

SULDALSLÅGEN – MILJØRAPPORT NR. 30

TITTEL: Smoltoverlevelse i Suldalslågen – miljøfaktorer som påvirker smoltutvandring og overlevelse i fjorden

FORFATTERE:

Torbjørn Forseth, Peder Fiske, Nils Arne Hvidsten og Svein Jakob Saltveit*

UTFØRENDE INSTITUSJONER:

Norsk institutt for naturforskning (NINA) og *Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfisk (LFI), Universitetet i Oslo

SAMMENDRAG: I denne studien har vi ut fra data for perioden 1993-2003 laget en modell for hvordan miljøfaktorer påvirker utvandringen av smolt i Suldalslågen. Forhold som ga stor smoltutvandring på en gitt dag var: høy og økende vannføring, høy og synkende vanntemperatur, høyt antall gjenværende smolt og tid på sesongen. Kalde vårer ga seinere smoltutvandring enn milde vårer. Modellen forutsier på en god måte utvandringmønstrene for de enkelte år og modellen ble brukt til å predikere utvandringstid tilbake til 1982. Vi undersøkte videre om vannføringsforhold under utvandringen påvirket smoltens overlevelse. Fangstene av smålaks (korrigert for storskala variasjon i sjøoverlevelse og endringer i sjøbeskattung), som kan ansees som en indikasjon på smoltoverlevelse, var positivt korrelert med vannføringen under utvandring. Høy vannføring i Suldalslågen under utvandring ser ut til å gi større fangster av smålaks året etter. Videre kom også ferskvannstilførselen i fjordsystemet inn som forklaringsvariabel, slik at midlere ferskvannstilførsel i fjorden under utvandring ser ut til å gi høyere fangster av smålaks året etter enn både høy og lav ferskvannstilførsel i fjorden. Det modellverktøyet vi har utviklet her kan brukes til å evaluere effekten av ulike vannføringsregimer på smolt og således bidra til å finne måter å manøvrere vassdraget på som sikrer god smoltoverlevelse.

ABSTRACT: Based on smolt migration data for the period from 1993 to 2003, we developed a model for the influence of environmental factors on the smolt migration patterns in the regulated River Suldalslågen in south-western Norway. Migration was stimulated by high and increasing water flows and high and decreasing temperatures. Low spring temperatures delayed migration. The model provided good predictions for the migration periods (particularly 25 and 50 % migration) and was used to predict migration from 1982 and onwards. Furthermore, we explored potential effects of water flow during migration on smolt survival. The catch of grills (a proxy for survival; adjusted for large scale variation in survival at sea and changes in coastal fisheries) was positively correlated with the water discharge during smolt migration. High discharges during migration appear to give high catches of grills the following year. Moreover, survival appeared also related to freshwater flow in the fjord outside the river, so that both very high and low supplies of freshwater may give lower survival. The smolt migration model and the regression models for survival should be valuable tools for predicting effects of different flow regimes in the river.

EMNEORD: Smolt, laks, overlevelse, vandring, fangster, vassdragsregulering, vannføring

OPPDRAUGSGIVER: Statkraft SF

ÅR: 2003

ISBN 82-554-0613-1
ISSN 1502-1890

Smoltoverlevelse i Suldalslågen – miljøfaktorer som påvirker smoltutvandring og overlevelse i fjorden

Torbjørn Forseth, Peder Fiske, Nils Arne Hvidsten og Svein Jakob Saltveit*

Norsk institutt for naturforskning (NINA) og

*Laboratorium for ferskvannsekologi og innlandsfisk (LFI), Universitetet i Oslo

Forord

Denne rapporten er utarbeidet etter oppdrag fra Statkraft SF ved Vegard Pettersen og er et samarbeid mellom NINA og LFI som har stilt grunnlagsdata for smoltutvandring i Suldalslågen til disposisjon. Resultatene fra smoltutvandringen i 2003 og miljødata for denne kom inn etter at mye av rapporten var ferdig slik at disse ikke er presentert i alle sammenhenger. Vi takker Statkraft SF for oppdraget. Øivind Bakke, NTNU, har gitt råd i forbindelse med modelleringen av smoltutvandringen og tolking av resultatene. Vi takker ham for god assistanse. Takk også til Kjetil Sandsbråten, Statkraft Grøner, som framskaffet vannføringsdata fra alle nedbørsfeltene til Sandsfjorden, Suldal Elveigarlag ved Øyvind Vårvik for informasjon om utvikling i fangsttynnsats og Harald Sægrov for nyttige innspill og lokal fangststatistikk. Jan Henning L'Abée-Lund (NVE), Asbjørn Vøllestad (UiO), Harald Sægrov (RB), Bjørn T. Barlaup og Helge Skoglund (LFI, UiB) takkes for konstruktiv kritikk av rapporten.

Innhold

Innhold	3
1 Sammenheng	2
2 Innledning	3
3 Metoder	6
3.1 Smoltfangst	6
3.2 Smoltmodell	7
3.3 Evaluering av smoltoverlevelse	9
3.4 Evaluering av betydning av tidspunkt for smoltutvandring	19
4 Resultater og evaluering	19
4.1 Smolt i Suldalslågen; antall, produksjon, alder og vekst.	19
4.2 Utvandringsforløp	21
4.3 Smoltmodell	22
4.4 Smoltens overlevelse	31
4.5 Betydning av tidspunkt for smoltutvandring	41
5 Diskusjon og konklusjoner	43

1 Sammendrag

I forbindelse med fastsettelse av manøvreringsreglement for Ulla-Førrareguleringa er det prøvd ut ulike strategier for tapping fra magasin og slipp av vann i Suldalslågen. Det er ønskelig å komme fram til måter å manøvrere vassdraget på som blant annet sikrer overlevelse hos laksunger og smolt best mulig. Formålet med denne studien har vært å utvikle en modell for smoltutvandringen i Suldalslågen og å undersøke om det kan finnes miljøforhold i fjorden som gir målbare effekter på smoltens overlevelse og om disse kan påvirkes av regulert vannføring

I denne studien har vi tilpasset statistiske modeller til utvandringen av vill laksesmolt i Suldalslågen i årene 1993-2003 i forhold til miljøvariable som blant annet vannføring og temperatur. Forhold som bidro til stor smoltutvandring på en gitt dag var: høy og økende vannføring, høy og synkende vanntemperatur, høyt antall gjenværende smolt og tid på sesongen. Videre ga kalde vårer ikke overraskende seinere smoltutvandring enn milde vårer. Etter at vi hadde tilpasset modellen, ble modellen brukt til å forutsi hvordan smoltutvandringen hadde vært i ulike år i perioden 1982-2002. Det var svært godt samsvar mellom predikert og observert utvandringstidspunkt i perioden 1993 til 2002, og modellen framstår således som god. Ved hjelp av modellen beregnet vi ved hvilke vannføringer smolten hadde vandret ut i ulike år. Disse resultatene ble så sammenholdt med de korrigerede fangstene av smålaks året etter (et indirekte mål for smoltoverlevelse). Fangstene av smålaks ble korrigert ved å ta hensyn til overlevelse- og sjøbeskatningsestimatene fra den nærliggende Imsa. Ved å korrigere fangstene ønsket vi å ta bort variasjonen i fangstene som skyldes at forholdene i havet og sjøbeskatningen varierer mellom år og sitte igjen med variasjoner i fangst som kan skyldes forhold under utvandringen. De korrigerede fangsttallene for årene 1983 – 2002 er således den fangsten man ville ha fått om sjøoverlevelsen og sjøbeskatningen hadde vært konstant i hele perioden.

De korrigerede fangstene av smålaks var positivt korrelert med vannføringen under utvandring. Høy vannføring i Suldalslågen under utvandring ser derfor ut til å gi større fangster av smålaks året etter. De to smoltårgangene som resulterte i de høyeste korrigerede fangstene av smålaks hadde begge vannføringer i elva på over 100 m³ i perioden når størstedelen av smolten i følge modellen vandret ut. Videre kom også ferskvannstilførselen i fjordsystemet inn som forklaringsvariabel for smålaksfangstene året etter. Det ser ut til at midlere ferskvannstilførsel i fjorden under utvandring gir høyere fangster av smålaks året etter enn

både høy og lav ferskvannstilførsel i fjorden. Dette kan trolig knyttes til strømningsmønstre i fjordsystemet som påvirker smoltens oppholdstid i fjorden.

Det er mulig å predikere smoltutvandringen under ulike vannføringsforhold ved hjelp av modellverktøyet vi har utviklet her. Resultatene fra slike simuleringer kan så kobles opp mot de sammenhengene vi fant mellom ulike miljøforhold og de korrigerede fangstene av smålaks ("overlevelse"). Slik kan man vurdere ulike vannføringsregimer opp mot hverandre og forsøke å komme fram til alternativer som er gunstige for smoltoverlevelse etter utvandring, samtidig som man tar hensyn til økonomien i kraftverkene. Av de to siste prøvereglementene (1998-2000 og 2001-2003) framstår det første reglementet med en relativt høy vannføring under smoltutvandringen som best. Imidlertid er det viktig at vannføringstoppen kommer til riktig tid. I alle de tre årene kom vannføringstoppen noe for sent, slik at smolten vandret ut på unødig lave vannføringer og vannet som ble sendt mot slutten av perioden ga trolig liten gevinst for smoltens overlevelse.

2 Innledning

Utvandring av laksesmolt skjer trolig aktivt, og ikke passivt som en følge av nedsatt evne til å stå imot vannstrømmen som følge av smoltifisering (Peake & McKinley 1998). Studier av individuelle presmolt i elva Itchen, Hampshire, UK, tyder på at fiskene starter sin nedvandringstid etter solnedgang (Riley et al. 2002), og at smoltutvandringen hovedsakelig skjer om natten, men dette mønsteret er trolig ikke generelt for alle elver (Antonsson & Gudjonsson 2002), eller gjennom hele utvandringssesongen (Riley et al. 2002).

Det er kjent at daglengden er en underliggende faktor som bestemmer tidspunkt for smoltifisering. Selve smoltutvandringen styres av miljøfaktorer hvor forholdet mellom vannføring og vanntemperatur og daglige endringer i disse verdiene synes å være de viktigste. Smoltutvandringen må skje innenfor et bestemt tidsrom om våren for at smolten skal ha høyest mulig overlevelse i den første sjøfasen. Endringer i miljøforhold i forbindelse med vassdragsreguleringer vil kunne føre til smolttap fordi endringene gjør at smolten vandrer ut til feil tid (Hansen & Jonsson 1989). Utvandring til feil tid kan gi fysiologisk stress og/eller begrenset næringstilgang i sjøen og dermed økt dødelighet.

Det er mulig at ulike lokale laksestammer har utviklet respons på ulike faktorer som stimulerer smoltutvandringen, og at disse kan være relatert til at de treffer gunstige forhold i

havet når de vandrer ut (Hvidsten et al. 1998; Antonsson & Gudjonsson 2002). Mye tyder på at smoltutvandringen fra elvene langs norskekysten er tilpasset til å nå gunstige forhold i havet. Smolten vandrer ut tidligere sør i Norge i forhold til i nord, men vil i de fleste år gå ut i sjøen på et tidspunkt når sjøvannet er ca 8 °C (Hvidsten et al. 1998). Gunstige strømforhold i fjorden (ferskvannsstrøm, tidevannsstrøm og vind ut fjorden) vil fordi smolten i stor grad driver passivt med strømmen (McCleave 1978; Tytler et al. 1978) medføre at smolten kommer raskere ut av fjordsystemet noe som også vil kunne gi bedre overlevelse. En synkronisert utvandring, dvs. at mange smolt vandrer samtidig, er også ansett som en fordel da dette reduserer predasjonspresset fra fugl og marine fisk i munningen og fjorden utenfor (Hvidsten & Møkkelgjerd 1987, Hvidsten & Lund 1988, Kålås et al. 1993).

Omgivelsesfaktorer som styrer smoltutvandring er undersøkt i en rekke elver. Faktorer som vanntemperatur (Jonsson & Ruud-Hansen 1985) og vannføring (Hvidsten et al. 1995), ser ut til å stimulere utvandring av laksesmolt, men hvilke faktorer som er viktige kan variere mellom elver (Antonsson & Gudjonsson 2002). Flere forfattere har vurdert vanntemperaturen som en viktig faktor for starten på smoltutvandringen hos villsmolt (Österdahl 1969, Bagliniere 1976, Solomon 1978). Noen har understreket betydningen av en terskeltemperatur (10 °C) for at utvandringen skal komme igang (Elson 1962, Österdahl 1969, Jessop 1975). I Imsa fant Jonsson & Ruud-Hansen (1985) at starten på smoltutvandringen ikke ble utløst av en bestemt vanntemperatur eller et bestemt antall døgngrader, men ble kontrollert av en kombinasjon av aktuell temperatur og temperaturøkning i vannet i løpet av våren. I Altaelva vandrer smolten ut ved vanntemperaturer på 8 - 10 °C ca. en måned etter at vårflommen har kuliminert (Heggberget et al. 1993). Saksgård et al. (1992) nevner at smoltutvandringen i Altaelva også hadde sammenheng med månefasen. I tre islandske elver var starten på smoltutvandringen korrelert med når temperaturen i elven nådde over 10 °C i fem dager (Antonsson & Gudjonsson 2002).

I noen andre elver faller smoltutvandringen sammen med en økning i vannføringen (Northcote 1984). I Orkla fant Hesthagen & Garnås (1986) at smoltutvandringen begynte tidlig i mai og varte til omkring 10. juni. Utvandringen ble initiert av den første toppen i vannføring større enn 100 m³/s når vanntemperaturen var 2-3 °C. De fant at signifikant flere smolt vandret ut når vannføringen økte fulgt av et fall i vanntemperaturen, enn under motsatte forhold. Hvidsten et al. (1995), som fortsatte og utvidet undersøkelsene i Orkla til perioden 1980 - 1992, konkluderte med at smolten begynte utvandringen ved vanntemperaturer mellom 1,7 °C og 4,4 °C. Utvandringen var vanligvis over når vanntemperaturen nådde 10 °C. Smolten samlet seg i stimer

og de fleste vandret ut om natten. Utvandringen var relatert til vannføring, vanntemperatur, negativ endring i vanntemperatur, endring i vannføring og månefasen. Det var også indikasjoner på at smolt fra øvre deler av vassdraget stimulerte smolt lengre nede til utvandring og dermed skapte stimer av utvandrende smolt (Hvidsten et al. 1995).

Den viktigste utløsende faktor for smoltutvandringen i Stjørdalselva i Nord-Trøndelag var også økning i vannføring (Arnekleiv et al. 1995), selv om utvandringen til en viss grad enkelte år også kunne forklares ut fra endringer i vanntemperatur og månefase. Økning i vannføring var imidlertid her den faktor som var signifikant assosiert med variasjon i smoltutgang. Som i Suldalslågen (se nedenfor) ga en forholdsvis liten økning i vannføring i Stjørdalselva en uforholdsvis stor smoltutvandring.

Utvandring av sjøauresmolt i Stjørdalselva var positivt korrelert med vannføring og vanntemperatur (Hembre et al. 2001), og det synes som om sjøauresmoltene reagerer på en kombinasjon av vannføring og vanntemperatur (Hembre et al. 2001). Utvandring av sjøauresmolt var også positivt korrelert med temperatursum, samt endringer i vannføring og temperatur i Norumsån i sørvest Sverige (Bohlin et al. 1993). Temperatur ser også ut til å være hovedfaktoren som utløser utvandring av sjøaure om våren i Imsa, Rogaland (Jonsson & Jonsson 2002).

Villsmolten i Suldalslågen vandret ut over en relativt lang periode, som kan strekke seg opp til to måneder. Hovedutvandringsperioden er imidlertid svært kort, idet 75 % av utvandringen skjer i løpet av 20 dager, i perioden 25. april til 15.mai (Saltveit 1998). Dette tidspunktet stemmer overens med data fra Imsa som ligger noe lenger sør (Jonsson & Ruud-Hansen 1985). Mesteparten av smolten går om natta, men det ble ikke funnet noen sammenheng mellom månefase og antall smolt på utvandring (Saltveit 1998). Det ble i Suldalslågen funnet en positiv sammenheng mellom smoltutvandring og økning i vannføring målt ved Tjelmane. Imidlertid kunne økningene i vannføring som initierte utvandring enkelte år være relativt beskjedne.

Høy vannføring ved utvandring av smolt kan øke overlevelsen. Dette er observert både i Gaula og i Surna (Hvidsten & Hansen 1988) men ikke i Opløyvassdraget (Strand et al. 1993). Årsakene til økt overlevelse kan være flere. Ferskvannslaget i fjorden blir tykkere og derved reduseres predasjon fra for eksempel torsk. Dessuten kan økt turbiditet som skyldes flom medføre at predatorer ser smolten dårligere. Predasjon kan også reduseres ved at høy vannføring og derved høy vannhastighet bringer smolten hurtigere ut fjorden. Selv om

smolten bringes ut av Suldalslågen ved relativt beskjedne vannføringer, kan lave vannføringer ved utvandring gi økt dødelighet.

I forbindelse med fastsettelse av manøvreringsreglement for Ulla-Førrareguleringa er det prøvd ut ulike strategier for tapping fra magasin og slipp av vann i Suldalslågen. I løpet av de siste seks åra er det gjennomført to prøveperioder (1998 til 2000 og 2001 til 2003) med forskjellige vannføringsregime (se figur 17). Evaluering av disse er et sentralt tema i rapporten. Det er ønskelig å komme fram til måter å manøvrere vassdraget på som blant annet sikrer overlevelse hos laksunger og smolt best mulig. En viktig faktor i den sammenheng er å sikre at smolten kommer ut av elva til rett tid. I dette prosjektet har vi derfor utviklet en modell for hvilke omgivelsesvariable som kontrollerer utvandringen av smolt. En slik modell vil kunne hjelpe til å finne gunstige måter å manøvrere vassdraget på som sikrer at smolten kommer ut av elva til riktig tid. Videre har vi brukt historiske data, og prediksjoner fra den utviklede smoltutvandringsmodellen for tidspunkt for smoltutvandringen, til å vurdere om smolten i de enkelte år har kommet ut i fjorden på et tidspunkt hvor miljøforholdene var gunstige. Dette kan si oss noe om hvor sensitiv smoltutvandringsmønsteret er for smoltens overlevelse. Til slutt har vi gjennomført korrelative studier for forholdet mellom miljøforhold i fjorden og fangststatistikk for å undersøke om det kan finnes miljøforhold i fjorden som gir målbare effekter på smoltens overlevelse og om disse kan påvirkes av regulert vannføring.

3 Metoder

3.1 Smoltfangst

I perioden for studier av smoltutvandring i Suldalslågen, som strekker seg fra 1993 til 2003, er det benyttet to ulike smoltfeller (Saltveit 1998). Fra og med 1996 er det benyttet en smoltfelle plassert på den nye Litlehaga bru. Størrelsen på rammen var 1.5 x 1.5 m påmontert en 12 m lang pose med like deler 21, 16 og 10 mm masker i avtakende rekkefølge fra åpningen. En elvinsj ble benyttet til å heve og senke fella langs to vertikalt skilte stålbjelker. Bjelkene var festet til elvebunnen og broen, og gikk et stykke opp over veibunnen for at det skulle være lettere å tømme fella. Vinsjen ble drevet med strøm fra bilbatteri.

Normalt ble fella satt ut som kvelden og tømt om morgenen. Fella ble tømt oftere om natta ved økende og høye vannføringer, fordi fellas effektivitet da ble noe hindret av kvister, busker og trær som under/etter økning i vannføring hang seg opp i fella. Fella fungerte ved alle

vannføringer i perioden 1998 til 2003. Fella var bare ute av drift natt til 6. mai 1999, fordi et tre satte seg fast i åpningen. Første fangstdag var 1. april, mens siste fangstdag har variert noe i perioden og ble avsluttet hvis det ikke ble fanget fisk over en periode på en uke. Normalt ble fangsten avsluttet mellom 10. (i 2002) og 19. juni (i 2000 og 2001). I 1998 sto fella ute til 27. juli.

All fisk var døde ved opptak av fella. Fangsten ble frosset umiddelbart for senere bearbeiding i laboratoriet. All smolt ble målt til nærmeste mm og veid til nærmeste 0,1 g. Det ble tatt skjellprøver og otolitt for aldersbestemmelse og mageprøver. Det ble notert om smolt av laks var fettfinneklippet (utsatt) eller var fargemerket for beregning av smoltproduksjon.

3.2 Smoltmodell

Før modelleringen ble dataene klargjort ved å skaffe til veie data om antall vill smolt og utvandringmønster, vannføring (fra Lavika nederst i Suldalslågen), vanntemperatur (fra Tjelmane), endringer i vannføring og vanntemperatur fra forrige dag, månefase, nedbør og lufttemperatur. Dager uten fangstinnsett ble utelatt fra materialet. Døgnet som miljødataene ble hentet fra var døgnet da smoltfella ble åpnet, siden dette best vil beskrive forholdene under og like før smolten vandret ut.

