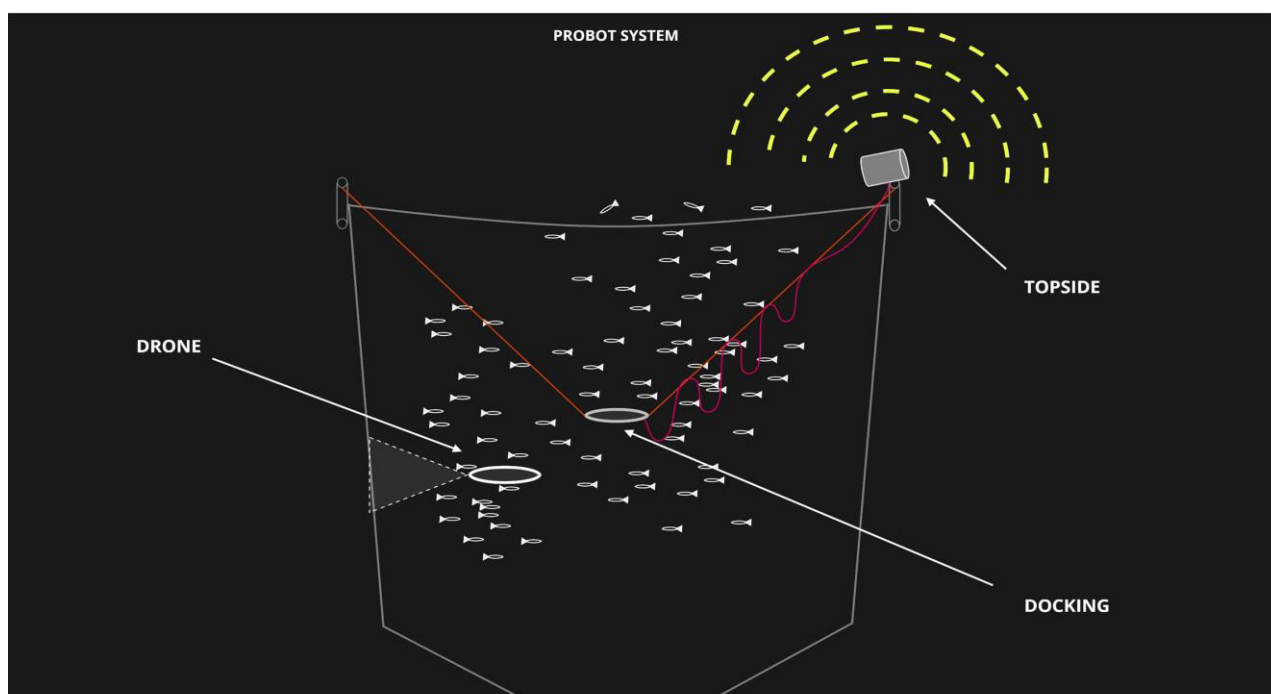


# Faglig sluttrapport

# FHF 901678

UTVIKLING AV AUTONOM INSPEKSJONSLØSNING  
FOR OPPDRETTSNØTER



# Sammendrag

<b>Tidsperiode</b>	1. mars 2021 - 31. januar 2023
<b>Formålet</b>	<p>Overordnet formål er å utvikle teknologi som kan:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kostnadseffektivisere inspeksjon av not</li> <li>• Legge til rette for forebyggende vedlikehold av not</li> <li>• Redusere sjansen for at oppdrettsfisk rømmer som gir økonomiske besparelser for næringen og positive effekter på miljø ved å forhindre at oppdrettslaks blander seg med villaks</li> </ul>
<b>Overordnet resultatmål</b>	<p>Prosjektet utvikler en teknisk løsning som autonomt kan inspisere og detektere slitasje og tilløp til hull i noten. Innen avsluttet prosjekt skal systemet etter en inspeksjonsrunde gi beskjed dersom det er detektert avvik som bør følges opp gjennom tiltak/ytterligere inspeksjon.</p>
<b>Gjennomføring - metode</b>	<p>Prosjekt i bedrift - prosjektsamarbeid mellom driftsselskap, utviklingselskap og oppdrettsselskap. Prosjektet er gjennomført i form av tre faser med tilhørende arbeidspakker</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fase 1: Utarbeide kravspesifikasjon og utvikling av produksjonsunderlag</li> <li>• Fase 2: Bygging, funksjonstesting og feilretting av prototype eller demoversjon</li> <li>• Fase 3: Testing i fullskala med feilretting.</li> </ul> <p>Produktutviklingen er gjort ut fra en definisjon av hva som er <b>Minimum Viable Product (MVP)</b> for en pilot av inspeksjonsløsningen med fortløpende test og verifisering innarbeidet i utviklingen.</p>
<b>Resultater</b>	<p>Det er gjort en proof-of-concept med pilotversjon med nødvendige systemkomponenter og funksjonalitet for inspeksjon, hulldeteksjon og rapportering. Pilot er verifisert i merde hos Ballangen sjøfarm hvor den har vært utplassert i testperioder. Løsningen har også vært kommunisert og demonstrert live ved flere anledninger:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Oceanology International London, mars 2022</li> <li>• HavExpo Bergen, mai 2022</li> <li>• Lovund Demo Days, september 2022</li> <li>• Havbruk Bergen, oktober 2022</li> <li>• Outlook North Harstad, november 2022</li> </ul>
