



SINTEF

Prosjektrapport

Nye produksjonssystemer i havbruk

Utfordringer og muligheter

Forfattere:

Andreas Misund, Trine Thorvaldsen

Rapportnummer:

2022:2022:01019 - Åpen

Oppdragsgiver :

Forskningsrådet

Prosjektrapport

Nye produksjonssystemer i havbruk

Utfordringer og muligheter

EMNEORD:Havbruk, fiskeoppdrett,
innovasjon, teknologi**VERSJON**

1.0

DATO

2022-10-12

FORFATTERE

Andreas Misund, Trine Thorvaldsen

OPPDRAGSGIVER

Forskningsrådet

OPPDRAGSGIVERS**REFERANSE**

319647

PROSJEKTNUMMER

319647

ANTALL SIDER:

23

Sammendrag

Havbruksnæringen preges av stor aktivitet knyttet til innovasjon, etablering og drift av nye produksjonssystemer for lakseoppdrett. Fremtredende nye produksjonssystemer er landbaserte anlegg, flytende lukket og semi-lukkete anlegg i sjø samt anlegg designet for lokaliteter som er mer eksponert for bølger, vind og strøm. I denne rapporten presenteres muligheter og utfordringer basert på intervjuer og arbeidsmøter med aktører som kjenner de ulike systemene gjennom drift og som utstyrsleverandører. Overordnet handler mulighetene om sirkulær økonomi, fiskehelse- og velferd, produksjon, biosikkerhet, ringvirkninger, marked og miljø. Utfordringene dreier seg om vannmiljø, teknologi, infrastruktur og energiforbruk, sirkulær økonomi, fiskehelse og -velferd, miljøbetingelser, organisatoriske faktorer, økonomi og miljø. Noen av utfordringene gjelder for flere av systemene, mens andre er særlig knyttet til et av systemene. Aktørene er også opptatt av kriterier for passende lokaliteter for sine system, samt en regulering som legger gode rammer for næringen fremover.

UTARBEIDET AV

Andreas Misund

SIGNATUR

KONTROLLERT AV

Kristine Størkersen

SIGNATUR

GODKJENT AV

Hans V. Bjelland

SIGNATUR

RAPPORTNUMMER

2022:01019

ISBN978-82-14-
07914-2**GRADERING**

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1.0	2022-10-12	Ferdig rapport

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	4
2	Bakgrunn	4
	2.1 Teknologistatus og drivere for teknologiutvikling	4
3	Metode	5
4	Muligheter og utfordringer med ulike produksjonssystem	6
	4.1 Landbasert oppdrett	6
	4.2 Semi-lukkete og lukkede produksjonssystemer i sjø.....	12
	4.3 Eksponert havbruk	15
5	Lokaliteter og areal	19
6	Regulering av nye produksjonssystemer	21
7	Oppsummering	23

1 Innledning

Den norske havbruksnæringen er i utvikling, og preges i 2022 av stor aktivitet knyttet til innovasjon, etablering og drift av nye produksjonssystemer for lakseoppdrett. Viktige nye produksjonssystemer er landbaserte anlegg, "flytende lukket" og semilukkete anlegg i sjø og anlegg designet for lokaliteter som er mer eksponert for bølger, vind og strøm (som inkluderer både kystnære lokaliteter og havbruk til havs).

Regulering og lokalisering av nye produksjonssystem krever kunnskap om disse systemene. Forskningsprosjektet **Compareit** skal bidra med

kunnskap om utfordringer og muligheter relatert til nye produksjonssystem i havbruk, med mål om en bærekraftig utvikling og regulering av næringen.

Å beskrive erfaringer og oppfatninger hos industriaktører som utvikler og drifter ulike systemer står sentralt i prosjektet, og er hovedtema i denne rapporten. Basert på intervjuer og arbeidsmøter beskrives utfordringer og muligheter innenfor hvert av produksjonssystemene, hvilke lokaliteter som anses å være best egnet for ulike systemer, samt utfordringer knyttet til areal og sameksistens og regulering av systemene.



Regulering og lokalisering av nye produksjonssystem basert på



kunnskap om utfordringer, muligheter og synergier



vil bidra til bærekraftig utvikling og redusere konflikter



-> erfaringer og oppfatninger hos industriaktører

Compareit Opportunities and challenges with innovations in aquaculture production systems: Compareit er et kompetanse- og samarbeidsprosjekt finansiert av Forskningsrådet (prosjektnummer 319647 2021-2024). Prosjektet ledes av SINTEF Ocean, og gjennomføres i samarbeid med Sjømat Norge, Norsk Industri, SalMar, Nordlaks, Aquaculture Innovation, Salmon Evolution, House of Knowledge og Universitetet i Tromsø.

2 Bakgrunn

2.1 Teknologistatus og drivere for teknologiutvikling

Den konvensjonelle teknologien for produksjon av oppdrettslaks i Norge består av åpne, fleksible merdkonstruksjoner. Sentrale drivere for teknologiutvikling i norsk lakseoppdrett har vært og er lakselus, rømming av fisk og tilgang til areal. Å hindre rømming var hovedmålet for etablering av teknisk standard NS9415, og trafikklyssystemet som regulerer vekst i produksjon baserer seg på lusetall i ulike produksjonsområder som indikator for bærekraft.

Særtillatelser har adressert rømming, lus og dødelighet, blant annet ved å ta i bruk nye arealer til sjøs (Hersoug, 2022; Osmundsen et al., 2022). Ordningen med utviklingstillatelser, som skulle stimulere til teknologisk innovasjon, ble opprettet i 2015, og innen fristen i 2017 hadde 104 søkere meldt seg. Ordningen

omfattet sjøbasert havbruk, og mange av søkerne utviklet konsepter for semi-lukket og lukket produksjon i sjø og eksponerte lokaliteter som ikke brukes til havbruk i dag (Føre et al., 2022). Noen av de omsøkte konseptene har kommet i drift, mens andre fortsatt er under utvikling eller etablering.

En ny ordning med miljøteknologitillatelser ble foreslått av Nærings- og fiskeridepartementet i 2021, og var ute på høring¹ frem til januar 2022. I februar 2022 ble Etablering av et tillatelsesregime for havbruk til havs sendt på høring, med frist i mai 2022². I oktober 2021 utnevnte regjeringen et utvalg som har i oppgave å gjennomgå tillatelsessystemet, vurdere målsettingene for tillatelsesreguleringen, helheten i systemet og hvordan det kan tilpasses eksisterende og nye utfordringer i næringen.

Arealbehovet for et havbruksanlegg er tett knyttet til hva som anses som en egnet lokalitet for et gitt produksjonssystem. I kystnære farvann finnes mange aktører slik som fiskere, sjøtransport, turistnæring og energisektoren.

Presset på de kystnære områdene er også en viktig årsak til fremveksten av systemer for landbasert produksjon av matfisk. I motsetning til tillatelser for konvensjonelt oppdrett i sjø, tildeles tillatelser til produksjon av laks på land vederlagsfritt (Fiskeridirektoratet 2022)³. Øvrige drivere for landbasert fiskeoppdrett handler om kontroll på produksjon og vannkvalitet, for å unngå lakselus og virus, bakterier og giftige alger. Å redusere rømming og muligheten for å flytte produksjonen nært til markedene er også en del av bildet.

3 Metode

Målet med forskningen som presenteres i denne rapporten har vært å beskrive og sammenligne industriaktørenes erfaringer og oppfatninger av utfordringer og muligheter som kjennetegner ulike system – og synergier mellom systemene. Datamaterialet er basert på intervjuer og arbeidsmøter med 18 industriaktører (oppdrettere, organisasjoner og leverandører) i perioden høsten 2021 til våren 2022. Det ble gjort lydopptak av intervjuer og arbeidsmøter etter samtykke fra deltakerne. Sitater som er gjengitt, er transkribert fra lydopptak. Prosjektet er gjennomført i henhold til retningslinjene til SIKT, personvernombudet for forskning.

¹ <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/horing-forslag-om-etablering-av-en-ny-ordning-for-tildeling-av-tillatelser-til-miljoteknologiformal/id2875765/?expand=horingsbrev>

² <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/horing-etablering-av-et-tillatelsesregime-for-havbruk-til-havs-og-endoringer-i-yttergrensene-i-produksjonsomradeforskriften/id2899323/?expand=horingsbrev>

³ <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tildeling-og-tillatelser/Kommersielle-tillatelser/Laks-oerret-og-regnbueoerret/Tillatelse-til-akvakultur-paa-land>



**UTFORDRINGER
OG MULIGHETER**



**REGULERING
NYE KONSEPT**



**EGNEDE
LOKALITETER**



AREAL

Intervju og arbeidsmøter tok utgangspunkt i følgende spørsmål:

- Hva mener dere er hovedutfordringer og muligheter for produksjonssystemet?
- Hvilke utfordringer ser dere når det gjelder regulering og forvaltning?
- Hvilke lokaliteter anser dere som best egnet – og hvorfor?
- Har dere utfordringer knyttet til arealtilgang?
- Hvilke aktører ønsker tilgang på samme areal som dere?

