

# Svar på bestilling om kunnskapsstøtte – Lakselusregulering

Mottatt fra Mattilsynet, ref 2024/227467

Anne D. Sandvik, Mari F. Jensen, Pål N. Sævik, Lars Asplin og Mari S. Myksvoll

## 1 Bakgrunn (fra bestillingen)

«Mattilsynet, Fiskeridirektoratet og Miljødirektoratet har fått i oppdrag fra NFD og KLD å utarbeide forslag til effektive virkemidler som styrker de individuelle insentivene til å bidra til å redusere lakseluspåvirkningen fra akvakultur, og som samtidig bidrar til å nå målene i vannforskriften og i kvalitetsnorm for villaks. Utredningen skal legge særlig vekt på forslag til kvoter og avgifter for utslipp av lakselus, og i hvilken grad disse virkemidlene eventuelt kan fungere sammen. Oppdraget avgrenses til miljøpåvirkning (lakselus) på villaks.»

## 2 Modellert spredning av lakselus

Reguleringen av lakseoppdrett baserer seg på at dødeligheten av vill laksefisk skal være begrenset. I dag er det smitte fra lakselus som utgjør den største risikofaktoren ifølge Vitenskapelig Råd for Lakseforvaltning (VRL, 2017, 2020) og Risikorapporten til Havforskningsinstituttet. Planktoniske lakseluskoepoditter smitter vill laksefisk. Kopepodittene vil drive omkring i fjord- og kystområdene i mange dager og opp til uker avhengig av vanntemperatur, og dette er tilstrekkelig til at spredningen kan foregå over et stort område. Lakselus klekkes dessuten som ikke-smittsomme nauplier som driver omkring noen dager i starten før de blir smittsomme kopepoditter, og det øker spredningen ytterligere.

Lakselus som sitter på oppdrettsfisk regnes som kilden til smittsomme lakselus i en region. I første omgang er det derfor hvor mange lakselusnauplier som klekkes i en oppdrettslokalitet som definerer smittepresset på villfisk. Det vil alltid være viktig med god informasjon om hvor mye lakselus som er på oppdrettsfisk, og dette er kanskje den trangeste flaskehalsen i nåværende kunnskapsgrunnlag. I neste omgang vil spredningen av lakselusa, som kan være betydelig, definere det faktiske smittepresset regionalt. Det er dette vi beregner med spredningsmodellen, og denne metoden kan sammenlignes med bruk av værvarslingsmodeller.

Havforskningsinstituttet har benyttet spredningsmodellering av lakselus fra oppdrettsanlegg i Norge i mer enn 20 år. Modellsystemet er fortløpende forbedret og er publisert i en rekke internasjonale tidsskrifter. Resultatene anvendes bl.a. som innspill til Trafikklyssystemet. Modellsystemet er todelt med en egen modell for strøm, saltholdighet og temperatur, Norkyst, og en modell for lakselusspredning som benytter resultatene fra Norkyst. Vi simulerer spredning av lakselus fra individuelle lokaliteter, og resultatene er posisjonen til lakselus time for time. Basert på denne informasjonen om tid og sted for den smittsomme lakselusa, kan vi estimere smittepresset på vill laksefisk.

Vi bruker to metoder for å beregne smittepress fra spredningsmodellresultatene:

- Smittepresskart (ROC-metoden).
- Virtuell postsmolt (VPS).

Smittepresskartet eller ROC-metoden (Relative Operating Characteristic) knytter modellert mengde lakseluskoepoditter i rom og tid til observert påslag av lakselus på smolt i såkalte vaktbur. Modellresultatene kalibreres og deles i tre klasser: Rødt, gult og grønt. Laksefisk som befinner seg i et av disse områdene for en typisk tidsperiode, som regel brukes 30 dager, vil sannsynligvis bli smittet med mer enn 6 lus pr. fisk (rødt), mellom 2 og 6 (gult) eller mindre enn 2 lus pr. fisk (grønt). ROC-indeksen er et uttrykk for forholdet mellom arealet av de tre fargene (ROC-indeks =  $(\text{rødt areal} + \text{gult areal} * 0.5) / (\text{rødt areal} + \text{gult areal} + \text{grønt areal})$ ). Denne blir da en approksimasjon av dødeligheten innen produksjonsområdet, med verdier fra 0 til 100%. Grensene for hva som er høyt (>30), middels (10 – 30) og lavt (<10) følger definisjonene i Trafikklyssystemet. For detaljer se Sandvik mfl. 2021a.

Virtuell postsmolt (VPS) er en beregning av dødelighet på utvandrende postsmolt som kommer fra en gitt lakseelv, dvs. den utvandrende populasjonen. I 401 elver fordelt over hele landet er det definert 1000 ulike utvandningsruter mellom elva og havet. Fisken som følger disse rutene smittes i forhold til hvor mange smittsomme lakseluskoepoditter de møter på veien hentet fra resultatene av spredningsmodellen. Smitten er også kalibrert i forhold til observert påslag av lus på laksesmolt fanget gjennom postsmolttråling. Dødelighet for populasjonen fra en elv for en gitt utvandningsperiode, oppgis i prosent. Metoden er nærmere beskrevet i Johnsen mfl. (2021).

Modellen for lakselusspredning fra gitte oppdrettslokaliteter kan også brukes til å estimere hvor mye smitte som overføres til andre oppdrettslokaliteter (såkalt konnektivitet) eller hvor mye et gitt anlegg bidrar med smitte til et avgrenset område, for eksempel utvandningsruten til laksesmolt. Dette gjør oss i stand til å rangere betydningen de enkelte lokalitetene har på andre anlegg og for smittepresset på villfisk.

Klimaendringene med høyere temperatur vil medføre et høyere smittepress (Sandvik mfl. 2021b), og dette må tas hensyn til.

Svar på spørsmålene Mattilsynet ber om er basert på modellresultater fra spredningsmodellen for lakselus og de analysene vi anvender som beskrevet over. Resultatene presenteres for 4 år, 2020-2023, for å ta hensyn til forskjeller i det fysiske miljøet (havstrømmer, temperatur og saltholdighet) og produksjon (mengde laks i merdene). Metodene er det beste verktøyet vi har for å vurdere dette kompliserte problemet.

### 3 Utslipp av lakselus

- a) Er det mulig å beregne hvor mye lakselusutslipp et produksjonsområde kan tåle for å styre mot grønt, altså maks 10% dødelighet?

Resultatene fra spredningsmodelleringen som beskrevet over benyttes i dag til å vurdere smittepresset i produksjonsområdene i forhold til grensene som definerer rødt, gult og grønt i Trafikklyssystemet. Maksimalt 10% dødelighet tilsvarer at hele produksjonsområdet i gjennomsnitt vurderes til grønt lys.

Modellresultatene kan brukes til å beregne hvor mye lakselus som kan slippes ut for at produksjonsområdet skal holde seg under 10 % (eller 20 %) dødelighet. Det er viktig å merke seg at modellresultatene kan variere noe fra år til år, samt mellom ulike metoder, på en måte som ikke er systematisk mellom produksjonsområdene. Vi har foreløpig ikke vurdert hvordan disse variasjonene best kan tas hensyn til, men har forsøkt å presentere både gjennomsnittsverdier og variasjoner.

I beregningene under punkt (3.1) belyser vi hvor mye det historiske smittepresset i 2020-2023 må reduseres for å komme under 10 % dødelighet. Vi utfører også en teoretisk øvelse som ser på hvordan resultatene ville vært dersom all fisk i merdene hadde like mange voksne hunnlus gjennom hele året. Disse beregningene vil også besvare Mattilsynets spørsmål i punkt d) (nedenfor), som omhandler hvor mange kjønnsmodne hunnlus som totalt kan være i et produksjonsområde. Resultatene viser at antallet voksne hunnlus som kan være i et produksjonsområde under forutsetning av grønt lys, varierer betydelig mellom produksjonsområdene. For eksempel må smittepresset i produksjonsområde 3 reduseres drastisk for å få dødeligheten under 10 %, mens i de nordligste produksjonsområdene kan smittepresset i teorien øke – forutsatt at man kun tar hensyn til påvirkningen på villaks i utvandningsperioden, og ikke annen laksefisk som oppholder seg lenger i sjøen.

#### 3.1 Beregning av maksimal produksjon for å nå 10 % dødelighet

For å beregne hvor mye lakselusmitte et produksjonsområde kan tåle for å ha maksimalt 10% dødelighet av villfisk, har vi brukt de to metodene beskrevet over; smittepresskart (ROC-metoden) og virtuell postsmolt (VPS). Ved hjelp av disse to metodene er det beregnet hvor mye lakselusutslipp et produksjonsområde tåler på to ulike måter, som også er beskrevet i Sandvik et al. 2021a:

##### Metode 1:

Med utgangspunkt i historiske luseverdier, produksjonssyklus og fysisk miljø:

- Beregner hvor **mange prosent** lusepresset må ned for at estimert dødelighet skal komme under 10%. I Sandvik 2021a ble dette gjort for å eksemplifisere hvor stor reduksjon som skulle til, mens vi her går et steg videre og trekker **prosenten** fra de rapporterte lusetallene for å finne totalt antall lus hvert PO kan tåle.

## Metode 2:

Med utgangspunkt i fiktive lusetall:

- Antar at produksjonssyklusen (antall fisk i anleggene følger historiske verdier)
- Antar at all fisk hadde like mange lus (starter på 0.1 LPF).

Beregningene er ikke gjort for PO1 og PO13 da disse områdene har svært lave lusetall.

