



Vurdering av tiltak mot lakselus i PO3, for reduksjon av smittepress

Notatnr
Forfattere

SAMBA/11/21

Solveig Engebretsen, NR

Magne Aldrin, NR

Randi Nygaard Grøntvedt, INAQ

Peder Andreas Jansen, INAQ

Ole Anders Nøst, Akvaplan-Niva

Dato

31. mai 2021

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 Kristen Nygaards hus ved Universitetet i Oslo. NR er et av Europas største miljøer innen anvendt statistisk-matematisk modellering og har et senter for forskningsdrevet innovasjon, Big Insight, med finansiering fra Norges forskningsråd, bedrifter og offentlige partnere. Innen statistikk jobbes det med et bredt spekter av problemstillinger, for eksempel finansiell risiko, jordobservasjon, estimering av fiskebestander, helse og beskrivelse av geologien i petroleumsreservoarer. NR er ledende i Norge innen utvalgte deler av informasjons- og kommunikasjonsteknologi. Innen IKT-området har NR innsatsområdene e-inkludering, informasjonssikkerhet og smarte informasjonssystemer.

NRs visjon er forskningsresultater som brukes og synes.

Tittel	Vurdering av tiltak mot lakselus i PO3, for reduksjon av smittepress
Forfattere	Solveig Engebretsen, NR <solveig.engebretsen@nr.no> Magne Aldrin, NR <Magne.Aldrin@nr.no> Randi Nygaard Grøntvedt, INAQ <randi.grontvedt@inaq.no> Peder Andreas Jansen, INAQ <peder.jansen@inaq.no> Ole Anders Nøst, Akvaplan-Niva <ole.anders.nost@akvaplan.niva.no>
Dato	31. mai 2021
Publikasjonsnummer	SAMBA/11/21

Sammendrag

I dette notatet vurderer vi ulike tiltak mot lakselus i produksjonsområde 3, et intensivt produksjonsområde som står i fare for å miste retten til produksjonsvekst, på grunn av høyt smittepress av lakselus. For å kunne vurdere effekter av ulike tiltak, tilpasser vi en eksisterende lusemodell til oppdaterte data. Deretter bruker vi den tilpassede lusemodellen til å simulere lus over tid. Vi undersøker effekten av ulike tiltaksgrenser for behandling, å slå sammen lokaliteter, mer bruk av storsmolt og økt bruk av forebyggende tiltak mot lus. Effekten av å slå sammen lokaliteter sammenliknes med tidligere resultater fra Havforskningsinstituttet og Veterinærinstituttet. Vi undersøker også hvordan lusemodellen kan ta i bruk strømkontakt mellom lokaliteter i stedet for smittekontakt basert på sjøavstander som er brukt fram til nå.

Emneord	Lakselus, PO3
Målgruppe	
Tilgjengelighet	Åpen
Prosjekt	
Prosjektnummer	220972
Satsningsområde	Marine ressurser og helse
Antall sider	34
© Copyright	Norsk Regnesentral

Utvidet sammendrag

Produksjonsområde 3 (PO3) er et produksjonsområde med høyt smittepress av lakselus, som derfor står i fare for å miste retten til produksjonsvekst.

På bestilling fra Nærings- og fiskeridepartementet, utførte Havforskningsinstituttet og Veterinærinstituttet nylig en analyse av ny lokalitetsstruktur i PO3. I rapporten [Husebråten et al. \(2020\)](#) konkluderer de med at sammenslåing av lokaliteter til færre og større lokaliteter vil føre til redusert smittepress, ved uendret produksjon og bevaring av total biomasse.

Sjømatbedriftene har engasjert INAQ, Akvaplan-Niva og Norsk Regnesentral til å utføre supplerende analyser for PO3. Et delmål for dette prosjektet er å validere resultatene fra Havforskningsinstituttet og Veterinærinstituttet, ved å gjøre en liknende, parallell studie. I tillegg undersøker vi også effekten av reduserte tiltaksgrenser, bruk av storsmolt og generelle forebyggende tiltak som reduserer smitte fra naboanlegg eller eget anlegg. Et annet delmål for prosjektet er å integrere strømkontakt beregnet fra en hydrodynamisk modell inn i en smittemodell for lus.

Alle beregninger er gjort under forutsetning av at produksjonen i PO3 opprettholdes, altså hverken økes eller minskes. Under følger et utdrag av resultatene, som presenteres som prosentvis endring i luseforekomster og antall behandlede fisk i PO3 som helhet:

- *Redusert tiltaksgrense.* Hvis en reduserer tiltaksgrensa, og behandler på et lavere lusenivå, vil en få færre lus, men det krever flere behandlinger. For eksempel, hvis tiltaksgrensa senkes fra 0,5 til 0,3 hunn lus per fisk vil det gi omkring 20 % færre hunn lus i PO3, men samtidig må 24 % flere fisk behandles. Merk at vi ser på effekten av å redusere tiltaksgrensa som et isolert tiltak. Hvis en lavere tiltaksgrense kombineres med for eksempel en økende grad av kontrollerende tiltak, så kan det hende at behandlingsbehovet ikke økes.
- *Sammenslåing av lokaliteter.* I dette scenarioet fjerner vi noen lokaliteter og fordeler denne produksjonen jevnt til de gjenværende lokalitetene. Strategisk fjerning av lokaliteter betyr at vi fjerner de lokaliteter som bidrar mest til smitte i nettverket av lokaliteter.
 - Ved å fjerne 25 % av lokalitetene strategisk vil en få 9 % færre hunn lus og 13 % færre behandlede fisk. Alternativt kan antall hunn lus reduseres med 22 % hvis tiltaksgrensa senkes slik at antall behandlede fisk holdes som i basisscenarioet. For samme scenario oppga Havforskningsinstituttet at overføring av smitte mellom lokaliteter kunne reduseres med 46 %. Dette sier imidlertid ingenting om endring i lusemengde eller behov for behandlinger, og kan derfor ikke direkte sammenlignes med våre resultater. Men ved en omregning finner vi at dette tilsvarer en reduksjon i lusemengde og behandlingsbehov i samme størrelsesorden som det vi har fått, se begrunnelse seinere i dette utvidede sammendraget.

- Ved å fjerne 50 % av lokalitetene strategisk vil en få 12 % færre hunnlus og 18 % færre behandlede fisk. Alternativt kan antall hunnlus reduseres med 31 % hvis tiltaksgrensa senkes slik at antall behandlede fisk holdes fast. Dette er samme tendens, men noe mindre effekt enn den Veterinærinstituttet fikk for tilsvarende scenario, som var 20 % reduksjon i både antall hunnlus og i antall behandlede fisk (Husebråten et al. , 2020).
- *Bruk av storsmolt.* Ved å sette ut storsmolt på 500 g vil antall hunnlus reduseres med omkring 15 % og antall behandlede fisk vil også reduseres med omkring 15 %. Alternativt kan antall hunnlus reduseres med 30-35 % hvis tiltaksgrensa senkes slik at antall behandlede fisk holdes fast.
- *Forebyggende tiltak som gir redusert smitte.* Hvis vi med bruk av forebyggende tiltak klarer å redusere både ekstern og intern smitte med 50 % vil antall hunnlus reduseres med 20 % og antall behandlede fisk med 32 %. Alternativt kan antall hunnlus reduseres med 46 % hvis antall behandlede fisk holdes fast.

Flere resultater og noe mer forklaring er gitt seinere i dette utvidede sammendraget. I hoveddelen av rapporten beskrives metodikk og resultater i mer detalj.

Lusemodellen

Smittemodellen for lus som ble brukt av Veterinærinstituttet i rapporten Husebråten et al. (2020) er en lusemodell utviklet av Norsk Regnesentral og Veterinærinstituttet, publisert i Aldrin et al. (2019). Modellen beregner både antall forventede voksne hunnlus og antall forventede andre bevegelige lus for hver lokalitet i en rom-tid-modell. Modellen tar hensyn til smitte av lus mellom anlegg og internt fra eget anlegg. Videre er lusas utviklingstid fra ett stadium til det neste avhengig av sjøtemperatur. Lusenivået avhenger altså av lusenivået på nabolokaliteter, men også av andre forklaringsvariable som for eksempel sjøtemperatur, salinitet, og medikamentelle og ikke-medikamentelle behandlinger. I dette prosjektet oppdaterer vi denne lusemodellen, slik at den er tilpasset på nyere data (fra 2014 til og med uke 40 i 2020). Modellen brukes videre til å simulere lusenivå for ulike strategier eller scenarioer. I simuleringene bruker vi historiske data for produksjonene, slik at simuleringene blir gjort under mest mulig realistiske forhold. Våre simuleringer dekker fire hele år fra og med uke 41 i 2016 til og med uke 40 i 2020. Dette er nyere data enn det Veterinærinstituttet brukte i sin analyse (fra og med uke 17 i 2014 og ut 2017).

Smittekontakt basert på strøm eller sjøavstand

Et delmål for dette prosjektet har vært å integrere strømkontakt beregnet fra en hydrodynamisk modell inn i en smittemodell for lus. Et sentralt element i lusemodellen er smittekontakt mellom lokaliteter. I den publiserte versjonen av modellen er smittekontakt mellom to lokaliteter en funksjon av sjøavstand, hvor smittekontakten er størst når sjøavstanden er liten. Vi bruker betegnelsen avstandskontakt for denne typen smittekontakt. Veterinærinstituttet brukte denne typen avstandskontakt i sine analyser, og vi gjør det samme i vår hovedanalyse.

Avstandskontakter, altså smittekontakter basert på sjøavstand, har den fordel at de er enkle å beregne siden sjøavstander er eksakte. Vi har tidligere vist i smittemodeller for både lus, PD og ILA at slike avstandskontakter forklarer smitte mellom lokaliteter relativt godt. De er imidlertid opplagt ikke optimale, i og med at de ignorerer havstrømmer. Vi kunne derfor alternativt brukt en smittekontakt basert på reell kontakt gjennom sjø, som vi kaller reell strømkontakt. Nå er imidlertid ikke strømforhold i sjøen kjent eksakt, så en må bruke hydrodynamiske modeller til å beregne en modellert strømkontakt. Hvis en slik hydrodynamisk modell, inkludert modellering av luselarvenes bevegelser i sjø, blir presis nok, vil det kunne forbedre smittemodellene.

Akvaplan-Niva er i ferd med å videreutvikle sin hydrodynamiske modell og tilpasse den for PO3. Deres modell skiller seg fra Havforskningsinstituttets modell bl.a. ved at den har en detaljert geografisk oppløsning i trange sund og fjorder og en grovere oppløsning i åpent hav. Dette arbeidet er i hovedsak finansiert av Norges Forskningsråd, men Akvaplan-Niva har i det nåværende prosjektet beregnet strømkontakter mellom de fleste lokaliteter i PO3. I motsetning til avstandskontakter er strømkontaktene usymmetriske, ved at kontakt fra lokalitet A til lokalitet B kan være større enn kontakten motsatt vei.

Lusemodellen har blitt modifisert til å ta i bruk strømkontakt i stedet for avstandskontakt, og har så blitt estimert (tallfestet) på nytt. Vi fikk da en dårligere tilpasning til lusedataene enn ved å bruke avstandskontakt, og viktigheten av smitte mellom lokaliteten ble underestimert. Det gjør at resultatene fra simulering med denne versjonen av lusemodellen er mindre pålitelige enn ved bruk av avstandskontakt. Det er imidlertid viktig at arbeidet med å teste ut strømkontakt i lusemodellen fortsetter, for det er sannsynlig at strømkontakt vil kunne gi sikreke prediksjoner av lusespredning i framtida og dermed erstatte avstandskontakt i lusemodellen.

