

# Rapport

## Modellering av smittepress i produksjonsområde 5, 6 og 7.

[Sub Title]

### Forfatter(e)

Ingrid H. Ellingsen

Øyvind Knutsen og Lionel Eisenhauer



Virvel i Trondheimsfjorden, foto: Ingrid Ellingsen

Postadresse:

# Rapport

Foretaksregister:

## Modellering av smittepress i produksjonsområde 5, 6 og 7.

[Sub Title]

RAPPORTNR	VERSJON	DATO
OC2017 A-194	[Version]	2017-09-12

EMNEORD:  
[Keywords]

**FORFATTER(E)**  
Ingrid H. Ellingsen  
Øyvind Knutsen og Lionel Eisenhauer

**OPPDRAGSGIVER(E)**  
Havforskningsinstituttet

OPPDRAGSGIVERS REF.	ANTALL SIDER OG VEDLEGG:
Ørjan Karlsen	<b>18</b>

GRADERING	GRADERING DENNE SIDE	ISBN
Unrestricted	Unrestricted	

### SAMMENDRAG

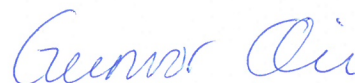
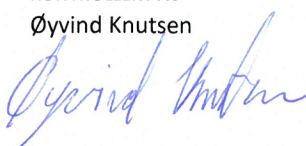
Modellsystemet SINMOD ([www.sinmod.com](http://www.sinmod.com)) inkluderer dynamisk modell for pelagisk utvikling av lakselus og modell for utvandring av postsmolt. Modellsystemet er brukt og resultatene analysert for å se på spredning av lus og for å estimere påvirkningen dette kan ha på de ville populasjonsbestandene for laks i produksjonsområdene PO5 til PO7 for 2016 og 2017.



UTARBEIDET AV  
Ingrid H. Ellingsen

KONTROLLERT AV  
Øyvind Knutsen

GODKJENT AV  
Gunvor Øie



PROSJEKTNR  
[Project Number]

RAPPORTNR  
OC2017 A-194

VERSJON  
[Version]

Side 1 av 17

# Historikk

---

<b>VERSJON</b>	<b>DATO</b>	<b>VERSJONSBEKRIVELSE</b>
Skriv versjonsnr	Velg dato	[Tekst]

# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Oppsummering .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Metoder.....</b>	<b>4</b>
2.1	Modelloppsett og input data for simuleringene .....	4
2.2	Populasjonsmodell for lus.....	4
2.3	Modell for utvandring av smolt og påslag av lus.....	7
2.4	Resultater og diskusjon.....	8
2.4.1	Produksjonsområde 5, Stadt til Hustadvika .....	10
2.4.2	Produksjonsområde 6 Nordmøre og Sør-Trøndelag .....	12
2.4.3	Produksjonsområde 7 Nord-Trøndelag med Bindal .....	15
2.4.4	Usikkerhet i beregningene.....	16
2.5	Referanser .....	17

## BILAG/VEDLEGG

---

[Skriv inn ønsket bilag/vedlegg]

---

## 1 Oppsummering

Modellsystemet SINMOD ([www.sinmod.com](http://www.sinmod.com)) inkluderer dynamisk modell for pelagisk utvikling av lakselus og modell for utvandring av postsmolt. Modellsystemet er brukt og resultatene analysert for å se på spredning av lus og for å estimere påvirkningen dette kan ha på de ville populasjonsbestandene for laks i produksjonsområdene PO5 til PO7 for 2016 og 2017.

