



MODELLERING AV SMITTSOMME LAKSELUSLARVER

- **bakgrunnsdata for
Havforskningsinstituttets
modellprodukt til
Trafikklyssystemet, 2020**

Interne forfattere: Anne D. Sandvik, Mari Myksvoll og Bjørn Ådlandsvik
Eksterne forfattere: [Forfattere]

Tittel (norsk og engelsk):
Modellering av smittsomme lakseluslarver

[Title]

Undertittel (norsk og engelsk):
bakgrunnsdata for Havforskningsinstituttets modellprodukt til Trafikklyssystemet, 2020

[Subtitle]

Rapportserie:
Velg i nettsversjonen

Nr.-År:
[X-XXXX]

Dato:
21.09.2020

Distribusjon: Åpen

Interne forfattere:
Velg i nettsversjonen

Prosjektnr.:
[xxxxx]

Eksterne forfattere:
Velg i nettsversjonen

Oppdragsgiver(e):
Velg i nettsversjonen

Redaktør(er):
Velg i nettsversjonen

Oppdragsgivers referanse:
[xxxxx xxxxxx]

Kontaktperson(er):
Velg i nettsversjonen

Program:
Velg i nettsversjonen

Godkjent av:
Velg i nettsversjonen

Forskningsgruppe:
Velg i nettsversjonen

Antall sider totalt:
25

Sammendrag (norsk):
[Tekst]

Summary (English):
[Text]



Innhold

1	Bakgrunn - hvorfor modellere?	4
2	Strømmodellsystem	5
3	Spredningsmodell for lakselus	6
	3.1 Parametrisering av lakselusas utvikling og atferd.....	6
	3.2 Kildeleddet	6
4	Modellresultater og validering	11
	4.1 Validering	11
5	Modellprodukter	12
	5.1 Vurdering av tetthet av kopepoditter 2020.....	12
	5.2 Tidsutvikling av kopepoditter innen produksjonsområdene	13
	5.3 Geografisk fordeling av kopepoditter	16
6	Utveksling mellom produksjonsområdene	19
7	Referanser	22

I Bakgrunn - hvorfor modellere?

Siden det er praktisk umulig å få en fullstendig oversikt over luseinfeksjoner på laksefisk langs hele kysten ved hjelp av tradisjonelle feltobservasjoner, har Havforskningsinstituttet utviklet en lakselusmodell som utfyller observasjonene, både i tid og rom. Les mer om overvåking på <https://www.hi.no/hi/temasider/arter/lakselus/overvaking-av-lakselus>.

Vi vet at tetthet av lakseluskoepoditter er proporsjonal med sannsynligheten for smitte på villfisk (Myksvoll m.fl. 2018) og at lakselusa fordeler seg i vannmassene i fjord- og kystområdene på en svært variabel måte. Denne fordelingen varierer både over korte tidsperioder og små geografiske avstander (Asplin m.fl., 2014; Johnsen m.fl., 2014; Sandvik m.fl., 2016, Skarøhamar m.fl. 2018). Dette er en naturlig konsekvens av varierende strøm og lakselusenes vertikale posisjonering i varierende strømfelt (Johnsen m.fl., 2016). En rekke modellsimuleringer med likt utslipp av nauplier fra ulike anlegg har blitt utført (se for eksempel <http://www.imr.no/hi/temasider/arter/lakselus/hvordan-spres-lakselusa> og Asplin m.fl. 2014) og viser at en fullstendig beskrivelse av hvilken fordeling lakseluskoepoditter har langs kysten, bare kan gjøres gjennom å modellere spredning med bruk av informasjon om realistisk strøm, saltholdighet og temperatur.

Lakselusmodellen brukt ved Havforskningsinstituttet er en sammenkobling av flere ulike modeller (se <https://github.com/bjornaa/ladim> for en detaljert beskrivelse). Først beregnes utslipp (antall) av lakselus fra alle rapporteringspliktige oppdrettsanlegg i landet (Stien m.fl. 2005). Når lusearvene så er klekket ut i vannmassene opplever de temperatur, saltholdighet og strøm (representert ved den hydrodynamiske modellen) i den posisjonen de befinner seg. Basert på tilgjengelig kunnskap om biologi, atferd og dødelighet blir det beregnet hvordan larvene sprer seg med strømmen, først som ikke-smittsomme nauplier og videre som smittsomme kopepoditter (spredningsmodellen). Sluttproduktet er fordelingen av smittsomme lakseluslarver (kopepoditter) langs hele kysten time for time, noe som gir en god og detaljert oversikt over hvilke områder som har mye eller lite lus til enhver tid. Modellsystemet baserer seg på eksisterende og veldokumenterte metoder. Den hydrodynamiske modellen (strøm) har mye til felles med værvarslings- og klimamodeller som har et omfattende vitenskapelig miljø for utvikling og validering, samt håndtering av usikkerhet. Vi kjenner heller ikke til eksisterende kunnskap om at lakselusa sin atferd eller dødelighet varierer mellom fjorder. Det er derfor rimelig å anta at modellsystemet for spredning av lakselus kan regnes som gyldig for hele kysten. Modellen som blir benyttet i rådgivningen er satt opp på et gitter der hver rute er 800m x 800m.

Fra 2019 har vi også satt opp en modell med et enda finere gitter (160m x 160m). Resultat fra denne ble vurdert i 2019 (Sandvik mfl. 2019), og det ble konkludert med at på stor skala, som et produksjonsområde, var der liten forskjell, men lokalt kunne forskjellene være betydelige. Vi har ikke inkludert resultat fra 160m modellen i denne rapporten.

2 Strømmodellsystem

Prinsippet for å skaffe informasjon om strøm er å inkludere en så fullstendig beskrivelse som mulig av de ulike fysiske prosessene og drivkrefter som vind, tidevann og ferskvannsavrenning. Dessuten trenger en like detaljert geografisk informasjon om bunndyp som modellopløsningen. En hydrodynamisk modell beregner strøm, vannstand og hydrografi (saltinnhold og temperatur) prognostisk ved hjelp av numeriske teknikker med et tredimensjonalt beregningsgitter, og strømmodellen vi anvender er for tiden Regional Ocean Modeling System (ROMS, www.myroms.org; Albretsen m.fl., 2011). ROMS er satt opp for hele Norskekysten med gitteroppløsning 800 m, som er relativt høy romlig oppløsning for å dekke et så stort område. Det betyr at hele kysten og fjordene er delt inn i et rutenett der hver rute er på størrelse 800m ganger 800m horisontalt. Vertikalt er disse rutene delt i 35 lag som varierer tykkelsen fra noen dm nær overflaten til flere meter nedover i dypet. En horisontal gitteroppløsning på 800m representerer et kompromiss mellom tilgjengelige regnemaskiners kapasitet og behovet for å beskrive vannmassenes dynamikk og ikke minst bunntopografi og kystlinje. Atmosfæriske drivkrefter (vind og stråling) henter vi fra operasjonelle atmosfæreprognoser fra Meteorologisk institutt, og åpne grenseverdier mot havet tas fra havmodellresultater med større geografisk utstrekning og verdier minst hver time. Modelloppsettet for Norskekysten inkludert systemet for realistiske inngangsdata og drivkrefter kalles NorKyst800 (Albretsen m.fl., 2011) og modellresultater er publisert i en rekke vitenskapelig publikasjoner (Asplin m.fl. (2014, 2020), Johnsen m.fl. (2014, 2016 og 2020), Sandvik m.fl. (2016, 2020a&b), Myksvoll m.fl. (2018, 2020), Skardhamar m.fl. (2018), Dalsøren mfl 2020), som viser god overensstemmelse med modellert og observert strøm og hydrografi.

Resultater fra strømmodellen brukt for spredningsberegninger for lus 2012-2020 er presentert i *Appendiks III: Fysisk miljø*.

3 Spredningsmodell for lakselus

Som et ledd i arbeidet med å videreutvikle modellsystemet for spredning av lakselus ble partikkelspredningsmodellen (LADIM) omprogrammert til et mer fleksibelt system våren 2017. Den nye modellversjonen er fritt tilgjengelig på (<https://github.com/bjornaa/ladim>). Det har blitt utført en grundig sammenligning av resultatene fra ny og gammel versjon (Myksvoll m.fl. 2018a). I en nylig publisert artikkel (Crosbie m.fl. 2019) ble det i laboratorieeksperiment funnet at lakselus-koepodittene i økende grad unnviker vann med saltholdighet fra 31 til 23. Dette ble implementert i Havforskningsinstituttet sin lakselusmodell, til erstatning fra den gamle saltholdighets unnvikelsen på 20 (Heuch 1995). Den nye metoden er validert mot vaktburdata fra 2012- 2107 og viste en betydelig forbedring av det estimerte smittepresset (Sandvik m.fl. 2020b).

