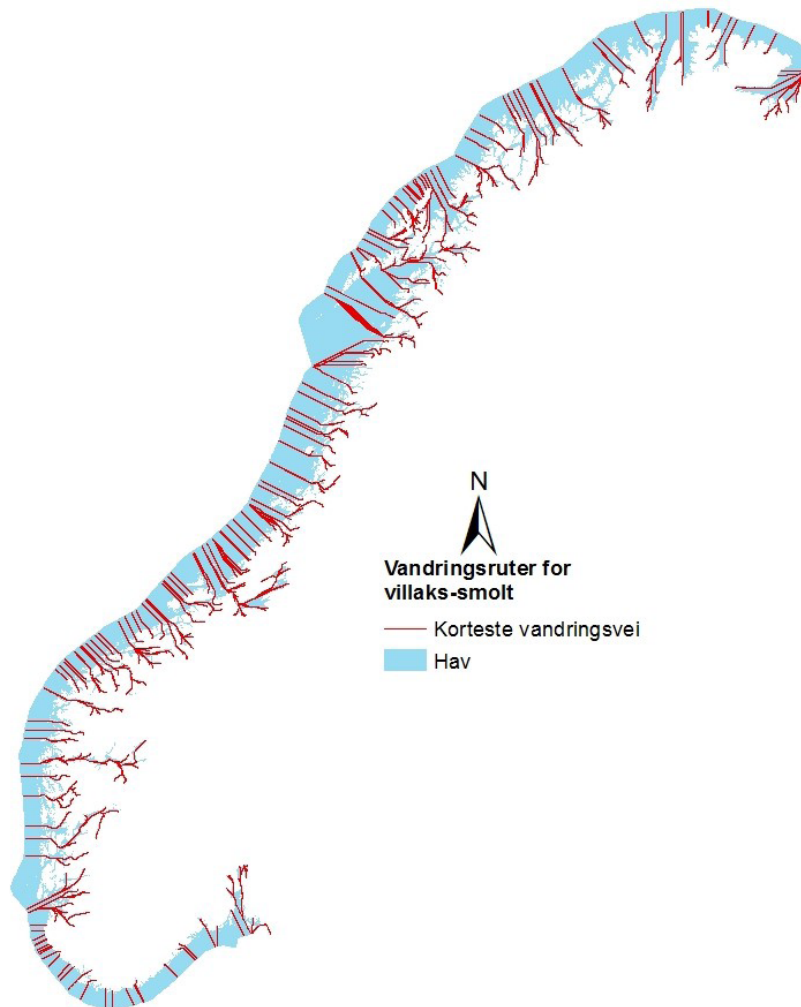




Risikomodel for kvantifisering av luseindusert dødelighet på villaks for 2020



Risikomodel for kvantifisering av luseindusert dødelighet på villaks for 2020

Innhold

Sammendrag	3
Innledning	3
Modellbeskrivelse	4
Smittepress	4
Sammenhengen mellom estimert smittepress og påslag av lus på smolt i bur.....	5
Evaluering av påslagsmodellen med burdata fra 2019 og 2020.....	7
Beregning av lusepåslag og luseindusert dødelighet på utvandrende laksesmolt	7
Alternative utvandringstider	9
Vurdering av status i produksjonsområdene	10
Produksjonsområde 1: Svenskegrensen til Jæren	10
Produksjonsområde 2: Ryfylke.....	11
Produksjonsområde 3: Karmøy til Sotra.....	12
Produksjonsområde 4: Nordhordaland til Stadt.....	13
Produksjonsområde 5: Stadt til Hustadvika	14
Produksjonsområde 6: Nordmøre til Sør-Trøndelag	15
Produksjonsområde 7: Nord-Trøndelag med Bindal	16
Produksjonsområde 8: Helgeland til Bodø	17
Produksjonsområde 9: Vestfjorden og Vesterålen.....	18
Produksjonsområde 10: Andøya til Senja	19
Produksjonsområde 11: Kvaløya til Loppa	20
Produksjonsområde 12: Vest-Finnmark	21
Produksjonsområde 13: Øst-Finnmark	22
Tidstrender	22
Alternative utvandringstider	23
Diskusjon.....	24
Referanser	26
Vedlegg 1	27
Vedlegg 2	27

Forfattere

Lars Qviller, Kari Olli Helgesen og Leif Christian Stige

Oppdragsgiver

Nærings- og fiskeridepartementet

ISSN 1890-3290

© Veterinærinstituttet 2020 / © Norwegian
Veterinary Institute 2020

Design omslag: Reine Linjer

Kart forside: Antatt vandringrute for laksesmolt
fra 401 vassdrag langs kysten

Sammendrag

I produksjonsområdeforskriften fra 2017 blir det beskrevet hvordan oppdrettsintensiteten i 13 definerte produksjonsområder skal reguleres etter estimert miljøpåvirkning fra oppdrettsnæringa. I første omgang gjelder dette påvirkningen på vill laksefisk i form av dødelighet som følge av lakselus som reproduserer i oppdrettslokaliteter (luseindusert dødelighet). Vi beskriver her en modell for kvantitativ vurdering av risiko (risikomodell) for at utvandrende vill laksesmolt fra norske vassdrag dør, som direkte følge av påslag av lakselus produsert i oppdrettsanlegg. Risikomodellen er sammensatt, og følger en kjede av skisserte hendelser, fra smitteproduksjon i oppdrett til luseindusert dødelighet hos vill laksesmolt. Videre presenteres beregnet lusepåslag og luseindusert dødelighet for i alt 401 vassdrag over årene 2012 - 2020. Modellen er utarbeidet som innspill til Ekspertgruppen, nedsatt for perioden 2020 og 2021, med mandat blant annet til å vurdere lakselusindusert dødelighet på vill laksesmolt i 13 produksjonsområder.

De overordnede resultatene fra vurderingen er at risikoen for luseindusert dødelighet hos vill laksesmolt, slik dette er definert i modellen, generelt avtar i de nordlige produksjonsområdene. Denne risikoen er også lav for produksjonsområde 1, der det er liten oppdrettsvirksomhet. Videre var det høyest risiko for luseindusert dødelighet hos vill laksesmolt i produksjonsområde 3. Det er imidlertid beregnet stor usikkerhet i dødelighetsestimatene for mange av produksjonsområdene, og dermed blir det knyttet stor usikkerhet til konklusjonene man trekker fra risikomodellen i disse områdene. Smittemodellens usikkerhet varierer noe mellom produksjonsområdene, der særlig de observerte påslagene på fisk i Sognefjorden generelt er systematisk høyere enn beregnet smittepress skulle tilsi. Smittemodellen viste en relativt god prediksjonskraft for observerte lus på fisk i 2019. I 2020 forelå det bare observasjonsdata fra burforsøk i Hardanger til å sammenlikne modellprediksjonene med. Observerte påslag i Hardanger var i 2020 høyere enn predikert, men dette er ikke et systematisk avvik som sees over mange år og avviket var innenfor usikkerhetsintervallet for prediksjonene.

Beregningene er sensitive for mange av antakelsene i det skisserte hendelsesforløpet i risikomodellen; er antagelsene feil påvirker det resultatene. Dette gjelder spesielt for antakelser knyttet til utvandringstider, vandringsprogresjon fra elv til hav og sannsynligheter for dødelighet av smolt indusert av gitte lusepåslag. Selv om de absolutte modellresultatene er beheftet med store usikkerheter, gir resultatene god forståelse av luseindusert dødelighet i tid og rom, og er dermed med på å oppfylle mandatet til Ekspertgruppen.

Innledning

I produksjonsområdeforskriften fra 2017 (FOR-2017-01-16-61) er kysten delt inn i 13 produksjonsområder og det er definert hvilke(n) bærekraftsindikator(er) som skal bestemme hvor stor produksjon av laksefisk som tillates i hvert produksjonsområde. Stortingsmeldingen «Forutsigbar og miljømessig bærekraftig vekst i norsk lakse- og ørretoppdrett» uttrykker at regulering i første omgang kun skal baseres på effekt av lakselus på vill laksefisk (Nærings- og fiskeridepartementet, 2014-2015). Det vil si dødelighet på utvandrende postsmolt av laks, førstegangsutvandrende smolt av sjøørret og sjørøye, og på beitende flergangsutvandrende sjøørret og -røye som en konsekvens av smitte av lakselus fra oppdrettsanlegg (luseindusert dødelighet). Andre bærekraftsindikatorer skal eventuelt tillegges vekt i framtidig arbeid.

Denne rapporten dokumenterer Veterinærinstituttets innspill til den såkalte Ekspertgruppen. Ekspertgruppen ble nedsatt av en styringsgruppe, som selv ble nedsatt av Nærings- og fiskeridepartementet, begge for perioden 2020-2021. Ekspertgruppens hovedmandat er å vurdere lakselusindusert dødelighet på villaks i 13 produksjonsområder. Veterinærinstituttets innspill er basert på en modell for kvantifisering av risiko (risikomodell) for lusepåslag og luseindusert dødelighet hos utvandrende vill laksesmolt fra 401 vassdrag. Risikomodellen beskrives i Kristoffersen mfl., 2018. Hovedelementene som inngår i risikomodellen er først data om vassdragene, herunder beregnet potensial for produksjon av smolt og utvandringstider, opparbeidet av NINA (Forseth mfl., 2017, Ugedal mfl., 2019); deretter lusepåslagsdata fra burforsøk gjennomført i regi av Nasjonalt overvåkingsprogram for lakselus på vill laksefisk (Nilsen mfl., 2019); videre beregnet smittepress fra oppdrett basert på Veterinærinstituttets

avstandsbaserte smittepressmodell (Kristoffersen mfl., 2014); og endelig antatt sammenheng mellom lusesmitte og dødelighet hos vill laksesmolt (Taranger mfl., 2015).

Ved utvikling av risikomodellen har det vært et mål at alle prosesser som inngår i kjeden av skisserte hendelser, fra smitteproduksjon i oppdrett til luseindusert dødelighet hos vill laksesmolt, i størst mulig grad skal være utledet fra empiriske data. Imidlertid er store deler av den beskrevne hendelseskjeden i risikomodellen beheftet med store usikkerheter og få observasjoner, slik at man må foreta en rekke antakelser om hvordan gitte prosesser foregår. Av kritiske antakelser, som kan ha stor påvirkning på resultatene, kan nevnes at forholdet mellom beregnet smittepress og påslag av lus på vill laksesmolt er sammenlignbart med påslag av lus på fisk i burforsøk ved tilsvarende eksponering mot smittepress. Videre antas at den ville laksesmolten vandrer ut korteste rute fra vassdragsutløp i sjø til hav, med en gitt vandringshastighet og til en kjent tid. Endelig antar vi at et gitt påslag av lus på den ville laksesmolten fører til overdødelighet av smolten med en gitt sannsynlighet og at denne overdødeligheten ikke hadde forekommet dersom lus fra oppdrett ikke hadde smittet smolten.

Modellbeskrivelse

Risikomodellen omfatter en kjede av hendelser/prosesser som starter med produksjon av lakselusnauplier (larver) i oppdrett. Disse spres så pelagisk rundt i kystnære farvann. Larvene utvikler seg gjennom to stadier til smittsomme kopepoditter i henhold til temperaturavhengige utviklingsrater (Stien mfl., 2005). Utvandrende vill laksesmolt utsettes for disse smittsomme kopepodittene under sin vandring fra elveutløpene til oppvekstområdene i havet, og kontakt mellom smolt og kopepoditter resulterer i at kopepoditter fester seg (påslag). Påslaget i modellen beregnes gjennom en regresjonsmodell som sammenligner modellert smittepress og påslag på kultivert laksesmolt i såkalte «smoltbur». Endelig vil et påslag av en gitt størrelsesorden medføre en overdødelighet hos laksesmolten. Modellen er beskrevet i detalj i Kristoffersen mfl., 2018. I denne rapporten har vi gjort følgende endringer etter rapporten fra 2019: 1) Valideringsdata: Vi bruker som i forrige års rapport lusepåslag på smolt i bur fra og med 2012 til og med 2018 til kalibrering, men data fra både 2019 og 2020 til validering av modellen. 2) Utvandringstider: I basisscenarioet brukes samme utvandringstider for vill laksesmolt som i fjorårets rapport, men som en sensitivitetsanalyse brukes estimerer fra en statistisk modell for utvandringstider. 3) Det er rettet opp mindre feil i kildekoden. Sensitivitetsanalyser for ulike antakelser som styrer prosessene i risikomodellen finnes i Kristoffersen mfl., 2018.

Smittepress

Veterinærinstituttets deterministiske modell for produksjon og spredning av lakselus (smittepressmodellen) gir et mål på smittepress med lakselus i form av intensitet av lakseluslarver langs kysten. Bakgrunnsdata for modellen er rapporterte forekomster av kjønnsmodne hunnulus i oppdrettslokaliteter, vanntemperatur og avstand til alle oppdrettsanlegg med hunnulus (Kristoffersen mfl., 2014). Modellen har vært brukt til å beregne påslag av lakselus på fisk i oppdrettsanlegg og på forsøksfisk som settes i bur (smoltbur) på gitt sted over et gitt tidsrom (Kristoffersen mfl., 2014; Aldrin, 2016). Den kan også beregne lusepåslag på villfisk under forutsetning av at man vet hvor fisken oppholder seg til enhver tid.

Ukentlig rapporterte overvåkingsdata fra oppdrettsanlegg brukes til å beregne produksjon av nauplier fra de enkelte lokalitetene. Produksjonsdelen av modellen bruker antall laks og antall kjønnsmodne hunnulus på hver oppdrettslokalitet, samt vanntemperaturer i en populasjonsdynamisk modell for å beregne reproduksjon og overlevelse av neste generasjon lakselus (Stien mfl., 2005).

Spredningsdelen av modellen er en funksjon for hvordan antall lakselus avtar med avstand fra kildelokaliteten (Aldrin mfl., 2013). Smittepresset for et gitt punkt i vannet tilsvarer summen av smittepress fra alle de omkringliggende oppdrettslokalitetene. Smittepresset presenteres i form av smittepresskart, som er rasterkart med 100x100 m pikselstørrelse.

