

Lakselus prosjekt Rogaland 2017 - 2018

Modellsammenligninger og lusekalkulator



Lakselus prosjekt Rogaland 2017-2018, Modellsammenligninger og lusekalkulator

FHF- prosjektnummer 901414

Innhold

Innhold	2
Bakgrunn	3
Modellsammenligninger på lokalitetsnivå	4
Innledning	4
Metode	5
Resultater og diskusjon	7
Lusekalkulator	12
Innledning	12
Metode	12
Resultater	13
Diskusjon	15
Konklusjoner	16
Til slutt	16
Referanser	17

Forfatter
Lars Qviller
Kari Olli Helgesen

Prosjektleder
Trine Lotherington Danielsen

ISSN 1890-3290

© Veterinærinstituttet 2019

Oppdragsgiver:
Fiskeri og Havbruksnæringas
Forskningsfinansiering

Samarbeidspartnere:
Blue planet
Norsk Regnesentral
Proactima

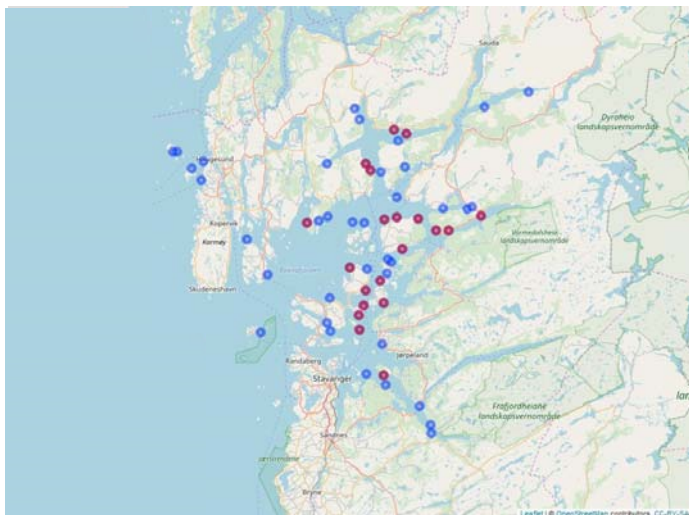
Design omslag/Design Cover: Reine Linjer
Foto forside: Colourbox

Bakgrunn

Et av hovedmålene i Lakselusprosjekt Rogaland 2017-2018, «Enhetlig proaktiv lakselus strategi Rogaland» FHF prosjekt 901414, var å bidra til forebygging av påslag av lakselus. Dette skulle skje gjennom å øke kunnskapen om hvordan lakselus sprer seg i vannmassene, og hvilke faktorer som påvirker påslag av lus på oppdrettslokaliteter. Målet var videre å bruke kunnskapen til å iverksette forebyggende tiltak mot lakselus, og dermed begrense behovet for medikamentelle behandlinger og ikke-medikamentelle metoder som kan stresse fisken. Prosjektet har derfor hatt som målsetning å bedre både fiskevelferd, miljøpåvirkning og samtidig optimalisere økonomisk gevinst for aktørene i oppdrettsnæringa.

Prosjektet har vært bredt, med fokus på både en strømbasert (hydrodynamisk) spredningsmodell, og spredningsmodeller som benytter en assosiasjon med avstand mellom lokaliteter (statisk modell). Videre har prosjektet evaluert forskjellige strategier for å redusere påslag av lakselus gjennom scenariosimuleringer. Et delmål var å utvikle en lakseluskalkulator som med bakgrunn i spredningsmodellene skulle vise framvekst av lakselus i oppdrettslokaliteter i framtiden. Lusekalkulatoren skulle bygges rundt både den hydrodynamiske modellen utviklet for dette prosjektet, og Veterinærinstituttets statiske modell fra 2014 (Kristoffersen et al. 2014). Det har videre vært et mål å sammenligne disse to modellenes prediksjonsevne. Veterinærinstituttet har vært hovedansvarlig for arbeidet med lakseluskalkulatoren og sammenligning av modellenes evne til å forutsi observerte data. Modellsammenligningene er omtalt som en del av arbeidspakke 2 i prosjektbeskrivelsen, mens kalkulatoren omtales under arbeidspakke 3.

Det framgår av prosjektbeskrivelsen at lakseluskalkulatoren og modellsammenligningen er tett sammenvevd. Veterinærinstituttet velger derfor å dekke begge disse bidragene med én rapport. Innledning og konklusjon vil presenteres felles for begge delarbeidene. En egen innledning for hvert delarbeid, samt metoder og resultater presenteres i separate delkapitler under kapitlene «Modellsammenligninger på lokalitetsnivå» og «Lakseluskalkulator». Modellsammenligninger på lokalitetsnivå ble utført på 57 lokaliteter i studieområdet, mens lakseluskalkulatoren ble laget på bakgrunn av 20 av disse lokalitetene (Figur1).



Figur 1: Kart over studieområdet som viser alle lokaliteter inkludert i prosjektet. Lokaliteter merket med rødt indikerer lokaliteter som inngår i beregning av lakseluskalkulator.

Modellsammenligninger på lokalitetsnivå

Innledning

Som en del av prosjektet Strategi Lakselus 2017: Enhetlig proaktiv lusestrategi Rogaland (FHF prosjekt nr. 901414) har Proactima i samarbeid med DHI, laget en smittepressmodell for lakselus. Under arbeidspakke 2 (AP2) skulle Veterinærinstituttet sammenlikne Veterinærinstituttets avstandsbaserte smittepress (Kristoffersen et al. 2014) med det nye hydrodynamiske smittepresset som er utviklet av Proactima. Hensikten var å vurdere om den hydrodynamiske modellen var mer egnet til å forklare observerte påslag av lus. Prosjektet ønsket videre i denne leveransen å finne de optimale bruksområdene for de to modellene, samt at resultatene skulle kunne brukes til å videreutvikle modellene, med bakgrunn i hvordan de greide å forutsi smittepresset i forskjellige situasjoner.

Veterinærinstituttets beregningsmodell for smittepress benytter seg av en enkel avstandsfunksjon, der en forventer at smittepresset fordeles jevnt i alle retninger fra utslippspunktene (oppdrettslokalitetene). Smittepresset fra et utslippspunkt avtar dermed likt i alle retninger en lokalitet etter en funksjon som ble bestemt i en publikasjon av Aldrin et al. (2013). Det totale smittepresset til et gitt punkt i havet tilsvarer summen av smittepresset fra alle de omkringliggende oppdrettslokalitetene innen 200 km sjøavstand.

Med sjøavstand menes den korteste vei i sjø, rundt øyer, odder og nes, og andre hindringer i sjøen. Smittepresset beregnet for en lokalitet blir deretter framskrevet til forventet framvekst av preadulte lakselus og voksne hanner senere omtalt som «andre mobile stadier». (framvekst av voksne hunn lus er dårlig egnet til denne analysen, se under «observerte data» på side 5), etter funksjoner som defineres i en populasjonsmodell fra Stien et al. (2005). Veterinærinstituttets metode for å beregne smittepress ble publisert som en helhetlig modell i 2014 (Kristoffersen et al. 2014). Modellen kjøres hver uke etter at oppdrettsanleggene har levert inn sine lusetall for forrige uke, og resultatene legges deretter ut, i form av smittepresskart på <http://apps.vetinst.no/lusekart>.