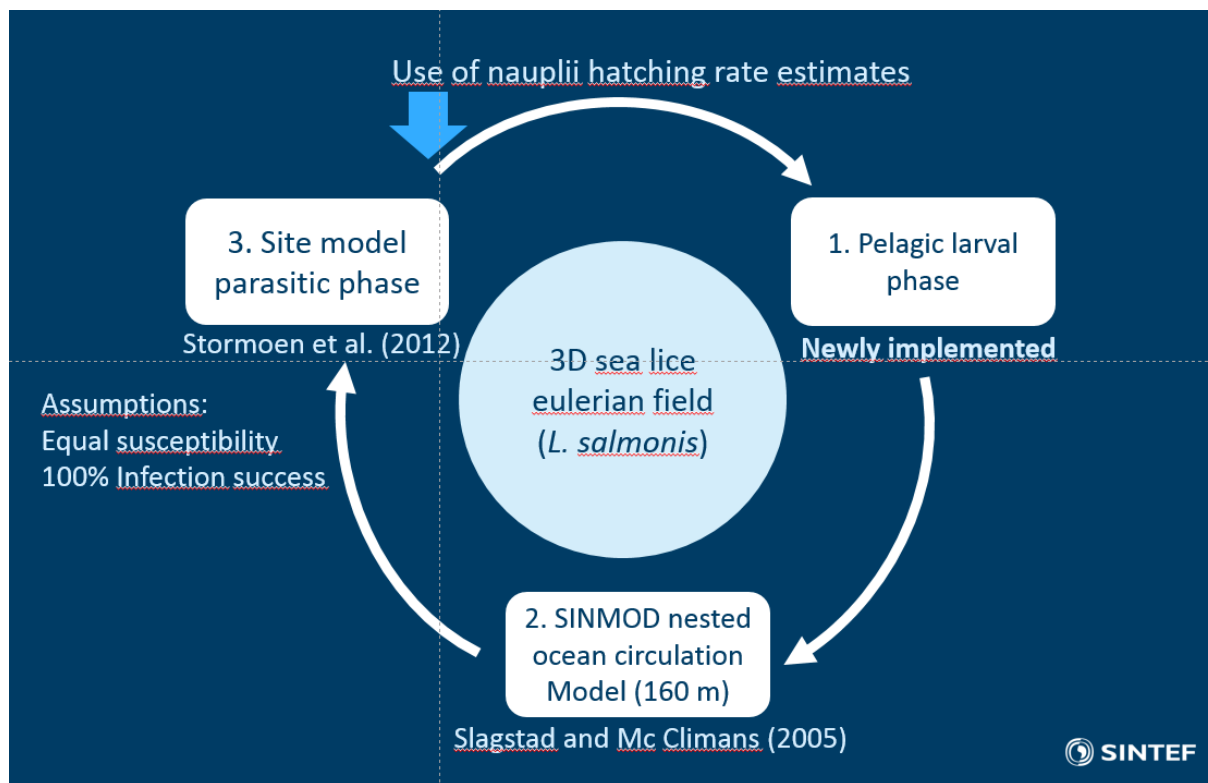
## 2 Metoder

### 2.1 Modelloppsett og input data for simuleringene

I dette arbeidet er det brukt resultat fra modelloppsett med 800m horisontal oppløsning for hele Midt-Norge og 160m oppløsning i to modelloppsett for Romsdalsfjorden og Trondheimsfjorden. Grensebetingelser til 800m modellen er hentet fra NorKyst800 og atmosfæriske data fra met.no (AROME). Det hydrodynamiske modelloppsettet for Romsdalsfjorden og Trondheimsfjorden har 45 vertikale z-lag med en økende tykkelse mot havbunnen. Ferskvannsavrenning som påvirker ferskvannslaget og sirkulasjonen på overflaten i fjordsystemet spesifiseres av data fra de ulike vassdragene (data fra NVE). Inputdata (klekkede nauplier av lakselus) for å beregne spredning av lakselus fra oppdrettslokalteter baseres på databasen til den nasjonale overvåkingsplanen for lakselus (data fra HI, Anne Sandvik pers. komm.). Input dataene oppdateres hver time ut fra en lineær interpolering fra ukentlige tellinger. Posisjonen til oppdrettslokalitetene er årsspesifikk. Lusefelt fra 800m modellen brukes for å spesifisere grensebetingelser til 160m modell.

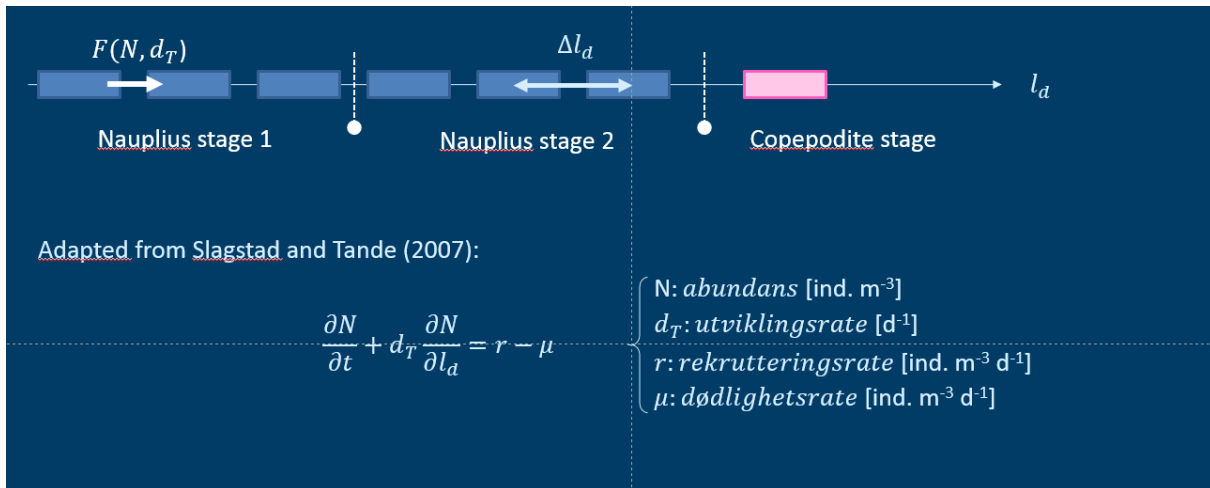
### 2.2 Populasjonsmodell for lus

Et romlig fordelt oppsett av en strukturert populasjonsmodell (Figur 1) 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 (Stien et al. 2005). Koblingen baseres på en eulersk tilnærming, dvs. at den simulerte lusetettheten i hver gridcelle er konsentrasjonsbasert, og beregnes som et kontinuerlig 3D-felt i modellområdet. 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 frontdynamikker. Lusefeltet vandrer nedover når det utsettes for lav saltholdighet (under 20).

