

Kan pustemønster avsløre dårlig gjellehelse? Ny teknologi måler oppdrettslaksens pustemønster i sanntid

GillWatch-prosjektet har vist at undervannskamera og kunstig intelligens kan overvåke pustemønsteret til oppdrettslaks i kommersiell produksjon uten håndtering. Resultatene indikerer at endringer i munnåpning kan gi informasjon om gjellehelse og at slike målinger kan være et nyttig verktøy for overvåking på populasjonsnivå. På sikt kan dette bidra til bredere beslutningsstøtte i akvakulturnæringen, for eksempel ved utvikling av et sykdomsforløp, vurdering av fiskegruppers håndteringstoleranse eller behov for behandling mot gjellesykdom.

Jessica Louise Ray¹, Jostein Pettersen², Anne Bakke Fylling³, Pål Skjold⁵, Erika Kunickiene⁴, Ola Brandshaug⁶, Jarred Knapp⁶, Audun Torp⁶, Thomas Fjorden⁶, Harriet Romstad¹, Arnfinn Aunsmo²

1 Aqua Kompetanse AS, Storlavika 7, Havbruksparken Midt-Norge, 7770 Flatanger

2 Salmalytics AS, Ullevålsveien 68, Bygning 23, 0454 Oslo

3 Previwo AS, Ullevålsveien 68, 0454 Oslo

4 Emilsen Fisk AS, Holmveien 94, 7900 Rørvik

5 Lerøy Seafood Group ASA, Thormøhlens gate 51 B, 5006 Bergen

6 Optoscale AS, Tungasletta 2, 7047 Trondheim

brukes til å registrere endringer i fiskepopulasjoners respirasjonsmønster i sanntid. Det er imidlertid behov for flere studier for å kartlegge hvilke responser som er normale og hvilke som skyldes skader eller sykdom. Med kontinuerlig datafangst i sanntid er det nå mulig å bygge et slikt grunnlag.

Et av de viktigste funnene var at pusteamplitude, altså hvor mye fisken åpner munnen under respirasjon, fremsto som en mer relevant indikator på endringer i respirasjon enn pustefrekvens under de kommersielle forholdene som ble testet i prosjektet. Det var indikasjoner på at fisk på lokaliteter med redusert gjellehelse hadde økt pusteamplitude.

Prosjektet viser at respirasjonsmålinger kan bidra til kliniske vurderinger av situasjonen i populasjonen, uten at det erstatter tradisjonelle helseundersøkelser.

Respirasjonsmålinger kan være et relevant supplement for bedre kontroll med status på populasjonsnivå gjennom å levere kontinuerlige målinger fra et langt større antall fisk enn det som er mulig med tradisjonelt prøveuttak.

Sammendrag

GillWatch-prosjektet har utviklet og testet ennymetodemedpotensialforovervåking av gjellehelse hos oppdrettslaks ved hjelp av undervannskamera og kunstig intelligens. Teknologien gjør det mulig å måle fiskens pustemønster kontinuerlig uten håndtering, prøveuttak eller avliving av fisk. Metoden er utviklet gjennom en trinnvis prosess fra kontrollerte karforsøk til fullskala utprøving ved kommersielle oppdrettsanlegg i sjø.

I prosjektets feltfase ble flere millioner observasjoner samlet inn og analysert. Resultatene viser at kamerabasert overvåking av respirasjonsmønster er teknisk gjennomførbart under ordinære driftsforhold. Teknologien gir objektive og standardiserte målinger som kan

Dette er GillWatch-prosjektet

Teksten er basert på arbeidet med prosjektet «Overvåking av gjellehelse med bruk av kamerateknologi» (GillWatch, prosjektnummer 901912), finansiert av Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering (FHF). Prosjektleder er Salmalytics AS, med samarbeidspartnere Optoscale AS, Lerøy Seafood Group ASA, Emilsen Fisk AS, Previwo AS og Aqua Kompetanse AS.

Resultatene peker på et betydelig potensial for videre utvikling. Standardisering av datainnsamling, optimal plassering av kamera i merd og integrasjon med produksjons-, miljø- og helsedata vil være viktige steg på veien mot mer datadrevet og forebyggende fiskehelsearbeid i havbruksnæringen.