Resultatene som presenteres i rapporten er basert på en systematisk gjennomgang av data fra intervju og arbeidsmøter. I tillegg er noen relevante offentlige dokumenter, medieartikler og vitenskapelige artikler gjennomgått.

Det er viktig å understreke at et større utvalg informanter kunne bidratt til at flere aspekter ved de utvalgte produksjonssystemene hadde blitt beskrevet. Materialet vurderes likefullt å gi en relevant status basert på spørsmålene som lå til grunn for arbeidet.

4 Muligheter og utfordringer med ulike produksjonssystem

For hvert produksjonssystem gis først en kort beskrivelse (bakgrunn) av hva som kjennetegner systemet basert på relevant litteratur og tidligere forskning.

Muligheten for økt produksjon av oppdrettsfisk er en hovedmotivasjon for aktørene innen alle de nye produksjonssystemene. Dette henger sammen med begrensede muligheter for vekst innenfor konvensjonelt oppdrett.

Overordnet ser vi at muligheter som trekkes frem handler om sirkulær økonomi, fiskehelse- og velferd, produksjon, biosikkerhet, ringvirkninger, marked og miljø. Utfordringene dreier seg om vannmiljø, teknologi, infrastruktur og energiforbruk, sirkulær økonomi, fiskehelse og -velferd, miljøbetingelser, organisatoriske faktorer, økonomi og miljø.

4.1 Landbasert oppdrett

I dette kapitlet beskriver vi først landbasert oppdrett og vanlige landbaserte produksjonssystemer, før vi presenterer hva som er sagt i intervjuene om fordeler og ulemper ved disse produksjonssystemene.

En ny studie viser at det er 31 landbaserte anlegg under planlegging i Norge (Hersoug, 2022). Fra 1. juni 2016 ble det innført reguleringsendringer som tilrettelegger for landbasert oppdrett ved at det gis vederlagsfrie

konsesjoner, og hvor planprosessen desentraliseres og tillegges fylkeskommunen (Bjørndal and Tusvik, 2019). Per 2022 er det kun ett anlegg, fra Fredrikstad Seafood, som har gjennomført flere produksjonssykluser av matfisk på land i Norge. Salmon Evolution har per mars 2022 satt ut fisk i sitt landanlegg⁴, og Andfjord Salmon har satt ut smolt i Q2 2022⁵. Landbasert teknologi har tradisjonelt blitt brukt i produksjonen av settefisk opptil ca. 150 gram, men nå utvikles flere landbaserte anlegg som skal produsere enten storsmolt (opptil ca. 200 gram), post-smolt (500 gram til 1 kg) eller matfisk (opptil 5-6 kg). Landbasert oppdrett baserer seg i hovedsak på tre ulike teknologier; RAS (Recirculating Aquaculture System), gjennomstrømming (Flow-Through System) eller en hybridløsning som baserer seg på gjennomstrømming med en viss grad av gjenbruk av vann. I produksjonen av settefisk så har gjennomstrømming vært den dominerende teknologien, men flere produsenter satser nå på RAS-teknologi i produksjonen av settefisk, post-smolt og matfisk.

RAS-anlegg er intensive produksjonssystemer med et redusert vannforbruk og som i prinsippet krever lite arealbeslag (Babdiola et al. 2018). Produksjonsprinsippene i RAS er at vannet gjenbrukes etter det har gjennomgått flere renseprosesser, mens en varierende prosentandel vann slippes ut i en resipient etter behandling. Samtidig må samme prosentandel pumpes inn igjen for å opprettholde vannvolumet i anlegget, pluss det vannet som fordampes. Anlegg med RAS-teknologi er komplekse teknologiske systemer ettersom de er betinget av interaksjonen mellom teknologi og biologi, som igjen krever nøyaktig og kontinuerlig overvåkning og kontroll av miljøparametere og vannkvalitet.

I alle produksjonssystemer er mikrobielle organismer viktige for god vannkvalitet, fiskevelferd- og helse (Netzer et al., 2021). Vannbehandlingen fjerner partikler, nitrogenholdige metabolitter og karbondioksid, samtidig som det tilsettes oksygen. Partikler fjernes med mekaniske filtre eller "slamkummer", karbondioksid fjernes ved CO₂-ventilering og det benyttes ofte ozonering for å desinfisere vannet, eller UV. RAS har også et såkalt biofilter som er et "levende" filter bestående av nitrifiserende bakteriekulturer (Rurangwa and Verdegem, 2015). Biofilteret består typisk av en divers bakterieflora, hvor nitrifiserende bakterier omsetter giftig ammonium til mindre problematisk nitrat. RAS-anlegg er mer komplekse systemer enn FTS og den hybride varianten, og har høyere krav til drift og vedlikehold av det tekniske utstyret. I tillegg til at bakteriene i biofilteret må "vedlikeholdes" (Villar-Navarro et al., 2021). I lukkede produksjonssystemer med et høyt resirkuleringsnivå av vann kan ikke-patogene, men likevel problematiske mikrober ha en negativ påvirkning på fiskevelferden – her ved omdannelsen av sulfat (SO₄²⁻) til giftig hydrogensulfid (H₂S) under anaerobe forhold (Netzer et al., 2021).

Gjennomstrømming (Flow-Through System -FTS) er avhengige av enn viss type lokalisering siden de ofte baserer seg både på inntak av sjøvann og ellevann (i smoltproduksjonen). RAS-anlegg derimot er mer fleksibel rundt lokalitetsspørsmålet siden de bare tar inn litt vann, som de deretter kan bearbeide salinitet og temperatur på ettersom mesteparten av vannet resirkuleres. Kvaliteten på inntaksvannet er en avgjørende faktor for både gjennomstrømming og RAS.

Når det gjelder produksjonsplanlegging og -strategier så muliggjør den landbaserte teknologien også at man har større kontroll over produksjonsparametere som vanntemperatur (i RAS og hybridsystemer) og lysstyring som benyttes for å styre og kontrollere vekstfaktorene, som igjen tilsier at man kan ha kortere produksjonstid på land enn i konvensjonelle merder i sjø (Bjørndal and Tusvik, 2019). Ifølge Nofima kan slam bli benyttet som gjødsel for landbruket, til "aquaponics" som er dyrking av planter med næringsrikt

⁴ <https://salmonevolution.no/first-smolt-release-at-indre-haroy/>

⁵ <https://www.andfjord.no/nyheter/andfjord-salmon-i-rute-for-smoltutsett-i-q2-2022-resultat-q4-og-forelopig-arsresultat-2021>

avløpsvann, og biogassproduksjon, men det er et behov for en optimalisering av oppsamling og avvanning av slam (Aas and Åsgård, 2017).

Selv om de landbaserte teknologiene har blitt benyttet i produksjonen av settefisk i flere tiår, så peker forskning på flere utfordringer og muligheter som bør kartlegges og utredes ved en ekspansjon og oppskalering av landbaserte anlegg. I hovedsak dreier dette seg om arealbruk, teknologiutvikling, biologi, investeringsnivå, forvaltning og samfunnets aksept tilknyttet landbasert oppdrett.

De neste kapitlene vil presentere resultatene fra intervjustudien.

Muligheter for landbasert oppdrett

En av de viktigste mulighetene for landbaserte systemer vurderes å være økt vekst i havbruksnæringen. Som en av informantene kunne fortelle:

"Så, det er ganske mange utfordringer i den tradisjonelle sjøbaserte næringen, og det er det som har skapt mulighetsrommet som landbasert oppdrett har fått. I 2016 åpnet myndighetene opp for at det skulle gis ut vederlagsfrie konsesjoner til landbasert oppdrett. Da var det de i Fredrikstad som startet først. Landbasert har jo åpnet muligheten for å utvide produksjonen i Norge til tross for begrensningene som er på sjøen og det er også med på å drive den prosessen for å effektivisere sjøbasert oppdrett."

Utfordringene med lakselus har bidratt til at produksjonsveksten i den norske havbruksnæringen har stagnert. Et poeng som ofte blir trukket frem i samtalene med landbaserte aktører er at det er et system som skal supplere og komplementere, heller enn å overta posisjonen til konvensjonelt oppdrett.

