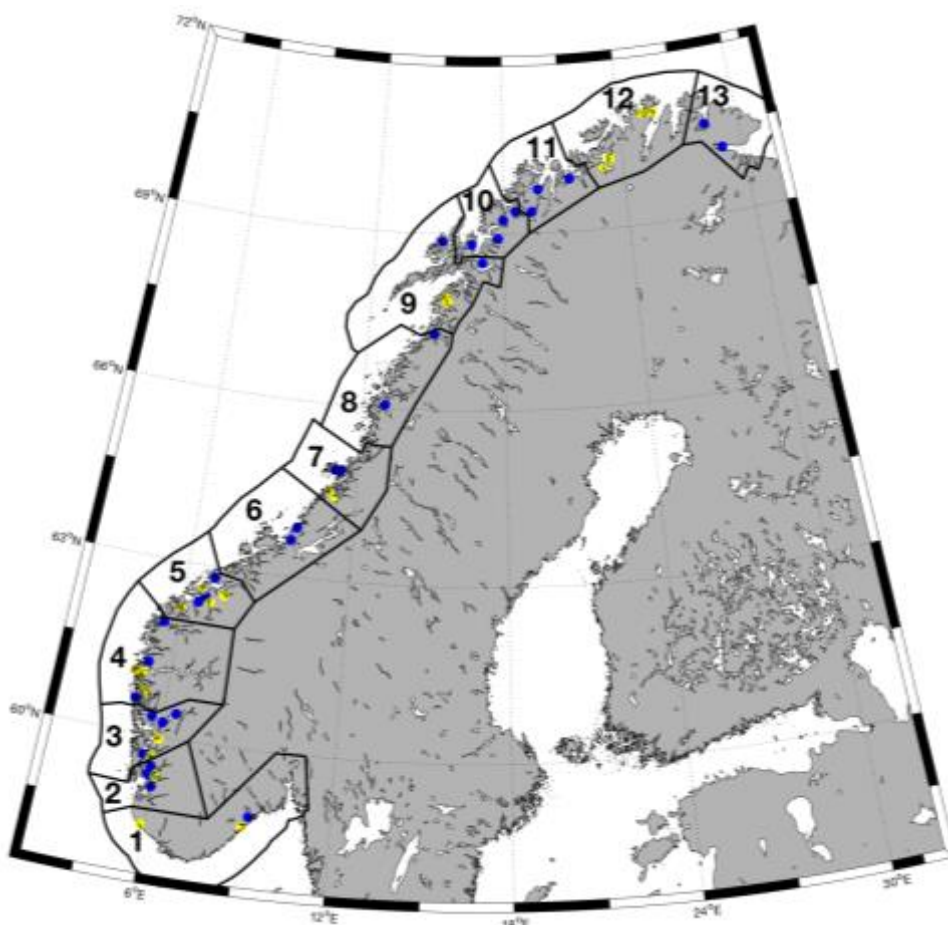


# Hydrodynamisk spredningsmodell for lakselus og konsentrasjon av smittsomme kopepoditter langs Norskekysten – 2012 - 2017

Anne D. Sandvik, Lars Asplin, Jon Albretsen, Pål Arne Bjørn, Ingrid A. Johnsen, Jofrid Skarøhamar, Mari S. Myksvoll, Bjørn Ådlandsvik



**Figur 1:** NALO posisjoner 2015 (gul) og 2016 (blå), og alle 13 produksjonssonene.

## **Innhold**

1. *Bakgrunn*
2. *Strømmodellsystem*
3. *Spredningsmodell for lakselus*
  - 3.1. *Kildeleddet*
4. *Modellresultater*
5. *Modellresultatvalidering*
6. *Modellprodukter*
  - 6.1. *Tidsutvikling av kopepoditter innen produksjonsområdene*
  - 6.2. *Geografisk fordeling av kopepoditter*
7. *Fakta om produksjonsområdene*
8. *Referanser*

### **1. 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 overvåkning på

[http://www.imr.no/temasider/parasitter/lus/lakselus/overvaking\\_av\\_lakselus\\_1/nb-no](http://www.imr.no/temasider/parasitter/lus/lakselus/overvaking_av_lakselus_1/nb-no).

Lakselusmodellen er egentlig en sammenkopling av en rekke ulike modeller som først beregner utslipp av lakselus fra alle rapporteringspliktige oppdrettsanlegg i landet. Når luselarvene så er klekket direkte inn i vannmassene (representert ved spredningsmodellen) opplever de temperatur, saltholdighet og strøm i den posisjonen de befinner seg. Basert på tilgjengelig kunnskap om biologi, adferd og dødelighet blir det beregnet hvordan larvene sprer seg i vannmassene, først som ikke smittsomme naupliene og videre som smittsomme kopepoditter. Sluttproduktet er tetthet av smittsomme lakseluslarver (kopepoditter) langs hele kysten en gang i timen.

Vi vet at tetthet av lakselusopepoditter er proporsjonal med sannsynligheten for smitte på villfisk 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). Dette er en naturlig konsekvens av lakselusenes vertikale posisjonering i et 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/temasider/parasitter/lus/lakselus/90683/nb-no> og Asplin m.fl. 2014) og viser at en fullstendig beskrivelse av hvilken fordeling lakselusopepoditter har langs kysten, bare kan gjøres gjennom å modellere spredning med bruk av informasjon om realistisk strøm, saltholdighet og temperatur.

Modellresultater for kopepodittfordeling blir hele tiden vurdert mot lakseluspåslag på villfisk fra observasjoner i felt for å etablere så presise kvantitative relasjoner som mulig. Modellsystemet for spredning av lakselus baserer seg på eksisterende og veldokumenterte metoder, der modellene for strøm har mye til felles med værvarslings- og klimamodeller som har et omfattende vitenskapelig miljø for utvikling og validering, samt håndtering av usikkerhet.

En kan også anvende modellsimuleringer for å teste ulike scenarier, som for eksempel konektivitet mellom oppdrettsanlegg, effekten av tiltak (medisinske eller preventive) og lokalisering av oppdrettsanlegg.

