

---

# ÅRLIG VARIASJON OG TRENDER I LAKSELUSINDUSERT VILLFISKDØDELIGHET

---

Forfattere

**Knut Wiik Vollset**

**Ola Diserud**

**Lars Qviller**

**Magnus Vikan Røsæg**

**Marit Stormoen**

**Kjell Rong Utne**

**Erik Vikingstad**

## Årlig variasjon og trender i lakselusindusert villfiskdødelighet

**Knut Wiik Vollset, (Norce)**

**Ola Diserud (Norsk institutt for naturforskning)**

**Lars Qviller (Veterinærinstituttet)**

**Magnus Vikan Røsæg (IsalMar)**

**Marit Stormoen (NMBU Veterinærhøgskolen)**

**Kjell Rong Utne (Havforskningsinstituttet)**

**Erik Vikingstad (Fiskeridirektoratet)**

**Bergen 15.12.2021**

**ISBN-nummer:**

978-82-93932-09-3

**Referanse til publikasjonen:**

Vollset, K.W., Diserud, O., Qviller, L., Røsæg, M.V., Stormoen, M., Utne, K.R., Vikingstad, E. 2022. Årlig variasjon og trender i lakselusindusert villfiskdødelighet. Rapport fra ekspertgruppe for vurdering av lusepåvirkning.

**Nøkkelord:**

Trafikklyssystemet

Nærings- og fiskeridepartementet

Lakselus

Dødelighet laksesmolt

Trendanalyser

Scenarioanalyser

Produksjonsområder

# Innholdsfortegnelse

Mandat fra Styringsgruppen .....	4
Oppsummering.....	6
1 Bakgrunn .....	8
Introduksjon, bakgrunn og motivasjon .....	8
Hvordan vurderer ekspertene lakselusindusert villfiskdødelighet? .....	8
Forståelse av mandat .....	10
Struktur .....	12
Terminologi .....	12
2 Hvorfor egner trendanalyse seg dårlig for trafikklssystemet .....	14
Hva er en trendanalyse? .....	14
Hvorfor egner trendanalyse seg dårlig for trafikklssystemet for å forstå utviklingen i gitte miljøindikatorer?.....	15
Scenarioanalyser .....	15
3 Vurdering av hvilke faktorer som kan påvirke lakselusindusert dødelighet .....	17
Abiotiske forhold i sjøen .....	17
Lusetellinger i oppdrett.....	18
Antall/biomasse oppdrettslaks .....	19
Produksjonssyklus og anleggsstruktur .....	20
Bestandssituasjon for laks og sjøørret .....	21
4 Hvilke faktorer forklarer variasjonen i lakselusindusert villfiskdødelighet? .....	23
5 Konklusjoner.....	29
6 Forslag til handlingsregel og beslutnings-tre .....	30
Referanser .....	32

# Mandat fra Styringsgruppen

## Bakgrunn

I henvendelsen fra Nærings- og fiskeridepartementet (NFD) vedrørende «Bestilling av vurdering av naturfaglige kriterier for vekting i trafikklyssystemet» sies det blant annet: «Beslutningen om at produksjonskapasiteten skal økes, fryses eller reduseres i et produksjonsområde tas av regjeringen annet hvert år på bakgrunn av naturfaglige råd. I Meld. St. 16 (2014-2015) Forutsigbar og miljømessig bærekraftig vekst i norsk lakse- og ørretoppdrett (Havbruksmeldingen) heter det i kap. 8.3 om vurderingen som skal foretas av miljøtilstanden i et område: *"Dersom resultatet er sammenfallende begge årene vil utfallet være forutsigbart og det legges ikke opp til noen vurdering, men dersom overvåkingen viser en endring i påvirkning de to årene vil myndighetene måtte gjøre grundigere vurderinger ut ifra den samlede miljøtilstanden. Det vil her være viktig å ta inn ulike forklaringsvariabler, og sannsynlighet for å komme over i en annen kategori, ... Dersom indikatoren er lakselus på villfisk, vil faktorer som vurderes eksempelvis være hvordan temperatur og salinitet kan ha hatt betydning for lusepåvirkningen. En annen vurdering vil være å se på om overvåkingen viser en trend i den ene eller andre retningen. Det kan da være nødvendig å gjøre vurderingen ut ifra et noe lenger tidsperspektiv enn to år. I en helhetsvurdering vil det også kunne være naturlig å se hen til samfunnsøkonomiske konsekvenser av ulike valg."* De naturfaglige rådene baseres i hovedsak på årlige rapporter fra en ekspertgruppe oppnevnt av Styringsgruppen sammen med Styringsgruppens vurderinger. Rapportene beskriver tilstanden knyttet til påvirkning av lakselus fra oppdrett på vill laksefisk i kategoriene lav, middels og høy påvirkning innenfor hvert av de 13 produksjonsområdene. For å vurdere risiko for dødelighet av laksesmolt på grunn av lakselus innen hvert av produksjonsområdene foretar i dag ekspertgruppen en vekting av dødelighet i det enkelte vassdraget med smoltproduksjonen i vassdraget.»

## Utvikling og trender

Trender er fremhevet i havbruksmeldingen som et mulig kriterium regjeringen skal vurdere ved fargelegging. Ekspertgruppen har uttrykt tydelig at det foreløpig ikke er lange nok tidsserier i datagrunnlaget for å kunne gjøre statistiske trendanalyser. Det er likevel beskrevet i havbruksmeldingen at *"Myndighetene vil ... vurdere om vekst bør gis i et produksjonsområde hvert annet år, basert på faglige råd som kategoriserer områdene inn i tre kategorier. Tabellene [under] illustrerer hvordan forslaget vil virke ut ifra den tilstanden miljøindikatorne viser at et område har. Det tas utgangspunkt i om produksjonskapasiteten i området ved forrige vurdering ble økt, holdt på samme nivå (fryst) eller redusert."*

I beslutningen om fargelegging som ble offentliggjort 4. februar 2020 kommer det frem at fiskeri- og sjømatministeren la særlig vekt på utviklingen i områdene fra 2018 til 2019, i tråd med tabellene i havbruksmeldingen (se figuren). NFD ber om en vurdering av konsekvensene knyttet til en slik vektlegging, samt når det vil være realistisk å gjøre statistiske trendanalyser for første gang.

Tabell: Eksempler på utfall av miljøtilstand etter at det har blitt gitt vekst, frys eller reduksjon.

Vedtak år 0	Sannsynlig utfall år 1	Mulig utfall år 2	Vurdering av vekst
Vekst	Grønn	Grønn	Vekst tilbys på nytt
Vekst	Grønn	Gul	Vurdere frys eller vekst
Vekst	Grønn	Rød	Vurdere reduksjon eller frys

Tabell 8.2 Eksempler på utfall av miljøtilstand etter at kapasiteten ikke har blitt endret.

Vedtak år 0	Sannsynlig utfall år 1	Mulig utfall år 2	Vurdering av vekst
Frys	Gul	Grønn	Vurdere vekst eller frys
Frys	Gul	Gul	Fortsatt frys
Frys	Gul	Rød	Vurdere reduksjon eller frys

Tabell 8.3 Eksempler på utfall av miljøtilstand etter at kapasiteten har blitt redusert.

Vedtak år 0	Sannsynlig utfall år 1	Mulig utfall år 2	Vurdering av vekst
Reduksjon	Rød	Grønn	Vurdere vekst eller frys
Reduksjon	Rød	Gul	Vurdere frys eller reduksjon
Reduksjon	Rød	Rød	Ytterligere reduksjon

### Mandat gruppe for analyser av årlige variasjoner og trender

Målsetningen med arbeidet til denne gruppen («Trendgruppen») er å beskrive og vurdere:

- 1) Årsaker til at nivået for lakselusindusert dødelighet varierer i kategori mellom år innen produksjonsområder
- 2) Metoder for å analysere trender i data relevant for trafikkløssystemets vurdering, og krav til datagrunnlaget for slike analyser.

Oppgavene til gruppen for vurdering av årlig variasjon og trender er:

Vurdere årsaker til at den sannsynlige lakselusinduserte dødeligheten av utvandrende smolt i et produksjonsområde varierer mellom år. Vurdere hvilke faktorer som kan påvirke lakselusindusert dødelighet, som f.eks. forhold knyttet til:

- abiotiske eller biotiske forhold i sjøen,
- antall lakselus pr. oppdrettslaks
- antall/biomasse oppdrettslaks per areal og/eller
- produksjonsforhold og strategier i oppdrettsproduksjon.

Analysere mulige trender relevant for vurderingen av utviklingen av lakselusindusert dødelighet i produksjonsområdene ved å:

- beskrive tilgjengelige datasett,
- beskrive datasettenes begrensninger,
- beskrive forutsetninger for bruk av datasett til trendanalyser og hvor lange tidsserier som er nødvendig for å kunne gi pålitelige analyser, og
- vurdere hvilke datasett eller sammensetning av datasett som gir best beskrivelse av utviklingen i lakselusindusert villfiskdødelighet innen produksjonsområdene

Å sammenfatte en rapport som skal oversendes Styringsgruppen senest 1. september 2021

## Oppsummering

Nærings og Fiskeridepartementet (NFD) har henvendt seg til Styringsgruppen for å vurdere hvordan man skal vurdere årlig variasjon og trender i lakselusindusert villfiskdødelighet som angitt i produksjonsområdeforskriften. Styringsgruppen har oppnevnt en ny ekspertgruppe som har kompetanse innen statistikk, oppdrettsproduksjon, forvaltning, og lakselus til å vurdere to faglig spørsmål

- 1) Årsaker til at nivået for lakselusindusert dødelighet varierer i kategori mellom år innen produksjonsområder
- 2) Metoder for å analysere trender i data relevant for trafikklyssystemets vurdering, og krav til datagrunnlaget for slike analyser.

Første del av rapporten beskriver bakgrunn og motivasjon for disse faglige spørsmålene, samt en beskrivelse av forståelse av mandatet. I det neste avsnittet påpeker vi spesifikt hvorfor gruppen har kommet til en konklusjon om at trendanalyse er uegnet for å vurdere hvordan påvirkning fra oppdrett på villfisk utvikler seg over tid. Dette fordi flere av årsakene til lakselusindusert villfiskdødelighet ikke er tilfeldige variabler, men er variabler styrt av forvaltning eller oppdrett. Eksempler på dette er lusegrenser eller tillatt biomasse/antall. I tillegg er det grunn til å anta at årsakssammenhengene ikke er stasjonære over tid, ettersom næringen er i konstant endring med for eksempel nye produksjonsformer og metoder for lusebehandling. Stasjonære årsaksforhold er en av forutsetningen for å gjennomføre en trendanalyse. Hvis et system ikke er stasjonært, er det lite å lære fra å bare se på hvordan utviklingen har vært bakover i tid. Den eneste måten å forutse hva som skjer inn i fremtiden er å forstå de bakenforliggende mekanismene og ta høyde for utvikling i de styrte variablene.

Videre i rapporten går vi gjennom mulige forklaringsvariabler (eller potensielle årsaker) til mellom-årsvariasjoner i lakselusindusert villfiskdødelighet, og vurderer om disse kan settes inn i en modell som forklarer variasjon mellom år. I det påfølgende avsnittet presenteres en modell som forsøker å beskrive sannsynligheten for at et produksjonsområde er blitt kategorisert som lav, moderat eller høy lakselusindusert villfiskdødelighet av ekspertgruppen baserte på noen utvalgte variabler beheftet med ulik grad av styring og tilfeldig variasjon. Basert på denne analysen konkluderer vi at det er mange faktorer som gjør at lakselusindusert villfiskdødelighet vil variere mellom år og produksjonsområder (f.eks. miljøbetingelser, romlig smittepress), men den variabelen som forklarer mest av variasjonen i estimerte dødelighetskategorier er *totale antall hunnlus per areal*. Dette betyr at et gitt antall hunnlus per areal vil kunne gi både lav, moderat og høy lakselusindusert villfiskdødelighet, men at sannsynligheten for å havne i moderat eller høy vil øke ved økt totalt antall hunnlus per areal. Vi argumenterer dermed for at dette utslippsmålet, totalt antall hunnlus per areal, er en variabel som bør brukes for å støtte en vurdering av om påvirkningen et år kan tilskrives stort utslipp av lakselus fra oppdrett eller ugunstige miljøbetingelser. Eksakt hva slike ugunstige miljøbetingelser er må vurderes fra produksjonsområde til produksjonsområde.

