



Sammenheng lusemengde i
oppdrettsanlegg og luseindusert
dødelighet hos postsmolt av villaks

RAPPORT 30/2026

Sammenheng lusemengde i oppdrettsanlegg og luseindusert dødelighet hos postsmolt av villaks

Forfattere

Leif Christian Stige, Lars Erik Gangsei og Lars Qviller, Veterinærinstituttet

Foreslått referanse

Stige, L. C., Gangsei, L. E., Qviller, L. 2026. Sammenheng lusemengde i oppdrettsanlegg og luseindusert dødelighet hos postsmolt av villaks. Veterinærinstituttet rapport 30/2026.
©Veterinærinstituttet, kopi tillatt med henvisning

Kvalitetssikret av

Malin Jonsson, Seksjonsleder, Epidemiologi

Oppdragsgiver

Nærings- og fiskeridepartementet

Publisert

2026 på www.vetinst.no
ISSN 1890-3290 (elektronisk utgave)
© Veterinærinstituttet 2026

Kolofon

Forsidebilde: Colourbox
www.vetinst.no

Innhold

Sammendrag.....	3
Innledning.....	4
Materiale og metoder.....	5
Beregning av lusemengde og luseutslipp i oppdrettsanlegg	5
Beregning av luseindusert dødelighet.....	7
Sammenheng lusemengde og forventet luseindusert dødelighet	9
Sammenheng lusemengde og risiko for luseindusert dødelighet over 10 %.....	9
Sammenheng lusemengde og ekspertvurderinger av luseindusert dødelighet.....	10
Resultater.....	11
Sesongvariasjon i lusemengde og luseutslipp i oppdrettsanlegg	11
Sammenheng lusemengde og forventet luseindusert dødelighet	12
Sammenheng lusemengde og risiko for luseindusert dødelighet over 10 %.....	15
Sammenheng lusemengde og ekspertvurderinger av luseindusert dødelighet.....	17
Diskusjon.....	20
Sesongvariasjon	20
Sammenlikning mellom metoder	20
Usikkerhet i beregningene.....	21
Konklusjoner	22
Referanser.....	24

Sammendrag

Denne rapporten beskriver Veterinærinstituttets bidrag til kunnskapsgrunnlaget for å utarbeide råd om akseptabelt utslippsnivå av lakselus, som en oppfølging av Regjeringens havbruksmelding (Meld. St 24 2024-2025). Rapporten beregner sammenhengen mellom lusemengden i oppdrettsanlegg under utvandringstiden for postsmolt av villaks og hvor stor andel av postsmolten som dør av lakselus. Beregningene gjøres for hvert av dagens tretten produksjonsområder samt for en foreslått inndeling av norskekysten i 28 reguleringsområder. For hvert område anslås hvilken lusemengde i oppdrettsanlegg som gir 10 % dødelighet hos villaks, som er grensen for luseindusert dødelighet Regjeringen har foreslått som miljømål i en framtidig regulering av oppdrettsnæringen. Beregningene gjøres med Veterinærinstituttets virtuelle postsmoltmodell, som er en av modellene som brukes i ekspertvurderingene av luseindusert dødelighet i Trafikklyssystemet. I tillegg gjøres enklere beregninger basert på ekspertvurderingene av luseindusert dødelighet i produksjonsområdene i 2024 og 2025. Usikkerheten i beregningene tallfestes ved å vise sannsynlighetsfordelinger basert på den estimerte variasjonen i lusepåslag på postsmolt for et gitt beregnet smittepress samt ved å gjøre sensitivitetsanalyser for sentrale modellforutsetninger.

Innledning

Nærings- og fiskeridepartementet (NFD) ber i brev av 19. desember 2025 Havforskningsinstituttet (HI) om råd om akseptabelt utslippsnivå av lakselus som del av oppfølgingen av Meld. St 24 (2024-2025) Fremtidens havbruk (heretter: havbruksmeldingen). NFD ber i brevet om at HI involverer relevante forskningsinstitusjoner i arbeidet. I tildelingsbrevet til Veterinærinstituttet (VI) ber NFD om at VI skal bidra inn i arbeidet med oppfølgingen av havbruksmeldingen. Denne rapporten beskriver VIs bidrag til kunnskapsgrunnlaget for råd om akseptabelt utslippsnivå av lakselus, som forespurte i brevet til HI.

Som bakgrunn for bestillingen skriver NFD bl.a.: «I havbruksmeldingen skisserer departementet ulike alternativer for å regulere utslipp av lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*), med sikte på å nå miljømålet (en dødelighet på mindre enn 10 % på populasjoner av ville laksefisk grunnet lakselus alene). Konkret vurderes det å innføre en avgift på lakselusutslipp, eller et system med omsettbare utslippskvoter.» NFD ber om «en matematisk og helst kontinuerlig funksjon som viser hvilke ulike dødeligheter av villaks som følger ved ulike utslippsnivåer, herunder 10 %, men også høyere og lavere». NFD ber videre om «sannsynlighetsfordelinger, slik at en kan bedømme hvor stor risiko ulike avvik fra 10 % dødelighet medfører». Innspillet fra HI vil inngå i beslutningsgrunnlaget om fremtidig regulering av utslipp av lakselus. Vi vil i denne rapporten beregne slike funksjoner og sannsynlighetsfordelinger ved bruk av VIs virtuelle postsmoltmodell (Kristoffersen mfl. 2018, Stige mfl. 2022). Denne modellen er én av tre virtuelle postsmoltmodeller som ekspertgruppen i Trafikklyssystemet bruker i vurderingen av luseindusert dødelighet i produksjonsområdene (f. eks. Stige mfl. 2025b). Ved å gjøre beregningene som NFD etterspør med ulike modeller belyses noen av usikkerhetene som oppstår i beregningen av akseptabelt utslipp. Ekspertgruppens vurderinger er basert på en enhetlig vurdering av ulike modellresultater og overvåkningsdata og følger en standardisert metode for å strukturere ekspertvurderinger (SHELF-rammeverket, Oakley og O'Hagan 2019). Vi vil også gjøre beregninger av sammenhengen mellom luseutslipp og dødelighet som tar utgangspunkt i ekspertgruppens vurderinger.

Dagens regulering er basert på en inndeling av kysten i tretten produksjonsområder (produksjonsområdeforskriften, [FOR-2017-01-16-61](#)). NFD ber i bestillingen til HI om en vurdering av hensiktsmessig geografisk avgrensning av reguleringsområder. Det er i den sammenheng utarbeidet et forslag om en inndeling i 28 reguleringsområder (Sævik mfl. 2026). Beregningene i denne rapporten vil derfor gjøres både med utgangspunkt i dagens tretten produksjonsområder og reguleringsområdene foreslått av Sævik mfl. (2026). I rapporten vil vi bruke «område» som et generelt begrep for begge alternative inndelinger.

Havbruksmeldingen og bestillingen fra NFD tar som utgangspunkt at avgift eller kvoter beregnes for utslipp av lakseluslarver fra oppdrettsanlegg. Slike utslipp kan i praksis ikke måles direkte, men må beregnes utfra antallet voksne hunnlus og temperatur. Salinitet kan også påvirke utslippet (Johnson og Albright 1991). Beregningene i denne rapporten vil isteden for utslipp av luseklarver ta utgangspunkt i totalantall voksne hunnlus i oppdrettsanlegg. Grenseverdiene for lusemengde i oppdrettsanlegg vil da være uavhengig av temperatur og salinitet. Antall voksne hunnlus er også noe oppdrettere til en viss grad kan påvirke selv, mens utslipp av luseklarver i større grad er utsatt for utenforliggende påvirkninger. Vi vil imidlertid belyse sammenhenger mellom lusemengde og luseutslipp ved å beregne hvordan lusemengde og luseutslipp varierer gjennom sesongen.

Oppsummert er spørsmålsstillingene vi vil undersøke:

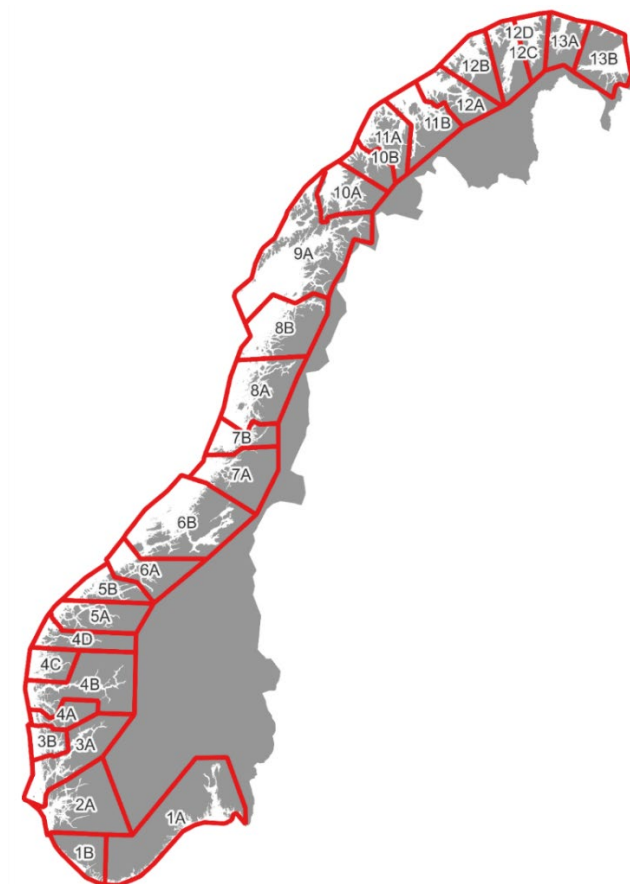
- (1) Hva er sesongvariasjonen i lusemengde og luseutslipp i oppdrettsanlegg?
- (2) Hva er sammenhengen mellom lusemengde i oppdrettsanlegg og forventet luseindusert dødelighet hos villaks beregnet med VIs virtuelle postsmoltmodell?
- (3) Hva er sammenhengen mellom lusemengde i oppdrettsanlegg og risikoen for luseindusert dødelighet hos villaks over 10 % beregnet med VIs virtuelle postsmoltmodell?
- (4) Hva er sammenhengen mellom lusemengde i oppdrettsanlegg og Ekspertgruppens vurderinger av luseindusert dødelighet hos postsmolt av villaks?