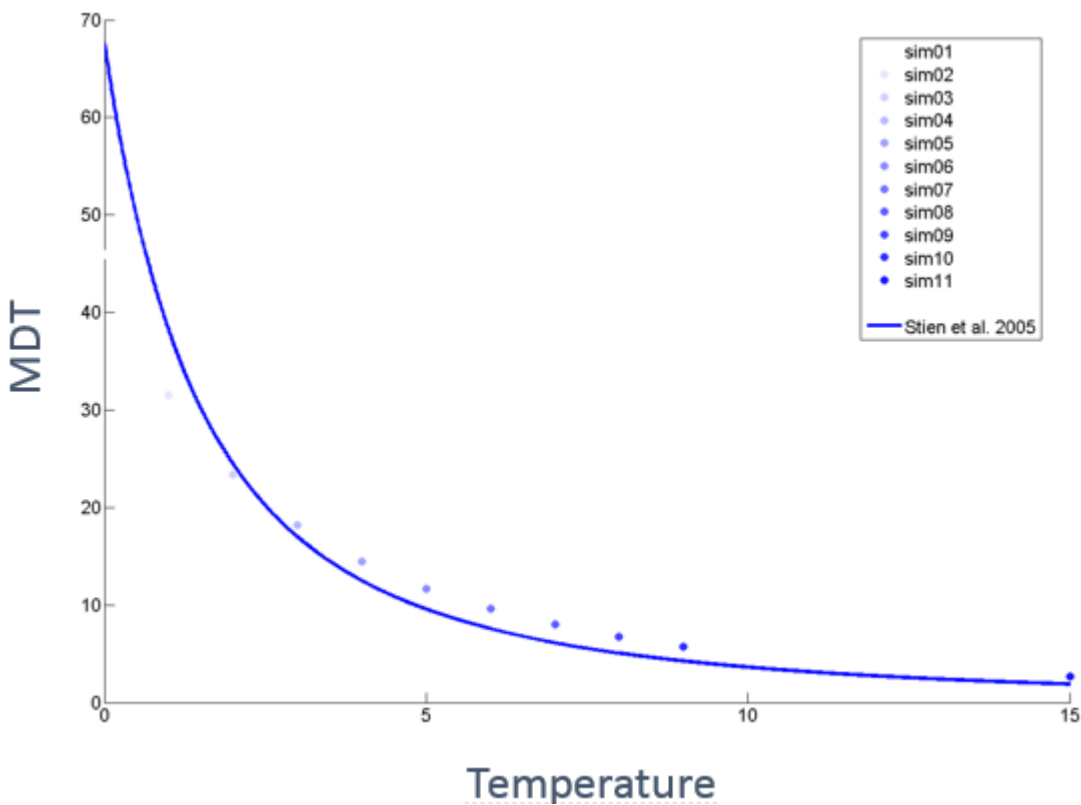


**Figur 1** konseptuelt diagram av lakselusmodellen innenfor modellsystemet SINMOD. Oppsettet består av tre moduler: havmodellen (2), den parasittiske livsfasen til lakselus (3) og den frittlevende planktoniske fasen (1) som er fokuset i denne rapporten.

Den partielle differensialligningen (Figur 2) representerer dynamikken til en strukturert populasjonsmodell for *L. salmonis* som baseres på en normalisert utviklingsdimensjon ( $l_d$ ) etter samme prinsippet som ble anvendt for den stadiefordelte *Calanus*-modellen i SINMOD (Slagstad and Tande, 2007; Alver et al. 2016). Utviklingsraten  $d_T$  beregnes som den omvendte funksjonen av utviklingstid (Wroblewski, 1980) mot temperatur, basert på eksperimentelle forsøksdata (Stien, 2005). Diagrammet øverst på Figur 2 viser fram den numeriske diskretiseringen av utviklingsdimensjonen ( $l_d$ ) hvor utviklingsinkrementer vises som små firkanter. Hvert utviklingsstadium dannes av flere utviklingsinkrementer. For å redusere numerisk diffusjon og samtidig kunne redusere antall av inkrementer, et kjent fenomen knyttet til numerisk diskretisering, implementeres det en "flux limiter" funksjon av typen superbee (Roe, 1986). Figur 3 viser den modellerte ontogenetiske utviklingstiden for 1 grad Celsius intervaller mellom 0-15 °C fra egg til kopepodittstadiet, sammenliknet med funksjonen basert på observert utvikling (Stien et al., 2005). Modellen reproducerer målte verdier innenfor den målte variabiliteten.



**Figur 2** Den partielle differensialligningen representerer dynamisk abundans (N) til en strukturert populasjonsmodell som baseres på en normalisert utviklingsdimensjonen (l<sub>d</sub>). Skjemaet øverst viser fram den numeriske diskretiseringen av utviklingsdimensjonen (l<sub>d</sub>).



**Figur 3** Sammenligning mellom den målte ontogenetiske utviklingstiden (MDT, antall dager) mot temperatur (°C; Stien et al., 2005) og den simulerte utviklingstiden (blå punkter).

## 2.3 Modell for utvandring av smolt og påslag av lus

I prosjektet SALMODIS ble det utviklet en postsmoltmodell for utvandring av postsmolt fra elvene Rauma, Eira og Oselva i Romsdalsfjorden. Utvandringen modelleres ved at postsmolten holder seg i de øvre 4 m av vannsøylen (Bengt Finstad, personlig kommunikasjon). Videre er postsmolten gitt en svømmehastighet rettet med strømrretningen. Tidligere simuleringer fra Eirefjorden har vist at modellert postsmolt har en for rask utvandring i første del av fjorden. Vi har derfor implementert en svømmeatferd mot strømmen i 24 timer etter at postsmolten slippes ut i modellen. Dette er for å tilpasse modellen til den observerte adferden der postsmolten bruker litt tid på å svømme ut fra den innerste delen av fjorden (Finstad et al. 2005). Vi finner at denne metoden gir en god tilpasning til de observerte data for Eira, der Finstad et al. (2005) får en gjennomsnittlig utvandringstid fra fjordsystemet på 240 timer, får vi en median utvandringstid på 249 timer.

Modellen er nå videre utvidet til å inkludere postpostsmoltvandring fra 15 vassdrag i Romsdalsfjorden og 24 vassdrag i Trondheimsfjorden. Utvandring av postsmolt er antatt å være jevn i hele utvandringsperioden (8 virtuelle smolt per time). Det vil naturlig være variasjoner i utvandringen gjennom sesongen og mellom år, men det er ikke tilstrekkelige data tilgjengelig til å sette opp gode modeller for utvandringsforløp. Påslag (smittepress) av lus beregnes for hver time ut i fra et eksponeringsvolum og konsentrasjonen av smittsomme kopepoditter ( $Kop\ m^{-3}$ ) i de gridcellene smoltene befinner seg i. Eksponeringsvolumet beregnes ut fra en bestemt radius og avstanden en virtuell smolt tilbakelegger i løpet av en time ved å svømme med en bestemt hastighet (likning 1).

Denne tilnærmingen er den samme som HI bruker i Appendix VI. Vi har også valgt å bruke samme parametere. Radiusen, som er den avstanden man kan anta at lusen kan oppdage og sette seg på postsmolten, er satt til 3 cm. Svømmehastigheten til smolten er  $20\ cm\ s^{-1}$ .

Sannsynlighet for påslag av lusen,  $f_s$ , er satt til 32% (se Appendix VI for detaljer).

$$1. P = \sum_{t=1}^{t=T} Kop \cdot V \cdot f_s, \quad V = Swim * \pi * r^2, \quad P = \text{påslag i antall lus per fisk.}$$

Antall lus per postsmolt (20g) integreres over tidsrommet de oppholder seg i det respektive fjordsystem. Før det beregnes dødelighet antas det videre 40% dødelighet for faststittende lus på smolten Videre beregnes % dødelighet for hver bestand ut fra tabell 1 (Taranger et al., 2014).