Smoltutvandringen ble modellert med generaliserte lineære modeller (Poisson log-linære modeller) (McCullagh & Nelder. 1989). Den avhengige variabelen var antall vill smolt som vandret ut på de ulike dagene. Selve testene ble utført i programpakken R (versjon 1.6.2). I modelleringen ble det antatt at antall smolt som ble fanget i løpet av sesongen representerte hele utvandringen. Antall smolt igjen (dvs. totalt antall smolt fanget i fella hvert år minus de som allerede var fanget) delt på antall dager som er igjen ble brukt som en ”offset” i modellen. Dette vil si at antallet som kan vandre ut i følge modellen er avhengig av antallet smolt som er tilgjengelig for utvandring. Slik tar modellen hensyn til at gode forhold for utvandring som oppstår når det er få smolt igjen ikke kan resultere i store utvandring. Valget mellom ulike modeller ble gjort ved Akaiikes Informasjons Kriterium (AIC) (Akaike 1974).

Tilnærming 1: År som faktor

Den første modelltilnærming var å tilpasse en modell med år som en faktor i modellen på samme måte som for smoltutvandringdataene fra Orkla (Hvidsten et al. 1995). Dette gir

resultater som kan sammenlignes med undersøkelsen i Orkla, men modellen blir vanskelig å generalisere dersom årsparametrene varierer mye.

Tilnærming 2: Apriltemperatur som kovariat

Temperaturen i slutten av april (gjennomsnitt i perioden 26-30. april), den tiden hovedutvandringen av smolt starter, korrelerte negativt med median utvandningsdato (se resultater). For hvert år ble derfor temperaturen i slutten av april lagt inn som ett kovariat for å forsøke å finne en modell som er mer generell enn en modell med år som faktor.

Vi endte opp med følgende generaliserte lineære modell:

$$\ln(\text{Forventet antall utvandrende smolt}) = \ln(\text{Antall gjenværende smolt/antall gjenværende dager}) + \beta_1 * \ln(\text{Vannføring}) + \beta_2 * \ln(\text{vanntemperatur}) + \beta_3 * (\text{Endring i vannføring}) + \beta_4 * (\text{Endring i vanntemperatur}) + \beta_5 * (\text{Vanntemperatur i slutten av april}) + \beta_6 * \ln(\text{Antall gjenværende smolt} + 1) + \beta_7 * \ln(\text{Juliansk dag}) + \text{konstant.}$$

Validering av modellen

For å se hvor godt modellen ble tilpasset dataene gikk vi fram på følgende måte:

For hvert år tilpasset vi nye modeller hvor det aktuelle året ikke gikk inn som beregningsgrunnlag. Disse nye modellene ble så brukt til å forutsi utvandningsmønsteret i hvert enkelt år, og utvandningsmønstrene som vi da fikk ble sammenlignet med de observerte utvandningsmønstrene.

Videre bruk av modellen

Ved hjelp av modellen med apriltemperaturene som kovariat modellerte vi utvandningsmønstre for perioden 1981 til 2001. I denne tilnærmingen brukte vi vannføringer og temperatur for alle dager mellom 10. april og 30. juni hvert år, slik at perioden hvor vi modellerte smoltutvandringen ble den samme hvert år og ikke avhengig av når smoltfella hadde vært i drift. For å starte undersøkelsen av hvordan endringer i vannføring og temperatur vil kunne påvirke smoltutvandringen, tok vi utgangspunkt i det genererte datasettet for perioden 1981 til 2001, og så på hvordan enkle endringer i vannføring og temperatur vil kunne påvirke smoltutvandningsmønsteret. Dette er bare gjort som en illustrasjon for hvordan modellen kan brukes og konkrete forslag til kjørerregimer med prediksjoner for vannføring og vanntemperatur må foreligge før modellen kan brukes til å gi nyttige prediksjoner.

3.3 Evaluering av smoltoverlevelse

Korrigerer av fangsttall fra Suldalslågen

Smoltoverlevelse ble estimert ut fra fangstene av smålaks i fangststatistikken for Suldalslågen i perioden 1983 til 2002. Vi brukte bare smålaksfangstene av tre grunner: (1) Smålaksen er bare en vinter i sjøen før den returnerer til elva og påvirkes derfor mindre av variasjoner i klimatiske forhold i havet enn flersjøvinterlaks. Det betyr at forhold under utvandringen fanges lettere opp for denne aldersgruppen. (2) Innslaget av rømt oppdrettslaks er større for mellomlaks og storlaks enn for smålaks (NINA upubliserte data). Det er derfor grunn til å tro at fangstene av ensjøvinterlaks er de som har blitt minst påvirket av variasjoner av innslaget av rømt oppdrettslaks i perioden. (3) På grunn av den vanskelige situasjonen for laksen i Suldalslågen er det i løpet av perioden innført restriksjoner på fangst av stor laks (mellom og storlaks må slippes ut) og dette gjør at fangststatistikken blir mer usikker (innrapportering og mulig gjenfangst). Det er generelt slik at sterke smålaksårsklasser følges av sterke mellomlaksårsklasser og at svake følges av svake (ICES 2002). Foreløpige analyser gjennomført av den norske arbeidsgruppen for bestandsstatus for laks viser tildels svært gode sammenhenger i den nasjonale fangststatistikken mellom fangster av smålaks og mellomlaks og storlaks fra samme kohort (upubliserte analyser som forventes inntatt i neste årsrapport fra gruppa). Dette antyder at smålaksfangstene kan benyttes som et mål på årsklassestyrke og at sjøoverlevelse første år har stor betydning for årsklassestyrke. Videre valgte vi perioden 1983 til 2002 fordi statistikken da har den nødvendige oppløsning (skilt mellom ulike størrelsesgrupper av laks). Det er videre forutsatt at rapporteringsandelen og fangstinnsatsen (eller egentlig beskatningen) er *relativt* konstant (se vurderinger av forutsetninger lengre ut i rapporten).

Fordi overlevelsen fra smolt til tilbakevandret smålaks også er avhengig av storskala variasjon i sjøoverlevelse og endringer i beskatningsmønster i sjøen har vi benyttet overlevelsestall for vill laksesmolt fra den nærliggende Imsa til å korrigere fangsttallene fra Suldalslågen. I Imsa merkes all utvandrende smolt og all laks som kommer tilbake fanges og registreres i ei oppgangsfelle. I tillegg registreres gjenfangster i andre fiskerier (sportsfiske i andre elver og sjøfisket) ved rapportering av fangst av merket fisk. *Uten en slik korrigerer ville det ikke være å mulig å benytte fangsttallene fra Suldalslågen til å studere mulige effekter av vannføring i elv og fjord på smoltoverlevelse i Suldalslågen.* Variasjoner i sjøoverlevelse og beskatning i løpet av perioden ville overstyre den variasjonen vi er interessert i å studere og

kan i verste fall skape falske korrelasjoner. Behovet for slik korrigering ble påpekt allerede av Dahl & Dahl (1942).

Det er flere årsaker til at Ims ble valgt for å korrigere fangsttallene fra Suldalslågen. For det første er Ims den ene av to nasjonale overvåkingslokaliteter (indeksvassdrag) hvor det er full kontroll på antall villsmolt som vandrer ut og antall gytefisk som kommer tilbake til elva, eller som fanges i andre fiskerier. Det andre indeksvassdraget med tilsvarende kontroll (toveis felle og merking av all fisk) er Halsvassdraget, Talvik, nær Alta. Denne lokaliteten ligger på 70°N og merkeforsøk tyder på at laksen fra Nord-Norge går til andre deler av Atlanterhavet enn sørlig laks (Hansen & Jacobsen 2000). Et annet vassdrag i Sør-Norge hvor sjøoverlevelsen kartlegges er Drammenselva. Denne elva er imidlertid rammet av lakseparasitten *Gyrodactylus salaris* og overlevelsesestimaterne er basert på utsatt anleggsprodusert smolt. Overlevelsen til anleggsprodusert smolt er lavere enn for villsmolt (Jonsson et al. 2003) og variasjonen i smoltoverlevelse kan trolig i noe grad tilskrives variasjoner i produksjonsforhold i anlegget ("god og dårlig" smolt). "Overlevelsesestimaterne" fra Figgjo (Rogaland) og North Esk (Skottland) samvarierer, og Figgjo korrelerer med Imsa. Dette underbygger antagelsen om at overlevelsesestimaterne fra Imsa fanger opp den variasjonen vi ønsker å kontrollere for i Suldalslågen.

En alternativ tilnærming kan være å bruke fangsstatistikken fra andre elver som antas å ikke ha vært utsatt for negative menneskeskapt påvirkninger (vassdragsreguleringer, andre inngrep, sykdom og parasitter osv) slik det ble gjort i Larssen & Sægrov (2003). Det er to problemer med dette. For det første er det vanskelig å finne en slik elv som ligger i nærheten av Suldalslågen fordi de fleste elvene på Vestlandet er påvirket av menneskelig aktivitet i ulik grad (Skurdal et al. 2001). Elver lengre unna (f. eks. Nord-Vestlandet og Trøndelag) kan påvirkes av andre klimaforhold i kyst- og havområdene fordi de kan ha andre utvandringsruter og oppholdssted i havet (Holst et al. 2000). For det andre har man usikkerheten og variasjonen man introduserer ved å korrigere fangsstatistikk fra en elv med fangststatistikk fra en annen. Lokale variasjoner knyttet til rapporteringsrutiner og fangsttinnings (og dermed beskatningsrater) skaper stor usikkerhet i hvor stabil statistikken er i løpet av den 20-år perioden vi studerer. Og viktigere – om metoden skal kunne brukes må eventuelle endringer i statistikken være lik i de to elvene. Korrigering ved bruk av data fra Ims er ikke rammet av slike begrensninger fordi overlevelsesestimaterne er basert på fellefangst av all fisk og ikke fangstrapportering (med unntak av merkerapportering fra andre elver og i sjøfisket). Til tross

for disse mulige feilkildene har vi også testet hvordan en korrigerings basert på innsigsindeksene fra Ervikelva i Larsen & Sægrov (2003) vil slå ut. I Ervikelva (Sogn & Fjordane) er det en smålaksbestand (med små andeler av mellom- og storlaks) og smolten går rett ut i havet. Se forøvrig Larsen & Sægrov (2003) for argumentasjon for valg av Ervikelva som referansevasdrag.

Et potensielt problem med å bruke Ims er at laksen i denne elva i hovedsak er smålaks (ensjøvinter) med små andeler større/eldre laks, mens Suldalslågen har et forholdsvis stort innslag av mellom- og storlaks. Endringer i alder ved kjønnsmodning (en-, to eller flersjøvinter) som en følge av klimatiske forhold i havet vil virke sterkere for Suldalslaks enn for Imsalaks da det meste av laksen i Imsa alltid har kommet tilbake etter en vinter i sjøen (ca 80%, Jonsson et al. 2003). Alder ved kjønnsmodning (antall år i sjøen) er påvirket av både genetiske og miljømessige faktorer (Gjerde et al. 1994) og den relative betydningen av disse er ikke kjent. En generell trend de siste 20 år har vært at andelen av smålaks i fangstene har økt i hele laksens utbredelsesområde (Anon 1999, ICES 2002). I hvilken grad dette har sin årsak i høy beskatning på stor tidligvandrende laks og påfølgende endringer i genetisk sammensetning i bestandene ("storlaksgenene" blir sjeldnere) eller klimatiske endringer i havet som gjør at flere "velger" å returnere etter en vinter i sjøen (fenotypisk plastisitet), er ikke kjent. Dersom mer av laksen fra både Imsa og Suldalslågen "velger" å returnere som ensjøvinter vil dette trolig slå forskjellig ut for antall fisk som kommer tilbake til de to elvene. Antar man at denne andelen har økt relativt jevnt i Suldalslågen i perioden 1982 til 2002 vil endringer i antall fanget smålaks i noen grad gjenspeile endringer i alder ved kjønnsmodning som i mindre grad vil bli fanget opp av data fra Imsa, selv om vi også i Imsa har hatt en økning i andelen smålaks i perioden (Jonsson et al. 2003). Som vi skal vise senere var det ikke noen generell tidstrend til at fangstene av smålaks i Suldalslågen har avtatt, til tross for at antall større laks er redusert betraktelig i elva (Larssen & Sægrov 2003). Den alternative forklaringen, at frekvensen av "storlaksgener" er redusert i bestandene, vil derimot ikke i samme grad slå ut ulikt i de to elvene. Vi sammenligner da overlevelsen til smolt som var genetisk programmert til å komme tilbake etter en vinter i sjøen i begge elvene, selv om slik smolt selvsagt ikke kan skilles fra annen smolt i utvandringmaterialet fra Imsa.

Det faktum at Imsa og Suldalslågen er tildels svært forskjellige i forhold til vannføring, vanntemperatur og produksjonsforhold trenger ikke være så viktig og kan faktisk være en fordel. Imsa er en næringsrik elv som nesten aldri islegger og det er sjelden snø i

nedbørsfeltet. Elva er således påvirket av regnflommer og har ikke noe typisk vårflommønster. Derfor ser smolten også ut til å vandre ut på en økning i temperatur og ikke på flomtopper (Jonsson & Ruud-Hansen 1985, Jonsson 1991). Vekstsesongen er lang, sommertemperaturen er høy og smoltalderen er derfor lav. Ut fra generell økologisk teori vil laksebestanden i en slik elv, hvor de fysiske faktorene er moderate, i større grad være biologisk kontrollert enn bestanden i Suldalslågen hvor miljøvariasjonen er mye mer ekstrem og fysiske faktorer kan antas å være mye viktigere i populasjonsreguleringen. Dette betyr at smoltoverlevelsen i Imsa trolig i mindre grad er påvirket av forhold i elva enn det den er i Suldalslågen og at overlevelsesestimater for smolt fra Imsa i høy grad gjenspeiler variasjoner i miljøforhold i kyst og hav. Man må også huske på at fordi man har kontroll på antall smolt som forlater Imsa hvert år så er overlevelsesestimater ikke avhengig av variasjoner i smoltproduksjon (med unntak av to år hvor smoltproduksjonen var så liten at usikkerheten i overlevelsesestimater ble stort, se nedenfor). Fordi Imsasmolten ikke ser ut til å bli stimulert til å vandre av vannføring (Jonsson & Ruud-Hansen 1985) vil neppe vannføringsforhold under utvandringen være viktig for smoltens overlevelse. Det er ikke uvanlig at laksesmolt fra nærliggende elver stimuleres til utvandring av ulike miljøfaktorer når elvene er hydrologisk forskjellige (Hvidsten et al. 1998; Antonsson & Gudjonsson 2002), Til tross for forskjellige mekanismer ser det ut til at smolten innenfor et distrikt kommer ut i sjøen til samme tid (Hvidsten et al. 1998). Utvandningsveien fra Imsa til åpent hav er kortere enn fra Suldalslågen og Imsasmolten påvirkes derfor trolig mindre av forhold i fjordsystemene. Dette ser vi på som en fordel fordi vi nettopp leter etter forhold i elva og fjordsystemet utenfor Suldalslågen som kan påvirke smoltens overlevelse. Ved å korrigere for overlevelsen i Imsa tar man trolig bort variasjon som skyldes forhold utenfor fjordsystemet men beholder variasjon som kan knyttes til f. eks. lakselusas påvirkning i fjordsystemet utenfor Suldalslågen. Fordi den voksne fisken fra begge elvene trolig returnerer til Norge over et relativt stort geografisk område vil trolig sjøbeskatningen være relativt lik i de to vassdragene. Det er derfor vår konklusjon at overlevelsesestimater for smålaks fra Imsa er det beste grunnlaget for å korrigere fangstallene fra Suldalslågen.

For hvert år fra smoltutgangen i 1982 til 2001 benyttet vi overlevelsestallene for ensjøvinter fisk fra Imsa og trakk fra den estimerte sjøbeskatningen. Dette gjør at vi også, så godt som mulig, fanger opp variasjoner i sjøbeskatning (endringer i redskapsbruk og fangsttid). Det har foregått tildels betydelige endringer i sjøbeskatning i denne perioden, bla. ble drivgarnfisket forbudt fra og med 1989 og restriksjonene på kilnotfisket har økt. Overlevelsesestimater for

villsmolt i Imsa i 1986 var svært lavt, lavere enn for oppdrettet smolt (normalt er det motsatt) og mye lavere enn i omliggende år (1985 og 1987). Estimater er basert på et lavt antall smolt som vandret ut av Imsa dette året og er derfor beheftet med stor usikkerhet. Det lave antallet smolt disse to åra henger sammen med at Imsa er et forskningsvassdrag hvor bestanden i perioder manipuleres i forhold til antall gytere. 1986 smoltårsklassen produserte den største smålaksfangsten i Suldalslågen i perioden mellom 1983 og 2002 og vi vurderer derfor overlevelsestallene fra Imsa som uegnet til å korrigere fangstene i Suldal i 1987 (det vil si laks fra smoltåret 1986). Vi anslo derfor overlevelsen til 9 % basert på overlevelsesestimater for 1985 og 1987 smoltårgangene, på overlevelsen til oppdrettet smolt og de relative ”overlevelsestallene” i Friedland et al. (1998) sine studier i North Esk og Figgjo (som er sterkt korrelert). Sensitiviteten til dette anslaget for våre korrelasjoner ble testet ved å kjøre analysene med høyere og lavere overlevelse for dette smoltåret. I 1994 gikk det ikke ut villsmolt fra Imsa, og det finnes derfor ikke noe overlevelsesestimat for denne smoltårgangen. Som et estimat for overlevelsen i dette året brukte vi overlevelsen til anleggsprodusert smolt multiplisert med det gjennomsnittlige forholdet mellom overlevelsen til vill og anleggssmolt i perioden. Som det vil framgå av resultatene har dette estimatet lite betydning for resultatet fra analysene.

For å korrigere fangstene av smålaks i Suldalslågen ble det først beregnet en overlevelsesindeks ved å dele overlevelsesestimatet til Ims-smolt fra hver smoltårgang med gjennomsnittlig overlevelse for hele perioden. Man får da en indeks som er mindre enn 1 for år med dårlig overlevelse og større enn 1 for gode år og med et gjennomsnitt på 1. Ved å dividere fangstene av ensjøvinterlaks i Suldalslågen med denne indeksen får vi de korrigerede fangsttallene.

Det er utover i rapporten viktig å ha en god forståelse for hva de korrigerede fangsttallene egentlig uttrykker. Populært kan vi si at *de korrigerede fangsttallene for årene 1983 til 2002 er den fangsten man ville ha fått om sjøoverlevelsen og sjøbeskatningen hadde vært konstant i hele perioden.*

Som indikert ovenfor er det flere forutsetning for å kunne evaluere variasjon i smoltoverlevelse ved hjelp av korrigerede fangsttall for smålaks i Suldalslågen. Disse vil bli gjennomgått og diskutert nedenfor.

- 1) *Smoltproduksjonen må ikke variere mye i perioden.* Dette vet vi ikke om er tilfelle for smoltårsklassene 1982 til 2001 i Suldalslågen. Det finnes kvantitative estimat av smoltutvandringen i Suldalslågen for fire år (1999-2002) (Saltveit & Bremnes 2003). Estimatenes varierer her relativt lite (Standardavviket i prosent av gjennomsnittet $CV=25\%$) – fra ca 31 000 til 51 000 – og usikkerheten i estimatene er relativt store. Variasjonen er lav sammenlignet med Orkla ($CV=87\%$) og på nivå med Stjørdalselva ($CV=27\%$). Antall smolt fanget hvert år kan også tenkes å kunne brukes som en indikasjon på smoltutgangenes størrelse. Det er antatt at fangst av smolt i feller gir relativt god informasjon om mengden smolt som til ethvert tidspunkt vandrer (Hvidsten 1990). Dette forutsetter imidlertid at fangsteffektiviteten til en hver tid er lik, noe den ikke alltid var i Suldalslågen (Saltveit 1998; Saltveit & Bremnes 2003). Ved økende vannføring og flom ble fella fort fylt med kvister, greiner, mose og annet organisk materiale. Fella ble imidlertid tømt oftere ved slike situasjoner, for å redusere denne feilkilden. Felletype og lokalitet ble skiftet etter de tre første åra (1993 - 95). I den lengste serien med smoltestimat med lignende metodikk i Norge – fra Orkla – er det for hele datasettet ingen signifikant sammenheng mellom antall fisk fanget i fellene og smoltestimatet (N.A. Hvidsten, upubliserte data). Ved å fjerne den høyeste fellefangsten (i 1991) oppnår man imidlertid en signifikant korrelasjon. Det ser ut til å være en slik sammenheng i Suldalslågen, men denne er foreløpig bare basert på fire år. Derfor vil ikke fellefangstene bli brukt til å representere smoltmengdene. Undersøkelser av ungfiskbestanden i Suldalslågen har vist relativt liten variasjon i tettheter av eldre laksunger i perioden 1977 til 1997 (Saltveit 2000). Basert på disse resultatene og resultatene fra smoltundersøkelsene konkluderer Saltveit (2000) at smoltproduksjonen sannsynligvis har variert lite i perioden. I den samme rapporten blir det også pekt på at fangstene av voksen fisk har variert svært mye, og at dette indikerer at overlevelsen i havet har variert mye fra år til år. Muligheten for variasjoner i smoltproduksjon må imidlertid taes med i tolkingen av resultatene fra analysene.
- 2) *Fangststatistikken fra Suldalslågen må være stabil i perioden.* Dette innebærer at både rapporteringsrutinene (=andelen av fanget fisk som rapporteres) og fangstinnsatsen (\approx andelen av oppvandrende fisk som blir fanget - beskatningsraten) må være relativt lik mellom år. Fangstinnsatsen har imidlertid endret seg betydelig i perioden og var vesentlig større (over dobbelt så stor) på 1980-tallet enn på 1990-tallet (Øyvind Vårvik, Suldal Elveigarlag pers. medd.), dette gjelder spesielt i øvre

deler av elva og ikke i så stor grad i nedre deler av elva. Flest smålaks blir fanget i nedre deler, slik at det er grunn til å anta at smålaksfangstene i mindre grad enn fangstene av større laks har blitt påvirket av nedgangen i fangstinnsats.

