



SINTEF

Rapport

Simulert luseindusert dødelighet på virtuell postsmolt i produksjonsområde 2 til 7

Resultat fra 2023

Forfattere:

Ingrid Ellingsen og Ole Jacob Broch

Rapportnummer:

2023:01259 - Åpen

Oppdragsgiver:

Havforskningsinstituttet



SINTEF Ocean AS
Postadresse:
Postboks 4760 Torgarden
7465 Trondheim
Sentralbord: 46415000

Foretaksregister:
NO 937 357 370 MVA

Rapport

Simulert luseindusert dødelighet på virtuell postsmolt i produksjonsområde 2 til 7

EMNEORD
SINMOD
Lakeslus
Smolt

VERSJON
V2

DATO
2023-11-15

FORFATTER(E)
Ingrid Ellingsen og Ole Jacob Broch

OPPDRAGSGIVER(E)
Havforskningsinstituttet

OPPDRAGSGIVERS REFERANSE
Ørjan Karlsen

PROSJEKTNUMMER
302005708

ANTALL SIDER
24

SAMMENDRAG

Rapporten presenterer estimert lakselusindusert dødelighet på utvandrende postsmolt i 2023 ved bruk av SINMOD. Modellsystemet inkluderer en hydrodynamisk modell som kjøres sammen med en dynamisk modell for pelagisk utvikling av lakselus og en modell for utvandring av postsmolt. Resultater er presentert for produksjonsområdene PO2 til PO7.

UTARBEIDET AV
Ingrid Ellingsen

SIGNATUR

KONTROLLERT AV
Øyvind Knutsen

SIGNATUR

Øyvind Knutsen (Nov 16, 2023 10:30 GMT+1)

GODKJENT AV
Harry Westavik

SIGNATUR

COMPANY WITH
MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
ISO 9001 • ISO 14001
ISO 45001

RAPPORT NR.
2023:01259

ISBN
978-82-14-07838-1

GRADERING
Åpen

GRADERING DENNE SIDE
Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
V1	2023-11-03	Versjon sendt til KS
V2	2023-11-15	Endelig versjon

Innholdsfortegnelse

1	Metoder.....	4
1.1	Modelloppsett og input data for simuleringene.....	4
1.2	Populasjonsmodell for lus.....	5
1.3	Modell for utvandring av postsmolt og påslag av lus	7
1.3.1	Utvandring av virtuel postsmolt (VPS).....	7
1.3.2	Modell for påslag av lus på virtuell postsmolt.....	7
1.3.3	Sensitivitetsanalyser	9
2	Vurdering av påslagsmodeller	9
2.1	Sammenligning med vaktburdata	9
2.2	Sammenligning med tråldata.....	10
2.2.1	Valg av påslagsmodell.....	10
3	Resultat	12
3.1	PO2.....	12
3.2	PO3.....	13
3.3	PO4.....	15
3.4	PO5.....	17
3.5	PO6.....	19
3.6	PO7.....	21
4	Referanser	23

BILAG/VEDLEGG

Klikk eller trykk her for å skrive inn tekst.

Klikk eller trykk her for å skrive inn tekst.

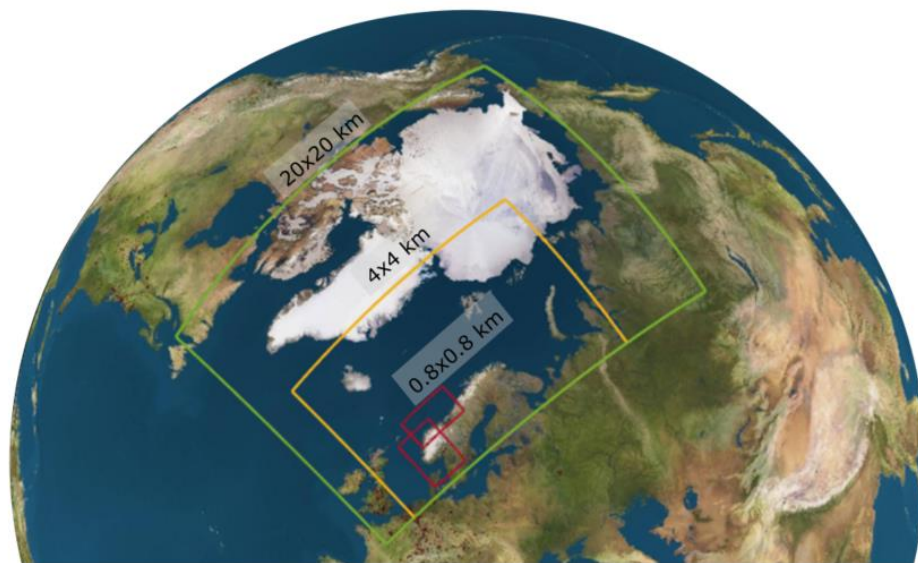
1 Metoder

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).

1.1 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 ivarett i de høyt oppløste områdene med mindre romlig utbredelse.

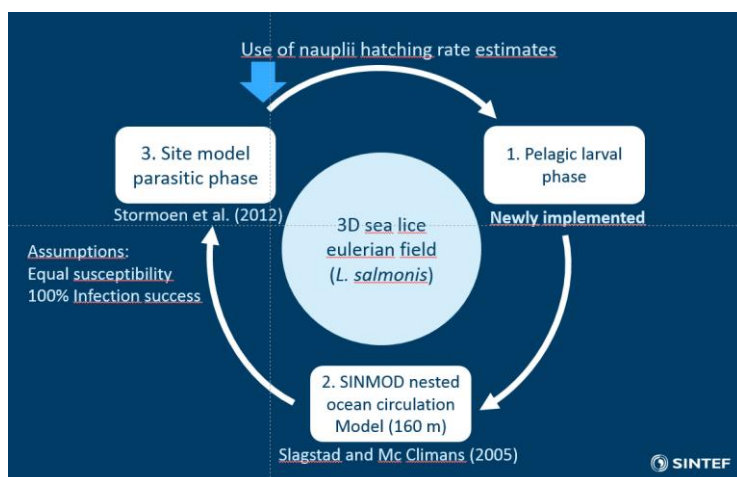
For å drive modellene brukes det ulike datasett. Avrenningsdata for elver hentes fra tilgjengelige kilder og for elver i Norge er det tatt utgangspunkt i tidsserier fra NVE. Det er brukt to ulike kilder for atmosfæriske drivkrefter. For de to store områdene (20 og 4 km oppløsning) er det brukt data fra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