Hovedfunn

- Kamerabasert overvåking kan måle pustemønster hos oppdrettslaks i merd kontinuerlig og uten håndtering av fisk.
- Teknologien gir objektive og standardiserte målinger som potensielt kan brukes som beslutningsstøtte i fiskehelsearbeidet.
- Pusteamplitude, som beskriver utslaget i munnåpningen under respirasjon, viste større variasjon enn respirasjonsfrekvensen mellom individer, gjennom døgnet og over tid. Den var også tydelig assosiert med svømmehastighet. Tidsmønstrene var i stor grad konsistente mellom fiskegrupper innenfor samme lokalitet.
- Pusteamplitude fremstod som en mer lovende indikator på endringer i gjellehelse enn pustefrekvens under de kommersielle driftsforholdene i sjø som ble testet i dette prosjektet.
- Sanntidsovervåking kan gjennomføres uten behov for omfattende lagring av videodata.
- Optimalisering av kameraplassering og standardisering av overvåkingsmetoder er nødvendig for videre implementering i næringen.
- Teknologien har potensial til å bli en viktig del av fremtidens digitale fiskehelseovervåking, men det er behov for grundig validering før den kan brukes som en operativ indikator på gjellehelse.

Bakgrunn

God gjellehelse er en forutsetning for god fiskevelferd, god tilvekst og robusthet gjennom hele produksjonssyklusen.

Gjellene er fiskens organ for oksygenopptak, men har også en rekke andre viktige funksjoner som regulering av salt- og væskebalansen, utskillelse av avfallsstoffer og immunforsvar. Når gjellene påvirkes av sykdom, parasitter eller ugunstige miljøforhold, kan konsekvensene bli betydelige både for fisken og for produksjonen.

Overvåking av gjellehelse er derfor en sentral del av det rutinemessige fiskehelsearbeidet. Tradisjonelt baserer vurderinger av gjellehelse seg på makroskopiske vurderinger av gjellene og på uttak av prøver til laboratorieanalyser (histologi og qPCR). Standardiserte metoder, som gjellescoring etter etablerte veiledere, har gitt næringen et felles språk for å beskrive og følge utviklingen i gjellehelsen over tid. Dette har vært et viktig fremskritt både for oppfølging av populasjoner på merdnivå og for å sammenligne resultater mellom lokaliteter og produksjonsområder.

De tradisjonelle overvåkingsverktøyene har imidlertid noen åpenbare begrensninger. De krever håndtering og avliving av fisk, samtidig som de er tids- og ressurskrevende. Selv om standardisering av gjellescoring har bidratt til mer sammenlignbare resultater, vil vurderingene fortsatt være forbundet med en viss grad av subjektiv variasjon. En annen begrensning er at undersøkelsene vanligvis baserer seg på et relativt lite antall individer fra en merd som kan inneholde opptil 200 000 fisk, og det kan være usikkert hvor representative disse individene er for populasjonen som helhet. Nye produksjonsformer, som nedsenkede merder, gjør det dessuten mer utfordrende å gjennomføre tradisjonelle gjelleundersøkelser og prøveuttak. En ytterligere begrensning er at utviklingen i gjellehelse mellom prøvetidspunktene i stor grad forblir ukjent. Det er derfor behov for metoder som muliggjør kontinuerlig overvåking av fiskepopulasjoner uten ekstra håndtering eller avliving av fisk. Utviklingen innen undervannskamerateknologi og kunstig intelligens har skapt nye muligheter

for overvåking og innsamling av fiskehelsedata. Undervannskameraer er allerede blitt et viktig verktøy for blant annet fôringskontroll, adferdsovervåking, biomasseestimering og automatisk registrering av lakselus (Video 2). Teknologien gjør det mulig å samle inn standardiserte data kontinuerlig uten å håndtere fisken.

I løpet av de siste årene har flere forskningsmiljøer undersøkt om fiskens pustemønster kan brukes som en beskrivelse av populasjonens respirasjon. Ved hjelp av maskinsyn kan et undervannskamera registrere munnbevegelsene til fisken, og etablerte algoritmer kan beregne hvordan respirasjonen endrer seg over tid. Resultatene fra kontrollerte forsøk og mindre feltstudier har vist at slike målinger er teknisk gjennomførbare og at respirasjonsmønster kan være assosiert med endringer i fiskens helse- og velferdsstatus.