Rapporteringsrutinene har imidlertid vært gode og stabile i alle fall fra slutten av 1980-tallet (Øyvind Vårvik pers. medd.). Fiskesesongen har også blitt kortet inn i perioden, og fiskesesongen starter nå 15. juli, mot i mai først på 1980-tallet. Dette har også trolig også påvirket fangstene av stor laks mer enn fangstene av smålaks, siden smålaksen generelt kommer inn i fangstene seinere enn større laks. Fiskesesongen har også blitt kortet inn på høsten fra oktober først på 1980-tallet 20. september i 2003. Hvordan dette har påvirket fangstene av de ulike størrelsesgruppene av laks er mer vanskelig å forutse. Nå er det heller ikke slik at endringer i fangstinnsats nødvendigvis fører til at en høyere eller lavere andel av fisken som vandrer opp i elva blir fanget (Fiske & Aas 2001). Færre fiskere kan øke den enkeltes effektivitet og færre fisketimer og døgn kan virke på samme måte.

- 3) *Overlevelsesestimater for smolt fra Imsa må være representative for overlevelsen til Suldalsmolt.* Denne forutsetningen er diskutert i detalj ovenfor og brudd kan primært oppstå på grunn av forskjeller i laksebestandenes sammensetning (sjøalder). Til tross den usikkerhet som finnes, både teoretisk og empirisk, konkluderte vi at overlevelsesestimater for smålaks fra Imsa er det *beste* grunnlaget for å korrigere fangstallene fra Suldalslågen.

Til alle disse forutsetningene må det presiseres at brudd på disse i seg selv ikke er grunnlag for å avvise de korrelasjonene vi finner. Falske korrelasjoner vil bare oppstå dersom det er samvariasjon mellom våre forklaringsvariable og forutsetningene. To eksempler: a) Smoltproduksjonen er spesielt høy de åra når vår forklaringsvariabel (f. eks vannføring) har høye verdier og b) fangstrapporteringen er generelt lav for de åra når vår forklaringsvariabel har lave verdier (f. eks. lav sjøtemperatur).

Vi har i våre analyser i utgangspunktet brukt den offisielle laksestatistikken fra Statistisk sentralbyrå (SSB). Tidligere analyser av fangstene i Suldalslågen (Larsen & Sægrov 2003, Sægrov 2003) har andre fangsttall. Årsaken til avvikene er ikke klar, men Sægrov har i sine arbeider basert seg på statistikken innsamlet av Suldal Elveigarlag. Før statistikken ender opp hos SSB har den vært vurdert og eventuelt korrigert hos Fylkesmannens miljøvernnavdeling. Som nevnt vet vi ikke hvilke korrigeringer som er gjort i de ulike statistikkene (behandling av

innslag av rømt og utsatt fisk, fang og slipp fiske er mulige forskjeller) og vi har derfor valgt å gjøre noe av analysene basert på både den lokale og offisielle statistikken.

Korrelasjonsstudier

Den relative ”smoltoverlevelsen” etter utvandringen fra Suldalslågen (korrigerede fangsttall) ble korrelert mot en rekke miljøfaktorer i elva og sjøen utenfor.

Sjøtemperaturer er viktig fordi lave sjøtemperaturer kan gi dårligere overlevelse til smolten fordi osmoreguleringen er vanskeligere i kaldt enn varmt vann. Osmotisk stress kan bli et problem for fullt utviklet smolt ved temperaturer under 6-7 °C i sjøvann (Sigholt og Finstad 1990). Sjøtemperaturer på 1 m dyp ble hentet inn fra Havforskningens stasjon på Indre Utsira som ligger utenfor fjordsystemet som Suldalslågen munner ut i. Forskjellene mellom målinger på 1 og 5 m var generelt små. Ved de fleste relevante periodene var det nær eller fullt sjøvann ved denne stasjonen (35 %). Stasjonen ligger derfor trolig nær det område der smolten først møter fullt saltvann og problemene relatert til osmoregulering kan oppstå.

Temperaturmålingene er foretatt til forskjellige tider hvert år og med uregulær frekvens. I korrelasjonsanalysene benyttet vi temperaturen nærmest dagen for 50 % utvandring for smolten fra Suldalslågen. I tillegg benyttet vi månedsmiddeltemperaturer for april og mai.

En annen viktig faktor for overlevelsen til laksesmolt har i de siste 10-20 åra vært oppdrettsvirksomheten og da primært betydningen av lakselus. Smolt fra Imsa har en kortere vei ut i åpent hav og det er derfor ikke sannsynlig at overlevelsesestimaterne derfra fanger opp viktige endringer for Suldalsmolten, som for eksempel påvirkning fra lakselus. Det finnes etter det vi kjenner til ikke langtidsserier for lusesituasjonen i fjordsystemet utenfor Suldalslågen eller i Rogaland generelt og som *indikator* på denne mulige påvirkningsfaktoren brukte vi derfor to datasett. For det første brukte vi antall oppdrettfisk (laks og regnbueørret) i sjøen i Rogaland. Produksjonsøkningen har vært svært stor fra 1982 til 2001 og denne variabelen er et uttrykk for vertstettheten for lakselus i fylket. Den andre variabelen vi brukte var estimatet for antall luselarver produsert i norske farevann i modellen til Heuch & Moe (2001). I denne modellen tas det foruten produksjonstallene også hensyn til de reguleringer som er gjort av lusenivåer i norske oppdrettsanlegg i perioden (inklusive synkronisert avlusing). Basert på registreringene av lakselus på sjøørret i deler av perioden (Elnan & Gabrielsen 1999, Kålås et al. 2000, Kålås & Urdal 2001,2002) ser det ut til at denne nasjonale modellen stemmer tidsmessig med utviklingen av lusenivåene i Rogaland.

Smolten har under utvandringen i sjøen en stor grad av passiv forflytning med overflatestrømmen (McCleave 1978, Hvidsten et al. 1995). Overflatestrømmen i fjorder er bestemt av tidevann, vind og ferskvannsavrenning fra elvene. I den smale Sandsfjorden kan imidlertid ferskvannsavrenningen være bestemmende for retning og hastighet for overflatestrømmen (Lie et al. 1992). Det er tidligere vist at overlevelsen til merket kultivert smolt satt ut i Suldalslågen er lav (Strand et al. 2003) og dette har vært knyttet både til forsureffekter (f. eks. Kroglund et al. 1995; Finstad et al. 1999, se nedenfor for mer om forsurening i Suldalslågen) og lakselusinfeksjoner (f. eks. Strand et al. 2003). Lang oppholdstid i fjorden vil kunne gi større risiko for påslag av lakselus, lengre eksponering for giftig aluminium i brakkvannsområdene og større predasjon fra marine predatorer med påfølgende redusert smoltoverlevelse. Vi har derfor tatt inn målte verdier for vannføring i de viktigste vassdragene i fjordsystemet (Suldalslågen, Hylen kraftverk og Storelva i Sauda) samt estimater for avrenning i de uregulerte feltene (data fra Kjell Sandsbråten, Statkraft Grøner). Til sammen utgjør disse ferskvannstilførselen til Sandsfjorden. Ut fra disse datasettene hentet vi flere variable som ble testet. Gjennomsnittlig vannføring i perioden hvor mellom 25 og 50 % av smolten ble predikert (basert på smoltmodellen) å ha gått ut fra Suldalslågen. På samme måte beregnet vi gjennomsnittsvannføringen mellom at 25 og 75 %, og 50 og 75 % av smolten var predikert til å ha gått ut. Vi testet også akkumulert vannføring (sum for mellom 25 og 75 % utvandring) da dette kan ha noe betydning for oppfylling av bassenger og dermed strømretning i fjordsystemet (Lie et al. 1992).

Fra Suldalslågen hentet vi også flere variable. Den første er vannføringen i elva når smolten går. Det er tidligere vist at smolt satt ut ved høy vannføring har høyere overlevelse enn smolt på lavere vannføring ut på stor i forhold til smolt som ble satt ut på liten vannføring (Hvidsten & Hansen 1988). Vannføringen ble beregnet som gjennomsnittlig vannføring for en gjennomsnittlig smolt (summen av vannføring ganger antall smolt hver dag det går smolt delt på totalantallet smolt) for hele utvandningsperioden og deler av denne (f. eks. mellom 25 og 50 % utvandring). Beregningene ble basert på bare predikerte utvandring og på en kombinasjon av predikerte og observerte utvandringmønster. Vi testet også vanntemperatur i Suldalslågen under utvandringen. Til slutt tok vi også inn smoltlengde som variabel for perioden 1993-2002. Smoltlengden er kjent for å kunne påvirke smoltens overlevelse (Rosseland 1979, Johnsen & Jensen 1997).

En siste faktor som det er antatt kan ha betydning for smoltoverlevelse i Suldalslågen er forsurening (f. eks. Kroglund et al. 1995; Finstad et al. 1999; men se Schjolden et al. 2001). Laksesmolt er spesielt sensitiv for forsurening (Kroglund & Staurnes 1999, Kroglund & Finstad 2003) og dødeligheten kan bli spesielt stor når smolt med aluminium på gjellene (forsuringsrelatert) kommer ut i fjorden. Vi har brukt to variable til å beskrive mulige forsureningseffekter. Alkalinitet (som uttrykker vannets ”motstandskraft mot forsurening”) er målt i en årrekke og har endret seg i perioden 1981 til 2002 og endringene har vært knyttet til reguleringen (Blakar 1999). Fra 1986 og til 1994 sank alkaliniteten for deretter å øke igjen fram til 2002, trolig som en følge av redusert sur nedbør (Blakar 1999, Blakar 2003 under utarbeidelse). Vi brukte årsgjennomsnitt av målingene som en variabel. I diskusjonene om mulige forsureningseffekter på smolt i Suldalslågen (Kroglund et al. 1995, Finstad et al. 1999) har det vært lagt vekt på betydningen av sure sidebekker i restfeltet og blandsoner med dannelse av giftige aluminiumsformer. Det er spesielt når restfeltet utgjør en stor del av vannføringen i Suldalslågen at det er størst mulighet for slike episoder. Vi beregnet derfor bidraget fra restfeltet som differensen mellom vannføringen på målestasjonen i Suldalsoset og i Lavika nederst i Suldalslågen delt på vannføringen i Lavika. Vi testet bidraget fra restfeltet for de samme tidsintervallene som vi brukte i analysene av betydningen av vannføringen under utvandringen.

Det må knyttes noen kommentarer til denne store korrelasjonsmatrisen. Noen av variablene er samvarierende og i den grad det finnes sterke korrelasjoner for enkeltvariable vil effekten av disse kunne overstyre og således skjule effekten av andre variable. Dette ble løst ved å bygge multiple regresjonsmodeller hvor flere faktorer ble tatt inn samtidig. Videre er det slik at sannsynligheten for å finne signifikante korrelasjoner som oppstår ved en tilfeldighet er større når et stort antall korrelasjoner kjøres på samme materiale. Det må derfor utvises forsiktighet ved tolking av resultatene og stilles strengere krav til signifikansnivå for disse analysene. Vi har imidlertid valgt å ta inn så vidt mange variable fordi det er mange faktorer som er dokumentert eller antatt å påvirke smoltoverlevelse. Det er derfor vel så viktig å utelukke faktorer som å beskrive faktorer som har effekt.

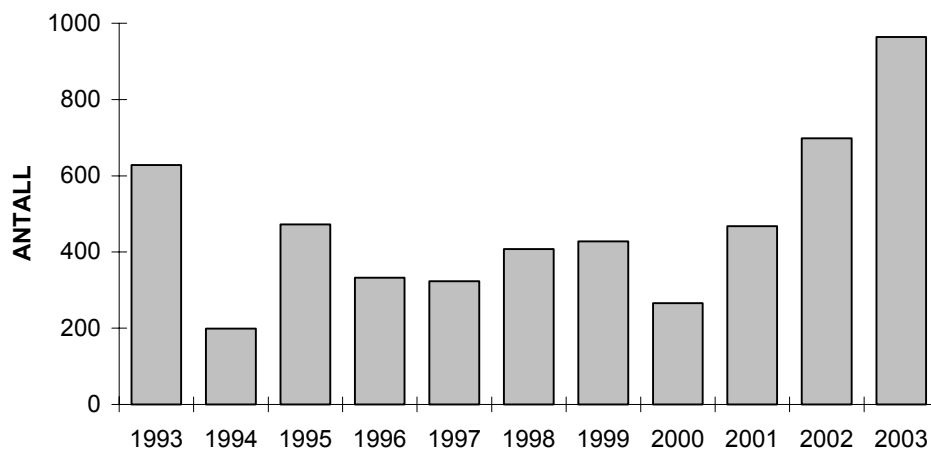
3.4 Evaluering av betydning av tidspunkt for smoltutvandring

I tillegg til de korrelative studiene har vi vurdert temperaturforholdene i fjorden under utvandningsperioden ut fra generell kunnskap om temperaturforhold som vurderes som gunstig for smolten. Dette gir mulighet til å vurdere hvor viktig tidspunktet for utvandring er for smoltens overlevelse. Denne vurderingen er basert på de beregnede utvandringstidspunktene fra smoltmodellen. Dersom temperaturforholdene varierer lite og innenfor gunstige rammer i den totale perioden når smolten vandrer ut (i alle år) vil utvandringstidspunktet være mindre viktig enn om miljøforholdene varierer mye og ikke minst når kritiske grenser krysses i løpet av perioden (f. eks 6-7 °C vanntemperatur i overflatelaget). Vi brukte data fra Havforskningens stasjon på Indre Utsira (se kapitlet om Korrelative studier) for perioden 1982 til 2003 og beregnet gjennomsnittstemperatur og variasjonen innen 7-dagersperioder for perioden fra starten av april til slutten av juni. Denne perioden dekker således variasjonen i utvandringstidspunkt og flere uker i for- og etterkant.

4 Resultater og evaluering

4.1 Smolt i Suldalslågen; antall, produksjon, alder og vekst.

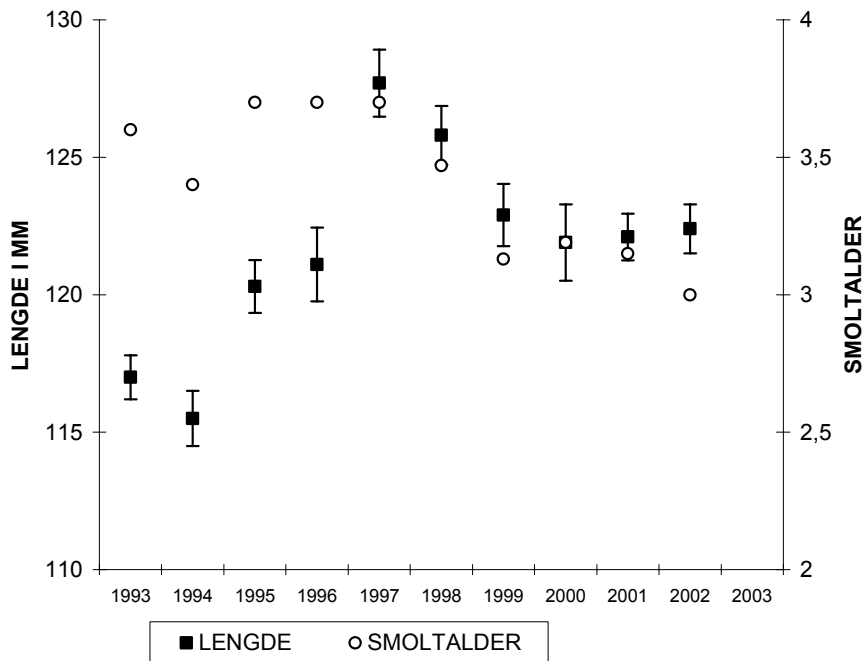
Fangstene av smolt var lave i 1994 og høye i 2003 og relativt stabile i resten av perioden (Figur 1). Det må bemerkes at smoltfella i 1993 og 1994 hadde en annen plassering enn i resten av perioden og at en ny og mer effektiv felle ble brukt fra 1996 og utover (Saltveit 1998). Med unntak av Wolff-feller (som finnes i Imsa og Talvik) fanger alle smoltfeller som er i bruk i Norge bare en liten andel av smolten som vandrer ut. En grunnleggende antagelse er da at fellene fanger et representativt utvalg og at fangsteffektiviteten ikke er avhengig av miljøforhold. Det finnes ikke bevis for at så er tilfelle, men antagelsen er rimelig. Tendenser til sammenhenger mellom fangst og estimat støtter dette. De fellene som ble brukt i Suldalslågen kan sees på som innretninger som filtrerer en viss vannmengde for smolt. Når vannføringen øker, øker vannmengden som filtreres og fangsteffektiviteten i forhold til vannmengden i elva opprettholdes. Det er kjent at effektiviteten reduseres når det kommer mye kvist og annet med elva. Dette kompenseres ved økt ettersyn og rensing, men når drivet blir for stort må fellene taes opp. Dette skjer relativt sjelden i Suldalslågen (se hvordan dette ble behandlet lengre ut i rapporten). For vår modellering er ikke skifte av fellelokalisitet og felletype vesentlig. Det er fordelingen av fangster i løpet av utvandningsperioden som brukes i modelleringen.



Figur 1. Antall villsmolt og smolt fra utsatt fisk fanget i smoltfelle i Suldalslågen i 1993 til 2003.

Fra 1993 til 1998 varierte gjennomsnittlig smoltalder mellom 3,7 og 3,5 år. I 1998 var villsmolt dominert av 3 og 4 år gammel fisk, mens 3 år gammel smolt fullstendig dominerte sammensetningen av villsmolt i 1999 (Saltveit 2004 under utarbeidelse). Det store innslaget av yngre smolt i 1999 og 2000 gjør at gjennomsnittlig smoltalder er lavere disse årene, 3,1 år og 3,2 år. Villsmoltmaterialet var i 2001 og 2002 fullstendig dominert av 3 år gammel fisk. Det store innslaget av yngre villsmolt i 2001 og spesielt i 2002 gjør at gjennomsnittlig smoltalder var relativt lav (Figur 2). Lavere smoltalder i de senere år kan være et resultat av økt vekst hos ungfisk og at smolt derved oppnår smoltstørrelse ved lavere alder. Alder og størrelse på smolten i 2003 er ikke tilgjengelig ennå.

Fra 1993 fram til 1997 hadde villsmolt fanget i fella en statistisk signifikant ($p < 0,05$) økning i gjennomsnittslengde (Figur 2), deretter har smoltlengden igjen gått litt ned.