3.1 Parametrisering av lakselusas utvikling og atferd

Vi har valgt å spre planktonisk lakselus som partikler og beregne spredningsprosessen, vekst, atferd og dødelighet basert på informasjon fra litteraturen og sensitivitetsstudier med modell (Asplin m.fl., 2011, Asplin m.fl., 2014, Johnsen m.fl., 2014, Johnsen m.fl., 2016). Horisontalt driver lakseluslarvene passivt med strømmen, men vertikalt er lakseluslarvene i stand til å posisjonere seg basert på miljøfaktorer som lys og saltholdighet. Lakselusene er i modellen gitt evnen til å plassere seg nær overflaten, når eksponert for lys, og å synke lenger ned i vannsøylen ved lave saltholdigheter (Sandvik m.fl. 2020b). I tillegg vil den vertikale forflytningen inneholde småskala turbulent bevegelse. Dødelighet er inkludert i modellen og parameterisert som 17 % per døgn, basert på Stien m.fl. (2005).

Lakselusa vil vokse og utvikle seg som en funksjon av temperatur, og vi modellerer dette ved å bruke døgngrader som er tid multiplisert med omgivelsestemperatur. Grensene for når lakselusa er i de to første nauplie-stadiene og når de er i det smittsomme koepodittstadiet angis i døgngrader og er basert på laboratoriestudier som har vist at det smittsomme koepodittstadiet er mellom 40 og 170 døgngrader (Samsing m.fl., 2016). Det betyr at lakseluslarvene utvikler seg raskt til koepoditter når det er varmt i vannet, men samtidig blir levetida kort (eks. 17 dager ved 10°C). Ved lave vann temperaturer tar utviklingen lengre tid, men lusene kan også leve lenger. Disse forskjellene i utvikling og levetid kan påvirke hvor langt lusene kan spres geografisk.

De modellerte verdiene for lakseluskonsentrasjon er avhengig av hvor mange nauplier som klekkes (kildeledd, hovedsakelig lus på oppdrettsfisk) og hvor stor dødeligheten er. Begge deler er i dag (og i overskuelig fremtid) beheftet med usikkerheter, og selv om vi benytter best tilgjengelig kunnskap per dags dato mener vi at det er et potensiale for å forbedringer.

Slike forbedringer av modellen pågår kontinuerlig etter hvert som ny kunnskap om biologien til lakselusa blir publisert vitenskapelig. Fordelingen av lakseluskoepoditter i rom og tid vil kvalitativt bare i mindre grad påvirkes av detaljer i kildeledd (se under) eller dødelighet. Manglende utslippskilder for lus, f.eks. fra slaktemerder, vil derimot kunne være av stor betydning.

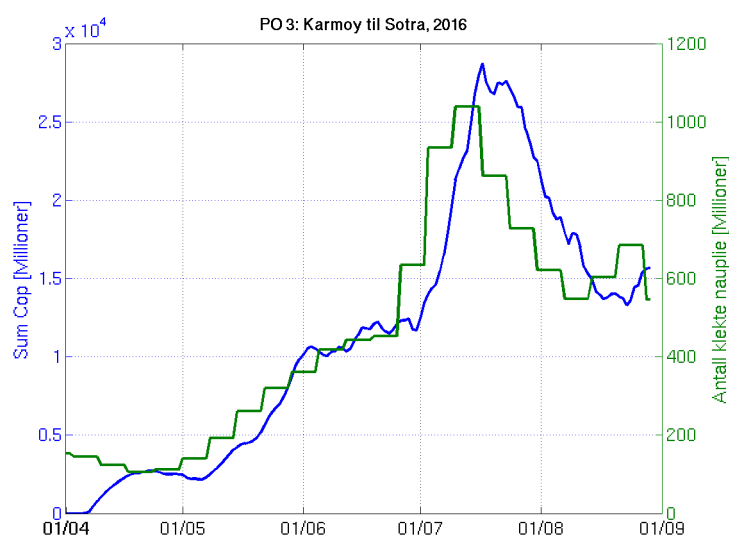
3.2 Kildeleddet

Kildeleddet i modellsystemet er antall egg som klekkes av lus i oppdrettsanleggene, altså antall luselarver som slippes ut fra hvert anlegg. Dette beregner vi basert på den rapporteringen industrien gir

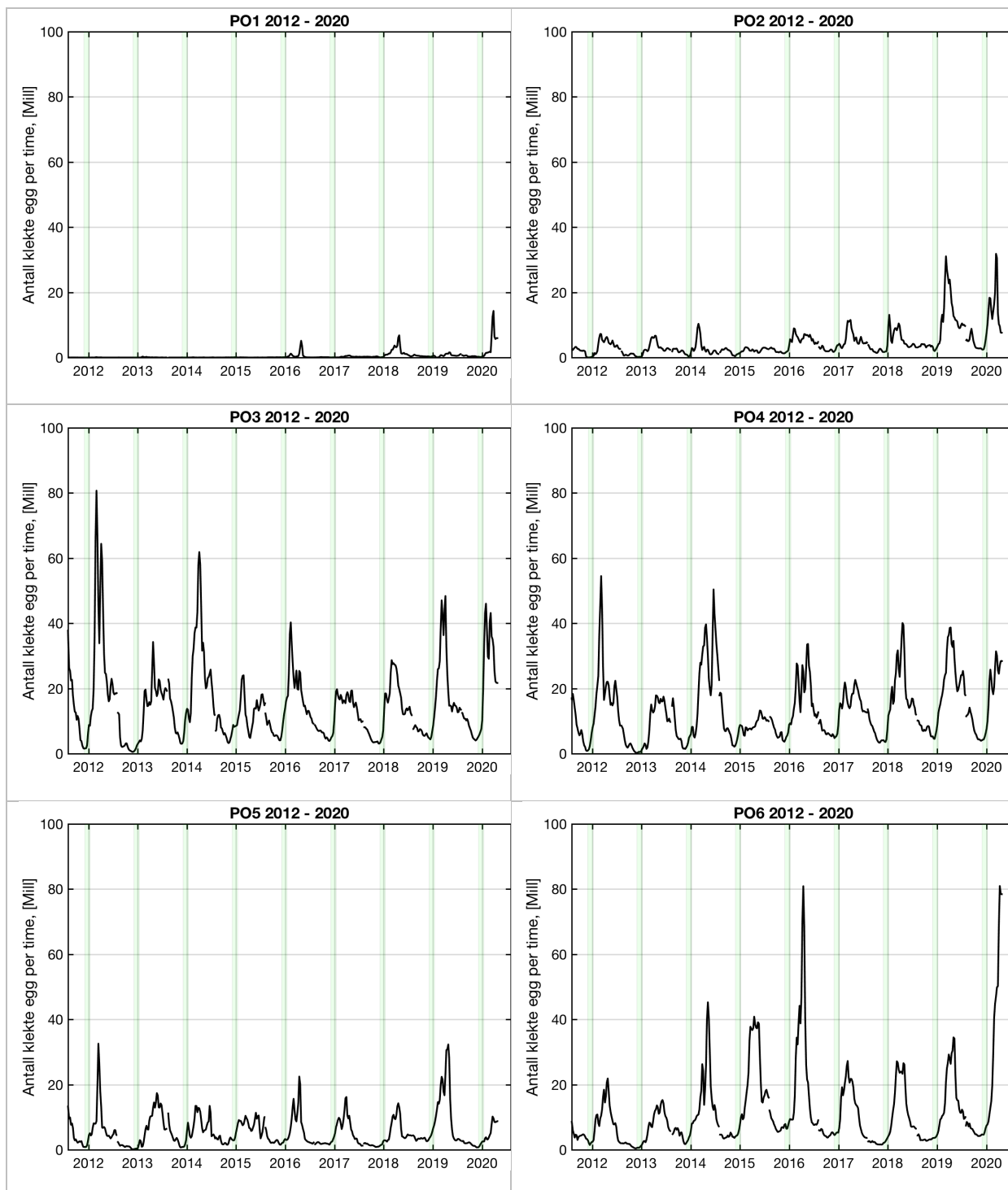
ukentlig for antall lus per fisk og månedlig for antall fisk i merdene. Ideelt sett skulle denne informasjonen vært tilgjengelig hyppigere og med eksakt dato. En detaljert beskrivelse av hvordan vi beregner kildeleddet er beskrevet i Ådlandsvik et al (2017).

