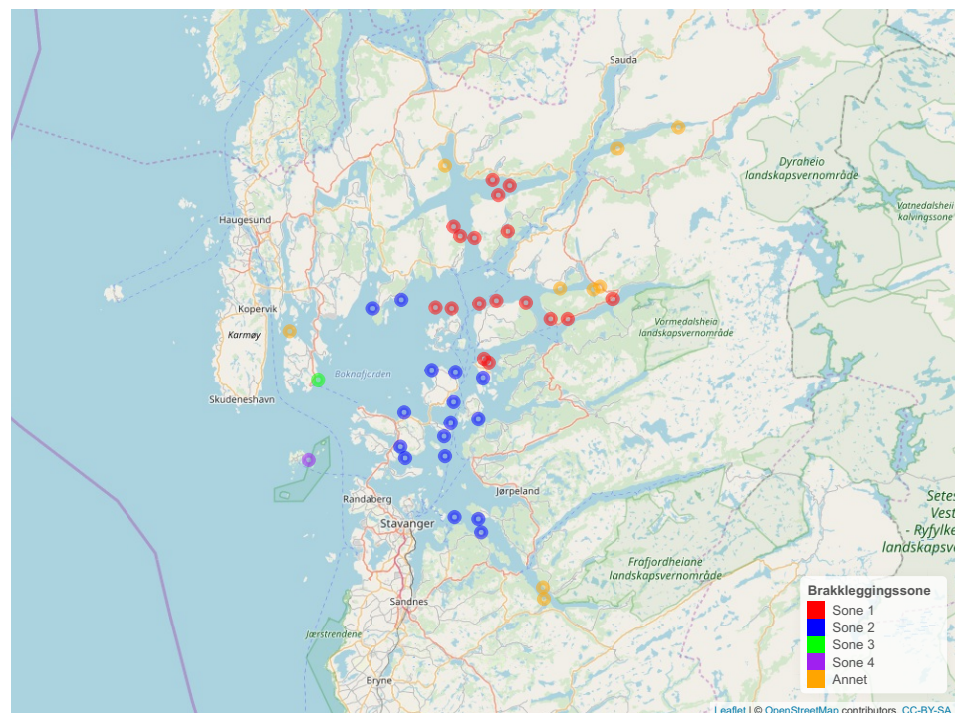


Strategier for bekjempelse av lakselus

- en vurdering basert på
scenariosimulering for Rogaland
-Delrapport for prosjekt FHF:901414 "Enhetlig
proaktiv lusestrategi Rogaland



Notatnr
Forfatter

SAMBA/29/19
Magne Aldrin
Ragnar Bang Huseby

Dato

4. november 2019

Forfatteren

Magne Aldrin og Ragnar Bang Huseby er ansatt ved Norsk Regnesentral

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.

Innhold

1	Innledning og utvidet sammendrag	5
2	Populasjonsmodellen	7
3	Scenariosimuleringer	10
4	Resultater	12
4.1	Sonering i forhold til ikke-sonering	12
4.2	Bytte av sonetilhørighet for fire anlegg	16
4.3	Fjerne anlegg med stor grad av kontakt med naboer	18
4.4	Bruk av storsmolt.	19
4.5	50% redusert påslag første 6 måneder i sjø	21
4.6	Tiltaksgrense avhengig av sjøtemperatur	23
4.7	Lavere tiltaksgrense i desember	24
4.8	Forsinket behandling	26
	Referanser	26

1 Innledning og utvidet sammendrag

I denne rapporten vil vi beregne effekter av en del ulike strategier for lakselusbekjempelse, basert på scenariosimulering for Rogalandsområdet. Effektene tallfestes som *hvor stor prosentvis reduksjon av antall behandlinger som kan oppnås* ved å bytte fra én strategi til en annen, *mens lusenivået holdes uendret*. En behandling er her definert som en behandling med umiddelbar effekt på lus på fisken i alle stadier, med en dødelighet på 50-95%. Dette kan være en medikamentell behandling eller en annen type behandling. En effekt er beregnet som en samlet effekt for 35 oppdrettsanlegg i Rogalandsområdet hvor det antas at alle oppdrettsanlegg disse følger samme strategi. Beregningene er gjort ved scenariosimuleringer (hva-hvis-analyse) fra en populasjonsmodell for lakselus som tidligere er utviklet i prosjektene FHF:900970 og FHF:901424 finansiert av Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering (FHF).

Arbeidet med scenariosimuleringene er utført som en del av FHF-prosjektet FHF:901414 "Enhetlig proaktiv lusestrategi Rogaland". Partnere i dette prosjektet har vært Blue Planet, Proactima, Veterinærinstituttet og Norsk Regnesentral. Scenariosimuleringene er utført for Rogalandsområdet, og fokuserer bl.a. på effekt av sone-ring, bruk av storsmolt, temperaturavhengig eller sesongavhengig tiltaksgrense og forsinket behandling. Slike scenariosimuleringer utførte vi også i det tidligere prosjektet FHF:900970, publisert i rapporten Aldrin og Huseby (2017). Den gang var Nord-Frøya det aktuelle området og vi fokuserte på effekt av enkeltmerdbehandling og ulike strategier for lusetelling. Vi har tillatt oss å gjenbruke noe av teksten fra den rapporten,

I de neste kapitlene gir vi først en kort beskrivelse av populasjonsmodellen og deretter forklarer vi hvordan scenariosimuleringene er gjennomført, og gjennomgår resultatene i mer detalj.

Alle beregninger gjøres for to ulike mål på lusenivå, et basert på antall voksne hunnlus per fisk i gjennomsnitt over en produksjonssyklus og et basert på totalt antall luselarver som produseres og utvikles til infektive kopepoditter. Videre gjøres beregningene for to ulike smitteindekser, dvs. hvordan smitte fra naboanlegg beregnes. Den ene smitteindeksen er basert på sjøavstand til naboer, mens den andre er basert på en midlere strømkontakt med naboer, hvor midlere strømkontakt er beregnet fra Proactimas hydrodynamiske modell (Kierans et al., 2019) i gjennomsnitt over to år. Merk at kontakt basert på sjøavstand er symmetrisk, dvs. det er like langt fra lokalitet A til B som motsatt vei. Det er ikke tilfelle når vi bruker midlere strømkontakt, det kan for eksempel være mer kontakt fra A til B enn motsatt vei.

For de fleste scenarier fører de ulike antakelser til samme konklusjon for det enkelte scenario, men for noen scenarier vil konklusjonen være mer avhengig av hvilke antakelser som ligger til grunn.

Vi tallfester effekten av en alternativ strategi i forhold til en basisstrategi som prosentvis reduksjon (eller økning) i antall behandlinger nødvendig for å opprettholde et lusenivå på samme nivå som i historiske data for Rogaland de siste år. Ved tolkning av resultatene må vi huske selv om populasjonsmodellen vi bruker er konstruert for å etterligne virkeligheten best mulig, så er disse beregningene basert på en modell, med forenklinger og ulike antakelser. Tallene vi presenterer gir dermed ikke noen absolutt sannhet, men kan likevel gi en pekepinn om størrelsesorden på effekter av ulike tiltak. Resultatene kan oppsummeres slik:

- Sonering, med synkronisert produksjon og brakklegging innen to store og to små soner, startet i Rogaland i 2017. Dette er sammenlignet med alternativet at produksjonen ikke synkroniseres. Ved å ikke synkronisere kan behovet for behandlinger reduseres med omkring 20%. Dette gjelder for den aktuelle soneinndelinga, og andre soneinndelinger kan gi andre resultater. Effekten av sonering mht andre sjukdommer er ikke vurdert.
- En liten justering av soneinndelinga, som innbefatter en annen soneinndeling for fire utvalgte lokaliteter, gir små endringer, mellom 5% redusert og 5% økt behandlingsbehov avhengig av ulike forutsetninger.
- Eliminering av smitte fra fire utvalgte anlegg med mye kontakt med naboanlegg og overføring av deres biomasse til øvrige anlegg gir svært sprikende resultater. Konklusjonene er da helt avhengig av hvilken smitteindeks vi tar i bruk i simuleringene, og hvordan de fire anleggene velges ut. Vi velger først ut a) fire anlegg som har stor grad av strømkontakt *fra* naboene *til* de fire anleggene og deretter b) fire anlegg med liten sjøavstand til naboene. Ved bruk av smitteindeksen basert på sjøavstand blir behovet for behandling redusert med 7-15% ved å fjerne fire anlegg, og forskjellen mellom a) og b) er ikke så stor. Hvis vi stedet tar i bruk smitteindeksen basert på midlere strømkontakt, blir behandlingsbehovet redusert med drøye 50% hvis vi fjerner fire anlegg med mye strømkontakt med naboene (situasjon a) , men *øker* med drøye 10% hvis vi fjerner fire anlegg med liten sjøavstand til naboer (situasjon b).
- Ved gå over til å sette ut 500g storsmolt på alle anlegg reduseres behandlingsbehovet med 35-50%. Dette innbefatter at smolten settes ut på samme tid som før, men slaktes tidligere med påfølgende lengre brakkleggingstid. Hvis i stedet kun halvparten av anleggene bruker storsmolt, vil behovet for behandlinger reduseres med 15-25%. Gevinsten er størst hvis vi fokuserer på antall infektive kopepoditter som blir produsert.