Tabell 1. Estimert dødelighet av smolt som følge av lusepåslag.

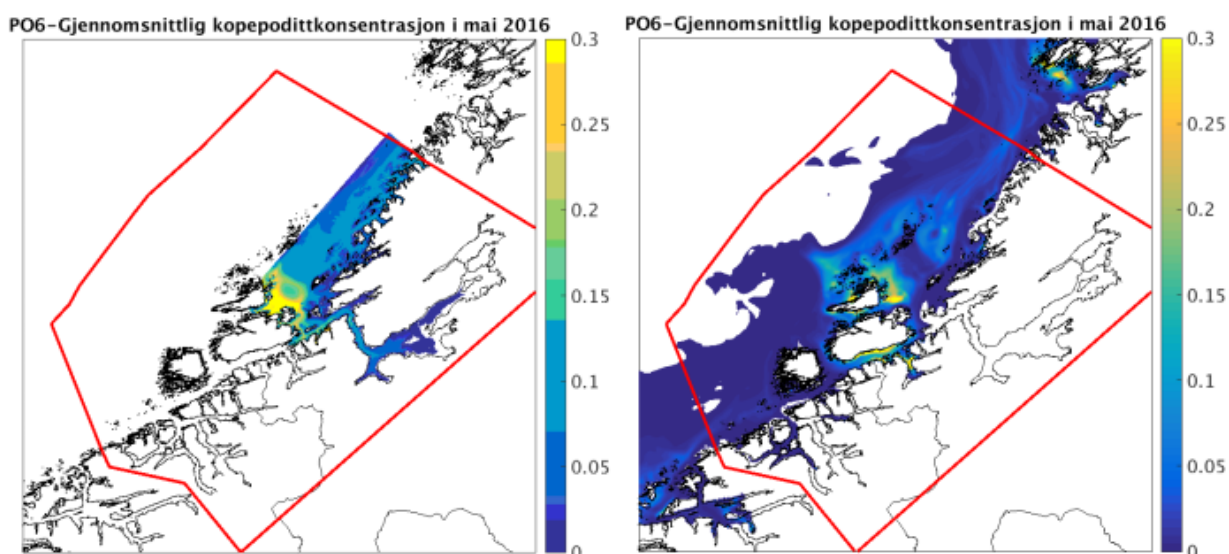
*Antall lus per smolt (20g)    Estimert risiko for dødelighet*

<i>Mindre enn 2 lus</i>	0 %
<i>Mellom 2 og 4 lus</i>	20%
<i>Mellom 4 og 6 lus</i>	50%
<i>Mer enn 6 lus</i>	100%

## 2.4 Resultater og diskusjon

I resultatene fra produksjonsområde 5 til og med 7 vises fordeling av smittsomme kopeditter i mai. I tillegg vises estimert påslag for mai måned for hver modellrute. Dette gir et bilde av smittepresset som er vanskelig å lese ut fra middelverdier og kan tolkes som det påslaget en smolt ville fått dersom den oppholdt seg i modellruten i tidsrommet. Videre vises tidsutvikling av totalt antall smolt innenfor de enkelte produksjonsområder. For PO5 og 6 vises resultat av beregnede dødelighet på utvandrende smolt fra Romsdalsfjorden og Trondheimsfjorden. Påslagene er beregnet ut fra simulerte kopepodittfelt fra modellen med 800 m oppløsning. Det er også brukt høyere oppløsning i Romsdalsfjorden og Trondheimsfjorden. Sammenligning av simulerte felt med modeller med ulik oppløsning viser at oppløsning kan ha store regionale effekter. For eksempel er det simulert større transport av smittsomme kopepoditter inn i Trondheimsfjorden i 160 m-modellen enn det som er simulert med 800 m-modellen (se Figur 4). Vi har også beregnet påslag av lus på smolt ut fra 160 m-modellen. Høyere oppløsning gir bedre representasjon av fronter og virvler, og gir derfor også en mer flekkvis fordeling. Dette gir enkelte steder høye konsentrasjoner som smolten utsettes for og som ikke er tilstrekkelig oppløst i modell med 800m oppløsning. Resultatet blir betydelig høyere estimert dødelighet som følge av lusepåslag. Dette illustrerer de store usikkerhetene knyttet til estimering av påslag av lus. Det viser også at man må se på modeller med høy oppløsning i det videre arbeidet.

