

# Rapport

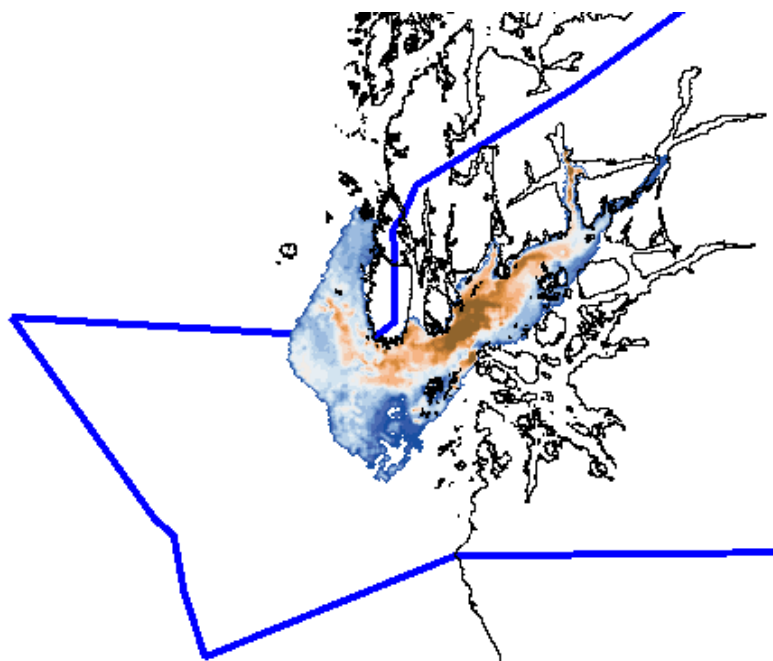
## Simulert luseindusert dødelighet på virtuell smolt i produksjonsområde 2 til 7 ved bruk av SINMOD

Resultat fra 2020

**Forfatter(e)**

Ingrid Ellingsen

[Co-Authors]



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
2020:01072	302005708	V2	2020-10-21

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

OPPDRAKSGIVERS REF.	ANTALL SIDER OG VEDLEGG:
Ørjan Karlsen	30 + vedlegg

GRADERING	GRADERING DENNE SIDE	ISBN
Fortrolig	Fortrolig	

**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 2020.

**UTARBEIDET AV**  
Ingrid Ellingsen**KONTROLLERT AV**  
Øyvind Knutsen**GODKJENT AV**  
Ute Brønner

**Dokumentet har gjennomgått SINTEFs godkjenningsprosedyre og er sikret digitalt**

# Historikk

---

VERSJON	DATO	VERSJONSBESKRIVELSE
V1	2020-10-07	Versjon sendt til KS
V2	2020-10-23	Kvalitetssikret versjon

---

# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Oppsummering .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Metoder.....</b>	<b>4</b>
2.1	Modelloppsett og input data for simuleringene .....	4
2.2	Populasjonsmodell for lus.....	5
2.3	Modell for utvandring av smolt og påslag av lus.....	7
2.4	Resultat for PO 2 til 7 .....	11
2.4.1	PO 2 2020.....	11
2.4.2	PO 3 2020.....	14
2.4.3	PO 4 2020.....	17
2.4.4	PO 5 2020.....	20
2.4.5	PO 6 2020.....	23
2.4.6	PO 7 2020.....	26
2.5	Referanser .....	29

## 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 2020.

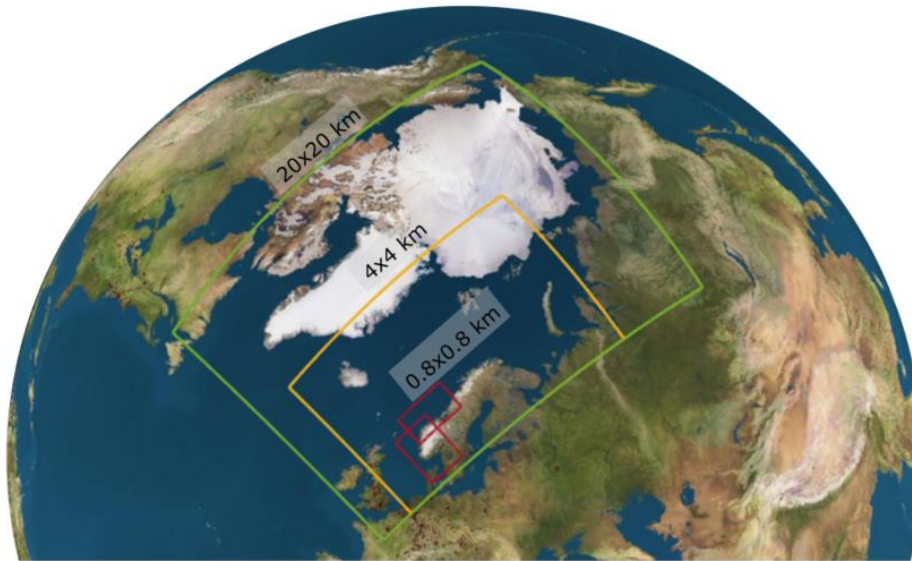
## 2 Metoder

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.

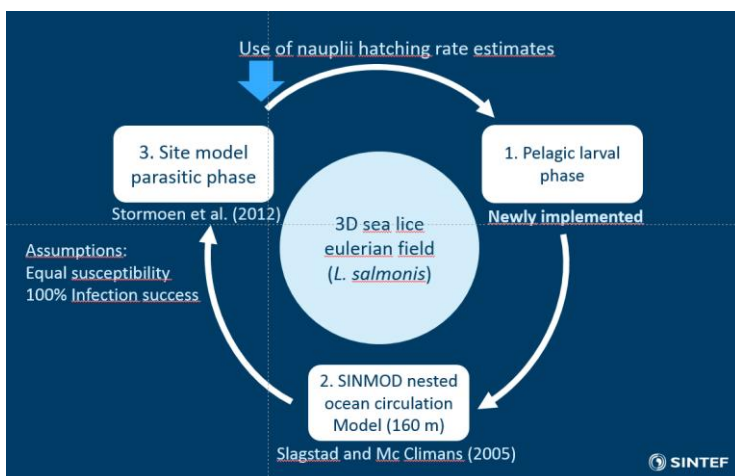
For å drive modellene brukes det ulike datasett. Avrenningsdata for elver hentes fra tilgjengelige kilder og for elver i Norge er det tatt utgangspunkt i tidsserier som fra NVE. Det er brukt to ulike kilder for atmosfæriske drivkrefter. For de to store områdene (20 og 4 km oppløsning) er det brukt data fra NOAA Global Forecast System. For områdene med 800 m oppløsning har vi brukt 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 oppdrettslokalteter 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.

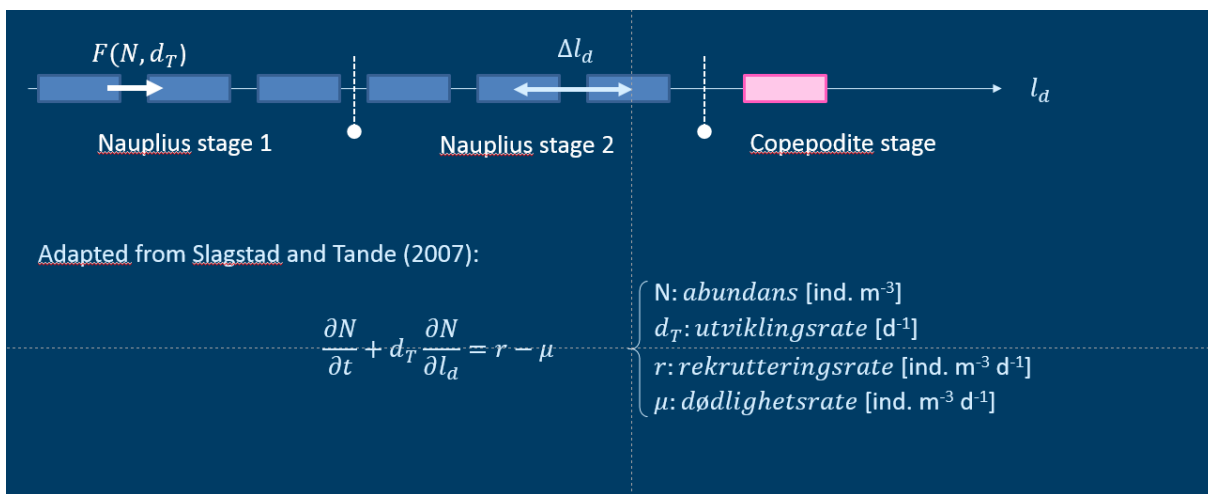
## 2.2 Populasjonsmodell for lus

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 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).

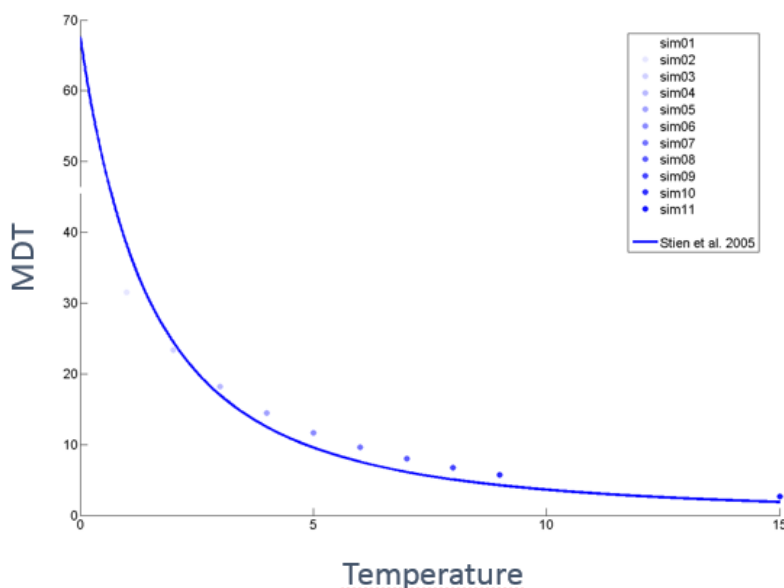


**Figur 2** Konseptuelt diagram av lakselusmodellen i modellsystemet SINMOD. Oppsettet består av tre moduler: havmodellen (2), den parasittiske livsfasen til lakselus (3) og den frittlevende planktoniske fasen (1) som er fokuset i denne rapporten.

