



Generation of new knowledge on disease risk in cod farming (FHF Cod disease risk – 901832)

REPORT 52/2025

Generation of new knowledge on disease risk in cod farming. (FHF Cod disease risk – 901832)

Authors

Simon C. Weli, Mona Gjessing, Sonal Patel, Lars Qviller, Ingunn Sommerset, Hanne Nilsen; Norwegian Veterinary Institute, Norway.

Nina Sandlund, Lasse Berg Andersen, Ellen Sofie Grefsrud, Cecilie Skår, Institute of Marine Research, Norway.

Suggested citation

Weli SC, Patel S, Sandlund N, Qviller L, Sommerset I, Nilsen H, Andersen LB, Grefsrud ES, Skår C, Gjessing M. Generation of new knowledge on disease risk in cod farming. (FHF Cod disease risk – 901832) Norwegian Veterinary Institute 2025. ©Norwegian Veterinary Institute, copy permitted with citation

Quality controlled by

Ingunn Sommerset, Director of Fish Health Department, Norwegian Veterinary Institute

Funding Agency

Fisheries and Aquaculture Industry Research Funding.

In collaboration with

Institute of Marine Research
NorCod AS, Arctic Cod AS and Statt torsk.

Published

2025 on www.vetinst.no
ISSN 1890-3290 (electronic edition)
© Norwegian Veterinary Institute 2025

Colophon

Cover photo: Mona C Gjessing
www.vetinst.no

Content

1	Summary.....	3
2	Introduction	6
2.1	Scope of the project.....	6
2.2	Work Package 0: Administration.....	6
2.3	WP1: Review of existing knowledge on cod diseases.....	6
2.4	WP2: Field studies: Pathogen and disease distribution in land and sea-based cod farms	7
2.5	WP3: Experimental studies: Generation of data on pathogen transmission from one fish host species to another fish host	7
2.6	WP4: Development of a knowledge-based risk assessment of infection of various diseases between farmed cod, other farmed species and wild marine stocks.....	8
2.7	Project Organization	8
3	Problem statement and purpose	8
4	Project Implementation.....	9
5	Results achieved, discussion and conclusion.....	10
5.1	WP1: Review of existing knowledge on cod diseases.....	10
5.2	WP2: Field studies: Pathogen and disease distribution in land and sea-based cod farms	16
5.3	WP3: Experimental studies: Generation of data on pathogen transmission from one fish host species to another fish host	23
5.4	WP4: Development of a knowledge-based risk assessment of infection of various diseases between farmed cod, other farmed species and wild marine stocks.....	27
6	Main Findings.....	30
6.1	Final remarks.....	30
6.2	Future work should focus on:	30
7	Reference:.....	31
8	Academic deliverables	32
9	Appendix:.....	33

1 Summary

English

Atlantic cod (*Gadus morhua*) is an economically vital species for Norway and other North Atlantic countries. Norway holds one of the world's largest cod stocks, and commercial cod farming offers a year-round supply of fresh fish beyond the seasonal wild harvest. After the initial expansion of the industry in the early 2000s, cod aquaculture collapsed in 2012 due to infectious diseases, especially francisellosis caused by *Francisella noatunensis* subsp. *noatunensis* and challenges related to early sexual maturation. Since 2018, cod farming has resurged, with 4.8 million cod transferred to sea cages and approximately 14,700 tonnes harvested in 2024. As the cod industry grows, there is an urgent need to understand disease risks, interspecies pathogen transmission, and the environmental impact of intensified production.

The project (FHF Cod disease risk 2023 – 2025) aimed to generate new knowledge on the risk and dynamics of infectious diseases in cod farming through four complementary work packages (WPs); where WP1 mapped current and past literature work on pathogens in farmed and wild cod and review of the NVI's journal system containing cases of diseased cod. The data obtained from literature map in WP1 providing input into field work (WP2) and experimental work (WP3) to obtain new knowledge about the risk of infection of various diseases between farmed cod and other marine fish; while WP4 line of work is focused on providing knowledge-based risk analysis of pathogen transmission between farmed cod and other farmed species and wild marine populations.

A comprehensive literature review covering 1990–2024 identified 25 scientific articles and over 1,000 diagnostic cases from the Norwegian Veterinary Institute (NVI), revealed that bacterial infections remain the dominant cause of disease in Norwegian cod farming, with *Francisella noatunensis* historically being the most economically damaging agent. Other common bacteria include *Vibrio anguillarum*, *Moritella viscosa*, atypically *Aeromonas salmonicida*, *Tenacibaculum* spp., and *Photobacterium* spp. Nodavirus VER/VNN have been reported to cause sporadic disease in the 2000s but have not been reported in recent years. Different parasites have been found, but they rarely cause mortality outbreaks. Between 2021 and 2023, disease investigations showed good overall health, though opportunistic bacterial infections and circulatory and intestinal disorders were noted. Interviews with cod producers confirmed a generally good health status, with main challenges being deformities, intestinal disorders, and gill inflammation rather than acute infections. Farms used UV-treated water (90–120 mJ/cm²) at land-based farming sites, vaccination against *Vibrio* and *M. viscosa* is common, and fallowing between production cycles for disease preventions. Concerns were raised about fry supply, biosecurity during transport, and lack of coordination between species sectors (e.g., cod, salmon, and halibut), by cod farms interviewed.

A sequential sampling of fish and water over twelve months period from one hatchery (Farm A) and two sea-based farms (Farms B and C) were analyzed using qPCR, bacteriology, and histopathology. Good health status and absence of listed pathogens, but the presence of several opportunistic bacteria was found. No detection of notifiable agents such as *Francisella noatunensis*, nodavirus or VHS were found and the samples were also tested and found negative for IPNV-virus due to an isolated finding in cod in 2024. Opportunistic bacteria such as *Vibrio* (*Aliivibrio*) *lodgei*, *Photobacterium iliopiscarium*, *Tenacibaculum finnmarkense*, *Moritella viscosa*, and *Carnobacterium maltaromaticum*, was detected during the sampling period. A gill pathogen, *Ca. Branchiomonas cysticola* was also detected in nearly all sea-farm samples, suggesting a role in gill disease complexes. In addition, a previously uncharacterized cod gill poxvirus (CGPV) was detected in a sea farm. Overall, the results indicate a low disease burden, but persistent exposure to opportunistic and gill-associated bacteria that may pose risks under suboptimal rearing or environmental conditions, and the cod pox virus may also be an emerging pathogen.

Cohabitation fish experimental trial was used to evaluate whether Atlantic cod infected with infectious pancreatic necrosis virus (IPNV) could transmit the virus to other species (Atlantic cod, Atlantic salmon, Atlantic halibut, lumpfish). IPNV-infected Atlantic cod shaded and transmitted the virus horizontally to cohabitant cod, halibut, salmon, and lumpfish in this experiment, through shared water without direct contact. Although

cohabitant fish did not experience mortality, IPNV RNA and histopathological lesions consistent with infection were found, particularly in halibut. These results support that cod can act as an asymptomatic carrier and environmental reservoir of IPNV, with implications for multi-species farming and waterborne pathogen spread.

A model based on Andersen et al. (2022), was used to generate two environmental risk maps to model disease transmission from cod farms to other farms and from cod farms to wild fish populations. The model identified several critical knowledge gaps that currently limit accurate risk assessment, such as limited understanding of pathogen survival and infective dose in seawater, unknown prevalence and shedding rates in cod, limited data on infection risks caused by well boats and shared equipment and lack of quantitative outbreak data for non-notifiable pathogens. The risk maps may serve as management tools for industry and regulators, supporting site planning, surveillance, and emergency response protocols.

Overall, across all work packages, no notifiable diseases were detected in Norwegian farm cod production during the project period. However, multiple non-listed bacterial and gill-associated agents are widespread and warrant ongoing surveillance. The experimental studies confirmed cod's potential to transmit pathogens like IPNV to other aquaculture species, emphasizing the need for integrated, multispecies biosecurity strategies. The project provides the first comprehensive, data-driven foundation for knowledge-based risk analysis in cod farming, integrating field data, literature evidence, and experimental transmission results. This framework will guide disease prevention, strengthen environmental management, and support sustainable expansion of cod aquaculture while protecting wild marine ecosystems.

Norsk

Atlanterhavstorsk (*Gadus morhua*) er en økonomisk viktig art for Norge og andre land i Nord-Atlanteren. Norge forvalter en av verdens største torskebestander, og kommersiell torskeoppdrett gir tilgang på fersk fisk året rundt – utover det sesongbaserte fisket etter vill torsk. Etter den første ekspansjonen av næringen på 2000-tallet kollapset torskeoppdrettet i 2012 på grunn av infeksjonssykdommer, spesielt francisellose forårsaket av *Francisella noatunensis subsp. noatunensis*, samt utfordringer knyttet til tidlig kjønnsmodning. Siden 2018 har torskeoppdrettet hatt en ny vekst, med 4,8 millioner torsk satt ut i sjø og omtrent 14 700 tonn høstet i 2024. Etter hvert som næringen vokser, øker behovet for kunnskap om sykdomsrisiko, artsoverskridende smitte og miljøpåvirkningen av økt produksjon.

Prosjektet (FHF Cod risk disease 2023 – 2025) hadde som mål å generere ny kunnskap om risiko og dynamikk for infeksjonssykdommer i torskeoppdrett gjennom fire komplementære arbeidspakker (WP-er). WP1 kartla eksisterende og tidligere litteratur om patogener hos oppdretts- og vill torsk gjennomgang av NVIs journalsystem som inneholder tilfeller av syk torsk. Dataene fra WP1 ga grunnlag for feltarbeid (WP2) - og laboratoriearbeid (WP3) for å fremskaffe ny kunnskap om infeksjonsrisiko for ulike sykdommer mellom oppdrettstorsk og andre marine fiskearter. WP4 fokuserte på kunnskapsbasert risikoanalyse av patogenspredning mellom oppdrettstorsk, andre oppdrettsarter og ville marine bestander.

En omfattende litteraturgjennomgang for perioden 1990–2024 identifiserte 25 vitenskapelige artikler og over 1 000 diagnostiske tilfeller fra Veterinærinstituttet (NVI), som bekreftet at bakterielle infeksjoner fortsatt er den dominerende sykdomsårsaken i norsk torskeoppdrett, der *Francisella noatunensis* historisk har vært det agens med mest økonomisk skade. Andre vanlige bakterier inkluderer *Vibrio anguillarum*, *Moritella viscosa*, atypical *Aeromonas salmonicida*, *Tenacibaculum* spp. og *Photobacterium* spp. Nodavirus Virussykdommer som VER/VNN forekom sporadisk på 2000-tallet, men er ikke rapportert de senere årene. Ulike parasitter har blitt funnet, men de forårsaker sjelden dødelighetsutbrudd. Mellom 2021 og 2023 viste sykdomsundersøkelser en god generell fiskehelse, men opportunistiske bakterielle infeksjoner og sirkulasjons- og tarmlidelser ble observert. Intervjuer med torskeoppdrettere bekreftet en generelt god helsestatus, der hovedutfordringene var deformiteter, tarmlidelser og gjelleinflammasjon, og ikke utfordringer knyttet til akutte infeksjoner. Oppdrettere brukte UV-behandlet vann (90–120 mJ/cm²) på landbaserte jordbruksområder, vaksinasjon mot *Vibrio* og *M. viscosa* er

vanlig, samt brakklegging mellom produksjonssykluser. Det ble uttrykt bekymringer om yngelforsyning, biosikkerhet under transport og manglende koordinering mellom ulike artssektorer (f.eks. torsk, laks og kveite). Sekvensiell prøvetaking av fisk og vann over 12 måneder fra et klekkeri (anlegg A) og to sjølokaliteter (anlegg B og C) ble analysert ved bruk av qPCR, bakteriologi og histopatologi. Resultatene viste god helse og fravær av listeførte patogener, men tilstedeværelse av flere opportunistiske bakterier. Det ble ikke påvist varslingspliktige agens som *Francisella noatunensis*, *nodavirus* eller VHSV ble funnet, og prøvene ble også testet og funnet negative for IPN-virus på grunn av et isolert funn hos torsk i 2024. Opportunistiske bakterier som *Vibrio* (*Aliivibrio*) *logei*, *Photobacterium iliopiscarium*, *Tenacibaculum finnmarkense*, *Moritella viscosa* og *Carnobacterium maltaromaticum*, ble påvist i løpet av prøvetakingsperioden. En gjellepatogenet *Ca. Branchiomonas cysticola* ble også påvist i nesten alle prøver fra sjølokaliteter, noe som tyder på en rolle i gjellesykdomskomplekser. I tillegg ble, en tidligere ukarakterisert cod gill poxvirus (CGPV) påvist ved én sjølokalitet. Totalt indikerer resultatene lav sykdomsbelastning, men vedvarende eksponering for opportunistiske og gjellerelaterte bakterier kan utgjøre en risiko under suboptimale drifts- eller miljøforhold og torsk koppeviruset kan også være en fremvoksende patogen.

Smitteforsøk med samlokalisering (kohabitasjon) ble brukt for å undersøke om atlantisk torsk infisert med infeksjøs pankreasnekrosevirus (IPNV) kunne overføre viruset til andre arter (laks, kveite og rognkjeks). Torsk infisert med IPNV utskilte og overførte viruset horisontalt gjennom felles vann, uten direkte kontakt, til de andre artene i forsøket. Selv om smittet fisk ikke døde, ble IPNV-RNA og histopatologiske lesjoner konsistente med infeksjon påvist, særlig i kveite. Resultatene bekrefter at torsk kan fungere som asymptomatisk bærer og miljøreservoar for IPNV, med konsekvenser for multispecies-oppdrett og vannbåren smitte.

En modell basert på Andersen et al. (2022) ble brukt til å utvikle to miljøbaserte risikokart for å modellere sykdomsspredning fra torskeoppdrett til andre oppdrettsanlegg og til ville fiskepopulasjoner. Modellen identifiserte flere kritiske kunnskapshull som påvirker nøyaktig risikovurdering, som begrenset forståelse av patogenoverlevelse og infeksjonsdose i sjøvann, ukjent prevalens og utskillingsrater hos torsk, begrensede data om infeksjonsrisiko forårsaket av brønnbåter og delt utstyr og mangel på kvantitative utbruddsdata for ikke-meldepliktige patogener. Risikokartene kan fungere som forvaltningsverktøy for næringen og myndigheter, og støtte arealplanlegging, overvåkning og beredskap.

Samlet sett ble ingen listeførte sykdommer påvist i norsk torskeoppdrett i prosjektperioden. Imidlertid er flere ikke-listeførte bakterier og gjellerelaterte agens utbredt og krever fortsatt overvåking. De eksperimentelle studiene bekreftet at torsk kan overføre patogener som IPNV til andre akvakulturarter, noe som understreker behovet for integrerte, artsoverskridende biosikkerhetsstrategier. Prosjektet gir det første omfattende, datadrevne grunnlaget for kunnskapsbasert risikovurdering i torskeoppdrett, gjennom integrasjon av feltdata, litteratur og smitteforsøk. Kunnskapen generert i prosjektet vil hjelpe til å forebygge sykdom, styrke miljøforvaltningen og støtte bærekraftig videre vekst i torskeoppdrettet, samtidig som ville marine økosystemer beskyttes.

2 Introduction

Atlantic cod (*Gadus morhua*) is an economically important fish species in Norway, Scotland, Iceland, Canada and Faroe Island. Norway has one of the world largest cod stocks and this has contributed to food, nutrition, and employment for people living along the Norwegian coast for thousands of years. Cod, mostly dried, has been, and is, an important export commodity that is only available seasonally. To overcome the challenges of unpredictable/seasonal fluctuations in cod availability, especially during periods when wild-caught cod is unavailable, commercial cod farming makes it possible to supply fresh cod all year round. Attempt at commercial cod farming started around the turn of the millennium. The farming industry boomed in the early 2000s with several companies involved as juvenile cod producers in land-based systems and on-growers in sea cages. However, the growth was short-lived and in 2012 farming activities dwindled down due to several reasons (Puvanendran, Mortensen et al. 2022). The most important reasons for the decline, was due to infectious diseases like Francisellosis caused by the bacterium *Francisella noatunensis subsp. noatunensis* (Mikalsen, Olsen et al. 2007), but early sexual maturation of the farmed cod was also a problem (Sommerset, Wiik-Nielsen et al. 2023).

Since 2018, there has been renewed interest and growth in cod-farming in Norway. In 2024, 4.8 million Atlantic cod were transferred into sea, and approximately 14,700 tons of farmed cod were harvested (Norwegian Directorate of Fisheries 2025). This figure is expected to increase in 2025, but this will largely depend on the health situation of the farmed cod and on whether the authorities grant permission for new licenses and areas for cod farming. There are many benefits to increased cod farming along the Norwegian coast, but there are still many unanswered questions regarding the risks of such an increase. In particular, concern about disease-outbreaks that may be a challenge and have the potential to negatively impact farmed fish, including Atlantic cod, resulting in decreased productivity (Lafferty, Harvell et al. 2015). Given the expansion of and interest in farming multiple fish species (Ingebrigtsen 06/2021), it is important to assess interspecies transmission of pathogens. Therefore, the project was funded by FHF 2023 to generate new knowledge for use in monitoring the spread of pathogens between farmed cod, other farmed fish and wild marine species.

2.1 Scope of the project

To address the research questions, the project was divided into four work packages (WPs) and an administration work package 0:

2.2 Work Package 0: Administration

This work package includes financial management and overall responsibility for scientific management and project operations (all work packages), including steering committee leadership (see section 4), with Simon Weli as responsible person.

2.3 WP1: Review of existing knowledge on cod diseases

Authors: Sonal Patel, Simon Weli, Kathrine Nilsen, Mona Gjessing, Hanne Nilsen Nina Sandlund

The work package one has two main objectives: The first objective was to produce literature and review maps of known infectious diseases in cod in Norway. To do this, literature search was performed on PubMed and ISI Web of Knowledge for articles published from 1980 to date. Search terms such as, “cod” AND (separately) “disease” or “pathogen”, or “transmission” or “risks” were used to allow for the retrieval of articles in which the search terms appeared in the titles, abstracts, or keywords. The resulting articles were then screened to exclude those not specifically addressing, cod diseases in Norway. The NVI diagnostic database which contains up to 1800

recorded cases of cod diseases dating back to the early 1990s, was included to enhance understanding of the range of cod diseases. The results from the search are summarized and published in a popular science article (Weli SC 2024).

2.4 WP2: Field studies: Pathogen and disease distribution in land and sea-based cod farms

Authors: Mona C Gjessing, Ingunn Sommerset, Hanne Nilsen, Henriette Kvalvik, Sonal Patel, Lisa Øvredal, Kathrine Nilsen, Betty Frieda Ploss, Simon C Weli (NVI) and Julianne Jacobsen (NorCod) and fish health personnel from the industry partners

The objective of the work package was to map pathogen distribution in land and sea-based farms, to produce necessary new knowledge on prevalence and spread of pathogens that cause disease in Norwegian cod farms. To accomplish the tasks, fish and water samples were collected from one land based (hatchery) and two sea-based cod farms for a period of over 12 months. Various samples were analyzed for disease prevalence and pathogen distribution using qPCR, bacteriology and histology.

2.5 WP3: Experimental studies: Generation of data on pathogen transmission from one fish host species to another fish host

Authors: Simon C Weli, Sonal Patel and Nina Sandlund

The objective of the work package was to generate data to evaluate the risk of pathogen transmission from one fish host species to another fish host. To accomplish the tasks, we investigated whether IPNV-infected Atlantic cod (*Gadus morhua*) can shed and transmit the virus through horizontal transmission to cohabiting fish species that are important to Norwegian aquaculture; namely Atlantic salmon, Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*), and lumpfish (*Cyclopterus lumpus*). Using a standardized cohabitation experimental model, virus shedding, mortality, and histopathological changes were monitored for 42 days post-challenge (DPC). An overview of the cohabitation experimental design is shown in Fig. 6 below, in section 5.3). Briefly, Juvenile fish from the four different fish (cod, salmon, halibut and lumpfish) species were obtained from disease-free hatcheries and acclimated before challenge. Twenty-five Atlantic cod were intraperitoneally injected with IPNV (6.3×10^5 TCID₅₀) and placed in tanks containing 40 naïve cohabitant fish per species group in parallel tanks designated as a sampling group (SG) and the other set as an observational group (OG). The IP injected cod was placed in a small flow through basket within the 250 L holding the cohabitants, to avoid direct contact with the cohabitant naïve fish as shown in Figure 1. Fish were monitored daily for 42 DPC. At various times post challenge, seven cohabitant fish from each of the four SG were randomly sampled before challenge (0-samples) and at 7, 14, 21 and 42 DPC. Necropsy was performed and samples were collected in RNALater for real-time PCR (PCR) and fixed in 10% phosphate buffered formalin for histopathology and immunohistochemistry (IHC) examinations. For PCR, Viral RNA in water samples was analyzed using RT-qPCR targeting the VP3 gene (Ørpetveit, Mikalsen et al. 2010). Tissues from gill, heart, kidney, spleen and pyloric caeca with pancreas were examined by histopathology and immunohistochemistry.

2.6 WP4: Development of a knowledge-based risk assessment of infection of various diseases between farmed cod, other farmed species and wild marine stocks

Authors: Nina Sandlund, Lasse Berg Andersen, Ellen S Grefsrud, Cecilie Skår, Lars Qviller, Sonal Patel and Simon Weli

The objective of the work package was to use the updated literature review from WP1 and the cod disease-transmission data from WP2 and 3 to generate a knowledge-based environmental risk assessment to where risk factors, events and consequences associated with the transmission of disease from a cod farm to surrounding farms and wild fish.

To perform the risk assessment, a recently published methodology on environmental risk assessments in aquaculture by Nina Sandlund and colleagues was used (Andersen et al. 2022).

2.7 Project Organization

The project was coordinated by Norwegian Veterinary Institute, in collaboration with Institute for Marine Research (IMR). Dr. Simon Weli was responsible for project leader/administration (budgeting, finances, etc.). WP1 was led by Dr. Sonal Patel in collaboration with Simon Weli, Kathrine Nilsen, Mona Gjessing, Hanne Nilsen and Nina Sandlund. WP2 was led by Mona C Gjessing in collaboration with Ingunn Sommerset, Hanne Nilsen, Sonal Patel, Lisa Øvredal, Kathrine Nilsen, Simon Weli and Julianne Jacobsen. WP3 was led by Simon Weli in collaboration with Sonal Patel and Nina Sandlund, while WP4 was led by Nina Sandlund in collaboration with Lasse Berg Andersen, Ellen S Grefsrud, Cecilie Skår, Lars Qviller, Sonal Patel and Simon Weli.

3 Problem statement and purpose

Disease causes great losses to farmed fish and disease is one reason for the collapse of cod farming industry in 2012. Atlantic cod-farming is growing again, but diseases still cause problems with intestinal volvulus, circulatory disturbances and infectious diseases have been reported to be a great concern (Sommerset, Wiik-Nielsen et al. 2023). Risk analysis that identifies risk factors that are involved in disease occurrence and spread are important for limiting disease transmission. Distance between farmed fish sites, direction of sea currents, the disinfection of intake and outlet water from land-based farm locations and the possible practice of farming more than one fish species on the same farm location, are aspects to take into consideration regarding the importance of this knowledge. The ability of a broad host range pathogen to infect and induce mortality on other fish species may have significant implications for fish farming industry.