### 3.1.1 Resultat fra metode 1

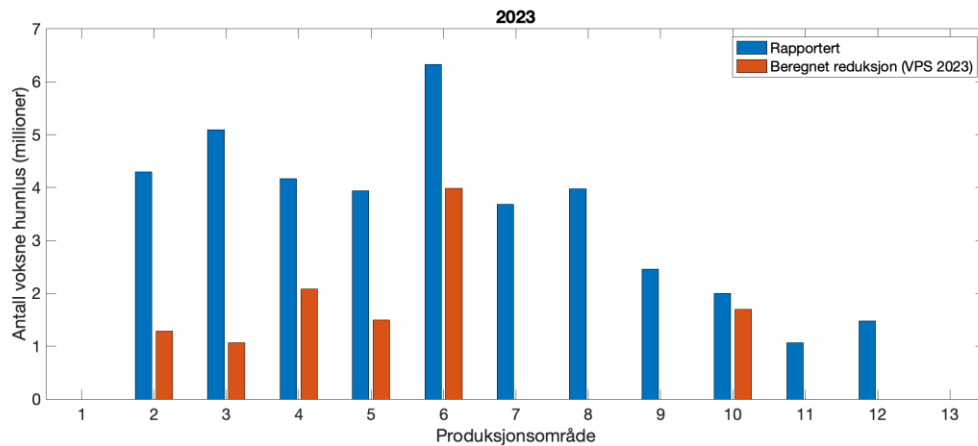
Tabell 1 viser at smittepresset i PO3 og 4 må reduseres med rundt 70-90% for at den estimerte dødeligheten skal komme under 10% i årene 2020-2023. Tallet varierer fra 40% til 93% reduksjon i PO3 avhengig av år og metode. I produksjonsområder som mangler tall, kan smittepresset øke og dødeligheten fremdeles komme under 10%. Dette er ikke beregnet per nå. See Appendiks (7.1, Tabell 3) for Historiske ROC-indeks og VPS-dødelighet fra Trafikklyssystemet.

*Tabell 1: Kolonnene viser prosentvis reduksjon av smittepresset ved bruk av ROC metoden og VPS metoden for årene 2020-2023 som må til for å komme under 10% dødelighet. For ROC metoden er det gått ned med grove steg på 10%, men VPS metoden har gått ned med steg på 1%.*

PO	ROC-indeks				VPS			
	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023
2	70	80	40	60	80	84	64	70
3	70	80	70	40	91	93	88	79
4	30	50			63	80	72	50
5				20	16	18	21	62
6	20	10	20		29	22	33	37
7	70	30	50	30	18		31	
8		10				3		
9						22		
10		30			13	40	26	15
11						15		
12								

Utgangspunktet for beregningene er smittepresset basert på historisk rapporterte antall voksne hunnlus. Antall voksne hunnlus kan variere mye i den perioden som er benyttet til å regne ut postsmoltdødeligheten ([Ukesrapport på lakselus.no](#)). Når vi skal regne om fra reduksjon av smittepress til antall voksne hunner har vi derfor, som et grovt overslag, benyttet middelverdien av antall hunnlus innen hvert PO, over en periode (uke 18 – 24 i sør og uke 21-27 i nord). Dette er vist for ett år i Figur 1 (2023), der blå søyler viser antall rapporterte hunnlus og røde søyler viser hvor mange hunnlus produksjonsområdene kunne inneholdt dersom kravet var at dødeligheten beregnet med VPS skulle være under 10%. Resultatene viser igjen at i PO3 må en drastisk ned fra de historiske lusetallene for å tilfredsstille 10% dødelighet. I PO10 må en derimot bare nedjustert smittepresset i

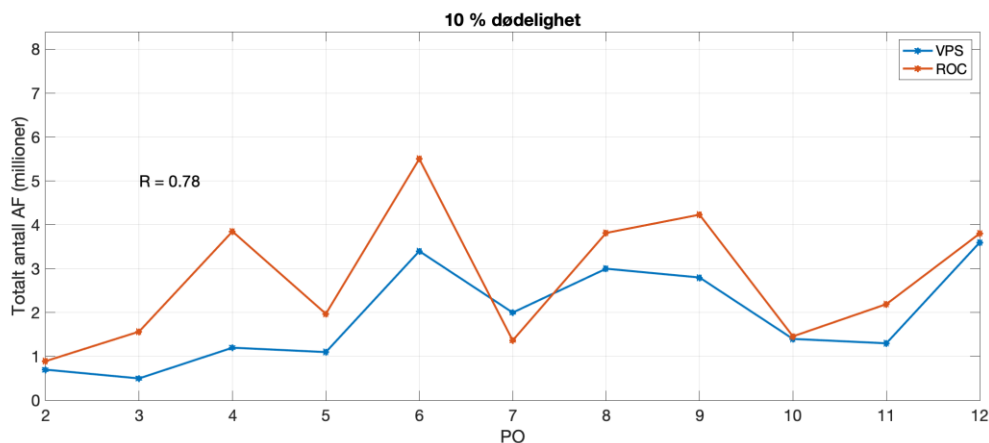
mindre grad for å komme under 10% dødelighet i 2023, mens i PO7, PO8, PO9, PO11, og PO12 kunne en ha økt smittepresset.



Figur 1: Antall voksne hunnlus per PO, midlet over ukene 18-24 i PO1 – PO6 og ukene 21 -27 i PO7- PO13 for 2023 (med rapporterte tall fra anleggene). Blå søyler viser middelverdien fra rapporterte lusetall de gitte ukene, mens røde søyler viser antall hunnlus som kan tillates i hvert produksjonsområde for å komme under 10% beregnet med VPS-metoden (blå søyler ganget med VPS verdiene for 2023, gitt i Tabell 1).

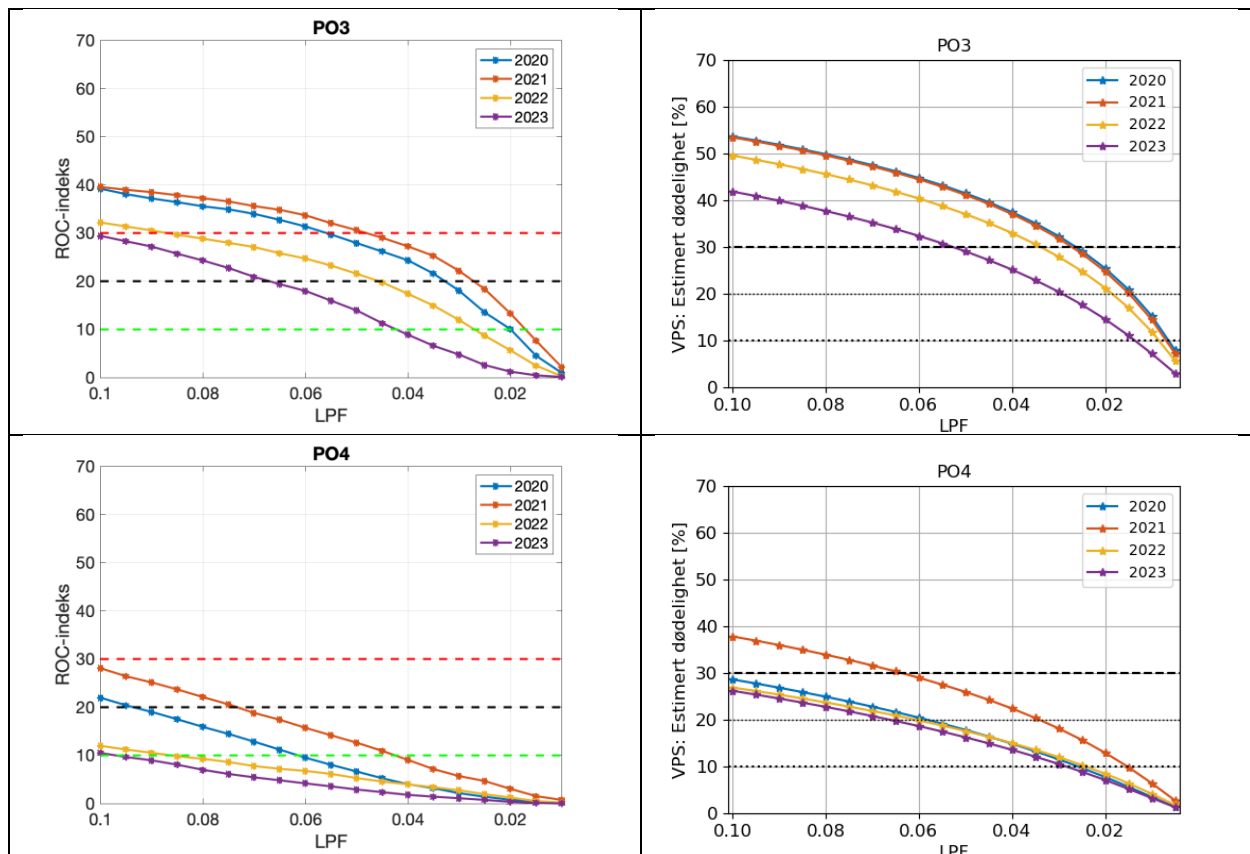
### 3.1.2 Resultat fra metode 2

Figur 2 viser antall voksne hunnlus (adult female - AF) et produksjonsområde kan ha for at dødelighet på villfisk ikke skal overskride 10%. Tallene er basert på dagens lokalitetsstruktur inkludert antall fisk i sjø. Beregningene er gjort med både ROC metoden og VPS metoden, og resultatene er gitt som et gjennomsnitt over årene 2020-2023. Forskjellen mellom totalt antall voksne hunnlus som kan tillates varierer mye mellom produksjonsområdene, hovedsakelig på grunn av ulik mengde fisk i merdene, geografi/størrelse på produksjonsområdet, de modellerte utvandningsrutene til smolten og ulik kalibrering av metodene (altså hvordan observasjonsdata brukes for å oversette modellert smittepress til dødelighet på villfisk). Tallene varierer også mellom år, og antall lus per år 2020-2023 er vist i Appendiks A, 7.3.



Figur 2: Totalt antall moden hunnlus (AF-adult female) tillatt per produksjonsområde for at dødelighet på villfisk ikke skal overskride 10%.