Likevel gjensto et viktig spørsmål: Kan teknologien fungere under reelle driftsforhold, over lengre perioder og på populasjonsnivå i kommersielle merder? GillWatch-prosjektet ble etablert for å tette dette kunnskapsgapet (se faktaboks). Målet har vært å utvikle og validere en metode for kontinuerlig overvåking av gjellehelse ved hjelp av undervannskamera og kunstig intelligens, fra kontrollerte forsøk i kar til fullskala utprøving på kommersielle oppdrettsanlegg. Ambisjonen har ikke vært å erstatte eksisterende helseundersøkelser, men å undersøke om næringen kan få tilgang til en ny type beslutningsstøtte basert på kontinuerlige, ikke-invasive målinger av fiskens respirasjon.

Datagrunnlaget

En av de viktigste utfordringene ved utvikling av nye overvåkingsverktøy er å dokumentere at målingene faktisk gjenspeiler fiskens helsetilstand under ordinære driftsforhold. I GillWatch ble dette undersøkt gjennom casestudier ved tre kommersielle oppdrettsanlegg (Site A, B og C), der kamerabasert overvåking

Arbeidspakke 1.

Kontrollert smitteforsøk i kar

Prosjektet startet med et kontrollert smitteforsøk der oppdrettslaks ble eksponert for amøbisk gjellesykdom (AGD) under laboratorieforhold. Målet var å undersøke om endringer i pustefrekvens kunne brukes som en indikator på gjellehelse.

Fisken ble overvåket med undervannskamera, og pustefrekvensen ble målt manuelt i videomaterialet. Resultatene viste at fisk med AGD hadde høyere pustefrekvens enn frisk fisk. Økningen samsvarer med både makroskopiske og histopatologiske funn, og støttet tidligere forskning som viser at mild gjellesykdom kan påvirke respirasjonen hos laks. Resultatene er publisert i det vitenskapelige tidsskriftet *Aquaculture Reports*.

Arbeidspakke 2.

Skalering for forsøk i felt

I neste fase ble arbeidet flyttet fra kar til kommersielle oppdrettsanlegg. Målet var å utvikle og teste en robust KI-modell som kunne måle pustemønster hos laks under reelle driftsforhold.

I denne arbeidspakken ble den første versjonen av prosjektets analysemodell utviklet. Modellen ble trent og validert mot manuelle målinger av pustebevegelser i videoopptak fra merd (Video 1). For å gjøre modellen robust ble opplæringen supplert med krevende videomateriale, blant annet bilder med dårlig sikt, skyggelegging og utfordrende kameravinkler.

Arbeidet ga verdifull innsikt i hvilke utfordringer som må løses når teknologi utviklet i kontrollerte forsøk skal tas i bruk i kommersiell produksjon. Samtidig la AP2 grunnlaget for fullskala utprøving av teknologien i arbeidspakke 3.

Arbeidspakke 3.

