflatevannet var fremdeles surt elvevann. Fisken som ble holdt i flytekassene her døde raskt. Gjenfangsten av den utsatte smolten var også svært lav, til tross for den relative korte avstanden til brakkvann. Året etterpå ble fisken satt ut i brakkvann lenger ut fra munningen. Ingen av fiskene i flytekassene døde, og gjenfangsten var på samme nivå som for fisken satt ut i munningen av Audna.

De fysiologiske effektene på smolt eksponert i det Al-rike, sure vannet i Lygna er i samsvar med resultatene fra andre undersøkelser der smolt er eksponert for ca. tilsvarende vannkvalitet (Rosseland et al. 1986, 1992; Staurnes et al. 1993b). Etter overføring til det sure vannet sank kloridkonsentrasjonen i plasma raskt, og både hematokrit og vanninnhold i vev økte betydelig. Alle disse forandringene er typiske for laksefisk eksponert i Al-rikt, surt vann (Exley & Phillips 1988; Wood 1989; Rosseland & Staurnes 1994). En dags eksponering i Lygnavann førte også til en betydelig reduksjon i aktiviteten i gjellene av enzymet Na-K-ATPase, noe som er i samsvar med tidligere undersøkelser på laksesmolt (Staurnes et al. 1993b). Dette enzymet er viktig for opprettelsen av ionebalansen i både ferskvann og sjøvann. Denne reduksjonen i enzymaktivitet bidro derfor trolig til både ioneforstyrrelsene i ferskvann og den reduserte sjøvannstoleransen etter eksponeringen i Lygnavann, men i slike situasjoner med akutt giftighet er trolig Al-utfelling og direkte gjelleødeleggelse viktigere årsaker til de fysiologiske forstyrrelsene (Rosseland & Staurnes 1994; Staurnes et al. 1996).

### Vandring

Den meget høye feilvandringen hos laks satt ut som smolt i Audna er svært overraskende. Dessverre var det nesten ingen laks som overlevde etter å ha vært utsatt i Lygna, så det er vanskelig å sammeligne direkte med denne elva.

Men av gruppene som ble satt ut i brakkvann i 1987, var feilvandringen for laksen satt ut utenfor Lygna (46 %) signifikant lavere enn for gruppen satt ut samme år på tilsvarende lokalitet utenfor Audna (97 %). Feilvandringen for fisken satt ut utenfor Lygna er i samme størrelsesorden som smolt satt ut i brakkvannsområdet rett utenfor lmsa (Jonsson et al. 1991). Tidligere utsetting av smolt fra Lundamo i munningen av Mandalselva ga en feilvandring tilsvarende den som ble observert hos gruppen utsatt i munningen av Lygna (Hansen 1982). Dessuten viste en gruppe smolt av Loneelvstamme høy presisjon i tilbakevandring etter utsetting i Austadbekken ved Flekkefjord (Hansen et al. 1989). Man må derfor slå fast at smolt utsatt i Audna har en unormal høy feilvandring sammenlignet med utsettinger på andre lokaliteter, og den er så høy at det er naturlig å stille spørsmål om tilbakevandringen til elva er tilfeldig.

Tidligere forsøk med utsetting av smolt direkte i sjøen har vist at den voksne fisken kommer tilbake til det samme geografiske området, men fordi den ikke har noen hjemmelv, vandrer den opp i flere elver i dette området for å gyte (Hansen et al. 1989; 1993). Atferden til smolten satt ut i Audna likner på dette mønsteret.

Å estimere feilvandring er vanskelig og avhenger av en rekke faktorer. Først og fremst er laks som blir gjenfanget i en annen elv enn den vandret ut fra som smolt nødvendigvis ikke en reell feilvandrer. Dette fordi den i Norge normalt blir gjenfanget i sportsfiske, og sesongen for slikt fiske er over opptil to måneder før den skal gyte. En laks tatt i "feil" elv kan derfor ha god tid på seg til å forlate den gale elven for så å gå opp i den riktige. Gjenfangstene avhenger dessuten av hvor fisket foregår og hvor mange fiskere som er i aktivitet. Videre avhenger oppgangen i elv av fysiske faktorer som blant annet vannføringen. Imidlertid er den observerte feilvandringen av smolten utsatt i Audna så høy, og basert på et så stort materiale at det ikke er tvil om at denne fisken har problemer med å finne tilbake og vandre opp i denne elva.