All fisk har i dette eksperimentet samme antall modne hunnlus. Beregningen starter på 0,1 hunnlus per fisk (LPF), så settes lusenivået gradvis ned og dødelighet på villfisk beregnes med ROC- og VPS-metoden. Figur 3 viser resultatene fra PO3 og PO4, mens figurer for de andre Produksjonsområdene er samlet i Appendiks B (8). Dette er en forenklet måte å beregne reduksjonen på og tar ikke hensyn til tetthetseffekten av redusert smittepress (populasjonsdynamikk/anleggsmodell) som mest sannsynlig vil øke effekten etter hvert som smittepresset går ned. Den mellomårlege variasjonen er betydelig for begge metodene og skyldes hovedsakelig mellomårlig variasjon i det fysiske miljøet og produksjonssyklusen i anleggene.



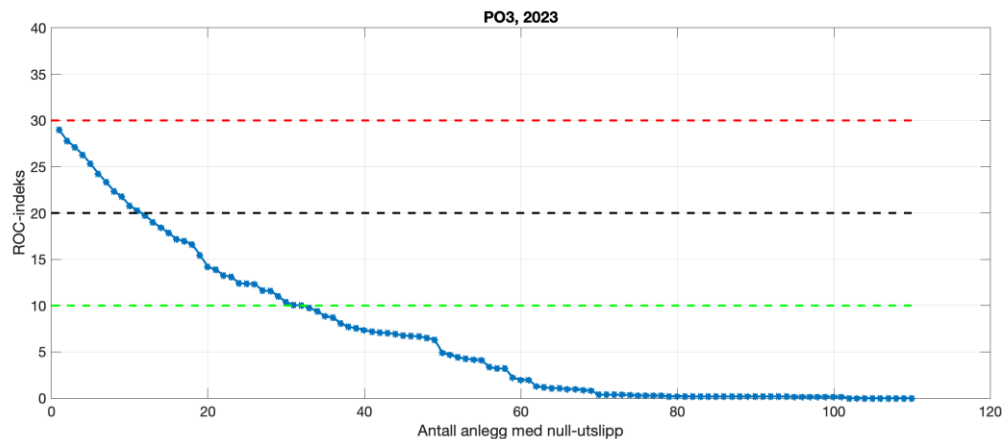
Figur 3: Beregnet dødelighet med ROC-metoden (venstre kolonne) og VPS-metoden (høyre kolonne) i PO3 (øverst) og PO4 (nederst) for ulikt antall lus per fisk (LPF).

### 3.1.3 Oppsummering

Vi har vist på ulike måter hvor stor produksjon av lakseluslarver produksjonsområdene tåler for å styre mot grønt. Det totale luseutslippet varierer relativt mye mellom produksjonsområdene, og PO3 er helt klart det område som er lengst unna 10% grensen. Dette bør heller ikke være overraskende med tanke på at Vestlandet har fått rødt lys flere ganger i trafikklssystemet.

Spesielt for Vestlandet vil det bli svært krevende å komme ned til en utslippskvot (lusegrense 0,0X), som ivaretar hensynet til villfisk (dødelighet <10%). Eventuelle muligheter forutsetter sannsynligvis en stor omlegging av lokalitetsstrukturen eller andre tiltak som ikke gjøres i dag. Det er slik at enkelte anlegg, sannsynligvis på grunn av geografisk lokalisering, bidrar i større grad til smittepresset. For eksempel halveres

smittepresset beregnet med ROC-metoden i PO3 ved å innføre nullutslippsteknologi på 20 av totalt 110 anlegg i 2023 (Figur 4).



Figur 4: Utvikling av ROC-indeksen etter hvert som anlegg får innført null-utslippsteknologi (bidraget til lusepresset fjernes). Det anlegget som bidrar mest til ROC-indeksen får null-utslippsteknologi først osv. Startsituasjonen er at alle fisk i anleggene har 0,1 lus, og anleggene har det antallet fisk som var rapportert.

Huserbråten mfl. (2020) har vist at strategisk lukking av 1/3 av anleggene i PO3 reduserer smittepresset mot andre anlegg opp mot 80%. I en annen studie ble det vist at nullutslippsteknologi på 10 lokaliteter i Nordhordland medførte ca. 37% færre avlusninger i PO4 (Skår mfl. 2024). Noen anlegg bidrar også i større grad til smitte hos villfisk på grunn av overlapp i smittepress fra anlegg og utvandningsruter for smolt. Grunnet kort tidsfrist har det ikke vært mulig med en inngående analyse av smittenettverkene som finnes (konnektivitet) og overlapp med villfisk, men potensialet for å demonstrere slike er vist gjennom tidligere publikasjoner og eksempler (se punkt c).

### 3.2 Beregning av maksimal produksjon for å nå 20% dødelighet

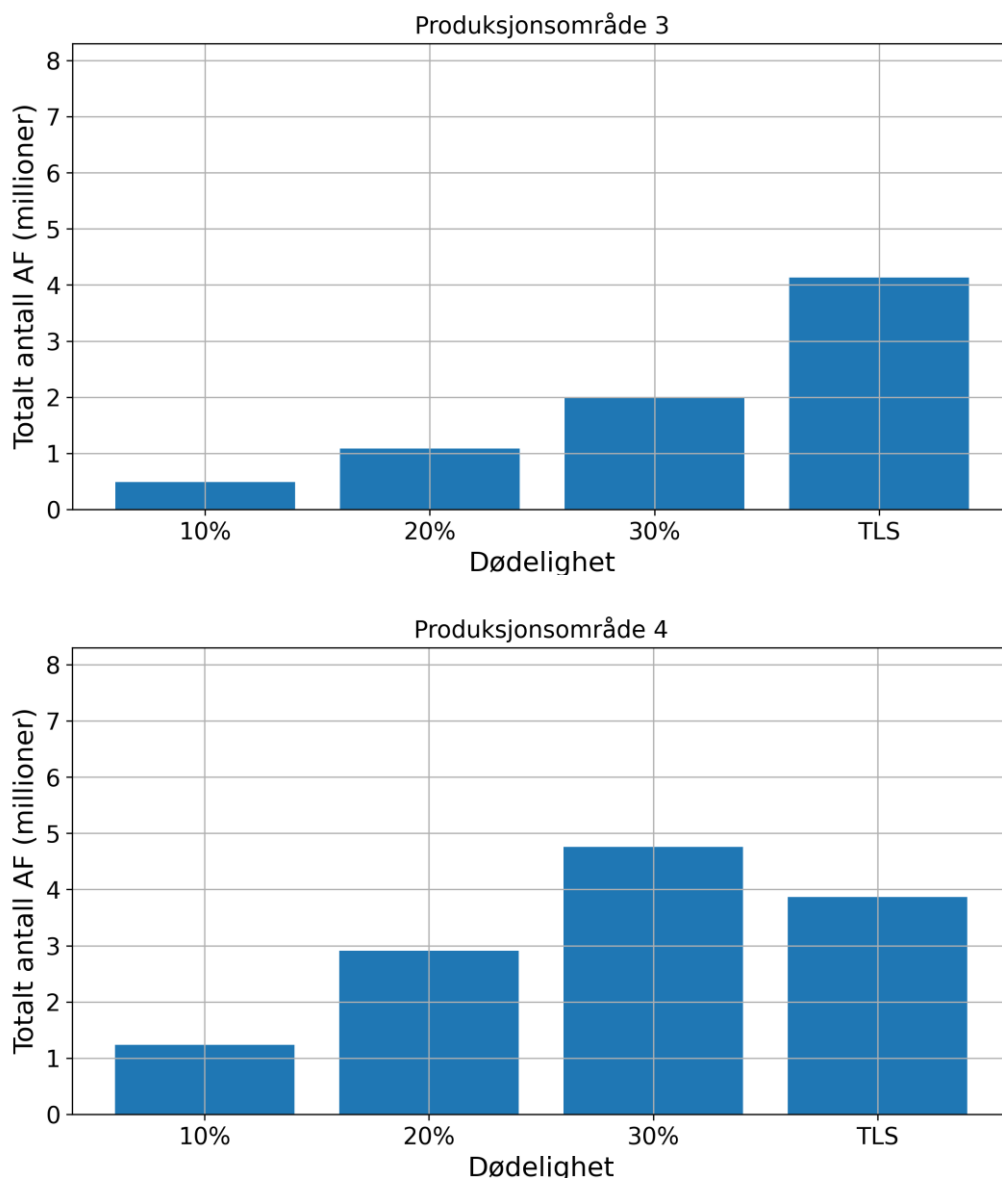
- b) Vurdering av lakselusutslipp hvis grensen for rødt settes til 20% dødelighet på utvandrende postsmolt, fortrinnsvis i PO3 og PO4. Hva blir konsekvensene med å endre til 20% i forhold til 30% (endring i lusekvote i PO), inkludert en gradvis nedjustering av lusekvoten i PO3 som en overgang fra rødt til grønt, via gult?

Lusekvoten, i form av lus per fisk (LPF, metode 2), er vist i Figur 3 for PO3 og PO4 for de aktuelle grensene; 10%, 20% og 30%. For PO3 viser begge metodene stor variasjon mellom år. Omregnet til totalt antall AF blir dette mellom 1,4 og 3,7 millioner AF, med ROC metoden og mellom 0,8 og 1,6 millioner AF med VPS metode tillat i PO3 for å nå 20% dødelighet.

For PO3 har dødeligheten beregnet med VPS-metoden i Trafikklyssystemet variert mellom 33 og 51% for årene 2020-2023 (Tabell 3). Gjennomsnittlig antall lus i PO3 for å nå disse dødelighetene er gitt i Figur 5 (siste kolonne) gitt at all fisk hadde like mange lus. Figur 5 viser også reduksjonen i antall lus som må til for å nå 10%, 20% og 30% dødelighet i PO3. Totalt antall voksne hunnlus må ned med 2,1, 3, og 3,6 millioner for å nå henholdsvis 30%,

20%, og 10% dødelighet. For å gå fra 20% til 10% dødelighet, må antall hunnlus halveres i PO3. Merk at disse tallene bare er beregnet med VPS-metoden og at de er et gjennomsnitt over årene 2020-2023.