Fullskala validering i felt

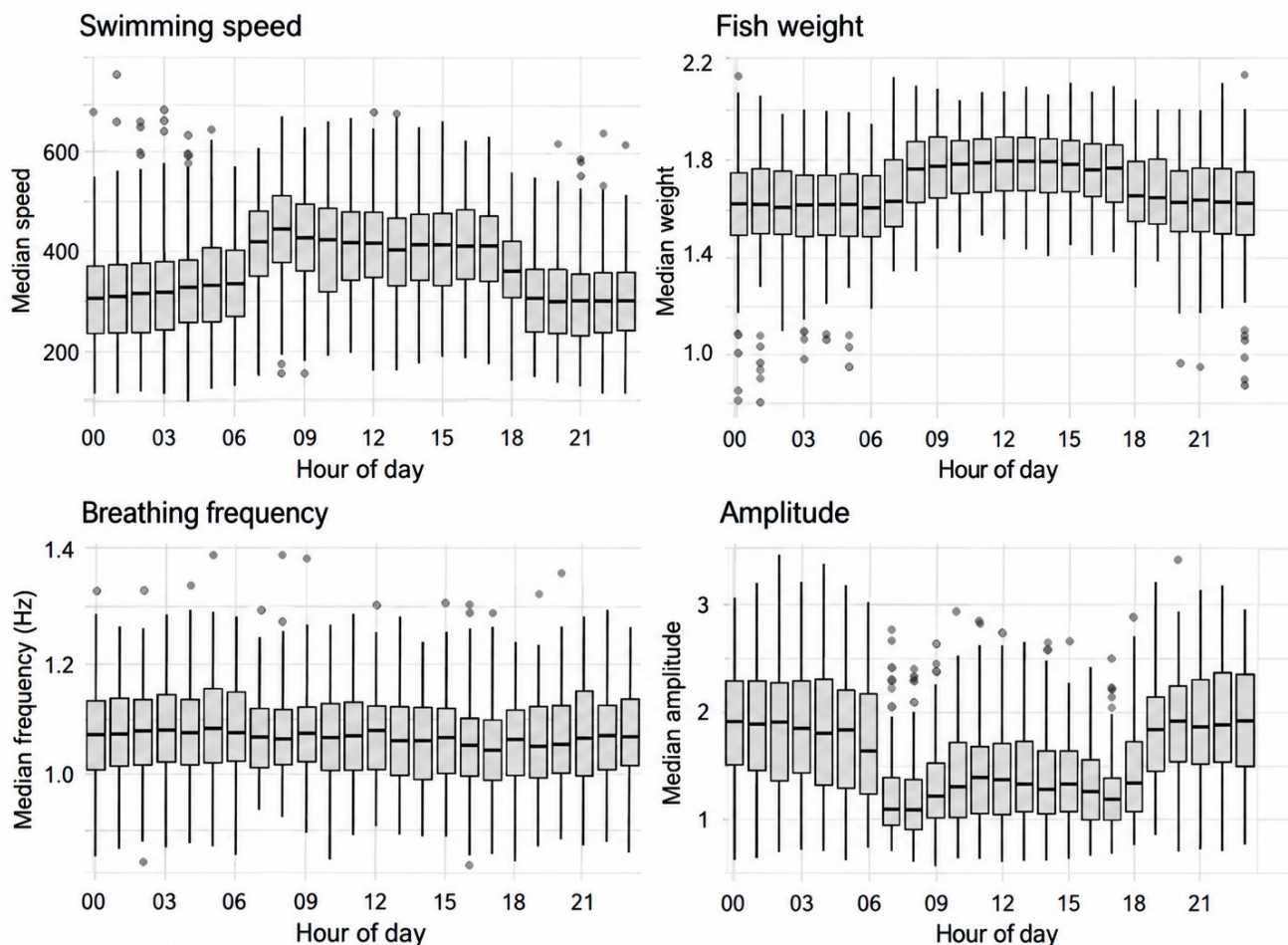
I prosjektets siste fase ble teknologien testet ved tre kommersielle oppdrettsanlegg, inkludert et anlegg med nedsenkede merder. Her ble kontinuerlig kameraovervåking av pustemønster kombinert med tradisjonelle helseundersøkelser og miljømålinger.

Denne arbeidspakken ga millioner av observasjoner fra kommersielle merder og dannet grunnlaget for resultatene som presenteres i denne artikkelen. Målet var å undersøke om endringer i pustemønster kunne knyttes til utviklingen i gjellehelse på populasjonsnivå under ordinære driftsforhold.

ble gjennomført parallelt med ordinære helsekontroller over en periode på fem (Site B og C) til 14 (Site A) måneder. Det ble samlet inn og analysert 17.000 - 44.000 godkjente observasjoner fra opplastede videoopptak fra de tre anleggene. Samtidig ble fiskens gjellehelse vurdert ved hjelp av makroskopisk gjellescoring, histopatologiske analyser og qPCR-undersøkelser av de viktigste gjellepatogenene på to av anleggene (Site B og C). Denne kombinasjonen ga et godt grunnlag for å sammenligne tradisjonelle helseindikatorer med data fra den nye overvåkingsteknologien. Mot slutten av prosjektet ble det også ferdigstilt en modul for live-monitorering under ordinær produksjon i sjø. I tillegg til de nedlastede videoene ble denne modulen brukt til å samle inn et separat live-datasett fra Site C. I denne løsningen ble video analysert fortløpende uten at selve videofilene ble lagret, og uten tilsvarende begrensning av den ordinære bildebaserte datainnsamlingen. Live-løsningen ga derfor en betydelig høyere observasjonsmengde og mer kontinuerlig dekning gjennom døgnet enn de nedlastede videodataene. Analysene i prosjektet bygger derfor på to kameradatasett med ulike tekniske egenskaper og bruksområder: et hoveddatasett basert på nedlastede og lagrede videofiler fra Site A, B og C, og et supplerende live-datasett fra Site C.

