

Trygg utvikling av flytende lukkede oppdrettsanlegg – hva må til?

Norsk havbruk står ved et veiskille. For høy dødelighet, lakselus, sykdom, samt skjerpede krav til redusert miljøpåvirkning og bedre fiskevelferd, utfordrer både bærekraft og lønnsomhet. Nå har næringen et valg – å samarbeide om å løfte flytende lukkede oppdrettsanlegg (FLO) som en sentral del av løsningen, eller å vente på at myndighetene tar sine grep. Etter en langdryg fase, preget av suksesser og feilskjær i utviklingen av nye lukkede konsepter, handler neste steg om å gjøre oppdrettere og myndigheter **trygge** på at teknologien leverer det den lover. For å lykkes må videre utvikling bygge på kunnskapsbaserte beslutninger, dokumentasjon og åpen erfaringsdeling. Dette er nødvendig for at teknologien skal aksepteres i stort omfang og bidra til en mer bærekraftig og forutsigbar vekst i norsk havbruk.

Av: Stine Wiborg Dahle, Pascal Klebert, Hans Tobias Slette og Leif Magne Sunde, alle SINTEF Ocean.
Kontaktinfo: StineWiborg.Dahle@sintef.no

Akvafuture AS er aktøren med lengst erfaring med lukkede merder. Foto: Akvafuture AS



Omstilling i lakseoppdrett

Transformasjonen i norsk havbruk er i gang. Flytende lukkede oppdrettsanlegg (FLO) representerer et viktig verktøy for å oppnå kontroll, forutsigbarhet og bærekraft i havbruksnæringen. Ved å etablere fysiske barrierer mellom fisk og omgivelser, reduseres eksponeringen for lakselus, samtidig som vanninntak fra kontrollerte dyp gir bedre og mer stabile miljøforhold for fisken (Nilssen, 2019). FLO kan dermed gi økt kontroll over vannkvalitet, smitteveier og utslipp, og legge til rette for bedre fiskevelferd, lavere dødelighet og redusert miljøpåvirkning. Etter innføringen av miljøfleksibilitetsordningen, som åpner for bruk av nedtrukket kapasitet fra røde soner i FLO, har flere oppdrettselskaper annonsert ytterligere investeringer i denne teknologien. Et sentralt spørsmål som diskuteres i beslutningsprosessene er: **Er en trygg på at den lukkede teknologien leverer som forventet?**

Utviklingen av FLO skjer i faser. Noen FLO-konsepter er fremdeles på tegnebrettet, andre testes i pilotskala, mens et fåtall er i fullskala kommersiell drift. I dag er rundt ti ulike konsepter i bruk, fordelt på omtrent 25 operative enheter (Senstad, Lyngøy & Vike, 2026). Flere aktører har allerede vist at det er mulig å produsere store mengder fisk med god kontroll på fiskehelse, fiskevelferd, miljø, lus og rømming. Ovum AS peker på at postsmolt produsert i FLO kan oppnå lavere produksjonskostnader, sammenlignet med tradisjonelle RAS-alternativer (Senstad, Lyngøy & Vike, 2026). Produksjonstall fra erfarne aktører som Akvafuture AS viser at betydelige mengder laks over tid er produsert i deres lukkede systemer med svært gode resultater; 0 lus, 96 % overlevelse og 96 % superior kvalitet fra innsett til slakt (TEKMAR, 2024). At lukkede anlegg har potensial, er det derfor liten tvil om. Det gjør det stadig vanskeligere å hevde at oppdrett i lukkede anlegg «ikke er mulig».

