



SINTEF

65

64

63

62

10

5

Longitude

# Rapport

**Simulert lakseluseindusert dødelighet på virtuell smolt i produksjonsområde 2 til 7 ved bruk av SINMOD**

**Forfatter:**

Ingrid Ellingsen

**Rapportnummer:**

2022:01113 - Åpen

**Oppdragsgiver:**

Havforskningsinstituttet

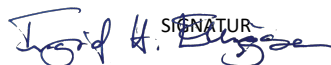
# Rapport

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

EMNEORD  
SINMOD  
Lakselus  
SmoltVERSJON  
V1DATO  
2022-10-10FORFATTER(E)  
Ingrid EllingsenOPPDRAGSGIVER(E)  
HavforskningsinstituttetOPPDRAGSGIVERS REFERANSE  
Ørjan KarlsenPROSJEKTNUMMER  
302005708ANTALL SIDER OG VEDLEGG  
27

### 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. For vurderingene for 2022 er det brukt samme tilnærming som i 2021, og denne rapporten beskriver resultatene fra modellsystemet 2022.

UTARBEIDET AV  
Ingrid Ellingsen SIGNATURKONTROLLERT AV  
Ragnhild L. Daae SIGNATURGODKJENT AV  
Harry Westavik SIGNATUR

# Historikk

---

VERSJON	DATO	VERSJONSBESKRIVELSE
V1	2022-11-01	KS og godkjenning

---

# 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	Sensitivitetsanalyser .....	9
<b>3</b>	<b>Resultat.....</b>	<b>10</b>
3.1	Sammenligning med burdata.....	10
3.2	Resultat for PO 2 til 7 .....	14
3.2.1	PO2 .....	14
3.2.2	PO3 .....	17
3.2.3	PO4 .....	20
3.2.4	PO5 .....	22
3.2.5	PO6 .....	24
3.2.6	PO7 .....	26
3.3	Diskusjon og oppsummering.....	27
<b>4</b>	<b>Referanser.....</b>	<b>28</b>

## 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. For vurderingene for 2022 er det brukt samme tilnærming som i 2021, og denne rapporten beskriver resultatene fra modellsystemet 2022.

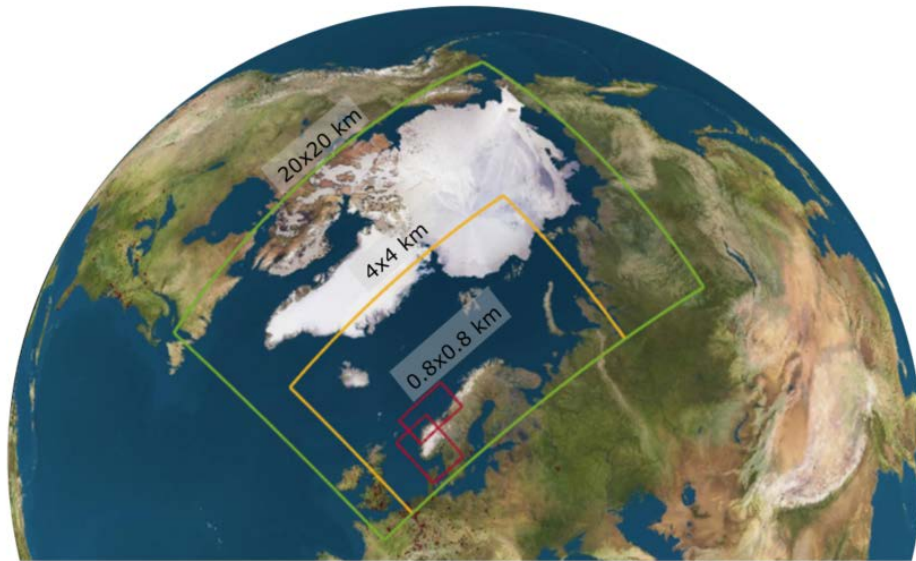
## 2 Metoder

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 mfl. (2020) og Michelsen mfl., (2019)). Modellsystemet er anvendt for en rekke problemstillinger i fjord og kyststrøk (Broch mfl., 2017; Jansen mfl., 2018; Fossberg mfl., 2018). Populasjonsmodellen for lus følger rammeverket som er utviklet for andre biologiske arter (Alver mfl., 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.

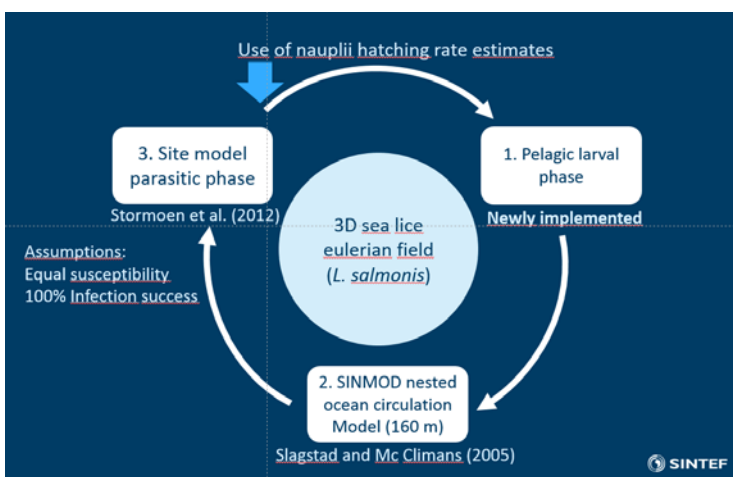
For å drive modellene brukes det ulike datasett. Avrenningsdata for elver hentes fra tilgjengelige kilder og for elver i Norge er det tatt utgangspunkt i tidsserier fra NVE. Det er brukt to ulike kilder for atmosfæriske drivkrefter. For de to store områdene (20 og 4 km oppløsning) er det brukt data fra ERA5 (ECMWF, Hersbach mfl., 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

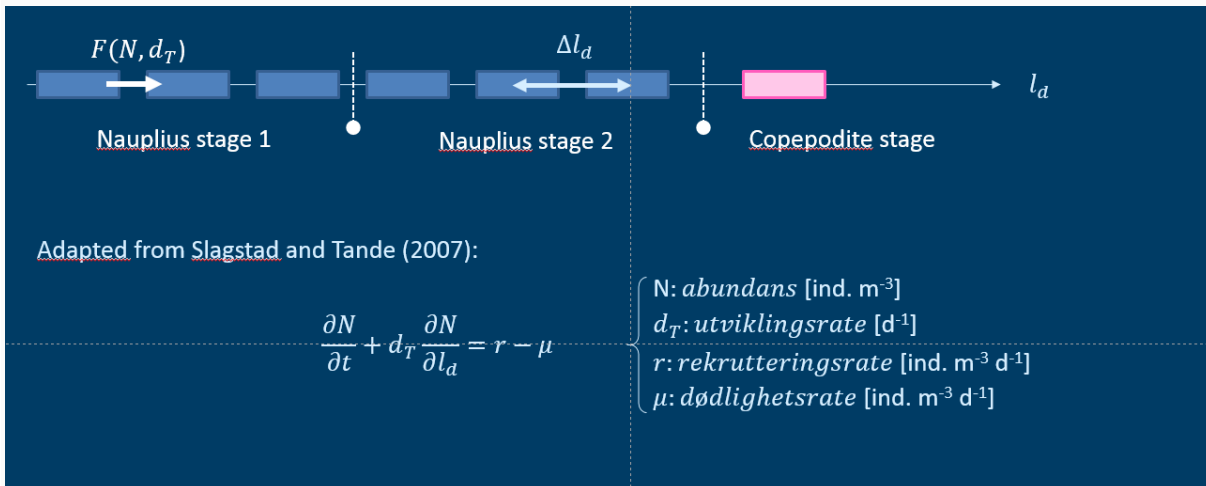
Et romlig fordelt oppsett av en strukturert populasjonsmodell for den pelagiske delen av livssyklusen til lakselus har blitt koblet til SINMOD (Figur 2). Lusemodellen beregner tetthet av nauplii stadiene (I og II) og smittestadiet som en funksjon av rekruttering (eggproduksjon/klekkende nauplii), temperaturavhengig utviklingstid og en konstant dødelighetsrate (parametere hentet fra Stien mfl. 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).