Materiale og metoder

Beregning av lusemengde og luseutslipp i oppdrettsanlegg

Reguleringsområder

Beregningene er gjort både med utgangspunkt i dagens tretten produksjonsområder ([FOR-2017-01-16-61](#)) og de 28 reguleringsområdene foreslått av Sævik mfl. (2026), som er underområder av produksjonsområdene. De foreslåtte reguleringsområdene er vist i figur 1.



Figur 1. Grensene for foreslåtte reguleringsområder (Sævik mfl. 2026). De foreslåtte reguleringsområdene tar utgangspunkt i de 13 etablerte produksjonsområdene, men gjør en ytterligere inndeling av disse.

Totalantall voksne hunnlus

Totalantall voksne hunnlus i oppdrettsanlegg i et reguleringsområde er regnet ut ved å gange rapportert antall hunnlus per fisk med antall fisk i hvert anlegg og summere over anlegg. Totalantall voksne hunnlus i laksens utvandringstid er gjennomsnittet av daglig beregnede tall. Data for voksne hunnlus per fisk er basert på ukentlig rapporterte tall til Mattilsynet, lineært interpolert til daglig skala. Data for antall laks og regnbueørret ved slutten av måneden er basert på tall rapportert til Fiskeridirektoratet ved slutten av hver måned, lineært interpolert til daglig skala. Ved start og slutt av produksjonssykluser er antall fisk lineært interpolert ned til null måneden før og etter og evt. manglende lusetall erstattet med tall fra nærmeste uke med rapportering. Manglende lusetall ved slutten av produksjonssykluser er forventet fordi luserapportering ikke er påkrevd de to siste ukene før slaktning ([FOR-2012-12-05-1140](#)). Evt. manglende lusetall ved starten av produksjonssykluser har liten betydning for utregningene fordi lusetallene da typisk er svært lave.

Utslipp av lusearver

Totalutslipp av lusearver fra oppdrettsanlegg er regnet ut ved å gange antall voksne hunnlus i hvert anlegg med beregnet produksjon av lusearver per hunnlus per døgn og summere over anlegg. Totalutslipp av lusearver i laksens utvandningsperiode er gjennomsnittet av daglig beregnede tall.

Temperaturen påvirker hvor mange lusearver hver hunnlus produserer gjennom ulike mekanismer, som eggenes utviklingstid, antallet egg per eggstreng og eggenes klekkesuksess (Samsing mfl. 2016). Havbruksmeldingen gir en funksjon for hvordan temperaturen påvirker larveproduksjonen som er basert på Stien mfl. (2005). VIs virtuelle postsmoltmodell bruker en annen funksjon, som også tar hensyn til temperaturavhengighet i antall egg per eggstreng og eggenes klekkesuksess (Stige mfl. 2022). Denne funksjonen ble valgt etter en utprøving av hvilke modellforutsetninger som gir best prediksjoner av lusepåslag på postsmolt av laks i vaktburforsøk (Stige mfl. 2021). Vi vil her gjøre beregninger av luseutslipp både med funksjonen til Stien mfl. (2005) som gjengitt i havbruksmeldingen og funksjonen til Stige mfl. (2021, 2022).

Havbruksmeldingen gir følgende funksjon for hvordan temperaturen (T , °C) påvirker produksjonen av lusearver per hunnlus per døgn (Meld. St 24 2024-2025, s. 76):

$$\text{Lusearver per hunnlus per døgn} = 0,17 \times (T + 4,28)^2$$

VIs virtuelle postsmoltmodell bruker følgende funksjon (Stige mfl. 2021, 2022):

$$\text{Eggutviklingstid} = (41,98 / (T - 10 + 41,98 \times 0,338))^2$$

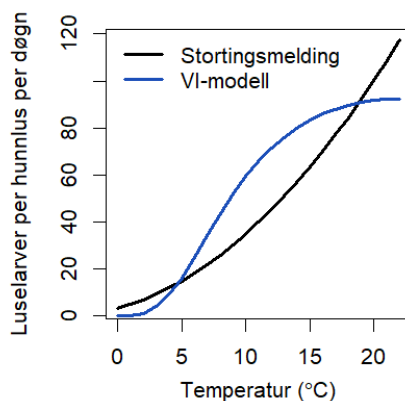
$$\text{Egg per eggstreng} = \exp(5,6 - 0,43 \times \ln(T / 10) - 0,78 \times (\ln(T / 10))^2)$$

$$\text{Klekke-rate} = \exp(-1,77 + 0,49 \times T) / (1 + \exp(-1,77 + 0,49 \times T))$$

$$\text{Lusearver per hunnlus per døgn} = 2 \times \text{Egg per eggstreng} \times \text{Klekke-rate} / \text{Eggutviklingstid}$$

De to funksjonene er vist i figur 2. Ved typiske norske sjøtemperaturer på rundt 9–10 grader i laksens utvandningsperiode gir VI-modellen høyere larveproduksjon enn funksjonen vist i stortingsmeldingen, mens det motsatte er tilfellet ved temperaturer under 5 eller over 18 grader.

Data for sjøtemperatur på tre meters dyp er basert på ukentlig rapporterte tall til Mattilsynet ([FOR-2012-12-05-1140](#)). Manglende og usannsynlige temperaturverdier (f. eks. samme rapporterte temperatur over mer enn fem uker) er erstattet med imputerte tall og verdiene er lineært interpolert til daglig skala.



Figur 2. Alternative funksjoner for hvordan produksjonen av lusearver per hunnlus per døgn avhenger av temperatur.

Utvandringsperioden for postsmolt av laks

Utvandringsperioden for postsmolt av laks følger utvandringsperioden som ekspertgruppen i Trafikklyssystemet forutsetter i vurderingen av luseindusert dødelighet i produksjonsområdene (f. eks. Stige mfl. 2025b).

Ekspertgruppen forutsetter en utvandringsperiode på 40 dager, definert med utgangspunkt i beregnede datoer for når 25 % av smolten har vandret ut fra hver elv (Vollset mfl. 2021). Vi definerer her utvandringsperioden for et reguleringsområde som perioden fra median startdato for bestandene i området til median sluttdato.

Utvandringsperiodene for reguleringsområdene er gitt i tabell 1.

Tabell 1. Utvandringsperiode i hvert reguleringsområde (13 produksjonsområder med 28 underområder).

Produksjonsområde	Startdato	Sluttdato	Underområde	Startdato	Sluttdato
1	25. apr.	4. juni	1A	27. apr.	6. juni
			1B	20. apr.	30. mai
2	23. apr.	2. juni	2A	23. apr.	2. juni
3	27. apr.	6. juni	3A	27. apr.	6. juni
			3B	24. apr.	3. juni
4	28. apr.	7. juni	4A	26. apr.	5. juni
			4B	29. apr.	8. juni
			4C	28. apr.	7. juni
			4D	29. apr.	8. juni
5	30. apr.	9. juni	5A	30. apr.	9. juni
			5B	1. mai	10. juni
6	4. mai	13. juni	6A	3. mai	12. juni
			6B	5. mai	14. juni
7	14. mai	23. juni	7A	12. mai	21. juni
			7B	15. mai	24. juni
8	19. mai	28. juni	8A	18. mai	27. juni
			8B	21. mai	30. juni
9	20. mai	29. juni	9A	20. mai	29. juni
10	25. mai	4. juli	10A	23. mai	2. juli
			10B	27. mai	6. juli
11	31. mai	10. juli	11A	30. mai	9. juli
			11B	1. juni	11. juli
12	10. juni	20. juli	12A	6. juni	16. juli
			12B	9. juni	19. juli
			12C	10. juni	20. juli
			12D	10. juni	20. juli
13	7. juni	17. juli	13A	9. juni	19. juli
			13B	7. juni	17. juli

Beregning av luseindusert dødelighet

Veterinærinstituttets virtuelle postsmoltmodell er beskrevet av Kristoffersen mfl. (2018) og Stige mfl. (2022), med modelloppdateringer og resultater beskrevet i årlige VI-rapporter (f.eks. Stige mfl. 2025a). Vi bruker her modellversjonen brukt i ekspertvurderingene av lakselusindusert dødelighet i 2025 (Stige mfl. 2025a,b).

Veterinærinstituttets virtuelle postsmoltmodell beregner hvor stor prosentandel av den utvandrende smolten fra hvert laksevassdrag som dør pga. lakselus, sett i forhold til hvor mange som ville overlevd uten en slik påvirkning. Risiko for dødelig luseinfestasjon modelleres stegvis fra lakselusas reproduksjon til påslag på utvandrende laksepostsmolt. Til slutt kvantifiseres risiko for at fisken dør på grunn av infestasjonen.

Steg 1, smittepressmodellen

Utslipp av luselarver beregnes basert på rapporterte lusetall, antall fisk og sjøtemperatur fra ukentlige rapporter fra oppdrettsanlegg langs kysten, som beskrevet i avsnittet «Utslipp av luselarver». Eggproduksjon, larvenes utviklingstider og overlevelse er basert på eksperimentelle studier som beskrevet av Stige mfl. (2021). Fra hvert anlegg spres larvene ut i vannmassene med avtakende konsentrasjon med økende sjøavstand (Kristoffersen mfl., 2014; Aldrin mfl., 2019; Stige mfl., 2021). Det resulterende smittepresset tar også hensyn til temperaturavhengighet i larvenes evne til å feste seg til laksepostsmolten.

Steg 2, påslagsmodellen

Påslagsmodellen benytter observerte lusepåslag på laksepostsmolt til å beregne antall lusepåslag per fisk per uke (påslagsrate) som en funksjon av smittepress. Her brukes både data for oppdrettede laksepostsmolt i vaktburforsøk og data for trålfanget vill laksepostsmolt med genetisk identifisering til opphavselv, altså hvilken elv fisken har vandret ut fra, til å finne sammenhengen mellom lusepåslag og hvilket smittepress postsmolten har vært utsatt for i perioden den har vært i sjøen. Funksjonen for påslagsrate tilpasses som en negativ binomial regresjonsmodell som tallfester hvor mange lus hver postsmolt får på seg avhengig av smittepresset og hvor mange dager postsmolten utsettes for smittepresset. Modellen beregner også forskjellen i påslagsrate mellom postsmolt i vaktbur og trålfanget postsmolt. Regresjonsmodellen brukes senere til å simulere lusepåslag på virtuelle postsmolt i postsmoltens utvandningsrute. Her kalibreres påslagsraten til nivået i tråldataene, siden disse mest direkte måler lusepåslaget på utvandrende vill laksepostsmolt. Regresjonsmodellen tallfester også hvor mye lusepåslagene varierer mellom produksjonsområder og år på grunn av andre faktorer enn det beregnede smittepresset. Denne variasjonen tallfestes som en såkalt tilfeldig effekt i modellen. Den tilfeldige område-år-effekten representerer variasjon i lusenivå mellom områder og år som ikke kan forklares av det beregnede smittepresset.