Scenariosimuleringer

Alle simuleringer tar utgangspunkt i en basisstrategi eller et basisscenario. Dette er en idealisert strategi, men de simulerte tallene for lusenivå og behandlinger ligger tett opp til det som er observert i dataene fra og med uke 41 i 2016 til og med uke 40 i 2020. Fisk er satt ut og slaktet på samme tid som i de observerte dataene. På hvert anlegg telles det lus på 80 fisk per uke. Hvis antall hunnlus per fisk overstiger 0,5 settes det i gang en behandling som fører til at 75 % av hunnlus og bevegelige lus dør. Dette gjøres for hele anlegget, siden lusemodellen er på anleggsnivå og ikke på merdnivå. En behandling er her en idealisert behandling, og ikke en konkret type behandling. Vi kunne valgt en annen dødelighet enn 75 %. En høyere dødelighet ville gitt færre behandlinger for alle scenarier, og tilsvarende ville en lavere dødelighet gitt flere behandlinger. Vi har imidlertid i tidligere simuleringstudier sett at de relative, eller prosentvise, forskjellene mellom ulike scenarier er lite følsomme til hvilken behandlingsdødelighet som brukes. Vi presenterer alle resultater som relative forskjeller, og våre konklusjoner er derfor lite følsomme for valg av behandlingsdødelighet.

Vi har deretter undersøkt fire alternative strategier for å redusere lusenivået i PO3, samtidig som produsert biomasse opprettholdes. Vi ønsker færrest mulig lus med færrest

mulig behandlinger. For en av strategiene (storsmolt) vil det bli færre fisk i sjøen i en gjennomsnittsuke. Det er da ikke så relevant å bruke antall hunnlus per fisk som mål på lusenivået. I stedet bruker vi gjennomsnittlig antall hunnlus totalt i PO3, hvor gjennomsnittet tas over hele simuleringsperioden på fire år. For en annen av strategiene (sammenslåing av lokaliteter) vil det bli flere fisk per lokalitet. Det er da ikke så relevant å bruke antall behandlinger per lokalitet som et mål på behandlingsbehov, så i stedet bruker vi antall behandlede fisk per uke, totalt over PO3 og i gjennomsnitt over hele simuleringsperioden. Det er kun inne i PO3 at vi endrer strategi, men dette kan potensielt ha konsekvenser også i naboområdet PO2 og PO4. Resultatene viser at det for alle undersøkte strategier er minimale negative konsekvenser i naboområdet PO2 og PO4, og for noen av strategiene er det noen små positive effekter i form av mindre lus og mindre behandlingsbehov i disse naboområdene. Vi fokuserer derfor videre kun på effektene inne i PO3. Før vi presenterer resultatene vil vi påpeke at dette er basert på modellberegninger, og at alle resultatene er usikre, selv om vi ikke anslår hvor stor denne usikkerheten er. Vi mener likevel at resultatene gir en god pekepinn på hva som kan oppnås ved ulike endrede strategier. Tabell 1 viser hovedresultatene, og disse kan oppsummeres slik:

- *Redusert tiltaksgrense.* Hvis en reduserer tiltaksgrensa, og behandler på et lavere lusenivå, vil en få færre lus, men det krever flere behandlinger. Merk at vi her undersøker effekten av lavere tiltaksgrense isolert sett. Dersom tiltaksgrensa reduseres i kombinasjon med for eksempel kontrollerende tiltak, så kan det hende at behandlingsbehovet ikke øker.
 - Hvis tiltaksgrensa senkes fra 0,5 til 0,3 hunnlus per fisk vil det gi omkring 20 % færre hunnlus i PO3, men samtidig vil 24 % flere fisk behandles.
 - Hvis tiltaksgrensa senkes ytterligere til 0,25 eller 0,2 vil antall hunnlus reduseres ytterligere og bli 37 % eller 47 % færre enn i basisscenarioet, men det vil kreve 36 % eller 48 % flere behandlede fisk.
- *Sammenslåing av lokaliteter.* I dette scenarioet fjerner vi noen lokaliteter og fordeler denne produksjonen jevnt til de gjenværende lokalitetene. De fjernede lokalitetene kan velges ut tilfeldig eller strategisk. Strategisk fjerning av lokaliteter innebærer at vi fjerner de lokalitetene som bidrar mest til smitte i nettverket av lokaliteter, og det vil her si at vi fjerner lokaliteter som ligger nær andre lokaliteter.
 - Ved å fjerne 25 % av lokalitetene tilfeldig vil en få 4 % færre hunnlus og 6 % færre behandlede fisk, hvis en beholder tiltaksgrensa på 0,5. Hvis en samtidig reduserer tiltaksnivået noe, kan en ta ut all gevinst i redusert lusenivå og la antall behandlede fisk være som før. I så fall kan antall hunnlus reduseres med 13 %. Vi forklarer under hvordan dette beregnes.
 - Hvis en i stedet fjerner 50 % av lokalitetene tilfeldig, vil antall hunnlus reduseres med 8 % og antall behandlede fisk med 12 %. Alternativt kan antall hunnlus reduseres med 22 % hvis antall behandlede fisk holdes fast.
 - Ved å fjerne 25 % av lokalitetene strategisk vil en få 9 % færre hunnlus og 13 %

- færre behandlede fisk. Alternativt kan antall hunnlus reduseres med 22 % hvis antall behandlede fisk holdes fast.
- Ved å fjerne 50 % av lokalitetene strategisk vil en få 12 % færre hunnlus og 18 % færre behandlede fisk. Alternativt kan antall hunnlus reduseres med 31 % hvis antall behandlede fisk holdes fast. Gevinsten ved å fjerne ytterligere en fjerdedel av lokalitetene er naturlig nok mindre enn da vi fjernet den første fjerdedelen.
- *Bruk av storsmolt.* Vi antar at fisk settes ut som storsmolt på 500 g, og at de derfor tilbringer 15 uker mindre i sjø enn normalt.
 - Hvis storsmolt settes ut på normal tid og slaktes 15 uker tidligere enn normalt vil antall hunnlus reduseres med 17 % og antall behandlede fisk med 19 %. Alternativt kan antall hunnlus reduseres med 36 % hvis antall behandlede fisk holdes fast.
 - Hvis storsmolt settes ut 15 uker seinere enn normalt og slaktes på normal tid vil antall hunnlus reduseres med 14 % og antall behandlede fisk med 16 %. Alternativt kan antall hunnlus reduseres med 31 % hvis antall behandlede fisk holdes fast.
 - *Forebyggende tiltak som gir redusert smitte.* Slike tiltak kan være luseskjørt, elektrisk gjerde, tubenot eller annet som kan redusere smitte, men vi spesifiser ikke hvilket konkret tiltak det er. Vi antar at enten reduseres smitte fra naboanlegg (ekstern smitte) med 50% og smitte fra eget anlegg (intern smitte) er uforandret, eller så reduseres både ekstern og intern smitte med 50 %.
 - Hvis ekstern smitte reduseres med 50 % vil antall hunnlus reduseres med 10 % og antall behandlede fisk med 16 %. Alternativt kan antall hunnlus reduseres med 24 % hvis antall behandlede fisk holdes fast.
 - Hvis både ekstern og intern smitte reduseres med 50 % vil antall hunnlus reduseres med 20 % og antall behandlede fisk med 32 %. Alternativt kan antall hunnlus reduseres med 46 % hvis antall behandlede fisk holdes fast.

Resultatene for sammenslåing av lokaliteter kan sammenlignes med Veterinærinstituttets resultater fra rapporten [Husebråten et al. \(2020\)](#). I rapportens oppsummerings-kapittel står det: “Ved å fjerne 50 % av lokalitetene oppnås en reduksjon på ca. 20 % i mengde lus og antall behandlinger reduseres med ca. 20 %.” Våre tilsvarende tall for strategisk fjerning av 50 % av lokalitetene er 12 % og 18 %. Vi får altså noe mindre effekt, men samme tendens.

Havforskningsinstituttet gjør sine beregninger på en annen måte enn Veterinærinstituttet og oss. Deres beregninger gjøres kun for smittekontakt mellom lokaliteter, uten noen populasjonsmodell for lus som tar smitte videre til nye generasjoner av lakselus, ny smitteproduksjon osv.. Beregningene kan derfor ikke benyttes direkte til beregninger av forekomster av lus over tid eller behandlingsbehov, men vi kan sammenlikne med våre tall indirekte: I oppsummerings-kapitlet i [Husebråten et al. \(2020\)](#) står det “... et scenario der

Tabell 1. Reduksjon i gjennomsnittlig antall lus og i behandlede fisk i PO3 ved å bytte fra basisstrategien til andre strategier. De to midterste kolonnene angir reduksjon hvis tiltaksgrensa holdes fast på 0,5. Kolonnen til høyre angir reduksjon i gjennomsnittlig antall hunnlus hvis tiltaksgrensa reduseres så mye at antall behandlede fisk forblir uendret. Positive tall betyr reduksjon, mens negative tall betyr økning.

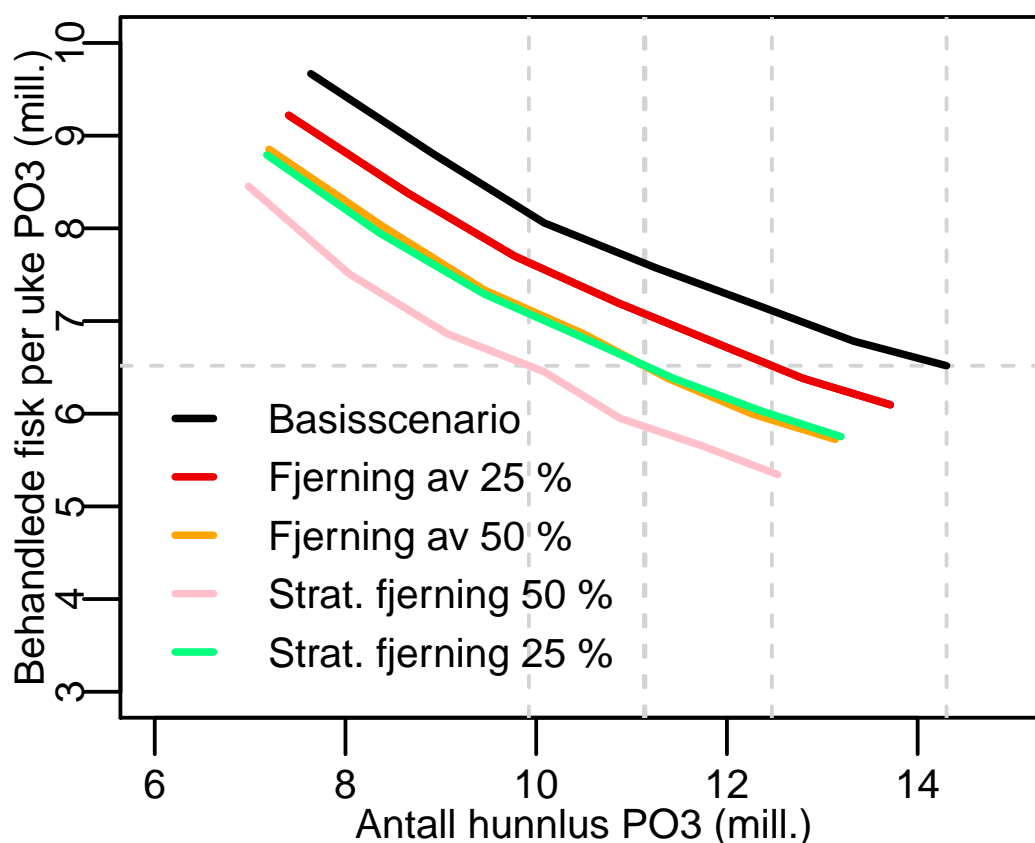
Tiltak	Tiltaksgrense 0,5		Uendret antall behandlede fisk i PO3
	Reduksjon i antall hunnlus i PO3	Reduksjon i antall behandlede fisk i PO3	Tiltaksgrense<0,5 Reduksjon i antall hunnlus i PO3
Redusert tiltaksgrense			
Tiltaksgrense 0,3	29 %	-24 %	-
Tiltaksgrense 0,25	37 %	-36 %	-
Tiltaksgrense 0,2	47 %	-48 %	-
Sammenslåing av lokaliteter			
Tilfeldig fjerning 25 %	4 %	6 %	13 %
Tilfeldig fjerning 50 %	8 %	12 %	22 %
Strategisk fjerning 25 %	9 %	13 %	22 %
Strategisk fjerning 50 %	12 %	18 %	31 %
Storsmolt			
Forsinket utsett	17 %	19 %	36 %
Forsert slakt	14 %	16 %	31 %
Forebyggende tiltak med redusert smitte			
50 % redusert eksternt	10 %	16 %	24 %
50 % redusert eksternt og internt	20 %	32 %	46 %

man reduserer matfisklokaliteter fra 135 til 100 ... vil kunne gi en potensiell smittereduksjon av lakselus mellom lokaliteter på 46 %". Dette tilsvarer en strategisk fjerning av 25 % av lokalitetene, hvor vi fant 9 % reduksjon i antall hunnlus og 13 % reduksjon i antall behandlede fisk. Samtidig er reduksjon av smitte mellom lokaliteter på 46 % svært nær vårt scenario med 50 % reduksjon av ekstern smitte ved forebyggende tiltak, hvor vi fant 10 % reduksjon i antall hunnlus og 16 % reduksjon i antall behandlede fisk. Dette antyder at Havforskningsinstituttets resultat av strategisk reduksjon fra 135 til 100 lokaliteter i PO3 tilsvarer omtrent 10 % reduksjon av antall hunnlus og omtrent 15 % reduksjon i behandlede fisk. Årsaken til at 46 % reduksjon i smitte mellom lokaliteter gir betydelig lavere effekt i form av reduksjon av lus og behandlede fisk er naturligvis at biomassen er flyttet til andre lokaliteter der fisken også har lus og må behandles, noe som også øker internprodusert smittepress.