We currently lack the knowledge on pathogen transmission within and between existing commercial cod farms, but also on pathogen prevalence in cod. Is pathogen shedding from farmed cod high or low? How long can pathogens survive in seawater and how far can they spread and still be infective? These questions are of great importance for assessing the risk of disease within and from cod farms. In order to answer these questions, we must first have an overview of the current knowledge of which pathogens are associated with disease in cod. We must document the prevalence of the pathogens in land and sea-based cod farms and generate knowledge on shedding and transmissibility of pathogen from one host to another fish host; knowledge that important for development of knowledge-based risk analysis method to assess disease spread. They can be explored by performing genetic and bacteriological analysis of fish and water samples collected over time from land and sea-based cod farms. Next generation sequencing (NGS) of a few diseased fish can provide high-resolution data for use in infection tracking, as the chance of detecting different variants within a farm may be considerable. This will provide information about the pathogen prevalence in existing cod farms, allowing emerging diseases or other unwanted agents to be detected early.

The project therefore followed four lines of work, where WP1 mapped current and past literature work on disease spread and pathogen transmission in cod. The data obtained from literature map in WP1 provided input into field and experimental work to obtain new knowledge about the risk of infection of various diseases between farmed cod and other marine fish (WP2 and 3); while WP4 line of work is focused on providing knowledge-based risk analysis of pathogen transmission between farmed cod and other farmed species and wild marine populations. The different WPs are illustrated in Fig. 1.

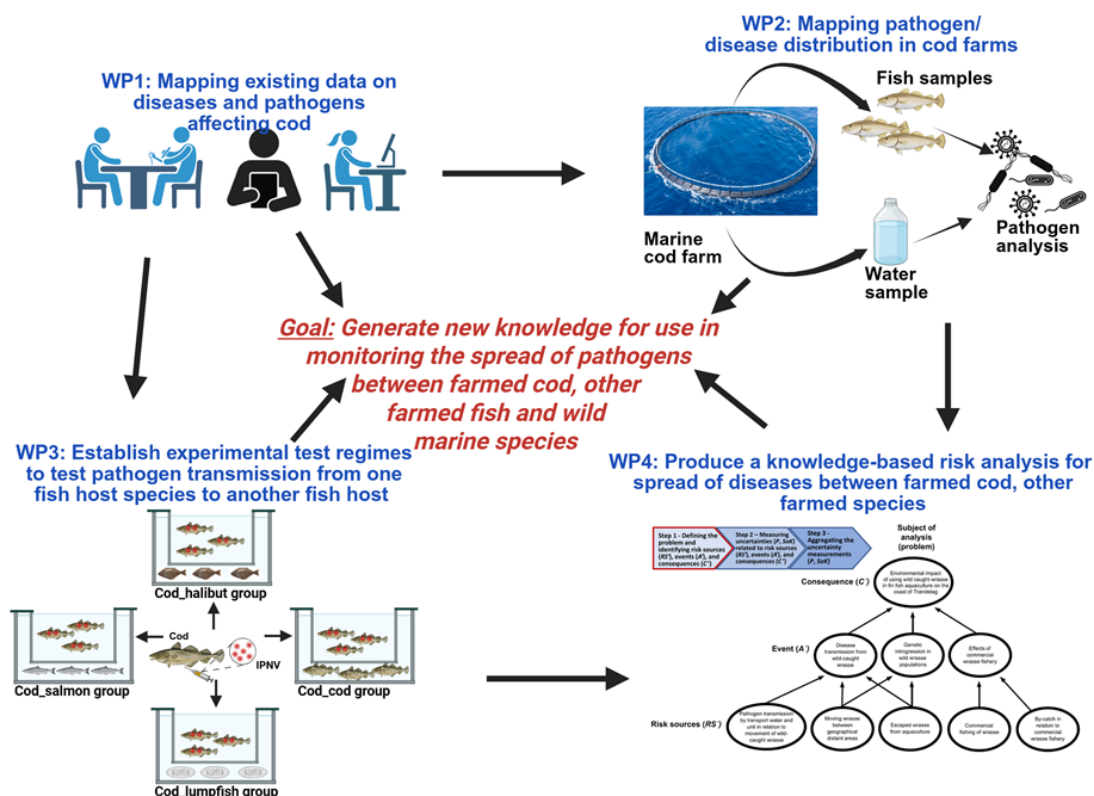


Figure 1. show schematic illustration of how the different work packages (WPs) will generate new knowledge on disease spread between farmed cod, other farmed fish and wild marine species. The final setup of experimental trial in fish with different fish species and a pathogen will be based on information obtained in the previous WPs 1-2 as well as WP4 and is shown for illustrative purposes.

4 Project Implementation

The project was carried out as a collaborative effort between the Norwegian Veterinary Institute with Institute for Marine Research, three industrial partners: NorCod, Arctic cod and Statt torsk ASA, although Statt torsk no longer exist.

The project was led by Dr. Simon Weli (Norwegian Veterinary Institute).

Project Manager FHF

Eirik Ruud Sigstadstø

Reference Group Appointed group

Karoline Hasti Rutle, Fiskarlaget

Krister Hoaas, SjømatNorge

Cecilie Flatnes Nystøyl, Ode Norge

5 Results achieved, discussion and conclusion

5.1 WP1: Review of existing knowledge on cod diseases.

Authors: Sonal Patel, Simon Weli, Kathrine Nilsen, Mona Gjessing, Hanne Nilsen Nina Sandlund

Summary of literature and case studies

We searched PubMed, Google Scholar, and Web of Science for English-language, peer-reviewed articles from the period 1990 to July 2024. The search focused on 1) Norway; 2) infections/diseases in cod; and 3) viruses, bacteria, and/or parasites. The search yielded 25 articles. Articles containing information on infectious diseases in cod and relevant references in these papers were read and included. A summary of the reviewed literature is provided below.

Bacterial Infections

In general, there were more infectious diseases caused by bacteria in Norwegian farmed cod compared to diseases caused by viral infections. Published data on bacterial diseases are mostly from the late 2000s, coinciding with increased interest in and volumes of cod farming at that time. Of all bacterial diseases in Atlantic cod, francisellosis, caused by the intracellular bacterium *Francisella noatunensis* subsp. *noatunensis* is the most economically significant. Francisellosis was first reported in 2004 and is considered a major cause of losses and decline in cod farming in the following years. The disease is characterized by nodules (granulomas) in internal organs, especially the spleen, and sometimes also in the skin. High prevalence with varying mortality rates was reported in infected populations. The use of high-quality cod fry, increased emphasis on biosecurity, and screening after 2011 have led to a reduction in francisellosis outbreaks.

Infection with *Aeromonas* species, especially “atypical *Aeromonas salmonicida*,” and various *Vibrio* species such as *Vibrio anguillarum*, can also cause disease in farmed cod. Infection with “atypical *Aeromonas salmonicida*” also causes granulomas, and atypical furunculosis, which is an important differential diagnosis to francisellosis. *Vibrio anguillarum* serotype 02 causes vibriosis. Both diseases can be problematic in cod farming facilities and may result in significant mortality.

Viral Infections

There are few reports of disease-causing viral infections in Atlantic cod. Four articles and four abstracts described a single case of infection with nodavirus, called viral encephalopathy and retinopathy (VER) or viral nervous necrosis (VNN). These articles were published in the 2000s, when cod farming in Norway was on the rise. The disease also affects other marine fish species and can result in high mortality. Norwegian researchers reported an outbreak caused by nodavirus at a cod fry farming facility in Western Norway in August 2006. The fish were kept until slaughter and later developed francisellosis. Since the collapse of the cod farming industry around 2010, no confirmed cases of viral disease outbreaks have been published in Norway. It is uncertain whether this is due to the reduction in the number of farming facilities or inadequate disease surveillance.

Parasites

The literature search did not support that parasites have been a major cause of serious disease and death in Norwegian farmed cod. Wild cods are common host to many different parasites, including *Anisakis* species, which can cause disease in humans if cod is consumed without sufficient heating. In farmed cod, *Anisakis* species can be avoided by placing facilities far from large populations of whales and seals to prevent cod from being infected by eggs and feces from marine mammals. With increased focus on parasite monitoring in cod hatcheries and sea facilities, and expected rises in ocean temperatures, an increased occurrence of parasitic infections in farmed cod is a possible scenario.

We reviewed twelve articles concerning cod parasites, of which 10 mainly focused on diseases in wild cod. Four main parasites were identified in Norwegian farmed cod: the trematode *Cryptocotyle lingua* (family Digenea), which causes black spot disease; the monogenean *Gyrodactylus marinus*; the protozoans *Spironucleus torosa* and *Trichodina* spp. Wild cod can be infested by two types of lice: cod lice (*Caligus curtus*) and Scottish lice (*Caligus elongatus*). Cod lice are found on cod and other codfish such as ling, pollock, and saithe, while Scottish lice are generalists that can infest many different fish species. Infestation with cod lice has been reported in cod in Northern Norway.

Cod Disease Reports from the Norwegian Veterinary Institute's Journal System

From 2006 to 2023, more than 1,000 cases involving farmed cod were submitted to the Norwegian Veterinary Institute (NVI) for disease investigations. In total, over 1,000 cases with suspected disease were assessed. Most cases were received in 2008, when approximately 300 cases from around 90 cod farming facilities were examined. There was a slight decline in 2009, with nearly 200 cases in 70 facilities. In 50% of these cases, bacteria were detected, while parasites were found in about 15% of the cases. Francisellosis was diagnosed in 14 cases from eight facilities, and VER/VNN was diagnosed in three cases at one location, in 2008 and 2009 respectively.

From 2010 to 2011, 120 cases were submitted from around 60 locations. Bacterial infections were diagnosed in about 50% of the cases, and parasites in 20%. Francisellosis was diagnosed at three locations in 2010 and 2011. There was a clear decline in submitted cases from 2012 to 2021, with around 80 cases received from a few locations. Nevertheless, 50% of all cases involved bacterial infections, while 20% were described as parasite-related infections. Francisellosis was diagnosed at two locations in 2012, one in 2013, and one in 2014. Fungal infections were detected in a few cases from 2006 to 2009.

After a quiet period, there was an increase in sample submissions from cod to NVI in 2022, with 30 cases received between 2022 and 2023. In samples received by NVI during 2021–2023, gill disease, circulatory disturbances, and heart conditions of unclear origin have been observed. Additionally, inflammation in the stomach and intestines have been noted. Among the bacterial analyses from 2021 to 2023, several *Vibrio* species were detected. These include *Vibrio anguillarum* serotypes 1 and 2, *Vibrio splendidus*, *Vibrio logei*, and *Vibrio wodanis* (the latter two are now classified as *Allivibrio* spp.). Other detected bacteria include *Aeromonas salmonicida salmonicida*, *Moritella viscosa*, *Tenacibaculum* spp. (including *Tenacibaculum dicentrarchi* and *Tenacibaculum finnmarkense* genomovar *ulcerans*), *Candidatus Branchiomonas cysticola*, *Photobacterium* spp. such as *Photobacterium iliopiscarius*, *Carnobacterium maltaromaticum*, and *Lactococcus* spp. Parasites were also detected during the 2021–2023 period, including flukes (Digenea), *Gyrodactylus*, *Trichodina* spp., nematodes, and suspected *Ichthyobodo*.

Infectious diseases that caused outbreaks in the 2000s, such as VNN/VER and *Francisella*, have not been detected in recent years. There have also been no findings of parasites such as *Paramoeba perurans* and *Desmozoon lepeophtherii*, or the bacterium *Mycobacterium* sp. Fortunately, there has been no detection of infectious hematopoietic necrosis virus (IHNV) or viral hemorrhagic septicemia virus (VHSV). Samples from 2024 are not included, but it is worth mentioning that one case of IPNV was detected in 2024. It is also worth noting that NVI sample journal systems may not be fully representative of disease issues in farmed cod, as commercial laboratories have increasingly taken over fish diagnostics in the past ten years.

Concluding literature and case studies from cod in Norway as available in NVIs journal system

Cod is an important fish species, and farmed cod has great potential for further expansion and economic growth. However, growth will depend, among other things, on preventing cod from spawning in sea cages. Facilities must maintain strong biosecurity and have knowledge of cod's needs so these can be met. This is necessary to ensure responsible animal husbandry with fish that live good lives. Information on disease spread, surveillance, and control strategies is crucial in fish health management. For farmed cod, we currently lack an overview of the distribution of various pathogens and their shedding. We also need knowledge about the biology of these pathogens, for example regarding disinfection.

Key information from stakeholders and interviews

The second objective of WP1 was to carry out survey/interviews with representatives of Norwegian cod farms, to obtain an understanding of the biosecurity aspects and challenges with disease problems in the cod farm industry. To do this, a qualitative questionnaire was prepared, and application for carrying out interviews was sent to Sikt.no. Upon approval, key information forms were sent to the farms requesting farm specific information and in-depth interviews were carried out with interviewees appointed by the farms. The interviewees represented fish health managers or operation managers at the farm. One of the farms was discontinued, where we had received only parts of the key information, and the interview could not be carried out with personnel. Experiences and opinions of the interviewees from three cod producers in Norway are summarized below.

The interviews were conducted with three themes: a. Production and general conditions, b. Disease status and history, and c. Biosecurity measures.

Hatchery and land-based facilities

All the cod hatchery and juveniles land-based sites had flow through for the intake water and the UV dose employed varied between 90-120 mJ/cm², with the operational temperature varying between 7- 11 °C.

The operation at these sites have been initiated from 2020, and the newest expansion at one facility was in 2024. Production varied from 2-3 smolts per year and the highest numbers were in the facility with hatchery and live feed phase of 7 million. Variation in production-related conditions have been summarized in Table 1.

Table 1. Variation in production-related conditions

	Facility 1	Facility 2	Facility 3	Facility 4
Year production started	2020	2021	2022–2024	2021
Roe/fry supplier	Receives fry – delivers set cod	3	2	2
Input size (pcs)	1–3 million	7 million (hatch and start feed), 1.25 million (growth)	6–7 mill	1 million (roe) + 2.5 million (fry)
Number of production cycles per year	2	3 pcs / 2 pcs	4	3 (1 roe + 2 fry)
Total production (quantity and size per year)	Approximately 3 million; 100 g	6.5–7 mill; 7–12 g	5.5 mill	Approx. 5 mill; approx. 140 g
Sorted at size (g)	15–20 grams	0.3 g; 1.5 g; 8 g	7 g; 15 g; 25 g	1–2 g; 40 g and into well boat

At the three sites producing juveniles, the cod is vaccinated at 35 – 40 g (Table 2), mostly with autogenous vaccines against *Vibrio anguillarum* subtype O2a and O2b, furunculosis and *M. viscosa*.

Table 2. Vaccination status in each facility

Health and Welfare				
	Facility 1	Facility 2	Facility 3	Facility 4
Vaccinated at Size (g)	35	2–4; injection vaccine (as needed)	35	40
Which Vaccine – Against Which Agents	Autogenous against <i>Vibrio</i> (O2a and O2b), <i>furunculosis</i> (type III), and <i>M. visc</i>	IchioVav VR. HIPRA, Dip against <i>V. anguillarum</i> O1, O2a O2b	Alphamarine micro 3 against <i>Listonella anguillarum</i> O2a and O2b, atypical <i>furunculosis</i> type III	Autogenous vaccine – <i>M. viscosa</i> , <i>A. salm</i> , <i>V. anguillarum</i> O2a and O2b
Destruction Approximate share (%)	15%	—	15%	3–30% (with vaccination)

The status of cod at all sites was good with no pathogen related diseases detected (Table 3). However, during last 5 years, there has been detection of *vibrio* spp, *tenacibaculum*, IPNV, systemic mycosis, *Trichodina* and *Allivibrio logei*.

Table 3. Disease status at the facilities

	Facility 1	Facility 2	Facility 3	Facility 4
Current disease status	None	Good, no detection	Good, no diseases	No cod currently
Agents detected in last 5 years	Vibriosis, Tenacibaculum	IPNV, <i>Vibrio anguillarum</i> , <i>Vibrio logei</i>	Vibriosis (<i>Vibrio anguillarum</i> O2b), systemic mycosis (likely <i>Exophiala</i>), <i>Aliivibrio logei</i>	<i>Vibrio</i> , and <i>Trichodina</i>
Method for disease monitoring	Screening of farm sites, release, and as needed/suspected	Screening upon receipt and delivery. Control at least 12 times per year; PCR during production	Preventive fish health control at least 12 times/year, health checks and screening 20 fish per group before sea transfer for <i>Francisella</i>	PCR
Other Health/Welfare Challenges	Deformities, spine and jaw	Deformities, uneven growth within fish groups	Occurrence of enteritis in dead fish, uneven fish groups for sorting	<i>Trichodina</i>

The production sites generally carried out a period of fallowing between each production group, but time varies, and most of the sites did not specify fallowing period. One of the sites has biosecurity due to independent units that are washed separately and thus did not need to fallow.

Production in sea cages:

Production in sea cages started in 2020, and the number of cages at these sites varies from 4 to 10 (Table 4). All sites produced 200.000 cod per sea cage, and number of cycles produced varied from 2 to 9. In general, they use 16-20 months production time in sea cages (Table 5).

Table 4. Cod production specification at each company

Specification			
	Company 1	Company 2	Company 3
Year production Started	2020	2022	2022
Number of cages per Site	4–10	10	7
Individuals allowed per cage	200 K	200 K	200 K
Number of stockings/productions since start	9	2	2

Table 5. Show cod production status at each company

Production			
	Company 1	Company 2	Company 3
Number of fish Supplier	2	3	3
Total production	Annual biomass approx. 5500 tons	2022 – 730 tons; 2023 – 1968 tons	—
Slaughter classification & % distribution	80–90% superior	Superior – 89.4%	90% superior
Average weight at stocking and slaughter	Approximately 100 g and approximately 3–3.5 kg	Stocking 146 g, slaughter 2.81 kg	Stocking 238 g, slaughter 3340 g
Estimated production time	18 months	20 months	16–18 months

Health status at all sites was generally good at the time of the interviews (Table 6). During last 5-year period, one site experienced disease-related to *M. viscosa*. All sites follow the general fish health inspection program and collect samples upon suspicion. One-site, additionally analyzed monthly for Francisella in the period of June to September every year. Often the mortality observed has been related to times when Atlantic cod has been raised for delivery or during transfer to sea.

In a few cases there have been detection of environmental bacteria such as *Photobacterium iliopiscarium*, and *Carnobacterium maltaromaticum* that might create some health-related challenges at the site. Majority of the health-related challenges are connected to inflammation in intestine/enteritis, inflammation in gills, non-uniform growth, and at times heart burst.

Table 6. Health status at different company

Health			
	Company 1	Company 2	Company 3
Current disease status	No disease	Good status	No disease
Agents detected in last 5 years	Moritella viscosa	—	—
Method for disease monitoring	Sampling as needed/suspected	Monthly fish health control, screening for Francisella from June to September	Fish health service
Other health/welfare challenges	Gut problems	Enteritis, gill inflammation (Jan 23), uneven growth, sporadic signs of heart rupture	—
Special events and causes	Increased mortality during lifting/delivery	Mortality at reception	—

The period for fallowing between each generation varied at the three sites. One had a period of 1 month, another site minimum 2 months while the third site fallowed for 3 months.

Summary of the interviews

Stomach, intestine disorder, heart problems and deformities were presented as the biggest challenges in the cod industry. It was mentioned that sometimes there are different genetics within the same sea facility; and in such cases, usually, genetic groups are separated by cage. General indication from the interviewees was that: “Cod has become better domesticated than before. Industry observed good schooling behavior at the different stages.”

In the case of potential growth in cod production, there was some concern regarding fry facilities, and it was mentioned that: “more fry/juvenile facilities should be built to cover the coastline, while will be vital for transport time and logistics!”. Additionally, the most important concern was regarding genetic lines and to quote one of the interviewees: “Definitely vulnerable with only two genetic lines.”

One of the themes focused on comparison of salmon and cod industry. On this, interviewee was concerned, quote: “Difficult to follow standards established for salmon to cod” and “cod is a different species with other needs and challenges”. There are a lot of protocols and routines that are being established by the cod industry and support from academia and public sector would be essential in this process. It was also mentioned that there is a need to discuss whether the same welfare indicators and regulations can be applied for several species or whether specific indicators should be established specifically for each species.

On health and welfare, at the time of the interview, no listed agents/diseases were found. Some cases of vibriosis were detected, and in juvenile fish, vibriosis (serotype O2b) that was detected was probably associated with water intake concerning sub-optimal water treatment. Often connected to operating conditions, opportunistic bacterial infections are observed following sorting/handling. Although cod has been free from *Francisella* spp. infection during this round of cod production, there is a concern especially because wild fish observed outside the cages, and thus there was a consensus that *Francisella* spp must be systematically monitored!! Although nodavirus outbreak was first observed in cod at 5-12 g size, nodavirus is not screened at sea sites with the thinking that the disease mainly occurs in small fish. Sporadic screening is done independently.

A need for a course offered by public sector on “Practical implementation of biosecurity” was expressed by some of the interviewees. One of the concerns was regarding biosecurity during transportation. There have been

observations that the well boats or the trucks used in transporting cods are not always washed and disinfected to a satisfactory level. Sometime small dead fish of other species from earlier transports were part of the transport of cod, which raises concerns. However, it was mentioned that better routines are being established.

Finally, the lack of common platforms to discuss challenges between different species was raised as a concern. Since several species are being produced in the same areas, fjords or production areas, cod producers have a need to discuss common challenges with salmon but also halibut producers. However, even after several initiatives, it seems like this has not been possible.

WP 1 Summary

A comprehensive literature review and analysis of diagnostic data from the Norwegian Veterinary Institute (NVI) revealed that bacterial infections remain the dominant cause of disease in Norwegian cod farming. *Francisella noatunensis* has historically being the most economically damaging agent. Apart from one confirmed case, francisellose has not been a challenge in the last several years. Other common bacteria include *Vibrio anguillarum*, *Moritella viscosa*, *atypical Aeromonas*, *Tenacibaculum spp.*, and *Photobacterium spp.*

Viral diseases such as VER/VNN have been reported sporadically in the 2000s but not in recent years, while parasites have generally not been major causes of mortality. Between 2021 and 2023, disease investigations showed overall good health, with few opportunistic bacterial infections. Circulatory and intestinal disorders were major challenges in cod farming.

Interviews with cod farmers revealed strong biosecurity awareness and improved domestication of cod stocks, but also pointed out several challenges, including:

- Fry and juvenile production are limited to two geographic areas.
- Limited genetic diversity in breeding lines.
- Inconsistent biosecurity during fish transport.
- A need for a better forum for knowledge exchange and coordination between cod, salmon, and halibut producers especially with the same production area.
- Desire for increased public and academic support for biosecurity training.

Overall, no listed or high-risk infectious diseases were detected at the time of interviews, but ongoing vigilance and structured monitoring were emphasized as essential.

5.2 WP2: Field studies: Pathogen and disease distribution in land and sea-based cod farms

Authors: Mona C Gjessing, Ingunn Sommerset, Hanne Nilsen, Henriette Kvalvik, Sonal Patel, Lisa Øvredal, Kathrine Nilsen, Betty Frieda Ploss, Simon C Weli (NVI) and Julianne Jacobsen (NorCod) and fish health personnel from the industry partners

Cod from three different cod farms were autopsied and sampled at three time points:

- Farm A (hatchery): Sampled in 2024 on Jan 23 (A1), Mar 17 (A2), and May 3–4 (A3); average fish weight recorded.
- Farm B (sea farm): The same group was followed after transfer from Farm A, with 30 fish sampled on Oct 16–17, 2024 (B1) and May 26–27, 2025 (B2).
- Farm C (sea farm): Samples from 26–30 cod were collected on Jul 27 (C1), Dec 4–5, 2023 (C2), and Feb 12–13, 2024 (C3).

All fish were euthanized with an overdose of anaesthetic. Tissues (gill, skin, muscle, spleen, kidney, heart, liver, pyloric caeca) were fixed in formalin for histopathology. For most samplings, gill, heart, kidney, brain was preserved in RNAlater for PCR or medium for cell culture.