I PO4 har dødeligheten beregnet med VPS-metoden i snitt vært under 30% i trafikklyssystemet. Det nederste panelet i Figur 5 viser dermed at totalt antall voksne hunnlus kunne vært høyere i PO4 for å nå 30% dødelighet i snitt. For å nå 10% og 20% dødelighet, må totalt antall hunnlus ned med henholdsvis 2.6 og 1 millioner fra TLS-verdier. Merk at disse tallene bare er beregnet med VPS-metoden og gitt at all fisk hadde like mange lus.



Figur 5: Totalt antall moden hunnlus (AF-adult female) tillatt i PO3 (øverst) og PO4 (nederst) for at den estimerte dødelighet på villfisk ikke skal overskride 10%, 20%, 30%, beregnet med VPS-metoden. Kolonnen "TLS" er antall voksne lus som kan tillates for å nå de historiske VPS-tallene fra trafikklyssystemet. Figuren viser dermed teoretisk nedgang fra historiske verdier (TLS) til de



forskjellige dødelighetene. Tallene er gjennomsnitt over årene 2020-2023, merk at tallene varierer mellom år.

Tabell 2: Kolonnene viser prosentvis reduksjon av smittepresset ved bruk av ROC metoden og VPS metoden for årene 2020-2023 som må til for å komme under 20% dødelighet. For ROC metoden er det gått ned med grove steg på 10%, men VPS metoden har gått ned med steg på 1%. Bare PO2 til PO7 er vist da ROC-indeksen og VPS-dødeligheten allerede er under 20% i de andre produksjonsområdene.

PO	ROC-indeks				VPS			
	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023
2	60	70	20	40	54	57	23	28
3	50	70	50		79	84	74	52
4		10			17	54	30	
5								12
6								
7	40							

I PO3 må smittepresset reduseres med 50-84% for at den estimerte dødeligheten skal komme under 20% (Tabell 2). I PO4 må smittepresset reduseres med 10-54 % for at den estimerte dødeligheten skal komme under 20%

### 3.3 Enkeltlokaliteter

#### c) Vurdere enkeltlokaliteters effekt på villfisk og smittepresset i enkelte elver.

Spredningsmodellsystemet kan estimere enkeltlokaliteters påvirkning på smittepresset fra lakselus for utvalgte areal, som for eksempel utvandningsruten for en spesifikk elv i den grad denne er kjent. Et eksempel fra Lærdalselva er gitt i Appendiks A (7.4). Vandringsruten, basert på best mulig tilgjengelig kunnskap, fra alle elver har blitt definert i forbindelse med Trafikklyssystemet. Noen elver, som for eksempel Lærdalselva, har en godt definert vandringsrute gjennom Sognefjorden. Namsen har derimot en mye mer usikker vandringsrute i og med at postsmolten kan velge å følge kysten opp mot Vikna eller gå rett til havs, som beskrevet i Myksvoll mfl. 2020. Det er altså større usikkerhet i å beregne enkeltlokaliteters effekt på Namsen enn på Lærdal.

Det er to virkninger av enkeltlokaliteters effekt på villfisk som kan vurderes. Først den direkte smitten gjennom eksport av smittsom lakselus til områder villfisk oppholder seg i. Dernest vil der være en indirekte effekt ved at et anlegg bidrar til å smitte andre anlegg (smittenettverk/konnektivitet), som igjen kan smitte andre anlegg og/eller villfisk. Dette har vi ikke tatt hensyn til her, men det er beskrevet tidligere i for eksempel (Samsing mfl. 2019, Huserbråten mfl. 2020a, 2020b og Huserbråten og Johnsen 2022). Konklusjonene

er at brudd i smittenettverk er en effektiv måte å få ned det samlede smittepresset i et område på.

Det vi være mulig å dele anlegg inn i kategorier basert på hvilke bidrag lokaliteten har til villfisk og det generelle smittepresset mellom anlegg (konnektivitet/smittenettverk), for eksempel «høy», «moderat» og «lav» utslippslokalitet. Dette krever imidlertid at der defineres noen regler for hvordan de ulike bidragene skal vektas, samt hvordan variabilitet mellom år og metoder skal inkluderes.

- d) Ifm. Artikkelen Sandvik et al. 2021: The development of a sustainability assessment indicator and its response to management change as derived from salmon lice dispersal modelling, ønsker vi å stille følgende spørsmål:
- a. Vi ønsker å vite hvor mange kjønnsmodne hunnlus som totalt kan være i anleggene i hvert produksjonsområde.

Dette er besvart over under punkt 1a).

## 4 Variasjoner i tålegrensen gjennom året

- b. Kan tålegrensen for lakselus gjennom året variere ut fra risiko for negativ påvirkning på ville laksebestander.

Lakselusa utvikler seg basert på vanntemperaturen, og produksjonen av nye lakselus skjer betydelig raskere når det er varmt i vannet i sommersesongen enn om vinteren. Vanntemperaturen vil typisk variere fra ca. 3-5 °C til 15-20 °C. Lakseluslarvene utvikler seg også raskere til smittsomme stadier når det er varmt i vannet, og ikke minst er evnen de har til å feste seg på en fisk større i varmere vann. Derfor kan en tenke seg at en kan tillate mer lakselus på oppdrettsfisk når vanntemperaturen er lav. Laksesmolt oppholder seg dessuten i fjordene og langs kysten i kortere perioder av året. Derimot vil det være andre laksefisk i fjordene hele året, noe som bør hensyntas. Vi vet også at når lakselusbestanden først begynner å utvikle seg, skjer dette eksponentielt og kan være nærmest eksplosiv, noe som gjør det utfordrende å finne et riktig tillatt nivå av lus på oppdrettsfisk.

Mesteparten av sjøørreten vandrer til fjorden/havet i løpet av våren. Mens noen individer bare oppholder seg i havet i noen måneder, forblir andre sjøørreter i det marine miljøet gjennom hele vinteren. I noen tilfeller kan sjøørreten være i fjorden i flere år før de vender tilbake til elva de skal gyte i (Jonsson & Jonsson 2009, Jensen & Rikardsen 2012). I enkelte elver og bekker finner man sjøørret kun i elven under gyttesesongen, mens de tilbringer mesteparten av tiden i elvemunningen eller i sjøvann (Knutsen et al. 2004, Olsen et al. 2006). Dette kan skyldes at ferskvannshabitatet kan være svært variabelt og i noen tilfeller skadelig. For eksempel kan habitatene midlertidig tørke ut under gjentatte tørkeperioder,

og på nordlige breddegrader kan mindre vassdrag fryse til og bli ubeboelige i vintermånedene (Limburg et al. 2001, Jensen & Rikardsen 2012). Sjørret kan også vandre ut av elven til fjorden gjennom hele året, og høstutvandring av både smolt og større sjørret har vært dokumentert (Poole et al. 1996; Jonsson and Jonsson 2002, 2009). Som et eksempel, utgjorde høstvandrerne 20 % av vårklassen hos brunørret i elven Lilleaa i Danmark (Aarestrup et al. 2018). Disse prosentene varierer sannsynligvis mellom vassdrag, bestander og år, og påvirkes trolig av habitat- og miljøforhold, samt forholdene i sjøen (f.eks. saltholdighet, temperatur).

Selv om vanntemperaturen om vinteren er forventet forsinke hunnlusenes produksjon av egg og utviklingstider frem til smittomt kopepodittstadium i betydelig grad, gir dette ingen garanti for at lusepress ikke kan bli høyt også om vinteren. I Sognefjorden er det allerede dokumentert et stort påslag av lakselus på sjørret om vinteren, med gjennomsnitt antall lus per fisk på over 250 med en høy andel av fastsittende stadier (noe som indikerer at smitten har skjedd i løpet av vinteren; Vollset & Barlaup 2014).

Strategien med å tilbringe en vinter i sjøen kan derfor være avgjørende for sjørretens livshistorie for å sikre bestandens stabilitet. Økt lakselusmitte om vinteren kan være skadelig for enkelte bestander og livshistorie-strategier hos sjørret. Hvor utbredte disse strategiene er på tvers av vassdrag og regioner er imidlertid ikke godt kartlagt.

## 5 Andre kommentarer/hensyn

En viktig forutsetning for innføring av lusekvoter er god kvalitet på alle data som rapporteres fra anleggene, altså antall fisk, antall voksne hunnlus per fisk og vanntemperatur. Innføring av utslippskvoter som beskrevet her øker behovet for modellberegningen, derfor blir det ekstra viktig å sikre god kvalitet på lusetellinger i anleggene for eksempel med automatiske lusetellingssystemer. Dagens rapporteringssystem, der resultatene rapporteres ukentlig uten at spesifikk dag oppgis, er dessuten en betydelig svakhet som lett kan rettes opp i.

Vi gjør oppmerksom på at modellberegningene og resultatene som er beskrevet i denne bestillingen har blitt produsert med kort tidsfrist. Det har ikke vært tid til en omfattende analyse som bør ligge til grunn for lokalitetsstruktur blant annet. Vi mener likevel at resultatene er gode og at de ikke minst illustrerer det potensialet denne metodikken har for å vurdere smittesituasjonen i lakseoppdrett (det gjelder både parasitter som her og annen vannbåren smitte) slik at næringen kan utvikles i en bærekraftig retning.

## 6 Referanser

Huserbråten mfl., (2020a) Endret lokalitetsstruktur i produksjonsområde 3, vurdert virkning på spredning av lakselus, pankreassykdom og infektøs lakseanemi, Rapport fra Havforskningen, 12-2020

Huserbråten mfl., (2020b) Lokalitetsstruktur i produksjonsområde 4, med fokus på forholdene i Nordfjord-Frøysjøen, Rapport fra Havforskningen, 48-2020

M.B.O Huserbråten, I.A. Johnsen, Seasonal temperature regulates network connectivity of salmon louse, *ICES Journal of Marine Science*, 2022; fsac024. LENKE: <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsac024>

Jonsson, B., and Jonsson, N. 2009. Migratory timing, marine survival and growth of anadromous brown trout *Salmo trutta* in the River Imsa, Norway. *Journal of Fish Biology*, 74: 621-638.