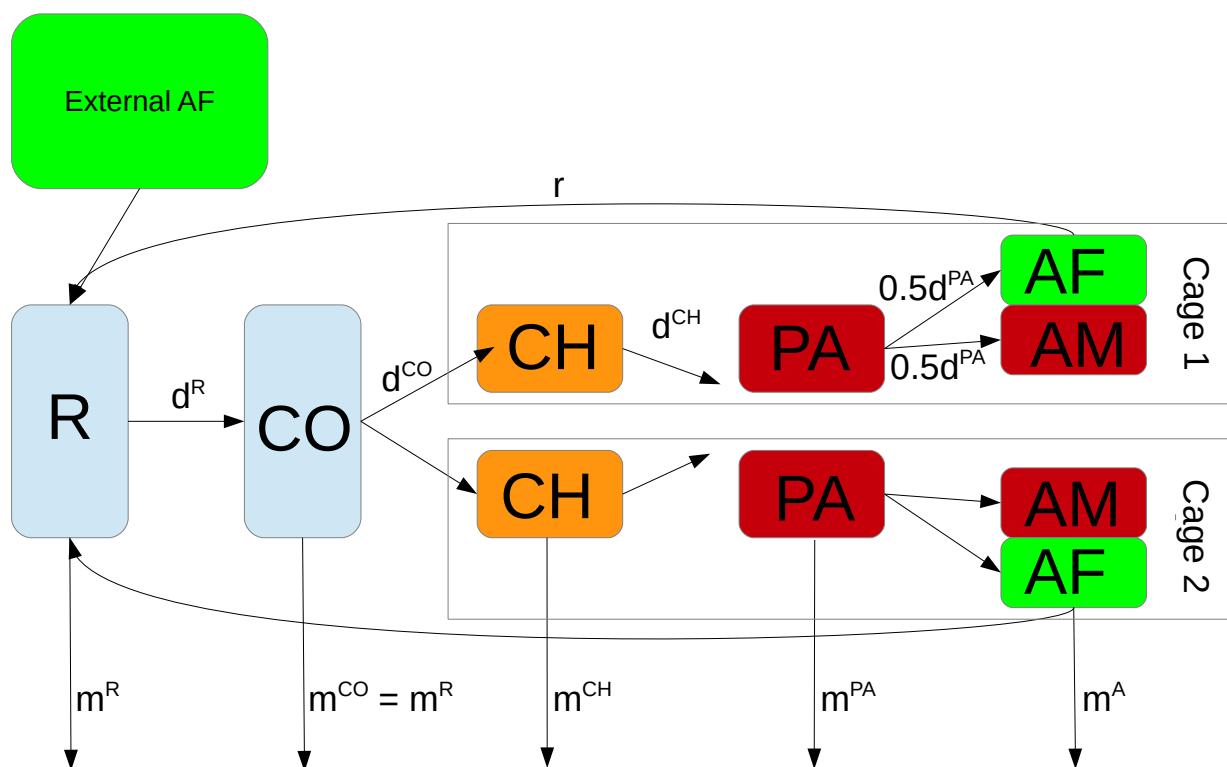
- Hvis en kan halvere påslaget av kopepoditter de første seks månedene i sjø, f.eks. ved bruk av luseskjørt, reduseres behandlingsbehovet med 40-60%
- Hvis en kan halvere påslaget av kopepoditter de første seks månedene i sjø, og samtidig sette ut 500g storsmolt på alle anlegg, kan behandlingsbehovet reduseres med omkring 70-90%.
- Ved å innføre en temperaturavhengig tiltaksgrense som er høyere når det er kaldt i vannet og lavere når det er varmt (proporsjonalt med den inverse av sjøtemperaturen), kan behandlingsbehovet reduseres med 5-10%. Samtidig vil færre behandlinger utføres når det er kaldt i vannet og noen flere når det er varmt. Gevinsten er størst hvis vi fokuserer på antall infektive kopepoditter som blir produsert.
- En redusert tiltaksgrense i desember i forhold til resten av året fører til 3-30% økt behov for behandling, avhengig av forutsetningene. Dette gir redusert lusenivå i desember og de par første månedene av det kommende året, men effekten varer ikke fram til kommende vår.
- Om en lusebehandling forsinkes med seks dager, f.eks. utføres sju dager etter i stedet for én dag etter overskridelse av tiltaksgrensa, øker behandlingsbehovet med 10-15%.

2 Populasjonsmodellen

Under beskriver vi hovedtrekkene i populasjonsmodellen. En full beskrivelse av modellen finnes i artikkelen "A stage-structured Bayesian hierarchical model for salmon lice populations at individual salmon farms - Estimated from multiple farm data sets" (Aldrin et al., 2017), og med utvidelser dokumentert i rapporten Aldrin og Huseby (2019) fra det inneværende prosjektet.

Populasjonsmodellen er en stadiestrukturert modell for hvordan lusa utvikler seg gjennom ulike stadier fra egg til voksne hunnlus, og hvordan de er tilknyttet et oppdrettsanlegg og de enkelte merdene i anlegget. Den er videre stokastisk, slik at hvis en simulerer fra modellen gjentatte ganger under samme forutsetninger vil en få variasjon i resultatene, og dette er ment å gjenspeile usikkerhet og tilfeldig variasjon. Figur 1 viser en oversikt over modellen. I modellen er lusas livsløp delt inn i fem stadier, dvs. at i modellen er noen av de virkelige biologiske stadiene er slått sammen. Rekruttstadiet (R) består av egg og larver i nauplii-stadiet. Kopepoditt-stadiet (CO) består av av infektive larver som ennå ikke har funnet en vertsfisk. (Vi ignorerer den korte tida hvor kopepodittene har funnet en vertsfisk, men ennå ikke har utviklet seg til chalimus-stadiet.) Chalimus-stadiet (CH)

består av fastsittende lus på fisken, deretter kommer det pre-adulte (PA, bevegelige) og til sist det adulte eller voksne stadiet (A, også bevegelige). De voksne deles videre inn i voksne hunnlus (AF) og voksne hannlus (AM). I de to første stadiene (R og CO) er lusa ennå ikke tilordnet en merd, mens for de tre påfølgende stadiene, hvor lusa sitter på fisken, er lusepopulasjonen fordelt på merder. I hvert stadium kan lusa i løpet av et døgn enten dø, utvikle seg til neste stadium eller forbli i stadiet ett døgn til. I tillegg kan voksne hunnlus produsere nye rekrutter som forblir i anlegget (internsmitte) eller spres til naboanlegg, og rekrutter kan også tilføres fra naboanlegg (eksternsmitte). Lus i de siste tre stadiene telles på et utvalg av fisk, typisk hver eller annenhver uke i hver merd.



Figur 1. Oversikt over populasjonmodellen for lakselus som er brukt i scenariosimuleringene. Lus i stadier markert med oransje, rødt og grønt blir talt, mens lus i de blå stadiene ikke blir talt. Lus er assosiert med en merd fra de er fastsittende på en fisk (dvs. i chalimus-stadiet), her illustrert på et anlegg med to merder. Bokstavene d, m and r symboliserer henholdsvis utvikling til neste stadium, dødelighet og rekruttering av nye lus (d for development, m for mortality and r for recruitment).

Det som først og fremst skiller denne modellen fra lignende modeller, er at alle modellparametre er estimert ut fra reelle, fullskala produksjonsdata, selv om re-

sultater basert på laboratoriereksperimenter er brukt som tilleggsinformasjon. Modellparameterne i populasjonsmodeller for lakselus som er presentert i litteraturen tidligere, har hovedsakelig vært basert på data fra laboratorieeksperimenter eller småskala-eksperimenter. Dataene som er brukt til å estimere modellparameterne i vår modell, kommer fra 35 fullførte eller påbegynte produksjonssykluser fra like mange oppdrettsanlegg i Rogaland tilhørende Mowi (den gang Marine Harvest), Bremnes Seashore, Grieg Seafood og Alsaker. For 33 av disse har fisken blitt satt ut i 2015, 2016 eller 2017, mens for to produksjonssykluser er fisken satt ut i 2013 eller 2014. For de påbegynte, men ikke fullførte, produksjonssyklusene har vi hatt data for minst ett år.

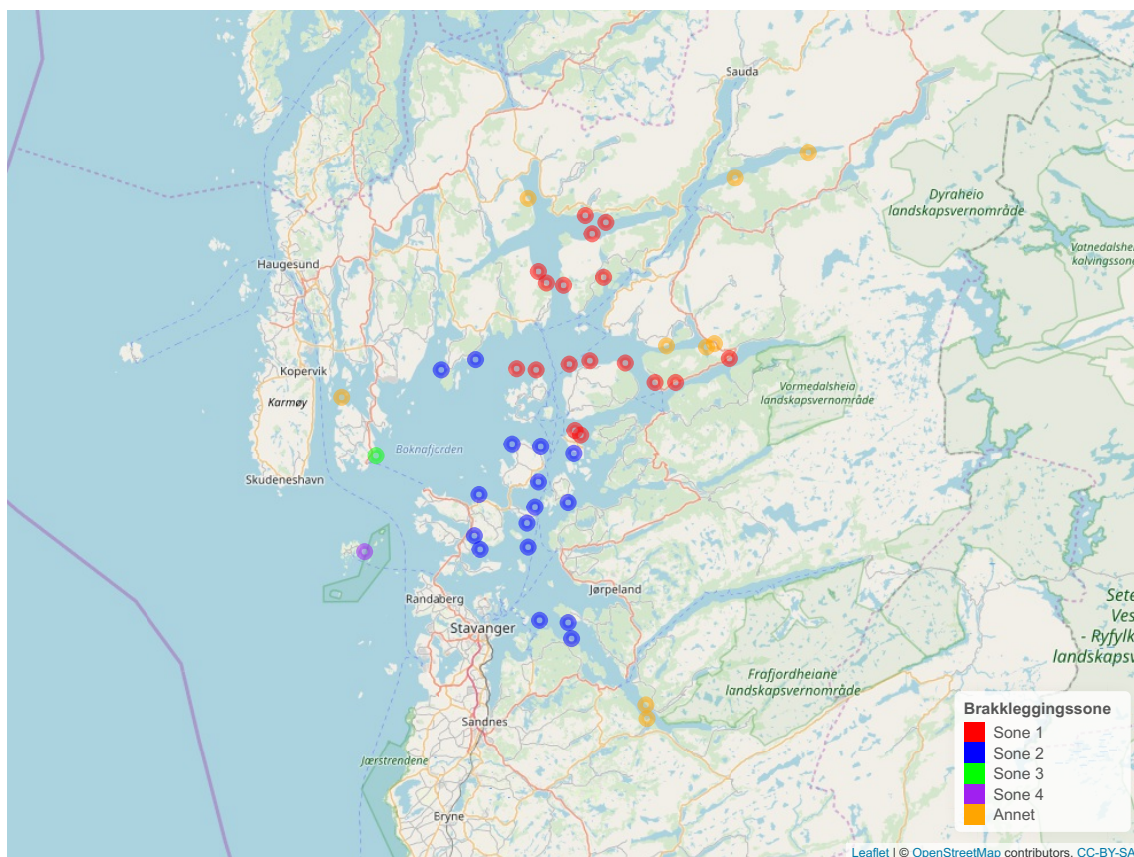
En daglig smitteindeks for smitte fra naboanlegg er input til populasjonsmodellen. Denne beregnes utenom selve populasjonsmodellen. Vi har her brukt to ulike smitteindekser. De ene er basert på sjøavstand, hvor antall voksne hunnlus på nabolokaliteter vektet i forhold til hvor nær de ligger i sjøavstand fra den aktuelle lokaliteten. Sjøavstand er her definert som korteste vei gjennom sjø mellom to lokaliteter. Den andre smitteindeksen er basert på midlere eller gjennomsnittlig strømkontakt mellom alle par av lokaliteter over tid. Midlere strømkontakt er her beregnet ved hjelp av Proactimas hydrodynamiske modell (Kierans et al., 2019) som (modellert) strømkontakt i gjennomsnitt over 2013 og 2014, se detaljert beskrivelse i kapittel 4.1 i Aldrin og Huseby (2019). Merk at for midlere strømkontakt vil grad av kontakt mellom to lokaliteter være avhengig av retning (fra A til B eller fra B til A), mens ved bruk av sjøavstand er grad av kontakt lik i begge retninger.