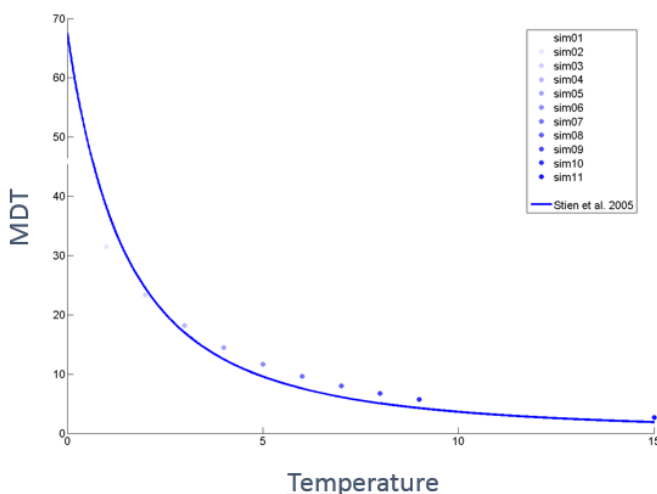
**Figur 2** Konseptuelt diagram av lakselusmodellen i modellsystemet SINMOD. Oppsettet består av tre moduler: havmodellen (2), den parasittiske livsfasen til lakselus (3) og den frittlevende planktoniske fasen (1) som er fokuset i denne rapporten.

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 mfl. 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 mfl., 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 mfl., 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 mfl., 2015). Konsekvensen er at modellen ikke gir et realistisk utvandringsforløp fra elva Opo som munnar 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 enkelte elver som gitt fra prediksjonsmodellen for utvandring (Vollset mfl. 2021). 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 brakkvann 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 mfl., 2019). Dette er det samme som ble benyttet for vurderingene i 2019 og 2020.

Påslag på virtuell smolt i bur er beregnet fra

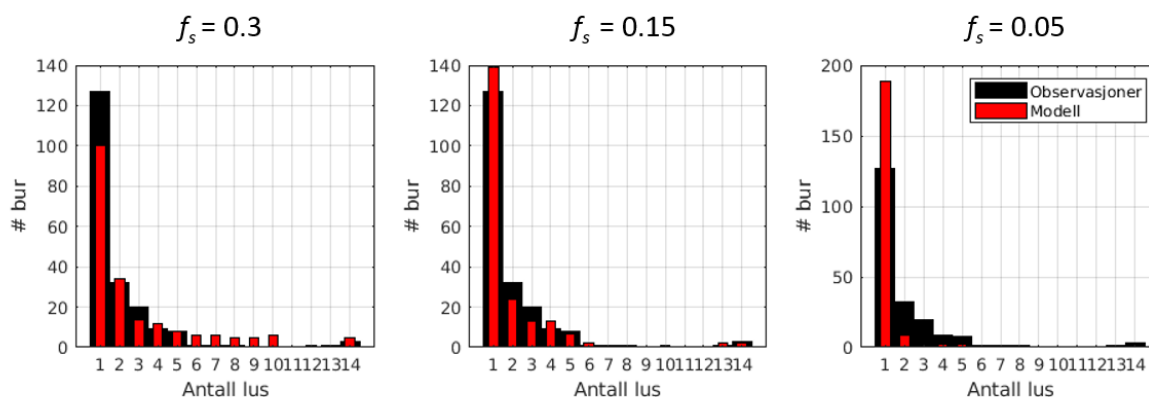
$$P = \sum_{n=1}^{n=N} Kop(t) \cdot V(t) \cdot f_s, \quad V(t) = ws * \pi * r^2 * dt, \quad P \text{ er påslag i antall lus per fisk..}$$

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 mfl., 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



at  $f_s$  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 mfl., 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 3 lus	20 %
Fra 4 og til 6 lus	50 %
Mer enn 6 lus	100 %
Antall lus per smolt (20 g)-lav tålegrense	Estimert risiko for dødelighet
Mindre enn 1 lus	0 %
Fra 1 og til 2 lus	20 %
3 lus	50 %
Mer enn 3 lus	100 %
Antall lus per smolt (20 g)-høy tålegrense	Estimert risiko for dødelighet
Mindre enn 4 lus	0 %
Fra 4 og til 6 lus	20 %
Fra 7 og til 12 lus	50 %
Mer enn 12 lus	100 %

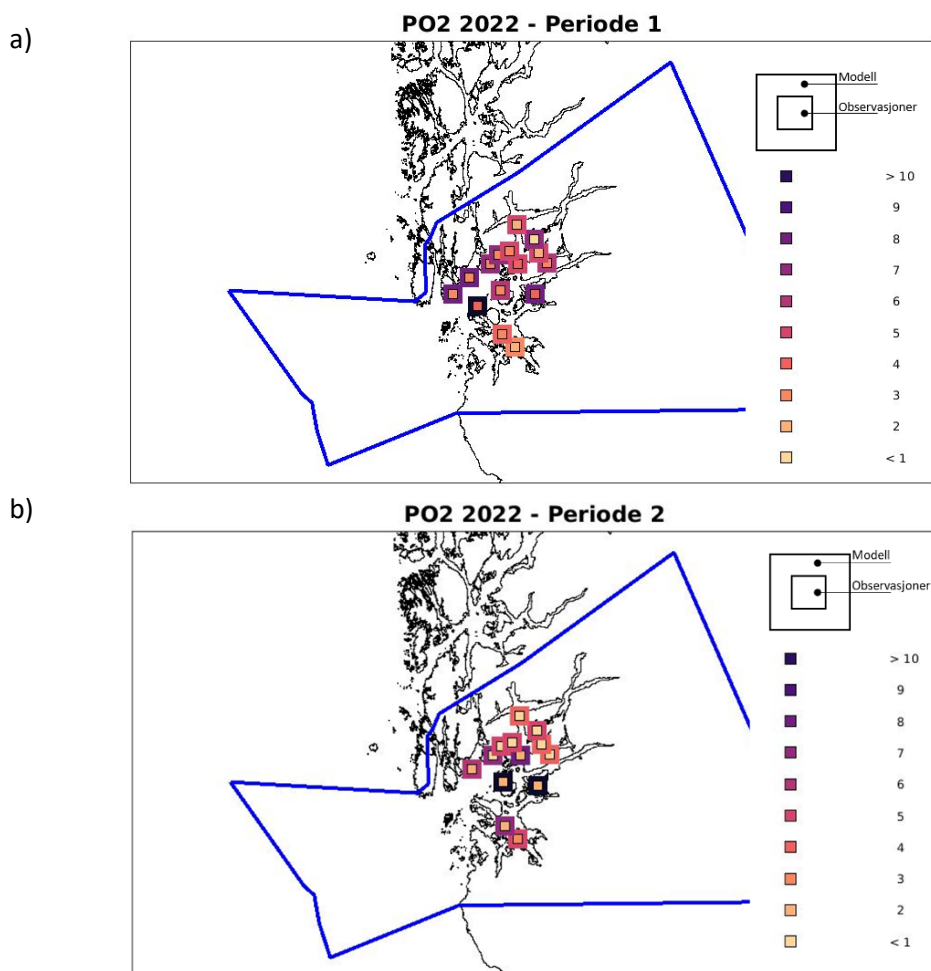
### 2.3.3 Sensitivitetsanalyser

Sensitivitetsanalyser er gjennomført med hensyn til utvandringstidspunkt og tålegrenser for antall påslåtte lus. Utvandringstidspunktet varieres med 10 dager tidligere eller 10 dager senere enn mediantidspunktet for utvandring (Vollset mfl. 2021). Det er videre testet med lav og høy tålegrense for lusepåslag tilsvarende som for HI sin modell. Grensene er gjengitt i tabell 1.

