

Telling av lakselus

- Hvordan forstå og håndtere usikkerheten i telleresultatene



Telling av lakselus

– Hvordan forstå og håndtere usikkerheten i telleresultatene

Innholdsfortegnelse

1.	Sammendrag	4
2.	Bakgrunn	4
3.	Målsetning	5
4.	Materiale og metoder	5
5.	Resultater	8
6.	Diskusjon	11
7.	Takk til	13
8.	Referanser	13

Forfattere

Kari Olli Helgesen og Anja Bråthen Kristoffersen

Oppdragsgiver

Fiskeri og havbruksnæringas forskningsfond

ISSN 1890-3290

© Veterinærinstituttet 2018

Design omslag: Reine Linjer

Foto forside: Trygve Poppe

virtuelle anlegg

1. Sammendrag

En enkelt lusetelling gir kun et estimat på anleggets sanne lusetall og er derfor ikke egnet som vurderingsgrunnlag alene for forvaltningsmyndighetene, for å vurdere om anlegget overholder lusegrensene. Samtidig er vurderinger av om lusetallet er over grensene svært betydningsfulle for det enkelte anlegg, da det for eksempel kan ilegges bøter for grenseoverskridelse. For å beskrive denne usikkerheten ble det utført simulerte lusetellinger i virtuelle oppdrettsanlegg og resultatene fra disse tellingene ble analysert. For å kunne lage virtuelle oppdrettsanlegg med lus på fiskene trengte en først å beskrive hvordan lus er fordelt mellom fiskene i virkelige anlegg.

De fordelingskurvene som best beskrev fordelingen av voksne hunn lus mellom fiskene ble funnet ved å bruke data fra ukentlige lusetellinger i 20 anlegg over fem år. Deretter ble det funnet ett usannsynlig telleresultat for anlegg hvis sanne lusetall ligger under lusegrensene, for hver av de lusegrensene som er oppgitt i forskrifter (0,1, 0,2 og 0,5 voksne hunn lus per fisk). I tillegg ble det beregnet hvor sannsynlig det var å telle over lusegrensa, gitt at anleggets sanne lusetall lå under grensa, én, to, tre og fire ganger på rad. Dette dannet bakgrunnen for et forslag om hvordan forvaltningen kan bruke gjennomsnittlige lusetall fra tellinger til å vurdere om anlegget overholder lusegrensene. Det ble også vist at dersom anlegget selv ønsker å gjøre telleresultatene til bedre estimater på det sanne lusetallet, kan de telle lus på flere fisker.

2. Bakgrunn

Ukentlig utføres lusetellinger på alle norske oppdrettsanlegg med laks eller regnbueørret i sjø. Det blir talt lus på minst 10-20 fisker per merd og gjennomsnittstallet for lakselus per fisk blir beregnet på anleggsnivå. Disse tallene blir vurdert av oppdretteren selv og forvaltningsmyndigheter opp mot lusegrensene. Lusegrenser er oppgitt i forskrifter som de gjennomsnittstallene for voksne hunn lus per fisk anleggene må holde seg under. På våren er grensen 0,2 voksne hunn lus per fisk, mens den er 0,5 resten av året (Anonym 2012). I tillegg finnes det en lusegrense på 0,1 i det nye Trafikklyssystemet, som brukes for å vurdere om en oppdretter kan få øke produksjonen sin på grunn av særlig lave lusetall, uavhengig av om produksjonsområdet for øvrig får lov til å øke produksjonen (Anonym 2017).

Et gjennomsnittlig lusetall funnet etter en enkelt lusetelling på et utvalg fisker vil kun gi et estimat på det sanne gjennomsnittstallet for hele oppdrettsanlegget. Lus er ikke jevnt fordelt mellom fiskene i anlegget. Utvalget fisker som tas opp for lusetelling kan derfor ved en ren tilfeldighet ha et gjennomsnittlig lusetall som avviker fra hele anleggets lusetall. Tidligere studier for å beskrive denne fordelingen har konkludert med at ved lavere luseforekomster hadde de fleste fiskene null eller få lus, men enkeltfisk kunne ha langt flere. Ved lave til moderate luseforekomster (under halvparten av fiskene har lus) var negativ binomialfordeling best egnet til å beskrive fordelingen (reviewet av Heuch et al. i 2011). De estimerte lusetallene brukes likevel av oppdrettere for å fatte avgjørelser både på anleggs- og merdnivå, slik som utsett av rensefisker og behandling mot lus. Resultater av enkelttelling blir også publisert ukentlig på internett (<https://www.barentswatch.no/fiskehelse/>). Myndighetene bruker de samme telleresultatene for å vurdere lusetall opp mot forskriftsfestede lusegrenser.

Dersom myndighetene forvalter lusegrenser ved hjelp av enkelttelleresultater vil det være sannsynlig at de av og til feilaktig vil konkludere med at lusetallet er over grensa når det sanne lusetallet ligger under (falske positive). Overskridelser kan potensielt sett ha store konsekvenser for oppdrettere; de kan få bøter, bli pålagt reduksjon av produksjonen og nektet tilgang til vekst i produksjonen (Anonym 2008, Anonym 2012, Anonym 2017). Både oppdrettere og forvaltningsmyndigheter har derfor interesse av at kun reelle grenseoverskridelser blir betraktet som overskridelser. Et system for hvordan en kan sikre seg dette har tidligere blitt foreslått til Nærings og fiskeridepartementet for en lusegrense på 0,2 voksne hunn lus per fisk (van Son et al. 2016).

For alle som bruker resultater av lusetellinger til å fatte avgjørelser er det interessant å anslå hvor sikre estimatene er. For å kunne beskrive sikkerheten i estimatene må en utføre studier i anlegg der en kjenner det sanne gjennomsnittlige lusetallet for hele anlegget, noe som ikke er realistisk i anlegg med

hundretusener av fisker. En kan imidlertid bruke lusetall på fiskenivå fra reelle tellinger til å beskrive fordelingen av lus mellom fiskene på et anlegg. Deretter kan en lage virtuelle oppdrettsanlegg, der en selv bestemmer hva det sanne gjennomsnittstallet er, og der lus er fordelt mellom fiskene tilsvarende det man finner i de virkelige anleggene.