Det er opplagt at smitteindeksen basert på sjøavstand ikke er optimal, siden den ignorerer strømforhold. Det er videre åpenbart at det er bedre å bruke en smitteindeks basert på midlere strømkontakt over tid, så lenge strømkontakten er kjent eksakt. Imidlertid kan vi her bare bruke en *beregnet* midlere strømkontakt, så hvor godt dette er avhenger av hvor presis den underliggende hydrodynamiske modellen er. Det tar vi ikke stilling til, men det er greit å huske at når vi seinere i rapporten bruker begrepet midlere strømkontakt, eller bare strømkontakt, er den alltid beregnet fra en modell og har en ukjent usikkerhet.

Populasjonsmodellen er så estimert separat for begge typer smitteindeks. Smitteindeks basert på sjøavstand ga best tilpasning til data. Imidlertid hadde valg av smitteindeks ganske lite å si for estimatene for øvrige modellparametre. Og det kan selvsagt innvendes mot den sjøavstandsbaserte smitteindeksen at den ignorerer strømforhold. Derfor er alle scenariosimuleringene som er utført i dette prosjektet, utført to ganger, en gang med smitteindeks basert på sjøavstand og en gang med smitteindeks basert på midlere strømkontakt.

3 Scenariosimuleringer

Scenariosimuleringene er utført for 35 oppdrettsanlegg i Rogalands-området, se Figur 2. Vi antar at alle disse følger samme strategi for hvert enkelt scenario. I tillegg er det 9 anlegg i området som vi antar ikke følger de ulike strategiene, men driver uavhengig av hva som gjøres på de 35 anleggene som inkluderes i forsøket. Disse er holdt utenom av ulike årsaker, og består både av ordinære anlegg og av anlegg med stamfisk eller som driver med forskning. Vi betegner disse 9 anlegg som “indre” anlegg. Smitte fra disse indre anleggene til de 35 anleggene i forsøket holdes uendret, dvs. som i historiske data. Videre kommer det smitte fra lokaliteter utenfor Rogalandsområdet, og smitten fra disse holdes også fast som i historiske data. Smitten fra disse “indre” og “ytre” anlegg er imidlertid noe overestimert, fordi vi ved beregning av dette brukte noe for høye tall på antall fisk enn det som reelt var reelt. Vi mener imidlertid at det ikke påvirker våre resultater nevneverdig.



Figur 2. Geografiske posisjoner og soneinndeling for de 35 anlegg i Rogalandsområdet som inngår i scenariosimuleringene, samt geografiske posisjoner for de 9 anlegg som avgir smitte basert på historiske data. Figuren er laget av Lars Qviller, Veterinærinstituttet.

Utgangspunktet for scenariosimuleringene er dagens situasjon med inndeling i

fire soner. Simuleringene starter i juli 2017 og går 10 år framover. Sone 2 består av 16 anlegg og har høstutsett fra og med 2017 og annethvert år framover. Deretter starter sone 4 med ett anlegg og vårutsett fra og med 2017 og annethvert år framover. Sone 1 har 17 anlegg og har høstutsett fra og med 2018 og annethvert år framover. Til sist kommer sone 3 med ett anlegg og vårutsett 2019 og annethvert år framover. Hvor lenge hver produksjonssyklus varer, er i stor grad hentet fra tidligere data, og det er grovt sett omkring 18 måneder. De ulike anlegg smitter hverandre, men hvor mye avhenger av ulike faktorer i de enkelte scenariene. I initieringsfasen fram til våren 2019, før alle anlegg er inkludert i simuleringene, beregnes smitte på en slik måte at det totale smittenivået holdes på et realistisk nivå.

Det vi gjør, er å holde mest mulig av produksjonsfaktorene (f.eks. vekt på fisken og antall merder i hvert anlegg) lik det de var i virkeligheten i et tidligere utsett, mens vi simulerer luseutviklinga på nytt fra populasjonsmodellen under gitte forutsetninger angående tellinger av lus, behandlingsstrategi og noen få andre faktorer. For 19 av anleggene har vi data for den siste fulle produksjonssyklusen, og denne gjentar vi ti ganger framover i løpet av studieperioden. For ti anlegg har vi starten av en produksjonssyklus (typisk det første året), og disse forlenger vi ved å legge inn en antatt dødelighet og vekst av fisk. Til slutt er det 6 anlegg vi ikke har produksjonsdata for. For disse har vi valgt å bruke data fra en av de komplette produksjonssyklusene som mal, og så har vi justert opp eller ned antall fisk i forhold til tillatt biomasse på det enkelte anlegg. Alle produksjonssykluser er justert tidsmessig slik at de passer inn soneringsplanen som er nevnt over.

I hovedsak holdes altså produksjonsfaktorene i simuleringeksperimentene slik det de var i virkeligheten, hvis ikke annet blir oppgitt eksplisitt. Dvs. at fisken i simuleringeksperimentene blir satt ut og slaktet på samme tidspunkt på året som i de reelle dataene, og antall og vekt på fisken er som i virkeligheten. Videre simuleres det med våravlusning, ved at det er en lavere tiltaksgrense i vårukene. Vi har likevel valgt å ikke bruke rensefisk eller fôrbehandlinger i simuleringeksperimentet, selv om det blir brukt i virkeligheten.

Vi gjør kun endringer i forutsetningene for disse 35 anleggene. For anlegg utenom Rogalandsområdet gjøres det ingen endringer, slik at smitte fra disse inn til Rogalandsområdet også holdes fast. Tilsvarende gjelder for de ni "indre" anleggene, bortsett fra i ett scenario.

Basisscenariet er dagens situasjon med den soneringsstrukturen som er angitt over. Vi antar at det telles lus på 20 fisk per merd hver uke. Vi følger alltid en merdvis behandlingsstrategi, dvs. at en merd behandles hvis antall voksne hunnlus per fisk i tellingene overstiger en viss tiltaksgrense eller terskelverdi. Denne tiltaksgrensa varieres så fra 0,02 til 2 voksne hunnlus per fisk. Vi tar ikke sikte på

å finne en optimal tiltaksgrense, men vil i stedet vurdere forskjeller mellom ulike strategier over et spekter av tiltaksgrenser. I vårukene (uke 16-21) har vi en maksimal tiltaksgrense på 0,2, og lik den ordinære tiltaksgrensa hvis denne er lavere enn 0,2. Vi antar i utgangspunktet at en behandling gjennomføres dagen etter at tiltaksgrensa er overskredet, og at en behandling dreper enten 95% eller 50% av alle lus på fisken (fasttittende, bevegelige og voksne hunnlus).

4 Resultater

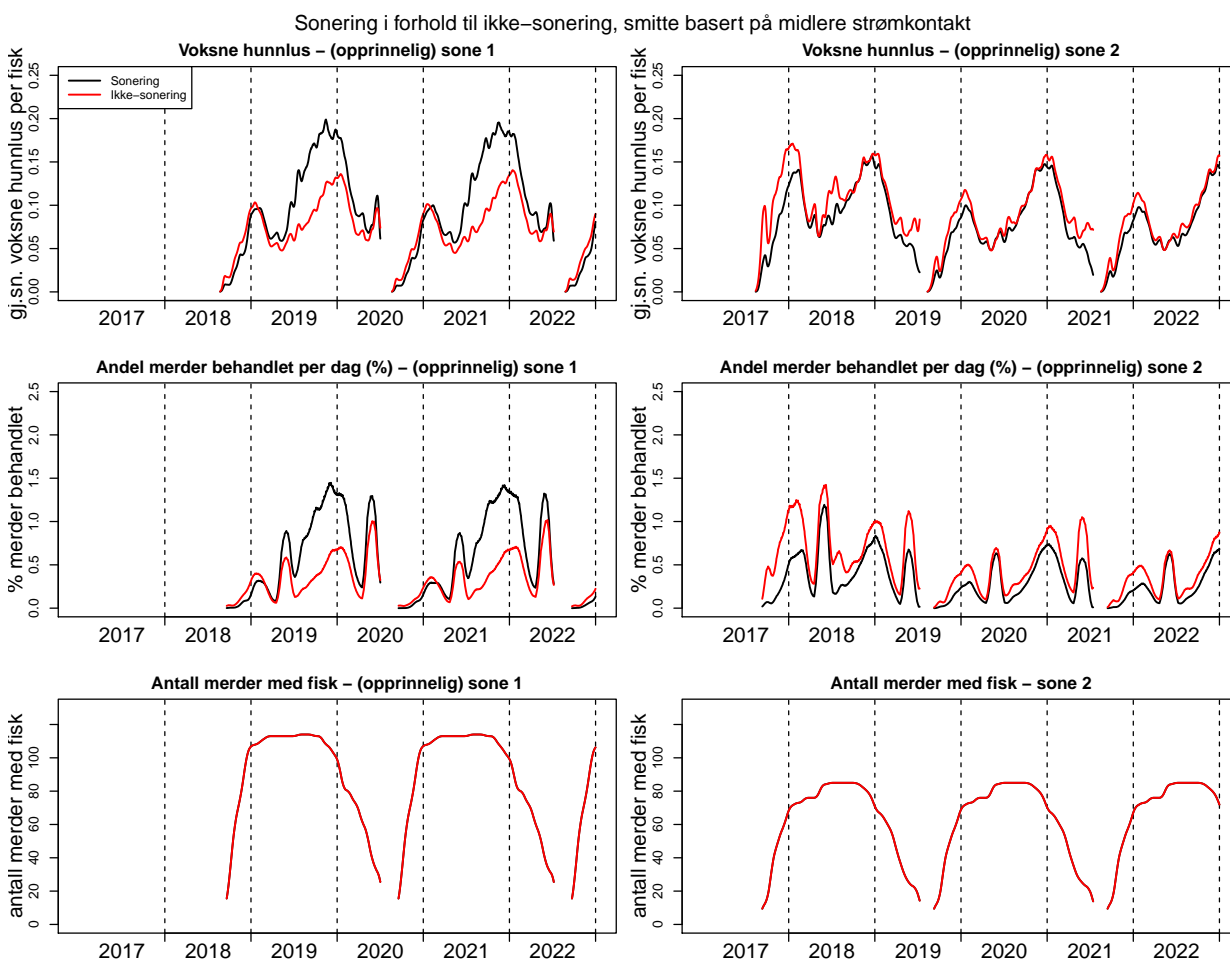
4.1 Sonering i forhold til ikke-sonering