Kidney smears were plated on cysteine heart agar (CHAB) and blood agar with salt (BAS); for fish with skin or heart lesions, additional smears were taken on marine agar (MA) and/ or blood agar. All plates were examined for bacterial growth. From a subset of fish, RNA-later samples were tested for IPNV (kidney), nodavirus, VNN/VER (brain), PMCV, *Paramoeba perurans*, *Desmozoon lepeoptherii*, *Ca.Branchiomonas cysticola*, SGPV, and CGPV (gill). Histopathology was performed on organs from selected fish from each farm, and cell culture was conducted on subsets from farms A and C. Organs were embedded in paraffin, sectioned and stained with haematoxylin and eosin (H&E). Histology was performed using standard protocols. Sections (3 µm-thick) were stained with haematoxylin and eosin (H&E), and a subset of gills were stained by in situ hybridisation to detect cod gill poxvirus as described previously (Gjessing, Tengs et al. 2024). Farm A is a land-based cod farm in northern Norway that receives fry from hatchery and rears them before sea transfer.

Results

Farm A

Sampling A1 (Jan 23rd, 2024)

Cod had just arrived and the average weight were cage 803 – 3 g, cage 802 – 3.9 g, cage 804 – 8.7 g (Table 7). A total of 120 fish (40 per cage) were euthanized: 10 per cage for histology (formalin-fixed), kidney bacteriology, for PCR and cell culture. No abnormal mortality or significant autopsy findings were observed. No known fish pathogenic bacteria were isolated, but bacteria suspected to be *Vibrio (Aliivibrio) logei* were detected in fish from cage 802 and cage 803. PCR detected no nodavirus, *P. perurans*, SGPV, *Ca. B. cysticola*, *D. lepeoptherii*, CGPV, or PMCV in head tissues or internal organs. Histological examination of six fish (head sections and transverse trunk sections with internal organs) showed no abnormalities.

Table 7. Overview of samples, analysis and results from sampling A1

	Cage A (802)	Cage B (803)	Cage C (804)
Weight mean	3,9g	3g	8,7g
Agent analysed by PCR	Number of positive samples / Number of fish analysed		
VNNV (brain)	0/9	0/10	0/10
PMCV (heart)	0/9	0/10	0/10
IPNV (kidney)	0/9	0/10	0/10
P.perurans (gills)	0/9	0/10	0/10
SGPV (gills)	0/9	0/10	0/10
D.L (gills)	0/9	0/10	0/10
B.C (gills)	0/9	0/10	0/10
CGPV (gills)	0/9	0/6	0/10
Smears kidney on BAS and CHAB	Number of fish analysed by bacteriological cultivation		
	10	10	10
Cell culture on samples from kidney	Number of fish analysed		
	2	2	2

Sampling A2 (March 17th, 2024)

Cod from cage 801 had an average weight of 17 gram, from cage 12.5, 62 gram and cage 804, 33 grams (Table 8). Thirty cods from each tank were sampled. No abnormal mortality was reported, but some fin erosion or ulcers were seen in some cod. From these samples, ulcer-associated pathogenic bacteria were isolated. *Tenacibaculum finnmarkense* gv *finnmarkense* (not genotyped- identified with MALDI_TOF MS) was detected in cage 12-5 and from ulcers. *Vibrio (Aliivibrio) logei* was isolated from eight fish in cage 804. Fin erosions yielded *Tenacibaculum* spp. and *Pseudomonas* spp., while cage 801 had *Shewanella frigidimarina* and *Pseudomonas* spp. from one fish,

and *S. frigidimarina* from another. qPCR revealed no detection of nodavirus in the brain, IPNV or VHSV from the kidney or CGPV in the gills.

Table 8. Overview of samples, analysis and results from sampling A2

	Cage E (801)	Cage F(12-5)	Cage C (804)
Weight mean	17g	62g	33g
Agent analysed by PCR	Number of positive samples / Number of fish analysed		
VNNV (brain)	0/10	0/9	0/10
IPNV (kidney)	0/10	0/10	0/10
VHSV	0/10	0/10	0/10
CGPV (gills)	0/10	0/10	0/8
Smears kidney on BAS and CHAB	Number of fish analysed by bacteriological cultivation		
	10	10	10

Sampling A3 (May 3-4th 2024).

Atlantic cod from cages 805, 807 and 804 which had an average weight of 180 grams was sampled (Table 9). Thirty cods from each tank were sampled. No abnormal mortality was reported. In cage 805, one fish with mandibular malformation and few fish with circulatory disturbances in the atrium of the heart was recorded. No known fish bacterial pathogens were detected, though *Vibrio (Aliivibrio) logei* showed sparse growth in three fish from cage 807 and one from cage 804. qPCR revealed no detection of nodavirus in the brain. One cod had positive PCR for CGPV in the gills with high Ct values suggested low virus load. Histological analysis of gill, kidney, spleen, and heart from 30 cod showed only minor gill changes (mild clubbing, lamellar thickening/adherence from vascular changes and epithelial hyperplasia). Sparse endocarditis occurred in a few fish, and two showed circulatory disturbances in the heart. Over half exhibited granulomatous peritonitis, some with central vacuoles likely related to vaccination (Fig. 2). The following day, May 5th, 2024, the fish were transported by well-boat to sea farm B.

Table 9. Overview of samples, analysis and results from sampling A3

	Cage G (805)	Cage H(807)	Cage C (804)
Weight mean	ca 180	ca 180	ca 180
Agent analysed by PCR	Number of positive samples / Number of fish analysed		
VNNV (brain)	na	0/10	0/9
CGPV (gills)	na	0/9	1/10
Smears on BAS and CHAB	Number of fish analysed by bacteriological cultivation		
	10	10	10

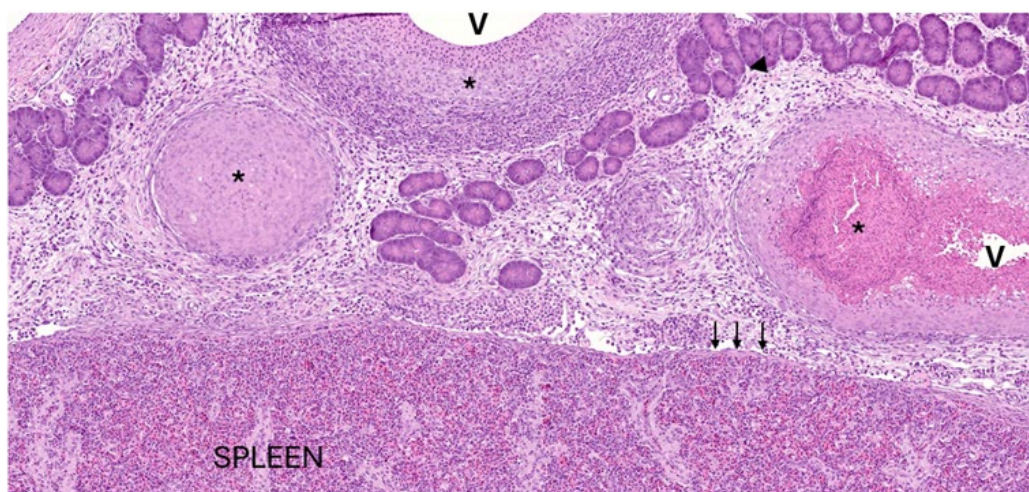


Figure 2. Histological sections of Atlantic cod splenic peritoneum from sampling A3, stained with haematoxylin and eosin. Arrows indicate splenic capsule. Splenic peritoneum with exocrine pancreas (arrowhead) granulomatous process, indicated by *, suspected to be caused by vaccination (V, suspected part of vaccine droplet).

Farm B

Sampling B1 (October 16-17th 2024).

Ten cod from cage 3 averaged 749 g (530–880 g) and ten from cage 8 averaged 765 g (562–1072 g); no data for cage 4/5 (Table 10). No abnormal mortality was reported. Autopsy showed minor skin redness, sparse heart circulatory disturbances, and occasional intestinal volvulus. No known fish pathogens were found, though *Photobacterium iliopiscarium* was detected in one cod per cage, and *Vibrio* (*Aliivibrio*) *logei* and *Pseudomonas* sp. were isolated from two other fish. PCR detected no nodavirus (brain) or SGPV/CGPV (gills), but Ca. *B. cysticola* was detected in all gill samples. Histopathology of gills, skin, muscle, pyloric caeca, liver, heart, kidney, and spleen from six fish (two each from cages 3, 8, and 4/5) showed no or minor gill changes and sparse circulatory disturbances in the heart. Liver showed occasional small macrophage-like cell clusters (Fig. 3), with one fish exhibiting widespread changes. Most fish had sparse to moderate granulomatous peritonitis, and one had purulent peritonitis. Focal granulomatous inflammation appeared in the kidney of one fish, with a few small inflammatory processes in others.

Table 10. Overview of samples, analysis and results from sampling B1

	Cage x	Cage 3	Cage 8
Weight mean (range)	no data (N=10)	749g (530-880)(N=10)	765g (1072-562)(N=10)
Agent analysed by PCR	Number of positive samples / Number of fish analysed		
VNNV (brain)	0/5	0/5	0/5
SGPV (gills)	0/5	0/5	0/5
B.C (gills)	5/5	5/5	5/5
CGPV (gills)	0/5	0/5	0/5
Smears on BAS and CHAB	Number of fish analysed by bacteriological cultivation		
	10	10	10

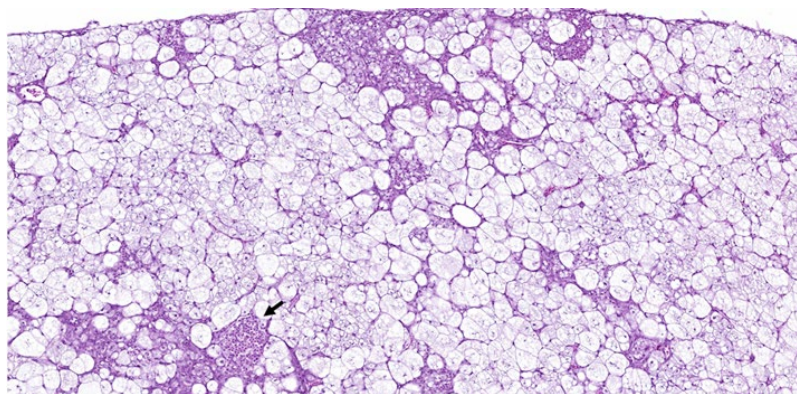


Figure 3. Histological sections of Atlantic cod liver from sampling B1, stained with haematoxylin and eosin. Arrow indicates process of macrophage-like cells.

Sampling B2 (May 26-27th 2025)

Ten cod from cage 3 averaged 2093 g (1772–2572 g), ten from cage 8 averaged 1965 g (1396–2574 g), and 14 from cage 2 averaged 2425 g (1430–3444 g) (Table 11). Mortality began in early April, initially in one cage, then spread wide. Autopsy revealed lesions in the heart and/or gills of several fish. No known obligate fish pathogens were isolated. *Shewanella frigidimarina* and *Vibrio (Aliivibrio) logei* were detected in single kidneys.

Photobacterium iliopiscarium was isolated from one fish's kidney (pure) and from ascites and heart (dominant in mixed flora). PCR detected no SGPV, CGPV in 11 cod, and *Ca. B. cysticola* in all but one gill sample. Histopathology of gills and heart from 6 fish (two from each cage) showed varying degrees of gill pathology, consisting of epithelial hyperplasia, sub epithelial inflammatory cells, adhesion of lamella and some trichodina (Fig. 4). Focal white lesions with clear demarcation to apparently normal heart were seen in some cod.

Table 11. Overview of samples, analysis and results from sampling B2

	Cage 2	Cage 3	Cage 8
Weight mean (range)	2425 (3444-1430)	2093g (2572-1772)	1965g (2574-1396)
Agent analysed by PCR	Number of positive samples / Number of fish analysed		
IPNV (kidney)	0/5	0/5	0/5
SGPV (gills)	0/9	0/5	0/5
B.C (gills)	9/9	5/5	5/5
CGPV (gills)	7/9	1/5	3/6
Smears on BAS and CHAB	Number of fish analysed by bacteriological cultivation		
	10	10	10

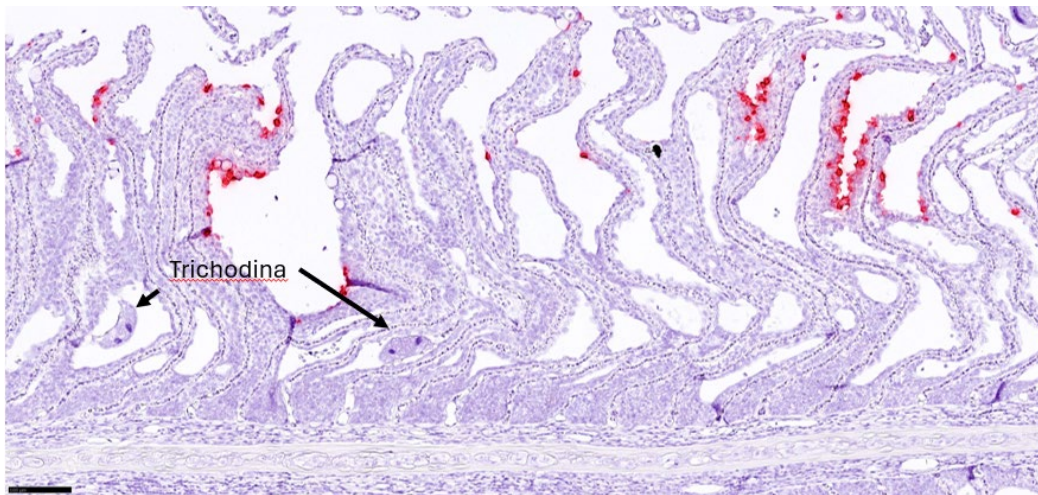


Figure 4. Histological sections of Atlantic cod gills from sampling B2, stained using in situ hybridization for cod gill poxvirus (red). Arrows indicate trichodina like parasites. Extensive changes with epithelial cell hyperplasia and lamellar adhesion leading to significantly reduced respiratory surface

Farm C

Sampling C1 (July 27th, 2023)

Ten cod from cage 2 averaged 2073 g (1468–2526 g), cage 6 averaged 2007 g (1332–2652 g), and cage 7 averaged 2878 g (2056–4038 g) (Table 12). Mortality had risen since late May 2023 due to gill and heart disease (histologically confirmed) but was declining at the time of sampling. Autopsy revealed heart lesions with circulatory disturbances or focal ventricular whitening; some fish showed severe intestinal volvulus with circulatory disturbances. No obligate fish pathogens were isolated. *Photobacterium iliopiscarium* and *Vibrio* (*Aliivibrio*) *logei* were found in pure kidney cultures from two fish, with mixed bacterial flora in others. PCR detected no viral or parasitic agents, but gills from all fish analysis were positive for *Ca. B. cysticola*. No signs of viral agents were observed in cell cultures from kidney or heart samples.

Table 12. Overview of samples, analysis and results from sampling C1

	Cage 2, N=10	Cage 6, N=10	Cage 7, N=8
Weight mean	2,1 (1,5-2,5) kg	2 (1,3-2,7) kg	2,8 (2,1-4,0) kg
Agent analysed by PCR	Number of positive samples / Number of fish analysed		
Nodavirus (brain)	0/5	0/5	
PMCV (heart)	0/10	0/10	0/6
IPNV (kidney)	0/10	0/10	0/6
P.perurans (gills)	0/10	0/9	0/5
SGPV (gills)	0/10	0/9	0/5
D.L (gills)	0/10	0/9	0/5
Branchiomonas cysticola (gills)	10/10	9/9	5/5
Cod gill poxvirus (gills)	0/10	0/9	0/5
Smears on BAS and CHAB	Number of fish analysed by bacteriological cultivation		
	10	10	8
Cell culture, HEART AND KIDNEY	Number of fish where CPE was detected / Number of fish analysed		
	0/1	0/2	0/1

Sampling C2 (December 4th, 2023)

Ten cod from cage 2 averaged 3430 g (2560–4136 g), cage 5 averaged 2394 g (912–3664 g), and cage 6 averaged 2636 g (1670–3486 g) (Table 13). Mortality was low and stable after late July. Autopsy showed occasional heart lesions (atrial circulatory disturbances, focal ventricular whitening fig x) and, in some fish, severe circulatory issues and intestinal strangulation (Fig. 5). Ulcer-associated pathogenic bacteria were isolated from ulcers: *Moritella viscosa*, *Tenacibaculum finnmarkense*, *Tenacibaculum dicentrarchi*. Further, from the kidney, *Vibrio*

(*Aliivibrio*) *logei*, *V. (Aliivibrio) wodanis* and *Carnobacterium maltaromaticum* were detected and *Lactococcus* sp. was isolated from the heart of one fish with heart lesions.

Table 13. Overview of samples, analysis and results from sampling C2

	Cage 2, N=10	Cage 6, N=10	Cage 5, N=10
Weight mean	3,4 (2,6-4,1) kg	2,6 (1,6-3,5) kg	2,4 (0,9-3,7) kg
Agent analysed by PCR	Number of positive samples / Number of fish analysed		
Nodavirus (brain)	0/10	0/10	0/10
PMCV (heart)	0/10	0/10	0/10
IPNV (kidney)	0/10	0/10	0/10
<i>P. perurans</i> (gills)	0/10	0/10	0/10
SGPV (gills)	0/10	0/10	0/10
D.L (gills)	4/10	1/10	0/10
<i>Branchiomonas cysticola</i> (gills)	10/10	10/10	10/10
Cod gill poxvirus (gills)	0/10	2/10	0/10
Smears on BAS and CHAB	Number of fish analysed by bacteriological cultivation		
	10	10	10

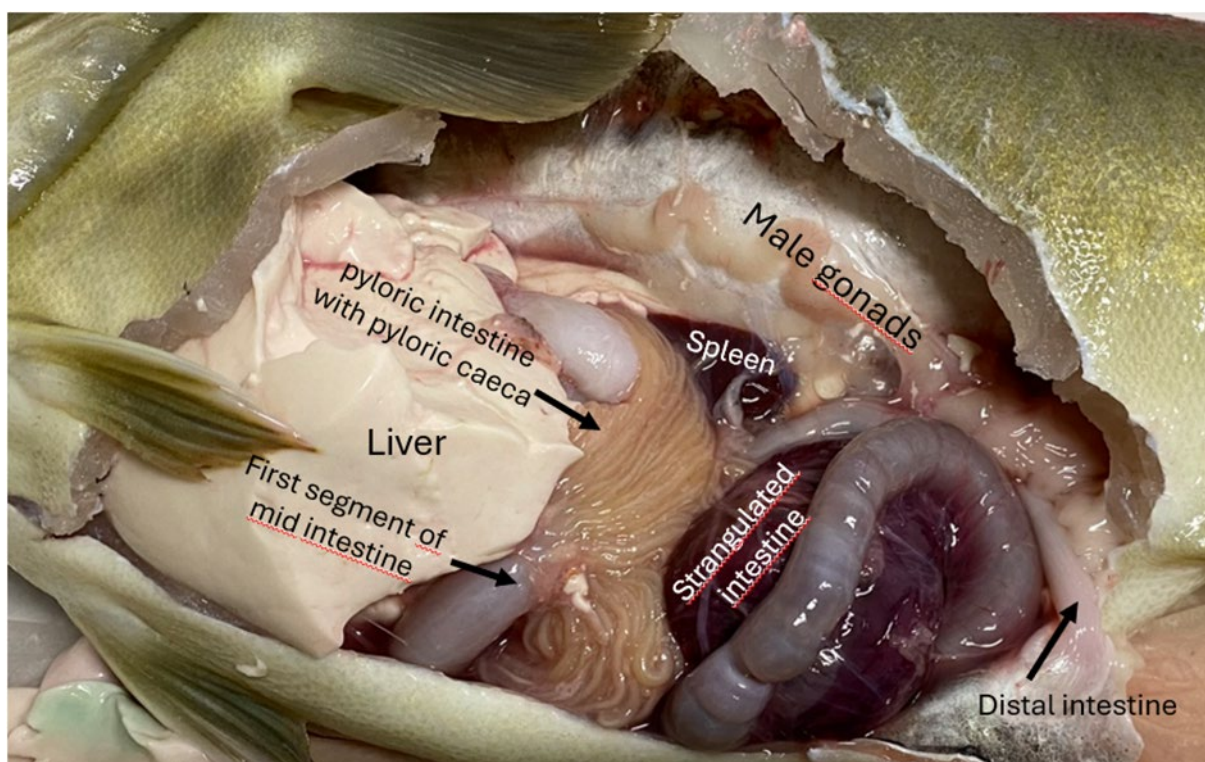


Figure 5. Gastrointestinal tract showing severe intestinal strangulation

Sampling C3 (February 12-13th 2024)

Ten cod from cage 2 averaged 3888 g (3009–5275 g), cage 5 averaged 3746 g (2700–4790 g), and cage 6 averaged 3340 g (2458–4084 g) (Table 14). No increased mortality was reported. *Lactococcus* sp. was isolated from one fish with *Pseudomonas* sp. and from another with *Photobacterium* sp. Sparse mixed bacterial growth was seen in a few other fish. PCR detected no nodavirus (brain), VHSV or IPNV (heart/kidney), *P. perurans*, SGPV, or CGPV (gills). All fish were positive for *Ca. B. cysticola*, and one fish for *D. lepeophtherii*.

Table 14. Overview of samples, analysis and results from sampling C3

SAMPLING C3 February 2024			
	Cage 2, N=10	Cage 6, N=10	Cage 5, N=10
	10	10	10
Weight mean	3,9 (3,7-5,3) kg	3,3 (2,4-4,1) kg	3,7 (2,7-4,8) kg
Agent analysed by PCR			
Nodavirus (brain)	0/9	0/4	0/9
VHSV	0/10	0/9	0/9
IPNV (kidney)	0/10	0/9	0/9
P.perurans (gills)	0/9	0/10	0/10
SGPV (gills)	0/9	0/10	0/10
D.L (gills)	2/9	0/10	1/10
Branchiomonas cysticola (gills)	9/9	9/9	10/10
Cod gill poxvirus (gills)	0/9	0/9	0/10
Smears on BAS and CHAB			
	Number of fish analysed by bacteriological cultivation		
	10	10	10

WP2: Summary

Longitudinal sampling across land-based and sea-based farms showed generally good health status and absence of listed pathogens, but the presence of several opportunistic bacteria.

Key findings included:

- No detection of IPNV nor the notifiable agents such as Francisella noatunensis, and VHSV.
- Frequent isolation of opportunistic bacteria such as Vibrio (Aliivibrio) logei, Photobacterium iliopiscarium, Tenacibaculum finnmarkense, Moritella viscosa, and Carnobacterium maltaromaticum.
- Ca. Branchiomonas cysticola was consistently detected in gills at all sea sites, suggesting that it is widespread but often subclinical (Gjessing MC 2025).
- Cod gill poxvirus (CGPV) was detected in sea farm C during a gill and heart disease episode (Gjessing, Tengs et al. 2024).
- Recurrent findings of intestinal volvulus and circulatory disturbances, particularly in larger fish nearing slaughter size.

These results indicate that while major epizootic agents are currently absent, subclinical infections and environmental opportunists remain key health challenges, and cod gill and intestinal health should be prioritized in future monitoring.

5.3 WP3: Experimental studies: Generation of data on pathogen transmission from one fish host species to another fish host

Authors: Simon C Welj, Sonal Patel and Nina Sandlund

Results

Clinical Signs and Mortality

IPNV-injected cod (shedders) exhibited lethargy, loss of equilibrium, exophthalmia, and ascites, with mortality ranging from 30% to 75% across experimental groups (Fig. 7). No mortality was observed among cohabitant fish species.