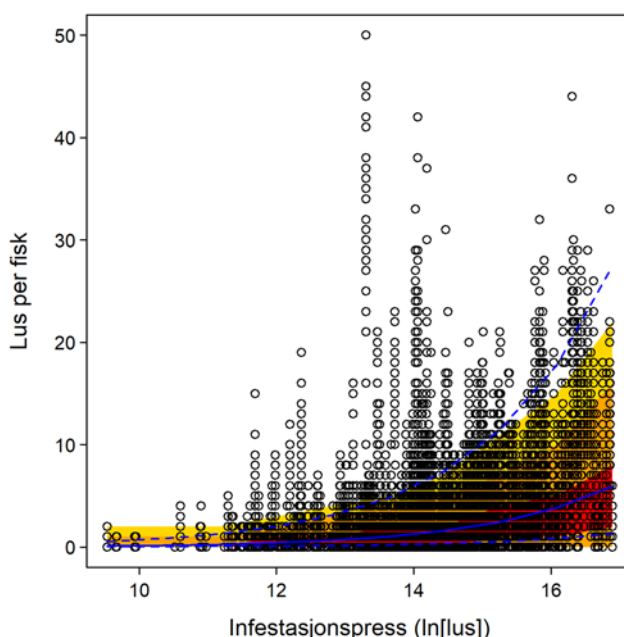
Smittepressmodellen er validert gjentatte ganger, og de relativt sterke korrelasjonene mellom beregnet smittepress og lusepåslag på fisk, både i oppdrett og i smoltbur, viser at forutsetningene som ligger til

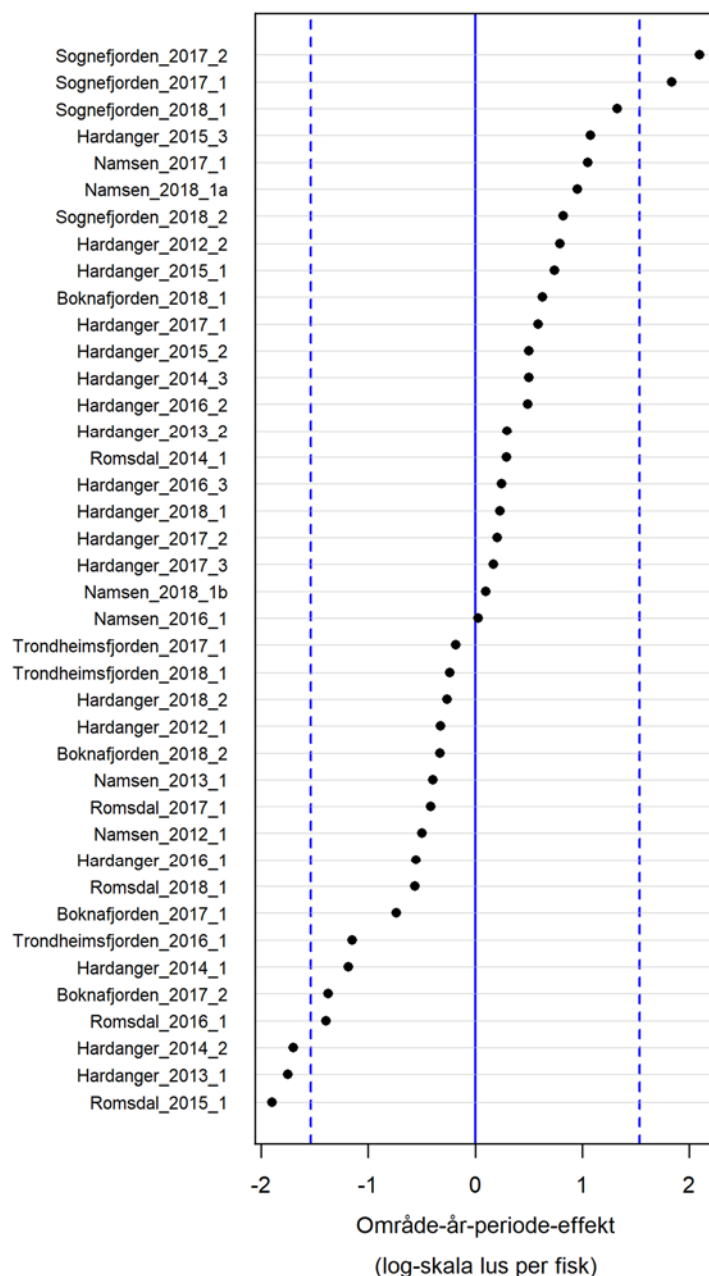
grunn for modellen er rimelige (Kristoffersen mfl., 2014; Aldrin, 2016, Kristoffersen mfl., 2017a, Kristoffersen mfl., 2017b, Kristoffersen mfl., 2018).

Sammenhengen mellom estimert smittepress og påslag av lus på smolt i bur

For å vurdere sannsynlighet for at lus produsert i oppdrett skal smitte vill laksefisk, må vi finne forholdet mellom smittepress og påslag av lus på vill fisk. Til dette benyttes lusetall fra forsøksfisk som har stått i bur i kjente tidsrom og på kjente steder (Nilsen mfl., 2019, <https://www.nmdc.no>). Smittepresset er tidsforskjøvet til det aktuelle lusestadiet vi ønsker å sammenligne med (her: til kopepoditter, som er det infektive larvestadiet). Tidsforskyvningen baseres på døgngader, og inneholder dødelighetsestimater for de pelagiske utviklingsstadiene for lus (Stien mfl., 2005). For mer detaljert beskrivelse av beregningen av smittepress, se Kristoffersen mfl., 2014. Beregnede tall for smittepress er tilnærmet eksponentielt fordelt. For å oppnå tilnærmet normalfordeling er derfor disse tallene logaritmetransformert (naturlig logaritme).

Sammenligningen mellom påslag i bur og smittepressestimatene gir en funksjon for forventet lusepåslag ut i fra burfiskens eksponering for et gitt smittepress over en gitt tid, slik at man kan beregne lusepåslag på en fisk som har vært eksponert for smittepress i kjent tidsrom og på kjent sted. Her har vi analysert påslag i burforsøk fra perioden 2012 - 2018. Vi har kun brukt data fra burforsøk igangsatt seinest 15. juni, som er den mest relevante perioden for utvandrende laksesmolt i de områdene der vi har burdata. Analysen ble gjort i form av en regresjonsmodell (påslagsmodellen) der vi statistisk modellerte observert antall lus på individuell fisk i burene, med beregnet smittepress og eksponeringstider i burene som forklaringsvariabler (Figur 1a). I tillegg tar vi med en tilfeldig effekt definert av område-periode-år (Figur 1b). Modellen hadde en negativ binominal variansstruktur med en estimert spredningsparameter ($\theta = 1,84$). Denne fordelingen blir benyttet til å simulere fordelingen av luseelarver per fisk, gitt gjennomsnittlig forventete antall luseelarver fra påslagsmodellen (Figur 1a).





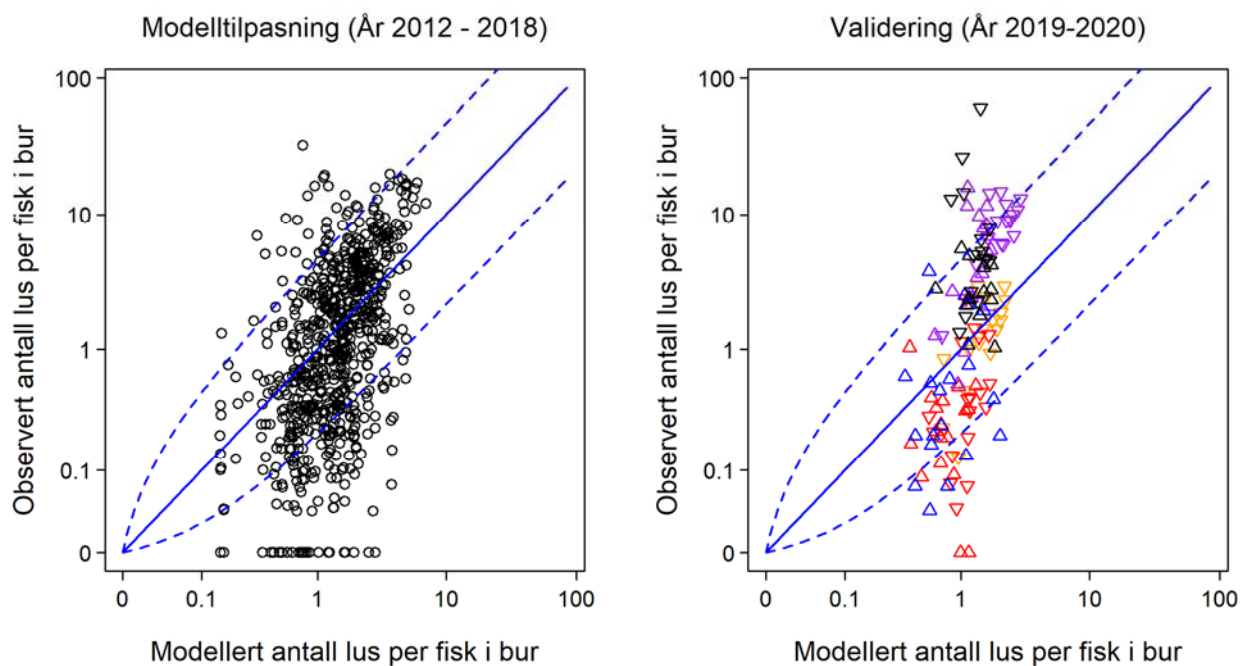
Figur 1a,b. Øvre panel (1a) angir observert antall lus uansett livsstadium per fisk (runde punkt) plottet mot gjennomsnittlig smittepress over to siste uker av hvert burforsøk i perioden 2012 - 2018. Blå heltrukken linje angir forventet antall påslåtte luselarver som funksjon av smittepress. Blå stiplede linjer svarer til forventet antall påslåtte luselarver ved beste og verste scenarioer, som tar hensyn til tilfeldig variasjon i påslagsrate mellom områder, perioder og år. Fargede felt svarer til kvantiler når antall lus på 100000 laks er trukket tilfeldig fra en negativ binomial fordeling med theta fra påslagsmodellen og gitt forventningen i forhold til smittepress. Det gule området angir 1 til 99 % kvantilen, det oransje angir 5 til 95 % kvantilen og det røde angir 25 til 75 % kvantilen. Nedre panel (1b) angir beregnet tilfeldig effekt knyttet til område-periode-år. Periode angir tidsrekkefølge om flere burforsøk ble gjort i samme område og år. Vertikale blå linjer i panel 1b viser verdiene av den tilfeldige effekten som svarer til det forventede scenarioet (heltrukken linje) og beste- og verste scenarioer (stiplede linjer).

Den tilfeldige effekten i påslagsmodellen fra burforsøkene varierte mellom -1,90 og 2,10 (enhet: log av antall lus per smolt). Smolt i Sognefjorden hadde gjennomgående mer lus enn forventet utfra det beregnede smittepresset, noe som gir seg utslag i gjennomgående høye verdier for den tilfeldige effekten for Sognefjorden (Figur 1b). Det var også mer lus enn forventet i Namsen i 2017 og 2018. De tilfeldige effektene er antatt å være normalfordelt med en estimert varians, her estimert til 0,87. Dette ble brukt

som sensitivitetsanalyse til å variere påslagsrate for ulike smittepress, i et beste og et verste scenario, der påslaget på log-skala er justert med $\pm 1,54$ (90 % konfidensintervall for tilfeldig effekt). Dette svarer til å multiplisere eller dividere det forventede luseantallet med 4,6. For det vi kaller et «forventet scenario» antar vi at den tilfeldige effekten er null (dvs. påslaget justeres ikke). Sammenhengene mellom smittepress og antallet lus per fisk ved de ulike scenarioene er vist med heltrukket og stiplede blå linjer i Fig. 1a.

Evaluering av påslagsmodellen med burdata fra 2019 og 2020

Burdataene fra 2019 og 2020 ble ikke brukt for å estimere parametrene i påslagsmodellen, men bare for validering (høyre panel i Figur 2). For årene 2012 til 2018 er korrelasjonen mellom log-skala modellert og observert lus per bur 0,50 (N = 717 bur), for 2019 til 2020 er korrelasjonen 0,59 (N = 134 bur). Mye av variasjonen i lus per fisk er uforklart, noe som gir en usikkerhet som er tallfestet gjennom beregningene for beste, forventet og verste scenarioer. Slik som også var tilfelle i 2017 og 2018 var observert antall lus på smolt i bur fra Sognefjorden i 2019 høyere enn hva det beregnede smittepresset skulle tilsi. Det ble kun gjort burforsøk i Hardanger i 2020. Påslaget var da høyere enn estimert og tilsvarte det verste modellscenarioet. Til sammenlikning var observert påslag i det samme området noe lavere enn estimert i 2019 og på nivå med det beste modellscenarioet. De tilfeldige effektene for Hardanger i påslagsmodellen faller på begge sider av null (Fig. 1b), noe som tyder på at det ikke er systematisk over- eller underestimering av lusepåslag i området.



Figur 2. Sammenhengen mellom observert og modellert antall lus per fisk i bur. Hvert punkt er gjennomsnitt for ett bur (vist på skala $\log[x + 0.033]$). Heltrukne linjer: Forventet antall utfra påslagsmodellen. Stiplede linjer: beste og verste scenarioer (90 % konfidensintervall for den tilfeldige effekten av område-år-periode). Burdataene fra år 2012 til 2018 (venstre panel) ble brukt til å estimere sammenhengen mellom smittepress og antall lus per fisk i påslagsmodellen. Burdataene fra 2019 og 2020 (høyre panel) ble kun brukt for validering. Symboler i høyre panel viser område og år (oransje: Boknafjorden 2019, sort: Sognefjorden 2019, blå: Namsen 2019, rød: Hardangerfjorden 2019, fiolett: Hardangerfjorden 2020) og periode (trekanter med spiss oppover: periode 1, spiss nedover: periode 2). Periode angir tidsrekkefølge om flere burforsøk ble gjort i samme område og år.