Vårt første alternative scenario er å ikke sonere i det hele tatt. Det gjør vi ved å beholde alle produksjonsykluser eller oppdrettsanlegg fast med dato for utsett og slakt, antall fisk, antall merder osv fast, men vi bytter tilfeldig geografisk plassering mellom alle oppdrettsanlegg. Den totale produksjonen vil da være identisk med basisscenariet, men det vil ikke lenger være noen synkronisert produksjon innen soner. Vi simulerer ti år framover og beregner antall merdbehandlinger, og hvor mye lus det er til enhver tid. Dette gjentas 100 ganger, og for hver gang byttes det tilfeldig geografisk plassering, samt at utvikling av lus simuleres med en viss grad av tilfeldighet i forhold til populasjonsmodellen, inkludert usikkerhet i modellparameterne. Tilsvarende gjøres for basisscenariet.

La oss først anta at den aktuelle behandling fører til at 95% av lusa på fisken dør, at vi bruker en tiltaksgrense på 0,5 voksne hunnlus per fisk og at vi bruker en smittepressindeks basert på midlere strømkontakt. De svarte kurvene i Figur 3 viser hvordan lusenivået varierer over tid, hvor stor andel av merdene hvor gjennomføres behandlinger per dag og hvor mange merder som til enhver tid er aktive, dvs. har fisk (likt for begge scenarier i dette tilfellet). Dette er vist separat for lokaliteter i sone 1 (til venstre) og sone 2 (til høyre). Vi ser av kurvene at første produksjonsyklus i sone 2 er noe ulik de kommende produksjonsyklusene for samme sone. Det skyldes at dette er initieringsfasen i eksperimentet. Dette er mindre synlig for anlegg i sone 1, for de settes i gang seinere. Vi ser tydelig sesongsvingninger som skyldes tid for utsett, våravlusning og temperatursvingninger.

De røde kurvene i samme figur gjelder for nøyaktig de samme anleggene, men tilfeldig spredt geografisk, altså uten sonering. I plottet er disse plassert i den sonen de opprinnelig lå, slik at de to kurvene i hvert panel er basert på nøyaktig de samme oppdrettsanlegg. Vi ser at for anlegg som opprinnelig lå i sone 1 er det klart gunstig å ikke sonere, siden de røde kurvene ligger under de svarte i både øvre og midlere panel. For anlegg som opprinnelig lå i sone 2, er det motsatt,

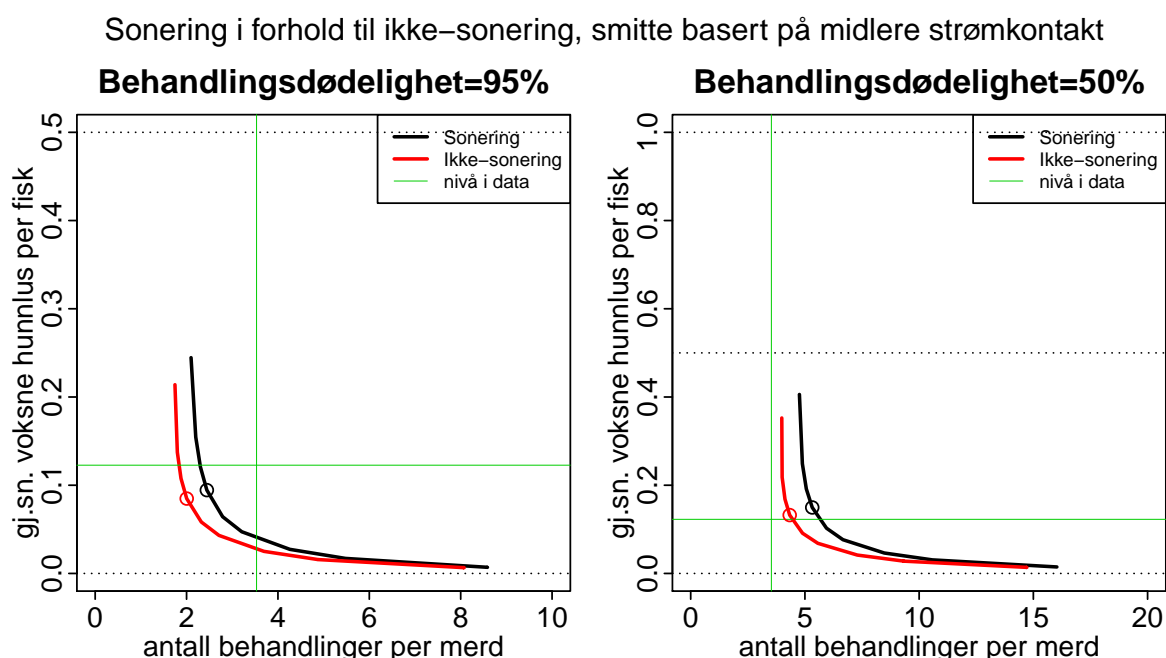
men kanskje ikke i like sterk grad. Noe av grunnen kan være at sone 2 har en gunstigere beliggenhet enn sone 1. Vi ser videre at i starten av et utsett er det mest gunstig med sonering, men etterhvert blir det relativt mer gunstig å ikke sonere. Hvordan dette slår ut totalt, kommer vi tilbake til under.



Figur 3. Tidsplott av gjennomsnittlig antall hunnlus per fisk (øverste paneler), antall behandlinger per merd (midterste paneler) og antall aktive merder (nederste paneler) for lokaliteter som opprinnelig ligger i henholdsvis sone 1 (venstre paneler) og sone 2 (høyre paneler). Svarte kurver er for basisscenariet med sonering, mens røde kurver er for scenariet uten sonering, og forøvrig alt annet likt. Det er i denne og tilsvarende figurer antatt en behandlingsdødelighet for lus på 95%, en tiltaksgrense på 0,5 hunnlus per fisk og det er brukt en smitteindeks basert på midlere strømkontakt.

For en bestemt tiltaksgrense kan det hende at en strategi gir lavere lusenivå, men fører til fler behandlinger, enn en alternativ strategi. Vi ønsker derfor ikke å binde oss til en bestemt tiltaksgrense, og utfører eksperimentene for et spekter av tiltaksgrenser, som nevnt tidligere. Dette illustreres bl.a. av den svarte kurven i venstre panel i figur 4, som gjelder for basisscenariet med sonering. Kurven angir hvordan antall behandlinger per merd minker, samtidig som lusenivået, her

angitt som gjennomsnittlig antall voksne hunnlus per fisk, øker, når tiltaksgrensa for å gjennomføre behandling varieres fra en lav (nede til høyre) til en høy verdi (oppe til venstre). Den svarte sirkelen angir det punktet på kurven som tilsvarer en tiltaksgrense på 0,5 voksne hunnlus per fisk. I følge denne kurven går det ikke an å behandle seg bort fra luseproblemet ved å ha en veldig lav behandlingsgrense, og en viktig grunn til det er at det kommer smitte både fra de 9 “indre” anlegg, og fra anlegg utafor Rogalandsområdet som i vår eksperiment leverer lusesmitte på akkurat samme nivå som før. Hvis alle anlegg, inkludert de 9 “indre” anleggene, hadde hatt en svært lav tiltaksgrense, ville det imidlertid vært mulig å oppnå et lavt lusenivå på bekostning av en mer moderat økning i behandlingsbehovet enn hva denne figuren viser. Den grønne horisontale streken angir hva lusenivået var i dataene vi brukte til å estimere populasjonsmodellen. Den vertikale grønne streken viser hvor mange behandlinger per merd som var nødvendig for å holde dette lusenivået i de samme dataene. Førbehandlinger er da ikke talt med.



Figur 4. Lusenivå (gjennomsnittlig antall hunnlus per fisk) som funksjon av antall behandlinger per merd med og uten sonering, for to ulike behandlingsdødeligheter og med smitteindeks basert på midlere strømkontakt. Svarte og røde sirkler angir det en får ved tiltaksgrense 0,5.

Med begrepet “lusenivå” kan vi tenke oss flere definisjoner, og i figurene i denne rapporten vil vi bruke antall lus per fisk i gjennomsnitt over alle 35 anlegg og alle dager med produksjon. I tillegg vil vi beregne et mål på lusenivå som er mer relatert til totalt utslipp av smitte. Vi beregner totalt antall infektive kopepoditter produsert i sum over en full produksjonssyklus for hvert anlegg. Dette tar hensyn til hvor mange hunnlus som er tilstede til enhver tid, hvor mange egg de

klekker ved gitte temperaturer og hvor mange larver som overlever fram til det infektive kopepodittstadiet. Disse beregningene er gjort etter samme prinsipper som i rapporten "Beregnet produksjon av smittsomme lakeluslarver" utgitt av Veterinærinstituttet (Helgesen og Kristoffersen, 2018), og som igjen baserer seg på formelverket i Stien et al. (2005).

Vi vil gjøre en rekke parvise sammenligninger. La oss igjen ta utgangspunkt i venstre panel i figur 4, hvor behandlingsdødeligheten (altså lusedødelighet pga. behandling) er 95%, og hvor den svarte kurven viser sammenhengen mellom lusenivå og antall behandlinger under basisscenariet med sonering.