1.2 Populasjonsmodell for lus

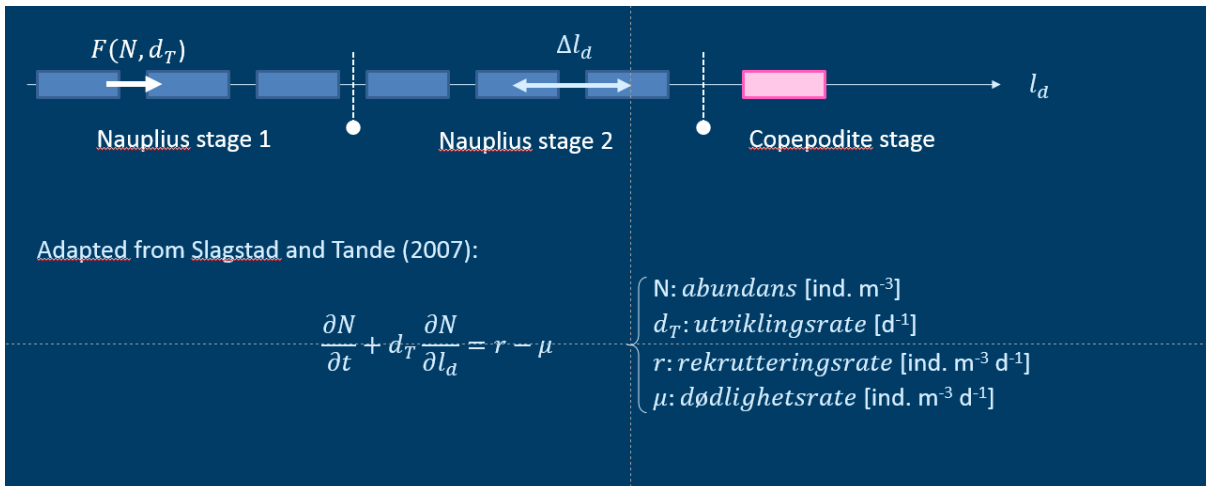
Et romlig fordelt oppsett av en strukturert populasjonsmodell for den pelagiske delen av livssyklusen til lakselus har blitt koblet til SINMOD (Figur 2). Lusemodellen beregner tetthet av nauplii stadiene (I og II) og smittestadiet som en funksjon av rekruttering (eggproduksjon/klekkende nauplii), temperaturavhengig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



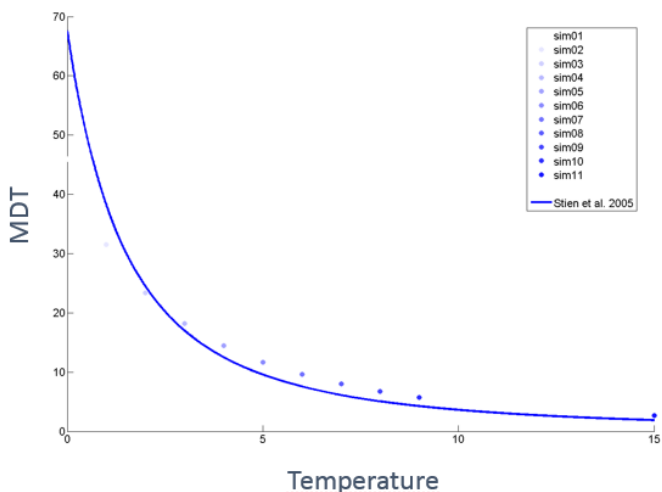
Figur 2 Konseptuelt diagram av lakselusmodellen i modellsystemet SINMOD. Oppsettet består av tre moduler: havmodellen (2), den parasittiske livsfasen til lakselus (3) og den frittlevende planktoniske fasen (1) som er fokuset i denne rapporten.

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 utviklingsdimensjon (l_d). Skjemaet øverst viser 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).

1.3 Modell for utvandring av postsmolt og påslag av lus

1.3.1 Utvandring av virtuel postsmolt (VPS)

Modellen for utvandring av virtuelle postsmolt (VPS) 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 VPS 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 det kunne dannes en trykkgradient som driver strømmen 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 for enkelte elver. Ved å legge til drift er det fremdeles noen vassdrag hvor modellen ikke gir realistisk utvandring, men det er betydelig færre.

VPS modellen er satt opp med et antatt jevnt utvandringsforløp i utvandringsperioden. Perioden for hver elv gitt fra prediksjonsmodellen for utvandring (Vollset mfl. 2021). Dette anses som den beste tilnærmingen ettersom utvandringsforløpene varierer mye fra elv til elv og mellom år. Når postsmolt når kysten antas den å ha en mer egenstyrt utvandring mot åpent hav, og den VPS modellen vil ikke lenger gi realistiske vandringsruter. For å sette en grense i modellen har vi valgt å bruke saltholdighet (S) til å angi når VPS 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 setter en grense ved $S > 33$ for å bestemme når VPS har nådd kysten.

1.3.2 Modell for påslag av lus på virtuell postsmolt

Påslagsmodell 1: Lineær påslagsmodell

I beregninger av påslag av lus med SINMOD-systemet er det brukt en lineær påslagsmodell i vurderingene fra 2019 til 2020. Modellen beregner påslag av lus på VPS som en funksjon av eksponeringsvolum (V) og sum av konsentrasjon av smittsomme kopepoditter (I) i de gridcellene VPS befinner seg i fra $t = 1$ til postsmolten har nådd kysten (ved $t = T$). Sannsynligheten for påslag er estimert til $f_s = 0.15$ basert på data fra vaktbur satt ut i 2018 og 2019 (Nilsen mfl., 2019).

Antall lusepåslag per postsmolt (N), er beregnet ut fra

$$N = \sum_{t=1}^T I(t) \cdot V(t) \cdot f_s, \quad V(t) = ws * \pi * r^2 * dt$$

Eksponeringsvolumet (V) beregnes ut fra en antatt detekteringsavstand på 5 cm (r) og postsmoltens svømmehastighet ws (0.1 kroppslengde per sekund). For trålbur, der postsmolten har begrenset mulighet for å svømme er ws erstattet med simulert strømfart. Smittepress, I , er her gitt som antall kopepoditter per m^{-3} .

Påslagsmodell 2: Eksponentiell påslagsmodell

Påslagsmodellen til Havforskningsinstituttet er kalibrert med tråldata (Johnsen m.fl 2021). Modellen til Veterinærinstituttet (Stige m.fl. 2022) er kalibrert med trål- og vaktburdata. For å få en modell med resultater som sammenlignbare har vi satt opp en tilsvarende modell og kalibrert denne mot tråldata.