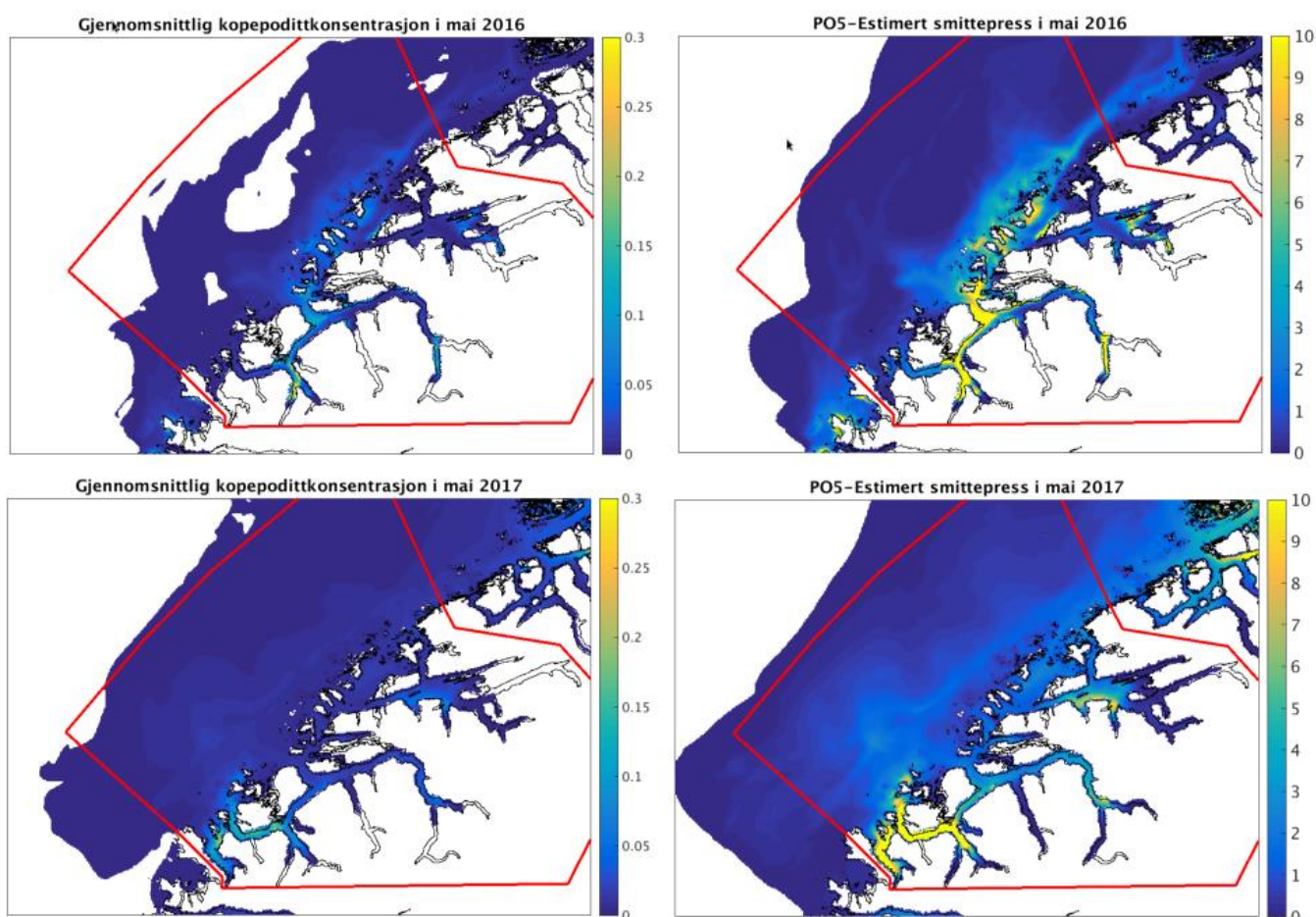
Parameterne i ligning 1. som er valgt, er de samme som brukes i Appendix IV basert på 800 m modellgrid, og for å få mest mulig konsistente resultater brukes derfor også kopepodittfelt fra 800 m-modellen i estimatene for dødelighet som følge av lusepåslag.



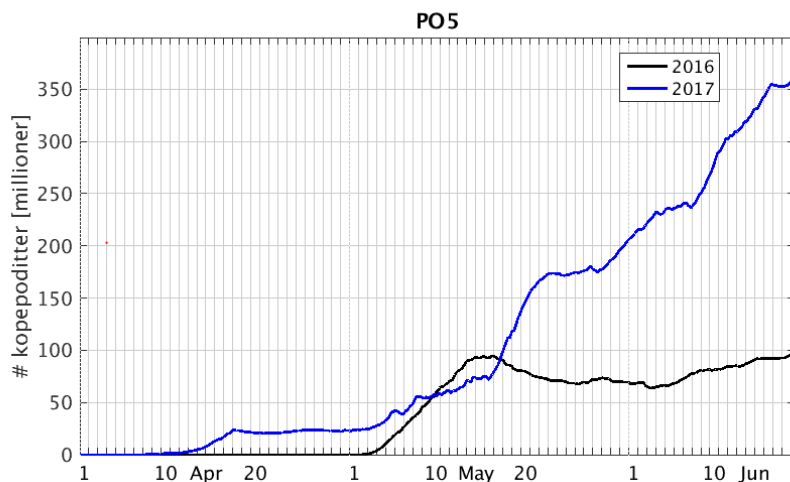
**Figur 4** Gjennomsnittlig kopepodittkonsentrasjon for mai 2016 beregnet fra resultater fra 160 m-modell til venstre og 800 m-modell til høyre. Feltets utstrekning avgrenses iht. minimum lusekonsentrasjonen ( $0.0001 \text{ \# lus m}^{-2}$  for 800m modell. For 160m dekkers hele modellområdet av lusekonsentrasjoner over minimumsgrensen. Merk at Trondheimsfjorden er hvit i figuren til høyre, som betyr at smittsomme kopepoditter ikke ble transportert inn dit i simuleringen med 800m oppløsning. Det er en signifikant forskjell til simuleringen med 160 m oppløsning.

### 2.4.1 Produksjonsområde 5, Stadt til Hustadvika

Kart over estimert potensielt lusepåslag i PO5 viser moderate til høye estimat (over 4 lus per smolt) over store deler av området i begge år (Figur 5). Lusekonsentrasjonen er spesielt høy i enkelte områder og smittepresseestimatene resulterer i verdier over 10 lus per smolt. Disse kartene representerer ikke estimat av reelle påslag, men gir et geografisk bilde av potensielt smittepress. Det er noe forskjell i tidsuviklingen av totalt antall kopepoditter innenfor PO 5 i mai og juni (hovedperioden for utvandring av smolt). I 2017 øker antall kopepoditter fra midten av april og holder seg på et jevnt nivå frem til en kraftig økning i mai som fortsetter utover juni. I 2016 økes antallet kopepoditter i PO5 fra begynnelsen til midten av mai og holdes deretter på et nokså stabilt nivå utover i juni. Beregnet dødelighet på virtuell smolt ligger under 11% for 2016 og 2017 for bestander fra 15 elver i Romsdalsfjorden (Tabell 2). Dødeligheten for de ulike bestandene varierer noe mellom årene.



**Figur 5** Resultater for 2016 (øverst) og 2017 (nederst). Panelene til venstre viser månedsgjennomsnitt av kopepodittkonsentrasjon i vannmassene ( $\#$  kopepoditt  $m^{-2}$ ). I panelene til høyre er det beregnet teoretisk påslag av lus på smolt i perioden innenfor for hver modellrute. Feltets utstrekning avgrenses iht. minimum lusekonsentrasjonen ( $0.0001 \#$  lus  $m^{-2}$ ).