Utvalgte detaljerte resultater

Figur 1 viser resultatene for basisscenarioet og for scenarioene med strategisk fjerning og sammenslåing av lokaliteter. Nedre høyre punkt i den svarte kurven angir basisscenarioet med tiltaksgrense 0,5 hunn lus per fisk. Gjennomsnittlig antall hunn lus er 14,30 millioner og behandlede fisk per uke er 6,52 millioner. Ved å minske tiltaksgrensa kan antall hunn lus reduseres på bekostning av at flere fisk behandles, og det utgjør den svarte kurven. De øvrige kurvene viser resultatene hvis vi slår sammen lokaliteter. Nedre høyre del av hver kurve angir hva en får ved tiltaksgrense 0,5. Ut fra disse punktene kan en beregne prosentvis redusert antall lus og antall behandlede fisk som er gjengitt i de to midterste kolonnene i tabell 1.

Ved å minske tiltaksgrensa vil en få resultater langsmed den enkelte kurve, og øvre venstre punkt i hver kurve viser hva en får med tiltaksgrense 0,2. Ved å følge den horisontale stiplede linja kan vi få fram alternative strategier som alle gir samme behandlingsbehov, men ulik mengde hunn lus. For eksempel, hvis antall behandlede fisk holdes fast på 6,52 millioner kan en strategisk fjerning av 50 % av lokalitetene redusere antall hunn lus til ca. 10 millioner, dvs. en reduksjon på omkring 30 % i forhold til basisscenarioet, slik det er oppgitt i høyre kolonne i tabell 1.



Figur 1. Antall lus mot antall behandlede fisk per uke for basisscenarioet, og tilfeldig eller strategisk fjerning av 25 % eller 50 % av lokalitetene i PO3. Nedre høyre del av hver kurve angir hva en får ved tiltaksgrense 0,5.

1 Bakgrunn

Produksjonsområde 3 (PO3) er et produksjonsområde med høyt smittepress, som derfor står i fare for å miste retten til produksjonsvekst.

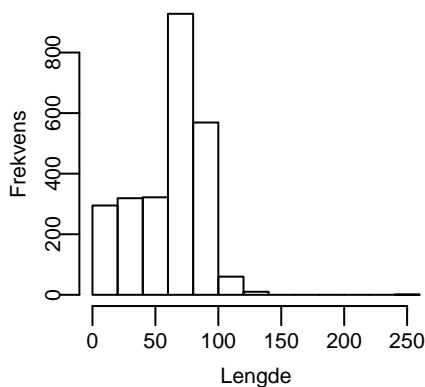
På bestilling fra Nærings- og fiskeridepartementet, utførte Havforskningsinstituttet og Veterinærinstituttet nylig en analyse av ny lokalitetsstruktur i PO3. I rapporten [Husebråten et al. \(2020\)](#) konkluderer de med at sammenslåing av lokaliteter til færre og større lokaliteter vil føre til redusert smittepress, ved bevaring av total biomasse. Effekten ble større dersom de lokalitetene som ble flyttet var de som førte til størst spredning av lakselus til andre lokaliteter ifølge Havforskningsinstituttets spredningsmodell. Et delmål for dette notatet er å validere resultatene fra Havforskningsinstituttet og Veterinærinstituttet. I tillegg undersøker vi også effekten av andre forebyggende tiltak mot lus i PO3.

Modellen som ble brukt av Veterinærinstituttet i rapporten, er en modell utviklet av Norsk Regnesentral og Veterinærinstituttet, publisert i [Aldrin et al. \(2019\)](#). I dette prosjektet oppdaterer vi denne lusespredningsmodellen, slik at den er tilpasset på nyere data. Modellen beregner både antall forventede voksne hunnlus og antall forventede andre bevegelige lus for hver lokalitet i en rom-tid-modell. Modellen tar hensyn til smitte av lus mellom anlegg og internt fra eget anlegg. Videre er lusas utviklingstid fra et stadium til det neste avhengig av sjøtemperatur. Lusenivået avhenger altså av lusenivået på nabolokaliteter, men også av andre forklaringsvariable som for eksempel sjøtemperatur, salinitet, og medikamentelle og ikke-medikamentelle behandlinger. Modellen kan brukes til å simulere lusenivå for ulike scenarier. I simuleringene bruker vi historiske data for produksjonene, slik at simuleringene blir gjort under mest mulig realistiske forhold.

I smitte modellen bruker vi to ulike mål for smittekontakt mellom lokaliteter. Vi utfører først analysene hvor smittekontakt mellom lokalitetene er gitt ved en funksjon av sjøavstand, slik at smittekontakt synker med økende sjøavstand. Vi kaller denne smittekontakten for avstandskontakt. Deretter gjentar vi analysene, hvor smittekontakt mellom lokalitetene er gitt ved en kontaktmatrise beregnet av Akvaplan-Niva, som er basert på en hydrodynamisk modell som tar hensyn til havstrømmer. Vi kaller denne smittekontakten for strømkontakt. Disse er tilgjengelig for de fleste lokalitetene i PO3 og for noen av lokalitetene nær PO3. Vi bruker da smittekontakt basert på strømkontakt der de finnes, og ellers baserer vi oss på sjøavstandene.

2 Data

Vi har data fra starten av 2014 til og med uke 40 i 2020. Fra BarentsWatch har vi ukentlige data på lusetellinger av antall voksne hunnlus, antall andre bevegelige lus, sjøtemperatur på 3 meters dyp, medikamentelle og ikke-medikamentelle lusebehandlinger, når det er fisk på anleggene og maksimalt tillatt biomasse. Lusebehandlinger er angitt som for "deler av anlegget" eller "hele anlegget". Siden vi ikke har informasjon om antall fisk på



Figur 2. Lengde på produksjonsperiodene i datasettet.

lokalitetene fra BarentsWatch, regner vi om fra maksimalt tillatt biomasse til antall fisk. Dette er gjort ved at vi i andre sammenhenger har hatt tilgang til antall fisk på anleggene til enhver tid, og vi har kunnet beregne en gjennomsnittlig sammenheng mellom antall fisk og maksimalt tillatt biomasse. Salinitetsdata er lastet ned fra Meteorologisk institutt (met.no) og er basert på en modell, og ikke reelle data. Noen sjøtemperatur- og salinitetsmålinger mangler og interpoleres.

Totalt har vi dermed data fra 1060 lokaliteter, hvorav 150 er i produksjonsområde 3. Vi har observasjoner på totalt 187 250 aktive produksjonsuker, hvorav 30 948 er i PO3. Lengdene på sammenhengende aktive perioder i datasettet er gitt i figur 2. Vi antar at en standard produksjonsperiode er 78 uker (1,5 år). Det ser også ut til å være en rimelig antakelse i disse dataene. Vi antar at det telles 80 fisk i hver ukentlig telling. Motivasjonen for det er at et typisk anlegg har omkring åtte merder, og oppdretterne er pålagt å telle lus på minst ti fisk per merd.

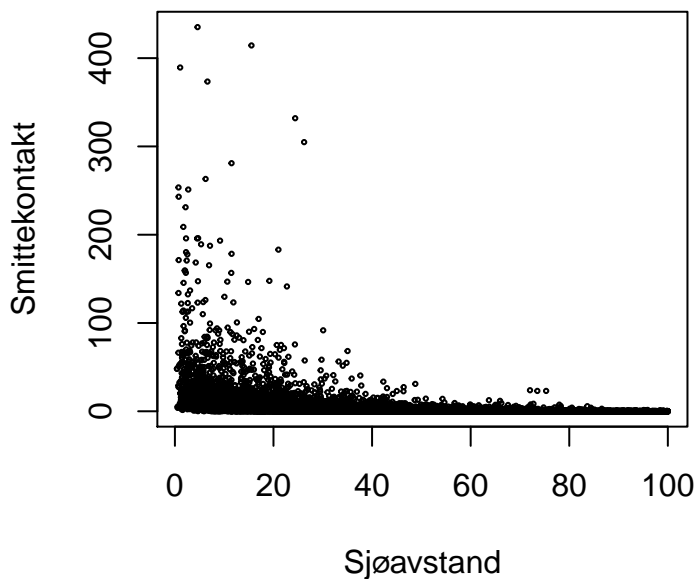
2.1 Strømkontakt fra hydrodynamisk modell

Fra Akvaplan-Niva, har vi strømkontakt mellom 179 lokaliteter, satt sammen til en 179×179 matrise med smittekontakt fra lokalitet i til lokalitet j . Denne er beregnet fra en hydrodynamisk modell som gjennomsnittlig kontakt mellom ulike lokaliteter over hele 2019. Det er strømkontaktinformasjon for totalt 147 av de 150 lokalitetene i PO3, og 32 lokaliteter i PO4. I motsetning til avstandskontakt (smittekontakt basert på sjøavstand), er denne matrisen ikke symmetrisk. Det kan derfor være mer kontakt fra en lokalitet i til en lokalitet j enn motsatt vei fra j til i .

Sammenhengen mellom strømkontaktene og sjøavstand er gitt i figur 3. Vi ser at strømkontakt avtar ikke-lineært med sjøavstand.

3 Metode

Vi beskriver her hvilke antakelser vi gjør for simuleringer med den tilpassede lusemodellen, og hvilke mål vi bruker for å sammenlikne de ulike scenarioene. Selve modellen



Figur 3. Strømkontakt versus sjøavstand.

er grundig beskrevet i Aldrin et al. (2019) og vil ikke beskrives videre her, men se Appendix B for de estimerte parameterverdiene. I den estimerte modellen er det også en tidstrend. Vi velger å se bort ifra denne i våre simuleringer (setter koeffisienten til 0). I simuleringene setter vi også sannsynligheten for at en behandling gjøres før den tilhørende lusetellinga til 0.

3.1 Simuleringsperiode

Vi velger å simulere over fire år, fra og med uke 41 i uke 2016, til og med uke 40 i 2020. I denne perioden har vi 117 016 aktive produksjonsuker, hvorav 18 470 er i PO3. Vi gjør 100 simuleringer per scenario der ikke annet er spesifisert. Det simuleres alltid for alle lokaliteter i hele landet. Når det simuleres tiltak i de ulike scenarioene, gjennomføres dette kun for lokalitetene inne i PO3, mens alle andre lokaliteter simuleres som i basisscenarioet.