Vi har tatt utgangspunkt i en eksponentiell påslagsmodell på formen:

$$N = \exp(\beta_0 + \beta_1 IP) \quad \text{der} \quad IP = \sum_{t=1}^T I(t) \cdot dt$$

IP er smittepress summert over eksponeringstid (antall smittsomme kopepoditter $m^{-3} \cdot \text{tid}$). Enheten er valgt for å være konsistent med Johnsen m. fl (2021). For å beregne β_0 og β_1 har vi brukt data fra trålt postsmolt fra 2019 til 2023. For hver trål har vi brukt postsmolt som er sporet tilbake til opphavslev og deretter beregnet gjennomsnittlig IP for VPS som har vært innenfor trålområdet i intervallet fra en dag før og en dag etter trålingsperioden. IP beregnes deretter ved å summere smittepresset fra start og frem til VPS er innenfor trålområdet. Hvis det var flere postsmolt (observert eller VPS) med samme opphavslev i ett trål ble gjennomsnittet beregnet og brukt som ett datapunkt. I modellkalibreringen har vi benyttet en tilnærming basert på en GLM (Generalized Linear Model) med en log-link og antatt en negativ binomisk fordeling. Kalibreringen er gjort i Python (med modul statmodels 0.15.0.).

Over perioden 2019 til 2023 har vi 905 VS som har blitt sporet fra trålområdet og tilbake til elven. GLM-regresjonen ga $\beta_0 = 1.0908$ (1.019,1.162) og $\beta_1 = 0.3487$ (0.302,0.375). Verdiene i parentes angir de øvre og nedre kvartilene.

Tabell 1 Estimert dødelighet av smolt som følge av lusepåslag.

Antall lus per postsmolt (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 postsmolt (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 postsmolt (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 %

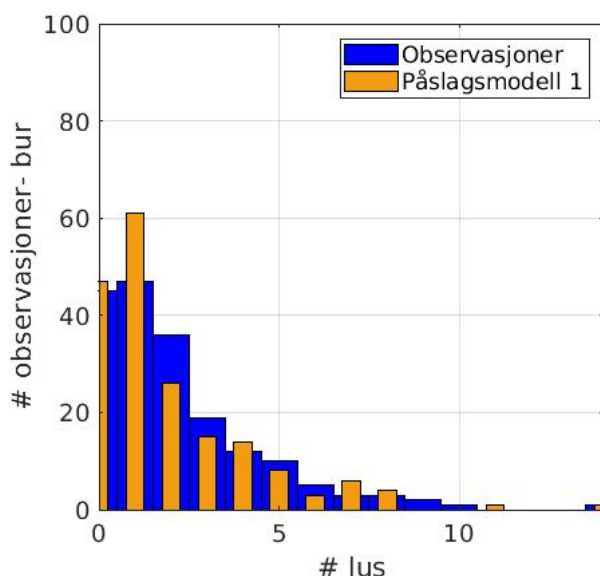
1.3.3 Sensitivitetsanalyser

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. Usikkerheten vurderes innenfor kategoriene liten, middels og høy usikkerhet. Dersom sensitiviteten viser at alle estimatene er i samme kategori settes usikkerheten til liten. Dersom 1 til 2 av estimatene er i en annen kategori enn normal settes usikkerheten til middels. I tilfelle der flere enn 2 av resultatene er i en annen kategori settes usikkerheten til høy.

2 Vurdering av påslagsmodeller

2.1 Sammenligning med vaktburdata

I tidligere arbeid (Ellingsen og Knutsen, 2021) ble $f_s=0.15$ vist å gi en god modellrepresentasjon av påslag av lus på postsmolt i vaktbur i 2018 og 2019. Figur 5 viser resultat med data for de 5 siste år (2019-2023) og viser at modellen gir fremdeles en realistisk fordeling. Totalt antall observasjoner var 205. Modellen har litt høyere frekvens av tilfeller med 1 lus per fisk og lavere frekvens av tilfeller med 2 lus per fisk sammenlignet med observasjonene. Det er også noe underrepresentasjon av påslag over 8 lus per postsmolt i modellen. Modellestimatene har et middel på 2.1 lus per postsmolt som er lavere enn observasjonene, som har et middel på 2.5 lus per postsmolt. Korrelasjonen mellom datasettene er god i perioden fra 2019 til 2020 ($r=0.7$), men faller til $r=0.01$ for de siste tre årene. Vi har tidligere vist at det er en dårlig overenstemmelse mellom modellert lusepress og vaktburdata i Sognefjorden (se for eksempel Ellingsen (2021)), men vi har ikke gjort undersøkelse og analyser utover det for å se på hva som kan være årsaken til lavere korrelasjon.

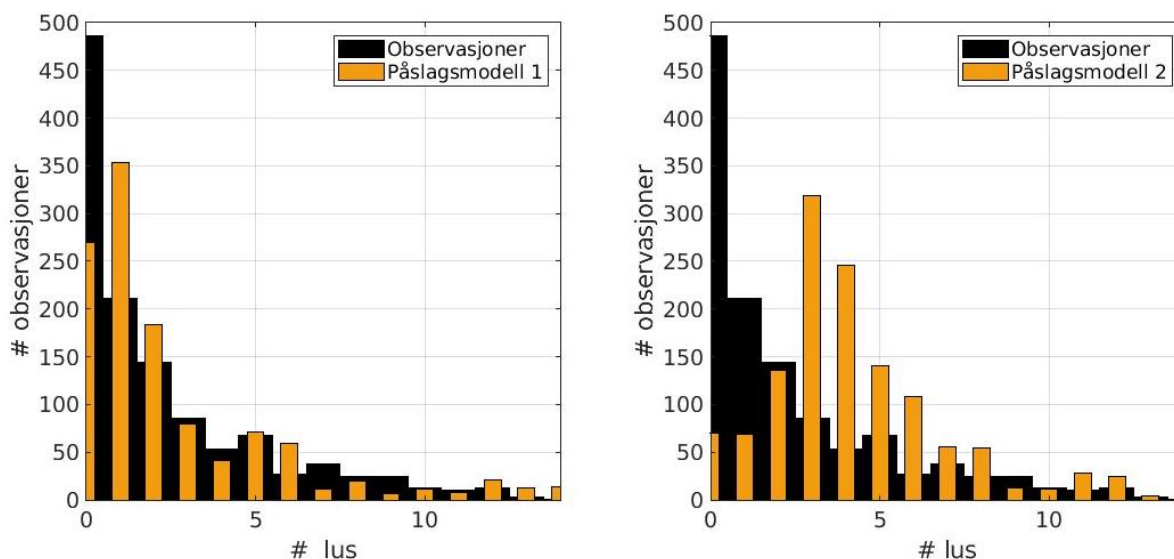


Figur 5 Histogram som viser frekvensfordeling av lusenivå for observasjoner av påslag av lus på postsmolt i vaktbur (bred, blå søyler) (data fra 2019 til 2023) og modellresultat for (smale, oransje søyler).

