

Hvor blir det av nyklekte lusegg (nauplier) og smittsomme kopepoditter?

Flere studier de siste årene viser nå følgende:

- Det er omtrent like stor tetthet av nauplier inne i merdene som like utenfor.
- Skjørt fører til at naupliene holdes inne i merdene, og reduserer spredningen til nærliggende merder.
- Vi finner svært få kopepoditter i vannprøver både på anleggene og på referanselokaliteter lengre unna.

Dette tyder på at naupliene kan holdes tilbake av luseskjørt, men ikke av notlin med eller uten påvekst. Den raske reduksjonen i tettheten av nauplier fra ytterkant av merdene til bare hundre meter nedstrøms, kan tolkes som stor og rask dødelighet. Dette kan skyldes predasjon, for eksempel av bittesmå maneter, eller forgiftning, for eksempel av PUFA-produserende alger.

Mangelen på kopepoditter i anleggene kan enten tolkes som at kopepodittene omtrent umiddelbart etter skallskiftet fra nauplius 2 til kopepoditt finner en vert når tettheten av verter er høy, eller at tettheten fortynnes svært raskt av hydrodynamiske prosesser.

Hypotesen om at nauplier og kopepoditter utnytter mikrohabitater av et eller annet slag som holder dem tilbake i nærheten av anleggene, kan imidlertid ennå ikke avvises. Undersøkelsene er foreløpig for få og for lite grundige til det. Noen studier har vist at tettheten av nauplier er omtrent den samme før, under og etter notvasking, mens andre har påvist økt konsentrasjon nedstrøms merder som ble vasket.

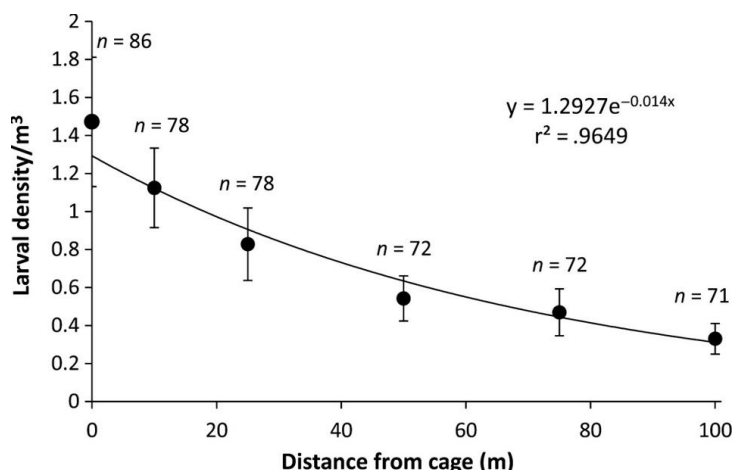
Modellering ga 80 ganger flere lus enn det som ble registrert

Forfatterne av den canadiske studien beregnet at den teoretiske produksjonen av nauplier i et typisk anlegg skulle gi en tetthet på 160 pr m^3 , mens de observerte en høyeste tetthet på 2 i løpet av 5-årsperioden 2012-2016¹. Et eller annet skjer altså, som reduserer tettheten med 80-gangen. De norske smittemodellene inneholder ikke et ledd som reduserer tettheten som følge av for eksempel predasjon. Modellene forutsetter en daglig dødelighet på 17% som den eneste fortynningsfaktoren. Modellenes mangel på realisme kan forklare hvorfor de lager prediksjoner i utakt med virkeligheten. Tallet 17 skriver seg for øvrig fra noen gamle laboratorieforsøk, som av åpenbare grunner ikke har målt effekten av predasjon.

For å sette en tetthet på $2/m^3$ i perspektiv: Kopepoditter av krepsdyr med samme størrelse som lusekopepoditter er observert i tettheter på 5000-12.000/ m^3 i Bay of Fundy i andre undersøkelser. I nordnorske fjorder er det observert opptil 200.000 kopepoditter/ m^3 av raudåte (*Calanus finmarchius*).

Den canadiske studien fant en reduksjon i nauplietetthet fra $1,4/m^3$ like ved merden til $0,4/m^3$ allerede 100 m nedstrøms (figuren nedenfor). Den typiske strømhastigheten var 10 cm/s, som betyr at det tar 17 minutter å redusere tettheten med 72%.

