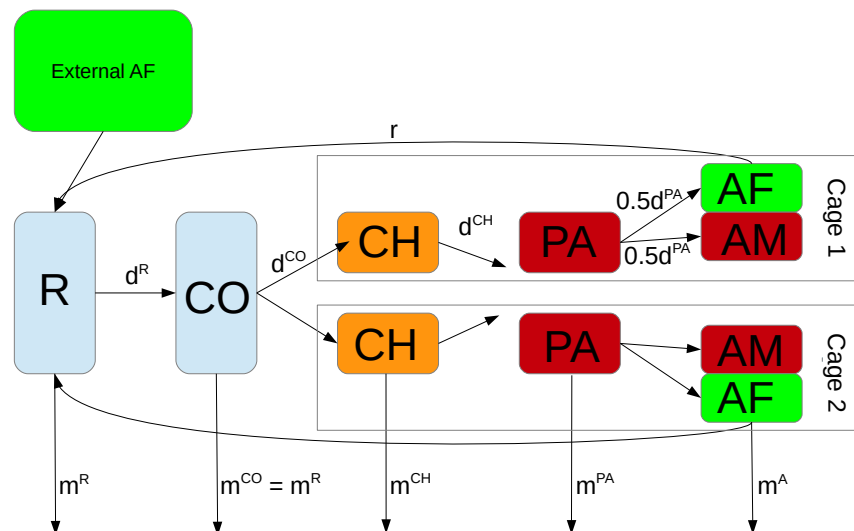


Effekter av ulike strategier for bekjempelse av lakselus

- basert på scenariosimulering fra en populasjonsmodell for lus på oppdrettsanlegg i et område



Notatnr
Forfatter

SAMBA/05/17
Magne Aldrin
Ragnar Bang Huseby

Dato

31. januar 2017

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.

Tittel **Effekter av ulike strategier for
bekjempelse av lakselus**
- basert på scenariosimulering fra en
populasjonsmodell for lus på oppdrettsanlegg i et
område

Forfatter **Magne Aldrin** <magne.aldrin@nr.no>
Ragnar Bang Huseby <huseby@nr.no>

Dato 31. januar 2017

Publikasjonsnummer SAMBA/05/17

Sammendrag

Rapporten oppgir beregnede effekter av en del ulike strategier for lakselusbekjempelse. Effektene angis her som hvor mye (i prosent) kan antall behandlinger mot lus reduseres ved å bytte fra én strategi til en annen, mens lusenivået holdes uendret. Med en behandling mener vi her en behandling som gir en umiddelbar ekstra dødelighet for all lus på fisken. Dette er beregnet som en samlet effekt for et geografisk område hvor det antas at alle oppdrettsanlegg i området i følger samme strategi. Beregningene er gjort ved scenariosimuleringer (hva-hvis-analyse) fra en populasjonsmodell for lus. Beregningene viser blant annet, på betingelse at det telles lus ofte nok og på nok fisk, at det er gunstig å følge en merdvis strategi i forhold til en anleggsvis strategi. Med en merdvis strategi menes her at hver merd monitoreres for seg og at lusebehandling kun gjennomføres for merder hvor det observerte lusenivået i merda er over en viss terskel, mens en anleggsvis strategi vil si at alle merder behandles samtidig hvis det observerte lusenivået i gjennomsnitt over alle talte merder er over en terskel. Videre kan antall behandlinger reduseres hvis i) det telles lus på 20 i stedet for 10 fisk fra hver merd, ii) hvis det telles hver uke per merd i stedet for annenhver uke, og iii) hvis avgjørelsen om å gjennomføre en behandling baseres på det observerte nivået av alle bevegelige lus, ikke bare av voksne hunnlus. Hvis alle disse endringene gjennomføres kan antall behandlinger reduseres med omkring 30-35% uten at lusenivået øker. Tilsvarende effektberegninger er gjort for en del andre tiltak, inkludert bruk av rensefisk og skjørt.

Emneord

Målgruppe

Tilgjengelighet	Åpen
Prosjekt	
Prosjektnummer	
Satsningsområde	Klima, miljø, marin og helse
Antall sider	26
© Copyright	Norsk Regnesentral

Innhold

1	Innledning og utvidet sammendrag	6
2	Populasjonsmodellen	8
3	Scenariosimuleringer	11
4	Resultater for ulike telleopplegg	12
5	Resultater for ulike tiltak.	20

1 Innledning og utvidet sammendrag

I denne rapporten vil vi beregne effekter av en del ulike strategier for lakselusbehandling. 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 i fastsittende og bevegelige 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 et geografisk område hvor det antas at alle oppdrettsanlegg i området i følger samme strategi. Beregningene er gjort ved scenariosimuleringer (hva-hvis-analyse) fra en populasjonsmodell for lakselus som nylig er utviklet av Norsk Regnesentral i samarbeid med Veterinærinstituttet og Norsk institutt for naturforskning. Beregningene er gjort for vårutsett, men vi antar at konklusjonene ville vært omtrent de samme for høstutsett.

Arbeidet med utvikling av populasjonsmodellen og med scenariosimuleringene er utført som en del av prosjektet FHF 900970 "Populasjonsmodell for lakselus på merd og lokalitetsnivå" finansiert av Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond, samt av Norsk Regnesentrals grunnbevilgningsmidler fra Norges forskningsråd.

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.

Resultatene kan oppsummeres slik:

- Såframt lus telles ofte nok og på nok fisk, er en merdvis strategi mer gunstig enn en anleggsvis strategi. Hvis det brukes en merdvis strategi og det telles lus på 20 fisk i hver merd hver uke kan antall behandlinger reduseres med om lag 25 % i forhold til en anleggsvis strategi hvor det telles 10 fisk i hver merd annenhver uke (hver uke telles det i halvparten av merdene). Med en merdvis strategi menes her at hver merd monitoreres for seg og at lusebehandling kun gjennomføres for merder hvor det observerte antallet lus per fisk i merda er over en viss terskel eller tiltaksgrense, i motsetning til en anleggsvis strategi hvor alle merder behandles samtidig hvis observert antall lus per fisk i gjennomsnitt over alle talte merder er over en terskel.
- Ved å øke antall fisk som telles fra 10 til 20 fisk per merd kan antall behandlinger reduseres med ca. 10% ved en merdvis strategi og med ca. 5% ved en anleggsvis strategi.
- Ved å øke tellefrekvensen per merd fra annenhver uke til ukentlig kan antall

behandlinger reduseres med 10% eller mer ved en merdvis strategi og med ca. 5% ved en anleggsvise strategi.

- Hvis det monitoreres på alle bevegelige lus (sum av preadulte og voksne) i stedet for at det kun monitoreres på voksne hunnlus, kan antall behandlinger reduseres med drøye 10%, både ved merdvis og ved anleggsvise strategi. Med monitorering på alle bevegelige lus mener vi her at en avgjørelse om behandling tas på grunnlag av tellinger av disse.
- Hvis en både monitorerer på alle bevegelige lus og bruker en merdvis strategi hvor det telles lus på 20 fisk i hver merd hver uke kan antall behandlinger reduseres med nær 35 % i forhold til en anleggsvise strategi hvor det telles 10 fisk i hver merd annenhver uke og det monitoreres på voksne hunnlus. Dette siste kan sies å være minstekravet for tellinger ut fra luseforskriften.

For de øvrige beregningene (som oppsummeres under) antar vi at det følges en strategi basert på monitorering på voksne hunnlus, men som bortsett fra det er basert på den gunstigste kombinasjonen av de ulike valg angitt over, det vil si en merdvis strategi med ukentlige tellinger på 20 fisk i hver merd. Dette telleoppsettet er i dag standard for noen oppdrettselskaper.

- Om en kan produsere smolten i lukket anlegg i én ekstra måned før utsett, for dermed å sette ut fisken én måned seinere enn ved et ordinært utsett, kan antall behandlinger reduseres med 6-8 %. Om en kan øke produksjonstida i lukket anlegg til 6 måneder kan antall behandlinger reduseres med nær 40%.
- Hvis en kan redusere påslaget av nye lus med 50% i en periode, f.eks. ved å bruke skjørt på hver merd fram til første voksne hunnlus oppdages i merda, kan antall behandlinger reduseres med om lag 15%.
- Hvis en kan gjennomføre en kontinuerlig avlusningsmetode som gir en ekstra dødelighet på 5% per dag for lus i de bevegelige stadiene (preadulte og voksne) gjennom hele produksjonssyklusen, f.eks. ved bruk av renseskisk eller optisk avlusning, så kan antall behandlinger reduseres med om lag 60%.
- Tilsvarende, hvis en kan gjennomføre en kontinuerlig avlusningsmetode som gir en ekstra dødelighet på 5% per dag for fastsittende lus (chalimus) gjennom hele produksjonssyklusen, så kan antall behandlinger reduseres med om lag 70%.
- Bruk av renseskisk med 5% innblanding (1 renseskisk per 20 laks) kan redusere antall behandlinger med om lag 50%. Dette estimatet skiller ikke mellom type renseskisk, og baserer seg på den estimerte renseskisk-effektiviteten i data fra 2011-2014. Det er godt mulig at en i dag har en bedre effektivitet av renseskisk for samme innblandingsprosent, i og med at oppdretterne har fått mer

erfaring med bruk av renseskjold.