## 2. Strømmodellsystem

[http://www.imr.no/temasider/modeller/kvstmodellen/kvstmodellen\\_norkvst800/nb-no](http://www.imr.no/temasider/modeller/kvstmodellen/kvstmodellen_norkvst800/nb-no)

Prinsippet for å skaffe informasjon om strøm er å inkludere en så fullstendig beskrivelse av de ulike fysiske prosessene og drivkrefter som vind, tidevann og ferskvannsavrenning som mulig. Dessuten trenger en geografisk informasjon om bunndyp i forhold til modellopløsningen. Modellsystemet beregner strøm, vannstand og hydrografi prognostisk ved hjelp av numeriske teknikker med et tre-dimensjonalt beregningsgitter, og strømmodellen vi anvender er for tiden Regional Ocean Modeling System (ROMS, [www.myroms.org](http://www.myroms.org); Albretsen m.fl., 2011). Gitteroppløsningen er 800 m horisontalt, og vi må anvende spesielle tungregnemaskiner for å gjennomføre simuleringene. Vi kjører modeller med høyere romlig oppløsning (typisk 160 m) ved behov. Vertikalt benytter vi nå 35 nivåer med høy oppløsning i de øvre 10 m for å fange opp den vertikale dynamikken som intensiveres mot overflaten. Atmosfæriske drivkrefter (vind og stråling) henter vi fra en separat vindmodell (WRF, [www.wrf-model.org](http://www.wrf-model.org), eller operasjonelle atmosfæreprognoser fra Meteorologisk institutt) og åpne grenseverdier mot havet tas fra havmodellresultater med større geografisk utstrekning og verdier minst hver time.

Strømmodellresultater valideres fortløpende mot observasjoner av strøm og hydrografi i den utstrekning disse finnes. Eksempler på dette kan finne i Asplin m.fl. (2014), Johnsen m.fl. (2014), Johnsen m.fl. (2016), Sandvik m.fl. (2016).

Resultater fra strømmodellen ligger i *Appendix II: Fysisk miljø*.

## 3. Spredningsmodell for lakselus

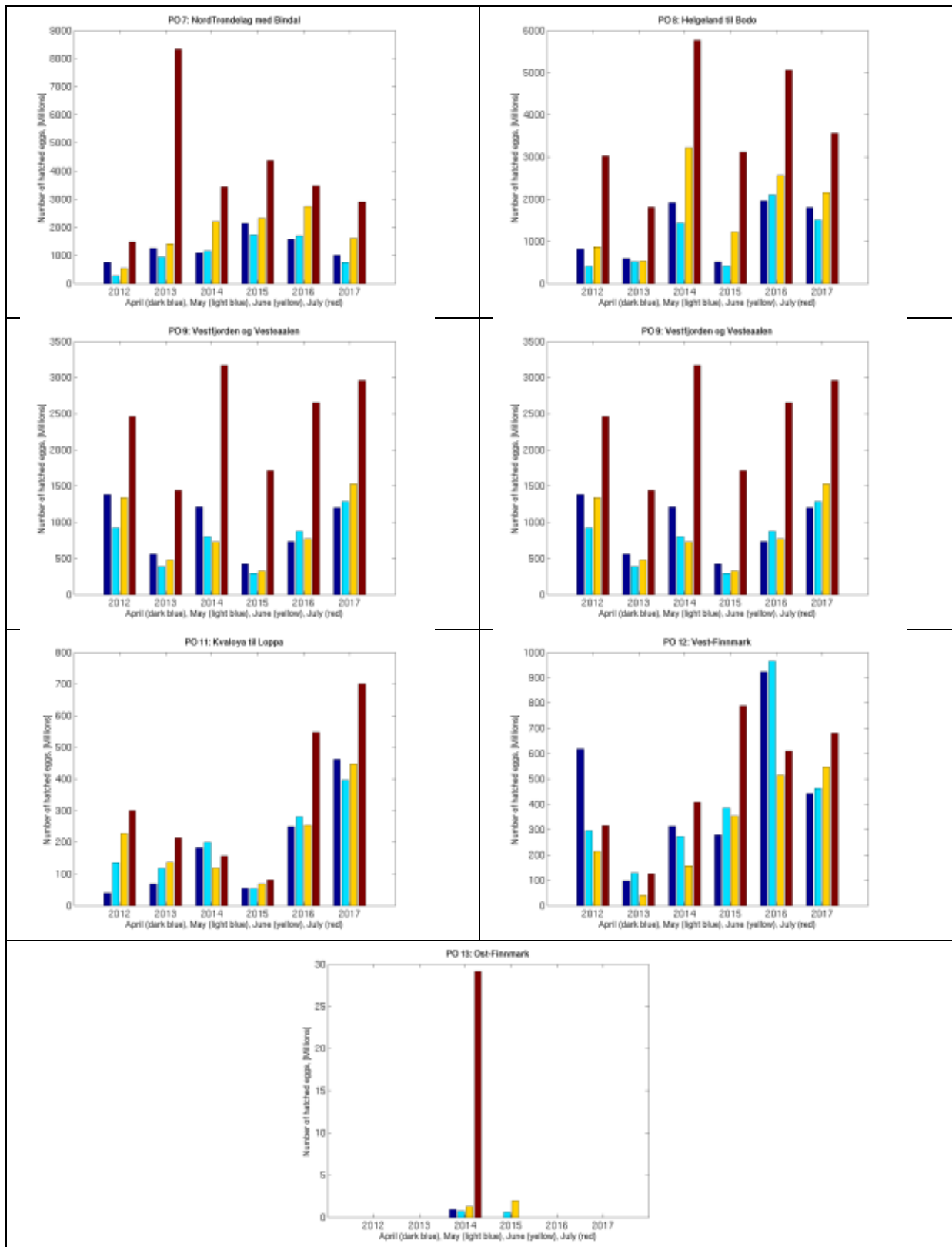
<http://www.imr.no/temasider/parasitter/lus/lakselus/90683/nb-no>

Vi har valgt å spre planktonisk lakselus som **partikler** og beregne spredningsprosessen, vekst, adferd og dødelighet basert på informasjon fra litteraturen og fra 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. I tillegg vil den vertikale forflytningen inneholde småskala turbulent bevegelse.