3.2 Godhetsmål

For å vurdere ulike scenarioer opp mot hverandre, må vi se på både mengden lus, og mengden behandlinger for de ulike scenarioene. Vi introduserer fire godhetsmål, som vi regner ut for hvert scenario. Disse godhetsmålene bør være så lave som mulig. Vi er primært interessert i PO3. Det er imidlertid også viktig at tiltak for å redusere lus innad i PO3, ikke vil føre til større smittepress i naboombådene.

La $t = 1, \dots, T$ være kalenderuke, og T antall kalenderuker i simuleringene. Tilsvarende la $j = 1, \dots, J$ være lokalitet, hvor J er totalt antall lokaliteter i hele landet. $S_{t,j}$ inneholder informasjon om hvorvidt anlegg j er aktivt (1) i uke t eller ikke (0).

Hvis en standard produksjonsperiode er på 78 uker, så vil

$$P^{\text{NOR}} = \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J S_{t,j}/78,$$

være antall standard produksjonsperioder i hele Norge i simuleringsperioden. Tilsvarende er

$$P^{\text{PO3}} = \sum_{t=1}^T \sum_{j \in \text{PO3}} S_{t,j}/78,$$

antall produksjonsperioder i PO3.

La $f_{t,j}$ være antall fisk i uke t på lokalitet j og la $l_{t,j}$ være antall hunnlus per fisk i uke t på lokalitet j . Da vil

$$L_{t,j} = l_{t,j} f_{t,j},$$

være antall hunnlus i uke t på lokalitet j .

La videre $b_{t,j}$ være indikator for behandling i uke t på lokalitet j , gitt ved 0, 0,5 eller 1, for henholdsvis ingen behandling, behandling av deler av anlegget og behandling av hele anlegget. Det vil si at vi regner behandling på deler av anlegget som en halv behandling.

Vi har da alle størrelsene vi trenger for å beregne de fire godhetsmålene for PO3. Alle disse er beregnet som gjennomsnitt over hele simuleringsperioden på fire år og over alle lokaliteter i PO3, og er definert slik:

- Antall hunnlus per fisk i PO3, gitt ved

$$Q_{l/f}^{\text{PO3}} = \sum_{t=1}^T \sum_{j \in \text{PO3}} L_{t,j} / \sum_{t=1}^T \sum_{j \in \text{PO3}} f_{t,j}.$$

- Antall hunnlus totalt i PO3, gitt ved

$$Q_L^{\text{PO3}} = \sum_{t=1}^T \sum_{j \in \text{PO3}} L_{t,j}/T.$$

- Antall behandlinger per produksjonsyklus i PO3, gitt ved

$$Q_{b/p}^{\text{PO3}} = \sum_{t=1}^T \sum_{j \in \text{PO3}} b_{t,j}/P^{\text{PO3}}.$$

- Antall behandlede fisk per uke totalt i PO3, gitt ved

$$Q_{bf/u}^{\text{PO3}} = \sum_{t=1}^T \sum_{j \in \text{PO3}} b_{t,j} f_{t,j}/T.$$

Når det gjelder lusenivå er de fleste vant til å betrakte antall hunnlus per fisk ($Q_{l/f}^{\text{PO3}}$). Dette er imidlertid mindre relevant hvis antall fisk i et område endrer seg (f.eks. ved bruk av

storsmolt), og derfor vil vi primært bruke totalt antall lus (Q_L^{PO3}) som godhetsmål for lusenivå. Videre er de fleste vant til å betrakte antall behandlinger per produksjonsperiode ($Q_{b/p}^{PO3}$). Men dette tar ikke hensyn til hvor mange fisk som behandles ved hver behandling, og blir derfor mindre relevant hvis antall fisk på lokalitetene endres. Derfor vil vi primært bruke antall fisk som behandles per uke ($Q_{bf/u}^{PO3}$) som godhetsmål for behandling.

Vi er interessert i hvordan godhetsmålene endrer seg ved å bytte strategi fra en basisstrategi eller et basisscenario (b) til et alternativt scenario (a). Vi markerer godhetsmålene med en a eller b i den øvre indeksen, og beregner to relative godhetsmål:

- Prosentvis endring i antall hunnlus i PO3 i forhold til basisscenarioet, gitt ved

$$R_L^{PO3} = 100(Q_L^{b,PO3} - Q_L^{a,PO3})/Q_L^{a,PO3}.$$

- Prosentvis endring i antall behandlede fisk i forhold til basisscenarioet, gitt ved

$$R_{bf/u}^{PO3} = 100(Q_{bf/u}^{b,PO3} - Q_{bf/u}^{a,PO3})/Q_{bf/u}^{a,PO3}.$$

Positive verdier betyr her at den alternative strategien gir en forbedring i forhold til basisstrategien.

3.3 Effekt av behandling

I dataene har vi både medikamentelle og ikke-medikamentelle behandlinger. I simuleringene velger vi i stedet å ha kun én type behandling. Vi velger også å kun bruke behandlinger på hele anlegget av gangen, da modellen og dataene ikke er på merdnivå. Vi må bestemme en effekt av behandling som vi bruker i simuleringene. Vi antar at standard tiltaksgrense for behandling er 0,5. I uke 16 til 21 antar vi tiltaksgrense på 0,2. Ved å simulere med ulike behandlingseffekter kan vi da sammenlikne $Q_{l/f}$ og $Q_{b/p}$ for simuleringene med de samme størrelsene beregnet på faktiske observerte data og velge en behandlingseffekt som gir god overensstemmelse med observerte data.

4 Strategier som skal undersøkes

Vi undersøker flere ulike strategier og varianter av hver av disse. Felles for alle beregninger er at produsert mengde fisk er uendret. Eventuelle gevinster ved endret strategi kan tas ut som lavere lusenivå, mindre behandlingsbehov eller begge deler.

4.1 Ulike tiltaksgrenser

Vi undersøker effekten av ulike tiltaksgrenser på lusenivået og totalt antall nødvendige behandlinger ved å simulere med den tilpassede lusemodellen for en historisk periode, med ulike tiltaksgrenser. Vi undersøker behandlingsgrenser på 0,2, 0,25, 0,3, 0,35, 0,4 og 0,45 voksne hunnlus per fisk, i tillegg til basisscenarioet med behandlingsgrense på 0,5. De alternative tiltaksgrensene er bare i PO3, mens resten av produksjonsområdene har

normale tiltaksgrenser (0,5 samt 0,2 i uke 16 til 21). Også i PO3 bruker vi tiltaksgrense 0,2 i uke 16 til 21.

4.2 Sammenslåing av lokaliteter

Vi undersøker effekten av å slå sammen lokaliteter i PO3, ved å flytte produksjoner over på de resterende lokalitetene. Vi trekker tilfeldig ut 25 % av lokalitetene (tilsvarende Havforskningsinstituttet i Husebråten et al. (2020) som reduserer fra 135 til 100 lokaliteter), og 50 % av lokalitetene, hvis produksjon flyttes over på de resterende henholdsvis 75 % og 50 % av lokalitetene (tilsvarende Veterinærinstituttet i Husebråten et al. (2020)). Vi velger å kun fjerne lokaliteter som har hatt minst én produksjonsperiode på minst 52 uker i løpet av simuleringsperioden. Vi velger å bevare mengden fisk i tid, som vi kaller fiskeuker, hvor én fiskeuke er definert som 1 fisk i 1 uke. Vi fjerner x fiskeuker, og øker produksjonen på de resterende anleggene med en faktor slik at totalt antall fiskeuker bevares. Vi flytter altså produksjonen jevnt utover på de resterende anleggene. Ved tilfeldig fjerning av lokaliteter gjør vi 100 uttak og simulerer fem ganger per uttak.

Vi ser også på strategisk fjerning av anlegg i PO3. Vi velger å ta ut de anleggene som har størst smittekontakt til alle de andre anleggene i PO3. Anleggene tas ut fra nettverket ett av gangen, først det med mest kontakt med øvrige anlegg, deretter det med mest kontakt i det reduserte nettverket, osv.. Dette gjøres både for avstandkontakt og for strømkontakt. For avstandskontakt er det det samme som at vi fjerner anlegg som ligger nær andre anlegg.

4.3 Mer bruk av storsmolt

For å undersøke effekten av mer bruk av storsmolt i PO3 i simuleringsmodellen, reduserer vi lengden på produksjonsperiodene i dataene. Vi undersøker både effekten av å sette ut storsmolt på samme tidspunkt som i dataene, og dermed ha færre uker i slutten av produksjonen (utsett på samme tidspunkt, tidligere slakt), og å sette ut ved et seinere tidspunkt og dermed ha færre uker i starten av produksjonen (seinere utsett, samme slakttidspunkt). Vi regner 15 uker til laksen når 500 g (storsmolt), basert på andre, ikke åpne, data som også inneholder vekt. Det vil si at standard produksjonslengde i sjø reduseres fra 78 til 63 uker, altså med 20 %. Vi endrer bare lengden på produksjonsperiodene som varer lenger enn 52 uker, det vil her si for de 133 lengste produksjonsperiodene.

4.4 Redusert smitte ved bruk av forebyggende tiltak

For å undersøke effekten av økende bruk av forebyggende tiltak i PO3, antar vi et tiltak som hindrer smitte i å komme inn i en merd, f.eks. skjørt, altså redusert påslag av ny lus. Vi antar først at tiltaket halverer smitte fra naboanlegg (ekstern smitte), mens smitte fra eget anlegg (intern smitte) er uendret. Deretter antar vi at både ekstern og intern smitte halveres. I modellen gjøres det ved at smitte fra voksne hunnlus noen uker tidligere (temperaturavhengig) fram til bevegelige lus noen uker seinere (temperaturavhengig) halveres.

5 Resultater ved bruk av avstandskontakt

5.1 Observerte størrelser

Vi beregner godhetsmålene og de ulike størrelsene i de observerte dataene, for de fire årene vi simulerer. Antall standard produksjonsperioder i hele landet er 1500, og 237 av disse er i PO3. For hele landet blir godhetsmålene

$$Q_{l/f}^{\text{NOR}} = 0,141, Q_L^{\text{NOR}} = 103, Q_{b/p}^{\text{NOR}} = 4,19, Q_{b/f/u}^{\text{NOR}} = 39,8.$$

Tilsvarende i PO3 finner vi

$$Q_{l/f}^{\text{PO3}} = 0,179, Q_L^{\text{PO3}} = 16,15, Q_{b/p}^{\text{PO3}} = 5,55, Q_{b/f/u}^{\text{PO3}} = 6,60.$$

Dette betyr at i landet som helhet er det i gjennomsnitt 0,141 hunn lus per fisk i de reelle dataene, og det er brukt 4,19 behandlinger per produksjonsperiode. I PO3 er det mer hunn lus, 0,179 per fisk. Der er det også brukt flere behandlinger, 5,55 per produksjonsperiode.

Q_L er oppgitt i millioner hunn lus og $Q_{b/f/u}$ er oppgitt i millioner fisk. Resultatene over betyr at det i Norge i gjennomsnitt er 103 millioner hunn lus til stede på et vilkårlig tidspunkt, og 16,15 millioner av disse befinner seg i PO3. Videre blir 39,8 millioner fisk behandlet i Norge i en gjennomsnittlig uke, hvorav 6,60 millioner av disse befinner seg i PO3.

5.1.1 Effekt av behandling

Vi varierer behandlingseffekten for å finne en behandlingseffekt som er i overensstemmelse med observasjonene. Med en behandlingseffekt på 0,6 finner vi $Q_{l/f}^{\text{NOR}} = 0,149$, $Q_{b/p}^{\text{NOR}} = 5,52$ for en behandlingseffekt på 0,75 finner vi $Q_{l/f}^{\text{NOR}} = 0,135$, $Q_{b/p}^{\text{NOR}} = 4,44$ og for en behandlingseffekt på 0,9 finner vi $Q_{l/f}^{\text{NOR}} = 0,12$, $Q_{b/p}^{\text{NOR}} = 3,62$. Altså gir en behandlingseffekt på 0,6 både flere lus og flere behandlinger enn observasjonene, en behandlingseffekt på 0,9 gir færre lus og færre behandlinger, mens en behandlingseffekt på 0,75 gir noe færre lus, og noen flere behandlinger. Vi velger derfor i videre simuleringer å anta en behandlingseffekt på 0,75, det vil si at det antas at en behandling gir 75 % dødelighet av både voksne hunn lus og andre bevegelige lus.