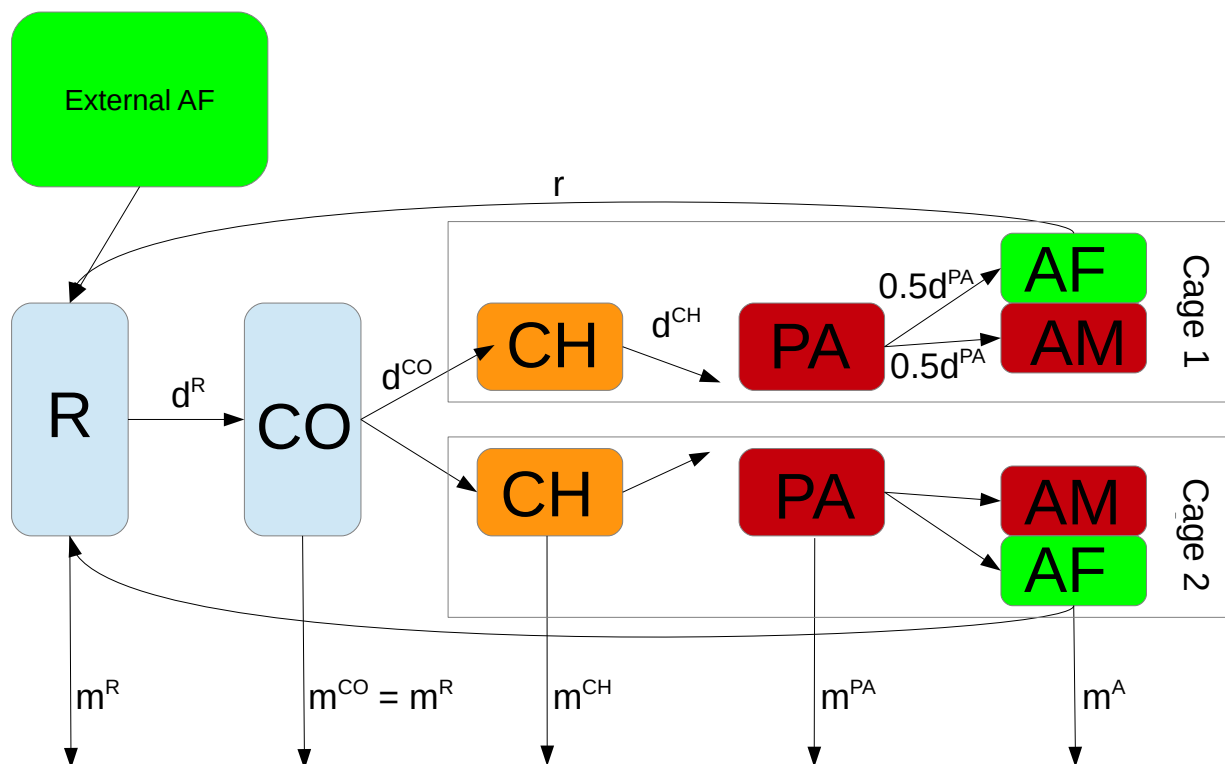
- Det ser ikke ut til å lønne seg å ha en ekstra streng lusegrense på høsten, for dermed å gå inn i vinteren med et lavt lusenivå. Helt konkret, hvis grensa for å gjennomføre en behandling reduseres til 1/3 i november og desember enn hva den er resten av året kan det føre til omkring 6-8% fler behandlinger.
- Til slutt har vi undersøkt om i hvilken grad økt fiskeproduksjon vil føre til flere behandlinger, med følgende konklusjon: Hvis en øker antall fisk i hver merd med 25% vil det kreve omkring 20% fler behandlinger. I tillegg vil hver av behandlingene da gjennomføres på 25% fler fisk og 25% fler lus, hvilket betyr at hvis det brukes en medikamentell behandling må totaldosen trolig økes og flere lus vil bli utsatt for behandling med påfølgende fare for økt resistens.

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" av Magne Aldrin, Ragnar Bang Huseby, Audun StienStien, Randi Nygaard Grøntvedt, Hildegunn Viljugrein og Peder Andreas Jansen, arXiv:1701.08043, preprint tilgjengelig på <https://arxiv.org/abs/1701.08043>.

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 modeller 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 hver stadie kan lusa i løpet av et døgn enten dø, utvikle seg til neste stadie eller

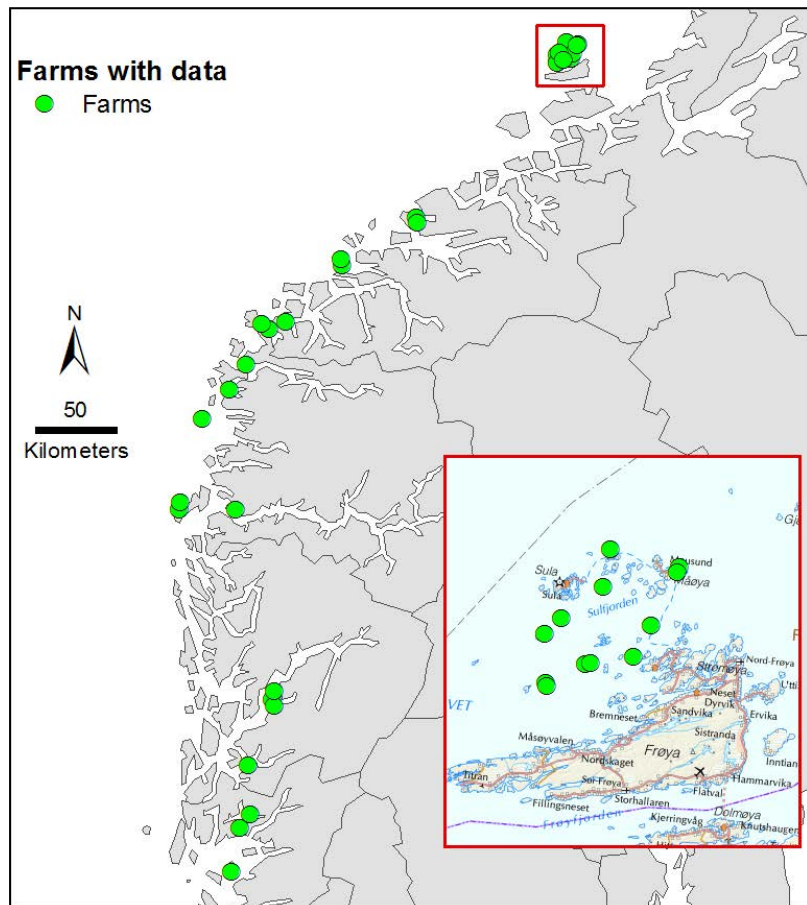
forbli i stadiet ett døgn til. I tillegg kan voksne hunnlus produsere nye rekrutter som forblir i anlegget (internsmitte) eller spres til naboanlegg, og rekrutter kan også tilføres fra naboanlegg (eksternsmitte). Lus i de siste tre stadiene telles på et utvalg av fisk, typisk hver eller annenhver uke 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 og 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 resultater basert på laboratoriereksperimenter er brukt som tilleggsmasjon. 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 én full produksjonssyklus for hvert av 32 oppdrettsanlegg tilhørende Marine Harvest, Salmar og Måsøval, se Figur 2 for deres

geografiske posisjon.



Figur 2. Geografiske posisjoner for de 12 anlegg i Nord-Frøya-området som inngår i scenariosimuleringene, og tilsvarende posisjoner for alle 32 oppdrettsanlegg (inkludert de 12) som er brukt til å estimere populasjonsmodellen for lakselus.

3 Scenariosimuleringer

Scenariosimuleringene er utført for 12 oppdrettsanlegg i Nord-Frøya-området. Vi tar utgangspunkt i vårutsettet 2013, hvor fisken blei slaktet høsten 2014. 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, mens vi simulerer luseutviklinga på nytt fra populasjonsmodellen under gitte forutsetninger angående tellinger av lus og behandlingsstrategi og noen få andre faktorer.

I hovedsak holdes altså produksjonsfaktorene i simuleringeksperimentene lik det de var i virkeligheten hvis ikke annet blir oppgitt eksplisitt. Dvs. at fisken i simuleringeksperimentene blir satt ut og slaktet på samme tidspunkt som i de reelle dataene, og antall og vekt på fisken er som i virkeligheten. Bruk av rensefisk er som i de virkelige dataene, og medfører en ekstra dødelighet på preadulte og voksne lus. Dette er en integrert del av populasjonsmodellen, og lusedødeligheten per innblandingsprosent er estimert fra produksjonsdata. Videre simuleres det med våravlusning, bl.a. ved at det er en lavere terskelverdi for å behandle i vårmånedene. Dessuten gjennomføres det fôrbehandling (med Emamektin) for de fleste merdene det andre året i sjø, igjen slik som i de virkelige dataene. Fôrbehandlingene tas ikke med når antall behandlinger per merd telles opp.

Vi gjør kun endringer i forutsetningene for disse 12 anleggene. For anlegg utenom Nord-Frøya gjøres det ingen endringer, slik at smitte fra disse inn til Nord-Frøya-området også holdes fast. I den aktuelle perioden 2013-2014 var det i virkeligheten 15 oppdrettsanlegg i aktivitet i området, men for to av disse hadde vi ikke tilstrekkelig detaljerte data og for det tredje var fisken flyttet dit som stor fisk fra et annet anlegg, hvilket foreløpig ikke er en opsjon i modellen. Disse tre anleggene er derfor ignorert fullstendig, dvs. i simuleringene antar vi at disse ikke eksisterer.

I første omgang varierer vi oppsettet for lusetellinger og behandlinger, og for hvert slikt eksperiment varierer vi terskelverdien for å gjennomføre behandling. Anta for eksempel at det gjennomføres lusetellinger på 10 fisk i hver merd, men at dette gjøres kun i halvparten av merdene hver uke. For én enkelt merd telles det altså annenhver uke. Anta videre at det gjennomføres en behandling dagen etter en telling hvis antall voksne hunnlus per fisk i tellingene overstiger en viss grense eller terskelverdi. Ved en anleggsvis strategi gjennomføres det behandlinger i alle merdene hvis antall voksne hunnlus per fisk i gjennomsnitt over merdene med tellinger overstiger terskelverdien. Denne terskelverdien varieres så fra 0.02 til 2 voksne hunnlus per fisk. Vi tar ikke sikte på å finne en optimal terskelverdi, men vil i stedet vurdere forskjeller mellom ulike strategier over et spekter av terskelverdier.

