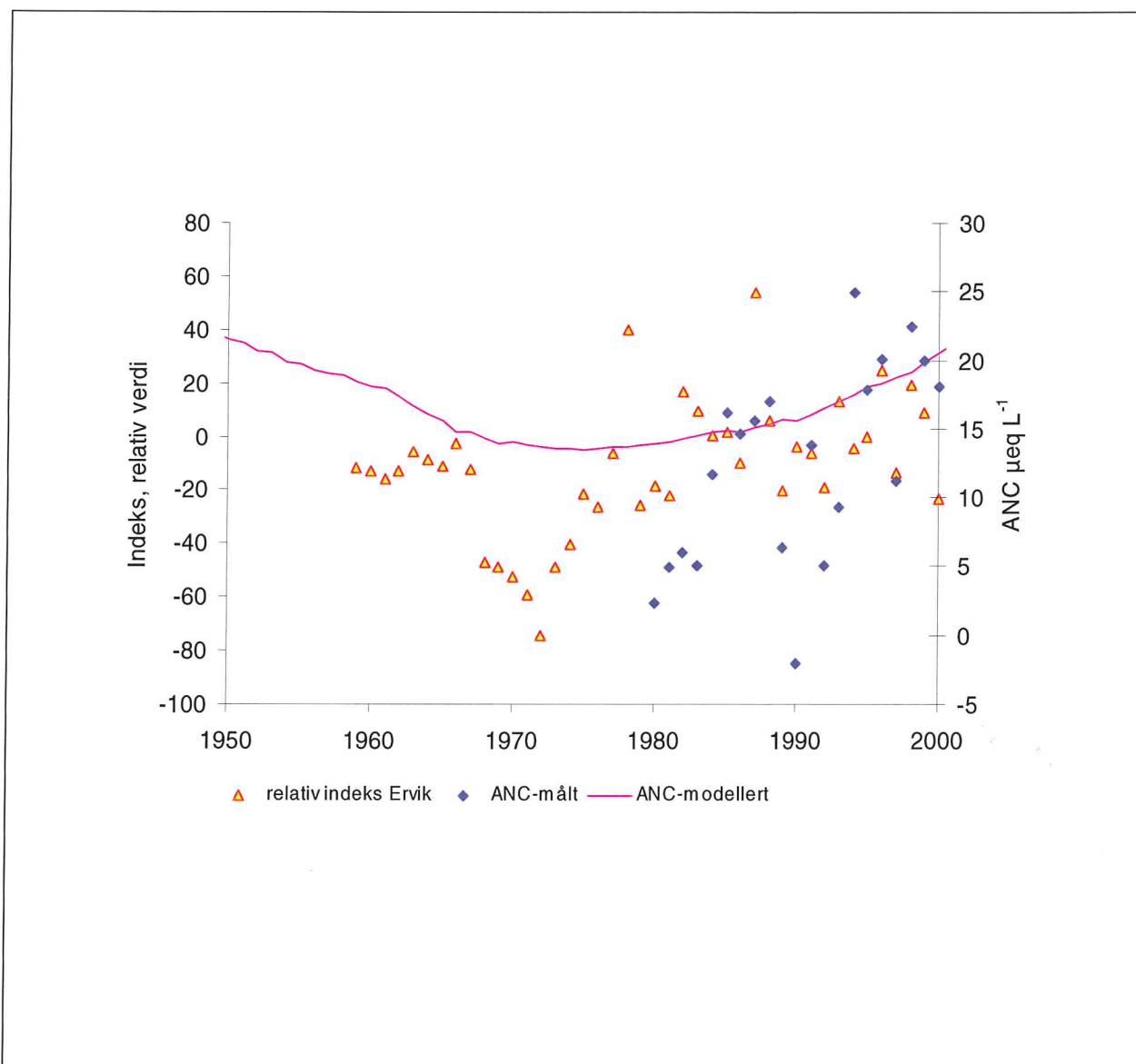


# Sammenhengen mellom forsuringsrelatert vannkvalitet og utvikling av villaksbestander på Vestlandet



**Hovedkontor**

Postboks 173, Kjelsås  
0411 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00  
Internet: www.niva.no

**Sørlandsavdelingen**

Televeien 3  
4879 Grimstad  
Telefon (47) 37 29 50 55  
Telefax (47) 37 04 45 13

**Østlandsavdelingen**

Sandvikaveien 41  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 62 57 64 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**Vestlandsavdelingen**

Nordnesboder 5  
5005 Bergen  
Telefon (47) 55 30 22 50  
Telefax (47) 55 30 22 51

**Akvaplan-niva**

9296 Tromsø  
Telefon (47) 77 75 03 00  
Telefax (47) 77 75 03 01


Tittel Sammenhengen mellom forsuringsrelatert vannkvalitet og utvikling av villaksbestander på Vestlandet	Løpenr. (for bestilling) 4662-2003	Dato 28.03.2003
	Prosjektnr. Undernr. O-21196	Sider Pris 39
Forfatter(e) Larssen, Thorjørn Sægrov, Harald ( <i>Rådgivende biologer</i> )	Fagområde Forsuring	Distribusjon
	Geografisk område Vestlandet	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Direktoratet for Naturforvaltning, Fylkesmannen i Sogn og Fjordane	Oppdragsreferanse Kontrakt 01040082
--	--

**Sammendrag**

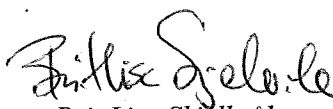
Rapporten beskriver resultatene fra et pilotprosjekt hvor det er forsøkt utviklet en ny fremgangsmåte for å evaluere sammenhengen mellom vannkvalitet og laksebestandsutvikling på Vestlandet. Vi diskuterer en fremgangsmåte for å normalisere vekk effekten av havtemperatur (og eventuelt andre generelle påvirkningsfaktorer i havet), for tydeligere å kunne se effekter på bestanden relatert til vannkjemi. I metoden som presenteres foreslår vi å bruke Ervikelva og Oldnelva som referanseelver for henholdsvis smålaks- og storlakselver. Ved hjelp av fangststatistikk for referanseelvene normaliserer vi fangststatistikken for potensielt forsuringsbelastede elver, og får en indeks som i større grad er relatert til vannkvalitet. Utviklingen av denne indeksen over tid sammenlignes med observert og modellert vannkjemi. Metoden gir lovende resultater idet den ser ut til å avdekke sammenhenger mellom langtdis endringer i vannkjemi og forsuringsrelaterte endringer i laksebestandsutviklingen som ikke er åpenbare ved en direkte sammenligning av vannkjemiutvikling og fangststatistikk. Det foreslås videre testing av metoden ved å styrke datagrunnlaget for valg av referansevassdrag og ved å inkludere flere vassdrag med marginal vannkvalitet, men eksisterende laksebestander.

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Laks</li> <li>Forsuring</li> <li>Vestlandet</li> <li>Fangstindekser</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Salmon</li> <li>Acidification</li> <li>Western Norway</li> <li>Catch indices</li> </ol>
--	---



Thorjørn Larssen

Prosjektleder



Brit Lisa Skjelkvåle

Forskningsleder

ISBN 82-577-4327-5



Nils Roar Sælthun

Forskningsdirektør

Sammenhengen mellom forsursingsrelatert  
vannkvalitet og utvikling av villaksbestander  
på Vestlandet

## Forord

Arbeidet presentert i denne rapporten ble initert på et møte i regi av Fylkesmannen i Sogn og Fjordane 30.10.2001 med deltagere fra Fylkesmennene i Sogn og Fjordane og Hordaland, Direktoratet for naturforvaltning (DN), Rådgivende biologer (RB) og Norsk institutt for vannforskning (NIVA).

RB har gjort arbeidet med fiskedata og NIVA har gjort delen med vannkjemisk modellering.

Metodikken presentert i rapporten ble presentert og diskutert på et arbeidsmøte januar 2003. Innspill fra dette møtet er inkludert i rapporten. Torbjørn Forseth ved NINA takkes spesielt for konstruktive innspill.

Kontaktperson hos DN har vært Roy Langåker. Kontaktpersoner hos Fylkesmannen i Sogn og Fjordane har vært Merete Farstad, Bård Ottesen og Eyvin Sølsnes.

Oslo, mars 2003

*Thorjörn Larssen*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>6</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>7</b>
<b>2. Utvikling i villaksebestandene i perioden 1959 til 1998.</b>	<b>8</b>
2.1 Beregning av lakseinnsig til elva og innsigsindekser	8
2.2 Referanseelver	9
<b>3. Vannkjemisk modellering</b>	<b>14</b>
3.1 MAGIC-modellen	14
3.2 Utvalgte vassdrag	14
3.3 Jorddata	14
3.4 Nedbør og nedbørkjemi	15
3.5 Avrenning og vannkjemiske data	17
3.6 Kalibrerte parameterverdier	17
<b>4. Resultater</b>	<b>18</b>
4.1 Nausta	18
4.2 Vikedalselva	21
4.3 Flekkeelva	24
4.4 Gaula	25
4.5 Jølstra	26
4.6 Osen	29
4.7 Vosso	29
4.8 Suldalslågen	32
<b>5. Kommentarer til beregningsmåte for indeksen</b>	<b>33</b>
<b>6. Oppsummering og anbefalinger</b>	<b>35</b>
<b>Referanser</b>	<b>37</b>
<b>Vedlegg: Innsig av smoltårgangar brukt i beregningene</b>	<b>39</b>

# Sammendrag

Rapporten beskriver resultatene fra et pilotprosjekt hvor det er forsøkt utviklet en ny fremgangsmåte for å evaluere sammenhengen mellom vannkvalitet og laksebestandsutvikling på Vestlandet.

Vannkvaliteten på Vestlandet er mange steder marginal for opprettholdelse av en bærekraftig bestand av villaks. En rekke faktorer virker inn på laksebestanden, og det er store naturlige variasjoner i bestanden fra år til år. Det antas at havtemperatur er en viktig faktor for slike svingninger, som kan gjøre det vanskelig å se effekter av andre påvirkninger, for eksempel forsuringsrelaterte vannkvalitetsendringer. I denne rapporten diskuterer vi en fremgangsmåte for å normalisere vekk effekten havtemperatur (og eventuelt andre generelle påvirkningsfaktorer i havet), for tydeligere å kunne se effekter på bestanden relatert til vannkjemi.

I metoden som presenteres foreslår vi å bruke Ervikelva og Oldenelva som referanseelver for henholdsvis smålaks- og storlakselver. Ved hjelp av fangststatistikk for referanseelvene normaliserer vi fangststatistikken for potensielt forsuringsbelastede elver, og får en indeks som i større grad er relatert til vannkvalitet. Utviklingen av denne indeksen over tid sammenlignes med observert og modellert vannkjemi.

Metoden gir lovende resultater idet den ser ut til å avdekke sammenhenger mellom langtids endringer i vannkjemi og forsuringsrelaterte endringer i laksebestandsutviklingen som ikke er åpenbare ved en direkte sammenligning av vannkjemiutvikling og fangststatistikk.

Resultatene i undersøkelsen viser god sammenheng mellom modellert ANC og forsuringsrelatert bestandsutvikling i Vikedalselva og moderat sammenheng i Nausta. For Jølstra finner vi ingen tydelig sammenheng, og for Vosso er sammenhengen god statistisk sett, men med data som er vanskelige å tolke. Det mest interessante med metoden er trendene som framkommer for det moderat forsurete vassdraget Nausta. I dette vassdraget gir ikke en direkte sammenligning mellom fangststatistikk og modellert ANC noen sammenheng, mens metoden presentert her gir en sammenheng.

Det foreslås videre testing av metoden ved å styrke datagrunnlaget for valg av referansevassdrag og ved å inkludere flere vassdrag med marginal vannkvalitet, og eksisterende laksebestander.

## Summary

Title: The correlation between water acidification and development of wild salmon stocks at the Norwegian west coast.

Year:2002

Author: Thorjörn Larssen and Harald Sægrov

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-4234-1

Results from a pilot project on developing a new method to evaluate the relationship between development in the salmon stock and water quality on the Norwegian west coast are presented.

The water quality on the Norwegian West coast is of marginal quality for a sustainable salmon stock. Several factors impact on the salmon stock and there are large variations in the population from year to year. Sea temperature is assumed to be one of the important factors causing such variation, hence making it difficult to observe effects of other influences, for example acidification related water quality changes. In this report we discuss a method to normalise the catch statistics for sea temperature (and other sea related influences), in order to be able to observe water quality related effects.

We suggest to use rivers Ervikelva and Oldnelva as reference rivers for normalisation. The normalised catch statistics can more easily be compared with water quality changes. We use observed and long term modeled ANC values for comparison.

The results show good correlation between modelled ANC and acidification related population development in Vikedalselva and moderate correlation in Nausta. For Jølstra we find no clear correlation. For Vosso the correlation is statistically good, but the data are difficult to interpret. The most interesting result is when applying to the moderately acidified river Nausta, where direct comparison between salmon catch and modelled ANC did not give a good correlation, but a correlation was found for the normalised catch.

We suggest to test the method further by strenghtening the data material for choosing reference rivers and by inclusion of more rivers with marginal water quality but still existing salmon stocks.

# 1. Innledning

I denne rapporten undersøker vi nye tilnæringer for hvordan eventuelle sammenhenger mellom laksebestandsutvikling og vannkvalitet kan avdekkes i områder med marginal vannkvalitet og eksisterende laksebestand. Siden situasjonen i Sogn og Fjordane er at forsuring utgjør en av flere potensielle trusler for laksebestandene, ønsker vi å vurdere i hvilken grad det er mulig å skille forsuringsbidraget fra de andre truslene for bestanden.

Ved siden av forsuring er lakselus, andre parasitter (*Gyrodactilus salaris*) og vannkraftutbygging faktorer som kan påvirke og skade laksebestander. I tillegg kan naturlige variasjoner i sjøtemperatur bidra til fluktasjoner i bestanden fra år til år. Av disse faktorene er det særlig vanskelig å skille påvirkninger fra moderat forsuring, lakselus og sjøtemperatur. Hensikten med pilotprosjektet som rapporteres her er å undersøke i hvilken grad det er mulig å skille ut forsuringseffekten som en enkeltfaktor.

Framgangsmåten vi benytter er å anta at det finnes forsurede og ikke forsurede elver innen et område hvor laksebestandene har lik påvirkning fra lakselus og sjøtemperaturvariasjoner, men med forskjellig grad av forsuring. Vi tar utgangspunkt i fangststatistikken for elvene og bruker statistikken fra utvalgte ikke-forsurede vassdrag til å normalisere for andre ytre stressfaktorer. Hvis antagelsen om at de andre stressfaktorene er like, sitter vi igjen med en forsuringsrelatert indeks. Denne indeksen kan sammenlignes med utviklingen i vannkjemi og sammenhengen mellom endringer i laksebestanden og vannkjemien kan eventuelt avdekkes. En begrensning her er imidlertid at det kun er meget få av elvene det finnes data med tidsserier for vannkjemi. Dessuten går ikke de tidsseriene som finnes langt nok tilbake i tid til å fange opp perioden før nedfallet av forsurende komponenter begynte å avta midt på 1970-tallet. Ved hjelp av en dynamisk matematisk modell kan tidsserier for vannkjemien rekonstrueres basert på de data som er tilgjengelige. Forsuringsmodellen MAGIC beregner historisk vannkjemi basert på nedbørkjemi og nedbørfeltets egenskaper og jordsmonn og kan derfor brukes når trender i forsuringsrelatert bestandsindeks skal sammenlignes med trender i vannkjemi.

Tidligere har Kroglund mfl. (2002) benyttet MAGIC-modellen og sammenlignet beregnet vannkjemi med fangststatistikken for 6 vassdrag i Norge med ulik forsuringspåvirkning. De fant en klar sammenheng mellom historisk forverring i vannkjemien (i form av avtagende ANC) og redusert laksefangst for kraftig forsurede elver (særlig Tovdalselva), mens de ikke kunne påvise en sammenheng i moderat forsurede elver hvor det i dag er marginal vannkvalitet og en eksisterende laksebestand.



## 2. Utvikling i villaksebestandene i perioden 1959 til 1998.

### 2.1 Beregning av lakseinnsig til elva og innsigsindekser

Laksebestander har forskjellig fordeling av smoltalder og sjøalder. Ved en sammenligning av tidsmessig utvikling i forskjellige bestander er derfor innsiget til elven av smoltårganger en mulig tilnærming. Ved en slik tilnærming er det antatt at de bestandene som sammenlignes har samme beskatning i sjøen og den samme relative beskatning i elven. Dette er selvsagt en grov antagelse, men i elver innen et begrenset geografisk område har beskatningen vist seg å være overraskende stabil, både mellom elver og over tid i samme elv (Sættem, 1995, Hansen mfl., 2001). Sjøbeskatningen har variert en del over tid, den var relativt høy frem til midt på 1990-tallet, men siden da har beskatningen avtatt grunnet reduksjoner i fisketid og antall redskapsenheter i sjøen (Hansen mfl., 2001).

Innsiget til elven er beregnet ved å summere innsiget av laks som har vært henholdsvis 1, 2 og 3 vintre i sjøen. Det er antatt en generell beskatning i elven på 70 % for 1-sjøvinter laks og 40 % for 2-sjøvinter og eldre laks (se Sættem 1995, Skurdal mfl. 2001). Innsiget til elven av eksempelvis smoltårgangen fra 1995 er fangsten  $\times 100/70$  av 1-sjøvinterlaks i 1996, pluss fangst  $\times 100/40$  av 2-sjøvinterlaks i 1997, pluss fangst  $\times 100/40$  av 3-sjøvinterlaks i 1998. For Nausta blir beskatningen ved elvefisket ved denne framgangsmåten gjennomsnittlig 62 %, og etter gytefisktelinger i Nausta i 2000 ble det utregnet en total beskatning på 64 % (Skurdal mfl. 2001), altså liten forskjell. For Gaula blir den teoretiske gjennomsnittlige beskatningen 56 % mens gytefisktelinger i 2000 viste en beskatning på 74 %, men i 2001 var beskatningen 64 % (Hellen mfl. 2002).