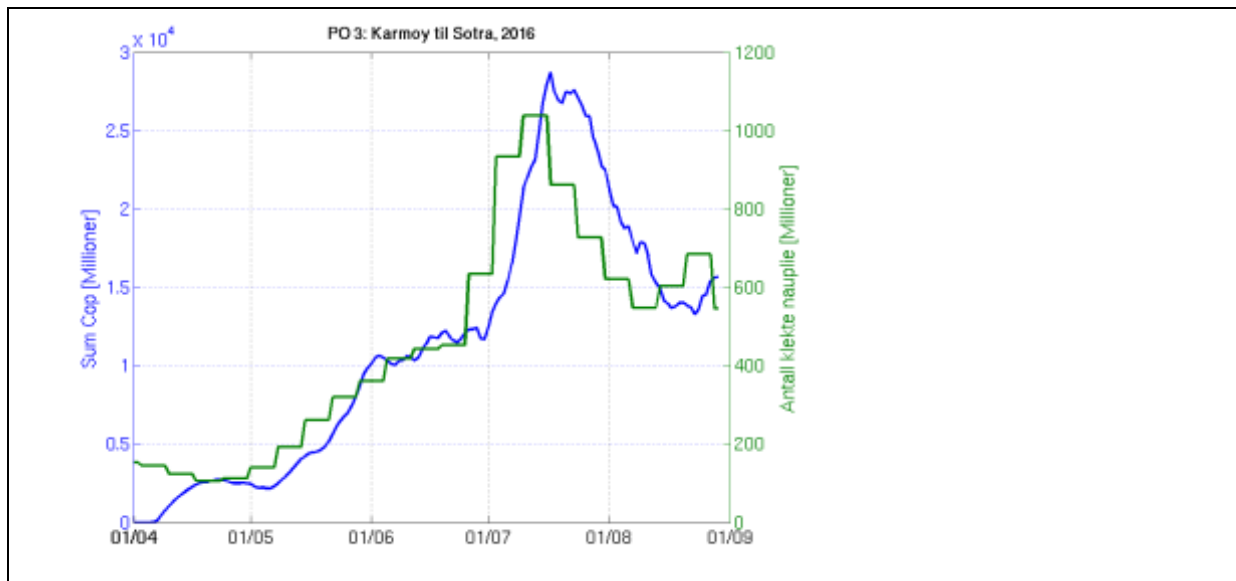
Lakselusa vil vokse og utvikle seg som en funksjon av temperatur, og vi modellerer dette ved å bruke døgngrader som er tid multiplisert med omgivelsestemperatur. Grensene for når lakselusa er i de to første nauplie-stadiene og når det er i det smittsomme kopepodittstadiet angis i døgngrader og er basert på laboratoriestudier. Det smittsomme kopepodittstadiet er antatt å være mellom 40 og 170 døgngrader (Samsing m.fl., 2016) Ved høyere vanntemperatur vil altså lakselusa raskere bli kopepoditt samtidig som levetiden som kopepoditt er kortere.

I forhold til kvantitative mål for lakseluskonsentrasjon vil dette hovedsaklig være avhengig av hvor mange nauplier som klekkes (kildeledd, hovedsaklig lus på oppdrettsfisk) og hvor stor dødeligheten er. Begge ledd inneholder i dag (og i overskuelig fremtid) usikkerheter, og selv om vi benytter best tilgjengelig kunnskap forventer vi at det er et potensiale for å forbedre





**Figur 2:** Kildeleddet (antall klekte nauplier) integrert over produksjonsområde. Merk at skalaen på y-aksen varierer mellom produksjonsområdene.

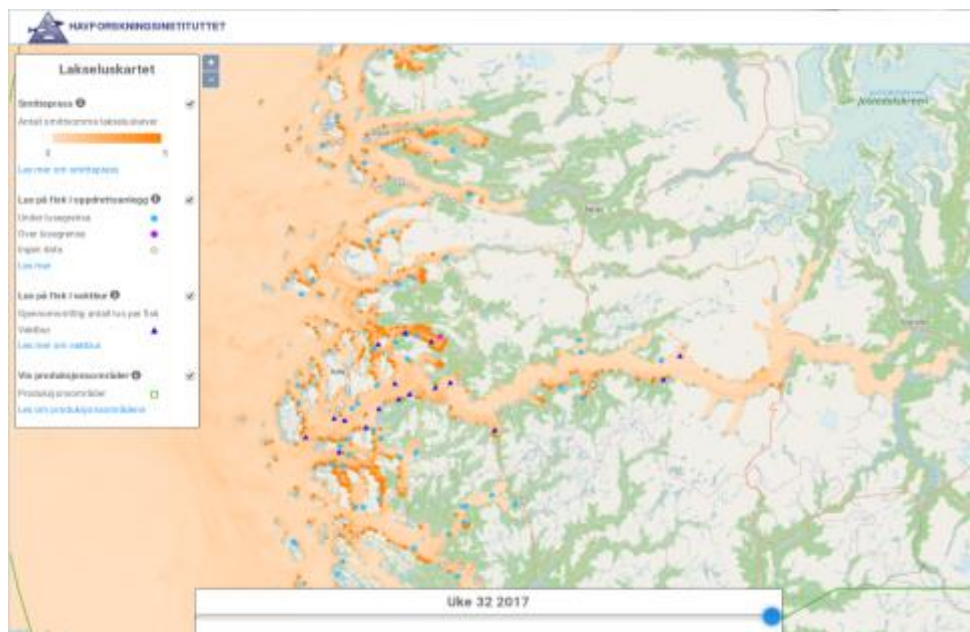


**Figur 3:** Sum over antall nyklekte nauplier (grønn) og sum over antall smittsomme kopepoditter (blå) i produksjonsområde 3. Kurvene følger hverandre, men kopepodittene ligger litt etter naupliene og har lavere verdi pga en konstant dødelighet på 17% per dag.

#### 4. Modellresultater

Sluttproduktet fra lakselusmodellen er en geografisk fordeling av planktonisk lakselus (stadiefordelt på nauplier og kopepoditter) time for time for en tidsperiode. Dette summeres gjerne til konsentrasjon pr. m<sup>2</sup>, eventuelt bare for den øvre delen av vannsøylen 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 lakselusnauplier som slippes ut. Dette siste får vi gjennom den rapporteringen industrien gir ukentlig for antall lus og månedlig for biomasse. Ideelt sett skulle denne informasjonen vært tilgjengelig hyppigere. I 2016 har Havforskningsinstituttet gjennomført operasjonelle simuleringer av lakseluskonsentrasjoner langs Norskekysten basert på rapporter fra alle oppdrettsanlegg i drift samt resultater fra Meteorologisk institutts operasjonelle simuleringer av strøm med modellen NorKyst800 (Figur 4). Resultatene lagres ukentlig som 10-dagers gjennomsnittsverdier på Havforskningsinstituttets webside (<http://webprod1.nodc.no:8080/smittepress/v1/>).



**Figur 4.** Eksempel på fordeling av smittsomme lakseluskoepoditter. Fordelingen gjelder for perioden 2-11. august 2017 og viser antall koepoditter pr. m<sup>2</sup> i område rundt Sognefjorden. Figuren er hentet fra Havforskningsinstituttets operasjonelle lusesimulering (<http://hi.no/lakseluskart/html/lakseluskart.html>).