Steg 3, utvandningsmodellen

Her brukes påslagsmodellen til å beregne påslag på virtuelle postsmolt som vandrer ut fra alle vassdragene. Modellen beregner påslaget for hvert vassdrag på ulike tidspunkt; for hver dag fra utvandningsperiodens startdato til sluttdato. Det antas at postsmolten beveger seg korteste vei i sjøen fra elveutløp til hav, med en hastighet på 10 km per dag (Vollset mfl., 2016; Halttunen mfl., 2018). Langs sin vei oppholder den virtuelle postsmolten seg i det beregnede smittepresset i en antatt kjent tidsperiode, slik at akkumulerte påslag kan beregnes ved hjelp av påslagsmodellen.

Steg 4, dødelighetsmodellen

Utvandrings- og påslagsmodellen brukes så til å simulere lusepåslag på virtuelt utvandrende postsmolt, der antall lus per fisk er antatt negativ binomial-fordelt. Dødelighetsprognoser for 20 grams postsmolt (Taranger mfl., 2015) brukes videre til å beregne andel døde av de virtuelle postsmoltene. Ved å sette den tilfeldige område-år-effekten i påslagsmodellen til null beregnes en «mediandødelighet», som innebærer at det er like sannsynlig at dødeligheten er over som under den verdien. I tillegg beregnes dødelighet med ulike kvantiler av den tilfeldige effekten. Disse beregningene danner grunnlaget for en sannsynlighetsfordeling for dødelighet, som representerer fordelingen som følger av den uforklarte variasjonen i lusenivå mellom områder og år (se steg 2).

Steg 5, oppsummering

Dødelighet for virtuelle postsmolt som vandrer ut ved ulike datoer oppsummeres til en samlet gjennomsnittlig dødelighet for hele utvandningsperioden, basert på forutsetninger om hvor stor andel av postsmolten som

vandrer ut hver dag. Resultatene presenteres både på bestandsnivå og på områdenivå. På områdenivå beregnes et uvektet gjennomsnitt av den luseinduserte mediandødeligheten for bestandene i området, samt for sannsynlighetsfordelingen for dødelighet. For å belyse sensitiviteten til antakelsene for laksesmoltens utvandringstid og tålegrenser for lus gjøres sensitivitetsanalyser der utvandningsforløpet for hver elv forskyves med ± 10 dager og der tålegrensene endres til ca. det halve eller doble (se Stige mfl. 2025a).

Sammenheng lusemengde og forventet luseindusert dødelighet

For å beregne sammenhengen mellom lusemengde i oppdrettsanlegg og forventet luseindusert dødelighet hos villaks brukte vi følgende framgangsmåte:

- 1) For hvert område og år 2020–2025 regnet vi ut $x_{obs_{O,T}}$ = gjennomsnittlig lusemengde i oppdrettsanlegg under utvandningsperioden for villaks. «Område» er enten dagens tretten produksjonsområder eller de 28 foreslåtte reguleringsområdene. «Lusemengde» er totalantall voksne hunnlus i oppdrettsanlegg. Merk at «lusemengde» i de følgende punktene alltid viser til lusemengde i oppdrettsanlegg.
- 2) For hvert område laget vi så en skala med 20 verdier av lusemengde fra 0 til 1,5 ganger høyeste observerte verdi, $(x_{sim_{O,1}}, \dots, x_{sim_{O,20}}) = (0, \dots, 1,5 \times \max(x_{obs_{O,T}}))$. Hver verdi på skalaen representerer en lusemengde vi ønsker å simulere for i dette området.
- 3) For hvert område og år regnet vi ut hvilke verdier (multiplikasjonsfaktorer) den observerte lusemengden dette året ($x_{obs_{O,T}}$) må ganges med for å få de 20 verdiene av lusemengde vi ønsker å simulere for, $(f_{sim_{O,T,1}}, \dots, f_{sim_{O,T,20}}) = (x_{sim_{O,1}} / x_{obs_{O,T}}, \dots, x_{sim_{O,20}} / x_{obs_{O,T}})$.
- 4) For hvert område, år og simulerte lusemengde ($x_{sim_{O,SIM}}$) multipliserte vi lusepåslaget for hver virtuelle postsmolt med faktoren $f_{sim_{O,T,SIM}}$ og beregnet sannsynlighetsfordelingen for dødelighet for området. Sannsynlighetsfordelingen representerer dødeligheten som beregnes dersom den geografiske og sesongmessige fordelingen av lusepåslaget på virtuelle postsmolt var som beregnet for det gitte året, men faktoren $f_{sim_{O,T,SIM}}$ høyere eller lavere. En forutsetning for beregningen er at en økning eller minking i lusemengden i oppdrettsanlegg gir samme prosentvise endring i lusepåslaget på vill laksepostsmolt.
- 5) Ved å beregne mediandødeligheten for hver simulerte lusemengde for området, fikk vi en kurve for luseindusert dødelighet som funksjon av lusemengde for hvert område og år. Forskjeller mellom kurver beregnet med utgangspunkt i lusefordelingen for ulike år i et område gir en indikasjon på betydningen av variasjon mellom år i den geografiske og sesongmessige fordelingen av luseutslipp fra oppdrettsanlegg.
- 6) Vi beregnet også en sannsynlighetsfordeling for luseindusert dødelighet for hver simulerte lusemengde for området. Den beregnede sammenhengen mellom lusemengde og luseindusert dødelighet for hvert område blir litt ulik for hvert av årene 2020 til 2025 (se punkt 5). For hvert år og simulert lusemengde beregnet vi en sannsynlighetsfordeling for luseindusert dødelighet basert på den estimerte område-år-variansen i modellen (som beskrevet under steg 4 i *Beregning av luseindusert dødelighet*). Vi kombinerte så fordelingene fra de seks ulike årene til en samlet sannsynlighetsfordeling.
- 7) Basert på beregningene i punkt 6 får man sannsynlighetsfordelinger for luseindusert dødelighet som funksjon av lusemengde i området. Ut fra disse fordelingene beregnet vi 90 %-intervaller (fra 5- til 95-persentiler), 50 %-intervaller (fra 25- til 75-persentiler) og medianen for hver simulerte lusemengde. Dette presenteres i figurer med lusemengde på x-aksen og mediankurven for luseindusert dødelighet på y-aksen, med 50- og 90 %-intervallene som usikkerhetsbånd. Lusemengden som gir like stor sannsynlighet for luseindusert dødelighet over som under 10 % kan da leses av på x-aksen som den verdien hvor median dødelighet er 10 %.

Sammenheng lusemengde og risiko for luseindusert dødelighet over 10 %

For å beregne sammenhengen mellom lusemengde i oppdrettsanlegg og risiko for luseindusert dødelighet hos villaks over 10 % brukte vi følgende framgangsmåte:

- 1-4) Se *Sammenheng lusemengde og forventet luseindusert dødelighet*.
- 5) For hvert område og simulerte lusemengde ($x_{sim_{O,SIM}}$) regnet vi ut hvor stor andel av den samlede sannsynlighetsfordelingen for alle årene som er over 10 % dødelighet.

- 6) Vi gjorde også tilsvarende beregninger under alternative forutsetninger for laksesmoltens utvandringstid (± 10 dager) og tålegrenser for lus (ca. halvering eller dobling) for å vise sensitiviteten for disse modellforutsetningene.

Sammenheng lusemengde og ekspertvurderinger av luseindusert dødelighet

For et grovt anslag for hvilken lusemengde i oppdrettsanlegg som gir 10 % dødelighet i hvert produksjonsområde brukte vi følgende framgangsmåte:

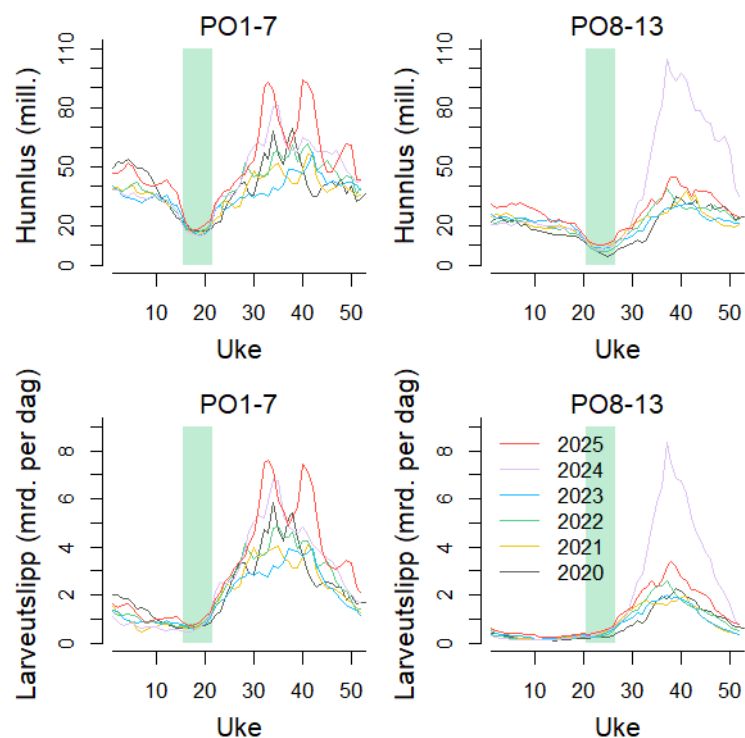
- 1) For hvert produksjonsområde og år 2024 eller 2025 regnet vi ut $x_{obs_{o,T}}$ = gjennomsnittlig lusemengde i oppdrettsanlegg under utvandringsperioden for villaks.
- 2) Vi fant også mediandødeligheten for produksjonsområdet og året ($d_{o,T}$) vurdert av Ekspertgruppe for vurdering av lusepåvirkning i Trafikklyssystemet (Stige mfl. 2025). For tidligere år enn 2024 angir ekspertgrupperapportene mediandødeligheten kun til kategori (<10, 10-30 eller >30 %).
- 3) Vi tilpasset en lineær regresjonslinje gjennom punktene og origo for hvert produksjonsområde:
$$d_{o,T} = k \times x_{obs_{o,T}} + \varepsilon_{o,T},$$
der k er en regresjonskoeffisient og $\varepsilon_{o,T}$ et normalfordelt støyledd.
- 4) Lusemengden som gir 10 % dødelighet ble beregnet som:

$$x_{o,10} = 10 / k$$

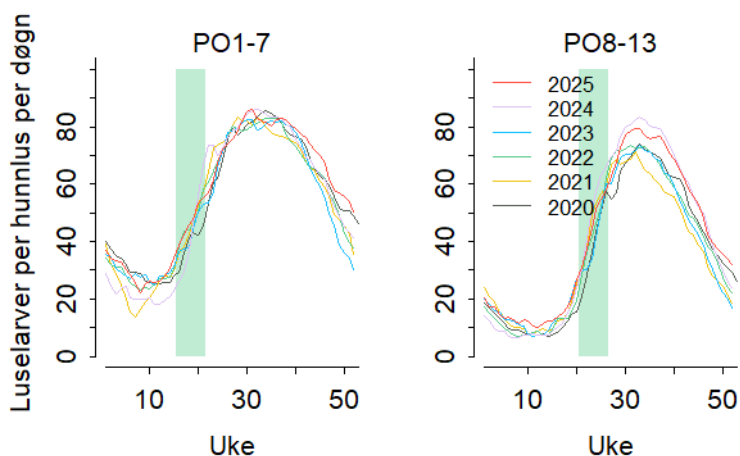
Resultater

Sesongvariasjon i lusemengde og luseutslipp i oppdrettsanlegg

Totalmengden voksne hunnlus i oppdrettsanlegg varierer gjennom året, med lavest nivå i ukene med lavere lusegrense om våren–sommeren og høyest nivå på seinsommeren og høsten (figur 3). Denne variasjonen er hovedsakelig drevet av variasjon i antall voksne hunnlus rapportert per oppdrettsfisk, mens totalt antall oppdrettsfisk er mer stabilt (ikke vist). Sesongvariasjonen i det totale utslippet av lakseluslarver fra oppdrettsanlegg skiller seg fra sesongvariasjonen i mengden hunnlus ved en større relativ økning utover sommeren og mindre endring fra vinter til vår. Forskjeller mellom sesongvariasjonen i mengde hunnlus og utslipp av lakseluslarver skyldes temperatureffekter på larveproduksjon per hunnlus (figur 4).



Figur 3. Sesongvariasjon i totalmengden voksne hunnlus (øverste paneler) og beregnede utslipp av lakseluslarver (nederste paneler) i produksjonsområde (PO) 1–7 (venstre paneler) og PO8–13 (høyre paneler). Ukene med lavere lusegrense er vist i lysegrønt (uker 16–21 i PO1–7 og uker 21–26 i PO8–13). Larveutslipp er beregnet med VI-modellens funksjon for larveproduksjon per hunnlus.



Figur 4. Sesongvariasjon i produksjon av lakseluslarver per hunn lus per døgn (nederste paneler) i produksjonsområde (PO) 1–7 (venstre paneler) og PO8–13 (høyre paneler). Ukene med lavere lusegrense er vist i lysegrønt (uker 16–21 i PO1–7 og uker 21–26 i PO8–13). Larveutslipp er beregnet med VI-modellens funksjon for larveproduksjon per hunn lus.

Sammenheng lusemengde og forventet luseindusert dødelighet

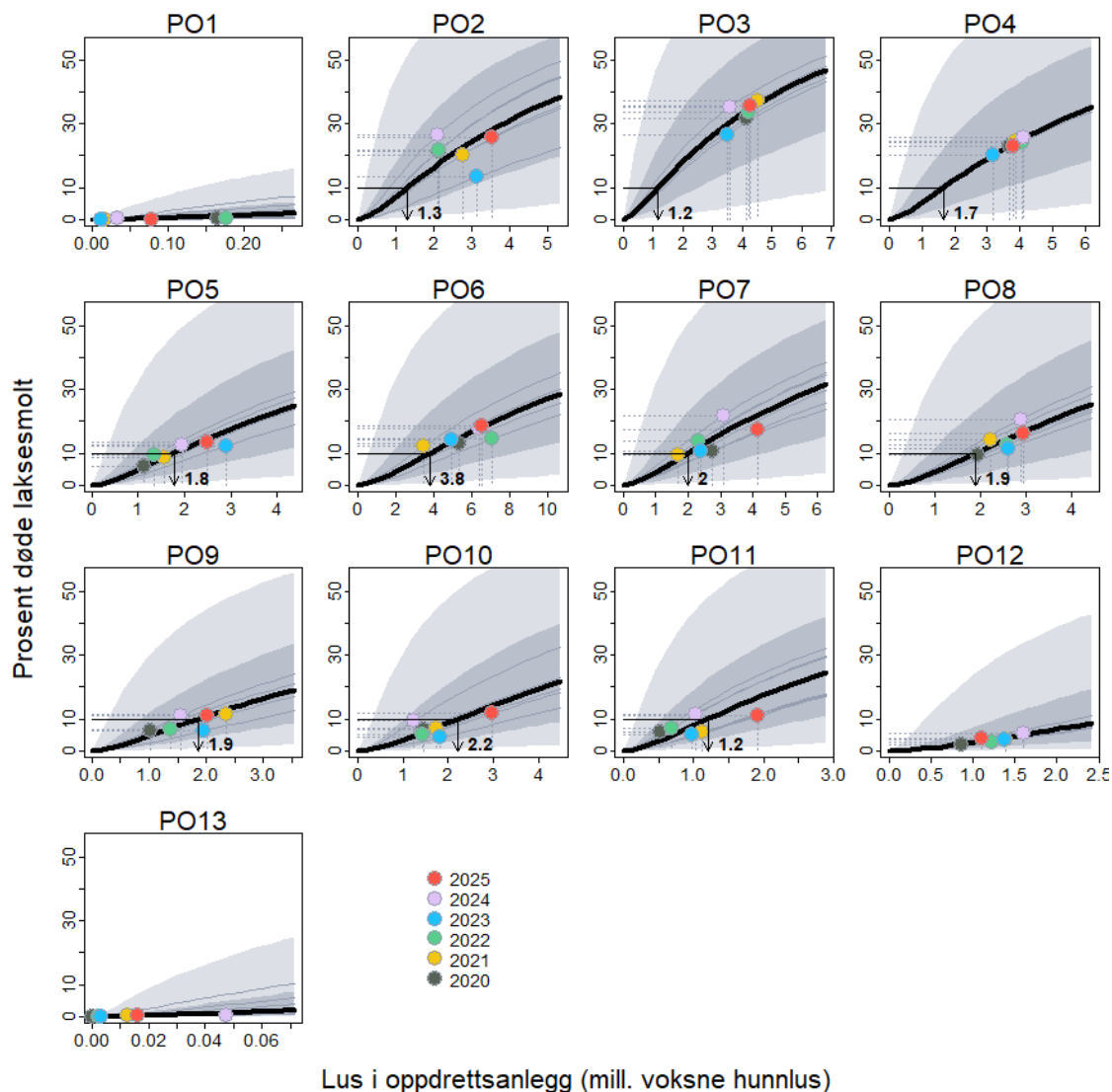
Beregningene tilsier at for å komme ned i 10 % luseindusert dødelighet hos postsmolt av villaks, må lusemengden i oppdrettsanlegg i PO2–4 og PO8 i laksens utvandningsperiode reduseres til et lavere nivå enn alle de siste seks årene (figur 5). I PO5–7 og PO9–11 er lusemengden som beregnes å gi 10 % dødelighet hos vill laksepostsmolt innenfor variasjonen fra disse årene, men lavere enn gjennomsnittet for de to siste årene (tabell 2). I PO1 og PO12–13 tilsier beregningene at lusemengden i oppdrettsanlegg i laksens utvandningsperiode kan økes med mer enn 50 % fra det høyeste nivået for denne perioden de siste seks årene. Vi vurderer da at usikkerheten er for stor til at vi kan gi et godt anslag for hvor mye lusemengden i oppdrettsanlegg kan økes før 10 % av vill laksepostsmolt dør av lakselus.

Figuren viser også ulike kilder til usikkerhet i beregningene. Sannsynlighetsfordelingene som er vist med grå bånd er et anslag for hvor mye luseindusert dødelighet kan variere mellom år for ulike nivåer av lusemengde i oppdrettsanlegg. Variasjonen kommer av to prosesser. Den første prosessen er betydningen av at beregninger er gjort med utgangspunkt i den geografiske og sesongmessige lusefordelingen for ulike år. Kurver basert på lusefordelingene i oppdrettsanlegg i laksens utvandningsperiode for hvert år er vist med tynnere grå linjer. Vi ser blant annet at PO2 gjennomgående har mer lus i oppdrettsanlegg i oddetallsår enn partallsår, uten at dette beregnes å gi høyere luseindusert dødelighet hos vill laksepostsmolt. Med lusefordelingen i oddetallsår er dermed lusemengden som beregnes å gi 10 % luseindusert dødelighet hos villaks høyere enn med lusefordelingen i partallsår. Lusemengden som beregnes å gi 10 % dødelighet basert på lusefordelingen i hvert enkelt år er vist i tabell 3.

Den andre prosessen som bidrar til variasjon er den erfaringsmessige variasjonen mellom områder og år i sammenhengen mellom beregnet smittepress og observert lusenivå på postsmolt av laks (tallfestet med den tilfeldige område-år-effekten i modellen). De grå båndene viser totalvariasjonen av begge prosessene. For de fleste produksjonsområdene er den erfaringsmessige variasjonen mellom områder og år i sammenhengen mellom beregnet smittepress og observert lusenivå som bidrar mest til totalvariasjonen.