¹ Nelson EJ, Robinson SMC, Feindel N, Sterling A, Byrne A, Pee Ang K. Horizontal and vertical distribution of sea lice larvae (*Lepeophtheirus salmonis*) in and around salmon farms in the Bay of Fundy, Canada. J Fish Dis. 2017;00:1–15. <https://doi.org/10.1111/jfd.12692>
<http://onlinelibrary.wiley.com/wol1/doi/10.1111/jfd.12692/full>



Nye undersøkelser bør gjennomføres for eventuelt å bekrefte en tilsvarende tendens. Vi må dessuten finne ut om dette skyldes predasjon (og i tilfelle av hvilke dyr), eller hydrodynamisk fortykning, eller at naupliene fester seg til et eller annet og dermed ikke registreres i planktonprøver. Uansett mekanisme, er dette en viktig missing link i alle smitte modeller.

Hvordan smittes fisken?

Det viktigste spørsmålet er tross alt hvordan kopepodittene finner veien inn til laksen i anleggene. Så vidt jeg skjønner er dette mulighetene, og paradoksene:

1. Kopepodittene kommer drivende med vannstrømmer fra ekstern smittekilde.
 - a. Motsies av tynn-suppe-observasjonene.
2. Kopepodittene oppkonsentreres til svermer med høy tetthet, som noen ganger treffer oppdrettsanlegg (tilfeldig eller predikerbart?).
 - a. Kopepodittene oppkonsentreres i strandsonen, og svermene flyttes ut til anleggene av lokale vind- og tidevannsgenererte vannstrømmer, eller strømvirvler generert av undervannstopografi.
3. Kopepodittene produseres internt i anlegget.
 - a. Men hvor oppholder naupliene seg til de blir kopepoditter?
4. Kopepodittene tilføres med villfisk eller andre dyr som mellomvert.
 - a. Men da må det være stimer med mye fisk/dyr som besørger transporten.

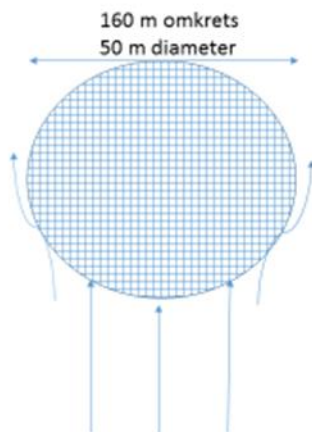
Kortvarige svermer av kopepoditter?

Den canadiske studien fant 255 kopepoditter pr m³ ved et enkelttilfelle i en av tre prøver på en referanselokalitet i et av 5 år. Denne lokaliteten lå ca 5 km fra nærmeste oppdrettsanlegg. To andre prøver tatt på nøyaktig samme sted innen 5 minutter, hadde 0 kopepoditter. I løpet av studien ble det tatt 328 prøver fra 60 referanselokaliteter. Høye konsentrasjoner forekommer tydeligvis svært sjeldent, og har enten svært liten utbredelse eller er svært kortvarige. Andre undersøkelser i andre land har også funnet avvikende prøver med høye konsentrasjoner.

Likevel kan vi vel ikke se bort fra at slike temporære konsentrasjoner kan være årsaken til at det kan forekomme store påslag av lus på tidligere uinfisert smolt noen uker eller måneder etter utsett. Hvis dette er en viktig smittevei, virker det usannsynlig at hydrodynamiske modeller av vannstrømmer eller avstandsmodeller kan ha predikerende kraft.

Forholdstallet mellom nauplier og copepoditter var 13,6:1 i anlegget og 0,6:1 på referanselokalitetene. Relativt sett var det altså 23 ganger flere nauplier i prøvene fra anleggene sammenlignet med referansene. Poenget er likevel at nauplier driver vekk fra anleggene, og at de gjennomgår skallskifter og blir til smittsomme copepoditter. De kan da selvfølgelig drive inn i oppdrettsanlegg og smitte fisk, men konsentrasjonen tilsier at det vil ta måneder å smitte 200.000 laks med 1 copepoditt hver. Dette er illustrert i plansjen nedenfor, som viser at det vil ta 83 døgn på helt rimelige forutsetninger å tilføre nok copepoditter til at hver laks blir infisert med 1 lus.

Hvor lang tid tar det for å infisere alle fiskene i en merd med 1 copepoditt hver?