### 3 Resultat

#### 3.1 Sammenligning med burdata

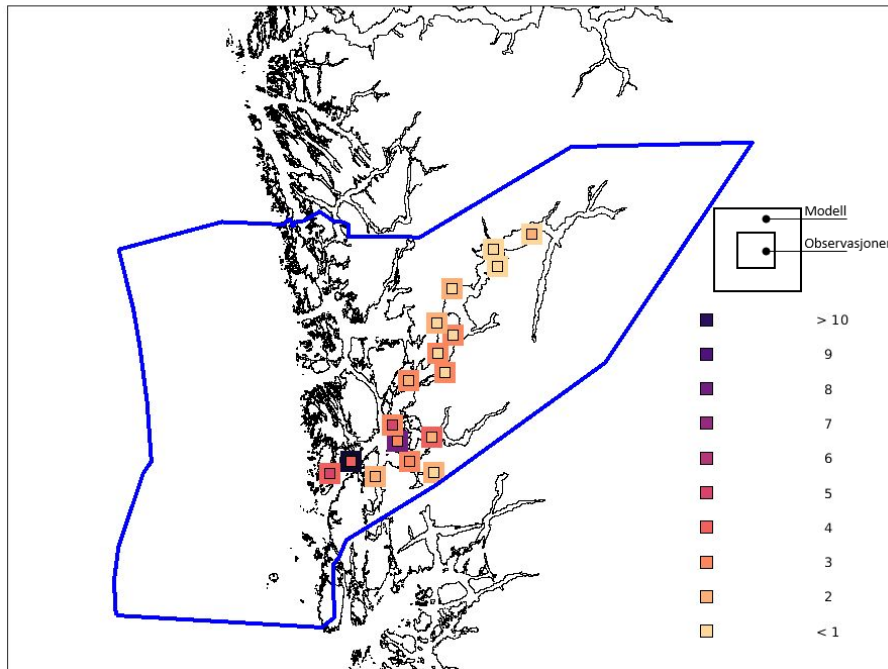
Figur 6 til 8 viser sammenligning av beregnet påslag fra lus i bur og observasjoner for 2022. I PO2 har observasjoner gjennomgående lavere påslag enn modellen i både periode 1 og 2 (Figur 6). Både modellresultat og observasjoner viser noe høyere påslag i periode 1. I periode 2 viser observasjonene lave påslag, men modellestimatene gir veldig høye påslag for enkelt burlokaliteter. I PO3 er estimatene i god overenstemmelse innerst i Hardangerfjorden, og begge datasettene viser økning utover i fjorden (Figur 7). Modellen viser i det ytre områder enn del større påslag en burobservasjonene. I periode 2 i PO3 er det også gradvis økende påslag av lus på fisk i burene fra indre til ytre deler. Dette er fanget opp av modellen, selv om den overestimerer påslagene på et par av lokalitetene. I PO4 er det god overenstemmelse mellom observasjoner og modelldata i de ytterste delene av Sognefjorden, men modellen fanger ikke opp store påslag av lus innover i fjorden (Figur 8). I periode 2 har modellen overestimert påslag ytterst og underestimert for de burlokalitetene lenger inn i fjorden.



Figur 6 Sammenligning av modellerte påslag (store kvadrater) av lus på bur mot observasjoner (små kvadrater) for burdata i 2022 for PO3 for a) periode 1 (fra 15 til 30 mai 2022) og b) periode 2 (fra 31 mai til 10 juni 2022). Fargene angir antall lus per fisk.

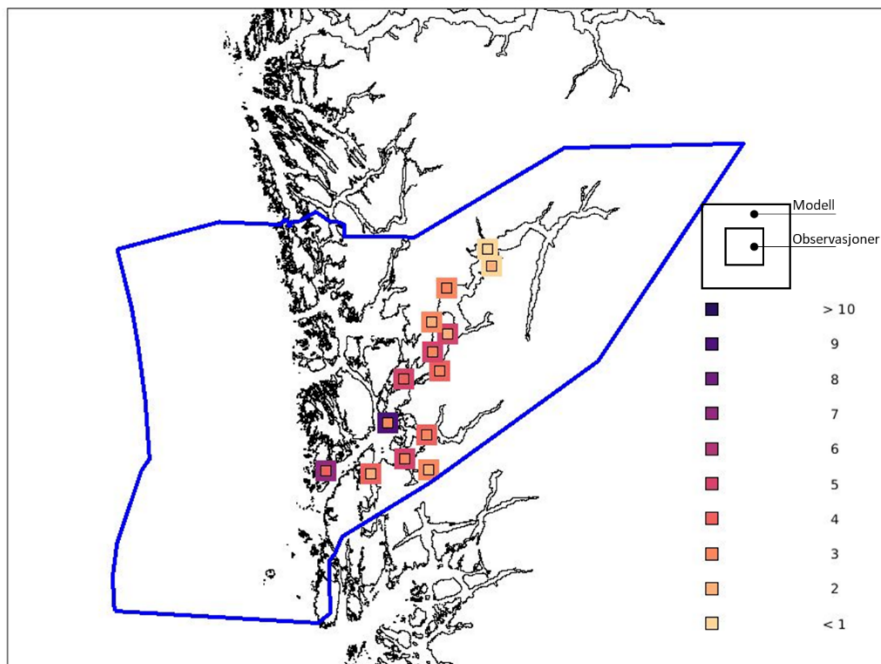
a)

## PO3 2022 - Periode 1



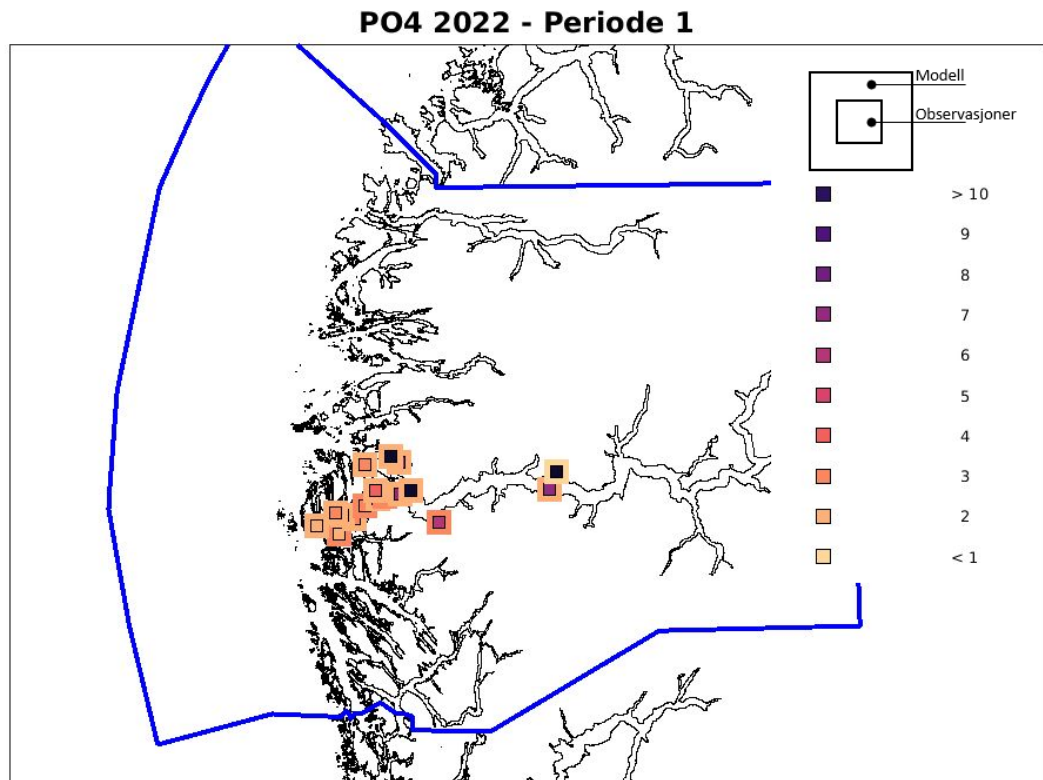
b)