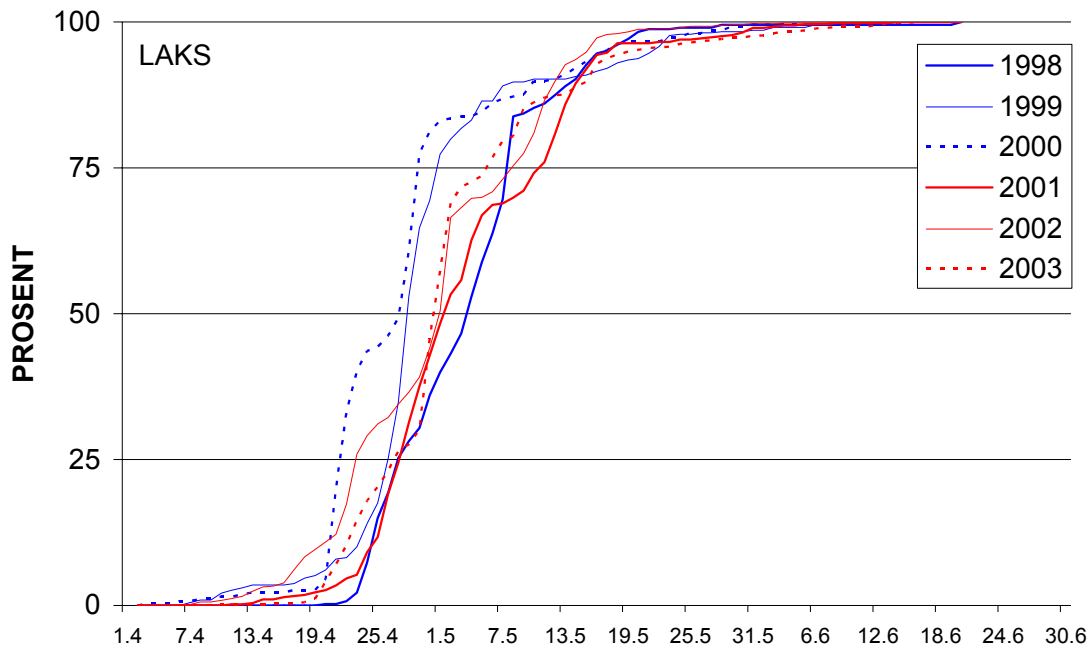


Figur 2. Gjennomsnittslengde (± 95 % konfidensintervall) ulike år hos villsmolt fanget i smoltfella i Suldalslågen i perioden 1993 til 2003. Data fra 1993 og 1994 er hentet fra Pethon & Lillehammer (1995).

4.2 Utvandringsforløp

I de to prøveperiodene for manøvreringsreglement (fra 1998 til 2000 og 2001-2003) vandret hovedtyngden av villsmolten ut i løpet av en kort periode hvert år, men periodene var noe forskjellig mellom år. Tidspunktet for når henholdsvis 50 % og 75 % av smolten hadde vandret ut er forskjøvet ca. en uke ut i tid i 2001, 2002 og 2003 sammenlignet med 1999 til 2000. I 1998 var utvandringsforløpet likt det i 2001 og 2002 (Figur 3). I 1998 hadde 50 % vandret ut 4. mai, mens 50 % av smolten i 1999 og 2000 hadde vandret ut enda tidligere, henholdsvis 28. og 26. april, mens ca. 75 % var ute henholdsvis 1. mai og 29. april disse årene.

I 2001 var 50 % av smolten ute 1. mai, mens 75 % hadde vandret ut 10. mai. Utvandringen av smolt i 2001 var altså senere og noe langsommere enn i 2000. Utvandringsforløpet i 2002 skilte seg lite fra forløpet i 2001 og var også noe senere enn i 1999 og 2000. Siden tidspunktet for utvandring var signifikant forskjellig mellom år (se nedenfor), betyr dette at utvandringen i den siste prøveperioden har vært senere enn utvandringen i den første perioden som hadde høy vannføring på våren under utvandring. Imidlertid betyr dette også at utvandringen i den siste perioden har vært signifikant tidligere enn årene før 1998 (se Tabell 1).



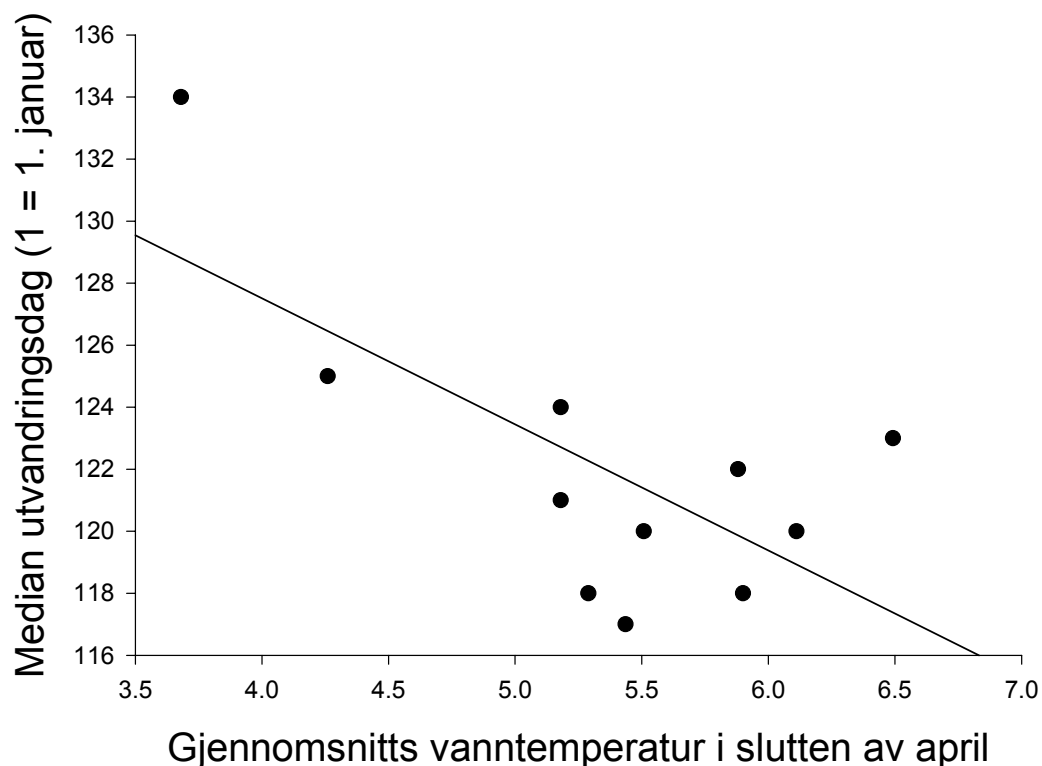
Figur3. Kumulativ prosentvis fordeling av utvandring av smolt fra Suldalslågen i perioden 1998 til 2003. Farge indikerer de to ulike prøvereglement

4.3 Smoltmodell

Hovedutvandringen av smolt fant sted i månedsskiftet april-mai (Tabell 1). Tidspunktet for utvandring var signifikant forskjellig mellom år (Kruskall-Wallis test, $X^2=764.5$, $df = 9$, $p<0.001$). Median utvandningsdato var signifikant negativt korrelert med gjennomsnittlig vanntemperatur i de siste fem dagene av april (Figur 4, $r = -0.69$, $n = 11$, $p = 0.018$). Det kaldeste året var 1994, dette er også et år da rutinene for smoltfangst var annerledes enn fra og med 1995. Før median smoltutvandningsdato var det noen dager at smoltfella ikke hadde vært i drift, slik at en del smolt ville ha unngått fangst og median utvandningsdato kunne dermed ha blitt feilestimert. For å undersøke hvordan dette kunne påvirke korrelasjonen regnet vi ut ny median smoltutvandningsdato for et datasett hvor smoltfangstene for de manglende dagene ble antatt å være gjennomsnittet av de to nærmeste dagene. Dette førte til at median dato for smoltutvandring ble forskjøvet en dag fram. For at sammenhengen mellom vanntemperaturen i slutten av april og median smoltutvandningsdato ikke lenger skal være statistisk signifikant må median smoltutvandningsdag flyttes hele syv dager fram. Basert på vannføring og vanntemperatur på dagene hvor smoltfella ikke var i drift, anser vi det som lite trolig at store mengder smolt hadde vandret ut på disse dagene.

Tabell 1. Tidspunkt (dag nummer) for 25 %, 50 % og 75 % smoltutvandring i Suldalslågen i perioden 1993-2003. Dag nummer er juliansk dag og dato er gitt for 50 % (median) utvandring.

År	25 %	50 %	75 %	Dato for 50 %
1993	116	118	120	28. april
1994	128	134	134	14. mai
1995	124	124	125	4. mai
1996	123	125	134	4. mai
1997	119	122	125	2. mai
1998	116	123	127	3. mai
1999	115	117	120	27. april
2000	112	118	119	27. april
2001	116	120	129	30. april
2002	112	120	127	30. april
2003	117	121	126	1. mai



Figur 4. Median utvandringssdag for smolt i Suldalslågen i perioden 1993-2003 plottet mot gjennomsnittlig vanntemperatur i de fem siste dagene av april de samme år.

Modell med år som faktor

Det var forskjeller i sammenhengene med kovariatene i modellen mellom år (Tabell 2).

Smoltvandringen var negativt korrelert med dag (dato) og endringer i vanntemperatur, og positivt korrelert med (øker med) vannføring, vanntemperatur, antall smolt igjen og endringer i vannføring (Tabell 2). De viktigste forklaringsvariablene i modellen var vannføring, vanntemperatur og antall smolt igjen. Månefase kom ikke inn som en forklaringsvariabel. Saltveit (1998) fant heller ikke forskjell i antall smolt som vandret ut ved forskjellige månefaser. En annen modell hvor også vindstyrke og lufttemperatur var med som forklaringsvariable beskrev dataene bedre enn modellen vi har valgt, men vi har valgt å ta dem ut fra den endelige modellen fordi de bidro lite, og tolkingen av denne modellen er mindre klar enn den vi valgte. At disse variablene kom med kan være et resultat av at vi i utgangspunktet startet med mange variable og at noen ble ”signifikante” ved ”tilfeldigheter”.

Den valgte modellen var godt i stand til å beskrive det generelle utvandringsmønsteret hos laksesmolt i Suldalslågen, men siden år er med som en faktor er modellen lite generell.

Tabell 2. Parameterestimer og standardavvik i GLIM analysen. Z-verdien blir brukt for å teste null hypotesen at parametereffekten er null. Små p-verdier (dvs. store z-verdier) indikerer at parameterverdien er forskjellig fra null. AIC = 4340.

Faktorer og kovariater	Parameter			
	estimat	SD	z	p
Konstant	-18.42	0.67	-27.5	<0.001
Faktor år				
1994	0.83	0.09	9.33	<0.001
1995	0.43	0.07	5.78	<0.001
1996	1.36	0.10	13.63	<0.001
1997	0.98	0.08	12.16	<0.001
1998	0.96	0.08	12.50	<0.001
1999	0.56	0.07	8.23	0.045
2000	0.71	0.09	7.75	<0.001
2001	1.16	0.07	15.75	<0.001
2002	0.17	0.06	2.76	0.006
Kovariater				
Ln(Vannføring)	1.82	0.05	33.88	<0.001
Ln(Vanntemperatur)	5.31	0.17	32.07	<0.001
Ln(Antall smolt igjen+1)	0.92	0.05	20.33	<0.001
Endring i vanntemperatur fra forrige dag	-0.42	0.05	-9.33	<0.001
Endring i vannføring fra forrige dag	0.013	0.002	8.19	<0.001
Dag	-0.019	0.004	5.20	<0.001

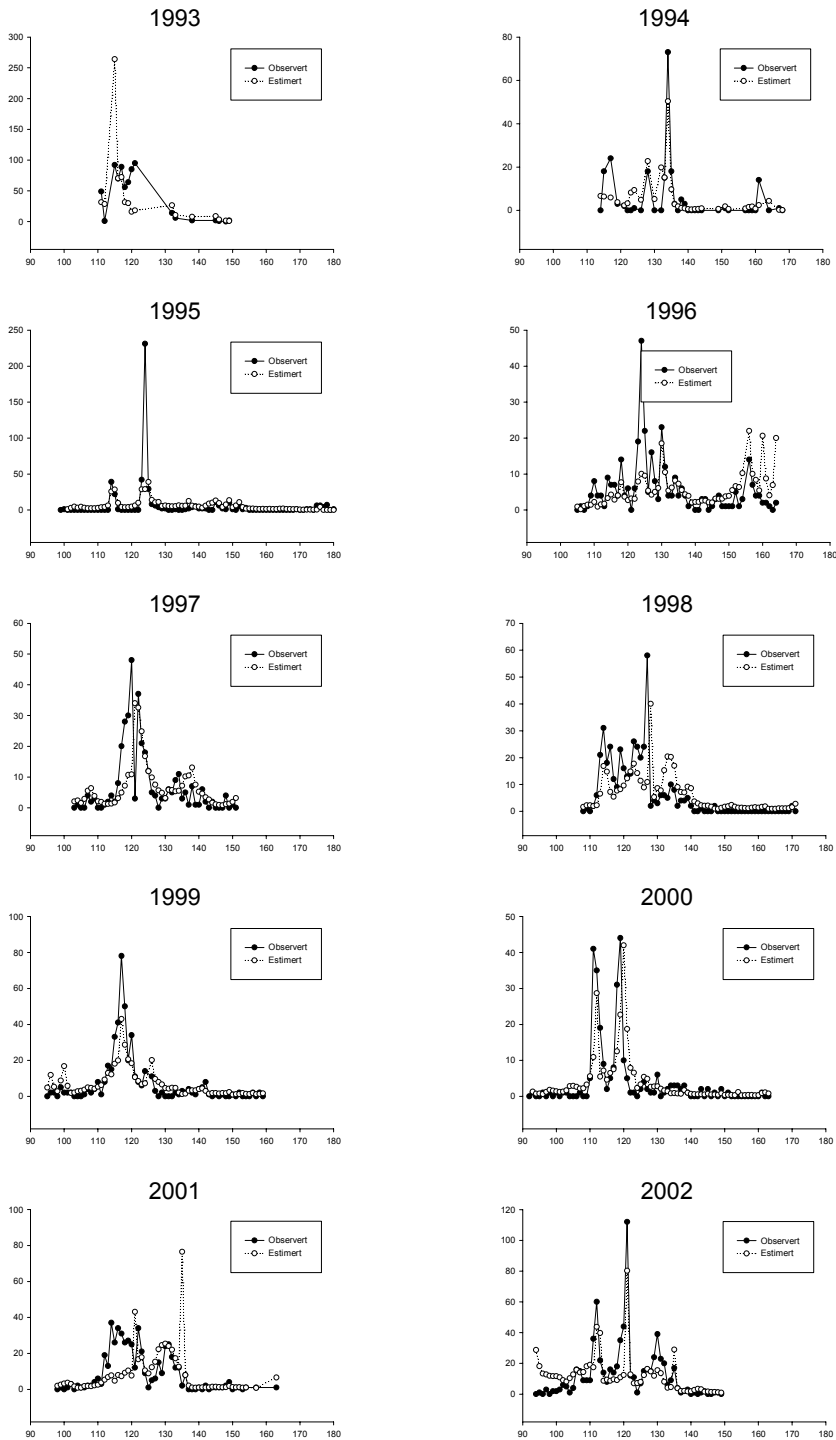
Modell uten år som faktor, men med vanntemperaturen i slutten av april som kovariat
Siden det er en sammenheng mellom median utvandningsdato og vanntemperaturen tidlig på våren, ble vanntemperaturen i slutten av april benyttet som et kovariat i en modell som bør ha større generalitet. Denne modellen forklarte ikke dataene i like stor grad som modellen med år som faktor (AIC = 4788 for denne modellen, mens AIC = 4340 for modellen med år som faktor). Likevel har en slik modell større generalitet siden man ikke er avhengig av å beregne årseffekten på bakgrunn av dataene. Dermed kan en slik modell benyttes til å beregne smoltutvandringsmønsteret i år hvor man bare kjenner vannføring og vanntemperatur. De samme miljøvariablene som i modellen med år som faktor påvirket smoltutvandringen på

samme måte (Tabell 3). Videre var parameterestimaterne svært like i de to modellene (Tabell 2 og Tabell 3). 1993 og 1994 hadde en mer uregelmessig fangststigningsrate enn de andre årene, og for å teste hvordan dette påvirket våre estimater, kjørte vi også modellen uten at disse årene var med. Parameterestimaterne i modellen endret seg relativt lite som følge av å ta ut disse årene (Appendiks 1) og vi valgte derfor å benytte modellen som ble tilpasset for årene 1993-2002 i videre beregninger. Videre fikk vi etter at beregningene var utført også tilgang på data fra 2003 sesongen. Heller ikke det å inkludere disse i beregningen endret modellen i vesentlig grad (Appendiks 1).

Tabell 3. Parameterestimater og standardavvik i GLIM analysen. Z-verdien blir brukt for å teste null hypotesen at parametereffekten er null. Små p-verdier (dvs. store z-verdier) indikerer at parameterverdien er forskjellig fra null. I denne analysen har vi benyttet temperaturen i slutten av april i stedet for årseffekter for å forklare forskjeller mellom år i utvandringmønster. AIC = 4788.

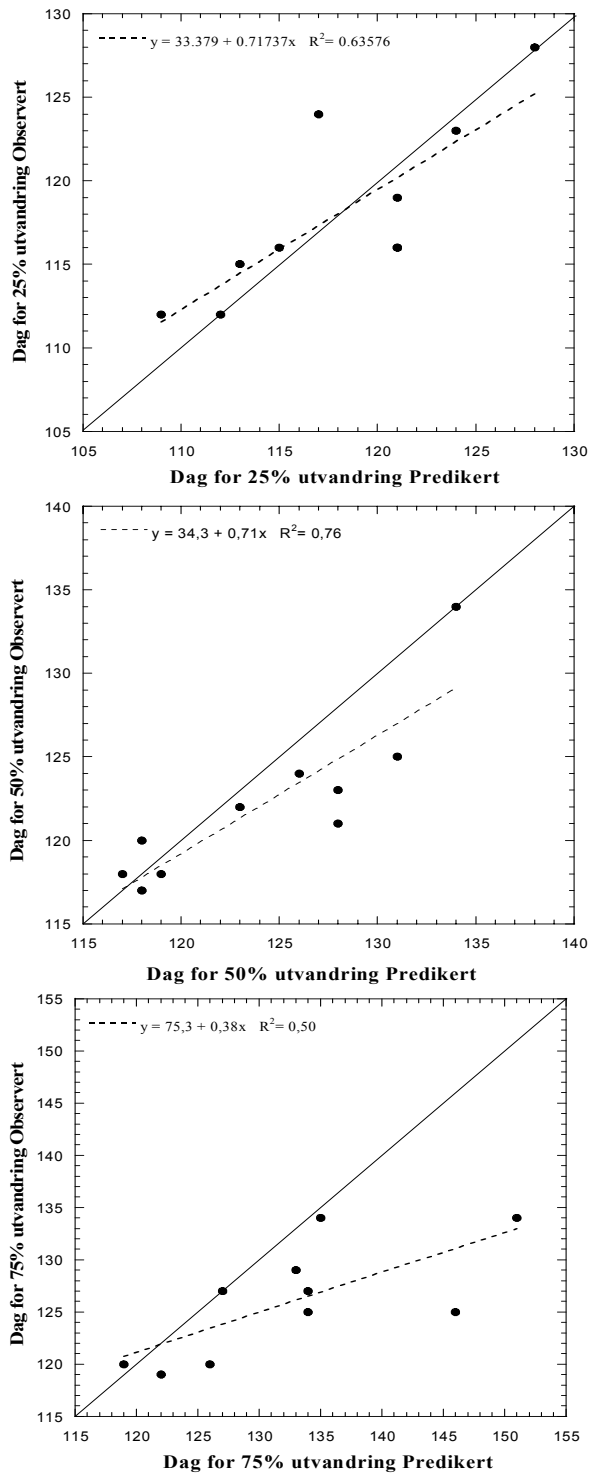
Faktorer og kovariater	Parameter			
	estimat	SD	z	p
Konstant	-11.42	0.47	-24.27	<0.001
Kovariater				
Ln(Vannføring)	1.42	0.04	33.86	<0.001
Ln(Vanntemperatur)	4.38	0.13	33.50	<0.001
Ln(Antall smolt igjen+1)	0.58	0.03	19.70	<0.001
Endring i vannføring fra forrige dag	0.020	0.002	13.08	<0.001
Dag	-0.023	0.003	-9.34	<0.001
Endring i vanntemperatur fra forrige dag	-0.34	0.05	-7.51	<0.001
Vanntemperatur i slutten av April	-0.19	0.03	-6.59	<0.001

Antall smolt



Dag (1. januar = 1)

Figur 5. Antall smolt fanget og estimert ut fra modellen i Suldalslågen i perioden 1993-2002. Her er det aktuelle året tatt ved beregning av modellen som utvandringmønsteret er basert på. Av praktiske årsaker er resultatene fra 2003 ikke presentert her, men disse avviker ikke fra de generelle trendene (Appendiks 1).



Figur 6. Observert mot predikert dag nummer når 25 %, 50 % og 75 % av smolten hadde gått ut fra Suldalslågen. Heltrukken linje er 1:1 forholdet.