3. Målsetning

Målet med denne studien er å vise fram den usikkerheten som ligger i det enkelte lusetellingsresultat og hva en kan gjøre for å redusere usikkerheten. Deretter ønsker vi å foreslå et system for hvordan forvaltningsmyndighetene kan bruke resultater fra lusetellinger til å forvalte lusegrenser. Forslaget skal minimere sjansene for feilaktig å konkludere med at et anlegg er over grensa når det i realiteten er under, samtidig som det skal ta hensyn til sjansen for feilaktig å konkludere med at anlegget er under grensa når det i realiteten er over. Disse målene skal forsøkes å nås gjennom å analysere resultater fra simulerte lusetellinger utført i virtuelle oppdrettsanlegg med kjent gjennomsnittstall og kjent fordeling av lus mellom fiskene. For å beskrive fordelingen av lus mellom fiskene skal det brukes lusetall på fiskenivå hentet fra reelle anlegg sine ukentlige lusetellinger.

4. Materiale og metoder

Kjent: $\mu + f(x)$

SIMULERTE lusetellinger

4.1 Fordeling av lus mellom fiskene

For å beskrive fordelingen av lus mellom fiskene brukte vi et datasett fra 20 oppdrettsanlegg i Rogaland, med lusetall på enkeltfisknivå fra lusetellinger utført som ledd i daglig drift. Tellingene var utført fra og med uke 1 i 2012 til og med uke 37 i 2017. Til sammen hadde vi lusetellinger fra 352 228 enkeltfisker. Siden vi var interessert i fordelingen av voksne hunn lus mellom fiskene, ble alle enkeltfiskene der det ikke var rapportert en verdi (0 eller et annet tall) for voksne hunn lus tatt ut (1058 fisker). Videre ble alle fiskene som kom fra en telling av færre enn 10 fisker fra én merd ved ett telletidspunkt tatt ut (79 fisker). Det sistnevnte ble gjort for å utelukke anlegg som bare noterte lus på de fiskene som hadde lus og ikke på de som ikke hadde lus. Gjennomsnittlig lusetall ble så regnet ut for hver merd på hvert telletidspunkt, som summen av antall lus delt på antall fisker det var talt lus på. Dette ble gjort separat for voksne hunn lus, andre bevegelige lus (preadulte lus og adulte hann lus) og fastsittende lus.

Alle tellinger fra en merd der andelen fisker med null lus var 0,8 eller høyere for både voksne hunn lus, andre bevegelige lus og fastsittende lus, samtidig som det var notert ned flere enn 10 av andre bevegelige lus på minst én av fiskene, ble tatt ut (58370 fisker). Årsaken var at vi ønsket å fjerne tellinger der all lus var skrevet opp på én eller to fisker og alle andre fiskene var notert med null lus, når dette ikke beskrev lus slik de ble observert på fiskene. Vi antok at det var gjort for å forenkle rapporteringsprosedyren. Denne måten å notere lus på gir korrekte gjennomsnittstall til de lovpålagte innrapporteringene, men gjør lusetallene uegnet til å beskrive fordelingen av lus mellom fiskene.

Et utvalg av de gjenværende fiskene, valgt ut etter gjennomsnittsverdien i den enkelttellingene de tilhørte, ble brukt i videre studier til å lage tre grupper med fisker (de videre omtalte gjennomsnittsverdiene er for voksne hunn lus per fisk):

1. Fisker som hørte til en telling med gjennomsnittsverdier fra 0,01 til og med 0,20.
2. Fisker som hørte til en telling med gjennomsnittsverdier fra 0,10 til 0,30.
3. Fisker som hørte til en telling med gjennomsnittsverdier fra 0,40 til 0,60.

3 intervall

Tallene for voksne hunn lus fra fisker ble gruppevis tilpasset negativ binomialfordeling med og uten overskudd av nullverdier og poissonfordeling med og uten overskudd av nullverdier. Hvor godt data var tilpasset hver av disse fire fordelingene ble sammenliknet ved hjelp av Akaike informasjons kriterium (AIC). Spredningsparameteren, theta, ble til sist regnet ut for fordelingen som var best tilpasset dataene. Utregningene ble foretatt ved hjelp av pakkene mgcv, MASS og pscl i statistikkprogrammet R (Venables & Ripley 2002, Wood 2004, Zeileis 2008, R Core Team 2016).

eksklusjonskriterier

Betydningen av **eksklusjonskriteriene** ble til slutt undersøkt ved at alle tellinger av en merd der andelen fisker med null lus var 0,8 eller høyere for både voksne hunnlus, andre bevegelige lus og fastsittende lus, samtidig som det var notert ned flere enn 5 av andre bevegelige lus på minst én av fiskene, ble tatt ut. Da ble 85016 enkeltfisker ekskludert. Videre inndeling i grupper ble gjort som over.