Dynamikken til en strukturert populasjonsmodell for *L. salmonis* beskrives av en partiell differensialligning (se Figur 3) og er basert på en normalisert utviklingsdimensjon ( $l_d$ ) 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 utviklingsinkrementer vises som små firkanter. Hvert utviklingsstadium består av flere utviklingsinkrementer. For å redusere numerisk diffusjon og samtidig kunne redusere antall inkrementer, 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 kopepodittstadiet, 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

### 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 årets beregninger 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 Appendix 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. I resultat for hvert PO (2.4) er det vist eksempler på utvandring fra et par vassdrag. Det er i tillegg gitt informasjon om utvandringstid for alle vassdrag.

### 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 i Ellingsen og Knutsen (2019). Burdata fra PO 3 fra 2020 er benyttet til å evaluere modellen og er beskrevet i 2.4.

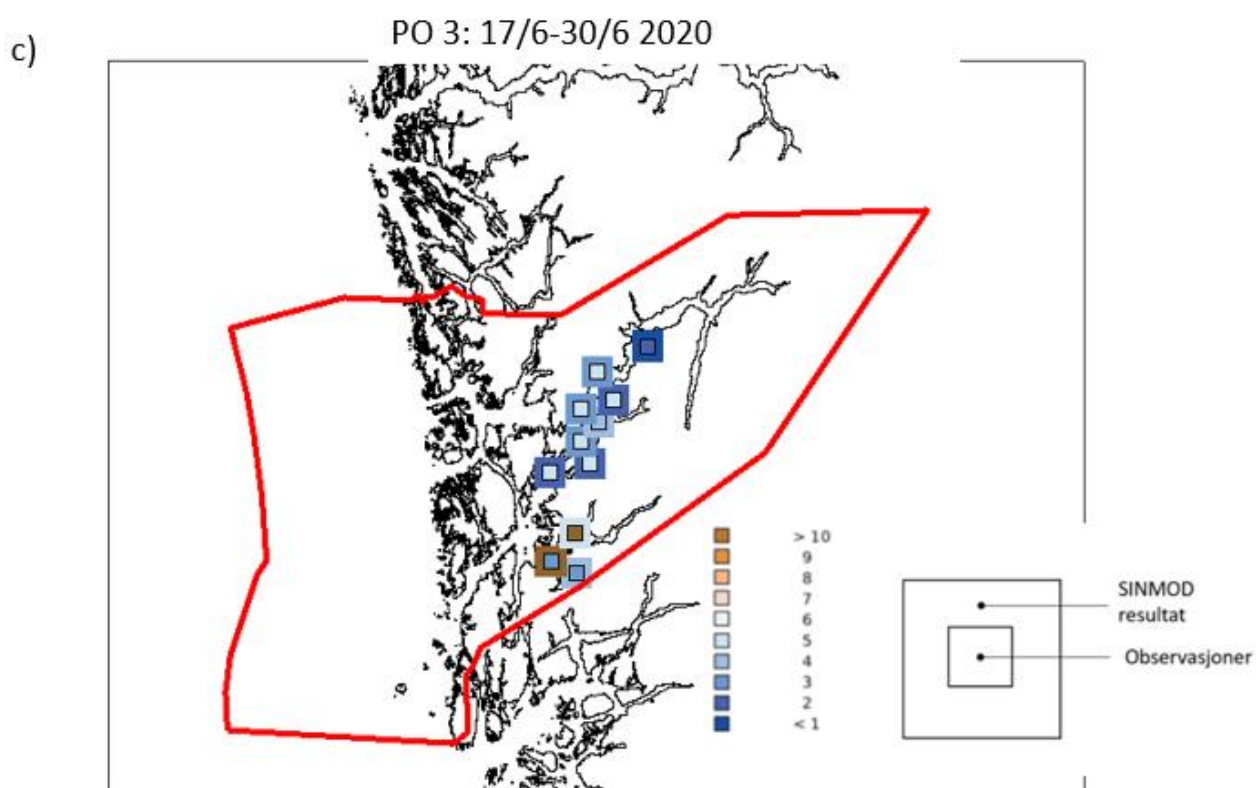
Påslag på virtuell smolt i bur er beregnet fra

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



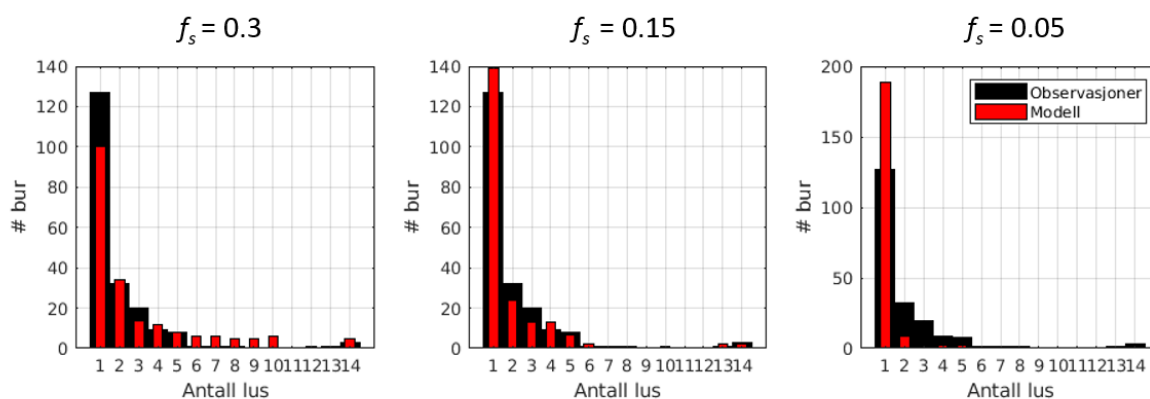
2019). Burdata fra 2018 og 2019 er brukt for å finne et estimat for  $f_s$  som gir best overenstemmelse mellom modell og observasjoner. Noen av observasjonene fra 2019 viser veldig høye påslag som modellen ikke reproduserer. Verdier av  $f_s$  påvirker ikke dette resultatet og to bur med middel over 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. Sammenligning med modellresultat fra 2020 som er tilgjengelig fra PO3 er vist i



Figur 6. Overenstemmelsen er best i periode 1 og 3. I periode 2 er det observert høye påslag av lus på smolt i bur som ikke reproduseres av modellen. Modellen viser konsentrasjoner av lus i den midtre delen av Hardangerfjorden, men konsentrasjonene er relativt lave.

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) og modellresultat (smale og røde søyler) for ulike verdier av  $f_s$ .

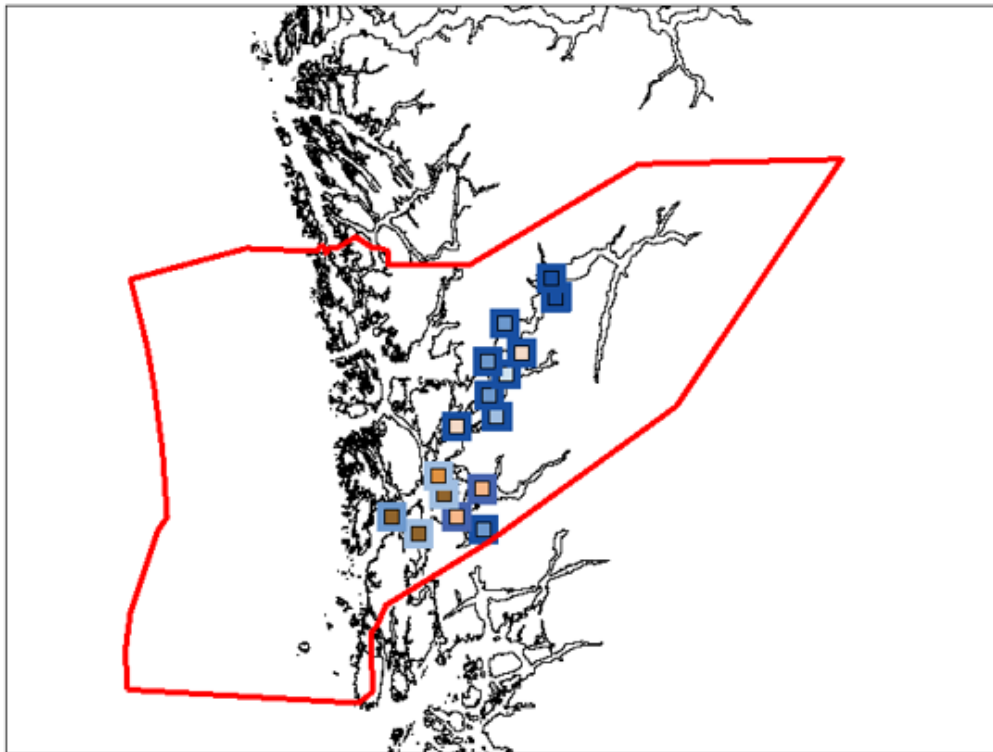
I 2.4 vises det hvor de utvandrende smoltene fra 2 ulike vassdrag per produksjonsområde går gjennom området med smittepress. Det vises også verdier for den høyeste konsentrasjonen som en smolt har blitt eksponert for innenfor hver gridcelle. Dette gir en indikasjon på intensiteten.

**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 %
Mellom 2 og 4 lus	20 %
Mellom 4 og 6 lus	50 %
Mer enn 6 lus	100 %