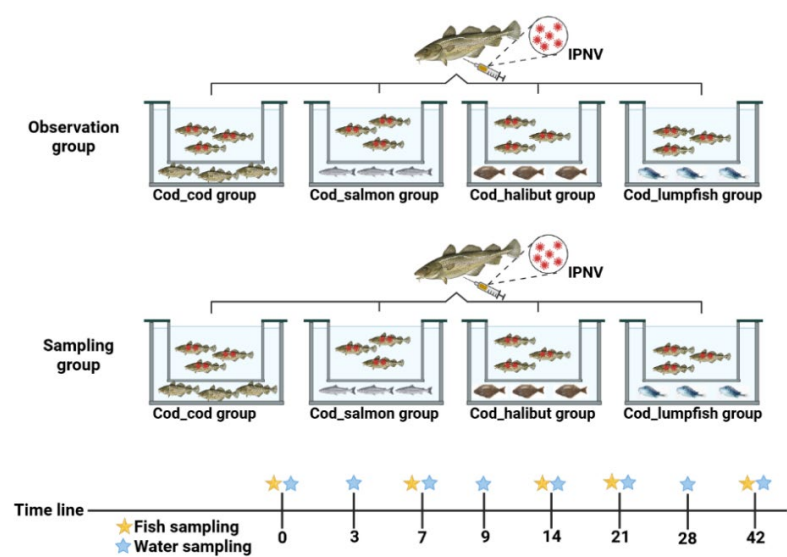


Figure 6. Schematic diagram of the infection trial. Each tank contained 25 shedders and 40 cohabitant fish.

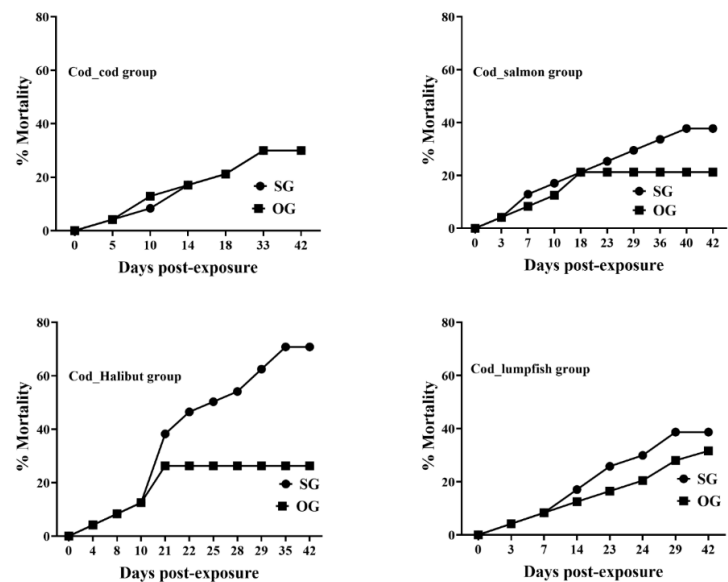


Figure 7. Percentage mortalities of intraperitoneal injected (IP) IPNV injected Atlantic cod (shedders) (*Gadus morhua*) from all four parallel treatment groups: cod_cod, cod_salmon, cod_halibut and cod_lumpfish.

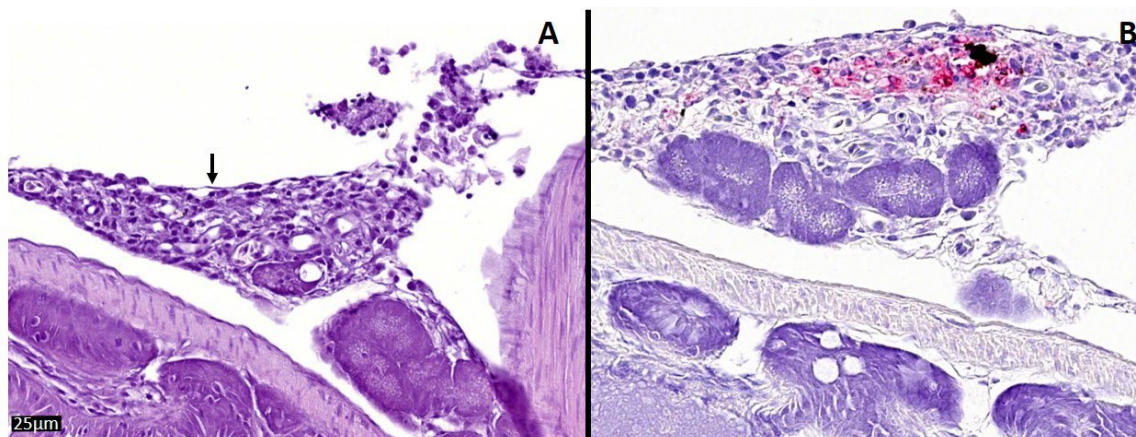


Figure 8. Haemotoxylin and Eosin staining (A) and immunohistochemistry staining (B) for presence of infectious pancreas necrosis virus (IPNV) of moribund Atlantic cod IP injected with IPNV and sampled 14 days after IP injection. (A) Arrow indicating pancreas necrosis and (B) Positive red staining for IPNV localized in the areas with necrotic tissue.

Table 15. PCR analysis of some intraperitoneal IPNV injected Atlantic cod tissue samples

Sample ID	No. of sampled fish	§Sampling Time (DPC)	±No. of PCR positive fish	PCR positive (Ct-range)	*No. of PCR positive organs			
					Gill	Heart	Kidney	Spleen
Moribund IPNV IP injected Atlantic cod	7	8	7/7	19.90 – 30.56	4/7	7/7	7/7	7/7
	4	14	4/4	18.52 – 29.15	4/4	4/4	4/4	4/4
	2	21	2/2	22.12 – 28.15	2/2	2/2	2/2	2/2
	3	28	3/3	18.59 – 27.96	3/3	3/3	3/3	3/3
†IPNV IP injected Atlantic cod	10	42	10/10	21.71 – 36.72	10/10	7/10	8/10	8/10

± Number of PCR positive IP-injected Atlantic cod.

§ Intraperitoneal IPNV injected Atlantic cod sampled at different day post challenge (DPC).

† Surviving intraperitoneal IPNV injected Atlantic cod sampled on the last day of the challenge trial, day post challenge-42 (DPC).

* Number of PCR positive of individual Atlantic cod organ

Virus Detection in Water and Fish

IPNV RNA was detected in tank water throughout the experimental period (Fig. 7), indicating active viral shedding. RT-qPCR confirmed IPNV in cohabitant fish tissues (Fig. 10; Table 14). Atlantic cod exposed to IPNV via IP experienced infection and virus was transmitted to the naïve cohabitant hosts Atlantic halibut (Fig. 10), Atlantic cod, Atlantic salmon and lumpfish (Data not shown). Ct-values in gill, kidney, spleen and heart tissues ranged from 18.5 to 36.7, with the highest viral loads in moribund cod and halibut.

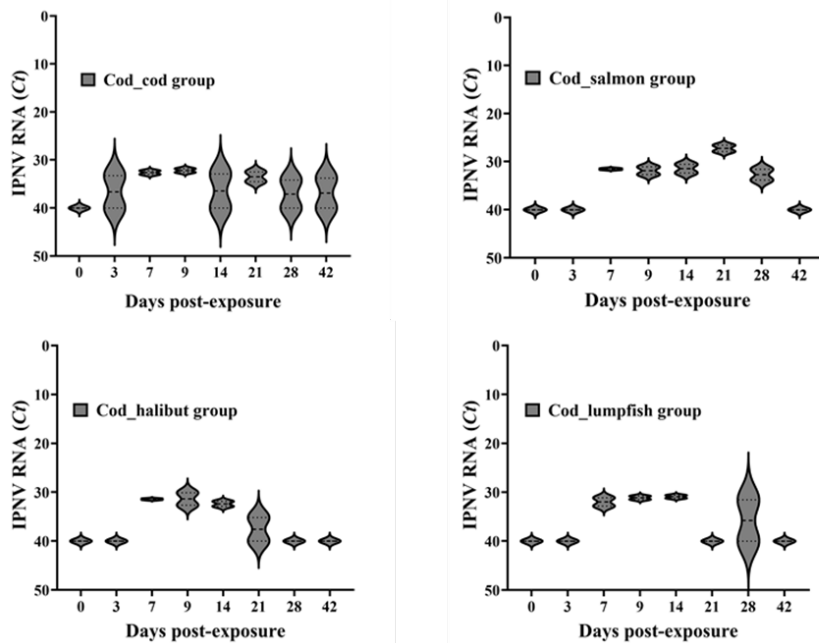


Figure 9. Presence of IPNV in water samples. Violin plot showing IPNV viral RNA detection from water collected from each of the four sampling groups (SG) (cod_cod, cod_salmon, cod_halibut and cod_lumpfish) tanks, indicating Ct values at each sampling time point. Number of water samples sampled per time point = two.

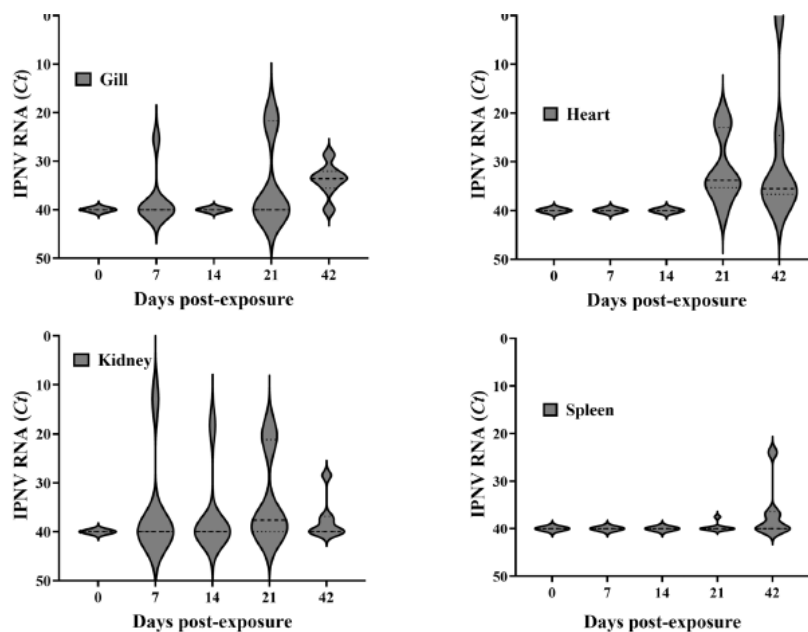


Figure 10. Detection of IPNV in cohabitant Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*). Violin plot PCR results from the gill, heart, kidney and spleen tissue indicating Ct-values at each time point. Number of fish sampled per time point = 7.

Histopathology and Immunohistochemistry

Histological examination of organ tissues from cohabitant Atlantic cod and Atlantic halibut revealed signs of necrosis in the exocrine pancreas, hematopoietic (interstitial) tissue of the kidney, and spleen, along with inflammation and circulatory disturbances. Lesions consistent with IPN were identified in the exocrine pancreas of injected cod (Fig. 8) and cohabitant halibut (Fig. 11). Immunohistochemistry revealed IPNV antigens in necrotic pancreatic (Fig. 11), splenic, and renal tissues, confirming viral replication and pathology in both injected and cohabitant fish.

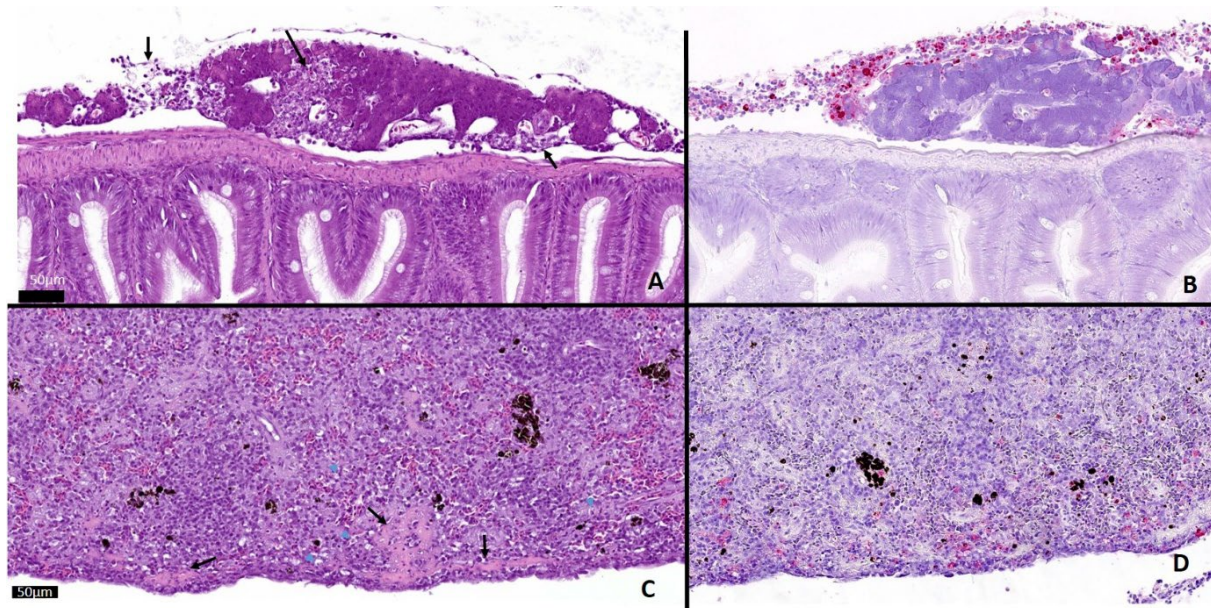


Figure 11. H&E staining (A & C) and immunohistochemistry staining (IHC) for infectious pancreas necrosis virus (IPNV, red, B & D) of Atlantic halibut. Pyloric caeca with exocrine pancreas (A-B) and spleen (C-D). Cohabitant halibut sampled 21 days after exposure to Atlantic cod infected with IPNV. A: multifocal pancreas necrosis (arrows) and B: IHC staining for IPNV in areas with necrosis. C: circulatory disturbances with areas of eosinophilic amorphous material suspected to be fibrin (black arrows). Necrosis of single cells (blue arrowheads) D: extensive positive IHC staining of areas with pathology seen in C. PCR Ct-values for kidney from these Atlantic halibut were 19.75 for (A-B) and 21.8 for (C-D), respectively.

WP3: Summary

The results confirm that Atlantic cod infected with IPNV can shed infectious virus into seawater and transmit infection to cohabiting fish species without direct contact. Although cohabitant fish exhibited subclinical infection without mortality, viral presence was confirmed by PCR and histopathology, particularly in halibut, suggesting species-dependent susceptibility (Weli, Gjessing et al. 2025). These findings are consistent with previous observations of IPNV persistence in subclinical infected cod (Garcia, Urquhart et al. 2006, Jensen, Seppola et al. 2009) (Garcia et al., 2006; Jensen et al., 2009) and underline the potential for interspecies transmission under aquaculture conditions. Environmental persistence of IPNV (Gregory et al., 2007) and its detection in seawater highlight the possibility of virus spread between farms through water exchange or shared equipment. The lack of disease in cohabitants may reflect effective mucosal immune responses or a relatively low-virulence isolate. Nevertheless, subclinical carriers pose epidemiological risks for disease emergence, especially in multispecies aquaculture.

5.4 WP4: Development of a knowledge-based risk assessment of infection of various diseases between farmed cod, other farmed species and wild marine stocks

Authors: Nina Sandlund, Lasse Berg Andersen, Ellen S Grefsrud, Cecilie Skår, Lars Qviller, Sonal Patel and Simon Weli

The objective of the work package was to use the updated literature review from WP1 and the cod disease-transmission data from WP2 and 3 to generate a knowledge-based environmental risk assessment to where risk factors, events and consequences associated with the transmission of disease from a cod farm to surrounding farms and wild fish.

To perform the risk assessment, a recently published methodology on environmental risk assessments in aquaculture by Nina Sandlund and colleagues was used (Andersen, Grefsrud et al. 2022).

The risk assessment work has been performed in Norwegian, here we present the summary of the work package in English. The full risk report in Norwegian is attached as a supplementary file:

Problem

As with all food fish production that takes place in open cages in the sea, cod farming can also affect the marine environment and the surrounding organisms. An important impact can be the spread of infection in the event of a disease outbreak. Infection can spread to other fish farms and/or to wild fish.

The premise of our analysis is that there is an ongoing disease outbreak at a cod farming facility, which could lead to the spread of infection to the surrounding area. Risk sources that could lead to a disease outbreak or affect the disease outbreak itself in the facility are therefore not part of our analysis.

Based on this, we have created two proposals for risk maps with associated risk sources, events and consequences. The following defined undesirable events have been used as a starting point for developing the risk maps (Fig. 12 and 13):

- Infection at a new fish farm as a result of the spread of infection from a cod fish farm.
- Infection in wild fish as a result of the spread of infection from a cod fish farm.

The aim of this work has been to create proposals for risk maps that highlight and create understanding of the risk sources, events and consequences associated with the spread of infection from farmed cod to other farmed fish and to wild fish.

The purpose of the two risk maps is that they should be general and used as a model tool by farmers and management as starting point when there is a need to make a risk assessment for the spread of a specific agent. Risk sources, events and consequences associated with the spread of infection between fish farms and from farmed fish to wild fish have been identified, systematized and described.

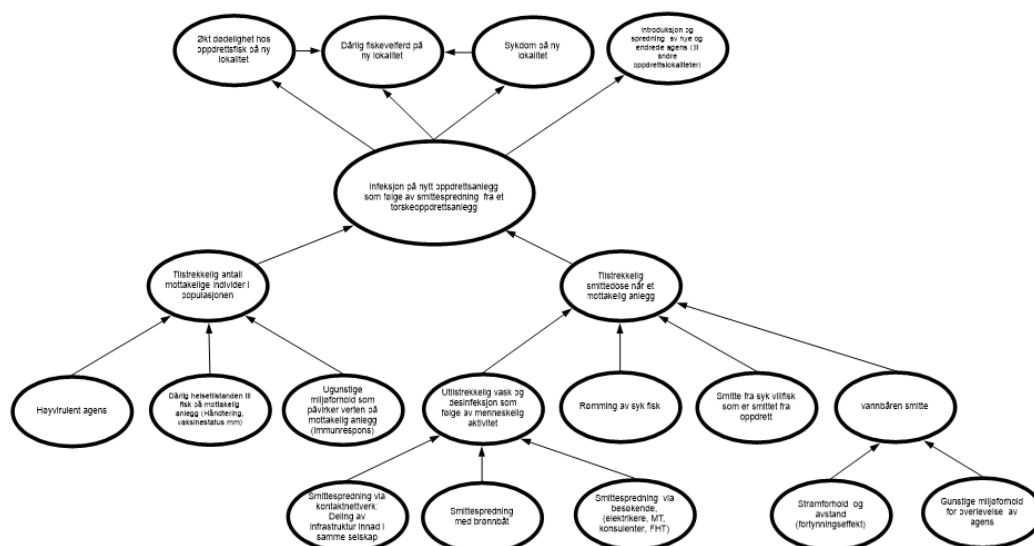


Figure 12. Visualization of risk sources, events and consequences related to infection at a new fish farm as a result of the spread of infection from a cod farm with a confirmed disease outbreak.



Figure 13. Visualization of activities, risk sources, incidents and consequences related to infection in wild fish as a result of the spread of infection from a cod farm.

Through this work, some important and major knowledge gaps have been identified that should be highlighted. It is important to gain better knowledge about these in order to strengthen further work with risk analyses on the topic of infection spread. These are:

- General weak knowledge about the survival of various agents in the environment.
- General weak knowledge about the necessary infectious dose for various agents.
- General weak knowledge about the prevalence and number of infected fish in a fish farm, some of which make it difficult to estimate infection pressure.
- Weak knowledge about the effect of farming density (size and number of farms / farms / numbers of fish in the sea).
- In relation to infection from farmed cod to other wild fish, there is generally weak knowledge about the susceptibility of different agents in different species of wild fish.
- Weak knowledge about well boats as a source of infection, even though a connection between PD outbreaks and well boat transport has been demonstrated.
- Uncertainty in the knowledge base (epistemic uncertainty), it is important to have as much information / data as possible in order to be able to break infection routes. This type of information can be background information on vaccination status and other prophylactic measures.
- Lack of knowledge about the number of disease outbreaks of different agents. There is only a detailed overview of the notifiable diseases, and it is the non-notifiable diseases that account for most disease outbreaks in aquaculture.

WP4: Summary

We have proposed two risk maps to highlight and create understanding of the risk sources; events and consequences associated with the spread of infection from farmed cod to both other farmed fish and to wild fish. Two primary risk pathways were modeled:

1. Infection at a new fish farm as a result of the spread of infection from a cod fish farm.
2. Infection in wild fish as a result of the spread of infection from a cod fish farm.

We identified several critical knowledge gaps that should be addressed in order to limit the risk regarding transmission:

- Limited data on pathogen survival, shedding rates, and infectious doses in marine environments.
- Insufficient understanding of infection pressure and host susceptibility in wild fish species.
- Uncertainty about the role of well boats and transport in pathogen dissemination.
- Lack of systematic data on non-notifiable disease outbreaks, which account for most losses in aquaculture.

These gaps highlight the need for continued surveillance, coordinated research across species, and improved data sharing between industry, laboratories, and management authorities.

6 Main Findings

- No notifiable or high-impact infectious diseases were detected in the sampled cod populations, indicating a current good health status of Norwegian cod farming during the project period 2023 – 2025. However, a previously uncharacterized cod gill poxvirus (CGPV) was detected in a sea farm.
- Opportunistic bacterial infections, intestinal volvulus, and circulatory disorders remain to be the main recurring health challenges.
- Cod can harbor and transmit pathogens such as IPNV to other species under experimental conditions, confirming the potential for cross-species infection in mixed aquaculture systems (Weli SC 2024, Weli, Gjessing et al. 2025).
- The risk assessment framework provides a valuable model for evaluating disease transmission and identifying biosecurity priorities.
- Persistent knowledge gaps on pathogen ecology, environmental persistence, and interspecies dynamics must be addressed to ensure the sustainable expansion of cod farming.

6.1 Final remarks

The project successfully established a robust scientific foundation for managing disease risks in cod aquaculture. It demonstrated that while the present health status of farmed cod in Norway is stable, biosecurity, surveillance, and cross-species risk management remain key pillars for sustainable growth.

6.2 Future work should focus on:

- Strengthening coordinated monitoring of pathogens across aquaculture species.
- Developing species-specific welfare and health indicators for cod.
- Expanding knowledge on pathogen survival and infection dynamics in marine environments.
- Enhancing biosecurity during fish transport and at multispecies farming sites.

By integrating these measures, the Norwegian cod farming industry can continue to develop responsibly, ensuring both animal health and environmental integrity in an expanding aquaculture landscape.