2.2 Sammenligning med tråldata

Figur 6 sammenligner observasjoner av lus på postsmolt fra trål og beregning av påslag av lus på VPS med påslagsmodell 1 og 2. Resultatet fra den lineære modellen viser generelt en fordeling med flest tilfeller av lave lusetall og avtagende antall tilfeller med økende lusepåslag. Frekvensen synker med økende antall tilfeller av lus, som er i overenstemmelse med observasjonene både fra trål og vaktbur (Figur 5). Modellen gir et høyere antall tilfeller med 1 lus enn uten lus, noe som ikke stemmer med observasjonene. Den eksponentielle modellen gir en annen frekvensfordeling, med høyest frekvens rundt 3 til 4 lus. Den eksponentielle modellen gir høye påslag ved lave smittenivåer som vist i Figur 7. Videre viser figuren at en lineær tilnærming ikke er en realistisk representasjon ved høyere smittepress. Dette er også tydelig fra middelverdien, som er 8.5 lus per postsmolt for modellen og 4.8 for observasjonene. Den eksponentielle modellen har et tilsvarende middel på 4.5 lus per postsmolt.

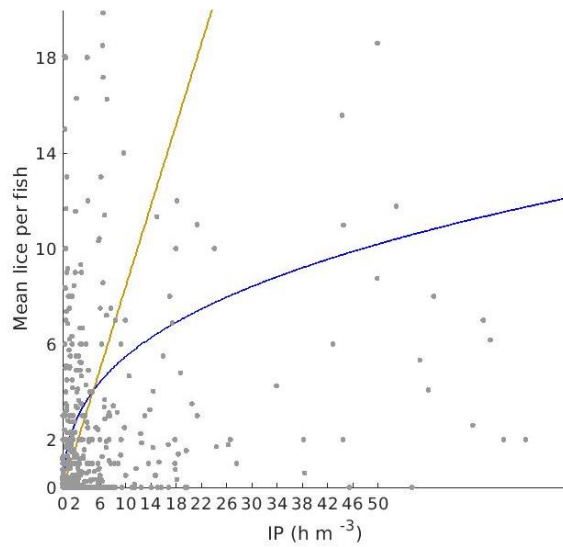
Korrelasjonen mellom observasjoner og hhv påslagsmodell 1 og 2 er $r=0.5$ og $r=0.4$.



Figur 6 Histogram som viser frekvensfordeling av lusenivå for observasjoner av lus på trålt postsmolt (svarte og brede søyler) (data fra 2019 til 2023) og modellresultat for (smale og oransje søyler) for påslagsmodell 1 (venstre) og påslagsmodell 2 (høyre)

2.2.1 Valg av påslagsmodell

Modellresultatene er sensitive til valg av påslagsmodell (**Error! Reference source not found.**). Den eksponentielle påslagsmodellen gir høyere påslag ved relativt lave verdier av smittepress og resulterer i høyere estimert lakselusindusert dødelighet. Sammenligningen med observasjoner viser at den lineære tilnærmingen gir en realistisk fordeling. Den er urealistisk for høye smittenivåer, men ettersom postsmolt forventes å dø ved 6 eller flere lus (Tabell 1) har dette liten påvirkning på resultatene med hensyn på beregnet påvirkning. I årets analyser har vi derfor valgt å beholde den opprinnelige påslagsmodellen for lus (påslagsmodell 1).



Figur 7 Utvikling av påslag av lakselus på postsmolt som funksjon av smittepress (IP) for påslagsmodell 1 (gul) og 2 (svart). Grå prikker viser observasjoner av lusepåslag på trålt postsmolt plottet mot beregnet smittepress for disse fra modellen.

3 Resultat

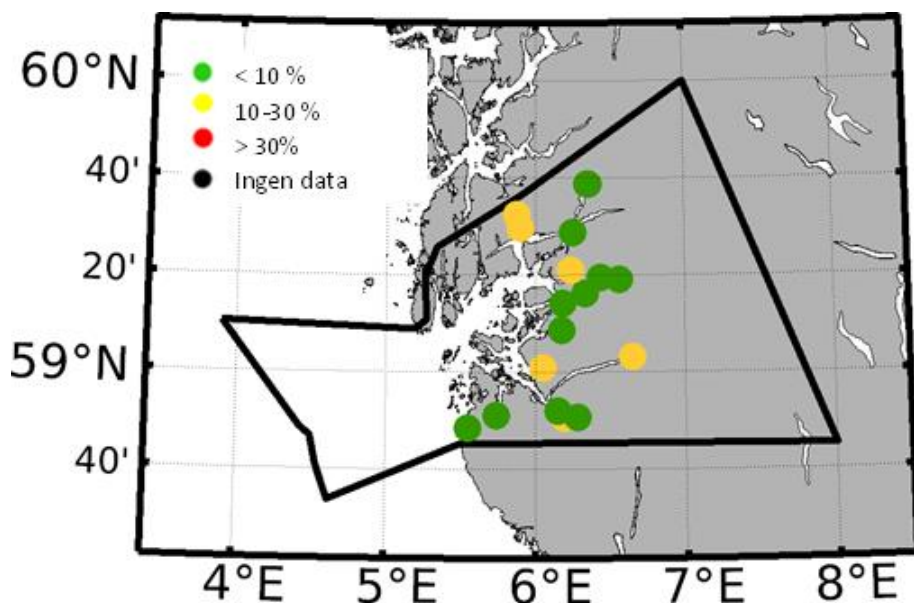
Tabell 2 Resultat fra sensitivetsanalyse. Tallene angir estimert % lakseluseindusert dødelighet (uvektet gjennomsnitt) og farge angir tilhørende kategorisering. Usikkerheten er kategorisert som beskrevet i 1.1.3.