For landbaserte system fremheves også følgende muligheter knyttet til de overordnede kategoriene:

Sirkulær økonomi

De vi har intervjuet forteller at mange av anleggene som designes og prosjekteres har ulike metoder for oppsamling og utnyttelse av det organiske materialet. Slam fra akvakultur er organisk materiale (fiskeavføring og fôrrester) har en rekke bruksområder ettersom de inneholder både energi og næringsstoffer. Bruksområdene inkluderer gjødsel, biogass og vann/næring til matdyrking i vann (aquaponics). Utfordringene med dette er selve prosesseringen og "avvanning" av slammet som kan være krevende, blant annet på grunn av salt fra sjøvannet. I tillegg er aquaponics lite utbredt på det nåværende tidspunkt. Det påpekes av en informant at *"vi er veldig bevisst på at det slammet vi allerede har kan brukes på en bærekraftig og sirkulær måte, men det er en ny næring det også som skal bygges opp."*

Biosikkerhet

Mindre patogen, smitte og alger: En av fordelene med landbasert oppdrett som våre informanter fremhever er økt kontroll over miljøparameterne og vannbehandlingen, som kan bidra øke biosikkerhet. En informant kunne fortelle

"Jeg har alt for lang erfaring fra oppdrettsnæringen til å tro at vi ikke kommer til å få problemer av landbasert oppdrett, men jeg tror også at vi har en større mulighet for å skape et optimalt miljø for fisken i landbasert enn det man har i sjøen. Vi bli skuffet om patogen-problemet blir et like stort problem som omfanget i sjøbasert".

Optimalisering av vannmiljøet fremheves av informanten som en faktor som kan bidra til å øke biosikkerheten. I landbasert oppdrett er overvåkning av vannkvalitet og kontroll over vannparameterne essensielt for å hindre smitteutbrudd, og spesielt for å sikre optimale vekst- og leveforhold for fisken. Kontroll over oksygen er et av parameterne som kan påvirke vekst, fiskevelferd og fiskehelse. Ved å separere fisken fra det ytre miljøet så vil man kunne i større grad kunne forhindre videre smitte til andre enheter og anlegg i nærområdet.

Produksjon

Bedre biosikkerhet i den forstand at det blir mindre smitte mellom anlegg eller mellom enheter internt i et anlegg kan også ha en effekt på produksjonsplanleggingen.

"(..)hvis vi skal gå videre med muligheter for produksjonssystemet, kan du jo si ved å ha små atskilte smitteenheter kan du også ha flere generasjoner med fisk i dette anlegget. Dette er en fordel for landbasert i forhold til åpen sjø hvor du har 5 km-grensa. Her kan du kanskje ha seks utsett som du hele tiden sirkulerer med og har kontinuerlig uttak av slakt og fisk, samtidig som du har kontinuerlig innsett av smolt, eller hvis du produserer smolten selv er jo også det mulig. Så er det ingen generasjonsskille her da, du kan ha en mye bedre produksjonsplan da, enn hva du kan ha i dag på åpne merder i sjø."

Ved å etablere flere adskilte produksjonseenheter i det landbaserte anlegget så dannes det 1) smittebarrierer mellom fiskegrupper, og 2) det gir muligheten til å produsere kontinuerlig uten noe opphold (brakkleggingsperiode) mellom generasjonene. I konvensjonelt oppdrett så brakklegges lokalitetene i minimum 2 måneder mellom hver produksjonssyklus.

Når det gjelder kontinuerlig produksjon fremheves muligheten for nedvask og desinfisering før man kan starte opp en ny generasjon igjen. I tilretteleggingen av en kontinuerlig produksjonsstrategi kan man også avsette kar til post-smoltproduksjon og produksjonsoptimalisering kan være med å øke fisketettheten. En oppdretter forteller at "*Landbasert kan i teorien ha 70-80 kg/m³*". Oksygen tilsettes vannet som benyttes i de landbaserte, og den økte kontrollen over vannparameterne og utslippene fra anlegget gjør det teoretisk mulig å øke biomassen per kubikk.

Utfordringer for landbasert oppdrett

I dette kapitlet beskrives det som ble sagt i intervjuene om utfordringer ved landbasert oppdrett.

Vannmiljø

Alle de landbaserte teknologiene (RAS, gjennomstrømming og hybrid) pumper inn nytt vann til anlegget, men i ulik grad. RAS-anlegg kan resirkulere mellom 90-99% av vannet som brukes, som tilsier at 1-10% vann må pumpes inn, mens hybride systemer resirkulerer ca. 65% av vannet. Filtrering og desinfisering av vannet kan ha innvirkning på fiskevelferden: "*Det er vintersår og utfordringer når man har fisken i vann og desinfiserer vannet og fjerner alle de dårlige bakteriene, men også de gode bakteriene. Så, du fjerner en hel flora, altså en normal flora.*". Et vannmiljø uten den naturlige bakteriefloreaen kan ifølge en informant ha negativ innvirkning på fiskevelferden. I tillegg nevnes det vintersår som kan oppstå ved lave vanntemperaturer – som oftest på temperaturer under 7 grader.

Bakterier har en sentral funksjon i vannkvaliteten. Bakteriene har viktige økosystemfunksjoner, særlig i lukka/landbasert produksjonssystemer, som nitrifisering, denitrifisering, og nedbrytningen av organiske materialer, men de kan også ha en direkte effekt på fiskevelferden. Tilstrekkelig vannstrøm i tankene og rørsystemene for å unngå dødszoner i systemet er et kritisk moment i den landbaserte produksjonen av laks.

"Dødsoner og et eller annet form for slam eller fôr-rester som blir liggende og ikke får tilførsel av oksygen, noe som fører til at du får en nedbrytning og så får du dannelse av H₂S når disse systemene frigjøres. Du får ofte, det er ofte en klump hvor den innerste delen forråtnes og H₂S dannes i den delen. Når du da endrer vannstrømmen, skjer frigjørelsen og man slipper H₂S inn".

Dannelse av hydrogensulfid (H₂S) er kritisk siden det kan forårsake akutt dødelighet i anleggene. H₂S er en giftig gass som kan dannes på grunn av forråtnelsesprosess som oppstår på grunn av dødsoner. H₂S i anlegget kan være fatalt for fisken og dens velferd, i tillegg til de økonomiske konsekvenser for selskapene.

"Også er det da overgangen mellom rør, ventiler, filtrere, alle disse punktene gjennom anlegget – alle overgangene der vil ofte være sted hvor det kan føre til vanskelige bilder å simulere på starten. Og som du kanskje klarer på starten å kartlegge, men etter hvert som du får en begroing i rørene, endring i friksjon i systemet, og farten endrer seg, så kanskje du noen gang kan treffe den perfekte farten som fører til at du også får en dødsone i systemet da."

Strømmingsbildet er ifølge informantene en av årsakene til dannelsen av H₂S, altså farten på vannet som går gjennom i systemet. På grunn av endringer i farten på vannet så kan det oppstå dødsoner som kan bidra til H₂S. Med dødsoner så menes det her vannsoner uten eller med lite oksygen.

Teknologi

Som beskrevet, er FTS, RAS og hybrid de ulike produksjonsteknologiene som benyttes i den landbaserte produksjonen av matfisk. Forskjellene mellom de ulike produksjonsteknologiene eksemplifiseres av en informant: *"Sånn teknologisk så er det veldig stor forskjell på de måtene å produsere på. RAS-anlegg er veldig komplisert og teknisk utfordrende og risikabelt. Mens, om du pumper opp mye vann så slipper du mye av den kompleksiteten som ligger i et RAS-anlegg."*

RAS-anlegg er mer teknologisk komplekse enn gjennomstrømningsanlegg ettersom mellom 90-99% av vannet resirkuleres med et biofilter. Det krever dermed mer innsats for å skape et optimalt vannmiljø. Som tidligere nevnt så er rensning av vannet kritisk med tanke på å forhindre dannelsen av hydrogensulfid. Gjennomstrømningsanlegg er derimot mindre komplekse siden de kontinuerlig skifter ut vannet i anlegget.

Infrastruktur og energiforbruk

Energiforbruk ble trukket frem som en av hovedutfordringene for alle typer landbasert. Store mengder vann skal innføres, transporteres og sirkuleres gjennom produksjonssystemet, noe som er energikrevende. I tillegg må rensing/filtrering av vann opprettholdes kontinuerlig gjennom produksjonen for å sikre et optimalt vannmiljø for fisken.

Plassering av anlegget over høyeste astronomisk tidevann (HAT) kan resultere i økte energikostnader siden vannet må pumpes høyere opp. Som en informant forklarer:

"(..) vi ser jo at en del konsesjoner, eller tillatelser, blir trukket tilbake på grunn av at de har plassert seg under flomålet. Hvordan dette – dette vil jo påvirke energiforbruket vårt veldig. Hvis vi må pumpe vannet opp og ha toppen av karet på 10 m+, og bunnen på 0, eller nullnivå, så vil jo det koste oss mye mer, enn hvis vi kunne ha toppen på +4 og bunnen på -6, eller noe sånt da."

Dette er forbundet med spørsmålet om hva som skal inngå i definisjonen av landbasert oppdrett og hvordan dette skal differensieres fra konvensjonelt (se kapittel 6).