Kartlegging av respirasjonsmønster på individnivå

Live-datasettet ble brukt til å undersøke sammenhenger mellom respirasjonsmål, fiskestørrelse og svømmehastighet samt variasjon i respirasjonsmønsteret gjennom døgnet. Datagrunnlaget bestod av omtrent én million godkjente respirasjonsobservasjoner fra seks merder over en periode på rundt fire uker. For hver observasjon ble det også registrert individvariabler som vekt, svømmehastighet og tidspunkt. Dette muliggjorde analyser av hvordan disse variablene var assosiert med respirasjonsmønsteret (**Figur 1**).



Figur 1. Døgnvariasjon i svømmehastighet, fiskestørrelse og respirasjonsmål basert på live-data fra seks merder over 32 dager. Boksene viser fordelingen av timevis verdier på tvers av merder og datoer. Svømmehastighet er angitt i mm per sekund, fiskevekt i kg og amplitude i piksler (Kilde: GillWatch-prosjektet).

Et interessant funn var at fisk som svømte raskere enn andre fisk i samme merd og tidsperiode hadde klart lavere respirasjonsamplitude, mens respirasjonsfrekvensen endret seg lite med svømmehastigheten. Tyngre fisk hadde en noe høyere amplitude, mens respirasjonsfrekvensen også her varierte svært lite med fiskens vekt.

De timevis analysene viste videre et tydelig døgnmønster i svømmehastighet. Aktiviteten var høyest på dagtid og lavest på kveld og natt, noe som kan sees i sammenheng med dagslys og

fôringsaktivitet. Respirasjonsamplituden viste et motsatt mønster, med høyest amplitude kveld og natt og lavest på dagtid. Kameraet hadde en fast plassering i merden, slik at variasjon i fiskestørrelse foran kameraet reflekterte vertikale vandringsmønstre i ulike subpopulasjoner. Midt på dagen var det flest store fisk med høy svømmeaktivitet foran kameraet.

Analysene av døgnvariasjon viste dermed at fiskevekt i liten grad kunne forklare variasjonen i amplitude gjennom døgnet, ettersom større fisk

oftere ble observert midt på dagen, da amplituden var lavere. En mulig biologisk forklaring på at amplituden går ned når svømmehastigheten går opp, er at svømmende fisk får økt vannstrøm over gjellene og dermed kan ha mindre behov for store aktive munnbevegelser for å ventilere gjellene.

Respirasjonsmønster og gjellehelse: erfaringer fra felt

På ett av de undersøkte anleggene (Site B) var det en negativ gjellehelseutvikling i løpet av datainnsamlingsperioden

med gradvis forverret gjellehelse og økende gjellerelatert dødelighet (**Figur 2**). Mot slutten av perioden viste både makroskopiske vurderinger og laboratorieanalyser tydelige tegn på gjellesykdom. Denne situasjonen gjorde det mulig å teste om KI-modellen fanget opp endringer i pustemønster som samsvarte med sykdomsutviklingen. På dette anlegget økte pusteamplituden i takt med den negative gjellehelseutviklingen. Pustefrekvens, derimot, var mer stabil sammenlignet med amplitude, noe som er både interessant og noe overraskende (**Figur 2**).

