



# Ulike faktorerers historiske påvirkning på vill laks i Norge

**Forprosjekt**

**Notatnr**  
**Forfattere**

**SAMBA/01/11**

**Anders Løland  
Magne Aldrin  
Lars Petter Hansen  
Jens Christian Holst  
Asbjørn Vøllestad**

**Dato**

**7. januar 2011**

## Forfatterne

Anders Løland og Magne Aldrin er henholdsvis seniorforsker og sjefsforsker ved Norsk Regnesentral.

Lars Petter Hansen er seniorforsker ved Norsk institutt for naturforskning.

Jens Christian Holst er seniorforsker ved Havforskningsinstituttet.

Asbjørn Vøllestad er professor ved Biologisk institutt og Centre for Ecological and Evolutionary Synthesis (CEES), Universitetet i Oslo.

## Norsk Regnesentral

Norsk Regnesentral (NR) er en privat, uavhengig stiftelse som utfører oppdragsforskning for bedrifter og det offentlige i det norske og internasjonale markedet. NR ble etablert i 1952 og har kontorer i Informatikkbygningen ved Universitetet i Oslo. NR er et av Europas største miljøer innen anvendt statistikk. Det jobbes med svært mange forskjellige problemstillinger slik som finansiell risiko, jordobservasjon, estimering av torskebestanden og beskrivelse av geologien i petroleumsreservoarer. NR er også ledende i Norge innen utvalgte deler av informasjons- og kommunikasjonsteknologi. Innen IKT-området har NR innsatsområdene e-inkludering, informasjonssikkerhet og multimedia multikanal. NRs visjon er forskningsresultater som brukes og synes.

**Tittel** **Ulike faktorerers historiske påvirkning på vill laks i Norge**

**Forfattere** **Anders Løland** <anders.loland@nr.no>  
**Magne Aldrin** <magne.aldrin@nr.no>  
**Lars Petter Hansen** <l.p.hansen@nina.no>  
**Jens Christian Holst** <jens.christian.holst@imr.no>  
**Asbjørn Vøllestad** <asbjorn.vollestad@bio.uio.no>

**Dato** 7. januar 2011

**Publikasjonsnummer** SAMBA/01/11

### Sammendrag

Dette notatet oppsummerer arbeidet i forprosjektet "Ulike faktorerers historiske påvirkning på vill laks i Norge", som ble utført høsten 2010 for Fiskeri- og Havbruksnæringens Forskningsfond (FHF).

Det overordnede målet i forprosjektet har vært å berede grunnen for et hovedprosjekt med følgende overordnede mål:

- Identifisere og kvantifisere faktorer som påvirker norske laksebestander.
- Utvikle metodikk og modeller som kan brukes til å forklare hvordan og i hvor stor grad ulike påvirkningsfaktorer (positive og negative) har og har hatt betydning for villaksbestandene i Norge.

**Emneord** Vill laks, oppdrett, lus, fangst, innsats, sykdommer, predasjon, vekst, overlevelse, påvirkning

**Målgruppe** Til den det måtte gjelde

**Tilgjengelighet** Åpen

**Prosjekt** HistLaks

**Prosjektnummer** 220483

**Satsningsfelt** Klima, miljø, marine ressurser og helse

**Antall sider** 22

**© Copyright** Norsk Regnesentral



# Innhold

<b>1</b>	<b>Innledning</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Tidligere arbeider</b> .....	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Problemstilling</b> .....	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Datagrunnlag</b> .....	<b>10</b>
4.1	Fangstatistikk i elv .....	11
4.1.1	Smoltproduksjon .....	11
4.2	Påvirkningsfaktorer i ferskvann .....	11
4.2.1	Parasitter og sykdommer (Gyrodactylus) .....	11
4.2.2	Innblanding av rømt oppdrettslaks (genetikk).....	12
4.2.3	Vassdragsreguleringer og vannføring.....	12
4.2.4	Klima .....	12
4.2.5	Forurensning (inkl. forsuring) .....	13
4.2.6	Kultivering (habitatforbedring, utsettinger, med mer).....	13
4.2.7	Fiske (innsats).....	14
4.2.8	Antall gytefisk .....	14
4.3	Påvirkningsfaktorer i sjø .....	14
4.3.1	Parasitter og sykdommer .....	14
4.3.2	Predasjon, konkurranse, ernæring og vekst .....	14
4.3.3	Marin overlevelse .....	15
4.3.4	Marin vekst.....	15
4.3.5	Miljø/klima .....	15
<b>5</b>	<b>Valg av modell</b> .....	<b>18</b>
5.1	Datakvalitet og historisk periode .....	18
5.2	Rangering av påvirkningsfaktorer.....	19
<b>6</b>	<b>Omfang og innhold i et eventuelt hovedprosjekt</b> .....	<b>19</b>
	<b>Referanser</b> .....	<b>21</b>



# 1 Innledning

Det er stadig knyttet stor usikkerhet og delvis uenighet til hva som er tilstanden til hele bestanden av atlantisk villaks i Norge, og det er et tilsvarende uklart bilde når det gjelder enkeltbestander. Tidligere analyser har ofte konsentrert seg om få forklaringsfaktorer, mens vi ønsker å inkludere flest mulige relevante (kvantifiserbare) forklaringsfaktorer. Det er mange faktorer som påvirker villaksen, både naturlige og menneskeskapte.

