

2021:01100 - Åpen

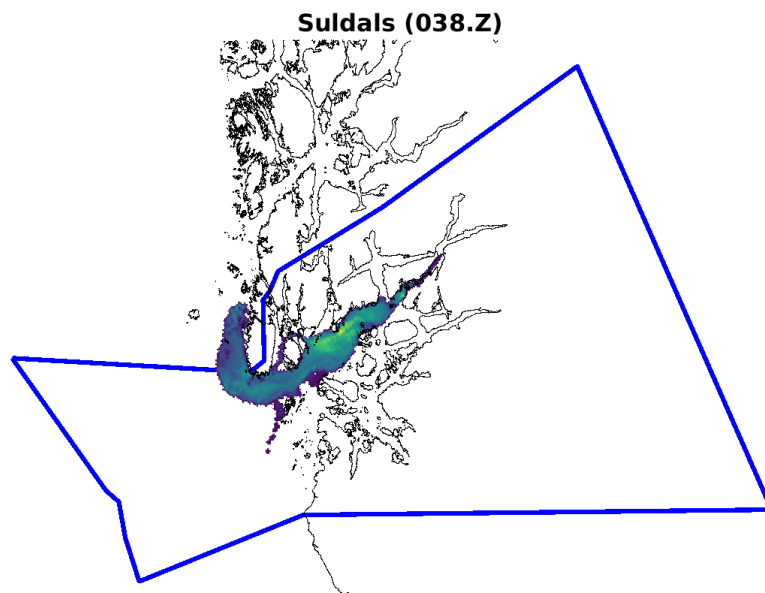
# Rapport

## Simulert luseindusert dødelighet på virtuell smolt i produksjonsområde 2 til 7 ved bruk av SINMOD

Resultat fra 2021

Forfatter(e)

Ingrid Ellingsen



SINTEF Ocean AS

Postadresse:  
Postboks 4762 Torgarden  
7465 Trondheim  
Sentralbord: 46415000Foretaksregister:  
NO 937 357 370 MVA

# Rapport

## Simulert luseindusert dødelighet på virtuell smolt i produksjonsområde 2 til 7 ved bruk av SINMOD

RAPPORTNR	PROSJEKTNR	VERSJON	DATO
2021:01223	302005708	V2	2021-10-26

**EMNEORD:**  
SINMOD  
Lakselus  
Smoltutvandring**FORFATTER(E)**  
Ingrid Ellingsen**OPPDRAKSGIVER(E)**  
Havforskningsinstituttet

<b>OPPDRAKSGIVERS REF.</b>	<b>ANTALL SIDER OG VEDLEGG:</b>
Ørjan Karlsen	29 + vedlegg

<b>GRADERING</b>	<b>GRADERING DENNE SIDE</b>	<b>ISBN</b>
Åpen	Fortrolig	978-82-14-07720-9

**SAMMENDRAG**

En dynamisk modell for pelagisk utvikling av lakselus og en modell for utvandring av postsmolt er utviklet som en del av modellsystemet SINMOD. Modellene brukes for å se på spredning av lus og for å estimere påvirkningen dette kan ha for dødelighet hos de ville populasjonene av laks i produksjonsområdene PO2 til PO7. Denne rapporten beskriver resultatene for 2021.

**UTARBEIDET AV**  
Ingrid Ellingsen**KONTROLLERT AV**  
Øyvind Knutsen  
Øyvind Knutsen (Nov 17, 2021 09:54 GMT+1)**GODKJENT AV**  
Harry Westavik

# Historikk

---

<b>VERSJON</b>	<b>DATO</b>	<b>VERSJONSBEKRIVELSE</b>
V1	2021-10-25	Versjon til KS
V2	2021-10-26	Kvalitetsikret versjon

---

# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Oppsummering .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Metoder.....</b>	<b>4</b>
2.1	Modeloppsett og input data for simuleringene .....	4
2.2	Populasjonsmodell for lus.....	5
2.3	Modell for utvandring av smolt og påslag av lus.....	7
2.3.1	Utvandring .....	7
2.3.2	Påslag av lus.....	7
2.3.3	Sensitivitetsanalyse .....	8
<b>3</b>	<b>Resultat.....</b>	<b>9</b>
3.1	Sammenligning med burdata.....	9
3.2	Resultat fra Sensitivitetsanalyse .....	12
3.3	Resultat for PO 2 til 7 .....	13
3.3.1	PO2 .....	13
3.3.2	PO3 .....	15
3.3.3	PO4 .....	17
<b>3.3.4</b>	<b>PO5 .....</b>	<b>20</b>
3.3.5	PO6 .....	23
3.3.6	PO7 .....	26
3.5	Referanser .....	28

## BILAG/VEDLEGG

[Skriv inn ønsket bilag/vedlegg]

## 1 Oppsummering

En dynamisk modell for pelagisk utvikling av lakselus og en modell for utvandring av postsmolt er utviklet som en del av modellsystemet SINMOD. Modellene brukes for å se på spredning av lus og for å estimere påvirkningen dette kan ha for dødelighet hos de ville populasjonene av laks i produksjonsområdene PO2 til PO7. Denne rapporten beskriver resultatene for 2021.

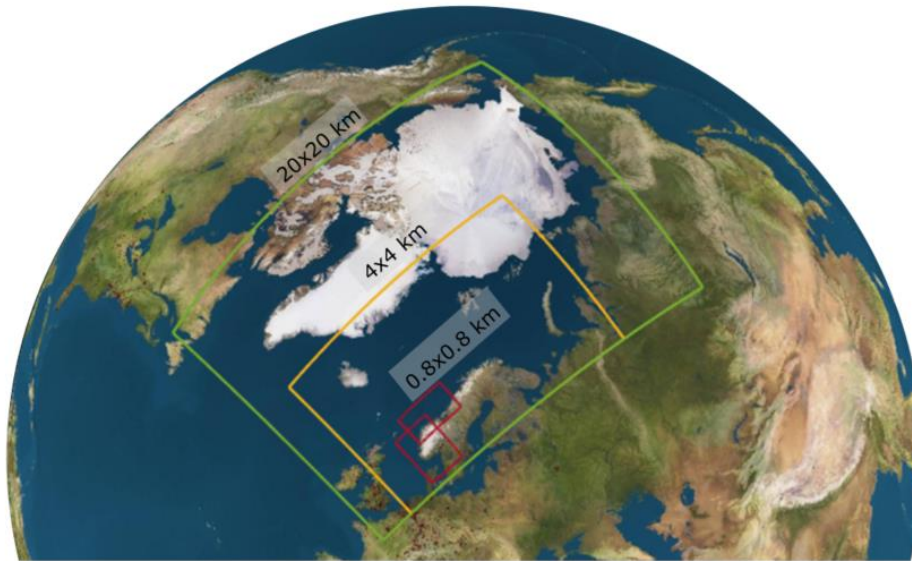
## 2 Metoder

SINMOD er et koblet hydrodynamisk og biologisk modellsystem. Beskrivelse av den hydrodynamiske modellen finnes i Slagstad og McClimans (2005). Den hydrodynamiske modellen er siden videreutviklet og jevnlig evaluert ved å sammenligne resultat mot målinger (se for eksempel Broch et al. (2020) og Michelsen et al., (2019)). Modellsystemet er anvendt for en rekke problemstillinger i fjord og kyststrøk (Broch et al., 2017; Jansen et al., 2018; Fossberg et al., 2018). Populasjonsmodellen for lus følger rammeverket som er utviklet for andre biologiske arter (Alver et al., 2016).

### 2.1 Modelloppsett og input data for simuleringene

For å dekke området fra PO 2 til 7 er det satt opp to nøstede modellområder med en romlig horisontal oppløsning på 800 m. Nøsting betyr at SINMOD kjøres i flere steg. Utgangspunktet er en modell for nordiske og Arktiske havområder med 20 km oppløsning som produserer grensebetingelser til et modellområde med en oppløsning på 4 km, som igjen produserer grensebetingelser til modellområdene med 800 m oppløsning (Figur 1). På denne måten blir effekter av tidevann og større sirkulasjon ivaretatt i de høyt oppløste områdene med mindre romlig utbredelse.

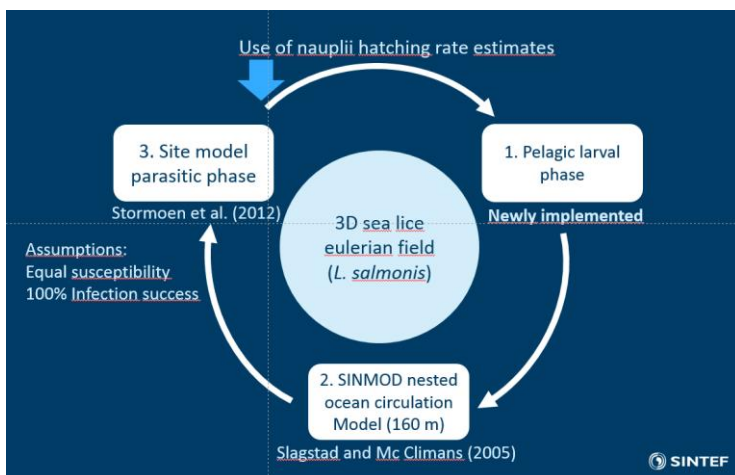
For å drive modellene brukes det ulike datasett. Avrenningsdata for elver hentes fra tilgjengelige kilder og for elver i Norge er det tatt utgangspunkt i tidsserier fra NVE. Det er brukt to ulike kilder for atmosfæriske drivkrefter. For de to store områdene (20 og 4 km oppløsning) er det brukt data fra ERA5 (ECMWF, Hersbach et al., 2020). For områdene med 800 m oppløsning har vi brukt atmosfæriske data med 2,5 km oppløsning fra MetCoOp EPS fra met.no. Tidevann fra TPXO med 8 tidevannskomponenter anvendes på yttergrensene av 20 km modellområdet. Inputdata (klekkede nauplier av lakselus) for å beregne spredning av lakselus fra oppdrettslokaliteter baseres på databasen til den nasjonale overvåkingsplanen for lakselus. Inngangsdataene oppdateres hver time ut fra en lineær interpolering fra ukentlige tellinger.



Figur 1 Oversikt over modellområder. Det grønne rektangelet viser området med 20 km oppløsning, det gule området med 4 km oppsett og de to røde området med 800 m oppsett.

## 2.2 Populasjonsmodell for lus

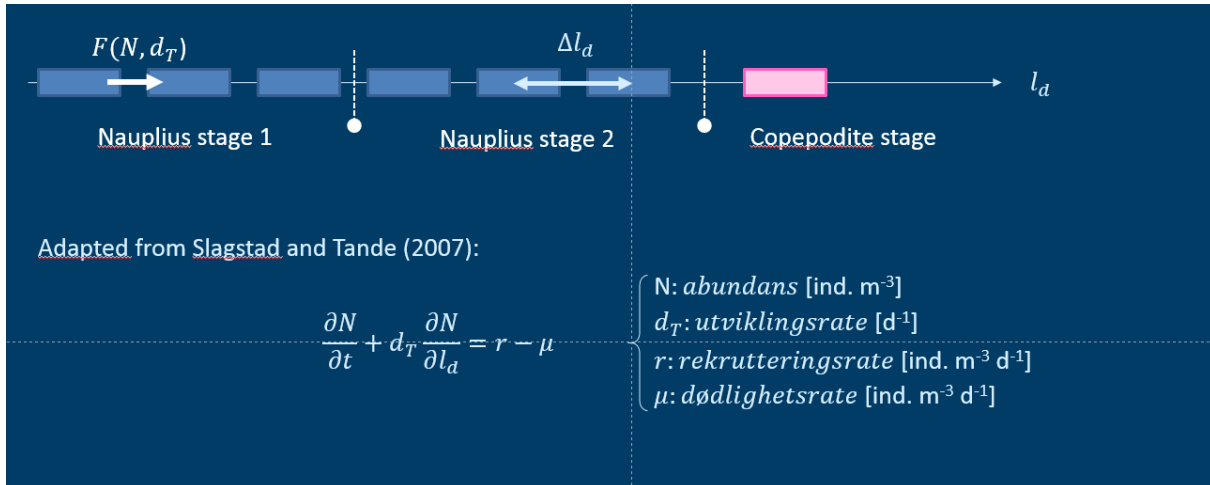
Et romlig fordelt oppsett av en strukturert populasjonsmodell for den pelagiske delen av livssyklusen til lakselus har blitt koblet til SINMOD (Figur 2). Lusemodellen beregner tetthet av nauplii stadiene (I og II) og smittestadiet som en funksjon av rekruttering (eggproduksjon/klekkende nauplii), temperaturavhengig utviklingstid og en konstant dødelighetsrate (parametere hentet fra Stien et al. 2005). Koblingen baseres på en eulersk tilnærming, dvs. at den simulerte lusetettheten i hver gridcelle er konsentrasjonsbasert, og beregnes som et kontinuerlig 3D-felt. Det tas hensyn til lusens adferd i vannsøylen ved å beregne aktiv vertikal vandring i lakselusmodellen: lusefeltet vandrer opp mot overflaten der det har kommet for dypt pga. vertikale blandingsprosesser, virvling og frontdynamikk. Lusefeltet vandrer nedover når det utsettes for lav saltholdighet (under 20).