Johnsen, IA, Harvey, A, Sævik, PN, Sandvik, AD, Ugedal, O, Ådlandsvik, B, Wennevik, V, Glover, KA, and Karlsen, Ø (2021). Salmon Lice-Induced Mortality of Atlantic Salmon during Post-Smolt Migration in Norway. *ICES Journal of Marine Science* 78(1). <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsaa202>.

Knutsen, J. A., Knutsen, H., Olsen, E. M., and Jonsson, B. 2004. Marine feeding of anadromous *Salmo trutta* during winter. *Journal of Fish Biology*, 64: 89-99.

Myksvoll MS, Sandvik AD, Johnsen IA, Skardhamar J, Albretsen J (2020). The impact of variable physical conditions and future increased aquaculture production on lice infestation pressure and sustainability in Norway. *Aquacult Environ Interact* 12:193-204. <https://doi.org/10.3354/aei00359>

Sandvik AD, Bui S, Huserbråten M, Karlsen, Ø, Myksvoll MS, Ådlandsvik B, Johnsen IA, (2021a). The development of a sustainability assessment indicator and its response to management changes as derived from salmon lice dispersal modelling. *ICES Journal of Marine Science*, Volume 78, Issue 5, August 2021, Pages 1781–1792, <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsab077>

Sandvik AD, Dalvin S, Skern-Mauritzen R, Skogen M. (2021b) The effect of a warmer climate on the salmon lice infestation pressure from Norwegian aquaculture. *ICES Journal of Marine Science*, Volume 78, Issue 5, August 2021, Pages 1849–1859, <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsab069>

Skår, Ketil., Løkslett, Hege., Misund, Bård., Sandvik, Anne Dagrund., Stige, Leif Christian., Taranger, Geir Lasse., Tveterås, Ragnar. Sluttrapport «FRA RØD TIL GRØNN KYST– Kunnskapsinnhenting for bærekraftig omstilling av havbruksaktiviteten i Vestland. VI rapport 2024-09. Veterinærinstituttet 2024.

Samsing, F., Johnsen, I., Treml, E. A., & Dempster, T. (2019). Identifying ‘firebreaks’ to fragment dispersal networks of a marine parasite. *International Journal for Parasitology*, 49(3-4), 277-286.

Vollset, K. W., and Barlaup, B. T. 2014. First report of winter epizootic of salmon lice on sea trout in Norway. *Aquaculture Environment Interactions*, 5: 249-253

VRL (2017). Status for norske laksebestander i 2017. In *Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning*, p. 152 s.

VRL (2020). Status for norske laksebestander i 2020. In *Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning*, p. 147 s.

## 7 Appendiks A

### 7.1 Historiske estimerte dødeligheter per PO (fra Trafikklyssystemet)

Tabell 3: Historiske ROC-indeks (venstre) og VPS-dødelighet (høyre) fra Trafikklyssystemet

PO	ROC-indeks				VPS			
	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023
1	0	0	0	0	0.3	0	0.1	0.1
2	43.8	37.9	26.2	29.7	33.5	31	24.6	25
3	37.2	37.6	30.2	20.3	47.5	50.7	44	32.7
4	15.5	21.6	10.4	4.2	23.1	32.3	25.2	18.5
5	1	10.2	3	14.2	11.7	12.1	12.5	22.2
6	17.9	11.6	15.1	10.1	13.8	12.5	14.3	15
7	28.4	14.5	19.4	17.5	12	9	14	8.9
8	1.2	11.2	4.1	2.8	7.5	10.6	9.9	8.7
9	0.8	5.2	1.2	2.7	3	12.4	5.8	6.4
10	9.3	16.8	8.3	10.3	11.5	15.4	13.1	11.8
11	0.5	2.2	0.9	0.9	5.4	11.6	6.1	7.1
12	0.9	1.6	2	1	2.1	5.1	3.8	3.2
13	0	0	0	0	0	0	0	0

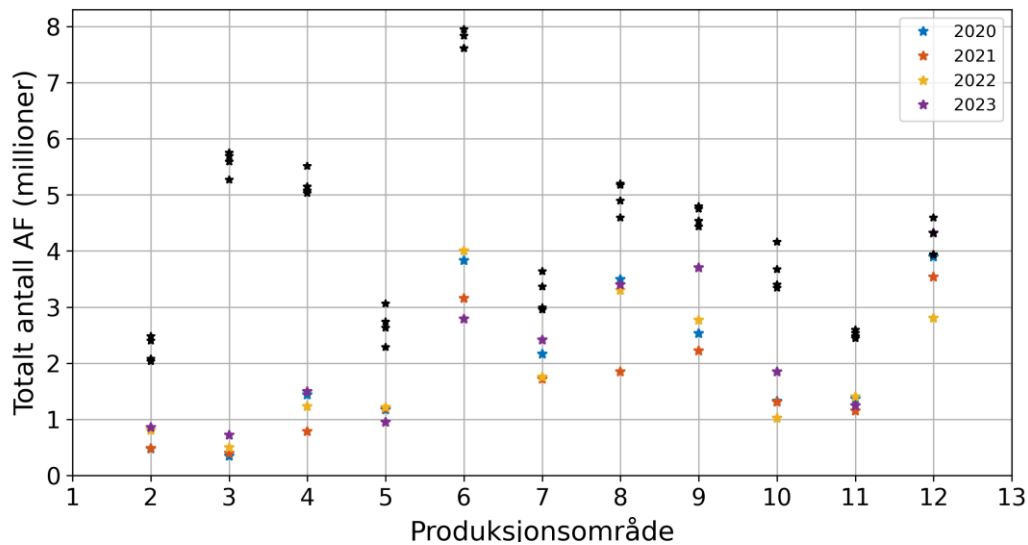
### 7.2 Dødelighet ved 0.1 hunn lus per fisk

Tabell 4. ROC-indeks (venstre) og VPS-dødelighet (høyre) beregnet for 0.1 hunn lus per fisk

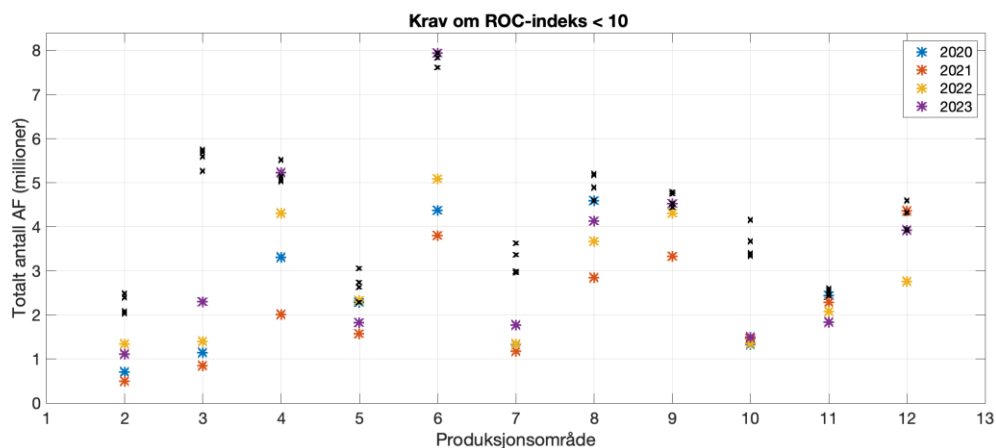
PO	ROC				VPS			
	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023
1	0.4	0.0	0.2	0.1	0.6	0	0.4	0.1
2	40.2	35.0	24.6	24.1	30.4	28.6	22.3	22.6
3	39.2	39.6	32.2	29.4	53.5	53.3	49.4	41.5
4	22.0	28.1	12.0	10.5	28.2	37.4	26.6	25.8
5	5.6	18.2	14.3	14.8	17.8	18.7	19.8	25.2
6	29.2	28.4	18.6	9.2	18.3	19.4	17.3	22.4
7	25.6	33.3	20.3	25.1	13	16.5	15.6	14
8	8.7	30.1	18.4	12.7	13	22.7	14.3	14.4
9	10.3	13.6	12.5	9.6	16.1	17	15.6	12.2
10	38.5	29.1	30.5	31.8	20.5	21.6	24	18.8
11	9.9	12.6	14.0	15.3	16.2	19.1	16.5	17.3
12	9.7	10.4	16.3	8.2	10	12.5	13	9.8
13	1.3	0.0	0.7	1.5	0	0	0	0

### 7.3 Totalt antall voksne hunnlus for å komme under 10/20 % dødelighet, for 2020-2023

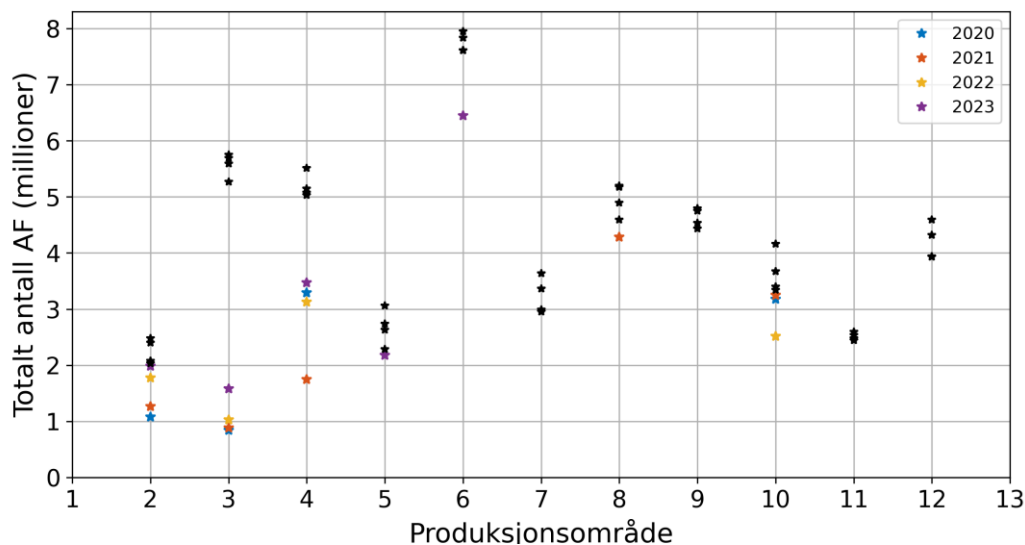
Figurene under viser totalt antall voksne hunnlus i et produksjonsområde som kan tillates for å komme under 10% og 20% dødelighet for årene 2020-2023. I tillegg vises det hvor mange voksne hunnlus det er i produksjonsområdet dersom alle fisk hadde 0.1 modne hunnlus.