	Utvandringstidpunkt			Tålegrense		Usikkerhet
	Normal	Tidlig	Sen	Høy	Lav	
PO2	8.4	6.1	13.1	3.2	20.5	Middels
PO3	18.8	17.4	35.1	8,3	35.6	Stor
PO4	10.6	11.1	10.5	3.5	20.6	Middels
PO5	10.1	12.3	7.0	2.5	18.5	Middels
PO6	8.3	12.4	4.6	12.9	14.1	Stor
PO7	8.7	12.3	5.2	2.5	15.0	Middels

Lav
 Moderat
 Høy

3.1 PO2

Resultatene fra modellen har en uvektet gjennomsnitt på 8.4 % som gir en lav påvirkning av luseindusert dødelighet. Estimatenes for dødelighet for de ulike elvene varierer fra ikke påvirket (0% for Figgjo) til over 20% dødelighet for Jørpeland og Håland (Figur 8, Tabell 3). Postsmolt med opphav i Håland bruker opp mot 6 døgn i middel fra elv til kyst, mens postsmolt fra Jørpeland bruker rundt 14 dager. Modellresultatene viser videre at postsmolt fra Suldal er lite påvirket av lus. Selv om korteste avstand fra elv til kyst er relativ lang i forhold til andre elver i området, er middel utvandringstid kun 3.8 dager i snitt. Ved lav tålegrense og sen utvandring gir modellen middels påvirkning (**Tabell 2**). Usikkerheten er dermed satt til middels.



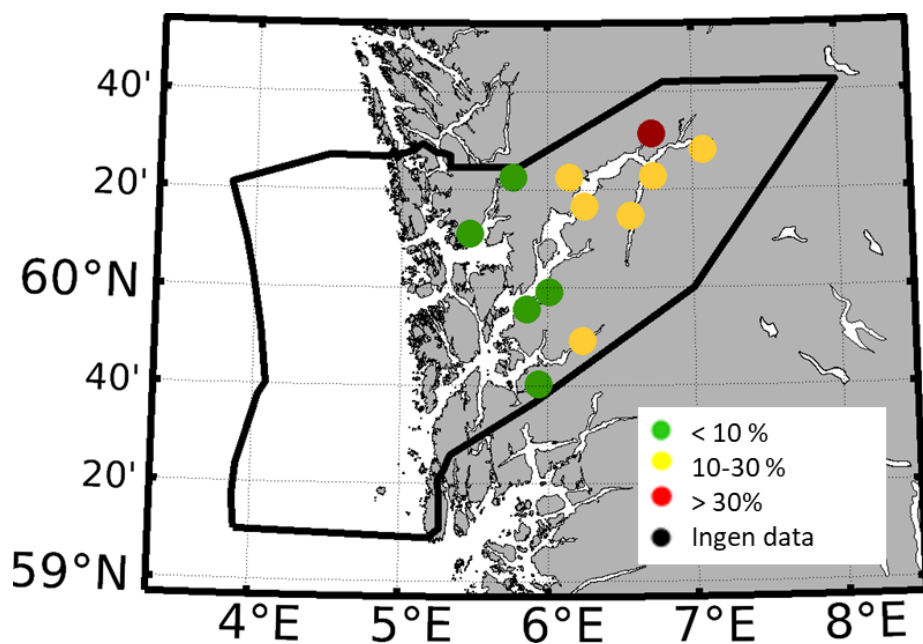
Figur 8 Kart over resultater kategorisert ut fra lakseluseindusert dødelighet for PO2.

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

Elvenavn	Elveid	Dødelighet (%)	Utvandringstid
Figgjo	028.Z	0	1.1
Storåna	029.1Z	4.9	12
Dirdal	030.2Z	14	13.9
Espedal	030.4Z	8.7	11.3
Frafjord	030.Z	9.9	13
Lyse	031.Z	13.2	14.9
Jørpeland	032.Z	21.4	14.6
Årdal	033.Z	0.7	4.8
Hjelmeland	035.2Z	1.3	4.8
Vormo	035.3Z	2.4	5.1
Førreelva	035.4Z	3.1	5.5
Håland	035.7Z	24.5	5.6
Ulla	035.Z	3.1	5.5
Suldals	036.Z	2.6	3.8
Åbøelva	037.2Z	2.6	4.4
Saudavassdraget	037.Z	2.6	4.4
Rødneelva	038.3Z	17.8	6
Vikedal	038.Z	17.5	5.6

3.2 PO3

Modellresultatene gir et vektet gjennomsnitt av dødelighet på 18.9 % som er innenfor en moderat påvirkning. Estimerte verdier varierer mye fra 1.1% estimert dødelighet påvirkning for Etne til 72.9% for Granvin (Figur 9, Tabell 4). Modellen estimerer lang vandringstid fra elv til kyst for postsmolt fra Granvin og det skyldes unaturlig lang oppholdstid inne i Granvinsfjorden. Det er ikke smitte i denne delen av fjordsystemet, men konsekvensen er at smolten kommer ut gjennom hoveddelen av fjorden på et senere tidspunkt. Resultatene viser videre at postsmolt fra Rosendal og Uskedal bruker i snitt mindre enn 5 dager fra elv til kyst, som er litt mindre enn Etne med middel utvandringstid som er rett over 5. Påvirkningen er størst for elver hjemhørende i de innerste delene av fjordsystemene. Modellen viser videre sensitivitet med hensyn på tålegrense med luseindusert dødelighetsestimat innenfor høy kategori for lav tålegrense og lav kategori i tilfellet for høy tålegrense (**Tabell 2**). Usikkerheten settes derfor til stor.



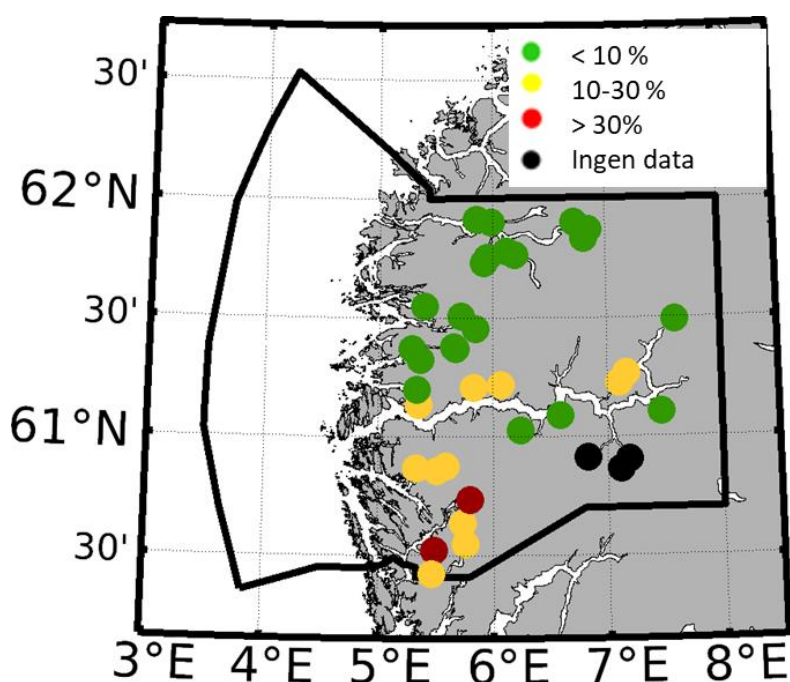
Figur 9 Kart over resultater kategorisert ut fra lakseluseindusert dødelighet for PO3.

