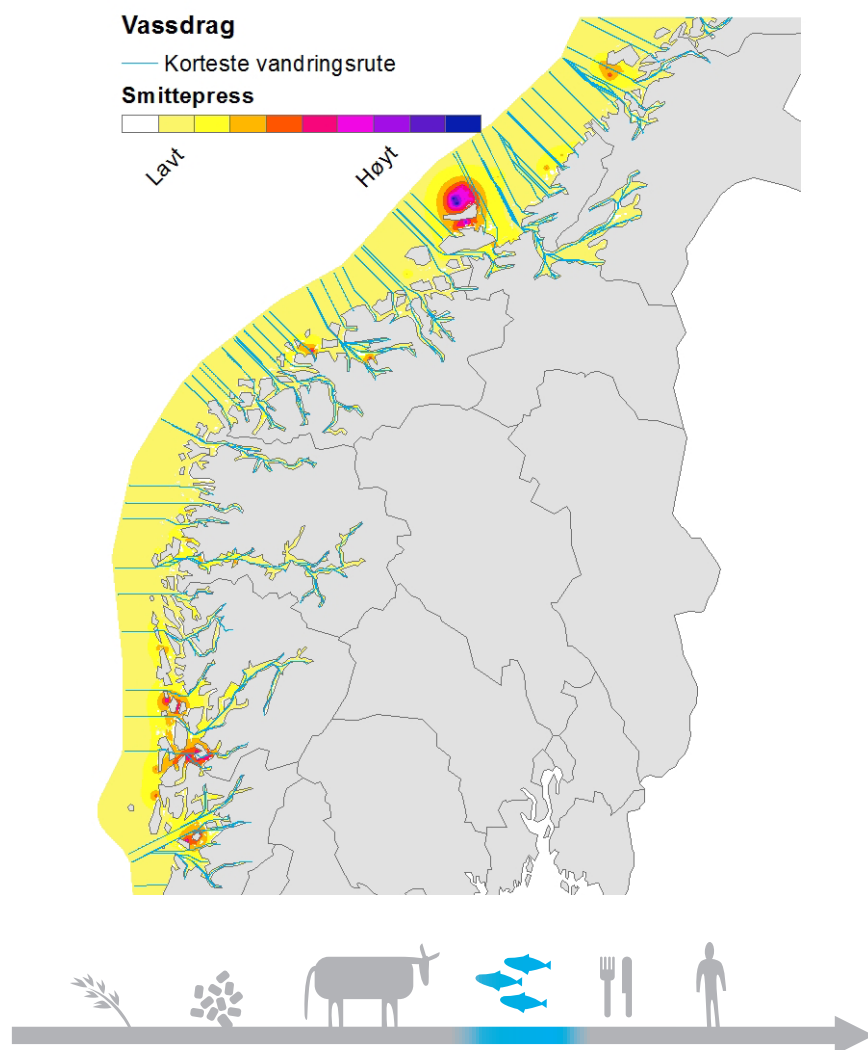


Produksjon av lakselus i oppdrett, estimert lusepåslag og vurdering av luseindusert dødelighet for villaks innen produksjonsområder for oppdrettslaks



Produksjon av lakselus i oppdrett, estimert lusepåslag og vurdering av luseindusert dødelighet for villaks innen produksjonsområder for oppdrettslaks

Innhold / Content

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

Forfattere

Anja Bråthen Kristoffersen, Lars Qviller,
Hildegunn Viljugrein, Kari O. Helgesen og Peder
A. Jansen

Oppdragsgiver

Nærings- og fiskeridepartementet

ISSN 1890-3290

Design omslag: Reine Linjer

Kart forside: Smittepresskart og korteste
vandringsvei for vill laksesmolt

© Veterinærinstituttet 2017 / © Norwegian
Veterinary Institute 2017

Sammenfatning

Denne rapporten beskriver et komplett modellsystem for risikovurdering av luseindusert dødelighet av utvandrende vill laksesmolt fra vassdrag innen 13 produksjonsområder for oppdrettslaks langs kysten, der smittepresset av lus som bidrar til lusepåslag har opphav fra oppdrettsfisk. Beregnede lusepåslag og luseindusert dødelighet er gjort for i alt 401 vassdrag, for årene 2014 - 2016, for ulike beregnede utvandringstider og endelig for scenarier med erfaringsbaserte lave, midlere og høye lusepåslag. Modellsystemet er utarbeidet som innspill til Ekspertgruppen som ble nedsatt i februar 2017 med mandat å vurdere lakselusindusert dødelighet på villaks i 13 produksjonsområder. De overordnede resultatene fra risikovurderingen er at sannsynlighetene for luseindusert dødelighet av vill laksesmolt, slik dette er definert i modellsystemet, generelt avtar i de nordlige produksjonsområdene. Denne sannsynligheten er også minimal for produksjonsområde 1, der det er liten oppdrettsvirksomhet. Videre, var det generelt større sannsynlighet for luseindusert dødelighet i 2016 enn i de tidligere årene. Endelig synes vassdrag med de lengste utvandningsrutene gjennom oppdrettstette områder å ha størst sannsynlighet for luseindusert dødelighet av vill laksesmolt. Selv om de absolutte modellresultatene med hensyn til lusepåslag og luseindusert dødelighet er beheftet med store usikkerheter, mener vi at modellsystemet er godt egnet til å sammenligne utviklingen av risiko over år og mellom produksjonsområder.

Innledning

Denne rapporten beskriver Veterinærinstituttets innspill til Ekspertgruppen som ble nedsatt i februar 2017, med mandat å vurdere lakselusindusert dødelighet på villaks i 13 produksjonsområder. Innspillet er basert på et modellsystem for risikovurdering av lusepåslag og luseindusert dødelighet av utvandrende vill laksesmolt fra 401 vassdrag. Hovedelementene som inngår i modellsystemet er 1. data om vassdragene, herunder beregnet potensial for produksjon av smolt og utvandringstider, opparbeidet av NINA (Forseth et al. 2017); 2. lusepåslagsdata fra burforsøk gjennomført i regi av Nasjonalt overvåkingsprogram for lakselus på vill laksefisk (Nilsen et al. 2017); og 3. beregnet smittepress fra oppdrett basert på Veterinærinstituttets avstandsbaserte smittepressmodell (Kristoffersen et al. 2014).

Det har vært et mål ved utviklingen av modellsystemet at alle prosesser som inngår i kjeden av skisserte hendelser, fra smitteproduksjon i oppdrett til smitteindusert dødelighet av vill laksesmolt, i størst mulig grad skal være utledet fra empiriske data. Imidlertid er store deler av den beskrevne hendelseskjeden i modellsystemet beheftet med store usikkerheter og få observasjoner, slik at man må foreta en rekke antakelser om hvordan gitte prosesser foregår. Av kritiske antakelser i dette modellsystemet 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

Modellsystemet omfatter en kjede av hendelser/prosesser som starter med produksjon av lakselusnauplier (larver) i oppdrett. Disse spres så pelagisk rundt i kystnære farvann. Naupliene utvikler seg gjennom to stadier til smittsomme copepoditter i henhold til temperaturavhengige utviklingsrater (Stien et al. 2005). Utvandrende vill laksesmolt utsettes for påslag av disse smittsomme copepodittene under sin vandring fra elveutløpene til oppvekstområdene i havet. Påslaget er lokalt avhengig av luseproduksjonen i området, og påslagsratene kan beregnes gjennom modellering av smittepress. Endelig vil et påslag av en gitt størrelsesorden medføre en overdødelighet blant laksesmolten.

Smittepress

Veterinærinstituttets deterministiske modell for produksjon og spredning av lakselus (smittepressmodellen) beregner relativ intensitet av lakseluslarver langs kysten på bakgrunn av rapporterte forekomster av kjønnsmodne hunner av lakselus i oppdrettslokaliteter, vanntemperatur og avstand til alle oppdrettsanlegg med hunnlus (Kristoffersen et al. 2014). Modellen brukes til å beregne påslag av lakselus på fisk i oppdrettsanlegg og på forsøksfisk som settes i bur (smoltbur) på gitt sted til gitt tid. Den kan også beregne lusepåslag på villfisk under forutsetning av at man antar 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 på hver oppdrettslokalitet, rapporterte gjennomsnittstall for kjønnsmodne hunnlus og vanntemperaturer, i en populasjonsdynamisk modell for å beregne reproduksjon og overlevelse av neste generasjons lakselus (Stien et al., 2005). Spredningsdelen beregner relativ risiko for infeksjon med neste generasjons lakselus som en funksjon av avstand til oppdrettslokalitetene (Aldrin et al., 2013).