"(...) Det er fylkeskommunen som vurderer en søknad på landbaserte og skal ta stilling til om det er landbasert anlegg eller sjøbasert anlegg. (...) Problemet her er at Fiskeridepartementet/ Fiskeridirektoratet har ikke gitt en helt klar definisjon på hva som kan forstås som land, og hva som forstås som sjø. Hvis de ser at det er sjøanlegg er det konsesjonsbelagt på samme måte som åpne merder på sjø."

Energiforbruk og tilhørende infrastruktur trekkes frem som en mulig begrensende faktor for landbasert oppdrett.

"Det er jo faktisk en av de tingene som kommer til å være begrensende for landbasert. Infrastruktur til å frembringe strøm altså. Uansett hva man gjør så fremkaller man industri eller setter opp en fabrikk, så må du sørge for at det er nok energi tilgjengelig. Det kommer vi ikke unna med landbasert oppdrett heller. Men, det er klart at det er mye strøm, men vi vet heller ikke om noen andre land som bedre egnet til å ha landbasert oppdrett med tanke på at vi har så mye fornybar energi i Norge."

Til tross for at energi og tilhørende infrastruktur vil kunne utgjøre en begrensende faktor så trekker informanten frem at Norge har mange fornybare energiresurser. Utfordringene med tilgang til nok energi ble også fremhevet av en utstyrsleverandør.

"Jeg tror tilgang til energi på lokalitetene er en av utfordringene. Når vi ser på en del av prosjektene som vi er inne i så er det en konsesjonsbehandlingstid, men også om dette ikke er etablerte industriparker eller industrianlegg så tar det tid før man har bygd den infrastrukturen og den elektriske supplyen som trengs. Da kommer du inn i hva som er kapasiteten i det elektriske nettet. For mange av disse lokasjonene ligger jo langs kysten, og litt ut mot havet og i grisgrendte strøk."

Utbyggingen av infrastruktur kan være en tidkrevende prosess, og ifølge utstyrsleverandøren ville etableringen av anlegg på rurale lokasjoner bidra til det.

Ifølge en landbasert aktør foregikk en egen prosess inn mot et kraftselskap for å få strøm inn til anlegget. Utbyggingen og etableringen av en større strømlinje hadde positive ringvirkninger for lokalbefolkningen. Ettersom det også ble bygd gangveier og broer, bidro etableringen av landbasert oppdrett til forbedret infrastruktur i nærområdet.

Sirkulær økonomi

Omstilling til en sirkulær økonomi er et viktig steg mot en grønn og bærekraftig utvikling av havbruksnæringen. I konteksten akvakultur så retter sirkulær økonomi seg som oftest mot nye bruksområder for slam og organisk materiale fra produksjonen. En informant har tidligere uttalt at det ligger muligheter for å benytte seg av slammet, men at dette er en industri som må bygges opp. Det ble i tillegg påpekt at: "*Utfordringer med slammet som vi har er jo at det er basert på saltvann som gjør at det blir begrensninger på hva vi kan bruke det til.*" Slammet og organiske materiale må gjennom en rense- og tørkeprosess for at det skal kunne brukes videre. Når det benyttes saltvann i produksjonen så kan det legges begrensninger på hva det kan benyttes til etter at det har blitt prosessert.

Økonomi

Etableringen av landbasert oppdrett krever betydelig kapital. De er nødvendige med betydelige investeringer i prosjekterings- og konstruksjonsfasen av anleggene. Prisen på et landbasert anlegg ligger i milliardklassen og skaper utfordringer med å innhente investorer og kapital, til tross for at konsesjonene er vederlagsfrie. Dette fremheves av en informant som sa: "*Det er jo en utfordring selv om det er noen insentiver. Det å bygge*

opp et slikt selskap er jo selvfølgelig en utfordring, fordi det ikke er bevist at det går an å gjøre det i skalaen har tenkt å gjøre det. Så, hovedutfordringen for oss har vært å skaffe midler og restkapital.". Kombinasjonen av teknologisk komplekse anlegg og store drifts- og produksjonskostnader gir en usikker økonomisk bærekraft.

4.2 Semi-lukkete og lukkede produksjonssystemer i sjø

Også i dette kapitlet beskriver vi først produksjonssystemet, før vi legger frem hva informantene har sagt om fordeler og utfordringer med det. Sjøbasert fiskeoppdrett med produksjonssystemene som kalles "semi-lukket" og "lukket" har en rekke sammenfallende trekk, men det er noen distinksjoner mellom systemene.

Semi-lukket defineres ofte som et system hvor innløpsvannet ikke renses, eller hvor kun enkelte deler av volumet er dekket med tette skott (Kristiansen et al., 2018). De kan for eksempel ha åpen bunn. Semi-lukket systemer kan sies å være mindre omfattende og teknologisk komplekse systemer kontra helt lukkede anlegg med rensing/filtrering av inntaksvann og hvor hele volumet er beskyttet mot det eksterne miljøet.

Lukkede merdsystemer har som regel et system for rensing av innløpsvann, og vannvolumet i merden er adskilt fra de ytre omgivelsene med tette skott (Kristiansen et al., 2018). Det foreligger flere biologiske forutsetninger for produksjonen av laks i lukkede systemer som betinges av kontroll på vannkvaliteten i det lukkede systemet (Rosten et al., 2011). Vannkvalitet innebærer fôring og vekst, oksygen, karbondioksid, ammoniakk, fisketetthet, vannutskiftning, nitritt og nitrat (Rosten et al., 2011). Vann må pumpes inn i den lukkede produksjonseenheten i sjø, samtidig som avløpsvannet blir ført ut av enheten for rensing og filtrering av slam og fôrrester. Teknologiprinsippene i denne produksjonsformen har likhetstrekk med gjennomstrømmingsteknologien (FTS) som benyttes i landbaserte anlegg (Aarhus et al., 2011).

Fordelene med lukkede system er at produsentene får økt kontroll over merdmiljøet. I følge Ayer & Tyedmeyers (2009) så kan lukkede systemer potensielt 1) redusere rømminger; 2) forbedre biosikkerheten – mindre smitte mellom anlegg; 3) gi økt kontroll på fôring; 4) gi økt biomassetetthet; 5) gi bedre håndtering av avfall (slam, fôrrester, etc.) (Ayer and Tyedmers, 2009).

Lukkede anlegg i sjø består av ulike design og materialer som ofte kategoriseres slik (Rosten et al., 2011):

- Lukkede anlegg som består av fleksibel not
- Lukkede anlegg i stive materialer som betong eller plast
- Lukkede anlegg basert på rørteknologi

De eksisterende konseptene av lukkede produksjonssystemer kan kategoriseres som fleksible membranstrukturer (stoff/duk), semi-fleksible strukturer (glassfiber) og rigide strukturer (stål, betong) (Su et al., 2021).

Lukkede produksjonseenheter i sjø skiller seg fra konvensjonelle åpne produksjonseenheter ved at strukturene responderer annerledes på de ytre miljøbetingelsene i havet. De lukkede strukturene har utfordringer med dimensjonering og konstruksjonsteknikk på grunn av økt belastning og påkjenninger fra strøm og bølger. Bevegelser og eksitasjon kan for eksempel forårsake "sloshing" innad i strukturen (Aarhus et al. 2011). Plasseringen av lukkede anlegg avhenger derfor av lokaliteter med lav eksponeringsgrad fra strøm og bølger.

Per september 2021 så er det rundt 20 selskaper som utvikler lukkede anlegg i sjø (Fenstad, 2021).

Muligheter semi-lukket og lukket

Miljø

En informant fremhevet hvordan lukkede systemer reduserte miljøpåvirkning på nærmiljøet kontra åpne merder. *"Vi kan flytte oss lengre inn i fjordene og ta i bruk lokaliteter som ikke blir brukt lengre, vi har ikke lus og vi tar opp slam, og ekstra sikring mot rømming da."* I intervjuene ble det beskrevet at lukkede systemer i sjø reduserer bl.a. utslipp av fôrrester og avføring fra anleggene, i tillegg til at anleggene øker sikringen mot rømming.

"... Jeg har den oppfatningen at man er mer positive til lukkede merder. At befolkningen er mer åpen mot det da, at det ikke kommer en åpen oppdrettsmerd (...). Men så er det sånn som rekefiske for eksempel - vi har jo ikke lus. Det er jo det som er hovedutfordringen ovenfor dem, at man lusebehandler og skader den ville rekebestanden."

Ettersom lukkede anlegg skaper en barriere mellom det indre og ytre miljøet hindres også påslag og spredning av lakselus. Dette har ifølge informanten positive effekter på omdømmet, i tillegg til at det kan bidra til å redusere konflikter med andre brukere av kystsonen. Det ble også nevnt i intervjuet at lukkede anlegg i sjø hadde mindre inngripen i naturen kontra landbasert.