Proactima har laget en beregningsmodell for smittepress som baserer seg på en anerkjent hydrodynamisk modell (FVCOM), kombinert med en partikkelspredningsmodell som tar høyde for en del biologiske parametere, slik som adferd og vertikale vandringer i forhold til lys. Slike modeller omtales ofte som fysisk-biologiske modeller. Fysisk-biologiske modeller har potensiale til å forutsi spredning av luselarver på en bedre måte enn enkle avstands- eller diffusjonsmodeller, da disse tar høyde for strømsituasjonen i den aktuelle perioden på det aktuelle stedet. Imidlertid kan den fysisk-biologiske modellen tilføre mer støy til prediksjonene enn enklere modeller, slik at forklaringskraften ikke blir så stor som forventet. Med dette menes at modellen greier å modellere strømretninger, med god interaksjon med lakseluslarvenes biologi. Hvis modellen bommer mye i sine antagelser kan den beregne at luselarver driver i feil retning, og dermed tilføre systemet mye støy, i form av feilprediksjoner. Hensikten med å sammenligne med en enkel avstandsmodell er derfor å se om den ekstra kompleksiteten i den fysisk-biologiske modellen faktisk tilfører mer forklaringskraft enn støy.

Sammenligninger kan også gi informasjon om hvordan de to modellene forutsier framvekst av lakselus i forskjellige lokaliteter, eller i forskjellige situasjoner, og dermed om det er situasjoner hvor den ene modellen gjør det bedre enn den andre. Denne informasjonen kan indikere svakheter ved de to modellene som kan brukes til videre utvikling av slike verktøy, og avdekke forhold der et av verktøyene eger seg bedre enn det andre.

Sammenligningene gjøres i to steg. Først benyttes et datasett som inkluderer 57 lokaliteter som er aktive i løpet av studieperioden mellom uke 1 i 2013 til og med uke 1 i 2015. Perioden ble begrenset av hvilke smittepressberegninger som Veterinærinstituttet hadde mottatt fra Proactima, der smittepresset predikerer lusetall på lokalitetsnivå. Den andre sammenligningen gjøres i utvikling av lusekalkulatoren som omtales i et eget kapittel. Her utføres sammenligningene på merdnivå, og antall lokaliteter begrenses til 20 lokaliteter over samme tidsperiode.

Metode

Observerte og modellerte data

Smittepress beregnet fra smittepressmodellene, som forteller oss noe om smittepåvirkningen fra nabolokalitetene, ble sammenliknet med observerte lusetall. Smittepresset brukes således til å predikere påslag av lus. For at smittepressmodellene skal svare til sin hensikt, må det modellerte smittepresset (en forklaringsvariabel) ha en statistisk assosiasjon med observerte lusetall (responsvariabelen).

Observerte data

Modellsammenligninger på lokalitetsnivå ble gjort mot «andre mobile stadier» av lakselus (preadulte og voksne hanner) som responsvariabel. Disse dataene rapporteres ukentlig inn direkte fra alle oppdrettslokaliteter med laksefisk i sjø, til Mattilsynet.

Selv om lakselus forvaltes etter antall kjønnsmodne hunnlus på lokaliteten har vi valgt å validere mot «andre mobile stadier» på lokalitetsnivå. Med andre mobile stadier menes her preadulte lakselus og voksne hanner. Årsaken bak dette valget er at vi har flere observasjoner av «andre mobile lus» enn kjønnsmodne hunnlus, og hunnlusdata gir derfor et datasett med mindre variasjon. Det lettere å observere de bevegelige stadiene av lakselus enn de fastsittende stadiene, som kan være ganske små. Videre krever både tidligere og gjeldende lakselusforskrift at gjennomsnitt antall voksne hunnlus pr fisk ikke skal overstige 0,5, og det statistiske signalet begrenses dermed betydelig.

Innledende analyser viste at de «andre mobile stadiene» ga bedre sammenfall med modellerte data, enn tilsvarende valideringer mot kjønnsmodne hunnlus. Dette samsvarer med Veterinærinstituttets tidligere arbeider (Kristoffersen et al. 2014).

Tidsforsinkelse

Proactima har levert daglige estimater for smittepress som senere ble slått sammen til ukentlige konsentrasjoner av luselarver ved lokalitetene. For å kunne sammenligne dette smittepresset med observert antall «andre mobile lus» i lokalitetene som opplever et smittepress må disse tallene fremskrives til det aktuelle stadiet basert på døgngader. Smittepresset til Veterinærinstituttet er allerede fremskrevet til «andre mobile lus». For å finne hvor mange døgngaders forsinkelse som må legges inn i den hydrodynamiske smittepressmodellen, ble sammenligninger mellom observerte lus og smittepress beregnet med forskjellige tidsforsinkelser, for å se hvilken tidsforsinkelse som gir best samsvar mellom observerte og modellerte antall lus.

Metoden for å validere er hentet fra Kristoffersen et al. (2014). Dette er den samme metoden som senere brukes for å sammenligne smittepressmodellene på lokalitetsnivå. Metoden beskrives i noe mer detalj under delkapittel «modellsammenligninger».

Analysene gir en verdi for hvor godt modelldata passer overens med observerte data. Denne verdien kalles Akaikes Informasjonskriterium (AIC). Lavere AIC betyr at det er mer samsvar mellom observerte og modellerte data. Analysen ble kjørt 300 ganger, der tidsforskyvningen startet på 0 og økte med en døgngrad for hver kjøring.

Innledende databehandling

Alle observasjoner i lokaliteter for en uke der det har vært mekanisk behandling eller badebehandling, samt uken etterpå, ble fjernet for å unngå at behandlinger påvirker resultatet. I tillegg ble 9 uker med observasjoner etter behandling med Slice fjernet. Virketiden for Slice skal være maksimalt 60 dager, og denne typen behandlinger bør derfor gi liten innvirkning på resultatet når ni uker etter behandling utelates fra datasettet. Disse dataene ble fjernet før forsinkelsen for det hydrodynamiske smittepresset ble estimert. Etter at forsinkelsen var beregnet, ble data for uker før det hydrodynamiske smittepresset vil vise seg som observerte mobile lus fjernet. Dette ble gjort for å unngå støy og dermed dårligere prediksjonsevne.

Modellsammenligning

Regresjonsanalyser brukes for å sammenligne smittepressmodellene. Analysene kan forstås som prediksjonsmodeller som gir informasjon om hvor godt observert antall «andre mobile lus» kan predikeres, eller forklares av beregnet smittepress. Vi lagde en modell for hver type smittepress, og sammenligningene vurderte hvor godt hver modell kunne predikere, eller forutsi lusepåslag. I tillegg legges det inn en tidsseriekorreksjon, i form av antall «andre mobile lus» uken før. I praksis betyr dette at prediksjonsmodellen forteller oss hvor godt smittepressberegningene kunne forutsi fremvekst av nye preadulte lakselus.