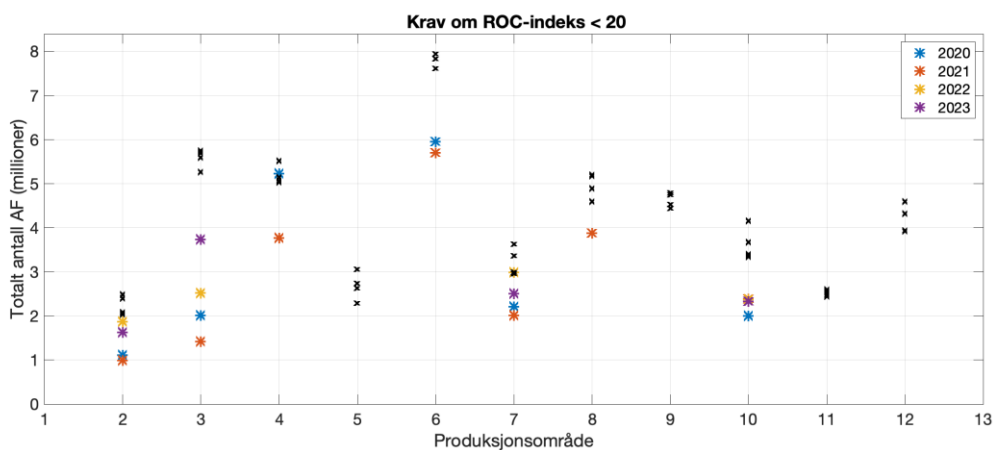
Figur 6: Totalt antall voksne hunnlus (AF) tillatt for å komme under 10% dødelighet beregnet med VPS-metoden. Fargene indikerer år, og sorte kryss viser hvor mange voksne hunnlus det er i produksjonsområdet dersom alle fisk hadde 0.1 modne hunnlus (skiller ikke i farge mellom år).



Figur 7: Totalt antall voksne hunnlus (AF) tillatt for å komme under 10% dødelighet beregnet med ROC-metoden. Fargene indikerer år, og sorte kryss viser hvor mange voksne hunnlus det er i produksjonsområdet dersom alle fisk hadde 0.1 hunnlus (skiller ikke i farge mellom år). Merk at noen år er ROC-indeksen ved 0.1 hunnlus per fisk (Tabell 4) nærme 10 slik at beregningen gir om lag samme tall som om alle fisk hadde 0.1 hunn hunnlus.



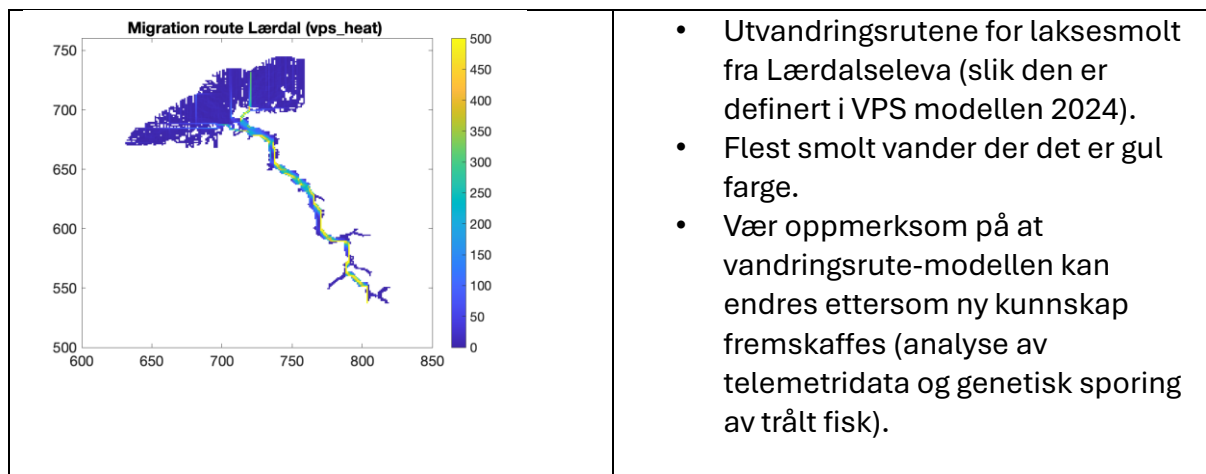
Figur 8: Totalt antall voksne hunnslus (AF) tillatt for å komme under 20% dødelighet beregnet med VPS-metoden. Fargene indikerer år, og sorte kryss viser hvor mange voksne hunnslus det er i produksjonsområdet dersom alle fisk hadde 0.1 hunnslus (skiller ikke i farge mellom år). Merk at noen år er VPS-indeksen i noen produksjonsområder allerede under 20 for 0.1 hunnslus per fisk (Tabell 4), her kunne produksjonsområdet hatt mer enn 0.1 hunnslus per fisk. Tallene er derfor ikke plottet i figuren.



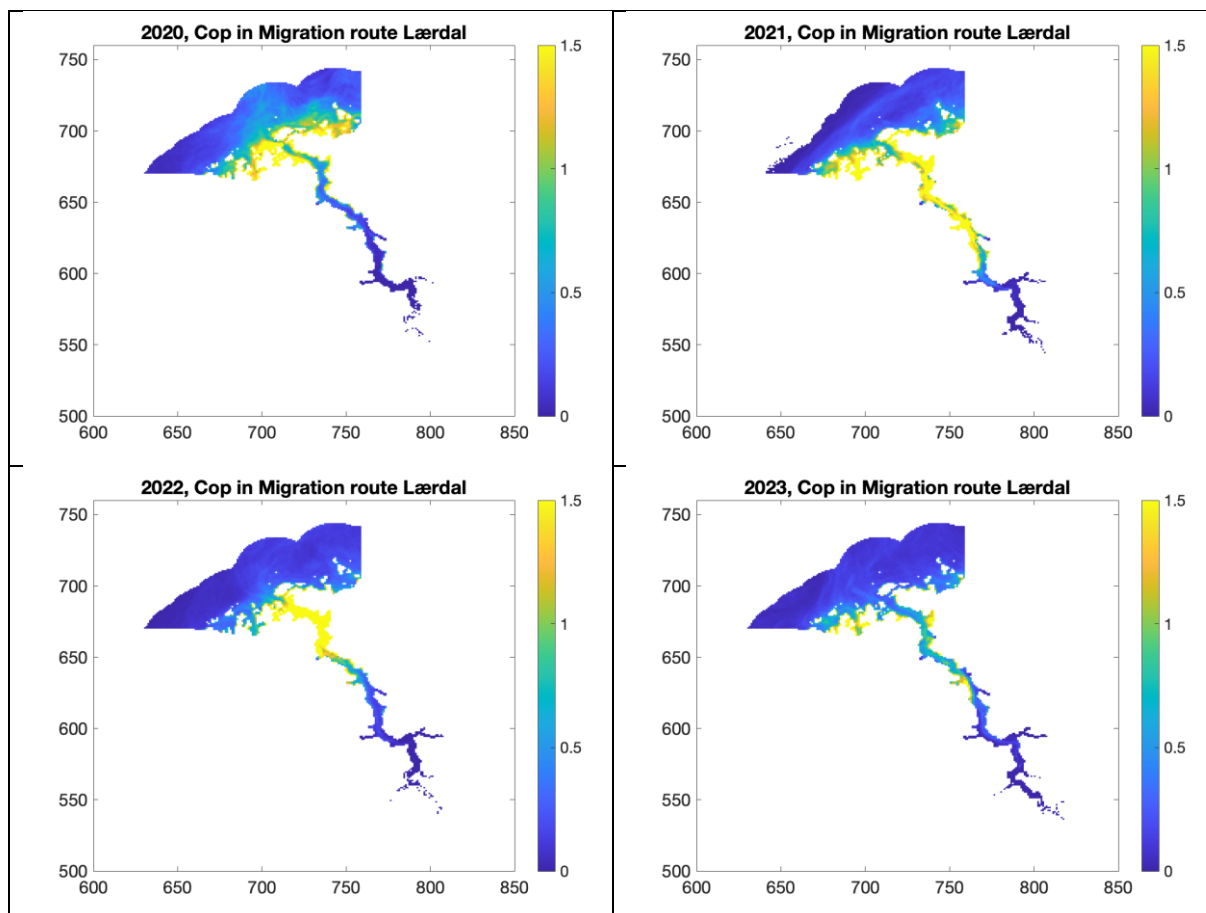
Figur 9: Totalt antall voksne hunnslus (AF) tillatt for å komme under 20% dødelighet beregnet med ROC-metoden. Fargene indikerer år, og sorte kryss viser hvor mange voksne hunnslus det er i produksjonsområdet dersom alle fisk hadde 0.1 hunnslus (skiller ikke i farge mellom år). Merk at noen år er ROC-indeksen i noen produksjonsområder (Tabell 4) under 20, disse kunne produksjonsområdet hatt mer enn 0.1 LPF. Tallene er derfor ikke plottet i figuren.

## 7.4 Enkeltlokaliteters bidrag til smitte av populasjoner fra en elv

Et eksempel på hvordan den direkte smitten på villaks fra en enkelt oppdrettslokalitet kan beregnes er vist under, der også den mellomårlige variasjonen er eksemplifisert.