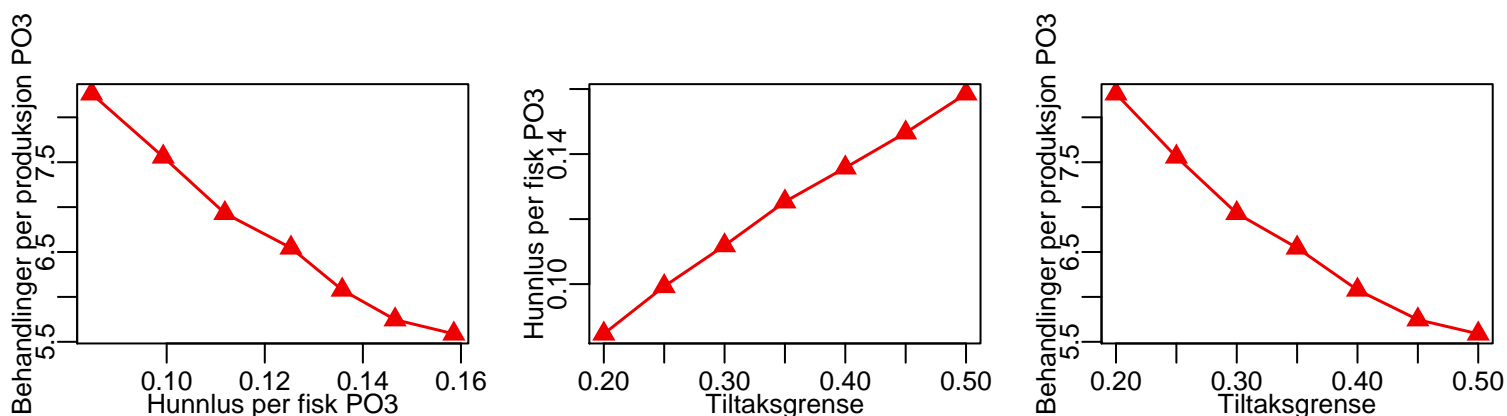
5.2 Ulike tiltaksgrenser

De ulike godhetsmålene for varierende tiltaksgrenser er gitt i tabell 2. Videre viser figur 4 hvordan antall hunn lus per fisk ($Q_{l/f}^{\text{PO3}}$) og antall behandlinger per produksjonssyklus ($Q_{b/p}^{\text{PO3}}$) endres når tiltaksgrensene endres. Ikke overraskende øker antall behandlinger mens mengden lus avtar, med lavere tiltaksgrense. For eksempel vil antall hunn lus minke med 37 % ($R_L^{\text{PO3}} = 37\%$) hvis tiltaksgrensa reduseres fra 0,5 til 0,25, men det vi samtidig føre til at antall behandlede fisk øker med 36 % ($R_{b/f/u}^{\text{PO3}} = -36\%$). Lavere tiltaksgrense i PO3

vil i tillegg gi litt mindre lus og litt mindre behandlingsbehov i naboområdene til PO3 (tabell 6 i Appendiks B).

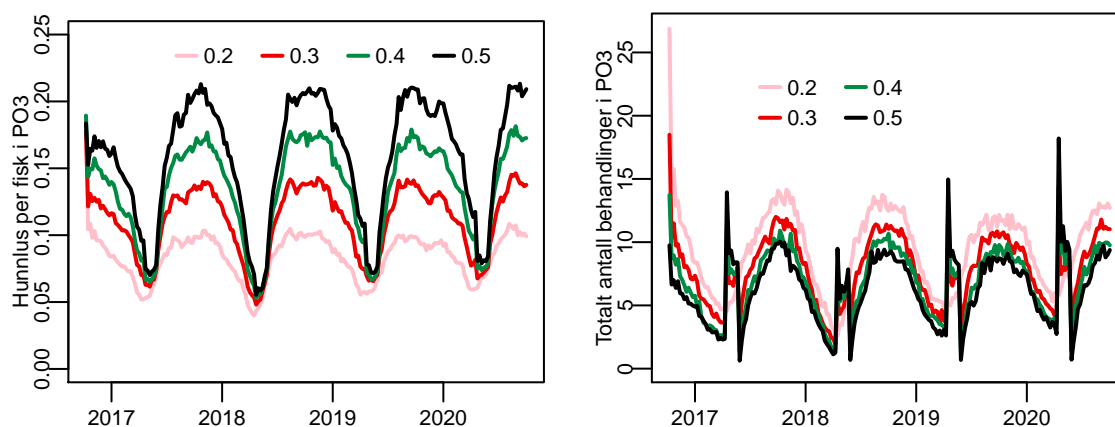
Tabell 2. Lusenivå og antall behandlinger ved variasjon av tiltaksgrense for lusebehandling.

Godhetsmål	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
$Q_{l/f}^{PO3}$	0,085	0,099	0,112	0,125	0,136	0,147	0,159
Q_L^{PO3}	7,64	8,97	10,09	11,31	12,25	13,22	14,30
$Q_{b/p}^{PO3}$	8,26	7,58	6,93	6,55	6,08	5,75	5,59
$Q_{b/f/u}^{PO3}$	9,65	8,86	8,08	7,64	7,09	6,70	6,52
R_L^{PO3}	47 %	37 %	29 %	21 %	14 %	8 %	–
$R_{b/f/u}^{PO3}$	-48 %	-36 %	-24 %	-17 %	-9 %	-3 %	–



Figur 4. Hunnlus per fisk ($Q_{l/f}$) og antall behandlinger per produksjon ($Q_{b/p}$) for ulike tiltaksgrenser.

Vi plottet hvordan mengden lus og behandlinger utvikler seg over tid i figur 5. Vi ser tydelig sesongeffektene i simuleringene. Også økt behandling knyttet til tåvere tiltaksgrense om våren framkommer tydelig.



Figur 5. Tidsplott av ukentlig antall hunnlus per fisk og antall behandlinger i PO3 for basisscenarioet (tiltaksgrense 0,5) og ulike andre tiltaksgrenser.

5.3 Sammenslåing av lokaliteter

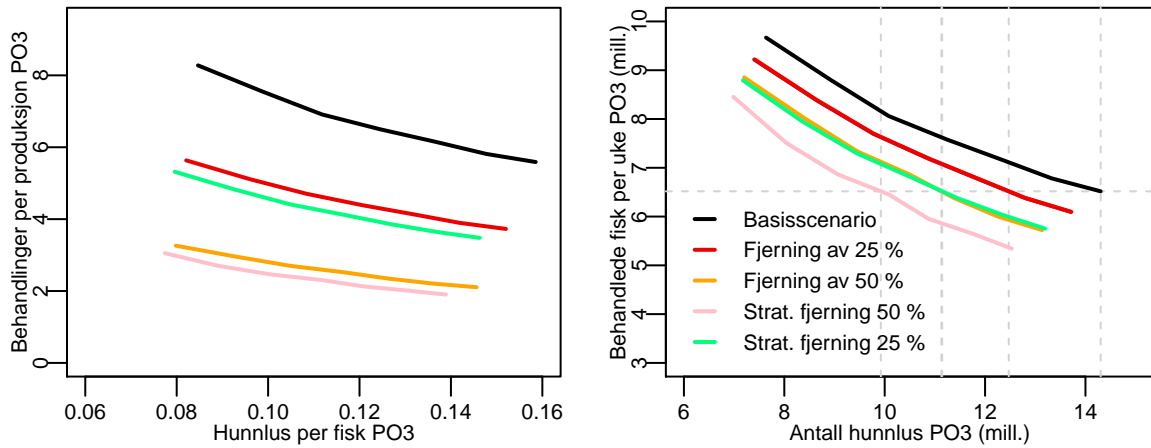
Sammenslåing av lokaliteter vil her si at vi fjerner 25 % eller 50 % av anleggene og flytter all fisk herfra over til øvrige lokaliteter, slik at samlet produksjon blir uendret. Dette gir en ny lokalitetsstruktur. De fjernede anleggene velges enten tilfeldig eller strategisk, dvs. de med størst avstandskontakt (minst sjøavstand). Resultatene er gitt i tabell 3. Vi finner en lusereduserende effekt av å slå sammen lokaliteter i PO3. Reduksjonen er større ved fjerning av 50 % av lokalitetene enn ved fjerning av 25 %. Å fjerne lokalitetene strategisk utfra avstandskontakt gir større effekt enn å fjerne tilfeldige lokaliteter. Å fjerne 25 % strategisk har tilsvarende effekt som å fjerne 50 % tilfeldig.

Tabell 3. Lusenivå og antall behandlinger ved sammenslåing av lokaliteter.

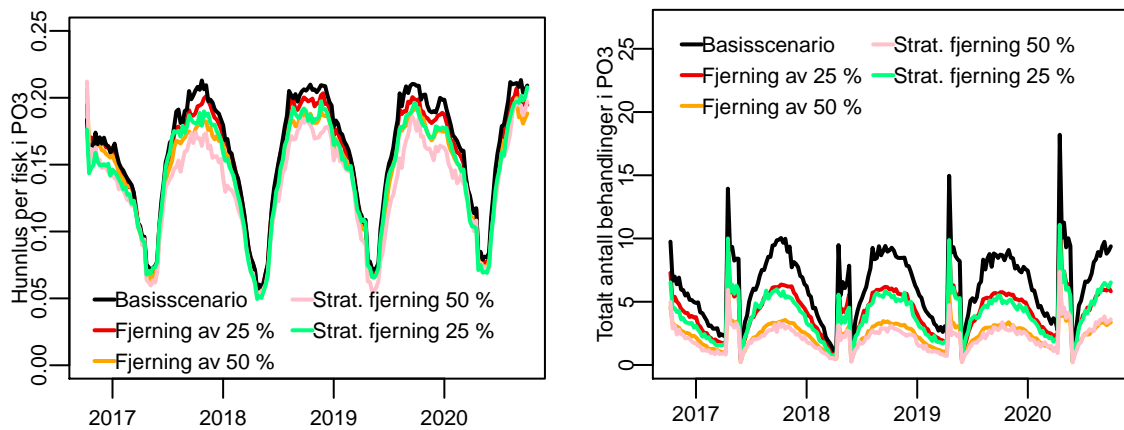
Godhetsmål	Tilfeldig fjerning av 25 %	Tilfeldig fjerning av 50 %	Strategisk fjerning av 25 %	Strategisk fjerning av 50 %	Basisscenario
$Q_{l/f}^{PO3}$	0,152	0,146	0,146	0,139	0,159
Q_L^{PO3}	13,71	13,14	13,19	12,53	14,30
$Q_{b/p}^{PO3}$	3,73	2,11	3,48	1,90	5,59
$Q_{b/f/u}^{PO3}$	6,10	5,72	5,75	5,34	6,52
R_L^{PO3}	4 %	8 %	9 %	12 %	–
$R_{b/f/u}^{PO3}$	6 %	12 %	13 %	18 %	–

Ønskede effekter i form av reduserte forekomster av hunnlus eller reduserte antall fisk som behandles kan manipuleres ved å endre tiltaksgrenser. Vi varierer derfor tiltaksgrensen og plotter antall lus mot antall behandlinger for de fem ulike scenarioene. Dette er gitt i figur 6. Høyre panel viser gjennomsnittlig antall hunnlus og antall behandlede fisk per uke i PO3. Ved å beholde samme tiltaksgrense som i basisscenarioet (0,5) vil både lusenivået og antall behandlinger reduseres. Dette er punktet nede til høyre i hver kurve. Imidlertid kan oppdretteren velge å også redusere tiltaksgrensa, slik at antall behandlede fisk er uendret og all gevinst tas ut i færre lus. En kan av figuren avlese at hvis en strategisk fjerner av 50 % av lokalitetene og reduserer tiltaksgrensa så mye at antall behandlede fisk per uke holdes fast som i basisscenarioet (6,52 millioner fisk), kan gjennomsnittlig antall hunnlus reduseres fra litt over 14 millioner til litt under 10 millioner, dvs. en reduksjon på omkring 31 %.