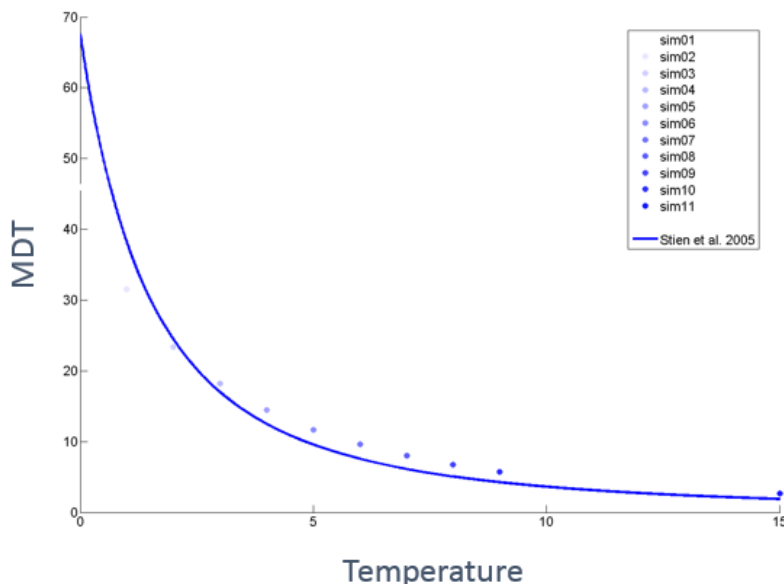
Figur 2 Konseptuelt diagram av lakselusmodellen i modellsystemet SINMOD. Oppsettet består av tre moduler: havmodellen (2), den parasittiske livsfasen til lakselus (3) og den frittlevende planktoniske fasen (1) som er fokuset i denne rapporten.

Dynamikken til en strukturert populasjonsmodell for *L. salmonis* beskrives av en partiell differensialligning (se Figur 3) og er basert på en normalisert utviklingsdimensjon ( $l_a$ ) etter samme prinsippet som ble anvendt for den stadiefordelte *Calanus*-modellen i SINMOD (Slagstad and Tande, 2007; Alver et al. 2016). Utviklingsraten  $d_T$  beregnes som den omvendte funksjonen av utviklingstid (Wroblewski, 1980) mot temperatur, basert på eksperimentelle forsøksdata (Stien, 2005). Diagrammet øverst på Figur 3 antyder den

numeriske diskretiseringen av utviklingsdimensjonen ( $l_d$ ) hvor utviklingsinkremitter vises som små firkanter. Hvert utviklingsstadium består av flere utviklingsinkremitter. For å redusere numerisk diffusjon og samtidig kunne redusere antall inkremitter, et kjent fenomen knyttet til numerisk diskretisering, implementeres det en "flux limiter" -funksjon av typen superbee (Roe, 1986). Figur 4 viser den modellerte ontogenetiske utviklingstiden for 1 grad Celsius intervaller mellom 0-15 °C fra egg til copepodittstadiet, sammenliknet med funksjonen basert på observert utvikling (Stien et al., 2005). Modellen reproducerer målte verdier innenfor den målte variabiliteten.



Figur 3 Den partielle differensialligningen representerer dynamisk abundans (N) til en strukturert populasjonsmodell som baseres på en normalisert utviklingsdimensjonen ( $l_d$ ). Skjemaet øverst viser fram den numeriske diskretiseringen av utviklingsdimensjonen ( $l_d$ ).



Figur 4 Sammenligning av ontogenetisk utviklingstid estimert fra målinger (MDT, antall dager) mot temperatur (°C; Stien et al., 2005) og den simulerte utviklingstiden (blå punkter).

## 2.3 Modell for utvandring av smolt og påslag av lus

### 2.3.1 Utvandring

Modellen for utvandring av virtuelle smolt er basert på en partikkelmodell som kjøres som en del av SINMOD-systemet. Modellen har tidligere beregnet utvandring av postsmolt fra elvene ut fra antagelse om at smolten svømmer med strømmen (Ellingsen og Knutsen, 2019). I tillegg har de virtuelle smoltene en drift på 0.1 kroppslengder per sekund mot korteste vei ut til grunnlinjen. Som tidligere er smolten satt til å oppholde seg i de øverste 4 m av vannkolonnen. En av hovedutfordringene med utvandring som kun følger strømmen er at den forutsetter at strømmen i snitt går utover i overflaten i fra elvemunning til kyst. Dette er ikke tilfelle i alle områder. I områder der større elver kommer ut et stykke ut i fjorden vil ferskvannstilførselen her kunne danne en trykkgradient som driver strømmer innover i fjorden i overflaten. Et eksempel på dette er i Sørfjorden i Hardanger hvor strømmen både er modellert og observert å gå innover i mai (Haave et al., 2015). Konsekvensen er at modellen ikke gir et realistisk utvandringsforløp fra elva Opo som munner ut innerst i Sørfjorden. I slike tilfeller vil det ikke gis resultat for beregning av lusepåslag. For analysene var dette et problem for flere elver i flere områder. Ved å legge til drift er det fremdeles noen vassdrag hvor modellen ikke gir realistisk utvandring, men det er betydelig færre. Årsaken til at vi mister data fra noen av elvene er avstand til kyst og kompleks topografi som ikke er tilfredsstillende oppløst i oppsettet med 800 m. Dette er problemstillinger som vil brukes som utgangspunkt for den videre utviklingen av smoltmodellen.

Smoltmodellen er satt opp med et antatt jevnt utvandringsforløp i perioden fra start- til sluttidspunkt for de enkelt elver som gitt i Appendiks I. Dette anses som den best mulige tilnærmingen ettersom utvandringsforløpene varierer mye fra elv til elv og mellom år. Når smolten når kysten antas den å ha en mer egenstyrt utvandring mot åpent hav, og den virtuelle smoltmodellen vil ikke lengre gi realistiske vandringsruter. For å sette en grense i modellen har vi valgt å bruke saltholdighet ( $S$ ) for å angi når smolten har nådd kyst og kystvann. Frontene mellom brakkevann og kystvann kan være veldig dynamiske. Vi har derfor valgt å bruke midlet saltholdighet for mai måned og en grense med  $S > 33$  for å bestemme når smolten har nådd kysten.

### 2.3.2 Påslag av lus

Påslag av lus på smolt beregnes som en funksjon av eksponeringsvolum ( $V(t)$ ) og konsentrasjon av smittsomme kopepoditter ( $Kop\ m^{-3}$ ) i de gridcellene smoltene befinner seg i. En av de usikre faktorene i disse beregningen er sannsynligheten for påslag ( $f_s$ ). For å estimere denne har vi benyttet observasjonsdata fra bur satt ut i 2018 og 2019 (Nilsen et al., 2019). Dette er det samme som ble benyttet for vurderingene i 2019 og 2020.

Påslag på virtuell smolt i bur er beregnet fra

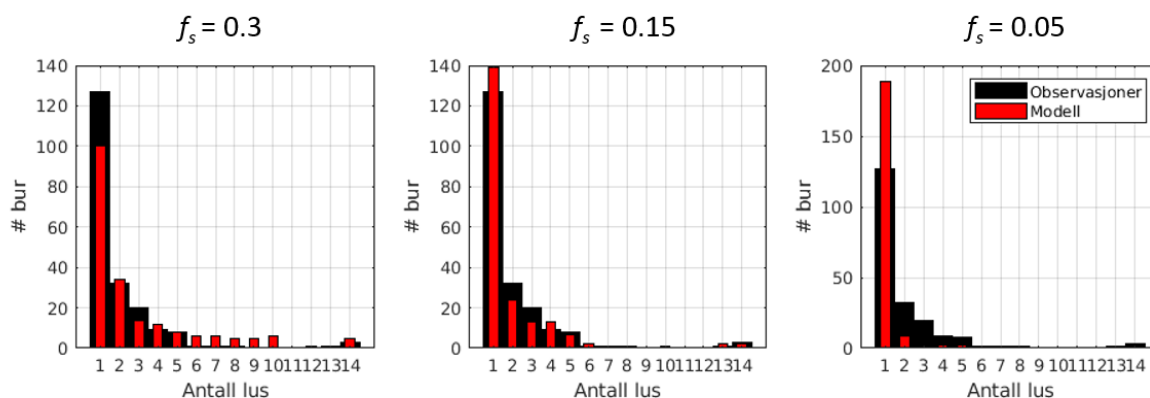
$$P = \sum_{n=1}^{n=N} Kop(t) \cdot V(t) \cdot f_s, \quad V(t) = ws * \pi * r^2 * dt, \quad P \text{ er påslag i antall lus per fisk..}$$

Eksponeringsvolum ( $V$ ) beregnes ut fra en antatt detekteringsavstand på 5 cm ( $r$ ) og mengden vann som passerer ut fra simulert strømhastighet ( $ws(t)$ ) over en periode ( $dt$ ). Antall lus på den virtuelle smolten beregnes videre ut fra konsentrasjon av kopepoditter per  $m^{-3}$  ( $Kop$ ). Totalt antall lus på hver virtuelle smolt gis da ved å summere opp over den perioden som burene har stått ute (Nilsen et al., 2019). Burdata fra 2018 og 2019 er brukt for å finne et estimat for  $f_s$  som gir best overenstemmelse mellom modell og observasjoner. Noen av observasjonene fra 2019 viser veldig høye påslag som modellen ikke reproducerer. Verdier av  $f_s$  påvirker ikke dette resultatet og to bur med middel over 26 lus i snitt er utelatt av analysen. Resultatene i Figur 5 viser at  $f_s = 0.15$  gir en frekvensfordeling av lus som stemmer godt med observasjonene. Unntaket er veldig høye påslag observert i 2019 som ikke er predikert av modellen (Figur 5). Lavere eller høyere verdier av  $f_s$  gir henholdsvis for høye eller lave påslag. Resultat for bur i 2019 i ulike produksjonsområder viste at det var en god overenstemmelse mellom observasjoner og modellresultat i alle områdene bort sett fra i



Sognefjorden (PO 4) (Ellingsen og Knutsen, 2020). Dette kan enten skyldes lus som er transportert inn i fjorden som ikke er gjengitt av modellen, eller at det er kilder til lus som ikke er med i utslippsdataene for 2019.

Påslag av lus på utvandrende virtuelle smolt beregnes tilsvarende som for smolt i bur, men eksponeringsvolumet blir i dette tilfellet estimert som en funksjon av den virtuelle smoltens svømmehastighet istedenfor strømhastighet som var brukt for bur som har en fast posisjon. Antall lus per postsmolt med antatt vekt på 20 gram, summeres over tidsrommet de bruker fra elv til kyst. Videre beregnes prosent dødelighet for hver bestand ut fra tabell 1 (Taranger et al., 2014). Det tas ikke hensyn til dødelighet på fastsittende lus etter påslag.



Figur 5 Histogram som viser observert frekvensfordeling av lusenivå for observasjoner (svarte og brede søyler) (data fra 2019 og 2020) og modellresultat (smale og røde søyler) for ulike verdier av  $f_s$ .