Tilsvarende resultater for de 28 foreslåtte reguleringsområdene er vist i figur 6. For å komme ned i 10 % luseindusert dødelighet hos postsmolt av villaks, må lusemengden i oppdrettsanlegg i reguleringsområder 2A, 3A, 3B, 4A, 4B, 4D og 8A i laksens utvandningsperiode reduseres til et lavere nivå enn alle de siste seks årene (figur 6). I reguleringsområder 4C, 5A, 5B, 6A, 6B, 7A, 7B, 8B, 10A, 10B, 11A, 11B og 12A er lusemengden som beregnes å gi 10 % dødelighet hos vill laksepostsmolt innenfor variasjonen fra disse årene. For

reguleringsområde 12C beregnes det at lusemengden kan økes til 0,6 millioner voksne hunnlus. For reguleringsområder 1A, 1B, 12D, 13A og 13D har påvirkningen de siste seks årene vært for lav til at vi kan beregne hvilken lusemengde som gir 10 % luseindusert dødelighet hos villaks. I område 13A har det ikke vært oppdrettsaktivitet.

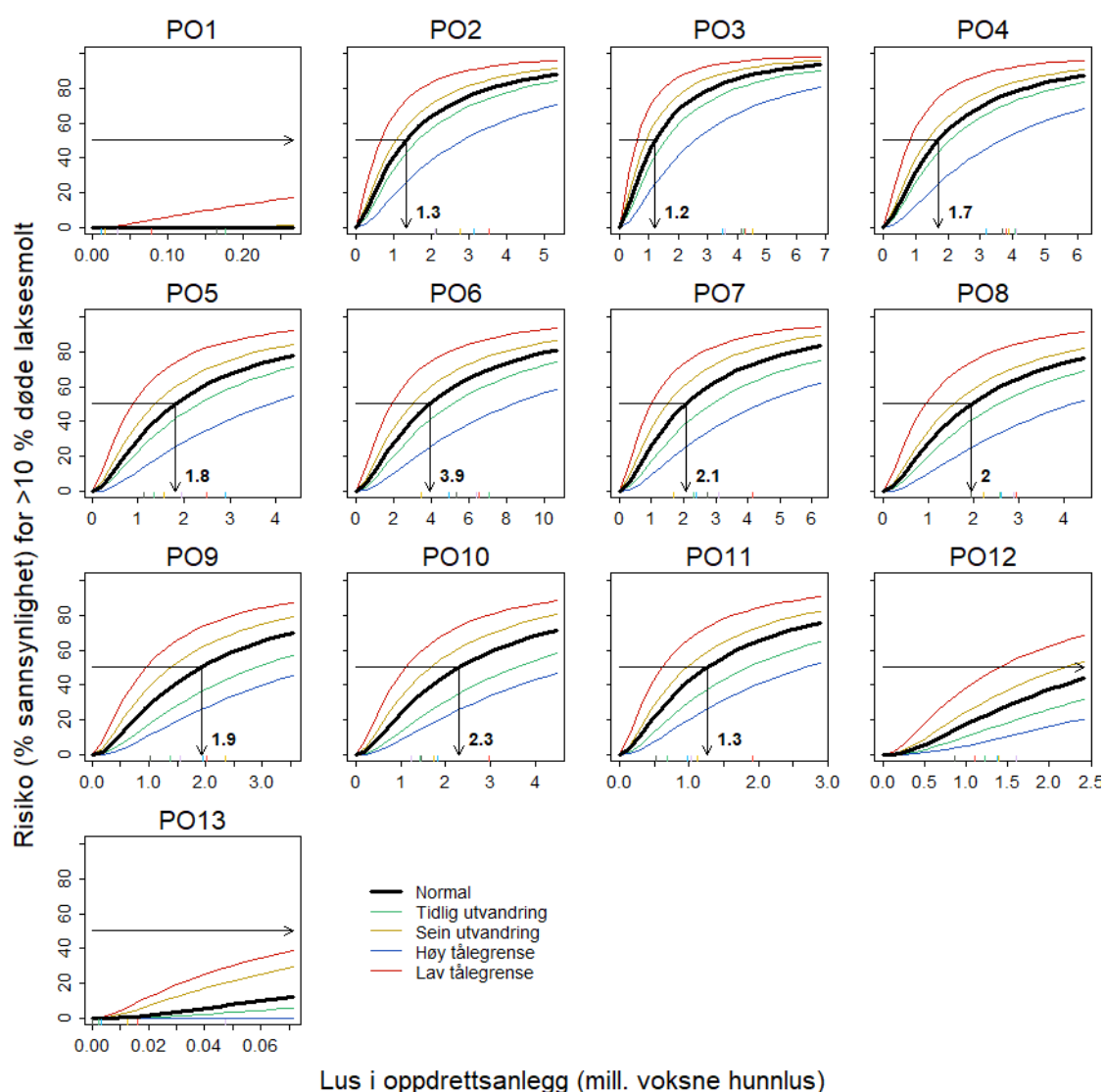


Figur 5. Figuren viser gjennomsnittlig luseindusert dødelighet for laksebestandene i et område som funksjon av totalmengden lus i oppdrettsanleggene i området i laksens utvandingsperiode. Områdene er her de tretten produksjonsområdene (PO1–PO13). De tykke sorte linjene representerer medianen i sannsynlighetsfordelingen, mens 50 %-intervaller og 90 %-intervaller er vist som bånd i ulike gråtoner. De grå, tynnere linjene viser mellomårsvariasjonen som kommer av geografisk og sesongmessig fordeling av lus i oppdrettsanlegg. Punktene viser verdiene for lusemengde og beregnet dødelighet for siste seks år. Pilene og tallene viser lusemengden som er beregnet å gi 10 % dødelighet. En antakelse er at den geografiske og sesongmessige fordelingen av lus de siste seks årene er representativ for fordelingen også om lusemengden økes eller minskes.

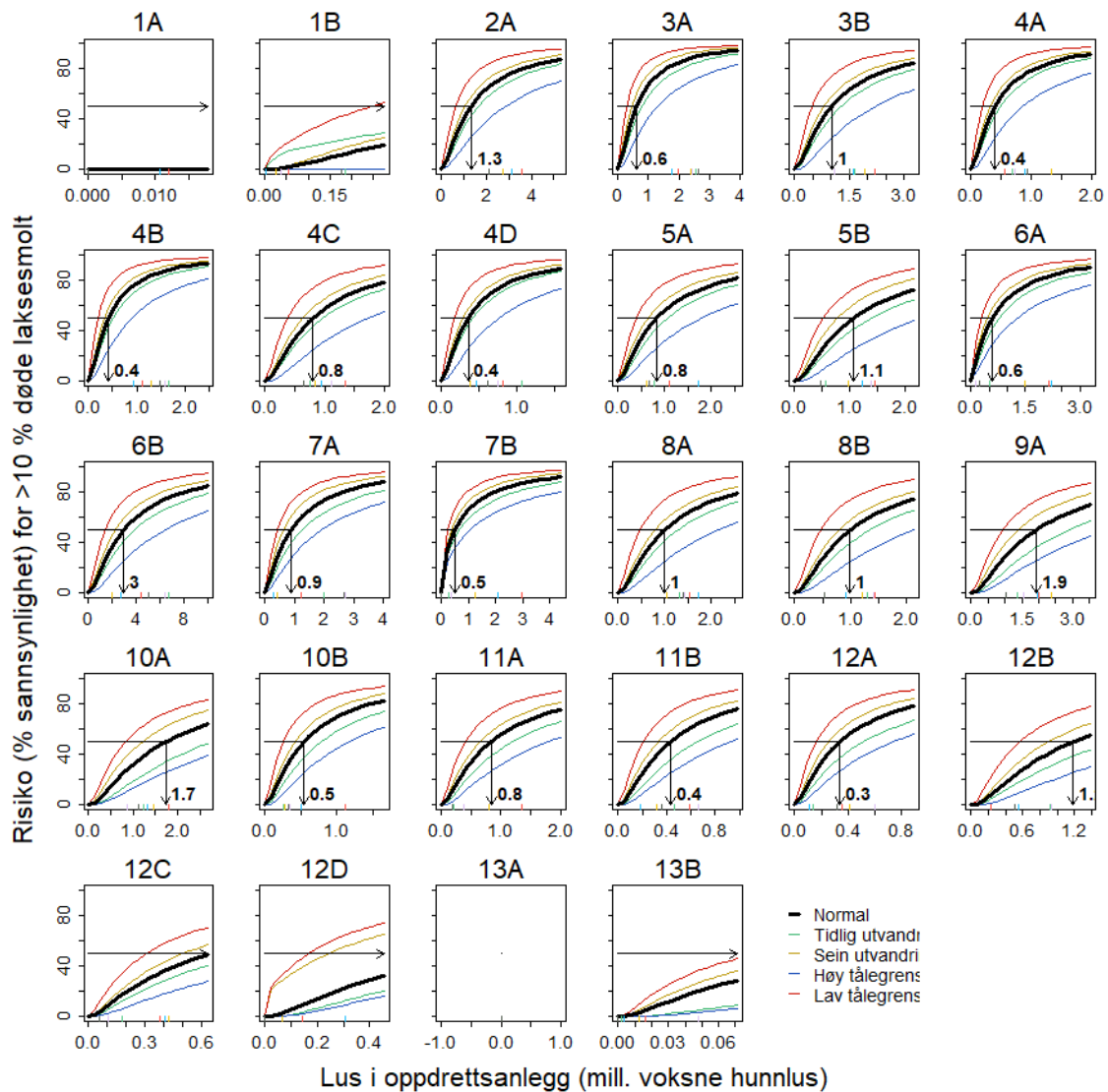
Sammenheng lusemengde og risiko for luseindusert dødelighet over 10 %

Figur 7 og figur 8 viser en litt annen måte å beregne hvilken lusemengde som gir 10 % dødelighet. Her viser y-aksen risiko for luseindusert dødelighet hos villaks over 10 %. X-aksen viser totalmengde voksne hunnlus i oppdrettsanlegg under laksens utvandningsperiode. Pilene viser lusemengden som gir 50 % sannsynlighet for luseindusert dødelighet hos villaks over 10 %. Disse verdiene tilsvarer i prinsippet verdiene som er beregnet å gi 10 % dødelighet i figur 5 og figur 6, selv om det er noen mindre forskjeller som trolig har beregningstekniske årsaker.

Disse figurene viser også hvor sensitive beregningene er for antakelsene om laksesmoltens utvandringstid og tålegrenser for lus. Dersom en antar høy tålegrense eller tidlig utvandring, er lusemengden som beregnes å gi 10 % luseindusert dødelighet høyere enn ved grunnantagelsene, og dersom en antar lav tålegrense eller sein utvandring blir den lavere.