Totalt antall hunnlus per areal styres i hovedsak av antall oppdrettslaks i sjø og antall lus per fisk. Samtidig er det viktig å påpeke at utslippet av lus også styres av temperatur – slik at utslippet av lusekopepoditter øker med en høyere vanntemperatur selv om antallet voksne hunnlus er konstant.

Rapporten avsluttes med fire overordnede konklusjoner. Disse er:

1. Trendanalyse er ikke et egnet verktøy til å vurdere hvordan utvikling i lakselusindusert villfiskdødelighet vil utvikle seg.
2. Å ta utvikling fra et år til et annet som indikasjon på positiv eller negativ «trend» er feil.

3. Trendgruppen anbefaler å utrede et mål på utslipp av lus per produksjonsområde når man vurderer påvirkning fra oppdrett, og argumenterer at et slikt utslippsmål kan være totalt antall hunnlus per areal.
4. For å kunne ha transparens i bruken av slike utslippsmål bør en lage enkle men robuste handlingsregler.

I den siste vurderingen (4) argumenteres det at totalt antall hunnlus per areal bør integreres som en miljøindikator for lakselus som vurderes i trafikklssystemet. Det presenteres derfor til slutt et forslag til hvordan informasjon om utslipp av lus fra oppdrett kan brukes i NFDs avgjørelse i trafikklssystemet. Dette innebærer, i tillegg til vurderingene av om effekten av lakselus (lakselusindusert villfiskdødelighet) er akseptabel eller ikke de foregående årene, at man også hensyntar om det er sannsynlig at utslipp av lus vil øke eller reduseres gitt at man tillater vekst, frys eller reduksjon i biomasse.

# 1 Bakgrunn

## Introduksjon, bakgrunn og motivasjon

Trafikklyssystemet, eller produksjonsområdeforeskriften, er et forvaltningssystem som deler Norges kyst opp i 13 områder hvor oppdrettsnæringens effekt på miljøet vurderes i 2-årige sykluser basert på miljøindikatorer. Foreløpig er det kun effekter av lakselus på vill laksefisk som er implementert som en miljøindikator. Denne vurderingen gjøres av Nærings og fiskeridepartementet (NFD) basert på et råd fra en oppnevnt styringsgruppe bestående av tre medlemmer fra henholdsvis Havforskningsinstituttet, Veterinærinstituttet og NINA. Rådet til styringsgruppen er basert på en ekspertgruppevurdering gjennomført av 10 eksperter som har som mandat å vurdere lakselusindusert villfiskdødelighet for alle de 13 produksjonsområdene.

I mandatene til styringsgruppen og ekspertgruppen har det de senere årene blitt fremhevet et ønske om å gjøre en analyse av (1) om miljøindikatoren lakselus viser en trend i de forskjellige produksjonsområdene som indikerer om miljøindikatorene beveger seg i en positiv eller negativ retning, og (2) om det er spesielle forhold i produksjonsområdet, uavhengig av oppdrettsaktiviteten, som kan være årsaken til variasjonen i påvirkning på villfiskbestandene. Ekspertgruppen har i samtlige rapporter påpekt at en trendanalyse basert på resultatene så langt ikke er mulig på grunn av svært begrensede tidsserier. Det vil si – det er ikke mulig å si om effekten på lakselusindusert villfiskdødelighet har hatt en trend over tid. Det har derimot blitt påpekt at det er sannsynlig at mellomårsvariasjon i lakselusindusert villfiskdødelighet kan være knyttet til produksjonssykluser i oppdrett og romlig fordelingen av smittepress på grunn av denne syklusen. Det har også blitt gjort generelle vurderinger av om det er indikasjoner på at de fysiske betingelsene (temperatur, salinitet, avrenning) er avvikende i de forskjellige årene, men det er konkludert med at de forholdene som er blitt registrert er innenfor en normal variasjon av hva man skal forvente i naturen, og det har dermed ikke blitt lagt stor vekt på i den endelige vurderingen.

NFD må gjøre en helhetlig vurdering av lakselusindusert dødelighet over 2 år og vurdere om man kan forvente en negativ eller positiv utvikling over tid ettersom det er en del av stortingsmeldingen som forvaltningssystemet bygger på. Vi anser derfor å klargjøre faglige rammer og begrensinger for en slik vurdering som et av våre viktigste mandat.

## Hvordan vurderer ekspertene lakselusindusert villfiskdødelighet?

For å kunne lese denne rapporten uavhengig av tidligere rapporter er det nødvendig å gjøre en kort oppsummering av hvordan ekspertene gjør sin vurdering av lakselusindusert villfiskdødelighet. Oppsummering vil ikke dekke alle aspekter av vurderingen, men vil være viktig for å forstå resten av dokumentet. For flere detaljer viser vi til den siste rapporten fra ekspertgruppen med tilhørende dokumenter<sup>1</sup>.

Ekspertgruppens mandat er å gjøre en helhetlig naturfaglig vurdering av lakselusindusert villfiskdødelighet på utvandrende laksesmolt basert på all tilgjengelig kunnskap. Vurderingene til ekspertgruppen bruker tre kilder fra empiriske overvåkningsdata som er samlet inn i det nasjonale lakselusovervåkningsprogrammet

---

<sup>1</sup> <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/ny-side25/id2815374/>



(NALO), og tre modeller utarbeidet av henholdsvis Veterinærinstituttet, Havforskningsinstituttet og SINTEF.

De empiriske dataene består av (1) post-smolt av laks fanget i en spesialkonstruert trål (Fish-lift, Holst and McDonald 2000) ytterst i utvalgte fjordsystemer i løpet av våren, (2) sjøørret fanget i spesiallagde storruser (supplert med garn i tilfeller hvor det er lav fangst) og (3) data fra oppdrettet laksesmolt satt i bur i en 2-3 ukersperiode. Disse metodene brukes til å vurdere sannsynligheten for at post-smolt av laksesmolt får på seg mer lakselus enn definerte terskelverdier som sier noe om hvor mye lakselus en smolt tåler per gram fiskevekt. Overordnet vurderer ekspertgruppen om det er sannsynlig at mindre enn 10%, 10-30% eller mer enn 30 % (hhv lav - moderat - høy påvirkning) av laksesmolten i et produksjonsområde bærer på mer lus enn en gitt grenseverdi. Denne grenseverdien angir en dødelig lusemengde (Taranger mfl. 2015).

De tre modellene bruker tellinger av lus og estimert antall oppdrettslaks i anlegg, sammen med målinger av temperatur, til å regne ut hvor mye lus som til enhver tid slippes ut av oppdrettsanleggene langs kysten av Norge. Modellene bruker videre forskjellige metoder til å beskrive spredningen av luseparvene. VI bruker en statistisk assosiasjon mellom avstand og påslag, mens HI og SINTEF bruker mer kompliserte hydrodynamiske modeller. Parametere som utviklingstid, atferd og dødelighet fra egg til påslag inkluderes i modellene på ulike måter. Alle disse forskjellene gjør at det er forskjeller i det endelige romlige smittepresset beregnet fra de tre modellene. Den grovskala romlige fordelingen av smittepress er imidlertid hovedsakelig drevet av lokale utslipp av lus fra anleggene – noe som reflekteres i at det ofte er de samme regionene som får høyest påvirkning i de ulike modellene.

For å vurdere hvordan laksesmolt påvirkes av lusespredning har hver av de tre modellene en modul som estimerer lusepåslaget ved å modellere laksesmoltenes vandring gjennom fjord- og kystområder, der sannsynligheten for lusepåslag øker med lusetetthet (noe som ofte beskrives som virtuell smolt eller smoltmodeller). Dette gjør det mulig å vurdere smittepresskartene opp mot grenseverdiene beskrevet over. I tillegg til resultater fra de tre smoltmodellene er også et smittepresskart fra HI-modellen brukt til å vurdere utbredelse av lakselus i tid og rom. I sum er det dermed syv "metoder" som får sin egen delvurdering – hvor det vurderes hvilken kategori av lakselusindusert villfiskdødelighet metoden støtter og om denne vurderingen har liten, middels eller stor usikkerhet. Til slutt gjøres en samlet vurdering av hele produksjonsområdet hvor man legger både vekt på (1) om metodene indikerer lik kategorisering, (2) om det er usikkerhet i de forskjellige metodene, (3) om det er nok informasjon til å estimere dødelighetskategori med sikkerhet og (4) om dødelighetsestimaten ligger nær grensen mellom to kategorier.

## Forståelse av mandat

Vår forståelse av mandatet er at det er to hovedoppgaver som ønskes belyst.

*1 Hva er årsaken til at lakselusindusert villfiskdødelighet varierer, og hvordan skal man bruke denne informasjonen til å vektlegge de to årene i en helhetsvurdering?*

Dette baserer vi på teksten i mandatet

«NFD ber om en vurdering av konsekvensene knyttet til en slik vektlegging[...]» og videre at gruppen skal «[...] vurdere årsaker til at den sannsynlige lakselusinduserte dødeligheten av utvandrende smolt i et produksjonsområde varierer mellom år».

Det andre punktet er

*2 Vurdere om det er mulig å gjøre en trendanalyse som kan brukes til å vurdere hvordan utviklingen i lakselusindusert villfiskdødelighet er i de forskjellige produksjonsområdene*

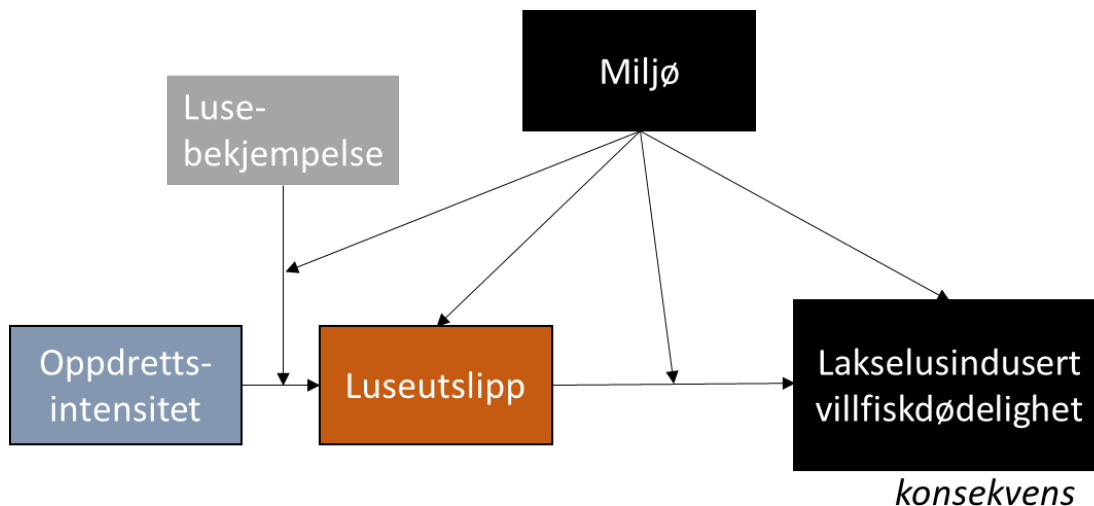
Dette baserer vi på følgende ordlyd i mandatet: «..., og når det vil være realistisk å gjøre statistiske trendanalyser for første gang.» Og at det videre står at en av oppgavene er «[å] analysere mulige trender relevant for vurderingen av utviklingen av lakselusindusert villfiskdødelighet i produksjonsområdene»

Vår tolkning av disse to oppgavene er at de begge bunner ut i det forenklete spørsmålet:

*Hvor stor del av variasjonen i lakselusindusert villfiskdødelighet kan beskrives av utslipp av lus fra oppdrett og hvor stor del kan forklares av miljø og tilfeldigheter?*

Dette spørsmålet er avgjørende for trafikklssystemet, fordi regulering av biomasse benyttes til å styre påvirkningen fra oppdrett, målt som lakselusindusert villfiskdødelighet. Lakselusindusert villfiskdødelighet kan svært forenklet beskrives som en funksjon av luseutslipp og miljøvariabler (Figur 1). Biomasse (eller oppdrettsintensitet) har en effekt på lakselusindusert villfiskdødelighet gjennom luseutslipp (totalt antall lus produsert på oppdrettslaks i et område). I teorien vil altså trafikklssystemet kunne tillate økt biomasse ved lave utslipp av lus per biomasse, og vil dermed kunne fungere som et insentiv for oppdrettere til å redusere antall lus per fisk.