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

Elvenavn	Elveid	Dødelighet (%)	Utvandringstid
Etne	041.Z	1.1	5.2
Dalelva-fjæraelva	042.3Z	12	7.1
Uskedalselva	045.2Z	8.2	4.4
Rosendal	045.4Z	9.8	4.6
Jondalselvi	047.2Z	24.2	7.7
Opo	048.Z	23.3	15
Kinso	050.1Z	18.1	11.5
Eio	050.Z	24.5	10.7
Granvin	052.1Z	72.9	21.7
Steinsdal	052.7Z	22.9	7.9
Oselva	055.7Z	4.8	4
Tysse	055.Z	4.3	5.1

3.3 PO4

Uvektet gjennomsnitt fra modellen er 10,6 % for PO4 og innenfor moderat påvirkning av lakselusindusert dødelighet for området. Modellresultatene for PO4 gir dødelighetsestimater innenfor både høy, moderat og lav kategori (Figur 10, Tabell 5). Estimatenes for lakseindusert dødelighet varierer i Sognefjorden fra 6.2 til 13.4 %. Selv om postsmolten som har lengst vandringsvei generelt bruker lengre tid før de når kysten, er smittepresset dynamisk og VPS som er hjemhørende lengre ut i fjorden er noe mer påvirket enn VPS fra innerste delen av fjordsystemet. Modellresultatene viser videre høy påvirkning for postsmolt hjemhørende i Bjørnafjorden. Modellen mangler resultat for 5 elver. Resultatene er lite sensitive med hensyn til utvandringstidspunkt, men endring av tålegrense gir dødeligestimater som endres fra høy til lav kategori. Usikkerhet settes dermed til middels (Tabell 2).



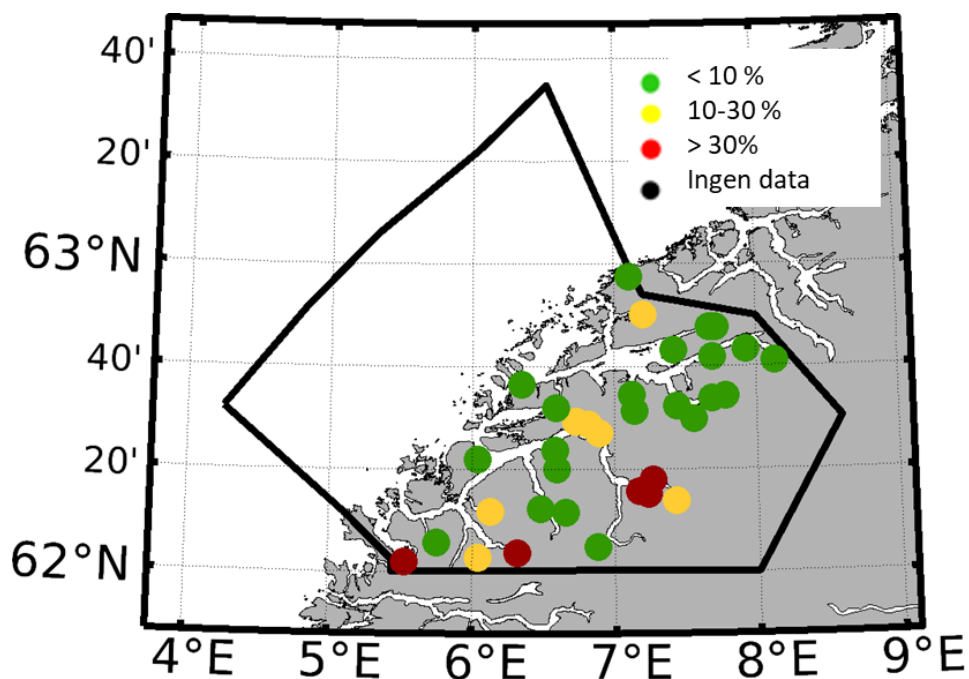
Figur 10 Kart over resultater kategorisert ut fra lakseluseindusert dødelighet for PO4.

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

Elvenavn	Elveid	Dødelighet (%)	Utvandringstid
Lone	060.4Z	62.4	20.4
Storelva	061.2Z	11	9.6
Daleelva	061.Z	26.8	13.5
Vosso	062.Z	22.9	12.8
Ekso	063.Z	50.4	20.2
Modalselva	064.Z	8.7	14.4
Haugsdalsvassdraget	067.2Z	15	12
Matrevassdraget	067.3Z	13.7	11.5
Frøyset	067.6Z	18.2	13.2
Vikja	070.Z	6.2	13
Nærøydal	071.Z	-	-
Fläm	072.2Z	-	-
Aurland	072.Z	-	-
Lærdal	073.Z	8.6	16.5
Mørkrivassdraget	075.4Z	7.2	14.7
Sogndal	077.3Z	12	14.9
Årøy	077.Z	10.7	14.7
Daleelva	079.Z	12.3	12.7
Ytredalselva	080.21Z	12.4	11
Bøelva	080.4Z	13.4	9.3
Dals	082.5Z	3.1	5.7
Flekkje	082.Z	4.3	5.5
Kvam	083.2Z	3.1	5.7
Rivedalselva	083.4Z	2.5	5
Gaula	083.Z	2.6	5.1
Nausta	084.7Z	0.4	5.8
Jølstra	084.Z	0.7	8.9
Oselva	085.Z	7.1	3.6
Hopselva	086.8Z	-	-
Åelva	086.Z	-	-
Ryggelva	087.1Z	0.4	4.8
Gloppen	087.Z	0.2	4.8
Olden	088.1Z	0	13.3
Loen	088.2Z	0	12.6
Stryn	088.Z	0	13.9
Hjalma	089.4Z	0.7	3.7
Eidselva	089.Z	0.7	4

3.4 PO5

Modellresultatene gir uvektet gjennomsnitt på 10,1 % lakseluseindusert dødelighet som er innenfor moderat påvirkning. Det er stor variasjon fra ingen påvirkning (0 % dødelighet) til høy påvirkning (4 elver innenfor høy påvirkning) (Figur 11, Tabell 6). Modellen viser lav påvirkning av lus på postsmolt som vandrer ut i Romsdalsfjorden. Postsmolt som vandrer fra Valldal er mest påvirket. Estimaten er noe sensitiv til både utvandringstidspunkt og tålegrense (varierer mellom lav og middelspåvirkning) og usikkerheten vurderes til å være middels (Tabell 2).