7 Reference:

- Andersen, L. B., et al. (2022). "Risk understanding and risk acknowledgement: a new approach to environmental risk assessment in marine aquaculture." *ICES Journal of Marine Science* 79(4): 987–996.
- Garcia, J., et al. (2006). "Infectious pancreatic necrosis virus establishes an asymptomatic carrier state in kidney leucocytes of juvenile Atlantic cod, *Gadus morhua* L." *Journal of Fish Diseases* 29(7): 409–413.
- Gjessing, M. C., et al. (2024). "The First Report of Cod Gill Poxvirus in Gills of Atlantic Cod (*Gadus morhua* L.) Suffering From Cardiorespiratory Disease." *Journal of Fish Diseases*: e14078.
- Gjessing MC, T. T., Nilsen H, Weli SC. (2025). Et hittil ukjent poxvirus kan gi sykdomsforandringer igjellene til oppdrettstorsken. Norsk fiskoppdrettit Norway. Nr. 3, 2025.
- Ingebrigtsen, O. E. (06/2021). Et hav av muligheter.
<https://www.regjeringen.no/contentassets/e430ad7a314e4039a90829fcd84c012a/no/pdfs/et-hav-av-muligheter.pdf>.
- Jensen, I., et al. (2009). "Susceptibility of Atlantic cod *Gadus morhua* juveniles to different routes of experimental challenge with infectious pancreatic necrosis virus (IPNV)." *Diseases of aquatic organisms* 85(2): 105–113.
- Lafferty, K. D., et al. (2015). "Infectious diseases affect marine fisheries and aquaculture economics." *Annual review of marine science* 7(1): 471–496.
- Mikalsen, J., et al. (2007). "Francisella philomiragia subsp. noatunensis subsp. nov., isolated from farmed Atlantic cod (*Gadus morhua* L.)." *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 57(9): 1960–1965.
- Puvanendran, V., et al. (2022). "Development of cod farming in Norway: Past and current biological and market status and future prospects and directions." *Reviews in Aquaculture* 14(1): 308–342.
- Sommerset, I., et al. (2023). "Fiskehelserapporten 2022." Veterinærinstituttets rapportserie(5a).
- Weli, S. C., et al. (2025). "Infectious Pancreatic Necrosis Virus Can Be Transmitted Through Cohabitation From Atlantic Cod (*Gadus morhua*) to Atlantic Cod, Atlantic Salmon (*Salmo salar*), Atlantic Halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) and Lumpfish (*Cyclopterus lumpus*)." *Journal of Fish Diseases*: e70042.
- Weli SC, G. M., Nilsen H, Sommerset I, Sandlund N, Patel SJ (2024). Ny runde med torskeoppdrett i Norge – hva vet vi om sykdomsstatus og smittespredningsrisiko. Norsk fiskoppdrettit Norsk fiskoppdrettit Nr. 10, 2024.
- Weli SC, O. A., Gjessing MC, Patel S, Sundland N (2024). Når smittsom sykdom krysser artsgrenser I fiskeoppdrett: Hva kandet bety for norsk havbruk? Norsk fiskoppdrett Norway, Norsk fiskoppdrett Nr. 10, 2024.
- Ørpetveit, I., et al. (2010). "Detection of infectious pancreatic necrosis virus in subclinically infected Atlantic salmon by virus isolation in cell culture or real-time reverse transcription polymerase chain reaction: influence of sample preservation and storage." *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation* 22(6): 886–895.

8 Academic deliverables

Published abstracts and presentations

1. Patel et al. Torskeoppdrett - kunnskap og forvaltning, Dialogmøte, Sep 2024, Oslo. Status fra Codrisk,
2. Patel S et al; HAVBRUK 2024: Kartlegging av kunnskap og erfaringer fra torskeprodusenter.
3. Weli SC et al; Frisk Fisk 2025: Interspecies pathogen transmission: An experimental study involving Atlantic cod, salmon, halibut, lumpfish and IPNV.
4. Sandlund N et al; Frisk Fisk 2025: Risiko for smitte fra torskeoppdrett – resultat av risikovurderinger så langt
5. Weli SC et al; EAFP 2025: Atlantic cod gill poxvirus case in the gills of Atlantic cod suffering from cardiorespiratory disease.
6. Sandlund N et al; EAFP 2025: Infectious pancreatic necrosis virus can be transmitted through cohabitation from Atlantic cod (*Gadus morhua*) to Atlantic cod, Atlantic salmon (*Salmo salar*), Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*), and lumpfish (*Cyclopterus lumpus*).
7. Sandlund N et al; EAFP 2025: Improved Environmental Risk Assessment Methodology – with examples from Atlantic cod farming and disease transmission.

Published research and popular science articles

1. Weli SC, M Gjessing, S Patel, AB Olsen...et al. 2025. Infectious Pancreatic Necrosis Virus Can Be Transmitted Through Cohabitation from Atlantic Cod (*Gadus morhua*) to Atlantic Cod, Atlantic Salmon (*Salmo salar*). Journal of Fish Diseases
2. Gjessing MC, Nilsen H, Mohammad S, Weli SC. 2025. The First Report of Cod Gill Poxvirus in Gills of Atlantic Cod (*Gadus morhua* L.) Suffering from Cardiorespiratory Disease. Journal of Fish Diseases
3. Gjessing MC, Tengs T, Nilsen H, Weli SC. 2025. Et hittil ukjent poxvirus kan gi sykdomsforandringer igjellene til oppdrettstorsken. Norsk fiskoppdrett Nr. 3, 2025.
4. Weli SC, Gjessing MC, Nilsen H, Sommerset I, Sandlund N, Patel SJ. 2024. Ny runde med torskeoppdrett – hva vet vi om sykdomsstatus og smittespredningsrisiko. Norsk fiskeoppdrett Nr. 10, 2024.
5. Weli SC, Olsen AB, Gjessing MC, Patel S, Sundland N. Når smittsom sykdom krysser artsgrenser i fiskeoppdrett: Hva kan det bety for norsk havbruk? Norsk fiskoppdrett Nr 9-2025.

9 Appendix:

1. The full WP4 risk report in Norwegian is attached as a supplementary file:

Risikokilder og hendelser knyttet til smittespredning fra oppdrettstorsk

Authors: Sonal Patel, Lar Qviller, Simon C. Welj; Norwegian Veterinary Institute, Norway.

Authors: Nina Sandlund, Lasse Berg Andersen, Cecilie Skår, Ellen Sofie Grefsrud; Institute of Marine Research, Norway.

Sammendrag

Det har vært gjort flere forsøk på å gjøre torskoppdrett til en stabil del av norsk oppdrettsnæring. I tidsrommet mellom forrige «torskerunde» og inntil relativt nylig, har det vært svært begrenset med forskning på torskoppdrett og oppdrettstorsk generelt, og spesielt på problemstillinger knyttet til smittespredning og sykdom. Når det nå er ønske om at torskoppdrettsnæringen igjen skal vokse, er det viktig at veksten skjer i samspill med økt kunnskap.

I dette arbeidet er det identifisert, systematisert og beskrevet risikokilder, hendelser og konsekvenser forbundet med smittespredning mellom oppdrettsanlegg og fra oppdrettsfisk til villfisk. De to foreslåtte risikokartene er generelle og vil kunne benyttes uavhengig av oppdrettet art og agens. Premissene som ligger til grunn for risikovurderingen vil påvirke resultatet. For eksempel vil risiko og potensialet for smittespredning av et spesifikt agens kunne variere med livsstadium, årstid om agenset er temperatursensitivt eller verten er mer mottakelig til ulike tider av året. I tillegg vil biomasse, mengde smittet fisk, også være en viktig og drivende faktor.

Risikokartene vil kunne være til nytte og benyttes av alle aktører som jobber med å forhindre smittespredning. Å skaffe oversikt over risikobildet slik at det er mulig å bryte smitteveier, er essensielt. Oppdrettere, både internt i eget selskap eller mellom samarbeidspartnere, vil kunne bruke dette som verktøy for forbedring av biosikkerhetsplaner.

Oppdrettsfisk er utsatt for forskjellige typer stress slik som temperaturendringer, smittepress, og håndteringer og kan ikke komme vekk fra dette. De kan dermed bli mer mottagelig for opportunistiske og patogene mikroorganismer. Vaksiner er et viktig forebyggende biosikkerhetstiltak som kan være med på å redusere sannsynligheten for sykdomsutbrudd og dermed smitterisikoen. For torsk er det bare tilgjengelig en kommersiell vaksine rettet mot vibriose med markedsføringstillatelse. Inntil flere vaksiner er tilgjengelige vil bruken av autogene vaksiner være eneste mulighet for beskyttelse mot spesifikke agens i tillegg til forebyggende helsearbeid. Jevnlig kontroll av helsestatusen på fisken og gode røkterrutiner med plukking av dødfisk/svimere og screening av sykdom er biosikkerhetstiltak som gjør at en i en tidlig fase av et sykdomsutbrudd kan få gjort tiltak for å redusere et større utbrudd. Ved flytting av fisk må en ha kontroll på helsestatusen, slik at man ikke drar med seg smitte til annet anlegg.

Smitte kan også komme inn via folk og utstyr. Derfor er det viktig med gode rutiner på hvor folk har vært eller hvor utstyr er blitt benyttet og gode desinfeksjonsrutiner. God opplæring av ansatte, hvor en fokuserer på forståelse av rutiner og hva biosikkerhet innebærer, vil også være viktige tiltak.

Økt trafikk med brønnbåter og servicefartøy øker sannsynligheten for smittespredning. Brønnbåtene må følge krav om vann og overflatedesinfeksjon, og krav om hygienekontroll av et fartøy er definert i lovverk, lokale biosikkerhetsavtaler og interne rutiner. Hygienekontroll og gode rutiner på kontroll av desinfisering av båter, vann og utstyr er viktige risikoreduserende tiltak. Det er også laget retningslinjer for hygiene kontroll av fartøy innen akvakultur av Akvaveterinærenes forening og Tekna da det har vært signalisert behov for økt kvalitet og standardisering i gjennomføring av og innhold i en hygienekontroll. Denne veilederen er ment som et støttedokument for dem som skal gjennomføre hygieneoppdrag. Det er viktig med hygienisk design av båter og

utstyr for tilkomst til små nisjer og dødsone for å gjennomføre tilfredsstillende rengjøring og desinfeksjon, som ofte er vanskelig å få til.

Gjennom dette arbeidet har det pekt seg ut noen viktige og større kunnskapshull som bør trekkes frem. Disse blir det viktig å få bedre kunnskap om for å styrke det videre arbeid med risikoanalyser om temaet smittespredning.

Disse er:

- Generell svak kunnskap om ulike agens sin overlevelse i miljøet.
- Generell svak kunnskap om nødvendig smittedose for ulike agens, og vert-patogen interaksjon for å vurdere om det blir etablert infeksjon i populasjonen.
- Generell svak kunnskap om prevalens og antallet smittede fisk i et oppdrettsanlegg, noe som gjør det vanskelig å estimere smittepress.
- Generell svak kunnskap om reservoarar til ulike agens.
- Svak kunnskap om effekt av oppdrettstetthet (størrelse og antallet anlegg / mengden fisk i sjø).
- I forhold til smitte fra oppdrettstorsk til annen villfisk, er det generelt svak kunnskap om mottakelighet for ulike agens hos ulike arter av villfisk og andre marine arter.
- Svak kunnskap rundt brønnbåt som smittekilde selv om det er påvist sammenheng mellom PD utbrudd og brønnbåttransport.
- Usikkerhet i kunnskapsgrunnlaget (epistemisk usikkerhet), viktig med mest mulig informasjon / data for å kunne bryte smitteveier. Denne typen informasjon kan være bakgrunnsinformasjon om vaksinestatus og andre profylaktiske tiltak.
- Manglende kunnskap om antallet sykdomsutbrudd av ulike agens. Det finnes kun detaljert oversikt over de meldepliktige sykdommene, og det er de ikke meldepliktige sykdommer står for de fleste sykdomsutbrudd i oppdrett.

Bakgrunn

Det har vært gjort flere forsøk på å etablere torskeoppdrett som en bærekraftig akvakulturnæring i Norge. Den forrige større satsningen varte fram til rundt 2010 da nedgangen for alvor startet. Årsakene til at satsingen ikke lyktes var sammensatte, men det pekes særlig på en kombinasjon av lave torskepriser som følge av stor tilgang på villtorsk, økonomiske nedgangstider globalt, samt sykdomsutfordringer, spesielt knyttet til francisellose. De siste årene har det igjen vært en økende interesse for torskeoppdrett i Norge. Dette har ført til ny optimisme og nye investeringer i næringen. Samtidig har det kommet tydelige signaler fra politisk hold om at veksten i norsk akvakulturproduksjon bør inkludere flere arter enn laksefisk. Torsk er i denne sammenhengen trukket fram som et aktuelt eksempel.

Som et resultat av den økte interessen har produksjonene av oppdrettstorsk økt betydelig de siste årene. Ifølge Fiskeridirektoratets biomassestatistikk har innrapportert uttak av slaktet torsk (rundvekt) økt fra 242 i 2020 til 14 683 tonn i 2024 (Fiskeridirektoratets biomassestatistikk). Hittil i år (innrapporterte data til Fiskeridirektoratet per 20.10.25) er det slaktet ut nesten 13 765 tonn torsk.

Torskenæringen har selv uttrykt et mål om å nå en produksjon på 75 000 tonn i 2030. Næringen sier imidlertid selv at dette målet kan være vanskelig å nå, først og fremst på grunn av manglende tildeling av nye tillatelser for oppdrett av torsk.

Det er i dag to produsenter som selger egg og yngel; Havland AS utenfor Florø og NOFIMA sin avlsstasjon i Tromsø. Det opplyses at dagens oppdrettstorsk er hhv generasjon 9 og 6.

I 2024 og 2025 har det vært 11-12 aktive sjølokaliteter hvor det produseres oppdrettstorsk. Ifølge informasjon og tall fra Fylkeskommunenenes Akvakultursamarbeid (FAKS) er det ved utgangen av august 2025 gitt tillatelse til en økning i produksjon på drøyt 12 000 tonn, fordelt på fem lokaliteter – hvorav én er en utvidelse av allerede

eksisterende lokalitet. Samtidig ligger 18 søknader til behandling, med en samlet omsøkt biomasse på drøyt 61 000 tonn.

Dagens produksjon av torsk foregår i produksjonsområdene (PO) 4-6, 8, 10 og 12. I tillegg foreligger det søknader om nye lokaliteter for torskeoppdrett i PO 3, 7 og 12. Samlet sett er det flest søknader i PO 4-10, som dekker området fra Nordhordland til Senja.

Viltorsk

Det finnes ulike ville bestander av torsk i norske farvann; kysttorsk, nordsjøtorsk og nordøstarktisk torsk (skrei). Kysttorsk er utbredt langs hele norskekysten, fra lukkede fjordområder til mer åpne bankområder. På disse bankområdene grenser kysttorskbestandene mot, og blander seg delvis med de større bestandene av skrei i Barentshavet og med nordsjøtorsken i sør. Det er genetiske forskjeller mellom både skrei og kysttorsk og mellom kysttorsk i ulike geografiske områder.

De ulike bestandene av torsk forvaltes separat. Skrei-bestanden forvaltes sammen av Norge og Russland, mens ICES gir råd om nordsjøtorsken. Kysttorskbestandene forvaltes etter tre ulike forvaltningsområder; sør for 62°N, mellom 62°N til 67°N, og nord for 67°N. Forvaltningsområdene overlapper delvis med ulike produksjonsområder; hhv PO 1-4, PO 5-8, og PO 9-13. I regi av ICES er det egen forvaltning av kysttorsken nord for 67°N og mellom 67°N og 62°N. Sør for 62°N er det ingen ressurskartlegging og heller ingen separat bestandsvurdering. Denne torsken forvaltes sammen med Nordsjøtorsken. Med unntak av bestanden nord for 67°N, tilstanden til kysttorskbestandene har vært dårlig og kritisk lav over flere år

Biosikkerhet i fiskeoppdrett

Biosikkerhet er definert som forebyggende tiltak som skal redusere risikoen for introduksjon og spredning av smittsomme sykdommer. Biosikkerhet i akvakultur kan oppsummeres som «summen av driftsmessige og fysiske tiltak som har som formål å begrense risikoen for innføring, utvikling og spredning av sykdommer til, fra og i en dyrestand, eller et anlegg, en sone, et segment, et transportmiddel eller et hvilket som helst lokale eller sted». Biosikkerhetstiltak bør være generelle og uavhengige av smitteagens for å redusere risikoen for smittespredning. God biosikkerhet er essensielt for havbruksnæringen og akvakulturproduksjonen, da sykdom kan påvirke fiskehelsen og fiskevelferden negativt.

Alle godkjente akvakulturanlegg og grupper av akvakulturanlegg skal ha en godkjent biosikkerhetsplan i henhold til dyrehelseregelverket. En biosikkerhetsplan er ifølge Forordning (EU) 2020/691 art 2, en dokumentert plan som identifiserer hvordan et sykdomsagens kan komme seg inn i et akvakulturanlegg, spre seg i anlegget og overføres fra det; planen tar hensyn til særtrekkene ved anlegget og fastslår hvilke tiltak som vil redusere de risikokildene som er identifisert. Det er også krav til at fartøy eller andre mobile enheter som behandler eller håndterer fisk om bord skal ha en biosikkerhetsplan og en navngitt ansvarlig person for biosikkerheten i hvert fartøy. For å lage en biosikkerhetsplan må det ligge til grunn en risikovurdering. Planen skal dermed beskrive hvordan en skal unngå smitte, og hvordan unngå at smittsom sykdom utvikler seg og sprer seg.

Sjømat Norge har kommet med en delrapport som omhandler beste praksis for god biosikkerhetskontroll og bedre sykdomskontroll. Det er ønskelig at selskapene selv har eierskap til biosikkerhetsarbeidet og god kunnskap om best praksis og felles mål. Næringsaktører har opprettet samarbeid om blant annet felles «kjøreregler» for å forbedre biosikkerheten (se biosikkerhet.no). Det jobbes med å utvikle system og praksis hvor målet er å redusere smitterisikoen gjennom kontakt med båttrafikk og utstyr som deles mellom lokaliteter.

Flere biosikkerhetstiltak vil være viktig for å redusere risikoen for introduksjon av smitte, eller videre spredning av smitte fra et infisert anlegg. Dette kan være alt fra vaksiner (profylakse), jevnlig helsekontroll av fisken inkl. smittestatus, gode rutiner på desinfisering av båter og utstyr, god opplæring av ansatte, kontroll på forflytning av båter og fisk, beliggenhet av anlegg i forhold til hverandre, utslakting og avfallshåndtering.

Epidemiologisk enhet

Epidemiologi er læren om forekomst og fordeling av sykdom og helse relaterte faktorer i populasjoner, samt om årsaksforhold, kontroll og behandling. Kort sagt handler epidemiologi om å studere mønstre i helse relaterte utfordringer, og om å anvende kunnskap om slike mønstre i praktisk problemløsning og risikohåndtering.

Risikovurderinger knyttet til sykdom og helse kan regnes som en del av epidemiologien, eller som et nært beslektet fagfelt. I epidemiologi og risikovurderinger kan det være nødvendig å definere den minste avgrensede gruppen av individer som deler risiko for smitte eller sykdom, eller som behandles som én enhet i epidemiologisk analyse. Dette kalles en epidemiologisk enhet

Størrelsen på en epidemiologisk enhet avhenger av problemstillingen. I noen tilfeller kan det være enkeltindivider. I akvakultur vil man i praksis ofte definere en epidemiologisk enhet som en merd, som et oppdrettsanlegg, og i noen tilfeller som en gruppe av anlegg – for eksempel i studier av koordinering av drift og tiltak.

I dette arbeidet har vi definert den epidemiologiske enheten som en lokalitet, som i de fleste tilfeller er synonymt med et oppdrettsanlegg.

Når den epidemiologiske enheten er definert, har man samtidig definert en kildeenhet til mulig smittespredning. Spredningsmekanismen kan være rømming av fisk, passiv spredning av smittestoffer i vannmassene, samt både biologiske og abiotiske vektorer – som rømming av fisk, eller båter og deling av utstyr mellom lokaliteter. I dette arbeidet skal vi se på ulike hypotetiske hendelseskjeder for å synliggjøre risikoelementer i torskeoppdrett. En oversikt over slike hendelseskjeder og risikokilder er visualisert i et risikokart. I utviklingen av risikokartene har vi fokusert på kilder, risikofaktorer og mekanismer for smittespredning mellom lokaliteter.

Gjennom slike rammeverk, der smitte spres mellom tydelig definerte epidemiologiske enheter kan vi avgrense ansvar og tiltak og vurdere effekten av disse. Denne kunnskapen kan gi innsikt som kan brukes i kvantitativ epidemiologisk modellering, eller identifisere mønstre som gir grunnlag for forebyggende tiltak.

Problemstilling

Som for all matfiskproduksjon som foregår i åpne merder i sjø, vil også torskeoppdrett kunne påvirke det marine miljøet og organismene rundt. En viktig påvirkning kan være smittespredning ved et sykdomsutbrudd. Smitte vil kunne spres til andre oppdrettsanlegg og/eller til villfisk. Noen sykdomsfremkallende agens er artsspesifikke, mens andre lett kan smitte mellom arter. Eksempler på det siste er ulike *Vibrio*-bakterier og virus som nodavirus. Smittespredning kan derfor påvirke andre arter enn den som sprer smitten.

Premisset for vår analyse er at det er et pågående sykdomsutbrudd ved et torskeoppdrettsanlegg, som kan føre til spredning av smitte til omgivelsene. Risikokilder som kan føre til et sykdomsutbrudd eller påvirke selve sykdomsutbruddet i anlegget, er derfor ikke en del av vår analyse.

Vi har på bakgrunn av dette laget to forslag til risikokart med tilhørende risikokilder, hendelser og konsekvenser. Følgende definerte uønskede hendelser er brukt som utgangspunkt for utvikling av risikokartene:

- Infeksjon på nytt oppdrettsanlegg som følge av smittespredning fra et torskeoppdrettsanlegg.
- Infeksjon hos villfisk som følge av smittespredning fra torskeoppdrettsanlegg.

Rutiner og tiltak kan påvirke følgene av et sykdomsutbrudd. Viktige tiltak for å begrense virkningen av sykdomsutbrudd vil være behandling, og/eller fjerne smitekilden ved uttak (utslakting) av smittet fisk. Tidspunktet og varigheten for utslipp av smittestoff, påvirker det samlede smittepresset i miljøet, og dermed risikoen for spredning. Jo lenger syk fisk står i sjøen og skiller ut smitte, desto mer øker smittepresset til

omgivelsene. Vi har ikke vurdert rutiner og tiltak direkte, men identifisert risikokilder som generelt sett vil påvirke smittespredningen, og dermed også hvor tiltak vil være mest effektive.

Sannsynligheten for, og konsekvensene av smittespredning øker med antallet lokaliteter og mengde fisk i sjø (produksjonsintensiteten) i tillegg til strømforhold og avstand mellom lokalitetene. En lokalitet med et høyt antall fisk (biomasse) vil kunne slippe ut mer smittestoff til omgivelsene ved et smitteutbrudd enn en lokalitet med færre individer.

Mål og omfang

Målsetningen med dette arbeidet er å lage forslag til risikokart som synliggjør og skaper forståelse for hvilke risikokilder, hendelser og konsekvenser som knyttes til smittespredning fra oppdrettstorsk til annen oppdrettsfisk og til villfisk.

Formålet med de to risikokartene er at de skal være generelle og kunne brukes som et modellverktøy av oppdrettere og forvaltning. De er derfor laget for å gi en oversikt over risikobildet uavhengig av hvilket sykdomsfremkallende agens (sykdom) som spres og hvilken art de spres til. Selv om utgangspunktet har vært smitte fra torskoppdrettsanlegg, vil risikokartene også kunne benyttes for å vurdere smittespredning fra andre fiskearter. På denne måten er kartene ment å bevisstgjøre, å gi en hurtig og intuitiv oversikt for å lettere kunne forbedre biosikkerheten, sette inn profylaktiske tiltak, samt å bryte smitteveier. Risikokartene vil også kunne være en hjelp til den enkelte oppdretter i arbeidet med sine biosikkerhetsplaner og beredskapsplaner.

Begge risikokartene vil fungere som modeller for risikoanalyse og kan benyttes som et utgangspunkt når det er behov for å gjøre en risikovurdering for spredning av et spesifikt agens. Selve vurderingen av de enkelte risikokildene vil være avhengig av agensets egenskaper som overlevelse i miljø, om det er vertsspesifikt, hvor infeksjons det er, og andre betingelser og egenskaper. Ved å benytte lokasjonsspesifikke data, vil man kunne gjøre en risikovurdering for et mindre geografisk område som f.eks. i et fjordsystem eller mellom anlegg.