For områder av særskilt interesse eller der kystlinjen tilsier at vi trenger høyere romlig oppløsning enn NorKyst800 (800 m gitter), gjennomfører vi rutinemessig spredningssimuleringer med strømmmodellresultater fra 50m til 160m (andre områder kan simuleres ved behov).

## 5. Modellresultatvalidering

Det er viktig å kunne bestemme i hvilken grad modellresultatene gir en realistisk beskrivelse av det smittetrykket de ville laksefiskene opplever. Validering av denne type modellsystem er imidlertid ingen enkel øvelse. For det første estimerer modellen antall smittsomme lakseluskoepoditter (smittedose), mens de aller fleste observasjoner er fra tellinger av lakselus (koepoditter og andre stadier) som sitter på fisken (smitterespons). Vi trenger altså å etablere en sammenheng mellom antall koepoditter i vannmassene og det antallet som fester seg på fisken. Det finnes noen studier som beskriver hvordan temperatur, saltholdighet og strøm påvirker smitteprosessen. Det er vist at smitteeffektiviteten er påvirket av temperatur, saltholdighet og strømhastighet (Tucker m.fl., 2000; Browman m.fl., 2004; Genna m.fl., 2005; Frenzl, 2014). Hvordan man skal representere denne smitteprosessen som en funksjon av flere variable er imidlertid enda ikke beskrevet i litteraturen, og som en første ordens tilnærming antar vi en lineær sammenheng mellom smittedose og smitterespons for individuell fisk. For det andre må vi finne en best mulig måte å sammenligne diskrete punktobservasjoner som har grov tidsoppløsning med modellresultater som har god oppløsning i både tid og rom. Dette er heller ikke rett frem og det er mulig å velge flere fremgangsmåter, samt ulike parametre som sier noe om kvaliteten på modellproduktet. En oversikt over litteraturen på dette feltet, samt de valg som er gjort for å sammenligne modellresultatene med observasjoner fra smoltbur i Hardangerfjorden er i beskrevet i Sandvik m. fl., 2016.

Resultatene fra Hardangerfjorden, som inkluderer fire år og mer enn 100 ulike datapunkt, viste at fordelingen av lakseluslarver estimert med modellen passet godt sammen med den

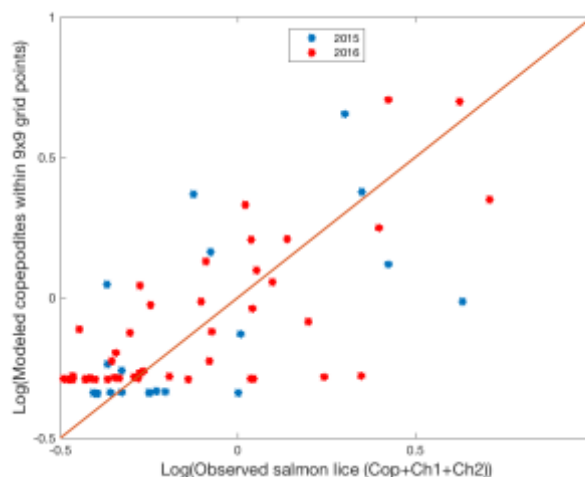
skjeve fordelingen som kom frem i det observerte datasettet, inndelt i infeksjonsklasser. Infeksjonsklassene er definert som under 1 lus i snitt på burfisk (abundans), 1-5 lus, 5-10 lus og mer enn 10 lus. I 78% av burobservasjonene var modellen i stand til å estimere riktig infeksjonsklasse, mens den i 18% av burobservasjonene underestimerte med en luseklasse, mens de resterende 4% ble over eller underestimert med 2 luseklasser. Det ble også vist at den høye treffsikkerheten til modellen er langt over det vi kunne ha oppnådd ved en ren tilfeldighet.

I et pågående arbeid har vi videre sammenlignet modellert fordeling av lakseluskoepoditter med observert mengde lus på villfanget ørret. Vi har kun sett på fisk som ble fanget i den første perioden av overvåkingen (Nilsen m.fl., 2017), siden denne best representerer forventet utvandringstidspunkt for laksesmolt i de ulike områdene. Vi har videre avgrenset til fisk som er mindre enn 150 gram. Perioden strekker seg fra 23. mai på Sørlandet til slutten av juni i Finnmark. Datagrunnlaget fra 2015 utgjør da 1088 fisk fordelt på 21 stasjoner og fra 2016 var det 1733 fisk fordelt på 44 stasjoner. Fra observasjonene har vi summert opp antall tidlige lus (koepoditter, chalimus 1+2) og beregnet totalt antall lus relativt til vekt (lus per gram kroppsvekt) i gjennomsnitt for hver stasjon. Fra modellen har vi beregnet antall koepoditter innenfor ulike radius fra observasjonspunktet (3x3, 5x5, 9x9 gridruter), midlet i rom og summert over en tre ukers periode som inkluderer de to ukene prøvofisket har foregått og en uke i forveien (Tabell 1, Figur 5).

**Tabell 1:** Spearman rank korrelasjon mellom observasjoner (tidlige stadier og relativt antall per gram) og modellresultater i ulike radius omkring observasjonspunktet (3x3, 5x5, 9x9 gridpunkter).

2015/2016	Tidlige stadier	Totalt antall (lus/gr)
3x3 gridruter	0,61/0,57	0,63/0,67
5x5 gridruter	0,61/0,64	0,62/0,69
9x9 gridruter	0,71/0,69	0,73/0,72

Når man slår sammen de to ulike årene til en lang serie blir korrelasjonen 0,675 for tilfellet med tidlige stadier og 9x9 gridpunkter (0,71/0,69). Ellers er tidsseriene holdt separat fordi antall observasjoner er cirka dobbelt så mange i 2016 sammenlignet med 2015 og stasjonene er ikke nødvendigvis de samme mellom år. 2016 var også det første året med observasjoner i alle produksjonsområder.





**Figur 5.** Sammenheng mellom observerte lusepåslag (tidlige stadier) og modellert konsentrasjon av kopepoditter (9x9 gridruter) for 2015 (blå) og 2016 (rød), tidsseriene er standardisert og plottet på logaritmisk skala for sammenligning.

Sammenligningen viser at modellen viser høy korrelasjon mellom modellert og observert smittepress i hele landet. Kvaliteten på modellresultatene anses derfor som svært god og man kan dermed konkludere at modellen beregner realistisk smittepress i alle produksjonsområdene, både høye og lave verdier.