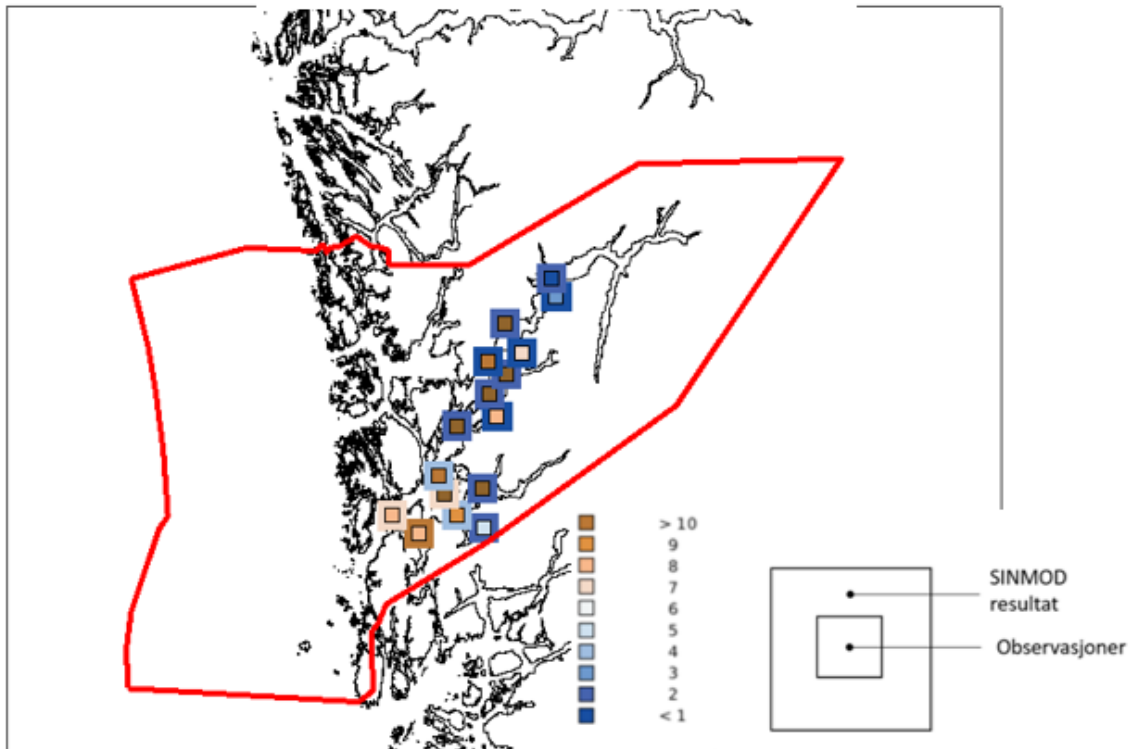
PO 3: 20/5-3/6 2020

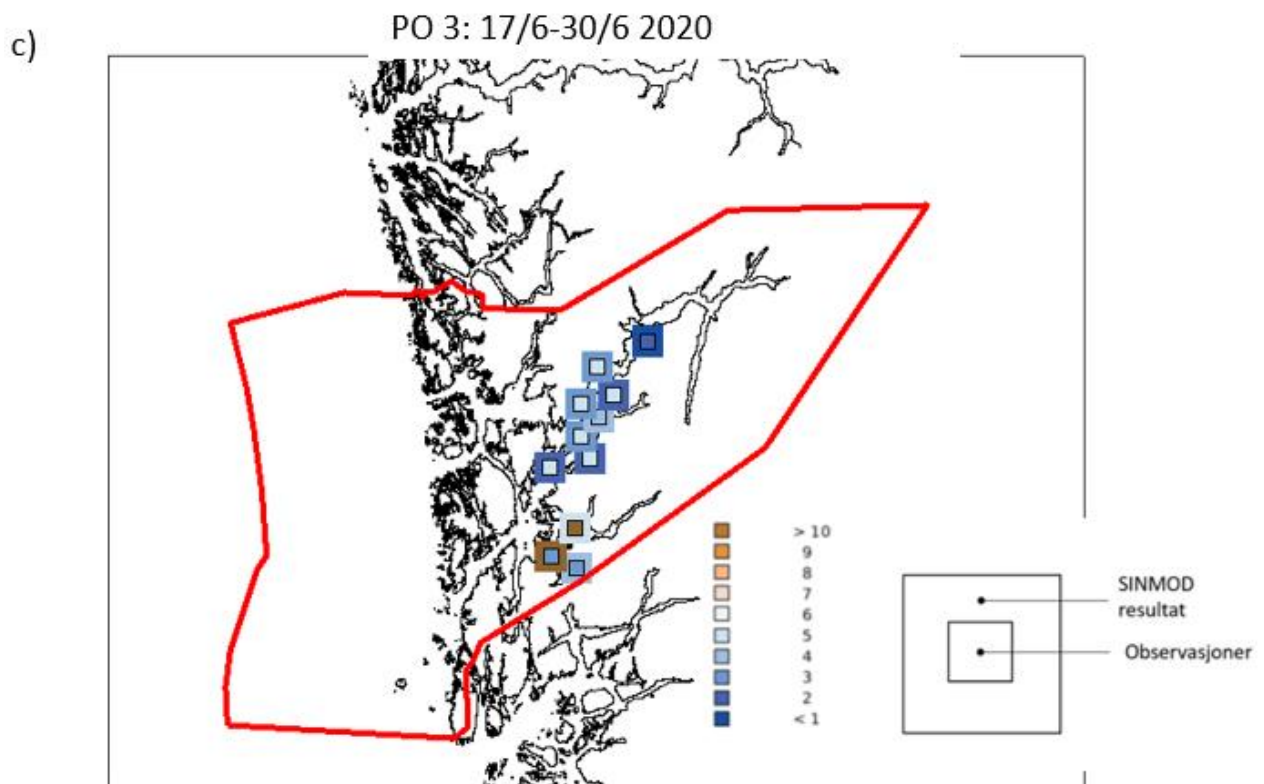
a)



PO 3: 3/6-10/6 2020

b)



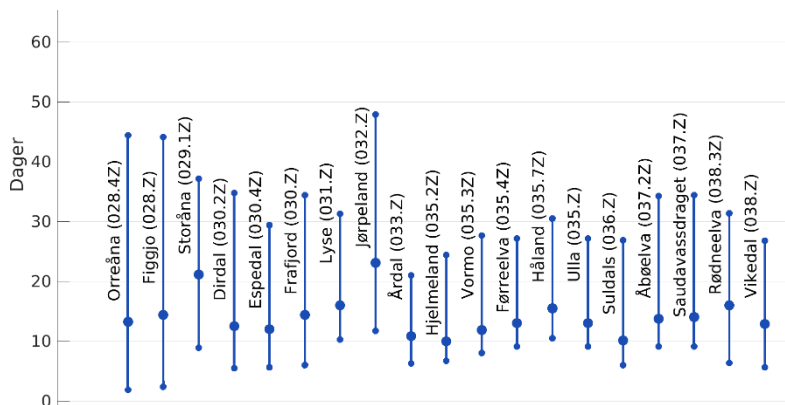


**Figur 6** Sammenligning av modellerte påslag (store kvadrater) av lus på bur mot observasjoner (små kvadrater) for burdata i 2019 for PO3 for periode 1 (a), periode 2 (b) til periode 3 (c). Fargene angir antall lus.

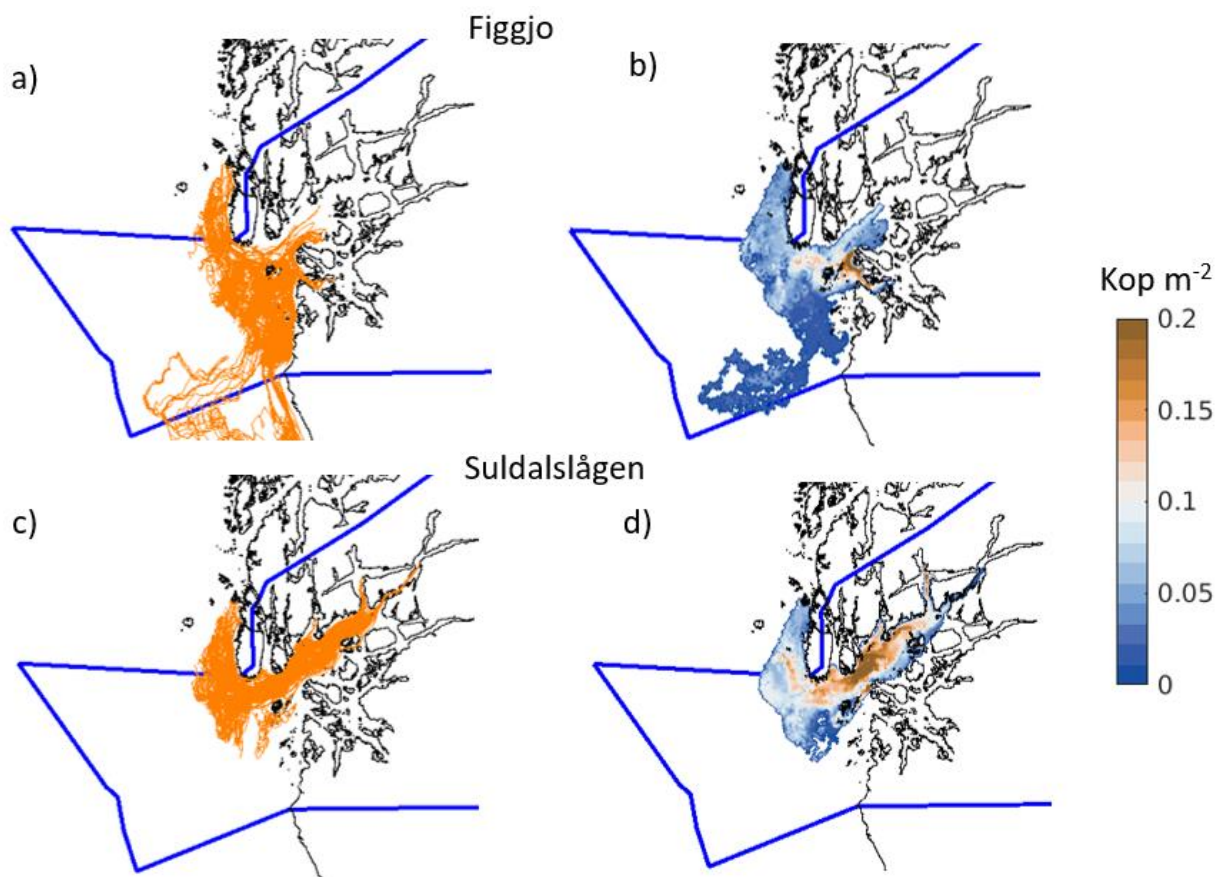
## 2.4 Resultat for PO 2 til 7

### 2.4.1 PO 2 2020

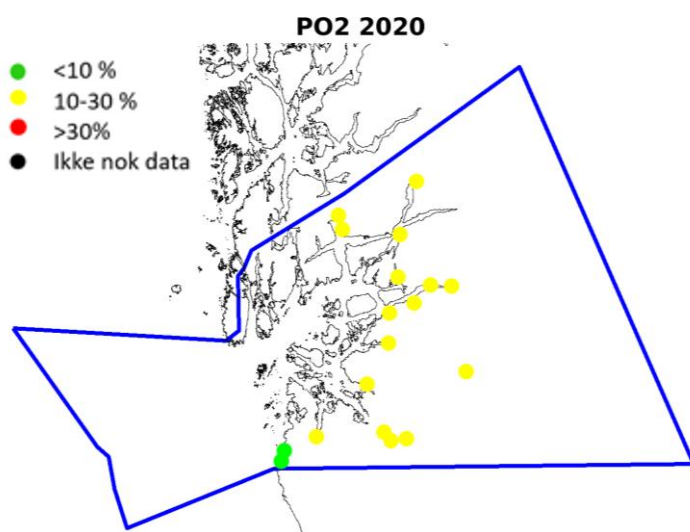
Utvandringen fra de ulike elvene i PO2 er vist i Figur 7. Utvandringstiden fra Suldal er i gjennomsnitt kortere enn fra Figgjo, selv om avstanden til kysten er mye lengre. Årsaken til dette er at virtuelle smoltene svømmer med strømmen og det gir noen lengre vandreruter for Figgjosmolten som blant annet går innom Boknafjorden før de returnerer ut mot kysten igjen (Figur 8 a). Det vises også at noen av de virtuelle smoltene vandrer sørover og inn i en antisyklonisk virvel i kyststrømmen. Smoltutvandringen fra Suldal domineres av driften mot korteste avstand mot kyst før de når kystområdene sør-vest for Karmøy (Figur 8a). Smoltene som vandrer fra Suldalslågen blir utsatt for smittepress langs store deler av ruten. Smolten fra Figgjo går gjennom de høyeste konsentrasjoner av lus gjennom Kvitsøyfjorden. Smoltene som har ruter som går lenger sør går også gjennom områder med smitte, men konsentrasjonene her er lave. Når det totale smittepresset integreres for alle smoltene langs rutene gir det en luseindusert dødelighet på 16 % for smolten fra Suldalslågen og 8% fra Figgjo (Figur 9). Beregnet uvektet gjennomsnitt for vassdragene innenfor PO 2 er 17 %. Figgjo og Orreåna kommer i lav kategorisering og resten i moderat kategorisering av lakseindusert dødelighet.