**Tabell 1.** Estimert dødelighet av smolt som følge av lusepåslag.

Antall lus per smolt (20 g)	Estimert risiko for dødelighet
Mindre enn 2 lus	0 %
Fra 2 og til 4 lus	20 %
Mer enn 4 og til 6 lus	50 %
Mer enn 6 lus	100 %

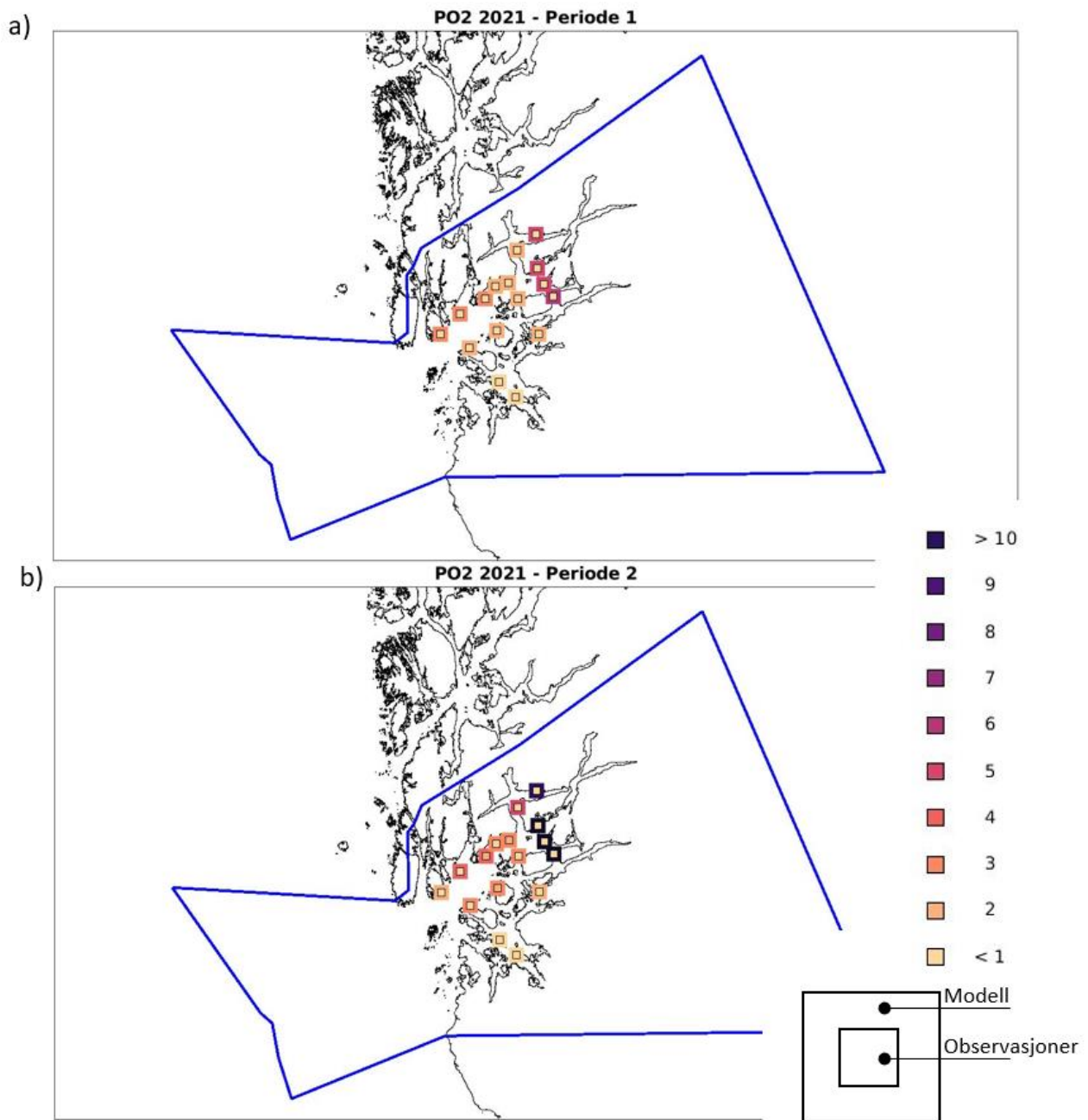
### 2.3.3 Sensitivitetsanalyse

Sensitivitet til utvandringstidspunkt og tålegrense for lusepåslag er beregnet for å gi et estimat på usikkerhet. For utvandringstidspunktet er det sett på sensitivitet dersom utvandningsforløpet forflytter seg 10 dager før og 10 dager etter median utvandring (som gitt i Appendiks 1). Endring av tålegrense innebærer en vurdering med lav og høy tålegrense, som er tidligere brukt i Kristoffersen et al. (2018). Ved lav tålegrense antas det 0% dødelighet for smolt med 0-1 lus, 40 % dødelighet med 2-3 lus og 100 % dødelighet med mer enn 3 lus. Ved høy tålegrense antas det 0 % dødelighet for smolt med 0-2 lus, 10 % dødelighet med 2-3 lus, 25 % med 4-6 lus, 50 % med 7-10 lus og 100 % dødelighet ved mer enn 10 lus. Dersom kategoriseringen ikke endrer seg ved endring av utvandringstidspunkt eller tålegrense, er usikkerheten lav. Usikkerheten settes til middels dersom kategoriseringen endres ved endringer i utvandringstidspunkt eller tålegrense. Høy usikkerhet settes dersom det er endringer i 2 eller flere av testene.

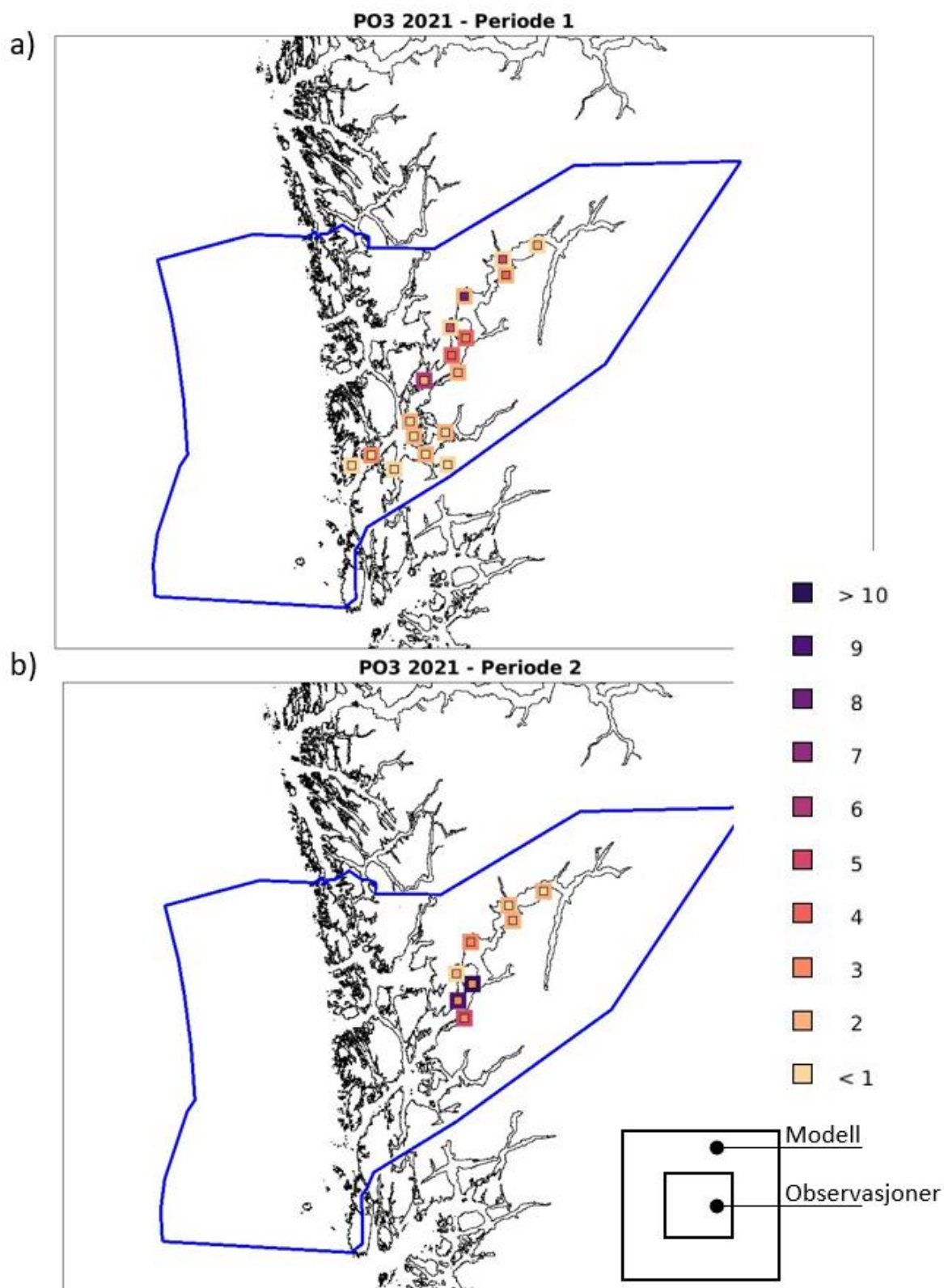
### 3 Resultat

#### 3.1 Sammenligning med burdata

Sammenligning med modellresultat fra 2021 og burdata (Appendiks II) fra PO2 og PO3 er vist i hhv Figur 6 og Figur 7. I PO2 gir modellresultatene høyere estimat av lus enn observasjoner i både periode 1 og 2 i de innerste delene av Boknafjorden. Modellen gir estimat på 11 lus per fisk i periode 2, mens observasjonen fra bur gir tilnærmet ingen påslag. Modellresultatene viser lavere resultat fra observasjonspunktene lengre ut i fjordsystemet, og er der generelt mer i overenstemmelse med observasjonene. Det er også noe høyere estimat fra SINMOD for enkelte burlokalteter i PO3 i periode 2 (Figur 7). I periode 1 er det god overenstemmelse mellom modell og observasjoner innerst og ytterste områder av Hardangerfjorden. I midtre deler viser observasjonene forhøyet smittepress i områdene utenfor Øystese, mens modellen viser et forhøyet press lengre ut i Hardangerfjorden.



Figur 6 Sammenligning av modellerte påslag (store kvadrater) av lus på bur mot observasjoner (små kvadrater) for burdata i 2021 for PO3 for a) periode 1 (fra 20 mai til 6 juni 2021) og b) periode 2 (fra 31 mai til 15 juni 2021). Fargene angir antall lus per fisk.



Figur 7 Sammenligning av modellerte påslag (store kvadrater) av lus på bur mot observasjoner (små kvadrater) for burdata i 2021 for PO3 for a) periode 1 (fra 20 mai til 6 juni 2021) og b) periode 2 (fra 3 juni til 16 juni 2021). Fargene angir antall lus per fisk.

### 3.2 Resultat fra Sensitivitetsanalyse

Resultatene fra sensitivitetsberegningene er vist i Tabell 2. Modellresultatene viser lite sensitivitet til forskyvning av smoltutvandringen med 10 dager frem eller tilbake i de fleste POer utenom PO3. Resultatene viser generelt mer sensitivitet til endringer i tålegrensen. Ved lav tålegrense endres kategoriseringen fra lav til moderat påvirkning for PO2, 4, 6 og 7. For PO2 endres den fra moderat til høy dødelighet.

Tabell 2 Resultat fra sensitivitetsanalyse. Tallene angir estimert % lakseindusert dødelighet (uvekted gjennomsnitt) og farge angir kategorisering. Se 2.3.3 for mer beskrivelse av beregninger.