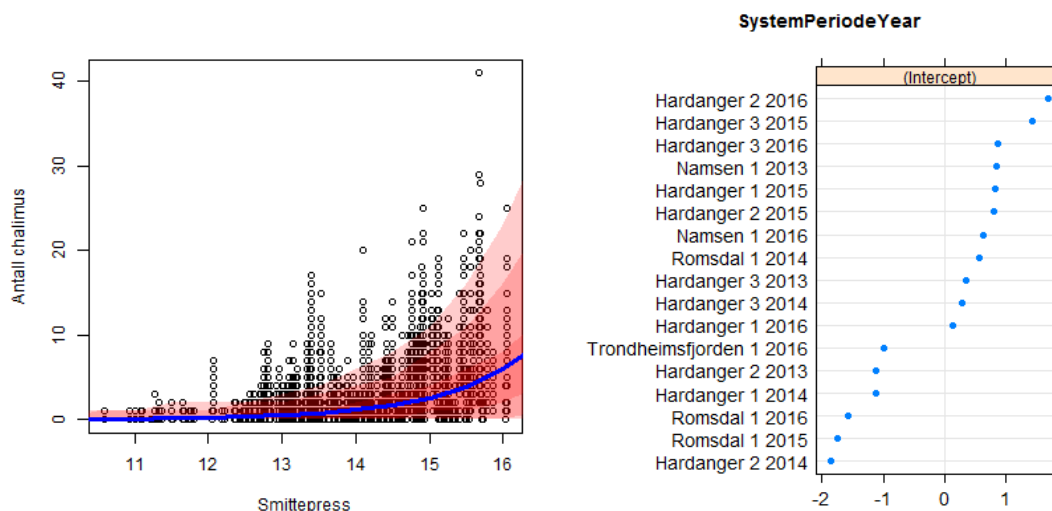
For å beregne påslag av lakselus på fisk til gitt tidspunkt brukes utviklingsrater, en fast dødsrate, samt tiden det tar en lakselus å finne en vert. Modellen kan ekstrapoleres videre gjennom utviklings- og dødsrater for å beregne hvordan smittepress fra reproduserende hunnlus bidrar kvantitativt til neste generasjons fastsittende lus, preadulte og adulte hunnlus, og adulte hunnlus, i tid og rom. Ukentlige smittepress som brukes til videre beregninger i modellsystemet operasjonaliseres gjennom kystdekkende rasterkart med 100 x 100 m pixelstørrelse (Datum: WGS84, sone 33N).

Modellen 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 et al., 2014; Aldrin, 2016).

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

For å vurdere risikoen for smitte av vill laksefisk med lus produsert i oppdrett, må beregnet smittepress relateres til sannsynlig påslag av lus på vill fisk. Til dette benyttes forsøksfisk som er satt i bur til kjente tider og steder (Nilsen et al., 2017). Veterinærinstituttets smittepress for en lokalitet (et bur) er et tall som er proporsjonalt med en avstandsvektet sum av antall egg produsert av alle kjønnsmodne hunnlus i alle omkringliggende oppdrettslokaliteter, tidsforskjøvet til det aktuelle lusestadiet vi ønsker å sammenligne med. Tidsforskyvningen baseres på døgngader, og inneholder dødelighetsestimater for de etterfølgende utviklingsstadiene av lus (Stien et al., 2005). For mer detaljert beskrivelse av beregningen av smittepress, se Kristoffersen et al. (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 eksponering mot et gitt smittepress over en gitt tid, slik at man kan beregne lusepåslag på en fisk som har vært eksponert mot smittepress i kjent tid og på kjent sted. Her har vi analysert påslag i burforsøk fra perioden 2013 - 2016. Analysen ble gjort i form av en regresjonsmodell (påslagsmodellen) der vi statistisk modellerte observert antall lus av fastsittende stadier (copepoditter og chalimus) på individuell fisk i burene. Videre har vi antatt at utviklingstiden fra påslag til preadult 1 stadiet er én uke i burforsøkene. Med bakgrunn i denne antakelsen, estimerte vi påslag av luselarver på burfisken per 7 dager. Påslagsmodellen ble kjørt med beregnet smittepress som forklaringsvariabel (Figur 1a), i tillegg til en tilfeldig effekt definert av område-periode-år (Figur 1b). Modellen hadde en negativ binominal variansstruktur med en estimert spredningsparameter ($\theta = 1,77$). Denne fordelingen blir benyttet til å simulere fordelingen av luselarver per fisk, gitt gjennomsnittlig forventete antall luselarver fra påslagsmodellen (Figur 1a).



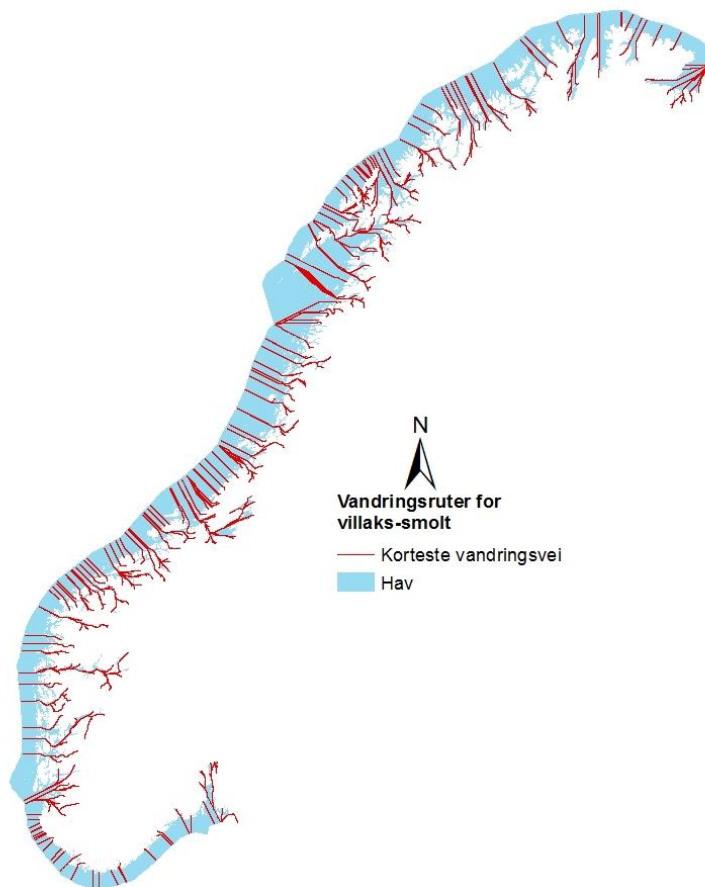
Figur 1a,b. Venstre panel (1a) angir antall lus av fastsittende stadier (copepoditter og chalmus) per fisk (runde punkt) plottet mot gjennomsnittlig smittepress over siste uke av hvert burforsøk i perioden 2013 - 2016. Blå linje angir forventet antall påslatte luselarver som funksjon av smittepress, der vi antar at de larvene som blir observert er mellom 0 og 7 dager gamle. Gjennomsiktige røde felt svarer til kvantiler når antall lus på 100000 laks er trukket tilfeldig fra en negativ binomial fordeling med theta fra påslagsmodellen, lysest området gir 1 til 99 % kvantilen, det mørkere gir 5 til 95 % kvantilen og mørkeste gir 25 til 75 % kvantilen. Høyre panel (1b) angir beregnet tilfeldig effekt knyttet til område-periode-år.

Den tilfeldige effekten i påslagsmodellen fra burforsøkene varierte mellom -1,85 og 1,69, uten at det var noen åpenbar kobling til tid og sted burforsøkene ble gjennomført. De tilfeldige effektene er antatt å være normalfordelt med en estimert varians, her estimert til 1,14. Dette ble brukt som sensitivitetsanalyse til å variere påslagsrate for ulike smittepress, i et beste og et verste scenario der påslaget er justert etter en faktor på $\pm 1,76$ (90 % konfidensintervall for tilfeldig effekt).