Gytefisktelinger gir maksimum beskatningsrater fordi det antas at en ser alle fiskene i elva, noe som ikke er tilfelle. Eksempelvis kan en anta at det blir fanget 100 laks i en elv i fiskesesongen og all fangst blir oppgitt. Hvis det under gytefiskteilingen blir observert 60 laks, er det totale innsiget 160 laks, og beskatningen 63 %. Hvis en antar at 70 % av gytelaksen blir observert, var det totale innsiget egentlig 186 laks og beskatningen 54 %. Innsiget var dermed 16 % høyere enn først antatt. Foreløpige tall tilsier at en i de fleste tilfeller vil se minst 70 % av laksen under gytefisktelinger, og en kan dermed anslå en feilgrense på ca 20 % for beregningen av det totale innsiget under forutsetning av at fangststatistikken er korrekt. Underestimering av gytefiskbestanden og underrapportering av fangst vil i kombinasjon redusere feilen ved beregning av totalt innsig.

Fra og med 1993 oppgir den offisielle fangststatistikken fangsten av laks i hver elv fordelt på tre størrelsesgrupper i antal og vekt; laks  $< 3$  kg (smålags), laks 3 - 7 kg (mellomlags), og laks  $> 7$  kg (storlags). Disse tre gruppene representerer grovt sett laks som har vært henholdsvis 1, 2 og 3 vintre i sjøen. I perioden 1979 til 1992 ble det i fangststatistikken bare skilt mellom laks  $< 3$  kg (1-sjøvinterlaks) og laks  $> 3$  kg (flersjøvinterlaks), men fangsten er oppgitt i antall og vekt for hver gruppe. For å anslå fordeling på sjøalder i denne perioden er det tatt utgangspunkt i gjennomsnittlig sjøalderfordeling i utregnet innsig av smoltårgangene fra perioden 1993 til 2001. Denne tilnærmingen er brukt for alle bestandene, men usikkerheten er større for storlagsbestandene enn for smålagsbestandene. For perioden 1960 til 1968 er det bare oppgitt samlet fangstvekt av laks og sjøaure i fangststatistikken. Total vekt av laks hvert år er utregnet ved å anta samme innslag av sjøaure som i perioden 1969 til 1978, og antallet laks er videre utregnet på grunnlag av gjennomsnittvekten i perioden 1969-1978. Fordelingen av sjøaldergrupper er deretter utregnet som for perioden 1969 til 1978 ved å anta samme sjøalderfordeling.

Sikkerheten i beregningene er størst for perioden 1993 til 2001 og minst for perioden 1960 til 1968. Dette skyldes både at det er bedre oppløsning i størrelses og sjøaldersgrupper i statistikken, men også

at fangstrapporteringen sannsynligvis er blitt mer nøyaktig og komplett i den siste perioden.

For å kunne sammenligne innsiget av de ulike smoltårgangene mellom bestander, er innsiget omregnet til indekser for innsig. Innsiget av den enkelte smoltårgang er regnet som prosent av innsiget til elva av den smoltårgangen som har gitt det største innsiget til den aktuelle elva (100 %) i perioden 1959 til 1999.

Det er sannsynlig at antall laksesmolt som vandrer ut fra ei elv varierer mellom år i forhold til både naturlig og menneskeskapt variasjon i produksjonsvilkårene. I denne sammenstillingen er det sett bort fra den naturlige variasjonen i smoltproduksjon fordi det ikke finnes data om dette fra de aktuelle elvene. Det er antatt at naturlig variasjon i smoltproduksjon er mindre enn naturlig variasjon i sjøoverlevelse (Gibson 1993).

## 2.2 Referanseelver

Laksebestander varierer mye i størrelse i løpet av kort tid av naturlige årsaker, og havtemperatur er antatt å være den viktigste årsaken til denne variasjonen som kan nå opp i størrelsesorden 1:5 eller mer i løpet av en 10-års periode (Antonson mfl. 1996, Friedland mfl. 1998, 2000). Det er innlysende at den store naturlige variasjonen gjør det meget vanskelig å isolere påvirkninger på enkeltbestander som skyldes menneskeskapt faktorer, som forsuring, påvirkning fra oppdrett og vassdragsreguleringer. Unntaket er hvis påvirkningen er av et omfang som nærmest utrydder bestanden slik det har vært tilfelle med forsuringspåvirkete bestander på Sørlandet og bestander infisert av *Gyrodactylus salaris*. For å gjøre bildet ytterligere komplisert er de fleste bestander påvirket av flere menneskeskapt faktorer i tillegg til den naturlige variasjonen.

Ideelt sett burde en hatt langtidsserier med et sett av enkeltbestander der en kjente til hvordan bestanden varierte naturlig, og videre kunne isolere en av de aktuelle menneskeskapt faktorene fra naturlig variasjon. I Figgjoelva på Jæren har det blitt merket vill laksesmolt siden 1965 og gjenfangstene i sjøfisket og elvefisket er blitt sammenholdt med gjenfangster av tilsvarende smoltmerkinger i elven North Esk på østkysten av Skottland. Begge elvene har smålaksbestander. For smoltårgangene fra perioden 1965 til 1993 er det vist en god korrelasjon mellom gjenfangsten i de to elvene både av 1-sjøvinter og 2-sjøvinterlaks. Prosent gjenfangst varierte mye gjennom denne perioden, selv innen relativt korte tidsintervall. Det ble funnet en god sammenheng mellom gjenfangst og sjø/havtemperatur, hvilket indikerer at sjøtemperaturen har stor betydning for overlevelse av laks i havet for disse bestandene, som sannsynligvis benytter de samme oppvekstområdene i Norskehavet (Friedland mfl. 2000).

Serien med smoltmerkinger og gjenfangster fra Figgjo representerer den lengste norske serien som viser overlevelse av laks i havet. Figgjo er ikke regnet som forsuringspåvirket, men langt ut på 1980-tallet var sannsynligvis smoltproduksjonen i elva redusert på grunn av overgjødning, det siste kan i tilfelle forklare hvorfor det er et omvendt forhold mellom gjenfangst av merket smolt og fangst av voksen laks i elva. Smolten fra Figgjo går rett ut i havet og er derfor ikke påvirket av faktorer i fjordmiljøet, det antas at laksesmolten fra denne elven i mindre grad blir utsatt for påslag av lakselus enn smolt fra elver inne i fjordene. Gjenfangst av smolt fra denne bestanden kan derfor anses å uttrykke overlevelse av laks i havet som skyldes naturlige forhold.

Med referanse til det ovenstående kan dermed gjenfangst av merket Figgjolaks være en god referanse til bestander som er påvirket av menneskeskapt forhold, eksempelvis forsuring. Siden Figgjo ligger langt sør vil det i denne sammenheng være gunstig å finne referansebestander i den nordligste delen av den regionen der en antar at laksebestandene er påvirket av forsuring, dvs. Nordfjord. Ervikelva på Stadt peker da seg ut som en interessant referanse fordi elven har en smålaksbestand, og smolten går rett ut i havet på samme måten som smolten fra Figgjo (for nærmere beskrivelse av vassdraget og

laksebestanden se Skurdal mfl. (2001). Årlig og stort nedfall av sjøsalt i nedbørfeltet gjør også at elven kan fungere som sammenligningsgrunnlag for elver lenger inne i landet der fisken kan bli eksponert for sjøsaltepisoder under spesielle værforhold i enkelte år. Med utgangspunkt i fangststatistikken kan en ved den fremgangsmåten som er skissert foran beregne innsigsindeks av laks fra smoltårgangene i perioden 1959 til 1999, dvs, en lenger periode enn det fins rapporterte resultat fra Figgjo. Innsigsindeksen for laks fra Ervik ble sammenlignet med indeksert gjenfangst av merket smolt fra Figgjo for smoltårgangene fra perioden 1965 til 1993 (data fra Friedland mfl. 2000).

Det er en signifikant korrelasjon mellom innsigsindeksene for Erviklaks og Figgjolaks for smoltårgangene fra perioden 1965 til 1993 (lineær regresjon,  $R^2 = 0,39$ ,  $p < 0,001$ ). Av de 29 smoltårgangene som kan sammenlignes er forskjellen i indeks  $> 20$  for 9 av årgangene, dvs 31 %. Seks av disse årgangene med indeksforskjell  $> 20$  er for smoltårgangene i perioden 1981 til 1989, men forskjellen gikk begge veier. Overlevelsen var relativt lav frem til 1967, men økte deretter mot maksimum indeks for smoltårgangene fra henholdsvis 1972 og 1973 i Ervikelva og Figgjo. Fra maksimum overlevelse tidlig på 1970-tallet, avtok overlevelsen for Figgjolaksen noenlunde jevnt frem til 1988, da overlevelsen falt til et meget lavt nivå (5 – 20 % av maks.). Utviklingen for laksen i Ervikelva fulgte samme tendens som Figgjolaksen frem til 1980, men i perioden 1980 til 1986 var overlevelsen lavere for Erviklaksen. Smoltårgangene fra Ervikelva har etter 1987 overlevd noe bedre enn smolten fra Figgjo, og de fra 1999 og 2000 har gitt et innsig på over 60 % av maksimum (Figur 1). Fangst av rømt oppdrettslaks i Ervikelva fra siste halvdel av 1980-tallet er ikke korrigert for i fangststatistikken og beregning av innsigsindekser, og dette er noe av forklaringen på at innsigsindeksen for Erviklaksen ligger høyere enn for Figgjolaksen etter 1985.

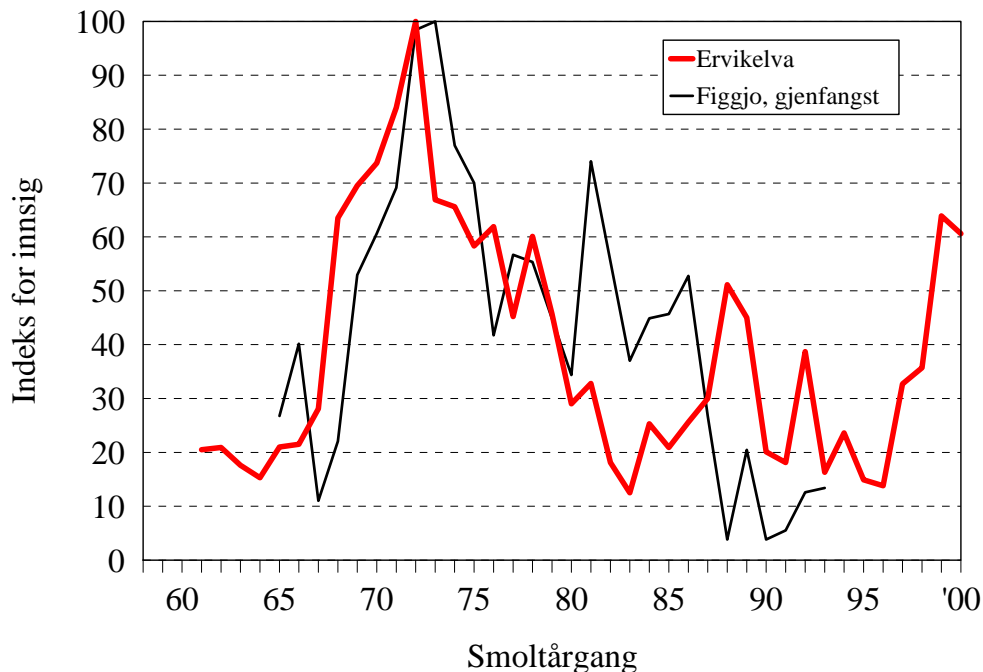
Sammenhengen mellom gjenfangst av 1-sjøvinter Figgjolaks og 1-sjøvinterlaks fra North Esk hadde en  $R^2$  på 0,53, og tilsvarende for 2-sjøvinterlaks var  $R^2$  0,27 (Friedland mfl. 2000). Korrelasjonskoeffisienten for sammenligningen av indekser mellom Ervik og Figgjo på 0,39 ligger altså på samme nivå som sammenligningen av gjenfangst mellom Figgjo og North Esk. For laks fra North Esk ble det påvist en signifikant sammenheng mellom gjenfangst av voksen laks og tilvekst det første året i sjøen for samme smoltårgang ( $R^2 = 0,42$ , Friedland mfl. 2000). Tilsvarende vekstdata er ikke presentert for Figgjolaks. Innsigsindeksen for smoltårganger fra Ervikelva ble derfor sammenholdt med tilvekst for de samme smoltårgangene fra North Esk fra perioden 1965 til 1993 (data fra Friedland mfl. 2000). Denne sammenhengen var høyst signifikant ( $p < 0,0001$ ) og forklarte 62 % ( $R^2$ ) av variasjonen i dette forholdet (Figur 2).

Det er signifikante korrelasjonene mellom innsigsindekser for laks fra Ervikelva og Figgjo, og mellom innsigsindekser for laks fra Ervik og tilvekst første sommer i sjøen for laks fra North Esk. På bakgrunn av dette foreslår vi at Ervikelva kan benyttes som referanse for sjøoverlevelse relatert til naturlige faktorer i havet for smoltårgangene fra perioden 1959 til 2000.

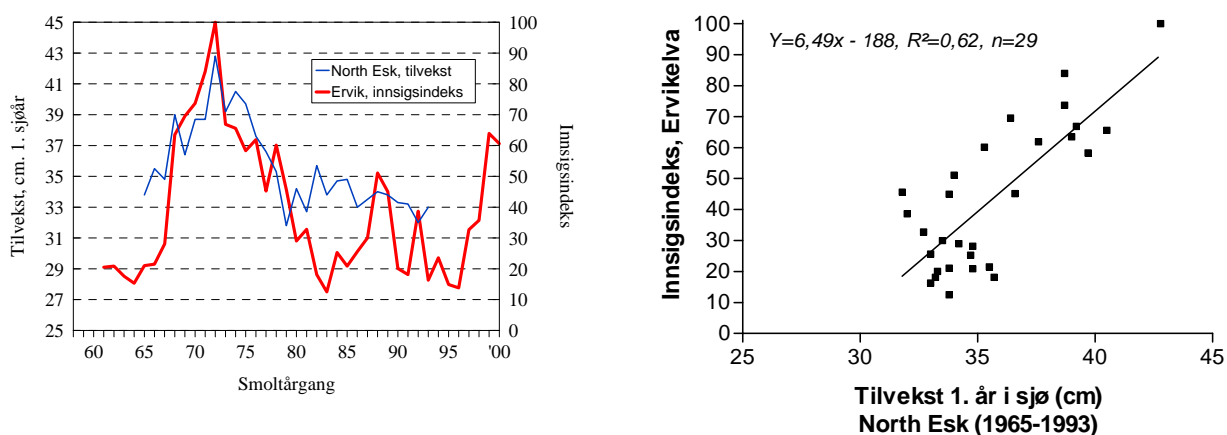
Det finnes lite bakgrunnsdata fra Ervikelva. Dette gjør usikkerheten forbundet med den foreslåtte metoden mer usikker. Det finnes svært lite vannkjemidata fra Ervikelva, noe som gjør at vi ikke vet om elva kan ha marginal vannkjemisk f.eks. under spesielle værforhold. Det finnes én fullstending vannkjemisk analyse, tatt fra Dalsbøvatnet i 1995. Denne prøven viser god vannkvalitet med pH på 6,5, kalsiumkonsentrasjon på  $1,1 \text{ mg L}^{-1}$ , labilt aluminium på  $6 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$  og ANC på  $81 \text{ } \mu\text{eq L}^{-1}$ . Det er plantet granskog innenfor elvas nedbørfelt, noe som kan ha betydning for vannkjemien. Dessuten er det foretatt betydelig restrukturering i nedre deler av elveløpet som også kan ha påvirket bestanden. Det bør derfor foretas grundige undersøkelser av Ervikselva.

I den foregående sammenligningen ligger innsigsindeksen for Ervikelva lavere enn smoltoverlevelsen for Figgjolaksen skulle tilsi i første halvdel av 1980-tallet, og tilsvarende lavere i samme periode sammenlignet med tilveksten det første året i sjøen for laks fra North Esk. Dette kan tyde på at lokale forhold i Ervikelva kan ha medført redusert smoltproduksjon i denne perioden. En alternativ forklaring er at sjøtemperaturen lokalt ved Stadt har vært lavere enn sjøtemperaturen lenger sør og slik påvirket

overlevelse til postsmolten i tidlig sjøfase. Vi har ikke vekstdata på laks fra Nordfjordregionen fra denne perioden som eventuelt kunne avklart dette spørsmålet.



Figur 1. Beregnet indeks for innsig av voksen laks til Ervikelva (ytterst på kysten i Nordfjord) av smoltårgangene som gikk ut av elven i perioden 1959 til 2000. Beregningene er gjort på bakgrunn av fangster oppgitt i fangststatistikken. Tilsvarende er det beregnet en indeks for sjøoverlevelse av merket laksesmolt fra elva Figgjo på Jæren uttrykt som total gjenfangst av smoltårgangene fra perioden 1965 til 1993 i sjø- og elvefisket (data fra Friedland mfl. 2000).

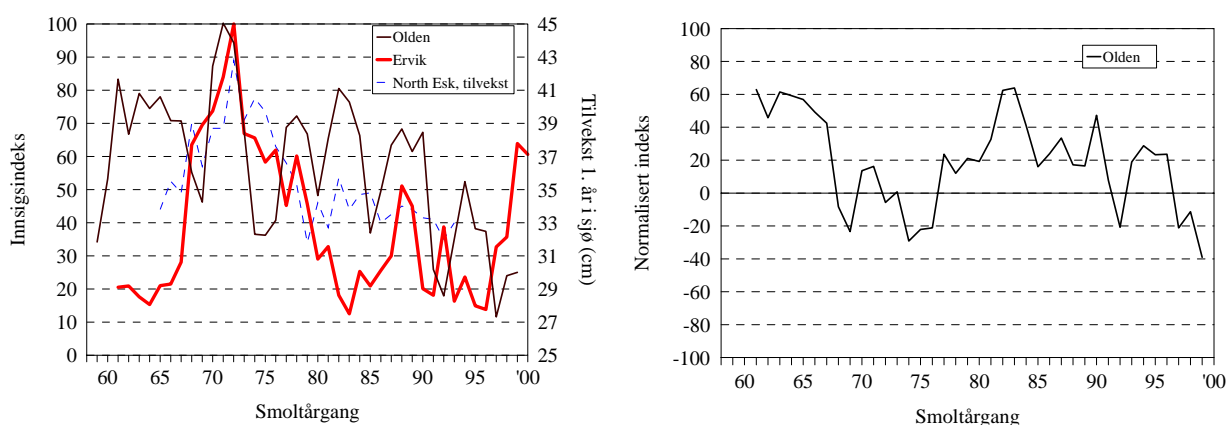


Figur 2. Innsigsindeks til Ervikelva for smoltårgangene fra perioden 1959 til 2000 sammenlignet med tilvekst det første året i sjø for smolt fra elven North Esk på østkysten av Skottland (data fra Friedland mfl. 2000).