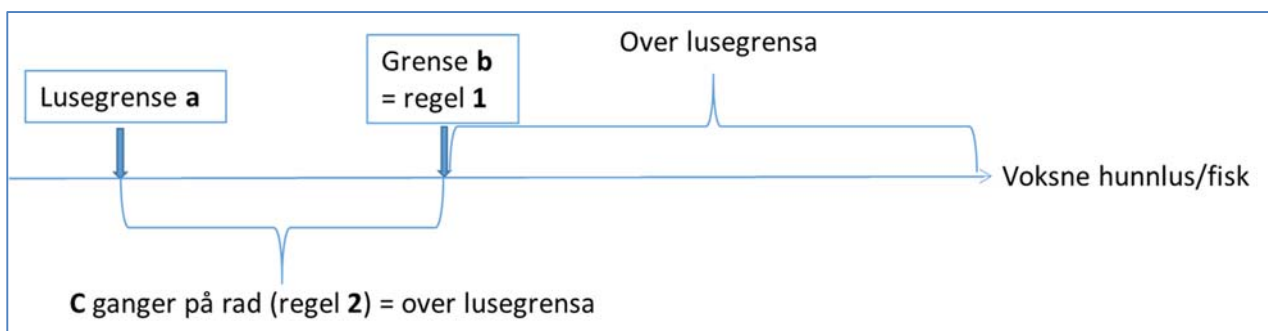
4.2 Usikkerhet i enkelttelling

For å beskrive usikkerheten i enkelttelling ble det laget **100 virtuelle anlegg** der det gjennomsnittlige antallet voksne hunnlus per fisk for hvert anlegg lå 0,01 lus/fisk høyere enn det forrige, fra 0,01 til 1,8 lus/fisk. Fordelingen av lus mellom fiskene på disse anleggene ble beskrevet med en **negativ binomialfordeling** med **spredningsparameter på 1,1**. Fra hvert anlegg ble det foretatt **5000 simulerte lusetellinger**, ved hjelp av **Monte Carlo-simuleringer**, av 20, 100 og 200 fisker. Gjennomsnittstallet ble beregnet i hver simulerte telling. Deretter ble det laget en figur som viste sammenhengen mellom talte og sanne lusetall. For å lage de virtuelle oppdrettsanleggene og utføre de Monte Carlo-simulerte lusetellingene brukte vi statistikkprogrammet **R** ved hjelp av R-pakken MASS (Venables & Ripley 2002, R Core Team 2016).

Sammenligner talte og sanne lusetall.

4.3 Håndtere lusegrenser ved hjelp av lusetellinger

Det tenkte systemet for hvordan forvaltningen kan håndtere lusegrenser ved hjelp av telleresultater er vist skjematisk i figur 1. Studien hadde som mål å identifisere en absolutt grense (b) for hver forskriftsfestet lusegrense (a), som det var svært usannsynlig at tellegjennomsnittet var likt som eller overskred gitt at lusetallet faktisk lå under grensa. I tillegg var det et mål å finne det antall ganger på rad (c) en måtte telle mellom grense a og b, for å være svært sikker på at det var snakk om en reell grenseoverskridelse.



Figur 1 viser skjematisk de **foreslåtte reglene** for hvordan forvaltningen kan bruke lusetellingsresultater til å vurdere om lusegrensene (a) er overholdt: Gjennomsnittet i lusetellingen må ligge under grense b (regel 1). Dersom det telles mellom grense a og grense b c ganger på rad, regnes dette også som en reell grenseoverskridelse (regel 2).

Tabell 1 beskriver de ulike virtuelle oppdrettsanleggene som ble laget for del I og II av studien. For del II var forskjellen mellom gjennomsnittene til de ulike anleggene 0,01.

Anleggs-gruppe	Gjennomsnitt voksne hunnlus per fisk (del I)	Gjennomsnitt voksne hunnlus per fisk (del II)	Fordeling av lus på fiskene	Spredningsparameter (θ)
1	0,10	0,05-0,17	Negativ binomial	0,4
2	0,20	0,10-0,30	Negativ binomial	0,5
3	0,50	0,30-0,66	Negativ binomial	1,1

tilsvarende "kvantil"?

På de virtuelle anleggene i begge delene av simuleringstudien ble fordelingen av lakselus på fiskene beskrevet ved en negativ binomialfordeling med forventning (sanne gjennomsnitt) og spredningsparameter som angitt i tabell 1. Fra hvert anlegg ble det simulert 100 000 lusetellinger på 100 fisker hver. I del II av studien var avstanden mellom de sanne gjennomsnittsverdiene til hvert anlegg 0,01. Gjennomsnittstall for voksne hunnlus per fisk ble observert for hver telling. I del I ble 96-persentilen for gjennomsnittstall identifisert for hvert anlegg, det vil si det tallet som 96 prosent av telleggjennomsnittene var lavere enn. I del II ble det for hver anleggsgruppe og tilhørende lusegrense beregnet sannsynlighet for at det talte gjennomsnittet lå over lusegrensa når det sanne lusetallet lå under grensa (falske positive resultater) for én, to, tre og fire tellinger på rad. I tillegg ble det beregnet sannsynlighet for at det talte gjennomsnittet lå under grensa når det sanne lusetallet lå over (falskt negativt resultat).

Den første gruppen anlegg hadde forventning mellom 0,05 og 0,17 hunnlus per fisk og spredningsparameteren 0,4 (13 anlegg totalt). For anleggene med forventning mellom 0,05 og 0,10 ble det beregnet sannsynlighet for at én, to, tre eller fire tellinger på rad skulle gi observerte gjennomsnitt på 0,10 eller høyere. Dette ble gjort ved å opphøye sannsynligheten for én falsk positiv telling i henholdsvis 2, 3 og 4. For forventninger mellom 0,10 og 0,17 ble det beregnet hva som var sannsynligheten for at én enkelt telling skulle gi observerte gjennomsnitt under 0,10.

Den andre gruppen hadde forventninger mellom 0,10 og 0,30 og spredningsparameteren 0,5 (21 anlegg). For anleggene med forventninger mellom 0,10 og 0,20 ble det beregnet sannsynlighet for at én, to, tre og fire tellinger på rad skulle gi observerte gjennomsnitt på 0,20 eller høyere. For forventninger mellom 0,20 og 0,30 ble det beregnet sannsynlighet for at én enkelt telling skulle gi observerte gjennomsnitt under 0,20.

Den tredje gruppen hadde forventninger mellom 0,30 og 0,66 og spredningsparameteren 1,1 (37 anlegg). For anleggene med forventninger mellom 0,30 og 0,50 ble det beregnet sannsynlighet for at én, to, tre og fire tellinger på rad skulle gi observerte gjennomsnitt på 0,50 eller høyere. For forventninger mellom 0,50 og 0,66 ble det beregnet sannsynlighet for at én enkelt telling skulle gi observerte gjennomsnitt under 0,50.