Beregning av lusepåslag og luseindusert dødelighet på utvandrende laksesmolt

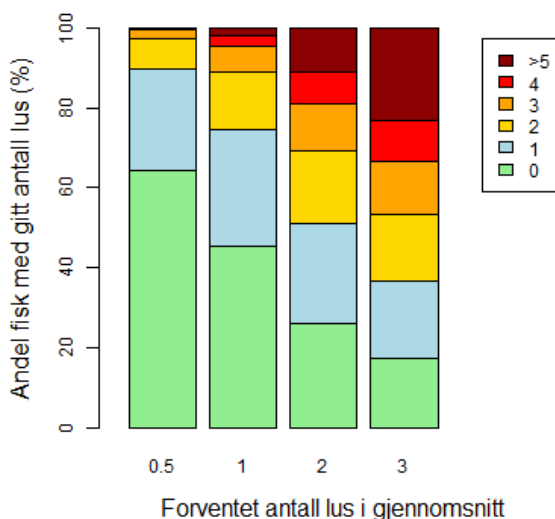
Til beregning av lusepåslag på laksesmolt benyttet vi resultatene fra den statistiske påslagsmodellen, antatt vandringsrute for smolten, samt rasterkart over smittepress. Vandringsruten ble antatt å være korteste vei fra elveutløp til 12-mils grense i hav (Figur 2).

For hvert av totalt 401 vassdrag i NINA's vassdragsdatabase (vassdragsdatabasen), antok vi da at utvandringstidspunktene korresponderte med beregnet uke for midlere utvandring (50 % utvandring). Som en sensitivitetsanalyse, antok vi også alternative utvandringstidspunkt, korresponderende med beregnet start- og slutt-uke for utvandring og uken der 25 % av smolten var angitt å ha vandret ut. Vi beregnet så forventet påslag av lus i hver pixel av rasterkartene med tidsjustert smittepress, fra utløp i sjø til 12-mils grensen i hav. Vandringshastigheten på fisken ble satt til 8.2 cm per sekund, som tilsvarer 4 ukers vandringsdistanse på 200 km (Thorstad et al., 2012). For hvert vassdrag ble smittepressene justert i tid, slik at de første 500 pixlene (100m^2) fra utløpet ble ekstrahert fra smittepress beregnet for uken der utvandringen ble antatt å begynne, de neste 500 pixlene fra uken etter startuken, og så videre. Endelig ble beregnet påslag for hver pixel summert opp til et forventet antall påslatte lakselus for hele utvandningsruten. Antall påslatte lakselus per fisk ble deretter simulert på en million fisk fra en negativ binomial fordeling med estimert gjennomsnitt og spredningsparameter fra påslagsmodellen.



Figur 2. 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 av antall påslåtte lus på villaksen som vandrer ut fra et gitt vassdrag. Figur 2 illustrerer sannsynlighetsfordelingene for ulike forventede antall påslåtte lus per fisk.



Figur 3. Andel av fisk som forventes å ha et lusepåslag på henholdsvis 0, 1, 2, 3, 4 eller >5 lus ved forventet gjennomsnittspåslag på 0.5, 1, 2 eller 3 lus.

Den endelige sannsynlighetsfordelingen av antall lus per fisk for hvert vassdrag (illustrert i Figur 3), og de tre ulike utvandringstidspunktene, ble brukt til å beregne dødelighet i henhold til Karlsen et al. (2016;

Tabell 4.2.1). Spesielt ble det da antatt at smolten veide 20 gram og dermed at fisk med påslag av mindre enn 2 lus ville overleve smitten, fisk med 2 - 3 lus hadde 20 % luseindusert dødelighet; fisk med 3 - 5 lus hadde 50 % luseindusert dødelighet; og fisk med 6 eller flere lus hadde 100 % luseindusert dødelighet. Beregningene ble også gjort for tre ulike tilfeldige effekter i påslagsmodellen (-1,76; 0; 1,76) og for fire ulike utvandringstidspunkt (start; 25 % utvandring; 50 % utvandring; slutt).

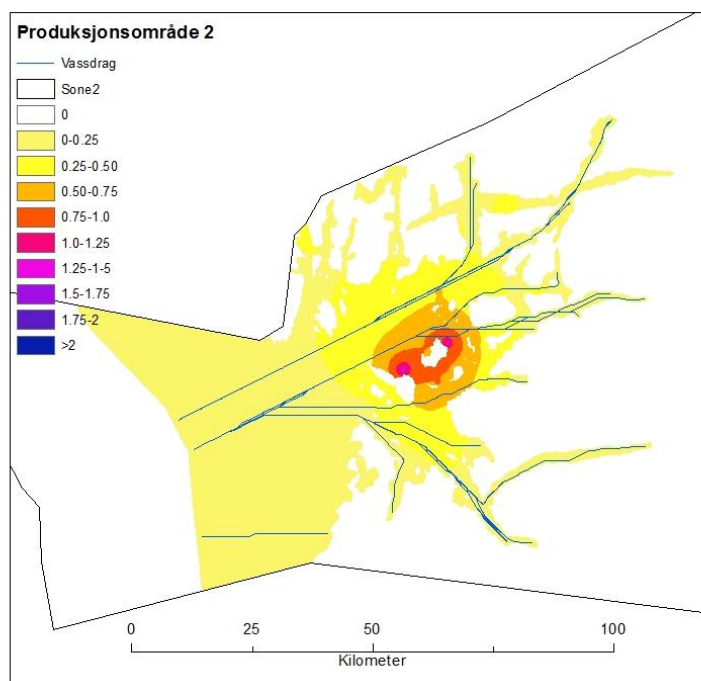
Vurdering av status i produksjonsområdene

Produksjonsområde 1: Svenskegrensen til Jæren

Produksjonsområde 1 omfatter 38 vassdrag i vassdragsdatabasen til NINA. Produksjonen av lakselus i oppdrett innen dette produksjonsområdet er svært lavt, og ingen av vassdragene er beregnet til å ha påslag som påvirker dødelighet av vill laksesmolt i området (Vedlegg 1).

Produksjonsområde 2: Ryfylke

Produksjonsområdet omfatter 18 vassdrag i vassdragsdatabasen (Figur 4). Beregnet dødelighet som følge av lusepåslag var lav i 2016. Legger man imidlertid til grunn relativt sen utvandring og høy påslagsrate kan beregnet dødelighet som følge av lusepåslag bli moderat for 2016 (Tabell 1). For tidligere år er imidlertid beregnet dødelighet lav (Vedlegg 2).



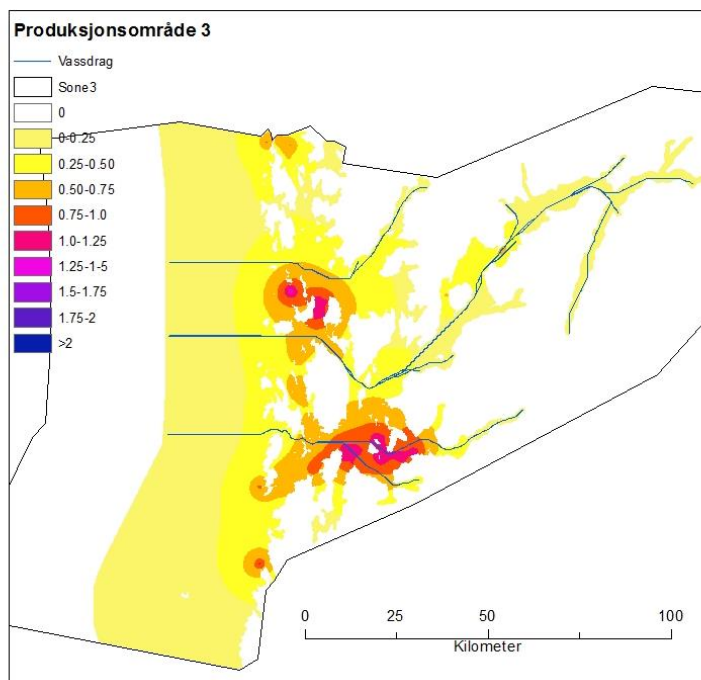
Figur 4. Kart som viser forventet antall lus som slår seg på fisk etter en ukes opphold på et gitt sted i produksjonsområde 2 i uke 21, som tilsvarer midlere oppholdstid for utvandrende laksesmolt i kystnære farvann for vassdrag som munner ut i området. Blå linjer angir korteste utvandningsvei for smolt fra vassdragene innen produksjonssonen.

Tabell 1. Beregninger av gjennomsnittlig antall påslåtte lakselus per fisk, gjennomsnittlig dødelighet for alle vassdrag og andel døde smolt relativt til smoltproduksjonspotensialet, innenfor produksjonsområde 2. Beregningene er gjort med smittepress synkronisert med start for utvandring av smolt, tid for 50 % utvandring (Utv50) og slutt på utvandring. Radene for beste og verste scenarier representerer relativt lave og høye påslag justert med tilfeldige effekter fra den statistiske smitte modellen.