Mangel på kunnskap skaper usikkerhet i vurderingen og øker risikoen. Videre kan identifikasjon av kunnskapshull bidra til en målrettet og prioritert innhenting av kunnskap, både eksisterende og nyervervet gjennom praktisk erfaring og forskning.

Metodikk

Studien har som mål å gi leseren innsikt i ulike risikokilder, hendelser og konsekvenser relatert til overføring av smitte fra et torskoppdrettsanlegg til villtorsk og til andre oppdrettsanlegg. Den valgte metodiske tilnærmingen hviler på den siste utviklingen innen risikovitenskapen og deler av risikoanalyseprosess for akvakultur utviklet av Havforskningsinstituttet.

Risiko defineres som «konsekvenser av aktiviteten med tilhørende usikkerhet», der konsekvensene kan splittes i risikokilder og hendelser som leder til konsekvenser. Hvorvidt og i hvilken grad risikokilder og hendelser gir opphav til alvorlige konsekvenser er beheftet med usikkerhet. Usikkerheten er kunnskapsbasert (epistemisk usikkerhet) og kan beskrives og måles ved hjelp av subjektive sannsynligheter og styrken på den kunnskapen som ligger til grunn for sannsynlighetsvurderingene. All kunnskap om risikokildene, hendelsene og konsekvensene (påvirkningsfaktorene) inkluderes i vurderingene – eksempelvis vil stokastisk usikkerhet i resultat av dataanalyser knyttet til en risikokilde påvirke både vurderingen av den subjektive sannsynligheten og vår vurdering av kunnskapsstyrken.

Regler for design av Bayesianske Nettverk er benyttet for å utvikle en kvalitativ modell for identifikasjon og analyse av risikokilder, hendelser og konsekvenser med tilhørende kausale sammenhenger som kan føre til at villtorsk og andre anlegg blir smittet av et sykdomsutbrudd i et torskoppdrettsanlegg.

Den hierarkiske strukturen, kalt risiko-kart bidrar til forståelse for hvordan risikokilder og hendelser kan gi opphav til alvorlige konsekvenser som økt dødelighet og dårlig fiskevelferd i smittet anlegg.

Risikokartene gir en relativt hurtig og intuitiv forståelse for hva og hvordan risiko for «infeksjon på nytt oppdrettsanlegg som følge av smitte fra et torskoppdrettsanlegg» påvirkes. I teksten beskriver forskerne hver enkelt faktor som påvirker risikobildet. Videre karakteriseres styrken på kunnskapen til påvirkningsfaktorene, som dersom de er svake trekker risikoen oppover. I tillegg gir forskerne noen betraktninger om utslag på påvirkningsfaktorene og dermed risikonivået ved ulike inngangsdata for biomasse, årstid og oppdrettsanlegg i sjø versus på land.

Det gjennomføres ingen sannsynlighetsvurderinger i denne studien. Betraktninger omkring usikkerhet er begrenset til beskrivelser av styrken på kunnskapen om risikokilder, hendelser og konsekvenser samt hvordan disse endrer seg ved ulike inngangsverdier. Resultatet viser hvor i risikokartet usikkerheten er størst, men da sannsynlighetsvurderinger ikke er inkludert i studien, gis det ingen konklusjoner om risiko.

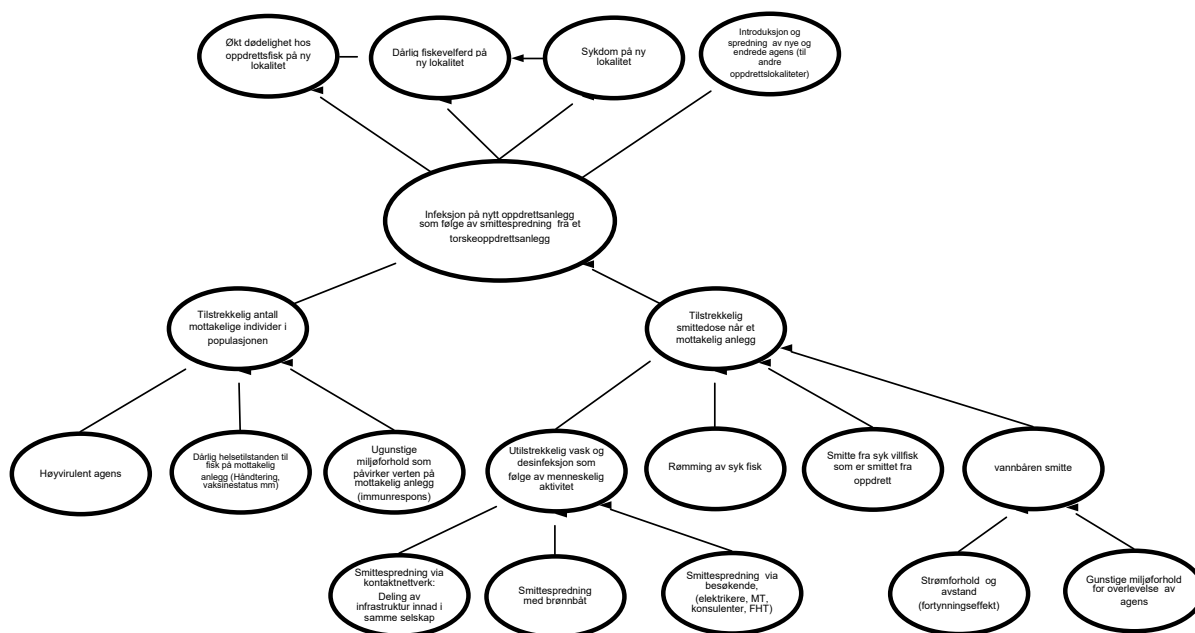
Risiko for infeksjon på nytt oppdrettsanlegg som følge av smittespredning fra et torskoppdrettsanlegg

De viktigste konsekvensene av infeksjon på nytt oppdrettsanlegg som følge av smittespredning fra et torskoppdrettsanlegg er identifisert som:

- Introduksjon og spredning av nye og endrede agens (til andre oppdrettslokaliteter)
- Sykdom på ny lokalitet
- Dårlig fiskevelferd på ny lokalitet
- Økt dødelighet hos oppdrettsfisk på ny lokalitet

Smitte mellom oppdrettsanlegg, som fører til at fisk på ny lokalitet utvikler sykdom, vil kunne føre til økt dødelighet. Alle oppdrettere plikter å sørge for best mulig dyrevelferd (Lov om dyrevelferd). Det antas at smittet og syk fisk vil oppleve dårlig velferd før den eventuelt blir frisk igjen, om den forblir syk, eller i verste fall dør. Fisk med dårlig velferd vil ha mindre appetitt og dermed tape tilvekst. Begge disse konsekvensene vil kunne påføre økonomiske tap for oppdretter i form av nedklassifisering og tap av fisk. Dårlig dyrevelferd kan også svekke omdømmet både til den enkelte oppdretter, men også for hele oppdrettsnæringen.

Smittespredning av nye og endrede agens kan potensielt få stor betydning i oppdrettsnæringen som helhet. Dette gjelder særlig dersom agensene forårsaker alvorlig sykdom med høy dødelighet og samtidig er vanskelig å behandle eller beskjempes. I slike tilfeller må en ofte ty til strenge reguleringer og utslakt av fisk som bekjempelsesmetoder. Slike situasjoner vil også påføre oppdretter store økonomiske tap.



Figur 1. Visualisering av risikokilder, hendelser og konsekvenser knyttet til infeksjon hos nytt oppdrettsanlegg om følge av smittespredning fra et torskoppdrettsanlegg med bekreftet sykdomsutbrudd.

Infeksjon på nytt oppdrettsanlegg som følge av smittespredning fra et torskoppdrettsanlegg er i all hovedsak knyttet til «Tilstrekkelig antall mottakelige individer i populasjonen» og «Tilstrekkelig smittedose når et mottakelig anlegg». For å få utviklet smitte og sykdom innad i en populasjon, må det være mange nok mottakelige individer i populasjonen. Mottakelighet kan variere med livsstadium og den generelle helsetilstanden til individet. Et allerede svekket individ med dårlig helsetilstand, kan være mer mottakelig for smitte og er dermed mer utsatt for å utvikle sykdom. Dersom noen få svake individer i en populasjon blir smittet og syke, kan de øke smittepresset på andre individer i populasjonen med god helsestatus. Selv et fåtall smittede individer kan, under forhold med høy tetthet, fungere som en katalysator for videre smittespredning i populasjonen.

Tilstrekkelig antall mottakelige individer i populasjonen

Hvorvidt et «tilstrekkelig antall individer i populasjonen er mottakelige for smitte» knyttes i all hovedsak til faktorene «Høyvirulent agens», «Dårlig helsetilstand til fisk på mottakelig anlegg» og «Ugunstige miljøforhold som påvirker verten på mottakelig anlegg».

Det er stor variasjon i hvor virulent et agens er. Virulens handler om egenskapene til det enkelte agens, dvs evnen til å infisere verten og fremkalle sykdom. «Høyvirulent agens» omfatter agens som er kjent for å infisere verten og gi alvorlig sykdom.

Viktige virulensfaktorer kan være spesifikke proteiner, såkalte adhesiner som gjør at agens kan feste seg mer effektivt til verten. Hos bakterier er det vist at også flageller kan fungere som adhesin. Flageller er vist å være en viktig virulensfaktor med ulike funksjoner i patogenisiteten til bakterier. Både bakterier og virus har forskjellige egenskaper som gjør at de kan konkurrere med eller påvirke vertens jernopptak. Alle arter av bakterier og virus kan ha variasjon i virulens og virulensfaktorer. Det er ikke uvanlig at agens muterer og utvikler seg og får endringer i virulensegenskaper. Endringene kan være slik at de får økt virulens eller motsatt at de blir mindre virulente. Noen agens er kjent for å infisere verten ved veldig lav dose, og dermed kan veldig lave antall bakterier eller virus være nok til at de svake individene i en populasjon blir infisert.

Risikokilden «dårlig helsetilstand til fisk på mottakelig anlegg» handler om den generelle helsetilstanden til det enkelte individ som vil kunne påvirke grad av mottakelighet for sykdom. Et svekket individ (generell dårlig helsetilstand / svekket immunsystem) kan være mer mottakelig for smitte og er dermed mer utsatt for å utvikle

sykdom. Det kan være ulike årsaker til svekket og/eller dårlig helsetilstand. Svekket helsetilstand som følge av stress er ikke uvanlig i en oppdrettssituasjon. Stress kan komme av ulike årsaker. Oppdrettsfisk har veldig begrenset mulighet til å unngå ugunstige miljøforhold som for eksempel hurtige temperatursvingninger, dårlige oksygenforhold, maneter og algeoppblomstringer. Dette kan svekke immunsystemet og gjøre dem mer mottagelig for opportunistiske og patogene mikroorganismer. I tilfeller der det allerede forekommer en infeksjon, kan fisk være mer mottakelig for tilleggssinfeksjoner. Håndteringer, for eksempel i forbindelse med flytting, sortering eller avlusing kan også virke stressende. Det må legges til at torsk i oppdrett i mye mindre grad håndteres i løpet av en produksjonssyklus enn laks, som ofte må gjennom hyppige avlusinger. Likevel er det viktig å være oppmerksom på håndtering som stressfaktor og minimere dette i tillegg til å la fisken få nok tid til å hente seg inn igjen etter håndtering.

I tillegg vil vaksinestatus virke inn. Vaksiner er viktig for å forebygge sykdom. For torsk er det per nå kun en kommersielt tilgjengelig vaksine med markedsføringstillatelse. Den er mot vibriose. Derfor er norsk oppdrettstorsk i dag stort sett vaksinert med autogene vaksiner mot andre aktuelle agens. Vaksinene beskytter mot ulike bakterielle sykdommer som vibriose (*Vibrio anguillarum*) og furunkulose (*Aeromonas salmonicidae* spp.) og klassiske vintersår (*Moritella viscosa*) for å nevne noen. Vaksine alene er ikke nok, men vil kunne være med på å redusere sannsynligheten for både infeksjon og sykdomsutvikling. Inntil flere vaksiner er tilgjengelig vil forebyggende helsearbeid være ekstra viktig.

Ugunstige miljøforhold som påvirker verten på mottakelig anlegg (immunrespons) innebærer at om miljøforholdene ved det mottakelige oppdrettsanlegget er slik at fisken har fått svekket immunrespons vil sannsynligheten for smitte øke. Miljøforhold som kan svekke fiskens immunrespons er hurtige temperaturendringer, økt temperatur over tid og dårlige oksygenforhold. Lav pH og ugunstig salinitet kan også påvirke immunsystemet til fisk. Klimaendringer gjør at det er forventet at slike ugunstige miljøforhold øker. Hvordan det generelt vil slå ut på fisk sitt immunsystem dersom flere av disse faktorene slår inn samtidig er ikke godt studert.

Studier tyder på at også partikler i vannet etter vasking av nøter kan påvirke fisken negativt. En antar at dette kan skyldes både mekaniske skader på gjeller og hud, eller at endring i den mikrobielle floraen på gjeller kan være relatert til vertens stressrespons under og etter notvask.

Tilstrekkelig smittedose når et mottakelig anlegg

Hvorvidt «tilstrekkelig smittedose når et mottakelig anlegg» knyttes i all hovedsak til faktorene «utilstrekkelig vask og desinfeksjon som følge av menneskelig aktivitet», «rømming av syk fisk», «smitte fra syk villfisk som er smittet fra oppdrett» og «vannbåren smitte». Av disse risikokildene vil vi vektlegge «vannbåren smitte» og «utilstrekkelig vask og desinfeksjon som følge av menneskelig aktivitet».

Ulike agens kan ha svært ulik tilstrekkelig smittedose. Dette betyr at noen agens er mer smittsomme enn andre, men de vil gi ulik alvorlighetsgrad på sykdommen (lav vs. høyvirulens). Enkelte agens kan ha god smitteevne med lav virulens, mens andre kan ha liten smitteevne, men høy virulens.

Agens som kommer ut i vannmassene fraktes i forskjellige retninger med vannet avhengig av strøm og vind. Oftest blir mengden av patogener fortynnet på grunn av store vannmassene, og mengden som eventuelt når et annet anlegg kan være lav. Diverse forhold som mye organisk materialet og fettlag, kan gi overflater som patogener kan feste seg på, der de kan overleve lenger og sannsynligheten for at det når et annet anlegg øker. Agens som binder seg lett til annet organisk materialet kan bli fraktet i konsentrert mengde til mottakelig anlegg. Agens har også veldig forskjellige overlevelsestid i vannstrømmene. Overlevelsen vil være avhengig av både temperatur, tid og hvorvidt det er bundet til organisk materiale. Slik at jo lengre tid i vannmassene desto mer redusert vil smittedosene være når det når et mottakelig anlegg.

Utilstrekkelig vask og desinfeksjon som følge av menneskelig aktivitet

Med «utilstrekkelig» menes at det fortsatt vil være infeksjøs agens tilstede etter at vask og desinfeksjon er utført. Dette kan føre til smittespredning. Eksempler på aktiviteter som krever rutiner for vask og desinfeksjon er forflytning og deling av utstyr, bruk av brønnbåt og besøkende. Det kan være forskjellige årsaker til at vask og desinfeksjon ikke blir gjennomført tilstrekkelig. Det kan være bruk av feil type eller dose av desinfeksjonsmiddel, holdbarhetstiden har gått ut, dårlig tilkomst til nisjer og dødsoner. For kort virketid; her vil mengde mikroorganismer og mengde organisk materiale kunne påvirke. Mye organisk materiale vil kunne hemme virkestoffet. Slurv – blant annet som følge av uvitenhet eller tidspress vil også spille inn. World Organisation of Animal Health (WOAH) sin referansemanual gir gode anbefalinger når det gjelder generell vask/desinfeksjon av lokaler og aktuelle biosikkerhetstiltak. Det er flere eksempler på at tilstrekkelig desinfeksjon tar tid. I følge WOAH sin manual fra 2019, er overflatedesinfeksjon med eksempelvis natrium hypokloritt, iodin, hydrogen peroksid eller benzalkoniumklorid effektivt mens formalin er ikke like effektivt. Utenfor akvatisk miljø, kan nodavirus bli mer enn 99% redusert på tørr overflater ved 7 dager kombinert med temperatur over 21 °C. Agens har ulik resistens mot desinfiseringsmidler, både avhengig av middelet og virkningstiden. Derfor er det viktig å bruke godkjente desinfeksjonsmidler som har et bredt bruksområde og overholde virketiden. Det er også viktig at utstyr er designet slik at en kommer til alle steder ved vask. Ansatte og besøkendes uvitenhet om viktigheten av hygiene og vask for å hindre smittespredning kan også være en faktor.

Smittespredning via kontaktnettverk: Deling av infrastruktur innad samme selskap

Epidemiologisk modellering har vist at sannsynlighet for smitte med pankreas-sykdom (PD) hos laks øker mellom lokaliteter som tilhører samme selskap. Denne mekanismen er ikke dokumentert ved infeksjoner med Infeksiøs lakseanemi (ILA) som også påvirker laksefisk.

Det kan være flere årsaker til at lokaliteter som tilhører samme selskap har økt sannsynlighet for smitteutveksling. Det kan skyldes rutiner for biosikkerhet, deling av utstyr eller bruk av samme brønnbåter. Anekdotiske rapporter av funn av døde fisk etter desinfisering av brønnbåter forekommer, men vi har ingen pålitelige kilder som bekrefter dette.

Effekten av selskapsstruktur i epidemiologiske modeller er ofte begrenset, men selv små effekter kan få betydelige konsekvenser over tid. Gjensidig smitteutveksling mellom lokaliteter kan forsterkes gjennom gjentatte eksponeringer, og dermed gi opphav til større mulighet for et utbrudd enn det som fremgår av enkelthendelser. I et langsiktig perspektiv kan derfor tiltak som reduserer smitte mellom lokaliteter under samme eierskap ha stor betydning.

Smittespredning med brønnbåt

Brønnbåter som benyttes som infrastruktur innad selskap eller på tvers av selskapene innenfor områder eller regioner, kan også bidra med å spre smitte. Risikokilder som kan medføre smitte med eller fra brønnbåter kan være: introduksjon av patogener via vanninntak, spredning av patogener mellom fiskegrupper (blir smittet fra forrige gruppe transportert fordi vask og desinfisering ikke har vært god nok) og spredning av patogener fra brønnbåt til miljø. Spredning av ILAV har vært koblet til brønnbåter gjennom nettverksanalyser og studier hvor det er tatt prøver fra skipsskroget viser at det er en potensiell risiko for spredning av ILA-virus.

For å opprettholde god biosikkerhet er det viktig med riktig teknologi og design, og at det er nok plass til å utføre tilstrekkelig vask og desinfeksjon. Sist, men ikke minst, er tid en viktig faktor. Dersom man ikke kommer til alle steder i systemet for vasking og tørking eller ikke tar seg/har tid til å vaske skikkelig øker sannsynligheten for at smittestoffene ikke blir redusert eller fjernet, og de kan dermed bli videreført til neste fiskegruppe.

Patogener fra fisk kan også spres via transportvann dersom vannet ved utskiftning ikke er desinfisert tilstrekkelig for aktuelle patogener. Dagens krav til UV-dose er ikke tilstrekkelig for en del patogener; det er satt i gang arbeid

med å revidere forskriften, slik at den blir bedre tilpasset dagens akvakulturvirkosomhet. Ballastvann kan også utgjøre en risiko for smittespredning – avhengig av hvor vannet tas inn og skiftes.

Sannsynligheten for overføring av agens (virus, bakterier og parasitter) mellom oppdrettsanlegg øker spesielt når én brønnbåt brukes til å betjene flere anlegg. Dette gjelder særlig i perioder med hyppige aktiviteter (f.eks. avlusinger) som kan påvirke biosikkerhetstiltak – spesielt der biosikkerhetsprotokollene er svake eller ikke følges konsekvent. Viktige risikokilder inkluderer derfor transport eller behandling av infisert fisk, flytting av ubehandlet eller utilstrekkelig desinfisert vann, og utilstrekkelig rengjøring og desinfisering av tanker og utstyr.

Smittespredning via besøkende, elektrikere, MT, konsulenter, FHT

God adgangskontroll og gode biosikkerhetsrutiner er essensielt for å minimere risiko for smitte via besøkende. Besøkende kan utilsiktet dra med seg smitte, spesielt dersom de arbeider med fisk og forflytter seg mellom anlegg. Besøkende bør orienteres og følges opp slik at kravene i biosikkerhetsplanen overholdes. Dette bør f.eks. følges opp med merking og skilting slik at de besøkende er klar over hva de skal gjøre og hvilke krav de må overholde. Det å ha et system for å skifte klær og sko og desinfisering av hender, sko og evt. medbrakt utstyr vil også redusere risikoen. Mulighet for sporing av hvor besøkende har vært tidligere, vil være viktig for å kunne drive smittesporing. Registrering av besøkende og detaljer om de har vært innom andre anlegg og/eller vært eksponert for andre akvatiske dyr og patogener innen en viss periode er dermed viktig.

Rømming av syk fisk kan føre til at «Tilstrekkelig smittedose når et mottakelig anlegg» hvis den syke fisken som rømmer velger å oppholde seg i nærheten av et naboanlegg og på den måten sprer smitte til omgivelsene. Tidligere smittet fisk kan fortsatt være bærer av agens selv om den har blitt frisk igjen etter tidligere gjennomgått sykdom. Tilsynelatende frisk fisk kan også være i et tidlig stadium av en aktiv infeksjon. Fisk med aktiv infeksjon kan skille ut smittestoff i nærheten av naboanlegg, og eventuelt utvikle sykdom og død. Fisk som spiser andre, infiserte fisk kan også selv bli smittet.

Generelt er rømmingstallene fra havbruk noe usikre og man regner med at ikke alle rømminger blir registrert. Det man vet er at torsk har god evne til å utnytte små hull i notveggen for å komme seg ut. Dette gjør at såkalt drypprømming vil forekomme, og slike mindre rømminger kan være vanskelige å oppdage. Det er også ukjent i hvilken grad en eventuell rømt syk oppdrettstorsk velger å oppholde seg i nærheten av et oppdrettsanlegg etter rømming. Erfaringsmessig vil rømt torsk spre seg hurtig ut i fjordsystemet.

Et annet viktig kunnskapshull i denne sammenhengen er hva som er tilstrekkelig smittedose for ulike agens. Det vi kan anta er at det vil være store forskjeller. Det er derfor knyttet usikkerhet til i hvilken grad syk rømt oppdrettstorsk vil kunne påføre en tilstrekkelig smittedose til annen oppdrettsfisk på naboanlegg.

Smitte fra syk villfisk som er smittet fra oppdrett

Villfisk i nærheten av et torseoppdrettsanlegg med et sykdomsutbrudd, vil kunne bli smittet og dra med seg denne smitten videre når de vandrer mellom anlegg. Vi vet at ulike fiskearter frekventerer rundt oppdrettsanlegg, for å spise både eventuelt spillfôr og andre organismer som tiltrekkes av næringstilgangen rundt oppdrettsanlegg. I slike tilfeller vil denne villfisken som oppholder seg i nærheten av anlegg over tid, kunne bli eksponert for smitte og spre denne smitten videre. For at slik smittespredning skal kunne skje, må den smittede fisken på utsiden av merden skille ut nok agens i vannet til at smittedosen blir høy nok for å forårsake smitte og utvikling av sykdom hos oppdrettsfisken.

Mangel på kunnskap rundt smitte til oppdrettsfisk fra smittet villfisk er like stor som for smitte fra rømt syk oppdrettsfisk.