Tidsseriekorreksjon ble altså lagt inn fordi man ønsker at smittepresset skal korreleres med hvor mye av smittepresset som manifesteres i form av påslag, og vi må kontrollere for hvor mange lus som var på lokaliteten uken før. Man vil også forvente en sammenheng mellom antall lakselus i perioden før og det observerte lusetallet i den uka en benytter som responsvariabel, fordi det er antallet lakselus som definerer produksjonen av lusearver og fordi en god del av lusene tilhører kategorien «andre mobile lus» flere uker på rad. Det er derfor helt essensielt at man trekker inn denne korreksjonen i sammenligningsanalysene. Denne tilnærmingen er beskrevet i detalj i Kristoffersen et al. (2014).

Antall lakselus er telledata, men tallene rapporteres til Mattilsynet som gjennomsnitt av gjennomsnitt antall lus per fisk i alle merder som er undersøkt. For å beholde den originale fordelingen i de registrerte dataene ble rapporterte antall lakselus ganget opp med 20, på bakgrunn av gjennomsnittlig antall fisk som var blitt talt opp i et begrenset datasett på merdnivå (beskrevet under lusekalkulator). Metoden tilsvarende som ble brukt for validering i Kristoffersen et al. (2014). Kristoffersen et al. (2014) fant ut at tallene fulgte en negativ binomial sannsynlighetsfordeling. En slik sannsynlighetsfordeling egner seg til regresjonsmodeller for skjevfordelte data. Dette er typisk for parasittdata der mange individer har få, mens bare noen har mange parasitter. Innledende analyser viste at dette var den beste fordelingen også her.

Det ble også forsøkt å legge til avstand til land som en ekstra forklaringsvariabel i prediksjonsmodellene. Proactima rapporterer at den hydrodynamiske smittepressmodellen viser konsentrasjoner av kopepoditter som tidvis kan være store i områder som er nærme land. Dette samsvarer med mønster som Havforskningsinstituttet beskriver fra sine modeller (Asplin et al. 2014). Hvis lakseluskonsentrasjonene er større nærme land burde en inkludering av denne faktoren øke forklaringskraften i prediksjonsmodellen som inkluderer avstandsbasert beregning av smittepress, siden dette smittepresset er beregnet uten økte konsentrasjoner nært land. Hvis den hydrodynamiske smittepressmodellen beregner denne mulige variasjonen på en god måte, burde avstand til land helt eller delvis plukkes opp av hydrodynamisk beregnet av smittepress, og effekten av avstand til land som forklaringsvariabel burde være betydelig svakere enn i analyser basert på avstandsbasert smittepress.

Første sammenligning viser forklaringskraft for hver lokalitet, der sammenligningene ble kjørt som separate analyser for hver enkelt lokalitet. Resultatene fra denne sammenligningen vil påvirkes av at det er lite data i hver sammenligning. Dette fører til at sammenhengen mellom smittepress og observerte data blir veldig sårbare for tilfeldigheter. Resultatene er derfor beheftet med en betydelig usikkerhet. Sammenligningene kan imidlertid peke ut områder eller lokaliteter med miljøforhold der de to smittepressmodellene har sine styrker og svakheter. Dette krever imidlertid videre analyser. Her ble det imidlertid ikke aktuelt å inkludere avstand til land, da avstand til land ikke varierer innen samme lokalitet.

Den andre sammenligningen gjøres over hele studieområdet. Denne analysen beskriver modellenes forklaringskraft for studieområdet, og gir bedre forståelse for de to smittepressmodellenes generelle forklaringskraft. Her inkluderes avstand til land, og vi viser i figurer hvordan sammenhengen mellom smittepress og avstand til land manifesterer seg i modellene.

For å vurdere forklaringskraft bruker vi AIC-verdier, og en deviansbasert beregning av andel variasjon forklart. Sistnevnte omtales som R^2 -verdier.

Resultater og diskusjon

Tidsforsinkelse

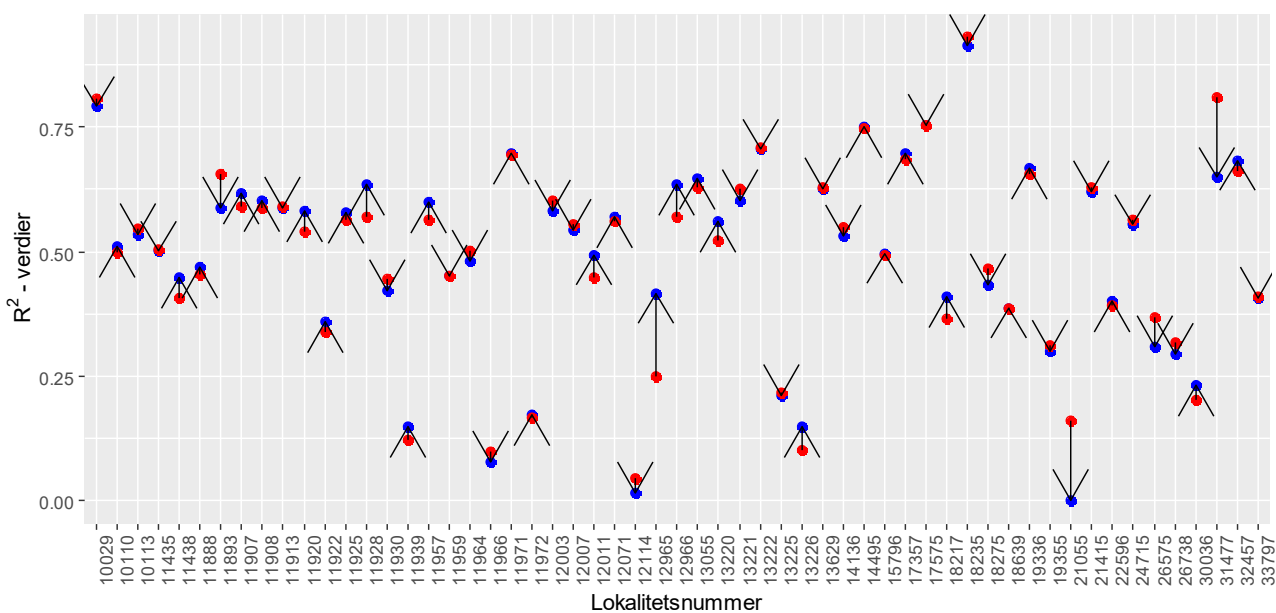
Beste tidsforsinkelse mellom det hydrodynamiske smittepresset og observasjon av «andre mobile lus» var på 239 døgngader. Dette er noe lengre enn tidligere brukte estimater (Stien et al (2005) og Aldrin et al. (2018) har beregnet tidsforsinkelser på henholdsvis 165 og 188 døgngader fra kopepoditt til preadult lus). I figur 1 ser vi imidlertid at det er lite endring i modelltilpasning i prediksjonsmodellene etter omlag 160 døgngader (Figur 2). I analyser som inkluderer det hydrodynamiske smittepresset ble det derfor brukt 239 døgngaders tidsforsinkelse mellom påslag og forventet påslag av «andre mobile lus».



Figur 2: Modelltilpasning i forhold til antall døgngaders forsinkelse. Lave verdier på y-aksen betyr bedre modelltilpasning. Røde prikker indikerer verdier for modelltilpasning ved de forskjellige tidsforsinkelsene, mens den svarte linja er en tredjegradsfunksjon tilpasset til de røde prikkene.