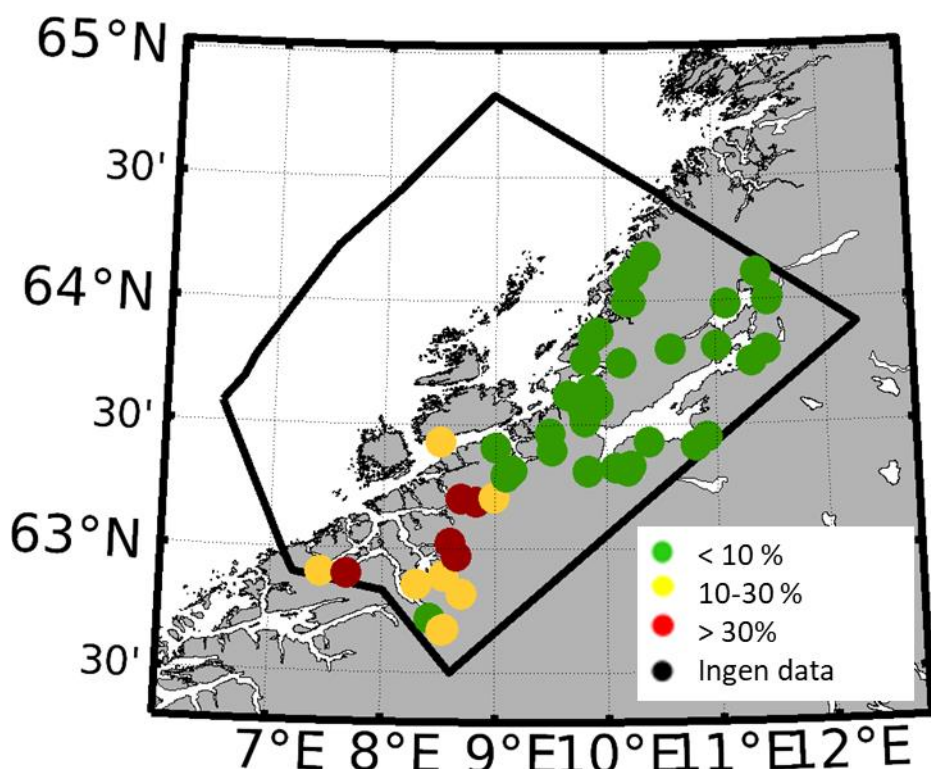
Figur 11 Kart over resultater kategorisert ut fra lakseluseindusert dødelighet for PO5.

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

Elvenavn	Elveid	Dødelighet (%)	Utvandringstid
Åheim	092.Z	36.7	10.5
Norddalselva	093.3Z	0.1	9.6
Austefjord	094.4Z	33.3	13.3
Stigedalselva	094.Z	29	9.9
Ørsta	095.Z	14	8.7
Hareid	096.1Z	1.9	3.1
Bondal	097.1Z	0.9	8.1
Norangdal	097.4Z	1.6	15.6
Aureelva	097.72Z	8.4	7.7
Velledal	097.7Z	7.4	7
Korsbrekk	098.6Z	0.3	20.7
Eidsdalselva	099.1Z	32.6	13.1
Norddalsvassdraget	099.2Z	48.9	15.2
Tafjordvassdraget	099.Z	10.4	17.4
Vagsvikelva	100.3Z	23.7	9.5
Valldal	100.Z	50.6	15.7
Ørskog	101.1Z	12.7	8.2
Solnør	101.2Z	16	9.5
Tennfjord	101.6Z	0.2	15.4
Hildre	102.11Z	0	1.8
Skorgelva	102.5Z	0	2.3
Tressa	102.6Z	0	0.5
Måna	103.1Z	0.4	5.8
Innfjordselva	103.2Z	0.1	13.3
Isavassdraget	103.4Z	0.3	9
Rauma	103.Z	0.2	7.6
Mittetelva	104.1Z	0.4	14.4
Visa	104.2Z	0	16.9
Eira	104.Z	0	19.1
Røa	105.1Z	0.6	8.8
Olteråa	105.3Z	0	19
Oselva	105.Z	0	19
Sylte	107.3Z	10.4	14.9
Hustad	107.6Z	2.3	3

3.5 PO6

Beregnet uvektet gjennomsnitt av modellresultatene for PO6 er 8,3 % som gir lav påvirkning. Modellen viser videre lav påvirkning for postsmolt fra elver hjemhørende nord i POet inkludert Trondheimsfjorden (Figur 12, Tabell 7). Postsmolt som vandrer gjennom Trondheimsfjorden bruker lang tid ut til Frohavet, men ettersom det er lite til ingen lus i fjorden er det lite påvirkning på postsmolten. I den sørligste delen av PO6 er det stor variasjon i estimatene (fra lav til høy påvirkning). Sensitivitet gir variasjon mellom lav og moderat kategori for både tålegrense og utvandringstid. Usikkerhet vurderes dermed til stor (Tabell 2).