## PO3 2022 - Periode 2

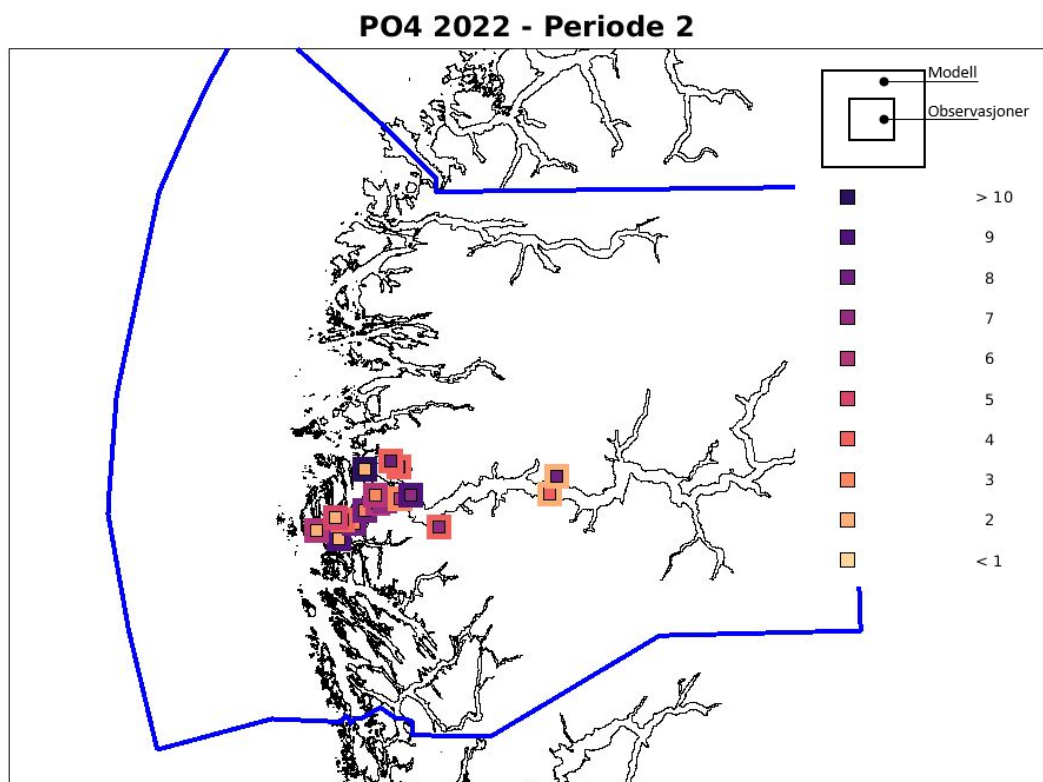


Figur 7 Sammenligning av modellerte påslag (store kvadrater) av lus på bur mot observasjoner (små kvadrater) for burdata i 2022 for PO3 for a) periode 1 (fra 12 til 25 mai) og b) periode 2 (fra 25 mai til 8 juni 2021). Fargene angir antall lus per fisk.

a)



b)



**Figur 8 Sammenligning av modellerte påslag (store kvadrater) av lus på bur mot observasjoner (små kvadrater) for burdata i 2022 for PO3 for a) periode 1 (fra 15 til 27 mai 2022) og b) periode 2 (fra 27 mia til 13 juni til 16 juni 2022). Fargene angir antall lus per fisk.**

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

	Utvandringstidpunkt			Tålegrense		Usikkerhet
	Normal	Tidlig	Sen	Høy	Lav	
PO2	9.6	4.2	14.0	2.6	24.3	Middels
PO3	12.3	11.5	13.2	3.7	32.3	Stor
PO4	9.9	10.6	8.5	1.2	10.1	Middels
PO5	1.5	0.0	2.1	0.0	6.2	Liten
PO6	2.8	1.3	2.5	0.0	7.5	Liten
PO7	8.9	4.5	9.1	3.2	17.9	Middels

Lav
  Moderat
  Høy

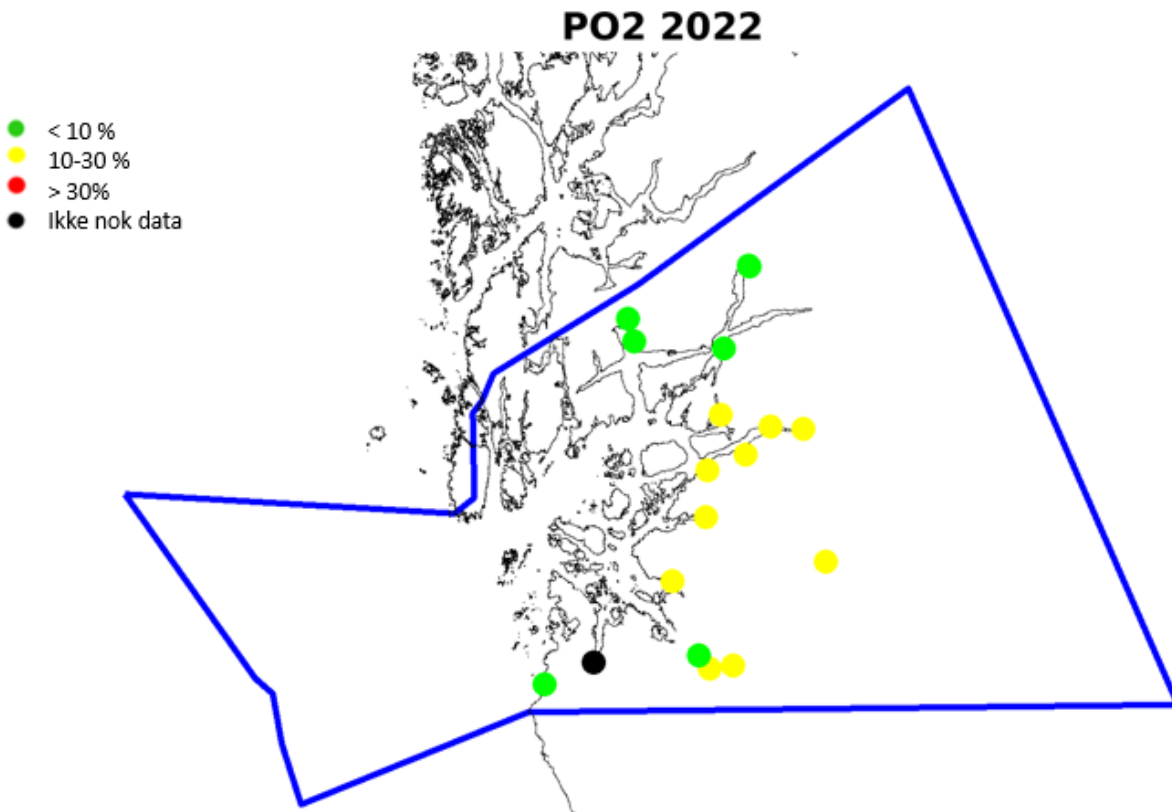
## 3.2 Resultat for PO 2 til 7

### 3.2.1 PO2

Resultatene gir et uvektet gjennomsnitt på 9.6 % lakseluseindusert dødelighet som gir en lav påvirkning. Høyeste estimat av dødelighet er beregnet for smolt hjemmehørende i elver som munner ut i sørøstlige deler av området. Modellen gir ikke estimat fra Storåna. De virtuelle partiklene som representerer smolt bruker lang tid på å komme seg ut av fjordsystemet. Det er en kombinasjon med grov oppløsning av topografien inne i fjordsystemet og strømningsforholdene. Dødelighetsestimater for hver elv er vist i

Tabell 3 sammen med median av utvandringstid for virtuell smolt. Kortest tid for utvandring er beregnet for Figgjo (under en dag) og lengst for Lyse, mens de resterende elvene bruker mellom 7 og 16 dager ut fra elv til kyst. Endring i utvandringstid gir estimat innenfor lav og moderat kategori. Resultatene viser også sensitivitet til tålegrenser med variasjon fra lav til moderat. Ut fra disse resultatene er usikkerheten satt til middels.