Sirkulær økonomi

I likhet med landbasert så gir de lukkede systemene muligheten for oppsamling av slam.

"... for vi har to lokaliteter som er litt mindre tilgjengelig. Der har vi prosessanlegg ute på flåten så vi tørker slammet til et fint pulver, det blir kjørt med returfrakt fra Vestlandet og opp langs kysten i nord her, så kjører de båtene tomme tilbake. Da får vi slammet ned dit, til Stavanger for innblanding i gjødselprodukter"

Den ene metoden som dette selskapet benyttet seg av var tørking av slam på selve anlegget. Dette var på grunn av at lokalitetene lå ugunstig til med tanke på infrastruktur som vei. *"På det tredje anlegg som ligger rett ved veien, der kjører vi slammet som vått. Det kommer en bil og så kjører du slammet til biogassproduksjon."*

Hos det ene selskapet hadde slammet flere bruksområder, som var styrt av hvor anleggene var lokalisert og hvor tilgjengelige de var. Mulighetene som ligger i slam ble også fremhevet av andre informanter.

"(..) For akkurat nå kan man tenke seg at de som tenker det er uheldig med oppdrett i åpne merder fordi det forurenses havet og så videre, vil være veldig positive hvis vi nå sier at nå driver vi oppdrett i lukket system, som gjør at vi kan samle opp fiskeskiten og den kan prosesseres, som absolutt kan være en egen butikk i seg selv. Og det tror vi, at det ligger en fremtid i fiskeslam."

Utsagnet korresponderer med tidligere utsagn om at opptak og prosessering av slam kan oppfattes positivt av befolkningen, i tillegg til at det kan være økonomisk gunstig for oppdretteren.

Utfordringer semi-lukket og lukket

Fiskehelse- og velferd

I lukkede systemer kan det oppstå utfordringer med fiskevelferd grunnet sårdannelse forårsaket av kaldt vann og forringet vannkvalitet som påvirker gjellehelsen ifølge en informant. *"For hvis jeg ser på ene siden at det er utfordringer med velferd i lukket system på grunn av sår og vannkvalitet og gjellesykdommer, er det selvfølgelig tilsvarende et stort dyrevelferdsproblem i åpne merder med lus som må behandles."*

Fiskevelferdsutfordringene sammenlignes og settes opp imot de eksisterende velferdsutfordringene rundt behandling mot lakselus. Eliminering av problemene tilknytt lakselus ved bruk av lukkede systemer kan medføre andre fiskevelferdsproblemer. Utsagnet impliserer at man må ta en avveining mellom ulike fiskevelferdsutfordringer under produksjonen av laks uansett produksjonssystem. Det ble også diskutert om lukkede systemer kunne føre til økt forekomst av amøbisk gjellesykdom (AGD) på grunn av akkumulering i det lukkede systemet.

Stabile sjøtemperaturer gjennom produksjonen medfører både fordeler og ulemper. Pumping av sjøvann fra dypet kan bidra til at man unngår lakselus, men kan bidra til sårdannelse og redusere vekstraten til fisken. *"Når man har lukket merd og tar vann fra dypet, så er det et problem, stort problem, med sår. Fisken får åpne sår i huden, det ser stygt ut og er sikkert kjempevondt for fisken, og da begynte jeg å se for meg at man plutselig kan få veldig stort fokus på hvordan det står til med dyrevelferden, i de lukka systemene."*

Pumping av kaldere sjøvann fra dypet kan gi utfordringer med vintersår som oppstår ved sjøtemperaturer under 7 grader. Som nevnt, så forhindrer lukkede systemer påslag av lakselus, men det ble påpekt at med lukkede systemer så var det en økt risiko for sårdannelse og dårlig gjellehelse. Omfanget av dette kontra fiskevelferdsutfordringene tilknyttet avlusing er ukjent. Det ble også spekulert i om dette kunne bidra til et mer negativt omdømme for næringen om tilstanden til fisken ble forringet i lukkede systemer.

Infrastruktur og energiforbruk

I likhet med landbasert produksjon så må vann pumpes inn i de lukkede systemene, noe som utgjør en ny utgiftspost sammenliknet med konvensjonelt oppdrett i sjø.

"Pumping og strøm er det som drifter kostnaden her, så klart koster utstyret i seg selv litt mer på lukket og semi-lukkete systemer, men det er små kostnader i forhold. Så det er vel å finne ut av hvor er det egentlig vi ender opp i disse kostnadsbildene til slutt - for det er ikke nok tall til å kunne bygge opp hvor mye eller mer det blir."

I et arbeidsmøte ble det påpekt at energiforbruket var høyere enn i konvensjonelt oppdrett, men ikke så høy som de landbaserte produksjonssystemene. Informantene hadde ikke nok data på energiforbruket og det totale regnskapet når intervjuet ble gjennomført. Det er derfor usikkert hvilken grad energiforbruket ville kunne påvirke produksjonskostnadene.

Miljøbetingelser

Som nevnt innledningsvis så responderer lukkede anlegg annerledes på ytre miljøforhold som bølger, vind og strøm enn konvensjonelle anlegg.

"(...) Utfordringer på de tekniske løsningene for at de skal tåle vær vind og strøm, og bølgehøyde, slik at de rett og slett kan bli stående der du setter dem ut. Når du begynner å lukke et system er det helt andre krefter som virker på oppdrettsanlegget enn hvis du har åpne merder hvor vannet flyter rett gjennom."

Ikke-permeable (tette) konstruksjoner gjør at belastningene på anlegget og rammefortøyningene øker. I stedet for at vannet strømmer igjennom noten så må vannet skyves rundt konstruksjonen som øker belastningen på strukturen. Lukkede anlegg i sjø er derfor mer sårbar ovenfor miljøforhold som strøm, vind og bølger enn konvensjonelle merder. På lokaliteter hvor det er registrert Hs og Vs som er langt innenfor det som er akseptabelt for konvensjonelle merder kan det likevel være uakseptable forhold for lukkede systemer.

4.3 Eksponert havbruk

Dette kapitlet handler om eksponert havbruk og havbruk til havs (som er under etablering). Noen av utfordringene og mulighetene er felles, og noen særskilte for produksjon i disse områdene. Eksponert havbruk beskriver lokaliteter som er mer utsatt for strøm, bølger og vind. De kan ligge både nært og lenger fra kysten. Behovet for areal er en viktig driver for å ta i bruk disse lokalitetene. Produksjonssystemene som brukes på disse lokalitetene spenner fra konvensjonelle åpne merder til helt nye anleggskonsepter, som for eksempel Ocean Farm 1 (Salmar) og Havfarm (Nordlaks).

Havbruk til havs beskrives som "*akvakultur som foregår lengre til havs enn det som er vanlig i dag*"⁶. Etablering av havbruk til havs er en pågående prosess, og Fiskeridirektoratet samarbeider med Nærings- og fiskeridepartementet og andre myndigheter for å legge til rette for dette. I 2021 søkte SalMar Ocean AS om klarering av en lokalitet til sitt konsept Smart Fishfarm, som ble tildelt utviklingstillatelse i 2019. I 2022 kom Fiskeridirektoratet med anbefalinger til tre utvalgte områder som kan tas i bruk⁷, og forslag til et eget tillatelsessystem for havbruk til havs har vært ute på høring i 2022.

Forskningen har fremhevet at fordeler med eksponert havbruk kan være bedre vannkvalitet, stabile temperatur, oksygen og salinitetsforhold, i tillegg til at risikoen for overføringen av virus og patogen vurderes som lavere (Hvas et al. 2020). Samtidig er eksponerte lokaliteter mer utsatt for værforhold som sterk strøm, vind og høye bølger - som kan gi utfordringer med tanke på gjennomføring av operasjoner, arbeidsforhold og personsikkerhet, fiskevelferd og belastninger på struktur og fortøyninger (Bjelland et al. 2015).

Muligheter eksponert havbruk

Fiskevelferd- og helse/miljø

En av aktørene beskriver fordeler knyttet til fiskevelferd: "*Mulighetene er åpenbare. Å få oppdrette fisk under enda bedre forhold, under Golfstrømmen, med bedre temperatur og vannutskifting. Og så er det å finne de beste områdene til dette. Selv om havet er stort.*"

Miljøbetingelsene eksponert vurderes å være en stor fordel, så lenge man har en tilstrekkelig robust fisk og teknologi som er egnet. "*Biologien og teknologien må fungere i lag.*" Lenger fra kysten må man for eksempel lete etter områder som har forhøyede vintertemperaturer (opp til 7-8 grader) som senker produksjonstiden. Det kan ha en stor verdi, ifølge en oppdretter.