Analyser av skjellprøver fra voksen laks innsamlet ved sjøfisket og elvefisket i Sogn og Fjordane de siste årene, viser at tilveksten av laks det første året i sjøen var svært lav i 1997 og lå rundt 25 cm for mange av bestandene, foregående og etterfølgende år har tilveksten vært høyere, og nærmere 35 cm (Urdal 2001). Smoltårgangen fra 1997 har gitt svært lav tilbakevandring til de fleste av laksebestandene på Vestlandet, og dette er sammenfallende med dårlig tilvekst i 1997 for de samme bestandene. Innsiget til Ervikelva og elvene på Jæren var derimot middels til over middels, noe som tyder på at den dårlige overlevelsen for 1997-årgangen skyldes forhold inne i fjordene, og påslag av lakselus er mulig årsak. Dersom lave indekser for Erviklaksen tidlig på 1980-tallet skyldes forhold i elva, vil den reelle kurven for sammenhengen mellom innsigsindeks og tilvekst ligge høyere i området med lav tilvekst, og krysse x-aksen i området rundt 25 cm. Tilvekst på dette nivået har vist seg å gi svært lav overlevelse i sjøen for andre bestander.

Relativt lave innsigsindekser for Erviklaksen tidlig på 1980-tallet, gjør at andre bestander vil få tilsvarende høye indekser ved sammenligning med Ervik for denne perioden. Dette vil kunne maskere eventuell forursningspåvirkning i denne perioden for de andre bestandene.

Laksebestanden i Ervikelva er dominert av smålaks, og det kan diskuteres flere forhold som gjør at en smålaksbestand kanskje ikke er en relevant referanse til storlaksbestander. Det er påvist at fordelingen på sjøalder kan endre seg over tid, og tilsynelatende i storskala svinginger (Summers 1995). I mange norske storlaksbestander har det vært en høyere andel smålaks de siste 20-30 åra sammenlignet med tidligere (ANON, 1999). Analyser fra skjell innsamlet fra i ulike laksebestander på Vestlandet de siste årene indikerer at tilveksten det første året i sjøen er den samme for ulike sjøaldergrupper av laks både innen og mellom ulike bestandstyper, e.g. smålaksbestander og storlaksbestander. 1-sjøvinter og 2-sjøvinterlaks av de samme smoltårgangene fra North Esk hadde også samme tilvekst det første året i sjøen gjennom hele perioden fra 1965 til 1993 (Friedland mfl. 2000). Disse resultatene tilsier at laks fra ulike bestander opplever de samme vekstbetingelsene det første året i sjøen. Siden overlevelse og tilvekst synes å være godt korrelert, burde en også forvente at variasjon i dødelighet som er knyttet til naturlig variasjon i temperaturforhold også ville gi det samme utslaget på alle bestander uavhengig av livshistorie.



Figur 3. Venstre: Innsigsindeks til Oldenelva og Ervikelva for smoltårgangene fra perioden 1959 til (1999) 2000 sammenlignet med tilvekst det første året i sjø for smolt fra elven North Esk på østkysten av Skottland (data fra Friedland mfl. 2000). Høyre: Innsigsindeksen til Oldenelva normalisert i forhold til Ervikelva.

Av storlaksbestander i Nordfjord er Oldenelva en god kandidat som referanse. I denne elva er det gjort grundige fiskeundersøkelser årlig siden 1995, med unntak av 1997 (Sægrov og Hellen 2001). Laksen kan ikke gå opp i innsjøer på grunn av vandringshinder, og anadrom strekning er derfor oversiktlig og veldefinert. Elva har god vannkvalitet, den er ikke regulert, det har ikke vært satt foret settefisk eller smolt, men det ble satt uforet lakseyngel før 1995.

Innsigsindeksen til Oldenelva var relativt høy på 1960-tallet, og klart høyere enn for Ervikelva (*Figur 3*). Også smoltårgangene fra perioden 1977 til 1990 lå konsekvent høyere i indeks i Oldenelva, og for fire av årgangene betydelig høyere. Noen årganger midt på 1970-tallet og på slutten av 1990-tallet har gitt relativt fåtallig innsig til Oldenelva sammenlignet med Ervikelva. Sammenlignet med tilvekst 1. år i sjøen for laks fra North Esk, var innsigsindeksen til Oldenelva noe høyere enn forventet midt på 1960-tallet, og for de fleste av smoltårgangene fra 1980 tallet. Maksimum innsigsindeks for Oldenelva var likevel i samme periode som maksimum tilvekst for laks fra North Esk, dvs. tidlig på 1970-tallet.

Bestandsutviklingen for laks i Oldenelva og laks i Ervikelva er noe forskjellig, mens det tidsmessige forløpet for sjøvekst ligger midt mellom de to elvene i deler av perioden. En kan ikke helt utelukke at produksjonen av laksesmolt i den kalde Oldenelva kan variere mer enn i den stabilt varme Ervikelva.

### 3. Vannkjemisk modellering

#### 3.1 MAGIC-modellen

MAGIC er en dynamisk, middels kompleks forsøringsmodell utviklet for å predikere langtidstrender i vannkjemi som resultat av endring i deposisjonskjemi (Cosby mfl. 1985a; Cosby mfl. 1985b). Modellen simulerer konsentrasjoner av hovedioner i jordvæske og overflatevann. Hovedprosessene involvert i modellen er kationbytte, sulfatadsorpsjon, oppløsnings/utfellings- og spesieringsreaksjoner for aluminium, og oppløsning og spesiering av organisk materiale. I tillegg inkluderer modellen flukser for deposisjon, forvitring, netto opptak og avrenning.

En vesentlig parameter for MAGIC er størrelsen på det utbyttbare lager av kationer i jordsmonnet i nedbørfeltet (kationbyttekapasitet og basemetning). De utbyttbare kationene i jordsmonnet bestemmer hvordan overflatevannet responderer på endrete konsentrasjoner i det atmosfæriske nedfallet. Tilgang på jordkjemiske data er ofte begrensende faktor for anvendelse av MAGIC for mange vassdrag hvor vannkjemiske data er tilgjengelig for modellkalibrering. Andre viktige inngangsdata for anvendelse av MAGIC er jordfysiske parametre, inn- og utflukser for vannmengde og hovedioner og netto årlig opptak av næringssalter i vegetasjon.

#### 3.2 Utvalgte vassdrag

Tilgang på relevante jordkjemiske data er den viktigste begrensende faktor for anvendelse av MAGIC på norske vassdrag. Denne rapporten er basert kun på eksisterende data. Vassdragene hvor vi har kalibrert MAGIC er derfor styrt av hvilke nedbørfelt det finnes jordkjemiske analyser fra, som samtidig er relevante i forhold til problemstillingen om villaksbestander og forsuring. De utvalgte vassdragene er Nausta, Jølstra, Vosso og Vikedal.

#### 3.3 Jorddata

Jorddata kommer fra ulike tidligere forsknings- og overvåkningsprogrammer (*Tabell 1*). I alle tilfeller ble data aggregert til ett sett av parametre for hvert nedbørfelt (*Tabell 2*). Først aggregeres data fra de ulike horisontene i individuelle jordprofiler ved masseveiing, deretter ble data for hvert profil aggregert som aritmetiske middel.

*Tabell 1. Oversikt over datakilder brukt i kalibreringen av MAGIC*

Vassdrag	Nausta	Vosso	Vikedal	Jølstra
<b>Nedbørkjemi</b>				
NILU-stasjon	Nausta	Voss	Vikedal II	Nausta
Breddegrad	61°34'	60°36'	59°32'	61°34'
Lengdegrad	5°53'	6°32'	5°58'	5°53'
<b>Vannkjemi</b>				
NIVA-stasjon	34.1 Nausta	9 Bolstad	32.9 Låkafooss	Oppstr. Anga
Referanse	SFT, 2001	Kroglund m.fl. 2002	SFT, 2001	Bjerknes m.fl. 1998
<b>Jordkjemi</b>				
Prøver	i nedbørfeltet	i nedbørfeltet	i nedbør-feltet	HUMEX-feltet
Ant. steder	4	7	4	2
Samlet av	NISK	NIVA	NISK	UiO
Analysert av	NISK	NIVA	NISK	UiO
Innsamlingsår	1987	2000	1985	1991
Referanse, jord	SFT 1988	Kroglund m.fl. 2002	SFT 1986	Vogt mfl 1992

### 3.4 Nedbør og nedbørkjemi

Data for nedbør og nedbørkjemi kommer i utgangspunktet fra SFTs overvåkningsprogram (Aas mfl. 2000). Imidlertid er ikke disse verdiene representative for vassdragets nedbørfelt som helhet. Tørravsetning av både sjøsalter og gasser er ikke inkludert. I tillegg vil det alltid være betydelige gradienter både i nedbørmengde og sammensetning innen nedbørfeltet for et større vassdrag. De målte deposisjonsverdiene er derfor justert etter et sett med kriterier for å være dekkende for hele nedbørfeltet og dermed i overensstemmelse med den faktiske observerte vannkjemi. Fremgangsmåten baserer seg på antagelsen om at klorid er et konservativt ion (på årlig tidsskala) og dermed kan brukes til å justere sjøsaltbidraget for de andre ionene i deposisjonen basert på avrenningen (Tabell 3). Videre er fluksen for sulfatdeposisjon justert basert på fluksen i avrenningen for en 2-3 års periode, hvilket er en rimelig antagelse kun i systemer med tynne jordsdmonn og rask responstid for sulfat. Framgangsmåten er beskrevet i detalj i Kroglund mfl. 2002. I tillegg til dagens nedbørkjemi krever modellen informasjon om hvordan nedbørkjemien har endret seg historisk. For sulfat ble benyttet estimater av historisk nedfall fra Mylona 1996). For nitrogen ble estimater fra Simpson mfl. (1997) benyttet. De historiske skaleringsfaktorene er gitt i Tabell 5.

Tabell 2. Jorddata brukt for å kalibrere MAGIC.

Parameter	Enhet	Nausta	Vosso	Vikedal	Jølstra
Jorddybde	m	0.75	0.23	0.75	0.5
Porevolum	%	0.5	0.5	0.5	0.5
Tetthet	kg m <sup>-3</sup>	800	743	1037	926
CEC	meq kg <sup>-1</sup>	62	77	23	18
Utbyttbart Ca	%	7.9	4.7	3.8	12
Utbyttbart Mg	%	3.6	3.9	2.6	9
Utbyttbart Na	%	4.4	1.4	2	7
Utbyttbart K	%	2.4	3.0	2.2	4
Basemetning	%	18.4	12.9	10.6	32
SO <sub>4</sub> ads. Half-sat.	meq m <sup>-3</sup>	50	100	50	50
SO <sub>4</sub> ads. Max-capacity	meq kg <sup>-1</sup>	1.0	1.0	2.0	0.1
Løslighet Al(OH) <sub>3</sub>	log <sub>10</sub>	8.1	8.1	8.1	8.1
Temperatur	C	5.0	5.0	5.0	5.0
CO <sub>2</sub> partialtrykk	% atm	0.47	0.47	0.47	0.47
Total organisk syreladning	mmol m <sup>-3</sup>	100	100	100	100
pK <sub>1</sub>	-log <sub>10</sub>	3.04	3.04	3.04	3.04
pK <sub>2</sub>	-log <sub>10</sub>	4.51	4.51	4.51	4.51
pK <sub>3</sub>	-log <sub>10</sub>	6.46	6.46	6.46	6.46

Tabell 3. Skaleringsfaktorer for Cl og SO<sub>4</sub><sup>\*</sup> brukt i beregning av totalnedfall for nedbørfeltet fra måledata. Faktorene varierer mye fra stasjon til stasjon på grunn av lokaliseringen av nedbørstasjonene i forhold til vassdragets nedbørfelt som helhet.

Vassdrag	Nausta	Vosso	Vikedal	Jølstra
Dataperiode brukt for Cl	1985-99	1994-99	1986-99	1994
Cl faktor	0.88	3.02	1.09	0.88
Dataperiode brukt for SO <sub>4</sub> <sup>*</sup>	1993-95	1995-97	1986-88	1994
SO <sub>4</sub> <sup>*</sup> faktor	1.05	3.91	1.28	1.25



Tabell 4. Gjennomsnittlig depositionsflukser benyttet for de ulike vassdragene. For svovel og nitrogenforbindelsene er en kort tidsperiode brukt (se Tabell 3), for kationene er samme tidsserie som for klorid brukt (se Tabell 3). Enhet: meq m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>.

Parameter	Nausta	Vosso	Vikedal	Jølstra
Ca	7	7	13	7
Mg	36	37	68	38
Na	156	161	296	169
K	3	3	6	3
Cl	183	188	346	200
NH <sub>4</sub>	21	44	68	21
SO <sub>4</sub>	50	80	117	60
NO <sub>3</sub>	19	56	67	19

Tabell 5. Historiske skaleringsfaktorer (relativt til 1995) benyttet i modellkalibreringene. Kilder: svovel fra Mylona 1996, nitrogen fra Simpson mfl. (1997). Verdier for 2000 er estimater basert på 7 sørnorske stasjoner (Aas mfl. 2000).

År	ikke-marin SO <sub>4</sub> faktor	Nitrogen faktor
1860	0.00	0
1915	0.73	
1925	0.76	
1940	0.93	
1955	1.42	
1960	1.48	0.76
1965	1.75	
1970	1.76	
1975	1.67	1.14
1980	1.57	
1990	1.29	1.19
1995	1.00	1.00
2000	0.73	1.00

Tabell 6. Gjennomsnittskonsentrasjoner (aritmetisk) for hovedionene brukt i modellkalibreringene.

Parameter	Enhet	Nausta 1994-96	Vosso 1994-97	Vikedal 1986-88	Jølstra 1994
Ca	µeq L <sup>-1</sup>	30	49	36	40
Mg	µeq L <sup>-1</sup>	21	20	29	22
Na	µeq L <sup>-1</sup>	69	51	86	82
K	µeq L <sup>-1</sup>	8	8	6	8
SO <sub>4</sub>	µeq L <sup>-1</sup>	25	30	49	29
Cl	µeq L <sup>-1</sup>	76	62	89	29
NO <sub>3</sub>	µeq L <sup>-1</sup>	6	11	12	2
SBC	µeq L <sup>-1</sup>	128	128	157	153
SSA	µeq L <sup>-1</sup>	107	103	160	118
ANC	µeq L <sup>-1</sup>	21	25	-3	34
H <sup>+</sup>	µeq L <sup>-1</sup>	1	1	4	1
Al <sup>n+</sup>	µeq L <sup>-1</sup>	1	0	3	1
A <sup>-</sup>	µeq L <sup>-1</sup>	5	0	0	10

### 3.5 Avrenning og vannkjemiske data

Avrenningsdata kommer fra NVE sine stasjoner ved elvemunningene. Årlige gjennomsnittsverdier for vannkjemisk bruk i modellkalibreringene er tatt fra overvåkningsprogrammet for de vassdragene som er inkludert der. Dersom vassdraget ikke er inkludert i overvåkningsprogrammet er andre datakilder (ulike forskningsprosjekter) benyttet (*Tabell 1* og *Tabell 6*).

### 3.6 Kalibrerte parameterverdier

Forvittringshastighet og mengden av utbyttable basekationer må kalibreres før modellen eventuelt kan brukes til prediksjoner. Dette gjøres ved at man kjører modellen mange ganger og underveis justerer forvittringshastighet og opprinnelig basekationmengde inntil modellerte vannkjemisk og jordkjemisk stemmer overens med observasjonene. Vannkjemidata og jordkjemidata brukes således ikke som inngangsdata i selve modellen men som et helt nødvendig sammenligningsgrunnlag i kalibreringsprosessen. Selektivitetskoeffisienter for kationbytte beregnes av modellen når de andre parametre er satt. Verdier for de kalibrerte parametre er gjengitt i *Tabell 8*.

*Tabell 7. Inngangsdata brukt i modellkalibreringene.*

	Enhet	Nausta	Vosso	Vikedal	Jølstra
Avrenning	m yr <sup>-1</sup>	2.315	3.155	3.083	2.28
Løslighet Al(OH) <sub>3</sub>	log <sub>10</sub>	9.3	10.1	10.1	10
Temperatur	°C	5.0	5.0	5.0	5.0
CO <sub>2</sub> partialtrykk	atm	0.07	0.07	0.07	0.07
Organisk syreladning	mmol m <sup>-3</sup>	4	3	0	10
pK1	-log <sub>10</sub>	3.04	3.04	3.04	3.04
pK2	-log <sub>10</sub>	4.51	4.51	4.51	4.51
pK3	-log <sub>10</sub>	6.46	6.46	6.46	6.46

*Tabell 8. Kalibrerte parametre fra MAGIC.*

Selektivitetskoeffisienter for enhet kationbytte.		Nausta	Vosso	Vikedal	Jølstra
Al-Ca	log 10	-2.0	-0.5	-0.9	-1.7
Al-Mg	log 10	-1.4	-1.4	-0.7	-2.1
Al-Na	log 10	-3.9	-2.6	-2.5	-4.0
Al-K	log 10	-5.6	-6.0	-6.2	-6.1
Forvittringshastigheter					
Ca	meq m <sup>-2</sup> yr <sup>-1</sup>	60	147	100	88
Mg	meq m <sup>-2</sup> yr <sup>-1</sup>	10	25	25	15
Na	meq m <sup>-2</sup> yr <sup>-1</sup>	0	0	0	15
K	meq m <sup>-2</sup> yr <sup>-1</sup>	18	23	12	16
Sum BC	meq m <sup>-2</sup> yr <sup>-1</sup>	88	295	137	134
Opprinnelig basemetning (i 1850)					
Ca	%	8.8	6.1	5.3	16
Mg	%	4.1	5.0	3.7	12
Na	%	4.8	1.6	2.5	8
K	%	2.5	3.4	2.6	4
Sum BS	%	20.2	16.1	14.1	40
Nitrogenretensjon					
NH <sub>4</sub> + NO <sub>3</sub>	%	66	65	75	88

## 4. Resultater

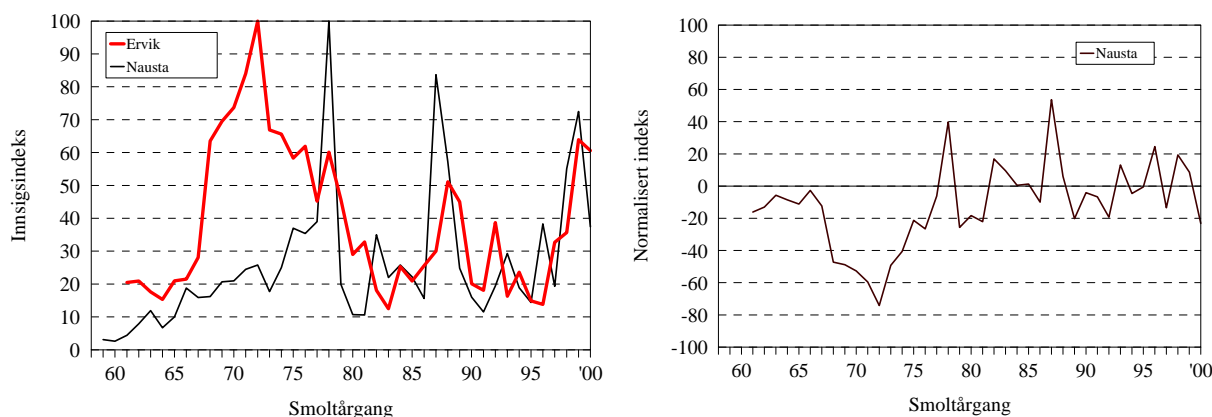
I dette kapitlet viser vi innsigsindekser for utvalgte elver normalisert for innsigsindeks for referanseelvene. For de vassdragene hvor vi også har simulerte trender i vannkjemien fra MAGIC sammenligner vi relativ innsigsindeks og modellert vannkjemie.