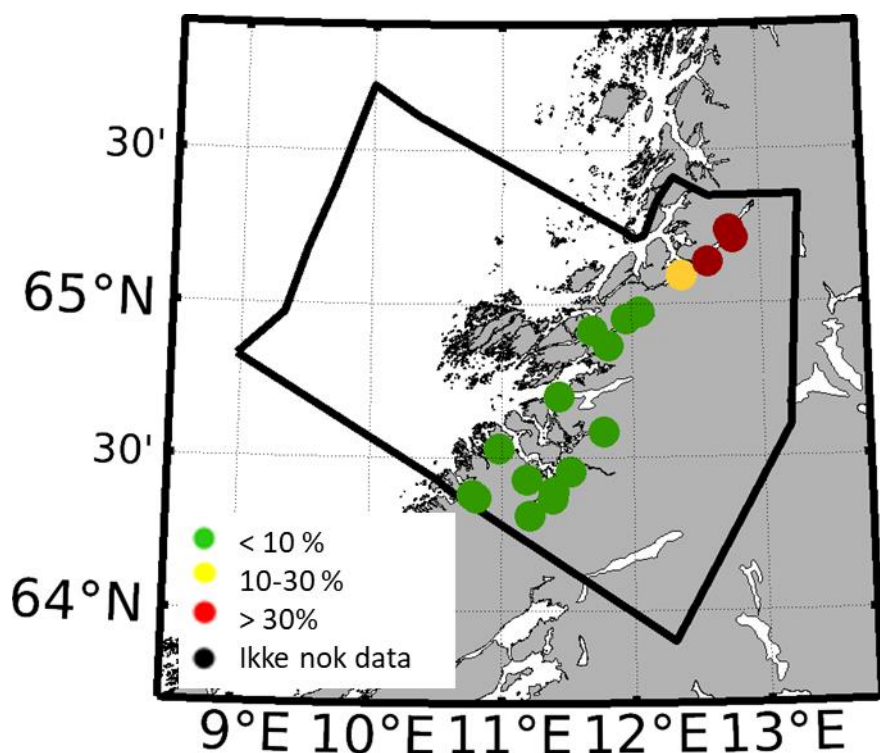
Figur 12 Kart over resultater kategorisert ut fra lakseluseindusert dødelighet for PO6.

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

Elvenavn	Elveid	Dødelighet (%)	Utvandringstid
Vasskordelva	108.221Z	17.50	6.3
Batnfjordelva	108.3Z	46.00	14
Usma	109.4Z	7.90	23.1
Litledalselva	109.5Z	29.10	22.4
Driva	109.Z	29.10	22.4
Viddalselva	111.4Z	18.80	20.4
Søya	111.7Z	25.90	18.6
Toåa	111.Z	24.20	17.8
Bøvra	112.3Z	30.70	14.8
Surna	112.Z	31.80	14.5
Staursetbekken	113.5Z	32.70	15.3
Todalselva	113.6Z	31.90	14.4
Fjelna	113.Z	25.80	14.3
Åelva	116.Z	4.60	9.7
Kvernavassdraget totalt	117.23Z	16.90	11.8
Haugelva	119.11Z	5.60	17.8
Søa	119.1Z	6.20	18
Hagaelva	119.2Z	6.50	18.5
Hollaelva	119.3Z	6.50	18.5
Snilldalselva	119.42Z	2.70	22.7
Slørdalselva totalt	119.61Z	9.60	10.7
Fremstadelva	119.9Z	1.90	3.9
Størdalselva	120.1Z	0.30	8.4
Lena	120.2Z	0.70	11.3
Skjenaldelva	121.1Z	0.30	13.7
Orkla	121.Z	0.30	13.7
Børsa	122.1Z	0.40	12.9
Vigda	122.2Z	0.10	15
Gaula	122.Z	0.10	16.5
Homla	123.4Z	0.00	21
Nidelva	123.Z	0.00	18.3
Stjørdal	124.Z	0.00	21.1
Levanger	126.6Z	0.00	26.9
Verdal	127.Z	0.00	27.7
Figga	128.3Z	0.00	27.8
Steinkjer	128.Z	0.00	27.8
Mollrelva	129.2Z	0.00	28
Follavassdraget	129.Z	0.00	27.7
Tangstadelva	130.32Z	0.00	28.2
Mossa	131.1Z	0.00	26.8
Flyta	132.1Z	0.70	7.8
Hasselvassdraget	132.2Z	0.60	7.9
Skauga	132.Z	0.70	7.8
Osaelva	133.2Z	2.30	9.6
Brekkelva	134.2Z	0.00	1.4
Teksdal	134.Z	0.00	2.2
Olden	135.1Z	3.30	3.6
Imselva	135.42Z	3.90	8.3
Grytelvassdraget	135.43Z	6.70	11.9
Håvikelva	136.31Z	0.10	1.6
Nordskjørelva	136.3Z	0.10	1.6
Storelva	136.52Z	0.00	1.2

3.6 PO7

Beregnet uvektet gjennomsnitt av dødelighet var 8,7 % fra modellen som gir en lav påvirkning (Tabell 2). Modellresultatene viser generelt lav påvirkning av luseindusert dødelighet for bestander fra elver sør for Vikna (Figur 13). Modellresultatene viser høyest resultat for bestandene som er hjemhørende nord i POet med 3 elver med estimat innenfor høy påvirkning (Tabell 8). Det er også postsmolt som vandrer fra disse elvene som bruker lengst tid fra elv til kyst i PO7 (16-18 dager). Postsmolt hjemhørende i Namsen bruker i snitt 5,1 dager på utvandringen. Sensitivitet gir variasjon mellom lav og moderat kategori for både tålegrense og utvandringstid. Usikkerhet vurderes dermed til middels (Tabell 2).



Figur 13 Kart over resultater kategorisert ut fra lakseluseindusert dødelighet for PO7.

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

Elvenavn	Elveid	Dødelighet (%)	Utvandringstid
Skjellåa	137.4Z	0	9.1
Storelva (jøssund)	137.5Z	0	8
Sitterelva	137.72Z	0	3.5
Oksdøla	138.3Z	0	6.7
Aursunda	138.5Z	0	7.6
Bogna	138.6Z	0	5.7
Årgård	138.Z	0	7.9
Namsen	139.Z	0	6.1
Vetthuselva	140.3Z	0	16.2
Salvassdraget	140.Z	1	9.7
Kvistelva	141.4Z	0.9	11
Sjølstadelva	142.6Z	0.4	10.9
Nordmarkselva-åforelva	142.71Z	0.4	11.7
Horvelva	143.532Z	3.4	5.3
Terråkelva	144.4Z	23.5	10
Urvollelva	144.5Z	43.4	16.3
Bogelva	144.61Z	43.4	17.6
Eide	145.2Z	40.3	18.2

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 lakseindusert dødelighet på virtuell smolt i produksjonsområde 2 til 7 ved bruk av SINMOD. SINTEF Ocean; 2021.

Ellingsen IH, 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.

Johnsen, I.A., Harvey, A., Sævik, P.N., Sandvik, A.D., Ugedal, O., Ådlandsvik, B., Wennevik, V., Glover, K.A. and Karlsen, Ø., 2021. Salmon lice-induced mortality of Atlantic salmon during post-smolt migration in Norway. *ICES journal of Marine science*, 78(1), pp.142-154.

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

Stige, L.C., Helgesen, K.O., Viljugrein, H. and Qviller, L., 2022. Modelling salmon lice-induced mortality of wild salmon post-smolts is highly sensitive to calibration data. *Aquaculture Environment Interactions*, *14*, pp.263-277.

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.