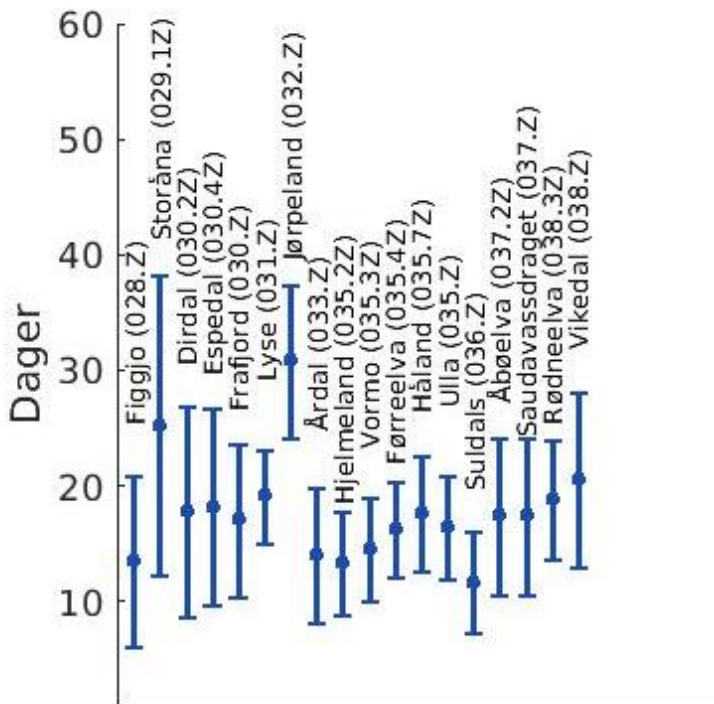
	Utvandringstidpunkt			Tålegrense		Usikkerhet
	Normal	Tidlig	Sen	Høy	Lav	
PO2	5	3,2	4,2	1,6	10,8	Middels
PO3	25	6	18	11	47	Stor
PO4	9,9	4,1	4,1	3,4	16,2	Middels
PO5	1,2	0,5	3,1	1,1	8,5	Liten
PO6	1,9	0,8	7,6	3,3	17	Middels
PO7	5,7	3,4	6,1	1,5	10,6	Middels

Lav
  Moderat
  Høy

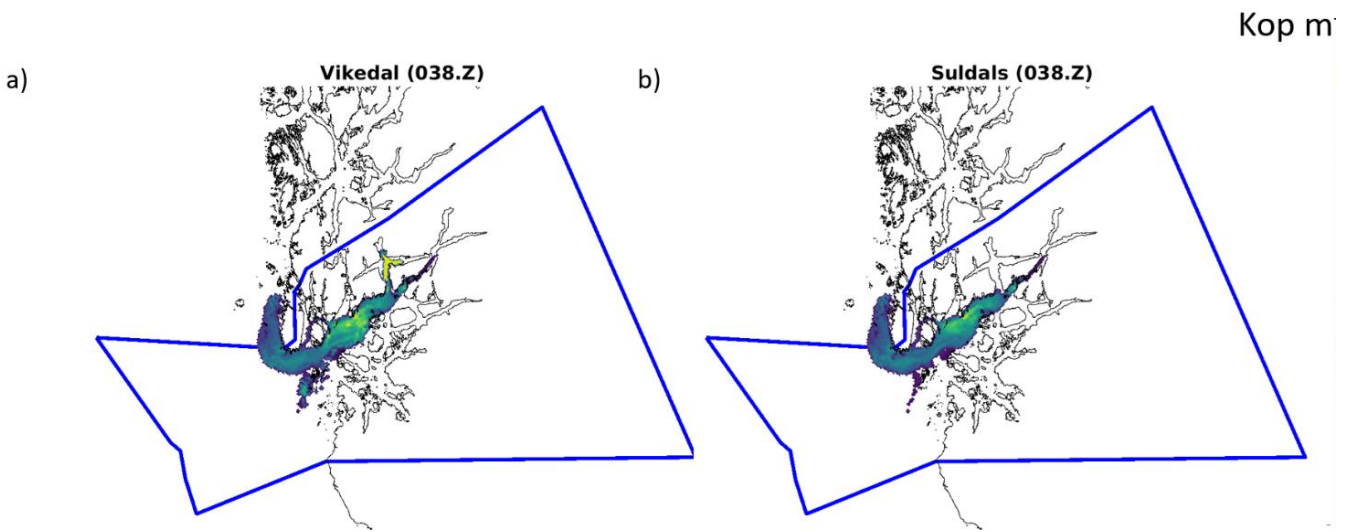
### 3.3 Resultat for PO 2 til 7

#### 3.3.1 PO2

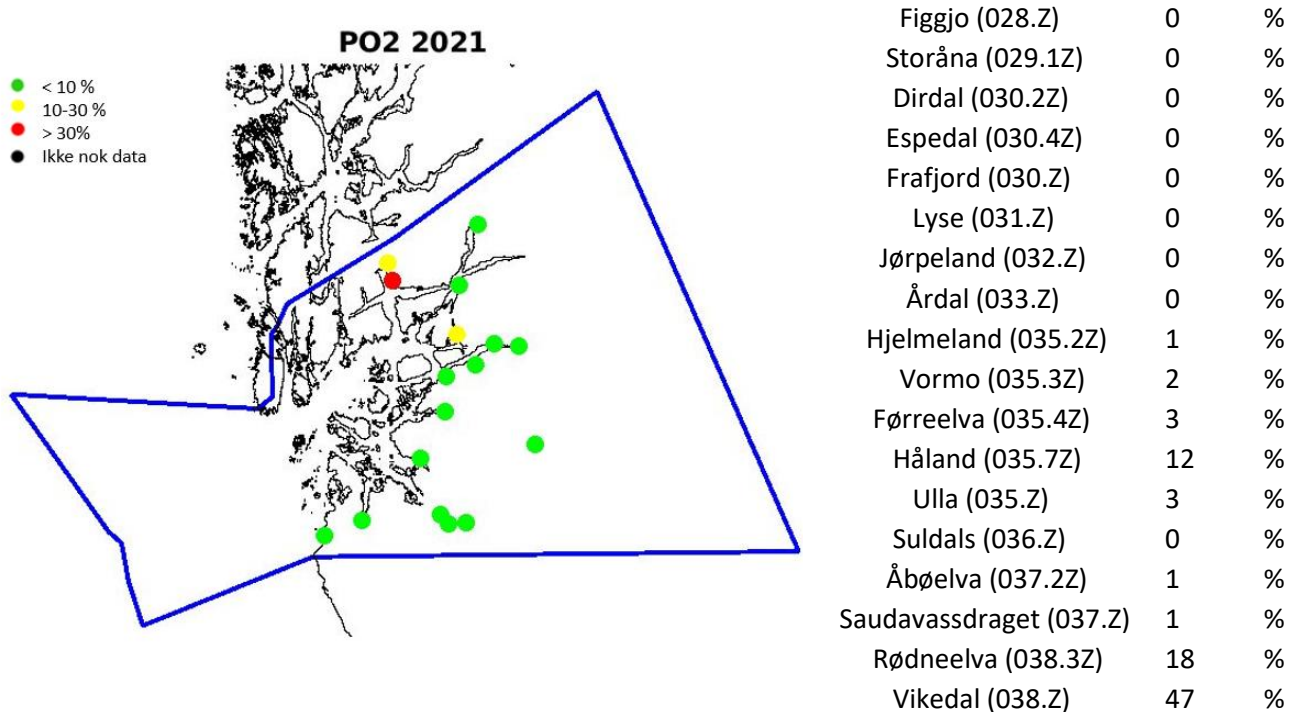
Utvandringsvarighet varierer noe mellom de ulike elvene i PO2 (Figur 8) med de korteste varighetene fra Figgjo og Suldalslågen og den lengste fra Jørpeland. Et bilde av hvor de virtuelle smoltene får påslag av smitte er vist i Figur 9 for Vikedal og Suldalslågen. I begge tilfellen er det noe smitte utover i Boknafjorden, men dette har lite betydning for smittepresset. Dødeligheten varierer fra 0% beregnet for den virtuelle smolten fra Suldalslågen, mens for Vikedal er det beregnet en dødelighet på 47%. En dødelighet på 0% betyr ikke at smolten ikke får lus, men at antallet ikke blir stort nok til å bli dødelig. Det største smittepresset kommer innerst i fjorden, noe som også vises med sammenligning med burdata (Figur 6) og som tyder på at modellen gir for høyt smittepress i området. Det er et stort sprik mellom Vikedal og Rødneelva som bør påpekes. Disse kommer ut i tilnærmet samme område og har samme tidsrom for utvandring. Det skyldes veldig lokale høye smitekonsentrasjoner i Vindafjorden. Uvektet gjennomsnitt for alle elver gir 5% laksindusert dødelighet og er innenfor lav kategori. Ved lav tålegrense vil det uvektede gjennomsnittet være over 10% og i moderat kategori (Tabell 2). Usikkerheten vurderes dermed til middels.



Figur 8 Beregnet median og maksimum og minimum utvandringsvarighet fra ulike vassdrag (navn og vassdragsnummer)



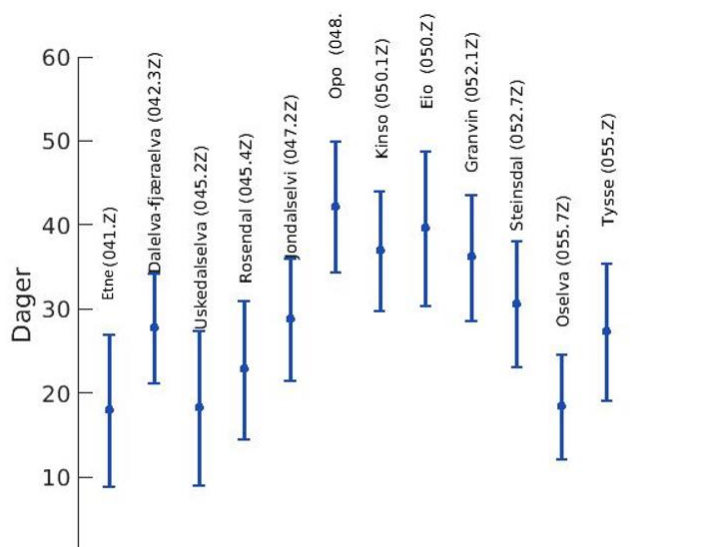
Figur 9 Området hvor de virtuelle smoltene er utsatt for smittepress av lus er vist for a) Vikedal og b) Suldalslågen. Blå linjer viser PO grenser. Fargeskalaen viser den maksimale konsentrasjonen av kopepoditter som har påvirket smolt fra det aktuelle vassdraget. Det gir en indikasjon på intensiteten.



Figur 10 Kart over resultater kategorisert ut fra luseindusert dødelighet til venstre og oversikt over dødelighet for hver enkelt elv til høyre for PO 2.

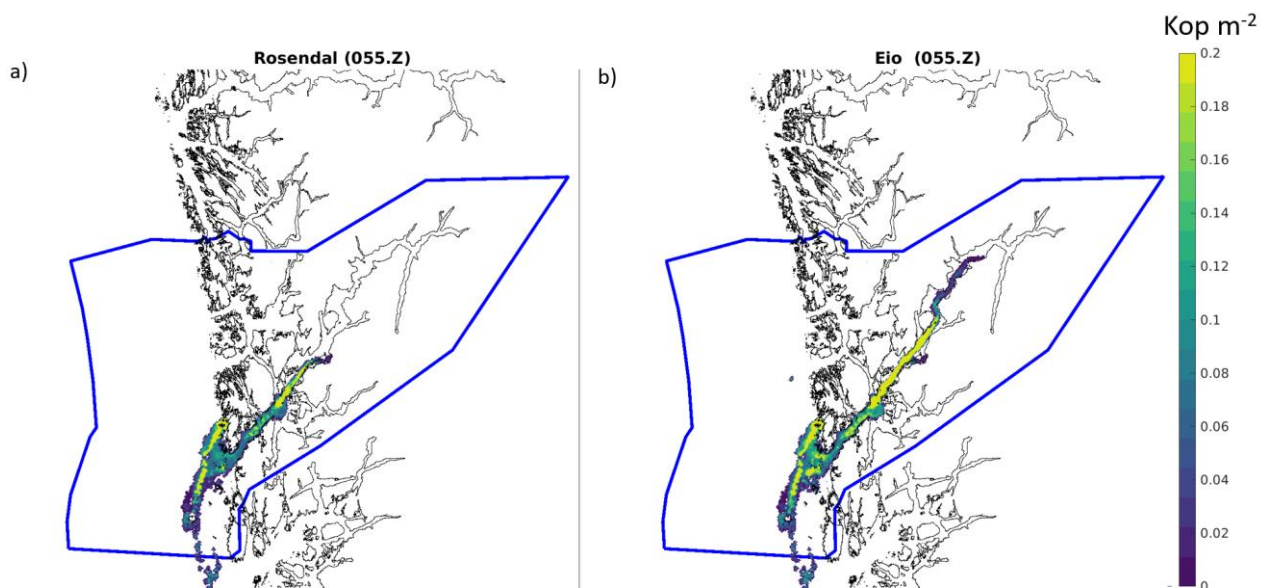
### 3.3.2 PO3

Utvandringsvarighet for virtuelle smolt fra elver i PO3 er vist i Figur 11. De virtuelle smoltene bruker lengst tid fra de innerste delene av Hardangerfjorden med Opo som har en median utvandringstid på over 40 dager. Kinso, Eio og Granvin har alle median utvandring som er lengre enn 30 dager. Utvandringen avhenger av strømstyrken i overflatelaget, som igjen drives av ferskvannsavrenning og vind, og vil dermed variere mellom år. Virtuelle smolt som kommer fra de ytterste delene av fjordsystemene har kortest vandringsvei og kortest varighet på utvandringen. Figur 12 viser området hvor den virtuelle smolten fra Eio og Rosendal påvirkes av smitte. Smittepresset er høyest i midtre deler. Sammenlignet med observasjoner er smittepresset fra modellen forskjøvet lengre ut i fjorden (Figur 7). Fordeling av smittepress og lange utvandringsforløp for de innerste elvene gir dødelighetsestimat som er innenfor høy kategori for de innerste elvene til lav kategori for de ytterste elvene (Figur 13). Uvektet gjennomsnitt er på 25 % og innenfor moderat påvirkning av luseindusert dødelighet. Resultatene er sensitive til både utvandringstid og tålegrense og usikkerheten vurderes til å være høy (Tabell 2).