4 Resultater for ulike telleopplegg

La oss først anta at den aktuelle behandling fører til at 95% av lusa på fisken dør. Den svarte kurven i venstre panel i figur 3 viser da hvordan antall behandlinger per merd minker, samtidig som lusenivået øker, når terskelverdien for å gjennomføre behandling varieres fra en lav (nede til høyre) til en høy verdi (oppe til venstre). (Deler av kurven ligger utafor figuren, fordi vi ønsker å fokusere på de lusenivåene det er realistisk å oppnå.) Den svarte sirkelen angir det punktet på kurven som tilsvarer en terskelverdi på 0,5 voksne hunnlus per fisk.

Med begrepet "lusenivå" kan vi tenke oss flere definisjoner, og i figurene og beregningene i denne rapporten vil vi bruke følgende definisjon som er relatert til øvre tillatt lusenivå i luseforskriften: For hvert oppdrettsanlegg og for hvert reelt telletidspunkt beregnes antall voksne hunnlus per fisk i gjennomsnitt over alle merder med tellinger på det tidspunktet. Deretter beregnes den maksimale verdien i løpet av hele produksjonsperioden, igjen for hvert av anleggene. Denne skal altså fortrinnsvis ligge under 0,5 voksne hunnlus per fisk for alle anleggene. Til slutt beregner vi gjennomsnitt av dette over alle 12 anlegg.

Dette gjøres altså kun for tidspunktene med reelle tellinger, slik at resultatene kan sammenlignes med tilsvarende tall fra de reelle dataene. Videre er da beregningene basert på faste tidspunkter selv om den simulerte tellefrekvensen varieres. Det grønne korset i figur 3 angir hva som var det virkelige antall behandlinger per merd (ca. 3,4, ikke medregnet forbehandlingene), og det virkelige lusenivået (2,0, altså en god del høyere enn 0,5).

Vi kan si at denne måten å beregne lusenivået er et godhetsmål, og vi ønsker at det skal være så lavt som mulig, men samtidig med bruk av så få behandlinger som mulig. Dette godhetsmålet fokuserer på maksimalverdien i løpet av en produksjonssyklus, og det er dermed relatert til luseforskriften. Det er imidlertid ikke det mest relevante målet for hvor mange luselarver som produseres og spres til omgivelsene i løpet av en produksjonssyklus. Et alternativt, og kanskje bedre, godhetsmål kunne vært antall voksne hunnlus per dag summert over alle dager i produksjonsperioden, hvor antall voksne hunnlus per dag kan beregnes som antall hunnlus per fisk ganger antall fisk den enkelte dag. Resultatene som vi viser vil avhenge noe av godhetsmålet vi har valgt (altså maksimalverdier i gjennomsnitt over anleggene), men vi tror at konklusjonene i hovedsak vil holde også for andre godhetsmål.

Vi vil gjøre en rekke parvise sammenligninger. La oss igjen ta utgangspunkt i venstre panel i figur 3, hvor behandlingsdødeligheten (altså lusedødelighet pga. behandling) er 95%, og hvor den svarte kurven viser sammenhengen mellom lu-

senivå og antall behandlinger hvis det telles 10 fisk per merd annenhver uke og det følges en anleggsvis strategi. Den røde kurven i samme panel viser kurven som framkommer om en i stedet følger en merdvis strategi, mens alt annet er uendret. Så lenge den røde kurven ligger under og til venstre for den svarte, er den merdvis strategien best. La oss for eksempel anta at vi aksepterer et maksimalt lusenivå i gjennomsnitt over anleggene på 1,0 lus per fisk, altså halvparten av hva som blei observert i realiteten. Da kan en ved å avlese fra figuren langs den horisontale stiplede 1,0-streken konkludere med at antall behandlinger kan reduseres fra litt over 6 til litt under 6 behandlinger per merd hvis en går over til merdvis behandling. Fra tabell 1 kan vi lese at dette utgjør en reduksjon på 8%. 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 på 1,0 voksne hunnlus per fisk. Alternativt til denne måten å tolke resultatene kunne vi sagt at vi godtok et visst antall behandlinger, for eksempel 5 behandlinger per merd, og vi kunne avlest vertikalt hvor stor endring vi ville fått i lusenivået.

Høyre panel i figur 3 viser tilsvarende kurver hvis en antar en behandlingsdødelighet på 50%. Den røde kurven krysser da ikke den horisontale 1,0-linja, og i dette og noen andre tilfeller har vi da ekstrapolert den aktuelle kurven. Her anslår vi at merdvis strategi vi føre til omkring 22 % *fler* behandlinger om en skal holde et lusenivå på 1,0. Dette endrer seg imidlertid kraftig i favør av merdvis behandling når antall fisk som telles dobles fra 10 til 20 per merd og når tellefrekvensen dobles fra annenhver uke til ukentlig, se figur 4.

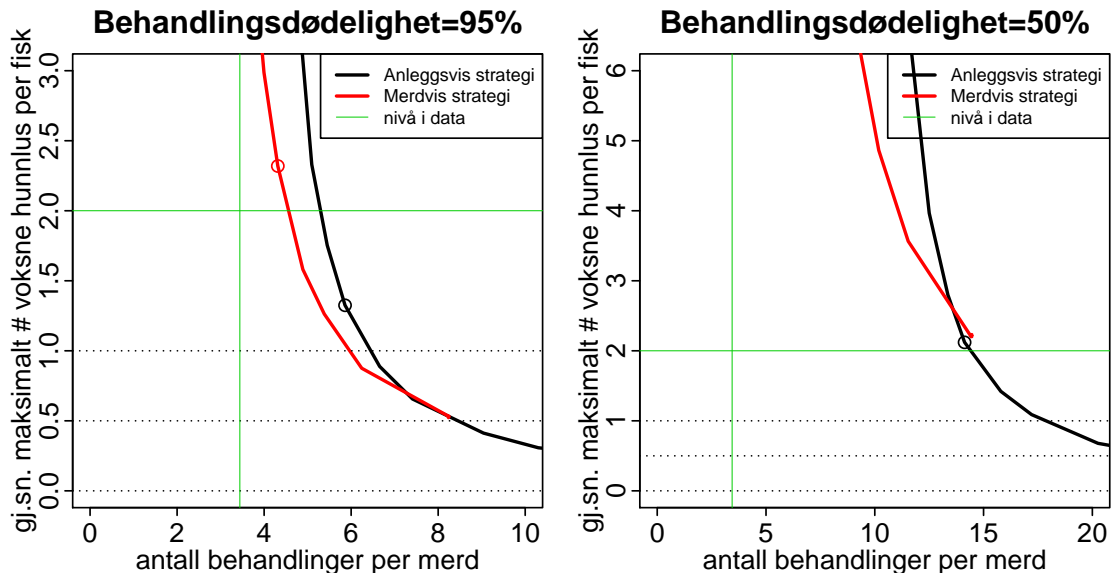
Tabell 1 angir i hvilken grad antall behandlinger kan reduseres hvis vi i) følger en merdvis strategi i stedet for en anleggsvis, ii) teller lus i hver merd ukentlig i stedet for annenhver uke, iii) teller lus på 20 i stedet for 10 fisk per merd og iv) hvor vi monitorerer (dvs. tar avgjørelsene om behandling) på alle bevegelige lus i stedet for kun på voksne hunnlus. Ved monitorering på alle bevegelige lus er forøvrig terskelverdiene femdoblet, dvs. de varieres fra 0.1 til 10 lus per fisk, og det er naturlig nok fordi det er flere lus tilsammen i denne samlekategorien. Til sist i tabell 1 vises hvilken besparelse vi kan få i antall behandlinger hvis vi kombinerer i)-iii) (22-27%), og hvis vi kombinerer i)-iv) (33-35%). Figurene 3-12 viser bakgrunnen for tallene i tabell 1 i mer detalj. Følgende momenter er med på å forklare disse disse resultatene: Ved en merdvis strategi er det kun telldata fra én merd som avgjør om det skal behandles eller ikke. Det kan gi et for spinkelt beslutningsgrunnlag, særlig med tellinger annenhver uke, og derfor er det nettopp den merdvis strategien som har mest nytte av å øke tellefrekvensen og antall fisk det telles for. Grunnen til at det er gunstig å monitorere på alle bevegelige lus i stedet for kun på voksne hunnlus er for det første at det gir mindre telleusikkerhet fordi det telles flere lus, og for det andre at det da kan reageres tidligere

fordi en tar hensyn til antall lus i stadiet før voksne hunnlus (som godhetmålet er basert på).

Tabell 1. Prosentvis nedgang i antall behandlinger per merd som er nødvendig for å holde lusenivået på 1, for en alternativ strategi i forhold til en basisstrategi. Lusenivå er her definert som gjennomsnitt over alle anlegg av maksimalt antall hunnlus per fisk i løpet av produksjonsperioden for det enkelte anlegg, kun inkludert de reelle telletidspunktene. Monitorering gjøres på voksne hunnlus der ikke annet er oppgitt. Tall merket med *) er ekstrapolert.