Vi ønsker derfor å utvikle metodikk og modeller basert på statistisk-matematisk analyse for vurdering av bestandstilstand (enkeltpopulasjoner og totalbestand) som er åpent tilgjengelig, forståelig for de fleste og som er basert både på historiske data og nyere datainnsamling. Arbeidet bør bygges på eksisterende modeller som måtte finnes, dersom disse vurderes å være egnet som utgangspunkt. Målet med modellen(e) er å i størst mulig grad kunne forklare hvordan og i hvor stor grad ulike påvirkningsfaktorer (både positive og negative) har hatt betydning for villaksbestanden(e) i Norge. Aktuelle faktorer vi vil vurdere inkluderer ulike miljøforhold i ferskvann og sjø (kyst og åpent hav), storskala klima, beskatning, ulike former for inngrep, ulike forvaltningsregimer og ulike typer påvirkning fra oppdrettsaktiviteten som pågår langs kysten. Denne listen er ikke fullstendig og detaljert, men vi vil starte med en vurdering av hva vi vet nå og hva slags data som er tilgjengelig. For de fleste bestander finnes det ikke gode bestandsdata, men heller mer indirekte data som fangst (primært fra sportsfiske). I svært få tilfelle finnes det informasjon om fangststigning (antall fiskere, tid brukt på fiske), noe som rent praktisk gjør det vanskeligere å få gode bestandstall. Dette må vurderes nøye i modelleringen.

For å oppsummere kort: Målsetningen (i et hovedprosjekt) er å gi et forskningsbasert svar på problemet, og at dette arbeidet avsluttes med internasjonal publisering og kommunisering av resultatene til publikum i Norge gjennom ulike media.

I dette forprosjektet har vi gått gjennom og vurdert hva som finnes av tilgjengelige og relevante data. Basert på disse vurderingene har vi valgt ut hvilke faktorer som antas som viktige for formålet, og evaluert kvalitet og tilgjengelighet av dataene. En utfordring er at ulike typer data er blitt samlet inn over tid, bl.a. har metoder og kvalitet variert. Samtidig mangler endel for visse perioder og områder. Totalt fører dette til spesifikke krav som må stilles til den metodiske tilnærmingen, blant annet til valg av matematisk-statistisk rammeverk. I dette forprosjektet har vi startet med denne vurderingen.

**Notatet er ikke utfyllende: Det er momenter og faktorer vi av plasshensyn ikke har tatt for oss her.**

Notatet er organisert som følger: Først går vi kort gjennom hva som er gjort tidligere, og definerer problemstillingen vi ønsker å løse. Deretter går vi gjennom

datagrunnlaget og til slutt skisserer vi kort hvordan vi kan belyse problemstillingen gjennom en statistisk-matematisk modell.

## 2 Tidligere arbeider

Tidligere analyser har ofte konsentrert seg om få forklaringsfaktorer, mens vi ønsker å inkludere flest mulige relevante (kvantifiserbare) forklaringsfaktorer i samme modell. Vi nevner her kort noen tidligere arbeider:

- Friedland et al. (2000) viser at det er samvariasjon mellom hav-klima (sjøtemperatur), vekst for villaks med 1 eller 2 sjøvintre (1SV/2SV) og overlevelse for villaksen i Figgjo i Norge og North Esk i Skottland. Analysen er basert på merke-forsøk fra 1965 til og med 1993, og viser at det har vært en høyere returandel for 1SV enn 2SV. Det var stor grad av samvariasjon mellom de to elvene. Overlevelsen ble påvirket spesielt av sjøtemperaturen om våren. Dessuten samvarierte veksten positivt med returandelen. Alt i alt konkluderer forfatterne med at raskere vekst i postmolt-perioden gir lavere akkumulert dødelighet, og dermed høyere rekruttering.
- Friedland et al. (2009) studerte data fra Storbritannia og sør-Norge; temperatur og nedbør, klimaindeks (NAO/AMO), oppdaterte merke-forsøks-data fra North Esk og Figgjo, estimerte PFA-tall (Pre-Fishery Abundance) for den europeiske villaksbestanden og anslag på tilgjengelig plankton, og understøtter i større detalj konklusjonene til Friedland et al. (2000).
- Salte et al. (2010) undersøkte gyroinfisert laks (*Gyrodactylus salaris*) i Drammenselva i et kontrollert forsøk. Å velge overlevende som foreldre til neste generasjon forventes å mer enn doble overlevelsesraten på kun én generasjon.
- L'Abée-Lund et al. (2004) undersøkte endringer i andelen 1SV i fangst fra 158 elver i perioden 1983 til 2000. 1SV-andelen ble påvirket av elvespesifikke faktorer, som vannføring, hvor mye elvene faller og om elven hang sammen med en innsjø. 1SV-andelen økte blant annet med minkende elvelengde/-størrelse og med økende vannføring under sommeren (under migrasjonen). Korrigert for de elvespesifikke forklaringsvariablene, var det fortsatt store regionale forskjeller. Forfatterne mener at resultatene trolig ikke kunne forklares av gyro, rømt oppdrettslaks eller klimaindeksen NAO.
- Ved hjelp av dynamisk faktoranalyse og intervensjonsanalyse, og basert på hele 128 år med fangstdata fra 22 norske elver, fant L'Abée-Lund et al. (2006) at effekten av menneskelig påvirkning (vannkraftutbygging, fjerning av grus, fisketrapp, kultivering) varierte mellom elvene. I tre elver med vannkraftutbygging og kultivering økte fangsten signifikant, mens en elv hvor grus ble fjernet viste en signifikant fangstreduksjon. Generelt reduserte fjerning



av grus fangsten, fisketrapper ga økt fangst, mens effekten av vannkraftutbygging og kultivering varierte.