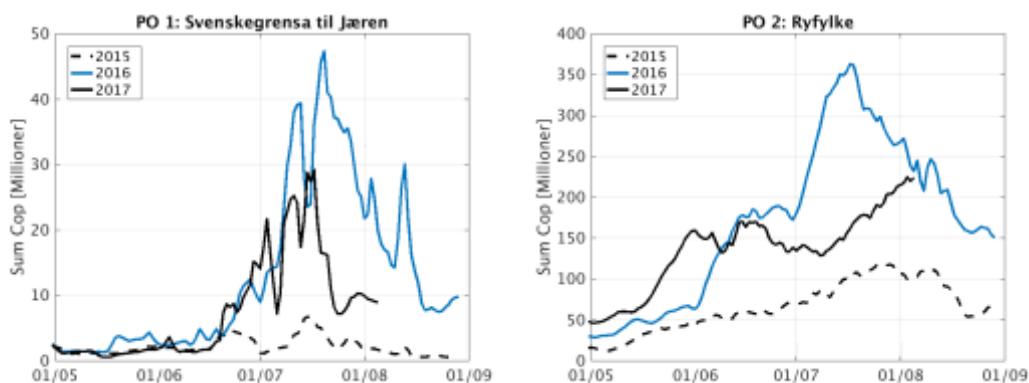
## 6. Modellprodukter

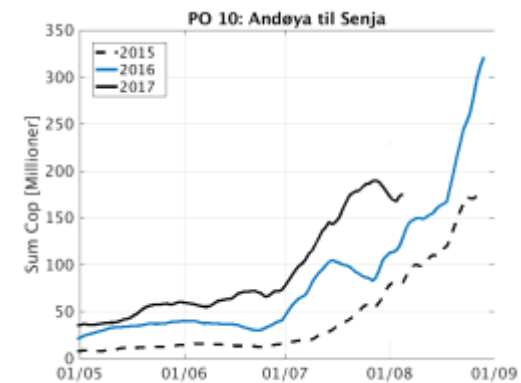
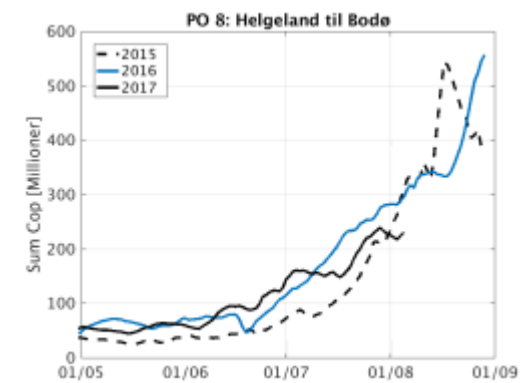
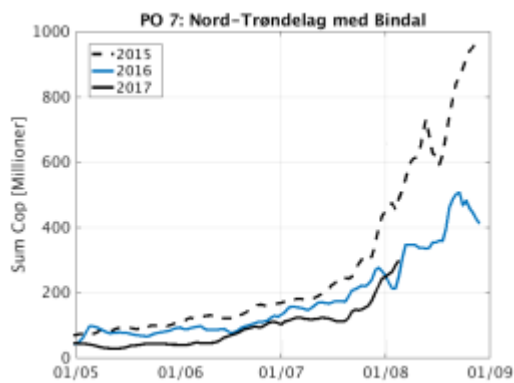
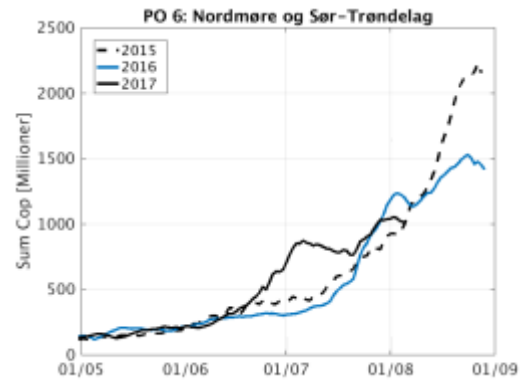
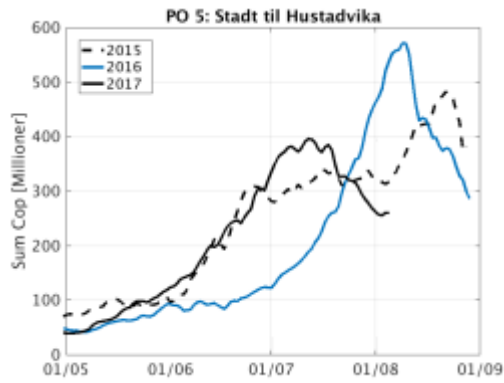
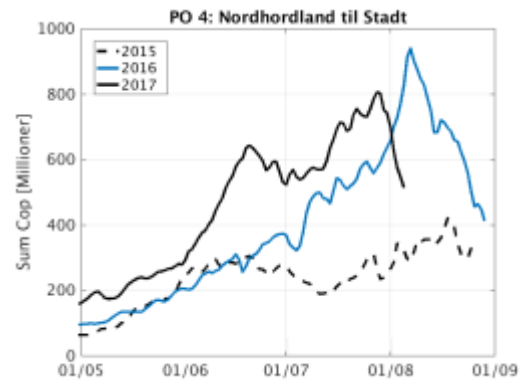
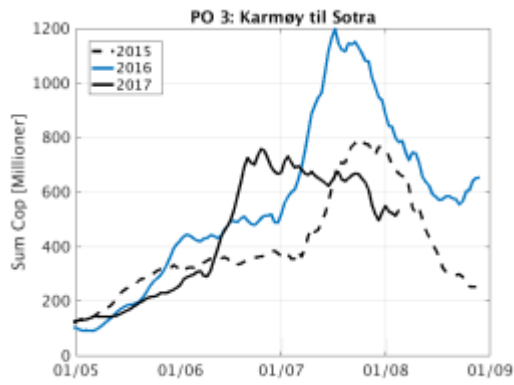
Sluttproduktet fra lakselusmodellen er antallet smittsomme kopepoditter i produksjonsområdene til enhver tid. Summen over hvert produksjonsområde er vist som tidsserier for 2015 og 2016 under.