Det er tidligere vist at ANC er den forsursingsrelaterte parameter som best forklarer endringer i fangststatistikken (Kroglund mfl., 2002). ANC er også vel etablert som responsparameter innen tålegrensearbeidet for ferskvann (Henriksen and Buan 2000; Henriksen and Posch 2001). Vi velger derfor å bruke ANC som kjemisk variabel.

### 4.1 Nausta

I Nausta var det smoltårgangen fra 1978 som har gitt flest voksne laks tilbake til elva, med et beregnet innsig på 7235 laks. Denne smoltårgangen hadde indeks 60 i Ervikelva, der maksimum innsig er beregnet til 726 laks av smoltårgangen fra 1972. Smoltårgangene før 1978 gav fåtallige innsig av voksne laks til Nausta, mens innsigsindeksene for smoltårgangene etter 1978 i stor grad sammenfaller med Ervik. I 1974 ble det åpnet laksetrapp i Hovefossen, og dette medførte en tredobling av arealet for smoltproduksjon i elva, selv om det blir hevdet at laks kunne passere Hovefossen under helt spesielle vannføringer også før trappen ble bygget (se nærmere omtale av elven og bestanden i Skurdal mfl. 2001). Det er derfor noe usikkert om lave fangster før 1978 skyldes økt smoltproduksjon på arealene ovenfor Hovefossen, eller dårlig vannkvalitet. For de 24 smoltårgangene fra perioden 1977 til 2000 er indeksforskjellen  $> 20$  for 7 årganger (29%), men 5 av disse ligger nær 20 i indeksforskjell, og retningen er ikke systematisk.

Figur 4 viser indeks for Nausta relativt til Ervikelva. Indeksen har et minimum først på 1970-tallet. Den modellerte ANC verdien når et minimum omtrent på samme tid og det er indikasjoner på at det er en sammenheng (Figur 5). De målte ANC verdiene viser stor variasjon fra år til år, hvilket særlig skyldes variasjoner i værforholdene med varierende vannmengde og varierende nedfall av sjøsalter i vassdragets nedbørfelt.

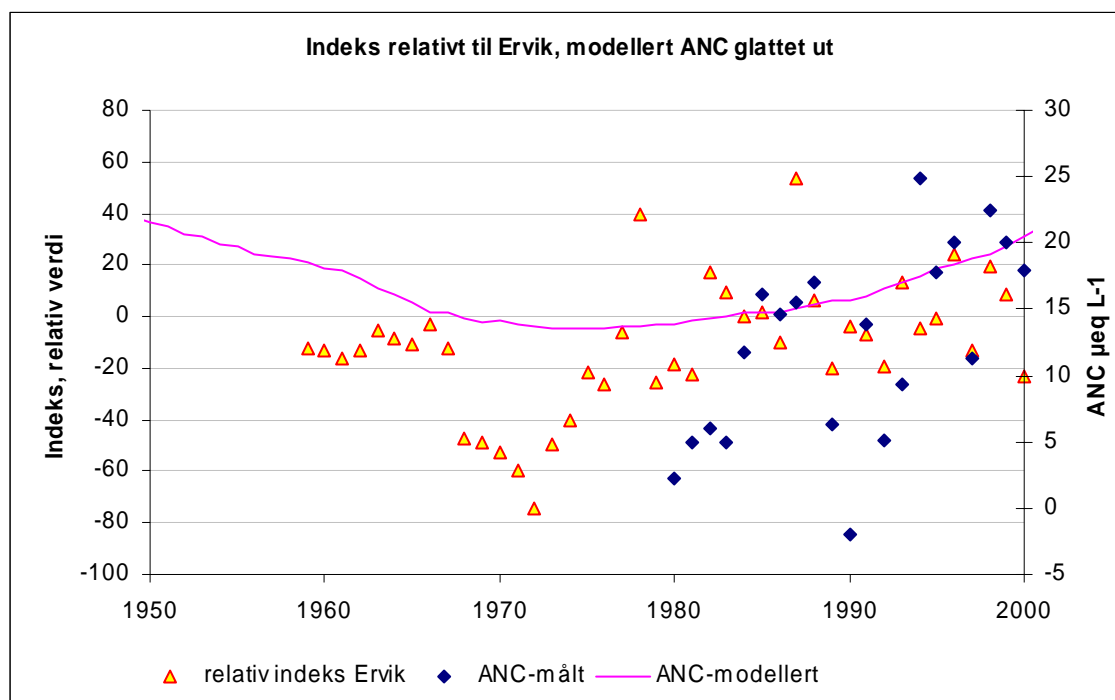


Figur 4. Innsigsindeks av laks til Nausta sammenlignet med Ervikelva (venstre) og normalisert i forhold til Ervikelva (høyre).

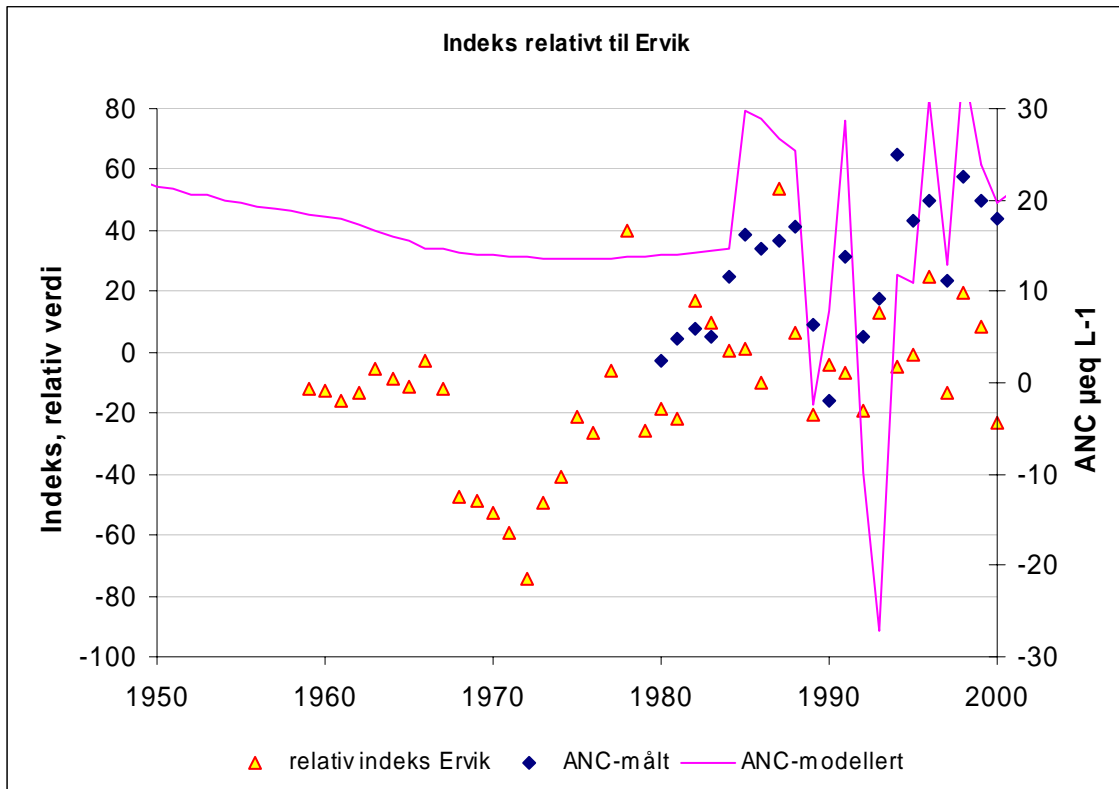
I Figur 6 har vi tatt hensyn til denne variasjonen i modellkjøringene. Modellen fanger opp variasjonen i ANC relativt bra. Imidlertid gjør modellen for kraftige utslag i form av lav ANC i år med kraftige sjøsaltepisoder. Det er ikke intuitivt opplagt hvilken av de to som er best egnet til å forklare endringene i den relative indeksen og vi viser derfor begge modellkjøringene.

For å undersøke videre sammenhengen mellom den relative indeksen og ANC kan vi se på forholdet mellom de to. Dette er gjort i Figur 7 for modellert ANC uten og med variasjoner fra år til år. Koeffisienten for lineær regresjon ( $R^2$ ) er 0.15 når vi bruker de glattede modellerte ANC verdier og bare 0.04 når vi tar med variasjonene fra år til år.  $R^2$  på 0.15 er ingen høy verdi og viser at det ikke er en sterk lineær korrelasjon selv om den er signifikant. Det er imidlertid ikke nødvendigvis å forvente en lineær sammenheng. Venstre del av Figur 7 indikerer at sammenhengen ikke er linær og at man når en grenseverdi for ANC hvor indeksen antar lave verdier.

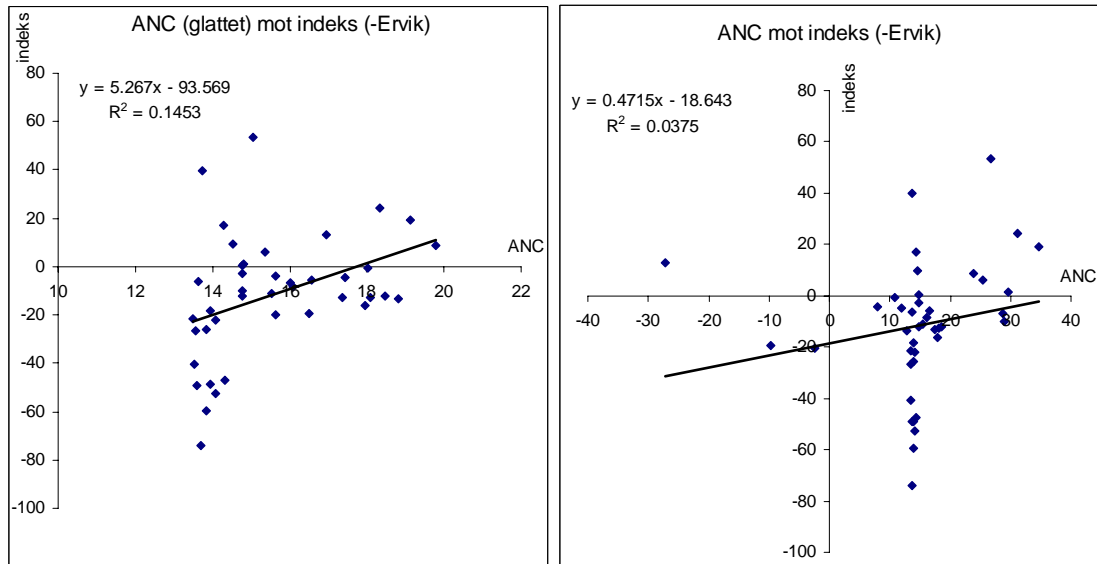
Som beskrevet tidligere så har vi benyttet to elver som referanse: Ervikselva og Oldenelva for henholdsvis smålaks- og storlakselv. Nausta er klassifisert som smålakselv og referansen blir derfor Ervikselva. Sammenhengen mellom relativ indeks og modellert ANC blir vesentlig dårligere dersom vi istedet prøver å bruker Oldenelva som referanseelv for Nausta (Figur 8). Dette indikerer at valget av Ervikselva er fornuftig som referanse.



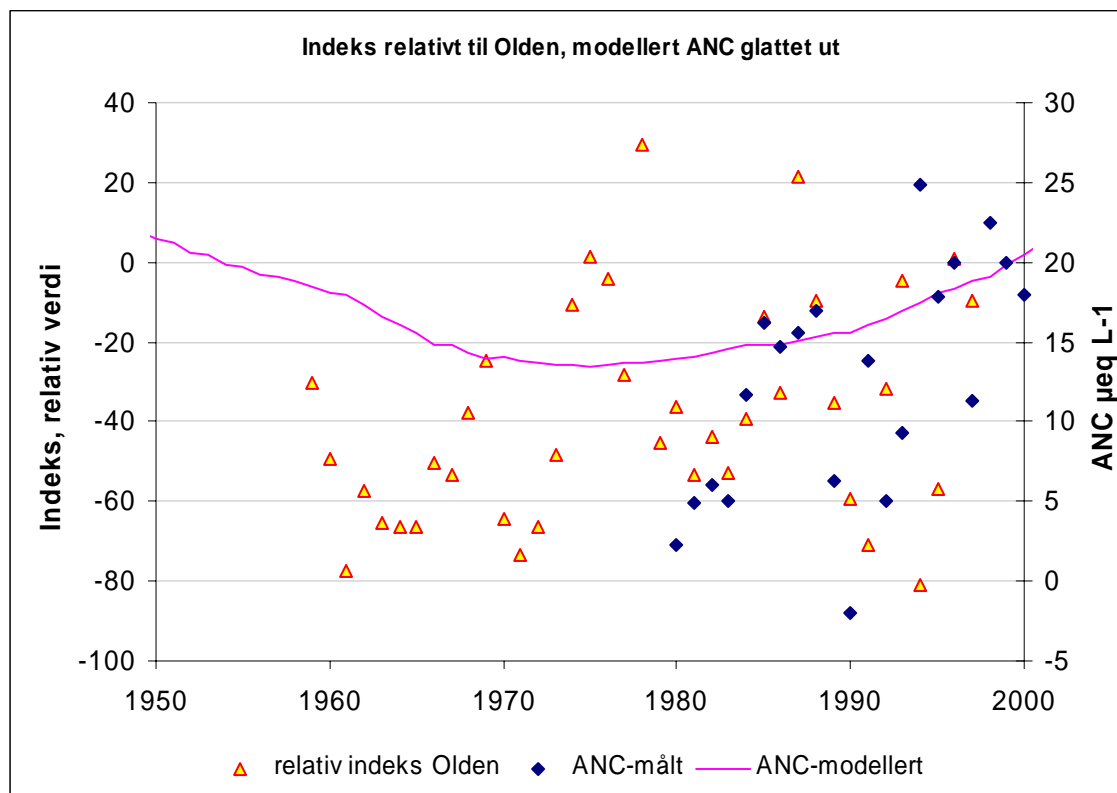
Figur 5. Indeks for Nausta relativt til Ervikselva sammen med målt og modellert ANC i Nausta. Modellert ANC er en glattet kurve hvor det ikke er tatt hensyn til variasjoner fra år til år.



Figur 6. Indeks for Nausta relativt til Ervikselva sammen med målt og modellert ANC i Nausta. Modellert ANC er en glattet kurve hvor det ikke er tatt hensyn til variasjoner fra år til år.



Figur 7. Modellerte ANC verdier plottet mot indeks for Nausta relativt til Ervikselva. I figuren til venstre er modellert glattet ANC benyttet, mens i figuren til høyre er variasjonene fra år til år tatt med.



Figur 8. Indeks for Nausta relativt til Oldenelva sammen med målt og modellert ANC i Nausta. Modellert ANC er en glattet kurve hvor det ikke er tatt hensyn til variasjoner fra år til år.

## 4.2 Vikedalselva

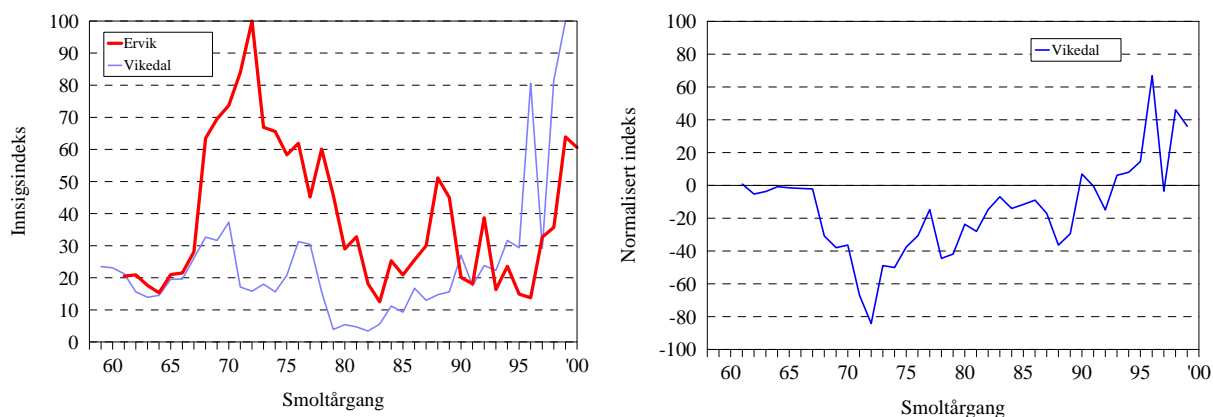
I Vikedalselva ble det observert fiskedød tidlig på 1980-tallet og elven er blitt kalket siden 1987 (DN, 2001). Elven har en smålaksbestand og maksimum innsig er beregnet til 1513 laks av smoltårgangen fra 1999. For nærmere beskrivelse av elva og bestanden se DN, 2001.