**Figur 7** Beregnet median og maksimum og minimum utvandringstid fra ulike vassdrag (navn og vassdragsnummer)



**Figur 8** Eksempler på utvandringsruter for virtuell smolt fra a) Figgjo og c) Suldalslågen. Blå linjer viser PO grenser. Området hvor de virtuelle smoltene er utsatt for smittepress av lus er vist for b) Figgjo og d) Suldalslågen. Fargeskalaen viser den maksimale konsentrasjonen av kopepoditter som har påvirket smolt fra det aktuelle vassdraget. Det gir en indikasjon på intensiteten.



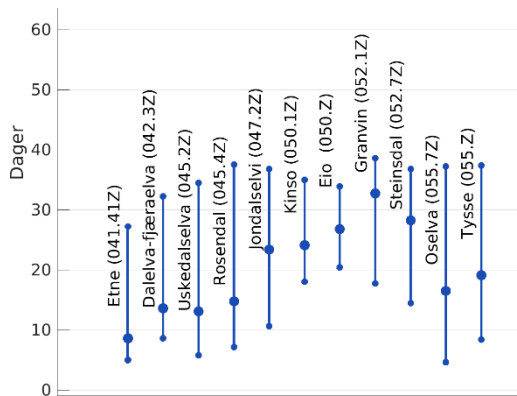
Orreåna (028.4Z)	8 %
Figgjo (028.Z)	8 %
Storåna (029.1Z)	16 %
Dirdal (030.2Z)	15 %
Espedal (030.4Z)	16 %
Frafjord (030.Z)	15 %
Lyse (031.Z)	16 %
Jørpeland (032.Z)	25 %
Årdal (033.Z)	15 %
Hjelmeland (035.2Z)	17 %
Vormo (035.3Z)	18 %
Førreelva (035.4Z)	16 %
Håland (035.7Z)	26 %
Ulla (035.Z)	16 %
Suldals (036.Z)	16 %
Åbølva (037.2Z)	17 %
Saudavassdraget (037.Z)	18 %
Rødneelva (038.3Z)	20 %

**Figur 9** Kart over resultater kategorisert ut fra luseindusert dødelighet til venstre og oversikt over dødelighet for hver enkelt elv til høyre for PO 2.

## 2.4.2 PO 3 2020

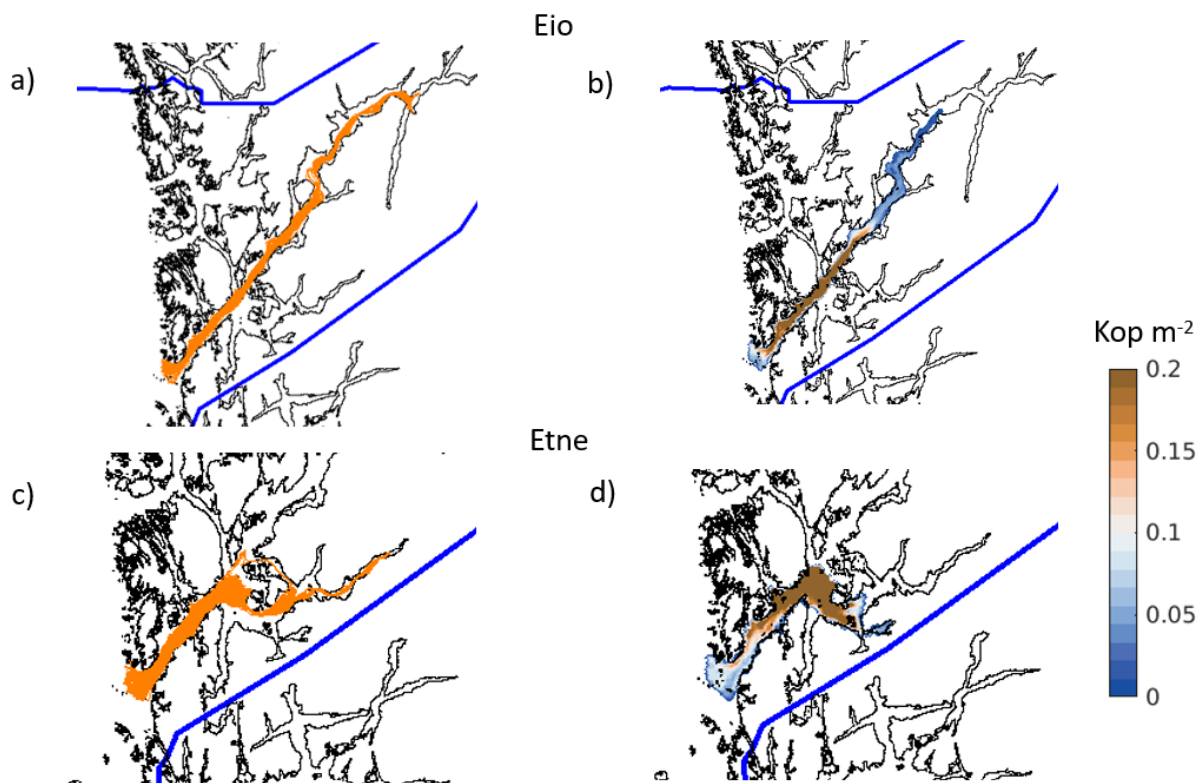
Utvandringsvarighet for smoltmigrering fra elver i PO3 er vist i Figur 10. De virtuelle smoltene bruker lengst tid fra de innerste delene av Hardangerfjorden med Granvin som har en median utvandringsvarighet på 32 dager. Smoltene fra Etne bruker kortest tid ut til kysten med en median på 9 dager. Smolt fra Tysse som vandrer ut Bjørnafjorden bruker fra 5 til 38 dager. Variasjon i utvandring skyldes påvirkning av strøm. I perioder med mye avrenning vil sterkere overflatestrømmer ut av fjorden gi raskere migrering, for eksempel for smolt fra Eio som har lite variasjon i utvandringsruter (Figur 11a). Det å svømme med strømmen kan også gi lengre ruter og forlenge utvandringen. Variasjon i utvandringsruter for smolt fra Etne er vist i Figur 11c. Med store forskjeller i utvandringstid vil smolt fra de ulike elvene migrere gjennom ulike deler av fjordsystemene til ulik tid. For eksempel vil Eio smolten gå gjennom høyere konsentrasjoner av lus i ytre deler av Hardangerfjorden sammenlignet med smolten fra Etne (Figur 11 b og d).

Den virtuelle smolten fra Opo har veldig lang oppholdstid i Sørfjorden før den vandrer utover. Den lange simulerte utvandringstiden gjør at vi ikke får data nok til å beregne lusepåslag og potensiell dødelighet. Estimaten for luseindusert dødelighet for øvrige vassdrag i PO 3 varierer mellom 19 % for Daleelva og 41 % for Kinso og modellen gir dermed kategorisering av luseindusert dødelighet som varierer fra moderat til høy (Figur 12). Uvektet gjennomsnitt er 28.3 %.

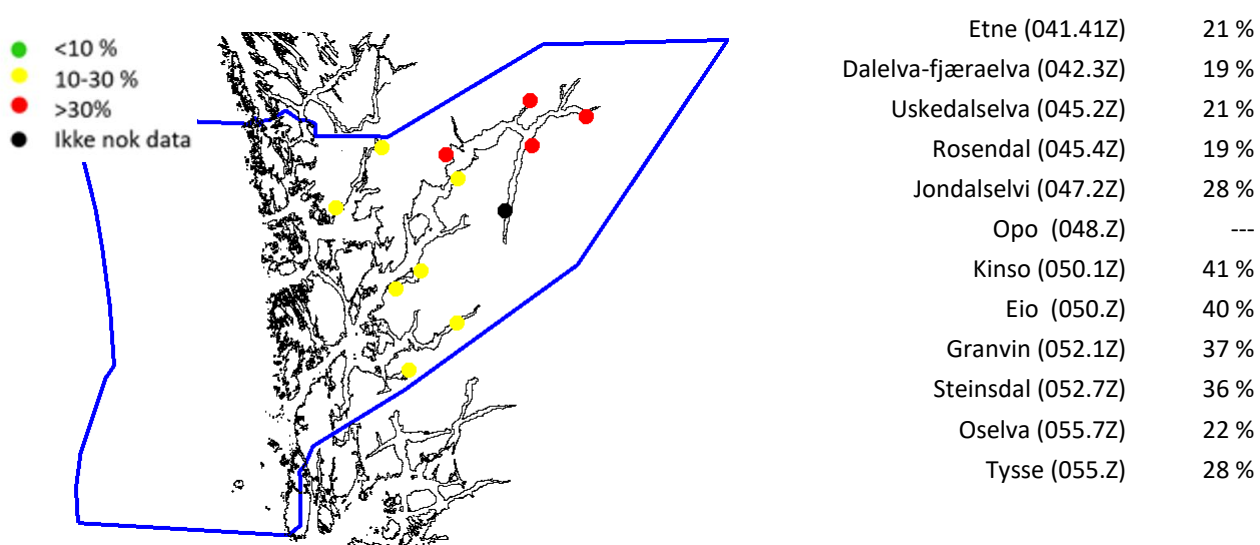


**Figur 10** Beregnet median og maksimum og minimum utvandringsvarighet fra ulike vassdrag (navn og vassdragsnummer) i PO 3.