- Vøllestad (2009) benyttet fangstdata fra 84 norske elver fra 1876-2000 og 48 skotske elver fra 1952-2002 til å estimere og sammenligne langsiktige trender. Det store bildet er at de siste 30 år viser en nedgang i skotske fangsttall, og en økning i norske fangsttall. Det er høy korrelasjon i tid mellom fangsttallene, mens korrelasjonen mellom naboelver er relativt lav.
- Heuch et al. (2005) diskuterer den norske strategien fra 1997. Strategien har hatt som mål å redusere luseangrep på laks, og vill laks i særdeleshet. Forfatterne framhever at det er ukjent hvilket nivå av lus som skader bestanden. Smolt overlever kanskje ikke mer enn 11 lus. Langtidseffekten av lus er ukjent. Videre er ikke de rapporterte tallene fra før 2000 sammenlignbare med de etter, på grunn av forskriftsendringer. I tillegg kommer problemet med eventuell feilrapportering. Da artikkelen ble skrevet (2003), mente forfatterne at med datidens bestand av oppdrettslaks og villaks, samt lusekontroll, er det urealistisk å anta at lusene ikke påvirker villaksen negativt.
- Skilbrei og Wennevik (2006) behandlet, merket og slapp ut smolt i Dale-elven på vestlandet, for å undersøke om behandling med anti-lusemiddel Slice ga lavere dødelighet. Overlevelsen økte for smolten som ble sluppet ut i juni. Overlevelsen var stort sett uendret for de som ble sluppet ut i april/mai. For kontrollgruppen (den som ikke ble behandlet), ble trolig veksten redusert. Forfatterne konkluderer med at effekten av lus er additiv. Det betyr i så fall at økt oppdrettsaktivitet kan være et stort problem.
- Hindar et al. (2007) estimerte gytebestandsmål for 80 laksebestander, basert på stock-recruitment-analyser av 9 laksebestander som var egnet til dette. Det var betydelig usikkerhet i dataene som var inkludert i analysen.
- Heuch et al. (akseptert 2010) oppsummerer to større undersøkelser av lus i oppdrettsområder fra 2003 til 2006. Spredningen av lus er avhengig av lokale hydrografiske forhold, men antall lus langs smoltens migrasjonsrute er trolig viktigst. Antall lus påvirkes derfor i stor grad av lusekontrolltiltak hos oppdretterne. I Altafjorden ble det nesten ikke observert lus på villaksen. I Sognefjorden ble det også observert lave nivåer, i motsetning til perioden før 2002. I Hardangerfjorden var lusenivåene høyere enn i de to andre fjordene.

### 3 Problemstilling

Vi ønsker å utvikle metodikk og modeller basert på statistisk-matematisk analyse for kvantitativ vurdering av bestandstilstand, basert både på historiske data og nyere datainnsamling.

Derfor er det mange mulige spørsmål en kan stille: Hva har påvirket bestanden(e) historisk? Hvilke påvirkningsfaktorer er viktigst? Er det faktisk mulig å rangere faktorene? Har det vært en endring i påvirkning over tid fra noen av faktorene? Er det mulig å svare på dette selv om det ikke finnes gode bestandsdata? Er det mulig å basere analysen på både eldre og nyere data av ulik kvalitet? Er det mulig å kombinere tidligere modeller, eller er det nødvendig med nyutvikling i større grad?

Vi tror det er mulig å svare på mange av spørsmålene over ved å kombinere gode historiske data, biologisk kunnskap og statistisk-matematisk modellering. Vi formulerer derfor målsetningen som følger:

*Basert på lange tidsrekker og biologisk kunnskap: Nyutvikle en statistisk-matematisk modell for størrelsen på den norske villaksbestanden totalt sett og for bestandene i enkeltvassdrag. Spesielt vil vi bruke modellen til å anslå hvor mange egg som gytes i elvene. Modellen skal legge til rette for usikkerhetsanslag, og gjøre det mulig å undersøke hvilke faktorer som historisk forklarer endringer i både eggfall og bestandstall, og ulike rangeringer av disses koantitative påvirkning.*

Med "lange tidsrekker" mener vi i utgangspunktet data fra 60-tallet og fram til i dag. Hvis det viser seg å være mulig, vil vi bruke enkelte dataserier fra rundt 1900.

Hindar et al. (2007) rapporterte antall egg som gytes i elvene. Det kan derfor være aktuelt å fornye eller videreutvikle dette arbeidet.

## 4 Datagrunnlag

I det følgende går vi kort gjennom ulike datagrunnlag. For en bedre oversikt, er datagrunnlaget i tillegg oppsummert i en tabell. Generelt kan vi hente data fra en rekke kilder, som

- Offisielle statistikker (SSB)
- Nasjonale overvåkingsprogrammer
- NINA
- HI
- DN
- Veterinærmyndigheter
- ICES
- Andre land

Direktoratet for Naturforvaltnings vitenskapelig råd for lakseforvaltning utgir dessuten årlige rapporter (Anon. 2010) hvor en god del av datamaterialet vi diskuterer er presentert og diskutert.

## 4.1 Fangstatistikk i elv

Statistisk sentralbyrå har siden 1876 oppsummert fangstinformasjon fra "alle" norske lakseelver. Det har vært og er en plikt for eier av fiskerett å rapportere antall og vekt av laks fanget i vassdragene. Selv om plikten har dekket hele landet så har det variert mye hvor mange elver som er med i statistikken. Det har også skjedd store endringer i rapporteringsmåte. I perioden 1876 – 1967 ble laks, sjø-ørret og sjø-røye rapportert samlet (som mengde (kg) anadrom laksefisk; ikke antall). Fra 1968 ble artene rapportert hver for seg, både som vekt og antall. Fra 1979 skjedde nye endringer, idet laksen ble delt inn i to størrelseskategorier som ble rapportert separat (< 3 kg, ≥ 3 kg). Gruppen < 3 kg vil i de fleste elver bestå av laks som har vært ett år i sjø (med noe variasjon mellom elver). Fra og med 1993 ble laksen delt i tre størrelseskategorier; < 3 kg, 3 – 7 kg, og > 7 kg. Dette materialet er bare delvis formelt analysert i detalj. Deler av materialet er brukt til å undersøke om det har vært endringer i mengden 1-sjøvinter laks i fangstene (L'Abée-Lund et al. 2004), om de har vært mulig å kvantifisere effekten av ulike tiltak i elver (vassdragsregulering, grusgraving, fiskeutsettinger, trappebygging; L'Abée-Lund et al. 2006), samt å undersøke langtidsvariasjonen i fangst i et utvalg elver med fangstdata tilbake til 1876 (Vøllestad et al. 2009). Disse analysene viser at det er interessante biologiske signaler i tidsseriene, men også at det er klare metodiske utfordringer forbundet med disse analysene. For tiden blir disse dataene analysert videre via en bevilgning fra Norges Forskningsråd til Universitetet i Oslo (v. Vøllestad). Dette spesifikke prosjektet (UiO) har foreløpig fokusert på å forsøke å analysere mulige årsaker til langtids-trender i fangst av 1-sjøvinter laks (Otero et al, innsendt), og på å forstå endringene i hvor mange av en smoltårgang som kommer tilbake til elva etter ett eller to år i havet (Otero et al, under arbeid).