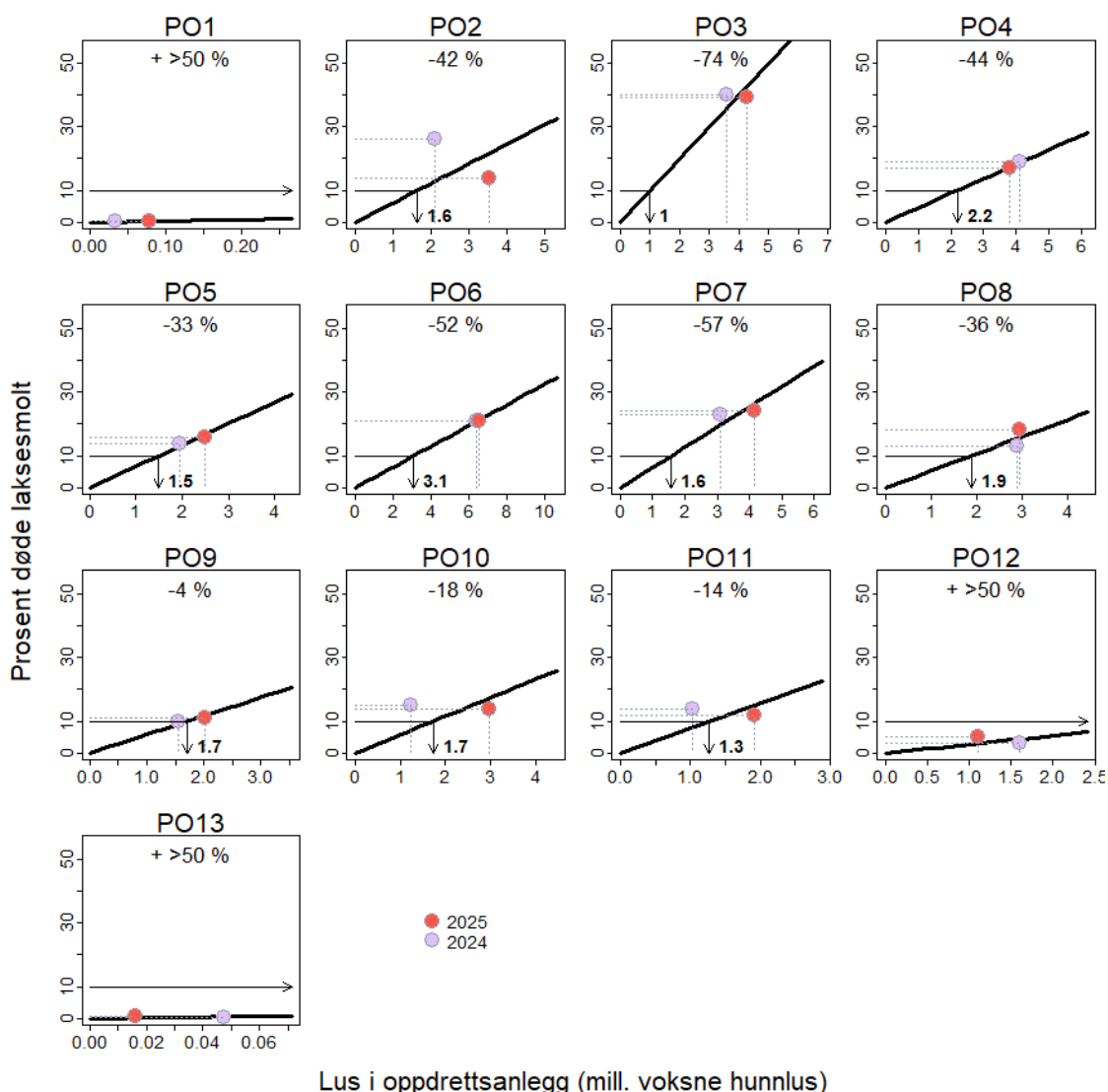
Figur 7. Figuren viser risikoen for at luseindusert dødelighet for postsmolt av villaks i et område overstiger 10 % som funksjon av totalmengde lus i oppdrettsanlegg under laksens utvandningsperiode. Områdene er her de tretten produksjonsområdene (PO1–PO13). De tykke sorte linjene gjelder under forutsetning om normal utvandningsperiode og normal tålegrense for lus. De fargede linjene gjelder for beregninger med ti dager tidligere eller seinere utvandring eller halvering eller dobling av tålegrensene. Pilene og tallene viser lusemengden som er beregnet å gi 50 % risiko for over 10 % dødelighet. En antakelse er at den geografiske og sesongmessige fordelingen av lus de siste seks årene er representativ for fordelingen også om lusemengden økes eller minskes.



Figur 8. Figuren viser risikoen for at luseindusert dødelighet for postsmolt av villaks i et område overstiger 10 % som funksjon av totalmengde lus i oppdrettsanlegg under laksens utvandningsperiode. Områdene er her de 28 foreslåtte reguleringsområdene vist i figur 1. De tykke sorte linjene gjelder under forutsetning om normal utvandningsperiode og normal tålegrens for lus. De fargede linjene gjelder for beregninger med ti dager tidligere eller seinere utvandring eller halvering eller doubling av tålegrensene. Pilene og tallene viser lusemengden som er beregnet å gi 50 % risiko for over 10 % dødelighet. En antakelse er at den geografiske og sesongmessige fordelingen av lus de siste seks årene er representativ for fordelingen også om lusemengden økes eller minskes.

Sammenheng lusemengde og ekspertvurderinger av luseindusert dødelighet

En enklere beregning basert på ekspertvurderingene av luseindusert dødelighet hos villaks i produksjonsområdene i 2024 og 2025 (Stige mfl. 2025b) er vist i figur 9. Disse anslagene for hvilken lusemengde i oppdrettsanlegg som gir 10 % luseindusert dødelighet hos villaks samsvarer relativt godt med beregningene med VI-modellen (tabell 2). For PO3, PO5, PO6, PO7, PO9 og PO10 tilsier beregningene basert på ekspertvurderingene at lusemengden må endres til et lavere nivå enn det VI-modellen tilsier. For PO2, PO4 og PO11 er det omvendt; der tilsier beregningene basert på VI-modellen at lusemengden må endres til et lavere nivå enn det ekspertvurderingene tilsier. For PO8 er det kun små forskjeller. For PO1, PO12 og PO13 tilsier begge metoder at lusemengden kan økes med mer enn 50 % fra dagens nivå.



Figur 9. Figuren viser ekspertvurderinger av gjennomsnittlig luseindusert dødelighet for laksebestandene i et produksjonsområde (PO1–PO13) som funksjon av totalmengden lus i oppdrettsanleggene i området i laksens utvandingsperiode. De tykke sorte linjene viser prediksjoner fra lineær regresjon gjennom punktene og origo. Pilene og tallene viser lusemengden som er beregnet å gi 10 % dødelighet. Prosenttall øverst i hvert panel viser hvor mye lusemengden i oppdrettsanlegg i laksens utvandingsperiode må endres fra dagens nivå (gjennomsnitt 2024–2025) for å få 10 % luseindusert dødelighet. En antakelse er at den geografiske og sesongmessige fordelingen av lus de siste to årene er representativ for fordelingen også om lusemengden økes eller minskes.

Tabell 2. Lusemengde som beregnes å gi 10 % luseindusert dødelighet hos villaks i hvert reguleringsområde (13 produksjonsområder med 28 underområder). For dagens 13 produksjonsområder er beregningene både gjort med VI-modellen og med utgangspunkt i ekspertvurderingene for 2024 og 2025.

Produksjons- område	VI-modellen		Ekspertvurderinger		Underområde	VI-modellen	
	Lusemengde (mill. voksne hunnlus)	Endring fra dagens nivå ¹ (%)	Lusemengde (mill. voksne hunnlus)	Endring fra dagens nivå ¹ (%)		Lusemengde (mill. voksne hunnlus)	Endring fra dagens nivå ¹ (%)
1	–	+ >50 %	–	+ >50 %	1A	–	+ >50 %
					1B	–	+ >50 %
2	1,3	-54 %	1,6	-42 %	2A	1,3	-54 %
3	1,2	-70 %	1,0	-74 %	3A	0,6	-73 %
					3B	1,0	-39 %
4	1,7	-58 %	2,2	-44 %	4A	0,4	-39 %
					4B	0,4	-69 %
					4C	0,8	-36 %
					4D	0,3	-55 %
5	1,8	-20 %	1,5	-33 %	5A	0,8	-6 %
					5B	1,0	-26 %
6	3,8	-41 %	3,1	-52 %	6A	0,6	-49 %
					6B	2,9	-47 %
7	2,0	-45 %	1,6	-57 %	7A	0,8	-57 %
					7B	0,5	-71 %
8	1,9	-35 %	1,9	-36 %	8A	1,0	-35 %
					8B	1,0	-32 %
9	1,9	+4 %	1,7	-4 %	9A	1,9	+4 %
10	2,2	+5 %	1,7	-18 %	10A	1,6	+24 %
					10B	0,5	-28 %
11	1,2	-19 %	1,3	-14 %	11A	0,8	-6 %
					11B	0,4	-34 %
12	–	+ >50 %	–	+ >50 %	12A	0,3	-32 %
					12B	1,1	+ >50 %
					12C	0,6	+ >50 %
					12D	–	+ >50 %
13	–	+ >50 %	–	+ >50 %	13A	–	+ >50 %
					13B	–	+ >50 %

¹Prosentvis endring fra gjennomsnittlig lusemengde i oppdrettsanlegg under utvandingsperioden for villaks i 2024 og 2025.

Tabell 3. Mellomårsvariasjon i lusemengde (millioner voksne hunnlus) som beregnes å gi 10 % luseindusert dødelighet hos villaks i hvert reguleringsområde med VI-modellen (13 produksjonsområder med 28 underområder).