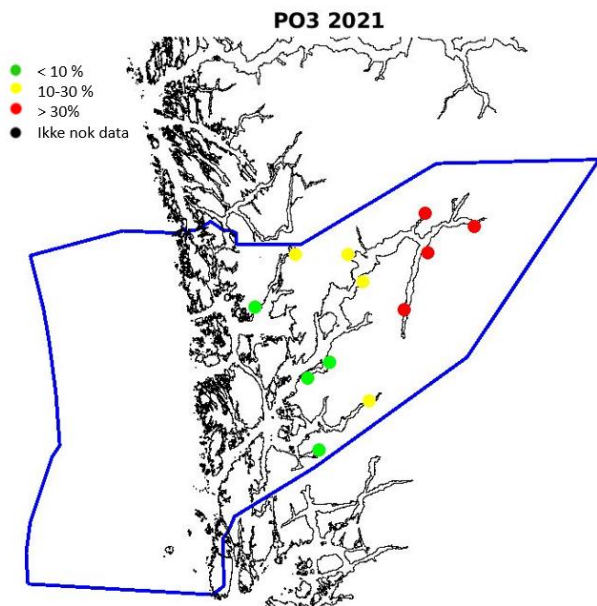


Figur 11 Beregnet median og maksimum og minimum utvandringstid fra ulike vassdrag (navn og vassdragsnummer) i PO 3.





Figur 12 Området hvor de virtuelle smoltene er utsatt for smittepress av lus er vist for a) Rosendal og b) Eio. Blå linjer viser PO grenser. Fargeskalaen viser den maksimale konsentrasjonen av kopepoditter som har påvirket smolt fra det aktuelle vassdraget. Det gir en indikasjon på intensiteten.

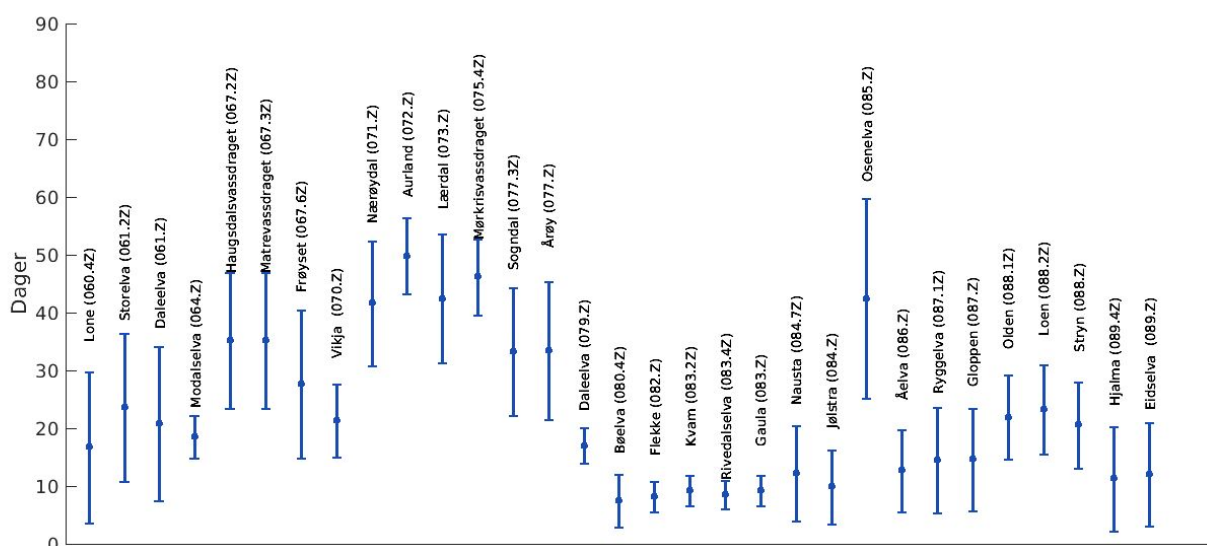


Etne (041.Z)	1	%
Dalelva-fjæraelva (042.3Z)	11	%
Uskedalselva (045.2Z)	3	%
Rosendal (045.4Z)	7	%
Jondalselvi (047.2Z)	16	%
Opo (048.Z)	68	%
Kinso (050.1Z)	45	%
Eio (050.Z)	64	%
Granvin (052.1Z)	55	%
Steinsdal (052.7Z)	20	%
Oselva (055.7Z)	1	%
Tysse (055.Z)	13	%

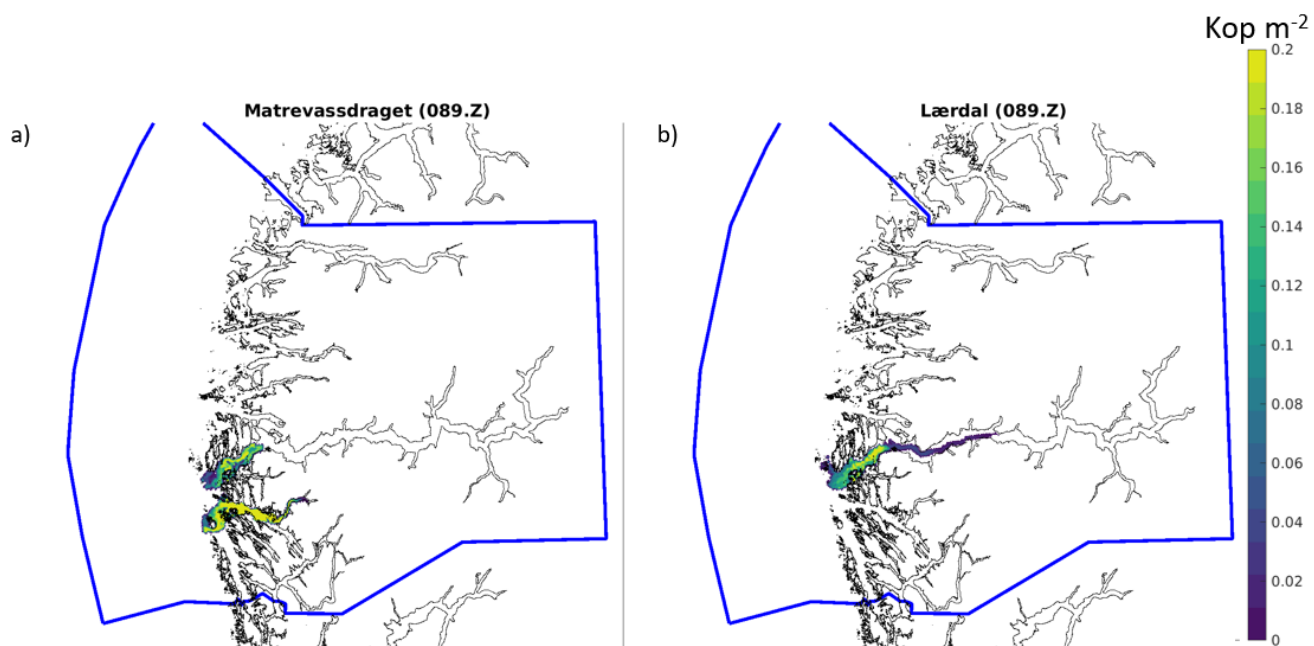
Figur 13 Kart over resultater kategorisert ut fra luseindusert dødelighet til venstre og oversikt over dødelighet for hver enkelt elv til høyre PO 3.

### 3.3.3 PO4

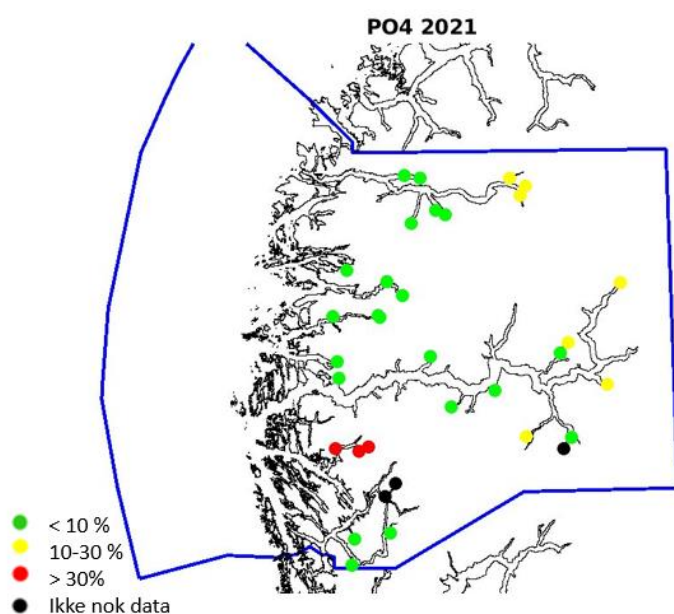
Det er stor variasjon i utvandringsvarighet for smolt fra elver som kommer i PO4 (Figur 14). Den virtuelle smolten fra de innerste elvene i Sognefjorden bruker lang tid ut til kysten (for eksemel smolt fra Flom, Lærdal og Aurland). Det er også stor variasjon i utvandringshastighet for de fleste elver, bort sett fra elvene som kommer ut lengst ute ved kysten og som har kort utvandringstid. Område med smitte som virtuell smolt fra Matrevassdraget og Lærdal går gjennom er vist i Figur 15. Smittepresset for smolt fra Lærdal er i ytterste områdene av Sognefjorden og dødelighetsestimat for bestanden er på 14 % (Figur 16). For Matrevassdraget gir modellen et estimat på 73 % og skyldes smitte innerst i Fensfjorden. Den virtuelle smolten har i tillegg en lang utvandringstid (median på 35 dager), og noen smolt drives innover Sognefjorden før de kommer ut til kysten igjen. For noen av elvene hvor smolten bruker lang tid til kysten er det ikke beregnet dødelighet. Uvektet gjennomsnitt for de andre elvene er 9.9 % og innenfor lav kategori. Verdiene for tidlig og sen utvandring viser samme dødelighet og er begge lavere enn normal utvandring. Lav tålegrense gir uvektet gjennomsnitt innenfor moderat kategori og usikkerheten vurderes dermed til middels (Tabell 2).



Figur 14 Beregnet median og maksimum og minimum utvandringsvarighet fra ulike vassdrag (navn og vassdragsnummer) i PO 4.



Figur 15 Området hvor de virtuelle smoltene er utsatt for smittepress av lus er vist for a) Matrevassdraget og b) Lærdal. Blå linjer viser PO grenser. Fargeskalaen viser den maksimale konsentrasjonen av kopepoditter som har påvirket smolt fra det aktuelle vassdraget. Det gir en indikasjon på intensiteten.