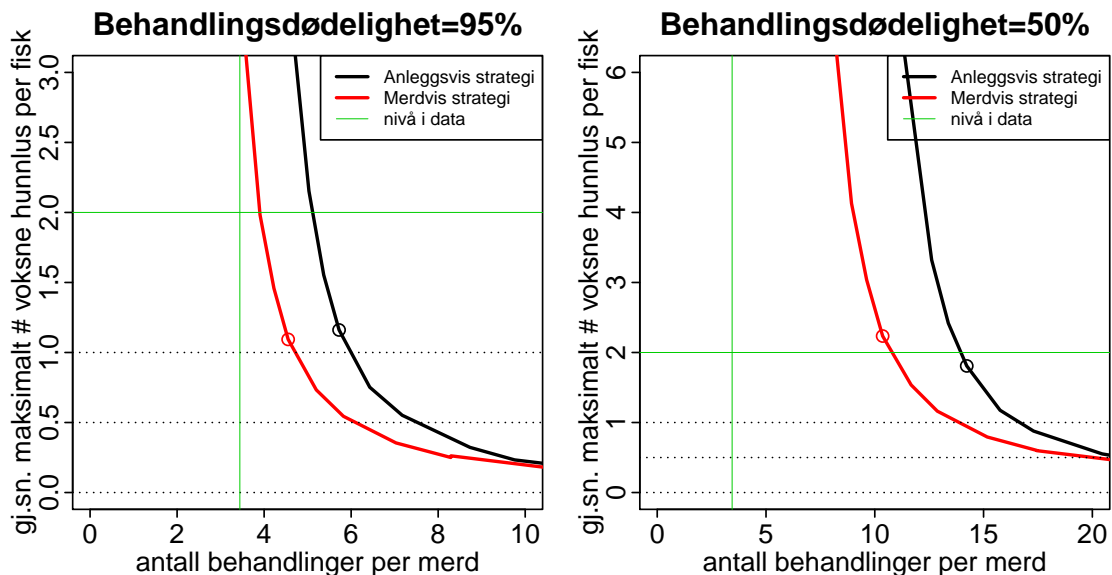
Alternativ	Basis	Annet	Dødelighet behandling 95%	Dødelighet behandling 50%
Merdvis	Anleggsvis	10 fisk, annenhver uke	8	-22 *)
Merdvis	Anleggsvis	20 fisk, hver uke	21	17
Ukentlig telling	Annenhver uke	10 fisk, anleggsvis	4	5
Ukentlig telling	Annenhver uke	20 fisk, merdvis	10	30 *)
20 fisk telles	10 fisk	Anleggsvis, annenhver uke	5	4
20 fisk telles	10 fisk	Merdvis, hver uke	10	12
Monitorering på alle bevegelige	Monitorering på voksne hunnlus	Anleggsvis, 10 fisk, annenhver uke	12	12
Monitorering på alle bevegelige	Monitorering på voksne hunnlus	Merdvis, 20 fisk, hver uke	11	13
Merdvis, 20 fisk, hver uke	Anleggsvis, 10 fisk, annenhver uke		27	22
Merdvis, 20 fisk, hver uke, monitorering på alle bevegelige	Anleggsvis, 10 fisk, annenhver uke monitorering på voksne hunnlus		35	33

Merdvis i forhold til anleggsvs strategi: 10 fisk per merd, annenhver uke



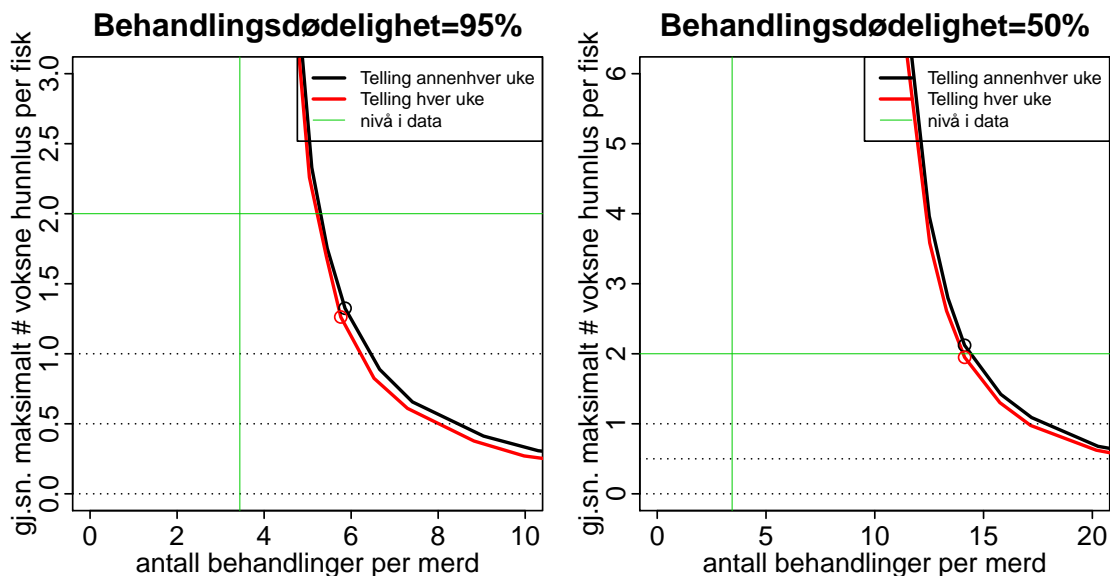
Figur 3. Lusenivå som funksjon av antall behandlinger per merd for merdvis og anleggsvs strategi, med 10 talte fisk per merd, hver merd telles annenhver uke og monitorering på voksne hunnlus (AF). Lusenivået på Y-aksen viser gjennomsnitt over alle anlegg av maksimalt antall hunnlus per fisk i løpet av produksjonsperioden for det enkelte anlegg (kun inkludert de reelle telletidspunktene). Hver kurve framkommer ved at tiltaksgrensa er variert fra 0.02 til 2 voksne hunnlus per fisk. Sirkelen på hver kurve angir punktet basert på tiltaksgrense 0.5 voksne hunnlus per fisk.

Merdvis i forhold til anleggsvs strategi: 20 fisk per merd, hver uke



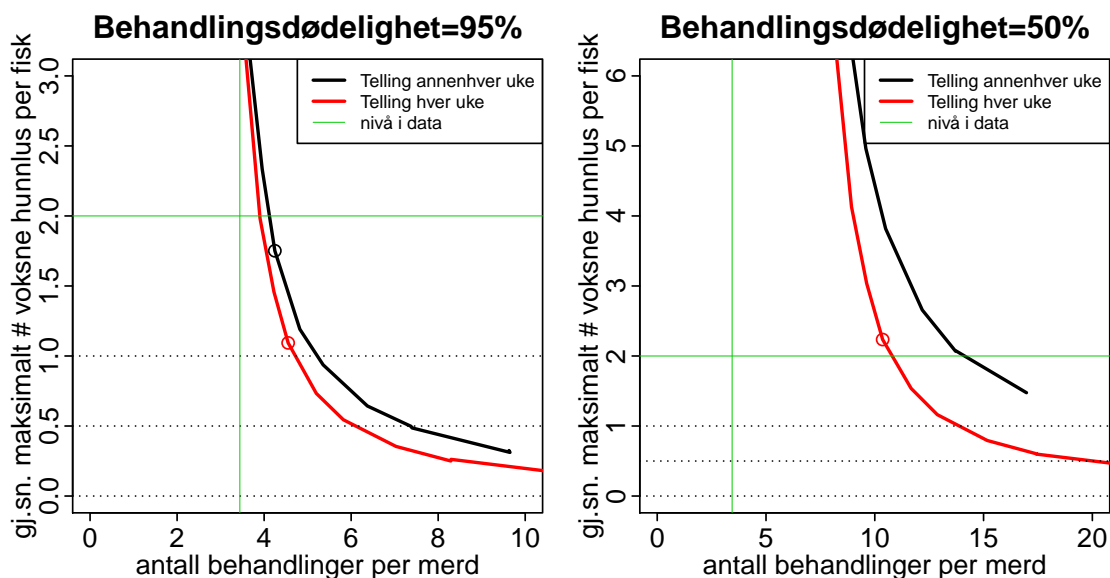
Figur 4. Lusenivå som funksjon av antall behandlinger per merd for merdvis og anleggsvs strategi, med 20 talte fisk per merd, hver merd telles hver uke og monitorering på voksne hunnlus (AF). Se figur 3 for ytterligere forklaring.

Telling hver uke i forhold til annenhver uke: 10 fisk per merd, anleggsvis



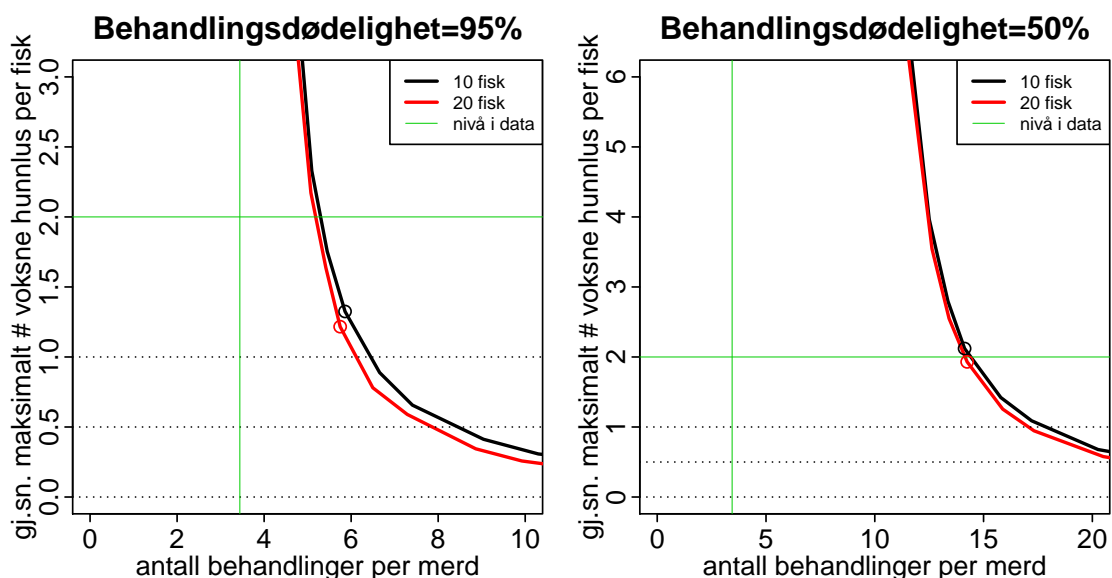
Figur 5. Lusenivå som funksjon av antall behandlinger per merd for tellinger hver og annenhver uke, med 10 talte fisk per merd, anleggsvis strategi og monitorering på voksne hunnlus (AF). Se figur 3 for ytterligere forklaring.