Produksjons- område	2025	2024	2023	2022	2021	2020	Underområde	2025	2024	2023	2022	2021	2020
1	-	-	-	-	-	-	1A	-	-	-	-	-	-
							1B	-	-	-	-	-	-
2	1,5	0,8	2,4	1,1	1,4	1,1	2A	1,5	0,8	2,4	1,1	1,4	1,1
3	1,2	0,9	1,4	1,2	1,1	1,3	3A	0,5	0,6	0,6	0,7	0,5	0,7
							3B	1,1	0,7	1,2	1,1	1,0	1,1
4	1,7	1,5	1,7	1,7	1,7	1,7	4A	0,3	0,3	0,4	0,3	0,5	0,5
							4B	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5
							4C	1,1	1,0	0,8	0,7	0,6	0,7
							4D	0,4	0,4	0,3	0,6	0,2	0,3
5	2,0	1,6	2,4	1,4	1,8	1,7	5A	1,0	0,4	1,8	0,6	0,9	0,8
							5B	1,0	1,6	0,8	1,0	0,9	1,3
6	3,8	3,7	3,6	5,2	2,9	4,2	6A	1,1	0,1	1,1	0,5	1,0	0,4
							6B	2,6	3,4	2,4	4,5	1,8	3,5
7	2,6	1,5	2,3	1,8	1,8	2,6	7A	0,8	1,1	0,3	1,4	0,5	1,9
							7B	1,6	0,3	1,4	0,2	1,1	0,0
8	2,0	1,5	2,3	2,1	1,7	2,0	8A	1,0	0,7	1,4	1,0	0,7	1,2
							8B	1,0	0,8	1,1	1,3	1,0	0,8
9	1,8	1,4	2,9	1,9	2,1	1,6	9A	1,8	1,4	2,9	1,9	2,1	1,6
10	2,6	1,3	3,5	2,5	2,3	2,0	10A	1,7	0,9	3,0	1,9	1,9	1,5
							10B	0,8	0,4	0,7	0,6	0,4	0,5
11	1,8	0,9	1,7	0,9	1,7	0,8	11A	1,4	0,6	1,4	0,5	1,3	0,4
							11B	0,5	0,4	0,3	0,5	0,5	0,4
12	-	-	-	-	-	-	12A	0,3	0,5	0,1	0,2	0,5	0,5
							12B	0,7	1,7	1,3	1,5	1,0	1,0
							12C	-	-	-	-	-	-
							12D	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	13A	-	-	-	-	-	-
							13B	-	-	-	-	-	-

Diskusjon

Beregningene i denne rapporten gir estimater for hvor stor totalpopulasjonen av lakselus i oppdrettsanlegg i de 13 etablerte produksjonsområdene og de 28 foreslåtte reguleringsområdene kan være i utvandningsperioden for postsmolt av villaks, før 10 % av den utvandrende laksen dør av lakselus. Sammen med estimater fra andre modeller og overvåkningsdata, gir beregningene grunnlag for å vurdere størrelsen på miljømessig bærekraftige lusekvoter eller innslagspunktet for en avgift ved forhøyede lusenivåer. For enkelthets skyld vil vi i diskusjonen bruke begrepet «lusekvote» for antallet voksne hunnlus i oppdrettsanlegg i et område som beregnes å gi 10 % dødelighet hos postsmolt av villaks. Den samme beregningen vil imidlertid også kunne være utgangspunkt for en eventuell avgift, selv om det ikke blir eksplisitt nevnt i den videre diskusjonen.

Sesongvariasjon

Sesongvariasjon i lusemengde i oppdrettsanlegg og utslipp av smittsomme lakseluslarver fra oppdrettsanlegg har betydning for beregning av lusekvoter, næringens tiltak for å overholde kvotene og villaksens overlevelse. Denne sesongvariasjonen har ulik betydning om lusekvoter måles som totalantall voksne hunnlus, som forutsatt i denne rapporten, eller utslipp av lakseluslarver.

Metodene vi har brukt til å beregne lusekvoter tar utgangspunkt i beregnet totalmengde voksne hunnlus i oppdrettsanlegg under villaksens utvandningsperiode de siste årene. For hvert år er totalmengden regnet ut som et gjennomsnittlig nivå for hele utvandningsperioden. Dersom det er stor variasjon i lusemengde gjennom perioden, er dette gjennomsnittet ikke nødvendigvis representativt for nivået når mesteparten av laksesmolten vandrer ut. Dette er en usikkerhetskilde i beregningen av lusekvoten. Siden totalantallet voksne hunnlus varierer mindre gjennom utvandningsperioden enn utslippet av luselarver (figur 3), er denne usikkerheten redusert ved at kvotene er beregnet for antallet voksne hunnlus heller enn utslipp av luselarver.

For oppdrettsselskaper innebærer en evt. fast kvote målt i antall voksne hunnlus gjennom villaksens utvandningsperiode at de kan holde et jevnt lusenivå i merdene gjennom perioden. En kvote målt i utslipp av luselarver ville innebære at oppdretterne gradvis måtte redusere lusenivået ettersom temperaturen økte. Hvor mye lusenivået måtte reduseres med gjennom perioden ville variere mellom år avhengig av temperaturforholdene.

For villaksen er det konsentrasjonen av smittsomme lakseluslarver i sjøen som er av betydning. En kvote målt i utslipp av lakseluslarver er derfor potensielt mer treffsikker enn en kvote målt i antall voksne hunnlus. Denne fordelingen med utslippskvoter framfor kvoter målt i totalantall voksne hunnlus må veies opp mot ulempene nevnt ovenfor samt usikkerheten som følger av at utslipp i praksis ikke kan måles direkte, men må beregnes utfra antallet voksne hunnlus og temperatur.

Sammenlikning mellom metoder

Det er et relativt godt samsvar mellom beregningen av lusekvoter med VIs virtuelle postsmoltmodell og en enkel regresjonsanalyse basert på siste to års ekspertvurderinger. Dette tyder på at de to beregningsmetodene er konsistente med hverandre og støtter robustheten i beregningene. Siden VIs modell brukes i ekspertvurderingene, er imidlertid ikke disse analysene uavhengig av hverandre. Graden av samsvar gir derfor ikke et fullstendig bilde av usikkerheten i beregningene.

Sammenhengen mellom lusemengde i oppdrettsanlegg og luseindusert dødelighet hos villaks beregnet med VI-modellen vises på to ulike måter; enten med prosent døde laksesmolt på y-aksen eller risikoen for at dødeligheten overstiger 10 %. Begge kurvene er basert på de samme sannsynlighetsfordelingene. Forskjellen er bare at de første kurvene har fokus på hvilken dødelighet som er mest sannsynlig for en gitt lusemengde mens de siste kurvene har fokus på risikoen for at dødeligheten overstiger den foreslåtte terskelen på 10 %.

Usikkerhet i beregningene

Vi vil i de neste avsnittene diskutere betydningen av de viktigste usikkerhetskildene i beregningene av lusekvoter.

Modellforutsetninger

Flere av modellforutsetningene påvirker beregningene på en systematisk måte, slik at luseindusert dødelighet og lusekvoter potensielt kan bli over- eller underestimert.

Postsmoltens tålegrenser for lus

Som vist i figur 7 og figur 8 har forutsetningene om postsmoltens tålegrenser for lus stor betydning for beregningene av luseindusert dødelighet, og dermed for hvilken lusemengde som gir 10 % dødelighet. Denne usikkerhetskilden blir også diskutert i ekspertgrupperapportene og gjelder også for ekspertvurderingene av luseindusert dødelighet. Ekspertgruppen vurderer tålegrensene brukt i hovedberegningene som de mest sannsynlige ut fra dagens kunnskap, men påpeker samtidig behovet for nye studier om tålegrenser (Stige mfl. 2025b). Dersom ny kunnskap viser at postsmoltens tålegrense er lavere enn forutsatt vil lusekvotene måtte reduseres i forhold til nåværende foreslått nivå for å oppnå målet om 10 % luseindusert dødelighet. Motsatt vil høyere tålegrense for lus enn forutsatt gi rom for høyere lusekvoter enn foreslått, jfr. figur 7 og 8.

Postsmoltens utvandringstid

Også tidspunktet postsmolten vandrer ut gjennom fjordområdene har stor betydning for beregningene (figur 7 og figur 8). Smittepresset fra smittsomme lakseluslarver øker typisk utover våren og sommeren, slik at laks som vandrer ut seint i sesongen blir utsatt for mer lus enn laks som vandrer ut tidlig. Utvandringstidene er basert på en statistisk analyse av utvandningsdata fra et stort antall vassdrag fra store deler av norskekysten (Vollset mfl. 2021). Ekspertgruppen vurderer utvandringstidene som representative for et gjennomsnittså (Stige mfl. 2025b). Temperatur- og nedbørsforhold fører imidlertid til variasjon mellom år i utvandringstid (Vollset mfl. 2021) og dermed i luseeksponeringen for postsmolten.

Forventet sammenheng mellom smittepress og lusepåslag

VIs virtuelle postsmoltmodell estimerer en loglineær sammenheng mellom beregnet smittepress og lusepåslag. Det estimerte stigningstallet impliserer at om smittepresset dobles, vil lusepåslaget øke med vesentlig mindre enn 100 % (Stige mfl. 2025a). Biologisk ville en proporsjonal sammenheng mellom smittepress og lusepåslag være rimelig å anta. En modell som forutsetter proporsjonalitet gir imidlertid dårligere prediksjonsevne for lusenivåer på laksepostsmolt (Stige mfl. 2022). Den viktigste årsaken til at det ikke observeres proporsjonalitet mellom smittepress og lusepåslag er trolig at smittepress ikke kan beregnes helt nøyaktig, slik at observasjonsfeil gir en svakere sammenheng mellom beregnet smittepress og lusepåslag enn den sanne sammenhengen mellom smittepress og lusepåslag (Stige mfl. 2022).

VIs modellformulering med en estimert loglineær sammenheng mellom beregnet smittepress og lusepåslag er valgt for å få best mulig prediksjoner av luseindusert dødelighet utfra det beregnede smittepresset, i tråd med ekspertgruppens mandat om å vurdere årlig luseindusert dødelighet i hvert produksjonsområde. Ved beregning av lusekvoter er oppdraget endret fra å estimere luseindusert dødelighet til å estimere hvordan lusemengden i oppdrettsanlegg påvirker risikoen for uakseptabel dødelighet (over 10 %) hos vill laksepostsmolt.

Problemstillingene er ulike og modellformuleringen med den estimerte sammenhengen mellom smittepress og lusepåslag er ikke nødvendigvis den beste for å predikere effekten av et endret smittepress. Dette gjelder i særlig grad når effekten må beregnes for et smittepress som er svært forskjellig (store ekstrapoleringer) fra de smittepress som er observert. Derfor har vi i beregningene av lusekvoter, i stedet for å bruke den estimerte sammenhengen mellom smittepress og lusepåslag, forutsatt at lusepåslaget er proporsjonalt med lusemengden i oppdrettsanlegg. For framtidige beregninger av lusekvoter bør det vurderes om andre modellformuleringer kan gi bedre prediksjoner av endringer i smittepress, også når endringen er stor i forhold til de smittepress vi har observasjoner for. Modeller som eksplisitt tar hensyn til observasjonsfeil i smittepress ved å inkludere det sanne smittepresset som en latent variabel vil være spesielt relevante.