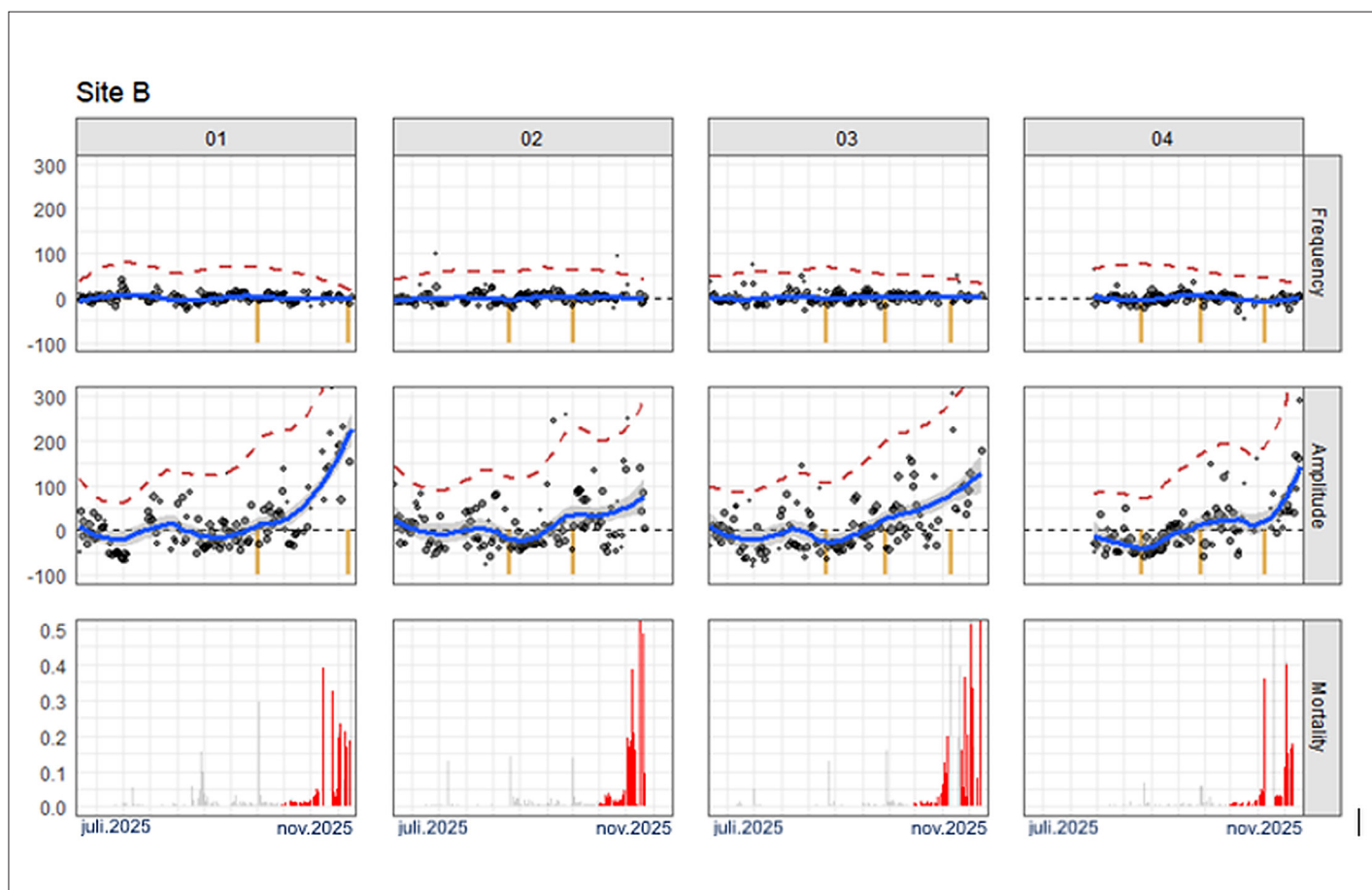
Selv om det ble identifisert en sammenheng mellom økt

pusteamplitude og redusert gjellehelse i det ene casestudiet, er datagrunnlaget ikke tilstrekkelig for å trekke generelle konklusjoner om sammenhengen. Det ble heller ikke funnet tydelige signaler som kunne brukes til tidlig varslings. Endringene i pustemønster opptrådte i hovedsak samtidig med at helseutfordringene allerede var avdekket gjennom tradisjonelle undersøkelser.

Veien videre

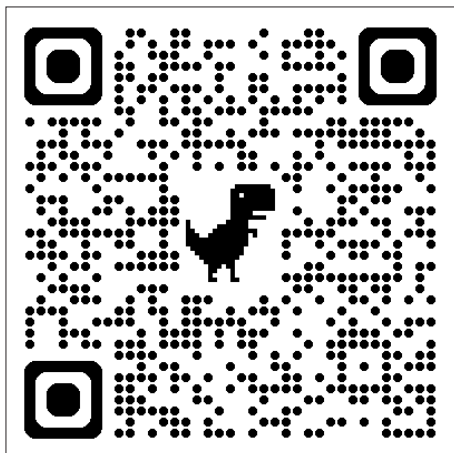
GillWatch har vist at kontinuerlig kamerabasert overvåking kan bli et nyttig supplement til dagens fiskehelseovervåking. For å utnytte potensialet bør det jobbes videre med