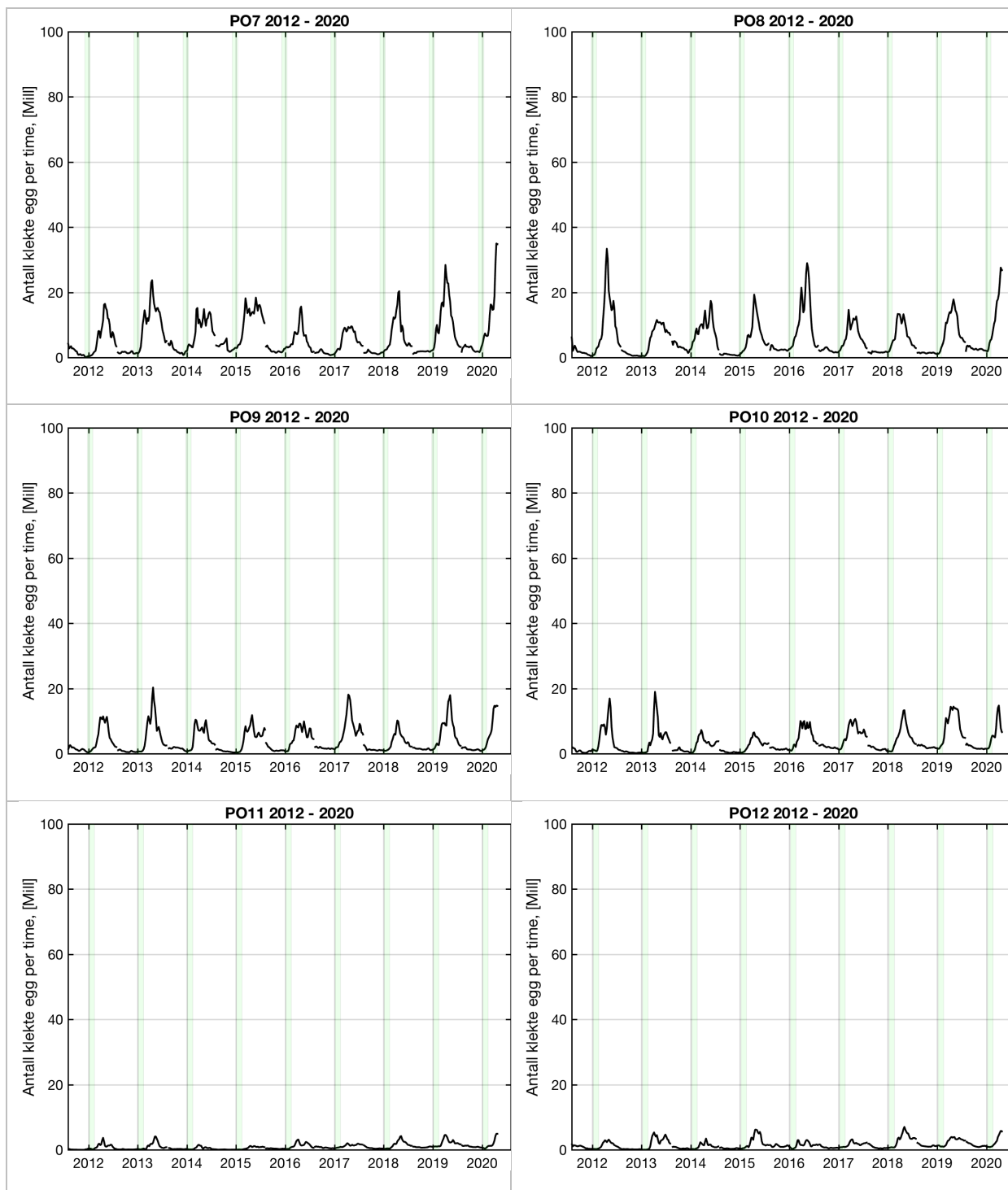
Siden grensene mellom produksjonsområdene er plassert slik at det skal være minimal utveksling av partikler mellom områdene vil summen av antall infektive kopepoditter følge klekkingen av nauplier (innen POet) med en tidsforsinkelse som er avhengig av vanntemperaturen, som vi kan se av eksempelet i figur 1. I figur 2 er antall klekte nauplier plottet per produksjonsområde for årene 2012-2020. Det er stor variasjon mellom POene og den mellomårlege variasjonen kan også være stor .

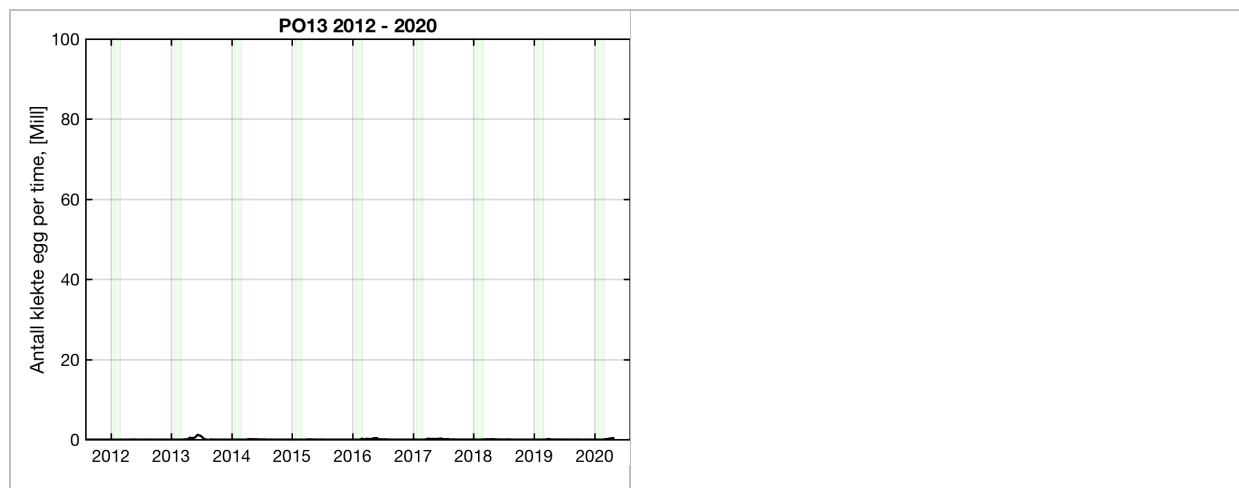
Kildeleddet har potensiale for forbedring i de kommende årene ved å få sikrere og mer detaljerte rapporteringstall fra oppdrettsanleggene (se f.eks. Skarøhamar et al 2018).



Figur 1. Sum over antall nyklekte nauplier (grønn) og sum over antall smittsomme kopepoditter (blå) i produksjonsområde 3. Kurvene følger hverandre, men endringen av antall kopepoditter ligger litt etter endringen av nauplier.







Figur 2. Antall klekte nauplier fra alle anlegg innen PO1-P013 i perioden 2012 til 2020. De grønne skraverte feltene indikerer utvandringsperioden for postsmolt (40dager).

4 Modellresultater og validering

Sluttproduktet fra lakselusmodellen er en geografisk fordeling av planktonisk lakselus (stadiefordelt på nauplier og copepoditter) time for time for en tidsperiode. Dette kan for eksempel presenteres som tetthet, antall lus per m², for en gitt periode og for en gitt del av vannsøylen

Grunnlagsdataene for de to kolonnene ”HI smittepress” og ”HI virtuell smolt” i hovedrapporten (”Vurdering av lakselusindusert villfiskdødelighet per produksjonsområde i 2020”) er døgnverdier av tetthet for den øvre delen av vannsøylen (summert fra overflaten og ned til 2m), hvor vi antar at den ville fisken hovedsakelig oppholder seg.

Denne typen resultater kan produseres for en hvilken som helst periode der vi har modellresultater for strøm, samt reelle estimat på hvor mange lakselus-nauplier som slippes ut (kildeleddet, beskrevet i 3.2). Konsistent informasjon om antall lus på fisk i anlegg finnes tilbake til 2012, og Havforskningsinstituttet har produsert et arkiv som inneholder geografisk fordeling av planktonisk lakselus time for time for perioden 1/3 – 1/9, 2012 til 2020 (Sandvik mfl 2020a). Dette arkivet oppdateres hvert år, samt når ny kunnskap om lakselusens biologi er tilgjengelig, slik at best mulige data kan benyttes i rådgivningen. I tillegg produseres det ukentlig 10-dagers gjennomsnittsverdier som publiseres på Havforskningsinstituttets webside www.lakselus.no.

4.1 Validering

Det er viktig å kunne bestemme i hvilken grad modellresultatene gir en realistisk beskrivelse av det smittepresset de ville laksefiskene opplever. Validering av denne type modellsystem er imidlertid ingen enkel øvelse. Dette er beskrevet i Sandvik mfl 2019. Validering av modellresultatene er også publisert i Sandvik m.fl. (2016, 2020b) og Myksvoll m.fl. (2018).

5 Modellprodukter

Sluttproduktet fra lakselusmodellen er antallet smittsomme kopepoditter i produksjonsområdene til enhver tid. Summen over hvert produksjonsområde er vist som tidsserier for 2019 og 2020 i figur 3 og som horisontale kart for 2020 i figur 4.

Gitt at den modellerte fordelingen av smittsomme lakseluslopepoditter i rom og tid er en realistisk beskrivelse av det reelle smittepresset for villfisk, og gitt at sammenhengen mellom smittedose og smitterespons er tilnærmet lineær, kan vi estimere individuell smitte på den villfisken som befinner seg i modellområdet. Vi trenger da å kjenne hvor fisken er, og når den er der, for å sammenholde med den modellerte tettheten av kopepoditter. Med denne bakgrunnen har vi definert to ulike produkter som søker å relatere modellresultatene til dødelighet på villfisk i produksjonsområdene: *Smittepresskart* (ROC) og *Virtuell smoltutvandring*. Disse produktene er beskrevet i Appendiks V og VI sammen med resultater for 2020.