Fjerne risiko tidlig – sikre premium produksjonsbetingelser

Felles for FLO er at investeringene er store, og feilmarginene små. Når kapitalbindingen er høy, er det begrenset rom for biologiske feil. Selv mindre avvik kan raskt få store konsekvenser. For å lykkes må biologien fungere optimalt fra første dag. Det forutsetter at en robust settefisk settes inn i FLO, solid forståelse av biologiske og tekniske prosesser, samt tett kontroll med driftsparametere og produksjonsmiljø. God konseptutvikling handler derfor i stor grad om å identifisere og redusere risiko så tidlig som mulig. Et viktig poeng for kostnadsintensive konsepter er derfor å innta en «ydmyk» holdning, og bygge trygghet om at hver kubikkmeter av det investerte «oppdrettsvolumet» leverer premium produksjonsbetingelser og over det laksen forventer.

Systematisk kunnskapsbygging for tillit i næring og forvaltning

Samtidig har ikke alle prosjekter

lyktes, og fallgruver er fortsatt til stede. Høy kompleksitet og manglende kunnskapsgrunnlag blant forklaringene når utfallet av store investeringer ikke ble som planlagt. Erfaringene viser at manglende systemforståelse og undervurdering av biologisk risiko kan få store konsekvenser, og har bidratt til usikkerhet rundt videre implementering og oppskalering av teknologien. **Derfor handler neste fase om trygghet.** Skal FLO bevege seg til bred industriell anvendelse, må teknologien oppleves som trygg og forutsigbar av alle aktører og myndigheter. Videre utvikling og skalering av FLO forutsetter derfor at det etableres tillit og trygghet på flere nivåer i verdikjeden:

1. Tillit hos **oppdretter**, og trygghet om at teknologien fungerer i operasjonell drift
2. Tillit hos **leverandør**, og trygghet om at løsningene kan skaleres og investeres i for videre vekst
3. Tillit hos **myndigheter**, og trygghet om at risiko håndteres
4. Tillit hos **konsumenter**, og trygghet om en bærekraftig og etisk produksjon

Trygghet i denne sammenhengen betyr to ting: kunnskap og dokumentasjon. SINTEF Ocean har over mange år tatt del i utviklingen av FLO både i tidlige faser gjennom pilotskala testing, og i fullskala anlegg, og ønsker å dele erfaringer vi mener har betydning for trygghet rundt denne nye produksjonsformen. Lukkede merder er testet i SINTEF Oceans Havbasseng, som er et forsøksanlegg for modelltesting under realistiske bølge- og strømforhold, som gir detaljert innsikt i strukturrepons, hydrodynamikk og samspillet mellom konstruksjon og omgivelsene. Kombinasjon av modellforsøk og studier av anlegg i full kommersiell drift har gitt viktig kunnskap om hvordan anleggene påvirkes av bølger og strøm, hvordan tilrettelegge for god hydrodynamikk og vannkvalitet, samt hvordan sikre optimale produksjonsforhold for fisken. SINTEF Ocean har tro på en helhetlig tilnærming der samspillet mellom modellskala og fullskala gir unik læring:

modellforsøk gir kontroll og detaljert innsikt, mens fullskallatester bidrar med realisme og operativ erfaring, og sammen muliggjør dette kunnskapsbasert teknologimodning og økt trygghet.

Lukkede merder – ny grad av kompleksitet krever ny kompetanse

Et eksempel på at forskning gir anvendbar kunnskap for næringen er FHF-prosjektet (FHF nr. 901906) BIOCLOSED (Klebert et al., 2026). Her ble FLO i fullskala produksjon studert, med omfattende instrumentering og kontinuerlig datainnsamling i et tverrfaglig samarbeid mellom Veterinærinstituttet, NMBU og SINTEF Ocean. BIOCLOSED-prosjektet har gitt tilgang til store datamengder og verdifull innsikt, samt viktige læringspunkter for videre utvikling og trygg drift av FLO. Prosjektet studerte ulike fisketettheter og fiskestørrelser, og hvordan dette påvirket hydrodynamikk, vannkvalitet, fiskehelse og -velferd gjennom en produksjonssyklus av laks. Forskjellene i tetthet mellom lav- og høytetthetsmerdene hadde ikke betydelig innvirkning på fiskens atferd, mikrobiell vannkvalitet og fiskehelse og -velferd. Det var normal tilvekst og