Innsiget av laks til Vikedalselva var fåtallig for smoltårgangene i perioden 1968 til 1983 sammenlignet med Ervikelva, og holdt seg relativt lavt helt frem til 1989. Deretter økte innsiget og har siden 1995 vært relativt høyt for de fleste smoltårgangene, med unntak av smoltårgangen fra 1997 (Figur 9). De 22 smoltårgangene fra 1968 til 1989 hadde systematisk lavere innsigsindeks enn Ervik, og for 15 av de 22 (68 %) var indeksforskjellen  $> 20$ . For de 10 smoltårgangene i perioden 1990 til 1999 er indeksforskjellen  $> 20$  for tre årganger (30 %) og alle tre ligger høyere enn indeks Ervik. Økningen i indeks for Vikedalselva etter 1990 kan trolig forklares med at smoltproduksjonen i elven har økt, og at elvas bærenivå for smoltproduksjon var redusert fra tidlig på 1960-tallet til tidlig på 1990-tallet. Det er også registrert en økning i tettheten av årsyngel og eldre laksunger i elva de siste årene (DN, 2001).

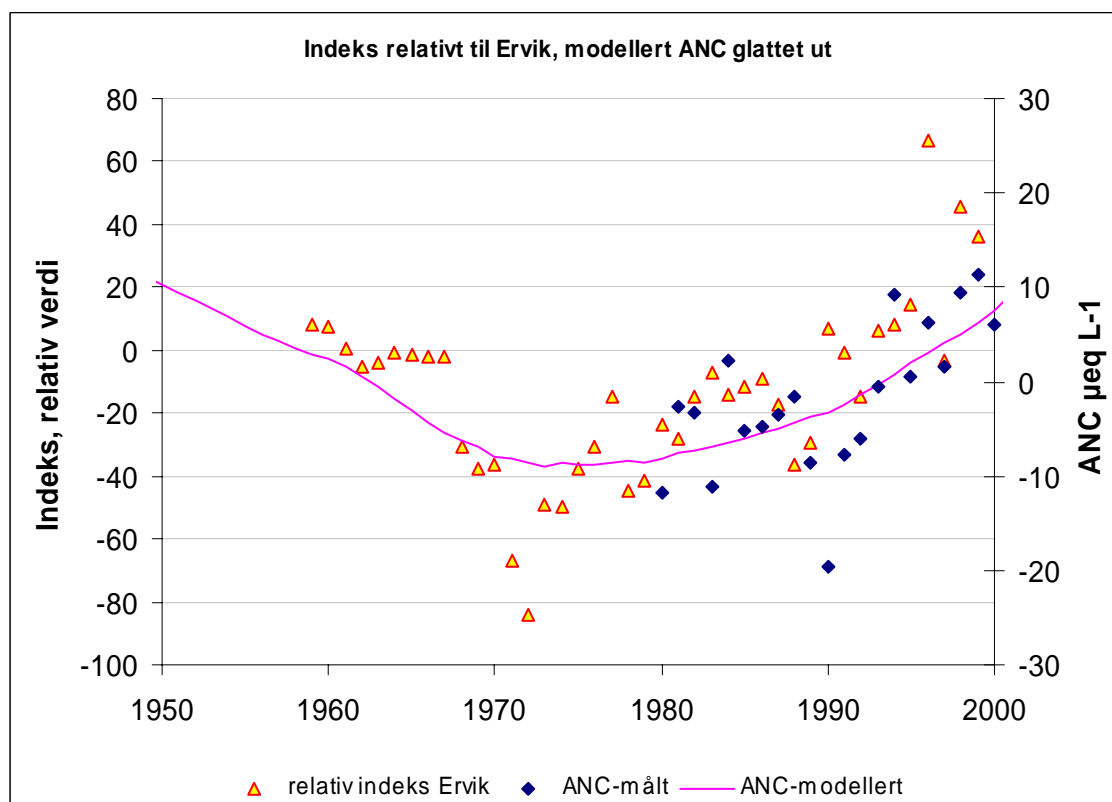
For Vikedalselva er det en meget god sammenheng mellom indeks relativt til Ervikelva og modellert ANC (Figur 10). Vikedalselva har hatt lave ANC verdier lenge og det er enighet om at forurenningen har hatt betydelig innvirkning på laksebestanden. Vikedalselva er derfor et eksempel hvor vi vil forvente en god sammenheng. Vikedalselva er kalket og dette kan forventes å ha bidratt til positivt til utviklingen i indeksen. Vannkjemiske data samles inn ovenfor kalkingsstasjonen og kalkingen er heller ikke tatt hensyn til i modellkjøringen.

Vi viser også figuren hvor de observerte endringer fra år til år er tatt hensyn til (Figur 11). Det ser imidlertid ikke ut til at dette gir noen forbedret sammenheng mellom indeks og ANC.

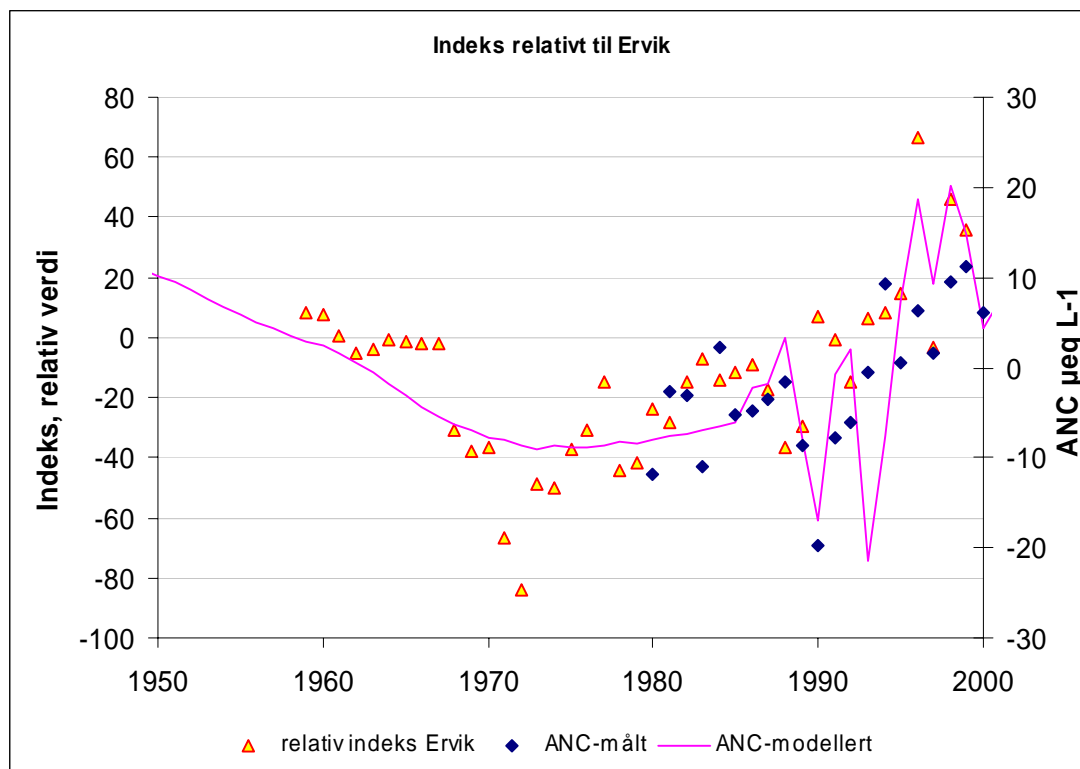
Korrelasjonskoeffisienten ( $R^2$ ) for lineær regresjon mellom ANC og indeks er på hele 0.65 for Vikedalselva når vi bruker de glattede ANC-verdiene (Figur 12). Her er det imidlertid viktig å huske at kalkingsaktiviteter har pågått lenge og med stadig forbedret strategi, som dermed også faller sammen med den forbedrede indeksen.



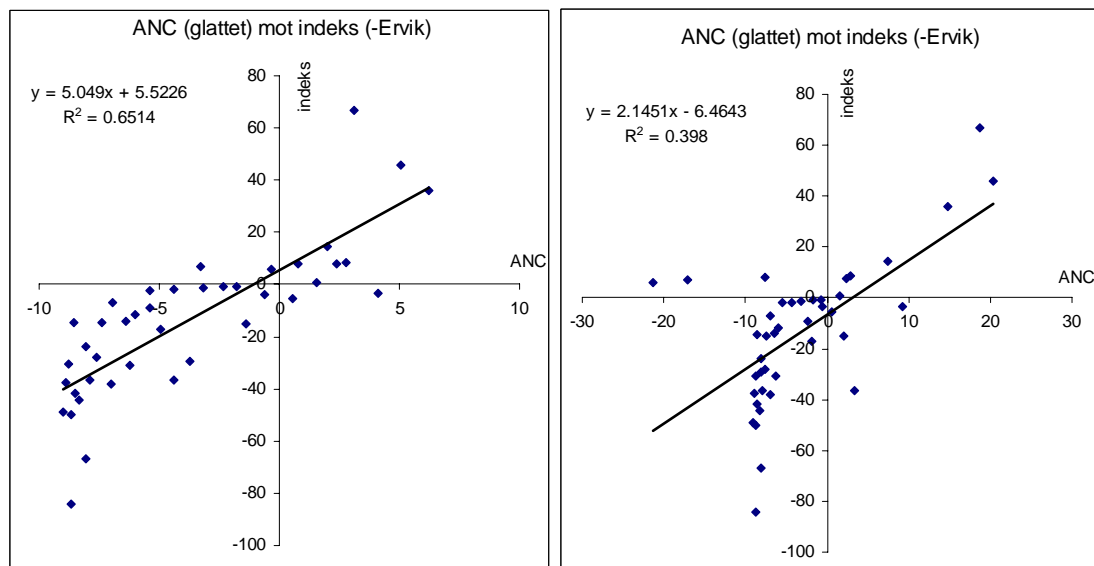
Figur 9. Innsigsindeks av laks til Vikedalselva sammenlignet med Ervikelva (venstre) og normalisert i forhold til Ervikelva (høyre).



Figur 10. Indeks for Vikedalselva relativt til Ervikselva sammen med målt og modellert ANC i Nausta. Modellert ANC er en glattet kurve hvor det ikke er tatt hensyn til variasjoner fra år til år.



Figur 11. Indeks for Vikedalselva relativt til Ervikselva sammen med målt og modellert ANC i Nausta. Modellert ANC er en glattet kurve hvor det ikke er tatt hensyn til variasjoner fra år til år.

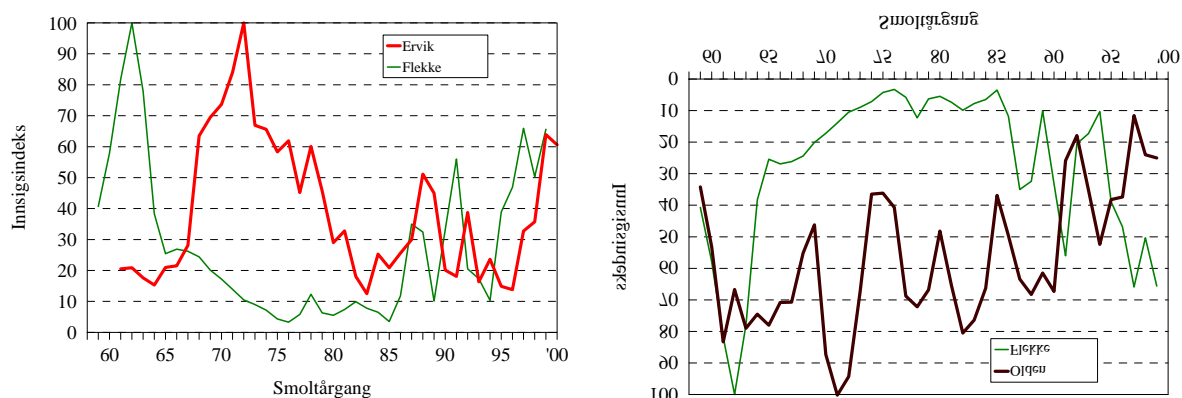


Figur 12. Modellerte ANC verdier plottet mot indeks for Vikedalselva relativt til Ervikselva. I figuren til venstre er modellert glattet ANC benyttet, mens i figuren til høyre er variasjonene fra år til år tatt med.

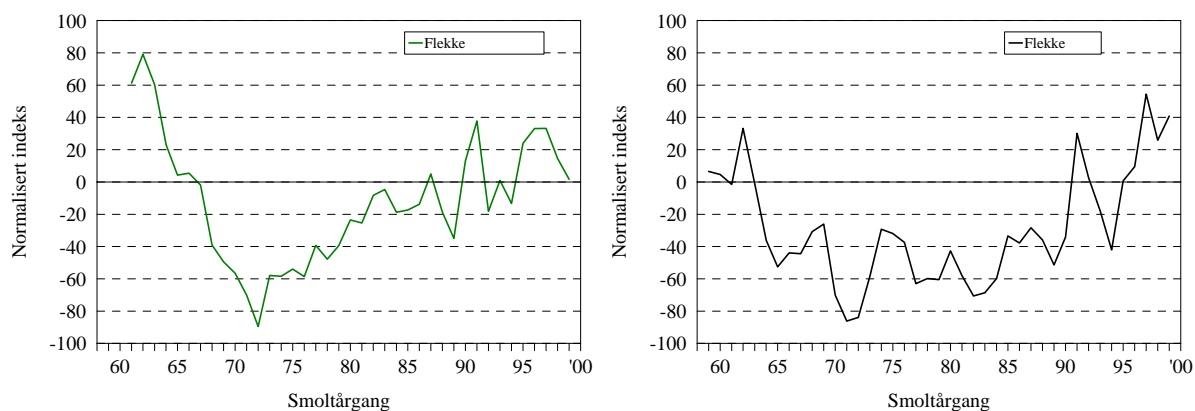


### 4.3 Flekkeelva

Flekkeelva har en storlaksbestand og er fullkalket siden 1997 (for nærmere beskrivelse se DN, 2001; Skurdal mfl. 2001). Det beregnede maksimale innsiget av laks til Flekkeelva er av smoltårgangen fra 1962 med 478 laks, men også smoltårgangene fra 1961 og 1963 resulterte i innsigsindekser på over 75. I denne perioden var innsigsindeksen til Ervikelva lav (Figur 13), noe som også var tilfelle for de andre smålakselvene som er med i sammenstillingen. For storlaksbestander på Vestlandet er derimot forholdet mer likt Flekkeelva. I Oldenelva gav smoltårgangen fra 1961 en indeks på 83, og de etterfølgende smoltårgangene indekser rundt og over 70 frem til 1967 (Figur 14). I Oldenelva er det smoltårgangen fra 1971 som har gitt det største innsiget, altså omtrent samtidig med Ervikelva. I Vosso var det smoltårgangen fra 1961 som gav maks. innsigsindeks, og i Suldalslågen er det 1962-årgangen som har gitt det mest tallrike innsiget av villaks. Lave innsigsindekser for smoltårgangene fra perioden før 1967 er en gjennomgående i tendens for smålaksbestandene på Vestlandet, som også sammenfaller med lave gjenfangster av laksesmolt merket i Figgjo og North Esk, noe som antyder en naturlig årsak. En alternativ forklaring er at fiske etter smålaks var mindre påaktet i denne perioden og at fangststatistikken dermed var ufullstendig, i motsetning til de mer populære storlakselvene der det lenge har vært tradisjoner for fangststatistikk.



Figur 13. Innsigsindeks av laks til Flekkeelva sammenlignet med Ervikelva (venstre) og Oldenelva (høyre).



Figur 14. Normalisert innsigsindeks av laks til Flekkeelva sammenlignet med Ervikelva (venstre) og til Oldenelva (høyre).

Innsigsindeksene for smoltårgangene rundt 1965 lå på samme lave nivå i Flekkeelva og Ervikelva. Deretter avtok innsigsindeksen for Flekkeelva til et meget lavt nivå rundt 1975, men i forhold til Ervikelva begynte indeksen å stige jevnt i perioden frem til 1990, og har etter den tid ligget på samme nivå som indeksen for laksen i Ervikelva.

For Flekkeelva har vi ikke modellerte ANC-verdier pga. manglende inngangsdata.

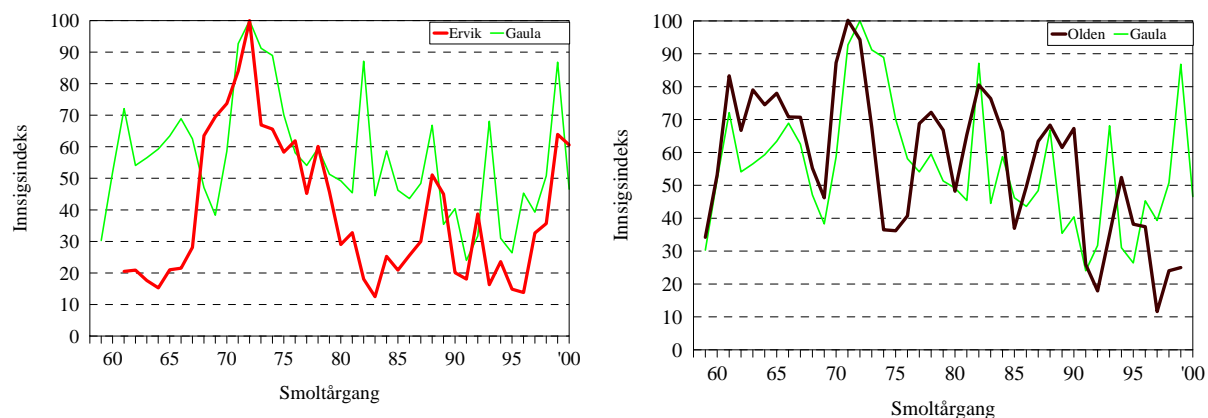
#### 4.4 Gaula

Gaula er en av elvene i Sogn og Fjordane der det er antatt at sure sidefelt kan påvirke overlevelsen til laksesmolten (Hindar mfl. 2000). Laksebestanden i Gaula har et betydelig innslag av 2-sjøvinter laks og er dermed ikke noen typisk smålaksbestand, selv om smålaksen de fleste år er den mest tallrike gruppen i fangstene (se Skurdal mfl. 2001). For denne bestanden er det derfor relevant å bruke både Ervikelva og Oldenelva som referanse.