Vi plotter lus og behandlinger over tid for basisscenarioet og de fire alternative lokalitetsstrukturscenarioene, der tiltaksgrensene holdes som i basisscenarioet, gitt i figur 7.



Figur 6. Mengde lus mot mengde behandlinger for basisscenarioet, og for sammenslåing av lokaliteter ved tilfeldig eller strategisk fjerning av 25 % eller 50 % av lokalitetene i PO3.



Figur 7. Tidsplott av ukentlig antall hunnlus per fisk og antall behandlinger i PO3 for basisscenarioet, og for sammenslåing av lokaliteter ved tilfeldig eller strategisk fjerning av 25 % eller 50 % av lokalitetene i PO3.

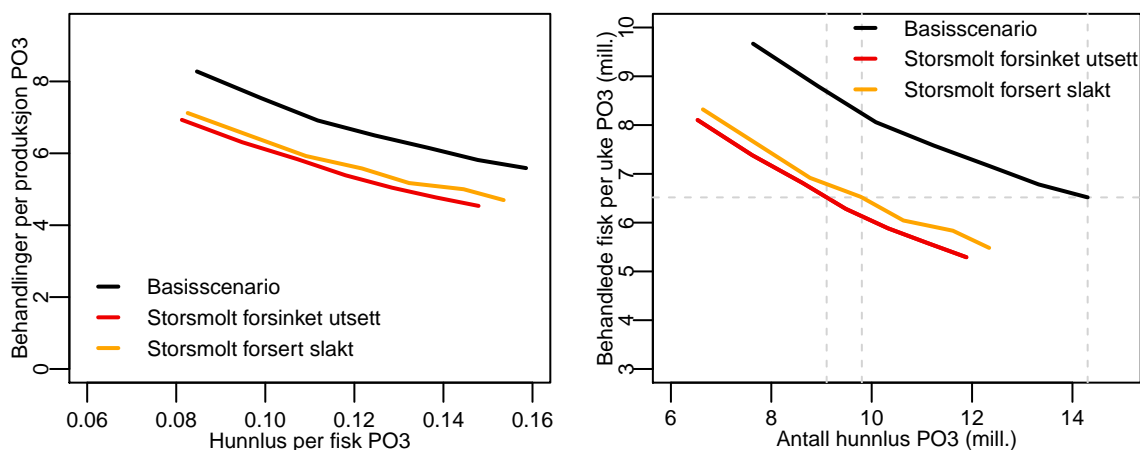
5.4 Mer bruk av storsmolt

De ulike godhetsmålene ved bruk av storsmolt for alle lokaliteter i PO3 er gitt i tabell 4. Vi ser at det forsinkede utsettet (normalt slaktetidspunkt) har noe større effekt enn utsett ved normalt tidspunkt (tidligere slakt).

Tabell 4. Lusenivå og antall behandlinger ved bruk av storsmolt i PO3. Storsmolt forsinket utsett er når produksjonsperiodene kuttes med 15 uker i starten av perioden, mens storsmolt forsert slakt er når produksjonsperiodene kuttes med 15 uker på slutten av perioden.

Godhetsmål	Storsmolt	Storsmolt	Basisscenario
	forsinket utsett	forsert slakt	
$Q_{l/f}^{PO3}$	0,148	0,154	0,159
Q_L^{PO3}	11,89	12,34	14,30
$Q_{b/p}^{PO3}$	4,54	4,70	5,59
$Q_{b/f/u}^{PO3}$	5,29	5,48	6,52
R_L^{PO3}	17 %	14 %	–
$R_{b/f/u}^{PO3}$	19 %	16 %	–

Vi varierer så tiltaksgrensen og plotter antall lus mot antall behandlinger for de tre ulike scenarioene. Dette er gitt i figur 8. Høyre panel viser at bruk av storsmolt på alle lokaliteter kan redusere gjennomsnittlig antall hunnlus med omkring 31-36 % hvis antall behandlede fisk per uke holdes fast (fra litt over 14 millioner i basisscenarioet til under 10 millioner i de to scenarioene med storsmolt).



Figur 8. Mengde lus mot mengde behandlinger for basisscenarioet, storsmolt satt ut på et seinere tidspunkt med samme slaktetidspunkt (storsmolt forsinket utsett), og storsmolt satt ut på samme tidspunkt, med tidligere slaktetidspunkt (storsmolt forsert slakt).

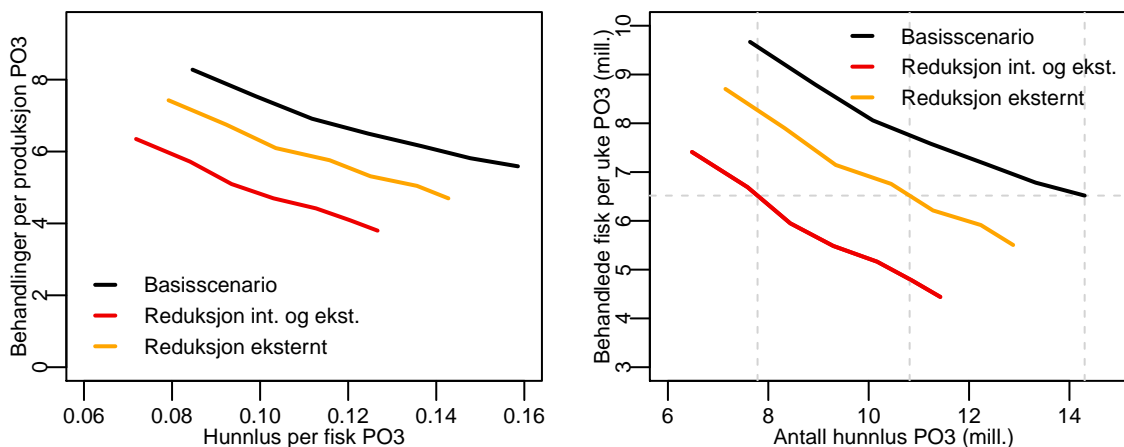
5.5 Redusert smitte ved bruk av forebyggende tiltak

Effekten av å halvere eksternt og eventuelt også intern smitte er gitt i tabell 5. Sammenliknet med basisscenarioet, gir økende bruk av luseforebyggende tiltak naturlig nok færre behandlinger og færre lus. Effekten er størst når både eksternt og intern smitte halveres. Å innføre forebyggende tiltak i PO3 gir også en liten gevinst for områdene utenfor PO3, i form av noe færre lus og færre behandlinger (tabell 9, Appendiks A).

Tabell 5. Lusenivå og antall behandlinger ved økende bruk av luseforebyggende tiltak.

Godhetsmål	50 % redusert	50 % redusert	Basisscenario
	smitte	smitte	
	internt og eksternt	eksternt	
$Q_{i/f}^{PO3}$	0,127	0,143	0,159
Q_L^{PO3}	11,43	12,88	14,30
$Q_{b/p}^{PO3}$	3,80	4,70	5,59
$Q_{b/f/u}^{PO3}$	4,44	5,51	6,52
R_L^{PO3}	20 %	10 %	–
$R_{b/f/u}^{PO3}$	32 %	16 %	–

Vi varierer så tiltaksgrensen og plotter antall lus mot antall behandlinger for de tre ulike scenarioene. Dette er gitt i figur 9. Høyre panel viser at hvis en klarer å halvere smitte fra naboanlegg kan gjennomsnittlig antall hunnlus reduseres med omkring 22 % hvis antall behandlede fisk per uke holdes fast (fra omkring 14 millioner i basisscenarioet til omkring 11 millioner) Hvis en i tillegg klarer å halvere smitten fra eget anlegg kan gjennomsnittlig antall hunnlus reduseres med omkring 45 % (til omkring 8 millioner).



Figur 9. Mengde lus mot mengde behandlinger for basisscenarioet, forebyggende tiltak med antatt beskyttelse både mot smitte fra nabo og innad i lokalitet (reduksjon int. og ekst.) og med antatt beskyttelse mot smitte kun fra nabo (reduksjon eksternt).

6 Metodikk og resultater ved bruk av strømkontakt

6.1 Lusemodell med strømkontakt

I den opprinnelige versjonen av lusemodellen er smittekontakt mellom anlegg j og anlegg i gitt som en ikke-lineær funksjon av sjøavstand, definert ved

$$\pi_0 \exp\left(-\pi_1 \left(\left(d_{ij}^{\pi_2} - 1\right)/\pi_2\right)\right),$$

slik at høye verdier betyr mye kontakt og null betyr at det ikke er noen kontakt, hvor d_{ij} er sjøavstanden mellom anleggene i og j og parameterne π_0 , π_1 og π_2 estimeres ved hjelp av dataene. Dette kaller vi avstandskontakt.

Når vi i stedet har strømkontakt, altså smittekontakt beregnet fra en hydrodynamisk modell, trenger vi ikke denne transformasjonen, da strømkontakten allerede er et mål på hvor mye smitte som kan spre seg mellom anleggene. Siden vi ikke har strømkontakt for alle anleggene, må vi imidlertid kombinere strømkontakt og avstandskontakt i lusemodellen. Vi bruker strømkontakt der det finnes, og ellers bruker vi avstandskontakt.

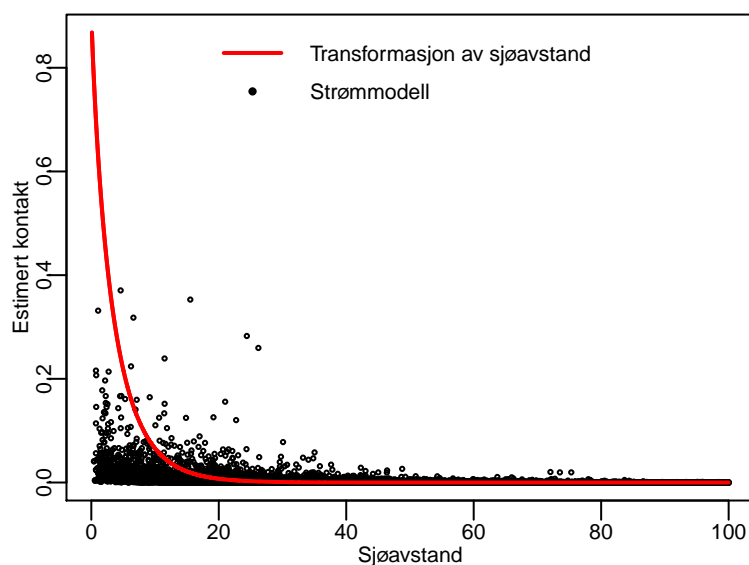
La I_{ij} være en indikator som er 1 dersom vi kjenner strømkontakten fra i til j og 0 ellers. Vi lar da smitte fra nabo være

$$\pi_0 \exp\left(-\pi_1 \left(\left(d_{ij}^{\pi_2} - 1\right)/\pi_2\right)\right) (1 - I_{ij}) + I_{ij} \pi_3 c_{ij}.$$

Her er c_{ij} er strømkontaktene fra i til j beregnet av Akvaplan-Niva, og disse har en vilkårlig skala. Parameteren π_3 estimeres fra lusedataene, og π_3 skalerer da strømkontakten i forhold til avstandskontakten. Det er mulig å bruke flere parametre og tillate en ikke-lineær funksjon av strømkontakt, men vi har ikke undersøkt det.

6.2 Estimert effekt av strømkontakt

Vi tilpasser modellen hvor vi bruker strømkontakt der hvor det er tilgjengelig, og avstandskontakt ellers. Dette gir en dårligere tilpasning til dataene (dårligere likelihood) enn kun å bruke avstandskontakt. Det tyder på at strømkontaktene, beregnet fra en hydrodynamisk modell, trolig kan forbedres. Strømkontakt (skalert med π_3) og avstandskontakt er gitt i figur 10, og plottet mot avstand. Vi ser at strømkontaktene tenderer til å ligge lavere enn avstandskontaktene. Det skyldes at π_3 er estimert til å være ganske lav, noe som igjen skyldes at det ikke var så veldig god sammenheng mellom c_{ij} og de observerte lusedataene. Dermed vil nok den reelle smittekontakten bli underestimert, noe som særlig kan få betydning for resultatene for scenarioet med ny lokalisasjonsstruktur. De estimerte parametrene fra denne modellen er gitt i tabell 12.