### 4.1.1 Smoltproduksjon

Det finnes data på smoltproduksjon i Imsa, Halselva (telling av utvandrende smolt), samt estimater av smoltproduksjon i Orkla, Stjørdalselva og Eira. Disse dataene er av varierende kvalitet.

## 4.2 Påvirkningsfaktorer i ferskvann

### 4.2.1 Parasitter og sykdommer (Gyrodactylus)

Det største problemet for laksunger i ferskvann er ikten Gyrodactylus salaris. Det er beregnet at dødeligheten på laksunger i vassdrag som blir infisert er på cirka 90 %. Av 46 smittede elver, er 21 friskmeldt som følge av vellykkede rotenonbehandlinger, 5 er under overvåking etter endt behandling og 9 elver har hatt mislykkede behandlinger eller blitt smittet fra vassdrag der en mislyktes. 11 vassdrag har så langt ikke blitt behandlet.

Man har klart å utrydde parasitten fra en rekke mindre vassdrag og noen større som for eksempel Ranaelva. Det er påvist signifikant arvbarhet i laksens toleranse for Gyrodactylus for laks fra Drammenselva (Salte et al. 2010).

#### **4.2.2 Innblanding av rømt oppdrettslaks (genetikk)**

Gjennom undersøkelser av andel rømt oppdrettslaks i gytebestander i en rekke bestander er det estimert en gjennomsnittlig andel på cirka 15 %, men det er stor variasjon mellom vassdrag (Diserud et al. 2010).

Det er godt dokumentert at rømt oppdrettslaks krysser seg med vill laks. Ved eksperimenter i Imsa fant Fleming et al. (2000) at reproduksjonssuksess av oppdrettslaks var 16% av villaksens i løpet av en generasjon. McGinnity et al. (2003) viste gjennom forsøk i en irsk elv at avkom av oppdrettslaks og hybrider mellom vill laks og oppdrettslaks vokste bedre enn vill laks i ferskvann og dermed hadde en konkurransemessig fordel på ungfiskstadiet, men disse hadde dårligere overlevelse i sjøen.

#### **4.2.3 Vassdragsreguleringer og vannføring**

Det er vel kjent at vannføringen i elvene under laksens oppvandring påvirker vandringsmønsteret til laksen, og også i hvilken grad den biter på sportsfiskeredskap. Det er i utgangspunktet målt vannføring i relativt få elver i Norge, og de fleste tilgjengelige tidsserier er korte. En del tidsserier er tilgjengelig fra NVE, eller eventuelt andre samarbeidspartnere. Men det er liten grunn til å forvente at det er mange og lange dataserier tilgjengelig for prosjektet. På den annen side så finnes det nå tilgjengelig estimerte vannføringer (på daglig skala) for alle norske lakseelver (for de siste 30 år). Modellene for estimering av vannføringen benytter data om nedbør og ulike karakteristika i nedbørfeltet til å estimere daglig vannføring ved utløp i sjø. Metoden er beskrevet av L'Abée-Lund et al. (2004), og baserer seg på hydrologiske modeller utviklet og validert for norske forhold (Beldring et al. 2003). Disse dataene er nå organisert av Otero et al. (under arbeid) og vil være tilgjengelig for prosjektet.

Svært mange norske vassdrag er regulert med bygging av dammer og til- eller fraføring av vann. Informasjon om dette er organisert av NVE, og for de fleste viktige laksevassdrag er viktige inngrep sted- og tidfestet. Også dette datamaterialet er organisert av Otero et al. (under arbeid). Disse inngrepene vil påvirke vannføring direkte. Det er verdt å nevne at de modellerte vannføringene som er tilgjengelig tar utgangspunkt i et ikke-regulert vassdrag, og tar altså ikke hensyn til at det har skjedd endringer i vassdraget.

#### **4.2.4 Klima**

Storskala variasjon i klima kan forventes å påvirke lokalklimatiske forhold på ulike vis i ulike deler av Norge. Det er svært like klima-data tilgjengelig på liten skala, men storskala indekser som NAO (North Atlantic Oscillation) og AMO (Atlantic Multidecadal Oscillation) kan trolig benyttes for å modellere storskala effekter. NAO er et mål på trykkforskjellen mellom Island og Azorene, og angir hvordan ulike trykksystemer beveger seg over Atlanteren og AMO er en overflatetemperaturindeks for det nordlige Atlanterhavet med måleserie fra 1852 og ulike proksier før dette. Variasjonen i NAO er vist å påvirke lokalklima systematisk, og derigjennom mange biologiske systemer (Stenseth et al. 2003). Begge disse indeksene er tilgjengelig fra internasjonale web-baserte databaser.

Vanntemperatur påvirker fisk direkte i de fleste av livets faser (aktivitet, vekst, overlevelse), samt at det påvirker fiskens villighet til å bite på sportsfiskeredskap. Uheldigvis er det svært få egnede tidsserier over vanntemperatur i lakseelver i Norge. Det beste alternativet er muligens å benytte målinger av lufttemperatur fra de mange målestasjonene som finnes rundt omkring. Det er imidlertid ikke trivielt å overføre lokale målinger av lufttemperatur til relevante estimater av vanntemperatur, slik det for eksempel kan gjøres fra stillestående vannforekomster basert på ulike fysiske modeller (Saloranta og Andersen 2007). Dette vil eventuelt kreve omfattende modelleringsarbeid og testing.