«Vannbåren smitte» vil påvirkes av «strømforhold og avstand» i tillegg til «gunstige miljøforhold for overlevelsen av agens».

Agens som slippes ut i miljøet vil fraktes rundt ved hjelp av vannet (vannbåren smittespredning).

Vannstrømmene kan føre slike smittestoff over lange avstander. Om agenset fortsatt er infeksiosøst vil avhenge av dets evne til å overleve i miljøet. Konsentrasjonen av agenset vil også avgjøre om smittedosen er høy nok for å forårsake infeksjon. Noen agens, som IPNV, er robuste og kan være infeksiose over lengre tid utenfor en vert. Mange bakterielle agens er naturlig tilstede i miljøet og er godt tilpasset et liv også utenfor en vert.

Strømforhold og avstand (fortynningseffekten)

Vannbåren smitte minker generelt kraftig med avstand fra smitekilden. Det skyldes både at smitten fortynnes etter hvert som den spres utover og at smittestoffet i miljøet utenfor verten, brytes ned etter hvert som tiden går. Disse prosessene varierer derimot betydelig med geografi og miljøforhold, og det er derfor ikke mulig å gi en allmenngyldig avstand for et gitt smittenivå eller smittesannsynlighet for de enkelte oppdrettsanlegg. For en gitt lokalitet vil det normalt være en dominerende strømretning som gjør at det over tid er mer smitte i en bestemt retning, men ved spesielle værphenomen kan strømbildet avvike betydelig og det kan da være betydelig smitte også i retninger som normalt opplever lite smitte.

I enkle modeller for smittespredning mellom lokaliteter brukes ofte avstand som en viktig faktor i beregninger av sannsynlighet for smitteoverføring. Dette innebærer at konsentrasjonen av smittestoff antas å avta med økende avstand fra en infisert lokalitet. Slike modeller gir imidlertid et forenklet bilde, ettersom smittestoff i virkeligheten følger vannmassenes bevegelser. Modeller som bruker avstand viser sterke statistiske assosiasjoner, men man kan ikke nødvendigvis overføre generelle mønstre fra analyser av større data til å forstå situasjonen i en enkelt oppdrettslokalitet. I hydrografiske modeller simuleres spredning av smittestoff som partikler som transporteres med vannstrømmer, basert på komplekse strømmodeller. Dette gir en mer realistisk fremstilling av smittespredning i tid og rom, forutsatt at antakelsene om smittestoffets egenskaper er realistiske. Samtidig har slike modeller begrenset evne til å inkludere andre faktorer som påvirker smitterisiko, da de typisk ikke inkluderer egenskaper og biologisk tilstand ved selve anleggene.

I prosjektet OptiLok (FHF-prosjektnummer 901797) er målet å utvikle modeller for virus som kombinerer kunnskapen om nedbrytning av virus, hydrodynamiske modeller og tradisjonelle epidemiologiske modeller. Resultatene så langt er lovende.

Totalt gir ulike modeller god innsikt i hvordan smittestoff spres i tid og rom, samt hvordan drift og lokalitetsstruktur kan organiseres for å begrense og å bekjempe smitte mellom lokaliteter.

Gunstige miljøforhold for overlevelse av agens.

Alle smittsomme agens vil ha ulike forutsetninger og egenskaper som gjør de i stand til å overleve utenfor en vert. Ytre miljøfaktorene som UV-stråling, temperatur, saltinnhold, pH, oksygenivå og substrat vil påvirke hvor lenge agenset overlever utenfor verten. Lavere temperaturer (<15 °C) forbedrer generelt miljøstabiliteten for mange fiskevirus, noe som forlenger smittsomheten og øker overføringspotensialet. I tillegg kan UV-eksponering raskt inaktivere viruspartikler, mens tilstedeværelsen av organisk materiale eller suspenderte partikler kan skjerme virus og forlenge overlevelsen i vannsøylen.

Virus har forskjellige strukturer rundt genomet som vil ha betydning for hvor lenge de overlever i sjøvann. Ikke-kappekledde (nakent) virus er ansett å være mer robuste enn kappekledde virus. IPNV er et eksempel på et nakent og robust virus og har vist seg å forbli smittsomme i lange perioder utenfor en vert. Nodavirus er også et nakent RNA-virus (tilsvarende f.eks. IPNV) og er generelt regnet som et stabilt virus som kan overleve lenge i miljøet.

Studier utført på *Francisella noatunensis* tyder på at både temperatur og salinitet påvirker overlevelsen, men at selv om den overlever så ser det ut som patogenisiteten går ned. Økte vanntemperaturer ser ut til både å kunne øke veksten og oppreguleringen av virulensfaktorer hos forskjellige bakterier.

Risiko for infeksjon hos villfisk som følge av smittespredning fra torskoppdrettsanlegg

Smitte fra torskoppdrettsanlegg kan spre seg til villfisk, enten til samme art eller til andre mottakelige arter. Sannsynligheten avhenger av hvilket agens som er involvert og hvor artsspesifikt det er.

Hvilke negative konsekvenser smittespredning til villfisk kan få, vil variere. De kan være av både generelle og mer artsspesifikke. Smitte i et oppdrettsanlegg med mange individer kan gi muligheter for økt mutasjonsrate av agenset og kan medføre høyere virulens eller endring i artsspesifisiteten.

Mulige generelle konsekvenser av smittespredning til villfisk inkluderer:

- Oppbygging av reservoar i villfisk.
- Introduksjon og spredning av «nye og hittil ukjente» og endrede agens (til villfisk i miljøet).
- Økt sykdomsforekomst i villfisk som følge av smitte fra torskoppdrett.
- Økt dødelighet av villfisk som følge av smitte fra torskoppdrett.

Alvorlige konsekvenser som Bestandsreduserende effekt på villfiskpopulasjoner, er alltid sammensatte og vil aldri være påvirket av kun én faktor. I dette tilfellet smittespredning fra torskoppdrett. Samtidig kan det ikke utelukkes at de fire konsekvensene som følge av smittespredning fra oppdrett, vil kunne være medvirkende årsaker under gitte betingelser og situasjoner. En oppdrettssituasjon, med høy vertstetthet, gir gode forhold og forutsetninger for at egenskapene til agensene vi endre seg og at disse endringene vil skje hurtigere enn under mer naturlige forhold. Dette kan være tilpasning til å infisere andre nye arter eller endring i virulens, og evnen til å fremkalle sykdom. Om man får spredning av et mer virulent og tilpasningsdyktig agens kan det føre til økt dødelighet hos villfisk som smittes. Vi har derfor valgt å ta med Bestandsreduserende effekt på villfiskpopulasjoner som en ytterst konsekvens.

I et oppdrettsmiljø er det enklere å oppdage og å få oversikt over sykdom sammenlignet med hos villfisk og andre marine organismer i naturen. Syk villfisk er vanskelig å oppdage med unntak av situasjoner der det oppstår høy dødelighet og man finner ansamlinger av død villfisk i det fri. Selv om de samme sykdomsfremkallende agensene finnes i både oppdrett og villfisk, kan smitteutskillelse fra oppdrettsfisk øke forekomsten (prevalensen) av smitte i villfisk og opprettholdelse eller medvirke til oppbygging av et reservoar. Dette kan igjen øke sannsynligheten for tilbakeføring av smitte til både oppdretts- og villfisk.

Flytting av levende biologisk materiale er alltid forbundet med en viss sannsynlighet for å introduksjon og spredning av agens til nye geografiske områder og på denne måten kan agens som ikke er naturlig tilstedeværende i et område få rotfeste i miljøet. Flytting av oppdrettsfisk er eksempel på dette. Om det forekommer smittespredning av introduserte agens fra oppdrett, vil dette kunne føre til etablering av en ny type agens i nytt geografisk område.

Vertstettheten i oppdrett er høy, noe som øker potensialet for endringer i virulens og vertsspesifisitet, og vi har eksempler der genetiske mutasjoner har gitt opphav til økt virulens. Et eksempel på dette er når ILA HPRO utvikler seg til en patogen variant, ILA HPR-delta, gjennom delesjoner i virusets genom. Slike endringer kan skje raskere i oppdrett enn under naturlige forhold, på grunn av høy vertstetthet, mange verter og endrede miljøforhold. Dersom et mer virulent og tilpasningsdyktig agens sprer seg til villfisk, kan det føre til økt dødelighet.

Alle parasitter og patogener har per definisjon en negativ effekt på verten. Selv lavvirulente agens kan gi betydelig effekt, for eksempel gjennom ko-morbiditet eller begrenset ressurstilgang. Effekten på populasjoner

som følge av smitte og sykdom, avhenger av dødelighet og reproduksjonstap. I tillegg kommer tilstanden til villfiskpopulasjonen, som er viktig å ta med i betraktningen i forhold til hvor sårbare de er for påvirkning av smitte og konsekvensene av en slik smitte. Er den mottakelige villfiskpopulasjonen svak og sårbar i utgangspunktet, som for eksempel kysttorskbestanden sør for 67°N er, vil den være mer utsatt for en bestandsreduserende effekt.

Et kjent eksempel på smittespredning med potensiale for bestandsregulerende effekt er introduksjonen av parasitten *Gyrodactylus salaris* til Norge, som førte til høy dødelighet hos laks og krevde omfattende bekjempelsestiltak.

Infeksjon hos villfisk som følge av smittespredning fra torskoppdrettsanlegg er i all hovedsak knytte til hendelsene «Syk fisk gyter i merd (vertikal smitte)», «Oppbygging av reservoar andre organismer og miljøet generelt», «Tilstrekkelig smittedose» og «Tilstedeværelse av mottakelig villfisk». Sannsynligheten for at disse hendelsene skal inntreffe avhenger hovedsakelig av risikokildene «Utslipp av agens fra brønnbåt», «Rømming av syk fisk» og «Vannbåren smitte» som påvirkes av «Strømforhold som gir liten fortynningseffekt» og «Gunstige miljøforhold for overlevelse av agens».



Figur 2. Visualisering av aktiviteter, risikokilder, hendelser og konsekvenser knyttet til infeksjon hos villfisk som følge av smittespredning fra et torskoppdrettsanlegg.

Syk fisk gyter i merd (vertikal smitte)

Høy forekomst av virus i oppdrettsfisk kan potensielt øke sannsynligheten for overføring av smitte til ville fiskebestander og andre ville akvatiske organismer. I tillegg til utskillelse av virus i vannet, kan både rogn og melke fra gyttende fisk potensielt bære med seg viruset og bidra til spredning til andre mottakelige arter i miljøet.

Om torsk blir gytemoden i merd vil den kunne gyte og egg spres ut i miljøet. Det er vist at befruktede egg fra oppdrettstorsk vil kunne unnsnippe merdene og overleve til kjønnsmoden torsk som igjen vil kunne bidra til gyting på lokale gytefelt. I den forbindelse vil vertikal overførbare agens kunne smitte til avkommet (via egget). Denne typen smitte vil kunne bidra til oppbygging av reservoar i miljøet. Nodavirus er et eksempel på et agens som kan overføres vertikalt. Latent virus i en bærertorsk kan bli re-aktivert, og typisk skjer dette i forbindelse med kjønnsmodning og gyting hvor virus kan skilles ut med rogn eller melke. Selv om nodavirus har vært påvist i gonader, rogn og melke, er prevalensen ofte lav og usikkerheten rundt deteksjon er stor. Siden viruset har lav vertsspesifisitet, er det også en risiko for introduksjon til andre fiskearter enn de vi i dag vet er mottakelige. Det finnes ikke litteratur som beskriver prevalens av virus i rogn og melke fra ulike arter, og faktorene som kan reaktivere viruset er ukjente. Det er også uklart i hvilken grad smitte kan påvirke villfisk populasjonene negativt.

Oppbygging av reservoar i andre organismer og miljøer generelt

Både miljøet og organismene som lever der, kan fungere som reservoar for agens og smitte. Mange bakterielle agens lever normalt i miljøet og overlever godt utenfor en vert. Organismer / individer som er friske bærere av et agens vil kunne fungere som reservoar for smitten og overføre agenset til annen fisk, for eksempel oralt, når bærerfisk spises av andre fisk. Friske bærere, med latent smitte, kan også fungere som smittekilde om den latente smitten skulle utvikle seg til sykdom. Smitte som fører til oppbygging av reservoar kan enten komme fra smittespredning direkte fra syk fisk i merd, eller at syk fisk rømmer og smitter villfisk den kommer i kontakt med. Smitte kan også spres via egg om det er vertikalt overførbare sykdommer. I tillegg har det vært påvist at filtrerende organismer som rotatorier og artemia kan være bærere av nodavirus, men de er ikke mottakelig for infeksjon. På denne måten fungerer de som vektorer for smitte. Om nodavirus kan infisere andre hjuldyr og krepsdyr er ikke kjent. Vektororganismer kan potensielt bidra til oppbygging av reservoar og opprettholdelse av agens i miljøet.

Tilstrekkelig smittedose

Det er stor variasjon mellom agens i hvilken dose som er tilstrekkelig for å smitte en vert og at verten skal utvikle sykdom. Noen agens er mer smittsomme enn andre. Enkelte agens kan ha god smitteevne med lav virulens, mens andre kan ha liten smitteevne, men høy virulens. Agens med god overlevelse i miljøet kan i teorien fraktes med strømmen over større geografiske områder.

Transport av fisk er styrt av regelverk om hvorvidt denne transporten skal foregå lukket eller semilukket. Ved lukket transport vil ikke vann bli skiftet ut under transporten, mens ved semilukket transport vil vannet bli desinfisert på vei inn i brønnen og evt ut. Ifølge transportforskriften §22 skal transportvann behandles før det tas inn i brønnen og ved transport av fisk til slakteri skal transportvann behandles før det slippes ut.

Studier viser at dagens krav om desinfeksjon av vann ikke er tilstrekkelig for å desinfisere alle aktuelle patogener i dagens akvakulturvirkomheter. I dag er bruk av UV utstrakt, men hvor effektiv UV-bestrålingen er på vannet vil være avhengig av hvilken organisme det er snakk om og mengde organisk materiale det er til stede vil også kunne påvirke. Det samme vil gjelde for andre desinfeksjonsmetoder som ozonering og klorering.

Dermed er det mulig at patogener fra syk fisk som transporteres kan spres ut i miljø via transportvann dersom vannet ved utskiftning ikke er desinfisert tilstrekkelig for de aktuelle agensene. Ballastvann kan også utgjøre en risiko for smittespredning ved tømning avhengig av lokaliteten vannet tas inn og skiftes ved.

Rømt syk fisk kan spre smitten videre til villfisk om de oppholder seg i nærheten av hverandre. I tillegg kan smitte overføres mellom fisk oralt, ved at syk smittet fisk spises av annen fisk, for eksempel viral hemoragisk septikemi virus (VHSV).

Alle de nevnte faktorene kan både alene, men også sammen kunne føre til at man oppnår tilstrekkelig smittedose.

Utslipp av agens fra brønnbåt

God og tilstrekkelig desinfisering av transportvann og transportenheten er essensielt for å unngå smittespredning. Transport av fisk er styrt av regelverk om hvorvidt denne transporten skal foregå lukket eller semilukket. Ved lukket transport vil ikke vann bli skiftet ut under transporten, mens ved semilukket transport vil vannet bli desinfisert på vei inn i brønnen og evt ut. Ifølge forskrift om transport av akvakulturdyr §22 skal transportvann behandles før det tas inn i brønnen og ved transport av fisk til slakteri skal transportvann behandles før det slippes ut av brønnbåten.

Studier viser at dagens krav om desinfeksjon av vann ikke er tilstrekkelig for å desinfisere alle aktuelle patogener. Hvor effektiv desinfeksjon er på vannet vil være avhengig av flere faktorer som farge på vannet, og hvor mye organisk materiale det er til stede og hvilken organisme det er snakk om.

Dermed er det mulig at patogener fra syk fisk som transporteres kan spres ut i miljø via transportvann dersom vannet ved utskiftning ikke er desinfisert tilstrekkelig for de aktuelle patogene.

Ballastvann kan utgjøre en risiko for smittespredning ved tømming avhengig av lokaliteten vannet tas inn og skiftes ved.

Vannbåren smitte

Vannbåren smitte vil påvirkes av både strømforhold og avstand i tillegg til gunstige miljøforhold for overlevelsen av agens som vil kunne gi oppbyggingen av reservoar i andre organismer og miljøet generelt. Villfisk som oppholder seg i slike vannmasser vil kunne oppleve et forhøyet smittepress sammenlignet med opphold andre steder i fjorden.

Strømforhold som gir liten fortynnningseffekt

Om det er lite strøm i et område kan det bli liten vannutskiftning som igjen gir opphopning av smittestoff i vannmasser og sediment rundt anlegg med smitte. Agens som er i sediment eller festet til partikler i vannet og fettfilm / biofilm vil kunne få økt overlevelse. Lite vannutskiftning kan også gi oppbygging av reservoar i villfisk eller andre organismer som er rundt anlegget. Disse prosessene varierer betydelig med geografi, miljøforhold og smittestoffets biologi. Det er derfor ikke mulig å gi en allmenngyldig avstand for et gitt smittenivå eller smittesannsynlighet. For en gitt lokalitet vil det normalt være en dominerende strømmetning som gjør at det over tid er mer smitte i en bestemt retning, men ved spesielle værphenomen kan strømbildet avvike betydelig og det kan da være betydelig smitte også i retninger som normalt opplever lite smitte.

I enkle modeller for smittespredning mellom lokaliteter brukes ofte avstand som et mål på sannsynlighet for smitteoverføring. Dette innebærer at konsentrasjonen av smittestoff antas å avta med økende avstand fra en infisert lokalitet. Slike modeller gir et forenklet bilde, ettersom smittestoff i virkeligheten ofte følger vannmassenes bevegelser. På den andre siden kan modeller som estimerer smitterisiko som en funksjon av avstand plukke opp andre spredningsmekanismer, som i mindre grad påvirkes av havstrømmer. Dette kan for eksempel være transport via vektorer. Avstandsmodeller er også mindre sensitive for antagelser om smittestoffets oppførsel i vannmassene. Avstandsmodeller gir et generelt bilde i større populasjoner, men man skal være forsiktig med generalisering til enkeltlokaliteter.

I hydrografiske modeller simuleres spredning av smittestoff som partikler som transporteres med vannstrømmer, basert på komplekse strømmodeller. Dette gir en mer realistisk fremstilling av smittespredning i tid og rom. Hydrografiske modeller kan dermed gi bedre forklaringskraft for enkeltlokaliteter, forutsatt at antakelsene om smittestoffets egenskaper er realistiske. Samtidig har slike modeller begrenset evne til å inkludere andre faktorer som påvirker smitterisiko, da de typisk ikke inkluderer egenskaper og biologisk tilstand ved anleggene. I prosjektet OptiLok (FHF-prosjektnummer 901797) er målet å utvikle modeller for virus som kombinerer kunnskapen om nedbrytning av virus, hydrodynamiske modeller og tradisjonelle epidemiologiske modeller. Resultatene så langt er lovende.

Gunstige miljøforhold for overlevelse av agens

Alle smittsomme agens vil ha ulike forutsetninger og egenskaper som gjør de i stand til å overleve utenfor en vert, og miljøforhold vil ha stor påvirkning på dette. Agens som naturlig finnes i miljøet, som for eksempel miljøbakterier som *Vibrio* spp. og *Tenacibaculum* spp., vil ha bedre overlevelse enn f.eks. parasitter (eks: fiskelus) som er avhengige av vert(er). Ytre miljøfaktorer som UV-stråling, temperatur, saltholdighet, pH, oksygeninnhold og substrat vil påvirke hvor lenge agenset overlever utenfor verten. Lavere temperaturer (<15 °C) forbedrer generelt miljøstabiliteten for mange fiskevirus, noe som forlenger smittsomheten og øker overføringspotensialet. I tillegg kan UV-eksponering raskt inaktivere viruspartikler, mens tilstedeværelsen av organisk materiale eller suspenderte partikler kan skjerme virus og forlenge overlevelsen i vannsøylen.

Virus har forskjellige strukturer rundt genomet som vil ha betydning for hvor lenge de overlever i sjøvann. Ikke-kappekledd (nakent) virus er ansett å være mer robuste enn kappekledd virus. IPNV er et eksempel på et nakent og robust virus og har vist seg å forbli smittsomme i lange perioder utenfor en vert. Nodavirus er også et nakent RNA-virus (tilsvarende f.eks. IPNV) og er generelt regnet som et stabilt virus som kan overleve lenge i miljøet.

Studier utført på *Francisella noatunensis* tyder på at både temperatur og salinitet påvirker overlevelsen, men at selv om den overlever så ser det ut som patogenisiteten går ned. Økte vanntemperaturer ser ut til både å kunne øke veksten og oppreguleringen av virulensfaktorer hos forskjellige bakterier.

Rømming av syk fisk

Rømming av torsk forekommer fra tid til annen, både større hendelser som for eksempel ved brudd på søm i not, ved flytting av fisk og notskift, værforhold eller slitasje som forårsaker små hull i notveggen. Torsk har motivasjon for å finne eller til og med lage hull i notveggen og den har god evne til å rømme gjennom mindre hull. Slik drypprømming kan være vanskelig å oppdage og det kan bli vanskelig å estimere antallet rømt fisk før man slakter ut fisken eller teller opp alle fisk i merden. Rømt oppdrettstorsk kan spre seg raskt utover relativt store områder rundt anlegget og kan oppsøke lokale gyte- og fiskegrunner, spesielt i løpet av gyteperioden for lokale torskebestander. Etter rømming dykker større torsk raskt ned til ca. 20 meters dyp, vandrer inn mot land, og kan raskt spres over større områder, selv om en del rømt torsk også vil holde seg i nærheten av anlegget de har rømt fra. Gjenfangst av rømt torsk ved anlegget bør skje umiddelbart etter rømming og nært land, men en høy total gjenfangst antyder også at rømt oppdrettstorsk kan være lettere å gjenfange enn rømt laks i et mer langsiktig gjenfangstfiske i et større område.

Videre tyder spredningsmønsteret hos rømt oppdrettstorsk på at det er et klart potensial for interaksjon mellom rømt fisk og villfisk, også i gytetiden, selv om studier fra Trondheimsfjorden og Norddalsfjorden ikke har klart å finne klare indikasjoner på innkryssing av oppdrettsgener hos den lokale villtorsken.

Liten torsk som rømmer går til grunt vann, og har høy dødelighet som følge av predasjon.

Tilstedeværelse av mottakelig villfisk

Det er kjent at oppdrettslokaliteter tiltrekker seg og kan fungere som oppholdssteder for villfisk. Her kan de finne skjul, og det kan være enklere tilgang på mat ved å beite på spillfôr og andre organismer. For å bli smittet er det en forutsetning at denne villfisken må være i nærheten av og blir eksponert for tilstrekkelig smitte over tid. Villfisk oppholder seg rundt oppdrettsanlegg i varierende grad. Arter som sei, hyse, torsk og makrell er vanlig å observere i nærheten av oppdrettsanlegg. Det er ikke bare artsforskjeller, men også individuelle forskjeller i hvor mye de oppholder seg i og rundt oppdrettsanleggene. Enkelte individer av torsk er vist å frekventere jevnlig rundt anlegg, mens andre kun en innom.

Tilstedeværelse av villfisk i nærheten av oppdrettsmerder er også vist å variere med årstid og tilgang på annen mat. Når for eksempel silda kommer inn til kysten og fjordene for å gyte, virker det som om torsk foretrekker sild fremfor mattilgangen rundt oppdrettsanlegg.

I gyteperioder forekommer det store ansamlinger av fisk innenfor et relativt begrenset område. I slike perioder vil det være potensiale for smitte til gytebestanden om de ligger i umiddelbar nærhet til oppdrettsanlegg med smitte. Den samme problemstilling vil gjelde for smitte til småfisk som oppholder seg i oppvekstområder over tid.