	Start	Utv50	Slutt
Antall lus	0,3	0,35	1,27
Antall lus best	0,05	0,06	0,22
Antall lus verst	1,77	2,03	7,4
Beregnet død (prosent)	1,14	1,46	10,73
Beregnet død best	0,06	0,06	0,69
Beregnet død verst	16,46	19,42	56,69
Beregnet andel døde (prosent)	0,72	0,78	5,53
Beregnet andel døde best	0,03	0,04	0,33
Beregnet andel døde verst	10,65	11,32	37,09

Produksjonsområde 3: Karmøy til Sotra

Produksjonsområdet omfatter 12 vassdrag i vassdragsdatabasen (Figur 5). Området har de høyeste beregnede påslagene av lus, og derav også høyest beregnet luseindusert dødelighet, av alle produksjonsområdene. Beregnet gjennomsnittlig prosent dødelighet ved midlere utvandringstid var moderat (~16 %). Legger vi imidlertid til grunn høy påslagsrate eller sen utvandring var beregnet dødelighet høy (Tabell 2). Vassdragene med lengst vandringsrute innen området hadde de høyeste beregnede dødelighetene som følge av lusepåslag, av alle vassdragene som inngår i vassdragsdatabasen (Vedlegg 1).



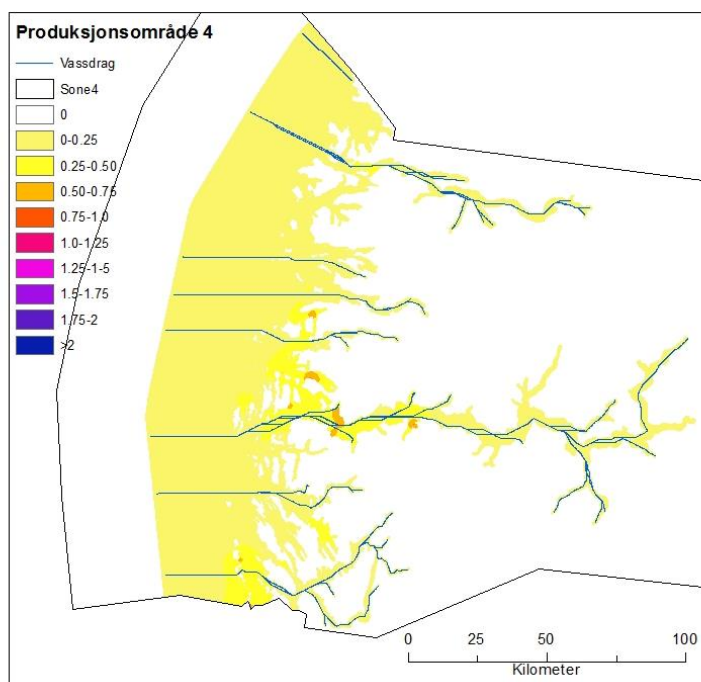
Figur 5. Kart som viser forventet antall lus som slår seg på fisk etter en ukes opphold på et gitt sted i produksjonsområde 3 i uke 21, som tilsvarer midlere oppholdstid for utvandrende laksesmolt i kystnære farvann for vassdrag som munner ut i området. Blå linjer angir korteste utvandningsvei for smolt fra vassdragene innen produksjonssonen.

Tabell 2. Beregninger av gjennomsnittlig antall påslåtte lakselus per fisk, gjennomsnittlig dødelighet for alle vassdrag og andel døde smolt relativt til smoltproduksjonspotensialet, innenfor produksjonsområde 3. Beregningene er gjort med smittepress synkronisert med start for utvandring av smolt, tid for 50 % utvandring (Utv50) og slutt på utvandring. Radene for beste og verste scenarier representerer relativt lave og høye påslag justert med tilfeldige effekter fra den statistiske smitte modellen.

	Start	Utv50	Slutt
Antall lus	0,76	1,77	5,15
Antall lus best	0,13	0,3	0,89
Antall lus verst	4,44	10,28	29,92
Beregnet død (prosent)	4,8	15,91	40,24
Beregnet død best	0,25	1,46	6,96
Beregnet død verst	43,59	56,01	82,63
Beregnet andel døde (prosent)	4,49	16,17	34,34
Beregnet andel døde best	0,24	1,62	6,34
Beregnet andel døde verst	40,94	51,97	76,61

Produksjonsområde 4: Nordhordaland til Stadt

Produksjonsområde 4 omfatter 40 vassdrag i vassdragsdatabasen (Figur 6). Beregnet dødelighet som følge av lusepåslag var lav i 2016, selv om dødeligheten var moderat for viktige vassdrag med utløp lengst inne i Sognefjorden (Vedlegg 1). Legger man imidlertid til grunn høy påslagsrate blir beregnet dødelighet som følge av lusepåslag moderat for 2016 (Tabell 3). For tidligere år er imidlertid beregnet dødelighet lav sammenlignet med beregningene for 2016 (Vedlegg 2).



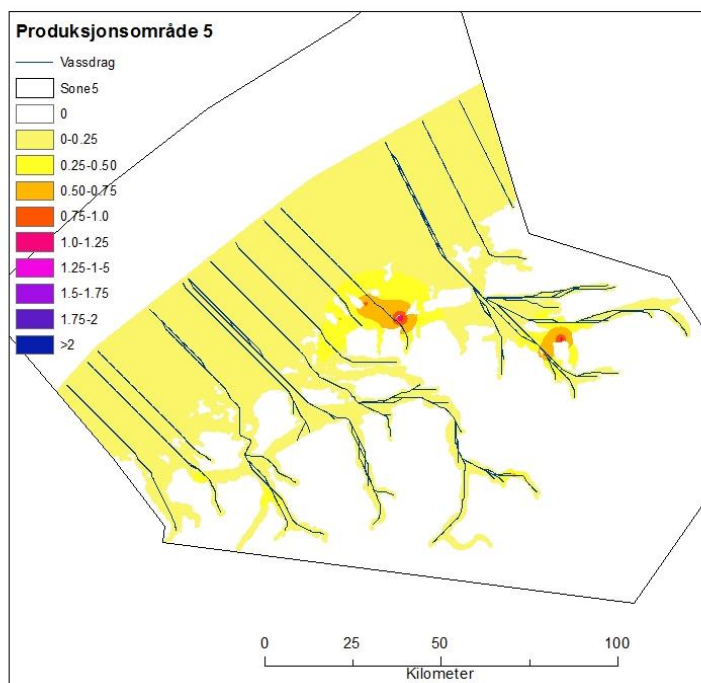
Figur 6. Kart som viser forventet antall lus som slår seg på fisk etter en ukes opphold på et gitt sted i produksjonsområde 4 i uke 21, som tilsvarer midlere oppholdstid for utvandrende laksesmolt i kystnære farvann for vassdrag som munner ut i området. Blå linjer angir korteste utvandningsvei for smolt fra vassdragene innen produksjonssonen.

Tabell 3. Beregninger av gjennomsnittlig antall påslåtte lakselus per fisk, gjennomsnittlig dødelighet for alle vassdrag og andel døde smolt relativt til smoltproduksjonspotensialet, innenfor produksjonsområde 4. Beregningene er gjort med smittepress synkronisert med start for utvandring av smolt, tid for 50 % utvandring (Utv50) og slutt på utvandring. Radene for beste og verste scenarier representerer relativt lave og høye påslag justert med tilfeldige effekter fra den statistiske smitte modellen.

	Start	Utv50	Slutt
Antall lus	0,26	0,52	1,36
Antall lus best	0,04	0,09	0,23
Antall lus verst	1,51	3	7,91
Beregnet død (prosent)	0,96	3,55	11,96
Beregnet død best	0,03	0,21	1,01
Beregnet død verst	13,3	23,38	46,8
Beregnet andel døde (prosent)	1,04	4,6	14,63
Beregnet andel døde best	0,03	0,29	1,29
Beregnet andel døde verst	13,95	27,11	52,11

Produksjonsområde 5: Stadt til Hustadvika

Produksjonsområde 5 omfatter 44 vassdrag i vassdragsdatabasen (Figur 7). Beregnet dødelighet som følge av lusepåslag var lav i 2016. Legger man imidlertid til grunn høy påslagsrate blir beregnet dødelighet som følge av lusepåslag moderat for 2016 (Tabell 4). For tidligere år er imidlertid beregnet dødelighet lav sammenlignet med beregningene for 2016 (Vedlegg 2).