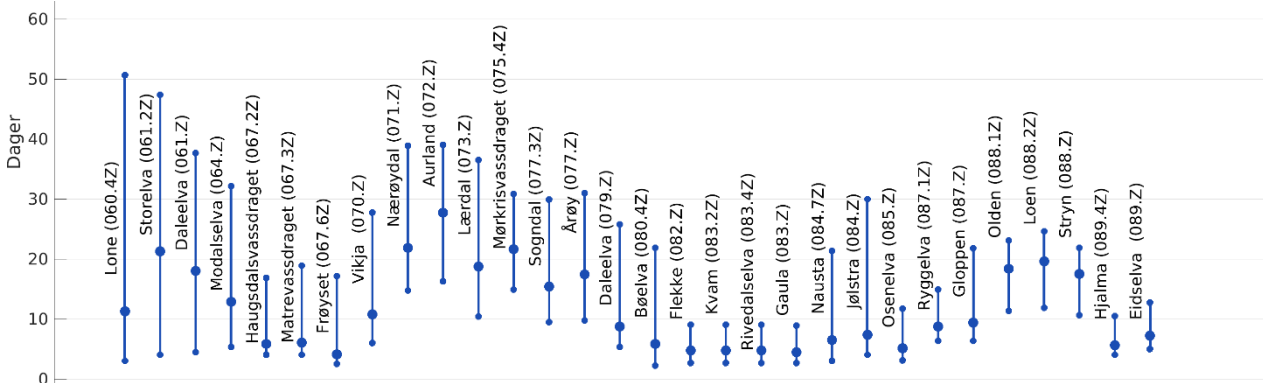
**Figur 11** Eksempler på utvandningsruter (oransje) for virtuell smolt fra a) Eio og c) Etne. Blå linjer viser PO grenser. Området hvor de virtuelle smoltene er utsatt for smittepress av lus er vist for b) Eio og d) Etne. Fargeskalaen viser den maksimale konsentrasjonen av kopepoditter som har påvirket smolt fra det aktuelle vassdraget.



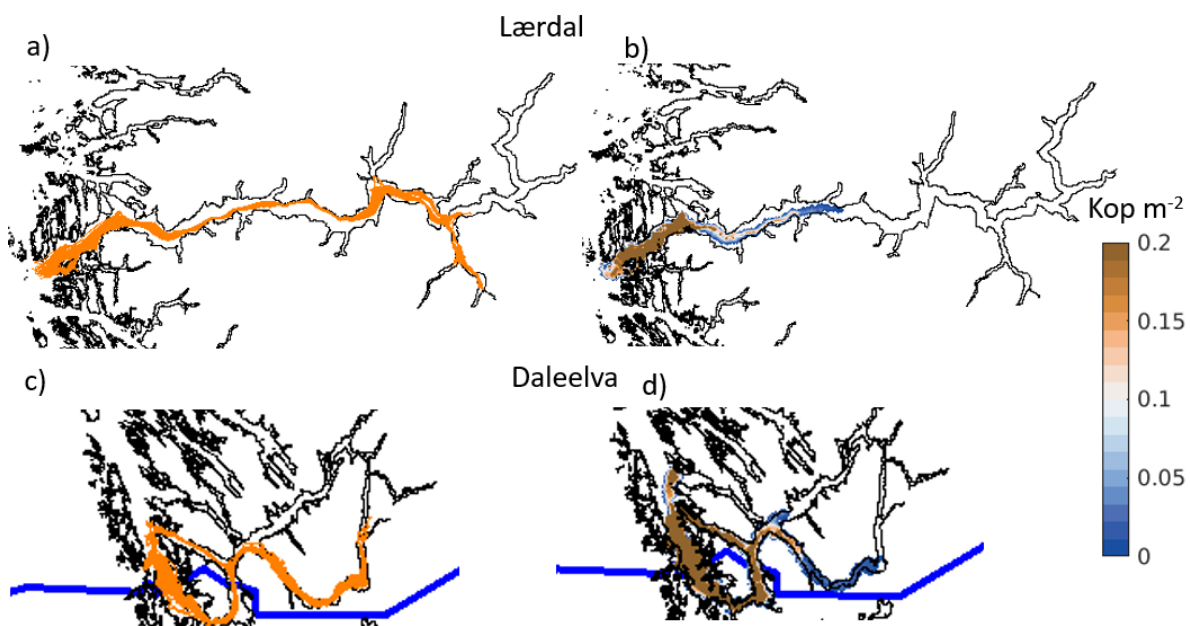
**Figur 12** Kart over resultater kategorisert ut fra luseindusert dødelighet til venstre og oversikt over dødelighet for hver enkelt elv til høyre PO 3.

### 2.4.3 PO 4 2020

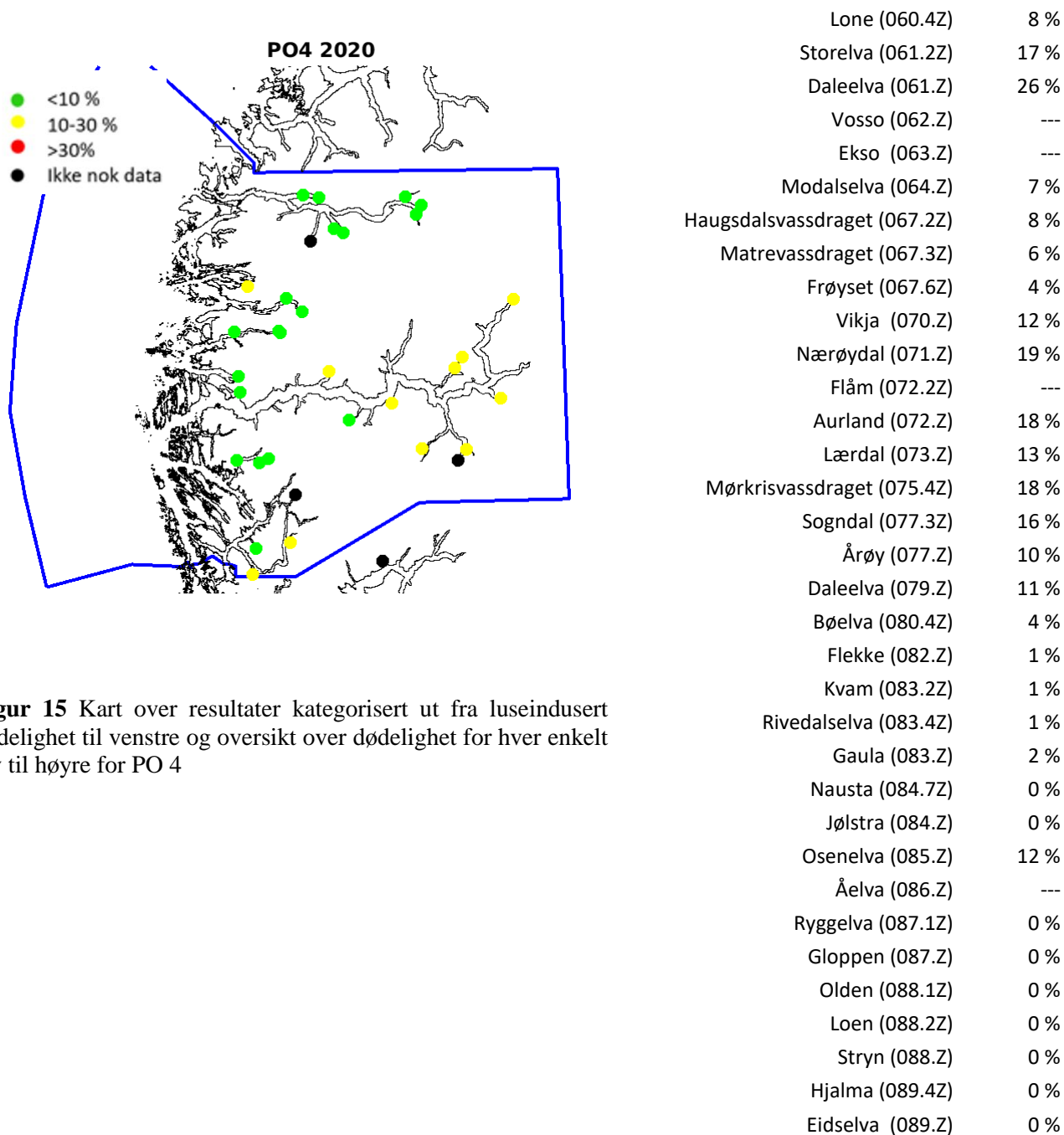
Utvandringsvarighet for smolt fra elver i PO 4 er vist i Figur 13. For flere vassdrag bruker de fleste virtuelle smoltene kun noen få dager på å nå kysten. For smolt som kommer fra elver inne i Sognefjorden og Førdefjorden er utvandringsvarigheten lengre, men det er samtidig stor variasjon. For eksempel er den raskeste migreringen fra Lærdalselva 10 dager og den tregeeste 40 dager. Eksempler på utvandringsruter gjennom perioden er vist for Lærdal og Dale i Figur 14 a og c. Fjordarmene disse smoltene vandrer ut i er smale og er styrende for utvandringen. Smolt fra Dale følger både nordlig og sørlig rute ut til kysten. Smittepresset som de virtuelle smoltene eksponeres for er høyest ute ved kysten (Figur 14 b og d). Estimaten for luseindusert dødelighet ligger mellom lave og moderate verdier (**Error! Reference source not found.**). Dale og Storelva har relativ høy dødelighet (hhv 26 og 17 %). Utfordring med oppløsning med modellen har ført til at det ikke er gode data for migrering fra Vosso. Det er estimert 13 % luseindusert dødelighet for Lærdalselva og 11 % for Daleelva i Sognefjorden. Smoltene som vandrer gjennom Sognefjorden estimeres til å ha en moderat påvirkning. Nord for Sognefjorden i PO 5 er verdiene lave, men unntak av Jølstra i Førdefjorden (12 % dødelighet). Resultatene varierer mellom en lav og moderat kategorisering av luseindusert dødelighet. Uvektet gjennomsnitt er 7,2%.



**Figur 13** Beregnet median og maksimum og minimum utvandringsvarighet fra ulike vassdrag (navn og vassdragsnummer) i PO 4.