For å teste resultatenes sensitivitet for antallet fisker per telling ble det også simulert tellinger av 50 og 200 fisker på to anlegg med forventning på 0,49 og 0,50 og med spredningsparameter på 1,1. Forventninger og spredningsparameter ble dermed holdt likt som i hovedstudien, mens antallet fisker varierte. I tillegg ble sensitiviteten for valg av spredningsparameter kontrollert ved å simulere telling av 100 fisker fra fordelinger med ulike spredningsparametere enn i tabell 1; 0,7, 1 og 1,9 for anlegg med forventede gjennomsnitt fra henholdsvis anleggsgruppe 1, 2 og 3 i figur 1. Her ble forventningen og antallet fisker holdt likt, mens spredningsparameterne varierte.

For å lage de virtuelle oppdrettsanleggene og foreta analysene ble pakkene ggplot2, dplyr, RColorBrewer og MASS i statistikkprogrammet R benyttet (Venables & Ripley 2002, Wickham 2009, Neuwirth 2014, R Core Team 2016, Wickham 2017).

5. Resultater

5.1 Fordeling av lus mellom fisker

Tabell 2 beskriver de tre ulike utvalgene av fisker. Telleggjennomsnitt ble beregnet fra hver enkelt merd ved hvert telletidspunkt og er brukt for å fordele fiskene i grupper. Gjennomsnitt er beregnet for alle fiskene i hver av de tre gruppene etter at inndelingen var foretatt.

Telleggjennomsnitt voksne hunn lus	Gruppe nummer	Antall fisker	Gjennomsnitt voksne hunn lus	Varians	Varians/gjennomsnitt
0,01 til 0,20	1	97773	0,097	0,126	1,299
0,10 til 0,30	2	44001	0,197	0,297	1,504
0,40 til 0,60	3	7971	0,499	0,894	1,655

Tabell 3 viser sammenlikningen av tilpasningene gjort mellom antallet voksne hunn lus per fisk for alle fiskene i hver gruppe og fire ulike fordelinger: Negativ binomialfordeling med og uten overskudd av nullverdier (Zinb og Nb) og poissonfordeling med og uten overskudd av nullverdier (Zip og P). Sammenlikningen er foretatt ved hjelp av Akaike informasjons kriterium (AIC). Tabellen viser også spredningsparameteren per gruppe (Theta) for negativ binomialfordeling, som var den fordelingen som var best tilpasset tallene (lavest AIC), med standardavvik.

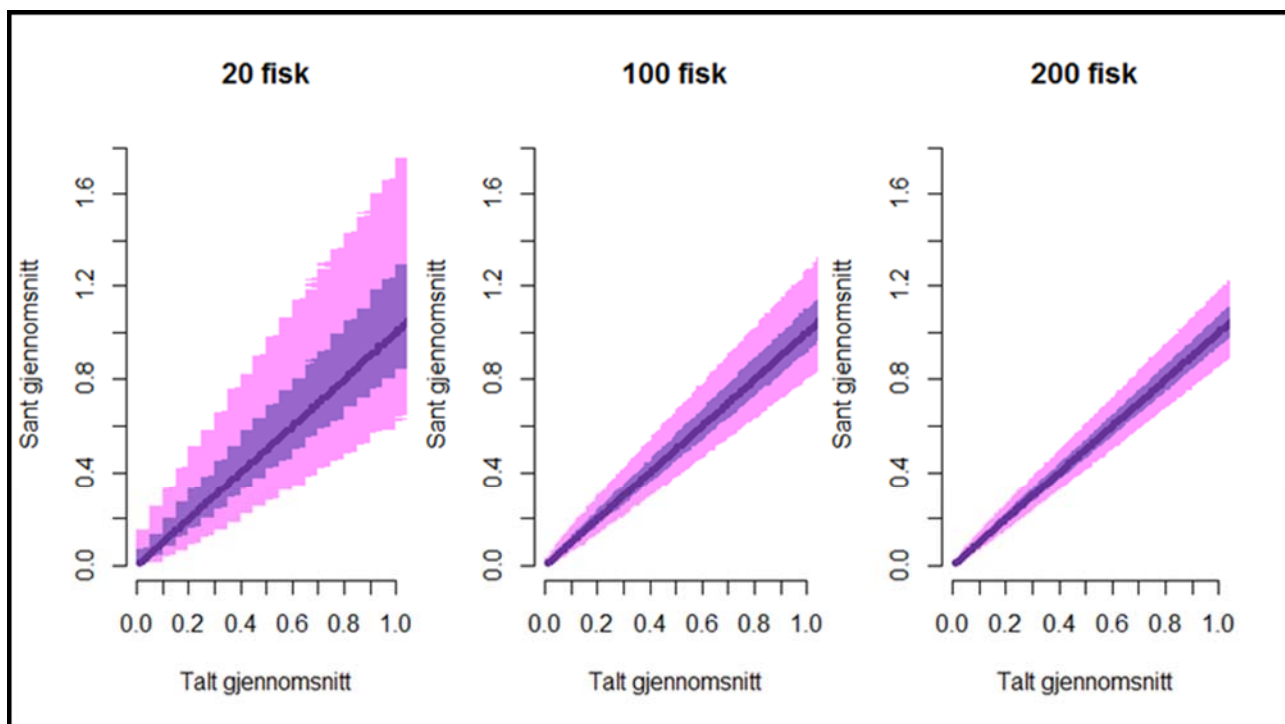
Modell	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3
Zinb	63793	46939	15211
Zip	64051	47558	15617
Nb	63791	46937	15209
P	65636	48902	15920
Theta	0,4	0,5	1,1
St.e. for theta	0,01	0,02	0,07

Resultatene viser at negativ binomialfordeling best beskriver fordelingen av voksne hunn lus mellom fiskene i det datamateriale som ligger til grunn for denne analysen. Spredningsparameteren varierer mellom gruppene, og er stigende med stigende gjennomsnitt.

Ved å gjøre eksklusjonskriteriene strengere endret spredningsparameterne for hver av de tre gruppene seg til henholdsvis 0,7, 1 og 1,9.