Test av generaliteten til modellen med vanntemperatur i slutten av april som kovariat

For å teste hvor generell en slik modell var, laget vi nye modeller hvor ett og ett år ble tatt ut av grunnlagsmaterialet og modellen basert på resultatene i de andre årene ble brukt for å beskrive utvandringen i året som ble tatt ut. Dette er en vanlig måte å validere modeller på fordi det er svært sjelden at man har uavhengige datasett å teste modellene på (f. eks. Oreskes et al. 1994). De generelle utvandringmønstrene ble godt beskrevet av de valgte modellene i alle år unntatt 1996 (Figur 5). Modellen forutsier på en svært god måte både dato for 25 og 50 % utvandring (Figur 6; $R^2=0,63$ og $0,76$). I de fleste av tilfellene er avviket mellom observert og predikert på bare noen få dager og for 50 % utvandring var gjennomsnittsavviket på 2,7 dager. Prediksjonen for 75 prosent utvandring var noe dårligere ($R^2=0,50$) ved at modellen hadde en tendens til å overestimere tidspunktet. Gjennomsnittsavviket var på 6,9 dager og variasjonsbredden fra 0 til 21 dager. Dette henger sammen med at modellen, til tross for gode prediksjoner for tidspunkt for topper i utvandring, i mange tilfeller underestimerer hvor mange smolt som går i disse periodene. Modellen får da relativt flere fisk igjen mot slutten av utvandningsperioden.

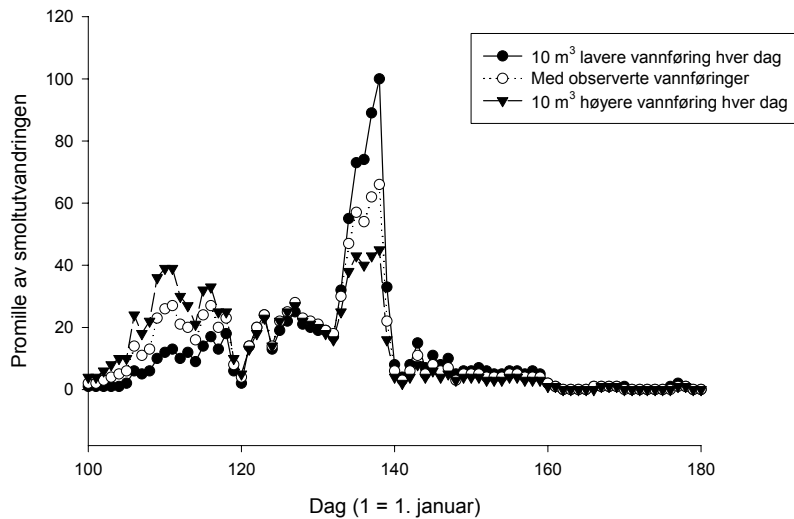
Betydning av tidspunkt for utvandring – noen eksempler

Endringer i vanntemperaturen (mens alle andre faktorer er holdt som de var i utgangspunktet) og endringer i vannføring (mens alle andre faktorer er holdt konstant) ser begge ut til å ha samme effekt på smoltutvandringen (for et eksempel se Figur 7). Økninger i vannføring og temperatur gir høyere topper tidlig på sesongen og lavere topper seint på sesongen, mens senkninger gir en motsatt effekt (Figur 7). Dette vil føre til at storparten av smolten går noe tidligere hvis vannføringen eller vanntemperaturen økes, og vil gå noe seinere hvis de senkes. I eksempelsimuleringene har vi tatt utgangspunkt i en lik økning og senking alle dager, dette er urealistisk og må bare sees som et eksempel på ulike typer simuleringer som kan gjøres med modellen.

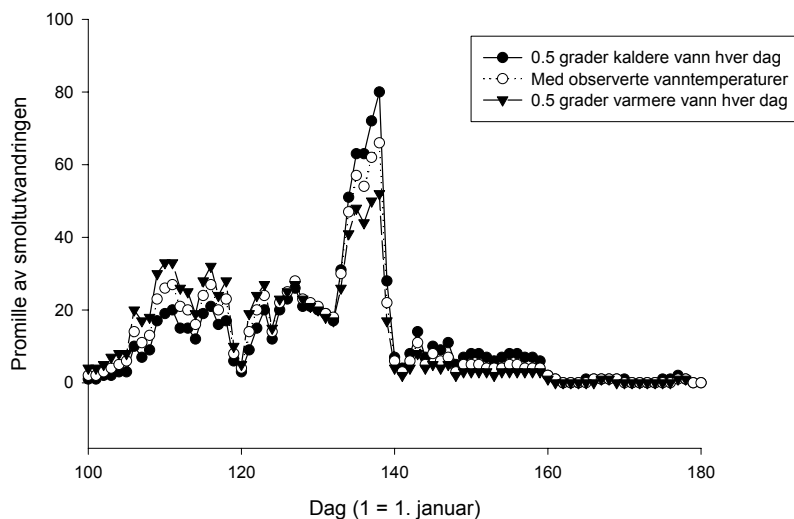
I perioden 1981-2001 predikerer modellen at median utvandningsdato ville blitt ca to dager seinere (spenn 0-5 dager) hvis den daglige vannføringen hadde blitt redusert med 10 m^3 . En økning i daglig vannføring på 10 m^3 ville resultert i at median utvandningsdato ville blitt ca 2 dager tidligere (spenn 0-6 dager). Videre ville en senking av de daglige temperaturene på $0,5^\circ\text{C}$ ført til at median utvandningsdato ville blitt ca 2 dager seinere (spenn 0-5), mens en økning av de daglige temperaturene med $0,5^\circ\text{C}$ i følge modellen ville føre til at median utvandningsdato ville blitt ca 2 dager

tidligere (spenn 0-5 dager). Bare prediksjoner basert på realistiske og samtidige endringer i vannføring og vanntemperatur kan si noe om hvordan endringer i kjøring av kraftverk kan påvirke smoltutvandringen. Dette ligger utenfor denne rapportens rammer.

Predikerte utvandringsmønstre i 1982
Endringer i vannføring



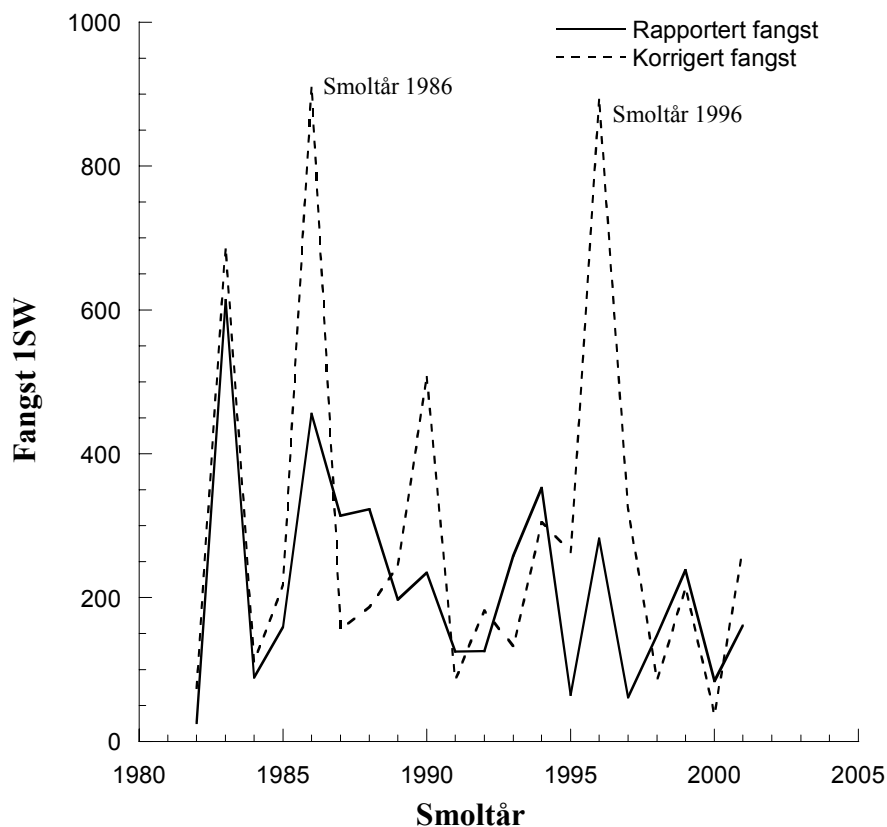
Predikerte utvandringsmønstre i 1982
Endringer i vanntemperatur



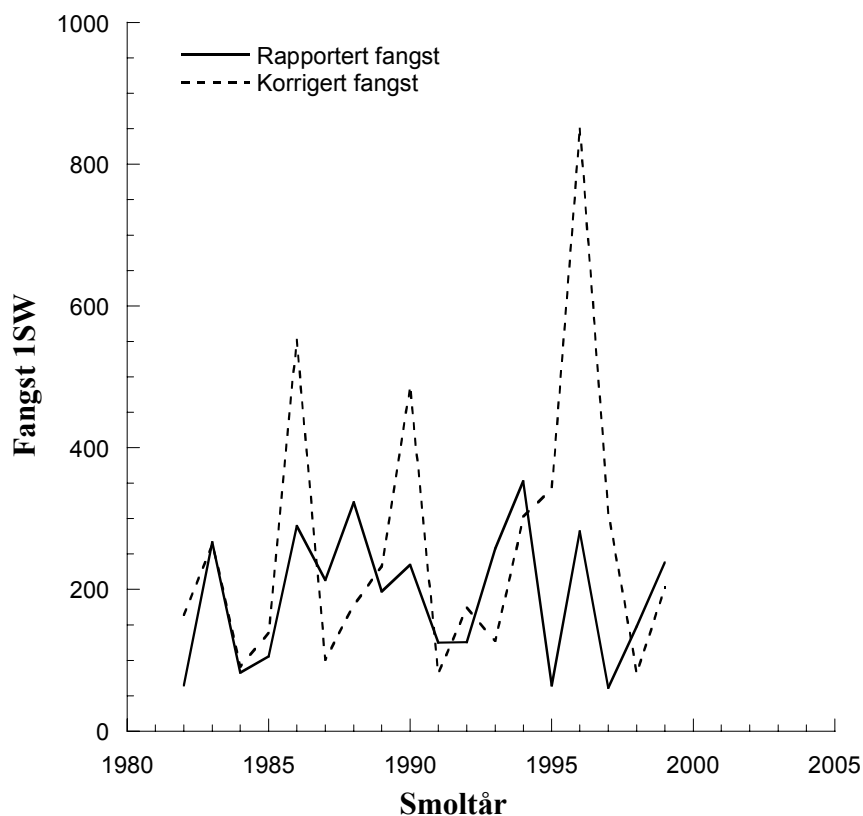
Figur 7. Simulert smoltutvandring i 1982 basert på modellen med vanntemperatur i slutten av april som kovariat. I simuleringene har vi tatt utgangspunkt i de observerte vannføringene, og henholdsvis lagt til eller trukket fra 10 m³ eller 0.5°C hver dag, mens andre variable er beholdt uendret.

4.4 Smoltens overlevelse

Den korrigerede fangsten av smålaks (ensjøvinterlaks) var en god del forskjellig fra den observerte (Figur 8) noe som reflekterer store variasjoner i sjøoverlevelse og sjøbeskatning i perioden. Mellom-år variasjonen i korrigeret fangst var stor, men det var ingen signifikante lineære tidstrender i løpet av perioden. Dette er viktig for tolkingen av eventuelle sammenhenger mellom ”smoltoverlevelse” og miljøvariable i elv og fjord blant annet fordi det gir en *indikasjon* på at smoltproduksjonen i det minste ikke har endret seg systematisk i perioden. Før 1989 er det til dels betydelige forskjeller mellom den offisielle og lokale fangststatistikken i Suldalslågen (sammenlign Figur 8 og 9), mens de to er identiske fra 1990. Fordi vi ikke kan avgjøre hvilken statistikk som er korrekt er det viktig å teste begge datasettene i de videre analysene.



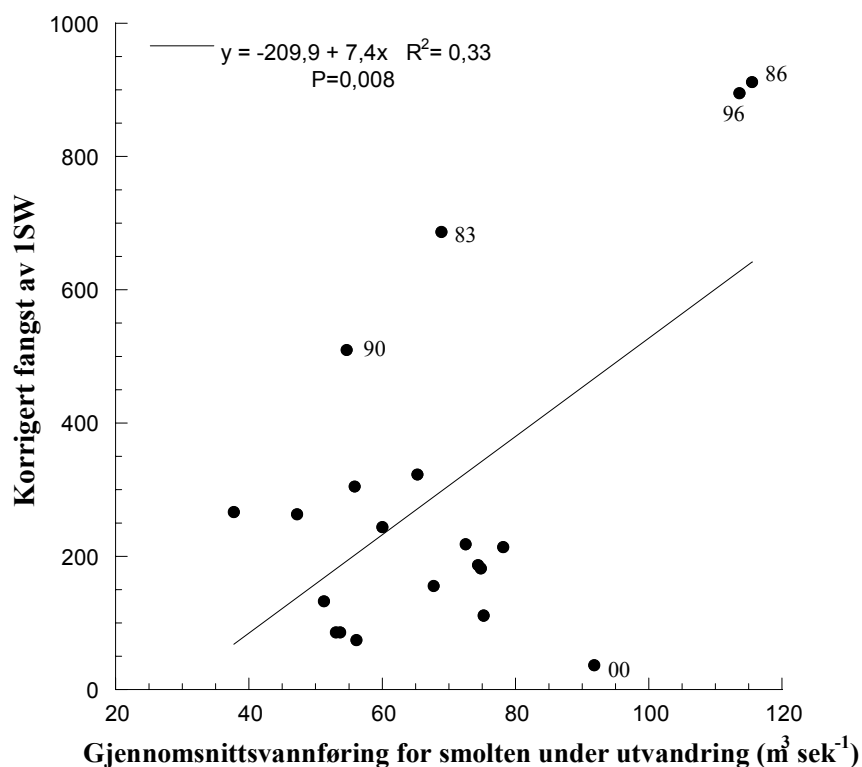
Figur 8. Rapportert fangst (*offisiell* statistikk, antall fisk) og korrigeret fangst (se metoder) av smålaks (ensjøvinter 1SW) i Suldalslågen i ulike smoltår (fangståret er ett år senere). Fangststatistikken fra 2003 er ikke klar ennå.



Figur 9. Rapportert fangst (*lokal* statistikk, antall fisk) og korrigert fangst (se metoder) av smålaks (ensjøvinter 1SW) i Suldalslågen i ulike smoltår (fangståret er ett år senere). Denne statistikken er bare tilgjengelig fram til fangstår 2000.

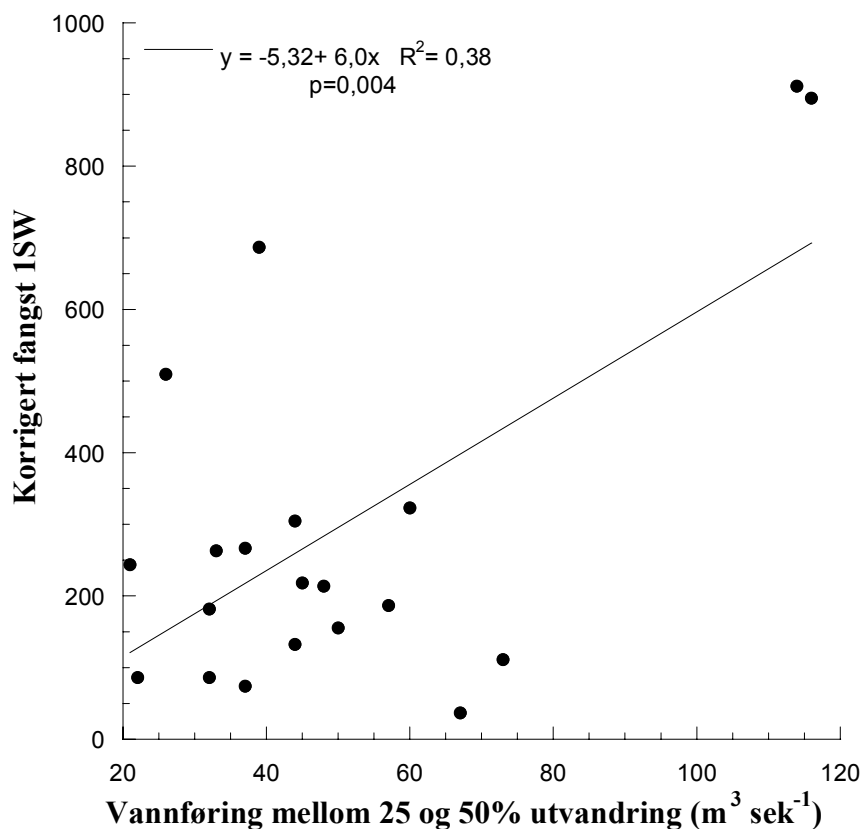
Korrelasjonsanalyser

Etter en rekke analyser ble det funnet en spesielt interessant signifikante korrelasjon mellom korrigerte fangstall for smålaks ("smoltoverlevelse") og gjennomsnittlig vannføring i Suldalslågen for en gjennomsnittssmolt (Figur 10). Denne korrelasjon var så sterk ($p=0.008$) at den også er signifikant etter justering av signifikansnivået for det høye antall tester som ble kjørt.



Figur 10. Sammenheng mellom gjennomsnittlig vannføring i Suldalslågen for en gjennomsnittssmolt og korrigert fangst av smålaks året etter. Årstallene i figuren angir smoltår.

Denne korrelasjonen indikerer at smoltens overlevelse øker med vannføringen i elva under utvandringen. Av figuren ser man at regresjonen i høy grad drives av at de to høyeste fangstallene (1986 og 1996) ble registrert for smoltårganger som opplevde gjennomsnittsvannføringer over 100 m³ på vei ut av elva. Forklaringsgraden var relativt høy ($R^2=0,33$). For å studere denne relasjonen videre testet vi også andre vannføringsvariable – gjennomsnittsvannføring i Suldalslågen i periodene mellom at 25 og 50 % (tidlig i utvandringen) og 50 og 75 % av smolten hadde gått ut (sent i utvandringen).



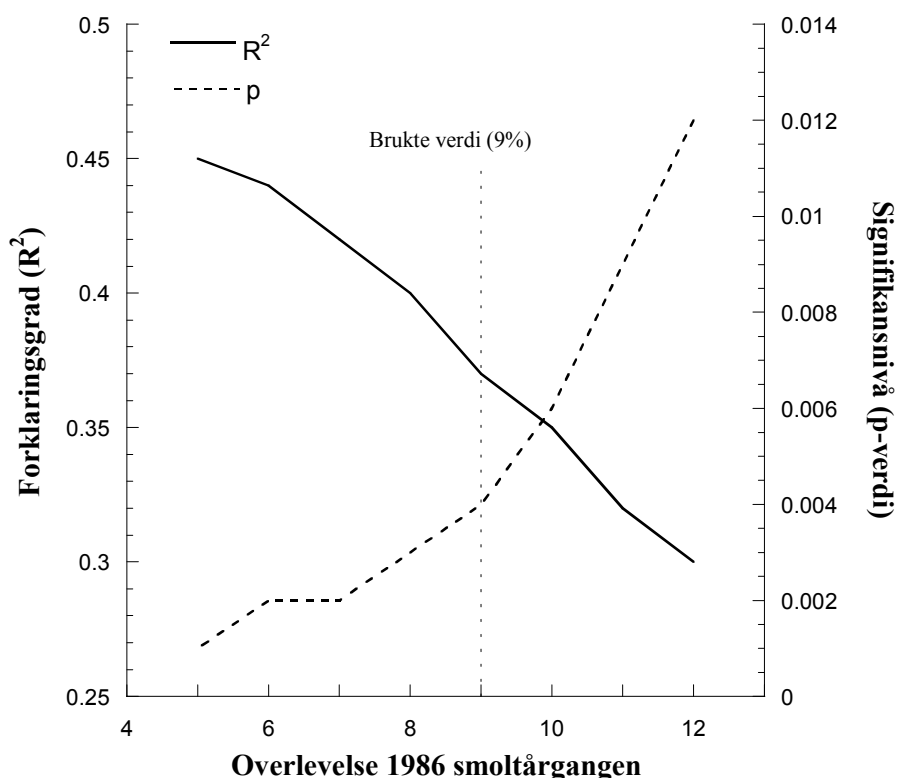
Figur 11. Sammenheng mellom gjennomsnittlig vannføring i Suldalslågen i perioden mellom at 25 og 50% av smolten hadde gått ut og korrigert fangst av smålaks året etter.

For vannføringen i perioden mellom 25 og 50 % utvandring fant vi en noe sterkere sammenheng (Figur 11), mens korrelasjonen ikke var signifikant for gjennomsnittlig vannføring i perioden når mellom 50 og 75 % av smolten hadde gått ut ($p > 0,05$). I en multipel regresjonsanalyse kom enten bare gjennomsnittsvannføringen for en gjennomsnittssmolt inn, eller om denne ble tatt ut, bare vannføring i perioden mellom 25 og 50 % utvandring. Dette sier oss to ting: For det første styrker det at vi finner korrelasjoner med to ulike mål på vannføring vår indikasjon om at vannføringen har betydning for smoltens overlevelse. Videre indikerer regresjonsmodellene at det er vannføringen i første halvdel av utvandringen som er viktigst for smoltoverlevelsen.