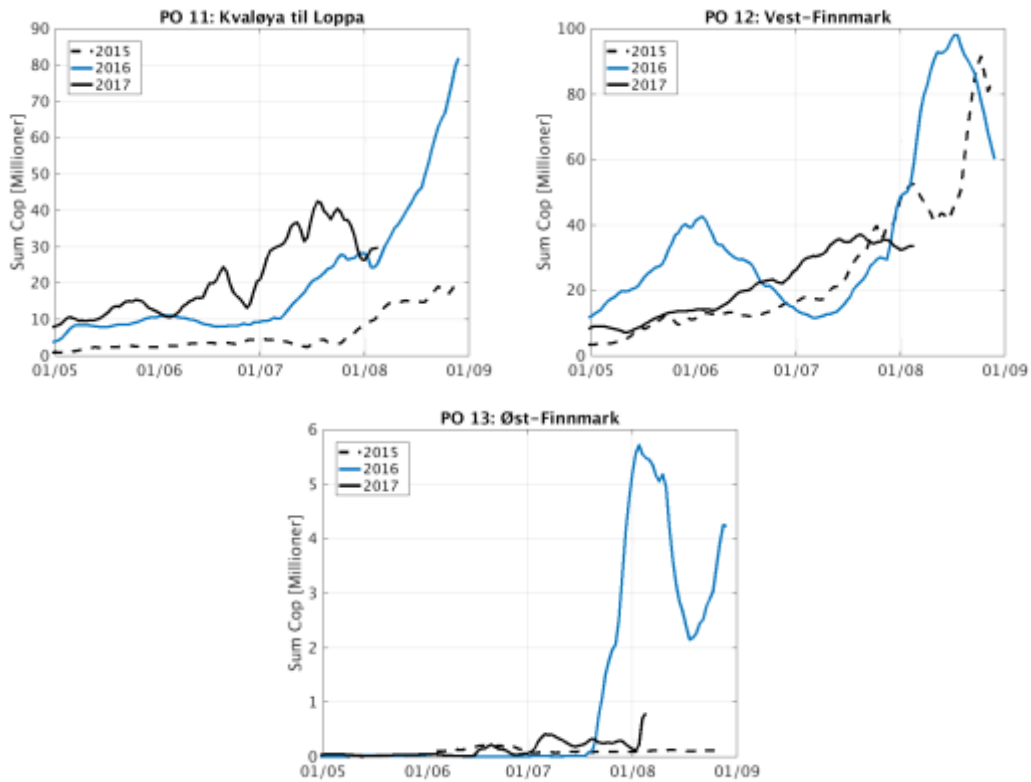
### 6.1 Tidsutvikling av kopepoditter innen produksjonsområdene

Gitt at den modellerte fordelingen av smittsomme lakseluskopepoditter 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 kopepodittkonsentrasjonen. Med denne bakgrunnen har vi definert to ulike produkter som søker å relatere modellresultatene til dødelighet på villfisk i produksjonsområdene: *Smittepresskart* og *Virtuell smoltutvandring*. Disse produktene er beskrevet i Appendix V og VI sammen med resultater for 2015 og 2016.

Figurer med tidsutviklingen av antall smittsomme kopepoditter i hvert produksjonsområde for 2015 og 2016 som beregnet med spredningsmodellen for lakselus. Siden den tillatte biomassen, og dermed mulig antall klekte nauplier, varierer mye mellom de ulike produksjonsområdene, har figurene ulik skala på y-aksen.



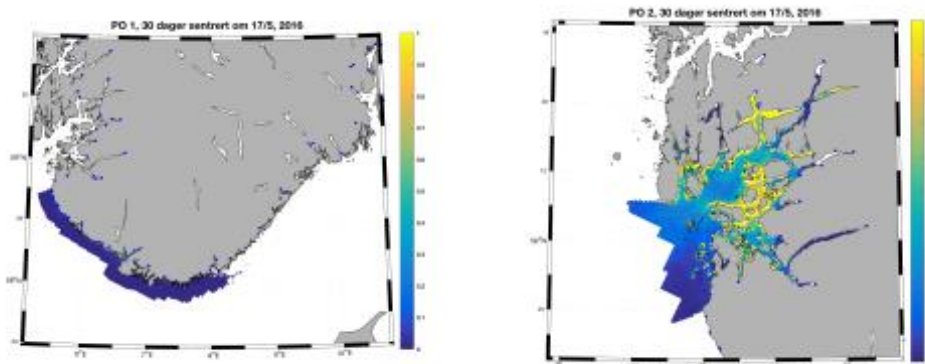


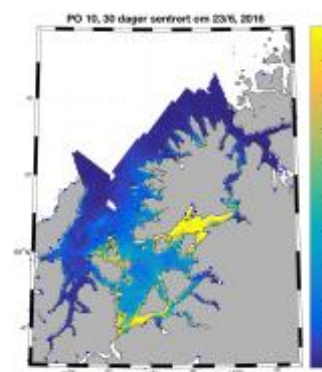
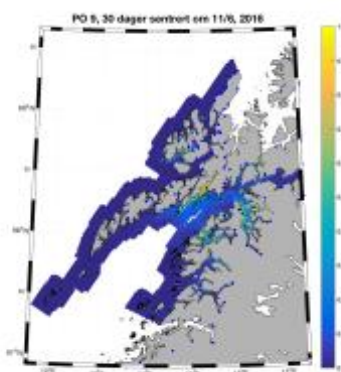
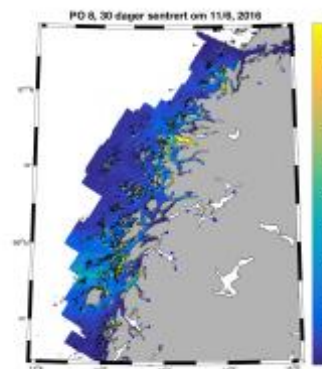
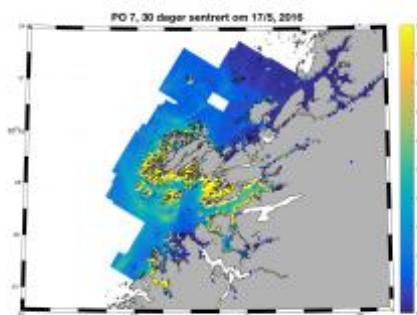
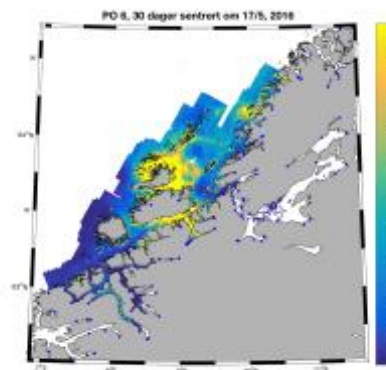
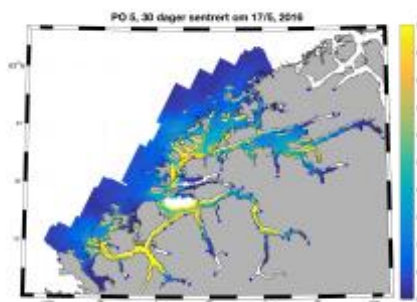
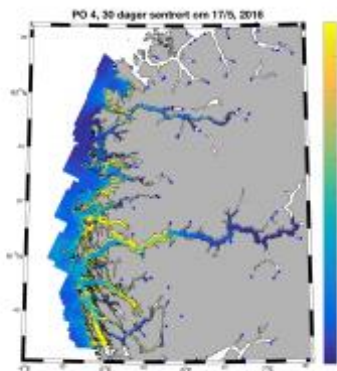
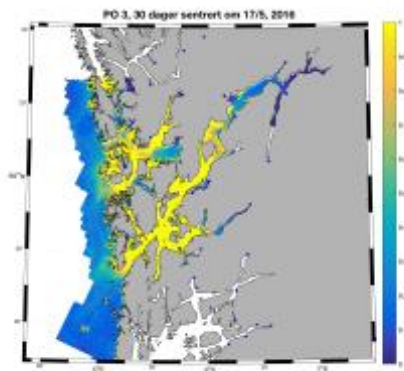