Sammenligninger med separate analyser for hver enkelt lokalitet

De to smittepressmodellene har forskjellige egenskaper, og kan ha forskjellig prediksjonsevne for lokaliteter med forskjellig beskaffenhet. For å finne ut hvilke lokaliteter der avviket mellom smittepressmodellene er størst, så har vi gjort en modellsammenligning for hver enkelt lokalitet separat (Figur 3). Her vises prediksjonsevne (R^2) ved inkludering av avstandsbasert smittepress modell med blå prikker, og med inkludering av hydrodynamisk smittepress med røde prikker. Forskjellen mellom de to smittepressmodellene illustreres ved vertikale piler, som peker fra rød til blå prikk. I hovedtrekk viser figuren at det ikke er veldig stor forskjell i prediksjonsevne mellom de to smittepressmodellene for de enkelte lokalitetene, men det er enkelte som skiller seg ut (de med lange piler i figuren).



Figur 3: R² for sammenligning mellom modellerte smittepress basert på hydrodynamikk (rødt) og avstandsbasert smittepress (blått) for hver enkelt lokalitet separat. Lokalitetsnumre er markert på x-aksen. I denne sammenligningen er smittepress framskrevet til andre mobile stadier av lus, validert mot observerte påslag av andre mobile stadier. For noen lokaliteter ble forklaringskraften nesten lik. I slike tilfeller viser figuren kun en rød prikk, mens pilens retning viser retningen på avviket som er for lite til å vises i figuren.

Det er verdt å merke seg at den viktigste forklaringsvariabelen generelt er antall lus forrige uke, og prediksjonsevnen er som sagt i store trekk nokså lik, også i vurdering av prediksjonsevne mot hele datasettet. Vi ser at to lokaliteter (lok.nr 21055 og lok.nr 31477) får betydelig bedre prediksjon ved hydrodynamisk smittepress (lang pil som peker ned). Det er én lokalitet der inkludering av en strømmodell gir betydelig dårligere prediksjon, med lang pil oppover (lok.nr: 12965), samt at gjennomsnittlig R² for avstandsbasert smittepress blir litt bedre (snitt R² for hydrodynamisk smittepress = 0.491, snitt R² for avstandsbasert smittepress = 0.493). Den hydrodynamiske smittepressmodellen kan muligens forbedres dersom man undersøker nærmere hvilke forhold ved smittepressmodellene som kan innfører ekstra støy og forklaringskraft for enkeltlokaliteter, og finner tiltak som forbedrer sammenhengen mellom beregnet smittepress og observerte verdier for enkelte lokaliteter.

Modellsammenligninger for hele området:

Sammenligning av smittepress i enkle negativ-binomiale regresjoner viser at det er liten forklaringskraft i smittepressene alene. Den klart beste forklaringsvariabelen er antall lus forrige uke, noe som er forventet (Tabell 1). Dette resultatet illustrerer at antall lus forrige uke må være med som tidsseriekorreksjon. Tabell 2 oppsummerer hele modellseleksjonen.

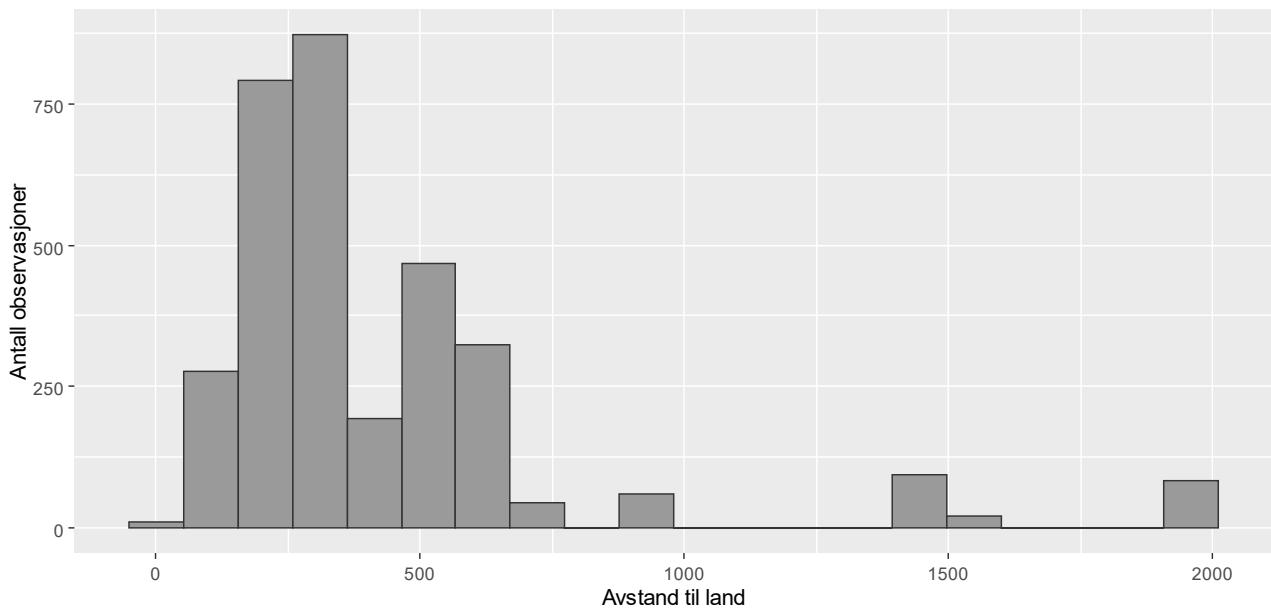
Tabell 1: Oppsummering av modelltilpasning for enkle (univariable) regresjoner der smittepress og antall lakselus forrige uke forklarer antall observerte lakselus. AIC = Modelltilpasning, lav verdi er best. Devians forklart er en slags R²-verdi for negativ binomiale regresjoner.

Forklaringsvariabel	AIC	Devians forklart («R ² »)
Ingen	23477	0
Antall preadulte lus forrige uke	20965	0,51
Hydrodynamisk smittepress	23459	0,0052
Avstandsbasert smittepress	23438	0,011
Avstand til land	23474	0,0013

Tabell 2: Oppsummering av modelltilpasning for multiple regresjoner der smittepress, avstand til land og antall lakselus forrige uke forklarer antall observerte lakselus. AIC = Modelltilpasning, lav verdi er best. Devians forklart er en slags R²-verdi for negbin-regresjoner. Modell nummer 5 og 8 er modellene som beste forklarer lusepåslag ved inkludering av henholdsvis avstandsbasert smittepress og hydrodynamisk smittepress. Symbolet * i kolonne 6 fra venstre betyr at det er en interaksjon mellom avstand til land og smittepress. Resultatene viser at smittepressberegningene gir en klar forklaringseffekt i tillegg til antall lus forrige uke og avstand til land. De beste modellene, inkluderer også en interaksjon mellom avstand til land og smittepress. Dette innebærer at effekten smittepress har på antall observerte lakselus er avhengig av hvor nærme land lokaliteten er.

Modell nr.	Lus forrige uke	Hydrodynamisk smittepress	Avstandsbasert smittepress	Avstand til land	Avs. Land * Smittepress	AIC	Devians forklart («R ² »)
1	X					20965	0,512
2	X		X			20877	0,524
3	X			X		20951	0,514
4	X		X	X		20855	0,528
5	X		X	X	X	20814	0,534
6	X	X				20893	0,522
7	X	X		X		20883	0,524
8	X	X		X	X	20835	0,531

De fleste lokalitetene befinner seg mellom 0 og 700 meter fra land (Figur 4). For å være sikker på at ikke denne skjevfordelingen påvirker utfallet av modellene ble det utført underanalyser på et datasett begrenset til lokaliteter mellom 0 og 700 meter fra land. Utfallet av modellene ble tilsvarende som for hele datasettet, både med hensyn til hvilke parametere som ble med i den beste modellen, og effektene av disse parametere (data ikke vist).