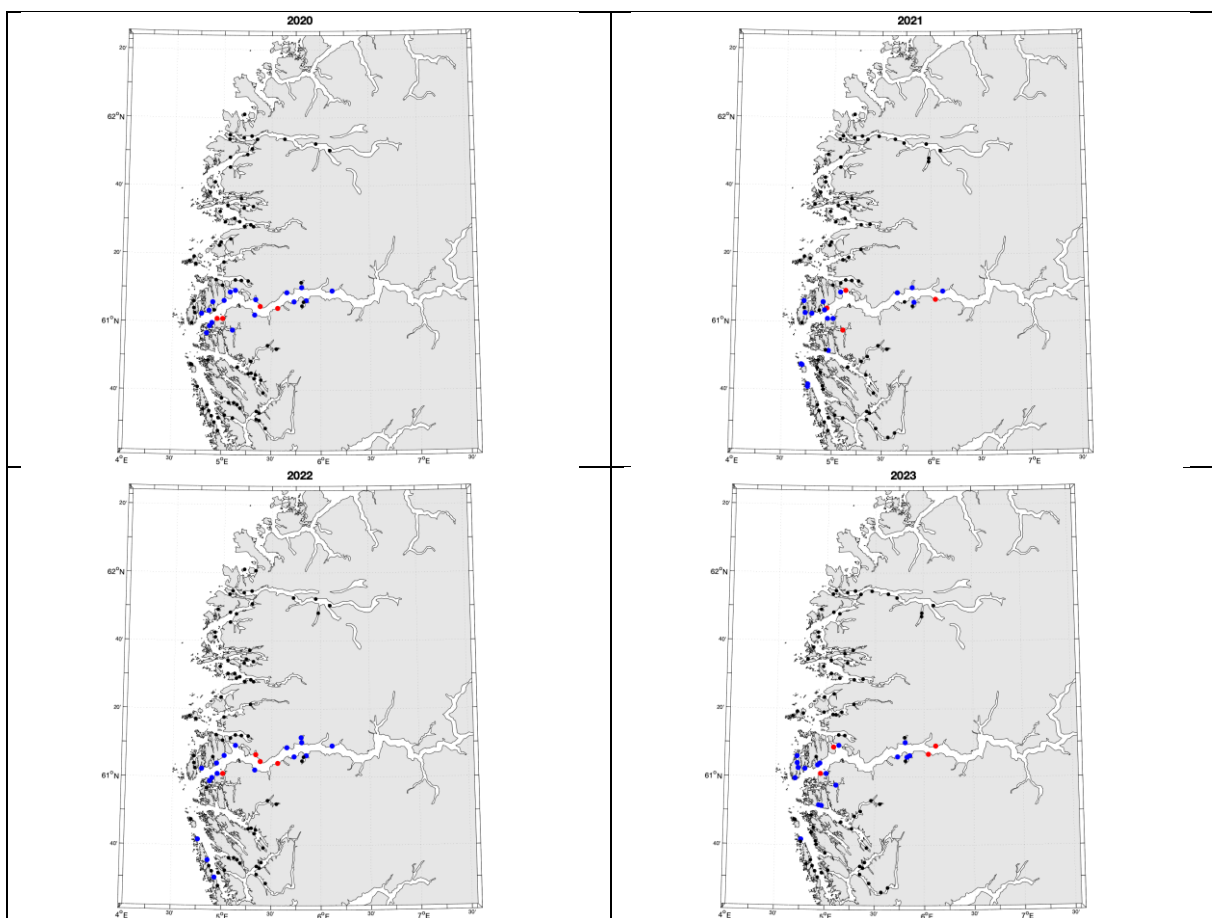


Figur 10: Vandningsruten for postsmolt av laks fra Lærdalsvassdraget. Fargeskalaen representerer sannsynligheten for at en smolt vander innom denne posisjonen

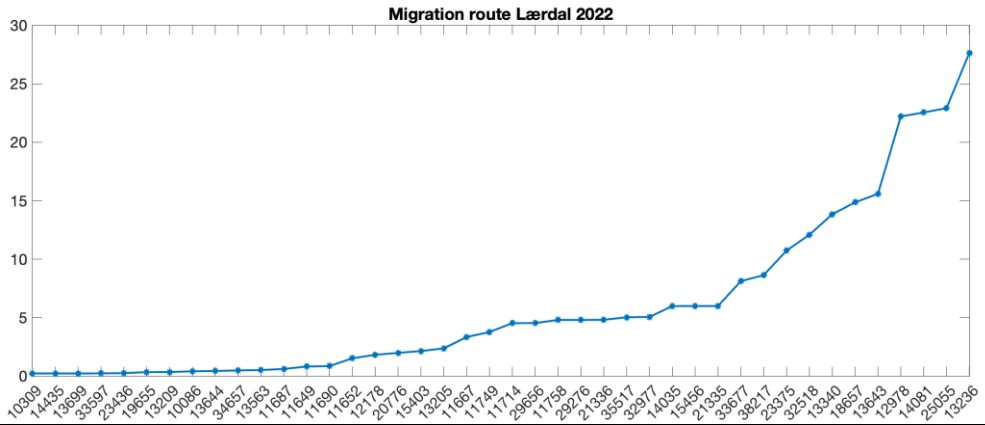
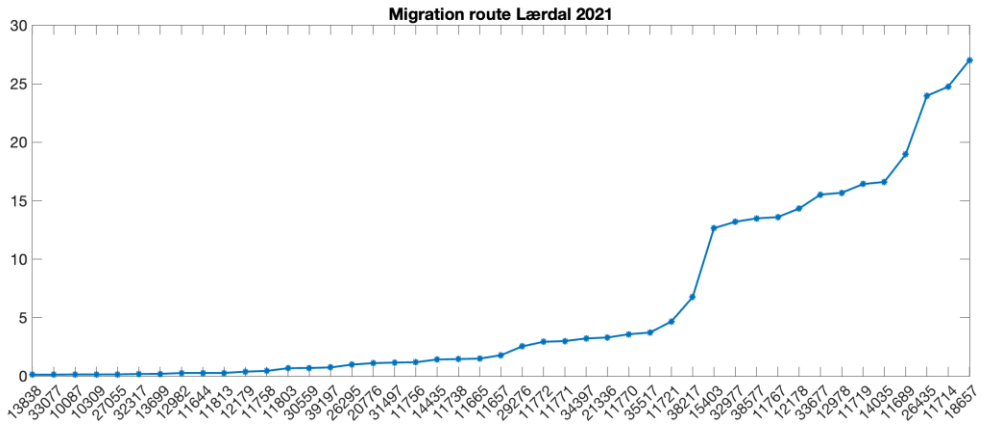
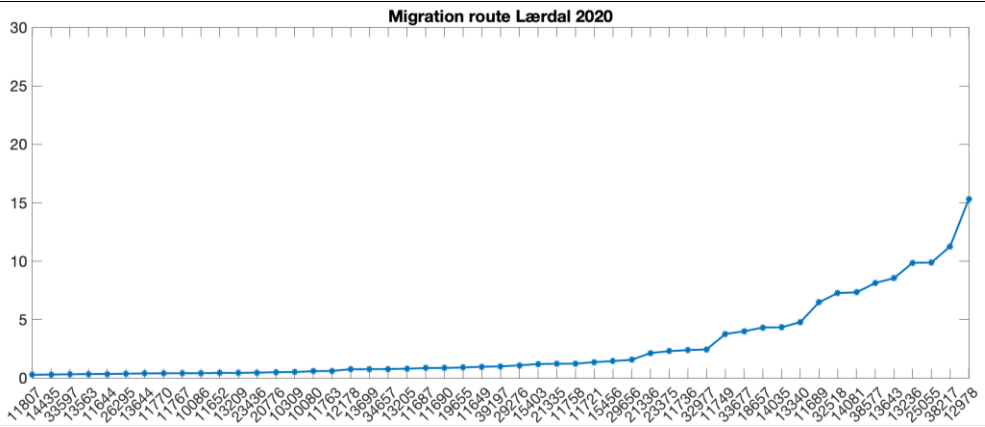


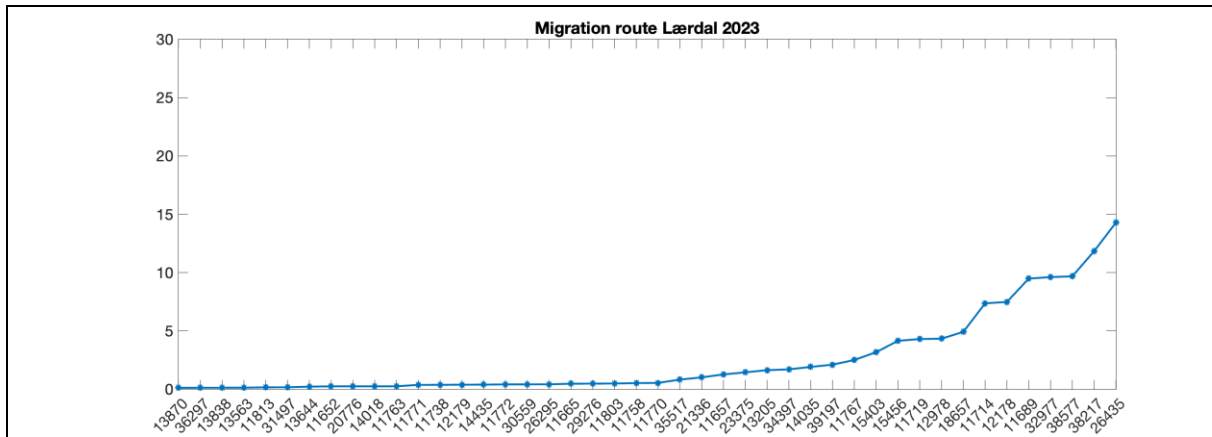


Figur 11: Tetthet av kopepoditter (for 18. mai – 17. juni) i utvandningsruten til postsmolt laks fra Lærdalselva. Gul og blå farge viser henholdsvis hvor det er stor og liten tetthet av kopepoditter i den gitte perioden. Feltet er dynamisk og endrer seg fra time til time slik at summen over en annen periode kunne sett noe annerledes ut.