<b>Nytte</b>	<p>Kongstanken med inspeksjonsløsningen er at den skal automatisere dagens manuelle vedlikeholdsprosesser av fiskemerden. Jevnlige inspeksjon av merden vil redusere sjansen for at oppdrettsfisk rømmer, noe som både betyr økonomiske besparelser for næringen, styrker omdømme og har positive effekter på miljø. Testperioden i prosjektet har verifisert dronens potensiale.</p>
<b>Hovedsamarbeidspartnere</b>	

- Probotic har jobbet ut fra å definisjon av hva som er **Minimum Viable Product (MVP)** for en pilot av inspeksjonsløsningen.
- Arbeid med arbeidspakkene i fase 1 og fase 2 har vist seg å være tidkrevende og estimat på arbeidspakkene reflekterer et absolutt minimum / best case scenario. Videre har prosjektsøknad/-beskrivelse fokus på deteksjon av hull, og ikke autonomt navigasjonssystem. Sistnevnte har vært tidkrevende og har måtte gjøres i parallelle med prosjektaktivitetene som er beskrevet her.
- Initielt var arbeidet planlagt i en fossefallsaktig faseinndelt prosjektgjennomføring. Etter hvert som vi kom i gang med arbeidet, ser vi at dette ikke helt gir mening. Eksempelvis er dette grunn til at arbeidspakke 2.1 er påbegynt før fase 1 er ferdigstilt.
- Etter prosjektoppstart konkluderte vi med at det ble for kostnadsdrivende å trene nevralt nettverk på en skyløsning. Vi valgte derfor å gjøre denne jobben på egne servere. Vi har opplevd feil på bestilte HW-komponenter, og det har vært utfordrende å få tak i nødvendige deler. Dette har forsinket arbeidet med massetrening av det nevralt nettverket.

# Innledning

Følgende gjør rede for faglig bakgrunn for prosjektet, prosjektets omfang og prosjektorganisering for prosjektet «Utvikling av autonom inspeksjonsløsning for oppdrettsnøter» finansiert av FHF.

## Faglig bakgrunn for prosjektet

NOR Maritime Service AS (NMS) utførte ROV-inspeksjoner hos Ballangen Sjøfarm, og begge parter så hvordan oppdragsmengden økte grunnet problematikk med hull og slitasje i oppdrettsmerdene. På bakgrunn av dette har NMS og Ballangen Sjøfarm tatt initiativet til dette prosjektet hvor Probotic AS skal løse utfordringen med automatisert overvåkning og inspeksjon av not. Prosjektgruppen anser koblingen mellom teknologi og biologi til å være nøkkelen for bærekraft og videre vekst i havbruksnæringen.