Beregning av lusepåslag og luseindusert dødelighet på utvandrende laksesmolt

Til beregning av lusepåslag på laksesmolt benyttet vi resultatene fra den statistiske påslagsmodellen, antatt vandringsrute og -hastighet for smolten, samt rasterkart over smittepress. Vandringsruten ble antatt å være korteste vei fra elveutløp til 12-mils grense i hav (Figur 3).

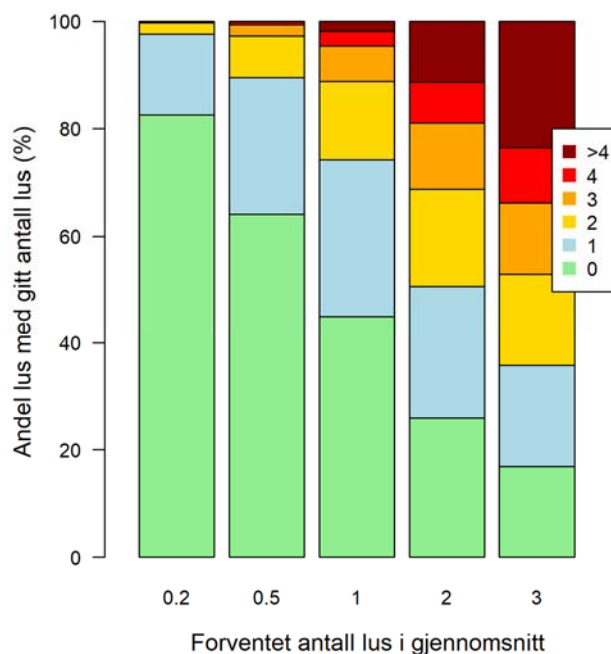
For hvert av totalt 401 vassdrag (Ugedal mfl., 2019), beregnet vi påslag av lus og luseindusert dødelighet for smolt som startet utvandringen ved tre alternative tidspunkter. De tre tidspunktene var beregnet

startdato for utvandningsperioden, dato for midlere utvandring (50 % utvandring) og sluttdato. Vi beregnet så forventet påslag av lus i hver piksel (100 m²) av rasterkartene med tidsjustert smittepress, fra utløp av elv i sjø til 12-mils grensen i hav. Vandringshastigheten på fisken ble satt til 8,2 cm per sekund, som tilsvarer en vandringsdistanse på 200 km i løpet av 4 uker (Thorstad mfl., 2012). Endelig ble beregnet påslag for hver piksel summert opp til et forventet antall påslåtte lakselus for hele utvandningsruten. Antall påslåtte lakselus per fisk ble deretter simulert på 100000 fisk fra en negativ binomial fordeling med forventning lik beregnet påslag og spredningsparameter fra påslagsmodellen.



Figur 3. Antatt vandringsrute for laksesmolt fra 401 vassdrag langs kysten, som korteste vei fra utløp i sjø til 12-mils grensen i hav.

Dette ga en sannsynlighetsfordeling for antall påslåtte lus på villaksen som vandrer ut fra et gitt vassdrag. Figur 4 illustrerer sannsynlighetsfordelingene for ulike forventede antall påslåtte lus per fisk.



Figur 4. Andel av fisk som forventes å ha et lusepåslag på henholdsvis 0, 1, 2, 3 eller >4 lus ved forventet gjennomsnittspåslag på 0,2, 0,5, 1, 2 eller 3 lus.

Andelen av fisk beregnet til å dø som følge av luseindusert dødelighet ble deretter kalkulert for startdato, dato for midlere utvandring og sluttdato, på bakgrunn av den simulerte fordelingen av lus på fisk og sannsynligheten for dødelighet av 20-grams smolt (Taranger mfl., 2015; Tabell 1). Disse andelen ble så lineært interpolert mellom startdato og dato for midlere utvandring, og videre til sluttdato. Andelen av fisk som ble antatt å vandre ut ved ulike tidspunkt ble modellert med en beta-pert fordeling tilpasset de tre utvandringstidene (Vose, 2000). Dette er en fordeling med stigende andeler av smolt som vandrer ut fra startdato til midlere dato og synkende andeler fra midlere dato til sluttdato. Endelig beregnet vi andel av utvandrende fisk som dør, som følge av det modellerte lusepåslaget.

Tabell 1. Antatt sammenheng mellom antall lakselus per smolt og andel smolt som dør av lakselus.

Antall lakselus per smolt	Andel smolt som dør av lakselus
0 til 1	0 %
2 til 3	20 %
4 til 5	50 %
6 eller flere	100 %

Alternative utvandringstider

I en sensitivitetsanalyse beregnet vi lakselusindusert dødelighet i en alternativ modellkjøring med statistisk modellerte utvandringstider. Den statistiske modellen for utvandringstid predikerte 25 % utvandring som funksjon av breddegrad, lengdegrad, temperatur og vannføring (se Appendiks II til hovedrapporten for detaljer). 50 % utvandring ble beregnet på bakgrunn av den empiriske korrelasjonen med 25 % utvandring. Som i hovedmodellen ble startdato satt til 10 dager før 25 % utvandring, sluttdato til 30 dager etter, og utvandningsforløpet ble antatt å følge en beta-pert fordeling. De predikerte utvandringstidene vi bruker her representerer gjennomsnitt over flere år.

Vurdering av status i produksjonsområdene

Vi vurderer status for hvert produksjonsområde som gjennomsnittlige vektete andeler smolt som beregnes å dø i hver elv i hvert produksjonsområde. I utregningen vektetes dødeligheten i hvert vassdrag med potensialet for smoltproduksjon i vassdraget, slik at det vektete gjennomsnittet representerer tapet i den totale smoltproduksjonen i området. Beregningene for et forventet scenario blir brukt til å trekke hovedkonklusjonene, mens beregningene for et verste scenario blir brukt til usikkerhetsvurderinger.

Dødelighetsandelene blir sammenliknet med kategoriene gitt i tabell 10.1 i stortingsmeldingen «Forutsigbar og miljømessig bærekraftig vekst i norsk lakse- og ørretoppdrett» (Nærings- og fiskeridepartementet, 2014-2015). Denne tabellen sier lav risiko/påvirkning ved <10 % luseindusert dødelighet, moderat risiko/påvirkning ved 10-30 % luseindusert dødelighet og høy risiko/påvirkning ved >30 % luseindusert dødelighet (se også Figur 16). Usikkerheten for et forventet scenario i risikomodellen betegnes som 1) liten dersom verste scenario er i samme kategori som det forventede scenarioet, 2) middels hvis verste scenario er én kategori høyere enn det forventede scenarioet, eller 3) stor dersom verste scenario er to kategorier høyere enn det forventede scenarioet.

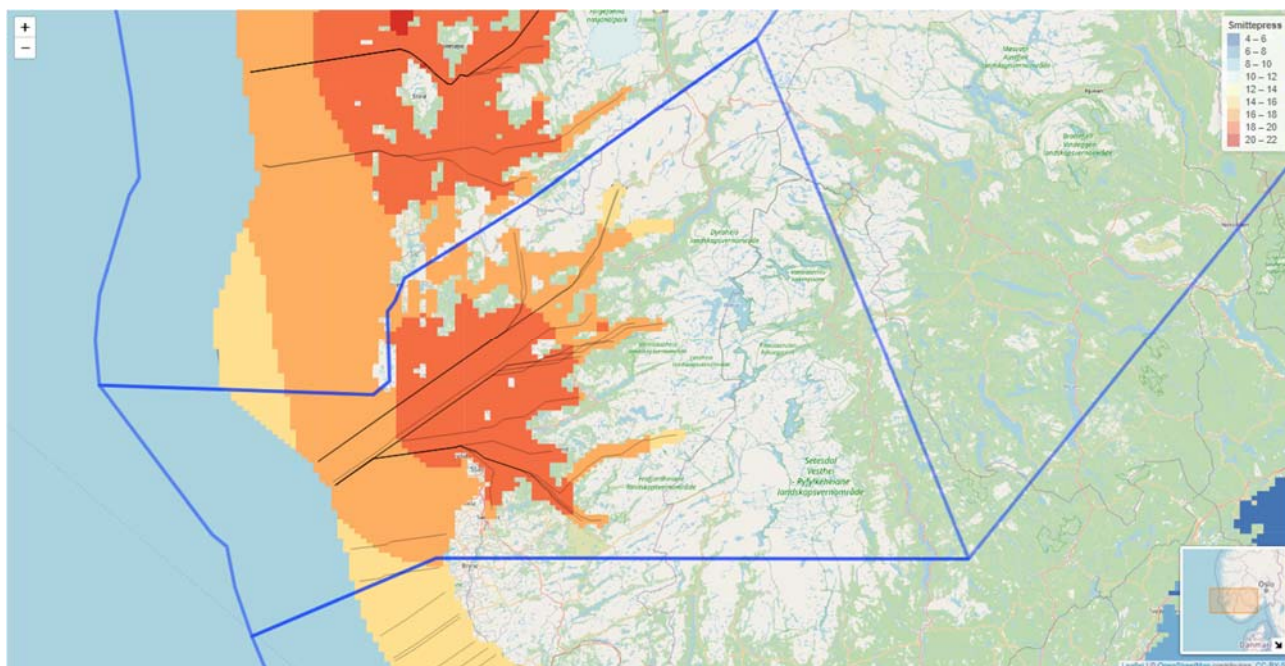
Beregninger av påslag og luseindusert dødelighet på vassdragsnivå for 2012 til 2020 er vedlagt (Vedlegg 1). Beregningene oppsummert for produksjonsområde og år er også vedlagt (Vedlegg 2).

Produksjonsområde 1: Svenskegrensen til Jæren

Produksjonsområde 1 omfatter 38 vassdrag. Produksjonen av lakselus i oppdrett innen dette produksjonsområdet er lavt. Beregningene av dødelighet er under 0,1 % for området i det forventede og under 1 % i det verste scenarioet, og det vises derfor ikke data fra dette området.

Produksjonsområde 2: Ryfylke

Produksjonsområdet omfatter 18 vassdrag (Figur 5). Beregnet dødelighet som følge av lusepåslag var lav. Legger man imidlertid til grunn et verste scenario, er beregnet dødelighet høy (Tabell 2). Usikkerheten for dette området er derfor stor.



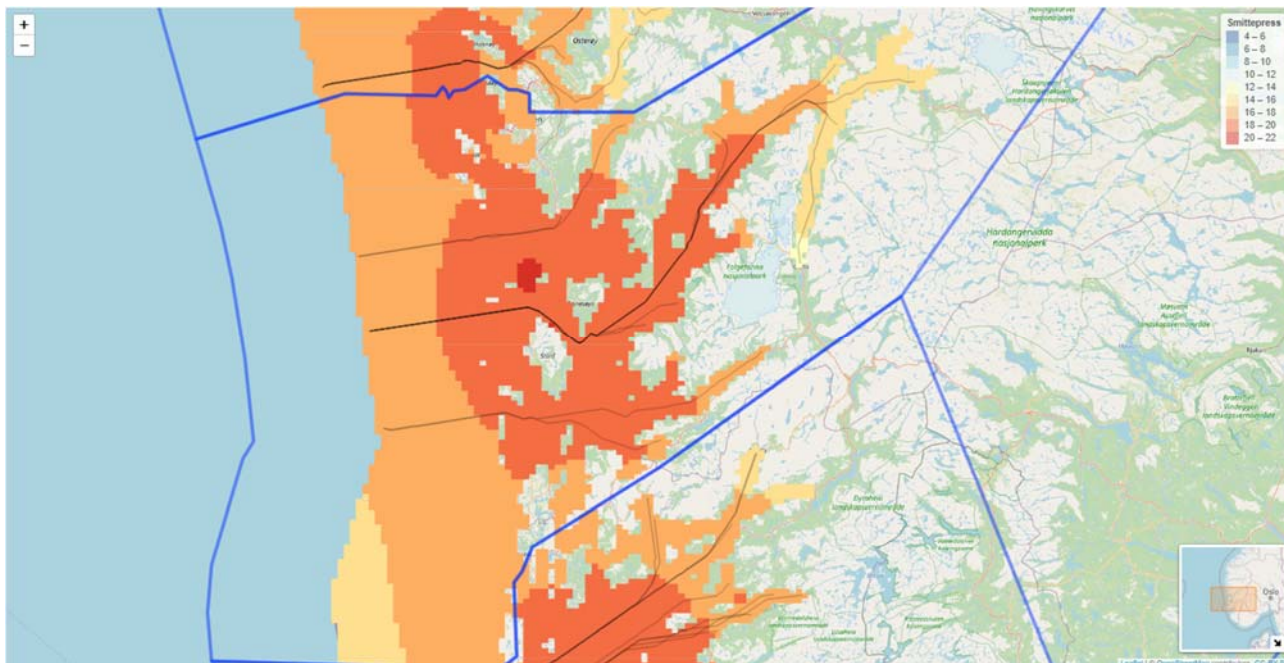
Figur 5. Kart som viser produksjonsområde 2. Blå linjer angir produksjonsområdets grenser. Sorte linjer angir korteste utvandingsvei for smolt fra vassdragsmunning til åpen sjø (12 nautiske mil fra grunnlinjen). Bakgrunnsfargen i sjøområdene innenfor 12-milsgrensen viser smittetrykket summert over ukene 16 til 31 (relativ skala som skalerer med kalkulert tetthet av smittsomme copepoditter av lakselus).

Tabell 2. Beregnet antall påslåtte lakselus per fisk ved startdato, midlere dato og sluttdato for utvandring og beregnet luseindusert dødelighet (%) som uvektet gjennomsnitt over vassdrag og som gjennomsnitt vektet mot potensiell smoltproduksjon i vassdragene i produksjonsområde 2. Beregningene er gjort for et forventet scenario, i tillegg til et beste og verste scenario der lave og høye påslag er definert av tilfeldige effekter fra påslagsmodellen.