Den røde kurven i samme panel viser kurven som framkommer om en i stedet ikke tar i bruk sonering eller synkronisert produksjon, mens alt annet er uendret. Så lenge den røde kurven ligger under og til venstre for den svarte, er den tilsvarende strategien, her ikke-sonering, best. La oss for eksempel anta at vi aksepterer et lusenivå som i de historiske dataene. Da kan en ved å avlese fra figuren langs den grønne horisontale streken konkludere med at antall behandlinger kan reduseres fra litt over 2 til litt under 2 behandlinger per merd hvis en går over til ikke-synkronisert produksjon. Fra Tabell 1 kan vi lese at dette utgjør en reduksjon på 21% behandlinger. Vi vil i denne rapporten tallfeste effekten av en strategi på denne måten, altså som prosentvis reduksjon i antall behandlinger ved å endre fra en basisstrategi til en alternativ strategi, gitt at lusenivået slik vi har definert det holdes fast som i de historiske dataene. Alternativt til denne måten å tolke resultatene kunne vi sagt at vi godtok et visst antall behandlinger, for eksempel 2 behandlinger per merd, og vi kunne avlest vertikalt hvor stor endring vi ville fått i lusenivået.

Høyre panel i figur 4 viser tilsvarende kurver hvis en antar en behandlingsdødelighet på 50%. Det trengs da atskillig flere behandlinger for å klare samme lusenivå. Men forskjellen i prosent mellom basisscenariet og det alternative scenariet, dvs. ikke-sonering, er 20%, dvs. nesten identisk det vi fikk med en antatt behandlingsdødelighet på 95%.

Begge scenarier i figurene 3 og 4 er kjørt med smitteindeks basert på strømkontakt, og for lusenivå angitt som gjennomsnittlig antall hunnlus per fisk. I Tabell 1 og tilsvarende tabeller angir vi prosentvis sparte behandlinger også for en smitteindeks basert på sjøavstand og for lusenivå angitt som total antall kopepoditter produsert i løpet av en full produksjonssyklus for hvert anlegg. For spørsmålet om sonering i forhold til ikke-sonering blir konklusjonen den samme for de ulike forutsetningene. En kan spare omkring 20% behandlinger ved å gå bort fra dagens soneringsstrategi og i stedet produsere uten sonering, samtidig som lusenivået kan holdes uendret.

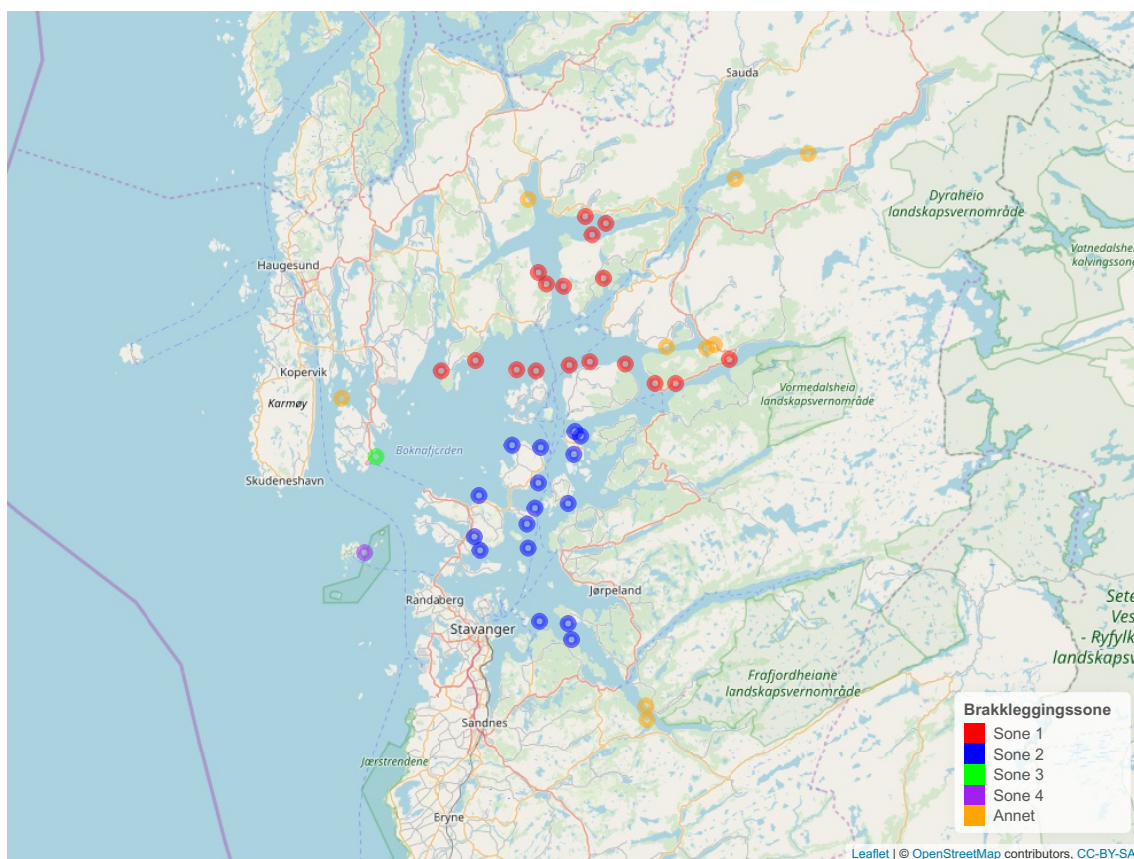
Tabell 1. Prosentvis nedgang i antall behandlinger per merd som er nødvendig for å holde lusenivået på samme nivå som historisk for ikke-sonering i forhold til en basisstrategi med sonering. Dette er angitt for to definisjoner av lusenivå og under fire ulike modellantakelser.

Alternativ strategi	Mål på lusenivå	Smitteindeks sjøavstand		Smitteindeks strømkontakt	
		Dødelighet 95%	Dødelighet 50%	Dødelighet 95%	Dødelighet 50%
Ikke sonering	Gj.snitt AF	17	20	20	21
	Total kop.	20	22	22	23

4.2 Bytte av sonetilhørighet for fire anlegg

Figur 2 viser at to av anleggene i sone 1 (13222 Kunes og 11939 Smalskar) ligger svært nære sone 2. På den annen side er det to anlegg i sone 2 (13055 Langøyna Ø og 13629 Munkholmen) som ligger nærmere sone 1 enn de øvrige anleggene i sone 2. Vi ønsker derfor å undersøke effekten av å bytte sonetilhørighet for disse fire anlegg, som angitt på Figur 5. I scenariosimuleringene gjør vi det ved å forskyve alle utsett for anleggene 13055 og 13629 ett år tilbake i tid (første utsett i 2017 som de øvrige anlegg i sone 2) og alle utsett for anlegg 13222 og 11939 ett år fram (første utsett i 2018).

Tabell 2 oppsummerer hvordan dette endrer behovet for behandlinger under ulike forutsetninger om smitteindeks, behandlingsdødelighet og hvilket mål for lusenivå vi legger vekt på. Ved bruk av smitteindeks basert på sjøavstand er konklusjonen at en slik endring i soneinndeling vil føre til 3-5% flere behandlinger (pga. negative tall i tabellen). Om vi i stedet bruker smitteindeks basert på midlere strømkontakt får vi at det vil være gunstig å endre soneinndeling, og at det vil redusere behovet for behandlinger med 4-5%. Vi trekker ingen klar konklusjon om hva som er det riktige svaret her, men dette antyder at det kan være mulig å forbedre sonestrukturen noe, men at dette betinger at en har god oversikt over strømforholdene. Dette igjen illustrerer nytten av å bruke en hydrodynamisk modell så lenge den er presis nok, uten at vi tar noen konkret stilling til den hydrodynamiske modellen som ligger til grunn for den midlere strømkontakten som vi har tatt i bruk.



Figur 5. Alternativ soneinndeling hvor fire anlegg har byttet sonetilhørighet i forhold til dagens soneinndeling. Figuren er laget av Lars Qviller, Veterinærinstituttet.

Tabell 2. Prosentvis nedgang i antall behandlinger per merd som er nødvendig for å holde lusnivået på samme nivå som historisk for en alternativ soneinndeling i forhold til en basisstrategi med dagens sonering. Dette er angitt for to definisjoner av lusnivå og under fire ulike modellantakelser.

Alternativ strategi	Mål på lusnivå	Smitteindeks sjøavstand		Smitteindeks strømkontakt	
		Dødelighet 95%	Dødelighet 50%	Dødelighet 95%	Dødelighet 50%
Alternativ sonering	Gj.snitt AF Total kop.	-3 -4	-4 -5	4 4	5 5

4.3 Fjerne anlegg med stor grad av kontakt med naboer

Vi ønsker å undersøke hva som kan skje, hvis vi fjerner oppdrettsanlegg som ligger slik til at de er i stor kontakt med andre anlegg, men beholder total produksjon ved at øvrige anlegg øker produksjonen tilsvarende det som tas bort fra fjernede anlegg. Vi har først valgt ut fire anlegg som har stor grad av midlere strømkontakt *fra* naboene på følgende måte: Vi finner det anlegget som har størst strømkontakt fra naboer ved å for hvert anlegg summere dets strømkontakt fra alle andre anlegg. Det første anlegget står for 14% av strømkontakten. Deretter fjerner vi dette anlegget og finner det anlegget med mest strømkontakt av de øvrige. Dette anlegget står for 7% av strømkontakten. Dette gjentas inntil vi har fjernet fire anlegg. Det betyr ikke at vi mener noe om disse anleggene bør fjernes eller ikke, dette gjøres for å illustrere mulighetene som ligger i restrukturering av lokalitetsstrukturen i et område, her Rogaland. Vi utfører så en scenariosimulering hvor disse fire anlegg er fjernet, og antall fisk på øvrige anlegg økes med en viss prosentats slik at total produksjon i området opprettholdes.

Dette eksperimentet gjentar vi så ved å bruke kontakt basert på sjøavstand i stedet. Det er da andre anlegg som blir fjernet, og hver står for drøye 4% av total kontakt basert på strømkontakt.

Tabell 3 viser de beregnede endringer i behovet for behandlinger. Svarene avhenger sterkt av hvilken type smitteindeks vi baserer oss på, og hvordan de fjernede anleggene er valgt ut. Hvis anleggene med størst midlere strømkontakt fjernes, gir det en moderat gevinst (i underkant av 10%) hvis vi bruker en smitteindeks basert på sjøavstand, men en svært stor gevinst (drøye 50%) hvis vi bruker en smitteindeks basert på midlere strømkontakt. Dette viser klart potensialet som ligger i å bruke kunnskap om strømforhold til å peke ut kandidater til anlegg som bør fjernes, evt. flyttes til mer gunstige beliggenheter. Men igjen vil vi påpeke at dette avhenger av at informasjonen om strømforholdene er pålitelig. På den annen side, når det gjelder bruk av sjøavstand i stedet, er det slik at at det egner seg for scenariosimulering i mange sammenhenger hvor en studerer mer generelle strategiendringer, men når den kommer til konkrete forslag om plassering av et enkelt anlegg kan det bli for grovt å kun ta hensyn til sjøavstand.