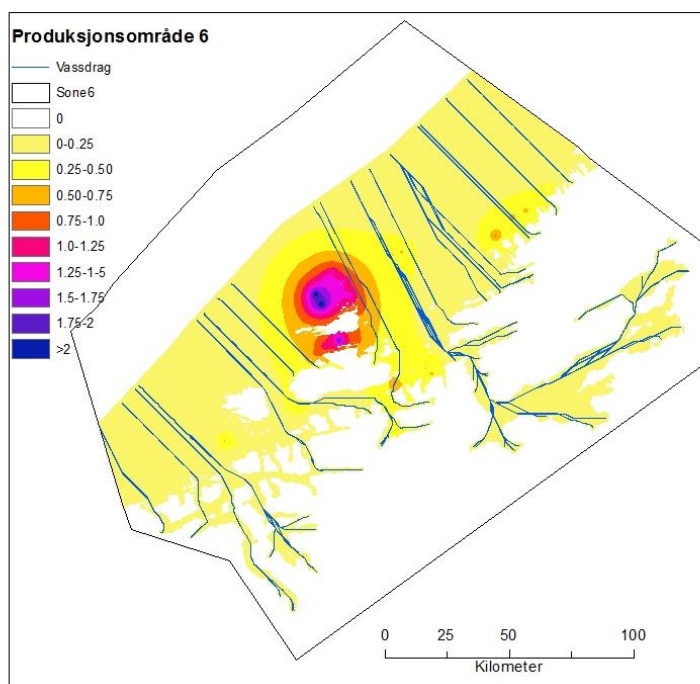
Figur 7. Kart som viser forventet antall lus som slår seg på fisk etter en ukes opphold på et gitt sted i produksjonsområde 5 i uke 21, som tilsvarer midlere oppholdstid for utvandrende laksesmolt i kystnære farvann for vassdrag som munner ut i området. Blå linjer angir korteste utvandningsvei for smolt fra vassdragene innen produksjonssonen.

Tabell 4. Beregninger av gjennomsnittlig antall påslåtte lakselus per fisk, gjennomsnittlig dødelighet for alle vassdrag og andel døde smolt relativt til smoltproduksjonspotensialet, innenfor produksjonsområde 5. Beregningene er gjort med smittepress synkronisert med start for utvandring av smolt, tid for 50 % utvandring (Utv50) og slutt på utvandring. Radene for beste og verste scenarier representerer relativt lave og høye påslag justert med tilfeldige effekter fra den statistiske smitte modellen.

	Start	Utv50	Slutt
Antall lus	0,21	0,23	0,47
Antall lus best	0,04	0,04	0,08
Antall lus verst	1,21	1,32	2,76
Beregnet død (prosent)	0,59	0,71	2,52
Beregnet død best	0,01	0,02	0,11
Beregnet død verst	9,78	11,19	26,41
Beregnet andel døde (prosent)	0,72	0,92	3,44
Beregnet andel døde best	0,03	0,03	0,16
Beregnet andel døde verst	11,32	13,68	32,02

Produksjonsområde 6: Nordmøre til Sør-Trøndelag

Produksjonsområde 6 omfatter 62 vassdrag i vassdragsdatabasen (Figur 8). Området hadde delvis høyt smittepress rundt utvandringstidene for vill laksesmolt, men dette påvirket ikke beregnete påslag nevneverdig fordi utvandningsrutene ikke overlappet med det høye smittepresset. Beregnet dødelighet som følge av lusepåslag var lav i 2016. Legger man imidlertid til grunn høy påslagsrate, blir beregnet dødelighet som følge av lusepåslag moderat for 2016 (Tabell 5). For tidligere år er imidlertid beregnet dødelighet lav sammenlignet med beregningene for 2016.



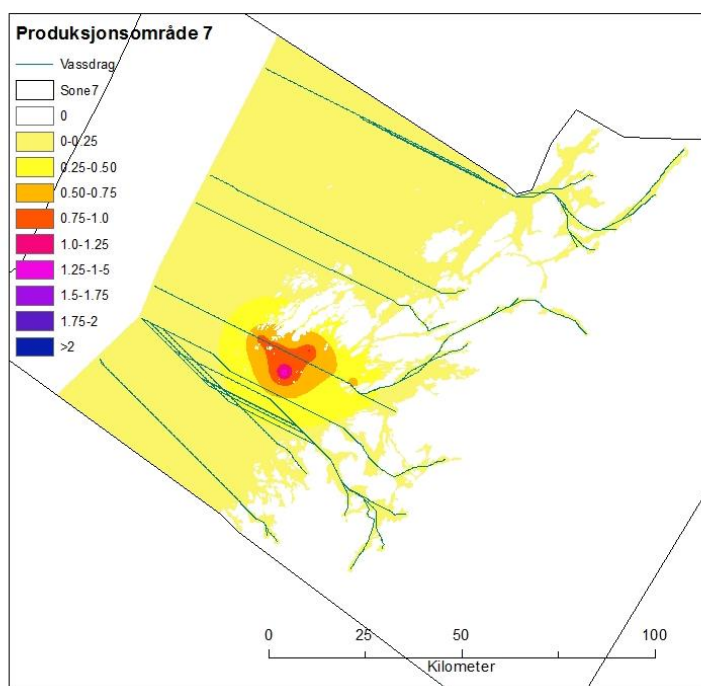
Figur 8. Kart som viser forventet antall lus som slår seg på fisk etter en ukes opphold på et gitt sted i produksjonsområde 6 i uke 21, som tilsvarer midlere oppholdstid for utvandrende laksesmolt i kystnære farvann for vassdrag som munner ut i området. Blå linjer angir korteste utvandningsvei for smolt fra vassdragene innen produksjonssonen.

Tabell 5. Beregninger av gjennomsnittlig antall påslåtte lakselus per fisk, gjennomsnittlig dødelighet for alle vassdrag og andel døde smolt relativt til smoltproduksjonspotensialet, innenfor produksjonsområde 6. Beregningene er gjort med smittepress synkronisert med start for utvandring av smolt, tid for 50 % utvandring (Utv50) og slutt på utvandring. Radene for beste og verste scenarier representerer relativt lave og høye påslag justert med tilfeldige effekter fra den statistiske smitte modellen.

	Start	Utv50	Slutt
Antall lus	0,34	0,44	0,83
Antall lus best	0,06	0,08	0,14
Antall lus verst	1,99	2,53	4,8
Beregnet død (prosent)	1,44	2,22	5,85
Beregnet død best	0,06	0,1	0,33
Beregnet død verst	18,85	24,06	42,48
Beregnet andel døde (prosent)	1,73	3,43	8,95
Beregnet andel døde best	0,08	0,17	0,53
Beregnet andel døde verst	22,64	33,87	56,01

Produksjonsområde 7: Nord-Trøndelag med Bindal

Produksjonsområde 7 omfatter 22 vassdrag i vassdragsdatabasen (Figur 9). Beregnet dødelighet som følge av lusepåslag var lav i 2016. Legger man imidlertid til grunn høy påslagsrate blir beregnet dødelighet som følge av lusepåslag moderat for 2016 (Tabell 6). For tidligere år er imidlertid beregnet dødelighet lav sammenlignet med beregningene for 2016 (Vedlegg 2).



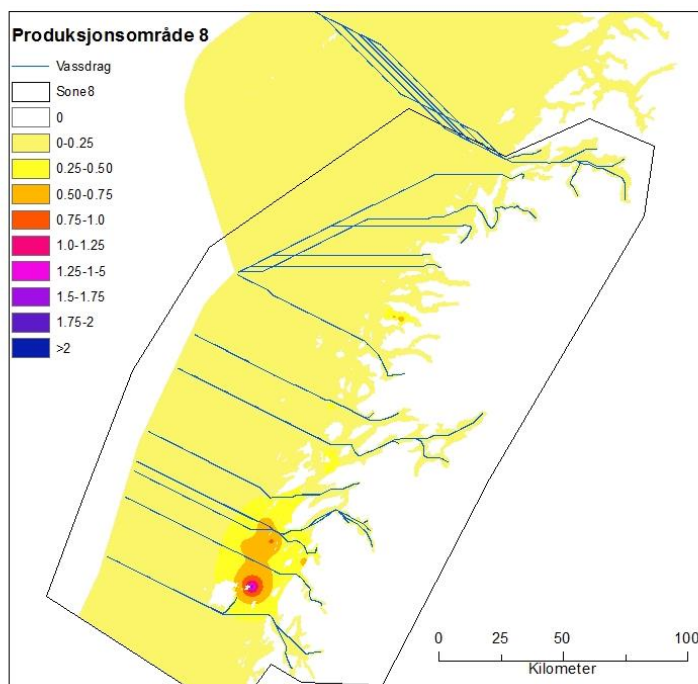
Figur 9. Kart som viser forventet antall lus som slår seg på fisk etter en ukes opphold på et gitt sted i produksjonsområde 7 i uke 22, som tilsvarer midlere oppholdstid for utvandrende laksesmolt i kystnære farvann for vassdrag som munner ut i området. Blå linjer angir korteste utvandningsvei for smolt fra vassdragene innen produksjonssonen.