En av hovedutfordringene med dagens system er derimot at bestemmelsen om økt eller redusert tillatt biomasse baseres i all hovedsak på «konsekvensen» av utslipp av lus (lakselusindusert villfiskdødelighet) og ikke direkte det utslippet som kan måles i oppdrettsanleggene (luseutslipp). Rent logisk baserer man altså bestemmelsene på en variabel som i stor grad kan være påvirket av miljøet. Miljøet kan igjen være sterkt påvirket av tilfeldig variasjon, noe som vil kunne føre til at konsekvensen av det samme utslippet av lus vil naturlig variere mellom år. Som angitt av den konseptuelle figuren gitt under (figur 1) blir det logisk å stille spørsmålet: Hva er egentlig årsaken til variasjonen man ser i lakselusindusert villfiskdødelighet: luseutslipp eller miljø?



**Figur 1** Forenklet skjematisk beskrivelse av sammenhengen mellom oppdrettsaktivitet og lakselusindusert villfiskdødelighet; hvor oppdrettsintensitet er samlebetegnelse for beskrivelse av mengden oppdrettslaks, luseutslipp er samlet mengde lus i oppdrettsanlegg innenfor et produksjonsområde, lusebekjempelse er samlebetegnelse på alle måter man prøver å redusere antall lus på, og miljø er en samlebetegnelse på alle ytre faktorer (fysiske og biologiske) som kan påvirke disse sammenhengene. Tilfeldigheter kan i denne konteksten beskrives som ubeskrevet variasjon.

Vi argumenterer gjennom denne rapporten at spørsmålet kan også stilles enklere: Hvor stor del av variasjonen i *estimert* lakselusindusert villfiskdødelighet skyldes variasjon i rapportert luseutslipp fra oppdrett? Resterende variasjon må ansees som variasjon i miljøet i tillegg til eventuelle målefeil.

Videre tolker vi formuleringen angående trendanalyse som et spørsmål om det er mulig å vurdere om reguleringen av biomassen eller tiltak mot lakselus per produksjonsområde har hatt en effekt som indikerer at forventet lakselusindusert villfiskdødelighet vil øke eller reduseres. Kort oppsummert er vår vurdering at det ikke er mulig å bruke historiske tidsserier til å si noe om hvilken «retning» man er på vei hvis variablene som forklarer mesteparten av variasjonen er *styrte* (se kapittel 2 for mer detaljer). Videre argumenterer vi (utfra vår egen analyse) at (1) luseutslipp forklarer en stor del av variasjonen i ekspertgruppens vurdering av lakselusindusert villfiskdødelighet og (2) at luseutslipp i all hovedsak må ansees som en styrt variabel. Dermed er det altså ikke mulig eller hensiktsmessig å vurdere trenden i lakselusindusert villfiskdødelighet ettersom den i hovedsak er drevet av en styrt variabel. Fordelen med styrt variabler er derimot at det er mulig å forstå mekanismene bak utviklingen av disse og dette også gir en mulighet til å vurdere fremtidig scenarioer og risikoprofiler for fremtidig vekst i oppdrettsnæringen. Dette krever imidlertid at man både synliggjør og beskriver sammenhengen mellom den styrt variabelen (luseutslipp) og konsekvensen man ønsker å regulere.

## Struktur

Basert på vår forståelse av mandatet har vi valgt å strukturere rapporten på følgende måte: Vi starter med å svare på oppgave 2 i et avsnitt som forklarer hvorfor trendanalyse ikke er egnet til å vurdere effekter av lakselusindusert villfiskdødelighet i produksjonsområder (avsnitt 2). Avsnittet konkluderer med at det er viktig å vurdere om år-til-år variasjonen er tilfeldig eller styrt av oppdrettsaktiviteten i produksjonsområdet. I neste avsnitt vurderer vi hvilke faktorer som kan påvirke ekspertgruppens estimering av lakselusindusert villfiskdødelighet (avsnitt 3) og om de er styrte eller tilfeldige variabler. I avsnitt 3 presenterer vi en analyse av hvor stor del av variasjonen de styrte variablene forklarer av ekspertgruppens vurdering. Til slutt foreslår vi hvordan det vil kunne være mulig å sammenholde informasjon om luseutslipp per produksjonsområde i vurderingen fra lakselusindusert villfiskdødelighet fra ekspertgruppen til trafikklysfarge.

## Terminologi

Det brukes flere ord som ikke nødvendigvis er intuitive. Hva som legges i disse nøkkelbegrepene derfor beskrevet i mer detalj boks 1.

### **Boks 1: Viktig terminologi**

*Lakselusindusert villfiskdødelighet* – hvor stor andel av laksefisk som dør på grunn av lakselus. Dette uttrykket er grundig diskutert i ekspertgruppens rapporter hvor det argumenteres med at man i ekspertgruppevurderingene må tolke %-verdien i stortingsmelding 15 som risikobidraget. Det vil si forskjellen i dødelighet i en gruppe fisk som er påvirket av en gitt mengde lus sammenlignet med en teoretisk lik gruppe fisk upåvirket av lus.

*Trafikklyssystemet* – Folkelig navn på implementering av produksjonsområdeforeskriften (FOR-2017-01-16-61)

*Trend* – se eget avsnitt

*Årlig variasjon* – er i denne sammenheng hvordan estimert lakselusindusert villfiskdødelighet i produksjonsområdet varierer mellom år som en funksjon av (1) belastning fra oppdrettsanlegg, (2) naturlig variasjon i miljøet og (3) eventuelle målefeil.

*Sonestruktur* - Oppdrettsanlegg i et område kan ha enten pålagt eller selvpålagt koordinert drift for å bekjempe sykdomsspredning

*Produksjonssyklus* – Tiden det tar fra laks blir satt i oppdrettsanlegg til det slaktes ut og anlegget brakklegges før neste syklus.

*Hydrodynamisk modell* - Modell som forutsier eller gjenskaper bevegelse av væske. Hydrodynamiske modeller kan i utgangspunktet omhandle alt fra olje i rørsystem til vanntransport i elver. En hydrodynamisk modell for kystfarvann brukes til å gjenskape påvirkningen fra strøm, saltholdighet og temperatur på lakselus og laksepost-smolt, og hvordan dette endres i løpet av året. En hydrodynamisk

modell er en numerisk modell, som betyr at det er en matematisk modell som kjøres over flere tidssteg før man kommer frem til en løsning.

*Statistisk modell* – modeller som bruker tallfestede data og sannsynlighetsregning for å beskrive og sannsynliggjøre et mønster.

*Ekspertgruppen* – benevnelse på gruppen med forskere som er oppnevnt til å vurdere lakselusindusert villfiskdødelighet på utvandrende laksesmolt. Denne gruppen velges av styringsgruppen (se under)

*Styringsgruppen* – benevnelse på gruppe på tre personer som oppnevnes av NFD som har som oppgave å oppnevne ekspertgruppen, koordinere arbeid og gi en faglig vurdering og oppsummering av ekspertgruppens vurdering av lakselusindusert villfiskdødelighet. Styringsgruppen består av et medlem fra henholdsvis Havforskningsinstituttet, NINA og Veterinærinstituttet.

*Trendgruppen* – benevnelse på gruppen personer som er oppnevnt av styringsgruppen til å skrive denne rapporten

*Oppdrettsintensitet* - samlebetegnelse for beskrivelse av mengden oppdrettslaks i et gitt geografisk område korrigert for størrelsen på området.

## 2 Hvorfor egner trendanalyse seg dårlig for trafikklyssystemet

### Hva er en trendanalyse?

Hva som legges i begrepet trendanalyse er i en viss grad en definisjonssak. I dagligtale brukes begrepet ofte om å lete etter trender i historiske observasjoner for å kunne si noe om framtidig utvikling. For å kunne foreta en korrekt statistisk trendanalyse er det nødvendig å ha en god forståelse av, og modell for, prosessen som genererer tidsserien.

Utgangspunktet for en statistisk analyse er en **tilfeldig variabel** hvor observasjoner kan beskrives ved en sannsynlighetsfordeling med et gitt sett med parametere, med tilhørende uttrykk for forventning og varians. Parameterne kan være funksjoner av andre variabler, f.eks. uttrykt ved en regresjonsmodell for forventningen til variabel  $Y$  basert på observert verdi for en annen variabel  $X$ . En tidsserie med observasjoner av den samme variabelen kan ha avhengighet mellom etterfølgende observasjoner med tidsforskjell  $t$  – **temporær autokorrelasjon** med tidsforsinkelse  $t$ . Årets observasjon kan f.eks. være avhengig av fjorårets verdi ( $t = 1$  år). Noen tidsserier kan i tillegg ha **syklisk variasjon**, f.eks. sesongvariasjonen gjennom året. Den toårige produksjonssyklusen i oppdrett kan generere slik syklisk variasjon. Denne mellomårsvariasjonen mellom to år er altså ikke en trend men en forventet syklisk variasjon avhengig av hvordan produksjonsformen og strukturen på oppdrettsanleggene er i området.

Flere av faktorene som påvirker luseindusert villfiskdødelighet kan ikke beskrives som tilfeldige variabler – de er ikke-tilfeldige eller **“styrte” variabler**. Dette gjelder variabler som biomasse i anlegg, lusebehandling osv. Utfallet, neste års observasjon, er ikke et resultat av en tilfeldig hendelse, men kontrollert av politiske, forvaltning eller eier-avgjørelser. Historiske data (tidsserier) er dermed ikke relevante for å si noe om forventet fremtidig utvikling for disse styrte variablene, og trendanalyse vil være et lite hensiktsmessig metodevalg. Men historiske data vil allikevel være viktig for forståelse om hvordan disse styrte variablene er forventet å påvirke luseindusert villfiskdødelighet.

En annen viktig forutsetning for trendanalyse er en tidsseries **stasjonaritet**, det vil si at tidsserien har de samme egenskapene uansett tidspunkt. Den eneste forskjellen er prosessens «startverdi» et gitt år, ellers beskrives prosessen og støyleddet helt identisk. Ved en ikke-stasjonær prosess vil sammenhengen mellom variabler endres underveis, og det vil være begrenset hva som kan læres av historiske tidsserier. Sammenhengen mellom biomasse og utslipp av anleggsproduert lus til sjø kan for eksempel endres med (nye) behandlingsmetoder eller resistensutvikling hos lus (se for eksempel Fjørtoft et al. 2021). I slike tilfeller kan ikke prosessen beskrives på den samme måten hele perioden, og historiske data vil fort bli utdaterte.

Tilfeldige forklaringsvariabler som har betydning for lakselusindusert villfiskdødelighet og som kan ha en analyserbar trend over år er fysiske variabler, som sjøtemperatur (Sandvik et al. 2021) eller salinitet i smoltens utvandningsrute, eller biologiske variabler som smoltstørrelse og utvandringstidspunkt fra elv. Eventuelle trender i sjøtemperaturer kan koples til klimaendringene, men dette er utvikling på en helt annen tidsskala enn det som er relevant for trafikklyssystemet. Samme argumentasjon kan føres for salinitet, selv om denne i en viss grad kan påvirkes av

menneskestyrte prosesser, som slipp av vann i regulerte vassdrag under smoltens utvandring (se for eksempel Myksvoll et al. 2014). Smoltstørrelsen og utvandringstidspunktet kan også endre seg over tid ved at for eksempel temperatur, vannføring og produktivitet som påvirker disse biologiske variablene endrer seg over tid (Otero et al. 2012). Disse variablene har en direkte effekt på hvordan lakselus påvirker villfisk ved at de kan endre det tidsmessige overlappet mellom smittepressutvikling og villfiskutvandring, og hvor skadelig det kan være for laksesmoltene (Vollset 2019). Vi ser foreløpig ingen indikasjon på storskala endringer over tid i disse variablene som vil ha stor betydning for vurderingen av lus utenom den vurderingen som allerede gjøres av ekspertgruppen fra år til år.