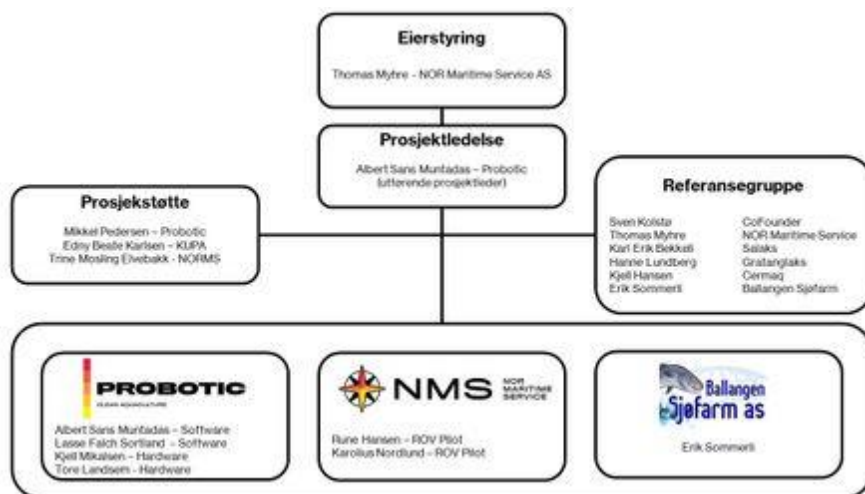
## Prosjektets omfang

Prosjektets produktutvikling er gjennomført i form av tre faser med tilhørende arbeidspakker

- Fase 1 - 2. halvår 2021 - Utarbeide kravspesifikasjon og utvikling av produksjonsunderlag
- Fase 2 - 1. halvår 2022 - Bygging, funksjonstesting og feilretting av prototype eller demo-versjon
- Fase 3 - 2. halvår 2023 - Testing i fullskala med feilretting.

Totalt omfang utviklingsarbeidet var estimert til i underkant av 2000 timer.

## Prosjektorganisering



Prosjektgruppering	Rolle / ansvar
<b>Referansegruppe</b>	<p>Referansegruppen skal bidra til at prosjektet gjennomføres i samsvar med prosjektets mål, tidsplan og økonomiske rammer og bidra til at prosjektet får størst mulig nytte for bedriftene og næringen.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rådgivende rolle</li> <li>• Faglig bistand og diskusjonspartner</li> <li>• Diskusjonsforum - mulighetsrom</li> </ul>
<b>FHF</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Finansør</li> </ul>
<b>Probotic</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produkt og teknologiutvikling</li> <li>• Prosjektstyring</li> </ul>
<b>NOR Maritime Service AS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Logistikk i felt</li> <li>• Eierstyring</li> </ul>
<b>Ballangen Sjøfarm</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Testlokasjon</li> <li>• Brukerinnspill</li> </ul>



*Samarbeidspartnere i prosjektet i form av finansør, prosjektgruppe og referansegruppe.*

# Problemstilling og formål

Følgende redegjør for prosjektets effekt- og resultatmål.

## Effektmål

Overordnet nytteverdi til prosjektet er knyttet til å forhindre rømming av oppdrettsfisk. Den utviklede løsningen muliggjør en standardisering av inspeksjonene og en langt hyppigere kontroll av nota. Automatisert rapportering og alarmering gir løpende status med mulighet for å proaktivt kunne forebygge tilløp til hull. Med dette vil oppdretter få en betydelig økt kontroll over notas tilstand, og gjør at røkter kan gjøre tiltak allerede ved tilløp til hull. Dette betyr:

- At man kan unngå betydelige kostnader som følge av fisk som rømmer.
- Ressursbesparelser sett opp mot dagens alternativer for inspeksjon av not (ROV eller dykkere).
- Styrke HMS ved å automatisere dagens manuelle vedlikeholdsrutiner
- Styrke næringens omdømme ved å vise til bedre inspeksjons- og dokumentasjonsregime.
- Hindre økologiske skader ved at rømt fisk blander seg med ville bestander.

## Resultatmål

Overordnet er prosjektmålet er å utvikle en løsning som autonomt kan inspisere og detektere slitasje og tilløp til hull i noten. Innen avsluttet prosjekt skal systemet etter en inspeksjonsrunde gi beskjed dersom det er detektert avvik som bør følges opp gjennom tiltak/ytterligere inspeksjon.