Resultatene er sensitiv til både utvandringstid og tålegrense og varierer fra å ligge mellom lav og moderat kategori. Usikkerheten er dermed satt til middels.



Figur 9 Kart over resultater kategorisert ut fra lakseluseindusert dødelighet.



**Tabell 3 Beregnet dødelighet og median utvandringstid fra elv til kyst for elver i PO2.**

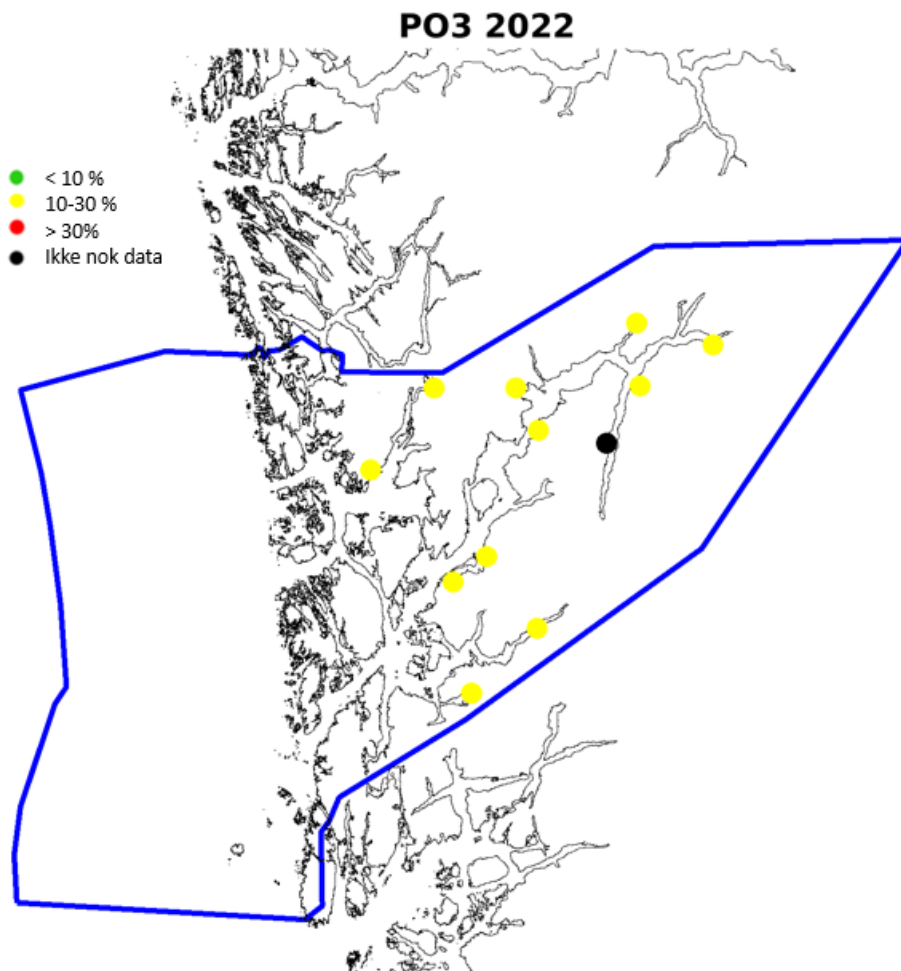
Elv	% dødelighet	Median vandringstid
Figgjo (028.Z)	0	1
Storåna (029.1Z)		
Dirdal (030.2Z)	13.5	10.4
Espedal (030.4Z)	6.5	9.8
Frafjord (030.Z)	13.5	12.6
Lyse (031.Z)	13.2	17.6
Jørpeland (032.Z)	15.5	10.8
Årdal (033.Z)	13.1	8.2
Hjelmeland (035.2Z)	11.4	7.3
Vormo (035.3Z)	12	7.8
Førreelva (035.4Z)	14.5	8.2
Håland (035.7Z)	11.1	8.8
Ulla (035.Z)	14.9	8.1
Suldals (036.Z)	4.7	6.7
Åbøelva (037.2Z)	6.5	7.5
Saudavassdraget (037.Z)	6.5	7.5
Rødneelva (038.3Z)	7.6	10.9
Vikedal (038.Z)	9.4	9.8



### 3.2.2 PO3

Resultatene fra simuleringene gir et uvektet gjennomsnitt av lakseuseindusert dødelighet på 12.3 % for PO3, som gir en moderat påvirkning. Modellen gir videre estimerte verdier for lakseluseindusert dødelighet for utvandrende post-smolt hjemhørende i PO3. Alle disse verdiene er innenfor moderat kategori. Det mangler data fra Opo, da virtuell smolt som vandrer fra Opo bruker for lang tid på vei ut gjennom Hardangerfjorden. Estimer av beregnet dødelighet for hver elv er vist i Tabell 4

Tabell 3 sammen med median av utvandringstid av smolt fra hver elv. Post-smolt fra Eio bruke lengst tid fra elv til fjord med en median på ca 24 dager. Ellers er det lite variasjon i utvandringstid for de øvrige elvene. Beregnet median er 18.3 dager for post-smolt fra Etne, og 18.4 for Kinso, selv om korteste vei til kyst er forskjellig. Grunnen til at det likevel bli sammenlignbare utvandring er at de sirkulerer i ytre områder før de defineres å ha nådd kysten.



Figur 10 Kart over resultater kategorisert ut fra lakseluseindusert dødelighet.

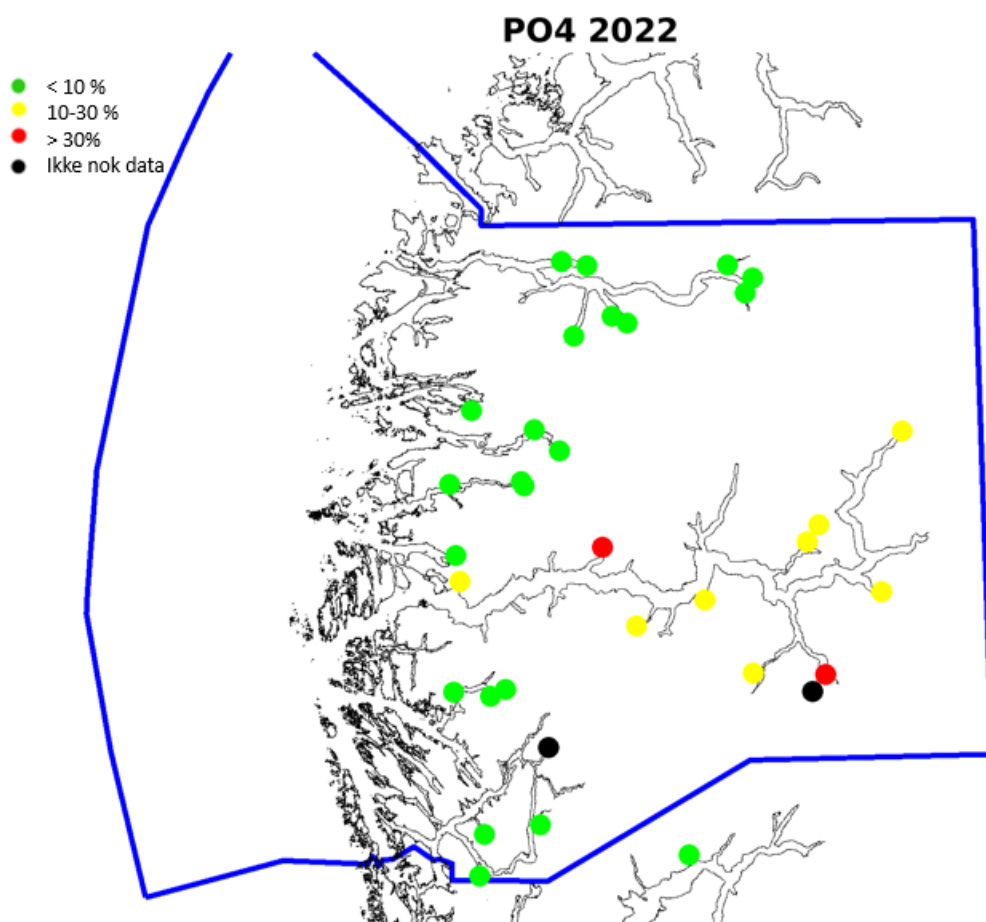
Tabell 4 Beregnet dødelighet og median utvandringstid fra elv til kyst for elver i PO3