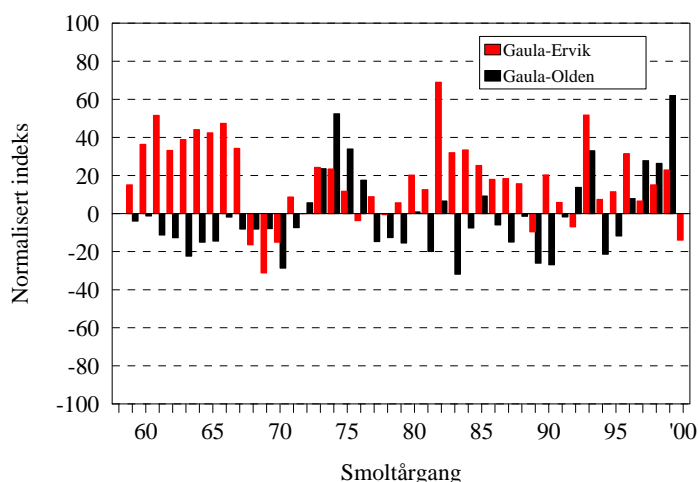
Innsigsindeksen til Gaula ligger høyere enn for Ervikelva for smoltårgangene på 1960-tallet og fra første halvdel av 1980-tallet (Figur 15). For smoltårgangene etter 1988 er utviklingen noenlunde sammenfallende, med unntak av smoltårgangene fra 1993 og 1996 som har gitt relativt lave innsig av laks til Gaula. Ser en hele perioden under ett har bestandsutviklingen for laks i Gaula mer til felles med laksebestanden i Oldenelva enn med laksebestanden i Ervikelva. Unntaket er for smoltårgangene etter 1996 som har gitt større innsig til Gaula enn til Oldenelva.

Sammenlignet med Oldenelva avviker indeksen  $> 20$  for 11 av 41 smoltårganger (27 %), og det er ingen tendens i retning eller periode forskjellene forekommer (Figur 16). Sammenlignet med Ervikelva avviker indeksen  $> 20$  for 20 av 42 smoltårganger (48 %). For Gaula synes dermed Oldenelva å være en bedre referanse enn Ervikelva, men sammenligningen gir ikke holdepunkt for å antyde at laksebestanden i Gaula har vært påvirket av forsuring i den aktuelle perioden.

For Gaula har vi ikke modellerte ANC-verdier pga. manglende inngangsdata.



Figur 15. Innsigsindeks av laks til Gaula sammenlignet med Ervikelva (venstre) og Olden (høyre).



Figur 16. Innsig av laks til Gaula sammenlignet med innsiget til Ervikelva og Oldenelva.

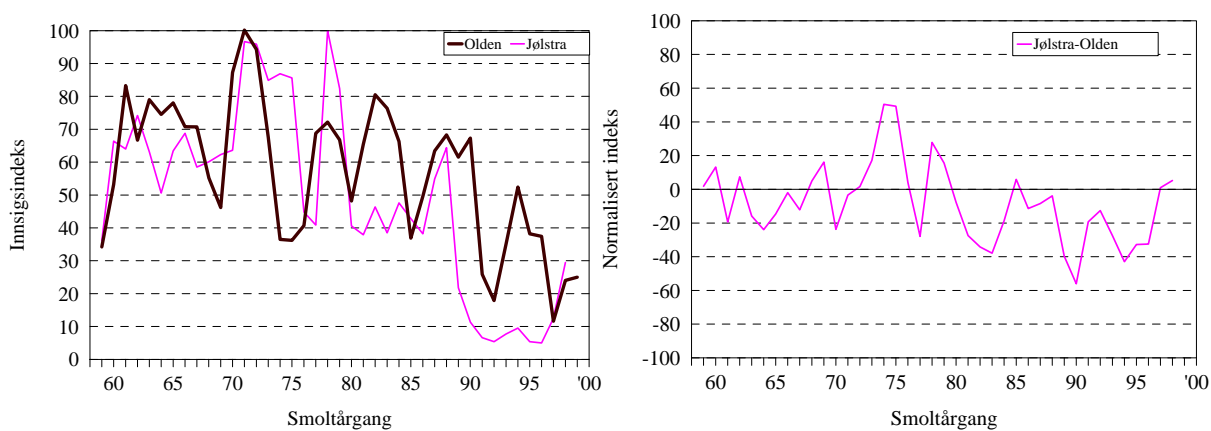
## 4.5 Jølstra

Jølstra har en storlaksbestand, men etter sterk reduksjon i fangsten tidlig på 1990-tallet har det ikke vært åpnet for ordinært laksefiske i elva siden 1992. I perioden 1996 til 2001 har det vært fisket etter rømt oppdrettslaks mens all villaks er blitt satt tilbake i elva (se Skurdal mfl. 2001).

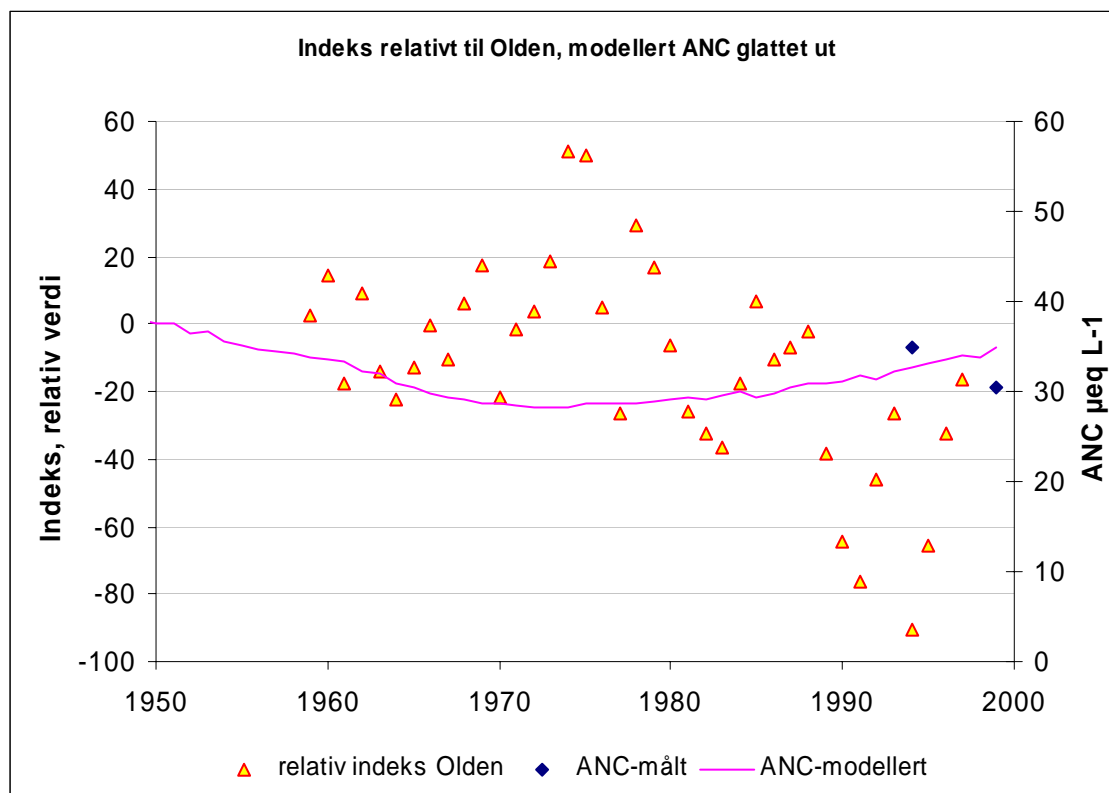
Laksebestanden i Jølstra hadde i perioden 1959 til sent på 1989-tallet en utvikling som lignet mye på bestandsutviklingen i Oldenelva (Figur 17). Fra og med 1989 var det flere smoltårganger som gav lave innsigsindekser til Jølstra, mens smoltårgangene fra 1997 til 1999 igjen har gitt innsigsindekser på nivå med Oldenelva. Fåtallig innsig fra flere av smoltårgangene fra 1989 og senere faller tidsmessig sammen med at den nye kraftstasjonen i Brulandsfossen ble satt i drift.

Vannkjemien er marginal, men skadelige aluminiumskonsentrasjoner kan oppstå under episoder. Under normalvannstand viser de relativt få prøveresultater som er tilgjengelige at vannkvaliteten er brukbar. For Jølstra er det også omdiskutert om det finnes forsursingsrelaterte skader på laksebestanden. De modellerte ANC verdier foreslår at ANC har holdt seg relativt høy (over  $30 \mu\text{eq L}^{-1}$ ) når vi benytter den glattede modellerte ANC kurven som ikke tar hensyn til episoder (Figur 18).

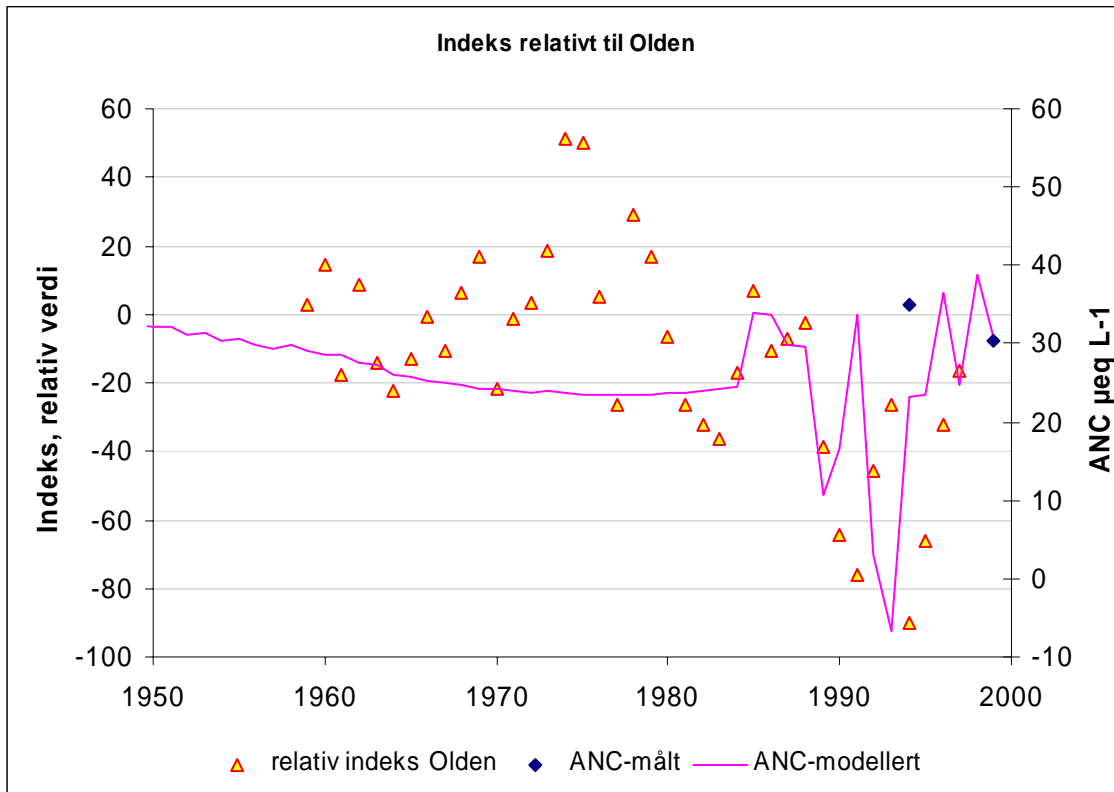
Det er ingen god sammenheng mellom relativ indeks og modellert ANC for Jølstra. Indeksverdiene viser en avtagende tendens i perioden hvor ANC i følge modellen økte. Ved å inkludere depositionsdata for de årene hvor disse er tilgjengelige, og dermed få fram variasjoner fra år til år, blir det en bedre visuell sammenheng (Figur 19). I regresjonsanalysen er det imidlertid ingen sammenheng (Figur 20).



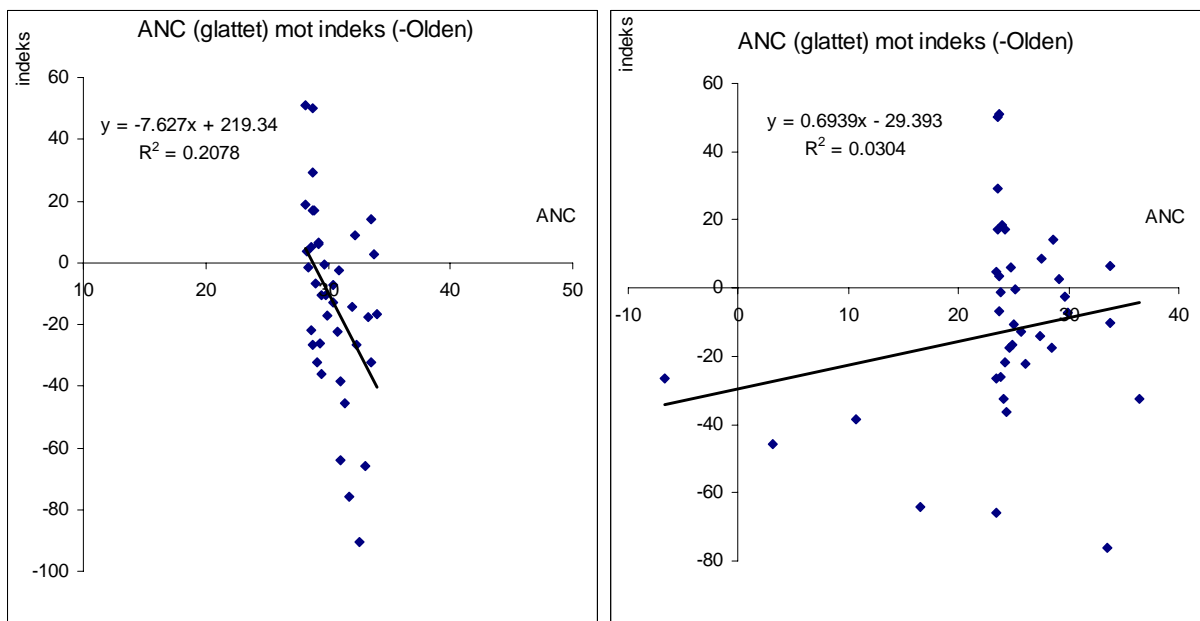
Figur 17. Innsigsindeks av laks til Jølstra sammenlignet med Oldenelva (venstre) og normalisert indeks i forhold til Oldenelva (høyre).



Figur 18. Indeks for Jølstra relativt til Oldenelva sammen med målt og modellert ANC i Jølstra. Modellert ANC er en glattet kurve hvor det ikke er tatt hensyn til variasjoner fra år til år.



Figur 19. Indeks for Jølstra relativt til Oldenelva sammen med målt og modellert ANC i Jølstra. Modellert ANC er en glattet kurve hvor det ikke er tatt hensyn til variasjoner fra år til år.



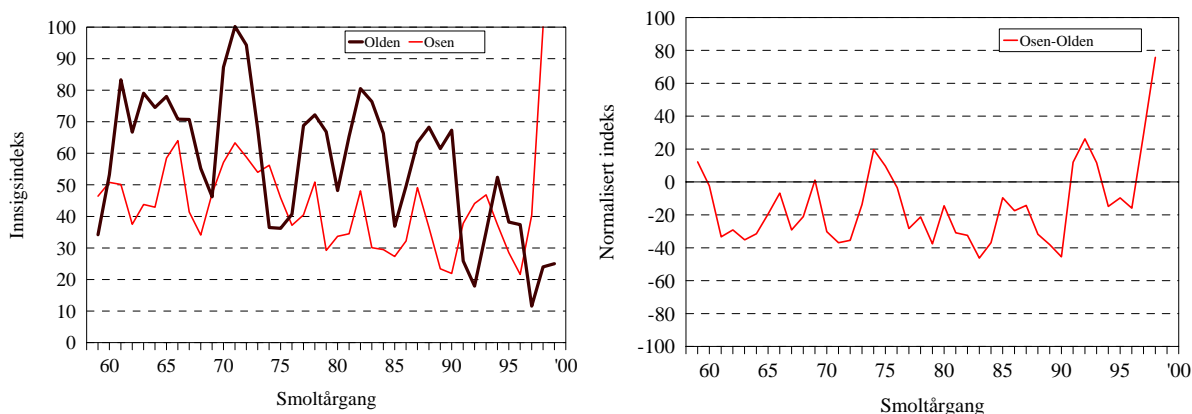
Figur 20. Modellerte ANC verdier plottet mot indeks for Jølstra relativt til Oldenelva. I figuren til venstre er modellert glattet ANC benyttet, mens i figuren til høyre er variasjonene fra år til år tatt med.

## 4.6 Osen

Osen har en storlaksbestand, og etter åpning av ny lakstrapp i 1971 kunne laksen ta i bruk gyte- og oppvekstområder som tidligere var utilgjengelige for anadrom fisk. Trappen medførte potensielt en dobling av det smoltproduserende arealet, men det usikkert hvor raskt koloniseringen skjedde og eventuelt når bærenivået for smoltproduksjon på de nye områdene ble nådd (Skurdal mfl. 2001).

Bestandsutviklingen i Osenelva er noenlunde parallell til Oldenelva i hele perioden fram til slutten av 1980-tallet (Figur 21). Indeksene er relativt lave i hele perioden, noe som skyldes store innsig de siste årene. Maksimum indeks er for smoltårgangen fra 1998 som ligger nær 40 % over nest høyeste indeks fra 1971-årgangen. Fangstene i 2000 og 2001 antyder at smoltårgangene fra 1999 og 2000 vil gi enda større innsig enn den fra 1998. Årsaken eller årsakene til de store innsiget de siste årene er ikke klarlagt, men fra lokalt hold er det antydnet at det tidligere var et betydelig garnfiske i det trange sundet inn mot elven, et fiske som har opphørt de siste årene.

For Osen har vi ikke modellerte ANC-verdier pga. manglende inngangsdata.