Telling hver uke i forhold til annenhver uke: 20 fisk per merd, merdvis



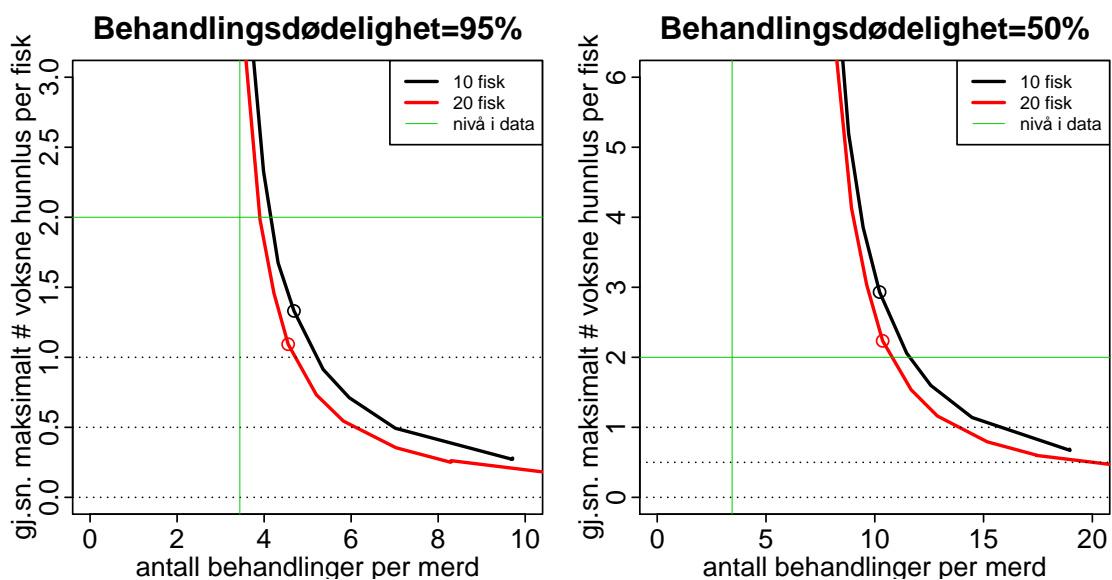
Figur 6. Lusenivå som funksjon av antall behandlinger per merd for tellinger hver og annenhver uke, med 20 talte fisk per merd, merdvis strategi og monitorering på voksne hunnlus (AF). Se figur 3 for ytterligere forklaring.

Telling av 20 fisk i forhold til 10 fisk: telling annenhver uke, anleggsviss



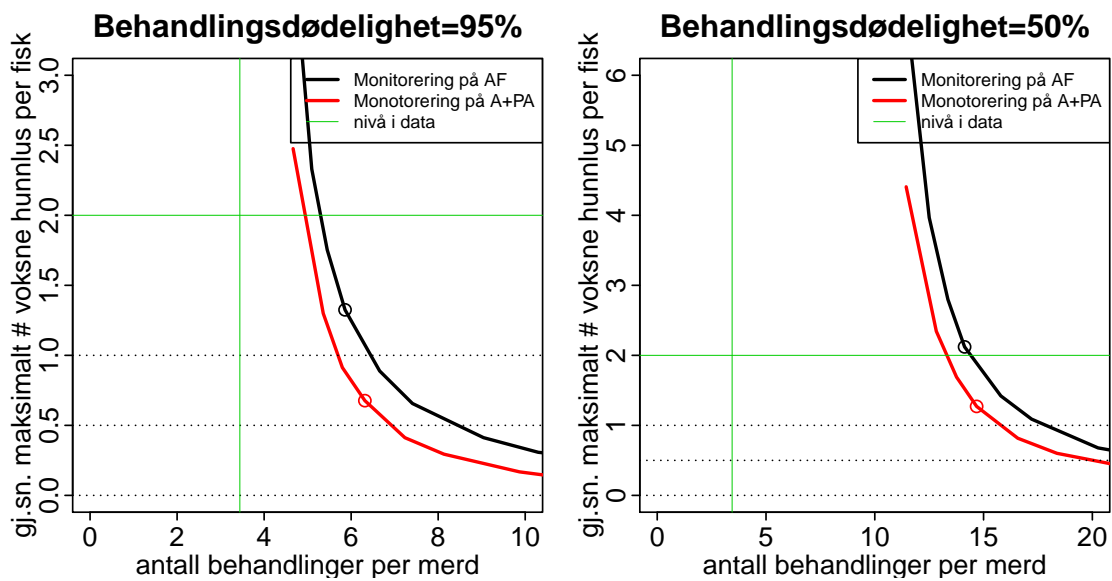
Figur 7. Lusenivå som funksjon av antall behandlinger per merd for 20 og 10 talte fisk per merd, med tellinger annenhver uke, anleggsviss strategi og monitorering på voksne hunnlus (AF). Se figur 3 for ytterligere forklaring.

Telling av 20 fisk i forhold til 10 fisk: telling hver uke, merdvis



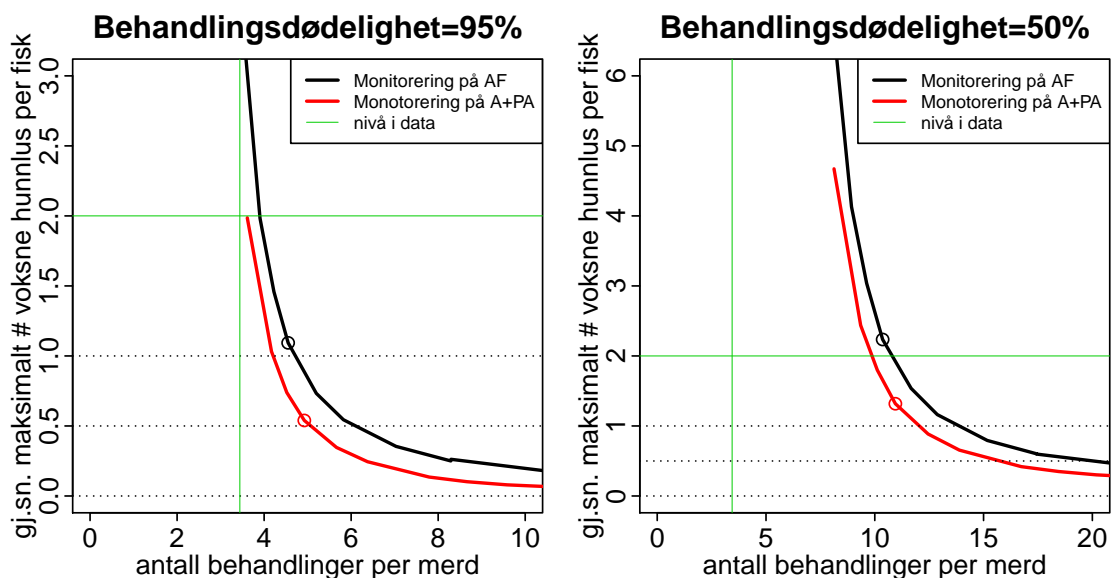
Figur 8. Lusenivå som funksjon av antall behandlinger per merd for 20 og 10 talte fisk per merd, med tellinger hver uke, merdvis strategi og monitorering på voksne hunnlus (AF). Se figur 3 for ytterligere forklaring.

Monitorering på A+PA i forhold til AF: telling av 10 fisk annenhver uke, anleggsvis

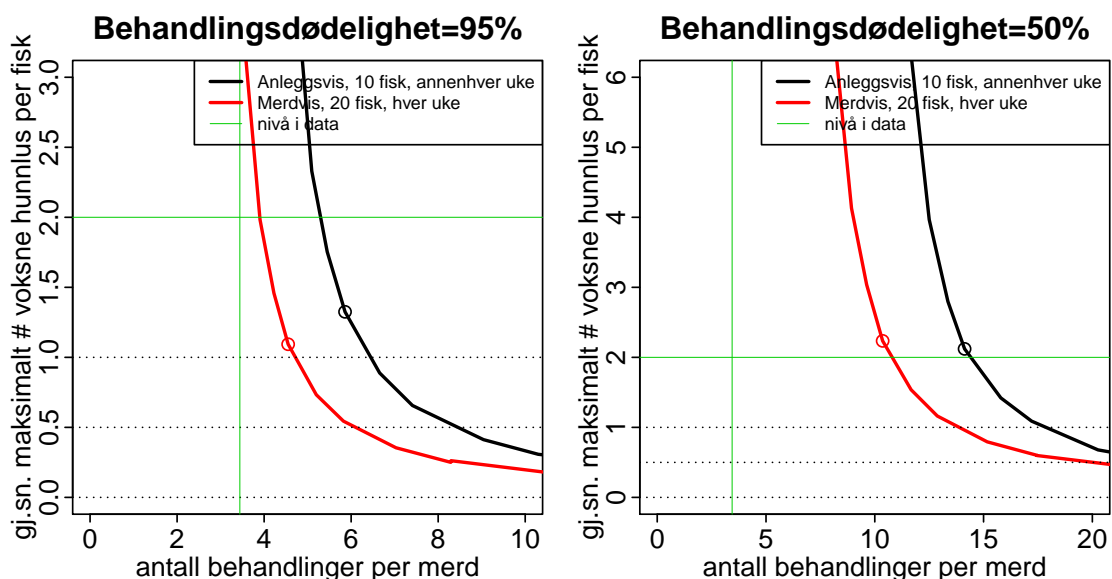


Figur 9. Lusenivå som funksjon av antall behandlinger per merd for monitorering på alle bevegelige lus (PA+A) og på voksne hunnlus (AF), med 10 talte fisk per merd, tellinger annenhver uke og anleggsvis strategi. Ved monitorering på alle bevegelige lus er tiltaksgrensa variert fra 0.1 til 10 bevegelige lus per fisk, og sirkelen på denne kurven angir punktet basert på tiltaksgrense 2.5 bevegelige lus per fisk. Se figur 3 for ytterligere forklaring.