## Hvorfor egner trendanalyse seg dårlig for trafikklyssystemet for å forstå utviklingen i gitte miljøindikatorer?

De variablene som sannsynligvis har størst betydning for lusepresset i sjø og luseindusert villfiskdødelighet er styrte variabler, for eksempel biomasse i anlegg og lusegrenser per fisk. Det er nødvendig med kunnskap om hvordan disse påvirker luseindusert dødelighet, men trendanalyse er ikke en egnet analysemetode for dette. I tillegg vil innføring av blant annet nye produksjonsformer gjøre at sammenhengene endres over tid (ikke-stasjonære prosesser). Faktorer som sjøtemperatur under smoltutvandringen er naturligvis også viktig for luseutviklingen, men her forventes den naturlige år-til-år variasjonen å dominere over eventuelle trender.

### *Hva betyr dette i praksis?*

Man vil ikke kunne gjøre en statistisk trendanalyse selv om man har flere år med data fra trafikklyssystemet. Når forutsetningene i datasettet ikke er til stede, blir ikke en trendanalyse mer «korrekt» av flere år. Det er imidlertid viktig (1) å ha god rapportering om styrte variabler, (2) ha kunnskap om størrelsen på årlig variasjon i noen av de viktigste tilfeldige forklaringsvariablene, og (3) fortsette å ha fokus på å prøve å minimere usikkerhet og skjevhet i observasjoner. Fra et forvaltningsperspektiv er det viktigste spørsmålet: hva er sannsynlige «scenarioer» gitt alternative fargelegginger og mulige utviklinger av oppdrettsnæringen? Dette kan gjøres ved scenario-simulering hvor man illustrerer forskjellige utfall og hvor sannsynlig det er at man får den endringen man forvaltningsmessig ønsker.

## Scenarioanalyser

Vi kan altså ikke bruke historiske tidsserier til å si noe om framtidige realisasjoner for de styrte variablene (biomasse og antall lus per fisk) men vi kan sette opp alternative scenarioer for hvordan disse kan utvikle seg videre. Eksempler på scenarioer kan være status quo, en økning eller reduksjon i biomasse fra dagens nivå, eller endringer i forventet antall lus per fisk som følge av nye lusebehandlingsmetoder eller teknologiske endringer som innføring av lukkede anlegg. For en scenarioanalyse trenger vi en modell for miljøindikatoren som inkluderer de styrte variablene vi setter opp scenarioer for, og tilfeldig årlig variasjon som for eksempel kan skyldes naturlige temperatursvingninger. Fra en slik modell kan vi så generere mange simuleringer for et gitt scenario, og produsere prediksjonsintervall for miljøindikatoren. Scenarioanalyser kan for eksempel også

brukes til å undersøke hvor mye biomassen må reduseres for at miljøindikatoren skal komme under et gitt nivå med en viss sannsynlighet. Slike scenarioer kan dermed brukes til å lage fremtidige risikoprofiler for de valgene som gjøres.

Slike scenario-simuleringer vil være arbeidskrevende å sette opp og vil ikke kunne gjøres for alle år og områder, men vil kunne brukes til å sette opp «tommelfingerregler» for situasjoner som jevnlig må oppdateres gitt store strukturendringer i oppdrettsnæringen. Eksempelvis, vil innfasing av lukkede anlegg, «storsmoltproduksjon», eller nye lusemidler være slike store strukturendringer som må vurderes når man ser på hva type utfall forvaltningsvalg tar.

Vi presiserer her at det finnes flere modeller som kan brukes i en slik scenarioanalyse. Vi velger, med overlegg, å ikke eksemplifisere dette med en konkret modell ettersom det er fordeler og ulemper med bruk av forskjellig modellverktøy. Det som er viktig å presisere er derimot at for at en slik scenarioanalyse skal ha noen funksjon må usikkerheten i prediksjonen fra modellen kunne presenteres på en god og transparent måte, slik at de prediksjonsintervallene som brukes i scenarioene korrekt reflekterer denne usikkerheten.



## 3 Vurdering av hvilke faktorer som kan påvirke lakselusindusert dødelighet

Et av mandatene til gruppen er å «vurdere hvilke datasett eller sammensetning av datasett som gir best beskrivelse av utviklingen i lakselusindusert villfiskdødelighet innen produksjonsområdene» og samtidig vurdere deres begrensninger og tilgjengelighet. Det påpekes at gruppen skal vurdere om disse kan brukes til en «trendanalyse», men gitt konklusjonen fra diskusjonen over anser vi dette spørsmålet som besvart. Det er derimot relevant å vurdere om de forskjellige variablene kan ansees å bidra til mellomårsvariasjoner i lakselusindusert villfiskdødelighet, og om de er styrte eller tilfeldige variabler. Noe av dette blir repetisjon av argumentasjonene i kapittel 1 og 2, men vi beskriver her i mer detalj vår argumentasjon rundt dette.

### Abiotiske forhold i sjøen

#### *Beskrivelse*

Abiotiske forhold i sjøen inkluderer alle ikke-levende komponenter. For anadrom fisk og lakselus antar man at vanntemperatur, saltholdighet og havstrømmer (styrke og retning) har stor innvirkning på vekst, utvikling og utbredelse. Andre abiotiske forhold, som f.eks. sollys, pH og sedimenter i vannmassene, har minimal påvirkning på lakselus og laksesmolt under normale forhold.

Temperaturen i havet påvirker eggproduksjon og utviklingshastigheten til lakselus, som er en hoppekreps med åtte livsstadier (Hamre et al. 2013). Høyere temperatur vil gi raskere utvikling og dermed en kortere periode i hvert av disse stadiene i våre farvann der temperaturen normalt sett er under 20 grader i overflaten (Stien et al. 2005). Saltholdighet i havet påvirker i liten grad utvandrende laksesmolt direkte, men lakselus unnviker vann med lav saltholdighet og vil da oppholde seg dypere når overflatelaget har et ferskvannslag (Crosbie et al. 2019). Da blir det mindre overlapp mellom laksesmolt og lakselus siden førstnevnte svømmer nært overflaten mesteparten av tiden. Havstrømmer påvirker både horisontal og vertikal spredning og dermed utbredelsen til lakseluskopepoditter på jakt etter en ny vert, og postsmoltens vandringsmønster og hastighet. Mellomårlig- eller sesongvariasjon i abiotiske forhold bidrar til økt eller redusert lusesmittepress for den utvandrende post-smolten, og vil derfor påvirke ekspertgruppens vurderinger innenfor et produksjonsområde. En god forståelse av hvordan de abiotiske forholdene har vært innenfor hvert produksjonsområde kan bidra til økt forståelse av oppdrettsnæringens påvirkning på villfiskindusert dødelighet og føre til en mer presis vurdering for hvert produksjonsområde.

#### *Forutsetninger og begrensninger*

Havforskningsinstituttet gjør normalt regelmessige oseanografiske målinger på sine tokt. Oseanografiske målinger gjøres oftest med en CTD-sonde som måler saltholdighet, temperatur og dyp. Disse målingene er svært presise, men gir kun et øyeblikksbilde av tilstanden på et punkt. Overflatelaget i kystfarvann varierer mye både i tid og rom da lokale vindforhold vil kunne gi en rask omrøring av vannlaget. Elveavrenning bidrar til raske lokale forskjeller i overflatens temperatur og saltholdighet. Dette gjør at oseanografiske målinger av overflatevann ikke nødvendigvis er representativt for et større område eller tidsperiode. I tillegg er antallet oseanografiske målinger innenfor fjordlinjene svært begrenset i tid og rom. Geografisk og temporær fordeling av disse målingene varierer mellom år. Det er også fjorder med

utvandrende vill post-smolt som normalt sett ikke vil ha årlige oseanografiske målinger fra vår- eller sommerperioden. Havforskningsinstituttet drifter også 8 faste geografiske stasjoner langs Norskekysten fra Lista i sør til Nordkapp i nord. Her gjøres det oseanografiske målinger 1-2 ganger i måneden. Det antas at disse målingene, som er i ytre kyststrøk, i mindre grad kan gjenspeile forholdene inne i fjordsystemene. Det begrensede antallet oseanografiske målinger i kyststrøk og de store romlige og temporære forskjellene i vannmasser gjør at de oseanografiske målingene ikke gir en god oversikt over de samlede abiotiske forholdene innenfor hvert produksjonsområde.

Et alternativ til oseanografiske målinger er å bruke resultater fra modellkjøringer. For trafikklyssystemet har man hatt en årlig vurdering av de abiotiske forhold per produksjonsområdene med kjøringer fra den hydrodynamiske modellen Norkyst800 (f.eks. Albretsen og Asplin, 2019). Fordelen med å bruke slike modellresultater er en komplett oppløsning i tid og rom. Dette er særlig viktig når det er store endringer i tid og rom, slik det typisk er langs Norskekysten om våren og tidlig på sommeren. Svakheten med å benytte modellerte felt er usikkerheten knyttet til modellens treffsikkerhet. Norkyst800 har blitt validert mot observasjoner og modellen gjensker generelt sett godt både temperatur, saltholdighet og havstrømmer (Dalsøren mfl. 2020, Asplin mfl. 2020). Den årlige trafikklysvurderingen har tatt for seg sjøtemperatur, mengde ferskvannsavrenning og styrken på brakkvannslaget fra modellerte felt fra Norkyst800, og dette fungerer som støtteinformasjon i tilfeller der vurderingen for et produksjonsområde er usikker. Et nyere arbeid av Myksvoll mfl. (2020), basert på resultater fra Nordkyst800, viser at mellomårlig variasjon i abiotiske forhold har større innvirkning på lusepåslaget enn en endring i biomassen av oppdrettslaks på 6 %. Modellerte Norkyst800-felt av saltholdighet er inkludert i analysen av årsakene til mellomårlig variasjon i lakselusindusert dødelighet presentert i denne rapporten.

## *Konklusjon*

Abiotisk forhold er tilfeldige variabler som kan ha stor innvirkning på mellomårsvariasjonen i luseindusert villfiskdødelighet. Denne variasjonen går inn som en naturlig del av vurderinger av lakselusindusert villfiskdødelighet ettersom variablene er integrert i modellproduktene og det hvert år gjøres en vurdering om det er unaturlig avvik i disse variablene. I teorien kan man se for seg at det er tidstrender som vil være stasjonære på grunn av klimaendring, men på den tidsskalaen trafikklyssystemet skal forvalte er slike trender små i forhold til den tilfeldige variasjonen.

## Lusetellinger i oppdrett

### *Beskrivelse*

Krav til gjennomføring og rapportering av lusetellinger er beskrevet i Forskrift om bekjempelse av lakselus i akvakulturanlegg<sup>2</sup>. Rapporteringen skal gjennomføres for hver uke i løpet av påfølgende tirsdag. Variablene som skal rapporteres er sjøtemperatur, eventuelle behandlinger mot lakselus, inkludert virkestoffer og mengde, resultater av følsomhetsundersøkelser, mistanke om resistens og gjennomsnittlig antall voksne hunnlus, samt bevegelige og fastsittende stadier fra tilfeldig utvalgt fisk fra hver produksjonsenhet på lokaliteten. Kravet til antall fisk som skal telles i hver produksjonsenhet er i største delen av året 10 fisk, men er økt til 20 i forbindelse med perioden hvor lusegrense er på 0,2 voksne hunnlus. Perioden med lusegrense på 0,2 voksne hunnlus varierer med geografisk plassering.