Under følger en kort vurdering av bakgrunnsdataene for Havforskningsinstituttet sine modellprodukt til Trafikklysvurderingen 2020. Formålet er å vise når resultatene vil være mest følsomme for variasjoner i utvandringstidspunkt og forløp, samt gi et best mulig bilde av den horisontale variasjonen i tetthet av smittsomme lakseluslarver innen de ulike produksjonsområdene.

Tidsutviklingen er diskutert i 6.1, en diskusjon av den romlige fordelingen og estimert dødelighet per elv går vi ikke inn på her siden det er grundig diskutert i Appendiks V og VI.

5.1 Vurdering av tetthet av kopepoditter 2020

PO1: Den totale mengden kopepoditter holder seg stabilt lav gjennom utvandring, slik at modellresultatene er lite følsomme for tiden vi integrerer over.

PO2: Den totale mengden kopepoditter holder seg relativt stabil gjennom utvandringsperioden, slik at modellresultatene er lite følsomme for tiden vi integrerer over.

PO3: Den totale mengden kopepoditter stiger jevnt gjennom utvandringsperioden. Modellresultatene er følsomme for tiden vi integrerer over.

PO4: Den totale mengden kopepoditter holder seg stabil fram til dato for 50 % utvandring, øker deretter betraktelig. Modellresultatene er følsomme for tiden vi integrerer over i siste halvdel av utvandringsperioden.

PO5: Den totale mengden kopepoditter er betydelig lavere i 2020 enn den var i 2019. Den totale mengden kopepoditter holder seg stabil fram til dato for 50 % utvandring, øker deretter betraktelig. Modellresultatene er følsomme for tiden vi integrerer over i siste del av utvandringsperioden.

PO6: Den totale mengden kopepoditter er relativt lik 2019 og 2020. Den totale mengden kopepoditter stiger gjennom utvandringsperioden, og mest i siste del av denne. Modellresultatene er følsomme for tiden vi integrerer over i hele av utvandringsperioden, men mest følsom i siste halvdel.

PO7: Den totale mengden kopepoditter holder seg relativt stabil fram til dato for 50 % utvandring, øker deretter betydelig. Modellresultatene er følsomme for tiden vi integrerer over i siste halvdel av utvandningsperioden.

PO8: Den totale mengden kopepoditter holder seg relativt stabil gjennom utvandningsperioden. Modellresultatene er lite følsomme for tiden vi integrerer over.

PO9: Den totale mengden kopepoditter er lavere i 2020 enn i 2019. Den totale mengden kopepoditter holder seg relativt stabil gjennom utvandningsperioden, men øker noe mot slutten. Modellresultatene er lite følsomme for tiden vi integrerer over.

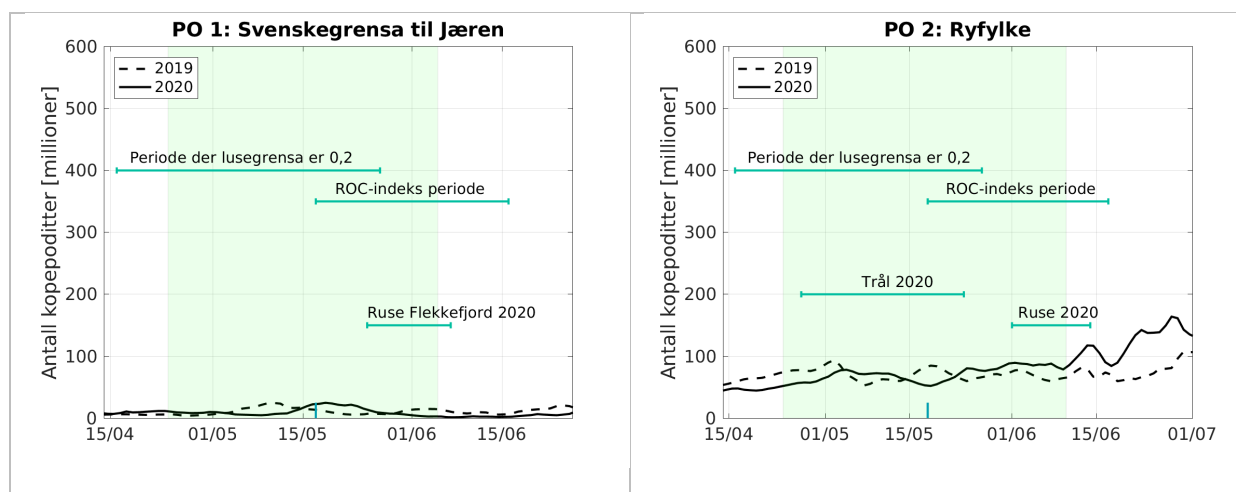
PO10: Den totale mengden kopepoditter er lavere i 2020 enn i 2019. Den totale mengden kopepoditter øker gjennom utvandningsperioden, mest på slutten. Modellresultatene er følsomme for tiden vi integrerer over, spesielt i siste halvdel av utvandningsperioden.

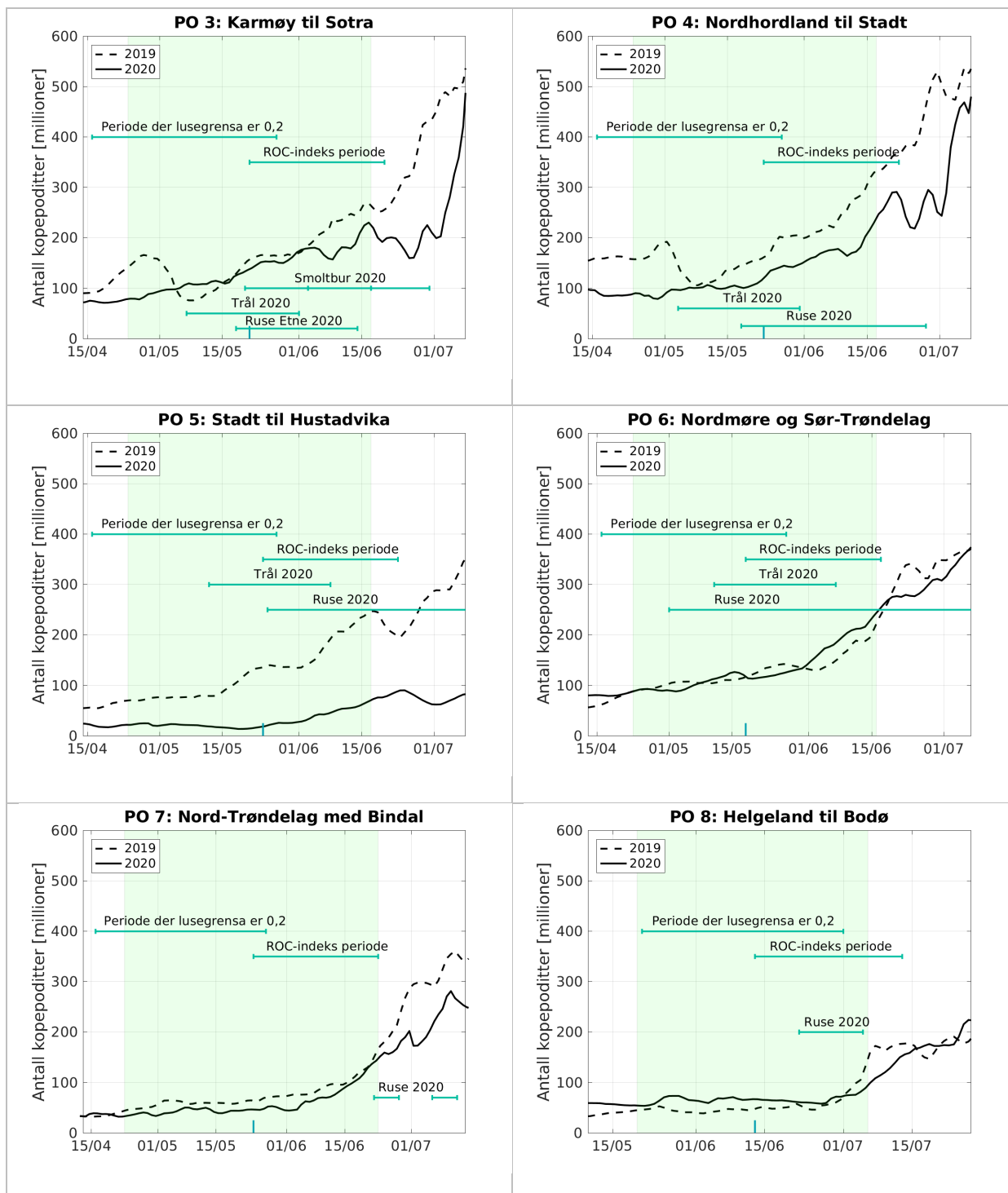
PO11: Den totale mengden kopepoditter er lik eller lavere i 2020 enn i 2019. Den totale mengden kopepoditter holder seg relativt stabil gjennom utvandningsperioden. Modellresultatene er lite følsomme for tiden vi integrerer.