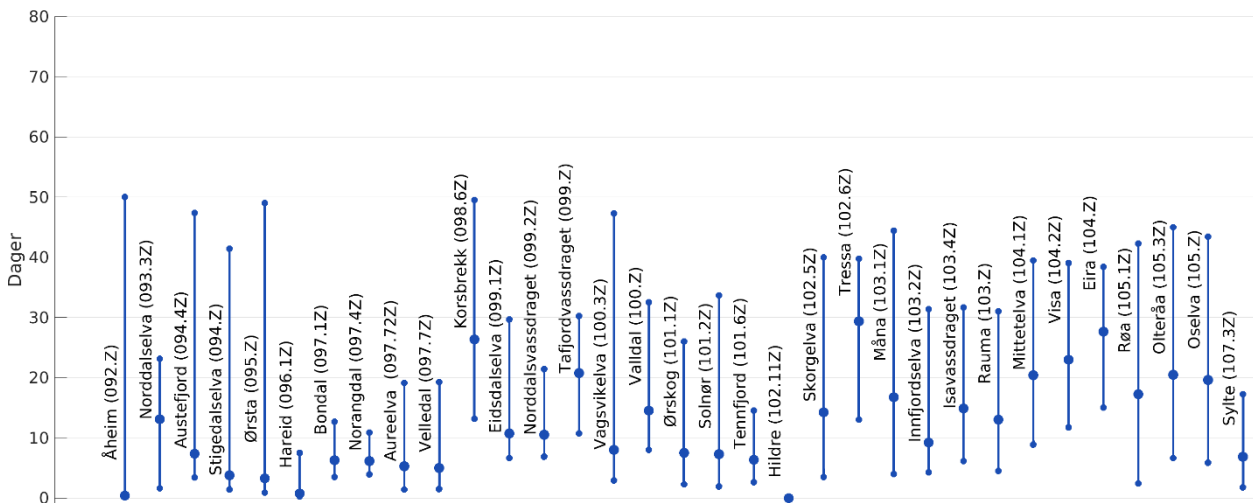
**Figur 14** Eksempler på utvandningsruter for virtuell smolt fra a) Lærdalselva og b) Daleelva. Blå linjer viser PO grenser. Området hvor de virtuelle smoltene er utsatt for smittepress av lus er vist for c) Lærdalselva og d) Daleelva. Fargeskalaen viser den maksimale konsentrasjonen av kopepoditter som har påvirket smolt fra det aktuelle vassdraget. Blå linjer viser PO grenser.



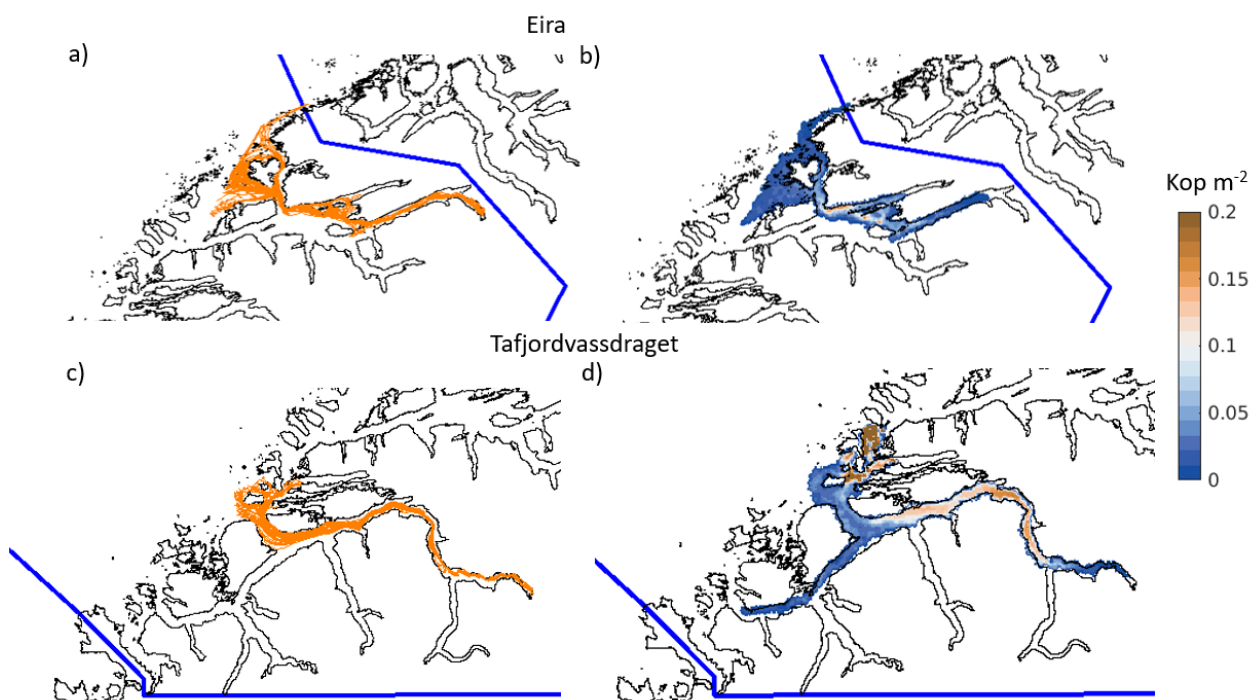
**Figur 15** Kart over resultater kategorisert ut fra luseindusert dødelighet til venstre og oversikt over dødelighet for hver enkelt elv til høyre for PO 4

## 2.4.4 PO 5 2020

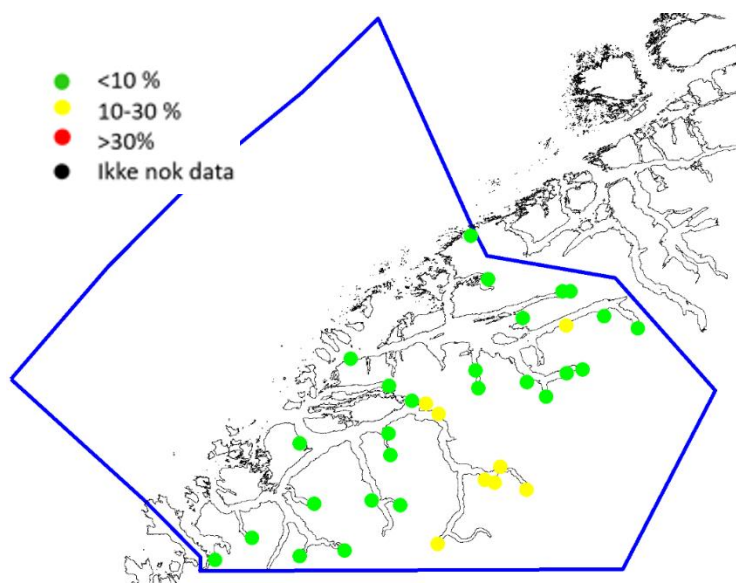
Utvandringsvarighet for smolt fra elver i PO 5 er vist i Figur 16. Median utvandringsvarighet er under 10 dager for mange av smoltbestandene. Smolten fra Tressa i Romsdalsfjorden bruker opp mot 1 måned på utvandringen. Utvandring fra en del elver i området varierer mye. Den virtuelle smolten fra Ørsta bruker fra 4 til 50 dager på utvandringen. Utvandringsruter fra Eira og Tafjordvassdraget er vist i Figur 17. I begge eksemplene gir simuleringene utvandring hovedsakelig langs de nordlige rutene ut til kysten. Smolten fra Eira går gjennom felt med lave konsentrasjoner langs store deler av ruten med unntak av noen felt med høye maksimumsverdier i Romsdalsfjorden. Smolten fra Tafjord eksponeres langs hele ruten, og maksimumsverdiene er relativt høye. Smoltbestandene i elvene i Nordalsfjorden og Synnulfsvfjorden har dødelighetsestimat innenfor moderat kategorisering av luseindusert dødelighet (**Figur 18**). Estimaten er 25 % for Tafjordvassdraget og 20 % for Korsbekk. I Romsdalsfjorden er Mittelva 10%, ellers er elvene innenfor lav kategori for luseindusert dødelighet. Rauma og Eira er lavt påvirket (hhv 3 og 7%). Uvektet middel for alle vassdrag er 6,5 %.



**Figur 16** Beregnet median og maksimum og minimum utvandringsvarighet fra ulike vassdrag (navn og vassdragsnummer) PO 5



**Figur 17** Eksempler på utvandringsruter for virtuell smolt fra a) Eira og b) Tafjordvassdraget. Blå linjer viser PO grenser. Området hvor de virtuelle smoltene er utsatt for smittepress av lus er vist for c) Eira og d) Tafjordvassdraget. Fargeskalaen viser den maksimale konsentrasjonen av kopepoditter som har påvirket smolt fra det aktuelle vassdraget. Det gir en indikasjon på intensiteten.



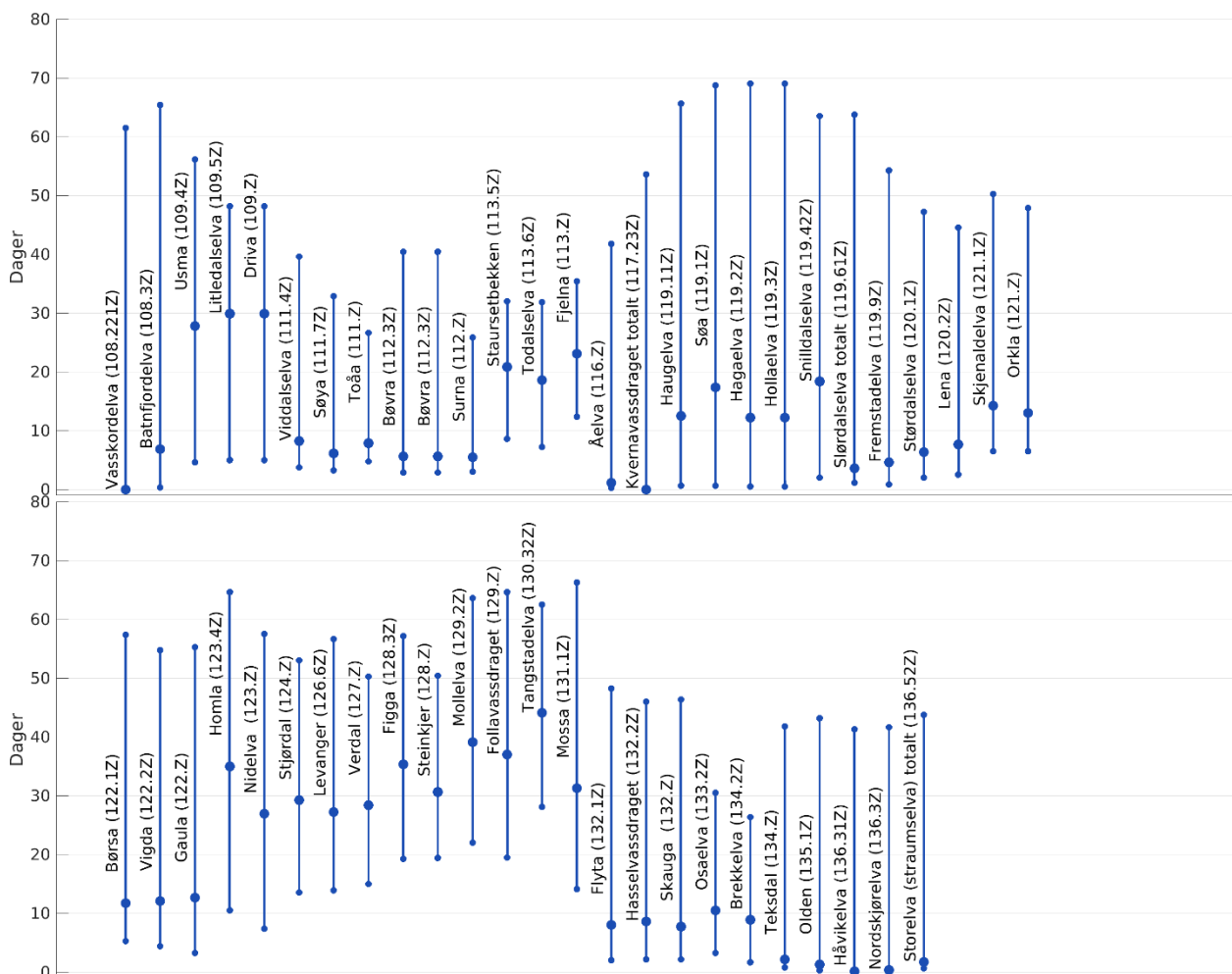
**Figur 18** Kart over resultater kategorisert ut fra luseindusert dødelighet til venstre og oversikt over dødelighet for hver enkelt elv til høyre PO5.