---

<sup>2</sup> <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2012-12-05-1140>

## *Forutsetninger og begrensninger*

Resultatene av lusetellingene vil alltid være et estimat da det er et relativt lite antall fisk per telling og det er vanskelig å sikre et representativt utvalg. Det er vist at lusene ikke er jevnt fordelt på fiskene i merden, men at lusene klumper seg sammen på noen fisk (Treasurer & Pope, 2000) . I tillegg til det relativt lave antallet fisk som undersøkes fra hver merd, så er det flere andre mulige kilder til usikkerhet. Dette kan være menneskelige faktorer (kunnskap, dagsform, syn etc), teknologi (lys, fangstmetode osv) og andre (som dårlig vær).

Noen undersøkelser viser også at fiskene mister lus ved å stå trengt i håven/nota, trolig ved mekanisk fjerning av lus (interne undersøkelser, Marine Harvest), mens en annen studie ikke klarte å gjenskape denne effekten (Berntsen et al., 2018). Det er mulig at slike effekter vil være mer vesentlige ved høye lusetall enn ved lave. I perioder hvor anlegget nærmer seg tiltaksgrensen er det også en del oppdrettere som øker tellingene, enten ved å telle flere fisk eller ved å telle flere ganger per uke. Et nytt studium viser at det er fordelaktig å øke antall fisk framfor å øke antall tellinger per uke, spesielt ved lave lusegrenser (Jeong et al., 2021).

Det er ikke krav om å rapportere lusetall de siste 14 dagene før slakt, dette kan medføre et sprik i innrapporterte tall og det faktiske smittepresset i et område da lusetallene generelt øker med tid i sjø. Det rapporteres heller ikke om lusetall på fisk som settes i ventemerder utenfor slakterier, disse kan også medføre et uregistrert lokalt økt smittepress. Faktorer som dette vil også, kunne medføre støy (variasjon uten en beskrevet kilde) i dataene.

## *Konklusjon*

Antall lus på oppdrettsfisk er en viktig parameter i trafikklyssystemet og for forvaltningen generelt. Denne variabelen har i utgangspunktet en tilfeldig komponent (varierende miljøforhold), men vil også i hovedsak være styrt ved bruk av blant annet lusegrenser og reguleringer. Denne variabelen er også en del av vurderingene ved at den er en av de viktigste variablene i kildeleddet (utslipp av lus fra oppdrettsanlegg) i modellene som brukes i trafikklysvurderingene.

## Antall/biomasse oppdrettslaks

### *Beskrivelse*

Oppdrettsintensiteten styres gjennom fordeling av tillatelser. Hver tillatelse er tilknyttet en lokalitet, og har en maksimal tillatt biomasse (MTB) som kan befinne seg ved lokaliteten til enhver tid. MTB styres på to nivåer: 1) Gjennom tillatelser/konsesjoner for produksjon av laks eller ørret som forutsetter å være knyttet til en eller flere lokaliteter. 2) På lokalitetsnivå er det også en grense for MTB, satt for å kontrollere lokal påvirkning av produksjonen. Tillatelsene er knyttet til et enkelt produksjonsområde, men det er tillatt å flytte kapasitet over til lokaliteter i tilstøtende produksjonsområder, hvis de tilhører samme selskap. Denne fleksibiliteten fører til et misforhold mellom total MTB knyttet til et produksjonsområde og biomassen som faktisk produseres der, og begrenser derfor forvaltningens handlingsrom i forbindelse med trafikklyssystemet.

Lakselus har eksponentiell populasjonsvekst. I praksis betyr dette at naturlige svingninger i de tilfeldige variablene (temperatur og salinitet), vil få større effekt på lusetetthet per areal ved høy biomasse enn ved lav. Dette gjelder også ved små endringer i effekt av tiltak mot lakselus i oppdrettsnæringen (historisk sett

med resistensutvikling). I sum betyr dette at risikoen for høy lakselusindusert villfiskdødelighet øker med biomasse og vertstetthet.

### *Forutsetninger og begrensninger*

Akvakulturdriftsforordningen krever at oppdretter rapporterer antall fisk og fiskens gjennomsnittsvekt til fiskeridirektoratet hver måned. Stående biomasse og antall kan variere mellom disse rapporteringstidspunktene på grunn av eventuell utslakting eller dødelighet, og estimatet av stående biomasse på et gitt tidspunkt er derfor heftet med usikkerhet. Ettersom smoltutvandringsperioden foregår over en relativ kort periode (under 2 måneder), er estimatet i praksis basert på et fåtall rapporteringstidspunkter. I tillegg kommer usikkerhet knyttet til tellefeil i antall fisk, usikkerhet knyttet til veieprøver og modeller for snittvekt som samlet utgjør usikkerheten i biomasse estimatene.

### *Konklusjon*

Biomasse eller antall oppdrettslaks er blant de viktigste målepunktene i kildeleddet, og er i praksis en helt styrt variabel, men med noe usikkerhet rundt på grunn av faktorer som dødelighet og tellefeil. Denne variabelen tas inn i vurderingene i trafikklyssystemet ved at den er hovedkomponenten i kildeleddet som er startpunktet for modellene. Det er også denne variabelen som man ønsker å påvirke ved å redusere tillatt biomasse i produksjonsområdene, selv om det er en komplisert kobling mellom tillatt biomasse og stående biomasse på grunn av fleksibilitet i hvordan biomassetaket utnyttes.

## Produksjonssyklus og anleggsstruktur

### *Beskrivelse*

Et element som varierer over tid er i hvilken fase oppdrettsanleggene er i produksjonssyklusen. Produksjonen av oppdrettslaks strekker seg over mer enn et kalenderår. Samtidig er produksjonen koordinert i større eller mindre soner, med felles utsett og brakkleggingsperiode. Dette fører til en dynamikk innad i de forskjellige produksjonsområdene som vil påvirke hvordan smittepresset vil være når laksesmolt vandrer ut om våren. Det er for eksempel vist i flere studier at smittepresset er høyere andre året i sjø (Penston et al. 2008), noe som også er blitt brukt til å vise sammenheng mellom smitte fra oppdrett og lus på villfisk (Vollset et al. 2018). Årsaken til denne dynamikken er trolig at smittepresset akkumuleres over tid på de mottakelige vertene, og populasjonsveksten avbrytes ved utslakting og brakklegging. Dette fører til mellomårsvariasjon i smittepress basert på sonestruktur innad i PO'ene, men kan også bidra til mellomårsvariasjon i PO'ene, alt etter hvilke utsett år som er dominerende i hvert av PO'ene. Anomalikart (fig 57) i rapporten fra ekspertgruppen 2020 illustrerer godt hvordan produksjonssyklus kan påvirke lusetetthet innenfor et PO.

### *Forutsetninger og begrensninger*

Informasjon om produksjonssykluser, og når anlegg er i forskjellige faser av produksjon, er enkelt tilgjengelig. Det er noe usikkerhet forbundet med når forskjellige oppdrettsanlegg starter sitt smoltutsett og fleksibilitet i disse strategiene vil kunne gi usikkerhet i en eventuell vurdering av denne type informasjon.

### *Konklusjon*

Produksjonssyklus og anleggsstruktur er en styrt variabel som påvirker smittepressdynamikken både i tid og rom, og kan dermed påvirke mellomårsvariasjonen til lakselusindusert villfiskdødelighet. Her er det

viktig å påpeke at slik produksjonen fra oppdrett fungerer nå strekker produksjonssyklusen seg over to år. Derfor kan det være direkte feil å vurdere utvikling i miljøeffekter fra oppdrett fra et år til et annet. Vurdering av effekt av tiltakene må strekke seg lengre enn en produksjonssyklus. Samtidig kan slike strukturer endre seg over tid hvis for eksempel en større del av oppdrettsaktiviteten etablerer alternative produksjonssykluser, for eksempel med kortere produksjon i åpen sjø.

## Bestandssituasjon for laks og sjøørret

### *Beskrivelse*

Det er naturlig å sammenligne bestandssituasjonen for laks og sjøørret over tid med estimerer på lakselusindusert dødelighet. Det er bestandene av villaks og sjøørret man ønsker å sikre med lakselusindusert dødelighet på villfisk som miljøindikator. Status for norske laks- og sjøørretbestander presenteres i årlige rapporter fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning VRL ([www.vitenskapsradet.no](http://www.vitenskapsradet.no)). Her oppsummeres og vurderes oppnåelse av gytebestandsmål og høstbart overskudd for over 400 lakseelver, mens det utvikles lignende statusvurderinger av sjøørret for enda flere vassdrag. I tillegg gjøres det jevnlig vurderinger av en andel av disse bestandene i forhold til Kvalitetsnormen for Villaks (Anon. 2017) som også vurderer elementer som genetisk integritet, og til slutt vurderer årsaker til at bestandene ikke fyller kvalitetsnormen. I noen av disse rapportene er det også gjort en statistisk analyse av om lusepåvirkning fra oppdrett (estimert basert på virtuelle smolt-modeller fra VI og HI) kan forklare variasjonen i innsiget av laks mellom elver. Denne modelleringsøvelsen er gjennomført i 2018 og 2019 og konkluderer med at lakselus kan forklare en signifikant del av variasjonen i høstbart overskudd mellom elver.

### *Forutsetninger og begrensninger*

Data på gytebestand av laks og sjøørret er i mange vassdrag mangelfulle og er i stor grad basert på fangststatistikk som har åpenbare begrensninger. Det er den senere tid blitt brukt mye ressurser på å forbedre datainnsamlingen på gytebestand, blant annet ved å etablere et nasjonalt program for gytefisktelling (mer om programmet på [bestand.nina.no](http://bestand.nina.no)), og en generell forbedring av overvåkning av bestandsstatus i Norge. Dette gjøres i mange vassdrag med bruk av snorkling og visuell telling (Skoglund et al. 2021), men også ved bruk av fiskefeller, video eller automatiserte tellere ([bestand.nina.no](http://bestand.nina.no)). De forskjellige metodene (inkludert bruk av fangststatistikk) har mange forskjellige potensielle feilkilder som ikke beskrives her. VRL gjør årlige vurderinger av disse dataene og vurderer oppnåelse av gytebestandsmål.

For å kunne vurdere dødelighet på smoltstadiet må man gjøre noen antagelser om når laksesmolten har vandret ut, og hvor mange smolt som har vandret ut, fra de forskjellige elvene. Det vil være en stor naturlig variasjon i smoltantall, men forutsetningene til modelleringen er at forventet antall smolt som går ut fra en elv er det samme hvert år, gitt at elven er fullrekruttert.

### *Konklusjon*

Bestandssituasjonen for laks og sjøørret må tas hensyn til i et forvaltningssystem som prøver å kontrollere effekten av lakselus på villfisk. Vår vurdering er at dette bør inkluderes i totalvurderingen ved bruk av lakselusindusert dødelighet som miljøindikator. Vår konklusjon er derfor at det med jevne mellomrom bør undersøkes om variasjonen i estimert lakselusindusert villfiskdødelighet samfaller med variasjon i bestandsstatus. I tillegg påpeker vi at det vil være naturlig å legge vekt på om bestandssituasjonen for de ville bestandene av laks og sjøørret er i en dårlig forfatning når man fatter vedtak om effekten på disse bestandene fra lakselus er akseptable eller ikke. En slik vurdering bør integreres med annen

miljøforvaltning som har til hensikt å beskytte villaks og sjørret (for eksempel villaksnormen og naturmangfoldloven).

## 4 Hvilke faktorer forklarer variasjonen i lakselusindusert villfiskdødelighet?

### *Innledning*

Innledningsvis tolker vi mandatet vi har fått til å besvare det forenklete spørsmålet: *Hvor stor del av variasjonen i lakselusindusert villfiskdødelighet kan beskrives av utslipp av lus fra oppdrett og hvor stor del kan forklares av miljø og tilfeldigheter?* Vi diskuterer videre hvorfor trendanalyser er et uegnet verktøy for å forstå tidsserier i ekspertgruppevurderingene i trafikklssystemet, og for å handle på bakgrunn av dem. Variasjon i tidsseriene håndteres etter vår mening best gjennom en god forståelse av hvorfor lakselusindusert dødelighet i produksjonsområdene varierer mellom år, og hvordan denne variasjonen drives av endringer i styrte og tilfeldige variabler.