Figur 21. Innsigsindeks av laks til Osenelva sammenlignet med Oldenelva (venstre) og normalisert indeks i forhold til Oldenelva (høyre).

## 4.7 Vosso

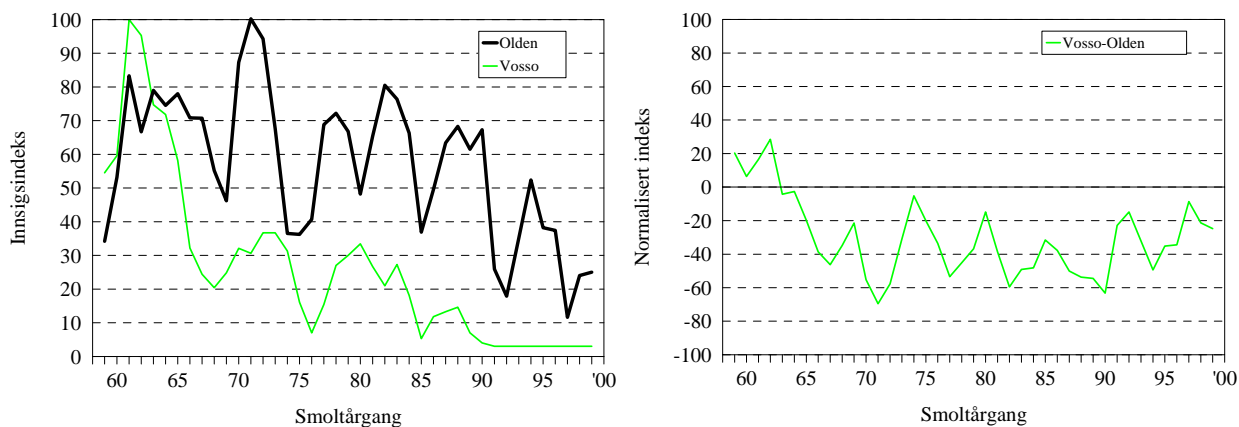
Vosso har en storlaksbestand, og etter sterkt reduserte fangster fram mot 1991, ble fisket etter laks stanset. Fiske etter stamlaks om høsten og gytefisketellinger i perioden etter 1991 har vist at det er svært få ville laks som har gått opp i Vosso på 1990-tallet (se oppsummering i Skurdal mfl. 2001).

Utviklingen i Vosso er atypisk i forhold til de fleste andre storlaksbestandene på Vestlandet, inkludert Oldenelva, ved en markert nedgang i innsiget fra smoltårgangene som gikk ut av elven fra midt på 1960-tallet, og fortsatt lavt innsig i hele den etterfølgende perioden (Figur 22). Årsaken eller årsakene til nedgangen er ennå ikke klarlagt, men det er mulig at høy beskatning i fjordsystemet kan være en del av forklaringen på nedgangen fra midt på 1960-tallet.

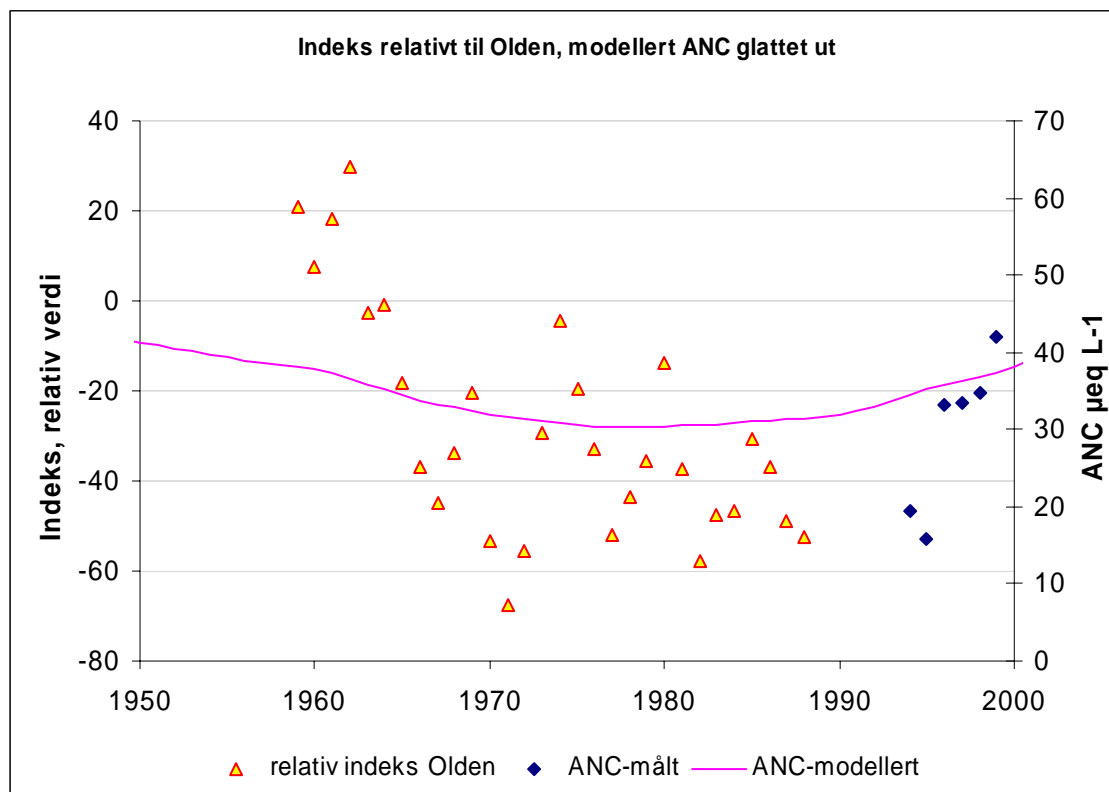
Vosso er en storlakselv og vi bruker Oldeneva som referanse. Det er relativt lite måledata tilgjengelig fra Vosso, og den modellerte trenden foreslår at endringen i ANC over tid har vært relativt liten (Figur 23). Laksebestanden i Vosso er forventet å være påvirket av mange ulike faktorer og det er omdiskutert i hvilken grad laksebestanden er påvirket av forsurening (Hindar and Kroglund 2000).

Indeksen for Vosso slutter i 1988 pga. totalfredning og stans i fisket.

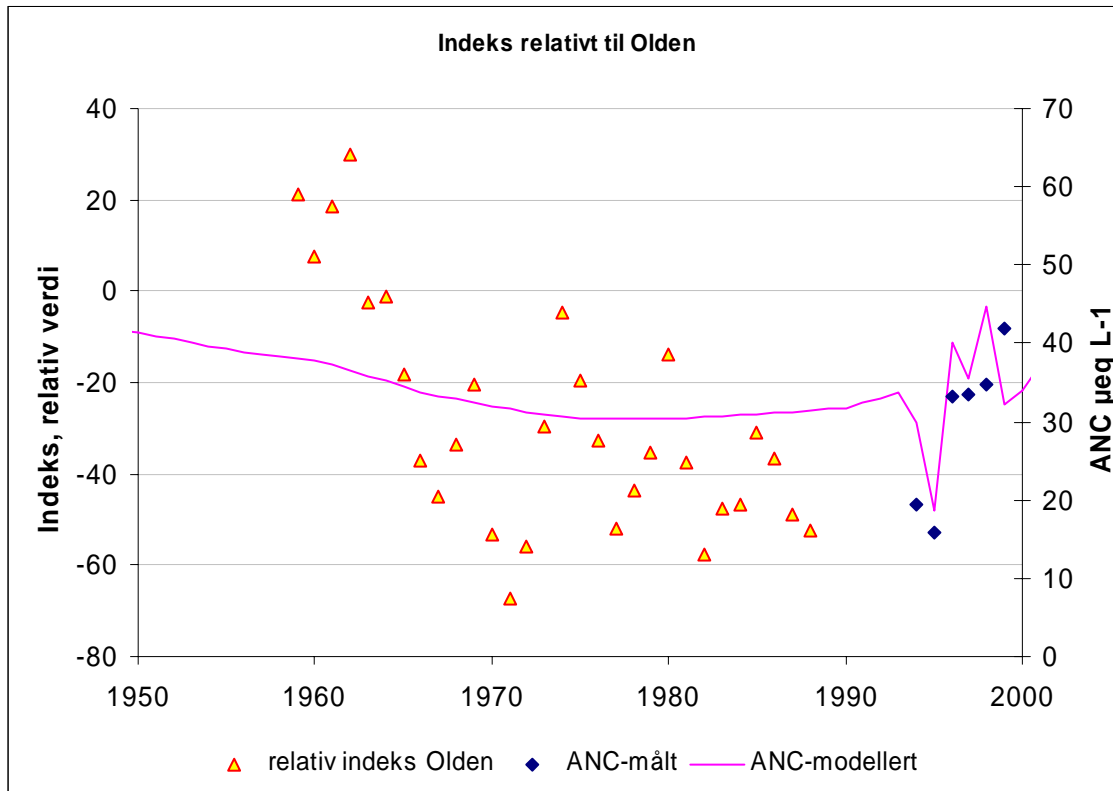
Statistisk er det en god sammenheng mellom ANC og indeks for Vosso (Figur 25), men de store variasjonene i indeks og de små endringene i ANC gjør analysen usikker.



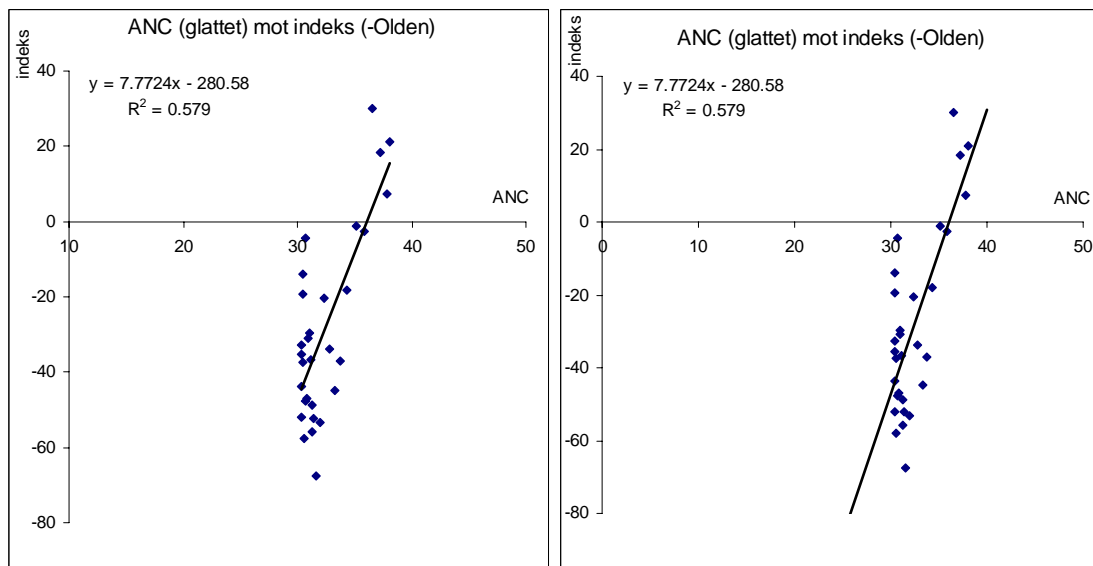
Figur 22. Innsigsindeks av laks til Vosso sammenlignet med Oldenelva (venstre) og normalisert indeks i forhold til Oldenelva (høyre). Det har ikke vært åpnet for fiske etter laks i Vosso etter 1991, og innsigsindeksene på 1990-talet er anslått ut fra resultatene fra stamfisket om høsten og noen år med gytefisktellinger.



Figur 23. Indeks for Vosso relativt til Oldenelva sammen med målt og modellert ANC i Vosso. Modellert ANC er en glattet kurve hvor det ikke er tatt hensyn til variasjoner fra år til år.



Figur 24. Indeks for Vosso relativt til Oldenelva sammen med målt og modellert ANC i Vosso. Modellert ANC er en glattet kurve hvor det ikke er tatt hensyn til variasjoner fra år til år.



Figur 25. Modellerte ANC verdier plottet mot indeks for Vosso relativt til Oldenelva. I figuren til venstre er modellert glattet ANC benyttet, mens i figuren til høyre er variasjonene fra år til år tatt med.

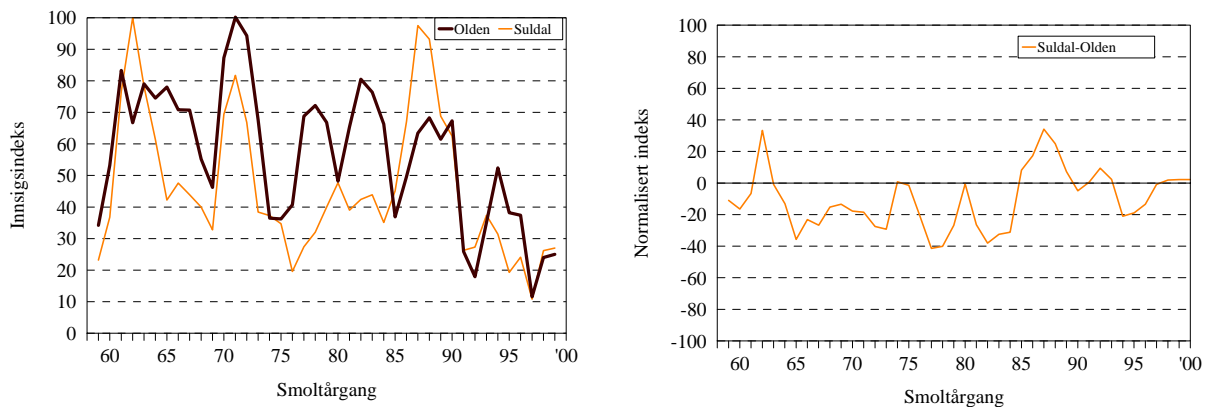


## 4.8 Suldalslågen

Suldalslågen har en storlaksbestand og Oldenelva er referanse. Vassdraget er sterkt regulert, og sidefelt til Suldalslågen er blitt kalket siden 1998 (DN, 2001).

Utviklingen i laksebestanden i Suldalslågen og Oldenelva har vært tilnærmet parallell for de fleste av smoltårgangene fra perioden 1959 til 1999 (Figur 26). Noen smoltårganger fra slutten av 1970-tallet og tidlig på 1980-tallet viste forskjeller i indeks mellom 30 og 40, men ellers var forskjellen i indeks stort sett mindre enn 20.

For Suldalslågen har vi ikke modellert vannkjemisk utvikling.

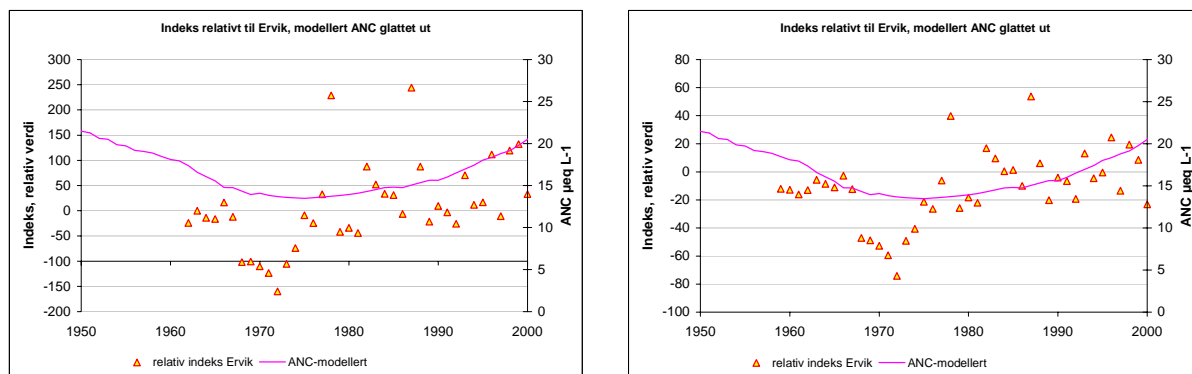


Figur 26. Innsigsindeks av laks til Suldalslågen sammenlignet med Oldenelva (venstre) og normalisert indeks i forhold til Oldenelva (høyre).

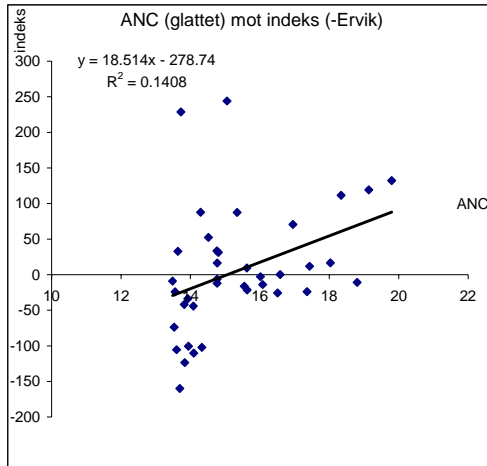
## 5. Kommentarer til beregningsmåte for indeksen

I rapporten er maksimalverdier for hvert enkelt vassdrag benyttet for å beregne indeksen. Isteden for maksimalverdier kan andre tilnæringer benyttes, for eksempel ved å benytte gjennomsnittsverdier. Siden gjennomsnittsverdiene nødvendigvis er mindre enn maksimalverdiene vil dette føre større utslag i variasjonen i den normaliserte indeksen (fordi man deler på et mindre tall). Vi har testet ut effekten av å benytte gjennomsnittsverdier i stedet for maksimalverdier med Nausta som eksempel (Figur 27). Trendene i indeksen blir de samme uavhengig av hvilken metode som benyttes. Tallverdiene blir imidlertid større og tolkningen av en bestemt tallverdi kan derfor være forskjellig. Imidlertid er det trendene og ikke tallverdiene i seg selv som danner kjernen i metoden.