Aktører som har utviklingstillatelse, legger ned mye ressurser i å forstå lokalitetene og miljøbetingelser (måle og dokumentere strøm osv.). Denne kunnskapen vurderes også å ha betydning for regulering av

⁶ <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tema/Havbruk-til-havs>

⁷ Tre områder gjøres til gjenstand for offentlig overordnet konsekvensutredning med formål om tilrettelegging for havbruk til havs: Område 2 Norskerenna sør, Område 11 Frøyabanken Nord, Område 5 Trænabanken.

næringen og designet av konstruksjonene. Informantene vurderer også at utvidet forståelse av lokaliteten og miljøet er nyttig for sjøbasert oppdrett generelt.

Produksjon

Eksponerte anlegg eller havbruk til havs gir muligheter for å lage en produksjonsstrategi som "bryter opp produksjonen i rom og tid", som også gir flere smittemessige barrierer. Det innebærer en mellomfase (f.eks. i tradisjonelle anlegg) på kysten, før fisken flyttes lenger ut i større enheter. Målet om å redusere produksjonstid i sjøen krever at kapasiteten på land økes. "Og du korter ned tiden i sjø, som har vært den delen som gir utfordringer, særlig det med fiskevelferd og de miljøutfordringene som næringen har blitt utfordret til å adressere for å få lov til å vokse".

Biosikkerhet

Mindre patogener og smitte: Å etablere seg i nye områder, lenger unna etablerte oppdrettslokaliteter, sees som positivt for biosikkerhet. Avstanden mellom lokaliteter trekkes frem som et pluss også med tanke på å redusere forekomst av lakselus. "Vi kan lage større anlegg der vi kan samle mer på en plass og kanskje ha større avstand mellom type produksjoner, da kan man ha en bedre biosikkerhet."

En annen aktør påpeker at større enheter, mer eksponert, gir mulighet for å bruke de tradisjonelle anleggene i en mellomfase – som igjen gir mulighet til å brakklegge disse lokalitetene hyppigere enn vanlig, som vurderes som en god strategi mot lakselus.

Ringvirkninger

Aktørene trekker frem ringvirkninger i leverandørleddet som en viktig mulighet og effekt av havbaserte prosjekter. Mulighetene på sikt anses å avhenge av utviklingen fremover, men en satsning på teknologi vurderes å gi store muligheter for leverandørene, også internasjonalt.

Selskap som har mottatt utviklingstillatelser fremhever også at det har bidratt til nye arbeidsplasser lokalt, både på anleggene og i videreforedlingsleddet av verdikjeden.

Marked

Et mulig fortrinn som ble diskutert, dreide seg om markedsfordeler dersom oppdrettsfisk produsert i sjø blir foretrukket av forbrukere. Dette avhenger av preferanser hos de som kjøper fisken. Økt fokus på miljøregnskap kommer også inn i dette bildet.

Utfordringer eksponert havbruk

Fiskehelse- og velferd

Eksponert oppdrett innebærer mange av de samme utfordringene som i konvensjonelt oppdrett (sykdom, sår, gjellehelse, lakselus). Aktørene påpeker at lokalisering i landet har betydning, i tillegg til teknologien som brukes.

Størrelsen og kvaliteten på fisken når den settes ut i eksponerte områder er viktig for å sikre god fiskehelse – og velferd.

Miljøbetingelser

På eksponerte lokaliteter er værvinduet for å kunne gjennomføre operasjoner og føre tilsyn med fisken avgjørende for driften. Det er særlig bølger som kan by utfordringer: "Så, det er bølger som hindrer det å gjøre de nødvendige operasjonene som er utfordringen. At du klarer å gjennomføre det du må gjøre for å

ivareta både fiskevelferd, biosikkerhet og ikke minst sikkerhet til folk i slike operasjoner." Dette kobles til viktigheten av å være nøye med operasjonskriterier i planlegging og gjennomføring: "Det er en helt annen måte å jobbe på. Noe helt annet."

Strømforhold har betydning for fiskevelferden, dersom strømmen blir for sterk. Det kan være en utfordring, men strøm kan håndteres gjennom for eksempel å dempe den hvis bølgene ikke er for høye.

"Der vi er bekymret for strømbildet, de lokalitetene som vi jobber med der vi ser for oss at vi må gjøre tiltak for at strømmen blir for sterk i forhold til fiskevelferden. Der kan vi ha målte strømmer på opptil en meter i sekundet, men der det er godt eksponert ser vi at det ligger på maks strømmer på 35 – 45, som er strømmer vi har god dokumentasjon på at fisken håndterer godt forutsatt at den er i god form."

Aktørene trekker også frem at "*strømstille er kanskje en større utfordring enn sterk strøm*". Det er viktig at det er nok volum for fisken i anleggene.

Infrastruktur og energiforbruk

Når det gjelder energi på eksponerte anlegg kan det løses med landstrøm, men lenger ut kan man trenge aggregat om bord, noe som er mer kostnadskrevenende. Energiforbruket, og debattene rundt det krever løsninger som unngår fossilt brennstoff. Her kan det være relevant å diskutere bruk av infrastrukturen som finnes for offshore. Men dette kan kreve nye teknologier og nye metoder. Forutsigbarhet anses også som en viktig nøkkel her, for å kunne planlegge godt.

Teknologi

Dimensjonen på større anlegg kan være en utfordring, med tanke på det praktiske (selv om det kan løses med god planlegging). Når det gjelder vedlikehold, så kan det kreve løsninger som for eksempel digital tvilling med sensorer for overvåkning av tilstanden til anlegget. På den måten kan man følge med på ulike bygningsdeler slik at man vet når vedlikehold skal gjøres. "*Det krever en proaktiv tilnærming til levetid og sikkerhet.*"

Statiske konstruksjoner krever at man tar høyde for operasjonene som skal gjøres. En av aktørene forteller at de har opplevd at de må gjennomføre operasjoner som ikke var planlagt i designfasen, som bød på utfordringer. Løsningen ligger i å legge premisser i designfasen: "*man må planlegge for det utenkelige.*"

Aktørene understreker at forutsigbarhet gir gode rammer for innovasjon og teknologiutvikling, selv om man også må tåle en viss usikkerhet når man driver med teknologiutvikling. Standardisering versus innovasjon ble også diskutert. "*Fordelen med plastringer er at det er rimelig standardisert.*" Samtidig ligger mulighetene nettopp i den pågående teknologiutviklinga. Ordningen med utviklingstillatelser har ført til mange ulike konsepter. Universal utforming av for eksempel avlusningsutstyr sees som hensiktsmessig, da det kan passe til ulike anleggskonsept.

Fartøyene som opprettholder beredskap er viktige for eksponerte anlegg. De må kunne operere i høye sjøtilstander, for å bidra til økt værwindu for operasjoner. Det er avgjørende at fartøy og konstruksjon fungerer sammen.

Organisatoriske faktorer

Typen kompetanse og opplæring som trengs for å drifte en gitt type anlegg nevnes som en utfordring, i sammenheng med reguleringer og sertifikatkrav. Å få tak i folk som har kompetanse innen automasjon og

elektro kan være krevende. Aktørene understreker sammenhengen mellom biologikompetanse og erfaring, og mener at det er verdifullt at ingeniørstudier inkluderer biologifag.

Ny teknologi fordrer også prosedyrer for drift og vedlikehold. Om ikke en utfordring direkte, nevnes dette som en viktig forutsetning for sikker drift.

"Også er det jo å utforme prosedyrer og det praktiske håndverket for oppdrett som er vanskelig hvis man ikke kjenner til hvordan oppdrett foregår i praksis - de daglige operasjonene som vi må gjennomføre og, så det er litt vanskelig å forstå hva vi snakker om kanskje. Men det å få det praktiske til å fungere og utvikle en prosedyre - som må gjennomføres."

Sikkerhet og beredskap sees som en nøkkel til å lykkes med havbruk til havs. Hendelser som oppstår, må kunne håndteres. Ansvarsfordeling i organisasjonene trekkes frem i den forbindelse: "*Hvem bestemmer i en akutsituasjon?*" Dette er viktige spørsmål som må avklares når beredskap etableres.

Økonomi

Kostnader forbundet med utvikling av ny teknologi kan være utfordrende (særlig for havbruk til havs og nye konsept), og man "*må lære seg å drifte på en kostnadsmessig effektiv måte*".

Miljø

Når det gjelder oppsamling av slam så ser en av aktørene at man er inne i ei brytningstid med stort fokus på dette, som igjen kan medføre strengere krav enn før.

Når det gjelder fôr, er dette en utfordring man jobber med: "*Den største utfordringen fra mitt ståsted på fôr er jo at fôret i dag er jo den faktoren i vår produksjon som har størst klimagasseffekt. Det handler ikke om selve fôret, men det handler om transporten av fôr og fôrmidler.*"

5 Lokalteter og areal

En viktig driver for nye produksjonssystem er utnyttelse av nye areal. Det er derfor relevant å utforske *hva som anses som egnede lokaliteter* for de ulike produksjonssystemene.