- Areal ned til 8 m dyp: $50 \times 8 = 400 \text{ m}^2$
 - 0,1 m/s strøm: 40 m³/s tilføres nota
- Vannavbøying + begroing = 30% redusert gjennomstrømming
 - $40 \text{ m}^3/\text{s} \times 0,7 = 28 \text{ m}^3/\text{s}$
 - $28 \text{ m}^3/\text{s} = 2,42 \text{ mill m}^3/\text{døgn}$
- Copepodittetthet 1/100m³
 - 24.000 copepoditter tilføres/døgn
 - 10% infeksjonssuksess
 - 2.400 copepoditter pr døgn
- 200.000 laks i nota
 - 83 døgn for at alle får 1 copepoditt
 - 1.juli – 23.sept

Noen ganger finner vi 10-20 fastsittende lus pr fisk (copepoditter + chalimus), og i ekstreme tilfeller 10-talls bevegelige lus. Disse dukker opp i løpet av noen få dager. Smitten må derfor komme med høy konsentrasjon/tetthet, og i løpet av kort tid. Det er vanskelig å forklare dette, med mindre copepodittene kommer fra eget anlegg. Men hvordan kan naupliene leve i anlegget i 3-10 dager før de blir copepoditter? De vil jo føres vekk med vannstrømmen i løpet av minutter og timer, med mindre de klorer seg fast i et eller annet.

Vi tvinges til en konklusjon om at enten er larvetettheten i frie vannmasser mye større enn antatt, med en faktor på minst 10 og kanskje 100, eller så finnes det et smittereservoar internt i anlegget (eller nærme anlegget) som vi enda ikke har funnet. Det er jo et faktum at det kommer lus på fisken, også når vi setter ut smolt på en ny lokalitet med nytt utstyr.

Den hotteste hypotesen er kanskje 2a: Copepodittene oppkonsentreres i strandsonen, og svermene flyttes ut til anleggene av lokale vind- og tidevannsgenererte vannstrømmer, eller strømvirvler generert av undervannstopografi. Hvis dette er mekanismen, hjelper det lite med hydrodynamiske spredningsmodeller. Hadde det vært like stort fokus på å forfølge alternative hypoteser som på modellutvikling, hadde vi kanskje kjent svaret nå. Det er i alle fall lite som tyder på at antall klekte lusegg i anleggene kombinert med vanntransport forklarer det vi observerer.

Tynn suppe bekreftet av mange studier

Hypotesen om at smitteveien er enkel vanntransport av luselarver ut av oppdrettsanleggene til naboanlegg eller til villfisk, er svekket av den canadiske undersøkelsen, og av en rekke andre undersøkelser. Tynn-suppe-hypotesen er sannsynliggjort av en rekke studier. Hvis suppa er så tynn

som det kan se ut til, indikerer det at tilstrekkelig mange kopepoditter ikke kan tilføres oppdrettslaksen som en slags dryppeffekt over tid. Smittedosen i frie vannmasser er ikke tilstrekkelig til å forklare påslag av lakselus, verken på oppdrettslaks eller vill laksefisk.

Prosjektet Miljødokumentasjon Nordmøre fant svært lave tettheter av lakselus i pelagiske planktonhåvtrekk (1 pr 130 m³)².

Forsøk med planktonhåvtrekk i Skottland³ og på Færøyene⁴ har vist noe høyere tettheter av luselarver enn det som ble dokumentert på Nordmøre, men fremdeles snakker vi om lave tettheter. På Færøyene ble håvtrekkene utført horisontalt i overflaten fra land og 200 m utover. Det er sannsynlig at den høyere tettheten observert på Færøyene skyldes effekten av sampling i strandsonen. Det ble observert vinddrevet akkumulering av larver innover mot land.

I Skottland foregikk innsamlingen også som horisontale trekk i overflaten, men det er ikke opplyst hvor nært land håvtrekkene ble foretatt. Det ble imidlertid rapportert om 200 ganger større konsentrasjon av luselarver på en lokalitet i strandsonen enn lengre ute. I Nordmøre-prosjektet ble håvtrekkene utført vertikalt i frie vannmasser, fra 15 m dyp og opp til overflaten.

Prosjektene på Færøyene og på Nordmøre påviste begge høyere konsentrasjoner av luselarver nedstrøms oppdrettsnøter i forbindelse med notvasking/avlusning. Gjennomsnittlig tetthet for *L. salmonis* på Færøyene var 0,02 kopepoditter pr m³ (1 copepoditt pr 50 m³), mens det ble observert 0,6 kopepoditter + 2,6 nauplier pr m³ nedstrøms et anlegg under avlusing (30 ganger høyere kopepodittetthet).