	Beste scenario	Forventet scenario	Verste scenario
Antall lus start	0,2	0,8	3,7
Antall lus ved 50 % utvandring	0,2	1,0	4,7
Antall lus slutt	0,5	2,5	11,4
Luseindusert dødelighet gjennomsnitt	0,9	9,5	48,6
Luseindusert dødelighet vektet gjennomsnitt	0,5	6,1	33,8

Produksjonsområde 3: Karmøy til Sotra

Produksjonsområdet omfatter 12 vassdrag (Figur 6). Området har de høyeste beregnede påslagene av lus, og derav også høyest beregnet luseindusert dødelighet av alle produksjonsområdene. Beregnet dødelighet som følge av lusepåslag var moderat. Legger man imidlertid til grunn et verste scenario, er beregnet dødelighet høy (Tabell 3). Usikkerheten for området er derfor middels.



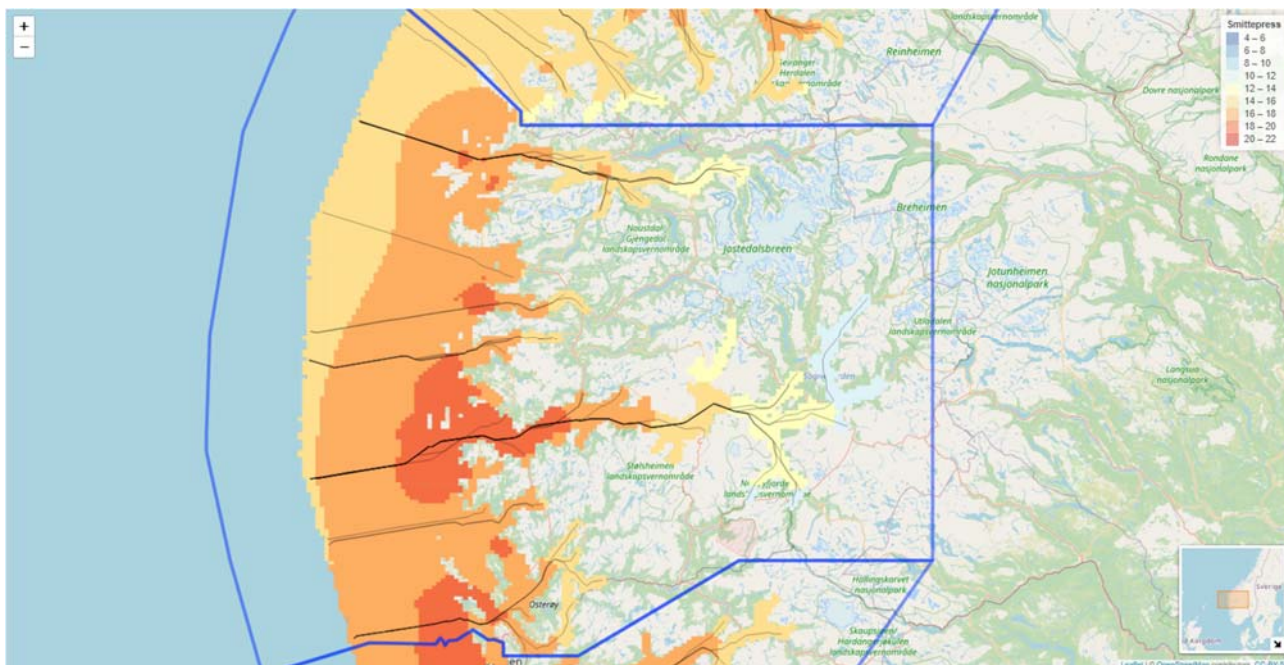
Figur 6. Kart som viser produksjonsområde 3. Blå linjer angir produksjonsområdets grenser. Sorte linjer angir korteste utvandningsvei for smolt fra vassdragsmunning til åpen sjø (12 nautiske mil fra grunnlinjen). Bakgrunnsfargen i sjøområdene innenfor 12-milsgrensen viser smittetrykket summert over ukene 16 til 31 (relativ skala som skalerer med kalkulert tetthet av smittsomme kopepoditter av lakselus).

Tabell 3. Beregnet antall påslatte lakselus per fisk ved startdato, midlere dato og sluttdato for utvandring og beregnet luseindusert dødelighet (%) som uvektet gjennomsnitt over vassdrag og som gjennomsnitt vektet mot potensiell smoltproduksjon i vassdragene i produksjonsområde 3. Beregningene er gjort for et forventet scenario, i tillegg til et beste og verste scenario der lave og høye påslag er definert av tilfeldige effekter fra påslagsmodellen.

	Beste scenario	Forventet scenario	Verste scenario
Antall lus start	0,3	1,3	5,8
Antall lus ved 50 % utvandring	0,5	2,5	11,4
Antall lus slutt	1,2	5,4	25,0
Luseindusert dødelighet gjennomsnitt	3,8	23,7	63,5
Luseindusert dødelighet vektet gjennomsnitt	2,5	16,4	52,4

Produksjonsområde 4: Nordhordaland til Stadt

Produksjonsområde 4 omfatter 40 vassdrag (Figur 7). Beregnet dødelighet som følge av lusepåslag var lav. Legger man imidlertid til grunn et verste scenario, er beregnet dødelighet høy (Tabell 4). Usikkerheten for området er derfor stor. Se også Fig. 1b og avsnittet «Sammenhengen mellom estimert smittepress og påslag av lus på smolt i bur», som tyder på at lusetettheten og dermed dødeligheten til smolt som vandrer ut gjennom Sognefjorden er underestimert.



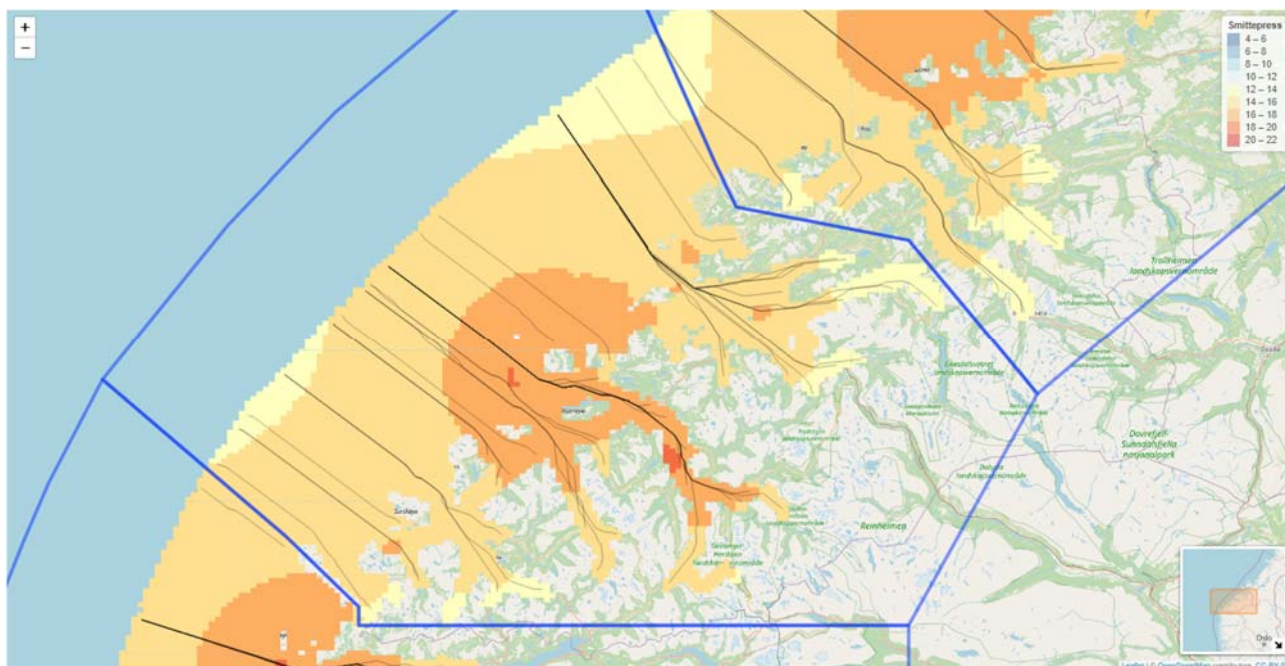
Figur 7. Kart som viser produksjonsområde 4. Blå linjer angir produksjonsområdets grenser. Sorte linjer angir korteste utvandningsvei for smolt fra vassdragsmunning til åpen sjø (12 nautiske mil fra grunnlinjen). Bakgrunnsfargen i sjøområdene innenfor 12-milsgrensen viser smittepresset summert over ukene 16 til 31 (relativ skala som skalerer med kalkulert tetthet av smittsomme kopepoditter av lakselus).

Tabell 4. Beregnet antall påslåtte lakselus per fisk ved startdato, midlere dato og sluttdato for utvandring og beregnet luseindusert dødelighet (%) som uvektet gjennomsnitt over vassdrag og som gjennomsnitt vektet mot potensiell smoltproduksjon i vassdragene i produksjonsområde 4. Beregningene er gjort for et forventet scenario, i tillegg til et beste og verste scenario der lave og høye påslag er definert av tilfeldige effekter fra påslagsmodellen.

	Beste scenario	Forventet scenario	Verste scenario
Antall lus start	0,2	0,7	3,2
Antall lus ved 50 % utvandring	0,2	1,0	4,7
Antall lus slutt	0,4	2,1	9,6
Luseindusert dødelighet gjennomsnitt	0,9	8,8	42,3
Luseindusert dødelighet vektet gjennomsnitt	1,0	9,2	43,8

Produksjonsområde 5: Stadt til Hustadvika

Produksjonsområde 5 omfatter 44 vassdrag (Figur 8). Beregnet dødelighet som følge av lusepåslag var lav. Legger man imidlertid til grunn et verste scenario, er beregnet dødelighet moderat (Tabell 5). Usikkerheten for området er derfor middels.



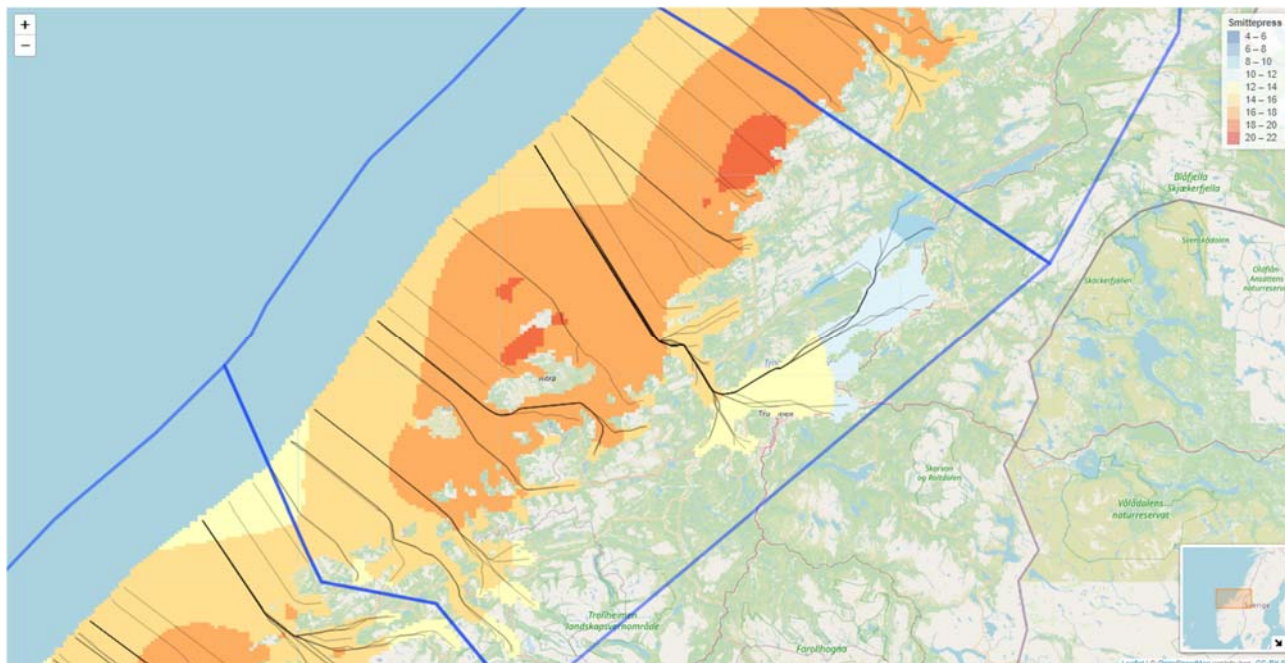
Figur 8. Kart som viser produksjonsområde 5. Blå linjer angir produksjonsområdets grenser. Sorte linjer angir korteste utvandningsvei for smolt fra vassdragsmunning til åpen sjø (12 nautiske mil fra grunnlinjen). Bakgrunnsfargen i sjøområdene innenfor 12-milsgrensen viser smittepresset summert over ukene 16 til 31 (relativ skala som skalerer med kalkulert tetthet av smittsomme kopepoditter av lakselus).

Tabell 5. Beregnet antall påslåtte lakselus per fisk ved startdato, midlere dato og sluttdato for utvandring og beregnet luseindusert dødelighet (%) som uvektet gjennomsnitt over vassdrag og som gjennomsnitt vektet mot potensiell smoltproduksjon i vassdragene i produksjonsområde 5. Beregningene er gjort for et forventet scenario, i tillegg til et beste og verste scenario der lave og høye påslag er definert av tilfeldige effekter fra påslagsmodellen.