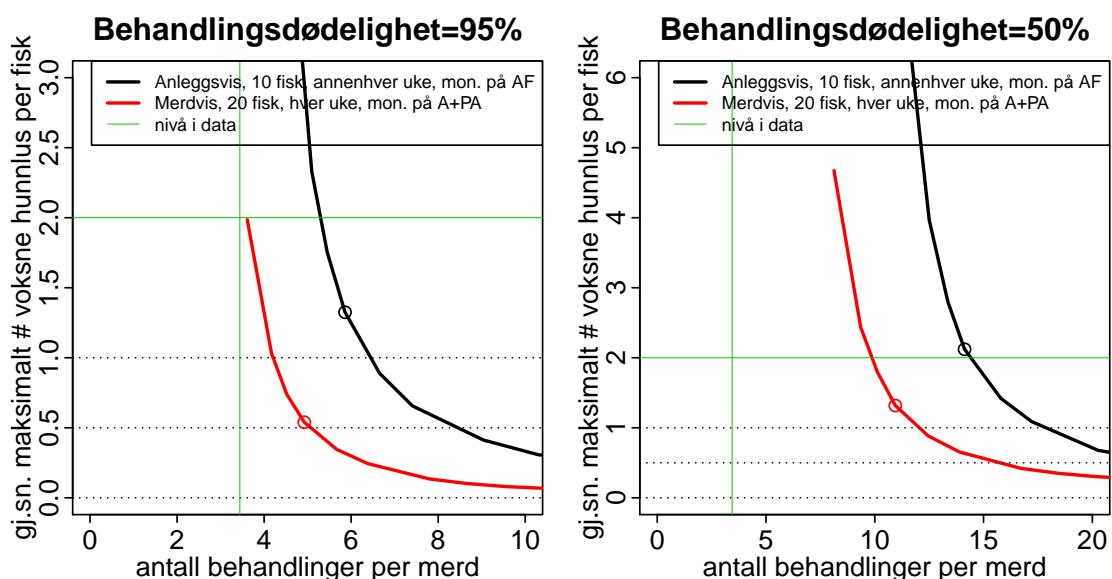
Monitorering på A+PA i forhold til AF: telling av 20 fisk hver uke, merdvis



Figur 10. Lusenivå som funksjon av antall behandlinger per merd for monitorering på alle bevegelige lus (PA+A) og på voksne hunnlus (AF), med 20 talte fisk per merd, tellinger hver uke og merdvis strategi. Se figurene 9 og 3 for ytterligere forklaring.



Figur 11. Lusenivå som funksjon av antall behandlinger per merd for en merdivis strategi med 20 fisk talt i hver merd hver uke og for en anleggsvis strategi med 10 fisk talt i hver merd annenhver uke, begge for monitorering på voksne hunnlus monitorering på alle bevegelige lus (PA+A) og på voksne hunnlus (AF), med 20 talte fisk per merd, tellinger hver uke og merdivis strategi. Se figurene 9 og 3 for ytterligere forklaring.



Figur 12. Lusenivå som funksjon av antall behandlinger per merd for en merdivis strategi med 20 fisk talt i hver merd hver uke med monitorering på alle bevegelige lus (PA+A) og for en anleggsvis strategi med 10 fisk talt i hver merd annenhver uke med monitorering på voksne hunnlus. Se figurene 9 og 3 for ytterligere forklaring.

5 Resultater for ulike tiltak

I dette kapitlet tar vi for oss effekten av å gjennomføre ulike tiltak mot lakselus, samt en endring som går ut på å øke antall fisk. For alle eksperimenter følger vi en basisstrategi som her består av 20 talte fisk per merd, tellinger hver uke, merdvis strategi og monitorering på voksne hunnlus (AF), dvs. en strategi som noen av oppdrettselskapene følger i dag og som innebærer en mer intensiv telling enn minimumskravet i luseforskriften. Resultatene er oppsummert i tabell 2, mens figurene 13-21 viser mer av detaljene.

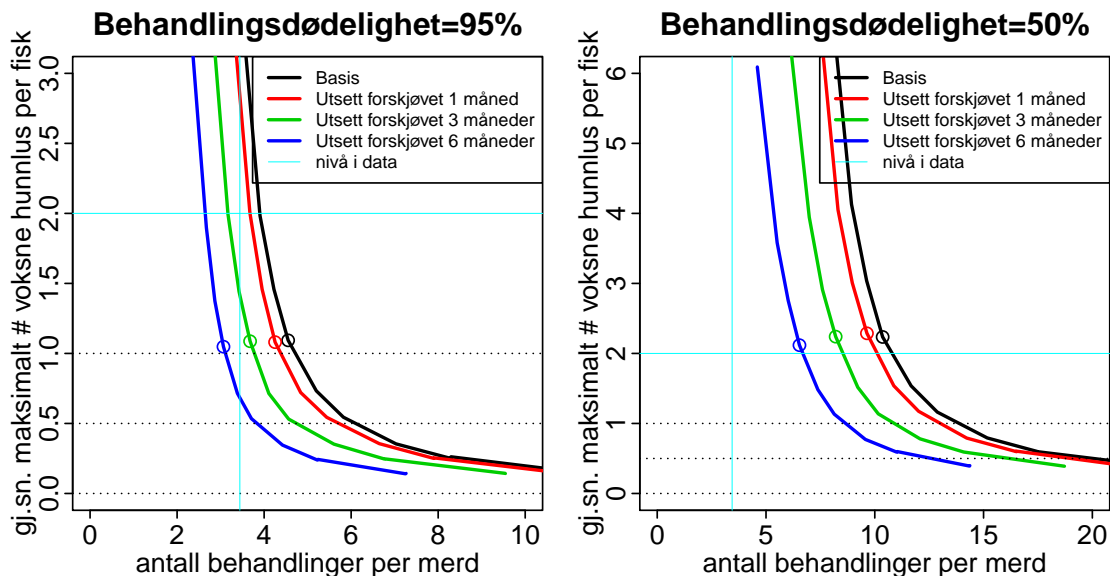
For eksperimentene som antar en ekstra, tallfestet dødelighet er det ikke gjennomført fórbehandling og det er heller ikke brukt rensefisk. Grunnen til det er at vi ønsker å undersøke hvor stor ekstra dødelighet som må til for å helt unngå andre typer behandlinger. Fórbehandling er heller ikke gjennomført i eksperimentene med varierende grad av rensefisk, og innblandingprosenten av rensefisk er da som angitt i hele produksjonsperioden og ikke slik som i virkeligheten.

Vi går ikke nærmere inn på hvert eksperiment her, men henviser til det utvidede sammendraget i første kapittel. Vi vil imidlertid påpeke en detalj ved det eksperimentet vi betegner med *“Skjørt” alltid*. Dette eksperimentet vil si at påslag av lus på fisken reduseres med en viss prosent under hele produksjonsperioden, men det må ikke bokstavelig talt tilskrives bruk av skjørt. Hvis et skjørt blir sittende på under hele produksjonsperioden vil det ikke bare hindre påslag utenifra, men det vil også kunne hindre luselarver inne i merda fra å flyte vekk fra anlegget, og dette siste håndteres ikke av modellen.

Tabell 2. Prosentvis nedgang i antall behandlinger per merd som er nødvendig for å holde lusenivået på 1, for ulike alternative strategier i forhold til en basisstrategi som her er 20 talte fisk per merd, tellinger hver uke, merdvis strategi og monitorering på voksne hunnlus (AF). Tall merket med *) er ekstrapolert. Lusenivå er definert som i Tabell 1

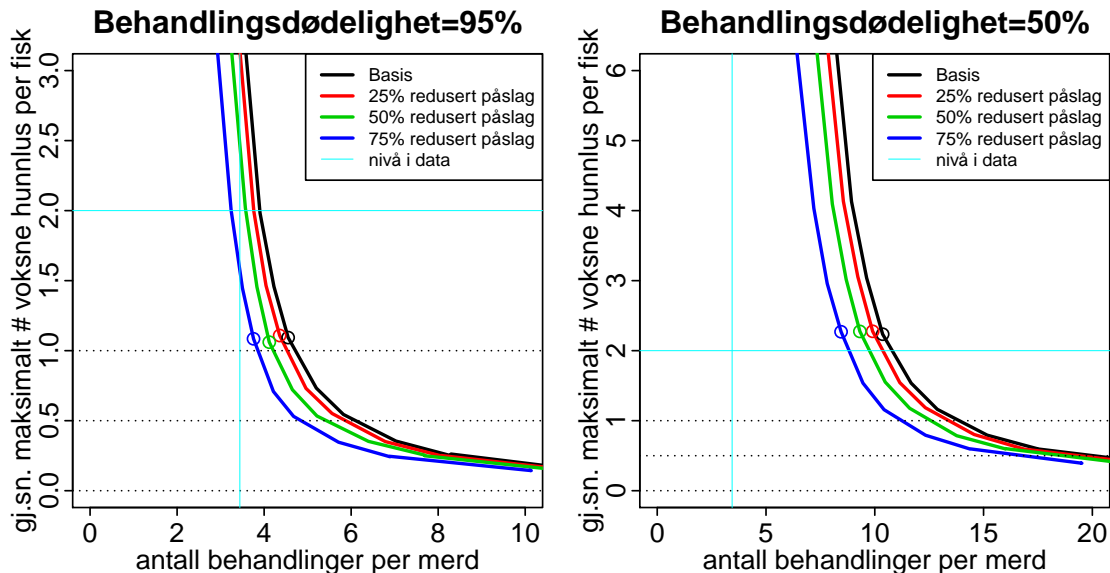
Type tiltak	Grad av tiltak	Dødelighet behandling 95%	Dødelighet behandling 50%
Forsinket utsett pga lukket anlegg	1 måned	8	6
Forsinket utsett pga lukket anlegg	3 måneder	22	22
Forsinket utsett pga lukket anlegg	6 måned	40	38
Skjørt fram til første voksne hunnlus	25% redusert påslag	4	3
Skjørt fram til første voksne hunnlus	50% redusert påslag	11	9
Skjørt fram til første voksne hunnlus	75% redusert påslag	18	19
Skjørt fram til 1/9	25% redusert påslag	7	6
Skjørt fram til 1/9	50% redusert påslag	15	14
Skjørt fram til 1/9	75% redusert påslag	20	21
“Skjørt” alltid	25% redusert påslag	14	9
“Skjørt” alltid	50% redusert påslag	31	27
“Skjørt” alltid	75% redusert påslag	59	61
Ekstra kontinuerlig dødelighet PA+A	5%	55	66
Ekstra kontinuerlig dødelighet PA+A	10%	84	92
Ekstra kontinuerlig dødelighet PA+A	15%	100 *)	100 *)
Ekstra kontinuerlig dødelighet PA+A	20%	100 *)	100 *)
Ekstra kontinuerlig dødelighet CH	5%	67	75
Ekstra kontinuerlig dødelighet CH	10%	97 *)	99
Ekstra kontinuerlig dødelighet CH	15%	100 *)	100
Ekstra kontinuerlig dødelighet CH	20%	100 *)	100
Rensefisk	5% innblanding	47	57
Rensefisk	10% innblanding	73	84
Rensefisk	15% innblanding	92	97
Rensefisk	20% innblanding	100 *)	100 *)
Redusert tiltaksgrense nov-des	1/2 tiltaksgrense	-4	-3
Redusert tiltaksgrense nov-des	1/3 tiltaksgrense	-8	-6
Redusert tiltaksgrense nov-des	1/5 tiltaksgrense	-10	-9
Fler fisk i hver merd	25% fler	-17	-20
Fler fisk i hver merd	50% fler	-31	-37