Åheim (092.Z)	0 %
Norrdalselva (093.3Z)	0 %
Austefjord (094.4Z)	3 %
Stigedalselva (094.Z)	2 %
Ørsta (095.Z)	1 %
Hareid (096.1Z)	0 %
Bondal (097.1Z)	0 %
Norangdal (097.4Z)	0 %
Aureelva (097.72Z)	5 %
Velledal (097.7Z)	4 %
Korsbrekk (098.6Z)	20 %
Eidsdalselva (099.1Z)	19 %
Norrdalsvassdraget (099.2Z)	18 %
Tafjordvassdraget (099.Z)	25 %
Vagsvikelva (100.3Z)	19 %
Valldal (100.Z)	19 %
Ørskog (101.1Z)	11 %
Solnør (101.2Z)	7 %
Tennfjord (101.6Z)	0 %
Hildre (102.11Z)	0 %
Skorgelva (102.5Z)	0 %
Tressa (102.6Z)	0 %
Måna (103.1Z)	4 %
Innfjordselva (103.2Z)	1 %
Isavassdraget (103.4Z)	4 %
Rauma (103.Z)	3 %
Mittetelva (104.1Z)	10 %
Visa (104.2Z)	7 %
Eira (104.Z)	7 %
Røa (105.1Z)	6 %
Olteråa (105.3Z)	5 %
Oselva (105.Z)	4 %
Sylte (107.3Z)	0 %
Hustad (107.6Z)	0 %

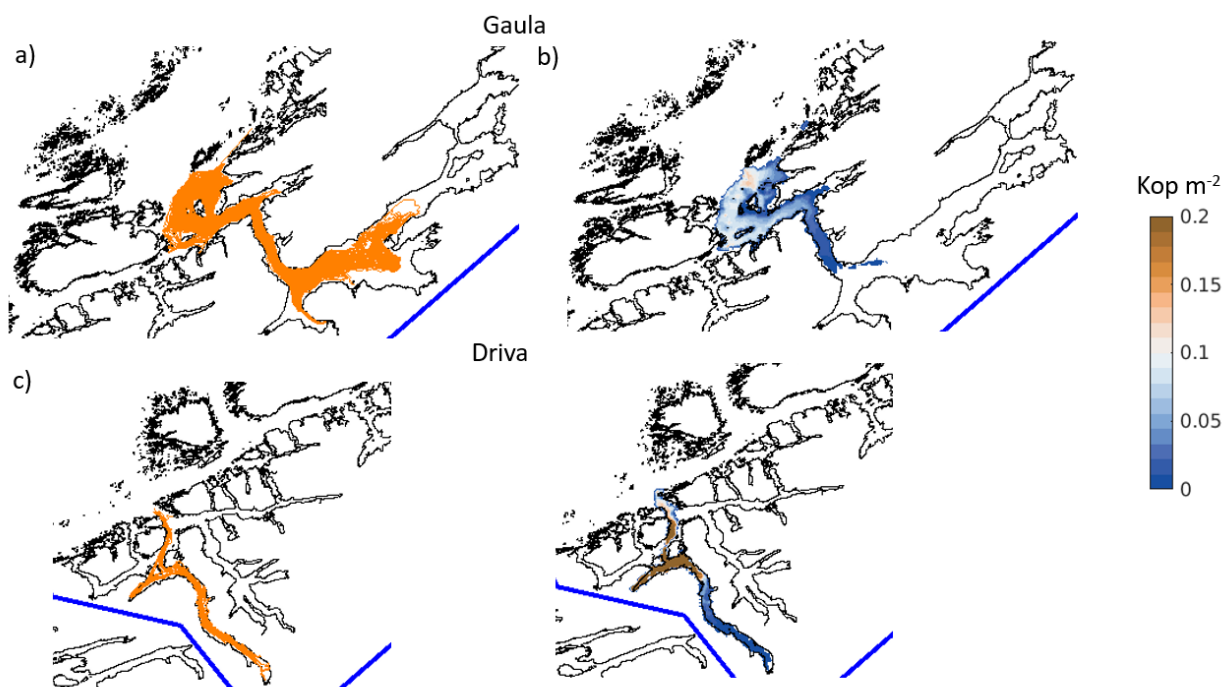


## 2.4.5 PO 6 2020

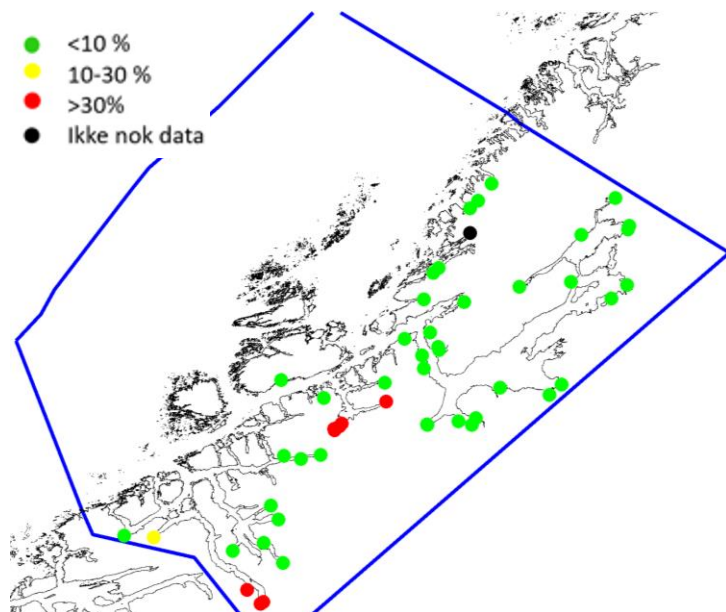
Det er stor variasjon i utvandrigsvarighet både mellom elver og mellom virtuelle smolt fra samme elv i PO 6 (Figur 19). Modellen gir stor variasjon i utvandrigsruter fra for eksempel Gaula (Figur 20a). En del smolt vandrer innover i Trondheimsfjorden før de bringes ut Trondheimsleia og inn i Frohavet. I disse tilfellene vil de virtuelle smoltene bruke opp mot 65 dager på utvandringen. Den raskeste migreringen fra Gaula løp over 4 dager. Det er ikke risiko for smitte for de virtuelle smoltene i Trondheimsfjorden, men varigheten vil ha betydning for hvilket smittepress smolten utsettes for i ytre deler av Trondheimsleia og Frohavet, som vist for Gaula i Figur 20b. Utvandrigsrutene for Driva styres av topografien, men noen virtuelle smolt svømmer innom Batnfjorden og vil ha lengre ruter og bruke lengre tid på vandringen ut av fjorden (Figur 20 c). Dette påvirker også påslag av lus ettersom det er en del smittepress i dette området (Figur 20 c). Dødelighetsestimatet for smoltbestanden for Driva er også høy (51 %) (**Error! Reference source not found.**). For Trondheimsfjordelvene gir modellen dødelighetsestimat som ligger innenfor lav kategorisering av luseindusert dødelighet. Dersom rutene hadde blitt forlenget gjennom Frohavet vil estimatene blitt høyere, men det er avhengig av rutene. Estimerte dødelighet er veldig høy for smolt som vandrer ut Snillfjorden. Dette skyldes veldig høy smitte innenfor fjordsystemet (ikke vist).



**Figur 19** Beregnet median og maksimum og minimum utvandrigsvarighet fra ulike vassdrag (navn og vassdragsnummer)



**Figur 20** Eksempler på utvandningsruter for virtuell smolt fra a) Gaula og b) Driva. Blå linjer viser PO grenser. Området hvor de virtuelle smoltene er utsatt for smittepress av lus er vist for c) Gaula og d) Driva. Fargeskalaen viser den maksimale konsentrasjonen av kopepoditter som har påvirket smolt fra det aktuelle vassdraget. Det gir en indikasjon på intensiteten.



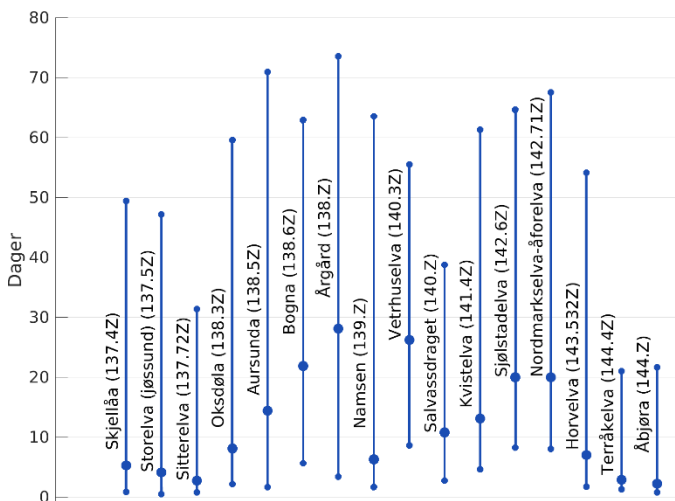
**Figur 21** Kart over resultater kategorisert ut fra luseindusert dødelighet til venstre og oversikt over dødelighet for hver enkelt elv til høyre for PO 6.