#### **4.2.5 Forurensning (inkl. forsuring)**

Sur nedbør har vært et problem for økosystemene i Sør-Norge i nærmere 100 år og problemet tiltok betydelig utover på 1900 tallet. Den sure nedbøren gikk i betydelig grad utover laksen, og en evaluering basert på fangststatistikk og data på produksjon og overlevelse av laks, tydet på årlige tap av laks på flere hundre tonn (Hesthagen & Hansen, 1991).

For å motvirke effekten av sur nedbør ble satt i gang et stort prosjekt (Kalkingsprosjektet) hvor hensikten blant annet var å utvikle metoder for å motvirke effekten av sur nedbør, og derved åpne mulighetene for å reetablere utryddede eller sterkt skadde laksebestander. Dette arbeidet har bidratt til en betydelig økt ungfiskproduksjon som igjen har resultert i en betydelig økning av fangstene av voksen laks i de berørte elvene, fra mindre enn 2 tonn i første halvdel av 1980 tallet til 35-40 tonn i dette århundre (Larsen & Hesthagen 2004).

For de fleste vassdrag finnes det imidlertid lite informasjon om vannkvaliteten over tid. For spesielle vassdrag med spesielle utfordringer, som for eksempel forsuring som følge av langtransportert forurensning, finnes det mye informasjon. Denne typen informasjon er oftest publisert i rapportserier på regionalt (fylke) og nasjonalt plan (DN, KLIF?). På samme måte er det mulig å framskaffe informasjon om tiltak som kalking.

#### **4.2.6 Kultivering (habitatforbedring, utsettinger, med mer)**

I mange laksevassdrag har det i lang tid blitt gjennomført ulike former for kultiveringsarbeid. Spesielt har det ofte blitt satt ut ulike stadier av laks (egg, yngel, smolt) med formål å styrke bestandene og øke antallet fangbar laks. Det finnes ikke noe fullstendig register med oversikt over slike tiltak. Informasjonen er spredd på ulike tiltakshavere, lokale, regionale og nasjonale forvaltningsmyndigheter. Noe informasjon er samlet inn i forbindelse med det pågående prosjektet ved UiO (Otero et al, under arbeid), med dette er langt fra fullstendig.

En rekke andre kultiveringstiltak har også blitt gjennomført i mange vassdrag – dette gjelder habitatforbedringstiltak, bygging av laksetrapper for å øke lakseførende strekning i elva, og tiltak for å forbedre gytemuligheter. Det finnes oversikt over de

større inngrepene i DN og NVE, mens det ikke er like enkelt å ha oversikt over mindre inngrep og tiltak.

#### **4.2.7 Fiske (innsats)**

Som nevnt i forbindelse med beskrivelsen av fangststatistikken så finnes det ikke noen data som kan beskrive variasjon i fiskeinnsats i elvene. Det finnes landsdekkende statistikk over hvor mange som har betalt fisketrygdavgift pr år, men det har variert hva denne avgiften dekker. Videre er det ingen god sammenheng mellom hvor mange som har betalt for tilgang til fiske og hvor mange som fisker.

#### **4.2.8 Antall gytefisk**

Hindar et al. (2007) refererer til et forvaltningsmål for villaks som "den gytebestandsstørrelsen som sikrer bestandens langsiktige levedyktighet", og diskuterer ni elver hvor historiske data gjør det mulig å beregne sammenhenger mellom gytebestand og rekruttering.

### **4.3 Påvirkningsfaktorer i sjø**

#### **4.3.1 Parasitter og sykdommer**

I sjøen påvirkes villaksen negativt av lus (Bjørn et al., 2010). Det er som nevnt ikke kjent hvilket nivå av lus som skader bestanden, men lusetettheten i oppdrettsanleggene er uansett en viktig faktor.

Oppdrettsnæringen har til tider slitt med sykdomsutbrudd (ILA, PD, med flere). Hvordan disse sykdomsutbruddene har påvirket villaksen er uklart, og det er forsket lite på det.

#### **4.3.2 Predasjon, konkurranse, ernæring og vekst**

Det er observert en sterk tilbakegang i planktonmengdene i Norskehavet i perioden 1995-2010, sannsynligvis på grunn av overbeiting fra rekordsterke bestander av sild, kolmule og makrell. Nedgangen i mattilbud til pelagiske fiskeslag i området, inkludert laksesmolt, er dramatisk, i størrelsesorden 85 % over nevnte periode og fremdeles synkende. De senere år avspeiles nedgangen i mattilgang i Norskehavet i vekst/størrelse hos innvandrende laks på Norskekysten og nedgang i ratio mellom en over flersjøvinter laks i elvene, det vil si at lite mat fører til færre og mindre tert, og flere, men også mindre, flersjøvinterfisk. Totalt sett går likevel gjennomsnittslengden i norske laksebestander opp under det nåværende økologiske regimet i havet. Generelt er det vist en signifikant sammenheng mellom vekst og overlevelse hos laks i havet (Friedland et al., 2000) og det er rimelig å anta at matmangel i Norskehavet har en stor innvirkning på produktiviteten i Norske laksebestander som beiter i Norskehavet som postsmolt. Det eksisterer langtidsserier som antyder at Norskehavet viser et syklisk mønster i produktivitet, hvor vi nå er nær bunnen i en slik sykel og at de pelagiske bestandene må reduseres så mye at beitingen balanserer produktiviteten i zooplanktonet før vi igjen ser bedre vekstforhold for pelagisk fisk og økt overlevelse for laksebestandene.