5.2 Usikkerhet i enkelttelling

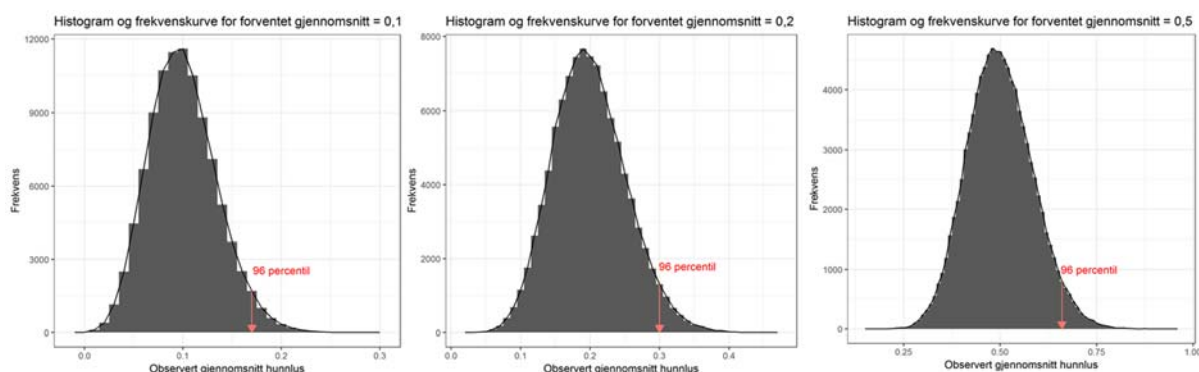
Resultatene viser at gjennomsnittet av mange enkelttelling ligger nært anleggets sanne gjennomsnitt, men at en kan få enkelttelling som estimerer både høyere og lavere lusetall. Jo flere fisker en teller lus på jo større sannsynlighet er det for at estimatet ligger nærmere det sanne lusetallet, sammenliknet med om en teller lus på færre fisker.



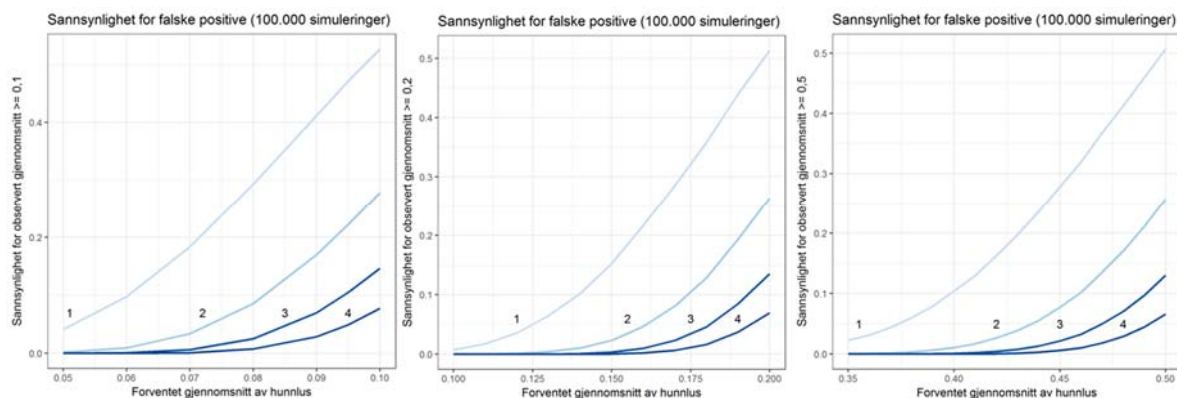
Figur 2 viser på y-aksen hvilke sanne gjennomsnittsverdier for voksne hunnlus per fisk en kan forvente å ha i merda eller anlegget dersom en får gitte gjennomsnittsverdier (vist på x-aksen) når en teller lus på 20, 100 eller 200 fisker. Utregningene ble foretatt for sanne gjennomsnitt mellom 0,01 og 1,80. Den mørke prikkete linja viser gjennomsnittet av 5000 tellinger for hvert sant gjennomsnitt, det lilla området viser hvor det sanne gjennomsnittet vil være i 50 prosent av tellingene der en finner et gitt gjennomsnitt, mens det rosa området viser hvor 90 prosent av de sanne gjennomsnittene vil være.

5.3 Håndtere lusegrenser ved hjelp av lusetellinger

I del I av studien ble det funnet at 96 prosent av tellingene fra et anlegg med en forventning på 0,10 voksne hunnlus per fisk ga observerte gjennomsnittsverdier under 0,17. Den tilsvarende observerte verdien for et anlegg med en forventning på 0,20 var 0,30, og for et anlegg med forventning på 0,50 var den observerte verdien som lå på 96-persentilen 0,66 (figur 3). Det betyr at man ved en statistisk tilfeldighet vil få et gjennomsnittstall som er likt eller høyere enn disse verdiene i en enkelt lusetelling, selv om anlegget ligger akkurat på grensa, én gang hver 25. gang anlegget teller lus på fisker. Med henvisning til figur 1 blir dermed forslaget til grense b lik 0,17, 0,30 og 0,66 for lusegrenser a på henholdsvis 0,1, 0,2 og 0,5.



Figur 3 viser histogram med resultatene fra 100 000 simulerte lusetellinger av 100 fisker fra tre anlegg med forventede gjennomsnittsverdier på henholdsvis 0,10, 0,20 og 0,50 voksne hunnlus per fisk. Observerte gjennomsnittsverdier er angitt på x-aksen og frekvens av hvert telleresultat på y-aksen. 96-persentilene er markert med røde piler.