	Beste scenario	Forventet scenario	Verste scenario
Antall lus start	0,1	0,2	1,1
Antall lus ved 50 % utvandring	0,1	0,4	1,7
Antall lus slutt	0,2	0,7	3,3
Luseindusert dødelighet gjennomsnitt	0,2	2,1	16,5
Luseindusert dødelighet vektet gjennomsnitt	0,1	1,8	15,6

Produksjonsområde 6: Nordmøre til Sør-Trøndelag

Produksjonsområde 6 omfatter 62 vassdrag (Figur 9). Beregnet dødelighet som følge av lusepåslag var lav. Legger man imidlertid til grunn et verste scenario, er beregnet dødelighet høy (for vektet gjennomsnitt, for uvektet gjennomsnitt: moderat) (Tabell 6). Usikkerheten for området er derfor stor (for uvektet gjennomsnitt: middels).



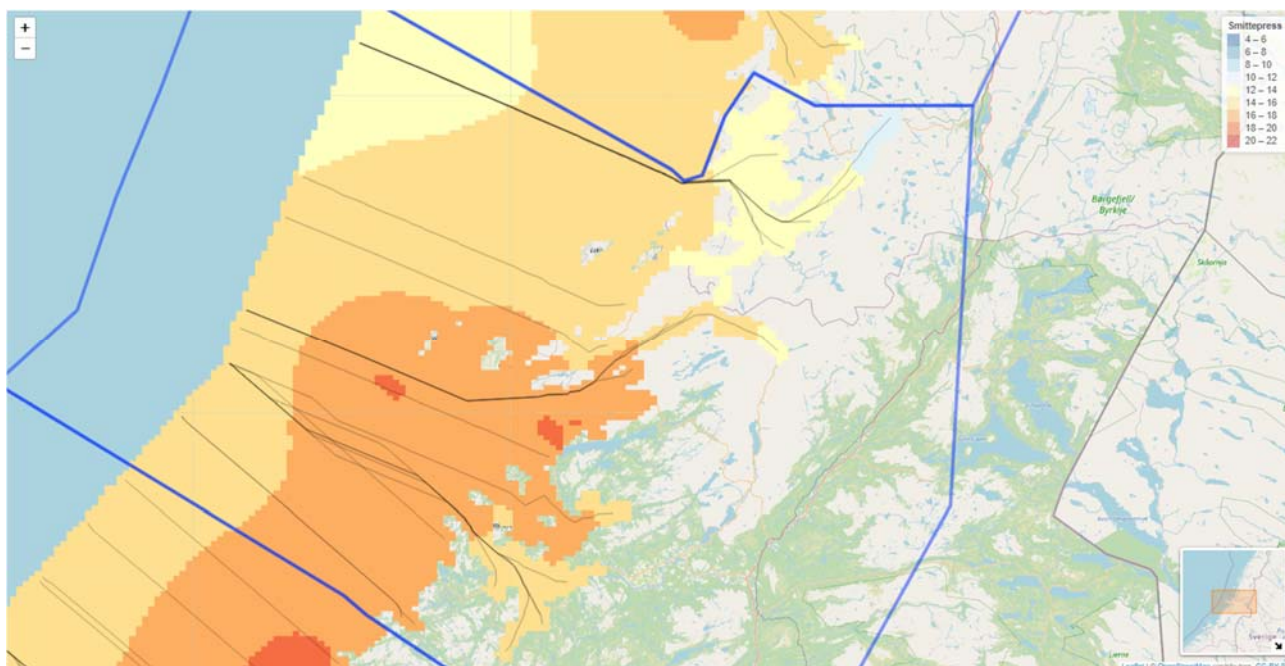
Figur 9. Kart som viser produksjonsområde 6. Blå linjer angir produksjonsområdets grenser. Sorte linjer angir korteste utvandningsvei for smolt fra vassdragsmunning til åpen sjø (12 nautiske mil fra grunnlinjen). Bakgrunnsfargen i sjøområdene innenfor 12-milsgrensen viser smittepresset summert over ukene 16 til 31 (relativ skala som skalerer med kalkulert tetthet av smittsomme kopepoditter av lakselus).

Tabell 6. Beregnet antall påslåtte lakselus per fisk ved startdato, midlere dato og sluttdato for utvandring og beregnet luseindusert dødelighet (%) som uvektet gjennomsnitt over vassdrag og som gjennomsnitt vektet mot potensiell smoltproduksjon i vassdragene i produksjonsområde 6. Beregningene er gjort for et forventet scenario, i tillegg til et beste og verste scenario der lave og høye påslag er definert av tilfeldige effekter fra påslagsmodellen.

	Beste scenario	Forventet scenario	Verste scenario
Antall lus start	0,1	0,4	1,9
Antall lus ved 50 % utvandring	0,1	0,6	2,7
Antall lus slutt	0,2	1,0	4,4
Luseindusert dødelighet gjennomsnitt	0,3	3,6	27,7
Luseindusert dødelighet vektet gjennomsnitt	0,4	4,9	35,2

Produksjonsområde 7: Nord-Trøndelag med Bindal

Produksjonsområde 7 omfatter 22 vassdrag (Figur 10). Beregnet dødelighet som følge av lusepåslag var lav. Legger man imidlertid til grunn et verste scenario, er beregnet dødelighet høy (for uvektet gjennomsnitt: moderat) (Tabell 7). Usikkerheten for området er derfor stor (for uvektet gjennomsnitt: middels).



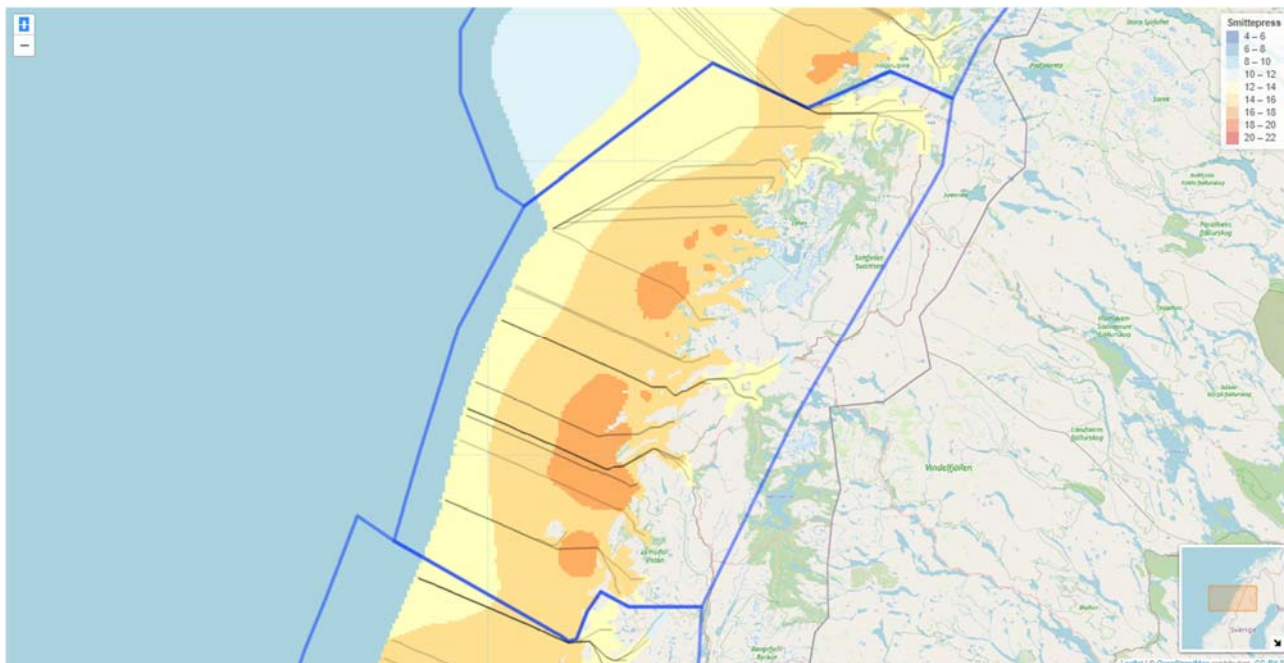
Figur 10. Kart som viser produksjonsområde 7. Blå linjer angir produksjonsområdets grenser. Sorte linjer angir korteste utvandningsvei for smolt fra vassdragsmunning til åpen sjø (12 nautiske mil fra grunnlinjen). Bakgrunnsfargen i sjøområdene innenfor 12-milsgrensen viser smittepresset summert over ukene 16 til 31 (relativ skala som skaleres med kalkulert tetthet av smittsomme copepoditter av lakselus).

Tabell 7. Beregnet antall påslåtte lakselus per fisk ved startdato, midlere dato og sluttdato for utvandring og beregnet luseindusert dødelighet (%) som uvektet gjennomsnitt over vassdrag og som gjennomsnitt vektet mot potensiell smoltproduksjon i vassdragene i produksjonsområde 6. Beregningene er gjort for et forventet scenario, i tillegg til et beste og verste scenario der lave og høye påslag er definert av tilfeldige effekter fra påslagsmodellen.

	Beste scenario	Forventet scenario	Verste scenario
Antall lus start	0,1	0,3	1,5
Antall lus ved 50 % utvandring	0,1	0,6	2,7
Antall lus slutt	0,2	1,1	5,3
Luseindusert dødelighet gjennomsnitt	0,4	4,2	24,7
Luseindusert dødelighet vektet gjennomsnitt	0,5	5,8	37,5

Produksjonsområde 8: Helgeland til Bodø

Produksjonsområde 8 omfatter 30 vassdrag (Figur 11). Beregnet dødelighet som følge av lusepåslag var lav. Legger man imidlertid til grunn et verste scenario, er beregnet dødelighet høy (for uvektet gjennomsnitt: moderat) (Tabell 8). Usikkerheten for området er derfor stor (for uvektet gjennomsnitt: middels).



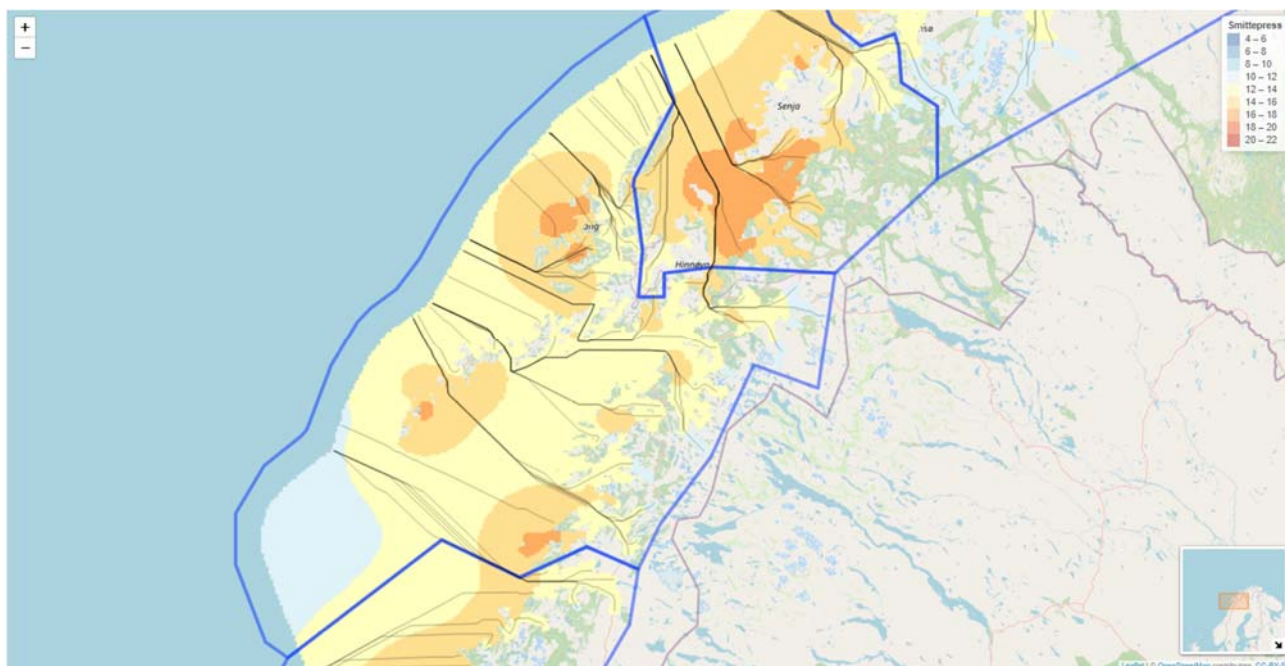
Figur 11. Kart som viser produksjonsområde 8. Blå linjer angir produksjonsområdets grenser. Sorte linjer angir korteste utvandningsvei for smolt fra vassdragsmunning til åpen sjø (12 nautiske mil fra grunnlinjen). Bakgrunnsfargen i sjøområdene innenfor 12-milsgrensen viser smittetrykket summert over ukene 16 til 31 (relativ skala som skalerer med kalkulert tetthet av smittsomme copepoditter av lakselus).

Tabell 8. Beregnet antall påslåtte lakselus per fisk ved startdato, midlere dato og sluttdato for utvandring og beregnet luseindusert dødelighet (%) som uvektet gjennomsnitt over vassdrag og som gjennomsnitt vektet mot potensiell smoltproduksjon i vassdragene i produksjonsområde 8. Beregningene er gjort for et forventet scenario, i tillegg til et beste og verste scenario der lave og høye påslag er definert av tilfeldige effekter fra påslagsmodellen.

	Beste scenario	Forventet scenario	Verste scenario
Antall lus start	0,1	0,3	1,5
Antall lus ved 50 % utvandring	0,1	0,5	2,2
Antall lus slutt	0,2	0,8	3,6
Luseindusert dødelighet gjennomsnitt	0,2	2,5	21,6
Luseindusert dødelighet vektet gjennomsnitt	0,3	4,3	32,2

Produksjonsområde 9: Vestfjorden og Vesterålen

Produksjonsområde 9 omfatter 58 vassdrag (Figur 12). Beregnet dødelighet som følge av lusepåslag var lav. Legger man til grunn et verste scenario, er beregnet dødelighet moderat (Tabell 9). Usikkerheten for området er derfor middels.