svært lav dødelighet i alle merder, til tross for påvisning av sykdomsagens med vevsskader og kliniske symptomer. Dette tyder på at laksen kan håndtere utbrudd av sykdommer godt så lenge man unngår håndteringer og avlusinger i samme periode. Studien understreker også betydningen av god hydrodynamisk design for å sikre stabile miljøforhold, god vannkvalitet og fiskevelferd, samt redusert risiko for helseutfordringer. Trygghet bygges best når en arbeider med flere fag, gitt erkjennelsen av at lukkede anlegg er komplekse.

Rammevilkår for trygghet

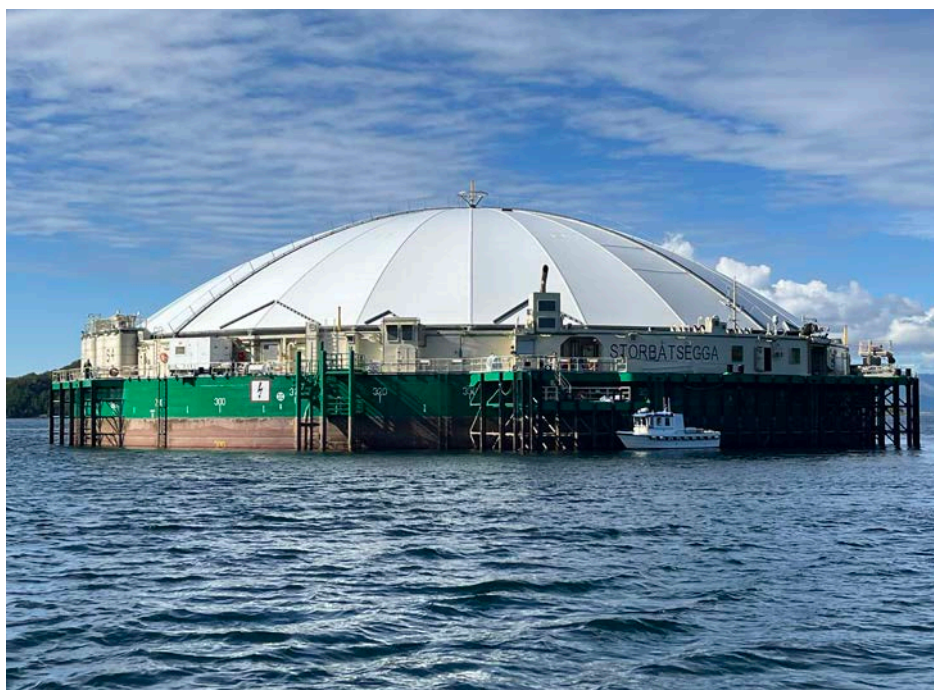
Det er et tydelig behov for forutsigbare avklaringer frammyndigheter når det gjelder bruk av FLO. Regelverksutviklingen for lukkede anlegg i sjø er i bevegelse. Myndighetene arbeider aktivt med å utvikle og tilpasse regelverket til nye produksjonsstrategier og teknologiske løsninger. Målet er å sikre god fiskevelferd, miljømessig bærekraft og trygg drift, samtidig som regelverket gir rom for innovasjon. Denne pågående utviklingen er viktig for å legge til rette for videre implementering av FLO. For å bygge tillit, er det behov for mer kunnskap for videre utvikling av regelverk

og for å kunne sammenligne løsninger på tvers av konsepter og for forutsigbare rammevilkår. Trygghet rundt konstruksjon for å hindre rømming er essensielt, og en har de seneste 20 årene sett store gevinster av arbeidet som er lagt ned i NS 9415 (Flytende akvakulturanlegg – Lokalitetsundersøkelse, prosjektering, utførelse og bruk). Hvordan sikre god og ikke innovasjonshemmende standardisering på flere felt, er et viktig og trygghetsskapende arbeid som det for lukkede merder med fordel nå bør mobiliseres tyngre rundt.