Hva så hvis de fire anleggene var fjernet for å minske kontakt basert på sjøavstand? Tabell 3 viser at det da er en gevinst på omkring 15% hvis vi bruker en smitteindeks basert på sjøavstand, mens det fører til drøye 10% fler behandlinger hvis vi bruker en smitteindeks basert på strømkontakt. Det siste resultatet, med en negativ effekt, kan virke overraskende. Årsaken er at akkurat disse fire anleggene, som har kortest sjøavstand til andre anlegg, faktisk har liten strømkontakt med naboene. Dette fører derfor til at det er fire anlegg, som målt med strømkontakt, ligger gunstig til, som blir fjernet. Det er forøvrig tilfeldig at det er slik,

Tabell 3. Prosentvis nedgang i antall behandlinger per merd som er nødvendig for å holde lusenivået på samme nivå som historisk, for a) fjerning av fire anlegg med mest strømkontakt og b) fjerning av fire anlegg med mest kontakt basert på sjøavstand, i forhold til en basisstrategi med dagens sonering. Dette er angitt for to definisjoner av lusenivå og under fire ulike modellantakelser.

Alternativ strategi	Mål på lusenivå	Smitteindeks sjøavstand		Smitteindeks strømkontakt	
		Dødelighet 95%	Dødelighet 50%	Dødelighet 95%	Dødelighet 50%
		Fjerne anlegg pga. strømkontakt	Gj.snitt AF Total kop.	7 8	8 9
Fjerne anlegg pga. sjøavstand	Gj.snitt AF Total kop.	14 14	16 15	-10 -10	-12 -13

for generelt er det slik at anlegg som ligger nære hverandre tenderer til å ha stor strømkontakt.

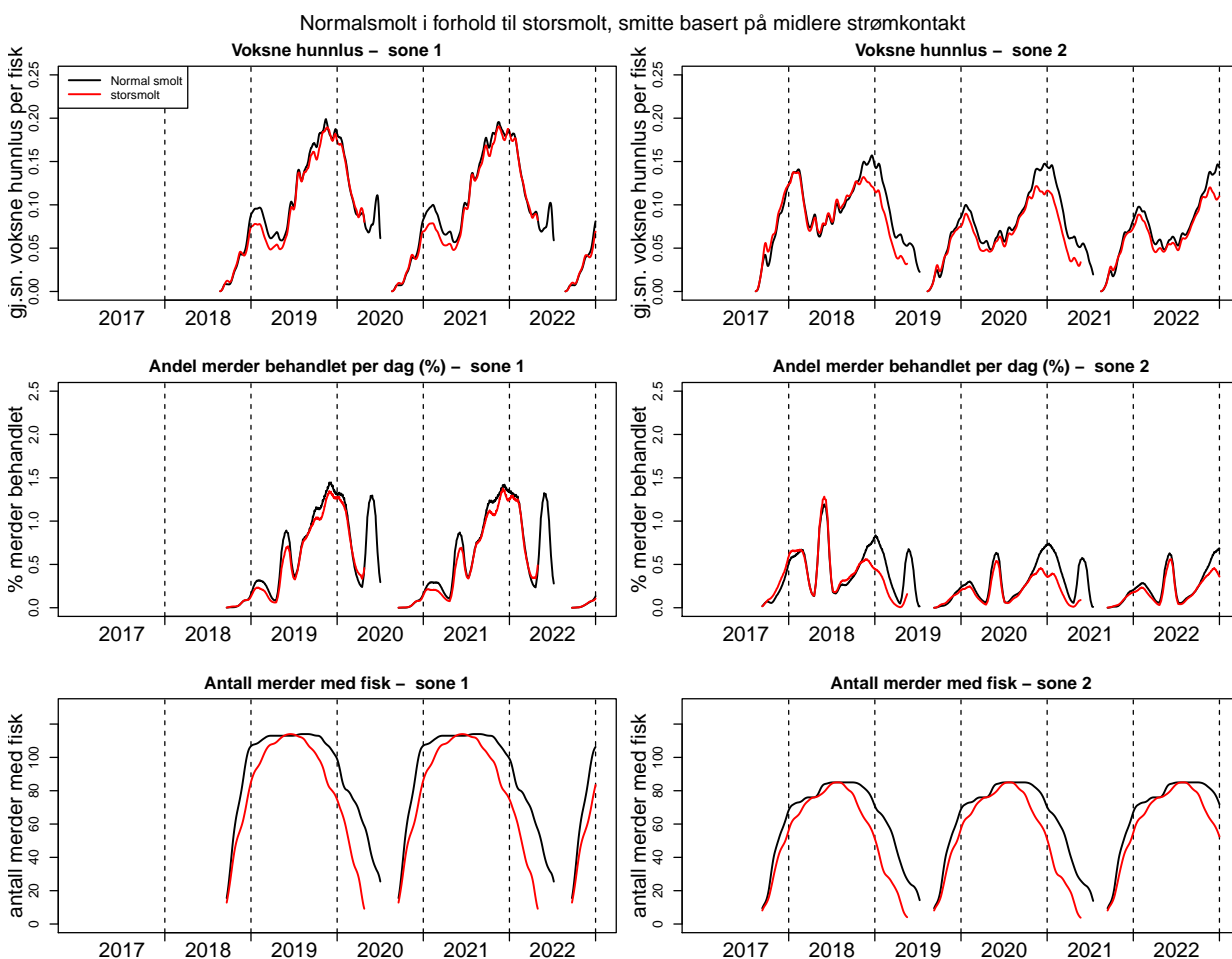
Resultatene med bruk av smitteindeksen basert på sjøavstand tyder på at det uansett kan være gunstig å fjerne utvalgte anlegg noe og øke produksjonen på de øvrige. Men om vi i stedet baserer oss på smitteindeksen basert på strømkontakt er resultatet at det både kan være gunstig og ugunstig å redusere antall anlegg på en slik måte.

I dette eksperimentet har vi fjernet fire anlegg og flyttet produksjonen til øvrige anlegg. En kan også tenke seg at en "fjerner" anlegg med mye kontakt med naboer ved at produksjonen hos disse gjøres i lukkede anlegg, og dermed uten at produksjonen hos øvrige anlegg øker. Vi har ikke gjort beregninger for denne situasjonen, men vi regner med at det vil være gunstig uansett hvilke forutsetninger en gjør.

4.4 Bruk av storsmolt

Vi fokuserer nå på hvilken gevinst det vil gi hvis alle anlegg tar i bruk storsmolt, og setter ut fisk som veier 500 gram og slakter den på samme slaktevekt som tidligere. Vi gjennomfører scenariosimuleringa slik: For hver av de 35 produksjonshistoriene vi bruker som basis, finner vi den merd hvor fisken først når 500 gram. La oss si det er x dager etter utsett. Deretter forskyver vi alle produksjonshistorien for merdene på dette anlegget x dager tilbake i tid og kutter ut de x første dagene. Tid fra utsett til slakt blir da x dager kortere. For den ene merda vil vekta ved utsett være nøyaktig 500 gram, for de andre kan den være litt over eller litt under. Fordelen med å gjøre det på denne måten er at vi bevarer den relevante del av produksjonshistorien for alle merder samtidig, slik at vi kan ta hensyn

til flytting av fisk mellom merder akkurat slik det har blitt gjort i de historiske dataene.



Figur 6. Tidsplott for effekt av storsmolt. Se Figur 3 for mer detaljert beskrivelse av de enkelte paneler.

Figur 6 viser hvordan lusenivå, andel merder behandlet og antallet aktive merder varierer over tid hvis det brukes storsmolt eller hvis det brukes normal smolt. Det er verdt å merke seg at antall aktive merder i lange perioder er færre når det brukes storsmolt, slik at effekten med hensyn på totalt antall behandlinger er større enn de midterste panelene med andel merder behandlet viser. Den totale effekten oppsummeres i Tabell 4. Bruk av storsmolt kan redusere behovet for behandlinger med 35-50%. Merk at det for dette eksemplet har det betydning hvilket mål på lusenivå en bruker. Totalt antall kopepoditter produsert tar hensyn til at produksjonstida blir kortere, men det gjør ikke gjennomsnittlig antall voksne hunnulus per fisk.

Hvis i stedet kun halvparten av anleggene bruker storsmolt bli effekten naturlig nok lavere. Da kan behovet for behandlinger reduseres med 15-25% (Tabell 4).