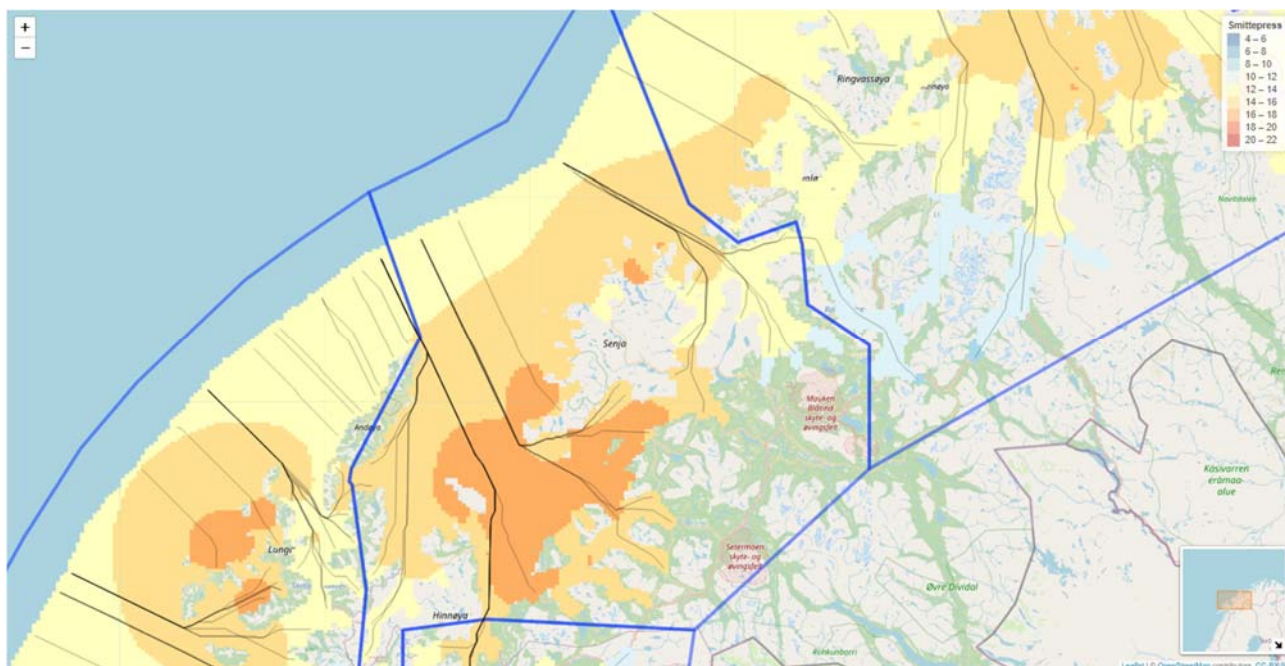
Figur 12. Kart som viser produksjonsområde 9. Blå linjer angir produksjonsområdets grenser. Sorte linjer angir korteste utvandningsvei for smolt fra vassdragsmunning til åpen sjø (12 nautiske mil fra grunnlinjen). Bakgrunnsfargen i sjøområdene innenfor 12-milsgrensen viser smittetrykket summert over ukene 16 til 31 (relativ skala som skaleres med kalkulert tetthet av smittsomme kopepoditter av lakselus).

Tabell 9. Beregnet antall påslåtte lakselus per fisk ved startdato, midlere dato og sluttdato for utvandring og beregnet luseindusert dødelighet (%) som uvektet gjennomsnitt over vassdrag og som gjennomsnitt vektet mot potensiell smoltproduksjon i vassdragene i produksjonsområde 9. Beregningene er gjort for et forventet scenario, i tillegg til et beste og verste scenario der lave og høye påslag er definert av tilfeldige effekter fra påslagsmodellen.

	Beste scenario	Forventet scenario	Verste scenario
Antall lus start	0,0	0,2	0,9
Antall lus ved 50 % utvandring	0,1	0,3	1,4
Antall lus slutt	0,1	0,5	2,4
Luseindusert dødelighet gjennomsnitt	0,1	1,5	12,7
Luseindusert dødelighet vektet gjennomsnitt	0,2	2,0	16,7

Produksjonsområde 10: Andøya til Senja

Produksjonsområde 10 omfatter 24 vassdrag (Figur 13). Beregnet dødelighet som følge av lusepåslag var lav. Legger man til grunn et verste scenario, er beregnet gjennomsnittlig dødelighet moderat (Tabell 10). Usikkerheten for området er derfor middels.



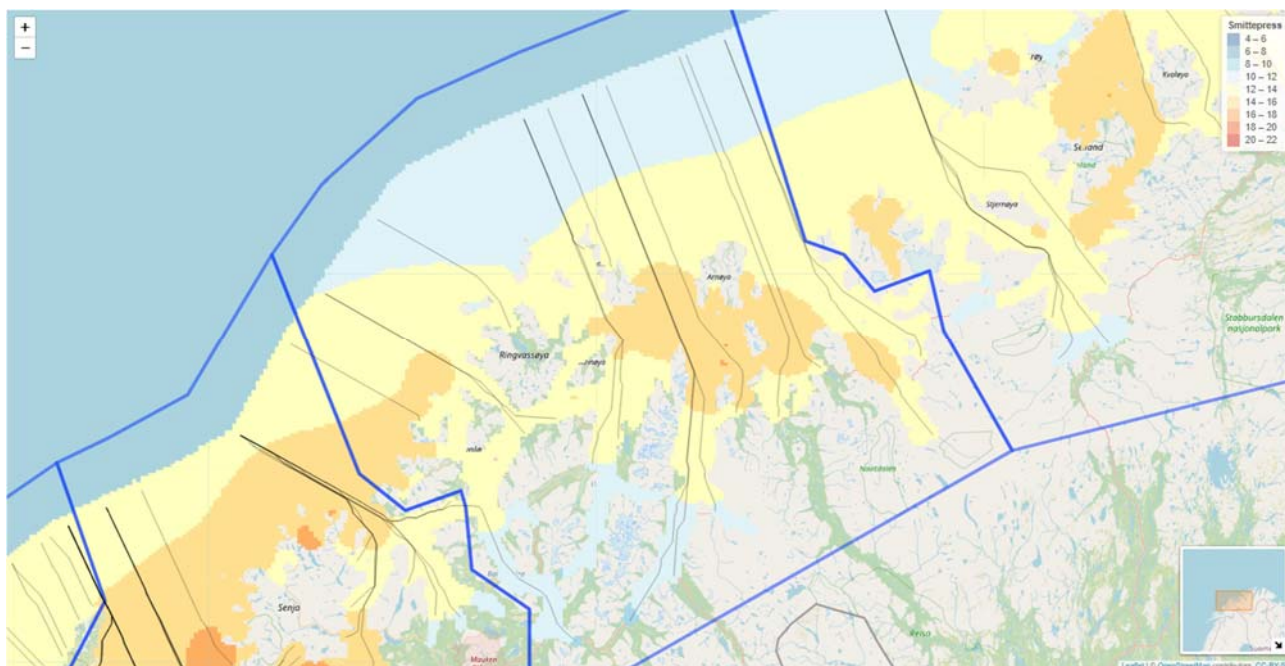
Figur 13. Kart som viser produksjonsområde 10. Blå linjer angir produksjonsområdets grenser. Sorte linjer angir korteste utvandningsvei for smolt fra vassdragsmunning til åpen sjø (12 nautiske mil fra grunnlinjen). Bakgrunnsfargen i sjøområdene innenfor 12-milsgrensen viser smittetrykket summert over ukene 16 til 31 (relativ skala som skalerer med kalkulert tetthet av smittsomme kopepoditter av lakselus).

Tabell 10. Beregnet antall påslåtte lakselus per fisk ved startdato, midlere dato og sluttdato for utvandring og beregnet luseindusert dødelighet (%) som uvektet gjennomsnitt over vassdrag og som gjennomsnitt vektet mot potensiell smoltproduksjon i vassdragene i produksjonsområde 10. Beregningene er gjort for et forventet scenario, i tillegg til et beste og verste scenario der lave og høye påslag er definert av tilfeldige effekter fra påslagsmodellen.

	Beste scenario	Forventet scenario	Verste scenario
Antall lus start	0,1	0,3	1,4
Antall lus ved 50 % utvandring	0,1	0,5	2,1
Antall lus slutt	0,2	0,9	4,1
Luseindusert dødelighet gjennomsnitt	0,2	2,7	20,8
Luseindusert dødelighet vektet gjennomsnitt	0,2	2,7	20,9

Produksjonsområde 11: Kvaløya til Loppa

Produksjonsområde 11 omfatter 17 vassdrag (Figur 14). Beregnet dødelighet som følge av lusepåslag var lav. Om man legger til grunn et verste scenario, er beregnet dødelighet moderat (for vektet gjennomsnitt: lav) (Tabell 11). Usikkerheten for området er derfor middels (for vektet gjennomsnitt: liten).



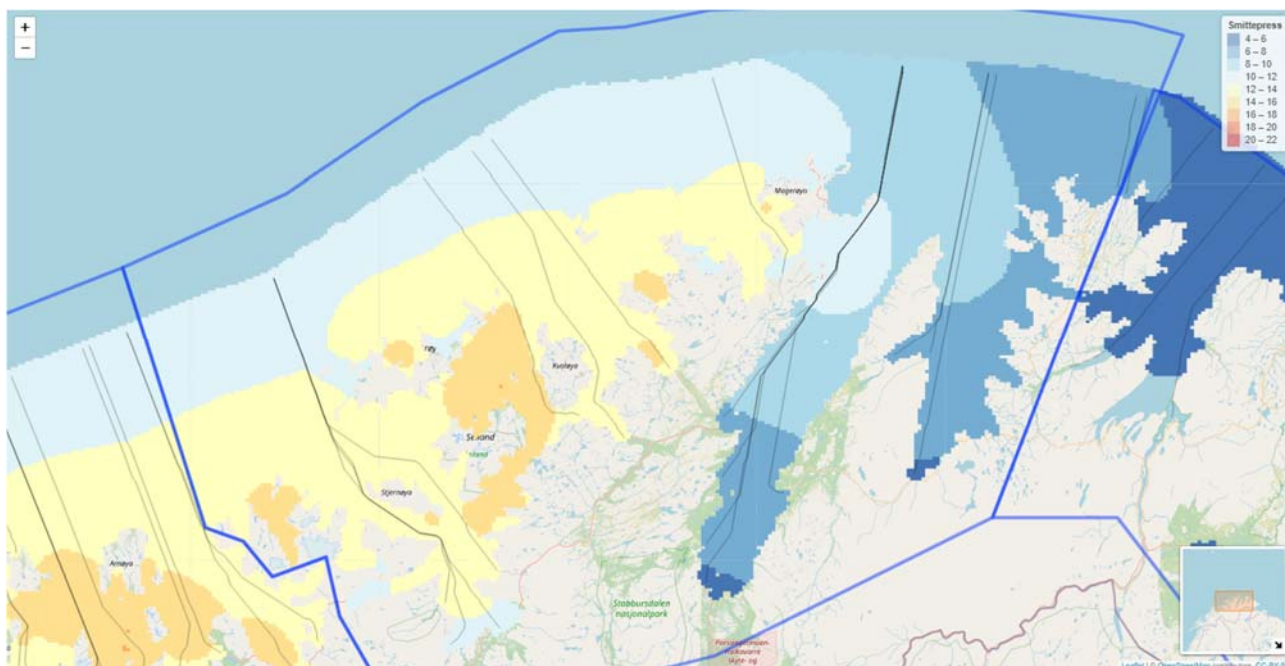
Figur 14. Kart som viser produksjonsområde 11. Blå linjer angir produksjonsområdets grenser. Sorte linjer angir korteste utvandningsvei for smolt fra vassdragsmunning til åpen sjø (12 nautiske mil fra grunnlinjen). Bakgrunnsfargen i sjøområdene innenfor 12-milsgrensen viser smittetrykket summert over ukene 16 til 31 (relativ skala som skalerer med kalkulert tetthet av smittsomme kopepoditter av lakselus).

Tabell 11. Beregnet antall påslåtte lakselus per fisk ved startdato, midlere dato og sluttdato for utvandring og beregnet luseindusert dødelighet (%) som vektet gjennomsnitt over vassdrag og som gjennomsnitt vektet mot potensiell smoltproduksjon i vassdragene i produksjonsområde 11. Beregningene er gjort for et forventet scenario, i tillegg til et beste og verste scenario der lave og høye påslag er definert av tilfeldige effekter fra påslagsmodellen.

	Beste scenario	Forventet scenario	Verste scenario
Antall lus start	0,0	0,2	0,9
Antall lus ved 50 % utvandring	0,1	0,2	1,1
Antall lus slutt	0,1	0,4	1,7
Luseindusert dødelighet gjennomsnitt	0,1	0,8	9,1
Luseindusert dødelighet vektet gjennomsnitt	0,1	1,2	12,8

Produksjonsområde 12: Vest-Finnmark

Produksjonsområde 12 omfatter 18 vassdrag (Figur 15). Beregnet dødelighet som følge av lusepåslag var lav. Også om man legger til grunn et verste scenario, er beregnet dødelighet lav (Tabell 12). Usikkerheten for området er derfor liten.



Figur 15. Kart som viser produksjonsområde 12. Blå linjer angir produksjonsområdets grenser. Sorte linjer angir korteste utvandningsvei for smolt fra vassdragsmunning til åpen sjø (12 nautiske mil fra grunnlinjen). Bakgrunnsfargen i sjøområdene innenfor 12-milsgrensen viser smittetrykket summert over ukene 16 til 31 (relativ skala som skalerer med kalkulert tetthet av smittsomme kopepoditter av lakselus).

Tabell 12. Beregnet antall påslåtte lakselus per fisk ved startdato, midlere dato og sluttdato for utvandring og beregnet luseindusert dødelighet (%) som uvektet gjennomsnitt over vassdrag og som gjennomsnitt vektet mot potensiell smoltproduksjon i vassdragene i produksjonsområde 12. Beregningene er gjort for et forventet scenario, i tillegg til et beste og verste scenario der lave og høye påslag er definert av tilfeldige effekter fra påslagsmodellen.