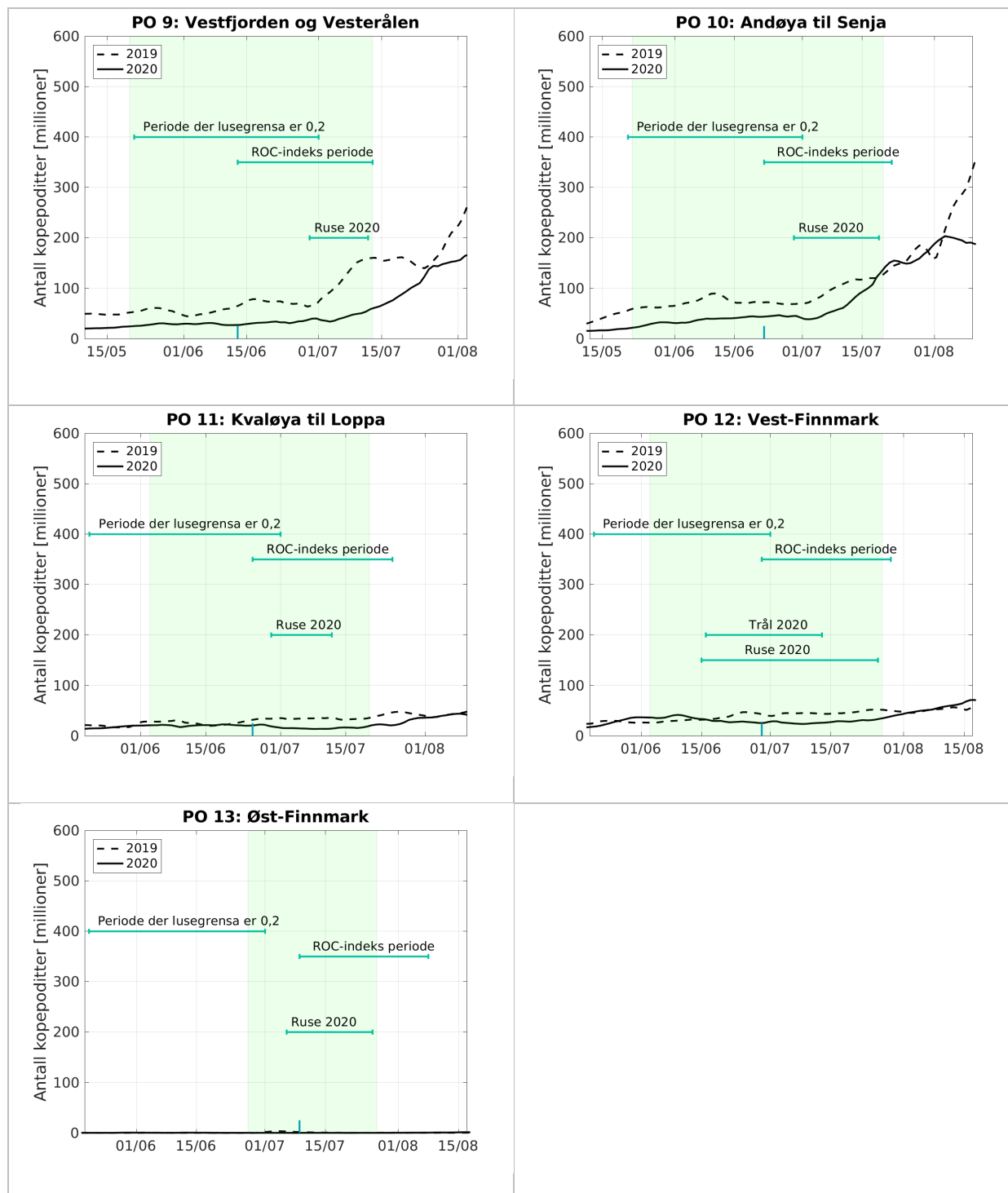
PO12: Den totale mengden kopepoditter er om lag lik i 2020 og 2019. Den totale mengden kopepoditter holder seg relativt stabil gjennom utvandningsperioden. Modellresultatene er lite følsomme for tiden vi integrerer.

PO13: Den totale mengden kopepoditter er om lag lik i 2020 og 2019. Den totale mengden kopepoditter holder seg stabilt lav gjennom utvandningsperioden. Modellresultatene er lite følsomme for tiden vi integrerer.