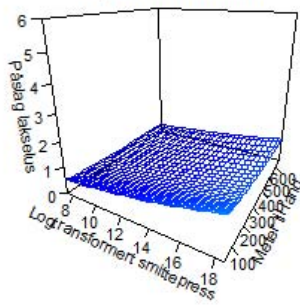


Figur 4: Histogram som viser hvordan antall observasjoner fordeler seg i forhold til avstand fra land.

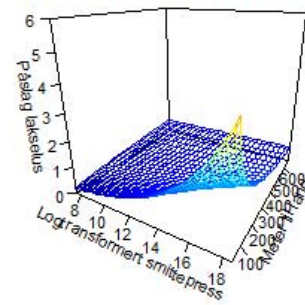
Effekten av modellenes forklaringsvariabler på antall observerte lus demonstreres i figur 5, både uten interaksjonseffekter (grafene til venstre i de to øverste radene i figuren), og med interaksjonseffekter (grafene til høyre i de to øverste radene i figuren). I denne figuren er datasettet begrenset til observasjoner som er mellom 0 og 700 meter fra land.

Modellsammenligningen på lokalitesnivå viser at effektene av de to smittepressene ikke er veldig forskjellige fra hverandre, men at avstandsbasert smittepress gjør det noe bedre (kvikvadrattest, $p < 0,05$). Effekten av smittepress øker med avstand til land, og denne interaksjonseffekten forbedrer sammenhengen mellom modellerte og observerte data betydelig. Dette kan tyde på at smittepressberegningene nærme land egentlig er underestimert, mens de er overestimert lengre fra land. Dette gjelder for begge smittepressmodeller.

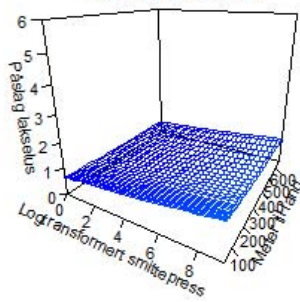
Predikerte påslag fra VI-smittepress og avstand til land



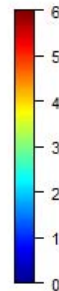
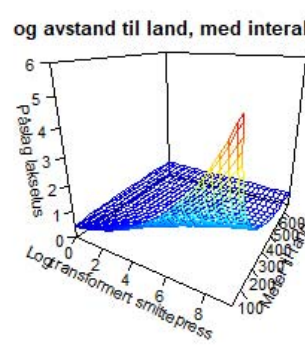
Predikerte påslag fra VI-smittepress og avstand til land, med interaksjon



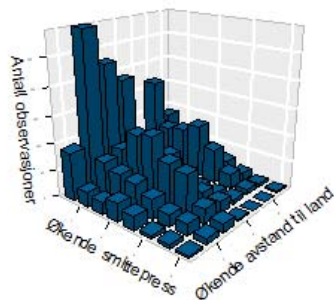
Predikerte påslag fra Proactima-smittepress og avstand til land



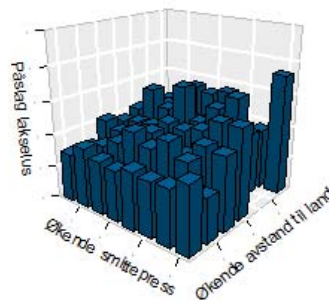
Predikerte påslag fra Proactima-smittepress og avstand til land, med interaksjon



3D histogram over antall observasjoner



3D histogram over lusepåslag



Figur 5: Illustrasjon av modelleffekter med prediksjonsplan for avstandsbasert smittepress uten interaksjon (øverst til venstre), avstandsbasert smittepress med interaksjon (øverst til høyre), hydrodynamisk smittepress uten interaksjon (midten til venstre), hydrodynamisk smittepress med interaksjon (midten til høyre). Grafen nederst til venstre viser fordeling av antall observasjoner over forskjellige smittepress og avstand til land, mens grafen nederst til høyre viser fordeling av antall observerte lakselus (gjennomsnitt for grupper) fordeling over smittepress og avstand til land.

Lusekalkulator

Innledning

En proaktiv håndtering av lakselus er en håndtering som forhindrer store oppblomstringer av lakselus. For å beregne spredning av lakselus mellom oppdrettslokaliteter, brukes modeller for hvordan smittepresset sprer seg i vannmassene. Selv om disse modellene er gode, så vil også andre faktorer i stor grad kunne påvirke lusepåslag. Vi vet for eksempel at antall lakselus fra uke til uke endrer seg med utgangspunkt i forrige ukes lusetall, og i modellsammenligningene ser vi at også avstand til land kan påvirke hvor mange lakselus man observerer fra uke til uke.

En lakseluskalkulator er en statistisk modell som kan brukes til å regne ut hvor mange lus en kan forvente at slår seg på én, to eller tre uker inn i framtiden. Målet i prosjektet var å utvikle en brukervennlig nettapplikasjon med innlogging og passord.

Metode

Datagrunnlag

For å lage en statistisk modell (lusekalkulatormodell) som beregner fremtidige lusetall på merdnivå, må den tilpasses med observerte data på merdnivå. I dette prosjektet fikk Veterinærinstituttet tilgang til data fra 20 lokaliteter.

Datagrunnlaget besto av lusetellinger på hver enkelt fisk, med hver enkelt undersøkt fisk som observasjonsenhet. For å tilpasse data til analysene ble lusetellinger aggregert til antall lus registrert i hver merd hver uke, og standardisert til å tilsvare telling av lus på 20 fisk. Vi valgte å standardisere til 20 fisk, som var det gjennomsnittlige antall fisk som ble undersøkt i hver lusetelling i hver merd.

Også i dette datasettet ble det hydrodynamiske smittepresset framskrevet i tid, slik at observert smittepress sammenfaller med den tiden man forventer å observere lakselus. Den avstandsbaserte smittepressmodellen har denne tidsforsinkelsen innebygget. I tillegg ble alle data som forventes påvirket av behandlinger tatt ut av datasettet, etter samme metodikk som beskrevet under modellsammenligninger.

Hver observasjon ble fulgt av en rekke forklaringsvariabler som kunne forventes å påvirke lusetallene. Disse forklaringsvariablene var: smittepress (avstandsbasert og hydrodynamisk) antall fisk i merd, gjennomsnittsvekt, andel leppefisk, andel rognkjeks, avstand til land, temperatur, antall uker fra fisken ble satt ut, antall bevegelige lus pr fisk på lokalitetsnivå og, antall bevegelige lus per fisk på merdnivå.