#	Resultatmål	Redegjørelse måloppnåelse
1	Datasett som legger grunnlaget for de ulike feilmodusene man ønsker å kunne rapportere. (Fase 1)	Vi har etablert datasett basert på ROV inspeksjoner og datafangst ved drone. Det er viktig å presisere at selv om vi har etablert et grunnlag for feilmodusene vi ønsker å melde, men det vil være en kontinuerlig prosess videre for å øke treffsikkerhet på hulldeteksjon.
2.1	Fungerende Test av maskinsyn på en video fra notinspeksjon (Fase 1)	Etter fase 1 verifiserte vi resultatmålet og kjørte en demovideo for illustrasjon for prosjektets referansegruppe.
2.2	Opptrente nevrale nettverk tilpasset Jetson Xavier*. (Fase 2)	Første prototype / proof of concept er verifisert. Opptrening vil være en kontinuerlig prosess videre fremover for å øke treffsikkerhet. Kommentar mht Jetson Xavier. Vi trener nettverk uavhengig av type teknologisk standard, og per nå ønsker vi å benytte Jetson Nano. Dette har ikke noe praktisk betydning for måloppnåelse.

3	Metode for datainnsamling - avstand, lys, kamerasensor (Fase 2)	Første versjon av metode for datainnsamling ble etablert. Utviklingsarbeidet viste at det ikke er så tett korrelasjon mellom metode og HW-komponenter slik som kamera og lys.
4	Automatisert analyse og deteksjon av avvik (Fase 2)	I fase 2 etablerte vi nevralt nettverk for realtime deteksjon av hull i not. Dette ble demonstrert ved HavExpo i Bergen i mai 2022. Videre arbeid etter fase 2 understøtter også delmål 4.
5	Systemet med videoscanning og generering av rapport, der man verifiserer resultat opp mot manuell kontroll (Fase 2)	Gjennom prosjektet har vi utviklet en første prototype hvor vi får generert rapport. På nåværende tidspunkt er ikke dette en fullintegrert og automatisk prosess, slik at det vil være en manuell jobb å få sendt video fra dronen til ML server.
6	Felttest av løsning med automatisert inspeksjon og rapportering (Fase 3)	Prototypen ble satt ut i merde for test juni 2022 og etter det har systemet vært inn og ut fra test-merde for oppgraderinger og optimaliseringer. Felt test har verifisert løsningskonseptet, og har også gitt verdifull innsikt med hensyn til både hardware og software.
7	Webinar/seminar og presentasjon av prosjektresultater (Fase 3)	Nytten av Probotic sin produktutvikling og resultatene av prosjektet ble presentert ved Havbruk 2022 i Bergen oktober 2022.

\*AI datamaskin for autonome maskiner

# Prosjektgjennomføring

Prosjektet ble planlagt gjennomført i tre hovedfaser med tilhørende arbeidspakker (for detaljer se kap. Leveranser):

- Fase 1 - Utarbeide kravspesifikasjon og utvikling av produksjonsunderlag
- Fase 2 Bygging, funksjonstesting og feilretting av prototype eller demo-versjon
- Fase 3 Testing i fullskala med feilretting

Prosjektet ble i hovedsak gjennomført i henhold til opprinnelig prosjektplan. Det ble gjort noen justeringer da utviklingen underveis viste at ikke alle oppgaver var hensiktsmessig å gjennomføre i den rekkefølgen det var planlagt. Produktutvikling er videre gjort i henhold til Probotics sin utviklingsmetodikk. Utviklingsarbeidet fokuserer på hyppig test og verifisering underveis i utviklingsforløpet.



# Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon

Prosjektet har verifisert løsningskonseptet og dette har dannet grunnlag for videre produktutvikling hos Probotoc. Viktige milepæler for verifikasjon:

- London Ol april 2022: Remote styring og inspeksjon av merde hos Ballangen sjøfarm fra London
- HavExpo Bergen mai 2022: Remote styring, inspeksjon og hulldeteksjon i eget testkar med notlin

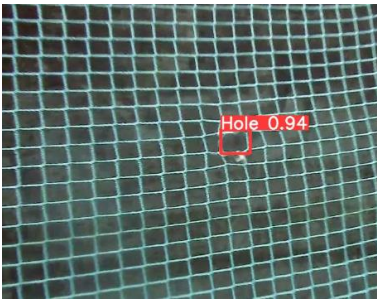
Autonom inspeksjon og deteksjon av hull er funksjonalitet tilknyttet FHF-prosjektet, og en del av den totale produktutviklingen til Probotoc. Prosjektresultatene har avhengigheter til arbeid som ikke er inkludert i prosjektets omfang, slik som eksempelvis utvikling av styringssystemet og øvrige hardwarekomponenter som en autonom drone vil være avhengig av slik som docking. Testing i prosjektet har gitt input til nødvendige feilrettinger og endringer i arbeidspakker tilknyttet prosjektet. Testingen har også påvirket deler av løsningskonseptet som ligger utenfor prosjektets omfang. Dette har vært en krevende øvelse for en startup med begrenset ressurser. Det har vært viktig for prosjektteamet å utvikle en proof-of-concept hvor vi har en pilotversjon (MVP) med nødvendige systemkomponenter og funksjonalitet slik som inspeksjon, hulldeteksjon og rapportering. Vi bruker per i dag kabling som en sikkerhetsmekanisme mens vi tuner styring, oppnå midlertidig høyere kapasitet for dataoverføring, samt å videreutvikle autopilot ferdig for drone.

Prosjektet med dagens versjon av inspeksjonsløsning, viser potensialet for ressursbesparelser i en driftssituasjon og hvordan vi kan styrke HMS ved vedlikehold. Videre gevinstvurdering av løsningen krever måling over tid i en driftssituasjon. Mht gevinster har møtene med referansegruppen underveis i prosjektet gitt nyttige input til produktutviklingen fra et kundeperspektiv (behov og nytte).

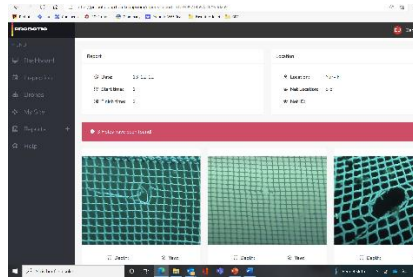
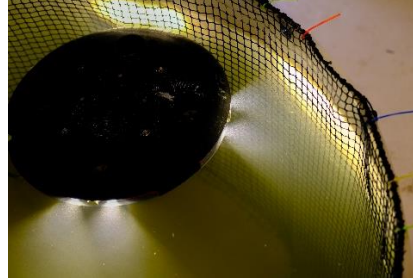
## Hovedfunn:

- Systemet varsler om avvik. Det vil si at det gjenkjenner slitasje, hull eller tilløp til hull.
- Prosjektresultatene har lagt grunnlag for videre utvikling og realisering av Probotoc sitt produktmål
- Møter med referansegruppen og ekstern kommunikasjon av prosjektets resultater har bekreftet potensialet av løsningen

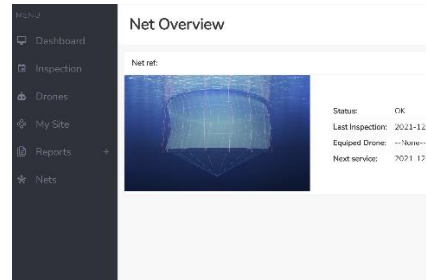
### Fase 1 - etablering av infrastruktur og opplæring av algoritmer for hulldeteksjon