Figur 10. Strømkontakt og avstandskontakt mot sjøavstand, hvor strømkontaktene er gitt i svart og avstandskontaktene er gitt i rødt.

Vi repeterer så analysene basert på strømkontakt i stedet for sjøavstand. For reduserte tiltaksgrenser og for bruk av storsmolt gir det resultater som er sammenlignbare med resultatene vi fikk ved bruk av avstandskontakt. For sammenslåing av lokaliteter og for redusert ekstern smitte fikk vi imidlertid upålitelige resultater, som skyldes at vi i modellen har underestimert effekten av smitte fra naboanlegg.

Vi konkluderer med at mer arbeid gjenstår før strømkontakt kan integreres i lusemodellen på en god måte. Vi er imidlertid optimistiske og tror at strømkontakt kan erstatte avstandskontakt relativt snart.

7 Diskusjon

Når vi i simuleringene har sett på ny lokalitetsstruktur, har vi valgt å fordele den flyttede produksjonen jevnt over på de resterende anleggene. Alternativt kunne vi gjort som

i Husebråten et al. (2020) og flyttet produksjonen til gjenværende anlegg med lignende produksjonshistorikk. Ved å fordele jevnt på de gjenværende anleggene blir resultatet mindre avhengig av utsettstidspunkt, derfor har vi valgt å gjøre det på denne måten. Vi finner en noe lavere effekt av ny lokalitetsstruktur enn den Veterinærinstituttet fant i sine simuleringer. Ved tilfeldig sammenslåing av 50 % av lokalitetene finner vi en reduksjon i antall behandlede fisk på 8 %, og en reduksjon i antall behandlinger på 12 %, mens Veterinærinstituttet fant en reduksjon med 20 % i både antall lus og antall behandlede fisk. Mulige forklaringer er forskjellen i hvordan lokalitetene er sammenslått, nyere produksjonsdata, og/eller de nye parameterestimaterne.

Når vi har simulert storsmoltscenarioer, har vi valgt å kun redusere produksjonsperioder av en viss lengde (mer enn 52 uker), og kun på de produksjonsperiodene som er fullstendige i simuleringsvinduet mellom uke 41 i 2016 og uke 40 i 2020. Hvis vi hadde valgt å redusere alle produksjonsperiodene med 15 uker, ville den estimerte effekten av å gå over til storsmolt vært større. Ved å gjøre det på denne måten, får vi en rettferdig sammenlikning av de to storsmolt scenarioene forsinket utsett (normalt slaktetidspunkt) og normalt utsett (tidlig slaktetidspunkt).

Fordi vi ønsker å fokusere på PO3, kunne vi ha tilpasset lusemodellen kun på data fra PO3, for å sikre best mulig tilpasning til de observerte dataene i PO3. Vi forsøkte det, men konkluderte med at modellen var overparametrisert når vi kun brukte observasjonene i PO3.

Et annet alternativ er å kun simulere i PO3, siden vi kun er interessert i PO3. Da ville det også vært enklere å bruke de nye avstandsmatrisene fra Akvaplan-Niva (trenger ikke to avstandsfunksjoner). Men det ville ikke kunnet realistisk fange opp smitte fra lokaliteter i PO3 til PO2 og PO4, og heller ikke smitte utenfra og inn i PO3. Derfor har vi valgt å bruke hele landet.

Appendiks A: Utvidede resultater

Vi viser her utvidede versjoner av tabellene i rapporten. Ved å la summeringsindeksene j løpe over alle lokaliteter i landet, får vi tilsvarende godhetsmål for Norge $Q_{l/f}^{\text{NOR}}$, Q_L^{NOR} , $Q_{b/p}^{\text{NOR}}$ og $Q_{bf/u}^{\text{NOR}}$. Tilsvarende kan gjøres for produksjonsområde 2 og 4. Vi ønsker å forsikre oss om at endret strategi inne i PO3 ikke fører til negative konsekvenser utenfor PO3. For å studere det har vi definert to ekstra relative godhetsmål:

- Endring i antall hunnlus i Norge totalt relativt til hva det var i PO3 ved basisstrategien, gitt ved

$$R_L^{\text{NOR}} = 100(Q_L^{\text{b,NOR}} - Q_L^{\text{a,NOR}})/Q_L^{\text{a,PO3}}.$$

- Endring i antall behandlede fisk i Norge totalt relativt til hva det var i PO3 ved basisstrategien, gitt ved

$$R_{bf/u}^{\text{NOR}} = 100(Q_{bf/u}^{\text{b,NOR}} - Q_{bf/u}^{\text{a,NOR}})/Q_{bf/u}^{\text{a,PO3}}.$$

Hvis R_L^{NOR} er dårligere enn R_L^{PO3} betyr det at endret strategi i PO3 fører til økt lusnivå i naboombådene til PO3. Tilsvarende, hvis $R_{bf/u}^{\text{NOR}}$ er dårligere enn $R_{bf/u}^{\text{PO3}}$ betyr det at endret strategi i PO3 fører til økt behandlingbehov i naboombådene til PO3.

Tabell 6. Lusnivå og antall behandlinger ved variasjon av tiltaksgrense for lusebehandling.

Tiltaksgrense	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
$Q_{l/f}^{\text{NOR}}$	0,126	0,128	0,130	0,131	0,133	0,134	0,135
Q_L^{NOR}	91,89	93,06	94,47	95,68	96,68	97,34	98,65
$Q_{b/p}^{\text{NOR}}$	4,85	4,73	4,65	4,59	4,51	4,44	4,44
$Q_{bf/u}^{\text{NOR}}$	44,23	43,23	42,74	42,22	41,76	41,11	41,16
$Q_{l/f}^{\text{PO3}}$	0,085	0,099	0,112	0,125	0,136	0,147	0,159
Q_L^{PO3}	7,64	8,97	10,09	11,31	12,25	13,22	14,30
$Q_{b/p}^{\text{PO3}}$	8,26	7,58	6,93	6,55	6,08	5,75	5,59
$Q_{bf/u}^{\text{PO3}}$	9,65	8,86	8,08	7,64	7,09	6,70	6,52
R_L^{PO3}	47 %	37 %	29 %	21 %	14 %	8 %	–
R_L^{NOR}	47 %	39 %	29 %	21 %	14 %	9 %	–
$R_{bf/u}^{\text{PO3}}$	-48 %	-36 %	-24 %	-17 %	-9 %	-3 %	–
$R_{bf/u}^{\text{NOR}}$	-47 %	-32 %	-24 %	-16 %	-9 %	-1 %	–

Ved sammenslåing av lokaliteter med strategisk fjerning av 50 blir det ca. 1 % mer lus og 1 % fler behandlede fisk i PO2, forøvrig er det ingen negative konsekvenser for naboområdene til PO3 (tabell 7).

Tabell 7. Lusenivå og antall behandlinger ved sammenslåing av lokaliteter.

Godhetsmål	Tilfeldig fjerning av 25 %	Tilfeldig fjerning av 50 %	Strategisk fjerning av 25 %	Strategisk fjerning av 50 %	Basisscenario
$Q_{i/f}^{NOR}$	0,135	0,134	0,134	0,133	0,135
Q_L^{NOR}	98,05	97,47	97,38	97,16	98,65
$Q_{b/p}^{NOR}$	4,14	3,89	4,09	3,87	4,27
$Q_{b/f/u}^{NOR}$	40,71	40,32	40,27	40,10	41,16
$Q_{i/f}^{PO3}$	0,152	0,146	0,145	0,139	0,159
Q_L^{PO3}	13,71	13,14	13,19	12,53	14,30
$Q_{b/p}^{PO3}$	3,73	2,11	3,48	1,90	5,59
$Q_{b/f/u}^{PO3}$	6,10	5,72	5,75	5,34	6,52
$Q_{i/f}^{PO2}$	0,144	0,145	0,143	0,145	0,144
Q_L^{PO2}	5,52	5,53	5,46	5,56	5,51
$Q_{b/p}^{PO2}$	4,79	4,80	4,70	4,86	4,80
$Q_{b/f/u}^{PO2}$	2,41	2,41	2,35	2,44	2,40
$Q_{i/f}^{PO4}$	0,148	0,149	0,148	0,149	0,149
Q_L^{PO4}	13,49	13,54	13,51	13,54	13,55
$Q_{b/p}^{PO4}$	5,00	5,03	5,05	5,02	5,03
$Q_{b/f/u}^{PO4}$	5,89	5,93	5,94	5,93	5,94
R_L^{PO3}	4 %	8 %	8 %	12 %	–
R_L^{NOR}	4 %	8 %	9 %	10 %	–
$R_{b/f/u}^{PO3}$	6 %	12 %	12 %	18 %	–
$R_{b/f/u}^{NOR}$	7 %	13 %	14 %	16 %	–

Tabell 8. Lusenivå og antall behandlinger ved bruk av storsmolt i PO3. Storsmolt forsinket utsett er når produksjonsperiodene kuttes med 15 uker i starten av perioden, mens storsmolt forsert slakt er når produksjonsperiodene kuttes med 15 uker på slutten av perioden.

Godhetsmål	Storsmolt	Storsmolt	Basisscenario
	forsinket utsett	forsert slakt	
$Q_{i/f}^{NOR}$	0,134	0,135	0,135
Q_L^{NOR}	96,35	96,76	98,65
$Q_{b/p}^{NOR}$	4,27	4,30	4,44
$Q_{b/f/u}^{NOR}$	39,99	40,12	41,16
$Q_{i/f}^{PO3}$	0,148	0,154	0,159
Q_L^{PO3}	11,89	12,34	14,30
$Q_{b/p}^{PO3}$	4,54	4,70	5,59
$Q_{b/f/u}^{PO3}$	5,29	5,48	6,52
R_L^{PO3}	17 %	14 %	–
R_L^{NOR}	16 %	13 %	–
$R_{b/f/u}^{PO3}$	19 %	16 %	–
$R_{b/f/u}^{NOR}$	18 %	16 %	–

Tabell 9. Lusenivå og antall behandlinger ved økende bruk av luseforebyggende tiltak.

Godhetsmål	50 % redusert	50 % redusert	Basisscenario
	smitte internt og eksternt	smitte eksternt	
$Q_{i/f}^{NOR}$	0,131	0,133	0,135
Q_L^{NOR}	95,75	97,02	98,65
$Q_{b/p}^{NOR}$	4,15	4,27	4,44
$Q_{b/f/u}^{NOR}$	39,01	39,88	41,16
$Q_{i/f}^{PO3}$	0,127	0,143	0,159
Q_L^{PO3}	11,43	12,88	14,30
$Q_{b/p}^{PO3}$	3,80	4,70	5,59
$Q_{b/f/u}^{PO3}$	4,44	5,51	6,52
R_L^{PO3}	20 %	10 %	–
R_L^{NOR}	20 %	11 %	–
$R_{b/f/u}^{PO3}$	32 %	16 %	–
$R_{b/f/u}^{NOR}$	33 %	20 %	–

Appendiks B: Modellparametre

Vi rapporterer her modellparametre estimert på data fra BarentsWatch fra og med uke 1 2014 til og med uke 40 2020. De estimerte parameterne for adulte hunnlus er gitt i tabell 10. De estimerte parameterne for andre bevegelige lus er gitt i tabell 11. Resultatene stort sett i samsvar med de estimerte modellparameterne i Aldrin et al. (2019) som er tilpasset på data fra 2012-2016. Parameteren α som tillater ikke-lineær avhengighet av tellinger er nærmere 1 (lineær avhengighet) i de oppdaterte resultatene. Til forskjell fra Aldrin et al. (2019) tar vi også hensyn til salinitet. Vi har valgt å kode salinitet som en lineær effekt av salinitet opp til 30, og deretter en flat kurve. Dette ga bedre likelihood enn en lineærtilpasning for hele kurven. For voksne hunnlus finner vi en negativ effekt, det vil si jo høyere salinitet, dess færre lus. For andre bevegelige lus finner vi en positiv effekt, det vil si jo høyere salinitet, dess flere lus. Vi estimerer også separate effekter for medisinsk og ikke-medisinsk behandling, og finner større effekt av ikke-medisinsk behandling enn av medisinsk behandling, både på voksne hunnlus og andre bevegelige lus.