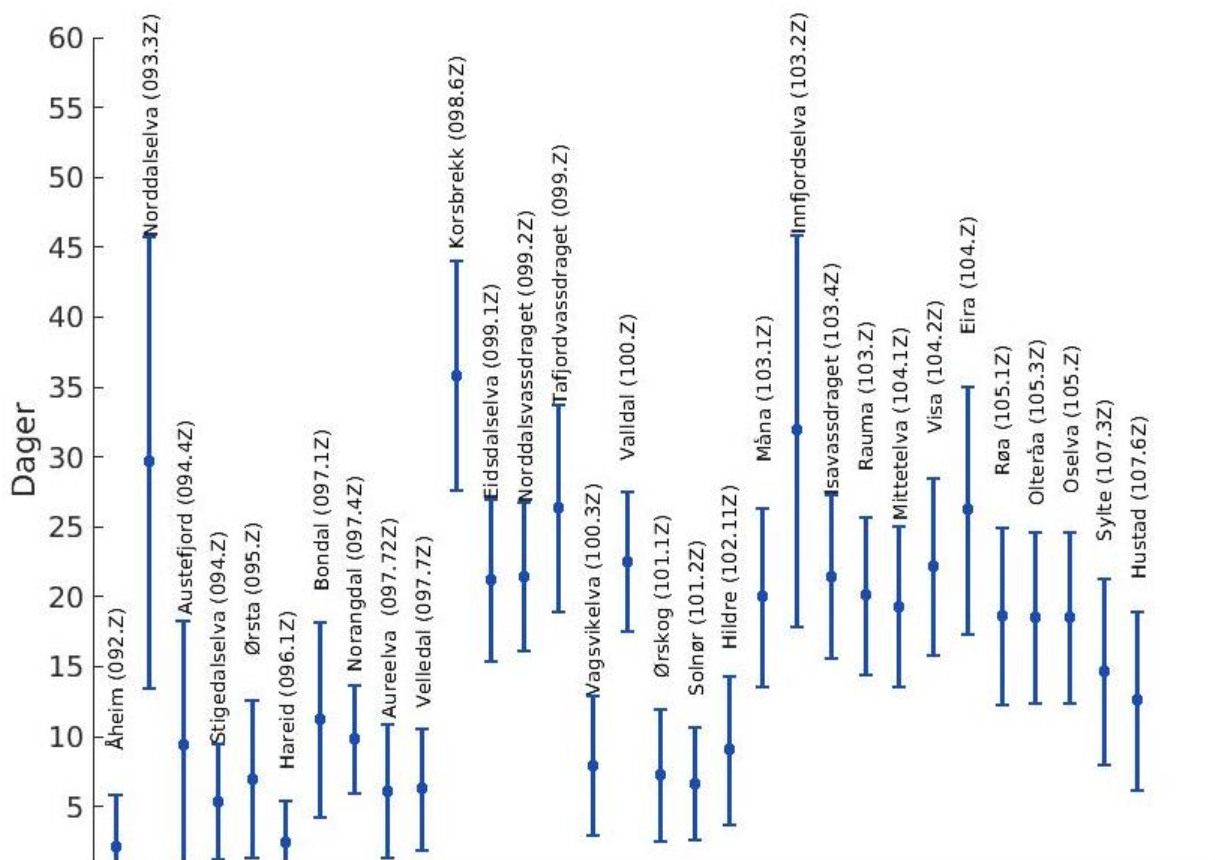


Figur 16 Kart over resultater kategorisert ut fra luseindusert dødelighet til venstre og oversikt over dødelighet for hver enkelt elv til høyre for PO 4

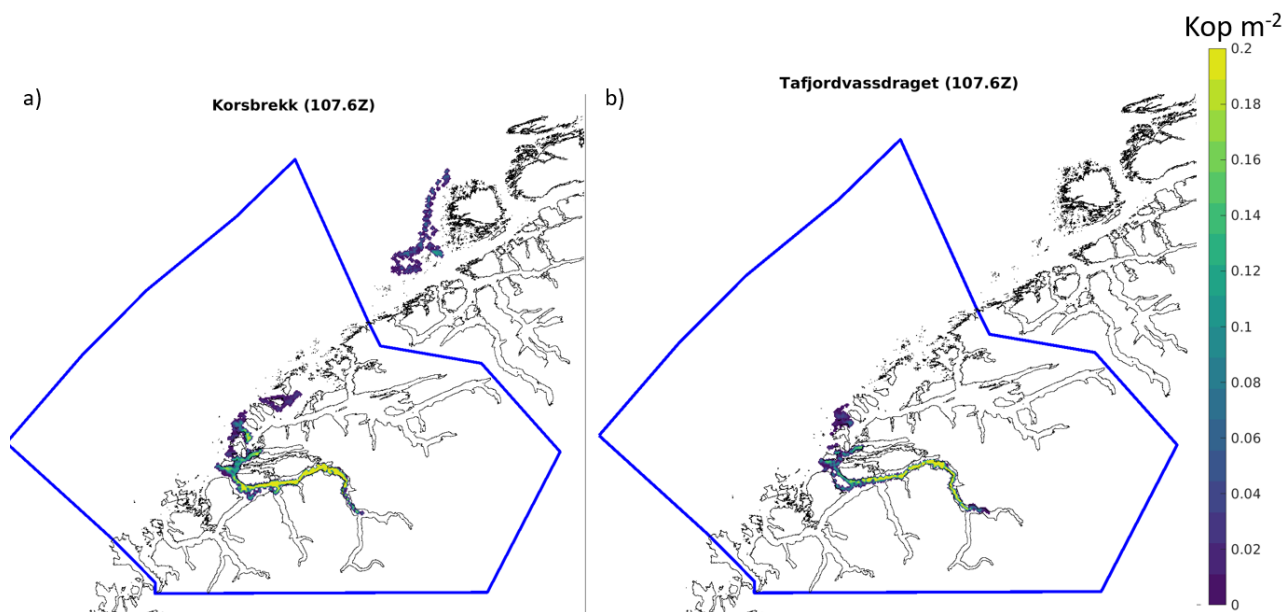
Lone (060.4Z)	0	%
Storelva (061.2Z)	0	%
Daleelva (061.Z)	---	%
Vosso (062.Z)	---	%
Ekso (063.Z)	---	%
Modalselva (064.Z)	0	%
Haugsdalsvassdraget (067.2Z)	73	%
Matrevassdraget (067.3Z)	73	%
Frøyset (067.6Z)	51	%
Vikja (070.Z)	1	%
Nærøydal (071.Z)	16	%
Flåm (072.2Z)	---	%
Aurland (072.Z)	2	%
Lærdal (073.Z)	14	%
Mørkrisvassdraget (075.4Z)	19	%
Sogndal (077.3Z)	9	%
Årøy (077.Z)	10	%
Daleelva (079.Z)	0	%
Bøelva (080.4Z)	0	%
Flekkje (082.Z)	0	%
Kvam (083.2Z)	0	%
Rivedalselva (083.4Z)	0	%
Gaula (083.Z)	0	%
Nausta (084.7Z)	0	%
Jølstra (084.Z)	0	%
Osenelva (085.Z)	0	%
Åelva (086.Z)	6	%
Ryggelva (087.1Z)	7	%
Gloppen (087.Z)	7	%
Olden (088.1Z)	11	%
Loen (088.2Z)	13	%
Stryn (088.Z)	11	%
Hjalma (089.4Z)	6	%
Eidselva (089.Z)	6	%

### 3.3.4 PO5

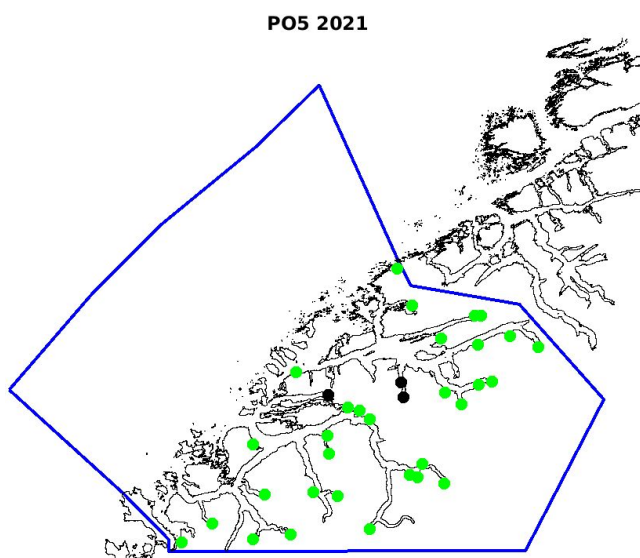
Utvandringsvarighet for smolt fra elver i PO5 er vist i Figur 17. Median utvandringsvarighet er under 10 dager for mange av de virtuelle smoltbestandene. For enkelte elver er det beregnet lang median utvandringstid og med veldig stor varians (Nordalsevla, Korsbrekk og Innfjordselva). Smittepresset som den virtuelle smolten fra Korsbrekk og Tafjordvassdraget er i samme område (Figur 18), men har ulik intensitet. Samlet sett er det estimert 5 % dødelighet for virtuell smolt fra Korsbrekk, og 0 % dødelighet for Tafjordbassenget (Figur 19). Generelt viser modellresultatene lite påvirkning av lus i området. Uvektet gjennomsnitt er beregnet til 1,2 % og innenfor lav kategori. Sensitivitetstester med utvandringstid og tålegrense kom også innenfor lav kategori, og usikkerheten vurderer dermed til å være liten.



**Figur 17** Beregnet median og maksimum og minimum utvandringsvarighet fra ulike vassdrag (navn og vassdragsnummer) i PO5



Figur 18 Området hvor de virtuelle smoltene er utsatt for smittepress av lus er vist for a) Korsbrekk og b) Tafjordvassdraget. Blå linjer viser PO grenser. Fargeskalaen viser den maksimale konsentrasjonen av kopepoditter som har påvirket smolt fra det aktuelle vassdraget. Det gir en indikasjon på intensiteten.

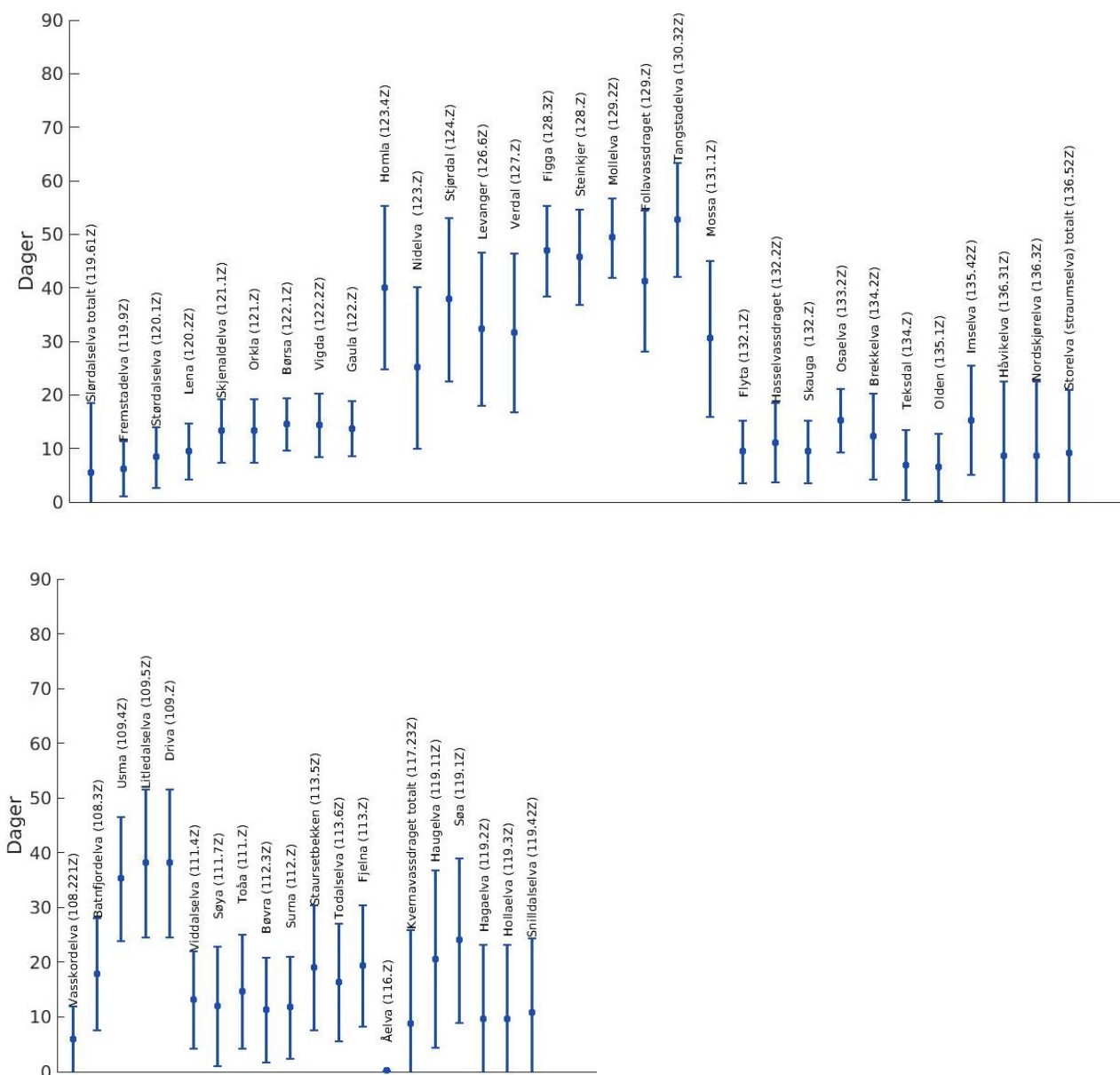


Figur 19 Kart over resultater kategorisert ut fra luseindusert dødelighet til venstre og oversikt over dødelighet for hver enkelt elv til høyre PO5.