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

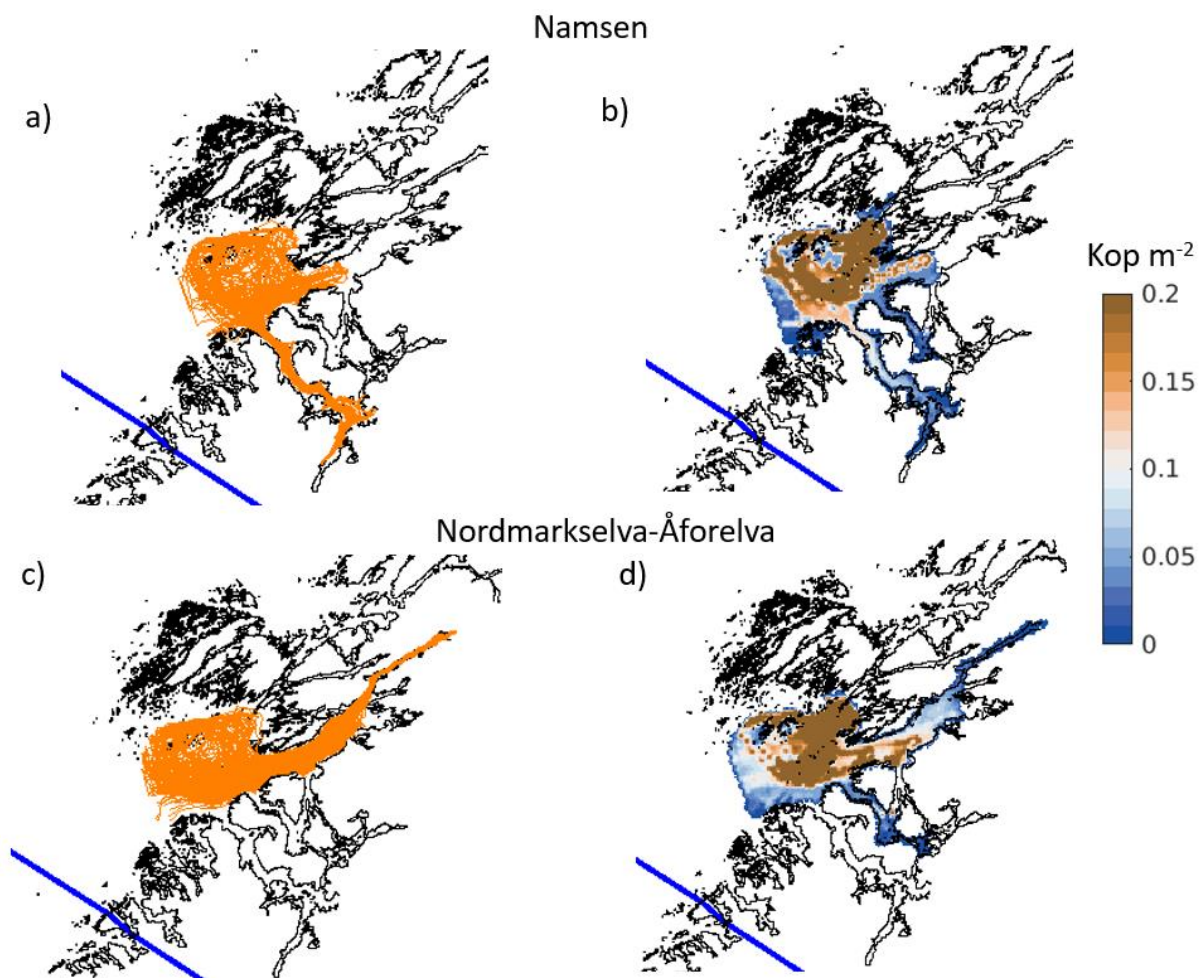
Vasskordelva (108.221Z)	0 %
Batnfjordelva (108.3Z)	14 %
Usma (109.4Z)	44 %
Litledalselva (109.5Z)	51 %
Driva (109.Z)	51 %
Viddalselva (111.4Z)	1 %
Søya (111.7Z)	1 %
Toåa (111.Z)	0 %
Bøvra (112.3Z)	0 %
Bøvra (112.3Z)	0 %
Surna (112.Z)	1 %
Staursetbekken (113.5Z)	7 %
Todalselva (113.6Z)	6 %
Fjelna (113.Z)	9 %
Åelva (116.Z)	0 %
Kvernavassdraget totalt (117.23Z)	0 %
Haugelva (119.11Z)	47 %
Søa (119.1Z)	43 %
Hagaelva (119.2Z)	54 %
Hollaelva (119.3Z)	54 %
Snilldalselva (119.42Z)	72 %
Slørdalselva totalt (119.61Z)	9 %
Fremstadelva (119.9Z)	0 %
Størdalselva (120.1Z)	0 %
Lena (120.2Z)	0 %
Skjenaldelva (121.1Z)	0 %
Orkla (121.Z)	0 %
Børsa (122.1Z)	0 %
Vigda (122.2Z)	1 %
Gaula (122.Z)	1 %
Homla (123.4Z)	0 %
Nidelva (123.Z)	0 %
Stjørdal (124.Z)	0 %
Levanger (126.6Z)	0 %
Verdal (127.Z)	0 %
Figga (128.3Z)	0 %

## 2.4.6 PO 7 2020

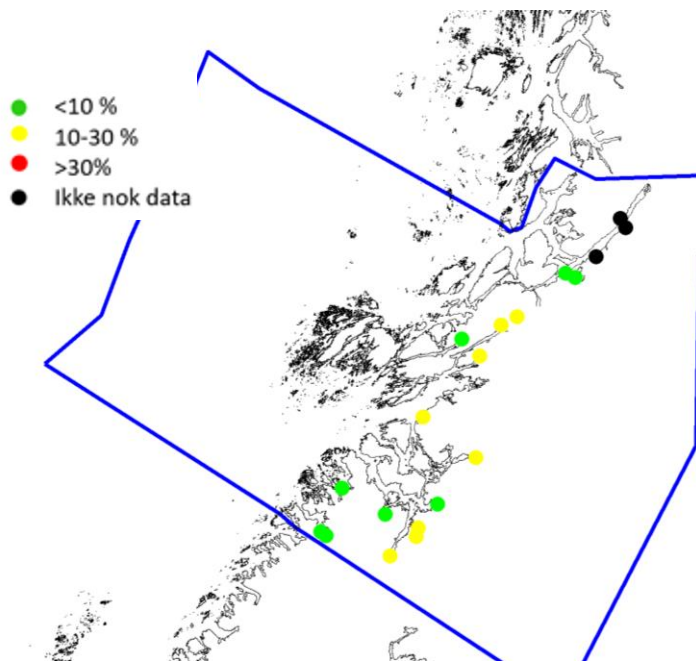
Det er stor variasjon i utvandringsvarighet både mellom elver og mellom virtuelle smolt fra samme elv i PO 7 (Figur 22). Modellen gir at smolt fra elvene nærest kysten har kort utvandringsrute. Smolt fra Nordmarkselva-Åforelva for eksempel har utvandringsforløp som varer fra noen dager til opp mot 70 dager. Smolten fra dette vassdraget bruker store deler av fjordarealet på vei ut og videre ut i Folda (Figur 23c). Det er også i Folda at smoltene går gjennom det høyeste smittepresset (Figur 23d). Smolten fra Namsen går gjennom tilsvarende smittepress i Folda, men det er også felt med kopepoder inne i Namsenfjorden (Figur 23a og b). Namsen bruker i median 6 dager på utvandringen, men det er også tilfeller med virtuell smolt som har brukt over 60 dager. Beregning av luseindusert dødelighet på bestanden fra Namsen er 10 % som ligger på grensen fra lavt til moderat kategorisering av dødelighet (**Error! Reference source not found.**). Estimatene for dødelighet gir halvparten av vassdragene innenfor lav kategorisering og halvparten innenfor moderat. Det mangler data fra 3 vassdrag i Tosenfjorden.



**Figur 22** Beregnet median og maksimum og minimum utvandringsvarighet fra ulike vassdrag (navn og vassdragsnummer) i PO 7



**Figur 23** Eksempler på utvandringsruter for virtuell smolt fra a) Namsen og c) Nordmarkselva-Åforelva. Blå linjer viser PO grenser. Området hvor de virtuelle smoltene er utsatt for smittepress av lus er vist for b) Namsen og d) Nordmarkselva-Åforelva. Fargeskalaen viser den maksimale konsentrasjonen av kopepoditter som har påvirket smolt fra det aktuelle vassdraget. Det gir en indikasjon på intensiteten, men det gir ikke kvantitativ informasjon om det totale lusepresset.



Skjellåa (137.4Z)	5 %
Storelva (jøssund) (137.5Z)	4 %
Oksdøla (138.3Z)	1 %
Aursunda (138.5Z)	7 %
Bogna (138.6Z)	10 %
Årgård (138.Z)	13 %
Namsen (139.Z)	14 %
Vettruselva (140.3Z)	10 %
Salvassdraget (140.Z)	15 %
Kvistelva (141.4Z)	27 %
Sjølstadelva (142.6Z)	15 %
Nordmarkselva-åforelva (142.71Z)	18 %
Horvelva (143.532Z)	18 %
Terråkelva (144.4Z)	9 %
Urvollelva (144.5Z)	0 %
Bogelva (144.61Z)	---
Åbjøra (144.Z)	---
Eide (145.2Z)	0 %

**Figur 24** Kart over resultater kategorisert ut fra luseindusert dødelighet til venstre og oversikt over dødelighet for hver enkelt elv til høyre for PO 7.

## 2.5 Oppsummering

SINMOD er anvendt for modalere påslag av lus på utvandrende smolt i PO2-7 og estimere dødelighet for hver bestand. Modellen er tidligere anvendt og levert resultater for 2017, 2018 og 2019 (Ellingsen et al., 2017; Ellingsen og Knutsen, 2019)). Smoltmodellen er i dette arbeidet endret slik at de virtuelle smoltene har en drift mot kysten ved å svømme i retning av den kortest avstand til grunnlinjen.

## 2.6 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 lakseindusert 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, , Bye-Ingebrtsen, E, Thiem, Ø (2015). "Strømmålinger i Sørfjorden i Hardanger", SAM e-rapport nr 15-2015, ISSN: 1890-5153.

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.