5.2 Tidsutvikling av kopepoditter innen produksjonsområdene



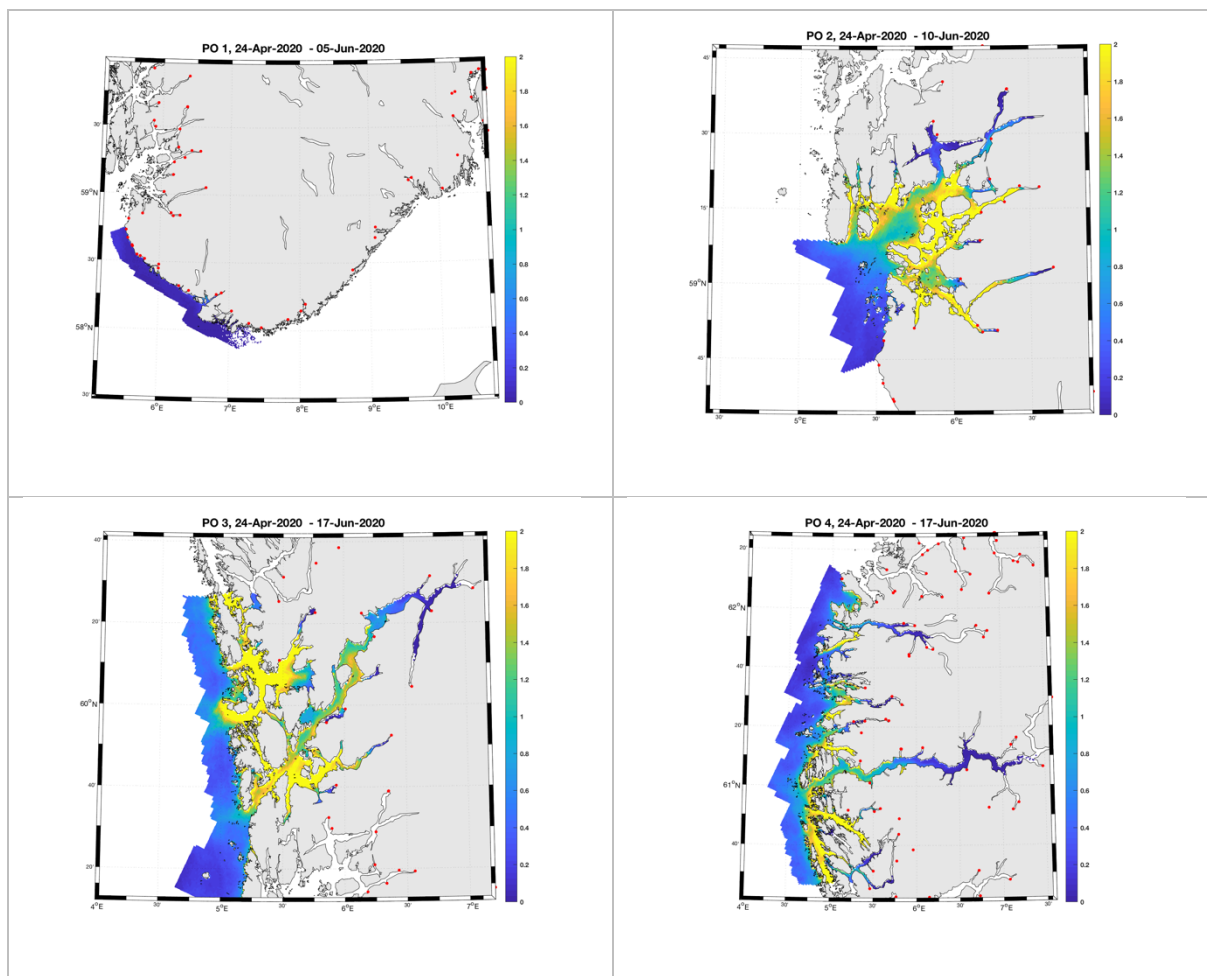


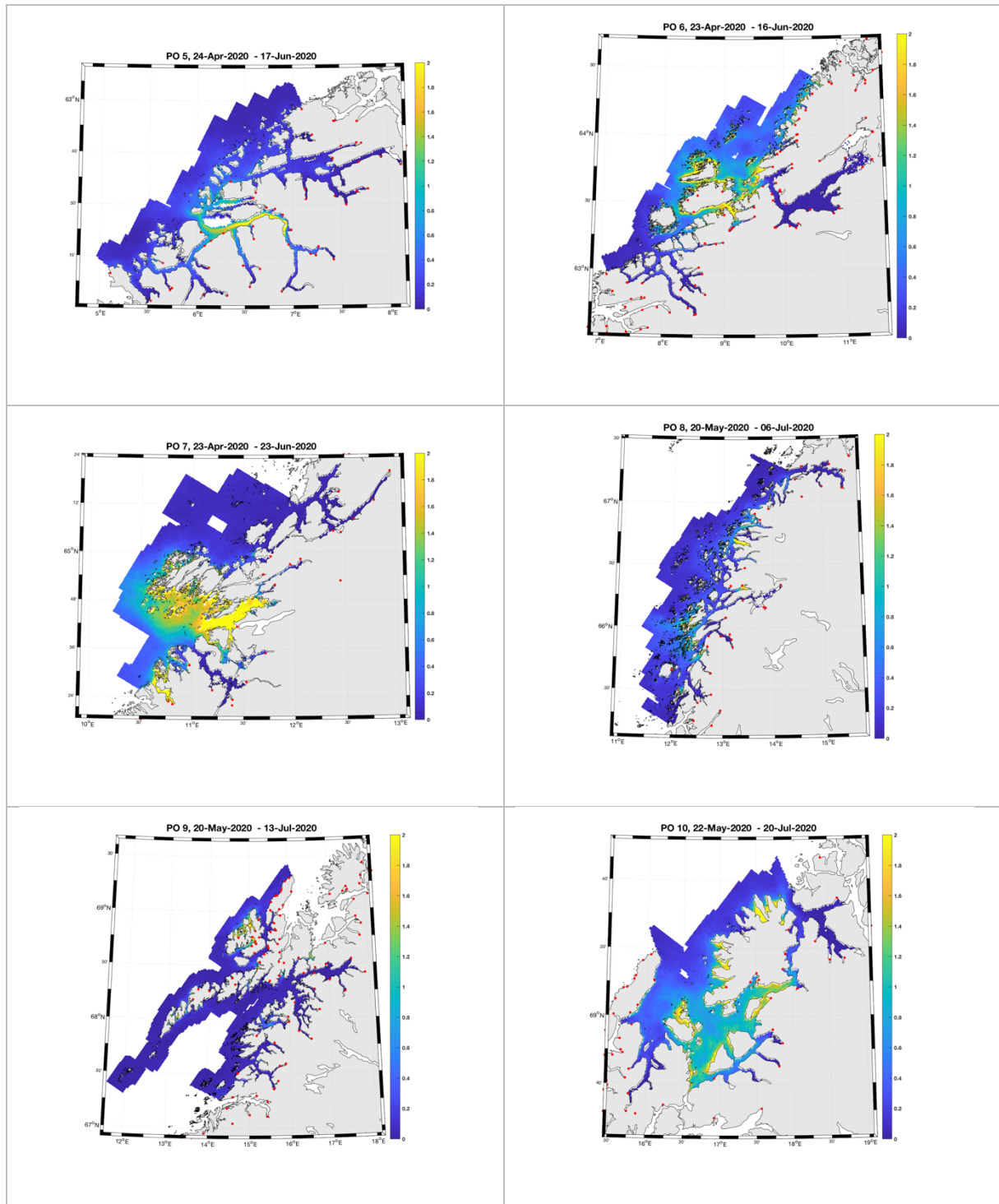


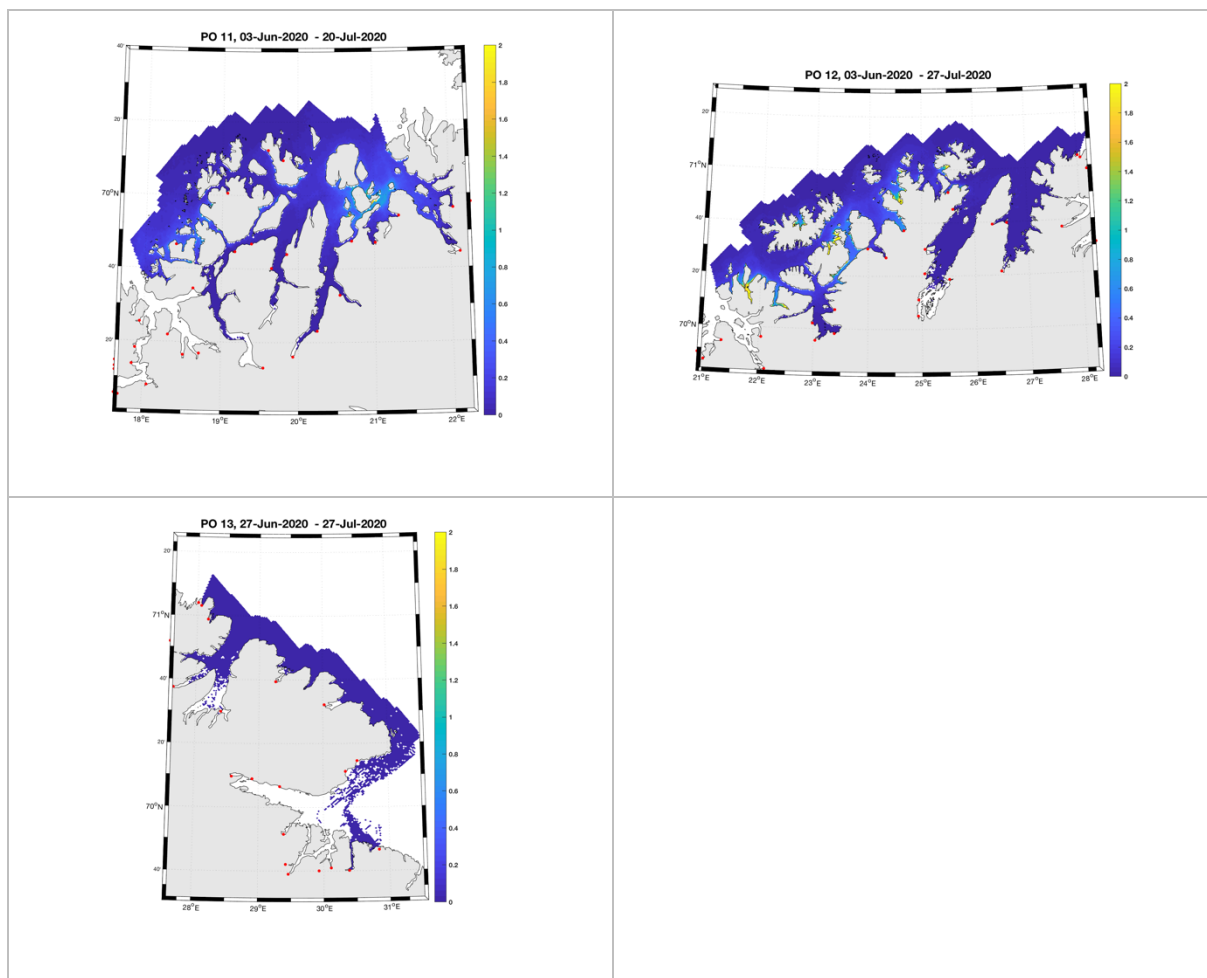
Figur 3. Tidsutviklingen av antall smittsomme kopepoditter i hvert produksjonsområde for 2019 og 2020, beregnet med den hydrodynamiske spredningsmodellen for lakselus. De grønne skraverte områdene markerer tidsrommet for smoltutvandring i de ulike POene. Grønne horisontale linjer markerer tidsrommet da lusegrensa er 0.2 voksne holus per fisk, ROC-index perioden og tidsrommet da vi har observasjoner av lus på fisk fanget i trål, garn/ruse eller smoltbur.

5.3 Geografisk fordeling av kopepoditter

Sluttproduktet fra lakselusmodellen er antallet smittsomme kopepoditter i produksjonsområdene til enhver tid. Med de variasjonene som er vist i figur 3 er det egentlig umulig å lage kun ett kart med horisontal fordeling som er representativ for hele utvandningsperioden. Vi har tidligere vist kart der kopepodittene har blitt summert over 30 dager rundt den datoen det er estimert at 50 % av smolten vandrer fra elv til hav. For de produksjonsområdene der mengden kopepoditter endrer seg betydelig i løpet av utvandningsperioden blir dette et dårlig mål. Vi viser derfor i figur 4 summen over hele utvandningsperioden. Tiden det tar en postsmolt å vandre fra elven til havet vil variere mye mellom de ulike elvene. Dette er diskutert i Appendiks VI, der det også er estimert dødelighet per elv og samlet per PO.