Åheim (092.Z)	0	%
Norddalselva (093.3Z)	0	%
Austefjord (094.4Z)	1	%
Stigedalselva (094.Z)	0	%
Ørsta (095.Z)	0	%
Hareid (096.1Z)	0	%
Bondal (097.1Z)	---	%
Norangdal (097.4Z)	---	%
Aureelva (097.72Z)	0	%
Velledal (097.7Z)	0	%
Korsbrekk (098.6Z)	5	%
Eidsdalselva (099.1Z)	0	%
Norddalsvassdraget (099.2Z)	0	%
Tafjordvassdraget (099.Z)	0	%
Vagsvikelva (100.3Z)	0	%
Vallidal (100.Z)	0	%
Ørskog (101.1Z)	0	%
Solnør (101.2Z)	0	%
Tennfjord (101.6Z)	---	%
Hildre (102.11Z)	0	%
Skorgelva (102.5Z)	---	%
Tressa (102.6Z)	---	%
Måna (103.1Z)	0	%
Innfjordselva (103.2Z)	9	%
Isavassdraget (103.4Z)	0	%
Rauma (103.Z)	0	%
Mittetelva (104.1Z)	0	%
Visa (104.2Z)	0	%
Eira (104.Z)	5	%
Røa (105.1Z)	1	%
Olteråa (105.3Z)	1	%
Oselva (105.Z)	1	%
Sylte (107.3Z)	2	%
Hustad (107.6Z)	3	%

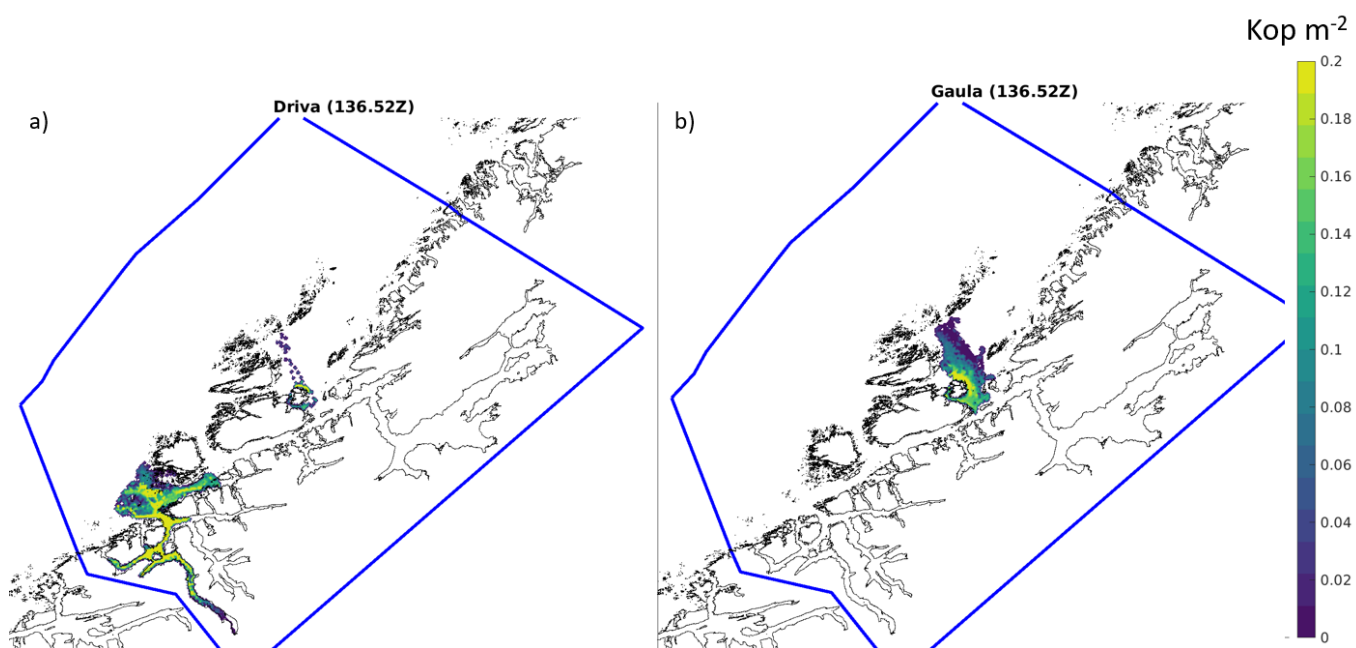
### 3.3.5 PO6

Det er stor variasjon i utvandringsvarighet både mellom elver og mellom individuelle virtuelle smolt fra samme elv i PO6 (Figur 20). Modellen gir stor variasjon i utvandringsruter fra Trondheimsfjorden med virtuell fra Homla som bruker over 39 dager ut til kysten, mens utvandring fra Gaula som er lenger vest har en median for alle smolt på 14 dager. Smolt fra elver lengre inn i fjorden, som fra Steinkjer bruker over 40 dager. Overflatestrømbildet i Trondheimsfjorden er kompleks og bidrar til stor variasjon i utvandring. Modellen gir derimot ingen smitte i fjorden. Smolt fra Gaula for eksempel vil først få påslag av lus når den kommer inn i Frohavet (Figur 21b)), men uten at det påvirker dødelighetsestimatet (Figur 22 b)). Modellen gir generelt lave påslag utenom for virtuell smolt for Driva, Usma og Litledal som har estimat innenfor moderat kategori. Figur 21 viser at virtuell smolt utsettes for smitte i hele utvandringsløpet. Beregnet uvektet gjennomsnitt for PO6 er 1,9 % og innenfor lav kategori. Sensitivitetstester med utvandring og tålegrense viser endret kategori ved lav tålegrense (innenfor moderat kategori). Usikkerheten settes dermed til middels.

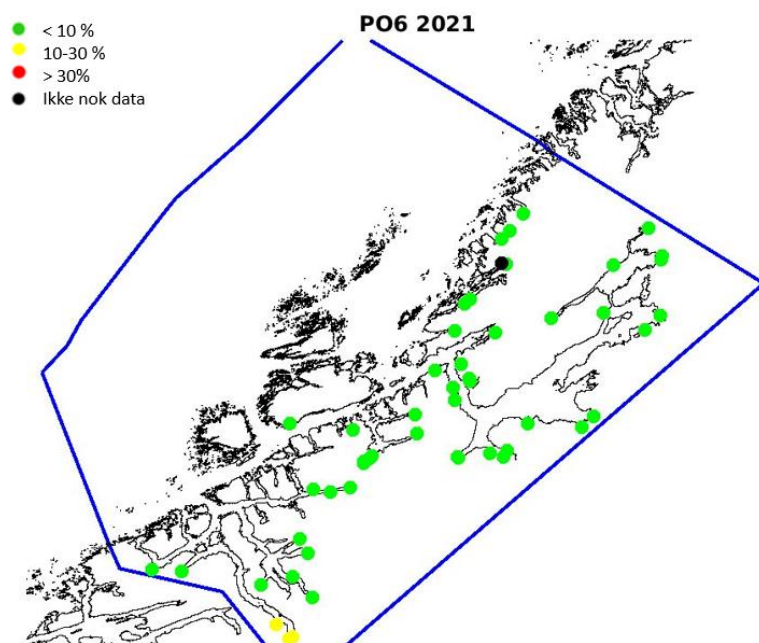


**Figur 20** Beregnet median og maksimum og minimum utvandringsvarighet fra ulike vassdrag (navn og vassdragsnummer)





Figur 21 Området hvor de virtuelle smoltene er utsatt for smittepress av lus er vist for a) Driva og b) Gaula. Blå linjer viser PO grenser. Fargeskalaen viser den maksimale konsentrasjonen av kopepoditter som har påvirket smolt fra det aktuelle vassdraget. Det gir en indikasjon på intensiteten.



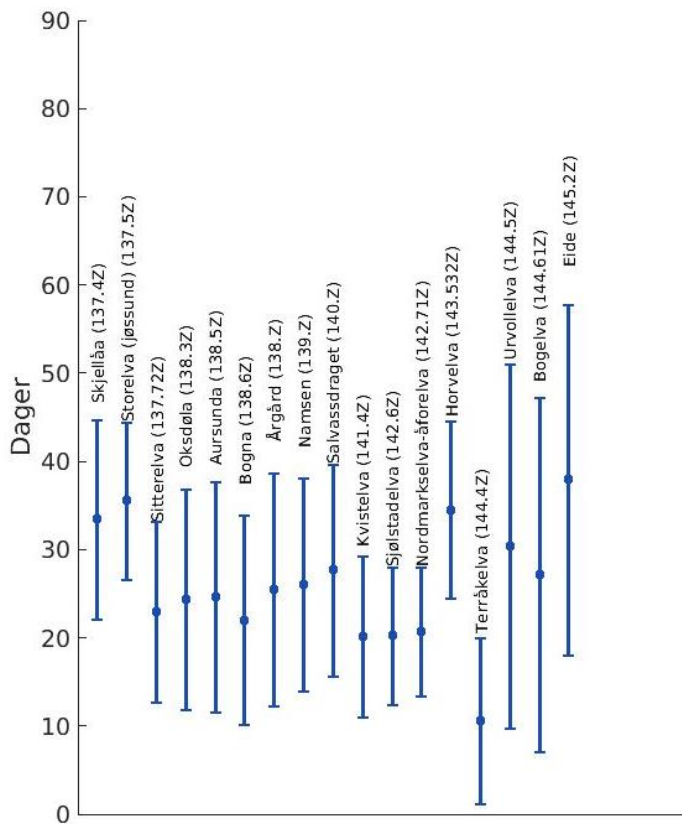
Figur 22 Kart over resultater kategorisert ut fra luseindusert dødelighet til venstre og oversikt over dødelighet for hver enkelt elv til høyre for PO 6.

Steinkjer (128.Z)	0	%
Mollelva (129.2Z)	0	%
Follavassdraget (129.Z)	0	%
Tangstadelva (130.32Z)	0	%
Mossa (131.1Z)	0	%
Flyta (132.1Z)	1	%
Hasselvassdraget (132.2Z)	1	%
Skauga (132.Z)	1	%
Osaelva (133.2Z)	1	%
Brekkelva (134.2Z)	1	%
Teksdal (134.Z)	3	%
Olden (135.1Z)	2	%
Imselva (135.42Z)	1	%
Grytelvassdraget (135.43Z)	---	%
Håvikelva (136.31Z)	0	%
Nordskjørelva (136.3Z)	0	%
Storelva (straumselva) totalt (136.52Z)	1	%