Forskjøvet utsett: merdvis, 20 fisk per merd, hver uke



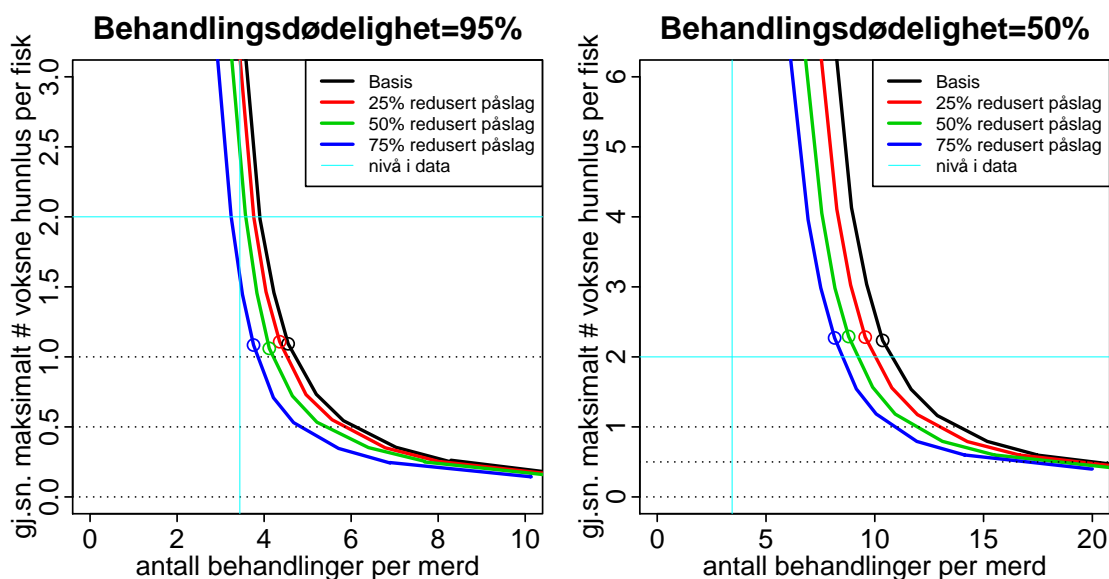
Figur 13. Lusenivå som funksjon av antall behandlinger per merd for varierende grad av forsinket utsett, med 20 talte fisk per merd, tellinger hver uke, merdvis strategi og monitorering på voksne hunnslus (AF). Se figur 3 for ytterligere forklaring.

Skjørt med redusert påslag intil første AF: merdvis, 20 fisk per merd, hver uke



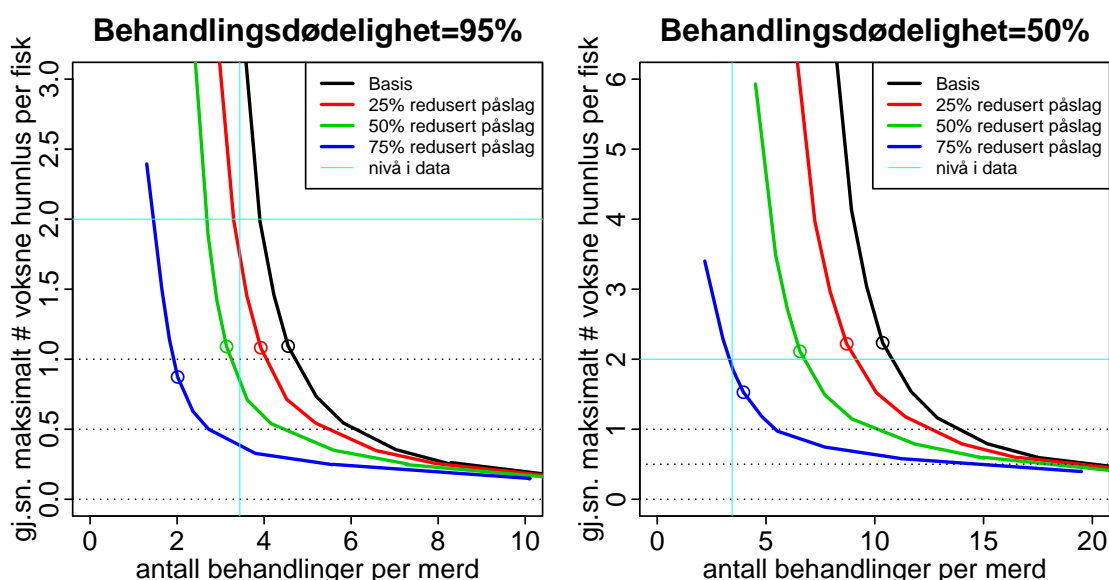
Figur 14. Lusenivå som funksjon av antall behandlinger per merd for varierende grad av redusert lusepåslag pga. skjørt eller tilsvarende utstyr som er i virksomhet intil første voksne hunnslus observeres i merda, med 20 talte fisk per merd, tellinger hver uke, merdvis strategi og monitorering på voksne hunnslus (AF). Se figur 3 for ytterligere forklaring.

Skjørt med redusert påslag inntil 1. sept. første år: merdvis, 20 fisk per merd, hver uke



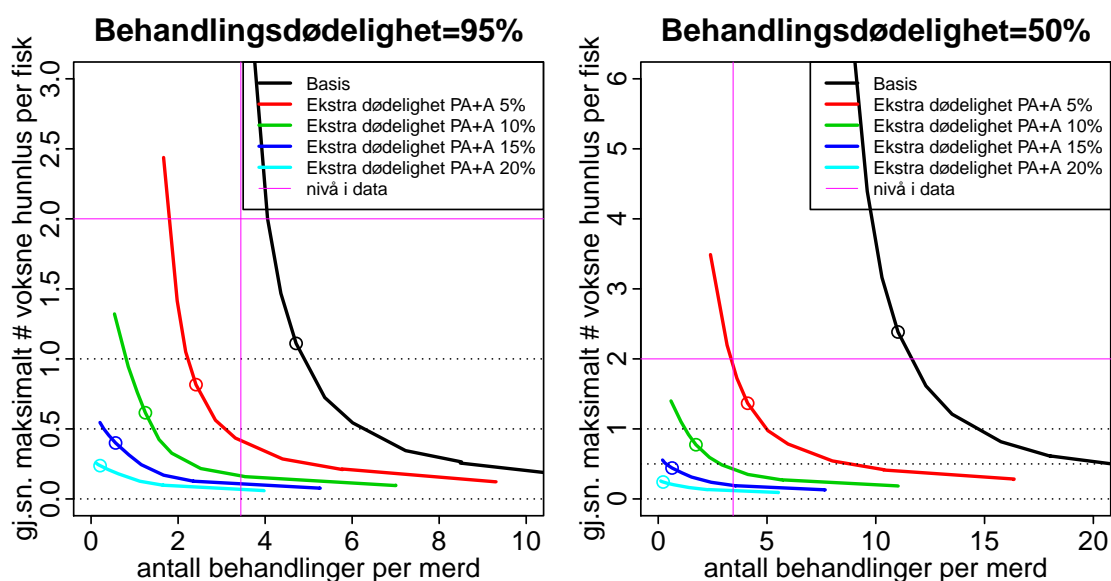
Figur 15. Lusenivå som funksjon av antall behandlinger per merd for varierende grad av redusert lusepåslag pga. skjørt eller tilsvarende utstyr som er i virksomhet inntil 1. september første år i sjø, med 20 talte fisk per merd, tellinger hver uke, merdvis strategi og monitorering på voksne hunnlus (AF). Se figur 3 for ytterligere forklaring.