Veien videre: forskning som strategisk bidrag for trygghet

For å realisere potensialet til FLO må oppdrettere og leverandører løse en rekke kunnskapsutfordringer (Larsen, 2026). Fremover er det, utover konseptspesifikke behov, nødvendig med en styrket generisk forskning og uttesting som kan brukes på tvers av konsepter, samt målrettede casestudier der premissene undersøkes i detalj. Her kan forskning spille en strategisk og langsiktig rolle, ved å bygge kunnskap, knytte aktører sammen og sikre god dokumentasjon, også som grunnlag for bedre forvaltning. Noen utvalgte prosjektsamarbeid viser tema som næringen mener det er viktig å arbeide med:

- **Hydrodynamikk og fiskeadferd:** I det nye SINTEF-ledede prosjektet FLOprod (FHF nr. 910641) er målet å forbedre forståelsen av hvordan fisketetthet, adferd og hydrodynamiske forhold påvirker hverandre i forskjellige store lukkede oppdrettsenheter i sjø. Basert på resultater fra tidligere prosjekt hos SINTEF Ocean på lignende tematikk, vil vi i FLOprod utføre målinger i storskala, kommersiell produksjon i lukkede merder med ulike design for både matfisk og postsmolt for å samle inn nye og unike data som skal brukes til validering av numerisk modellering. Videre vil prosjektet modellere hydrodynamikk og fiskeatferd ved hjelp av numeriske verktøy, og vurdere den tekniske integriteten av lukkede merder under påvirkning av salinitetsforskjeller.



Storbåtsegga-merden til Nordlaks er et av flere nyskapende konsepter som er satt i produksjon (foto: Leif Magne Sunde, SINTEF Ocean).

• **Slamoppsamling:** SINTEF leder prosjektet FLOslam (FHF nr. 910671) som skal fremskaffe kunnskap om løsninger for oppsamling av slam fra lukkede anlegg i sjø og betydningen av dette for påvirkning på det ytre miljø. Slamoppsamling er en nøkkelfunksjon i FLO, fordi den muliggjør reell utslippskontroll og redusert miljøpåvirkning. Mye av det organiske avfallet kan også ha et stort potensial for sirkulær verdiskaping. Skal ny teknologi legitimeres som et alternativ i områder der tradisjonell akvakultur er begrenset av miljøhensyn, må det også foreligge dokumentasjon som viser at FLO faktisk reduserer miljøbelastningen sammenlignet med åpne systemer. Utslipp av næringssalter er et framført ankepunkt mot lukkede merder, og kunnskap kan gi trygghet for de valg som skal gjøres.

• **Biosikkerhet:** SINTEF deltar i FLObiosec (FHF nr. 910666), ledet av Nofima, hvor prosjektet skal kartlegge aktuelle løsninger for vanninntak og vannbehandling. Prosjektet skal også undersøke i hvilken grad disse løsningene bidrar til å kontrollere risikoen for introduksjon og etablering av fiskesykdommer, forebygge sykdomsutbrudd og redusere videre smittespredning. Ny kunnskap kan hjelpe til med å gi anbefalinger og skape trygghet om hvordan lukkede anlegg skal plasseres på en riktigst mulig måte på lokalitet.

En klok mann sa en gang: «En rekke ikke gjøre alle feilene selv» – og felles løsning ved å dele erfaringer, også på tvers av konsepter, vil bidra raskere til å bygge kunnskap og trygghet rundt denne nye produksjonsformen. Næringen er i gang med store løft, og det er gledelig å se en oppvåkning når det gjelder å følge prinsippet «samarbeid når en kan – konkurrere når en må» også i havbruksnæringen.