Analysen av sammenhengen mellom vannføringen i perioden mellom 25 og 50 % utvandring og smålaksfangstene ble også kjørt med den lokale statistikken (se fig 9). Forklaringsgraden ble noe lavere ($R^2 = 0,33$ mot $0,38$), mens stigningstallet var nær identisk og regresjonen var fortsatt sterkt signifikant ($p = 0,008$). Dette betyr at selv om den lokale statistikken ga en lavere forklaringsgrad, var relasjonene mellom de korrigerede fangsttallene og vannføringsvariablene

fra Suldalslågen de samme. I de videre analysene har vi derfor bare brukt den offisielle statistikken.

Fordi disse relasjonene med vannføringen i elva synes å være så vidt avhengig av de korrigerede fangstallene fra 1986 smoltårgangen (se Figur 10 og 11) og fordi smoltoverlevelsen i Imsa dette året ble estimert (se metoder) gjorde vi analysen for vannføringer mellom 25 og 50 % utvandring med ulike verdier for smoltoverlevelse dette året. Vi brukte da overlevelsesverdier innenfor det vi vurderer som realistisk, fra 5 til 12 %. Verdier lavere enn 5 og høyere enn 12 % vurderes som svært urealistisk. For alle disse verdiene var sammenhengen signifikant ($p < 0,012$) og overlevelser lavere enn vår estimerte verdi (9 %) ga tildels betydelig høyere forklaringsgrader ($R^2 = 0.45$ ved 5% overlevelse; Figur 12). Dette viser at våre konklusjoner ikke er sensitiv til feil i estimat for sjøoverlevelse for 1986 smoltårgangen.



Figur 12. Forklaringsgrad og signifikansnivå for regresjoner mellom vannføring i perioden mellom 25 og 50 % utvandring og korrigerede fangstall for ensjøvinter laks i Suldalslågen som en funksjon av overlevelsesestimat for 1986 smoltårgangen.

En annen mer generell innvending mot regresjonene i figur 10 og 11 er at de framstår drevet av de to punktene med høy vannføring under smoltutvandringen i 1986 og 1996. Dette er en vanlig innvending i slike analyser og fortjener derfor oppmerksomhet. I evalueringer av punktene som ligger til grunn for en regresjonsanalyse er det to faktorer som er viktig: forekomsten av *avvikende* punkt ("outliers") og av *betydningsfulle* punkter ("influential points"). Avvikende punkter er statistisk sett definert som punkter som har standardiserte residualer (avviket mellom observert og predikert y-verdi delt på standardavviket til residualene) som er høyere enn 2 eller mindre enn -2. Det var ingen klart avvikende punkter i de to plottene og statistisk sett var det bare verdien fra 1983 i figur 11 (tredje høyeste fangst) som var marginalt avvikende høy (standardisert residual: 2,18). Nest høyeste residual i dette plottet (1,72) var for smoltåret 2000. Fjernes den avvikende høye fangsten i 1983 styrkes relasjonen uten at stigningstallet endres nevneverdig. En statistisk sett avvikende verdi er å forvente i et plott med 21 verdier og det er i utgangspunktet ingen grunn til å fjerne punktet.

Et *betydningsfullt* punkt er et punkt som om det fjernes vil påvirke relasjonen mye, men kriteriene for et slikt punkt er mindre klare enn for avvikende punkter. Normalt oppstår disse lang x-aksen. Det er imidlertid i utgangspunktet klart at *to* punkter som ligger så vidt nære hverandre pr definisjon hver for seg ikke kan sees på som betydningsfulle. Fordi det er noe mer usikkerhet knyttet til ett av punktene (1986) enn de fleste andre (men se simuleringen ovenfor) vil vi likevel se litt nærmere på i hvilken grad de to punktene kan sees på som betydningsfulle. En tommelfingerregel for et betydningsfullt punkt er at det langs x-aksen ligger mer enn to ganger standardavviket (SD) fra gjennomsnittsverdien. I figur 10 er gjennomsnittlig x-verdi (vannføring) ca 67 m^3 med et standardavvik på ca 27 og ingen punkter er således betydningsfulle (alle ligger mellom 13 og 121 m^3) selv om de to høyeste verdiene ligger relativt nær øvre grense (113 og 115 m^3). For figur 11 er tyngdepunktet i fordelinger av punkter mer forskjøvet mot lave x-verdier og gjennomsnittlig vannføring blir lavere. Grensen for en betydningsfull verdi går ved ca 102 m^3 og begge de to høyeste verdiene bryter denne grensa (114 og 116 m^3). Et mer formelt kriterium for et betydningsfullt punkt er Cooks avstand ("Cooks distance"; CD) som kan beregnes som en del av regresjonsanalysen. Cooks avstand er et mål for hvor mye stigningstallet endres når ett og ett punkt taes ut. En CD høyere enn 1 viser at punktet er betydningsfullt. I ingen av analysene i figur 10 og 11 var CD høyere enn 0,6 for noe punkt. Disse beregningene og det faktum at det er to, ikke ett punkt, med høye fangster og vannføringer tilsier at vi ikke kan avvise regresjonene ut i fra at de skulle drives av disse punktene.

Effekten av både avvikende og betydningsfulle punkter testes normalt ved å gjenta analysene uten disse punktene (slik det gjøres ved beregning av Cooks avstand). Selv om de to punktene i figur 10 og 11 ikke kan vurderes å være statistisk sett betydningsfulle kan det være nyttig å gjennomføre en slik test spesifikt for de to punktene. Kriteriet for å vurdere effekten av et betydningsfullt punkt i en regresjonsanalyse er å studere i hvilken grad fjerning av punktet gir endringer i stigningstall. Regresjonslinja i figur 10 har et stigningstall på 7,4. Fjernes punktet fra 1986 reduseres stigningstallet til 4,9 og fjernes 1996 reduseres det til 5,1. Tilsvarende tall for regresjonen i figur 11 gir en reduksjon i stigningstall fra 6,0 til henholdsvis 4,2 og 4,4. Det er ut fra en inspeksjon av dataene ikke overraskende at stigningstallene reduseres når et av de øvre punktene fjernes, men disse endringene er godt innenfor usikkerheten i estimatet for stigningstallet og således ikke statistisk signifikant. Relasjonene framstår tvert i mot som robust i forhold til fjerning av ett av punktene. Fjerning av begge punktene vil i alle tilfeller være galt da det på en uakseptabel måte øker risikoen for å akseptere en usann nullhypotese (i dette tilfelle at det ikke var noen sammenheng mellom vannføring og fangst).

Det kan også innvendes at vi i relasjonen mellom korrigerede fangsttall og vannføring under smoltutvandringen bruker predikerte utvandringstidspunkt fra en smoltmodell som ikke gir perfekte prediksjoner. Til dette kan det bemerkes at selv om smoltmodellen ikke i alle år stemmer like godt med observasjonene så gir den generelt svært gode prediksjoner for utvandringsperiode, og da spesielt for dato for 50 % utvandring (Figur 6). Videre er sammenhengene mellom fangsttall og vannføring under smoltutvandringen lite sensitiv til mindre variasjoner i datagrunnlaget for beregning av vannføring slik at noen dager feil i beregningene av vannføringsvariabelen ikke får avgjørende betydning. Bruker man imidlertid bare perioden hvor man har observerte utvandringsdata (1993-2001) får man enten en nesten like god (gjennomsnittsvannføring for gjennomsnittsmolt; $R^2=0,31$) eller vesentlig bedre (gjennomsnittsvannføring i perioden mellom 25 og 50 % utvandring; $R^2=0,63$) sammenheng mellom vannføring og fangsttall. Disse sammenhengene blir da naturlig nok drevet av 1996 punktet som blir den eneste observasjonen med høy vannføring under utvandringen og dette blir statistisk sett et betydningsfullt punkt.

En siste evaluering av sammenhengen mellom korrigerede fangsttall og vannføring under smoltutvandringen ble gjennomført ved å korrigere mot innsigsindeks fra Ervikelva (Larsen & Sægrov 2003) i stedet for overlevelsesindeksen fra Imsa. En sammenheng mellom fangsttall

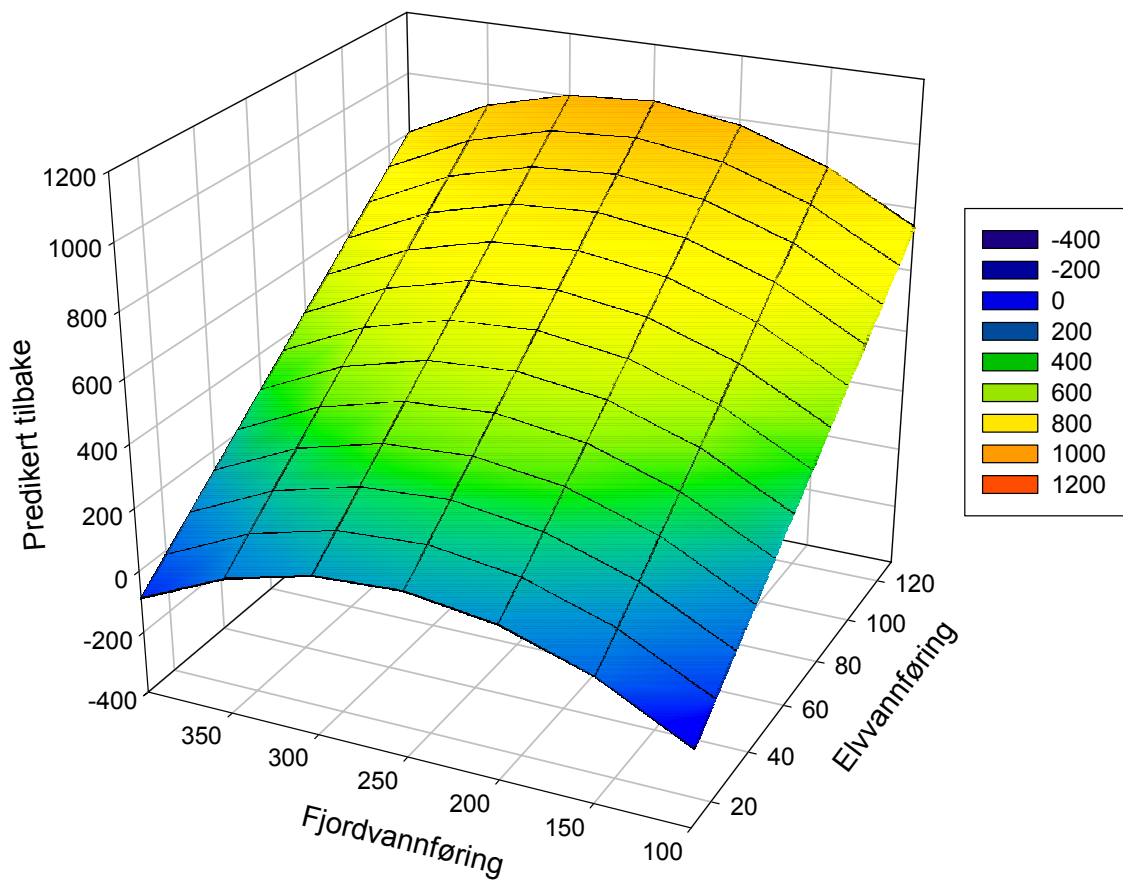
korrigert på denne måten og vannføringen i perioden når 25 og 59 % av smolten går ut, hadde en statistisk avvikende verdi. Denne framkom på grunn av en svært lav fangst i Ervik fra 1993 smoltårgangen (laveste i perioden mellom 1962 og 2000). Tar vi bort denne verdien (som Larsen og Sægrov [2003] gir grunner til å gjøre) får vi en statistisk signifikant sammenheng ($p=0,026$) med en noe lavere forklaringsgrad ($R^2=0,27$) og et noe lavere stigningstall (3,2 mot 6,0 i den opprinnelige relasjonen). Også med denne korrigeringen blir fangsttallene høyest for 1986 og 1996.

Fordi vi har en så vidt klar sammenheng mellom vannføring i Suldalslågen og smoltens overlevelse som forklarer så vidt mye av variasjonen i korrigerede fangsttall for smålaks (33-38%), valgte vi å ta inn vannføring i resten av testene vi kjørte. Dette innebærer at vi så på effektene av andre mulige faktorer sammen med effekten av vannføring i elva i multiple regresjonsmodeller. Vi fant ingen sammenheng mellom korrigerede fangsttall og varigheten av utvandringen (antall dager mellom 25 og 75 % utvandring), verken i en enkel eller multiple analyse. En annen viktig variabel er vanntemperaturen under utvandringen. Denne ga ingen selvstendig effekt på ”smoltoverlevelsen” når den ble testet sammen med vannføringen, men ga et signifikant men svakere bidrag (enn vannføring) når vannføringsvariablene ble tatt ut. Dette er ikke overraskende siden vanntemperatur og vannføring i noe grad er korrelerte variable. Når vannføringen i Suldalslågen øker, faller temperaturen normalt noe. Det er derfor at parameterestimatet for variabelen ”endring i vanntemperatur” er negativ i smoltmodellen (se Tabell 3) og smolten går når vanntemperaturen faller som en følge av at vannføringen øker.

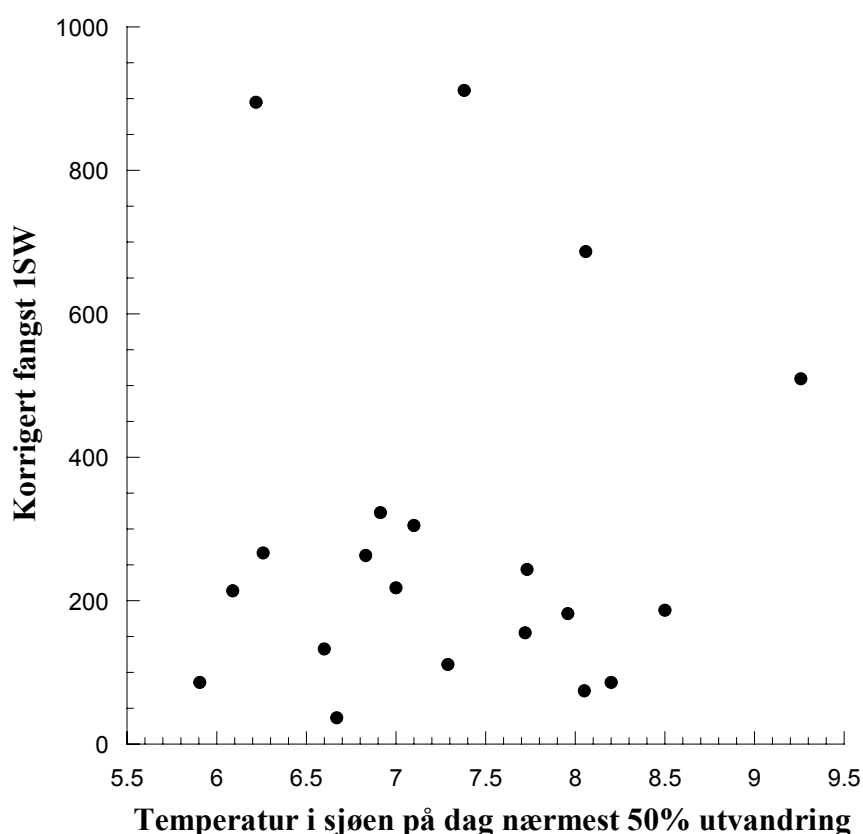
Som nevnt i innledningen kan vannføringsforhold i fjorden utenfor Suldalslågen også påvirke smoltoverlevelse fordi smolten ser ut til å følge strømmene i fersk- og brakkvannslagene ut fjorden. Forlenget oppholdstid i fjorden er generelt vurdert som uheldig. For å utforske denne muligheten gjennomførte vi en multippel regresjonsanalyse hvor vi tok inn vannføringen i Suldalslågen i perioden mellom 25 og 50 % utvandring, sum ferskvannstilførsel i fjorden (Hysten, Sauda og uregulerte felt, altså uten vannføringen i Suldalslågen) i perioden mellom 25 og 75 % utvandring og kvadratet av fjordvannføringen (på grunn av ikke-linearitet i sammenhengen i en utforskende analyse). Dette ga en signifikant modell ($F_{3,19} = 7,1$, $p=0,003$) med en høy forklaringsgrad ($R^2 = 0,57$) og både vannføring i Suldalslågen ($p=0,001$), vannføring i fjorden ($p=0,031$) og andregradsleddet ($p=0,020$) bidro signifikant. Vannføringen i Suldalslågen i perioden mellom 25 og 50 % utvandring ble valgt fordi denne

perioden ser ut til å være viktigst i elva, mens perioden mellom 25 og 75 % utvandring ble brukt for fjordvannføringene fordi smolten nødvendigvis må bruke noe tid ut fjorden og at denne lengre perioden dekker utvandringsperioden i fjorden på en bedre måte. Analysen viser at vannføringsforhold i fjorden (fra regulerte og uregulerte felt) ser ut til å ha en selvstendig effekt på overlevelsen til utvandrende smolt. Høy vannføring i Suldalslågen og intermediære vannføringer i fjorden ser ut til å gi best overlevelse hos smolten (Figur 13). Denne relasjonen var heller ikke sensitiv for feil i estimatet for sjøoverlevelse for 1986 smoltårgangen. Relasjonen styrkes for overlevelsesverdier lavere (tildels betydelig; $R^2=0,71$ for 5 % overlevelse) enn den vi brukte (9 %) og svekkes noe for høyere overlevelse, men først på 12 % overlevelse blir relasjonene marginalt ikke-signifikante for effekten av vannføring i fjorden ($p=0,076$ for vannføring i fjorden og $0,050$ for andregradsleddet).

For ingen av de andre variablene var det trender som framstår som interessante for videre analyser. Det er verd å nevne at vi *ikke* fant korrelasjoner mot en viktig faktor som vanntemperatur i sjøen (Figur 14). Her skal det også bemerkes at høy overlevelse ble funnet for smolt som trolig kom ut i sjøen ved lave temperaturer (ned mot 6°C) og ved den høyeste temperaturen (over 9°C). Dette antyder i det minste at smoltens utvandringstidspunkt fra elva, innenfor spennet av observerte eller predikerte utvandringsperioder, ikke ser ut til å ha betydning for osmoregulatorisk relatert overlevelse. Videre ga ingen av variablene som skulle fange opp forsuringseffekter noen signifikante sammenhenger eller interessante trender (høye p-verdier). Heller ikke de to indikatorene for lusepåvirkning (simulerte antall luselarver og mengden oppdrettsfisk i Rogaland) ga signifikante resultater. Analysert alene mot korrigerert fangst ga de to variablene p-verdier på henholdsvis $0,94$ og $0,63$ og analyser sammen med vannføring under utvandring ga tilsvarende høye p-verdier. Dette betyr selvsagt ikke at forsuring og lakselus ikke er et problem for smolten fordi det er fullt mulig at våre variable ikke fanger opp variasjonen på en god måte. Det finnes dessverre ikke gode data for disse variablene for en tilstrekkelig lang periode.



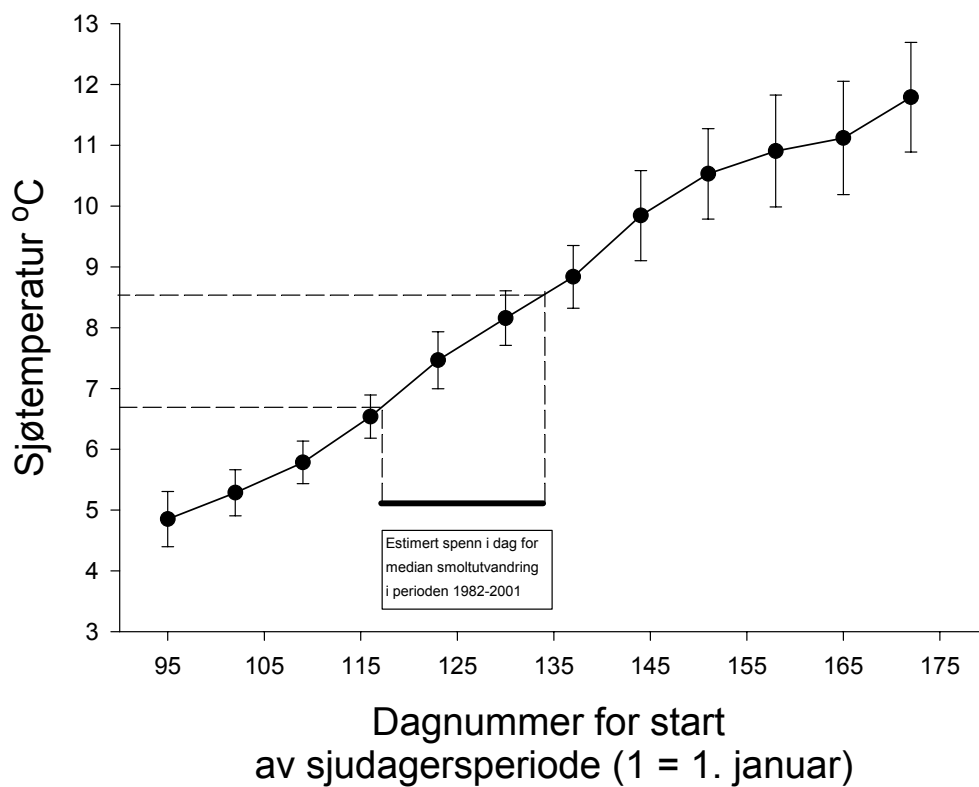
Figur 13. Sammenhengen mellom fangst av ensjøvinter laks i Suldalslågen og vannføring i elva og fjorden under smoltens utvandring vist for relevante vannføringsforhold. Her presenterer vi bare selve den multiple regresjonsmodellen, og ikke de enkelte datapunkter for å gjøre figuren mer lesbar.