Elv	% dødelighet	Median vandringstid
Etne (041.Z)	10.1	18.3
Dalelva-fjæraelva (042.3Z)	13.5	18.4
Uskedalselva (045.2Z)	11.3	16
Rosendal (045.4Z)	15.3	17.7
Jondalselvi (047.2Z)	14.1	17.1
Opo (048.Z)		
Kinso (050.1Z)	12.1	18.4
Eio (050.Z)	10.7	23.9
Granvin (052.1Z)	13.6	17.2
Steinsdal (052.7Z)	15	17.7
Oselva (055.7Z)	10.4	17.5
Tysse (055.Z)	11.4	18.3

### 3.2.3 PO4

Modellen gir et uvektet gjennomsnitt fra modellen på 9,7 % som innenfor lav påvirkning av lakseluseindusert dødelighet. Dødelighetsestimater varierer mellom de ulike elvene innenfor POet og har verdier innenfor høy og moderat kategori for post-smolt hjemhørende i elver i Sognefjorden, og innenfor lav kategori i resten av området. Modellen mangler data fra 4 elver. Som beskrevet for PO2 og 3 har modellen utfordringer i områder med smale fjorder, noe som medfører at smoltpartiklene har lang oppholdstid inne i fjordene. Det er stor variasjon i utvandringstid med høyeste estimat for post-smolt hjemhørende i elver fra Sognefjorden og kortest for smolt som vandrer fra elver med kortest avstand til kyst i Nordfjord. Resultatet varierer mellom lav og moderat kategori for ulikt utvandringstidspunkt og for lav og høy tålegrense og gir middels usikkerhet.



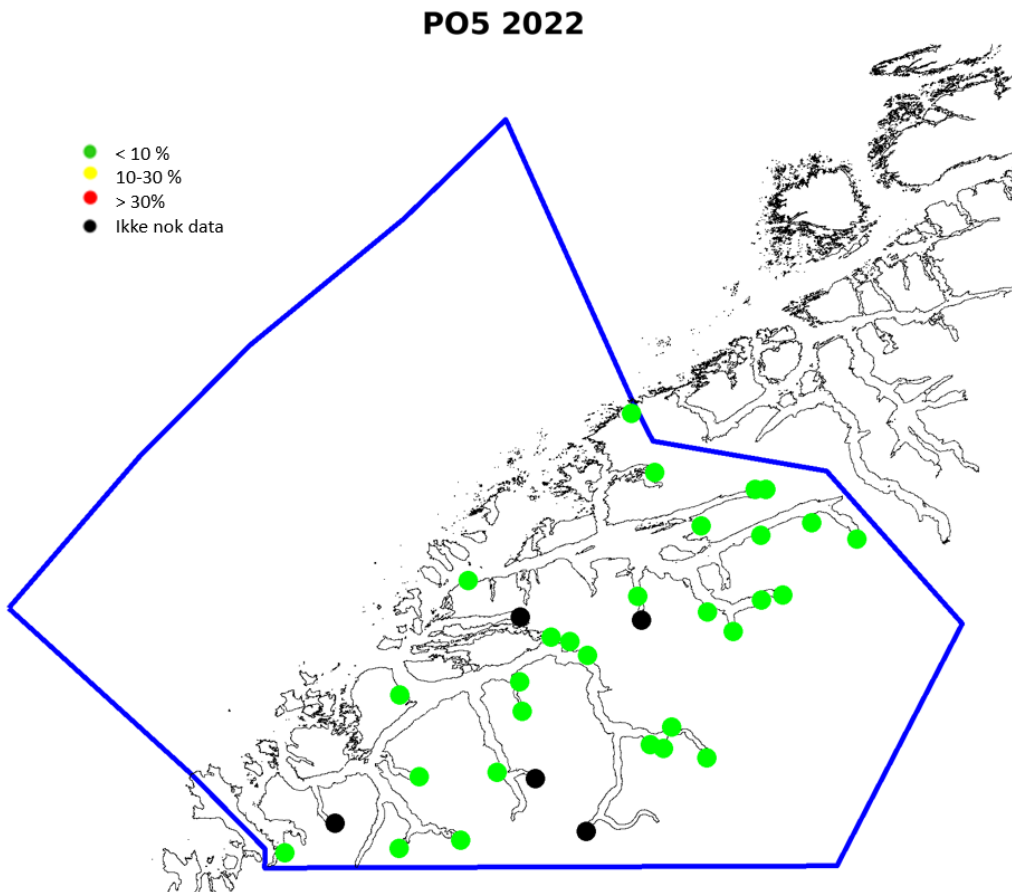
Figur 11 Kart over resultater kategorisert ut fra lakseluseindusert dødelighet.

Tabell 5 Beregnet dødelighet og median utvandringstid fra elv til kyst for elver i PO4

Elv	% dødelighet	Median vandringstid
Lone(060.4Z)		
Storelva(061.2Z)	1.8	18.1
Daleelva(061.Z)	3.3	23.3
Vosso(062.Z)	3.6	23.5
Ekso(063.Z)		
Modalselva(064.Z)	29.4	16.6
Haugsdalsvassdr(067.2Z)	1.9	10.7
Matrevassdr(067.3Z)	1	10.3
Frøyset(067.6Z)	1.7	10.5
Vikja(070.Z)	28.1	15.9
Nærøydal(071.Z)	17.7	26.4
Flåm(072.2Z)		
Aurland(072.Z)	30.1	39.7
Lærdal(073.Z)	23	18.5
Mørkrisvassdr(075.4Z)	26.3	19.6
Sogndal(077.3Z)	28.7	18.3
Årøy(077.Z)	26	17.1
Daleelva(079.Z)	39.2	18.7
Bøelva(080.4Z)	19.5	12.2
Flekk(082.Z)	3.1	8.2
Kvam(083.2Z)	1.9	7.2
Rivedalselva(083.4Z)	1.7	6.9
Gaula(083.Z)	1.9	7
Nausta(084.7Z)	5.9	10.7
Jølstra(084.Z)	9.5	16.1
Oselva(085.Z)	2.1	7.5
Åelva(086.Z)		
Ryggelva(087.1Z)	0.2	9.8
Gløppen(087.Z)	0.2	6
Olden(088.1Z)	0.3	7.5
Loen(088.2Z)	0.3	9.5
Stryn(088.Z)	0.3	7.4
Hjalma(089.4Z)	0.2	3.6
Eidselva(089.Z)	0.4	3.8

### 3.2.4 PO5

Modellresultatene gir estimat av lakseluseindusert dødelighetsestimat innenfor lav kategori for post-smolt som er hjemhørende i PO5. Det mangler estimat for 6 elver. Det er videre lite sensitivitet til utvandringstidspunkt og tålegrenser og usikkerheten settes til å være liten.