Detaljert definisjon av problemstillingen

Kalkulatoren skal beregne fremtidige lusetall basert på dagens observasjoner. Modellen blir derfor konstruert slik at antall lus neste uke (uke $t+1$), blir forklart av observerte forhold i denne uken (uke t). To lusekalkulatormodeller ble tilpasset, en for hvert smittepress (avstandsbasert og hydrodynamisk). I denne rapporten beskrives lusekalkulatormodeller som beregner antall «andre mobile lus» én uke fram i tid. Vi har konsentrert oss om prediksjoner én uke fram i tid for å kunne evaluere modellens forklaringskraft med minst mulig ekstrapolering inn i framtiden. Vi har valgt å tilpasse modellen til «andre mobile lus», av samme grunn som beskrevet under validering på lokalitetsnivå.

Modelltilpasning, metodikk

En lakseluskalkulator, slik vi har laget den, er en lineær regresjonsmodell som beregner antall lus neste uke som respons av flere forklaringsvariabler. I dette tilfellet er ikke responsen normalfordelt, og vi må derfor benytte det vi kaller generaliserte lineære modeller. Grunnen til at denne typen modeller kalles generaliserte er at de kan ta hensyn til en hel rekke forskjellige sannsynlighetsfordelinger. I dette tilfellet viste innledende analyser at lusedata på merdnivå har en såkalt negativ binomial-fordeling med overvekt av nullverdier (zero-inflated), der antall null-observasjoner blir større enn det man forventer fra vanlige talletallsfordelinger. En slik fordeling innebærer veldig mange observasjoner uten lus, men også mange observasjoner med mange lus. Denne typen modeller har to komponenter: en som vurderer

sannsynligheten for at man vil få nullverdier som går ut over det en forventer av telletallsfordelingen, og en for selve telletallsfordelingen.

Analysen innebærer transformasjon av både respons- og forklaringsvariabler. Transformasjon av forklaringsvariabler ble undersøkt gjennom plotting for å visualisere avvik fra normalfordeling, samt modelltilpasning både med og uten transformasjoner ble inkludert i modellseleksjonsprosedyren (beskrevet i eget avsnitt om modellseleksjon).

Modellseleksjon

For å finne den sammensetningen av variabler som best forklarer antall lakselus neste uke, har vi benyttet det som kalles en oppbyggende modellseleksjon. Det innebærer at man først velger den forklaringsvariabelen blant alle de potensielle forholdene som kan tenkes å påvirke lusetallet neste uke, som gir best tilpasning til data etter et bestemt optimalitetskriterium. I denne sammenligningen benyttes et optimalitetskriterium som kalles Bayes informasjonskriterium, også kalt BIC. Lav BIC betyr bedre modelltilpasning for lusekalkulatormodellen. BIC gir en mer konservativ modelltilpasning enn AIC som ble brukt i modellsammenligningen på lokalitetsnivå, og kan derfor egne seg bedre til tilpasning av mer komplekse modeller. Etter at den av de potensielle forklaringsvariablene som best kunne forklare antall lus neste uke ble identifisert, så testet vi om modelltilpasningen økte ved å legge til én forklaringsvariabel til etter samme prosedyre. Dette ble gjentatt til vi fant det settet av forklaringsvariabler som ga den beste lusekalkulatormodellen.

Den endelige funksjonen for modelltilpasning ble en formel, eller et regnestykke som kan brukes for å beregne antall lus neste uke, i tillegg til et variasjonsmål. I denne øvelsen ble to slike funksjoner tilpasset, basert på de to smittepressene vi har benyttet.

Modellenes presisjon

For at en lusekalkulator skal være et nyttig verktøy i en proaktiv lakselushåndtering, må lusekalkulatormodellene gi en viss prediksjonsevne. For å sjekke lusekalkulatormodellenes prediksjonsevne har vi benyttet en såkalt kryssvalidering. Det innebærer at vi tilpasset modellen til et tilfeldig utvalg av datasettet, for deretter å predikere modellen på de resterende dataene. Her har vi valgt å trekke ut 52 observasjoner før modelltilpasning. Uttrekket på 52 observasjoner ble brukt som valideringsdata, mens resten ble brukt for å tilpasse modellen. Denne prosedyren ble gjentatt 1000 ganger, og vi fikk dermed 52 000 par med observerte og modellerte verdier. Avviket mellom modellerte og observerte verdier indikerer modellens prediksjonsevne. Dette målet på prediksjonsevne tar høyde for hvor mye modellen påvirkes av at noen få datapunkter ekskluderes, i tillegg til hvor mye modellen bommer på prediksjoner av uavhengige data. Denne prosedyren ble kun utført for den beste lusekalkulatormodellen.

Resultater

Modeller for lusekalkulator

Begge modellene for lusekalkulator viser at den variabelen som er viktigst for å forklare antall «andre mobile lus» neste uke (uke $t+1$) er antall «andre mobile lus» lus i hele lokaliteten denne uken (uke t). I tillegg inkluderer alle modeller gjennomsnittlig fiskevekt i den aktuelle merden, antall «andre mobile lus» i merden, antall fisk og temperatur i uke t .

I tillegg inkluderer kalkulatormodellen basert på avstandsbasert smittepress antall uker lokaliteten har vært aktiv (antall uker etter utsett), og andel leppefisk hvis fiskens vekt er under ett kilo.

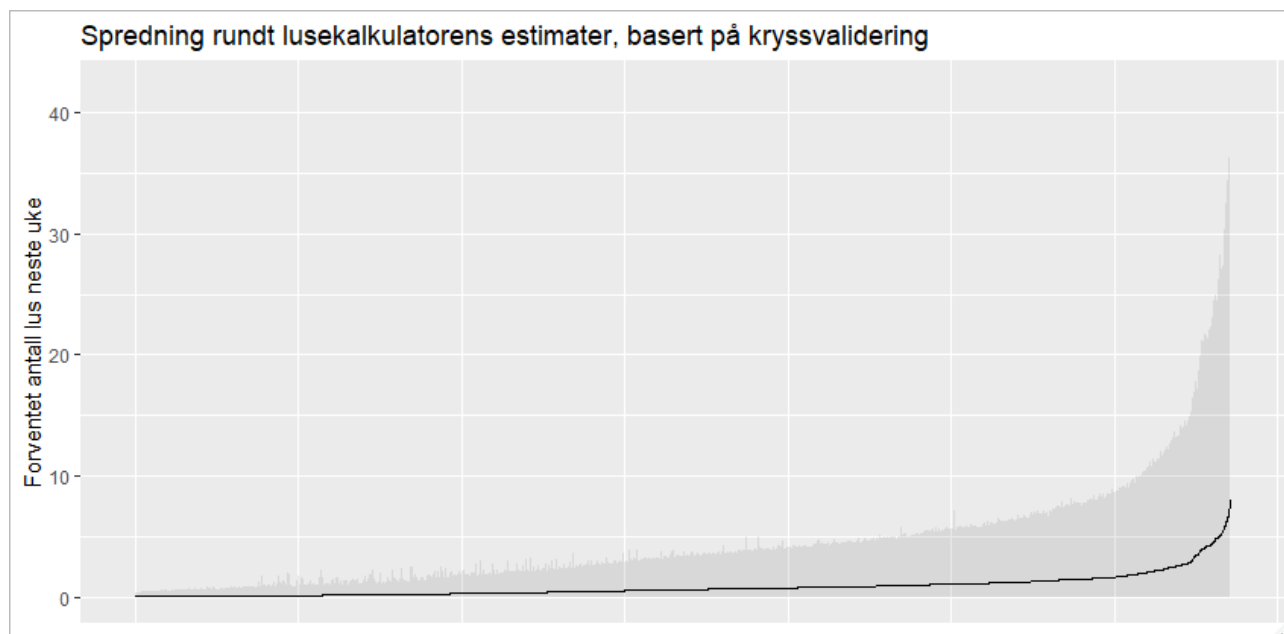
Det var det hydrodynamiske smittepresset som ga den beste kalkulatormodellen basert på BIC-verdier (Vi oppnådde samme resultat med AIC som optimalitetskriterium). Forskjellen mellom disse modellene var imidlertid ikke signifikant (vuong test, BIC-corrected $p > 0,12$). De to modellene presenteres i tabell 3.