Mottakelighet kan også variere med ulike livsstadier til fisken. Dette avhenger selvsagt også av agens.

Konklusjon

Økonomisk lønnsomhet og samfunnsmessig aksept er to viktige aspekter innen bærekraftig matproduksjon, i tillegg til hensyn til miljøet. I denne vurderingen er søkelyset på hvordan smittespredning mellom torskoppdrettsanlegg kan påvirke risiko for «Redusert bærekraft i torskoppdrett» som følge av høy dødelighet og dårlig fiskevelferd hos oppdrettsfisk på ny lokalitet. Disse er begge konsekvenser av «Sykdomsutvikling som følge av smittespredning av nye og endrede agens mellom torskoppdrettsanlegg». Smitte mellom anlegg som utvikler seg til sykdom, vil kunne føre til økt dødelighet på ny lokalitet. Spesielt om agensene skulle forårsake alvorlig sykdom med høy dødelighet og i tillegg være vanskelig å behandle. I slike tilfeller må en ofte ty til strenge reguleringer og utslakt av fisk som bekjempelsesmetoder. Alle som oppdretter dyr har en plikt til å jobbe for best mulig dyrevelferd, men det må antas at smittet og syk fisk vil oppleve dårlig velferd. Fisk med dårlig velferd vil ha mindre appetitt og dermed tape tilvekst. Både høy dødelighet og dårlig dyrevelferd vil kunne påføre økonomiske tap for oppdretter i form av nedklassifisering og tap av fisk og kan også svekke omdømmet både til den enkelte oppdretter, men også for hele næringen. For lakseoppdrett regnes dårlig dyrevelferd og negative effekter av lakselus på vill laksefisk som de to største utfordringene for å oppnå en bærekraftig produksjon.

Det viktigste tiltaket for å hindre smittespredning, er å forebygge sykdomsutbrudd ved hjelp av profylakse og gode biosikkerhetstiltak. Et av de viktigste forebyggende tiltakene er vaksiner. Gode og beskyttende vaksiner er en forutsetning for den lakseproduksjonen vi har i dag. Det samme vil være tilfelle også for oppdrett av torsk. Håndtering av sykdomsutbrudd (tiltak) vil være viktig for å begrense smittespredning. Ofte kan det være utfordrende å oppdage et begynnende sykdomsutbrudd om infeksjonen utvikler seg sakte og uten høy akutt dødelighet. Å kunne drive smittesporing ved mistanke om smittespredning via brønnbåt eller annet kontaktnett vil også være en fordel og krever åpenhet og dialog mellom oppdrettere.

Opplæring av ansatte og forebyggende tiltak på selskapsnivå er viktige virkemidler for å begrense smittespredning. Strenge regler for desinfeksjon, begrensninger i deling av utstyr, bevisst bruk av fôr- og servicebåter ved utbrudd, samt biosikkerhetsrutiner som reduserer smitterisiko via personell, er eksempler på relevante tiltak.

De to foreslåtte risikokartene for smittespredning er generelle og kan benyttes uavhengig av oppdrettet art og agens. Enkelte risikokilder vi kunne påvirke flere hendelser og vil dermed kunne si noe om hvor viktig rolle de spiller i den større sammenhengen.

På bakgrunn av dette arbeidet vil vi anbefale denne typen metodikk og tilnærming til risikovurdering for fremtidig utvikling av en risikostyringsstrategi.

Videre arbeid

De foreslåtte risikokartene danner grunnlaget og et utgangspunkt for en bedre forståelse av smittespredning mellom oppdrettsanlegg og også fra oppdrettsfisk til villfisk.

På sikt kan det være behov for å risikovurdere konsekvensene av smitte fra spesifikke agens eller smitte innen gitte geografiske områder. Denne typen arbeid vil også være viktig for å identifisere kunnskapshull. I dette arbeidet der fokus har vært smitte fra oppdrettstorsk, vil det være nærliggende å begynne med de agens som man vet kan smitte både fra torsk til andre arter, men også mellom torsk. I dette arbeidet der fokus har vært smitte fra oppdrettstorsk, vil det være nærliggende å begynne med de agens som man vet kan smitte både fra torsk til andre arter, men også mellom torsk. Eksempler på slike agens kan være agens som IPNV og *Francisella* sp..

Referanseliste:

- Abreu, C.I., Dal Bello, M., Bunse, C., Pinhassi, J., and Gore, J. Warmer temperatures favor slower-growing bacteria in natural marine communities (2023). Sci. Adv. 9, eade8352. [https:// DOI: 10.1126/sciadv.ade8352](https://doi.org/10.1126/sciadv.ade8352)
- Akvabiosikkerhetsforskriften, FOR-2022-04-05-624 (2022). <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2022-04-05-624>
- Akvakulturdriftsforskriften, FOR-2008-06-17-822 <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2008-06-17-822>
- Akvaveterinærenes forening, & Tekna. (2024). Retningslinjer for hygienekontroll av fartøy innen akvakultur. <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/miljo-og-biovitenskap/tekna-havbruk/retningslinjer-for-hygienekontroll-av-fartoy-innen-akvakultur/>
- Aldrin, M., Huseby, R. B., & Jansen, P. a. (2015). Space–time modelling of the spread of pancreas disease (PD) within and between Norwegian marine salmonid farms. Preventive Veterinary Medicine, 121(1–2), 132–141. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2015.06.005>
- Andersen, L.B.; Grefsrud, E.S.; Svåsand, T.; Sandlund, N. (2022). Risk understanding and risk acknowledgement: a new approach to environmental risk assessment in marine aquaculture. ICES J. Mar. Sci., <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsac028>
- Bandin, I. & S. Souto. (2020) Betanodavirus and VER Disease: A 30-year Research Review. Pathogens, 9, 106; <https://doi.org/10.3390/pathogens9020106>
- Billaud, M., Seneca, F., Tambutté, E. and Czerucka, D. (2022) An Increase of Seawater Temperature Upregulates the Expression of *Vibrio parahaemolyticus* Virulence Factors Implicated in Adhesion and Biofilm Formation. Front. Microbiol. 13:840628. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.840628>
- Biosikkerhetsplan i akvakulturanlegg, Veileder Mattilsynet <https://www.mattilsynet.no/fisk-og-akvakultur/biosikkerhetsplan-i-akvakulturanlegg>
- Bjørn, P.A., Berg, E., Bøhn, T., Espeland, S.H., Glover, K., Jorde, P.E., Karlsen, Ø., van der Meeren, T., Meier, S., Moland, E., Myksvoll M.S., Sandlund, N., Sævik, P.N., Karlsbakk, E. (HI), Søther, B.E. (UiT) og Sætra, I.M. (UiT) (2022). Effekter av torskeoppdrett i åpne merder på ville torskebestander i Risikorapport norsk fiskeoppdrett 2022 - kunnskapsstatus— Effekter på miljø og dyrevelferd i norsk fiskeoppdrett. Rapport fra havforskningen 2022-13 ISSN: 1893-4536
- Bøhn, T., Strøm, J.F., Sanchez-Jerez, P., Keeley, N.B., Johansen, T., Gjelland, K.Ø., Sandlund, N., Sæther, B.-S., Sætra, I., Olsen, E.M., Skjæraasen, J.E., Meier, S., van der Meeren, T. & Bjørn, P.A. (2024). Ecological interactions between farmed Atlantic salmon and wild Atlantic cod populations in Norway – a review of risk sources and knowledge gaps. Reviews in Aquaculture 202, 1-18. <https://doi.org/10.1111/raq.12899>
- Dempster, T., Uglem, I., Sanchez-Jerez, P., Fernandez-Jover, D., Bayle-Sempere, J., Nilsen, R., & Bjørn, P. A. (2009). Coastal salmon farms attract large and persistent aggregations of wild fish: an ecosystem effect. Marine Ecology Progress Series, 385, 1–14. <http://www.jstor.org/stable/24873417>
- Dyrehelseforskriften, FOR-2022-04-06-631. https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2022-04-06-631/*#*
- Dyresykdomsbekjempelsesforskriften, FOR-2022-04-06-634, Kapitell III. https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2022-04-06-634/KAPITTEL_3#KAPITTEL_3

- Duault, H., Bailly, M., Zhao, M., Hill, S. C., & Fournié, G. (2025). Network of ship movements and its potential in spreading pathogenic infectious salmon anemia virus among Norwegian fish farms. *Preventive Veterinary Medicine*, 245. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2025.106667>
- Duodu, S., & Colquhoun D. (2010) Monitoring the survival of fish-pathogenic *Francisella* in water microcosms. *FEMS Microbiol Eco*.74(3):534-41. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2010.00973.x>.
- Elseshetawy, A., Clokie, B.G.J., Albalat, A., Nylund, A., Isaksen, T.E., Napsøy Indrebø, E., Andersen, L., Moore, L.J. and MacKenzie, S. (2023) Net cleaning impacts Atlantic salmon gill health through microbiome dysbiosis. *Front. Aquac.* 2:1125595. doi: 10.3389/faquc.2023.1125595
- Soto, E., & Revan, F. (2012) Culturability and Persistence of *Francisella noatunensis* subsp. *orientalis* (syn. *Francisella asiatica*) in Sea- and Freshwater Microcosms. *Microb Ecol* Feb;63(2):398-404. <https://doi.org/10.1007/s00248-011-9932-6>.
- Franke, A., Beemelmans, A., Miest, J.J. (2024) Are fish immunocompetent enough to face climate change? *Biol. Lett.* 20: 20230346. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2023.0346>
- Frerichs, G.N., Tweedie, A., Starkey, W.G., Richards R.H. (2000). Temperature, pH and electrolyte sensitivity, and heat, UV and disinfectant inactivation of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) neuropathy nodavirus. *Aquaculture* 185, 13–24. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00337-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00337-3)
- Forskrift om transport av akvakulturdyr, FOR-2008-06-17-820, kapittel 5. https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2008-06-17-820/KAPITTEL_5#KAPITTEL_5
- Garver, K. A., Batts, W. N., & Kurath, G. (2013). Virulence comparisons of infectious hematopoietic necrosis virus U and M genogroups in sockeye salmon and rainbow trout. *Journal of Aquatic Animal Health*, 25(4), 284–292. <https://doi.org/10.1080/08997659.2013.842276>
- Grefsrud, E.G Lasse Berg Andersen, Ann-Lisbeth Agnalt, Samantha Bui, Thomas Bøhn (HI), Ola Diserud (NINA), Katherine Mary Dunlop, Rosa Escobar (HI), Peder Fiske (NINA), Ole Folkedal, Lena Geitung, Kevin Glover, Bjørn Einar Grøsvik, Kim Halvorsen, Rita Hannisdal, Pia Kupka Hansen (HI), Kjetil Hindar (NINA), Solfrid Sætre Hjøllo, Vivian Husa, Eeva Jansson, Ørjan Karlsen (HI), Sten Karlsson (NINA), Lars-Johan Naustvoll, Rune Nilsen, Jonatan Nilsson, Pål Næverlid Sævik, Tina Marie Weier Oldham, Aoife Elizabeth Parsons, Ole Samuelsen, Nina Sandlund, Anne Dagrun Sandvik, Rosa Maria Serra-Llinares, Rasmus Skern, Anne Berit Skiftesvik, Morten D Skogen, Monica F. Solberg, Lars Helge Stien, Elisabeth Stöger, Kjell Rong Utne og Vidar Wennevik (HI) Redaktør(er): Ellen Sofie Grefsrud, Lasse Berg Andersen, Bjørn Einar Grøsvik, Pia Kupka Hansen, Vivian Husa, Ole Samuelsen, Nina Sandlund, Rasmus Skern, Monica F. Solberg og Lars Helge Stien (HI) (2025) Rapportserie: Rapport fra havforskningen 2025-14 ISSN: 1893-4536 Risikoreport norsk fiskeoppdrett
- Haredasht, A.S., Tavornpanich, S., Jansen, M.D., Lyngstad, T.M., Yatabe, T., Brun, E., & Martínez-López, B. (2019). A stochastic network-based model to simulate the spread of pancreas disease (PD) in the Norwegian salmon industry based on the observed vessel movements and seaway distance between marine farms. *Preventive Veterinary Medicine*, 167, 174–181. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2018.05.019>
- ICES (2025). Cod (*Gadus morhua*) in Subarea 4, divisions 6.a and 7.d, and Subdivision 20 (North Sea, West of Scotland, eastern English Channel and Skagerrak). ICES Advice: Recurrent Advice. Report. <https://doi.org/10.17895/ices.advice.27202566.v1>
- Johansen, L. H., Mikkelsen, H., Drazenovic, A., Gravningen, K., Wergeland, H. I., & Gjevre, A.-G. (2011). Disease interaction and pathogens exchange between wild and farmed fish populations with special reference to Norway. *Aquaculture*, 315(3–4), 167–186. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.02.014>.
- Joint Russian-Norwegian Working Group on Arctic Fisheries (JRN-AFWG) Report series: IMR-PINRO 2024-6 Published: 21.06.2024 Updated: 09.07.2024
- Subject: Skrei (nordøstarktisk torsk)
- Jørstad, K.E., van der Meeren, T., Paulsen, O.I., Thomsen, T., Thorsen, A. & Svåsand, T. (2008). “Escapes” of eggs from farmed cod spawning in net pens: recruitment to wild stocks. *Reviews in Fisheries Science* 16: 285–295. <https://doi.org/10.1080/10641260701678017>
- Kennedy, D.A., Kurath, G., Brito, I.L., Purcell, M.K., Read, A.F., Winton, J.R., Wargo, A.R. (2016). Potential drivers of virulence evolution in aquaculture. *Evolutionary Applications* 9, 344-354, doi:10.1111/eva.12342.
- Kevill, J.L., Herridge, K., Li, X., Farkas, K., Malham, S.K., Robins, P., Jones, D.L. (2025) Comparative impact of sunlight and salinity on human pathogenic virus survival in river, estuarine, and marine water microcosms. *Water Research* 278, 123411. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2025.123411>
- Kocan R.M., Kocan A.J. and Reichley, S.R. (2019) Transmission of a Freshwater Isolate of *Ichthyophonus* (Clade C) to Two Marine Fish Species. *J Aquat Anim Health*. Dec;31(4):349-353. <https://doi.org/10.1002/aah.10087>
- Kurath, G., & Winton, J. R. (2011). Complex dynamics at the interface between wild and domestic viruses of finfish. *Current Opinion in Virology*, 1(1), 73–80. <https://doi.org/10.1016/j.coviro.2011.05.010>.
- Lemos, M.L. and Balado, M. (2020) Iron uptake mechanisms as key virulence factors in bacterial fish pathogens. *Journal of Applied Microbiology* 129, 104–115 <https://doi.org/10.1111/jam.14595>
- Liltved, H., Vogelsang, C., Dannevig, B.H and Modahl, I. (2004). UV-resistente virus. Vann-1-2004. <https://vannforeningen.no/aarstall/2004/>
- Liltved, H., Vogelsang, C., Modahl, I., and Dannevig B.H. (2006). High resistance of fish pathogenic viruses to UV irradiation and ozonated seawater. *Aquacultural Engineering* 34. 72–82. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.05.002>

- Lov om dyrevelferd; <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2009-06-19-97>
- Matloven. LOV-2003-12-19-124. Kapittel III, §19. <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2003-12-19-124>
- Matanza X.M and Osorio, C.R. (2018) Transcriptome changes in response to temperature in the fish pathogen *Photobacterium damsela* subsp. *damsela*: Clues to understand the emergence of disease outbreaks at increased seawater temperatures. *PLoS ONE* 13(12): e0210118. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210118>
- Mortensen, S.H., Nilsen, R.K., Hjeltne, B.K. (1998). Stability of an infectious pancreatic necrosis virus (IPNV) isolate stored under different laboratory conditions. *Diseases of Aquatic Organisms*, <https://doi.org/10.3354/dao033067>
- Murray, A.G., & Peeler, E.J. (2005). A framework for understanding the potential for emerging diseases in aquaculture. *Preventive Veterinary Medicine*, 67(2–3), 223–235. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2004.10.012>.
- Noble, R.T., & Fuhrman, J.A. (2001). Enteroviruses detected by reverse transcriptase polymerase chain reaction from the coastal waters of Santa Monica Bay, California: low correlation to bacterial indicator levels. *Hydrobiologia* 460, 175–184 (2001). <https://doi.org/10.1023/A:1013121416891>
- Noble, R. T., & Fuhrman, J. A (1997) Virus Decay and Its Causes in Coastal Waters *APPL. ENVIRON. MICROBIOL*, Jan;63(1):77-83. doi: 10.1128/aem.63.1.77-83.1997
- Norsk Standard NS 5814:2021+AC (2023) – «Krav til risikovurderinger»
- Oidtman, B., Dixon, P., Way, K., Joiner, C., and Bayley, A.E. (2018) Risk of waterborne virus spread – review of survival of relevant fish and crustacean viruses in the aquatic environment and implications for control measures. *Reviews in Aquaculture* 10, 641–669 <https://doi.org/10.1111/raq.12192>
- Okon, E., E.M., Oyesiji, A.A., Okeleye, E. D., Kanonuhwa, M., Khalifa, N.E., Eissa, E.-S. H., Mathew, R.T., Eissa, M.E.H., Alqahtani, M.A. and Abdelnour, S.A. (2024). The Escalating threat of climate change-driven diseases in fish: Evidence from a global perspective – A literature review. *Environmental Research* Vol. 263 Pages 120184. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.120184>
- Polinski, M.O., Marty, G.D., Snyman, H.N., Garver, K.A. (2019). Piscine orthoreovirus demonstrates high infectivity but low virulence in Atlantic salmon of Pacific Canada. *Scientific Reports* 9:3297. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40025-7>
- Rathor, G., & Swain B. (2024). Advancements in Fish Vaccination: Current Innovations and Future Horizons in Aquaculture Health Management. *Applied Sciences* 14(13), 5672; <https://doi.org/10.3390/app14135672>
- Samuel Duod, S., and Duncan Colquhoun, D., (2010). Monitoring the survival of fish-pathogenic *Francisella* in water microcosms. *FEMS Microbiol Ecol*. Dec;74(3):534-41. doi: 10.1111/j.1574-6941.2010.00973.x.
- Serra-Llinares, R.M., Nilsen, R., Uglem, I., Arechavala-Lopez, P., Bjørn, P.A., Noble, C. (2013) Post-escape dispersal of juvenile Atlantic cod *Gadus morhua* from Norwegian fish farms and their potential for recapture. *Aquacult Environ Interact* Vol 3:107-116. <https://doi.org/10.3354/aei00051>
- SRA 2018. Risk analysis: fundamental principles. Last accessed August 2018. <https://www.sra.org/risk-analysis-overview/risk-analysis-fundamental-principles/>
- Skall, H. F., Olesen, N. J., & Møllergaard, S. (2005). Viral haemorrhagic septicaemia virus in marine fish and its implications for fish farming – a review. *Journal of Fish Diseases*, 28(9), 509–529. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2005.00654.x>
- Slette, H. T., Salomonsen, C., Størkersen K., Tveit, G. M., Misund, A., Lona E. (2025). Biosafety in Norwegian Aquaculture—Risks and Measures in RAS Facilities and Well-Boats *Reviews in Aquaculture*; 17:e12979. <https://doi.org/10.1111/raq.12979>
- Sommerset, I.; Krossøy, B.; Biering, E.; Frost, P. (2005). Vaccines for fish in aquaculture. *Expert Review of Vaccines*, 4, 89-101, doi:10.1586/14760584.4.1.89.
- Soto, E., Abrams, S.B., and Revan, F. (2012) Effects of temperature and salt concentration on *Francisella noatunensis* subsp. *orientalis* infections in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Dis Aquat Organ*;101(3):217-23. <https://doi.org/10.3354/dao02533>.
- Stock, B., Knutsen, H., Nedreaas, K., Otterå, H., Fall, J., Denechaud, C., Moland, E., Jorde, P.E. & Kleiven, A.R. (2025). Oppdatert status om torsk langs Vestlandet- og Skagerrakkysten: potensial for bestandsvurdering. Rapport fra Havforskningen Nr. 2025-42, 64 pp. <https://www.hi.no/hi/nettrapporter/rapport-fra-havforskningen-en-2025-42>
- Størkersen, K., Ribičić, D., Slette, H.T., Misund, A., Lona, E., Tveit, G.M., Dahle, S., Salomonsen, C., Netzer, R., & Aas, M. (2024). Økt biosikkerhet gjennom bedre forståelse for smittestoff og desinfeksjonsmuligheter i RAS-anlegg og brønnbåt. Sluttrapport-Smittekontroll. SINTEF Ocean AS. Rapport 2024:01203. <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901734/>
- Tammas, I., K. Bitchava, and A. I. Gelasakis. 2024. Transforming aquaculture through vaccination: A review on recent developments and milestones. *Vaccines (Basel)* 12: 732. <https://doi.org/10.3390/vaccines12070732>
- van der Meeren, T., Jørstad, K.E., Paulsen, O.I., & Dahle G. (2012). Offspring from farmed cod (*Gadus morhua*) spawning in net pens: documentation of larval survival, recruitment to spawning stock, and successful reproduction. *ICES CM* 2012/P:11. (in mimeo). <https://www.ices.dk/sites/pub/CM%20Documents/CM-2012/P/P1112.pdf>
- Vázquez-Salgado, L., Oliveira, J. G., & Bandín, I. (2022). Nervous necrosis virus viability modulation by water salinity and temperature. *Journal of Fish Diseases*, 45, 561–568. <https://doi.org/10.1111/jfd.13581>
- Veileder: Biosikkerhetsplan i akvakulturanlegg, Mattilsynet <https://www.mattilsynet.no/fisk-og-akvakultur/biosikkerhetsplan-i-akvakulturanlegg>
- Wedemeyer, G.A., Nancy C. Nelson, and Cathy A. Smith. 1978. Survival of the Salmonid Viruses Infectious Hematopoietic Necrosis (IHNV) and Infectious Pancreatic Necrosis (IPNV) in Ozonated, Chlorinated, and Untreated Waters. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* Volume 35, Number 6, <https://doi.org/10.1139/f78-140>

- Walker, P. J., & Winton, J. R. (2010). Emerging viral diseases of fish and shrimp. *Veterinary Research*, 41(6), 51. <https://doi.org/10.1051/vetres/2010022>.
- Weli SC, Amundsen MM, Dale OB, Patel SJ. (2025). Characterization of infectious salmon anaemia virus survival and infectivity in seawater. *Aquaculture Reports* Volume 40, 15, 102504. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102504>
- Whittington, R. J., Becker, J. A., & Dennis, M. M. (2010). Biosecurity and quarantine for preventing infectious disease in aquatic animals. *Revue Scientifique et Technique*, 29(2), 429–439. <https://doi.org/10.20506/rst.29.2.1986>.
- WOAH Aquatic Animal Health Code, (2025) Section 4. Disease prevention and control. Chapter 4.1 Biosecurity for aquaculture establishments. <https://sont.woah.org/portal/tool?le=en>
- WHO manual 2019: https://www.woah.org/fileadmin/Home/eng/Health_standards/aahm/current/chapitre_viral_encephalopathy_retinopathy.pdf
- Øye, A.K. & E. Rimstad (2001) Inactivation of infectious salmon anaemia virus, viral haemorrhagic septicaemia virus and infectious pancreatic necrosis virus in water using UVC irradiation. *Dis Aquat Organ*. Dec 20;48(1):1-5. <https://doi: 10.3354/dao048001>

Health and well-being for animals and people



Norwegian
Veterinary Institute

Ås ▪ Sandnes ▪ Bergen ▪ Trondheim ▪ Harstad ▪ Tromsø

postmottak@vetinst.no

vetinst.no