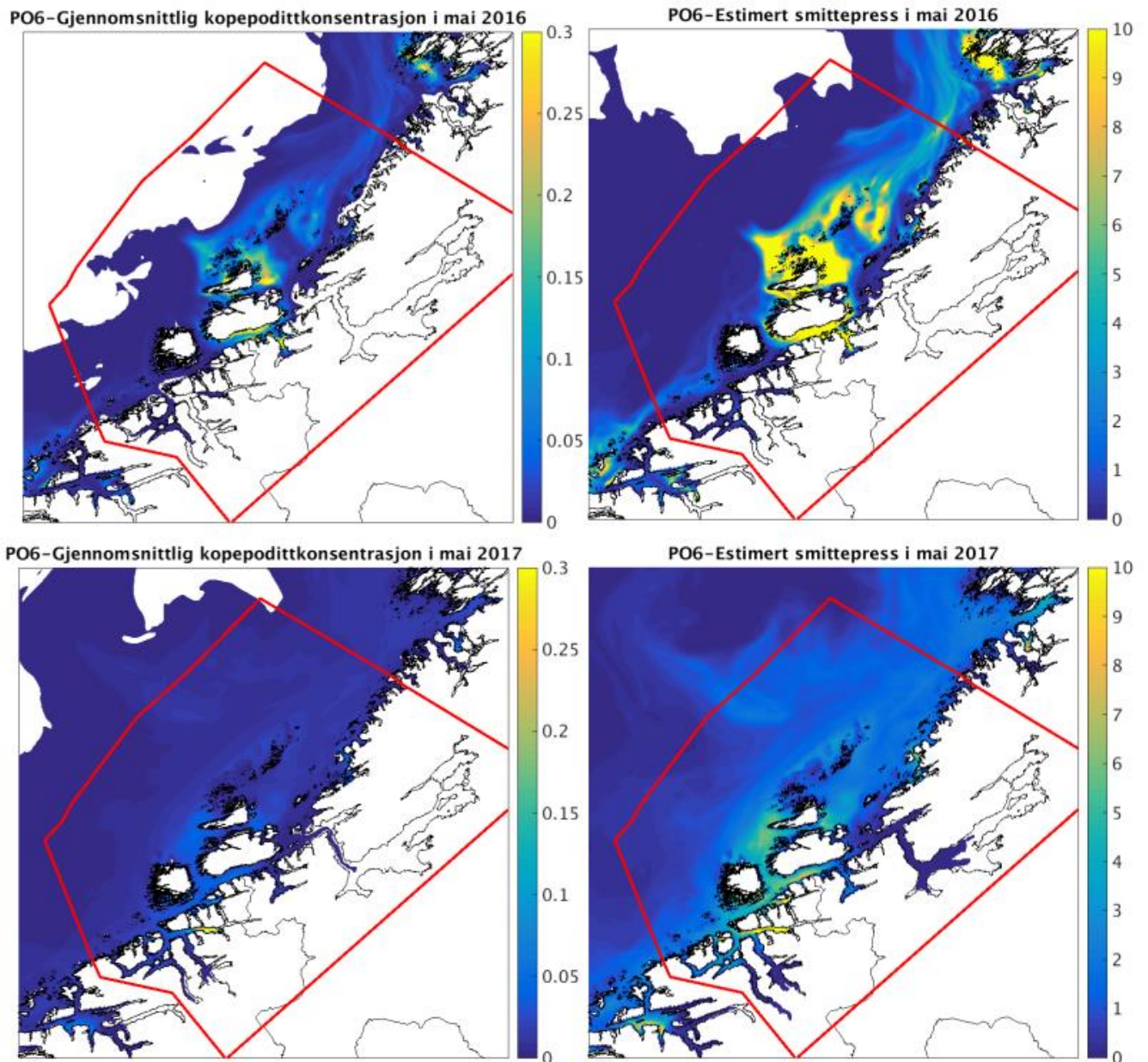
**Figur 6** Tidsutvikling av totalt antall kopepoditter innenfor PO 5 i 2016 og 2017.

**Tabell 2** Estimert dødelighet (i %) og medianen for påslag av lus på de enkelte bestandene fra de ulike vassdragene i Romdalsfjorden som følge av lusepåslag på utvandrende smolt i 2016 og 2017. Resultatene er kun veiledende ettersom det er store usikkerheter knyttet til metoden. Se for øvrig tekst for diskusjon.

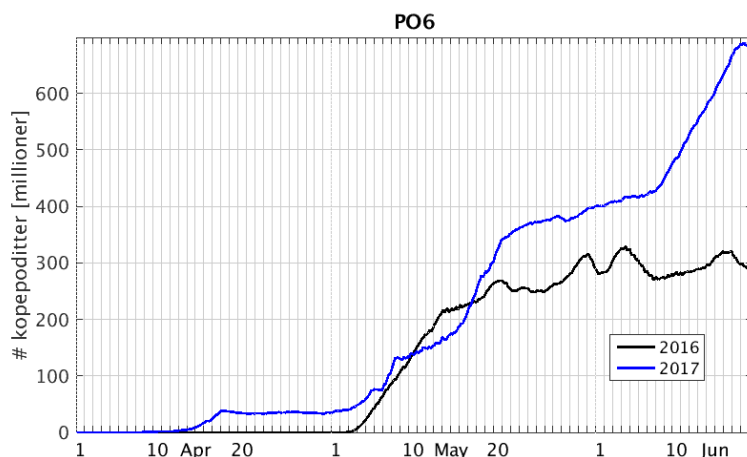
	2016		2017	
	Est. dødelighet	Median #lus	Est. dødelighet	Median #lus
Storelva	6	0.7	4	0.3
Skorgelva	5	1.3	11	0.8
Tressa	5	1.2	11	0.8
Mana	7	0.7	6	0.5
Innfjordselva	7	0.7	6	0.1
Isavassdraget	8	0.9	6	0.1
Rauma	7	0.9	6	0.1
Mittetelva	6	0.9	5	0.0
Visa	3	0.9	6	0.0
Eira	3	0.9	8	0.9
Roa	9	0.8	7	0.9
Olteraa	7	0.5	7	0.3
Oppdølselva	8	0.6	7	0.5
Osenassdraget	7	0.5	6	0.2
Sylteelva	3	0.1	1	0.1