Skjørt med redusert påslag inntil slakt: merdvis, 20 fisk per merd, hver uke



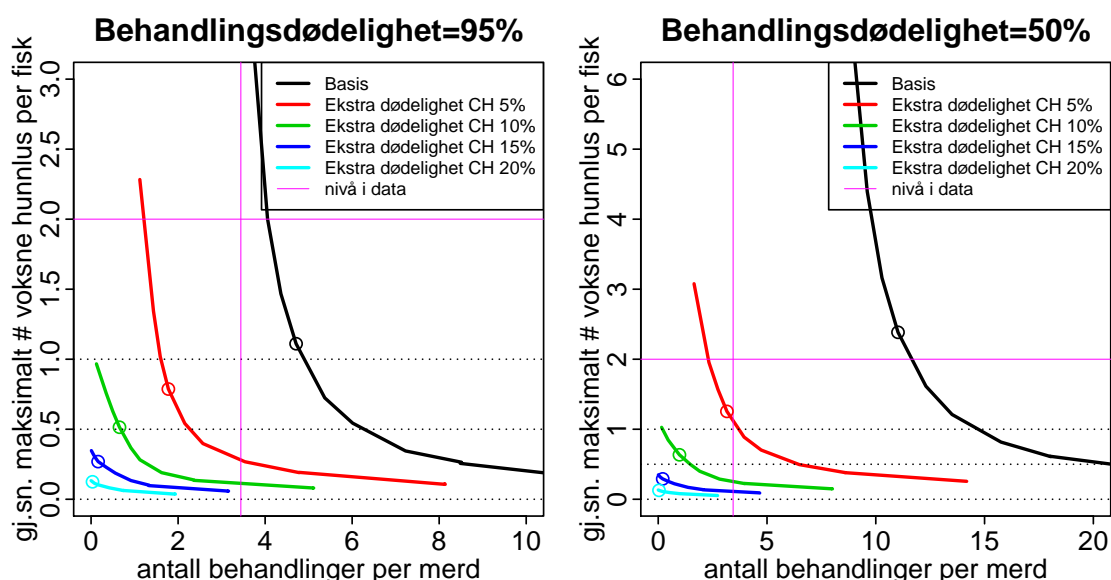
Figur 16. Lusenivå som funksjon av antall behandlinger per merd for varierende grad av redusert lusepåslag pga. skjørt eller tilsvarende utstyr som er i virksomhet i hele produksjonsperioden, med 20 talte fisk per merd, tellinger hver uke, merdvis strategi og monitorering på voksne hunnlus (AF). Se figur 3 for ytterligere forklaring.

Ekstra dødelighet PA+A: merdvis, 20 fisk per merd, hver uke



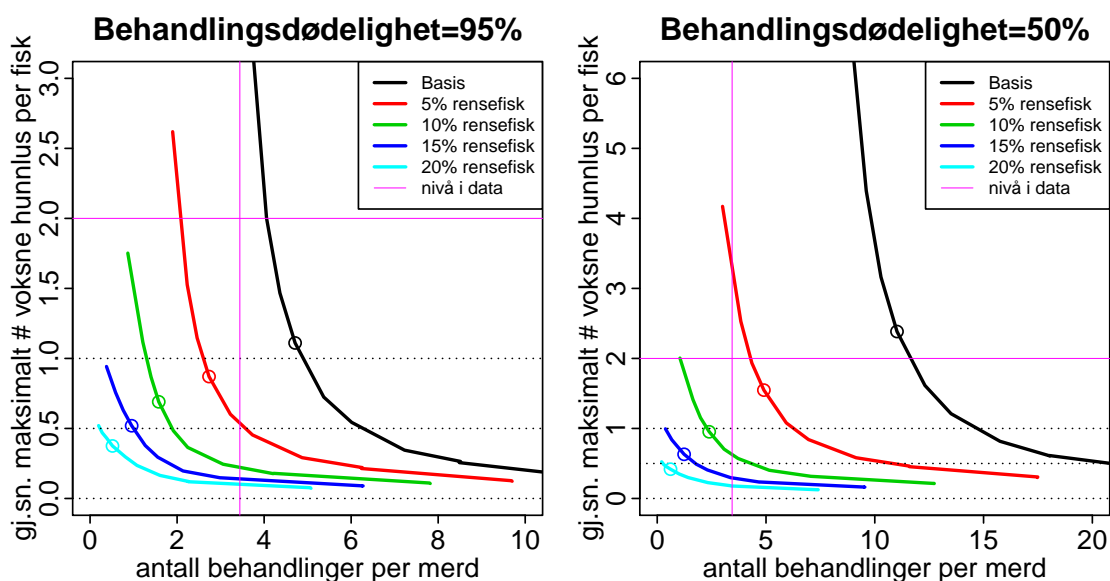
Figur 17. Lusenivå som funksjon av antall behandlinger per merd for varierende grad av ekstra dødelighet for bevegelige lus (PA+A), med 20 talte fisk per merd, tellinger hver uke, merdvis strategi og monitorering på voksne hunnlus (AF). Se figur 3 for ytterligere forklaring.

Ekstra dødelighet CH: merdvis, 20 fisk per merd, hver uke



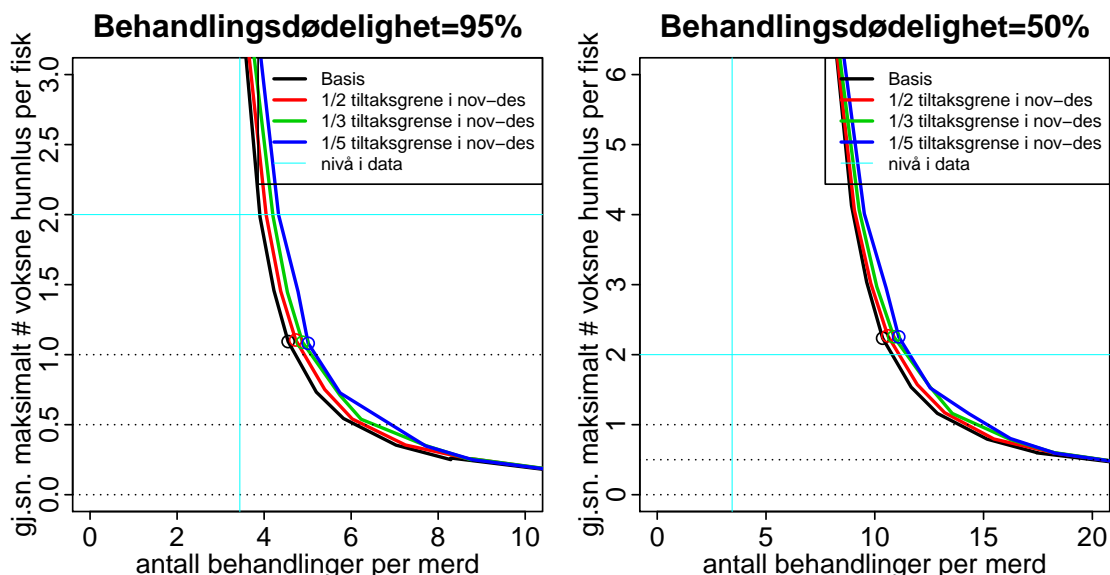
Figur 18. Lusenivå som funksjon av antall behandlinger per merd for varierende grad av ekstra dødelighet for fastsittende lus (CH), med 20 talte fisk per merd, tellinger hver uke, merdvis strategi og monitorering på voksne hunnlus (AF). Se figur 3 for ytterligere forklaring.

Rensefisk: merdvis, 20 fisk per merd, hver uke



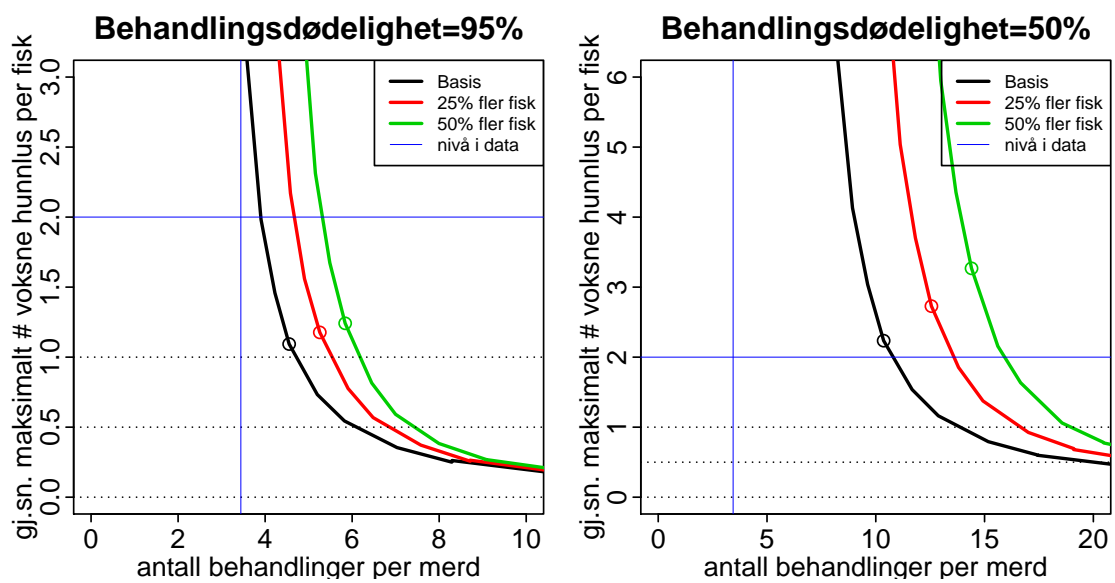
Figur 19. Lusenivå som funksjon av antall behandlinger per merd for varierende innblandingsprosent av rensefisk, med 20 talte fisk per merd, tellinger hver uke, merdvis strategi og monitorering på voksne hunnlus (AF). Se figur 3 for ytterligere forklaring.

Redusert tiltaksgrense nov–des: merdvis, 20 fisk per merd, hver uke



Figur 20. Lusenivå som funksjon av antall behandlinger per merd for varierende grad av nedsatt tiltaksgrense i november og desember, med 20 talte fisk per merd, tellinger hver uke, merdvis strategi og monitorering på voksne hunnlus (AF). Se figur 3 for ytterligere forklaring.

Fler fisk: merdvis, 20 fisk per merd, hver uke



Figur 21. Lusenivå som funksjon av antall behandlinger per merd for varierende grad av økt antall fisk per merd, med 20 talte fisk per merd, tellinger hver uke, merdvis strategi og monitorering på voksne hunnlus (AF). Se figur 3 for ytterligere forklaring.