Behandlinger etter 2017

Vi undersøkte om de estimerte effektene av behandlinger ville bli annerledes dersom vi kun brukte data fra 2017 og utover. Dette på grunn av eventuell resistens mot medikamentell behandling. For adulte hunnlus finner vi samme effekt av medisinsk behandling, mens ikke-medisinsk behandling har noe mindre estimert effekt etter 2017. For andre bevegelige lus finner vi noe mindre effekt av medisinsk behandling etter 2017, og noe større effekt av ikke-medisinsk behandling.

Tabell 10. Estimerte parametre i lusemodellen for voksne hunnlus. kistår for konfidensintervall.

Parameter	Beskrivelse	Estimat	95 % ki
κ^{susc}	Referansenivå for susceptibilitet	0,59	(0,58, 0,62)
α	Ikke-lineær avhengighet av tellinger	0,95	(0,94, 0,95)
π_{med}^{tb}	P medisinsk behandling før telling	0,36	(0,35, 0,38)
π_{nomed}^{tb}	P ikke-medisinsk behandling før telling	0,39	(0,39, 0,40)
κ_{it}^{tmed}	Dødelighet medisinsk behandling	0,68	(0,67, 0,70)
κ_{it}^{tnomed}	Dødelighet ikke-med. behandling	0,79	(0,78, 0,80)
λ^{int}	Konstantledd intensitet	0,0049	(0,0047, 0,0052)
β^{int}	Konstantledd intensitet temperaturavhengighet	-0,065	(-0,073, -0,057)
ϕ_2^{As}	Verdi av ϕ_{2it}^{As} ved temperatur = 9	0,39	(0,38, 0,41)
β_2^{As}	Temperaturavhengighet av ϕ_{2it}^{As}	-0,091	(-0,10, -0,08)
ϕ_1^{Od}	Verdi av ϕ_{1it}^{Od} ved temperatur = 9	0,099	(0,095, 0,10)
β_1^{Od}	Temperaturavhengighet av ϕ_{1it}^{Od}	0,028	(0,019, 0,038)
ϕ_2^{Od}	Konstantledd i ϕ_{2it}^{Od}	0,026	(0,024, 0,029)
β_2^{Od}	Temperaturavhengighet av ϕ_{2it}^{Od}	-0,13	(-0,16, -0,097)
β_k^{susc}	Tidsavhengighet av κ_{it}^{susc}	0,00055	(0,00015, 0,00096)
β_k^{susc}	Temperaturavhengighet av κ_{it}^{susc}	0,053	(0,049, 0,057)
β_k^{susc}	Kvadratisk temperaturavhengighet av κ_{it}^{susc}	-0,0015	(-0,0018, -0,0011)
β_k^{susc}	Breddegradsavhengighet av κ_{it}^{susc}	0,025	(0,023, 0,026)
β_k^{susc}	Temperaturdifferanseavhengighet av κ_{it}^{susc}	-0,026	(-0,031, -0,023)
β_k^{susc}	Salinitetsavhengighet av κ_{it}^{susc}	-0,0013	(-0,0025, -0,0009)
κ_0	Fordelingsparameter	-3,64	NA
κ_1	Fordelingsparameter	0,098	(0,08, 0,12)
κ_2	Fordelingsparameter	0,29	NA
κ_3	Fordelingsparameter	3,44	NA
κ_4	Fordelingsparameter	4,69	(4,58, 4,80)
σ_0	Fordelingsparameter	0,98	(0,97, 1,0)
σ_1	Fordelingsparameter	0,01	(0,0092, 0,013)
σ_2	Fordelingsparameter	-1,04	(-1,08, -1,0)

Tabell 11. Estimerte parametre i lusemodellen for andre bevegelige lus, "ki" står for konfidensintervall.

Parameter	Beskrivelse	Estimat	95 % ki
κ^{susc}	Referansenivå for susceptibilitet	0,82	(0,79, 0,85)
α	Ikke-lineær avhengighet av tellinger	0,92	(0,92, 0,93)
δ	Ikke-lineær avh. av smitte fra nabo	1,06	(1,01, 1,11)
θ_{inf}	Ikke-lineær avhengighet av antall fisk	0,22	(0,14, 0,31)
θ_0	Ikke-lineær avhengighet av antall fisk	0,15	(0,11, 0,19)
π_{med}^{tb}	P medisinsk behandling før telling	0,48	(0,45, 0,51)
π_{nomed}^{tb}	P ikke-medisinsk behandling før telling	0,58	(0,56, 0,60)
κ_{it}^{tmed}	Dødelighet medisinsk behandling	0,63	(0,61, 0,65)
κ_{it}^{tnomed}	Dødelighet ikke-med. behandling	0,79	(0,77, 0,80)
π_1	Box-Cox-transformasjon	0,39	NA
π_2	Box-Cox-transformasjon	0,95	NA
λ^{int}	Konstantledd intensitet	0,017	(0,016, 0,018)
β^{int}	Konstantledd intensitet temperaturavhengighet	0,013	(0,0056, 0,021)
ϕ_2^{Os}	Verdi av ϕ_{2it}^{Os} ved temperatur = 9	0,21	(0,20, 0,22)
β_2^{Os}	Temperaturavhengighet av ϕ_{2it}^{Os}	-0,12	(-0,13, -0,10)
γ_a	Amplitude lagkurve for temperatur=9	0,43	(0,42, 0,45)
β_a	Temperaturavhengighet av amplitude	0,13	(0,12, 0,14)
γ_c	Konstant i senter av lagkurve ved tempe- ratur=9	7,2	(7,1, 7,3)
β_c	Temperaturavhengighet for senter	-0,087	(-0,090, -0,084)
γ_s	Spredning lagkurve for temperatur = 9	0,12	(0,11, 0,12)
β_c	Temperaturavhengighet av spredning	0,10	(0,09, 0,12)
π_0	Relativ viktighet av nabosmitte	0,59	(0,54, 0,66)
β_k^{susc}	Tidsavhengighet av κ_{it}^{susc}	-0,0011	(-0,0015, -0,00068)
β_k^{susc}	Temperaturavhengighet av κ_{it}^{susc}	0,032	(0,029, 0,035)
β_k^{susc}	Kvadratisk temperaturavhengighet av κ_{it}^{susc}	-0,0058	(-0,0062, -0,0055)
β_k^{susc}	Breddegradsavhengighet av κ_{it}^{susc}	-0,015	(-0,017, -0,014)
β_k^{susc}	Temperaturdifferanseavhengighet av κ_{it}^{susc}	-0,03	(-0,034, -0,026)
β_k^{susc}	Salinitetsavhengighet av κ_{it}^{susc}	0,0021	(0,001, 0,0032)
κ_0	Fordelingsparameter	-4,9	(-5, -4,8)
κ_1	Fordelingsparameter	0,0013	NA
κ_2	Fordelingsparameter	-1,6	NA
κ_3	Fordelingsparameter	4,5	(4,4, 4,6)
κ_4	Fordelingsparameter	6,2	(6,1, 6,3)
σ_0	Fordelingsparameter	0,76	(0,75, 0,76)
σ_1	Fordelingsparameter	0,037	(0,033, 0,041)
σ_2	Fordelingsparameter	-1,04	(-1,08, -1,0)

Tabell 12. Estimerte parametre i lusemodellen for andre bevegelige lus i den estimerte modellen hvor strømkontakter er brukt der hvor disse har vært tilgjengelig. "ki" står for konfidensintervall.

Parameter	Beskrivelse	Estimat	95 % ki
κ^{susc}	Referansenivå for susceptibilitet	0,86	(0,83, 0,89)
α	Ikke-lineær avhengighet av tellinger	0,92	(0,91, 0,92)
δ	Ikke-lineær avh. av smitte fra nabo	1,17	(1,11, 1,23)
θ_{inf}	Ikke-lineær avhengighet av antall fisk	0,15	(0,11, 0,19)
θ_0	Ikke-lineær avhengighet av antall fisk	0,23	(0,15, 0,32)
π_{med}^{tb}	P medisinsk behandling før telling	0,49	(0,46, 0,51)
π_{nomed}^{tb}	P ikke-medisinsk behandling før telling	0,55	(0,52, 0,57)
κ_{it}^{tmed}	Dødelighet medisinsk behandling	0,68	(0,66, 0,69)
κ_{it}^{tnomed}	Dødelighet ikke-med. behandling	0,79	(0,77, 0,81)
π_1	Box-Cox-transformasjon	0,30	(0,27, 0,34)
π_2	Box-Cox-transformasjon	0,88	(0,82, 0,94)
π_3	Skalering av smittekontakt	$8,5 \cdot 10^{-4}$	$(7 \cdot 10^{-4}, 1 \cdot 10^{-3})$
λ^{int}	Konstantledd intensitet	0,017	(0,016, 0,017)
β^{int}	Konstantledd intensitet temperaturavhengighet	0,021	(0,013, 0,029)
ϕ_2^{Os}	Verdi av ϕ_{2it}^{Os} ved temperatur = 9	0,27	(0,26, 0,28)
β_2^{Os}	Temperaturavhengighet av ϕ_{2it}^{Os}	-0,03	(-0,04, -0,019)
γ_a	Amplitude lagkurve for temperatur=9	0,39	(0,37, 0,41)
β_a	Temperaturavhengighet av amplitude	0,18	(0,17, 0,18)
γ_c	Konstant i senter av lagkurve ved temperatur=9	6,9	NA
β_c	Temperaturavhengighet for senter	-0,06	(-0,065, -0,056)
γ_s	Spredning lagkurve for temperatur = 9	0,12	NA
β_c	Temperaturavhengighet av spredning	0,086	NA
π_0	Relativ viktighet av nabosmitte	0,64	(0,59, 0,71)
β_k^{susc}	Tidsavhengighet av κ_{it}^{susc}	-0,0013	(-0,0017, -0,0009)
β_k^{susc}	Temperaturavhengighet av κ_{it}^{susc}	0,013	(0,010, 0,016)
β_k^{susc}	Kvadratisk temperaturavhengighet av κ_{it}^{susc}	-0,0052	(-0,0056, -0,0049)
β_k^{susc}	Breddegradsavhengighet av κ_{it}^{susc}	-0,017	(-0,019, -0,016)
β_k^{susc}	Temperaturdifferanseavhengighet av κ_{it}^{susc}	-0,025	(-0,03, -0,021)
β_k^{susc}	Salinitetsavhengighet av κ_{it}^{susc}	-0,00063	(-0,00018, 0,00055)
κ_0	Fordelingsparameter	-5	(-5,1, -4,9)
κ_1	Fordelingsparameter	-0,000076	(-0,00013, -0,000023)
κ_2	Fordelingsparameter	-1,7	NA
κ_3	Fordelingsparameter	4,1	(4, 4,3)
κ_4	Fordelingsparameter	5,4	(5,3, 5,6)
σ_0	Fordelingsparameter	0,69	(0,68, 0,7)
σ_1	Fordelingsparameter	0,041	(0,033, 0,041)
σ_2	Fordelingsparameter	-0,97	(-1, -0,93)

Referanser

Aldrin M., Jansen P.A, Stryhn H. 2019. A partly stage-structured model for the abundance of salmon lice in salmonid farms. *Epidemics*. 26, 9–22. [5](#), [12](#), [14](#), [30](#)

Husebråten M., Ådlandsvik B., Bergh Ø., Grove S., Karlsen Ø., Taranger G. L., Qviller L., Dean K. R., Jensen B.B., Johnsen I.A. 2020. Endret lokalitetsstruktur i produksjonsområde 3. Rapport fra havforskningen Nr. 2020-12.