Andre modellforutsetninger

Betydningen av andre forutsetninger for VI-modellen blir diskutert av Kristoffersen mfl. (2018) og Stige mfl. (2022, 2025a). Ekspertgrupperapportene diskuterer forutsetningene for vurderingene av luseindusert dødelighet mer generelt (bl.a. Stige mfl. 2025b). Usikkerhetskilder er bl.a. postsmoltens utvandningsruter, hvor stor andel av lakselusene som faller av under trålfangst av villaks og hvor stor andel av lakselusene som faller av eller dør før de når de mest skadelige stadiene. Usikkerhet om postsmoltens progresjonshastighet er av mindre betydning for modeller skalert til trålfanget postsmolt, som VIs modell er (Stige mfl. 2022).

Forskjeller mellom år

Variasjon mellom områder og år i sammenhengen mellom smittepress og lusepåslag gir usikkerhet i prediksjonene av luseindusert dødelighet for enkeltår, som vist av usikkerhetsbåndene i figur 5 og figur 6. Årsaker til slik variasjon er blant annet predasjon på luselarvene i sjøen, som på grunn av manglende data forutsettes å være konstant i modellene. Sett over flere år vil mye av denne usikkerheten jevne seg ut. For fastsettelse av miljømessig bærekraftig lusekvoter er usikkerhetskilder som vil jevne seg ut over tid av mindre betydning enn usikkerhetskilder som kan gi systematisk over- eller underestimering av luseindusert dødelighet. For PO3 er det et systematisk mønster at observerte lusenivåer på postsmolt er signifikant høyere enn modellen predikerer (Stige mfl. 2025a). For PO12 er observerte nivåer er signifikant lavere enn predikert (Stige mfl. 2025a). Slike systematiske forskjeller bør vurderes spesielt dersom prediksjonene skal brukes til fastsettelse av lusekvoter.

Beregningene viser til dels store forskjeller mellom år i sammenhengen mellom lusemengden i oppdrettsanlegg og luseindusert dødelighet hos villaks (vist ved spredningen mellom de årsspesifikke kurvene i figur 5 og figur 6). Disse forskjellene kan komme av variasjoner i den geografiske og sesongmessige fordelingen av lus i oppdrettsanlegg innad i områdene mellom år. Beregningene viser flere eksempler på toårssykluser, der villaksen i et område ser ut til å tåle høyere lusemengde i oppdrettsanleggene annet hvert år. Disse toårssykluserne har trolig sammenheng med toårssykluser i produksjon og brakklegging, som kan gi gjentakende forskjeller mellom partallsår og oddetallsår i oppdrettsaktivitet og lusedynamikk. I områdene med størst forskjeller mellom partallsår og oddetallsår ser det ut til at det er årene med minst lus i oppdrettsanlegg som gir de bratteste kurvene. En mulig forklaring er at oppdrettsaktiviteten i årene med lite lus i oppdrettsanlegg er nær utvandningsrutene for postsmolt av villaks. Fenomenet kan også ha sammenheng med antakelsene om sammenhengen mellom smittepress og lusepåslag, som forutsettes å være proporsjonalt i beregningen av lusekvoter men ikke i estimeringen av modellen. Begge mekanismer bidrar trolig til usikkerhet i beregningen av lusekvoter.

En eventuell innføring av et kvotesystem vil potensielt medføre store endringer i lusetettheten i oppdrettsanlegg for områder der lusemengden har vært langt under eller over den beregnede lusekvoten. Hvordan disse endringene skjer innad i områdene vil kunne ha vesentlig betydning for lusepåvirkningen på utvandrende postsmolt. Dersom hovedtyngden av lus i gjenværende og eventuelt nye oppdrettsanlegg kommer nærmere utvandningsrutene for villaks, vil området tåle mindre lus enn beregnet, og vice versa. Den sesongmessige fordelingen har også betydning. Utover våren og sommeren slipper hver voksne hunn lus ut et økende antall luselarver per døgn pga. høyere sjøtemperatur (figur 4). Dersom hovedtyngden av lus i oppdrettsanlegg kommer seinere i utvandningsperioden for villaks vil området tåle mindre lus enn beregnet, med mindre hovedtyngden av lusemengden kommer så seint at flesteparten av postsmolten går fri.

Konklusjoner

Lusekvoter beregnet med VIs virtuelle postsmoltmodell samsvarer relativt godt med enklere beregninger basert på ekspertvurderinger av luseindusert dødelighet hos villaks de siste to årene. Beregningene tilsier at mengden lakselus i oppdrettsanlegg i utvandningsperioden for villaks må reduseres fra dagens nivå i de fleste områder, dersom målet om under 10 % luseindusert dødelighet hos villaks skal nås. En vesentlig del av usikkerheten i

beregninger av luseindusert dødelighet skyldes mellomårsvariasjon i faktorer som vil jevne seg ut når en ser på påvirkningen over lengre tid. For en gitt lusemengde i oppdrettsanlegg må en derfor regne med at den luseinduserte dødeligheten hos villaks vil variere en del fra år til år på grunn av faktorer som er utenfor oppdretternes og myndighetenes kontroll. I beregninger av lusekvoter er usikkerhetsfaktorer som potensielt kan gi systematisk over- eller under-estimering av luseindusert dødelighet viktigst. Slike faktorer er blant annet forutsetningene som gjøres for laksepostsmoltens tålegrenser for lus og utvandringstid fra elvene, samt den geografiske og sesongmessige fordelingen av lakselus i et område. Det er derfor viktig å oppdatere beregningene jevnlig i lys av ny kunnskap og eventuelle endringer i lokalitetsstruktur og produksjonsstrategier i oppdrettsanleggene.

Referanser

- Aldrin M, Jansen PA, Stryhn H (2019) A partly stage-structured model for the abundance of salmon lice in salmonid farms. *Epidemics* 26:9–22.
- Halttunen E, Gjelland KØ, Glover KA, Johnsen IA, Serra-Llinares RM, Skaala Ø, Nilsen R, Bjørn PA, Karlsen Ø, Finstad B, Skilbrei OT (2018) Migration of Atlantic salmon post-smolts in a fjord with high infestation pressure of salmon lice. *Mar Ecol Prog Ser* 592:243–256.
- Johnson SC, Albright LJ (1991) Development, growth, and survival of *Lepeophtheirus salmonis* (Copepoda: Caligidae) under laboratory conditions. *J Mar Biol Assoc U K* 71:425–436.
- Kristoffersen AB, Jimenez D, Viljugrein H, Grøntvedt R, Stien A, Jansen PA (2014) Large scale modelling of salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) infection pressure based on lice monitoring data from Norwegian salmonid farms. *Epidemics* 9:31–39.
- Kristoffersen AB, Qviller L, Helgesen KO, Vollset KW, Viljugrein H, Jansen PA (2018) Quantitative risk assessment of salmon louse-induced mortality of seaward-migrating post-smolt Atlantic salmon. *Epidemics* 23:19–33.
- Oakley JE, O'Hagan A (2019) SHELF: the Sheffield Elicitation Framework (version 4). <https://shelf.sites.sheffield.ac.uk/>, School of Mathematics and Statistics, University of Sheffield, UK.
- Samsing F, Oppedal F, Dalvin S, Johnsen I, Vågseth T, Dempster T (2016) Salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) development times, body size, and reproductive outputs follow universal models of temperature dependence. *Can J Fish Aquat Sci* 73:1841–1851.
- Stien A, Bjørn PA, Heuch PA, Elston DA (2005) Population dynamics of salmon lice *Lepeophtheirus salmonis* on Atlantic salmon and sea trout. *Mar Ecol Prog Ser* 290:263–275.
- Stige LC, Helgesen KO, Viljugrein H, Qviller L (2021) A statistical mechanistic approach including temperature and salinity effects to improve salmon lice modelling of infestation pressure. *Aquac Environ Interact* 13:339–361.
- Stige LC, Helgesen KO, Viljugrein H, Qviller L (2022) Modelling salmon lice-induced mortality of wild salmon post-smolts is highly sensitive to calibration data. *Aquac Environ Interact* 14:263–277.
- Stige LC, Gangsei LE, Qviller L (2025a) Kvantifisering av lakselusindusert dødelighet hos villaks i 2025. Veterinærinstituttet. VI rapport 40/2025.
- Stige LC, Vollset KW, Diserud O, Karlsen Ø, Knutsen Ø, Nilsen F, Paterson RA, Qviller L, Skarðhamar J, Lille-Langøy R (2025b) Vurdering av lakselusindusert villfiskdødelighet per produksjonsområde 2025b. Rapport fra ekspertgruppe for vurdering av lusepåvirkning.
- Sævik PN, Holstad A, Bolstad GH, Næsje T, Diserud O, Johnsen IA, Jensen MF, Sandvik AD, Myksvoll MS (2026). Forslag til reguleringsområder for utslipp av lakselus. Rapport fra Havforskningen 2026-28.
- Taranger GL, Karlsen Ø, Bannister RJ, Glover KA, Husa V, Karlsbakk E, . . . Svåsand T (2015). Risk assessment of the environmental impact of Norwegian Atlantic salmon farming. *ICES J Mar Sci* 72:997–1021.
- Vollset KW, Barlaup BT, Mahlum S, Bjørn PA, Skilbrei OT (2016). Estimating the temporal overlap between post-smolt migration of Atlantic salmon and salmon lice infestation pressure from fish farms. *Aquac Environ Interact* 8:511–525.
- Vollset KW, Lennox RJ, Lamberg A, Skaala Ø, Sandvik AD, Sægvog H, Kvingedal E, Kristensen T, Jensen AJ, Haraldstad T, Barlaup BT, Ugedal O (2021) Predicting the nationwide outmigration timing of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts along 12 degrees of latitude in Norway. *Divers Distrib* 27:1383–1392.

Frisk fisk
Sunnne dyr
Trygg mat



Veterinærinstituttet

Ås ▪ Sandnes ▪ Bergen ▪ Trondheim ▪ Harstad ▪ Tromsø

postmottak@vetinst.no

vetinst.no