Som en del av forskningen tilknyttet prosjektet *Redningsaksjonen for Vosso-laksen* ble det utført forsøk med vaktbur og såkalt smoltsimulator⁵. Sistnevnte metode innebærer sleping av smolt langs land i et bur i en periode på 8 timer. Påslag av lus på smolten ble beregnet til 0,007 lus pr time i smoltbur, og 0,015 pr time i smoltsimulator. Det kan utledes av dette at en laksesmolt som bruker 1 uke på å svømme gjennom Herdlefjorden (ytre del av Osterfjorden) får et påslag på 1 til 2-3 lus. Sannsynligvis bruker smolten bare et par dager på å svømme denne distansen.

Samme rapport beskriver at det i 2010 ble gjennomført 130 pelagiske håvtrekk i Herdlefjorden. Det ble funnet copepoditter i bare 6 av håvtrekkene (4,6%). I disse 6 var tettheten 0,013-0,056 kopepoditter pr m³, tilsvarende 1 copepoditt pr 18-77 m³. Omregnet til alle håvtrekk ble tettheten ca 1 pr 390- 1690 m³.

Nauplier ble funnet i 4 av 4 trekk i nærheten av oppdrettsanlegg (avstand ikke oppgitt), med tettheter på 0,11-0,96 pr m³, tilsvarende 1 nauplie pr 1-9 m³. Dette er noe lavere enn i den canadiske studien, som tok prøver i umiddelbar nærhet til merdene.

² Astrid K. Woll (red.) 2014. Miljødokumentasjon Nordmøre. Samlerapport for fase 1 og 2. Møreforskning, rapport nr. MA 14-06.

³ Penston, M. J., McKibben, M. A., Hay, D. W. and Gillibrand, P. A. (2004), Observations on open-water densities of sea lice larvae in Loch Shiel, Western Scotland. *Aquaculture Research*, 35: 793–805. doi: 10.1111/j.1365-2109.2004.01102.x <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2109.2004.01102.x/abstract>

⁴ G. á Norði, K. Simonsen, E. Danielsen, K. Eliassen, A. Mols-Mortensen, D. H. Christiansen, P. Steingrund, M. Galbraith, Ø. Patursson 2015: Abundance and distribution of planktonic *Lepeophtheirus salmonis* and *Caligus elongatus* in a fish farming region in the Faroe Islands. <http://www.int-res.com/articles/aei2015/7/q007p015.pdf>

⁵ DN-utredning 1-2013, Redningsaksjonen for Vosso-laksen, side 164-165.

http://www.miljodirektoratet.no/old/dirnat/attachment/3072/DN-utredning-1-2013_net.pdf

I 2011 ble det gjennomført 85 håvtrekk ved bruk av vadestøvler på 9 faste stasjoner i strandsonen i perioden 12.april-28.juni. Det ble funnet copepoditter i 2 av trekkene, med tettheter på 0,16 – 0,29 pr m³, tilsvarende 1 copepoditt pr ca 3-6 m³ i disse 2 trekkene (omregnet til 1 pr 129-258 m³ for alle 85 trekk).

I et forsøk med vaktbur i Loch Shiel i Skottland ble det beregnet at tettheten av copepoditter var 1 pr 50 m³.⁶ Denne studien refererer data fra andre studier i samme fjord, som viser uvanlige høye tettheter av copepoditter i frie vannmasser i et elveestuarie (opp til 143/m³), og diskuteres som en indikasjon på 1% infeksjonssuksess.

Konklusjon

Enkel fysikk tilsier at vindpådriv vil konsentrere alt som driver i overflaten inn mot land. Dersom luselarver er konsentrert i strandsonen, kan dette forklare hvorfor sjøauren er mer utsatt for påslag av lus enn oppdrettslaks (og villaks, som vandrer ut lenger fra land). Det foreligger anekdotiske beretninger om flytting av oppdrettsanlegg lengre fra land, som førte til reduserte problemer med lus.

Oppdrettsnæringen må finne ut av dette. En korrekt smittemodell er nøkkelen til effektiv forebygging.

⁶ Campbell C. Pert, Rob J. Fryer, Paul Cook, Rachel Kilburn, Sonia McBeath, Alastair McBeath, Iveta Matejusova, Katy Urquhart, Sarah J. Weir, Una McCarthy, Catherine Collins, Trish Amundrud, Ian R. Bricknell (2014): Using sentinel cages to estimate infestation pressure on salmonids from sea lice in Loch Shiel, Scotland. *Aquaculture Environment Interactions* 5:49-59 (2014). doi:10.3354/aei00094. <http://www.int-res.com/abstracts/aei/v5/n1/p49-59/>