Figur 14. Temperatur i sjøen på dag nærmeste 50% utvandring i forhold til korrigerte fangster av ensjøvinter laks (1SW) i Suldalslågen året etter.

4.5 Betydning av tidspunkt for smoltutvandring

Innenfor spennet for median utvandningsdato som vi observerte eller predikerte fra smoltmodellen, var variasjonen i vanntemperatur i sjøen (Indre Utsira) relativt liten og innen intervallet mellom 6,7 og 8,5°C (Figur 15). Det er derfor bare under de tidligste utvandringene at smolten kan nå vanntemperaturer som basert på laboratoriestudier kan gi problemer med osmoreguleringen (6-7°C). Mellom-år variasjonen innen 7-dagers periodene var heller ikke store (se 95 % konfidensintervallene på Figur 15). Her skal det også legges til at vi ikke kjenner utvandringshastigheten til smolten i fjordsystemet og således ikke vet når smolten møter fullt sjøvann. Utvandring etter 20. april (dag 110) vil i de fleste tilfeller sannsynligvis føre smolten ut i sjøvann med temperaturer over 6°C, spesielt om man tar hensyn til at smolten nødvendigvis må bruke noe tid på å vandre ut fjorden. I denne vurderingen er det også viktig å merke seg at vi ikke fant noen sammenheng mellom vanntemperatur i sjøen og smoltens ”overlevelse” (korrigerte fangsttall for smålaks).



Figur 15. Gjennomsnittlig sjøtemperatur ($\pm 95\%$ konfidensintervall) på en meters dyp på Indre Utsira i perioden 1983-2003, delt opp i 7-dagers perioder. Spennet i median utvandningsdato er inntegnet med angivelse av temperaturspenn smolten opplever.

5 Diskusjon og konklusjoner

Hvilke miljøfaktorer utløser vandringen av smolt?

I likhet med modellen for Orkla (Hvidsten et al. 1995) var koeffisientene for vannføring, vanntemperatur og endring i vannføring positive, noe som tyder på at smoltutvandringen øker med stor og økende vannføring, samt med høy men synkende vanntemperatur innenfor det spennet i temperaturer som man har om våren. At smolten ser ut til å gå på synkende vanntemperatur kommer trolig av at temperaturen som oftest synker når vannføringen øker. I motsetning til for Orklamaterialet kom ikke månefase inn i modellen (se også Saltveit 1998). Det er antatt at sammenhengen med månefase gjør smolten bedre i stand til å komme ut i sjøen i perioder med kraftige tidevannsstrømmer. Nå er imidlertid effekten av tidevann betydelig større i Trøndelag enn i Rogaland, slik at det ikke er uventet at dette ser ut til å spille mindre rolle i Rogaland enn i Trøndelag.

Tidspunkt for smoltutvandring var negativt korrelert med vanntemperaturen i april. Dette er en annen måte å si at utvandringen er generelt seinere når man har en sein vår enn en tidlig vår.

Dag (dvs. dag i året eller dato om man vil) kommer også inn i modellen med en negativ koeffisient, noe som tyder på at det er en sesongeffekt der smoltutvandringen utløses ved mindre endringer i fysiske forhold tidlig enn seint i sesongen. Imidlertid er det verdt å merke seg at antall gjenværende smolt (som er størst tidlig i sesongen) hadde en motsatt effekt i modellen. Denne positive effekten kan skyldes at når noen smolt begynner å vandre ut, kan dette ”dra med seg” flere – altså sosiale interaksjonen. Dersom det er mye smolt igjen i elva vil gunstige miljøforhold kunne føre til en større utvandring enn det miljøforholdene alene skulle tilsi.

Det var betydelige årseffekter i modellen med år som variabel. Dette tyder på faktorer utenfor vår modell også påvirker smoltutvandringen, og at disse påvirkningene varierer mellom år.

Hvor viktig er ”riktig” tidspunkt for smoltutvandring?

Vi fant ikke noen signifikant sammenheng mellom smoltens ”overlevelse” og sjøtemperaturen i perioden 1982-2002. Videre var sjøtemperaturen innenfor ”akseptable nivå” selv for den tidligste smoltutvandringen i tidsperioden. Dette tyder på at smolten normalt vil vandre ut til

”riktig” tid fra Suldalslågen. At vi ikke fant noen signifikant sammenheng mellom korrigerte fangsttall for smålaks og sjøtemperaturen betyr selvsagt ikke at det ikke finnes en slik sammenheng. Høy sjøoverlevelse både ved lave og høye sjøtemperaturer styrker imidlertid antagelsen om at sjøtemperaturen normalt ikke er noe problem for smolten fra Suldalslågen. Det kan likevel være fornuftig å ta i betraktning forholdet mellom tidspunkt for utvandring og sjøtemperatur i forhold til kjøringene av kraftverket. I tillegg til den direkte effekten av lave vanntemperaturer på smoltens evne til å osmoregulere er oppblomstringen av viktige næringsdyr for smolten (ulike krepsdyr) også temperaturpåvirket og tidlig utvandring *kan* gi dårligere næringsforhold. 50 % utvandring nær dag nummer 120 (ca 1. mai) vil sikre at smolten i de aller fleste år ikke rammes av dødelighet knyttet til problemer med osmoregulering i sjøvann.

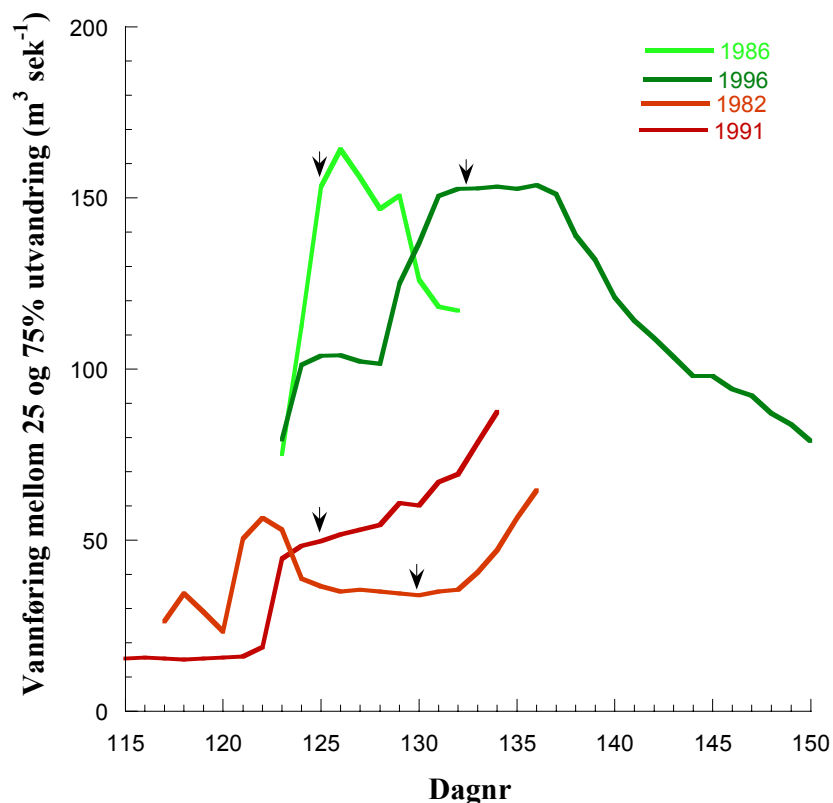
Hvilke miljøfaktorer i fjorden og elva er viktig for smoltens overlevelse?

Vannføringen under smoltutvandringen ser ut til å påvirke smoltens overlevelse og dermed hvor mye fisk som kommer tilbake til Suldalslågen. Soliditeten til denne konklusjonen er diskutert og analysert flere plasser i rapporten. Rent statistisk er sammenhengen klar, og selv om det kan stilles spørsmål ved noen av punktene og deres innflytelse på relasjonen, viser analysene at disse statistisk sett ikke er avvikende eller betydningsfulle punkter. Relasjonen er heller ikke spesielt sensitiv til feil i korrigeringen av fangstene i 1986 og korrigerings med et annet referansevassdrag (Ervikelva) ga sammenfallende resultat. Korrelative studier har imidlertid den begrensning at de ikke direkte sier noe om årsakssammenhenger. Disse må sannsynliggjøres eller underbygges med generell kunnskap om fenomenet. En positiv sammenheng mellom vannføring under smoltutgang og gjenfangst (en indikator for overlevelse) er vist i eksperimentelle utsetninger av smolt i Gaula og Surna (Hvidsten & Hansen 1988). I Opløyvassdraget hvor smolt ble satt ut på 2 og 10 m³ ble det derimot ikke funnet forskjellige gjenfangster (Strand et al. 1993). Opløyelva er en 100 m strekning nedenfor en dam og har ikke egen laksebestand. Den utsatte smolten var produsert fra foreldre fra Namsen. Elva munner ut i en sterkt tidevannspåvirket fjord og veien ut til åpent hav er relativt kort. Det er ikke sannsynlig at smoltens overlevelse i særlig grad påvirkes av vannføringen i elver *i seg selv*, men at det er elvers virkning på fjordsystemet utenfor som er av betydning. Derfor er det rimelig å anta at forskjeller mellom fjordsystemer (lengden på fjorden, strømningsmønster og ferskvannstilførsel) gjør at betydningen av stor vannføring kan være forskjellig i forskjellige elver. Det er derfor, basert på andre studier og generell kunnskap, ikke urimelig å anta at smoltoverlevelsen i Suldalslågen er avhengig av

vannføringen og korrelasjonsanalysen er således understøttet. En alternativ forklaring på de signifikante korrelasjonene mellom vannføring og ”smoltoverlevelse” er at smoltproduksjonen har samvariert med vannføringen ved utvandring. Vi vurderer dette som lite sannsynlig. De fire årene med best ”smoltoverlevelse” (1983, 1986, 1990 og 1996) er godt spredt utover studieperioden og det var ingen tidstrender i korrigerede fangstdata.

Variasjonen i vannføringsforhold har vært stor i studieperioden og kan illustreres ved å sammenligne år med god og dårlig overlevelse (Figur 16). Her har vi tatt fram de to smoltårgangene som ga høyeste (1986 og 1996), laveste (1982) og tredje laveste (1991) korrigerede fangsttall i perioden. Nest laveste fangsttall ble funnet for 2000-årgangen og vannføringen var relativt høyt under denne smoltutvandringen. Våren 2000 var det imidlertid også uvanlig høy vannføring i fjorden. Det ble kjørt svært mye vann i Hysten kraftverk (nest høyeste gjennomsnittsverdi i perioden 1982-2002) samtidig som det kom mye vann fra restfeltene (høyeste gjennomsnittsverdi i perioden 1982-2002). Dette var altså en vannrik vår. Punktet fra 2000 var ett av de to punktene som var viktig i modellen som viste reduserte overlevelsen ved høye vannføringer i fjorden. De to ”gode” årene karakteriseres av en generell høyere vannføring i utvandingsperioden. Alle fire årene har økninger i vannføring som stimulerer til utvandring, men i de to ”dårlige” årene stopper økningen eller vannføringen reduseres. Etter at 50 % av smolten har gått reduseres vannføringen i de to gode årene, mens den øker moderat for de to dårlige årene.

Den beste modellen for sammenhengen mellom vannføring og fangst av smålaks forklarte 38 % av variasjonen i korrigerede fangsttall. Dette må betraktes som en høy forklaringsgrad. Regresjonslinjen er relativt bratt og regresjonsmodellen forutsier at en smoltutvandring på vannføringer over 100 m³ vil gi omlag tre ganger så store fangster av smålaks som en utvandring ved ca 40 m³. Nå er restvariasjonen i regresjonsmodellen (62 % av variasjonen er ikke forklart) så vidt stor at man skal være forsiktig med å bruke den til å kvantifisere effekten av en større vannføring under utvandringen. Modellen danner imidlertid grunnlag for å teste prediksjoner av typen ”en høy vannføring under smoltutvandringen vil gi høyere tilbakevandring av laks året etter enn en lav vannføring”



Figur 16. Vannføring i Suldalslågen under smoltutgangen i to år som ga god overlevelse hos smolten (grønne linjer) og i to år som ga dårlig overlevelse (røde linjer). Pilene angir tidspunkt for 50 % utvandring

Som en mulig årsak til denne relasjonen og som en egen faktor av betydning for smoltoverlevelse, kommer den sammenhengen vi fant mellom korrigerte fangsttall, vannføring i Suldalslågen og vannføring i fjorden (Sauda, Hysten og restfelt; merk at vannføringen i Suldalslågen ikke inngår i denne variabelen selv om den selvsagt er en del av ferskvannstilførselen). I forbindelse med for- og etterundersøkelser av konsekvenser av Ulla-Førre-utbyggingen beskriver Lie et al. (1992) ”...store endringer i vanntransporten i Hystenfjordens øvre lag.” (Sitat fra sammendrag s. 1). Ved store vannføringer i Hysten kan det dannes ferskvannstrømmer som i noen tilfeller går rett ut av fjorden, men som i andre tilfeller kan dreie inn i Saudafjorden. Et sirkulasjonsmønster hvor ferskvannstrømmen går inn i Saudafjorden kan selvsagt gi økt oppholdstid for smolten i fjorden, med de farer for økt dødelighet dette innebærer (eksponering til giftig aluminium, økt predasjon og høyere lusenivåer når smolten når saltvann). Våre analyser antyder at overlevelsen kan bli lavere både når andre kilder enn Lågen tilfører lite og ekstra mye vann til fjorden. Ekstra høy fjordvannføring vil kunne oppstå ved kraftig kjøring av Hysten kraftverk og mye vann i

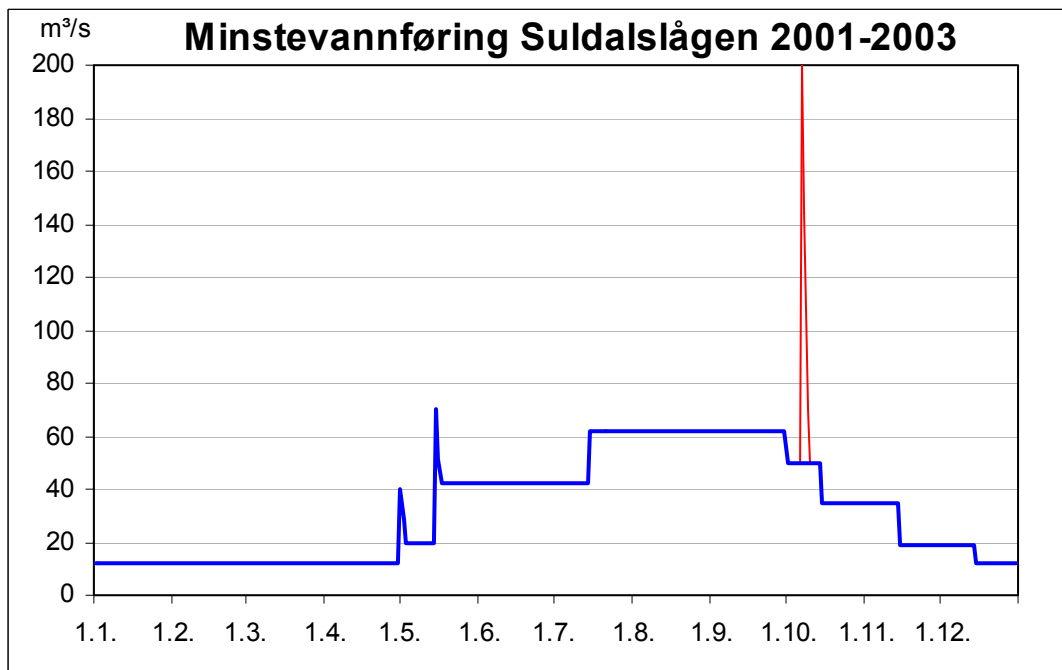
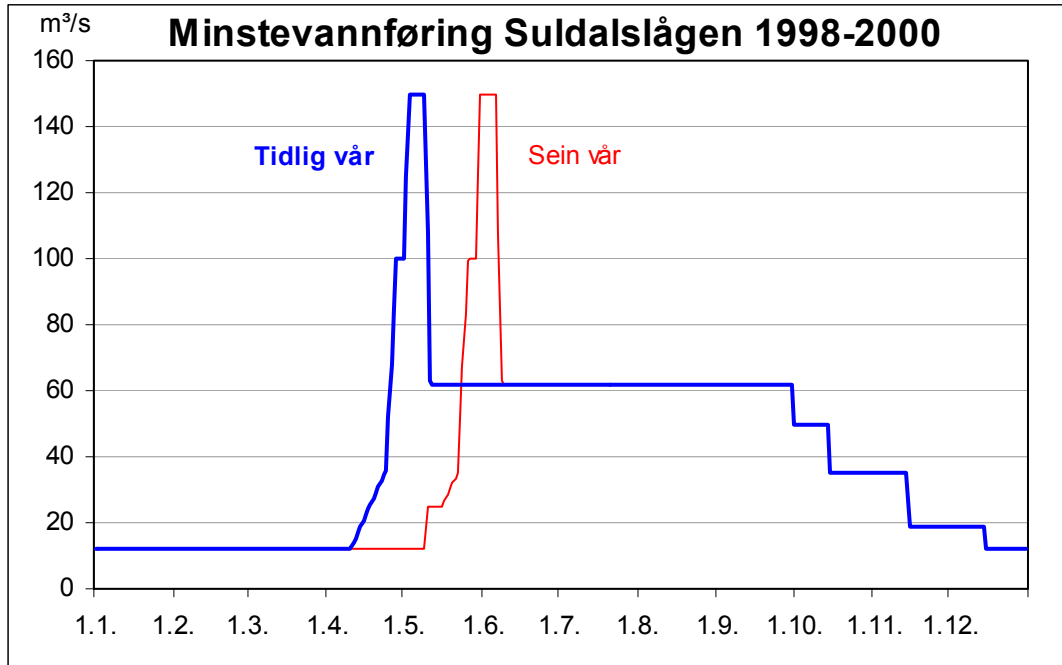
restfeltene i fjordsystemet. Mer detaljerte simuleringer av vannføringsforholdene i fjordsystemet kan eventuelt bidra til å avklare om og eventuelt hvorfor fjordvannføringen er et problem for smolten og i hvilken grad kjøreregimer i kraftverkene kan påvirke dette. Uregulerte felt utgjør i gjennomsnitt 24 % av total ferskvannstilførsel i fjorden (Suldalslågen, Hysten, Sauda og restfelt) i de relevante periodene og i regnfulle år vil disse være av stor betydning (36 %) for vannføringsforholdene. Vanntilførselen fra Sauda utgjør i gjennomsnitt 12 % av ferskvannstilførselen i fjordsystemet, men variasjonen her er mindre fordi kraftverket kjøres relativt stabilt. Vanntilførselen fra Hysten kraftverk utgjør i gjennomsnitt 38 % av ferskvannstilførselen i fjorden i de relevante periodene

Kan man ved manøvreringstiltak bedre smoltens overlevelse?