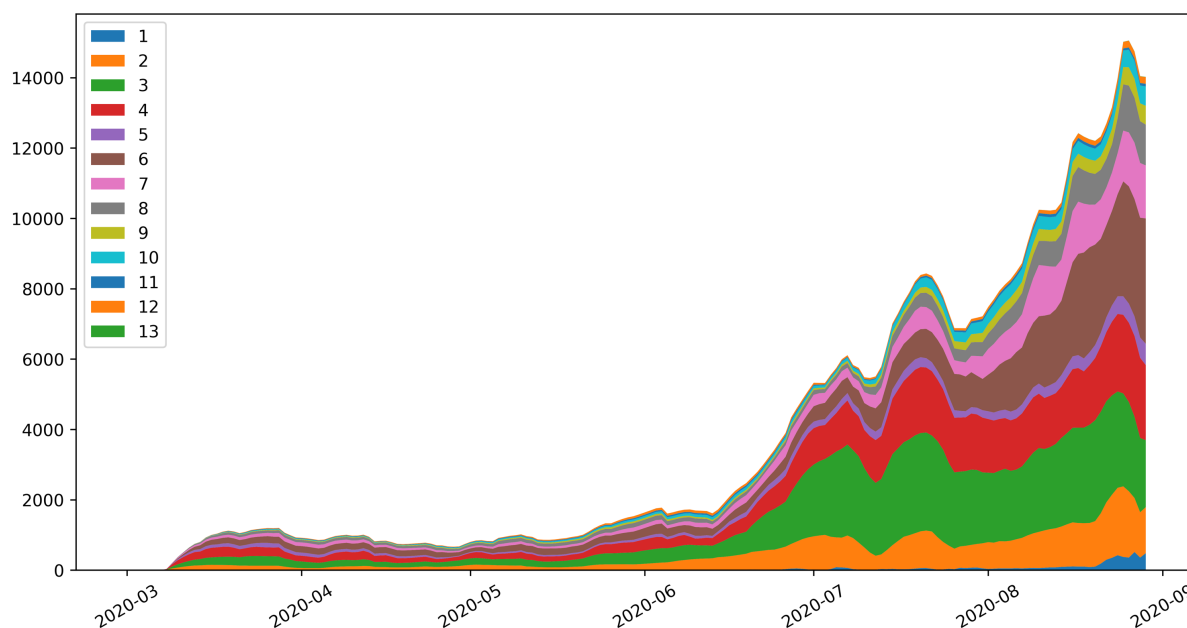


Figur 4. *Tetthet av smittsomme kopepoditter mellom overflaten og 2m dyp, 2020. Figurene viser antall per kvadratmeter. Beregningen er gjort med den hydrodynamiske spredningsmodellen for lakselus. Skalaen går til 2, i de gule områdene kan verdiene være betydelig høyere.*

6 Utveksling mellom produksjonsområdene

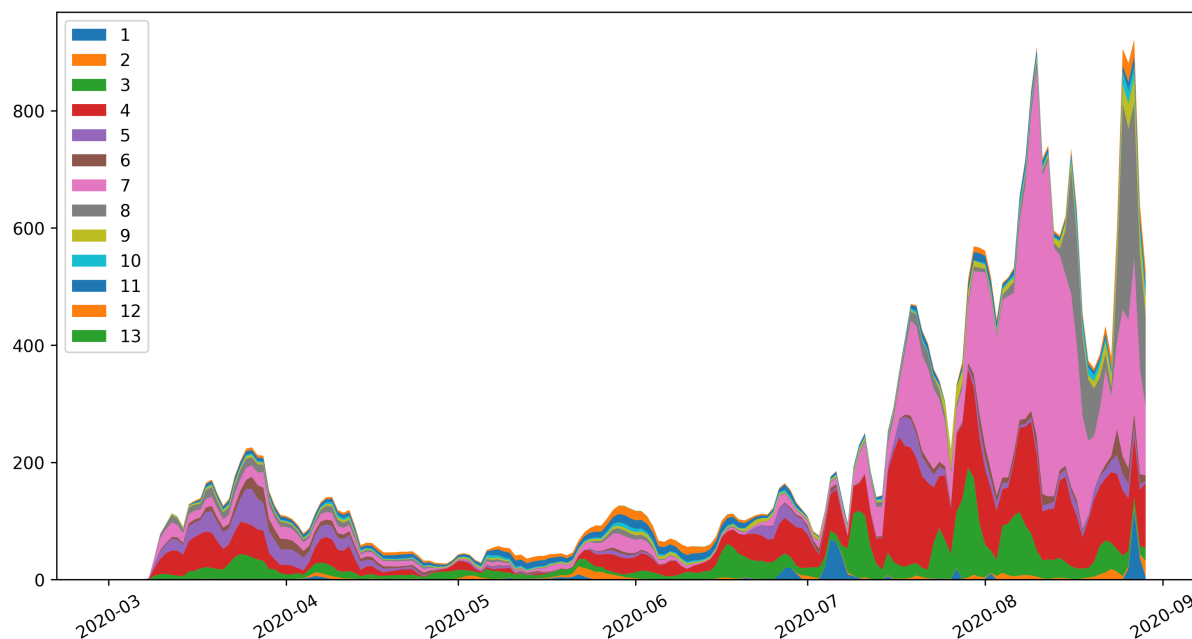
Produksjonsområdene ble designet for å minimere utveksling av lakseluslarver mellom områdene, slik at de i høyest mulig grad skal være selvstendige forvaltningsenheter. Mer presist, designkriteriet i områderapporten var å minimere utveksling mellom *oppdrettslokaliteter* på tvers av produksjonsområdene (Ådlandsvik, 2015). I dette kapitlet vurderes import av lusesmitte til produksjonsområdene uavhengig av nærhet til oppdrettslokaliteter. Dette kan gi en forskjell hvis lokalitetene ikke er jevnt fordelt i produksjonsområdet og kan være mer representativt for smittepress til vill laksefisk. Analysen ser på alle kopepoditter uavhengig av dyp (i kapittel 5 ser vi bare på kopepoditter i de to øverste meterne av vannsøylen). Analysen ser bort fra kopepoditter som havner langt til havs og ser på kystnære kopepoditter (opp til 9,6 km fra kystlinjen). Dette er samme grense som brukes til beregning av ROC-indeksen (se figurer i kapittel 3 for avgrensning i de ulike POene).

Antall kystnære kopepoditter i produksjonsområdene varierer ganske mye i løpet av sesongen, som vist i figur 5. Etter oppspinning av modellen i første halvdel av mars holder det totale antallet seg relativt lavt og konstant fram til midten av mai, så stiger det noe i de fleste POene frem til midten juni, for derfra å stige raskt (detaljer per PO er vist i figur 3 og diskutert kapittel 5.2).



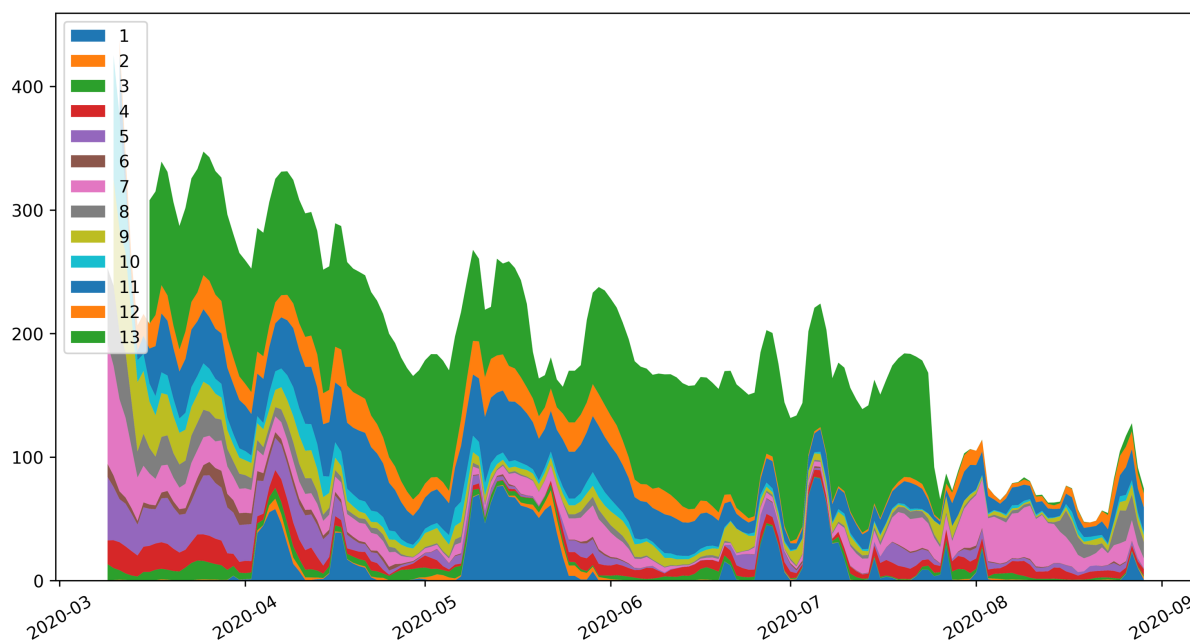
Figur 5. *Antall kystnære kopepoditter i produksjonsområdene. Enhet er millioner kopepoditter.*

Figur 6 viser absolutt antall importerte kopepoditter i produksjonsområdene. Figuren viser betydelig variabilitet gjennom sesongen, med et minimum i transport mellom områdene i april/mai. Det er generelt størst transport inn til PO3, PO4 og PO7.