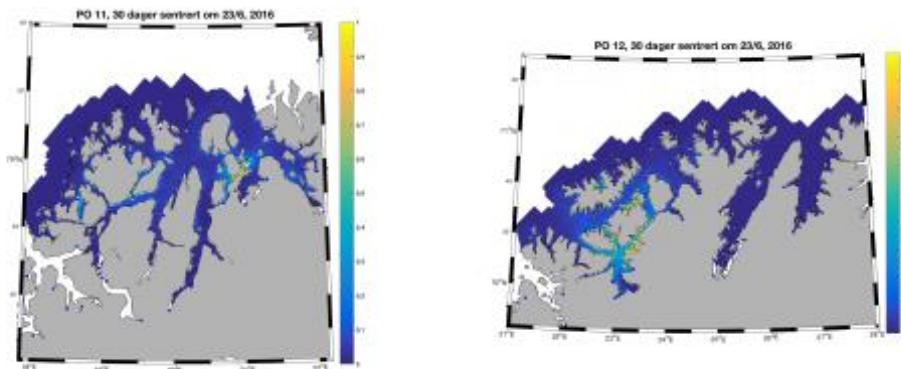
**Figure 6.** Tidsutviklingen av antall smittsomme kopepoditter i hvert produksjonsområde for 2015, 2016 og 2017 som beregnet med den hydrodynamiske spredningsmodellen for lakselus. Siden den tillatte biomassen, og dermed mulig antall klekte nauplier, varierer mye mellom de ulike produksjonsområdene, har figurene ulik skala på y-aksen.

## 6.2 Geografisk fordeling av kopepoditter

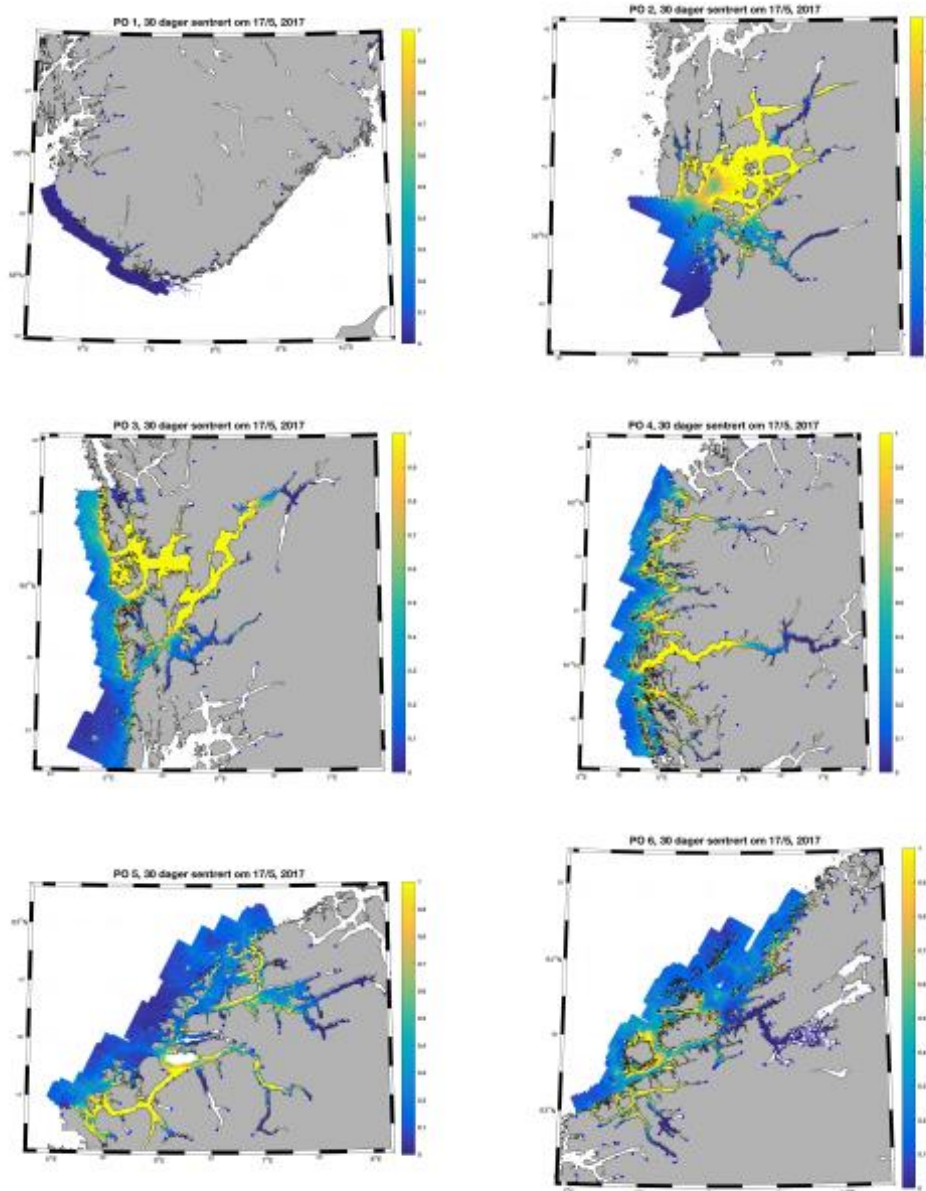
Sluttproduktet fra lakselusmodellen er antallet smittsomme kopepoditter i produksjonsområdene til enhver tid. Summen over 30dager omkring den datoen det er estimert at 50% av smolten vandrer fra elv til hav er vist som horisontale kart under (2016 og 2017), og viser relative forskjeller innen de ulike produksjonsområdene. Estimert for utvandring fra over 400 elever er summert i Appendix VI.