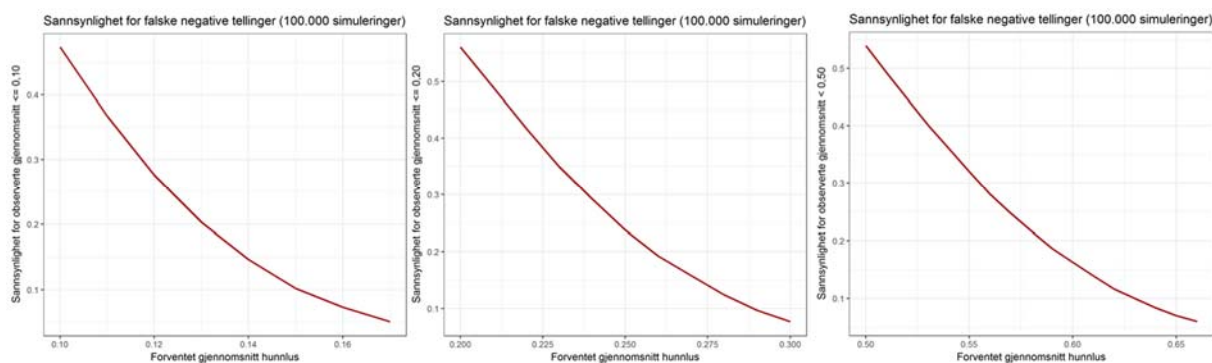


Figur 4 viser på y-aksen sannsynligheten for å observere gjennomsnittlige lusetall over lusegrensene (på henholdsvis 0,1, 0,2 og 0,5 voksne hunnlus per fisk, fra venstre mot høyre), ved én, to, tre og fire tellinger på rad (angitt med tall over linje) gitt ulike forventede gjennomsnitt under grensene, vist på x-aksen. Det ble gjennomført 100 000 simulerte lusetellinger av 100 fisker for hver forventning.

Tabell 4 viser sannsynligheten for at en ved tre eller fire tellinger på rad feilaktig skal konkludere med at anlegget ligger over lusegrensa (på henholdsvis 0,1, 0,2 og 0,5 voksne hunnlus per fisk) når det i realiteten ligger under grensa (falske positive).

Sannsynlighet for falske positive	Sant gjennomsnitt 0,09	Sant gjennomsnitt 0,19	Sant gjennomsnitt 0,49
Tre tellinger på rad	0,069	0,083	0,097
Fire tellinger på rad	0,028	0,036	0,045

Sannsynligheten for at fire lusetellinger på rad ligger over lusegrensa vil være henholdsvis 2,8, 3,6 og 4,5 prosent for anlegg som ligger tett opp til lusegrenser på 0,1, 0,2 eller 0,5 voksne hunnlus per fisk (tabell 4). Det vil si at for hver 36., 28. eller 22. gang en vurderer fire tellinger på rad, for anlegg som ligger rett under grensene, vil de bli feilklassifisert som over grensen. Sannsynligheten for både falske positive og falske negative tellinger synker imidlertid med økende avstand mellom det sanne lusetallet og lusegrensa (figur 4 og 5).



Figur 5 y-aksen viser sannsynligheten for å observere gjennomsnittlige lusetall under lusegrensene ved én telling gitt ulike forventede gjennomsnitt over grensene, vist på x-aksen. Det ble gjennomført 100 000 simulerte lusetellinger av 100 fisker for hver forventning.

Sensitivitetstesting viste at ved telling av 50 fisker i stede for 100 fra en forventning på 0,49 er sannsynligheten for fire falske positive tellinger på rad 0,053 (5,3 prosent). 96 prosent av tellingene av 50 fisker fra en forventning på 0,50 vil ligge under 0,72. Ved telling av 200 fisker i stede for 100 fra den samme forventningen på 0,49 er sannsynligheten for fire falske positive tellinger på rad 0,038 (3,8 prosent). 96 prosent av tellingene av 200 fisker fra en forventning på 0,50 vil ligge under 0,61. Resultatene er dermed sensitive for antall fisker en teller lus på.

Når spredningsparameteren, som brukes til å beskrive fordelingen av lus mellom fiskene, endres slik det ble gjort som ledd i sensitivitetsstudien, hadde det liten effekt på utregningen av 96-persentilene og sannsynlighetene for fire falske positive på rad. 96-persentilene lå på henholdsvis 0,16, 0,29 og 0,64, som er like under det som ble beregnet i hovedstudien.

6. Diskusjon

6.1 Fordeling av lus mellom fisker

Negativ binomialfordeling var best egnet til å beskrive fordelingen av voksne hunn lus mellom fiskene i utvalg av fisker med gjennomsnittsverdi på 0,1, 0,2 og 0,5 lus/fisk. Dette er i overenstemmelse med det som tidligere er rapportert for lusetall der under halvparten av fiskene har lus (Heuch et al. 2011). Spredningsparameteren ble funnet til å være stigende med stigende gjennomsnittstall, slik Heuch et al. også viste i sine data. Spredningsparameteren beskriver formen på fordelingskurven.

For de rutinemessige tellingene Lakselusforskriften stiller krav om, må en i tillegg til å telle lus på fisker, telle lus som ligger igjen i det karet en har hatt fiskene i (Anonym 2012). Disse karlusene skal brukes i beregningen av gjennomsnittstall for anlegget. Det kan variere hvordan disse lusene blir skrevet opp. De kan bli fordelt ut over fiskene eller skrevet opp på en vilkårlig fisk eller en fiktiv fisk. Karlusene vil derfor være en feilkilde når en bruker telldata fra ordinær drift for å beskrive fordelingen av lus mellom fiskene. For å unngå denne feilkilden i framtiden kan en lage en fiktiv fisk som en fører opp karlusene på og som en aldri bruker til å føre opp lus talt på reelle fisker (for eksempel fisk nummer -1). I lusetellingene som ble brukt i dette studiet var ikke karlus skrevet opp på en systematisk måte som gjorde det mulig å ta dem ut av datasettet, og de er dermed en mulig feilkilde.

Et annet aspekt som kan bidra til feilaktig beskrivelse av fordelingen av lus mellom fiskene er dersom en fører opp all lus på én eller to fisker, selv om lusene i realiteten ble funnet fordelt over flere fisker. Dette kan gjøres for å forenkle nedskrivningen av resultatene. Denne måten å føre opp lus vil gi rett gjennomsnittstall, men er ikke egnet dersom lusetallene skal brukes til studier av fordelingen av lus mellom fiskene. Denne forenklete oppføringsmåten av lus på fisker er brukt i en del av lusetellingene i vårt datamateriale. Ideelt sett skulle telleresultatene fra alle disse merdene vært fjernet før analysen, men de eksklusjonskriteriene som ble brukt tar antageligvis ikke ut alle slike forenklete oppføringer. Dermed vil ikke de beregnede fordelingene nødvendigvis være en helt korrekt beskrivelse av lus på fisker slik de ble talt, men slik de ble skrevet opp. Dersom en skal beskrive fordelingen av lus på fisker helt korrekt må all lus som blir talt på én fisk bli notert opp på den samme fisken de ble talt fra.