Tabell 6. Beregninger av gjennomsnittlig antall påslåtte lakselus per fisk, gjennomsnittlig dødelighet for alle vassdrag og andel døde smolt relativt til smoltproduksjonspotensialet, innenfor produksjonsområde 7. Beregningene er gjort med smittepress synkronisert med start for utvandring av smolt, tid for 50 % utvandring (Utv50) og slutt på utvandring. Radene for beste og verste scenarier representerer relativt lave og høye påslag justert med tilfeldige effekter fra den statistiske smitte modellen.

	Start	Utv50	Slutt
Antall lus	0,18	0,31	0,64
Antall lus best	0,03	0,05	0,11
Antall lus verst	1,05	1,82	3,7
Beregnet død (prosent)	0,6	1,7	4,62
Beregnet død best	0,03	0,08	0,28
Beregnet død verst	8,75	15,8	29,96
Beregnet andel døde (prosent)	0,58	1,96	5,93
Beregnet andel døde best	0,01	0,1	0,32
Beregnet andel døde verst	8,99	22,78	47,99

Produksjonsområde 8: Helgeland til Bodø

Produksjonsområde 8 omfatter 30 vassdrag (Figur 10). Beregnet dødelighet som følge av lusepåslag var lav i 2016 (Tabell 7), så vel som for tidligere år (Vedlegg 2).



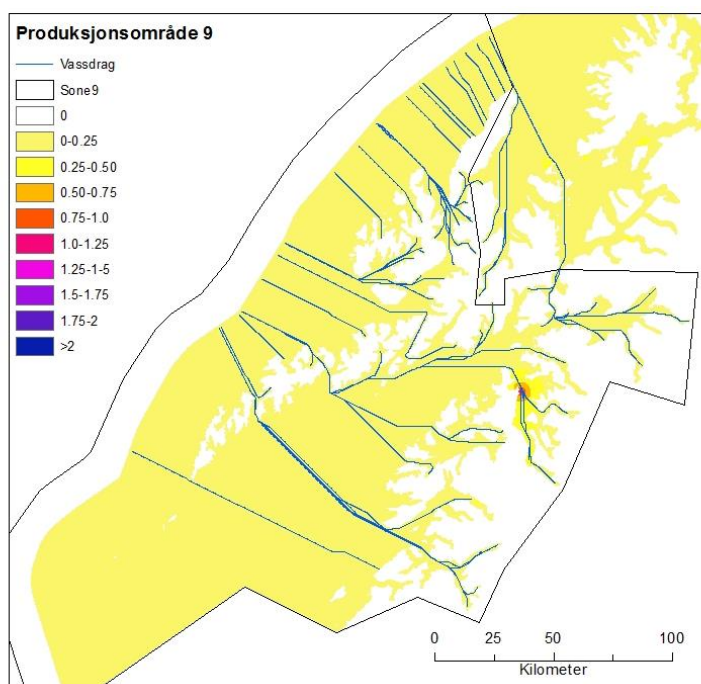
Figur 10. Kart som viser forventet antall lus som slår seg på fisk etter en ukes opphold på et gitt sted i produksjonsområde 8 i uke 25, som tilsvarer midlere oppholdstid for utvandrende laksesmolt i kystnære farvann for vassdrag som munner ut i området. Blå linjer angir korteste utvandningsvei for smolt fra vassdragene innen produksjonssonen.

Tabell 7. Beregninger av gjennomsnittlig antall påslåtte lakselus per fisk, gjennomsnittlig dødelighet for alle vassdrag og andel døde smolt relativt til smoltproduksjonspotensialet, innenfor produksjonsområde 8. Beregningene er gjort med smittepress synkronisert med start for utvandring av smolt, tid for 50 % utvandring (Utv50) og slutt på utvandring. Radene for beste og verste scenarier representerer relativt lave og høye påslag justert med tilfeldige effekter fra den statistiske smitte modellen.

	Start	Utv50	Slutt
Antall lus	0,09	0,18	0,43
Antall lus best	0,01	0,03	0,07
Antall lus verst	0,52	1,07	2,48
Beregnet død (prosent)	0,17	0,56	2,41
Beregnet død best	0	0,02	0,12
Beregnet død verst	3,11	8,77	22,78
Beregnet andel døde (prosent)	0,37	1,18	6,09
Beregnet andel døde best	0	0,05	0,36
Beregnet andel døde verst	6,52	16,37	41,08

Produksjonsområde 9: Vestfjorden og Vesterålen

Produksjonsområde 9 omfatter 62 vassdrag i vassdragsdatabasen (Figur 11). Beregnet dødelighet som følge av lusepåslag var lav i 2016 (Tabell 8), så vel som for tidligere år (Vedlegg 2).



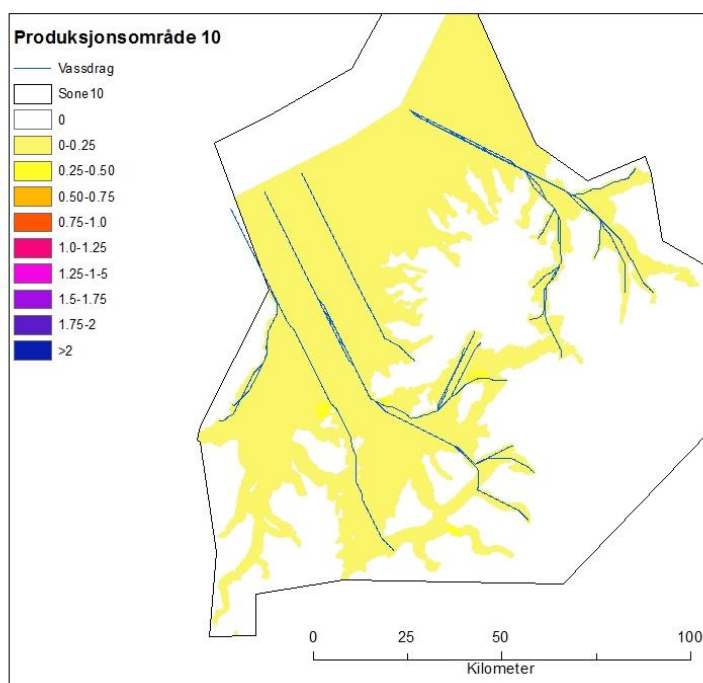
Figur 11. Kart som viser forventet antall lus som slår seg på fisk etter en ukes opphold på et gitt sted i produksjonsområde 9 i uke 25, som tilsvarer midlere oppholdstid for utvandrende laksesmolt i kystnære farvann for vassdrag som munner ut i området. Blå linjer angir korteste utvandningsvei for smolt fra vassdragene innen produksjonssonen.

Tabell 8. Beregninger av gjennomsnittlig antall påslåtte lakselus per fisk, gjennomsnittlig dødelighet for alle vassdrag og andel døde smolt relativt til smoltproduksjonspotensialet, innenfor produksjonsområde 9. Beregningene er gjort med smittepress synkronisert med start for utvandring av smolt, tid for 50 % utvandring (Utv50) og slutt på utvandring. Radene for beste og verste scenarier representerer relativt lave og høye påslag justert med tilfeldige effekter fra den statistiske smitte modellen.

	Start	Utv50	Slutt
Antall lus	0,02	0,07	0,15
Antall lus best	0	0,01	0,03
Antall lus verst	0,11	0,42	0,87
Beregnet død (prosent)	0,01	0,12	0,54
Beregnet død best	0	0	0,03
Beregnet død verst	0,28	2,5	7,02
Beregnet andel døde (prosent)	0,01	0,15	0,57
Beregnet andel døde best	0	0	0,03
Beregnet andel døde verst	0,41	3,03	8,19

Produksjonsområde 10: Andøya til Senja

Produksjonsområde 10 omfatter 20 vassdrag i vassdragsdatabasen (Figur 12). Beregnet dødelighet som følge av lusepåslag var lav i 2016 (Tabell 9), så vel som for tidligere år (Vedlegg 2).