I den grad en gitt påvirkning fra lus skyldes styrte variabler, så kan det gjøres forvaltningsgrep, for eksempel ved å redusere biomasse. Når det gjelder effekter fra tilfeldige variabler, må forvaltningen bestemme seg for hvilke tilfeldige utslag som er akseptable. Luseindusert villfiskdødelighet i ett år er summen av de styrte og de tilfeldige variablene, og man kan eksempelvis redusere toppene i villfiskdødelighet ved å regulere ned biomassen i et produksjonsområde. Ved lavere biomasse vil dødeligheten som forårsakes av lus variere rundt et lavere gjennomsnitt. Slike grep vil gjøre uakseptabelt høye påvirkninger mindre sannsynlig.

Relevante spørsmål for vedtak i trafikklssystemet på bakgrunn av en tidsserie, er derfor 1) om ekspertgruppens kategorisering for et produksjonsområde er innenfor forventet variasjon, og 2) hvor store utslag man kan akseptere i enkelte år som følge av tilfeldige variabler, før trafikklset bør endres.

Etter 6 år med vurderinger fra 13 produksjonsområder kan vi estimere sannsynlighet for de tre kategoriene som bestemmes av ekspertgruppen som en funksjon av biomasse, antall fisk eller luseutslipp, ved hjelp av statistiske modeller. Variasjon som ikke forklares av disse variablene, må anses som tilfeldig variasjon som det er vanskelig å påvirke. Når vi presenterer et eksempel på en slik analyse nedenfor, er hensikten å illustrere i hvilken grad man faktisk kan kontrollere lakselusindusert villfiskdødelighet ved å regulere de styrte variablene, og hvilken grad av variasjon man må akseptere.

Vi har dessverre ikke nok data til å gjøre slike beregninger for de enkelte produksjonsområdene. Det er imidlertid grunn til å tro at produksjonsområdene har ulike tålegrenser for luseutslipp (og dermed også for produksjonsbiomasse). Modellene og figurene som presenteres nedenfor gir derfor ikke universelle svar på hvor mye biomasse man kan ha i de enkelte produksjonsområdene, men illustrerer hvordan man kan forvente at variasjonen i lakselusindusert villfiskdødelighet vil kunne variere både som en konsekvens av de styrte variablene (altså luseutslipp) og tilfeldige miljøvariabler.

### *Metode*

I denne rapporten benyttes to typer analyser, lineære regresjonsanalyser for sammenhengen mellom to kontinuerlige variabler, og multinomiske regresjonsanalyser (Croissant 2020) for hvordan dødelighetskategoriene kan forklares av andre variabler.

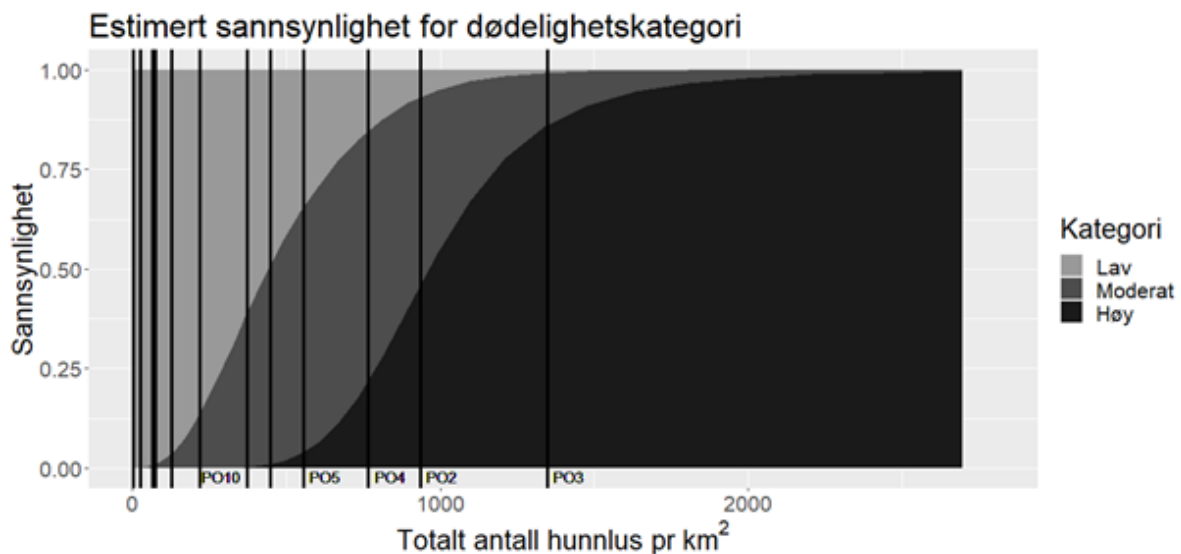
Utgangspunktet for de multinomiske analysene er at et produksjonsområde må havne i en av de tre dødelighetskategoriene, og at sannsynlighetene for å havne i lav (p1), moderat (p2) eller høy (p3) kategori avhenger av forklaringsvariablene. Hver av sannsynlighetene må ligge mellom 0 og 1 og summen av de tre

må alltid være 1, fordi trafikklssystemet er definert slik at produksjonsområdene må havne i en av de tre kategoriene.

Resultatene fra de multinomiske analysene presenteres grafisk i figurer der de tre sannsynlighetene illustreres med de respektive kategoriene (lav, moderat og høy dødelighet). Y-aksen angir sannsynlighet, mens x-aksen angir endringer i en forklaringsvariabel, og området som dekkes av en farge illustrerer hvordan sannsynlighet for kategoriene endrer seg med endringer langs x-aksen. En viktig parameter i statistiske analyser er hvor stor andel av variasjonen i dataene som blir forklart av modellen. I multinomiske analyser er det vanlig å bruke et mål som kalles McFadden  $R^2$ . McFadden  $R^2$  er et tall mellom 0 og 1, der 0 indikerer at ingen variasjon forklares av variabelen, mens 1 betyr at all variasjon i dødelighetskategori styres av forklaringsvariabelen. McFadden  $R^2$  kan underestimere forklaringskraften noe.

## Resultater

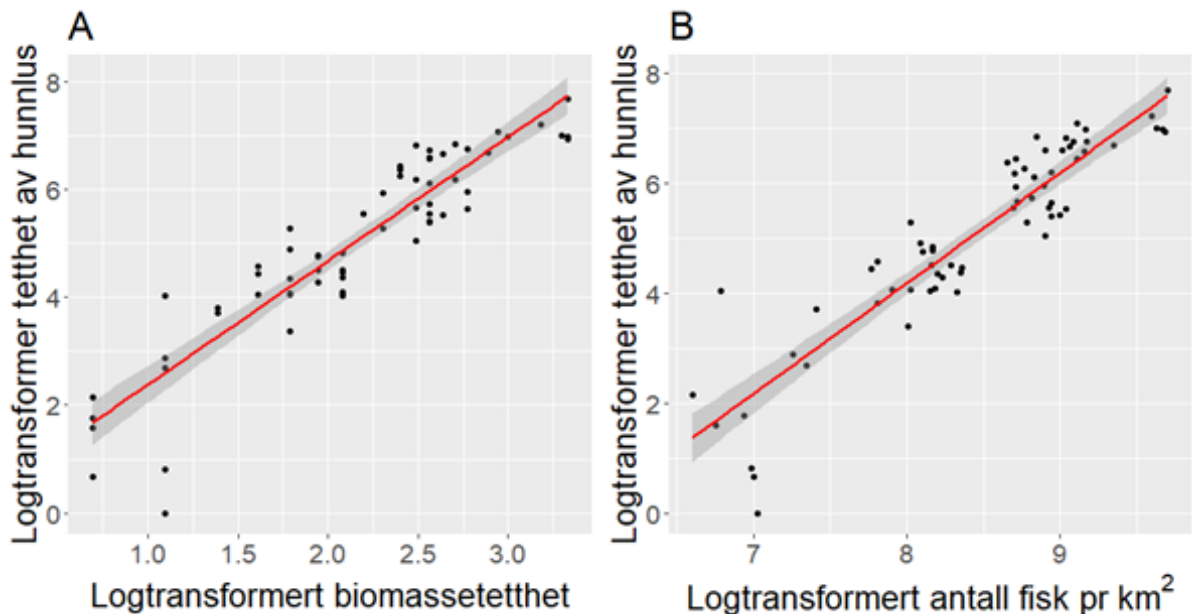
Analysene viser at den parameteren som forklarer mest variasjon i dødelighetskategorier i produksjonsområdene hvert år er tetthet av reproduktive lakselushunner, målt i antall pr  $\text{km}^2$ . Tetthet av reproduktive lakselushunner har en god forklaringskraft, med en McFadden  $R^2$  på 0,55 som antyder at tetthet av reproduktive hunnlus forklarer 55% av variasjonen i kategori av lakselusindusert villfiskdødelighet (figur 1). Fordeling av sannsynlighet for å komme i de forskjellige dødelighetskategoriene ved en gitt lusetetthet kan leses ved å trekke en vertikal linje gjennom grafen som krysser x-aksen ved gitte lusetettheter. Vi har illustrert dette i figur 1 ved å trekke noen slike linjer gjennom grafen som korresponderer med gjennomsnittlige lusetettheter for de ulike produksjonsområdene. Fargen på de skraverete områdene som dekkes av den vertikale linja illustrerer sannsynlighetsfordelingen.



**Figur 1** Fordeling av sannsynlighet for de ulike dødelighetskategoriene ved endring i tetthet av voksne hunnlus, målt som antall hunnlus per  $\text{km}^2$  i perioden for smoltutvandring. Vertikale streker viser gjennomsnittsverdier for lusetetthet i hvert produksjonsområde (PO), der PO 3 har høyest verdi (lengst til høyre i figuren), etterfulgt i synkende rekkefølge av PO 2, PO 4, PO 5, PO 6, PO 7, PO 10, PO 8, PO 11, PO 12, PO 9, PO 1 og til slutt PO 13. Utvalgte produksjonsområder er markert med en etikett lengst til høyre nederst i grafen.

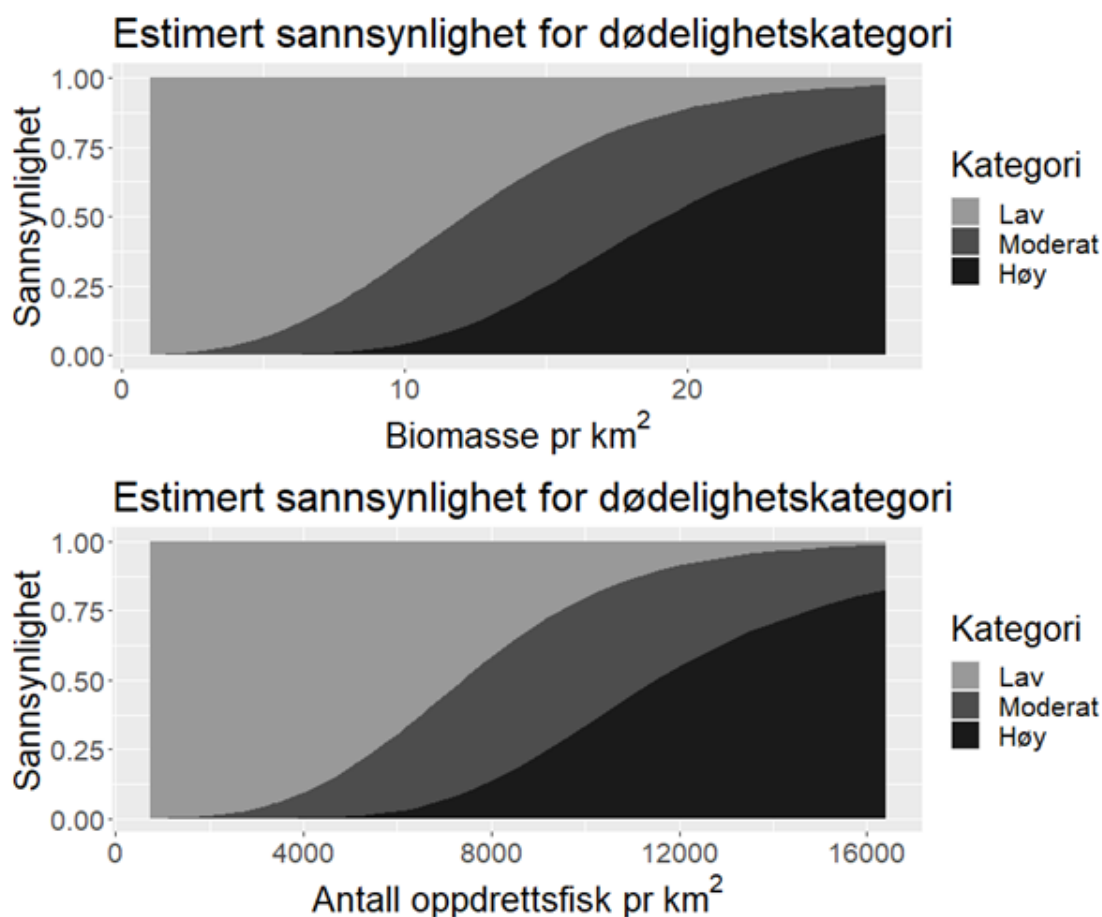


Tetthet av reproduktive hunnlus er til en viss grad en parameter som kan styres gjennom endringer i medikamentelle og ikke-medikamentelle behandlinger, kontinuerlige behandlinger som rensefisk og laser, forebyggende tiltak som for eksempel skjørt, samt restriksjoner på antall fisk og biomasse. Log-lineære regresjoner (figur 2 A og B) viser at både biomassetetthet og antall fisk pr areal gir en  $R^2$  på 0.84, og disse variablene forklarer dermed 84% av variasjonen i tettheten av voksne hunnlus. I disse analysene ble tetthet av hunnlus, fisk pr  $\text{km}^2$  og biomasse log-transformert med naturlig logaritme for å møte forutsetningene til en lineær regresjon.