6.2 Usikkerhet i enkelttellinger

Resultatene fra denne delen av studien viser at en enkelttelling kun gir et estimat på anleggets sanne lusetall. Dersom en øker antallet fisker en teller lus på, vil telleresultatet bli et bedre estimat på det sanne lusetallet. Dersom en antar at fordelingen av hunn lus mellom fiskene på det reelle anlegget man er interessert i er det samme som anvendt i denne studien, at utvalget fisker en teller lus på er representativt og at en teller alle voksne hunn lus på fiskene, vil en kunne bruke figurene fra studien til å bestemme hvilke sanne gjennomsnitt som er mulig og mest sannsynlig gitt et bestemt telleresultat. En vil kunne komme nærmere svaret på hva som er det faktiske sanne lusetallet på anlegget dersom en kombinerer denne kunnskapen med de kjente resultatene fra tidligere ukers tellinger av alle stadier og kjent utviklingstid ved gjeldene temperatur.

Det er mulig å lage et web-verktøy som gir de mulige sanne lusetallene gitt et bestemt telleresultat og det antallet fisker en har talt lus på. Dette verktøyet bør i inkorporere den variasjonen i spredningsparameteren som ble observert i de reelle lusetallene; jo høyere gjennomsnitt jo større spredningsparameter. Dette enkle verktøyet kan videre inkorporeres i mer avanserte verktøy som forutsier lusetall basert på tidligere ukers lusetall, temperatur og ny smitte fra både eget og andres anlegg. Dermed

vil en både kunne forutsi det sanne lusetallet og hvilke gjennomsnittresultater det er mest sannsynlig å finne ved telling.

En kan øke presisjonen av det enkelte telleresultat ved å **øke antall fisker en teller lus på**. I dag blir imidlertid mange avgjørelser om håndtering av lus tatt på **merdnivå** og dermed ofte basert på telling av et lavere antall fisk (10 eller 20 dersom en følger Luseforskriftens minstekrav). Selv om dette er et mer usikkert tall enn en telling av flere fisker ville gitt, har et simuleringsstudium basert på en modell utviklet fra reelle oppdrettsdata vist at en trenger noe færre lusebehandlinger for å holde lusegrensen dersom en overvåker og håndterer lus på merdnivå enn dersom en gjør det på anleggsnivå (Aldrin & Huseby 2017).

6.3 Håndtere lusegrenser ved hjelp av lusetellinger

Vi har her foreslått et system med to regler, for hvordan forvaltningen kan bruke lusetellinger til å vurdere om lusegrensene er overholdt. Først ved å identifisere **tre telleresultater** som det er lite sannsynlig å observere i en telling av 100 fisker, gitt at sant lusetall ligger akkurat på grensene (regel 1). Deretter ved å vise at om en legger på kravet om at **fire lusetellinger på rad** må gi observerte gjennomsnitt over lusegrensene, dersom en får telleresultater som ligger mellom lusegrensa og grensa foreslått av regel 1, for at en skal betrakte det som en sann grenseoverskridelse, reduserer en sannsynligheten for feilaktig å konkludere med en grenseoverskridelse (regel 2). De foreslåtte reglene er vist skjematisk i figur 1.

De konkrete rådene om når en kan betrakte lusetall over lusegrensa som reelle grenseoverskridelser er: Dersom det talte gjennomsnittet er likt eller over 0,17, 0,30 eller 0,66 for en lusegrense på henholdsvis 0,1, 0,2 og 0,5, eller dersom en fire ganger på rad teller mellom lusegrensa og disse tre tallene. Den metodikken som er brukt til å komme fram til disse tallene er også anvendelig for å utarbeide tilsvarende råd også for andre lusegrenser: Først bestemme realistisk fordeling av lus mellom fiskene ved hjelp av virkelige lusetall, deretter simulere lusetellinger fra en fiskepopulasjon der lus er fordelt mellom fiskene etter denne fordelingen, og til slutt analysere simuleringsresultatene.

På tross av dette systemet vil det være en sjanse for at en feilaktig skal konkludere med en grenseoverskridelse. Sjansen vil være større jo nærmere grensene det sanne lusetallet ligger. Dersom en ønsker ytterligere å redusere sannsynligheten for **falske positive** konklusjoner kan en tillate et visst antall grenseoverskridelser per tidsperiode, selv om en følger de foreslåtte hovedreglene. Hvor mange overskridelser en eventuelt bør tillate vil avhenge av hvor lang tidsperiode en ser på. En kan også redusere sjansen for falske positive resultater dersom en setter grensa ved høyere enn 96-persentilen.

Dersom en følger rådene fra denne studien, vil en øke sannsynligheten for feilaktig å konkludere med at grensene blir overholdt når lusetallet egentlig ligger over grensene. Dette må vurderes opp mot ønsket om ikke feilaktig å konkludere med grenseoverskridelser. Sannsynligheten for at en feilaktig konkluderer med at et anlegg ligger under grensene når det i realiteten ligger over er større jo nærmere et anlegg ligger lusegrensene. På grunn av at lusetall normalt sett har sykliske svingninger avhengig av sjøtemperatur (Hjeltnes et al. 2018), vil et anlegg som følger disse svingningene ha redusert sjanse for feilaktige konklusjoner, da lusetallet over tid ikke blir liggende tett opp til lusegrensen.

beregninge? Hva beregnes? Er det ikke simulering?

Det foreslåtte systemet er avhengig av at **forutsetningene gitt i beregningene stemmer**, nemlig at lus er fordelt mellom fiskene på den angitte måten og at en teller lus på 100 tilfeldige fisker på anlegget.