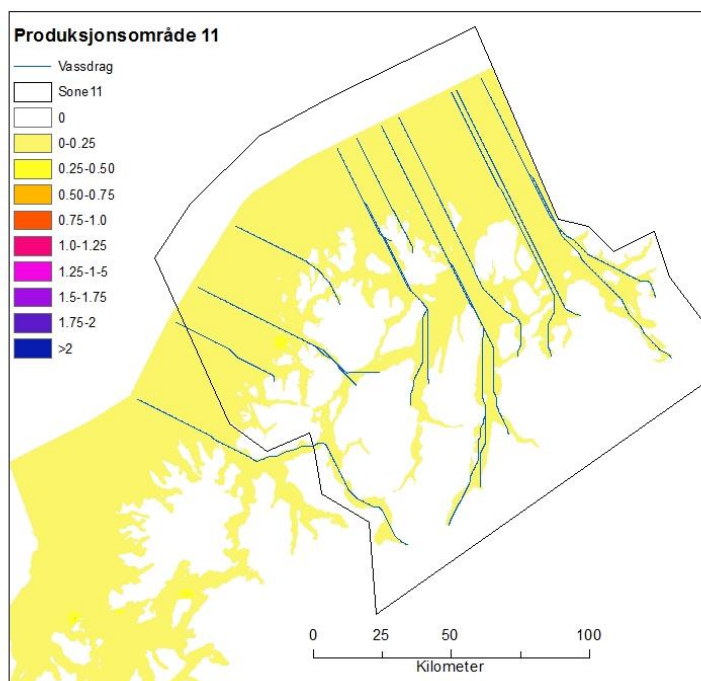
Figur 12. Kart som viser forventet antall lus som slår seg på fisk etter en ukes opphold på et gitt sted i produksjonsområde 10 i uke 25, som tilsvarer midlere oppholdstid for utvandrende laksesmolt i kystnære farvann for vassdrag som munner ut i området. Blå linjer angir korteste utvandningsvei for smolt fra vassdragene innen produksjonssonen.

Tabell 9. Beregninger av gjennomsnittlig antall påslåtte lakselus per fisk, gjennomsnittlig dødelighet for alle vassdrag og andel døde smolt relativt til smoltproduksjonspotensialet, innenfor produksjonsområde 10. Beregningene er gjort med smittepress synkronisert med start for utvandring av smolt, tid for 50 % utvandring (Utv50) og slutt på utvandring. Radene for beste og verste scenarier representerer relativt lave og høye påslag justert med tilfeldige effekter fra den statistiske smitte modellen.

	Start	Utv50	Slutt
Antall lus	0,05	0,12	0,18
Antall lus best	0,01	0,02	0,03
Antall lus verst	0,28	0,71	1,07
Beregnet død (prosent)	0,06	0,34	0,64
Beregnet død best	0	0	0,04
Beregnet død verst	1,45	5,57	9,39
Beregnet andel døde (prosent)	0,05	0,24	0,48
Beregnet andel døde best	0	0	0,02
Beregnet andel døde verst	1,2	3,98	7,1

Produksjonsområde 11: Kvaløya til Loppa

Produksjonsområde 11 omfatter 17 vassdrag i vassdragsdatabasen (Figur 13). Beregnet dødelighet som følge av lusepåslag var svært lav i 2016 (Tabell 10), så vel som for tidligere år (Vedlegg 2).



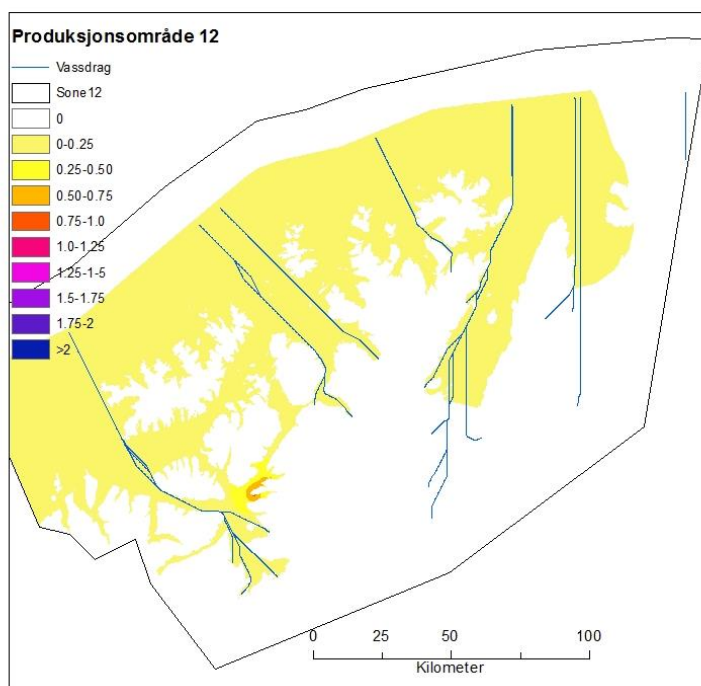
Figur 13. Kart som viser forventet antall lus som slår seg på fisk etter en ukes opphold på et gitt sted i produksjonsområde 11 i uke 27, som tilsvarer midlere oppholdstid for utvandrende laksesmolt i kystnære farvann for vassdrag som munner ut i området. Blå linjer angir korteste utvandningsvei for smolt fra vassdragene innen produksjonssonen.

Tabell 10. Beregninger av gjennomsnittlig antall påslåtte lakselus per fisk, gjennomsnittlig dødelighet for alle vassdrag og andel døde smolt relativt til smoltproduksjonspotensialet, innenfor produksjonsområde 11. Beregningene er gjort med smittepress synkronisert med start for utvandring av smolt, tid for 50 % utvandring (Utv50) og slutt på utvandring. Radene for beste og verste scenarier representerer relativt lave og høye påslag justert med tilfeldige effekter fra den statistiske smittemodellen.

	Start	Utv50	Slutt
Antall lus	0,01	0,03	0,06
Antall lus best	0	0,01	0,01
Antall lus verst	0,05	0,19	0,32
Beregnet død (prosent)	0	0,01	0,06
Beregnet død best	0	0	0
Beregnet død verst	0,04	0,55	1,5
Beregnet andel døde (prosent)	0	0	0,06
Beregnet andel døde best	0	0	0
Beregnet andel døde verst	0,06	0,69	1,66

Produksjonsområde 12: Vest-Finnmark

Produksjonsområde 12 omfatter 18 vassdrag i vassdagsdatabasen (Figur 14). Beregnet dødelighet som følge av lusepåslag var svært lav i 2016 (Tabell 11), så vel som for tidligere år (Vedlegg 2).



Figur 14. Kart som viser forventet antall lus som slår seg på fisk etter en ukes opphold på et gitt sted i produksjonsområde 12 i uke 25, som tilsvarer midlere oppholdstid for utvandrende laksesmolt i kystnære farvann for vassdrag som munner ut i området. Blå linjer angir korteste utvandningsvei for smolt fra vassdragene innen produksjonssonen.

Tabell 11. Beregninger av gjennomsnittlig antall påslåtte lakselus per fisk, gjennomsnittlig dødelighet for alle vassdrag og andel døde smolt relativt til smoltproduksjonspotensialet, innenfor produksjonsområde 12. Beregningene er gjort med smittepress synkronisert med start for utvandring av smolt, tid for 50 % utvandring (Utv50) og slutt på utvandring. Radene for beste og verste scenarier representerer relativt lave og høye påslag justert med tilfeldige effekter fra den statistiske smitte modellen.

	Start	Utv50	Slutt
Antall lus	0,01	0,03	0,02
Antall lus best	0	0	0
Antall lus verst	0,04	0,15	0,15
Beregnet død (prosent)	0	0,03	0,03
Beregnet død best	0	0	0
Beregnet død verst	0,09	0,67	0,64
Beregnet andel døde (prosent)	0	0,12	0,06
Beregnet andel døde best	0	0	0
Beregnet andel døde verst	0,74	2,7	1,07

Produksjonsområde 13: Øst-Finnmark

Produksjonsområde 13 omfatter 18 vassdrag. Smittepress ved utvandring av laksesmolt er 0 i hele Øst-Finnmark. Det vises derfor ikke kart eller data fra dette området.