## 2.4.2 Produksjonsområde 6 Nordmøre og Sør-Trøndelag

Kart over smittepress viser stor forskjell i potensielle lusepåslag mellom 2016 og 2017 i PO 6 (Figur 7). Høye estimat for potensielle påslag (over 10 lus per smolt) er simulert for områdene rundt Hitra og Frøya og nordover i Frohavet i 2016. Smittepresset er størst lengre sør i 2017, men med reduserte estimat (under 5 lus per smolt over hele området). Utbredelsen av smittepresset er større i 2017 enn i 2016. En mulig årsak kan være stor vindindusert blanding og spredning av lusefeltet i 2017, men det har ikke vært tid til å se på dette i mer detalj. Beregnet dødelighet på virtuell smolt ligger under 9 % for 2016 og 2017 for smolt fra 24 elver i Trondheimsfjorden (Tabell 3). Det er noe forskjell i beregnet smittepress mellom bestandene. Smolten som vandrer fra de innerste elvene vil bruke lengre tid ut fjorden, men har liten betydning ettersom 800 m modellen ikke gir lusespredning innover Trondheimsfjorden og som derfor kan være en viktig usikkerhetsfaktor. Tidsutvikling av totalt antall kopepoditter innenfor PO 6 er vist i Figur 8 og viser i grove trekk samme utvikling som beskrevet for PO5.



**Figur 7** Resultater for 2016 (øverst) og 2017 (nederst). Panelene til venstre viser månedsgjennomsnitt av kopepodittkonsentrasjon i vannmassene ( $\#$  kopepoditt  $m^{-2}$ ). I panelene til høyre er det beregnet teoretisk påslag av lus på smolt i perioden innenfor for hver modellrute. Feltets utstrekning avgrenses iht. minimum lusekonsentrasjonen ( $0.0001 \#$  lus  $m^{-2}$ ).



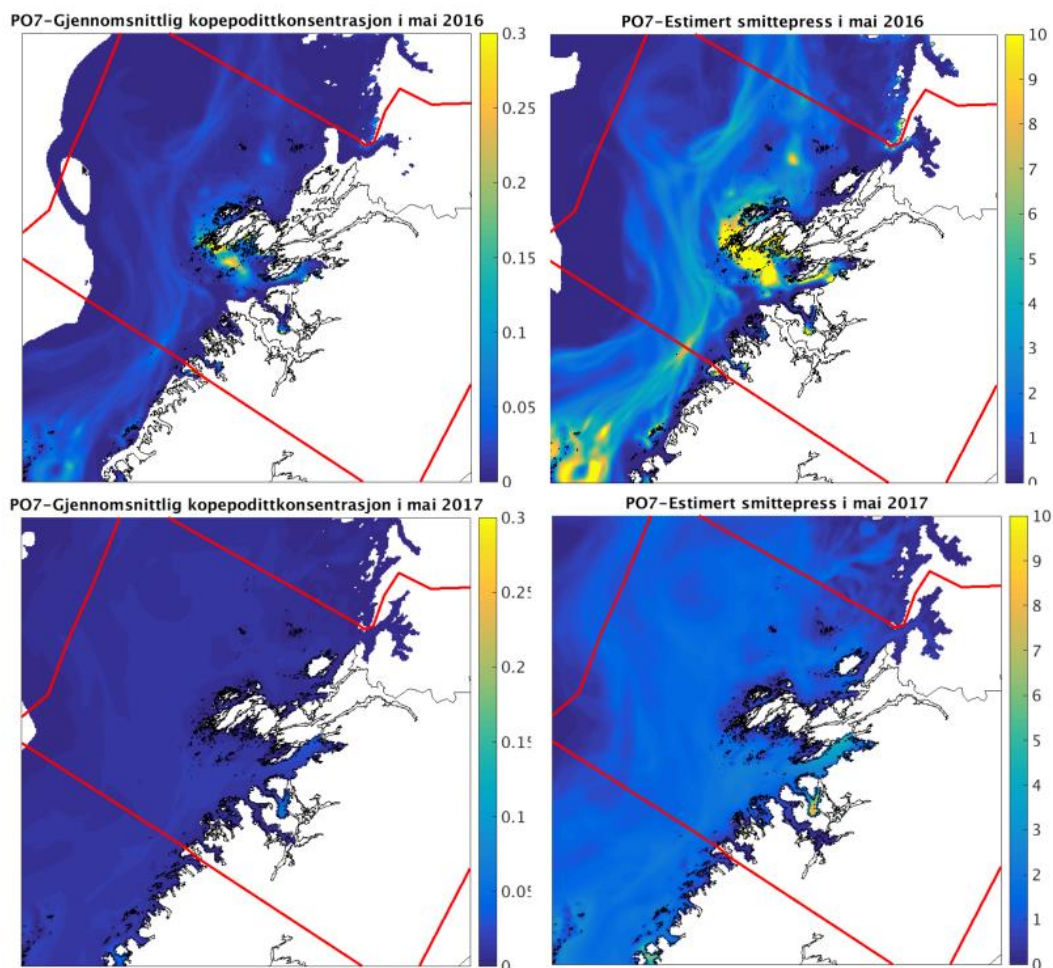
**Figur 8** Tidsutvikling av totalt antall kopepoditter innenfor PO 6 i 2016 og 2017.

**Tabell 3** Estimert dødelighet (i %) og medianen for påslag av lus på de enkelte bestandene fra de ulike vassdragene i Trondheimsfjorden som følge av lusepåslag på utvandrende smolt i 2016 og 2017. Resultatene er kun veiledende ettersom det er store usikkerheter knyttet til metoden. Se for øvrig tekst for diskusjon.