åpenbart?

Dersom en **teller lus på færre fisker** vil det **observerte gjennomsnittet avvike mer fra det sanne lusetallet**, sammenliknet med om en teller lus på flere fisker. Dermed blir sannsynligheten for fire falske positive tellinger på rad større og sannsynligheten for at en teller over lusetallet gitt av regel 1 blir større. Det motsatte er tilfelle dersom en teller lus på flere fisker. Det betyr at om en ønsker å redusere sjansen for en feilaktig konklusjon om at anlegget er ligger over lusegrensa når det faktisk ligger under kan en telle lus på flere fisker.

Forutsetningen om **tilfeldighet** er viktig å opprettholde i den praktiske lusetellingen av fisker på anlegg. Hvis det er større sjanse til å ta opp fisker til telling dersom de har flere lus enn dersom de har færre, vil

det være mer sannsynlig at det beregnede telleggjennomsnittet overskrider de foreslåtte grensene selv om det reelle lusetallet til anlegget ligger under lusegrensa.

Antallet lus på fisker varierer til en viss grad merdvis i et anlegg (Revie et al. 2007). Det er bakgrunnen for regelen om at en skal telle lus på fisker fra **alle merder** i et anlegg framfor på det samme totalantallet fisker fra én eller noen få merder, da det førstnevnte er vist å gi de beste estimatene på anleggets lusetall. Dersom det er stor forskjell i gjennomsnittlig lusetall mellom de ulike merdene, kan en til en viss grad vente at fordelingen av lus mellom fiskene best beskrives ved hjelp av ulike spredningsparametere i de ulike merdene. Revie et al. (2007) kunne imidlertid ikke demonstrere en lineær sammenheng mellom grad av grupperingen og gjennomsnittstall. For å inkludere merdvis gruppering i denne studien måtte en dermed ha konstruert flere virtuelle anlegg for hver gjennomsnittstall, hvert med ulike grupperinger av lus mellom merder. Dette ville komplisert modelleringen betraktelig, men antageligvis gitt liten gevinst, da det **foreslåtte systemet** har vist seg å være **relativt lite sensitivt** for endring i spredningsparametere.

Fram til automatiske tellinger blir foretatt i alle anlegg må både anleggene selv og forvaltningsmyndigheter forholde seg til lusetellingsresultater. Dersom de **foreslåtte reglene** blir tatt i bruk vil de kunne redusere sjansene for feilaktige konklusjoner om overskridelser av lusegrenser.

7. Takk til

Takk til Bremnes Seashore og Marine Harvest for å ha gitt tilgang til detaljerte lusetellingsdata. Takk til Fiskeri- og havbruksnærings forskningsfond for å ha finansiert studiet.

8. Referanser

Aldrin M, Huseby RB, 2017. Effekter av ulike strategier for bekjempelse av lakselus. Notat SAMBA/05/17. Norsk Regnesentral.

Anonym (2008) Forskrift om etablering og utvidelse av akvakulturanlegg, zoobutikker m.m. [https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2008-06-17-823?q=Forskrift om etablering og utvidelse](https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2008-06-17-823?q=Forskrift%20om%20etablering%20og%20utvidelse). Besøkt 12.7.18.

Anonym (2012) Forskrift om bekjempelse av lakselus i akvakulturanlegg. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2012-12-05-1140?q=lakselus>. Besøkt 11.05.18.

Anonym (2017) Forskrift om produksjonsområder for akvakultur av matfisk i sjø av laks, ørret og regnbueørret (produksjonsområdeforskriften). <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-01-16-61?q=0,1>. Besøkt 11.05.18.

Heuch PA, Gettinby G, Revie CW (2011) Counting sea lice on Atlantic salmon farms - Empirical and theoretical observations. *Aquaculture* 320:149-153

Hjeltnes B, Bang-Jensen B, Bornø G, Haukaas A, Walde C S (red) (2018) Fiskehelserapporten 2017. Veterinærinstituttet, Oslo

Neuwirth E (2014) RColorBrewer: ColorBrewer Palettes. R package version 1.1-2. <https://CRAN.R-project.org/package=RColorBrewer>

R Core Team (2016) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>

Revie CW, Hollinger E, Gettinby G, Lees F, Heuch PA (2007) Clustering of parasites within cages on Scottish and Norwegian salmon farms: Alternative sampling strategies illustrated using simulation. *Prev vet med* 81:135-147

van Son TC, Kristoffersen AB, Viljugrein H, Helgesen KO, Qviller L, Jansen PA (2016) Forslag til håndtering av falske positive og negative lusetellinger ved lave lusetall. Rapport 17 2016. Veterinærinstituttet, Oslo

Venables WN, Ripley BD (2002) *Modern Applied Statistics with S*. Springer, New York

Wickham H (2009) *Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer, New York

Wickham H, François R, Henry L, Müller K (2017) dplyr: A Grammar of Data Manipulation. R package version 0.7.4.
<https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>

Wood SN (2004) Stable and efficient multiple smoothing parameter estimation for generalized additive models. J Am Stat Assoc 99:14

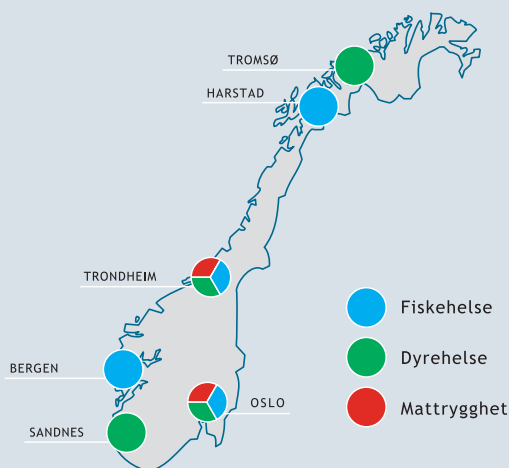
Zeileis AK, Kleiber C, Jackma S (2008) Regression models for count data in R. J Stat Softw 27

Faglig ambisiøs, 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