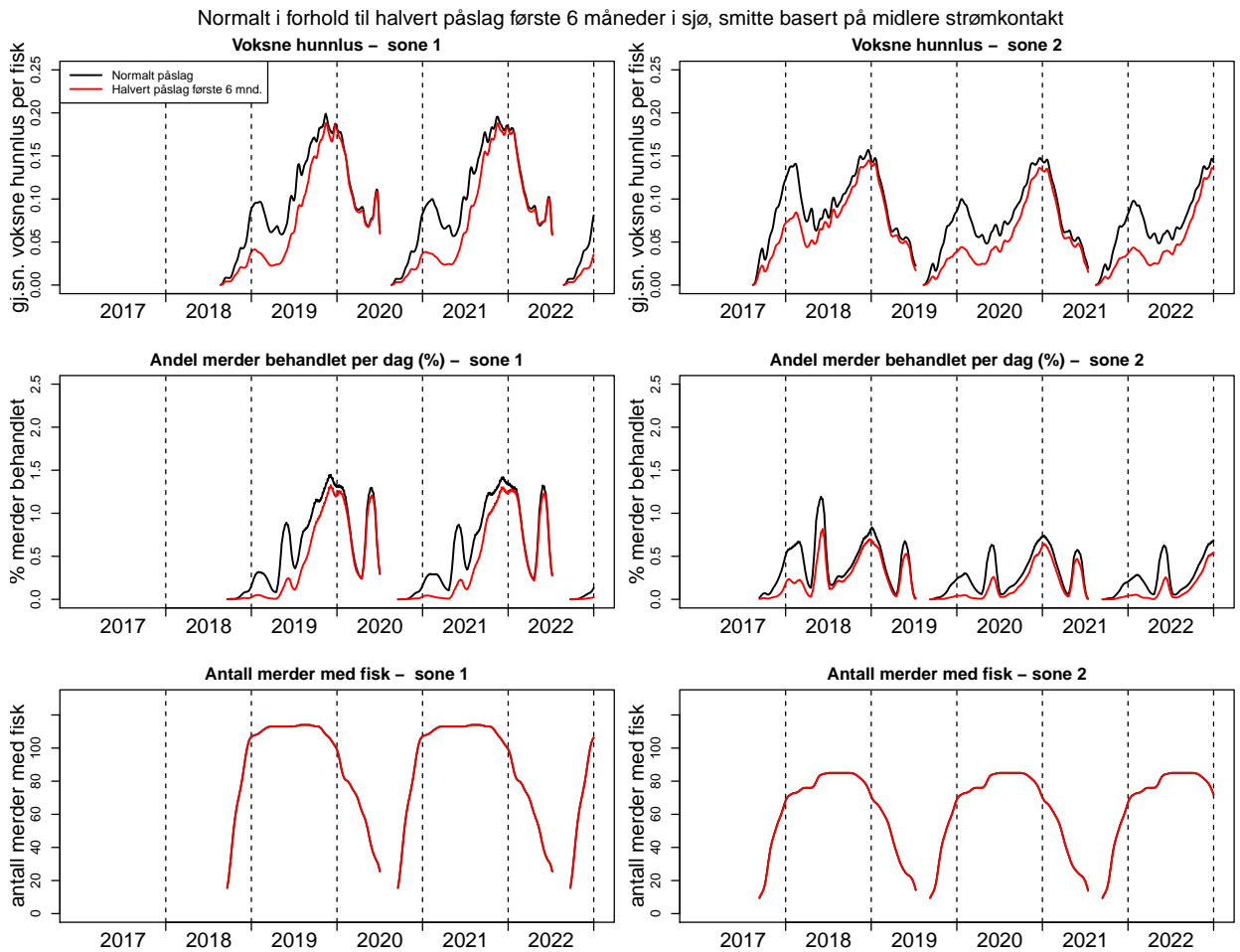
Tabell 4. Prosentvis nedgang i antall behandlinger per merd som er nødvendig for å holde lusenivået på samme nivå som historisk, for bruk av storsmolt på a) alle anlegg og b) 50% av anlegg, i forhold til en basisstrategi uten bruk av storsmolt. Dette er angitt for to definisjoner av lusenivå og under fire ulike modellantakelser.

Alternativ strategi	Mål på lusenivå	Smitteindeks sjøavstand		Smitteindeks strømkontakt	
		Dødelighet 95%	Dødelighet 50%	Dødelighet 95%	Dødelighet 50%
Alle anlegg med storsmolt	Gj.snitt AF Total kop.	48 52	48 53	36 39	36 39
50% anlegg med storsmolt	Gj.snitt AF Total kop.	22 24	22 24	14 15	13 14

4.5 50% redusert påslag første 6 måneder i sjø

Det neste vi undersøker, er hva som kan skje hvis vi ved hjelp av preventive tiltak klarer å halvere påslaget av lus de første 6 måneder i sjø for alle anlegg. Vi tar ikke stilling til hvordan dette kan gjøres i praksis, men et av tiltakene kan for eksempel være bruk av luseskjørt.

Et slikt redusert påslag i starten av et utsett har en svært gunstig effekt langt utover de første 6 månedene (Figur 7). Om en er i stand til å halvere påslaget de første 6 måneder i sjø kan behovet for behandlinger reduseres med 40-60% (Tabell 5). Hvis en samtidig kan sette ut storsmolt på alle anlegg, er den kombinerte effekten at antall behandlinger kan reduseres med 70-90% (Tabell 5). Dette er ikke nødvendigvis enkelt å få til i praksis, men det illustrerer at effektive preventive tiltak har et stort potensiale med hensyn til å redusere behandlingsbehovet.



Figur 7. Tidsplott for effekt av redusert påslag første 6 måneder i sjø. Se Figur 3 for mer detaljert beskrivelse av de enkelte paneller.

Tabell 5. Prosentvis nedgang i antall behandlinger per merd som er nødvendig for å holde lusenivået på samme nivå som historisk, for a) 50% redusert påslag første 6 måneder og b) dette i kombinasjon med storsmolt på alle anlegg, i forhold til en basisstrategi. Dette er angitt for to definisjoner av lusenivå og under fire ulike modellantakelser. For noen kombinasjoner var dette så effektivt at lusenivået var under det historiske nivået for alle valg av tiltaksgrense. Prosentvis sparte beregninger er da beregnet for et lusenivå lik halvparten av det historiske. Disse tilfellene er markert med *.

Alternativ strategi	Mål på lusenivå	Smitteindeks sjøavstand		Smitteindeks strømkontakt	
		Dødelighet 95%	Dødelighet 50%	Dødelighet 95%	Dødelighet 50%
50% redusert påslag	Gj.snitt AF	51*	58	40	43
redusert påslag + storsmolt	Total kop.	50*	60	40	42
50% redusert påslag	Gj.snitt AF	84*	86*	76	77
redusert påslag + storsmolt	Total kop.	90*	91*	72*	80

4.6 Tiltaksgrense avhengig av sjøtemperatur

En lusebehandling er en påkjenning for fisken, særlig når det er kaldt i vannet, så det er gunstig hvis en kan redusere behovet for behandlinger ved lave sjøtemperaturer. Videre er det slik at lakselus utvikler seg saktere når det er kaldt. Dette tyder på at det kan være gunstig å ha en tiltaksgrense som avhenger av sjøtemperatur, slik at det er en relativt høy tiltaksgrense når det er kaldt i vannet og en tilsvarende lav tiltaksgrense når det er varmt i vannet. Vi har undersøkt effekten av å ha en tiltaksgrense som varierer omvendt proporsjonalt med sjøtemperatur, dvs. proporsjonalt med $1/T$, hvor T er sjøtemperatur. Hvis vi f.eks. lar 0,5 være tiltaksgrense ved 9 grader, vil dette gi tiltaksgrense på 0,9 når det er 5 grader i vannet og 0,3 når det er 15 grader.

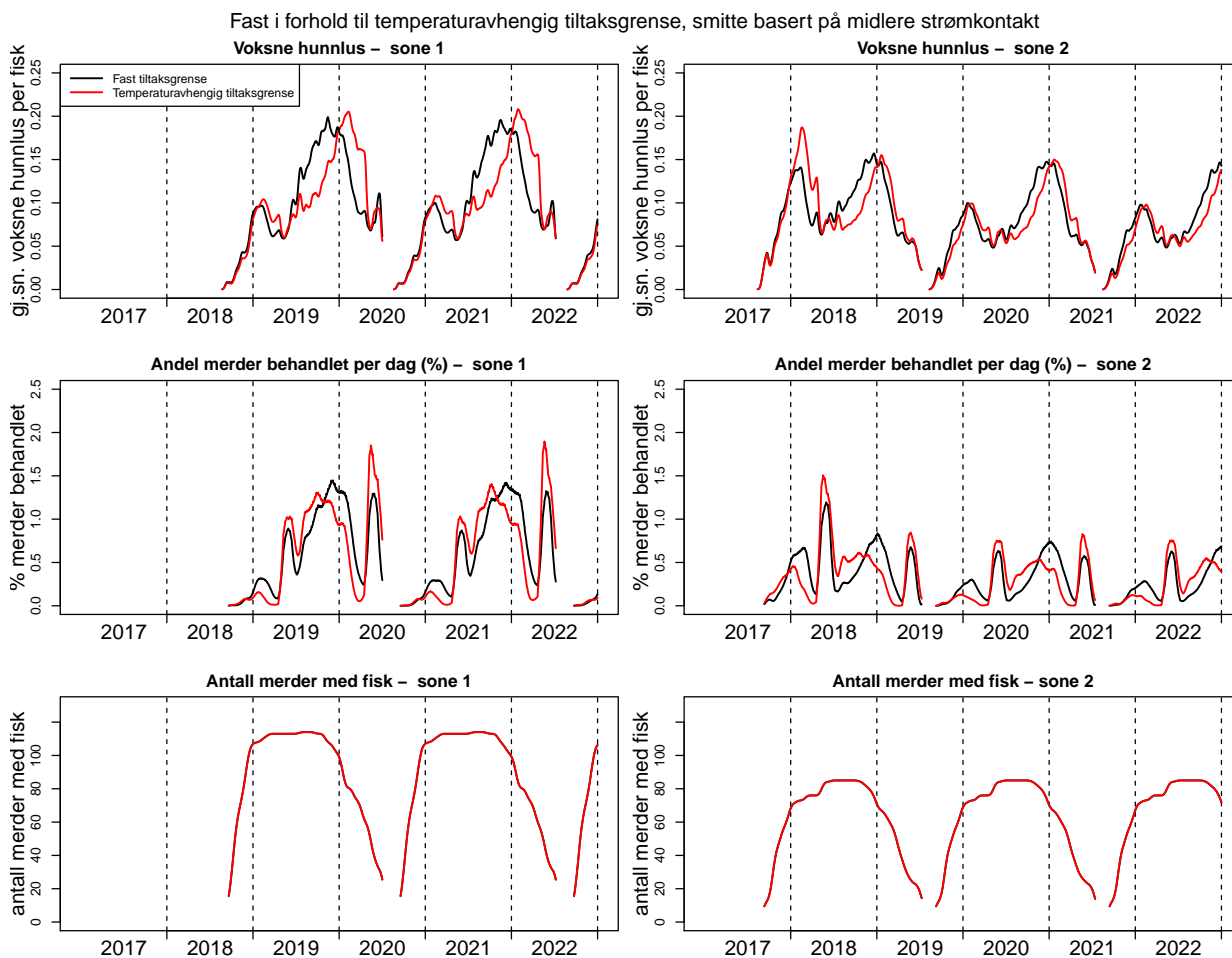
Figur 8 viser at dette gir mindre lakselus på høsten, men mer på vinteren. Samtidig gir det fler behandlinger under våravlusninga, sommeren og høsten, men færre seint på høsten og om vinteren.