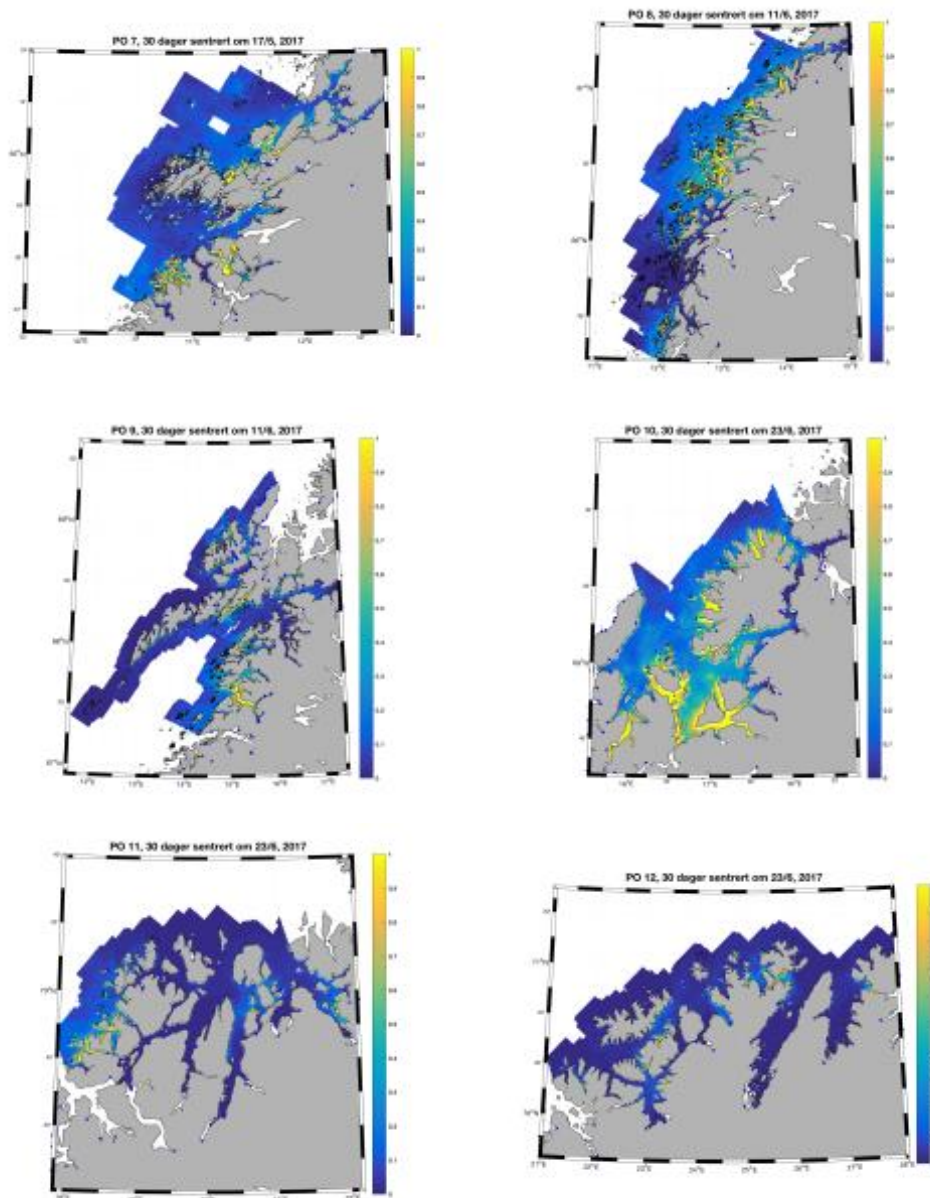






**Figure 7a.** Tetthet av smittsomme kopepoditter i 2016. Figurene viser antall per kvadratmeter, beregnet med den hydrodynamiske spredningsmodellen for lakselus.





**Figure 7b.** Tetthet av smittsomme kopepoditter i 2017. Figurene viser antall per kvadratmeter, beregnet med den hydrodynamiske spredningsmodellen for lakselus.

## 7 Fakta om produksjonsområdene

Basert på konektivitet mellom anlegg (Ådlandsvik 2015), er det bestemt at kysten deles inn i 13 produksjonsområder, som vist i figur 1. Se også <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/forskrift-om-produksjonsomrader-for-akvakultur-av-matfisk-i-sjo-av-laks-orret-og-regnbueorret-produksjonsomradeforskriften/id2527418/> Når tilstanden i de ulike produksjonsområdene skal beskrives kan det være nyttig å sette opp noen faktiske tall for hvert område, f. eks i tabellen under

	Antall anlegg	MTB	Antall gridruter (800mx800m)
PO 1	10	29770	79562

PO 2	43	127670	27908
PO 3	130	346325	33618
PO 4	116	319685	64334
PO 5	35	115025	34209
PO 6	110	425917	59115
PO 7	41	170825	34177
PO 8	62	196610	50079
PO 9	65	200078	59589
PO 10	54	214615	23088
PO 11	31	128940	33152
PO 12	47	173078	55218
PO 12	4	14160	31370

**Tabell 2.** Liste over produksjonsområder med antall anlegg, maksimal tillatt biomasse og areal. PO 1: Svenskegrensen til Jæren, PO 2: Ryfylket, PO 3: Karmøy til Sotra, PO 4: Nordhordaland til Stadt, PO 5: Stadt til Hustadvika, PO 6: Nordmøre og Sør-Trøndelag, PO 7: Nord-Trøndelag med Bindal, PO 8: Helgeland til Bodø, PO 9: Vestfjorden og Vesteålen, PO 10: Andøya til Senja, PO 11: Kvaløya til Loppa, PO 12: Vest-Finnmark, PO13: Øst-Finnmark. Antall anlegg i området vil variere noe fra år til år og gjennom året avhengig av slakt/brakklegging og utsett av ny fisk (tallene her er fra 2016). Maksimalt tillatt biomasse delt på vekt gir totalt antall fisk som er tillatt i produksjonsområdet.

## 8 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.

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.

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.

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, 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.