Tabell 3: Modellspesifikasjoner for lusekalkulatormodeller basert på hydrodynamisk og avstandsbasert smittepress.

Lusekalkulatormodell for hydrodynamisk basert smittepress			
BIC = 22076			
Negativ binomisk modellkomponent			
	Estimat	Standard Feil	p-verdi
(Intercept)	4,2	0,66	< 0.0001
log(Antall lus nå, på lokalitet + 1)	0,43	0,03	< 0.0001
log(Fiskevekt + 1)	0,45	0,048	< 0.0001
log(Antall lus nå, i Merd + 1)	0,083	0,028	0.0031
log(Hydrodynamisk smittepress + 1)	0,12	0,011	< 0.0001
Temperatur	-0,045	0,0054	< 0.0001
log(Antall fisk + 1)	-0,24	0,055	< 0.0001
Log(theta)	-0,25	0,032	< 0.0001
Modellkomponent som beskriver sannsynlighet for ekstra nuller			
	Estimat	Standard Feil	p-verdi
(Intercept)	8,5	2,2	< 0.0001
log(Antall lus nå, på lokalitet + 1)	-1,2	0,15	< 0.0001
log(Antall lus nå, i Merd + 1)	-1,2	0,18	< 0.0001
log(Antall fisk + 1)	-0,68	0,19	0.0003
Lusekalkulatormodell for avstandsbasert smittepress			
BIC = 22122			
Negativ binomisk modellkomponent			
	Estimat	Standard Feil	p-verdi
(Intercept)	4,8	0,71	< 0.0001
log(Antall lus nå, på lokalitet + 1)	0,41	0,031	< 0.0001
log(Fiskevekt + 1)	0,38	0,05	< 0.0001
log(Antall lus nå, i Merd + 1)	0,11	0,028	< 0.0001
log(Antall fisk + 1)	-0,37	0,057	< 0.0001
log(Uker aktiv + 1)	-0,098	0,023	< 0.0001
log(Avstandsbasert smittepress + 1)	0,12	0,018	< 0.0001
Temperatur	-0,05	0,0073	< 0.0001
Log(theta)	-0,26	0,032	< 0.0001
Modellkomponent som beskriver sannsynlighet for ekstra nuller			
	Estimat	Standard Feil	p-verdi
(Intercept)	13	2,4	< 0.0001
log(Antall lus nå, på lokalitet + 1)	-1,2	0,16	< 0.0001
log(Antall lus nå, i Merd + 1)	-1,2	0,18	< 0.0001
log(Antall fisk + 1)	-0,99	0,20	< 0.0001
log("Andel leppefisk ved fiskevekt under 1 kg" + 1)	0,11	0,022	< 0.0001

Modellenes presisjon

Kryssvalideringen av smittepressmodellen som baserte seg på hydrodynamiske smittepress, viser at det er store avvik mellom modellerte og observerte verdier. Figur 6 viser predikert antall preadulte lus per fisk i stigende rekkefølge (den svarte linja), mens det skraverte feltet rundt viser 95% konfidensintervall for observerte verdier. Vi ser av figuren at hvis modellen for eksempel predikerer 3 preadulte lus per fisk, spenner konfidensintervallet mellom 0 og 15,2 lus per fisk i gjennomsnitt per merd.



Figur 6: Usikkerhet i prediksjonsverdier fra den beste lusekalkulatormodellen. Y-aksen viser prediksjonsverdier, sortert i stigende rekkefølge langs x-aksen. Den svarte linja viser predikerte lus tall fra 1000 simuleringer (i en kryssvalidering). Grått skravert felt viser spredning i de observerte verdiene (95% konfidensintervall). Der den svarte linja viser en forventning på 3 preadulte lus neste uke, vil det faktiske observerte nivået ligge mellom 0 og 15 lus i 19 av 20 prediksjoner. 1 av 20 uker med forventning om 3 lus vil ha mer enn 15 preadulte lus.

Diskusjon

Analysene indikerer at det var det hydrodynamiske smittepresset som ga den beste prediksjonen av observerte lus tall neste uke på merdnivå. Den modellen for lusekalkulator som baserer seg på hydrodynamisk smittepress inneholder også færre parametere enn lusekalkulatormodellen som baserer seg på et avstandsbasert smittepress.

Vi ser at selv om avstand til land var en viktig prediktor i modellsammenligningen på merdnivå, så ga ikke denne variabelen noe forklaringskraft i modellen for lusekalkulator. Lusekalkulatormodellen ble utviklet på et annet sett av data, og den manglende forklaringskraften i avstand til land kan skyldes at det begrensede datasettet ikke hadde nok variabilitet over denne variabelen.

Selv om lusekalkulatoren basert på hydrodynamisk smittepress gir noe bedre tilpasning til data, får kalkulatoren svært dårlig prediksjonsevne. Forskjellen i modelltilpasning mellom lusekalkulatoren basert på hydrodynamisk eller avstandsbasert smittepress er heller ikke signifikant, og tolkningen er at modellen for lusekalkulator som vi her har tilpasset gir liten informasjon til en proaktiv lakselushåndtering. Vi er derfor av den oppfatning at modellene bak lusekalkulatoren i dette prosjektet ikke kan forutsi utviklingen i lus tall på en tilfredsstillende måte, og derfor ikke bør videreutvikles til en nettapplikasjon før modellene kan vise bedre prediksjonsevne.

Det kan være mange årsaker til avvikene mellom prediksjoner fra lusekalkulatormodellen og observerte lus tall. For det første ble modellen tilpasset til data fra et svært begrenset antall lokaliteter, over en

begrenset periode. Det er grunn til å tro at spesielle forhold ved enkeltlokaliteter får større innvirkning i en modell som er tilpasset et begrenset datasett. En annen utfordring med en slik kalkulator er unøyaktighet i innsamlingen av lusetall. Det er store forskjeller på antall lus per fisk i hver enkelt merd, og dette gjenspeiles også i sannsynlighetsfordelingen (zeroinflasjon og negativ binomialfordeling gir alltid store konfidensintervall). Når man teller data på 20 fisk i en merd som kan inneholde 200 000 fisk, vil man noen ganger ved rene tilfeldigheter trekke ut fisk som har lite lus, og andre ganger trekker man ut fisk som har mye lus. Det betyr at det er en betydelig usikkerhet i både responsvariabelen (antall lus i uke $t + 7$), samt i antall lus som telles i uken før (uke t). Begge disse usikkerhetene påvirker modellens prediksjonsevne i stor grad. Ved analyser som gjøres på lokalitetsnivå vil imidlertid denne usikkerheten jevnes noe ut, fordi antall fisk som telles på hele lokaliteten øker, og usikkerhet i tellinger fra de enkelte merdene veier opp for hverandre.