Standardisering – en krumtapp for trygg utvikling

Ulike konsepter måles, dokumenteres og evalueres på ulike måter. Det gjør det

vanskelig å sammenligne løsninger, trekke læring på tvers, og bygge tillit. Jo tidligere næringen, leverandører, FoU-miljøer og myndigheter kan standardisere hvordan data fra lukkede merder skal samles inn og hvordan de skal tolkes, jo raskere kan utviklingen skje på en trygg måte. Det er også et økende behov for å oppdatere og harmonisere klassifiseringen av lukket oppdrettsteknologi i dialog mellom næring, myndigheter og forskning. Dagens begrepsbruk benyttes ulikt mellom oppdrettere, teknologileverandører, FoU-miljøer og forvaltning. Mangelen på et omforent begreps- og kategoriseringsgrunnlag gjør det vanskelig å sammenlikne teknologiske løsninger på en systematisk måte og dokumentere effekter på fiskehelse, lus og miljø på tvers av konsepter, og er en av barrierene for videre utvikling.

Energitilgang er en nøkkelfaktor for kostnadseffektiv drift av FLO. Slike anlegg krever energi til vanninntak, sirkulasjon, oksygenering og overvåking. Stabil og tilstrekkelig energiforsyning er derfor avgjørende for både driftssikkerhet og fiskevelferd. Kampen om elektrisiteten hardner til. I tillegg til å sikre tilgang vil en maksimal utnyttelse av tildelt elektrisitet være viktig for å sikre en grønn utvikling. Forventningene om lavere energibruk

og lavere CO₂-utslipp gjelder også nye produksjonskonsepter.

I den initielle fasen en fortsatt er inne i, vil en benytte seg av infrastruktur, løsninger og tjenester som baseres på dagens teknologier. Vi er overbevist om at det er et behov f.eks. for nye fartøy som vil sikre at de lukkede merdene fremover blir betjent på en tilpasset måte. Nye fartøy for å håndtere fisk og utstyr på en måte som ivaretar god HMS, er også viktig for å realisere et tryggere lukket oppdrett.

Vi lykkes sammen

Trygg utvikling av lukkede oppdrettsanlegg i sjø kommer ikke av enkeltløsninger alene. Den kommer av systematisk kunnskapsbygging, der tett samspill mellom teknologi og biologi er et premiss. Næringen må være villig til å dele data og kunnskap, slik at erfaringer kan bygges kollektivt og gi et felles grunnlag for tryggere og mer forutsigbar utvikling. Det er mulig å produsere mer laks i sjø ved bruk av lukkede merder, men videre skalering forutsetter robust teknologi, forutsigbare rammevilkår, kontroll på biologi og drift. FLO er ikke en snarvei, men et **langsiktig teknologisk skifte** hvor man bygger stein på stein og grundig arbeid i alle ledd. **Tryggheten** ligger i detaljene

Referanser

Senstad, K., Lyngøy, C., Vike, S. 2026. (<https://www.landbasedaq.no/posts/molt-semilukket/hevder-flytende-lukket-posts/molt-kan-gi-stor-kostnadsfordel-mot-ras/2115406>)

Klebert, P., Dahle, S.W., Stormoen, M., Nilsen, A., Walde, C., Tsoulia, T., Svendsen, J., Su, B., Haitam, T., Kvæstad, B. 2026. Miljøkrav for god fiskevelferd og fiskehelse i lukkede merder i sjø (BIOCLOSED), rapport nr. 2026-00187 (<https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901906/>)

Larsen, J., 2026. (<https://www.intrafish.no/debatt/viktig-forskning-for-utvikling-av-lukket-oppdrett-i-sjo/2-1-1979754>)

Myrholt, T., 2024. (<https://tekmar.no/wp-content/uploads/2024/12/06-2412-Akvafuture-TekMAr.pdf>)

Nilsen, A., 2019. *Production of Atlantic salmon (Salmo salar) in closed containment systems (CCS) - salmon lice, growth rates, mortality and fish welfare*. PhD thesis.