**Figur 2** Lineære regresjoner som viser forholdet mellom biomassetetthet (A) eller antall fisk pr  $\text{km}^2$  (B) og tetthet av hunnlus. Alle variabler er transformert med naturlig logaritme.

Analysene som presenteres i figur 2 illustrerer at de forvaltningsgrepene som gir størst mulighet til å kontrollere lakselusindusert villfiskdødelighet, ligger i regulering av oppdrettsintensiteten i produksjonsområdene. Multinomiske analyser viser at omtrent 34% av variasjonen i trafikklyskategori blir forklart av biomasse eller antall fisk pr  $\text{km}^2$ , og fordeling av sannsynligheter for dødelighetskategoriene illustreres av grafene i figur 3.



**Figur 3** Fordeling av sannsynlighet for de ulike trafikklusene ved endring i tetthet av biomasse eller antall fisk pr km<sup>2</sup>, i perioden for smoltutvandring.

## Diskusjon

Analysene som presenteres i figur 1 viser at et lavt antall hunnlus i et produksjonsområde gir stor sannsynlighet for at produksjonsområdet kategoriseres med lav dødelighet. Ved høye lusetettheter øker sannsynligheten for at produksjonsområdet kategoriseres med høy dødelighet. I det midtre området på grafen er det større usikkerhet i utfallet, og variasjon i miljøforhold og andre faktorer, samt usikkerhet i underliggende estimer, vil være mer styrende for hvilken kategori produksjonsområdet settes i. I dette området forventes det at dødelighetskategoriene kan variere mellom år selv om det totale antall hunnlus på oppdrettsfisk i området forblir den samme. Resultatene viser dermed klare begrensninger i hvor mye man faktisk kan kontrollere lakselusindusert villfiskdødelighet, selv om man kunne bestemme eksakt hvilken tetthet reproduserende hunner man har i et produksjonsområde.

Antall hunnlus i et produksjonsområde er avhengig av gjennomsnittlige lusetall, slik det defineres i luseforskriften (FOR-2012-12-05-1140), og antall fisk. Videre er det vist at antallet lus øker gjennom produksjonsforløpet (Penston mfl. 2008, Vollset mfl. 2018), som gir en økning i antall lakselus ved høyere biomasse (Jansen mfl., 2012). Våre analyser viser også at både produksjonsbiomasse og antall fisk er sterke drivere bak antall lakselus i produksjonsområdene. Oppdrettsintensivitet i form av

produksjonsbiomasse og antall fisk i produksjonsområdene er styrte variabler. Sammenhengen mellom antall lus og oppdrettsintensivitet gir derfor forvaltningen et betydelig handlingsrom.

Analysene som presenteres i figur 3 viser betydelig rom for å justere dødelighetskategori ved å justere biomasse, eller antall fisk i produksjonsområdene. På den andre siden ser vi at selv om det er dominerende sannsynlighet for å komme i høy eller lav dødelighetskategori ved lav eller høy oppdrettstetthet, så elimineres ikke sannsynligheten for at produksjonsområdet skifter kategori noen år. Det er imidlertid verdt å merke seg at de forskjellige produksjonsområdene sannsynligvis har forskjellig sammenheng mellom luseutslipp og sannsynlighet for å havne i de tre kategoriene, blant annet på grunn av ulike lengder på utvandningsruter i de ulike produksjonsområdene (Kristoffersen et al., 2018), og modellene tar ikke høyde for dette. Elver med utløp innerst i lange fjorder gir den utvandrende laksesmolten lengre oppholdstid i oppdrettstette farvann, og dermed større smittepåvirkning enn tilsvarende for elver med kortere vei til åpent hav. PO3 og PO4 har flere lange fjorder, og har dermed en større sannsynlighet for å havne i en høyere kategori enn for eksempel PO2. Dette gjenspeiles også i figur 1, der vi ser at antall luselarver som produseres i PO2 er høyere enn i PO4, mens vi vet at PO4 ofte kategoriseres med høy dødelighet, og PO2 ofte kategoriseres som å ha lavere dødelighet. Miljøvariabler som saltholdighet, sjøtemperatur og strømforhold kan også gi lokale effekter som gjør at man kan forvente at en viss mengde lus sluppet ut i et produksjonsområde gir ulik dødelighetskategori og variasjonen i et annet produksjonsområde. Dette kan eksemplifiseres ved at en temperaturøkning på 1°C ikke vil påvirke luseindusert dødelighet likt i Finnmark (normalt 9-12°C om sommeren) og i Ryfylke (normalt 16-17°C om sommeren). Videre vil den lokale laksens biologi, fjordtopografi og lokale strømforhold kun skape lokale forhold som gjør laks mer eller mindre påvirket. Samtidig er årsakssammenhengene mellom miljø (tilfeldige variabler), utslipp av lus og påvirkning på villfisk er i stor grad inkludert i modellverktøyene som inngår i selve trafikklysvurderingen, selv om sammenhengene til en viss grad blir skjult av modellenes kompleksitet. Sensitivitetsanalysene i figur 11 i Kristoffersen mfl. (2018) gir imidlertid en oversikt over hvordan forskjellige tidspunkt for smoltens utvandring kan gi stor variasjon i luseindusert dødelighet i den virtuelle post-smolt modellen til Veterinærinstituttet, og figur 12 i samme artikkel illustrerer hvordan sesongvariasjon i produksjon av luselarver relativt til smoltens utvandningsperiode er avgjørende for den faktiske lusebelastningen. På like måte viser figur 6 og S3 i Johnsen et al. (2021) en sensitivitetsanalyse for Havforskningsinstituttet sin virtuelle post-smolt modell som indikerer hvordan dødelighetsgrenser og utvandringstidspunkt kan føre til store variasjoner i dødelighet gitt den samme lusedynamikken. Det foreligger også andre usikkerheter i kunnskapsgrunnlaget, som kommer til syne når vi sammenholder observerte lusepåslag og modellestimater.

Det er også verd å merke seg at det meste av variasjonen i oppdrettsintensitet i datasettet vi har brukt til denne analysen reflekterer ikke endringer mellom år, men forskjeller mellom produksjonsområder. Tolkningen av resultatene er derfor i stor grad basert på en forutsetning om at effekten av å endre oppdrettsintensitet fra ett år til et annet gir samme, eller liknende effekt som vi observerer mellom produksjonsområder. Man bør derfor ha i mente at effekten av å redusere oppdrettsintensiteten vil kunne være forskjellig i de forskjellige produksjonsområdene.

### *Konklusjon og relevans for forvaltning*

Analysene over viser at hoveddriveren i *ekspertgruppens kategorisering* er antall hunnlus per areal i hvert produksjonsområde. Den faktoren som i størst grad styrer tettheten av hunnlus i produksjonsområdene er oppdrettsintensitet, og dette gir forvaltningen et handlingsrom for å redusere effekten på

lakselusindusert villfiskdødelighet. Samtidig er treffsikkerheten begrenset. Man må forvente at kategoriene skifter mellom år, spesielt i områder der oppdrettsintensiteten nærmer seg grensen for hva som er bærekraftig. Når et produksjonsområde skifter kategori kan dette altså skyldes en helt tilfeldig prosess, og rekkefølgen på utfallene blir derfor vilkårlig.

## 5 Konklusjoner

Etter vurderingen av mandatet og analyser har gruppen i felleskap kommet fram til fire konklusjoner og anbefalinger:

- 1. Trendanalyse er ikke et egnet verktøy til å vurdere hvordan utvikling i lakselusindusert villfiskdødelighet vil utvikle seg.** Årsaken er at faktorene som har størst påvirkning på kategoriseringen av et produksjonsområde er styrte variabler, og sammenhengene mellom respons og påvirkningsfaktorer er ikke-stasjonære. Hvor mange oppdrettslaks som står i sjøen (styrt) og hvor mange lus som er på fisken i smoltutvandrings-perioden (delvis styrt og ikke stasjonær – fordi metoder for, og effekt av, lusebekjempelse er i konstant endring), vil sammen med temperatur i stor grad styre hvor stort utslippet av lus er til miljøet. Kategoriseringen vil i tillegg, for et gitt utslipp av lakselus, kunne variere på grunn av tilfeldige variasjon i miljøvariabler. Det er lite sannsynlig at miljøvariablene har stasjonære trender som er på en tidsskala hvor de kan ha en stor påvirkning på kategorisering fra et år til et annet.
- 2. Å ta utvikling fra et år til et annet som indikasjon på positiv eller negativ «trend» er feil.** Årsaken er at det er sterk avhengighet mellom to år i oppdrettsproduksjonen fordi produksjonssyklusen (altså hvor lang tid det tar fra fisk blir satt i sjøen til de blir slaktet), strekker seg over to år. Det er kjent fra flere studier at det er mer lus på fisk i sjø i andre årsproduksjonssyklus og utslippet av lus vil (avhengig av struktur i produksjonsområdet) derfor ha et syklisk mønster hvor det er høyere utslipp av lus i noen områder enn andre i oddetalls- og partallsår. Vektlegges utvikling fra et år til et annet vil man kunne ende opp i en situasjon hvor noen produksjonsområder alltid vil bli ansett som å ha en «positiv» trend og noen alltid en «negativ». *Det anbefales derfor på det sterkeste at en toårig vurdering bør legge like stor vekt på hvert av årene og ikke mer vekt på det siste.*
- 3. Det anbefales å utrede et mål på utslipp av lus når man vurderer påvirkning fra oppdrett.** Analysene i kapittel 4 viser at antall hunnlus per kvadratkilometer forklare en stor del av variasjonen i luseindusert dødelighet i produksjonsområdene. Denne analysen kan ikke føres som bevis på sammenhengen mellom lus og villfisk (ettersom det er en avhengighet mellom variablene), men beskriver at det i stor grad er totalt antall hunnlus på oppdrettsfisk i et område som avgjør hvilken kategori et produksjonsområde vurderes til. Resterende variasjon i kategoriseringen skyldes variasjon i miljø og eventuelle målefeil. Sannsynligheten for å ende i en viss kategori påvirkes altså av hvor mye lus som slippes ut.
- 4. Vi foreslår å integrere utslippstall for lus som tilleggsinformasjon i vurderingen av trafikkløset.** Dette vil si at man etter å ha vurdert kategorisering over to år, også vil vurdere om utslippet av lus har vært høyt og om det er sannsynlig at dette kommer til å endre seg de neste årene per produksjonsområde. Dette krever en avgjørelse for hvilken tidshorisont som skal vurderes. I det avsluttende avsnittet beskriver vi et forslag til handlingsregel/beslutningstre. Vi ønsker å påpeke at dette er kun et forslag som vil kunne ha forskjellige utforminger og bør ytterligere utredes for å vurdere om det vil kunne ha utilsiktede konsekvenser. Den viktigste funksjonen til et beslutningstre er at det skaper transparens i hvordan vurderinger har blitt gjort.