å integrere respirasjonsdata med miljømålinger, produksjonsdata og annen helseinformasjon. Videre utvikling og validering er nødvendig for å etablere normalverdier for pustemønster under ulike produksjonsforhold og forstå samspillet mellom pusteamplitude og pustefrekvens. Dette kan på sikt legge grunnlaget for trendanalyser, prognoser og operative tiltaksgrenser samt styrke beslutningsstøtten ved håndteringsoperasjoner som avlusing, sortering og flytting.

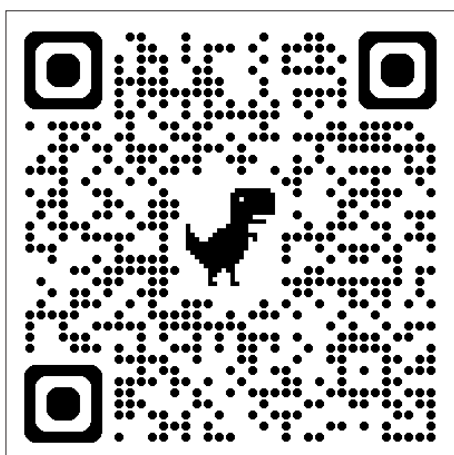


Figur 2. Relative respirasjonsmål sammenstilt med produksjonsdata fra 4 merder (01-04) på Site B i perioden juli til november 2025. Figuren viser daglig respirasjonsfrekvens og amplitude som prosentvis avvik fra medianen innen samme fiskegruppe. Punktstørrelsen gjenspeiler antall observasjoner per dag. Blå linje viser LOESS-glattet trend for medianen, og rød stiplert linje viser tilsvarende trend for 90-persentilen. Gule markører i frekvens- og amplitudepanelene angir behandlingsdager; grå søyler viser total dødelighet (%), og røde søyler viser gjellerelatert dødelighet (%) (Kilde: Sluttrapport GillWatch)

Les av QR-koden for å se video 1 som refereres til i teksten.



Les av QR-koden for å se video 2 som refereres til i teksten.



Referanser

Johansen R. 2024. <https://www.kyst.no/fhf-fiskehelse/hvordan-har-fisken-det-egentlig/1777505>

Dalum, A.S., Pettersen, J.M., Malik, M.S., Dromnes, I., Fylling, A.B., Brandshaug, O. and Aunsmo, A., 2026. Relationship of respiratory frequency, gill histopathological lesions and *Paramoeba perurans* infection load in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) – a possible proxy for gill health. *Aquaculture Reports*, 47, p.103449. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2026.103449>

Folkman, L., Vo, Q.L., Johnston, C., Stantic, B. and Pitt, K.A., A computer vision method to estimate ventilation rate of Atlantic salmon in sea fish farms. *arXiv* 2025. *arXiv preprint arXiv:2504.19719*. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2025.102645>

Høgstedt, E.B., Schellewald, C., Mester, R. and Stahl, A., 2025. Automated computer vision based individual salmon (*Salmo salar*) breathing rate estimation (SaBRE) for improved state observability. *Aquaculture*, 595, p.741535. <https://doi.org/10.1111/jfd.70055>

Schellewald, C., Saad, A. and Stahl, A., 2024. Mouth Opening Frequency of Salmon from Underwater Video Exploiting Computer Vision. *IFAC-PapersOnLine*, 58(20), pp.313-318. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.10.072>

Vo, Q.L.K., Pitt, K.A., Stantic, B., Johnston, C., Kennedy, B. and Folkman, L., 2026a. Using computer vision to assess changes in ventilation rates of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) following a freshwater bath. *Journal of the World Aquaculture Society*, 57(2), p.e70084. <https://doi.org/10.1111/jwas.70084>

Vo, Q.L.K., Pitt, K.A., Johnston, C., Kennedy, B. and Folkman, L., 2026a. Computer vision detects an association between gross gill score and ventilation rates in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Journal of fish diseases*, 49(3), p.e70055. <https://doi.org/10.1111/jfd.70055>