### 4.3.3 Marin overlevelse

Innsig av laks fra havet har generelt hatt en nedadgående trend i over mange år. Dette er dokumentert ved analyser av pre-fishery-abundance, tidsserier av estimerte overlevelser i flere indeksbestander (se for eksempel ICES 2010). I Norge finnes langtidsserier for de ville bestandene i Imsa, Figgjo og Halselva, samt av oppforet smolt satt ut i Imsa, Halselva og Drammenselva. Det er generell enighet om at hovedproblemet ligger i sjøen, og det kan være mange forhold som spiller inn.

### 4.3.4 Marin vekst

Norskehavet er det viktigste oppvekstområdet for norske laksebestander. I perioden 1985 til 2007 tredoblet de pelagiske fiskebestandene seg i Norskehavet til et rekordnivå på cirka 23 millioner tonn (sild, kolmule, makrell). Samtidig er det observert en sterk reduksjon i planktonmengdene i området i størrelsesorden 80-85% fra 1995 til 2010. Etter 2004 har også rekrutteringen i de pelagiske bestandene falt kraftig med bortfall av store mengder pelagisk yngel, som er viktig mat for postsmoltlaks i havet. De økologiske endringene i Norskehavet faller sammen med en kraftig reduksjon i individuell vekst og overlevelse i norske laksebestander.

### 4.3.5 Miljø/klima

En hovedutfordring for å kunne evaluere hvilke miljøeffekter som sterkest påvirker de ulike laksebestander under deres opphold i havet er at vi har lite kunnskap om hvor laksen oppholder seg når. Dersom dette kan vites er det mulig å bruke ulike målinger/estimeringer av vanntemperatur som egnet mål på klima. Det finnes meget gode storskala estimater av overflatetemperatur (SST; sea surface temperature) for store deler av Atlanterhavet. Dette er kvalitetssikrede data som kan lastes ned med ulike geografisk oppløsning. En vanlig oppløsning vil være å estimere månedlige middel-temperaturer i geografiske ruter på 1 x 1 grads utstrekning. Dette er den oppløsningen som ofte brukes i denne typen analyser.

Data	Tids-oppløsning	Geografisk oppløsning	Periode	Kilde/tilgjengelighet	Kommentarer
<i>Fangsstatistikk i elv</i>					
Fangstdata	Årlig mengde i kg	For "alle" elver i Norge	1876-1967: Androme laksefisker 1968-1979: Laks for seg 1979-1992: < 3 kg, ≥ 3 kg 1992- < 3 kg, 3-7 kg, > 7 kg	SSB Lett tilgjengelig (UiO)	

Data	Tids- oppløsning	Geografisk oppløsning	Periode	Kilde/ tilgjengelighet	Kommentarer
Fangstinnsetts fra fisketrygdavgift	Årlig	Regionalt		Dårlig	Liten sammenheng mellom betalt avgift og hvor mange som fisker
Smoltproduksjon	Årlig	Enkelte elver	Fra 1980	NINA, generelt dårlig, må avledes av andre størrelser?	Finnes målinger fra enkeltelver (Halselva (fra 1986) og Imsa (fra 1980)), samt estimater fra Orkla (1983), Eira (2001) og Stjørdalselva (1992-2005)
Antall gytefisk	Årlig	Enkelte elver		Kun data enkelte steder (data hos NINA)	Estimater finnes for Imsa, Halselva, Drammenselva og Orkla
<i>Påvirkningsfaktorer i ferskvann</i>					
Elvespesifikke forklaringsvariable (regulering, utsetting, trappebygging, ...)	Årlig	Per elv	Trolig for det meste av tiden	God for de fleste inngrep – men ikke fullstendig	Må hentes fra ulike kilder og systematiseres
Rømt oppdrettslaks	Månedlig	Regionalt	Minst 2002 – i dag	Havbruksdata/annet? Lett tilgjengelig (?) Andel oppdrettslaks i fiskerier og gytebestander	Offisiell statistikk, underrapportering?
Sykdommer (Gyro, ILA, PD, ...)	Uklart	Per elv	Relativt gode data det siste tiåret?	Relativt bra?	Resultater fra Gyroovervåking
Temperatur i elv	Usikkert	Usikkert	Usikkert	Dårlig	Kanskje mulig å bruke/lage modeller for vanntemperatur som funksjon av lufttemperatur.
Forurensning i elv	Variierende	Enkelte elver	Variierende	Lokalt godt	Inklusive forsurening Må systematiseres
Kalking	Årlig	Per elv	Ca 1980	God oversikt og rapportering	Må systematiseres



Data	Tids-oppløsning	Geografisk oppløsning	Periode	Kilde/tilgjengelighet	Kommentarer
<i>Fangststatistikk i sjø</i>					
Fangst i sjø	Årlig	Per region	Fra 1994 eller 1997	God (NINA)	Per vektklasse: < 3 kg, 3-7 kg, > 7 kg  Også noe materiale justert for innsats (fra 1997), samt noe tallmateriale på andel oppdrettslaks i fangst.
<i>Påvirkningsfaktorer i sjø</i>					
Marin overlevelse	Årlig		Fra 1980	Generelt dårlig (NINA)	Finnes målinger fra enkeltelver (Halselva (fra 1987) og Imsa (fra 1980)) + merkeforsøk fra Figgjo fra 1965, samt noe data fra utsettinger av oppforet smolt
Marin vekst	Årlig				Data fra flere elver tilgjengelig. En del viktige data ikke bearbeidet.
Lus	Årlig, delvis månedlig	Delvis per fjord og delvis regionalt		Diverse stikkprøver, ikke lange serier?	Måles både i fjordene på villaks og i anleggene på oppdrettslaks
Klima (indekser: NAO, AMO, ...)	Årlig (eller månedlig)	Havområder	Hundre år tilbake?	God	Bør bruke regionale indekser?
Sildebestand, makrellbestand, kolmulebestand	Årlig	Havområder	Sild fra 1907 Makrell fra 1970 Kolmule fra 1980	God, ICES	Historiske bestandstall er selvfølgelig estimater
Predasjon i sjø	Årlig			Dårlig	Kun indirekte gjennom for eksempel sildebestand og overlevelse for 1SV for enkeltelver
Ernæring/vekst i sjø	Årlig	Norskehavet	Plankton fra cirka 1995	HI	Dette kan kombineres med vekst for 1 SV i enkeltelver