Diskusjon

Denne rapporten presenterer et modellsystem for risikovurdering av luseindusert dødelighet av vill laksesmolt i 13 produksjonsområder for oppdrettslaks langs kysten. I modellsystemet er det smittepresset av lus med opphav fra oppdrettsfisk, som bidrar til lusepåslaget på vill laksesmolt. Beregnede lusepåslag og luseindusert dødelighet er gjort for i alt 401 vassdrag, for årene 2014 - 2016, for ulike beregnede utvandringstider og endelig for scenarier med erfaringsbaserte lave, midlere og høye lusepåslag. Presentasjonen av resultatene er delvis på aggregerte nivå, bestemt av produksjonssonene, og delvis på enkeltvassdragsnivå. På bakgrunn av en rekke antagelser som er gjort med hensyn til ulike prosesser i hendelseskjeden i modellsystemet, er det viktig å presisere at usikkerheten i estimatene er store, noe som reflekteres i resultatene. Det er imidlertid også verd å merke seg at en del av de større trendene i vurderingene er fornuftige. Her kan nevnes at sannsynlighetene for luseindusert dødelighet av vill laksesmolt, slik dette er definert i modellsystemet, generelt avtar i de nordlige produksjonsområdene. Denne sannsynligheten er også minimal for produksjonsområde 1, der det er liten oppdrettsvirksomhet. Videre, var det generelt større sannsynlighet for luseindusert dødelighet i 2016 enn i de tidligere årene. Endelig synes vassdrag med lengst utvandningsrute gjennom oppdrettstette områder å ha størst sannsynlighet for luseindusert dødelighet av vill laksesmolt. I det følgende diskuteres noen av usikkerhetene som vurderes som mest betydelige for resultatene.

For å beregne påslaget på vill laksesmolt benyttet vi påslagsmodellen som var tilpasset påslagsdata fra burforsøk, med en antagelse om at forholdene mellom smittepress og påslag er likt for en vandrende smolt og en fisk i bur. Det er mulig at den aktive svømmingen til en utvandrende fisk vil øke sannsynligheten for påslag i forhold til en mer passiv burfisk. Hvis dette er tilfelle, underestimerer påslagsmodellen lusepåslaget på utvandrende fisk.

Tid for utvandring, utvandningsrute og svømmehastighet er alle usikre størrelser i modellsystemet. Tiden der utvandringen foregår er viktig fordi smittepresset fra oppdrett generelt stiger markert fra tidene som angis som start og mot slutt for utvandring i vassdragsdatabasen. Utvandningsruten kan i enkelte tilfeller ha stor betydning i forhold til om fisken passerer områder med høye smittepress eller ikke, men generelt er smittepresset relativt jevnt fordelt slik at om fisken svømmer litt annerledes er det av begrenset betydning. Endelig er svømmehastigheten av stor betydning i forhold til hvor lenge fisken eksponeres for ulike smittepress.

Definisjonen av smitteindusert dødelighet er en annen stor usikkerhetsfaktor. I dette modellsystemet beregner vi påslagene av luselarver og antar skjematisk at et gitt antall påslåtte larver medfører en gitt prosentvis dødelighet. Vi gjør ingen betraktninger rundt overlevelse av larvene frem til de mest patologiske; preadulte og adulte stadier. Imidlertid må det nødvendigvis være en dødelighet av lus fra påslag til utvikling av bevegelige lusestadier, men av ukjent størrelsesorden. Dette forholdet går i retning av at vi overestimerer luseindusert dødelighet i modellsystemet. I tillegg, gjør vi ingen betraktninger av hvilken effekt beregningen av luseindusert dødelighet vil ha på bestander av villaks. Med denne bakgrunn er det klart at dødelighetskriteriene i modellsystemet er grovt forenklet og usikre.

Et mer beregningsteknisk forhold er at vi antar at copepoditter og chalimus- på fisken i burforsøkene er fra 0 - 7 dager gamle, og med dette skalerer vi påslagsmodellen til antall påslåtte lus per 7 dager. Alderssammensetningen av disse stadiene vil variere med temperatur (Stien et al. 2005). Siden burforsøkene er gjennomført under relativt jevne temperaturer, mener vi at antagelsen som ligger til grunn for påslagsmodellen ikke vil ha stor betydning for de relative forskjellene mellom beregningene for ulike vassdrag. De absolutte beregningene av påslag og luseindusert dødelighet vil imidlertid være sensitive for utviklingstidene frem til preadult stadium. Hvis, for eksempel, utviklingstiden i gjennomsnitt er lenger enn én uke, trekker dette i retning av at påslag og dødelighet er overestimert i denne rapporten. Vi vil justere alderssammensetningene av luselarver på burfiskene etter temperaturavhengige utviklingsrater i påslagsmodellen i fremtidige beregninger av modellsystemet.

Denne rapporten presenterer et komplett modellsystem for 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 copepoditter og varierende utvandringstider. Selv om de absolutte modellresultatene med hensyn til lusepåslag og luseindusert dødelighet er beheftet med store usikkerheter, mener vi at modellsystemet er godt 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 copepoditter validert mot burdata fra 2014. Norsk Regnesentral, SAMBA/15/16.
- Forseth, T., Barlaup B. T., Finstad, B., Fiske, P., Gjøsæter, 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.
- 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.
- Nilsen, Rune, Rosa Maria Serra-Llinares, Anne Dagrund Sandvik, Kristine Marit Schrøder Elvik, Lars Asplin, Pål Arne Bjørn, Ingrid Askeland Johnsen og Ørjan Karlsen (Havforskningsinstituttet); Bengt Finstad, Marius Berg og Ingebrigt Uglem (Norsk institutt for naturforskning); Knut Wiik Vollset og Gunnar B. Lehmann (UNI Research - Miljø), 2017. Lakselusinfestasjon på vill laksefisk langs norskekysten i 2016. Rapport fra havforskningen, Nr. 1 - 2017.
- 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
- Karlsen, Ø., Johnsen, I.A., Skarøhamar, J., Sandvik, A., Albretsen, J., Nilsen, R., Serra Llinares, R.M., Asplin, L., Skilbrei, O., Halttunen, E., Finstad, B., Berg, M., Taranger, G.L., Bjørn, P.A., 2016. Risikovurdering lakselus - 2015. I: Svåsand T., Karlsen, Ø., Kvamme, B.O., Stien, L.H., Taranger, G.L., Boxaspen K.K. (red.). 2016. Risikovurdering av norsk fiskeoppdrett 2016. Fisken og havet, særnr. 2-2016.
- E. B. Thorstad, F. Whoriskey, I. Uglem, A. Moore, A. H. Rikardsen, B. Finstad, 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.

Vedlegg 1

Under er et sett av 12 lenker til tabeller med beregninger av lusepåslag og luseindusert dødelighet for vill laksesmolt fra 401 vassdrag fra NINA's vassdragsdatabase. For hvert av årene 2014 - 2016, dekker 4 av lenkene beregninger som er synkronisert med start på utvandring, uke for 25 % utvandring, uke for 50 % utvandring og slutt på utvandring, hentet fra vassdragsdatabasen. Kolonneforklaringene i tabellen er:

- Kolonne 1, ID: Vassdragsnummer i REGINE-systemet for hovedvassdrag (har ikke nummerert sidevassdrag i denne fila, selv om de kan ha egne nummer i REGINE-systemet). 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 2, 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 3, PO: Produksjonsområde
- Kolonne 4, UtUke: Utvandringssuke angitt i NINA's vassdragsdatabase for gitte utvandringstid
- Kolonne 5, tidUt: Beregnet utvandringstid i uker, fra utløp til 12-milssone i hav
- Kolonne 6, Smp: Beregnet gjennomsnittlig smittepress smolten eksponeres for under utvandring langs utvandringstruten
- Kolonne 7, GjAnt: Forventet gjennomsnittlig antall lus som slår seg på smolten under utvandring
- Kolonne 8-9, AntB, AntV: Beste og verste scenario for påslag, justert etter 90 % konfidensintervall for tilfeldig effekt i påslagsmodellen
- Kolonne 10, Døde: Beregnet luseindusert dødelighet i prosent av utvandrende smolt (uavhengig av antall smolt som vandrer ut)
- Kolonne 11-12, DødB, DødV: Beste og verste scenario for luseindusert dødelighet, justert etter 90 % konfidensintervall for tilfeldig effekt i påslagsmodellen

<http://www.vetinst.no/rapporter-og-publikasjoner/rapporter/2017/produksjon-av-lakselus-i-oppdrett-estimert-lusepaslag-og-vurdering-av-luseindusert-dodelighet-for-villaks-innen-produksjonsomrader-for-oppdrettslaks/vedlegg-til-rapport-8-vassdragsberegninger>

Vedlegg 2

Under er et en lenke til tabeller som oppsummerer beregninger for av lusepåslag, beregnet gjennomsnittlig dødelighet for vassdrag og beregnet andel døde ville laksesmolt per produksjonsområde og for 2015 og 2014. For en nærmere beskrivelse av tabellene, se tabellforklaringene i hovedrapporten.

<http://www.vetinst.no/rapporter-og-publikasjoner/rapporter/2017/produksjon-av-lakselus-i-oppdrett-estimert-lusepaslag-og-vurdering-av-luseindusert-dodelighet-for-villaks-innen-produksjonsomrader-for-oppdrettslaks/vedlegg-til-rapport-8-vassdragsberegninger>