	Beste scenario	Forventet scenario	Verste scenario
Antall lus start	0,0	0,1	0,4
Antall lus ved 50 % utvandring	0,0	0,1	0,5
Antall lus slutt	0,0	0,1	0,6
Luseindusert dødelighet gjennomsnitt	0,0	0,3	3,5
Luseindusert dødelighet vektet gjennomsnitt	0,0	0,7	8,2

Produksjonsområde 13: Øst-Finnmark

Produksjonsområde 13 omfatter 18 vassdrag. Smittepress ved utvandring av laksesmolt er nært 0 i hele Øst-Finnmark. Beregningene av dødelighet er lik eller nært null for området ($<0,1$ % dødelighet i det verste modellscenarioet) og det vises derfor ikke data fra dette området.

Tidstrender

Tidstrendene for hvert produksjonsområde (Figur 16) må tolkes med stor forsiktighet fordi tidsseriene er korte og dermed blir usikkerheten stor. Det er derfor vanskelig å avgjøre i hvilken grad endringene vi ser skyldes statistiske tilfeldigheter, reelle trender, eller år-til-år-forskjeller i produksjonen, slik som alderssammensetningen til laksen i et produksjonsområde. Eksempelvis kan koordinert brakklegging i soner gi økt luseforekomst og spredning, når all laks i en sone har sitt andre år i sjø, biomassen er høy og lusepopulasjonene er godt etablerte, slik det er antydnet i Guarracino mfl., 2018. Koordinerte produksjonssykluser med brakklegging annet hvert år er en mulig forklaring på at lakselusindusert dødelighet i flere produksjonsområder har topper og bunnpunkt annet hvert år (se PO2, PO5 og PO8). Tidsseriene gir likevel et godt bilde av mellomårsvariasjon i de forskjellige sonene.

For alle produksjonsområder, unntatt 3 og 4, har den forventede dødeligheten vært mindre enn 10 % i hele perioden fra 2012 til 2020. For produksjonsområde 1 og 13 gjelder dette også for det verste scenarioet.

For produksjonsområde 2 økte den estimerte dødeligheten fra 2012 til 2016, men har siden da holdt seg relativt stabilt. Dødeligheten i det verste scenarioet har siden 2016 ligget på rundt 30 %, med høyeste verdier i partallsår.

For produksjonsområde 3 har den forventede dødeligheten i årene fra 2014 til 2020 vært mellom 10 og 30 % mens dødeligheten i det verste scenarioet har vært over 30 %. Den tilsynelatende nedgangen i dødelighet i dette produksjonsområdet fra 2017 til 2019 har ikke fortsatt i 2020, som viste høyere verdier enn de foregående årene. Det må påpekes at disse endringene er små i forhold til de tilfeldige variasjonene mellom områder og år i lusepåslag, som fanges opp i forskjellen mellom modellscenarioer. Endringene kan derfor skyldes statistiske tilfeldigheter.

For produksjonsområde 4 har den forventede dødeligheten i årene fra 2014 til 2020 vært rundt 10 % mens dødeligheten i det verste scenarioet har vært over 30 %. Det er ingen klare trender i perioden.

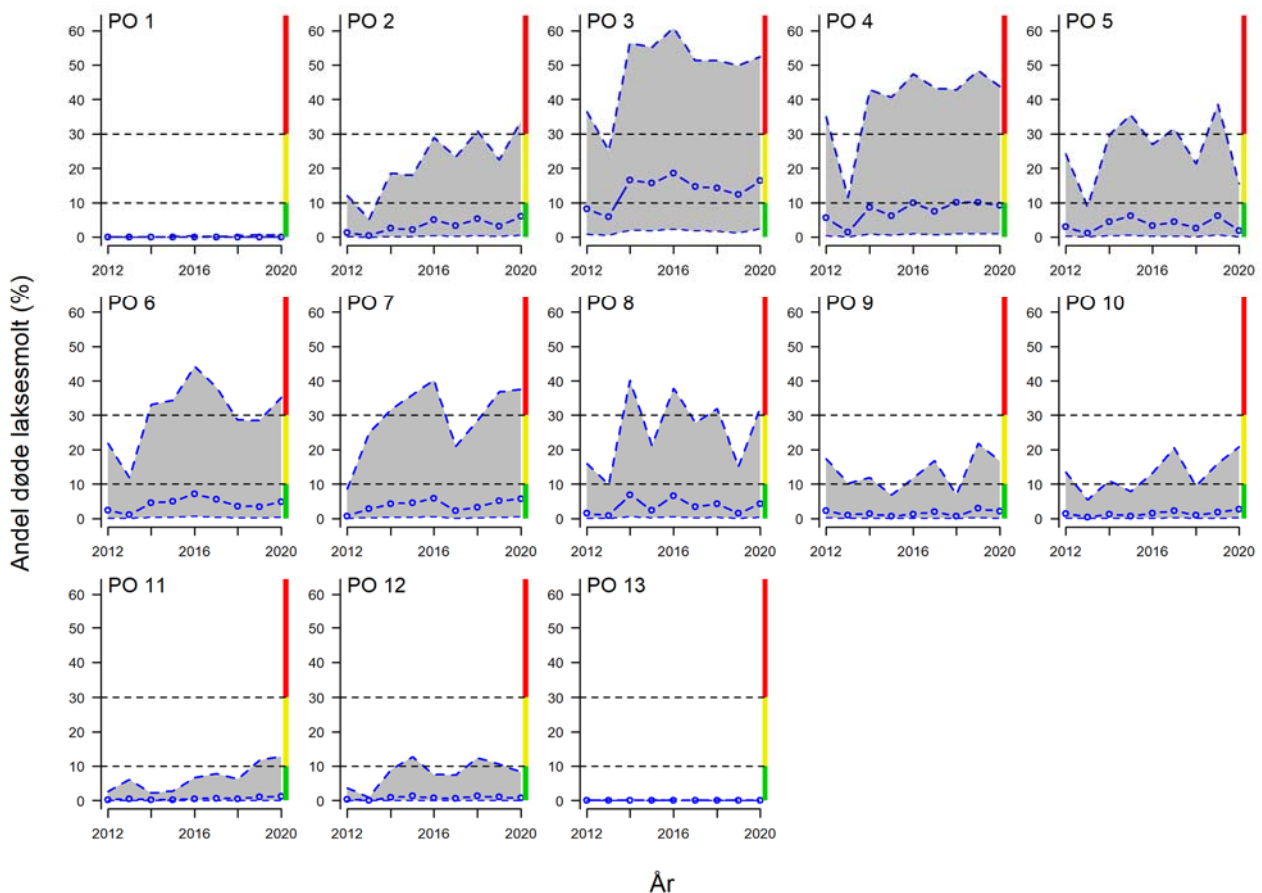
For produksjonsområde 5 var den forventede dødeligheten i årene 2014-2019 rundt 5 % mens dødeligheten i det verste scenarioet varierte rundt 30 %. Verdiene for 2020 er lavere enn for de seks årene før. De lave verdiene for 2020 kan delvis forklares ved at dødeligheten er lavest i partallsår i dette produksjonsområdet.

Også i produksjonsområdene 6, 7 og 8 har den forventede dødeligheten variert rundt 5 % og dødeligheten i det verste scenarioet rundt 30 % siden 2014. I produksjonsområde 6 var verdiene for det verste scenarioet over 30 % i årene 2014-2017 og 2020, i produksjonsområde 7 i årene 2014-2016 og 2019-2020, og i produksjonsområde 8 i partallsårene 2014, 2016, 2018 og 2020. Som i andre områder, er det usikkert i hvilken grad endringene mellom år skyldes statistiske tilfeldigheter eller underliggende trender.

For produksjonsområdene 9 og 10 har den forventede dødeligheten variert rundt 2 % og dødeligheten i det verste scenarioet rundt 10-20 % under hele perioden med ingen klar trend.

For produksjonsområde 11 er det indikasjoner på en økende trend, med forventet dødelighet over 1 % og dødelighet i det verste scenarioet over 10 % siden 2019.

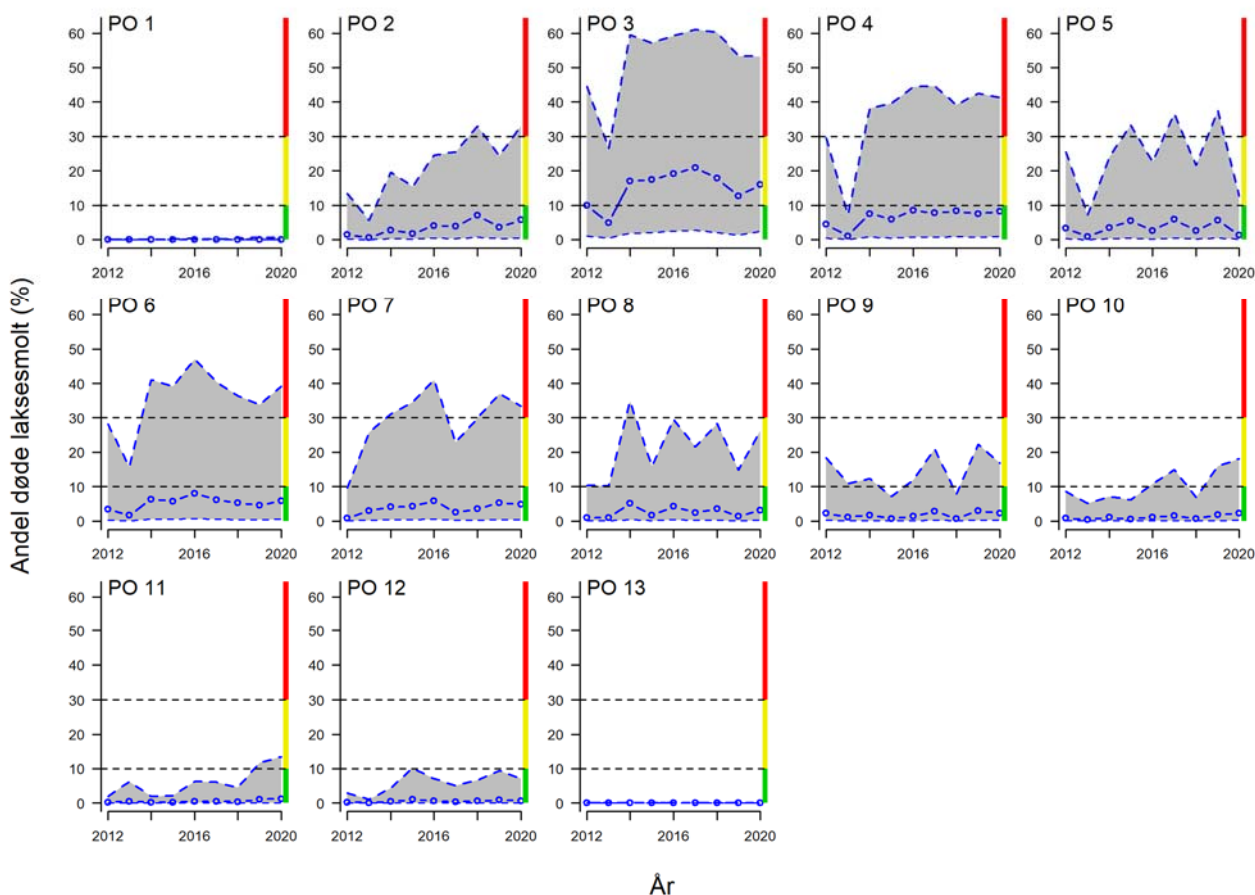
I produksjonsområde 12 har den forventede dødeligheten variert rundt 1 % og dødeligheten i det verste scenarioet rundt 10 % siden 2014 med ingen klar trend i denne perioden.



Figur 16. Beregnet luseindusert dødelighet (%) for hvert produksjonsområde og år. Gjennomsnittlig dødelighet i et område er regnet som gjennomsnitt over vassdrag, vektet i henhold til potensialet for smoltproduksjonen i hvert vassdrag. Beregningene er gjort for et forventet scenario (heltrukne blå linjer), i tillegg til et beste og verste scenario der lave og høye påslag er definert av tilfeldige effekter fra den statistiske smittemodellen (stiplede blå linjer). Høyre akse og horisontale stipla linjer viser dødelighetsgrensene brukt i trafikklssystemet.

Alternative utvandringstider

Bruk av alternative utvandringstider ga ingen store endringer i resultatene (Figur 17). Med de statistisk modellerte utvandringstidene ble estimert dødelighet marginalt lavere i produksjonsområder 3, 4 og 8 og marginalt høyere i produksjonsområde 6, men alle endringer var så små at de ikke ville hatt noen betydning for hovedkonklusjonene.



Figur 17. Beregnet luseindusert dødelighet (%) for hvert produksjonsområde og år med bruk av statistisk modellerte utvandringstider. Gjennomsnittlig dødelighet i et område er regnet som gjennomsnitt over vassdrag, vektet i henhold til potensialet for smoltproduksjonen i hvert vassdrag. Beregningene er gjort for et forventet scenario (heltrukne blå linjer), i tillegg til et beste og verste scenario der lave og høye påslag er definert av tilfeldige effekter fra den statistiske smittemodellen (stiplede blå linjer). Høyre akse og horisontale stiplede linjer viser dødelighetsgrensene brukt i trafikklssystemet.