Data	Tids-oppløsning	Geografisk oppløsning	Periode	Kilde/tilgjengelighet	Kommentarer
Dødelighetsfaktorer	Årlig			Dårlig	Kun indirekte gjennom for eksempel sildebestand og overlevelse for 1SV for enkeltelver

## 5 Valg av modell

For å gi et helhetlig, forskningsbasert svar, må vi kombinere biologisk kunnskap og historiske data fra mange kilder. Derfor ser vi det som hensiktsmessig å bygge en Bayesiansk hierarkisk modell. En slik modell kan deles grovt inn i to deler:

- **Systemprosessen** beskriver laksens livsløp, fra smolt til vandring i havet, eventuell overlevelse, fangst i sjø og elv, gyting og så videre. Selv om ikke hele systemprosessen observeres, kan vi lage en (forenklet) modell for livsløpet. Modellen kan blant annet inneholde vektklassefordelte bestandstall. Ved utarbeidelsen av systemprosessen må det tas hensyn til de biologiske prosessene og hvordan ulike påvirkningsfaktorer (for eksempel predatorer eller sykdommer) virker inn. Denne modellen tenker vi oss er på vassdragsnivå.
- **Dataproessen** beskriver de observerbare størrelsene (som fangst), og hvordan de henger sammen med størrelser i systemprosessen. Eventuelle målefeil eller skjevheter i de observerbare størrelsene kan modelleres inn her. Noen datakilder kan være på vassdragsnivå, mens andre kan være rapportert for regioner eller Norge som helhet.

Den bayesianske hierarkiske modellen kobler sammen systemprosessen (det modellen predikerer) med dataproessen (det som observeres), og gjør det mulig å estimere, med usikkerhet, også deler av systemprosessen som ikke er direkte observerbar.

### 5.1 Datakvalitet og historisk periode

Ideelt sett bør vi benytte historiske data så langt tilbake som mulig. Vi ser i utgangspunktet for oss at modellen kan baseres på data fra 1960-tallet og fram til i dag, og gjerne lenger tilbake i tid hvis det er mulig.

I mange tilfeller er det problematisk at det er hull i en tidsrekke. Modellrammeverket vi anbefaler gjør det imidlertid mulig å ta hensyn til datahull, siden systemprosessen vil kunne si noe om hullene. En manglende observasjon et år eller flere vil derfor ikke ødelegge modellen, men usikkerheten i estimatene vil naturlig øke rundt hullene.

Først fra 1979 er elvespesifikk fangst rapportert vektklassefordelt. Modellrammeverket gjør det i prinsippet mulig å benytte både eldre og nyere fangstdata, siden

systemprosessen kan ha vektklasseoppløsning i hele dataperioden, mens dataprosessen beskriver det som faktisk observeres. Igjen vil estimatene blir mer usikre for perioden før 1979 enn etter.

## 5.2 Rangering av påvirkningsfaktorer

Ved hjelp av modellen beskrevet over, kan vi anslå hvilke forklaringsvariable (klima, lus, fangst, ...) som har påvirket villaksbestanden historisk. For å belyse problemstillingen, er flere slike rangeringer interessante. Det kan gjøres på flere måter, for eksempel

- Hvilken effekt (positiv) har forklaringsvariabel X på egg tall og bestand. For eksempel kan effekten være positiv på egg tallet, men negativ på bestanden.
- Dekomponering av bidrag til total usikkerhet i anslag for egg tall og bestand. En slik rangering sier ikke om forklaringsvariabel X har en positiv eller negativ påvirkning, men kan gi en liste over de viktigste bidragsyterne til at bestandsanslagene er usikre.

Litt avhengig av hva som er praktisk og teoretisk mulig, kan resultatene presenteres som gjennomsnittseffekter for Norge som helhet eller elvespesifikt.

## 6 Omfang og innhold i et eventuelt hovedprosjekt

Vi mener at det er mulig å gi kvantitative estimater på ulike faktorer historiske påvirkning på vill laks i Norge ved hjelp av de historiske dataene vi har laget en oversikt over, opparbeidet kunnskap om villaks og det foreslåtte modellrammeverket. Som i all forskning kan det riktignok ikke gis noen garantier. Dette er en omfattende jobb, som vil kreve aktiv deltakelse fra miljøene som har deltatt i dette forprosjektet.

Villaksbestandens ve og vel er av interesse for flere forvaltningsorganer og næringer, og i et hovedprosjekt kan det derfor være fornuftig å involvere flere samarbeidspartnere i tillegg til prosjektdeltakerne, siden prosjektet søker å undersøke eventuelle påvirkningsfaktorer på bred basis. Vi ser flere grunner til å involvere flere:

- Å få tilgang på og kompetanse om deler av datamaterialet som ikke besittes av forprosjektgruppen.
- Å få flere finansieringskilder til et omfattende prosjekt.
- Å gi prosjektet relevans og gjennomslagskraft i forvaltningen og de relevante næringene.

Et eventuelt hovedprosjekt vil vi dele inn i ulike faser (i parentes har vi angitt hvor det er naturlig at de ulike miljøene vil bidra):

1. Datainnsamling og bearbeiding (UiO/HI/NINA).
2. Utarbeidelse av modeller for (UiO/HI/NINA/NR)
  - a. systemprosessen og
  - b. dataprosessen.
3. Koble sammen system- og dataprosessen for å lage estimater (NR). Validere og kvalitetssikre modellen og resultatene (NR, med bidrag fra UiO/HI/NINA).
4. Rapportere resultatene til vitenskapelige tidsskrifter og på vitenskapelige konferanser (UiO/HI/NINA/NR).
5. Formidle resultatene i Norge gjennom ulike media (UiO/HI/NINA/NR).