**Figur 12** Kart over resultater kategorisert ut fra lakseluseindusert dødelighet.

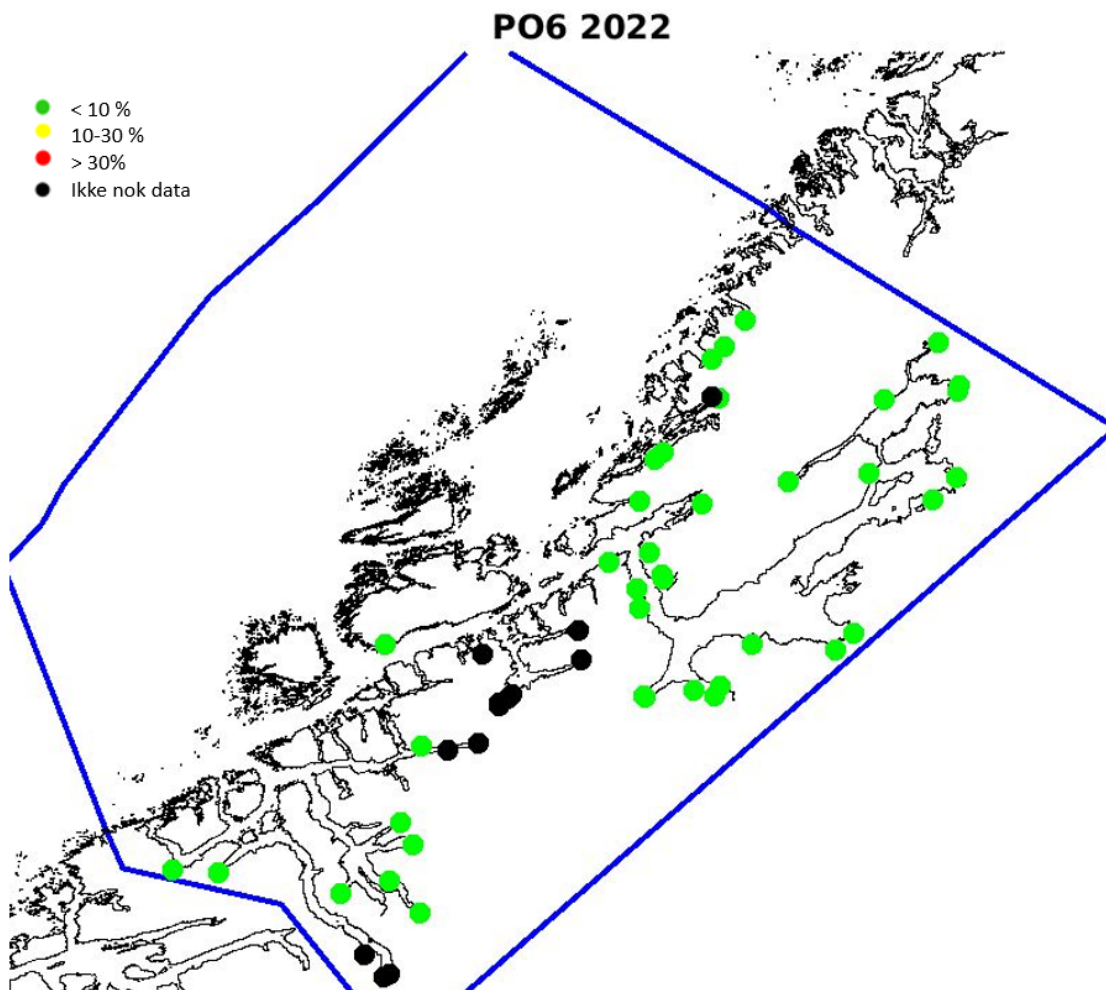
Tabell 6 Beregnet dødelighet og median utvandringstid fra elv til kyst for elver i PO5

Elv	% dødelighet	Median vandringstid
Åheim (092.Z)	0	2.1
Norrdalselva (093.3Z)		
Austefjord (094.4Z)	0	9
Stigedalselva (094.Z)	0	7.9
Ørsta (095.Z)	3.5	9.9
Hareid (096.1Z)	0	1.4
Bondal (097.1Z)	1.6	1.1
Norangdal (097.4Z)		
Aureelva (097.72Z)	3.6	4.6
Velledal (097.7Z)	3.8	4.7
Korsbrekk (098.6Z)		
Eidsdalselva (099.1Z)	6.9	10
Norrdalsvassdraget (099.Z)	6.7	10.4
Tafjordvassdraget (099.Z)	2.5	4.3
Vagsvikelva (100.3Z)	6.2	7.5
Valldal (100.Z)	6.4	10.3
Ørskog (101.1Z)	4.6	6.2
Solnør (101.2Z)	4.4	5.4
Tennfjord (101.6Z)		
Hildre (102.11Z)	0	1.5
Skorgelva (102.5Z)	0	1.7
Tressa (102.6Z)		
Måna (103.1Z)	0	6.4
Innfjordselva (103.2Z)	0	8.6
Isavassdraget (103.4Z)	0.1	10.6
Rauma (103.Z)	0	9.3
Mittetelva (104.1Z)	0.1	10.9
Visa (104.2Z)	0.1	11.9
Eira (104.Z)	0	11
Røa (105.1Z)	0	7.6
Olteråa (105.3Z)	0.1	9.2
Oselva (105.Z)	0.1	9.2
Sylte (107.3Z)	0.4	9.2
Hustad (107.6Z)	0	7.1



### 3.2.5 PO6

Resultatene viser et uvektet gjennomsnitt var 2.8 % som gir lav påvirkning. Modellen viser lav påvirkning av lakseluseindusert dødelighet på alle bestandene i området. Det mangler data for 12 elver som gir stor usikkerhet i forhold til beregnet gjennomsnittsverdi. For bestandene som er inkludert, blant annet de som er hjemhørende i Trondheimsfjorden, er resultatene lite sensitive med hensyn til utvandringstidpunkt og tålegrense.



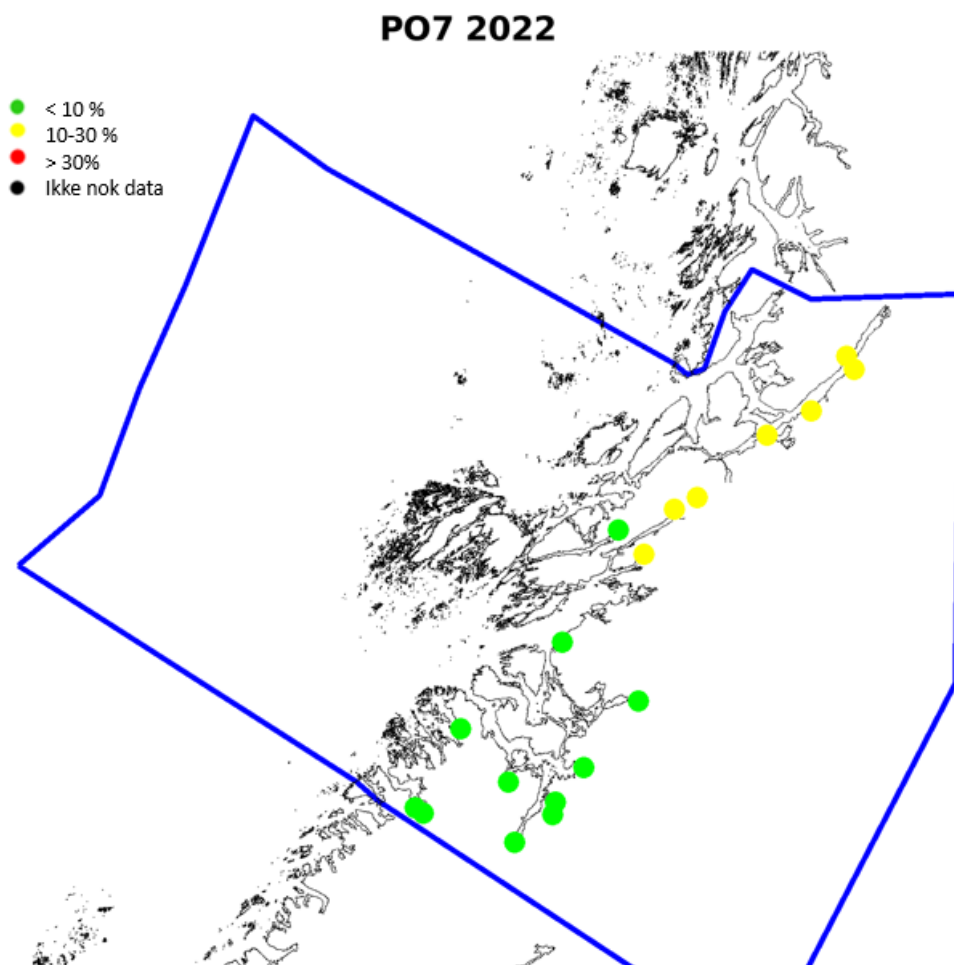
Figur 13 Kart over resultater kategorisert ut fra lakseluseindusert dødelighet.