For **landbasert produksjon** peker industriaktørene på nærhet til sjø, inntak og utslipp av vann. En av aktørene på landbasert sier at det finnes både gode og dårlige lokaliteter for landbasert og utdyper: "*Vi tror laks bør produseres der du har de klimatiske forholdene og tilgang på vann som gjør det enklere å produsere laks*". Dette kobles videre til valgt teknologi; ønsker man å produsere i andre land kan man velge annen teknologi, men det vil samtidig øke kompleksiteten og potensialet for å produsere større volum. Gode miljøforhold på landbaserte lokaliteter som temperatur og strømningsbilde trekkes frem.

"(..) hva skal man se etter med vannet. Det handler det om strømningsbildet som er på lokaliteten, temperaturen du har gjennom alle årstidene. Vi har noen naturgitte fordeler, i forhold til at vi har noen dype fjorder og vi har Golfstrømmen som går som gir oss tilgang til grei temperatur på vann også om vinteren. Og ikke for varmt om sommeren når du kan gå litt ned i dybden. Så temperatur og strømningsbilde er to viktige parametere."

I likhet med konvensjonelle oppdrettsanlegg så er miljøforhold på en landbasert lokalitet viktige parametere. Rundt lokalitetsspørsmålet så tok en informant også frem viktigheten med geografisk nærhet til hele verdikjeden. "*Industrielt så handler det om å tenke hele verdikjeden – fra fôr til rogn, yngel, smolt, matfisken og så over i prosesseringen. Det er en del lokaliteter som kan få til mange elementer av den verdikjeden på lokalitetene. Tett i nærheten av seg da. Det er viktig å tenke hvor disse store industrianleggene blir.*"

Selv om man anerkjenner at det kan dukke opp problemer mener en av aktørene at man har en større mulighet til å skape et optimalt miljø for fisken i landbaserte anlegg enn man har i sjøanlegg.

Landbaserte anlegg kan ta i bruk areal som allerede er brukt til industri, og en av aktørene opplevde at dette var positivt med tanke på kontroverser om naturinngrep. Forskjellen mellom sjøbaserte og landbaserte anlegg med tanke på sporene som ligger igjen etter drifta ble påpekt:

"Den dagen du bestemmer deg for å avvikle driften din, så bare trekker du deg på land, du fjerner forøyninger og alt som var der og etter kort tid er det ikke spor av hva som var der. (...) Har du derimot sprenget ut 100 tusen kubikk masse for å bygge på land og du går konkurs, ja da ligger det der som et sår, og den naturen der er tapt for alltid."

En annen informant nevnte at det visuelle aspektet kunne være en utfordring ved etableringen av et landbasert anlegg. "*Det er en industribedrift som etableres og det vil ha det industrivisuelle bildet*". Diskusjonen rundt plasseringer av vindmøller, og hensyn til innseilinger av turistskip og lokale naboer ble tatt frem som eksempel på både lignende debatter og mulige konflikter med andre aktører.

Muligheten for synergier mellom landbaserte anlegg og andre industrier langs kysten ble også nevnt "*Vi har også lokaliteter langs kysten hvor det kan bli produksjon av hydrogen og hvor oksygen er et avfallsstoff som anleggene trenger*". Biprodukter (eller avfallsstoffer) fra hydrogenanlegg, i form av varme og oksygen, er ressurser som landbaserte anlegg har behov for.

For **semi-lukket og lukket produksjon** i sjø påpekes det at den største muligheten er å kunne ta i bruk lokaliteter som ikke er så egnet for tradisjonelt oppdrett, pga. strømforhold, dybde osv.

"Jeg tror at fremtiden for semi-lukket og lukket ligger på veldig skjema lokaliteter, som ofte er lokaliteter som igjen har dårlig bæreevne når det gjelder tradisjonelle åpne merder. (...) Føler det er veldig press på at man skal utvikle en teknologi som gjør det mulig å bruke fjorder og områder hvor man ikke ønsker åpne merder."

Miljøbetingelser som strømforhold har innvirkning på plasseringen av anlegg. Konvensjonelle merdanlegg må ha en grad av gjennomstrømming som sikrer utskiftning av vann og tilførselen av oksygenrikt vann. Samtidig er gjennomstrømming viktig for å kunne fjerne organisk materiale og forhindre at avfallsstoffer akkumuleres på havbunnen under anlegget. Bunnforhold undersøkes før utsett og når biomassen er på sitt høyeste (MOM-B og MOM-C), og brukes for å kartlegge miljøpåvirkningen fra havbruk.

For **eksponert oppdrett/havbruk** til havs er det avgjørende at lokaliteten tilfredsstiller fiskens basale behov: tilgang på oksygen krever god vannutskiftning (jo bedre jo flere fisk som bor sammen i samme enhet). Det er ønskelig med arealer som håndterer patogener og ivaretar biosikkerhet, så man ikke får smittebroer. Det må være riktig temperatur i vannet, og man må unngå areal med altfor store dybder og irregulære bølger. Man trenger kunnskap om lokaliteten. Informantene påpeker at man bør tenke områder og ikke bare enkeltlokaliteter.

Videre må driften kunne gjennomføres. Når det gjelder grad av eksponering for bølger og strøm påpeker en: *Vi har lokaliteter som på vanlig kommersiell drift "har 50-års retur på Hs på 5,3 meter som blir driftet godt. Og så har vi lokaliteter som kanskje definerer Hs på 50-års retur på 3,6, som er veldig utfordrende fordi det handler om åpningsminutter og hvor stor grad det er eksponert i åpningsvinkelen."*

En av aktørene peker på forskjellen mellom teori og praksis:

"Så har vi jo prøvd i mange sammenhenger å enten kvantifisere og se på hvilke lokaliteter som presterer best over tid, og ser på hvilke fysiske forhold de har. Men, her er det så mye ting som forstyrrer at plutselig er det den lokaliteten som ut ifra læreboken har dårligs forhold som kommer til å prestere best, fordi ett eller annet parameter er så sterkt at det slår i hjel rekkefølgen."

Når det gjelder *arealutfordringer og sameksistens* påpeker en informant at kampen om arealene og behovene til andre aktører (petroleum, fiskeri, havvind, mineraler, forsvaret, maritim transport og skipstrafikk) krever en helhetsvurdering av areal og dialog mellom aktørene og myndighetene. Arealene må kartlegges, for å se hva som er best egnet til hva. I dag lager man sektorspesifikke planer, fremfor å tenke helhet.

Konfliktnivået kan variere utfra hvor i landet man ønsker å etablere seg. Her kan det også finnes synergier, som beskrevet i følgende sitat fra to forskjellige aktører. Den første: *"Hvis det blir kystnært havvind så kan kanskje havbruk og havvind ses på i nærheten av hverandre og med sameksistens. Blått hydrogen, har jo da også mulighet for energibærer i tillegg."* Den andre: *"Vi mener at sameksistens mellom sektorer er fullt mulig på mange områder. Det er store områder og masse plass. Vi har gode muligheter til å finne gode løsninger uten at noen blir fri for områder å drive på. Vi trenger et midlertidig regelverk som gjør at vi kan komme i gang."*

Behovet for "nok areal" trekkes frem. Sett i et verdikjedeperspektiv påpekes også behovet for areal til produksjon av postsmolt, som potensielt kan konkurrere med smoltproduksjon til ordinært havbruk. Økt produksjon i havbaserte anlegg krever også mer postsmolt, og dertil regulatoriske rammeverk. En av aktørene sa at: "Hvis vi skal bygge den kapasiteten på land, så har vi ei utfordring. Den enkleste måten å løse det på er å sette fart i utvikling av settefiskanlegg i sjø."

6 Regulering av nye produksjonssystemer

I dette kapitlet beskrives erfaringer og oppfatninger knyttet til regulering av nye produksjonssystemer. Resultatene viser at utfordringer knyttet til de nye produksjonssystemene må sees i lys av reguleringa av havbruksnæringen i sin helhet. Dagens regulering har hatt som mål å redusere ulike risiko relatert til konvensjonelle oppdrettsanlegg på kystnære lokaliteter, og vil naturlig måtte endres i takt med utvikling av nye produksjonssystem og bruk av nye arealer som gir andre forutsetninger for både teknologi og drift.

Aktørene i alle systemene påpeker at reguleringen "naturlig nok" henger etter teknologiutviklingen.

For landbaserte anlegg pekes det på tidkrevende prosesser knyttet til reguleringsplan for området det skal bygges. Sentralt her er hvorvidt områder defineres som industriområde eller ikke. En oppdretter delte følgende erfaring:

"Vi har jobbet med reguleringsplan for det området hvor vi ønsker å bygge det landbaserte oppdrettsanlegget. Den reguleringsplanen, den jobbet vi med i to år, og da den var ute på høring kom statsforvalteren med en innsigelse, en direkte innsigelse hvor de sa at: Nei, vi kan ikke akseptere at dette er et industriområde, for her finnes rødlistede sopparter og planter, gytepar, kystlynghei og kalksteinsforekomster"

Koordineringen som gjøres av fylkeskommunen brukes som et eksempel som beskriver en fragmentert forvaltning med mange instanser. Det er mange aktører som skal gi sine innspill og vurderinger, før fylkeskommunen kan fatte sitt vedtak.