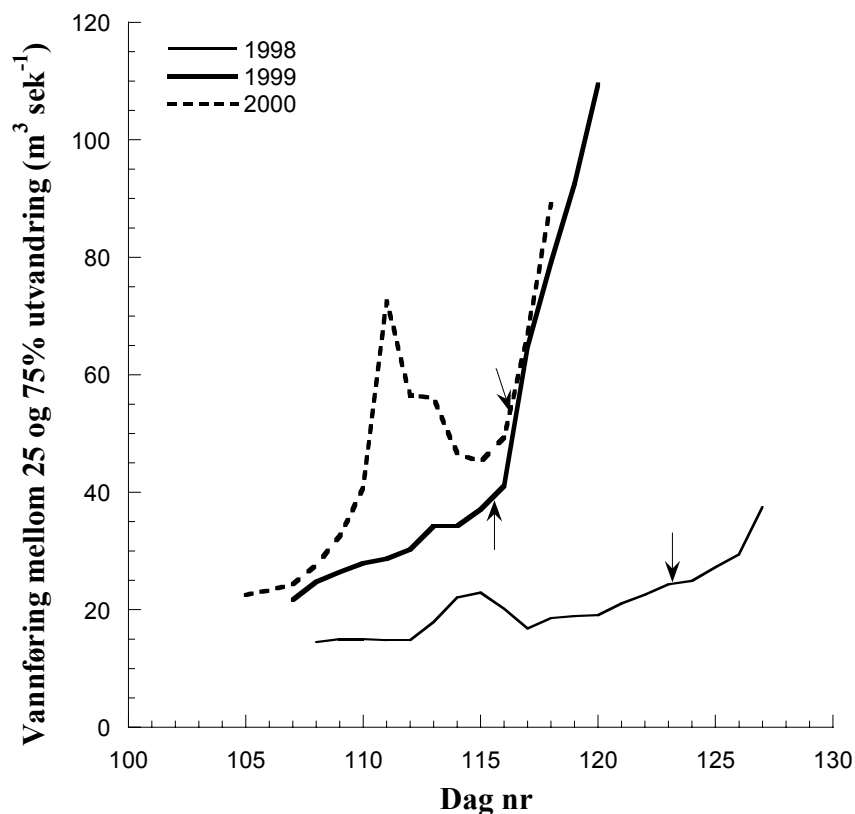
Den smoltmodellen som vi har utviklet her er sammen med regresjonsmodellene for smoltoverlevelse gode verktøy for å komme fram til biologisk sett gode manøvreringer av kraftverket. Smoltmodellen og regresjonsmodellene kan eventuelt kobles sammen for evaluering av ulike modeller for tapping fra magasin og vannføring i Suldalslågen.

Høy vannføring i Suldalslågen under utvandringen framstår i utgangspunktet gunstig for smolten og det er trolig gunstig at vannføringen opprettholdes over noe tid slik at ferskvannstrømmer fører smolten ut fjorden. Sett ut fra dette kriteriet framstår prøvereglementet for perioden 1998 til 2000 som gunstig (Figur 17). Her er det en markant vårflom med variabel starttid, fulgt av noen dager med høy vannføring og en rask reduksjon til en stabil sommervannføring. Den tidligste tillatte vårflommen starter relativt tidlig i april og dette kan nok være noe tidlig for smolten i forhold til å nå gunstige temperaturforhold i sjøen. Den seneste flommen synes på samme måte å komme for sent da smolten allerede har gått når denne flommen kommer. Det siste poenget illustreres godt med den faktiske vannføringen under smoltutvandringen i disse tre åra (Figur 18). I 1998 går smolten på relativt lav vannføring før flommen kommer. I 1999 har 50 % av smolten gått dagen før vårflommen slik at mange trolig gikk på lav vannføring før flommen. I 2000 ble det to flomtopper og mye smolt gikk på den første og mindre toppen som kom omlag fem dager før hovedtoppen. Denne flomtoppen var moderat høy (vannføring under 70 m^3) og gir nok ikke samme positive gevinst som en større topp. Ingen av disse smoltårene ga da heller spesielt mye smålaks tilbake (se Figur 8). Det alternative prøvereglementet (gjeldende) som ble fulgt i perioden 2001 til 2003 framstår i forhold til våre funn som mye mindre gunstig for smoltoverlevelsen med to mindre flomtopper i utvandningsperioden. Flomtoppene har kort varighet og bidrar derfor neppe til at smolten kommer seg raskt ut av fjorden. Vanntoppene

stimulerer utvandringen som ble av relativt kort varighet. Smolten gikk enten like før eller på flomtoppene, men vannføringene under utvandringen var relativt lave. Fangstene av smålaks i 2002 ble da også moderate.



Figur 17. Minstevannføringsreglement for Suldalslågen for de to prøveperiodene 1998-2000 og 2001-2003.



Figur 18. Vannføring i Suldalslågen under smoltutvandringen i prøveperioden 1998 til 2000. Pilene angir tidspunkt for 50 % utvandring.

Uten å gå i detalj, verken når det gjelder faktorene som stimulerer utvandring og driftsforhold, begrensninger og økonomi ved kraftverket, så vil vi her skissere prinsippene for en kjørestrategi som sikrer en god smoltoverlevelse. En ideell fastsettelse av vannføring for god smoltoverlevelse får man ved å ta utgangspunkt i en kombinasjon av dag nummer og vanntemperatur i april for å anslå når smolten er klar til å gå ("tidlig eller sen vår"). I den grad forhold rundt reguleringen har betydning for vanntemperaturen bør denne ikke være så høy at smolten er klar for utvandring tidligere enn 20. april. Enkle simuleringer antyder at vanntemperaturen rundt 20. april ikke bør være særlig høyere enn ca 5-6 °C, men dette har mindre betydning om vannføringen samtidig holdes lav (under 30-40 m³). Deretter sendes et klart signal i form av økt vannføring som sørger for at så mye smolt som mulig kommer ut på få dager. Synkron utvandring er en trolig en fordel for smolten på grunn av teoretisk sett lavere predasjon (Hvidsten & Lund 1988, Hvidsten & Møkkelgjerd 1987), selv om vi ikke kunne påvise en slik sammenheng i Suldalslågen.

Vannføringen bør nå en topp på noe over 100 m³ (ved Lavika) under utvandringen og holdes høy (nær 100 m³) i noen dager. Fordi "smoltmodningen" (utviklingen fram til en fysiologisk og atferdsmessig funksjonell smolt) ikke er synkron i bestanden kan det være en fordel å kjøre to

slike vannføringstopper i riktig periode. Det er mulig at man også kan vinne noe på å unngå at det kjøres for mye vann i Hylen i deler av denne perioden (gitt at vannføringen ellers i fjorden er relativ høy), men her er faktisk kunnskap om strømningsforholdene ved ulike vannføringer i regulerte og uregulerte felt for dårlig til at noen sikker konklusjon kan trekkes.

Med utgangspunkt i vurderingene ovenfor konkluderer vi at det bør være mulig å finne manøvreringstiltak som legger forholdene til rette for god smoltoverlevelse i Suldalslågen og at vi nå i høy grad har verktøy egnet til å teste ulike kjørestrategier for kraftverkene.

Litteratur

- Akaike, H. 1974. A new look at statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control* 19:716-723.
- Anon. 1999. Til laks åt alle kan ingen gjera? Om årsaker til nedgangen i de norske villaksbestandene og forslag til strategier for å bedre situasjonen. *Norges offentlige utredninger* 1999:9:1-297.
- Antonsson, T., & S. Gudjonsson. 2002. Variability in timing and characteristics of Atlantic salmon smolt in Icelandic rivers. *Transactions of the American Fisheries Society* 131:643-655.
- Arnekleiv, J. V., L. Rønning, S. W. Johansen, A. Haug, & T. Bongard. 1995. Fiskeribiologiske referanseundersøkelser i Stjørdalsvassdraget 1990-1994, i forbindelse med Meråkerutbyggingen. *Vitenskapsmuséet Rapport, Zoologisk serie* 1995-5:1-86.
- Bagliniere, J. L. 1976. Etyde des populations de Saumon atlantique (*Salmo salar* L. 1766) en Bretagne-Basse-Normandie. II. Activite de devalaison des smolts sur l'Elle. *Ann. Hydrobiol.* 7:159-177.
- Blakar, I. A. 1999. Effekter av Ulla-Førre reguleringen på vannkvaliteten i Suldalsområde. *Statkraft Engineering, Høvik*.
- Bohlin, T., C. Dellefors, & U. Faremo. 1993. Timing of sea-run brown trout (*Salmo trutta*) smolt migration: effects of climatic variation. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 50:1132-1136.
- Dahl, K. & Dahl, E. 1942. Norske lakseelver. Deres utbytte i tabeller og grafer. *Landbruksdepartementet, Fiskerikontoret*. 114 s.
- Elnan, S. D., & S.-E. Gabrielsen. 1999. Overvåking av lakselus på sjøaure i Rogaland sommeren 1998. *Miljørapport Fylkesmannen i Rogaland Miljøvern avdelingen Miljørapport nr 2-1999:1-31*.
- Elson, P. F. 1962. Predator-prey relationship between fish-eating birds and Atlantic salmon. *Fish. Res. Bd. Can. Bulletin*. 133
- Finstad, B., F. Kroglund, R. Hartvigsen, H.-C. Teien, B. O. Rosseland, & B. Salbu. 1999. Suldalslågen: Fisk og vannkjemisk status våren 1997. *NINA Oppdragsmelding* 558:1-32.
- Fiske, P., & Ø. Aas. 2001. Laksefiskeboka. Om sammenhenger mellom beskatning, fiske og verdiskaping ved elvefiske etter laks sjøaure og sjørøye. *NINA Temahefte* 20:1-100.
- Friedland, K. D., L. P. Hansen, & D. A. Dunkley. 1998. Marine temperatures experienced by postsmolts and the survival of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in the North Sea area. *Fisheries Oceanography* 7:22-34.
- Gjerde, B., H. Simianer, & T. Refstie. 1994. Estimates of genetic and phenotypic parameters for body weight, growth rate and sexual maturity in Atlantic salmon. *Livestock Production Science* 38:133-143.
- Hansen, L. P., & J. A. Jacobsen. 2000. Distribution and migration of Atlantic salmon *Salmo salar* L., in the sea. Pp. 75-87 i D. Mills, ed. *The Ocean Life of Atlantic Salmon*. Fishing News Books, Oxford.
- Hansen, L. P., & B. Jonsson. 1989. Salmon ranching experiments in the river Imsa: effect of timing of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolt migration on survival to adults. *Aquaculture* 82:367-373.
- Heggberget, T. G., N. A. Hvidsten, A. J. Jensen, B. O. Johnsen, & L. Saksgård. 1993. Fisk i lakseførende vassdrag. Pp. 262-279 i P. E. Faugli, A. H. Erlandsen and O. Eikenæs, eds. *Inngrep i vassdrag; konsekvenser og tiltak - en kunnskapsoppsummering*. Vassdragsregulantenenes forening/ Norges vassdrags og energiverk.

- Hembre, B., J. V. Arnekleiv, & J. H. L'Abée-Lund. 2001. Effects of water discharge and temperature on the seaward migration of anadromous brown trout, *Salmo trutta*, smolts. *Ecology of Freshwater Fish* 10:61-64.
- Hesthagen, T., & E. Garnås. 1986. Migration of Atlantic salmon smolts in River Orkla of Central Norway in relation to management of a hydropower station. *N. Am. J. Fish. Mgmt.* 6:237-248.
- Heuch, P. A., & T. A. Moe. 2001. A model of salmon louse production in Norway: effects of increasing salmon production and public management measures. *Diseases of Aquatic Organisms* 45:145-152.
- Holst, J. C., R. Shelton, M. Holm, & L. P. Hansen. 2000. Distribution and possible migration routes of post-smolt Atlantic salmon in the North-east Atlantic. Pp. 65-74 *i* D. Mills, ed. *The Ocean Life of Atlantic Salmon*. Fishing News Books, Oxford.
- Hvidsten, N. A. 1990. Utvandring og produksjon av laks- og auresmolt i Orkla 1979-1988. *NINA Oppdragsmelding* 39:1-26.
- Hvidsten, N. A., & L. P. Hansen. 1988. Increased recapture rate of adult Atlantic salmon, *Salmo salar* L., stocked as smolts at high water discharge. *Journal of Fish Biology* 32:153-154.
- Hvidsten, N. A., T. G. Heggberget, & A. J. Jensen. 1998. Sea water temperature at Atlantic salmon smolt entrance. *Nordic J. Freshw. Res.* 74:79-86.
- Hvidsten, N. A., A. J. Jensen, H. Vivås, Ø. Bakke, & T. G. Heggberget. 1995. Downstream migration of Atlantic salmon smolts in relation to water flow, water temperature, moon phase and social interaction. *Nordic J. Freshw. Res.* 70:38-48.
- Hvidsten, N. A., & R. A. Lund. 1988. Predation on hatchery-reared and wild smolts of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in the estuary of River Orkla, Norway. *J. Fish Biol.* 33:121-126.
- Hvidsten, N. A., & P. I. Møkkelgjerd. 1987. Predation on salmon smolts, *Salmo salar* L., in the estuary of the River Surna, Norway. *J. Fish. Biol.* 30:273-280.
- ICES. 2002. Report of the working group on North Atlantic Salmon. *ICES CM* 2002/ACFM:14:1-297.
- Jessop, B. M. 1975. Investigation of the salmon (*Salmo salar*) smolt migration of the Big Salmon River, New Brunswick, 1966-1972. Resource Development Branch, Fisheries and Marine Service, Department of the Environment Techn. Rep. Series NO. Mar/T-75-1:1-56.
- Johnsen, B. O., & A. J. Jensen. 1997. Havbeite i Vefsna. Utsetting av vill og oppforet laksesmolt. *NINA Oppdragsmelding* 510:1-25.
- Jonsson, B., & J. Ruud-Hansen. 1985. Water temperature as the primary influence on timing of seaward migrations of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 42:593-595.
- Jonsson, N. 1991. Influence of water flow, water temperature and light on fish migration in rivers. *Nordic J. Freshw. Res.* 66:20-35.
- Jonsson, N., & B. Jonsson. 2002. Migration of anadromous brown trout *Salmo trutta* in a Norwegian river. *Freshwater Biology* 47:1391-1401.
- Jonsson, N., B. Jonsson, & L. P. Hansen. 2003. The marine survival and growth of wild and hatchery-reared Atlantic salmon. *Journal of Applied Ecology* 40:900-911.
- Kroglund, F., & B. Finstad. 2003. Low concentrations of inorganic monomeric aluminum impair physiological status and marine survival of Atlantic salmon. *Aquaculture* 222:119-133.
- Kroglund, F., B. Finstad, M. Staurnes, B. O. Rosseland, H. Hektoen, T. v. Berkum, & M. Iversen. 1995. Vannkvalitetskrav til laksesmolt: undersøkelse av smoltkvalitet i ulike vassdrag. DN-Notat, ikke trykt

- Kroglund, F., & M. Staurnes. 1999. Water quality requirements of smolting Atlantic salmon (*Salmo salar*) in limed acid rivers. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 56:2078-2086.
- Kålås, J. A., T. G. Heggberget, P. A. Bjørn, & O. Reitan. 1993. Feeding behaviour and diet of goosanders (*Mergus merganser*) in relation to salmonid seaward migration. *Aquat. Living Resour.* 6:31-38.
- Kålås, S., K. Birkeland, & S. D. Elnan. 2000. Overvaking av lakselusinfeksjonar på tilbakevandra sjøaure i Rogaland, Hordaland og Sogn & Fjordane sommaren 1999. Rådgivende Biologer rapport 430:1-37.
- Kålås, S., & K. Urdal. 2001. Overvaking av lakselusinfeksjonar på tilbakevandra sjøaure i Rogaland, Hordaland og Sogn & Fjordane sommaren 2000. Rådgivende Biologer rapport 483:1-44.
- Kålås, S., & K. Urdal. 2002. Overvaking av lakselusinfeksjonar på tilbakevandra sjøaure i Rogaland, Hordaland og Sogn & Fjordane sommaren 2001. Rådgivende Biologer rapport 535:1-43.
- Larsen, T., & H. Sægvog. 2003. Sammenhengen mellom forsuringsrelatert vannkvalitet og utviklingen av villaksbestander på Vestlandet. NIVA Rapport LNR 4662-2003:1-39.
- Lie, U., H. Svendsen, S. Kaartvedt, S. Mikki, T. M. Johnsen, D. L. Aksnes, R. P. Asvall, & L. G. Golmen. 1992. Vannkraft og fjorder. Fysiske og biologiske konsekvenser av Ulla-Førre utbyggingen. Senter for Miljø- og ressursstudier rapport 4/92:1-89.
- McCleave, J. D. 1978. Rhythmic aspects of estuarine migration of hatchery-reared Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. *Journal of Fish Biology* 12:559-570.
- McCullagh, P., & J. A. Nelder. 1989. Generalized linear models. Chapman & Hall, London.
- Northcote, T. G. 1984. Mechanisms of fish migration in rivers. Pp. 317 - 355 i J. D. McCleave, G. P. Arnold, J. J. Dodson and W. H. Neill, eds. Mechanisms of migration. Plenum publishing corporation.
- Oreskes, N., K. Shraderfrechette, and K. Belitz. 1994. Verification, validation, and confirmation of numerical models in the earth sciences. *Science* 263:641-646.
- Peake, S., & R. S. McKinley. 1998. A re-evaluation of swimming performance in juvenile salmonids relative to downstream migration. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55:682-686.
- Pethon, P., & L. Lillehammer. 1995. Smoltutvandring og smoltproduksjon hos laks i Førlandskanalen og Suldalsvassdraget; preliminare resultater. Rapport Lakseforsterkningsprosjektet i Suldalslågen 12:1-26.
- Riley, W. D., M. O. Eagle, & S. J. Ives. 2002. The onset of downstream movement of juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*, in a chalk stream. *Fisheries Management and Ecology* 9:87-94.
- Rosseland, L. 1979. Erfaringer fra smoltutsettinger i norske vassdrag. Pp. 243-258 i T. B. Gunnerød and P. Mellquist, eds. Vassdragsregulerings biologiske virkninger i magasiner og lakseelver. Norges Vassdrags- og elektrisitetsvesen, Direktoratet for vilt- og ferskvannsfisk.
- Schjolden, J., Hytterød, S. & Poléo, A.B.S. 2001. Effekten av vannkvalitetsendringer under vår- og høstflommer på fysiologien til lakseparr og smolt (*Salmo salar*) i en sur og en kalket sidebakk til Suldalslågen. Suldalslågen - Miljørapport 12: 1-55.
- Saksgård, L. M., T. G. Heggberget, A. J. Jensen, & N. A. Hvidsten. 1992. Utbygging av Altaelva - virkninger på laksebestanden. NINA Forskningsrapport 34:1-98.
- Saltveit, S. J. 1998. Smoltutvandring hos laks i Suldalslågen. Rapport Lakseforsterkningsprosjektet i Suldalslågen 44:1-26.
- Saltveit, S. J. 2000. Alderssammensetning, tetthet og vekst av ungfisk av laks og ørret i Suldalslågen i perioden 1976 til 1999. Suldalslågen - Miljørapport 7:1-28.

- Saltveit, S. J., & T. Bremnes. 2003. Suldalslågen. Fiskeribiologiske undersøkelser i forbindelse med nytt prøvereglement. Årsrapport for 2002. Pp. 47pp i Anon., ed. Suldalslågen - Miljørapport nr. 24 Årsrapporter 2002 - biologisk mangfold.
- Sigholt, T., & B. Finstad. 1990. Effect of low temperature on seawater tolerance in Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. *Aquaculture* 84:167-172.
- Skurdal, J., L. P. Hansen, Ø. Skaala, H. Sægrov, & H. Lura. 2001. Elvevis vurdering av bestandsstatus og årsaker til bestandsutviklingen av laks i Hordaland og Sogn og Fjordane. Utredning 2001-2 DN
- Solomon, D. J. 1978. Some observations on salmon smolt migration in a chalkstream. *Journal of Fish Biology* 12:571-574.
- Strand, R., T. G. Heggberget, A. Rikstad, B. O. Johnsen, and T. Ebbing. 1993. Havbeiteprosjektet i Opløyelva, Nærøy kommune, Nord-Trøndelag. NINA Oppdragsmelding 191:1-39.
- Strand, R., B. Finstad, F. Kroglund, & H.-C. Teien. 2003. Forsuringsstatus og effekter på smolt i Suldalslågen våren 2001. NINA Oppdragsmelding 780:1-17.
- Sægrov, H., & B. A. Hellen. 2003. Gytebestand av laks i Suldalslågen, 2002/03. Pp. 27pp i Anon., ed. Suldalslågen - Miljørapport nr. 24 Årsrapporter 2002 - biologisk mangfold.
- Österdahl, L. 1969. The smolt run of a small Swedish river. *Swed. Salmon Res. Inst.* 8:205-215.

Appendiks 1

Appendiks 1. Sammenligning av parameterestimer for smoltmodeller som har tatt utgangspunkt i ulike deler av totalmerialet (smoltutvandring fra 1993 til 2003) i modelltilpasningen.

	Parameter estimat	Parameter estimat	Parameter estimat
Faktorer og kovariater	1993-2002	1995-2002	1993-2003
Konstant	-11.42	-15.84	-14.24
Kovariater			
Ln(Vannføring)	1.42	1.77	1.65
Ln(Vanntemperatur)	4.38	4.93	3.89
Ln(Antall smolt igjen+1)	0.58	0.88	0.66
Endring i vannføring fra forrige dag	0.020	0.012	0.012
Dag	-0.023	-0.016	-0.010
Endring i vanntemperatur fra forrige dag	-0.34	-0.27	-0.32
Vanntemperatur i slutten av April	-0.19	-0.22	-0.06