Diskusjon

Denne rapporten presenterer en modell for risikovurdering (risikomodell) av luseindusert dødelighet hos vill laksesmolt i 13 produksjonsområder for oppdrettslaks langs kysten (oppdatert fra Kristoffersen mfl., 2018). I risikomodellen er det smittepresset av lus med opphav fra oppdrettsfisk, som bidrar til lusepåslaget på vill laksesmolt. Beregninger av lusepåslag og luseindusert dødelighet er gjort for i alt 401 vassdrag, for årene 2012 - 2020 for ulike beregnede utvandringstider og for scenarioer med erfaringsbaserte lave, midlere og høye lusepåslag relativt til beregnet smittepress. Presentasjonen av resultatene er delvis på aggregerte nivå, bestemt av produksjonsområdene, og delvis på enkeltvassdragsnivå. På bakgrunn av en rekke antagelser som er gjort med hensyn til ulike prosesser i hendelseskjeden i risikomodellen, er det viktig å presisere at usikkerheten i estimatene er store, noe som reflekteres i resultatene. Dermed bør en legge større vekt på hovedtrendene i resultatene. Her kan det nevnes at risikoen for luseindusert dødelighet av vill laksesmolt, slik dette er definert i risikomodellen, generelt avtar i de nordlige produksjonsområdene. Denne risikoen er også minimal for produksjonsområde 1, der det er liten og svært konsentrert oppdrettsvirksomhet. Tidstrendene viser at dette mønsteret har vært relativt stabilt over tid. Endelig synes vassdrag med lengst utvandningsrute gjennom oppdrettstette områder å gi størst risiko for luseindusert dødelighet hos vill laksesmolt. I det følgende diskuteres noen av usikkerhetene som vurderes som mest betydelige for resultatene.

Smittemodellen, som brukes til å beregne lusepåslag på utvandrende laksesmolt, er tilpasset sammenhengen mellom beregnet smittepress og lusepåslagene på fisk i bur. Ved siden av smittepress og eksponeringstid i bur, er det også en tilfeldig effekt i denne modellen. Den tilfeldige effekten fanger opp systematisk variasjon i lusepåslag på burfisk knyttet til området og tidsperioden burene har stått. I det vi kaller et forventet scenario tar vi ikke med den tilfeldige effekten. Vi bruker derimot den tilfeldige effekten til å modellere et beste og verste scenario, der best og verst representerer henholdsvis de 5 % laveste og 95 % høyeste påslagene av lus som er fanget opp av den tilfeldige effekten. Scenarioene representerer dermed erfaringsbasert variasjon i påslag, som ikke forklares av smittepress.

De tilfeldige effektene for de fleste områder og år faller på begge sider av null (Figur 1b); det er med andre ord i liten grad systematiske trender mellom områder eller år i den uforklarte variasjonen. Modellen ser også ut til å gi forventningsrette prediksjoner for årene 2019-2020, som ble holdt utenfor estimeringen for å undersøke prediksjonsevnen (Figur 2). Et unntak er imidlertid Sognefjorden, der modellen ser ut til å underestimere antallet lus på smolt. I dette området ligger de faktiske lusetallene rundt det verste scenarioet i modellen. En mulig forklaring på dette avviket er at luselarvene spres over større avstander enn i andre områder på grunn av topografien og strømmønsteret i Sognefjorden.

Ved å bruke en smittemodell som er utledet fra burfisk, antar vi at forholdet mellom smittepress og påslag av lus er likt for en utvandrende smolt og en fisk i bur. Det er mulig at den aktive svømmingen til en utvandrende fisk vil øke sannsynligheten for påslag. Hvis dette er tilfelle, underestimerer smittemodellen lusepåslaget på utvandrende fisk. Det er imidlertid også mulig at burfisken får høyere påslag enn utvandrende smolt, for eksempel ved at de er større enn den ville laksesmolten.

Tid for utvandring, utvandringrute og svømmehastighet er alle usikre størrelser i risikomodellen. Tidsrommet utvandringen foregår i er viktig, fordi smittepresset fra oppdrett generelt stiger markant fra tidene som angis som oppstart i vassdragsdatabasen og mot angitt sluttid for utvandring. Også svømmehastigheten er av stor betydning for hvor lenge fisken eksponeres for ulike smittepress. Sensitivitetsanalyser har vist at den beregnede luseinduserte dødeligheten hos smolt i produksjonsområde 3 ble omtrent doblet hvis utvandringstiden ble forskjøvet med 2 uker (Kristoffersen mfl., 2018). Forlenging av utvandringstiden eller reduksjon i svømmehastigheten hadde tilsvarende virkning på den beregnede dødeligheten. Bruk av alternative utvandringstider fra en statistisk modell for utvandringstider ga imidlertid ingen store endringer i resultatene (Figur 17). Utvandringruten kan i enkelte tilfeller ha stor betydning for om fisken passerer områder med høye smittepress eller ikke. Smittepresset, slik det beregnes i risikomodellen, er imidlertid relativt jevnt fordelt i lokale kystfarvann. Noe avvikende utvandringrute vil derfor være av begrenset betydning.

Definisjonen av smitteindusert dødelighet er en annen stor usikkerhetsfaktor (Kristoffersen mfl., 2018). I denne risikomodellen beregner vi påslagene av luselarver (kopepoditter) og antar skjematisk at et gitt antall påslatte larver medfører en gitt prosentvis dødelighet (som angitt i Tabell 1). Vi gjør ingen betraktninger rundt overlevelse av larvene frem til de mest patologiske stadiene; preadulte og adulte stadier. Dette siste forholdet går i retning av at vi overestimerer luseindusert dødelighet i risikomodellen. I tillegg gjør vi ingen betraktninger av hvilken effekt beregningen av luseindusert dødelighet vil ha på bestander av villaks. Det er imidlertid vist at risikomodellens sluttprodukt, beregnet dødelighet på vill laksesmolt, har forklaringskraft på observert innsig av gytefisk til norske elver (Vitenskapelig råd for norsk lakseforvaltning, 2019).

Denne rapporten presenterer en modell for kvantitativ risikovurdering av luseindusert dødelighet av utvandrende vill laksesmolt, der smitten har opprinnelse i oppdrett. Alle prosessene i kjeden av skisserte hendelser er gjennomsiktede og dokumenterbare, og vurderingene tar hensyn til varierende påslagsrater av kopepoditter og varierende utvandringstider. Dermed kan vi presentere estimater for luseindusert dødelighet hos vill laksesmolt fra 401 vassdrag i Norge for perioden 2012 til 2020 og vi kan kvantifisere viktige deler av usikkerheten i disse estimatene. Selv om de absolutte modellresultatene med hensyn til lusepåslag og luseindusert dødelighet er beheftet med store usikkerheter, mener vi at risikomodellen er egnet til å sammenligne utviklingen av risiko over år og se på regionale forskjeller.

Referanser

- Aldrin, M., Storvik, B., Kristoffersen, A.B., Jansen, P.A., 2013. Space-time modelling of the spread of salmon lice between and within Norwegian marine salmon farms. PLOS ONE 8, 6.
- Aldrin, M., 2016. Havforskningsinstituttets spredningmodell for kopepoditter validert mot burdata fra 2014. Norsk Regnesentral, SAMBA/15/16.
- Forseth, T., Barlaup B. T., Finstad, B., Fiske, P., Gjørseter, H., Falkegård, M., Hindar, A., Mo, T.A., Rikardsen, A.H., Thorstad, E.B., Vøllestad, L.A., Wennevik, V., 2017. The major threats to Atlantic salmon in Norway. ICES Journal of Marine Science, doi:10.1092/icesjms/fsx020.
- Guarracino, M., Qviller, L., Lillehaug, A., 2018. Evaluation of aquaculture management zones as a control measure for salmon lice in Norway. Dis Aquat Org, 130, 1-9.
- Kristoffersen, A. B., Jimenez, D., Viljugrein, H., Grøntvedt, R., Stien, A., Jansen, P. A., 2014. Large scale modelling of salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) infection pressure based on lice monitoring data from Norwegian salmonid farms. Epidemics, 9, 31-39.
- Kristoffersen, A.B., Qviller, L., Helgesen, K.O., Vollset, K.W., Viljugrein, H., Jansen P.A., 2018. Quantitative risk assessment of salmon louse-induced mortality of seaward-migrating post-smolt Atlantic salmon, Epidemics 23, 19-33.
- Kristoffersen, A.B., Qviller, L., Viljugrein, H., Helgesen, K.O., Jansen P.A., 2017a. Produksjon av lakselus i oppdrett, estimert lusepåslag og vurdering av luseindusert dødelighet for villaks innen produksjonsområder for oppdrettslaks. Veterinærinstituttet 2017, Rapport-8.
- Kristoffersen, A.B., Qviller, L., Viljugrein, H., Helgesen, K.O., Jansen P.A., 2017b. Risikomodel for kvantifisering av luseindusert dødelighet på villaks. Veterinærinstituttet 2017, Rapport-23.
- Nilsen, R., Serra, R.M.L., Sandvik, A.D., Elvik, K.M.S., Kjær, R., Karlsen, Ø., Finstad, B., Berg, M., Lehmann, G.B., 2019. Lakselusinfestasjon på vill laksefisk langs Norskekysten i 2019. Rapport fra havforskningen 2019-35.
- Nærings- og fiskeridepartementet, 2015. Forutsigbar og miljømessig bærekraftig vekst i norsk lakse- og ørretoppdrett. Meld. St. 16 (2014-2015)
- Stien, A., Bjørn, P.A., Heuch, P.A., Elston, D.A., 2005. Population dynamics of salmon lice *Lepeophtheirus salmonis* on Atlantic salmon and sea trout. Mar. Ecol. Prog. Ser. 290, 263-275
- Taranger, G. L., Karlsen, O., Bannister, R. J., Glover, K. A., Husa, V., Karlsbakk, E., Kvamme, B. O., Boxaspen, K.K., Bjørn, P. A., Finstad, B., Madhun, A. S., Morton, C., Svåsand, T. (2015). Risk assessment of the environmental impact of Norwegian Atlantic salmon farming. *ICES J. Mar. Sci.*, 72(3), 997-1021.
- Thorstad, E. B., Whoriskey, F., Uglem, I., Moore, A., Rikardsen, A. H., Finstad, B., 2012. A critical life stage of the Atlantic salmon *Salmo salar*: behaviour and survival during the smolt and initial post-smolt migration. J. Fish Biol. 81: 500 - 542.
- Ugedal, O., Barlaup, B., Finstad, B., Skaala, Ø., Sægrov, H., Vollset, K. V., 2019. Appendiks 1b: Utvandringstidspunkt for laksesmolt i Norge ved vurdering av lakselusindusert dødelighet på smolt av villaks. Appendiks til Ekspertgruppens hovedrapport 2019.
- Vitenskapelig råd for norsk lakseforvaltning, 2019. Status for norske laksebestander i 2019. Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr 12.
- Vose, D. (2000). Risk analysis. A quantitative guide. Chichester: John Wiley & Sons.

Vedlegg 1

Under er en lenke til tabeller med beregninger av lusepåslag og luseindusert dødelighet for vill laksesmolt fra 401 vassdrag fra NINA's vassdragsdatabase for årene 2012 til 2020. Kolonneforklaringene i tabellen er:

- Kolonne 1, År.
- Kolonne 2, ID: Vassdragsnummer i REGINE-systemet for hovedvassdrag (har ikke nummerert sidevassdrag i denne fila, selv om de kan ha egne nummer i REGINE-systemet). Det eneste stedet hvor denne lista avviker fra REGINE-systemet er for Norddalselva i Åfjord som vi har gitt vårt «eget» nummer 135.Zb, men som i REGINE-systemet er angitt sammen med Stordalselva 135.Z, siden de to vassdragene renner ut i flomålet på samme sted.
- Kolonne 3, Objektnavn: Navn på vassdraget. For de fleste vassdrag er en kortform benyttet. Navnet på vassdrag er ikke unikt, mens vassdragsnumrene er unike. Det kan finnes flere synonyme navn på samme vassdrag (lokale vil ikke oppfatte navnene som synonyme), det er litt tilfeldig hvilket navn som er brukt her.
- Kolonne 4, PO: Produksjonsområde
- Kolonne 5, Smp: Beregnet gjennomsnittlig smittepress som smolten eksponeres for under utvandring langs utvandningsruten ved midlere utvandningsdato
- Kolonne 6, lengde: Utvandningsdistanse fra elveutløp til hav
- Kolonne 7, Ant: Forventet antall lus per fisk ved midlere utvandningsdato for forventet scenario
- Kolonne 8, AntV: Forventet antall lus per fisk ved midlere utvandningsdato for verste scenario
- Kolonne 9, Død; Andel fisk beregnet til å dø av lusesmitte for forventet scenario
- Kolonne 10, DødV; Andel fisk beregnet til å dø av lusesmitte for verste scenario

Vedlegg 2

Under er en lenke med tabeller med beregnede lusepåslag og luseindusert dødelighet i alle produksjonsområder og år fra 2012 - 2020 (se Tabell 2 for forklaring; uvektet gjennomsnitt og vektet gjennomsnitt over vassdrag er markert med henholdsvis «.gj» og «.vgj» i slutten av kolonnenavnet).

Kolonneforklaringene i tabellen er:

- Kolonne 1, År.
- Kolonne 2, PO: Produksjonsområde
- Kolonne 3, Ant: Forventet antall lus per fisk ved midlere utvandningsdato for forventet scenario
- Kolonne 4, AntV: Forventet antall lus per fisk ved midlere utvandningsdato for verste scenario
- Kolonne 5, Døde.gj: Uvektet gjennomsnittlig dødelighet per vassdrag for forventet scenario
- Kolonne 6, DødeV.gj: Uvektet gjennomsnittlig dødelighet per vassdrag for verste scenario
- Kolonne 7, Døde.vgj: Gjennomsnittlig dødelighet per vassdrag for forventet scenario vektet med potensiell smoltproduksjon i vassdragene
- Kolonne 8, DødeV.vgj: Gjennomsnittlig dødelighet per vassdrag for verste scenario vektet med potensiell smoltproduksjon i vassdragene

Vedleggene finnes på nettsiden:

<https://www.vetinst.no/rapporter-og-publikasjoner/rapporter/2020/risikomodel-for-quantifisering-av-luseindusert-dodelighet-pa-villaks-for-2020/vedlegg-til-rapport-17-2020>

Frisk fisk



Sunne dyr



Trygg mat



Faglig ambisiøs, fremtidsrettet og samspillende - for én helse!



Veterinærinstituttet
— Norwegian Veterinary Institute

Oslo

Trondheim

Sandnes

Bergen

Harstad

Tromsø

postmottak@vetinst.no
www.vetinst.no