Tabell 6 oppsummerer dette og viser at å bruke temperaturavhengig tiltaksgrense proporsjonalt med $1/T$ reduserer behovet for behandlinger med 5-10%, mest hvis vi fokuserer på antall infektive kopepoditter som blir produsert. I tillegg innebærer dette mindre håndtering av fisken ved lave sjøtemperaturer. Dette er et eksempel på et tiltak som er gratis å gjennomføre, og som kun har positiv effekt, men det kan kreve et endret regelverk for tillatt lusenivå.

Vi har også undersøkt hva som skjer hvis vi i stedet bruker en tiltaksgrense som er proporsjonal med $1/T^2$. I forhold til å bruke $1/T$ er effekten da noe dårligere hvis en fokuserer på gjennomsnittlig antall voksne hunnlus per fisk, men noe mer gunstig hvis vi fokuserer på antall kopeditter produsert. Vi undersøkte også effekten av å la tiltaksgrensa være proporsjonal med $1/\sqrt{T}$, men det ga ingen forbedring i forhold til å bruke $1/T$.

Tabell 6. Prosentvis nedgang i antall behandlinger per merd som er nødvendig for å holde lusenivået på samme nivå som historisk for tiltaksgrense omvendt proporsjonalt med sjøtemperatur i forhold til en basisstrategi med samme tiltaksgrense hele året bortsett fra om våren. Dette er angitt for to definisjoner av lusenivå og under fire ulike modellantakelser.

Alternativ strategi	Mål på lusenivå	Smitteindeks sjøavstand		Smitteindeks strømkontakt	
		Dødelighet 95%	Dødelighet 50%	Dødelighet 95%	Dødelighet 50%
Tiltaksgrense	Gj.snitt AF	8	7	5	4
proporsjonal med $1/T$	Total kop.	8	11	9	8



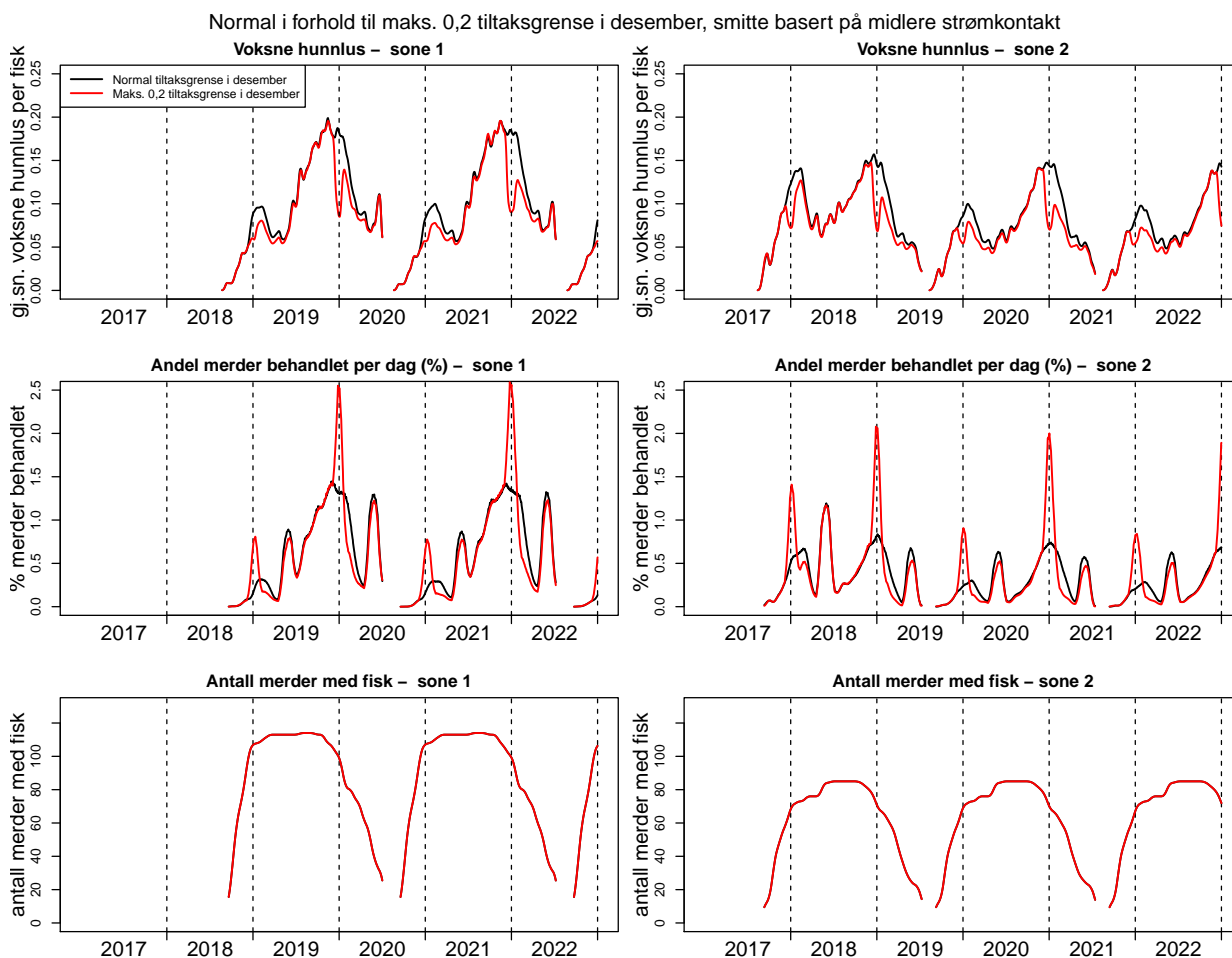
Figur 8. Tidsplott for tiltaksgrense som varierer omvendt proporsjonalt med sjøtemperatur. Se Figur 3 for mer detaljert beskrivelse av de enkelte paneler.

4.7 Lavere tiltaksgrense i desember

Det har vært spekulert på om en lavere tiltaksgrense i desember har en såpass gunstig effekt utover våren at det gir en totalgevinst. Vi har undersøkt dette med to scenarier. I det ene scenariet antar vi at det i desember brukes halvert tiltaksgrense i forhold til hva som brukes resten av året, bortsett fra om våren hvor tiltaksgrensa er maksimalt 0,2. I det andre scenariet antar vi at vi i desember bruker en tiltaksgrense som er maksimalt 0,2, altså det samme som i vårmånedene.

Figur 9 viser at dette gir mindre lakselus i desember og på starten av året etter, men effekten ser ikke ut til å vare lenge nok til å ha noen effekt på våren. Samtidig gir det langt flere behandlinger i desember og noen færre de par første månedene på året.

Tabell 7 oppsummerer dette og viser at redusert tiltaksgrense i desember gir økt behov for behandlinger, og under noen forutsetninger gir det en stor økning av behandlinger.



Figur 9. Tidsplott for normal og maksimalt 0,2 som tiltaksgrense i desember. Se Figur 3 for mer detaljert beskrivelse av de enkelte paneller.

Tabell 7. Prosentvis nedgang i antall behandlinger per merd som er nødvendig for å holde lusenivået på samme nivå som historisk for a) halvert og b) maksimalt 0,2 tiltaksgrense i desember i forhold til en basisstrategi med samme tiltaksgrense hele året, bortsett fra om våren. Dette er angitt for to definisjoner av lusenivå og under fire ulike modellantakelser. For kombinasjonen markert med * er beregninga gjort for 90% av historisk lusenivå, fordi den ene kurven lå under det historiske nivået.

Alternativ strategi	Mål på lusenivå	Smitteindeks sjøavstand		Smitteindeks strømkontakt	
		Dødelighet 95%	Dødelighet 50%	Dødelighet 95%	Dødelighet 50%
Halv grense i desember	Gj.snitt AF	-4	-4	-3	-3
	Total kop.	-4	-6	-24	-31
Maks. 0,2 grense i desember	Gj.snitt AF	-23*	-14	-9	-3
	Total kop.	-23	-11	-23	-28

4.8 Forsinket behandling

I basisscenariet og de andre scenariene vi har presentert så langt har vi antatt at en behandling utføres dagen etter overskridelse av tiltaksgrensa. Som et alternativ har vi gjennomført et scenario hvor behandling forsinkes med ytterligere seks dager, altså til sammen sju dager etter overskridelse, for å undersøke betydningen av at en behandling utføres seinere enn hva om er optimalt.

En ytterligere forsinkelse av behandling med seks dager fører til at antall behandlinger øker med 10-15% (Tabell 8).

Tabell 8. Prosentvis nedgang i antall behandlinger per merd som er nødvendig for å holde lusenivået på samme nivå som historisk for behandling sju dager etter overskridelse av tiltaksgrense i forhold til en basisstrategi med behandling én dag etter overskridelse. Dette er angitt for to definisjoner av lusenivå og under fire ulike modellantakelser.

Alternativ strategi	Mål på lusenivå	Smitteindeks sjøavstand		Smitteindeks strømkontakt	
		Dødelighet 95%	Dødelighet 50%	Dødelighet 95%	Dødelighet 50%
		Gj.snitt AF	-10	-11	-12
Total kop.		-11	-13	-14	-17

Referanser

Aldrin, M. og Huseby, R. (2017). Effekter av ulike strategier for bekjempelse av lakselus - basert på scenariosimulering fra en populasjonsmodell for lus på oppdrettsanlegg i et område. Technical report, Norsk Regnesentral. SAMBA/05/17.

Aldrin, M. og Huseby, R. (2019). Re-estimering av populasjonsmodell for lakselus 2019 - delrapport for prosjekt fhf:901414 "enhetlig proaktiv lusestrategi rogaland". Technical report, Norsk Regnesentral. SAMBA/28/19.

Aldrin, M., Huseby, R., Stien, A., Grøntvedt, R., Viljugrein, H. og Jansen, P. (2017). A stage-structured bayesian hierarchical model for salmon lice populations at individual salmon farms - estimated from multiple farm data sets. *Ecological Modelling*, 359:333–348.

Helgesen, K. og Kristoffersen, A. (2018). Beregnet produksjon av smittsomme lakseluslarver. Technical report, Veterinærinstituttet. Rapport 21 - 2018.

Kierans, L., Eckroth, J. og Birkeland, M. (2019). Fhf «3d hydrodynamic and lice forecast model ». Technical report, Proactima. Report no. 1072801-RE-01.

Stien, A., Bjørn, P., Heuch, P. og Elston, D. (2005). Population dynamics of salmon lice *Lepeophtheirus salmonis* on atlantic salmon and sea trout. *Mar Ecol Prog Ser*, 290:263–275.