Ut fra de tilgjengelige data, kan man ikke utelukke at feilvandringen skyldes kalkingen. Hva som er de grunnleggende årsakene blir kun spekulasjon. Kan det være slik at kalken som brukes påvirker faktorer som læres, eventuelt blokkerer sanser som er ibruk? Det har vist seg at i såkalte blandsoner kan det felles ut Al som setter seg på gjellene, og sannsynligvis er årsaken til at laksen får problemer med osmoreguleringen., og som er påvist å være svært kritiske for fisken (Rosseland et al. 1992). Hvis man tenker seg at Al også kan felles ut på andre slimhinner som for eksempel luktorganer, kan man spekulere i om dette kan blokkere den sekvensielle læringsprosessen i ferskvannsfasen og tidlig i sjøfasen. Det er også viktig å merke seg at feilvandringen også er like stor selv om fisken settes ut i brakkvann. Fordi laksen finner tilbake til Sørlandet, er det rimelig å anta at den prosess som eventuelt foregår er reversibel. Denne rapporten har ikke ambisjoner om å diskutere alle mulige mekanismer som kan påvirke tilbakevandringen, men fastslå at dette problemet er reelt for smolt som settes ut i Audna.

## 5 Litteratur

I denne undersøkelsen er de vannkjemiske data ved smoltutsetting relativt sparsomme. Det som er viktig i fremtidige undersøkelser er å få sterkt forbedret informasjonen om vannkemi, også fra brakkvannsområdet. Dessuten er det viktig å undersøke om dette problemet også gjelder for andre elver i Norge som blir kalket. Det er også av stor interesse å få undersøkt om fisk som lever hele sitt liv i den kalkede elva har et annerledes vandringsmønster enn den som er utsatt som smolt.

- Birt, T.P. & Green, J.M. 1986. Parr-smolt transformation in female and sexually mature male anadromous and non-anadromous Atlantic salmon, *Salmo salar*. - Can. J. Fish. Aquat. Sci. 43: 680-686.
- Carlin, B. 1955. Tagging of salmon smolts in the River Lagan. - Rep. Inst. Freshwater Res. Drottningholm 36: 57-74.
- Clarke, W.C. & Blackburn, J. 1977. A seawater challenge test to measure smolting of juvenile salmon. - Fish. Mar. Serv. Tech. Rep. 705: 1-11.
- Exley, C. & Phillips, M.J. 1988. Acid rain: implications for the farming of salmonids. - P. 225-341 in Muir, J.F. & Roberts, R.J., eds. Recent Advances in Aquaculture, vol. 3. London: Croom Helm.
- Hansen, L.P. 1982. Gjenfangster av merket laksesmolt *Salmo salar* L. utsatt i to sure elver på Sørlandet. - Fauna 35: 145-149.
- Hansen, L.P., B. Jonsson & R. Andersen 1989. Salmon ranching experiments in the River Imsa: Is homing dependent on sequential imprinting of the smolts? - P. 19-29 in Brannon, E. & Jonsson, B., eds. Proc. of the salmonid migration and distribution symposium. School of Fisheries, University of Washington, Seattle, USA. NINA, Trondheim, Norway.
- Hansen, L.P., Jonsson, N. & Jonsson, B. 1993. Oceanic migration in homing Atlantic salmon. - Animal Behaviour 45: 927-941.
- Harden Jones, F.R. 1968. Fish migration. - London: Edward Arnold Press, 325 pp.
- Hasler, A.D. & Wisby, W.J. 1951. Discrimination of stream odors by fishes and relation to parent stream behavior. - American Naturalist 85: 223-238.
- Hesthagen, T. & Hansen, L.P. 1991. Estimates of the annual loss of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in Norway due to acidification. - Aquaculture and Fisheries Management 22: 85-91.
- Jensen, K.W. & Snekvik, E. 1972. Low pH levels wipe out salmon and trout in southern Norway. - Ambio 1: 223-225.
- Johnston, C.E. & Eales, J.G. 1967. Purines in the integument of the Atlantic salmon (*Salmo salar*) during parr-smolt transformation. - J. Fish. Res. Board Can. 24: 953-964.
- 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.
- Leivestad, H., Hendrey, G., Muniz, I.P. & Snekvik, E. 1976. Effects of acid precipitation on freshwater organisms. - P. 87-111 in Brække, F.H., ed. Impact of acid precipitation on on forest and freshwater orgaisms in Norway. SNSF-project FR 6/76.
- McDonald, D.G. 1983. The effects of H<sup>+</sup> upon gills of freshwater fish. - Can. J. Zool. 61: 691-703.
- Nordeng, H. 1977. A pheromone hypothesis for homeward migration in salmonid fishes. - Oikos 28: 155-159.