## 6 Forslag til handlingsregel og beslutnings-tre

Resultatene og konklusjonene over peker på et behov for *handlingsregler* for å inkludere vurdering av styrte variabler når man skal ta forvaltningsbeslutninger basert på effekten av lakselusindusert villfiskdødelighet. Forslaget innebærer at man ser både på utslippet av lus og effekten av lakselus over tid når man avgjør fargesettingen av et produksjonsområde, og så sannsynliggjør om utslippet vil gå ned eller opp gitt de avgjørelsene man tar. En slik handlingsregel kan brukes sammen med vurderingen fra ekspertgruppens kategorisering av lakselusindusert villfiskdødelighet til trafikklys.

En handlingsregel bør ha følgende komponenter:

1. *Vurdere om effekten av lakselus på villfisk har vært akseptabel siste periode.*

Det bør utredes for hvor lang periode man skal vurdere utvikling av luseutslipp ettersom analysen i kapittel 4 viste at kategoriseringen av lakselusindusert villfiskdødelighet har en relativ stor komponent av tilfeldig variasjon på grunn av naturlig variasjon i miljø. Et eksempel er å akseptere at et produksjonsområde kommer opp i høyere dødelighetskategori én gang i løpet av en lengre periode uten vedtak om nedtrekk, gitt at de styrte variablene (utslipp av lus) er uendret i perioden. Hvis ekspertgruppens estimater indikerer høy dødelighet to eller flere ganger i løpet av perioden må man eksempelvis vurdere om de styrte variablene tillater *for* stor påvirkning for ofte, og om man bør redusere biomassen. En annen tilnærming er å ikke tillate høy dødelighet noen år. Biomassen må i så tilfelle være så lavt at høy dødelighet i enkelte år, som følge av tilfeldig variasjon, blir usannsynlig. Valg av hva som vil være en akseptabel effekt over tid bør vurderes opp mot andre regelverk som villaksnormen og naturmangfoldloven.

En slik vurdering ivaretar trafikklyssystemets funksjon som *miljøovervåkningsprogram*. Hvis man kun tillater ett avvik fra den generelle tendensen over en gitt periode vil man plukke opp endringer i miljøpåvirkning, og tilpasse systemet deretter. Det er verdt å merke seg at både lengden på perioden og hvor mange avvik man tillater er med på å avgjøre hvor restriktiv handlingsregelen blir. For å ta høyde for påvirkning av villaks over tid, kan en periode tilsvarende laksen generasjonstid være et egnet utgangspunkt

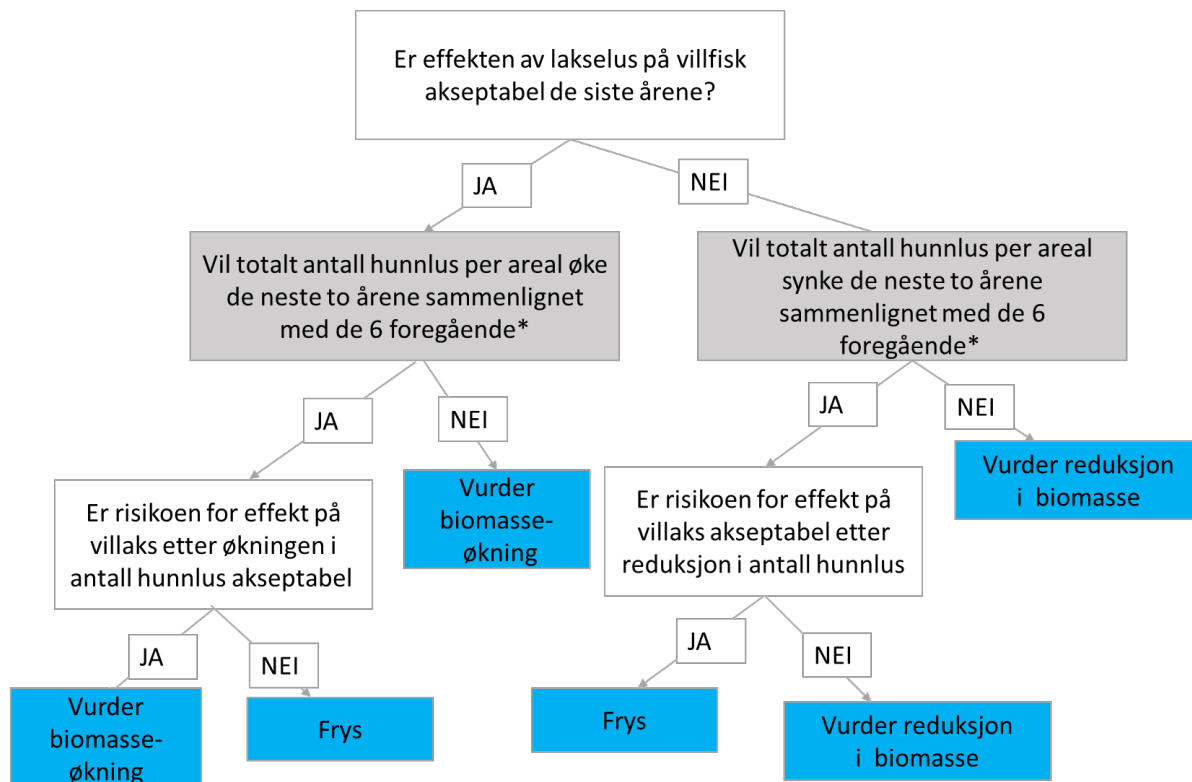
2. *Gjøre en vurdering om antall hunnlus per areal vil øke, synke eller være stabil gitt dagens biomassetillatelse.*

En slik vurdering vil innebære å innhente informasjon om hva slags endringer som kan forventes, for eksempel nye avlusningsmetoder eller vedvarende resistensutvikling.

3. *Gjøre en vurdering om effekten etter øking eller reduksjon av biomasse vil være akseptabel.*

En slik vurdering innebærer å sannsynliggjøre at en økning i biomasse ikke vil føre til en uakseptabel påvirkning på villaks og sjøørret de neste årene. Dette kan for eksempel gjøres med en modell, som beskrevet i denne rapporten (kapittel 4).

I figur 4 har vi illustrert hvordan en beslutningstre vil kun se ut hvor man ville kunne integrere utslippstall fra oppdrett (også omtalt som styrte variabler i denne teksten) med dagens vurderinger i trafikklyssystemet.



\*Vurderes basert på sannsynlig endring i lusebekjempelse og sannsynlig endring i biomasse

**Figur 4** Forslag til beslutningstre som kan brukes for å integrere utslipp av lus. Merk at 6 år er en valgt tidsperiode som må vurderes nøyer.

## Referanser

- Anon. 2017. Klassifisering av 148 laksebestander etter kvalitetsnorm for villaks. Temarapport nr 5, 81 s
- Berntsen, H. H., Sivertsgård, R., Uglem, I., Pettersen, O., Frank, K., Solberg, I., & Finstad, B. (2018). Testing av metodikk for å registrere forekomst av lakselus i oppdrettsanlegg. NINA Rapport 1544. Norsk institutt for naturforskning.
- Croissant Y (2020). "Estimation of Random Utility Models in R: The mlogit Package." *Journal of Statistical Software*, \*95\*(11), 1-41. doi: 10.18637/jss.v095.i11 (URL: <https://doi.org/10.18637/jss.v095.i11>).
- Crosbie, T., Wright, D. W., Oppedal, F., Johnsen, I. A., Samsing, F., & Dempster, T. (2019). Effects of step salinity gradients on salmon lice larvae behaviour and dispersal. *Aquaculture Environment Interactions*, 11, 181-190.
- Fjørtoft, H. B., Nilsen, F., Besnier, F., Stene, A., Tveten, A. K., Bjørn, P. A., ... & Glover, K. A. (2021). Losing the 'arms race': multiresistant salmon lice are dispersed throughout the North Atlantic Ocean. *Royal Society open science*, 8(5), 210265.
- Hamre, L. A., Eichner, C., Caipang, C. M. A., Dalvin, S. T., Bron, J. E., Nilsen, F., ... & Skern-Mauritzen, R. (2013). The salmon louse *Lepeophtheirus salmonis* (Copepoda: Caligidae) life cycle has only two chalimus stages. *PLoS one*, 8(9), e73539.
- Holst, J. C., & McDonald, A. (2000). FISH-LIFT: a device for sampling live fish with trawls. *Fisheries Research*, 48(1), 87-91.
- Jansen PA, Kristoffersen AB, Viljugrein H, Jimenez D, Aldrin M, Stien A. Sea lice as a density-dependent constraint to salmonid farming. *Proc R Soc B Biol Sci*. 2012;279: 2330–2338. doi:10.1098/rspb.2012.0084
- Jeong, J., Stormoen, M., Thakur, K. K., & Revie, C. W. (2021). Imperfect Estimation of *Lepeophtheirus salmonis* Abundance and Its Impact on Salmon Lice Treatment on Atlantic Salmon Farms. *Frontiers in Marine Science*, 8(1514). doi:10.3389/fmars.2021.763206
- Johnsen, I. A., Harvey, A., Sævik, P. N., Sandvik, A. D., Ugedal, O., Ådlandsvik, B., ... & Karlsen, Ø. (2021). Salmon lice-induced mortality of Atlantic salmon during post-smolt migration in Norway. *ICES journal of Marine science*, 78(1), 142-154.
- Myksvoll, M. S., Sandvik, A. D., Asplin, L., & Sundby, S. (2014). Effects of river regulations on fjord dynamics and retention of coastal cod eggs. *ICES Journal of Marine Science*, 71(4), 943-956.
- Otero, J., L'Abée-Lund, J. H., Castro-Santos, T., Leonardsson, K., Storvik, G. O., Jonsson, B., ... & Vøllestad, L. A. (2014). Basin-scale phenology and effects of climate variability on global timing of initial seaward migration of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Global Change Biology*, 20(1), 61-75.
- Penston, M. J., Millar, C. P., Zuur, A., & Davies, I. M. (2008). Spatial and temporal distribution of *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer) larvae in a sea loch containing Atlantic salmon, *Salmo salar* L., farms on the north-west coast of Scotland. *Journal of Fish Diseases*, 31(5), 361-371.
- Sandvik, A. D., Dalvin, S., Skern-Mauritzen, R., & Skogen, M. D. (2021). The effect of a warmer climate on the salmon lice infection pressure from Norwegian aquaculture. *ICES Journal of Marine Science*.
- Stien, A., Bjørn, P. A., Heuch, P. A., & Elston, D. A. (2005). Population dynamics of salmon lice *Lepeophtheirus salmonis* on Atlantic salmon and sea trout. *Marine Ecology Progress Series*, 290, 263-275.



Taranger, G. L., Karlsen, Ø., Bannister, R. J., Glover, K. A., Husa, V., Karlsbakk, E., ... & Svåsand, T. (2015). Risk assessment of the environmental impact of Norwegian Atlantic salmon farming. *ICES Journal of Marine Science*, 72(3), 997-1021.

Treasurer, J. W., & Pope, J. A. (2000). Selection of host sample number and design of a monitoring programme for ectoparasitic sea lice (Copepoda: Caligidae) on farmed Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture*, 187(3), 247-260. doi:[https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00309-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00309-4)

Vollset, K. W. (2019). Parasite induced mortality is context dependent in Atlantic salmon: insights from an individual-based model. *Scientific reports*, 9(1), 1-15.

Vollset, K. W., Qviller, L., Skår, B., Barlaup, B. T., & Dohoo, I. (2018). Parasitic sea louse infestations on wild sea trout: separating the roles of fish farms and temperature. *Parasites & vectors*, 11(1), 1-15.