	2016		2017	
	Est. dødelighet	Median #lus	Est. dødelighet	Median #lus
Orkla	4	0.2	1	0.3
Gaula	3	0.2	1	0.3
Nidelvassdraget	3	0.2	1	0.3
Stjordalsvassdraget	1	0.0	2	0.0
Verdalsvassdraget	2	0.0	2	0.0
Steinkjerelva	0	0.0	1	0.0
Lakselva	0	0.0	0	0.0
Fremstadelva	9	0.9	2	0.2
Stordalselva	6	0.6	3	0.6
Lena	7	0.6	2	0.3
Skjenaldelva	4	0.2	1	0.2
Vigda	5	0.2	1	0.2
Homla	5	0.1	1	0.2
Levangervassdraget	0	0.0	0	0.0
Figga	2	0.0	1	0.1
Follavassdraget	2	0.0	1	0.0
Tangstadelva	0	0.0	0	0.0
Mossa	4	0.0	1	0.1
Prestelva	4	0.3	1	0.2
Hasselvassdraget	5	0.6	1	0.3
Skaudalsvassdraget	4	0.5	2	0.6
Osaelva	2	0.3	1	0.4
Nordelva	3	0.4	1	0.6
Brekkelva	0	0.0	0	0.0

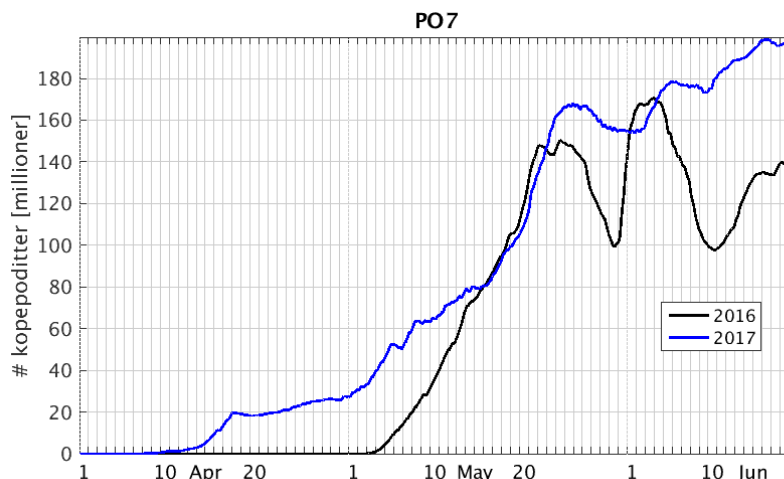
### 2.4.3 Produksjonsområde 7 Nord-Trøndelag med Bindal

Smittekart viser stor forskjell i estimerte potensielle lusepåslag mellom 2016 og 2017. Høye verdier (over 10 lus per smolt) i områdene sør for Vikna i 2016, og større områder med estimerte potensielle påslag med verdier fra 4 til 6 smolt per fisk i den nordgående kyststrømmen. I 2016 er det stor utstrekning av smittepresset, men med lave estimerte potensielle påslag (mindre enn 2 lus per smolt). Som beskrevet for PO 6 er feltet med lusekopepoditter større men med lave konsentrasjoner. Tidsutviklingen (Figur 9) viser også samme utvikling som beskrevet for området 5 og 6 for 2016 og 2017 i mat. I juni derimot viser mdoellen noen fluktuasjoner i antall kopepoditter i PO7 som kan skyldes svingninger av deler av kyststrømmen inn og ut av området. Det har ikke vært tid til å beregne påslag på smolt fra elver fra PO7.



**Figur 9** Resultater for 2016 (øverst) og 2017 (nederst). Panelene til venstre viser månedsgjennomsnitt av kopepodittkonsentrasjon i vannmassene ( $\#$  kopepoditt  $m^{-2}$ ). I panelene til høyre er det beregnet teoretisk påslag av lus på smolt i perioden innenfor for hver modellrute. Feltets utstrekning avgrenses iht. minimum lusekonsentrasjonen ( $0.0001 \#$  lus  $m^{-2}$ ).





**Figur 10** Tidsutvikling av totalt antall kopepoditter innenfor PO 7 i 2016 og 2017.

#### 2.4.4 Usikkerhet i beregningene

SINMOD er et veletablert modellsystem for biologiske og hydrodynamiske prosesser (se [www.sintef.no/SINMOD](http://www.sintef.no/SINMOD) for mer informasjon). Populasjonsmodellen for lus følger samme rammeverk som utviklet for andre biologiske arter (Alver et al., 2016). Utfordringen er å få gode vurderinger av modellerte konsentrasjoner mot observasjoner. For eksempel er både kildeleddet og dødelighet to store usikkerhetsfaktorer som påvirker modellresultatene. Innledende sammenligninger med burdata gir en pekepinn mot at modellen gir realistiske nivåer, men det er behov for flere observasjoner. SINMOD er i tillegg kjørt med ulik oppløsning. Modellresultatene viser seg å være sensitive til oppløsning i enkelte områder (Se Appendix VIII).

Usikkerheten øker når man bruker simulert lusefelt for å videre beregne påslag av lus og ta dette videre til dødelighet. Smoltutvandringen modelleres i SINMOD ved å la fisken svømme med strømmen. Det har gitt en realistisk oppholdstid for smolten i fjorden ut i fra sammenligning med målinger fra ett vassdrag. Det viser at metoden er lovende. Oppholdstid og utvandringstid har mye å si for smitterisikoen, og det er derfor usikkerhet knyttet til resultatene fra smoltmodellen.

## 2.5 Referanser

Alver, M. O., et al. (2016). "Validation of an Eulerian population model for the marine copepod *Calanus finmarchicus* in the Norwegian Sea." Journal of marine systems **160**: 81-93.

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

Karlsen, Ø., Finstad, B., Ugedal, O., Svåsand, T. 2016. Kunnskapsstatus som grunnlag for kapasitetsjustering innen produksjonsområder basert på lakselus som indikator. Rapport fra Havforskningen, Nr. 14-2016, 139 s.

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, Bjørn PA, Heuch PA, Elston DA (2005) Population dynamics of salmon lice *Lepeophtheirus salmonis* on Atlantic salmon and sea trout. *Marine Ecology Progress Series* 290:263-275

Taranger GL, Karlsen Ø, Bannister RJ, Glover KA, Husa V, Karlsbakk E, Kvamme BO, Boxaspen KK, Bjørn PA, 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.