Det er kjent fra tidligere valideringer av smittepress mot påslag i smoltbur (der alle fisk telles for lus) (Aldrin 2016), at den avstandsbaserte smitte modellen vi her benytter gir et meget godt samsvar med observerte lusepåslag når man har full oversikt over lusepåslagene. Det er derfor ikke grunn til å tro at den dårlige prediksjonsevnen i lusekalkulatoren vi har utviklet her gjenspeiler validiteten til smittepressmodellene hver for seg.

I lys av kalkulatormodellens begrensede prediksjonsevne mener vi at det å inkludere lusekalkulatoren i en nettapplikasjon vil gjøre liten nytte som verktøy i en proaktiv lakselushåndtering, og vi velger derfor å avslutte utviklingen av lusekalkulator med dette. Arbeidet peker likefullt på faktorer som påvirker luseutviklingen på merdnivå. Vi sitter også igjen med nyttige erfaringer til eventuell videre utvikling av slike verktøy. Modellen for lusekalkulator kan også være et nyttig verktøy for å evaluere tiltak over lengre perioder, der presisjonen i enkelttelling blir mindre avgjørende.

Det kan tenkes at målet om å predikere antall lus inn i framtiden for enkeltmerder var for ambisiøst, gitt usikkerheten i grunnlagsdataene. Vi tror en modell der man vurderer sannsynlighet for at lusetallet kommer over en gitt grenseverdi på lokalitetsnivå kan være en bedre tilnærming til en lusekalkulator. Dette arbeidet viser også viktigheten av tilgang på gode data tidlig i prosjektperioden.

Konklusjoner

Statistiske og hydrodynamiske smittepress har ulike prediksjoner (korrelasjonen mellom de to smittepressene er 0,19), men helhetsbildet indikerer at det generelt er liten forskjell i forklaringskraft i de to tilnærmingene. Sammenligninger på lokalitetsnivå viser at de to modellene presterer ulikt for ulike lokaliteter. Dette inntrykket forsterkes av at den avstandsbaserte modellen gir best prediksjonsevne i sammenligningen på lokalitetsnivå som inkluderer 57 lokaliteter, mens den hydrodynamiske modellen gir best prediksjoner på merdnivå i lakseluskalkulatoren som inkluderer 20 lokaliteter.

De beste lusekalkulatormodellene vi utviklet i prosjektet ga til dels svært usikre resultater, og det er lite trolig at de kan brukes som verktøy i en proaktiv lakselushåndtering. Arbeidet med lakseluskalkulatoren har likevel gitt innsikt i hvilke faktorer som påvirker utviklingen av lakselus. Målsetningen om å lage et verktøy som kan forutsi fremtidige lusetelling kan ha vært for ambisiøs, og i fremtidig utvikling av slike verktøy bør man vurdere andre tilnærminger. En mulig ny tilnærming er å estimere sannsynlighet for at neste lusetelling overskrider et gitt nivå.

Til slutt

Denne rapporten presenterer et arbeid der mange har kommet med bidrag og innspill, ut over rapportens forfattere. Peder A. Jansen og Anja B. Kristoffersen initierte dette arbeidet fra Veterinærinstituttets side. De gjorde det grunnleggende arbeidet i prosjektets oppstartsfase. Hildegunn Viljugrein har vært en viktig diskusjonspartner rundt analyser og statistisk metode, og hun og Malin Jonsson har kommet med innspill til teksten. I tillegg så har prosjektgruppa, representert ved Lonan Kierans, Trine L. Danielsen og

Magne Aldrin har kommet med innspill underveis som har bidratt til gjennomføring av dette prosjektet fra Veterinærinstituttets side.

Referanser

Aldrin, M., Jansen, P.A. and Stryhn, H. (2018). A partly stage-structured model for the abundance of salmon lice in salmonid farms. *Epidemics*, available online 18 August 2018, doi:10.1016/j.epidem.2018.08.001.

Aldrin M (2016) Havforskningsinstituttets spredningmodell for kopepoditter validert mot burdata fra 2014. <https://www.nr.no/en/nrpublication?query=/file/1461329817/Lakselus-Aldrin-Samba1516.pdf>

Aldrin M, Storvik B, Kristoffersen AB, Jansen PA (2013) Space-time modelling of the spread of salmon lice between and within Norwegian marine salmon farms. *PLOS ONE* 8: e64039

Asplin, Lars, Ingrid A. Johnsen, Anne D. Sandvik, Jon Albretsen, Vibeke Sundfjord, Jan Aure, and Karin K. Boxaspen. 2014. "Dispersion of Salmon Lice in the Hardangerfjord." *Marine Biology Research* 10 (3): 216-25. <https://doi.org/10.1080/17451000.2013.810755>.

Kristoffersen AB, Jimenez D, Viljugrein H, Grøntvedt R, Stien A, Jansen PA (2014) Large scale modelling of salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) infection pressure based on lice monitoring data from Norwegian salmonid farms. *Epidemics* 9: 31–39

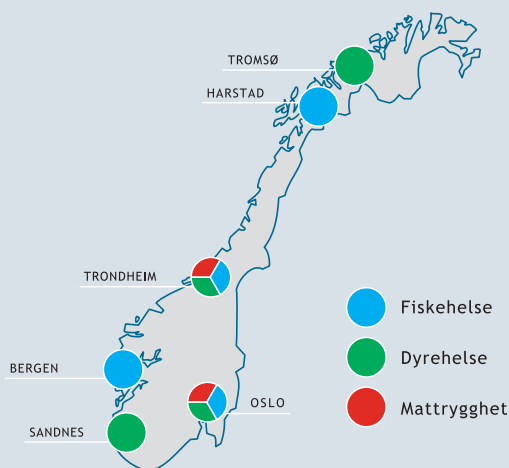
Stien A, Bjørn PA, Heuch PA, Elston DA (2005) Population dynamics of salmon lice *Lepeophtheirus salmonis* on Atlantic salmon and sea trout. *Mar Ecol Prog Ser* 290: 263–275

Faglig ambisjøs, fremtidsrettet og samspillende - for én helse!

Veterinærinstituttet er et nasjonalt forskningsinstitutt innen dyrehelse, fiskehelse, mattrygghet og fôrhygiene med uavhengig kunnskapsutvikling til myndighetene som primæroppgave.

Beredskap, diagnostikk, overvåking, referansefunksjoner, rådgivning og risikovurderinger er de viktigste virksomhetsområdene. Produkter og tjenester er resultater og rapporter fra forskning, analyser og diagnostikk, og utredninger og råd innen virksomhetsområdene. Veterinærinstituttet samarbeider med en rekke institusjoner i inn- og utland.

Veterinærinstituttet har hovedlaboratorium og administrasjon i Oslo, og regionale laboratorier i Sandnes, Bergen, Trondheim, Harstad og Tromsø.



Fiskehelse



Dyrehelse



Mattrygghet



Oslo
postmottak@vetinst.no

Trondheim
vit@vetinst.no

Sandnes
vis@vetinst.no

Bergen
post.vib@vetinst.no

Harstad
vih@vetinst.no

Tromsø
vitr@vetinst.no

www.vetinst.no



Veterinærinstituttet
Norwegian Veterinary Institute