Figur 6. *Antall importerte kystnære kopepoditter i produksjonsområdene. Enhet er millioner kopepoditter.*

Figur 7 viser prosentandelen av importerte kopepoditter i produksjonsområdene. Figuren viser betydelig variabilitet på ukesskala. PO 13 skiller seg ut med høy importandel (tidvis opp mot 100%), noe som skyldes ubetydelig egenproduksjon av lakseluslarver i PO13 som vist i Figur 3. PO1 har episodevis høy importandel. Dette er også et område med lav egenproduksjon av kopepoditter. Episodiske vindforhold gjør at kopepoditter fra PO2 kan transporteres sørover og slå inn nær kysten i PO1. Tidlig i sesongen har PO5 relativ høy importandel mens PO7 får en høy andel på sommeren.



Figur 7. *Prosentdel av importerte kystnære kopepoditter i produksjonsområdene.*

Informasjonen i figur 7 er oppsummert mer kvantitativt i tabell 1. Totalandelen av import til området (nederst rad i tabell 1) beregnes utfra det totale antallet kystnære kopepoditter og preges derfor av sommer verdiene hvor antall kopepoditter er høyest (figur 5). Den midlere importandelen er 7%. Totalandel over 10% inntreffer i produksjonsområdene 7, 11, 12 og 13. De tre siste har generelt lave lusetall. Det er normalt relativ høy import av kopepoditter i PO7 som vist i områderapporten. Dette kan bl.a. skyldes Vikna som stikker ut i havet som en stor "lusefelle". En annen faktor er den spesielt høye luseproduksjonen i PO6 i 2020 (Figur 2).

Tabell 1 : Importrater av kopepoditter i prosent til de ulike produksjonsområdene.

	PO1	PO2	PO3	PO4	PO5	PO6	PO7	PO8	PO9	PO10	PO11	PO12	PO13	Total
Apr	14	1	6	9	19	3	13	6	11	11	41	22	99	12
Mai	25	3	4	5	5	0	12	2	7	7	40	23	68	9
Jun	14	0	2	7	5	0	4	1	8	2	24	11	97	5
Jul	20	0	2	7	5	0	17	3	5	0	14	3	49	7
Aug	4	0	1	6	3	0	24	10	3	2	12	8	2	8
Total	8	0	2	6	5	0	19	7	4	2	20	10	16	7

7 Referanser

- Albretsen, J., Sperrevik, A.K., Staalstrøm, A., Sandvik, A.D., Vikebø F. and Asplin, L., 2011. NorKyst-800 report no. 1: User manual and technical descriptions. Fisken og Havet nr. 2/2011, 51 pages.
- Asplin, L., Boxaspen, K.K. & Sandvik, A.D. 2011. Modeling the distribution and abundance of planktonic larval stages of *Lepeophtheirus salmonis* in Norway. In S.R.M. Jones and R.J. Beamish (eds.) *Salmon Lice: An integrated approach to understanding parasite abundance and distribution*. Wiley-Blackwell, Hoboken, New Jersey, pp. 31-50.
- Asplin, L., Johnsen, I.A., Sandvik, A.D., Albretsen, J., Sundfjord, V., Aure, J. & K.K. Boxaspen. 2014. Dispersion of salmon lice in the Hardangerfjord. *Marine Biology Research*, 10:3, 216-225, DOI:10.1080/17451000.2013.810755.
- Asplin L, Johnsen IA, Sandvik AD, Albretsen J, Sundfjord V, Aure J, et al. (2014). Dispersion of salmon lice in the Hardangerfjord. *Mar Biol Res*. 10: 216-225.
- Asplin L, Albretsen J, Johnsen IA, Sandvik AD (2020). The hydrodynamic foundation for salmon lice dispersion modeling along the Norwegian coast. *Ocean Dynamics*. <https://doi.org/10.1007/s10236-020-01378-0>
- Browman, H., Boxaspen, K.K., Kuhn, P., 2004. The effect of light on the settlement of the salmon louse, *Lepeophtheirus salmonis*, on Atlantic salmon, *Salmo salar* L., *Journal of Fish Disease*, 27, 701-706.
- Dalsøren, SB, Albretsen J, Asplin. L. New validation method for hydrodynamic fjord models applied in the Hardangerfjord, Norway, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2020, 107028, ISSN 0272-7714, <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.107028>.
- Frenzl, B., 2014. Understanding key factors associated with the infection of farmed Atlantic salmon by the salmon louse *Lepeophtheirus salmonis*. PhD avhandling ved Institute of Aquaculture, University of Sterling, Skottland. 165 sider.
- Genna, R.L., Mordue, W., Pike, A.W., Mordue (Luntz), A.J., 2005. Light intensity, salinity, and host velocity influence presettlement intensity and distribution on hosts by copepodids of sea lice, *Lepeophtheirus salmonis*, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 62, 2675-2682.
- Johnsen, I.A., Fiksen, Ø., Sandvik, A.D., Asplin, L., 2014. Vertical salmon lice behaviour as a response to environmental conditions and its influence on regional dispersion in a fjord system, *Aquaculture Environment Interactions*, 5, 127-141. DOI: 10.3354/aei00098.
- Johnsen, IA., Asplin, L., Sandvik, AD., Serra-Llinares, RM., 2016. Salmon lice dispersion in a northern Norwegian fjord system and the impact of vertical movements. *Aquaculture Environment Interactions*, 8: 99-116, DOI: 10.3354/aei00162.
- Johnsen IA, Stien LH, Sandvik AD, Asplin L, Oppedal F (2020) Optimal estimation of lice release from aquaculture based on ambient temperatures. *Aquacult Environ Interact* 12:179-191. <https://doi.org/10.3354/aei00358>

Myksvoll, M.S., Sandvik, A.D., Albretsen, J., Asplin, L., Johnsen, I.A., Karlsen, Ø., Kristensen, N.M., Melsom, A., Skarðhamar, J. and Ådlandsvik, B. (2018) Evaluation of a national operational salmon lice monitoring system – from physics to fish. *PLoS ONE*, 13(7): e0201338.

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

Nilsen, R. m.fl., 2017. Lakselusinfestasjon på vill laksefisk langs norskekysten i 2016, Rapport fra Havforskningen, Nr1-2017, 56 sider.

Sandvik, A.D., Bjørn, P.A., Ådlandsvik, B., Asplin, L., Skarðhamar, Johnsen, I.A., Myksvoll, M., Skogen, M.D., 2016. Toward a model-based prediction system for salmon lice infestation pressure. *Aquaculture Environment Interactions*, 8: 527-542, doi:10.3354/aei00193.

Sandvik AD, Asplin L og Skarðhamar J, 2019. Modellering av smittsomme lakseluslarver - bakgrunnsdata for Havforskningsinstituttets modellprodukt til Trafikklyssystemet, 2019. [*Rapport fra Havforskningen* 2019-53](#)

Sandvik AD, Ådlandsvik B, Asplin L, Johnsen IA, Myksvoll MS, Albretsen J (2020a) Lakselus LADiM V2, <https://doi.org/10.21335/NMDC-410516615>

Sandvik AD, Johnsen IA, Myksvoll MS, Sævik PN, Skogen MD, Prediction of the salmon lice infestation pressure in a Norwegian fjord, *ICES Journal of Marine Science*, Volume 77, Issue 2, March 2020 (b), Pages 746–756, <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsz256>

Sandvik, A.D., Skagseth, Ø., Skogen M.D., 2016. Model validation: Issues regarding comparisons of point measurements and high-resolution modeling results, *Ocean Modelling*, 106, 68-73.

Skardhamar J, Albretsen J, Sandvik AD, Lien VS, Myksvoll MS, Johnsen IA, Asplin L, Ådlandsvik B, Halttunen E, Bjørn PA. Modelled salmon lice dispersion and infestation patterns in a sub-arctic fjord. *ICES J Mar Sci*. 2018; <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsx225>

Ådlandsvik B, Morvik A, Sandvik AD 2017: «Salmon Lice Modelling at IMR - Source Term», <https://docs.google.com/document/d/1zjAG6jxURC7UwVAVdZJseR13ZDRRfZkxYc9nyXEb46A/edit?ts=5880a9e5#heading=h.bz2blmmrwuqn>

Ådlandsvik, B., 2015, Forslag til produksjonsområder i norsk lakse- og ørretoppdrett. Rapport fra Havforskningen. 2015;20, 59 s. Havforskningsinstituttet. https://www.hi.no/filarkiv/2015/12/produksjonsomrader_rapp_20-2015.pdf/nb-no



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

Postboks 1870 Nordnes

5817 Bergen

Tlf: 55 23 85 00

E-post: post@hi.no

www.hi.no