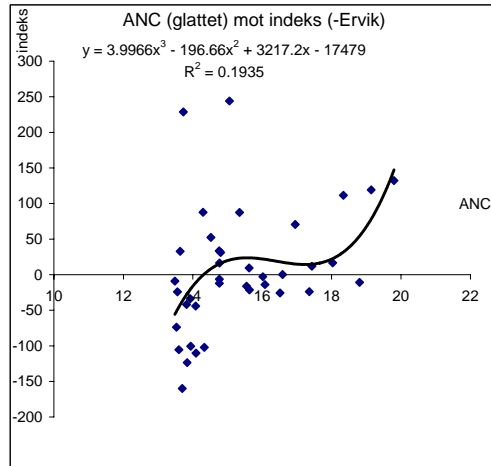
Sammenligning av de normaliserte indeksverdiene, beregnet både ved bruk av maksimalverdi og gjennomsnittsverdier med modellert ANC visser at trendene er svært like (Figur 28). I tillegg til linær regresjonsmodell ble det testet om andre funksjoner gir bedre kurvetilpasning. Det viser seg at man må ta i bruk et tredjegradspolynom for å få noe særlig bedre forklaringsgrad. Den generelle anvendeligheten av slike modeller er imidlertid liten (ett nytt datapunkt vil gi store endringer i modelltilpasningen).



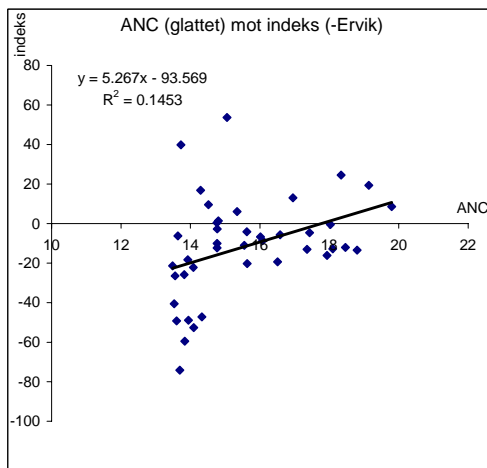
Figur 27. Sammenligning av bruk av gjennomsnittsverdi (venstre del) og maksimalverdi (høyre del) i normaliseringen av innsigsindeksen. Nausta er benyttet som eksempel.



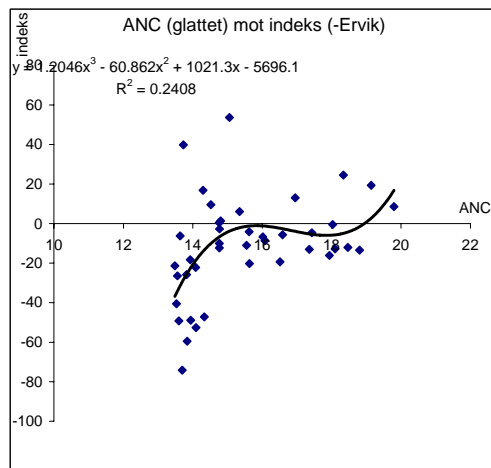
Gjennomsnitt. Lineær regresjonsmodell.



Gjennomsnitt. Regresjonsmodell med 3. grads-polynom.



Maks-verdi. Lineær regresjonsmodell.



Maks-verdi. Regresjonsmodell med 3. grads-polynom.

Figur 28. Normalisert indeks plottet mot modellert ANC. De normaliserte indeksene er beregnet både ved å bruke gjennomsnittsverdier (øverste figurere) og maksimalverdier (nederste figurere). Videre er det vist to ulike regresjonsmodeller tilpasset data. Nausta er benyttet som eksempel.

## 6. Oppsummering og anbefalinger

Resultatene rapportert i denne rapporten må sees på som en pilotstudie for å undersøke om ideene presentert er verdt å arbeide videre med. Metoden gir lovende resultater idet den ser ut til å avdekke sammenhenger mellom langtidsendringer i vannkjemii og forsursingsrelaterte endringer i laksebestandsutviklingen som ikke er åpenbare ved en direkte sammenligning av vannkjemiiutvikling og fangststatistikk.

Valget av referanseelver er meget viktig for utfallet når den foreslåtte metoden benyttes. Et viktig ledd i videre arbeid med metoden vil være å fremskaffe mer bakrunnsdata for de valgte referanseelvene. Vi har antatt hittil at Ervikelva og Oldenelva ikke er påvirket av forsuring. For Ervikelva foreligger det ingen undersøkelser av vannkjemien som kan bekrefte dette. I Oldenelva har det på hele 1990-tallet blitt tatt vannprøver fire ganger årlig, og resultatene av dette overvåkingsprogrammet tilsier at vannkvaliteten er god, men det er trolig nødvendig med grundigere undersøkelser. Videre undersøkelser av vannkvaliteten er derfor nødvendig før tilnærmingen eventuelt kan anvendes. Tilsvarende er det behov for fiskeundersøkelser i Ervikelva, men i Oldenelva har det pågått det grundige fiskeundersøkelser siden 1995.

Beregnete innsigsindekser av laks til Ervikelva basert på fangststatistikken, var signifikant korrelert til overlevelsesindekser for vill laksesmolt fra Figgjo for smoltårgangene fra perioden 1965 til 1993 ( $R^2:0,39$ ). For de samme smoltårgangene var innsigsindeksen for Erviklaks høyst signifikant korrelert til tilvekst første år i sjøen for laks fra elva North Esk på østkysten av Skottland ( $R^2:0,62$ ), og for denne bestanden er det vist en tilsvarende god sammenheng mellom overlevelse og tilvekst. Overlevelsen for laksesmolt fra Figgjo og North Esk er signifikant korrelert, med  $R^2$  på samme nivå som korrelasjonen mellom Ervikelva og Figgjo. Det blir dermed konkludert at overlevelsen til smolten fra disse tre smålakselvene følger samme mønster og at variasjonen i overlevelse i hovedsak styres av naturlige faktorer i sjøfasen, sannsynligvis temperatur (Friedland mfl. 2000).

Basert på det ovenstående anses laksebestanden fra Ervikelva i hovedsak å variere i forhold til naturlige faktorer og kan dermed fungere som referansebestand til smålaksbestander på Vestlandet som er påvirket av menneskeskapt faktorer, i denne sammenheng forsuring.

Det bør understrekes at Ervikelva først og fremst er en referanse til smålaksbestander, for utviklingen i storlaksbestandene på Vestlandet synes å være forskjellig fra storlaksbestandene i deler av perioden 1959 til 2000. Den mest i øynefallende forskjellen er at smoltårgangene fra tidlig på 1960-tallet gav maksimum innsig eller høye innsigsindekser i mange storlaksbestander på Vestlandet, eksempelvis Olden, Vosso, Suldalslågen, Jølstra, Flekke og også Gaula som er en mellomlaksbestand. De samme smoltårgangene resulterte i relativt lave innsigsindekser til smålaksbestandene på Vestlandet, og også lav overlevelse for smolt fra Figgjo og North Esk.

Forskjeller i utvikling for smålaks- og storlaksbestander gjør at Oldenelva er valgt som referanse til storlaksbestandene. Elva har en veldefinert og oversiktlig anadrom strekning, den er ikke regulert, har god vannkvalitet, og er godt undersøkt de siste årene. Det er ingen signifikant sammenheng mellom innsigsindeksen til Oldenelva og innsigsindeksen til Ervikelva, med overlevelsesindeksen for smolt fra Figgjo eller tilvekst første året i sjøen for laks fra North Esk. Dette tilsier at det bør nyttes en annen referanse til storlaksbestandene enn Ervikelva, og i denne sammenheng har vi valgt å bruke Oldenelva. Noe av forskjellen i utvikling mellom smålaksbestander og storlaksbestander kan tenkes å ligge i elvefasen, for en kan ikke se bort fra at produksjonen av laksesmolt kan variere mer i større sommerkalde elver der vi finner de fleste storlaksbestandene sammenlignet med mindre og stabilt varmere elver der vi finner flertallet av smålaksbestandene.

I tilnærmingen med bruk av referansebestander er det vanskelig å angi feilgrenser, men i vurderingen av den enkelte bestands utvikling er forskjeller fra innsigsindeksen i størrelsesorden  $\pm 20$  grovt regnet som avvik. Siden det er satt som forutsetning at produksjonen av laksesmolt innen en bestand er konstant over tid, er denne feilgrensen relativt lav, i tillegg kommer feilkildene som angår innrapportering av fangst og utgangspunktet om konstant og lik beskatning i alle bestander, uavhengig av livshistorie. For bestander der vi mener at det ikke er systematisk avvik fra forventet utvikling, ligger andelen av smoltårgangene som avviker i innsigsindeksen med mer enn  $\pm 20$  rundt 30 %, men de fleste av disse avvikene ligger innen en grense på  $\pm 30$ .

Resultatene i undersøkelsen viser god sammenheng mellom modellert ANC og forsursrelatert bestandsutvikling i Vikedalselva og moderat sammenheng i Nausta. For Jølstra finner vi ingen tydelig sammenheng, og for Vosso er sammenhengen god statistisk sett, men med data som er vanskelige å tolke. Det mest interessante med metoden er at den ser ut til å kunne avdekke sammenhenger mellom bestandsindekser og forsuring i visse moderat forsurete vassdraget.

I denne sammenstillingen er det laksebestandene i Vikedalselva og Flekkeelva som avviker systematisk fra referansebestandene. I Vikedalselva er sammenhengen mellom avvik og modellert ANC signifikant. For Flekkeelva har vi ikke grunnlag for å beregne ANC, men "underskuddet" i lakseinnsiget faller i tid sammen med det største "underskuddet" i Vikedalselva og de laveste ANC-verdiene der. Et fellestrekk i bestandsutviklingen i de to elvene er et avtakende avvik fra referanseelvene utover 1980-tallet og som følger den generelle reduksjonen i svoveldeposisjon. Resultatene indikerer altså at bestandene begynte å øke før kalkingen kom i gang, og det er vanskelig å spore kalkingeffektene i bestandsutviklingen.

Metoden bør testes videre ved å inkludere flere vassdrag med marginal vannkvalitet, men eksisterende laksebestander.

Etter testing av metoden på et videre datamateriale kan metoden eventuelt brukes til prediksjon av forsursrelaterte endringer i laksebestander i fremtiden ved ulike scenarier for utvikling i nedfall av forsurende komponenter gjennom nedbøren.

## Referanser

- ANON 1999. Til laks åt alle kan ingen gjera? NOU 1999:9.
- Antonsson, Th., G. Gudbergsson & S. Gudjonsson. 1996. Environmental continuity in fluctuation of fish stocks in the North Atlantic Ocean, with particular reference to Atlantic salmon. *North American Journal of Fisheries Management* 16:540-547.
- Bjerknes, V., Barlaup, B. T., Gabrielsen, S. E., Hindar, A., Kleiven, E., Kvellestad, A., Raddum, G. G., Skiple, A., og Åtland, Å. 1998a. Undersøkelse av vassdrag med anadrome fiskebestander i Sogn og Fjordane. 1998-3950, NIVA, Oslo.
- Cosby, B. J., Hornberger, G. M., Galloway, J. N., and Wright, R. F. 1985. Modelling the effects of acid deposition: assessment of a lumped parameter model of soil water and streamwater chemistry. *Water Resour.Res.* 21: 51-63.
- Cosby, B. J., Wright, R. F., Hornberger, G. M., and Galloway, J. N. 1985. Modelling the effects of acid deposition: estimation of long term water quality responses in a small forested catchment. *Water Resour.Res.* 21: 1591-1601.
- DN, 2001. Kalking i vann og vassdrag. Overvåking av større prosjekter. DN-notat 2001-2.
- 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* 7:1, 22-34.
- Friedland, K.D., L.P. Hansen, D.A. Dunkley & J.C.Maclean 2000. Linkage between ocean climate, post-smolt growth, and survival of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in the North Sea area. *ICES Journal of Marine science* 57 : 419-429.
- Gibson, R.J. 1993. The Atlantic salmon in fresh water: spawning, rearing and production. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 3: 39-73.
- Hansen, L.P., Fiske, P., Holm, M., Jensen, A.J. & Johnsen, B.O. 2001. Bestandsstatus for laks i Norge 2000. rapport fra arbeidsgruppe. Utredning for DN 2001-8.
- Hellen, B.A., S. Kålås, H. Sægrov, T. Telnes & K. Urdal. 2002. Fiskeundersøkingar i fire lakseførande elvar i Sogn & Fjordane hausten 2001. Rådgivende Biologer AS, rapport nr 593, 49 s.
- Henriksen, A. and Buan, A. K. 2000. Tålegrenser og overskridelse av tålegrenser for overflatevann, skogsjord og vegetasjon i Norge. *Naturens Tålegrenser 4179-2000*, NIVA, Oslo. 29 pp pp.
- Henriksen, A. and Posch, M. 2001. Steady-state models for calculating critical loads of acidity for surface waters. *Water Air and Soil Pollution: Focus* 1: 375-398.
- Hindar, A. and Kroglund, F. 2000. Forsuringssituasjonen for laks i Vosso og vurdering av behov for ytterligere kalkingstiltak. 4255-2000, NIVA, NIVA rapport.
- Hindar, A., Åtland, Å., Teien, H.C., Salbu, B., Johansen, M.-B., Raddum, G., Bjerknes, V. og Skancke, L.B., 2000. Vannkjemiske og biologiske undersøkelser for å studere mulige forsuringproblemer i vassdrag i Sogn og Fjordane under flomepisoder i 1999. NIVA-rapport 4256 88s.
- Kroglund, F., Wright, R. F., and Burchart, C. 2002. Acidification and Atlantic salmon: critical limits for Norwegian rivers. *Naturens Tålegrenser Fagrapport 111*, Norwegian Institute for Water Research, Oslo. 61 pp.

- Mylona, S. 1996. Sulphur dioxide emissions in Europe 1880-1991 and their effect on sulphur concentrations and depositions. *Tellus* 48B: 662-689.
- SFT. 1986. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport 1985. Statlig program for forurensningsovervåking Rapport 256/86, Statens forurensningstilsyn, Oslo, Norway. 199 pp.
- SFT. 1988. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport 1987. Statlig program for forurensningsovervåking Rapport 333/88, Statens forurensningstilsyn, Oslo, Norway. 241 pp.
- Simpson, D., Olendrzynski, K., Semb, A., Støren, E., and Unger, S. 1997. Photochemical oxidant modelling in Europe: multi-annual modelling and source-receptor relationships. EMEP/MSC-W Report 3/97, Norwegian Meteorological Institute, Oslo, Norway. 75 pp.
- 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 for DN 2001-2.
- Summers, D.W. 1995. Long-term changes in the sea-age at maturity and seasonal time of return of salmon, *Salmo salar* L., to Scottish rivers. *Fisheries Management and Ecology* 2: 147-156
- Sægrov, H. & B.A. Hellen 2001. Fiskeundersøkingar i Oldnelva i 2000. Suldalslågen miljørapport nr. 11.
- Sættem, L.M. 1995. Gytebestandar av laks og sjøaure. En sammenstilling av registreringer fra ti vassdrag i Sogn og Fjordane fra 1960 - 94. Utredning for DN. Nr 7 - 1995. 107 s.
- Urdal, K. 2001. Analysar av skjellprøvar frå sportsfiske- og kilenotfangstar i Sogn og Fjordane i 2000. Rådgivende Biologer AS, rapport nr. 493, 51 sider.
- Vogt, R.D., Seip, H.M. and Ranneklev, S., 1992. Soil and soil-water studies at the HUMEX site. *Environ. Int.* 18:555-564.
- Aas, W., Tørseth, K., Solberg, S., Berg, T., and Manø, S. 2000. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Atmosfærisk tilførsel 1999. Rapport 797/00, Statens forurensningstilsyn, Oslo, Norge.

## Vedlegg: Innsig av smoltårgangar brukt i beregningene

Smoltårgang	Ervik	Olden	Nausta	Vikedal	Flekkje	Gaula	Jølstra	Osen	Vosso	Suldal
1959		96	224	356	195	714	572	183	1009	446
1960		150	190	350	277	1224	1054	201	1103	707
1961		235	316	321	391	1701	1015	198	1851	1475
1962	152	188	570	235	478	1277	1177	148	1763	1923
1963	128	223	861	210	372	1335	1001	173	1382	1503
1964	111	210	482	219	183	1401	803	170	1329	1180
1965	153	220	723	295	121	1497	1006	231	1077	812
1966	156	200	1361	297	129	1627	1092	253	596	916
1967	204	199	1147	394	125	1475	928	164	451	845
1968	461	156	1175	494	117	1111	955	135	377	770
1969	505	130	1500	478	96	904	989	187	459	631
1970	535	246	1517	564	82	1383	1009	226	594	1335
1971	610	282	1772	259	67	2189	1535	250	566	1571
1972	726	266	1870	239	50	2361	1523	232	678	1284
1973	486	191	1279	272	43	2153	1347	213	679	739
1974	476	103	1808	236	35	2100	1379	222	579	717
1975	423	102	2675	315	21	1656	1358	181	298	668
1976	449	115	2562	474	16	1373	711	147	130	376
1977	328	194	2820	461	28	1277	648	160	285	526
1978	437	204	7235	237	59	1406	1587	201	500	616
1979	332	188	1442	59	30	1212	1308	116	555	769
1980	211	136	776	81	26	1161	644	133	618	917
1981	238	185	769	72	35	1072	602	136	494	750
1982	131	227	2532	51	47	2057	736	190	390	816
1983	91	216	1592	84	37	1050	611	119	505	844
1984	184	187	1867	170	31	1387	755	116	335	675
1985	152	104	1607	140	17	1090	679	108	98	867
1986	186	140	1129	252	56	1029	607	127	219	1288
1987	218	179	6057	196	167	1142	871	194	246	1875
1988	371	193	4140	222	155	1578	1022	144	271	1793
1989	327	173	1792	236	48	835	346	92		1323
1990	146	190	1160	408	159	954	180	86		1201
1991	132	73	829	265	268	567	104	149		486
1992	281	51	1405	361	98	748	85	174		473
1993	118	99	2121	338	83	1608	122	185		750
1994	171	148	1371	478	49	732	151	148		611
1995	108	108	1042	445	186	624	86	113		496
1996	100	106	2773	1219	224	1070	79	85		595
1997	238	33	1394	129	315	929	198	160		416
1998	259	69	3984	1285	240	1198	468	395		758
1999	412	70	5254	2771	314	2050	385	522		780
2000	273		2454	1556	330	1021	300	318		
Snitt	279.7	160.5	1880.9	421.7	139.0	1303.0	752.9	180.9	647.9	915.2
std	158.5	60.3	1474.0	473.3	117.2	443.6	437.2	79.9	444.8	407.4
maks	726	282	7235	2771	478	2361	1587	522	1851	1923
min	91	33	190	51	16	567	79	85	98	376
antall	40	41	43	43	43	43	43	43	30	41