Prosjektet vil ledes av NR, og prosjektet bør løpe i tre eller fire år. En mer detaljert tidsplan, ansvarsfordeling og kostnadsanslag vil komme i et separat prosjektforslag.

## Referanser

Anon. (2010): Status for norske laksebestander i 2010. Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr 2, 213 s.

Beldring, S., Engeland, K., Roald, L.A., Sælthun, N.R. & Voksø, A. (2003): Estimates of parameters in a distributed precipitation-runoff model for Norway. *Hydrology and Earth System Sciences*, 7, 304-306.

Bjørn, P. A., Asplin, L., Nilsen, R., Boxaspen, K. K., Finstad, B., & Uglem, I. (2010): Sluttrapport til Mattilsynet. Lakselusinfeksjonen på vill laksefisk langs Norskekysten i 2010. Rapport fra Havforskningen, nr. 13-2010.

Diserud, O.H., Fiske, P. & Hindar, K. (2010): Regionvis påvirkning av rømt oppdrettslaks på ville laksebestander i Norge. - NINA Rapport 622. 40 s.

Fleming, I. A., Hindar, K., Mjølnerød, I. B., Jonsson, B., Balstad, T. & Lamberg, A. (2000): Lifetime success and interactions of farmed salmon invading a native population. *Proceedings of the Royal Society of London B*, 267:1517-1523.

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.

Friedland, H.D., J.C. MacLean, L.P. Hansen, A.J. Peyronnet, L. Karlsson, D.G. Reddin, N.Ó Maoiléidigh & McCarthy, J. L. (2009): The recruitment of Atlantic salmon in Europe. *ICES Journal of Marine Science* 66: 289-304; doi:10.1093/icesjms/fsn212.

Hesthagen, T. & Hansen, L. P. (1991): Estimates of the annual loss of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in Norway due to acidification. *Aquaculture and Fisheries Management* 22: 85-91.

Heuch, P. A., Bjørn, P. A., Finstad, B., Holst, J. C., Asplin, L. & Nilsen, F. (2005): A review of the Norwegian 'National Action Plan Against Salmon Lice on Salmonids': The effect on wild salmonids. *Aquaculture*, 246, 79-92.

Heuch, P. A., Bjørn, P. A., Nilsen, R., Finstad, B., Asplin, L. & Holst, J. C. (akseptert 2010): Salmon lice infection of farmed and wild Atlantic salmon in three Norwegian fjords. *Aquaculture*.

Hindar, K., Diserud, O., Fiske, P., Forseth, T., Jensen, A. J., Ugedal, O., Jonsson, N., Sloreid, S.-E., Arnekleiv, J. V., Saltveit, S. J., Sægrov, H. & Sættem, L. M. (2007): Gytebestandsmål for laksebestander i Norge. – Nina Rapport 226. 78s.

ICES (2010): Report of the working group on north Atlantic salmon (WGNAS). ICES CM 2010/ACOM

L'Abée-Lund, J.H., Haugen, T.O. & Vøllestad, L.A. (2006): Disentangling local from macroenvironmental effects: quantifying the effect of human encroachments based on historical river catches of anadromous salmonids. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 63, 2318-2323 doi:2310.1139/F2306-2123.

L'Abée-Lund, J.H., Vøllestad, L.A. & Beldring, S. (2004): Spatial and temporal variation in the grilse proportion of Atlantic salmon in Norwegian rivers. *Transactions of the American Fisheries Society*, 113, 743-761.

Larsen, B. M. & Hesthagen, T. (2004): Laks i kalkede vassdrag i Norge. Status og forventninger. NINA Fagrapport, 81:1-25.

McGinnity, P., Prodöhl, P., Ferguson, A., Hynes, R., Ó Maoiléidigh, N., Baker, N., Cotter, D., O'Hea, B., Cooke, D., Rogan, G., Taggart, J. & Cross, T. (2003): Fitness reduction and potential extinction of wild populations of Atlantic salmon, *Salmo salar*, as a result of interactions with escaped farm salmon. *Proceedings of the Royal Society of London B*, 270:2443-2450.

Saloranta, T.M. & Andersen, T. (2007): MyLake – a multiyear lake simulation model code for uncertainty and sensitivity analysis. *Ecological Modelling* 207, 45-60.

Salte, R., H.B. Bentsen, T. Moen, S. Tripathy, T.A. Bakke, J. Ødegård, S. Omholt & Hansen, L. P. (2010): Prospects for a genetic management strategy to control *Gyrodactylus salaris* infection in wild Atlantic salmon (*Salmo salar*) stocks. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 67: 121-129; doi:10.1139/F09-168.

Skilbrei, O. T. & Wennevik, V. (2006): Survival and growth of sea-ranched Atlantic salmon, *Salmo salar* L., treated against sea lice before release. *ICES Journal of Marine Science* 63: 1317-1325.

Stenseth, N.C., Ottersen, G., Hurrell, J.W., Mysterud, A., Lima, M., Chan, K.-S., Yoccoz, N.G. & Ålandsvik, B. (2003): Studying climate effects on ecology through the use of climate indices: the North Atlantic Oscillation, El Niño Southern Oscillation and beyond. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, 270, 2087-2096 doi:2010.1098/rspb.2003.2415.

Vøllestad, L.A., Hirst, D., L'Abée-Lund, J.H., Armstrong, J.D., Maclean, J.C., Youngson, A. & Stenseth, N.C. (2009): Divergent trends in anadromous salmonid populations in Norwegian and Scottish rivers. *Proceeding of the Royal Society London, Series B*, 276, 1021-1027.