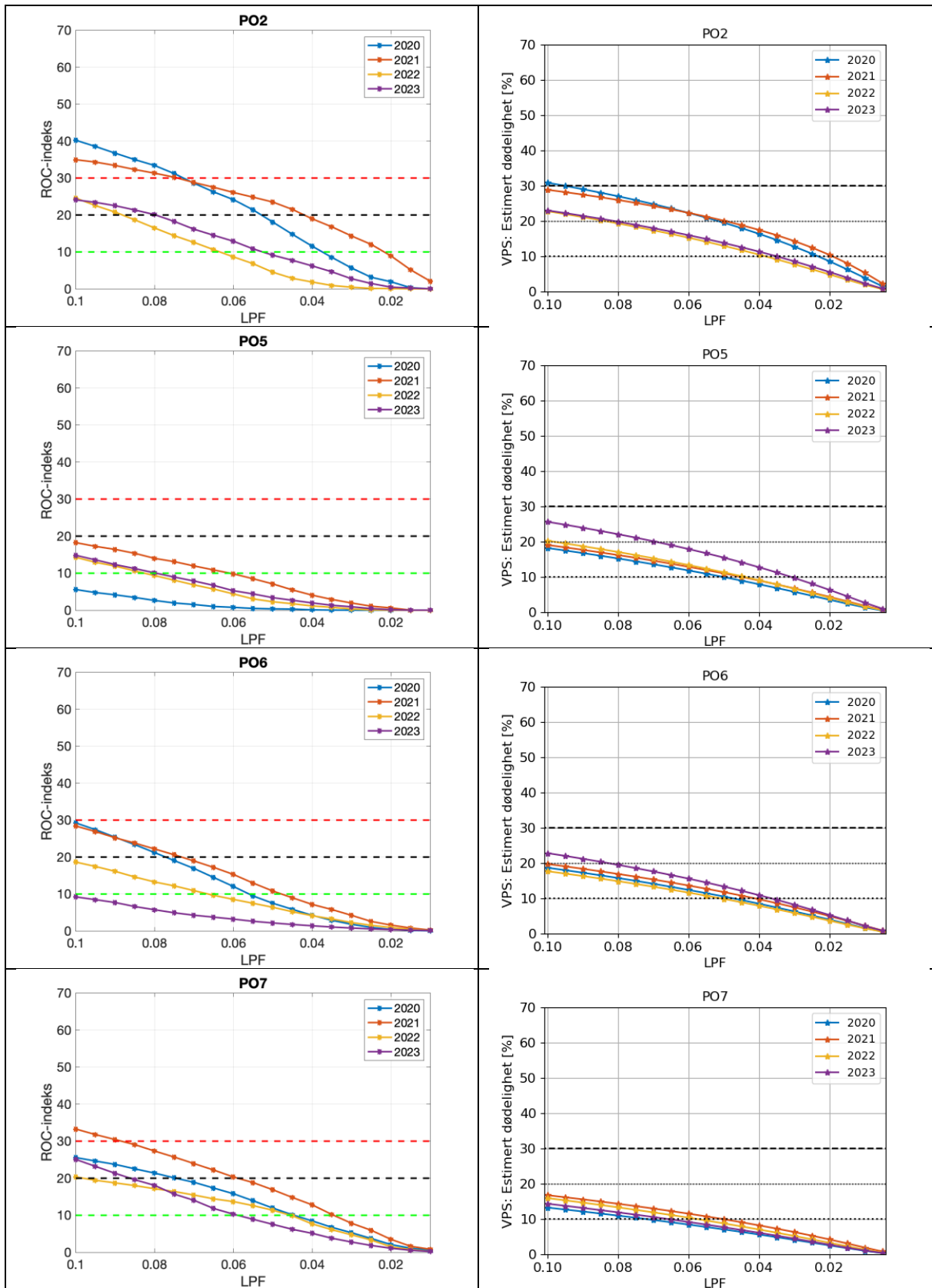
Figur 12: De 20 anleggene som bidrar mest til mengden av kopepoditter i vannmassene er markert med blå farge og de fire som bidrar aller mest er markert med rødt. Resultatene er basert på simuleringen der all fisk har 0.1 voksne hunnlus.

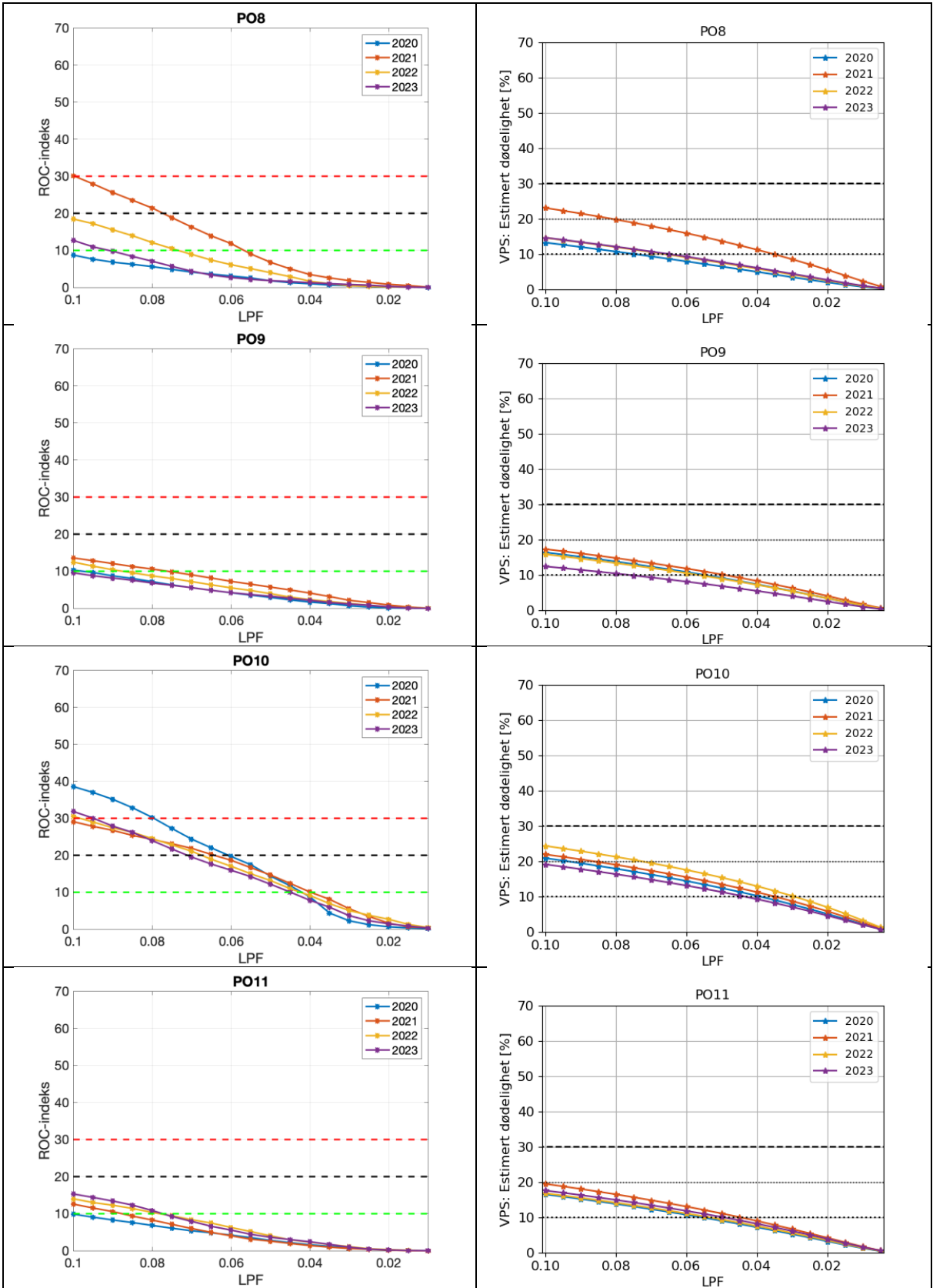


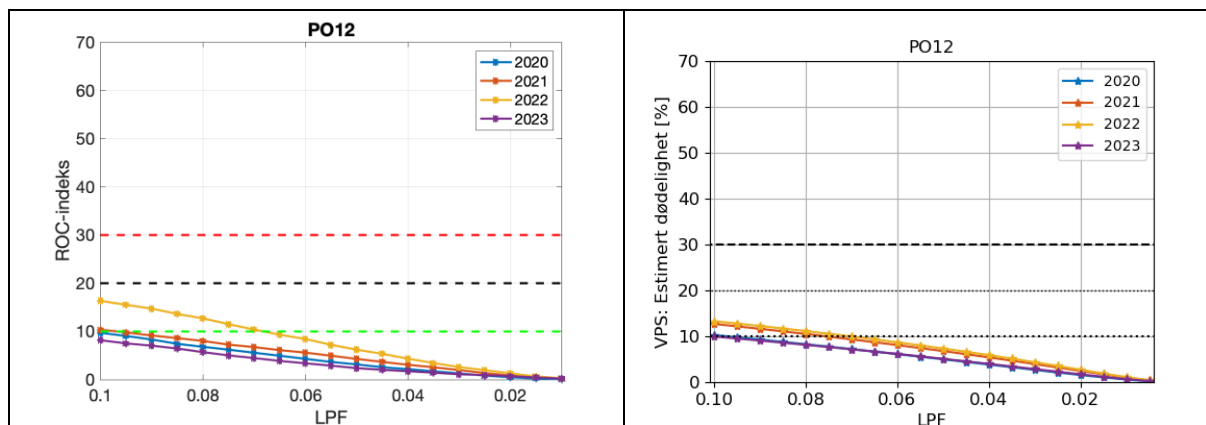


Figur 13: Bidrag per lokalitet per år. Y-aksen viser den totale mengden kopepoditter i utvandningsruten (figurer som tetthetskartene over per lokalitet).

# 8 Appendiks B







Figur 14: Beregnet dødelighet med ROC-metoden (venstre kolonne) og VPS-metoden (høyre kolonne) i PO2, PO5 -PO12 for ulikt antall hunnlus per fisk (LPF).