- Rosseland, B.O. & Hindar, A. 1988. Liming of lakes, rivers and catchments in Norway. - *Water, Air and Soil Pollution* 41: 165-188.
- Rosseland, B.O., Blakar, I., Bulger, A., Kroglund, F., Kvellestad, A., Lydersen, E., Oughton, D.H., Salbu, B., Staurnes, M. & Vogt, R. 1992. The mixing zone between limed and acidic river waters: complex aluminium chemistry and extreme toxicity for salmonids. - *Environ. Pollution* 78: 3-8.
- Rosseland, B.O., Eldhuset, T.D. & Staurnes, M. 1990. Environmental effects of aluminium. - *Environ. Geochem. Health* 12: 17-27.
- Rosseland, B.O. & Staurnes, M. 1994. Physiological mechanisms for toxic effects and resistance to acidic water. An ecophysiological and ecotoxicological approach. - P. 227-246 in Steinberg, C.E.W. & Wright, R.W., eds. *Acidification of Freshwater Ecosystems*. New York, London: John Wiley & Sons. Ltd.
- Rosseland, B.O., Skogheim, O.K., Abrahamsen, H. & Matzow, D. 1986. Limestone slurry reduces physiological stress and increases survival of Atlantic salmon in acidic Norwegian river. - *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43: 1888-1893.
- Staurnes, M., Lysfjord, G. & Berg, O.K. 1992. Parr-smolt transformation of a nonanadromous population of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Norway. - *Can. J. Zool.* 70: 197-199.
- Staurnes, M., Blix, P. & Reite, O.B. 1993b. Effects of acid water and aluminium on parr-smolt transformation and seawater tolerance in Atlantic salmon, *Salmo salar*. - *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 50: 1816-1827.
- Staurnes, M., Lysfjord, G., Hansen, L.P. & Heggberget, T.G. 1993a. Recapture rates of hatchery-reared Atlantic salmon (*Salmo salar*) related to smolt development and time of release. - *Aquaculture* 118: 327-337.
- Staurnes, M., Hansen, L.P., Fugelli, K. & Haraldstad, Ø. 1996. Short-term exposure to acid water impairs osmoregulation, seawater tolerance and subsequent marine survival of smolts of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). - *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 53: 1695-1704.
- Wood, C.M. 1989. The physiological problems of fish in acid waters. - P. 126-152 in Morris, R., Taylor, E.W., Brown, D.J.A. & Brown, J.A., eds. *Acid toxicity and aquatic animals*. - *Soc. Exp. Biol. Sem. Ser.* 34. Cambridge: Cambridge University Press.
- Wood, C.M. & McDonald, D. 1987. The physiology of acid/aluminium stress in trout. - *Annls. Soc. r. zool. Belg.* 117 (Suppl. 1): 399-410.

ISSN 0802-4103  
ISBN 82-426-0793-1

469

**NINA**  
**OPPDRAGS-**  
**MELDING**

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

**NINA**  
**Norsk institutt**  
**for naturforskning**