Tabell 7 Beregnet dødelighet og median utvandringstid fra elv til kyst for elver i PO6

Elv	% dødelighet	Median vandringstid
Vasskordelva (108.221Z)	0	4.1
Batnfjordelva (108.3Z)	0.3	10.5
Usma (109.4Z)		
Litledalselva (109.5Z)		
Driva (109.Z)		
Viddalselva (111.4Z)	1.9	12.2
Søya (111.7Z)	2.7	11.4
Toåa (111.Z)	1.3	12.4
Bøvra (112.3Z)	3.1	9.6
Surna (112.Z)	3.2	10.2
Staursetbekken (113.5Z)	1	2.3
Todalselva (113.6Z)	1.4	2.7
Fjelna (113.Z)	1.2	2.3
Åelva (116.Z)		
Kvernavassdr (117.23Z)	0	1.5
Haugelva (119.11Z)		
Søa (119.1Z)		
Hagaelva (119.2Z)		
Hollaelva (119.3Z)		
Snilldalselva (119.42Z)		
Slørdalselva (119.61Z)		
Fremstadelva (119.9Z)	8.5	6.9
Størdalselva (120.1Z)	8.2	8
Lena (120.2Z)	7.5	8.2
Skjenaldelva (121.1Z)	6.9	9.8
Orkla (121.Z)	6.9	9.8
Børsa (122.1Z)	5.9	10.3
Vigda (122.2Z)	7.3	10.7
Gaula (122.Z)	3.4	12.1
Homla (123.4Z)	1.2	12.6
Nidelva (123.Z)	1.3	14.8
Stjørdal (124.Z)	0.9	12.3
Levanger (126.6Z)	1.7	15.2
Verdal (127.Z)	2.6	15.2
Figga (128.3Z)	2.6	12.5
Steinkjer (128.Z)	2	12.3
Mollelva (129.2Z)	2.1	13.4
Follavassdraget (129.Z)	2.3	13.2
Tangstadelva (130.32Z)	1.6	10.4
Mossa (131.1Z)	2.5	15.1
Flyta (132.1Z)	5	8.5
Hasselvassdr. (132.2Z)	4.5	8.5
Skauga (132.Z)	5	8.5
Osaelva (133.2Z)	3.2	10.5
Brekkelva (134.2Z)	4.7	10.7
Teksdal (134.Z)	0	4.9
Olden (135.1Z)	0	3.1
Imselva (135.42Z)	0	3.4
Grytelvassdr. (135.43Z)		
Håvikelva (136.31Z)	0	7
Nordskjørelva (136.3Z)	0	7
Storelva (136.52Z)	0	6.1

### 3.2.6 PO7

Uvektet gjennomsnitt av dødelighet var 8.9 % som gir en lav påvirkning. Modellresultatene viser generelt lav påvirkning av lakseluseindusert dødelighet for bestander fra elver sør for Vikna, og moderat påvirkning for bestander fra elver nord for Vikna. Resultatene er ikke sensitive til endring i utvandringstidspunkt, men lav tålegrense gir et uvektet middel innenfor moderat kategori og usikkerheten vurderes dermed til å være middels. Utvandningsvarigheten varierer med lengst varighet for utvandrende post-smolt hjemmeværende nord i PO7.



Figur 14 Kart over resultater kategorisert ut fra lakseluseindusert dødelighet.

**Tabell 8 Beregnet dødelighet og median utvandringstid fra elv til kyst for elver i PO7**

Elv	% dødelighet	Median vandringstid
Skjellåa (137.4Z)	0.1	0.7
Storelva (137.5Z)	0.2	1.5
Sitterelva (137.72Z)	0.5	3.4
Oksdøla (138.3Z)	0.4	2.7
Aursunda (138.5Z)	0.5	3.1
Bogna (138.6Z)	0.5	3.5
Årgård (138.Z)	0.4	3.1
Namsen (139.Z)	0.7	3.5
Vetthusetelva (140.3Z)	1.4	2.6
Salvassdraget (140.Z)	7.7	3.9
Kvistelva (141.4Z)	22.1	4.8
Sjøstadelva (142.6Z)	19.8	4.7
Nordmarkselva-åforelva	20.6	4.8
Horvelva (143.532Z)	0.2	0.3
Terråkelva (144.4Z)	17.8	11.6
Urvollelva (144.5Z)	22.1	12.4
Bogelva (144.61Z)	24.7	12.7
Eide (145.2Z)	22	13.3

### 3.3 Diskusjon og oppsummering

Modellrammeverket SINMOD har vært benyttet til å beregne lakseluseindusert dødelighet i produksjonsområde 2 til 7. Systemet er ikke endret i forhold til Ellingsen (2021). Modellresultatene gir lakseluseindusert dødelighet som er innenfor lav kategori for alle PO 2, 4, 5, 6 og 7. For PO 2, 4 og 7 var beregnet verdi nær opp mot grensen på 10 %. Modellen ga estimat innenfor moderat kategori for PO 2. Resultatene var sensitiv for utvandringstid for smolt hjemhørende i PO 2, ellers viser resultatene en større sensitivitet i forhold til tålegrense (Tabell 2).

Metoden som er brukt for beregning av påslag er kun enkelt kalibrert til observasjoner av lusepåslag i burforsøk. Denne metoden bør utvikles videre og i tillegg bruke observasjoner av lus på trålt smolt, noe som kan gi høyere lusepåslag enn ved kun bruk av burdata. Det er videre en utfordring med at modellen mangler estimat for flere elver. Dette henger sammen med at veldig smale fjorder er ikke godt oppløst med modellsystemet som anvender 800m oppløsning. En mulig løsning kunne være å nøste ned til enda høyere oppløsning, men dette er veldig arbeidskrevende og krever store beregningsressurser. Dette er ikke reelt å få til innenfor tidsrammen fra simuleringene kan settes i gang i august med leveranse i september. Et alternativ er å se på algoritmen for utvandring av lus for å gjøre metoden mer robust.

## 4 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 lakseluseindusert dødelighet på virtuell smolt i produksjonsområde 2 til 7 ved bruk av SINMOD. SINTEF Ocean; 2019.

Ellingsen IH Simulert lakseluseindusert dødelighet på virtuell smolt i produksjonsområde 2 til 7 ved bruk av SINMOD. SINTEF Ocean; 2021.

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.