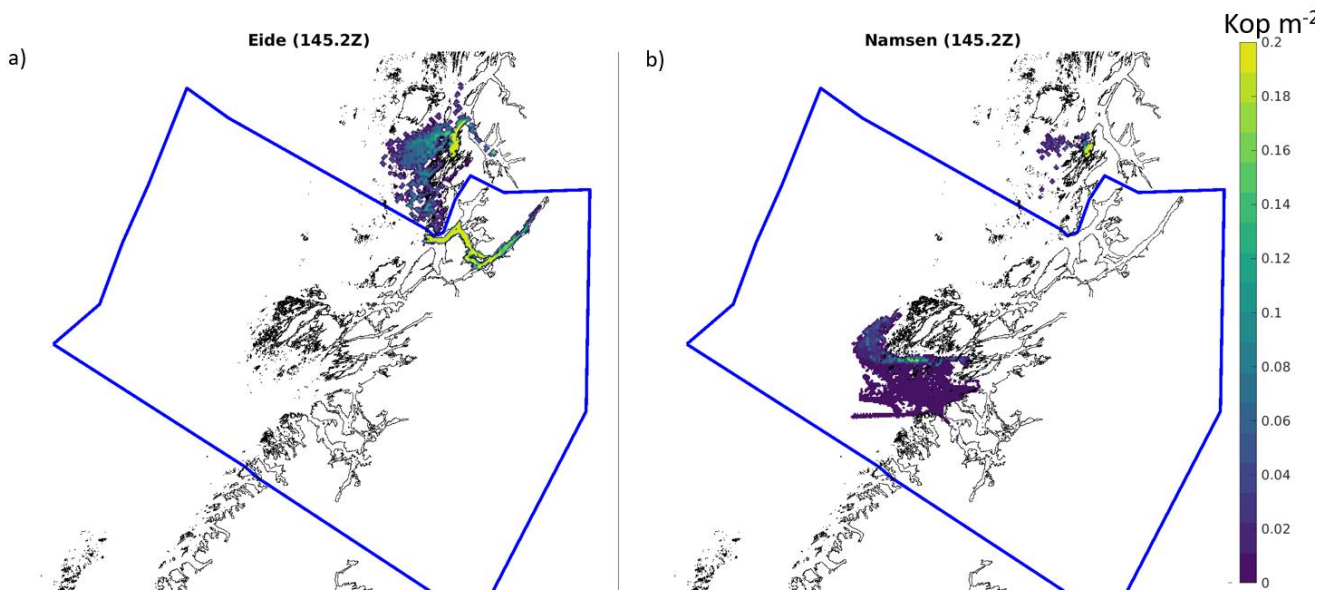
Vasskordelva (108.221Z)	0
Batnfjordelva (108.3Z)	1
Usma (109.4Z)	15
Litledalselva (109.5Z)	18
Driva (109.Z)	18
Viddalselva (111.4Z)	1
Søya (111.7Z)	1
Toåa (111.Z)	1
Bøvra (112.3Z)	2
Surna (112.Z)	1
Staursetbekken (113.5Z)	1
Todalselva (113.6Z)	2
Fjelna (113.Z)	2
Åelva (116.Z)	0
Kvernavassdraget totalt (117.23Z)	1
Haugelva (119.11Z)	5
Søa (119.1Z)	8
Hagaelva (119.2Z)	2
Hollaelva (119.3Z)	2
Snilldalselva (119.42Z)	3
Slørdalselva totalt (119.61Z)	0
Fremstadelva (119.9Z)	0
Størdalselva (120.1Z)	0
Lena (120.2Z)	1
Skjenaldelva (121.1Z)	1
Orkla (121.Z)	1
Børsa (122.1Z)	0
Vigda (122.2Z)	0
Gaula (122.Z)	0
Homla (123.4Z)	0
Nidelva (123.Z)	0
Stjørdal (124.Z)	0
Levanger (126.6Z)	0
Verdal (127.Z)	0
Figga (128.3Z)	0

### 3.3.6 PO7

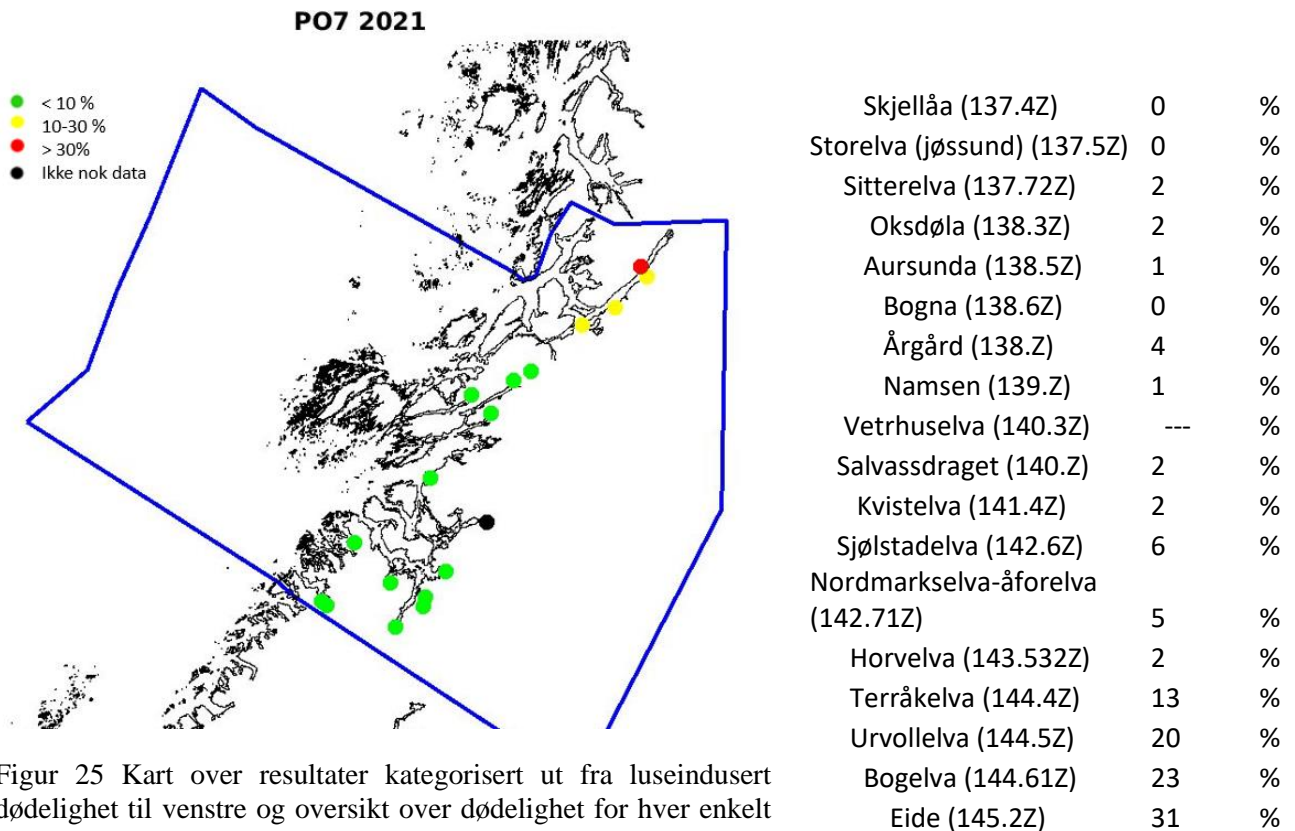
Det er stor variasjon i utvandningsvarighet både mellom elver og mellom virtuelle smolt fra samme elv i PO 7 (Figur 23). Modellen gir at smolt fra elvene nærest kysten har kort utvandningsrute. Virtuell smolt fra Eide har en median utvandningsvarighet på 38 dager, men med veldig stor variasjon. Virtuell smolt fra Namsen bruker også relativt lang tid til kyst, men disse vandrer også et stykke i områdene sør for Vikna før de regnes å ha nådd kysten. Dette er synlig fra smittepresset som virtuell smolt fra Namsen vandrer gjennom (Figur 24b). Beregnet dødelighet for Namsen er 1 % (Figur 25). Modellen gir høyere lakseindusert dødelighet for smolt som kommer ut i Tosenfjorden. Det høyeste estimatet er for Eide med beregnet dødelighet på 31%. Uvektet gjennomsnitt for alle bestandene er 5,7 % og innenfor lav kategori. Endring i utvandringstidspunkt gir lite utslag på dødelighet, men ved lav tålegrense gir modellen estimat innenfor moderat påvirkning. Usikkerheten settes dermed til middels.



Figur 23 Beregnet median og maksimum og minimum utvandningsvarighet fra ulike vassdrag (navn og vassdragsnummer) i PO 7



Figur 24 Området hvor de virtuelle smoltene er utsatt for smittepress av lus er vist for a) Eide og b) Namsen. Blå linjer viser PO grenser. Fargeskalaen viser den maksimale konsentrasjonen av kopepoditter som har påvirket smolt fra det aktuelle vassdraget. Det gir en indikasjon på intensiteten.



Figur 25 Kart over resultater kategorisert ut fra luseindusert dødelighet til venstre og oversikt over dødelighet for hver enkelt elv til høyre for PO 7.

### 3.5 Referanser

Alver, M.O., Broch, O.J., Melle, W., Bagøien, E., Slagstad, D.. Validation of an Eulerian population model for the marine copepod *Calanus finmarchicus* in the Norwegian Sea. *Journal of Marine Systems*. 2016;160:81-93.

Broch OJ, Klebert P, Michelsen FA, Alver MO. Multiscale modelling of cage effects on the transport of effluents from open aquaculture systems. *PLoS One*. 2020;15(3):e0228502.

Broch OJ, Alver MO, Bekkby T, Gundersen H, Forbord S, Handå A, et al. The Kelp Cultivation Potential in Coastal and Offshore Regions of Norway. *Frontiers in Marine Science*. 2019;5:529.

Ellingsen IH, Knutsen Ø. Appendix VIII Simulert lakseindustriert dødelighet på virtuell smolt i produksjonsområde 2 til 7 ved bruk av SINMOD. SINTEF Ocean; 2019.

Finstad B, Økland F, Thorstad E, Bjørn P, McKinley R (2005) Migration of hatchery-reared Atlantic salmon and wild anadromous brown trout post-smolts in a Norwegian fjord system. *J Fish Biol* 66:86-96

Jansen HM, Broch OJ, Bannister R, Cranford P, Handå A, Husa V, et al. Spatio-temporal dynamics in the dissolved nutrient waste plume from Norwegian salmon cage aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions*. 2018;10:385-99.

Haave, M, Bye-Ingebretsen, E, Thiem, Ø (2015). "Strømmålinger i Sørfjorden i Hardanger", SAM e-rapport nr 15-2015, ISSN: 1890-5153.

Hersbach, H., B. Bell, P. Berrisford, S. Hirahara, A. Horányi, J. Muñoz-Sabater, J. Nicolas, C. Peubey, R. Radu, D. Schepers, A. Simmons, C. Soci, S. Abdalla, X. Abellan, G. Balsamo, P. Bechtold, G. Biavati, J. Bidlot, M. Bonavita, G. De Chiara, P. Dahlgren, D. Dee, M. Diamantakis, R. Dragani, J. Flemming, R. Forbes, M. Fuentes, A. Geer, L. Haimberger, S. Healy, R. J. Hogan, E. Hólm, M. Janisková, S. Keeley, P. Laloyaux, P. Lopez, C. Lupu, G. Radnoti, P. de Rosnay, I. Rozum, F. Vamborg, S. Villaume, and J.-N. Thépaut. 2020. The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 146: 1999-2049.

Kristoffersen, A.B., Qviller, L., Helgesen, K.O., Vollset, K.W., Viljugrein, H., Jansen, P.A. (2018). Quantitative risk assessment of salmon louse-induced mortality of seaward-migrating post-smolt Atlantic salmon. *Epidemics* 23: 19-33.

Michelsen FA, Klebert P, Broch OJ, Alver MO. Impacts of fish farm structures with biomass on water currents: A case study from Frøya. *Journal of Sea Research*. 2019;154:101806.

Nilsen, R., M., Serra-Llinares, R. M., Sandvik, A. D., Schrøder Elvik, K.M., Kjær, R., Karlsen, Ø. Finstad, B., Berg, M., Berg, M., Lehmann, G. B. (2019) . Lakselusinfestasjon på vill laksefisk langs Norskekysten i 2019. Rapport fra Havforskningen. 2019-35. ISSN 1893-4536

Roe, P.L. (1986), "Characteristic-based schemes for the Euler equations", *Annu. Rev. Fluid Mech.*, **18**: 337–365, [Bibcode:1986AnRFM..18..337R](#), [doi:10.1146/annurev.fl.18.010186.002005](#)

Slagstad, D. and K. S. Tande (2007). "Structure and resilience of overwintering habitats of *Calanus finmarchicus* in the Eastern Norwegian Sea." Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography **54**(23-26): 2702-2715.

Stien A, Bjorn, P.A., Heuch, P.A., Elston, D.A. (2005) Population dynamics of salmon lice *Lepeophtheirus salmonis* on Atlantic salmon and sea trout. *Marine Ecology Progress Series* 290:263-275

Taranger, G.L., Karlsen Ø, Bannister R.J., Glover K.A., Husa, V, Karlsbakk, E, Kvamme, B.O., Boxaspen, K.K., Bjørn, P.A., Finstad, B (2014) Risk assessment of the environmental impact of Norwegian Atlantic salmon farming. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*:fsu132.

Wroblewski, J. S. (1980). "A simulation of the distribution of *Acartia clausi* during Oregon Upwelling, August 1973 " Journal of Plankton Research **2**(1): 43-68.