### Fase 2 - seleksjon av HW komponenter og test av nevralt nettverk



### Fase 3 - test i merde og rapportering fra inspeksjon



# Leveranser

Følgende er en detaljert oversikt over leveransene i prosjektet

<p><b>Fase 1 - Utarbeide kravspesifikasjon og utvikling av produksjonsunderlag - 2. halvår 2021</b></p> <p><b>Arbeidspakke 1</b> Prosessering og analyse av eksisterende datamateriale</p> <p><b>Leveranser</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Analysert eksisterende videomateriell fra notinspeksjoner</li> <li>• Definert forhold løsningen må ta høyde for og utarbeidet plan for styringssystem til drone</li> </ul>
<p><b>Arbeidspakke 2</b> Etablering av skybasert plattform</p> <p><b>Leveranser</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Besluttet arkitektur for å kjøre initiell maskinlæring (CVAT), og arbeidspakken inkluderer arbeid tilknyttet undersøkelse, valg og initial testing av labeling software som må utføres før installasjon på server.</li> <li>• Etablert plattform på egne servere.</li> </ul>
<p><b>Arbeidspakke 3</b> Initiell opplæring av algoritmer og utforming av software</p> <p><b>Leveranser</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utviklet funksjonalitet for å beregne vinkel og avstand til not ut ifra video.</li> <li>• Lablet det første datasettet for maskinlæringen.</li> </ul> <p>Utarbeidet demovideo</p>
<p><b>Arbeidspakke 4</b> Infrastruktur for kommunikasjon i felt</p> <p><b>Leveranse</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kjøpt inn utstyr, montert testet og tatt i bruk</li> </ul> <p>Tilstrekkelig basis for arbeidspakken er utført, mens produktutvikling tilknyttet topside (design, HW og SW) som utføres sammen med annet arbeid i fase 2.</p>

**Fase 2 Bygging, funksjonstesting og feilretting av prototype eller demo-versjon - 1. halvår 2022****Arbeidspakke 1** Valg av mekanisk design og teknologiske komponenter**Leveranse**

- Arbeidet inkluderer testing av ulike komponenter, eksempelvis er 8 ulike kameramoduler er kjøpt inn og testet.
- Landet mekanisk design og her innunder valg av lys, kamera og lagring. Designet er nå hydrodynamisk optimalt 360 grader (UFO design) og er således bedre tilpasset livet i merden der du kan få strøm inn fra alle retninger.
- Valg av komponenter anses som godt nok i en første versjon av drone
- Testet hos Ballangen sjøfarm

**Arbeidspakke 2** Innsamling av data fra notinspeksjon med "reell" metodikk**Leveranse**

- Arbeidspakken inkluderer initiell opptrening av det nevralt nettverket
- Testet mindre skala og med ROV
- Vellykket verifisering av utviklet metodikk.
- Arbeidspakken har vært berørt av at vi ikke har fått satt opp server slik som planlagt (ref oppsummerte hindringer)

**Arbeidspakke 3** Markering/segmentering, opptrening og test av nevralt nettverk for deteksjon**Leveranse**

- Det nevralt nettverket er trent opp til å detektere avvik.
- Vi har brukt forskjellige lokasjoner og gjennomført med manuell annotering.
- Verifisert at vi kan detektere hull og vi bygger videre på dette ved fullskala test

Arbeidspakken har vært berørt av at vi ikke har fått satt opp server slik som planlagt (ref oppsummerte hindringer)

**Arbeidspakke 4** System for videoscanning i sky og generering av rapport (brukergrensesnitt).**Leveranse**

- Dronen samler inn datamateriale
- Analysen resulterer i rapport

Prosessen er foreløpig ikke fullintegret

### Fase 3 Testing i fullskala med feilretting - 2. halvår 2022

#### Arbeidspakke 1 Fullskala test

##### Leveranse

- I fase 3 har vi gjort omfattende testing både i kar og merde hos Ballangen sjøfarm
- Testingen omfatter både testing av utviklet software for hulldeteksjon og styring, samt hardware. Dronen skal være robust nok til å bo i merden under krevende forhold.
- Første test sommeren 2022 hvor dronen var plassert i merde hos Ballangen sjøfarm i en 2 ukers periode gav behov for større og mindre justeringer både på hardware og software.

#### Arbeidspakke 2 Webinar/seminar

##### Leveranse

- Prosjektet og løsningskonseptet er presentert og demonstrert ved flere anledninger:
  - Oceanology International London, mars 2022
  - HavExpo Bergen, mai 2022
  - Lovund Demo Days, september 2022
  - **Havbruk Bergen, oktober 2022**
  - Outlook North Harstad, november 2022
- Havbruk konferansen ble brukt som planlagt seminar i arbeidspakken, hvor presentasjon og demo gjorde rede for utviklingen, erfaringer og funn fra utviklingen