Selv om det er "fritt frem" å etablere landbaserte anlegg, mener en landbasert aktør at vekst i landbasert oppdrett ikke er ønsket alle myndighetene. En oppdretter sier: "Dette handler om politikk. Og det handler om hva vi som samfunn ønsker oss. Om vi ønsker at mer av oppdrett skal være på land, så må det ha et regelverk som støtter det." Dette kobles også til omdømme, i den forstand at politikere påvirkes av opinionen og sine velgere: "Skal vi produsere mer laks eller ikke?"

Når det gjelder regelverket ble det gitt eksempel på definisjonsspørsmål som vil ha stor betydning for de landbaserte aktørene. Spørsmålene handlet om flomål (høyeste astronomiske tidevann), som igjen er knyttet til definisjonsspørsmålet land versus sjø. Det finnes ikke en klar definisjon på hva som skal forstås som land, og hva som forstås som sjø, og hvis et anlegg defineres som sjøanlegg faller det inn under reguleringer som gjelder for sjø.

Energibruk knyttes også til forvaltningskompleksitet ettersom det må bygges ut ny infrastruktur, i tillegg til at det er flere sektorer som skal elektrifiseres. Forvaltningskompleksiteten ligger i at det ikke bygges ut raskt nok fordi det skal igjennom så mange ledd, i tillegg til at det er nye myndighetsinstanser næringen må forholde seg til. En informant påpekte at "det ligger en struktur der i dag, men skal du ha mer strømforbruk så ligger ikke strukturen der". Energi-infrastrukturen som eksisterer i dag er ikke tilstrekkelig for landbaserte anlegg, spesielt ikke når flere industrisektorer skal elektrifiseres. I et av arbeidsmøtene kom det også frem

at det er kostnader tilknyttet utbyggingen av infrastruktur. *"Vi manglet kapasitet på en linje så vi må betale ganske mye for å bygge en strømlinje"*. Utbygging av infrastruktur som strømlinjer inngår derfor i investeringskostnadene.

For eksponerte anlegg (innenfor kommunenes ansvar) trekkes også reguleringsplaner og kommunenes rolle frem. Sjø sikkerhet og naturmangfold er tema for utredninger som har vært utfordrende og har tatt tid. Opplevelsen hos en oppdretter er at diskusjonene er mer omfattende enn i ordinære arealplaner, på grunn av faktagrunnlaget som skaffes for området som er ønsket å benytte til havbruksformål.

For myndighetene dreier også etableringen av havbruk på eksponerte lokaliteter seg om å håndtere problemstillinger som ikke er håndtert før. *"Og det er jo nettopp fordi disse prosessene tar veldig lang tid og er veldig uforutsigbare at vi gjør egne initiativ da, når det gjelder lokalitetsavklaringer og kommunale planavklaringer."*

En aktør mener at forvaltningen graver seg ned i detaljer, hvordan en generasjon fisk har klart seg sammenlignet med en annen, fremfor å se det hele bildet over tid. Dette oppleves som frustrerende. Samtidig ser man at mye fungerer: *"Vi har i utgangspunktet et forvaltningssystem som tross alt over tid har vist seg å fungere, også vil det være humpete og sånne ting, så her tenker jeg at vi må ta tak og jobbe, sånn at vi jobber sammen mot felles mål og bruker ressurser på det."*

I likhet med aktørene innen landbasert, er aktørene innen eksponert opptatt av den politiske forankringen: *"Men, det kommer jo alt an på politikken. Altså hva bestemmer man seg for å gjøre, hvilke ordninger og rammeverk skal ligge til grunn for at man skal kunne ta i bruk disse mulighetene."*

For **havbruk til havs**, som faller utenfor plan- og bygningsloven og dermed kommunenes ansvarsområde, venter næringa på avklaringer og regelverk. De peker på overordnet koordinering, sikker tilgang på areal og det å få på plass et tillatelsessystem for å ikke forsinke prosjektene som er igangsatt som følge av ordningen med utviklingstillatelser.

Aktørene mener at regelverket må legge til rette for å bygge ut havbruk til havs med flere aktører. *"Det krever en infrastruktur som er krevende, og som kanskje må kobles opp mot offshore"*. Forvaltninga må være fremoverlent, og det må politisk vilje til for å sikre fremdrift – som omsetter ord til handling. At det har kommet en ny minister med bredere ansvarsområde (fiskeri- og havminister Bjørnar Skjæran) sees som positivt.

Det påpekes at et helhetlig regelverk som er tilpasset havbruk til havs også må inkludere settefisk/postsmolt i sjø.

Selv om det i større grad er tilfellet nå enn tidligere, blir det påpekt at Mattilsynet må være tettere på utviklingsprosessene, og være med fra starten, for å holde søkelys på fiskevelferden. Ettersom Mattilsynet ikke deltok i arbeidet med utviklingstillatelsene før konseptene kommer i drift, har de ikke det samme eierskapet til de teknologiske systemene – noe som igjen kan gi utfordringer knyttet til felles forståelse, ifølge en aktør.

Når det gjelder arbeidsmiljø, fremheves det at det for noen konsepter kan være naturlig å bruke maritimt personell, fordi driften krever maritim kompetanse. Noen mener at man bør bruke det regelverket som passer best, og at Sjøfartsdirektoratets regelverk er mer tilpasset arbeidsforholdene lenger til havs. Aktørene fremhever at det tekniske og HMS-regelverket henger tett sammen. Sjøfartsdirektoratet tilbyr i dag

sertifisering opp mot standard som bygger på det maritime regelverket. Man ser for seg at Sjøfartsdirektoratet må få på plass egne regler for havbruksinstallasjoner på sikt – og at for eksempel arbeidsmiljøloven med tilpasninger kunne vært et alternativ.

For havbruk til havs er dermed ansvarsfordeling mellom myndigheter et spørsmål (slik som med Arbeidstilsynet og Sjøfartsdirektoratet). Til sammenligning trekker industriaktørene frem at Petroleumsstilsynet har fått ansvaret for å utforme regelverk for havvind. Overordnet, påpeker noen av aktørene behov for koordinert tilsyn – at tilsynet av havbruksnæringen underlegges en etat.

I høringsnotat for havbruk til havs (2022) er det foreslått at Fiskeridirektoratet skal ha en koordinerende rolle på myndighetssiden, og sørge for å innhente sektorvedtak fra Miljødirektoratet, Mattilsynet og Kystverket knyttet til søknader om lokaliteter til havs. Datainnsamlingen til denne rapporten ble slutført før høringsfristen 2.mai 2022. Vi viser til hørings svar for mer om ulike aktørers innspill til dette forslaget⁸.

7 Oppsummering

Viktige drivere for nye produksjonssystemer for oppdrett av laks i Norge dreier seg om å løse utfordringene man har i konvensjonelt åpen oppdrett i sjø, samt å kunne ta i bruk nytt areal. Aktørene som kjenner de ulike systemene godt, gjennom drift og som utstyrsleverandører, beskriver både muligheter og utfordringer som må løses. Øyeblikksbildet som denne rapporten gir, viser at noen av utfordringene gjelder for flere av systemene, mens andre er særlig knyttet til et av systemene. Videre ser vi at aktørene er opptatt av passende lokaliteter for sine system, samt en regulering som legger gode rammer for fremtidens havbruksnæring.

⁸ <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/horing-etablering-av-et-tillatelsesregime-for-havbruk-til-havs-og-endringer-i-yttergrensene-i-produksjonsomradeforskriften/id2899323/?expand=horingssvar>

Referanseliste:

- Aarhus, I., Høy, E., Fredheim, A., Winther, U., 2011. Kartlegging av ulike teknologiske løsninger for å møte de miljømessige utfordringene i havbruksnæringen. Hentet Februar 23, 2016.
- Aas, T.S., Åsgård, T.E., 2017. Estimated content of nutrients and energy in feed spill and faeces in Norwegian salmon culture. Nofima rapportserie.
- Artec Aqua - Resirkulering - RAS [WWW Document], n.d. URL <https://www.artec-aqua.no/systemlosninger-old/resirkulering---ras/> (accessed 4.1.22).
- Ayer, N.W., Tyedmers, P.H., 2009. Assessing alternative aquaculture technologies: life cycle assessment of salmonid culture systems in Canada. *Journal of Cleaner production* 17, 362–373.
- Bjelland, H.V., Føre, M., Lader, P., Kristiansen, D., Holmen, I.M., Fredheim, A., Grøtli, E.I., Fathi, D.E., Oppedal, F., Utne, I.B., 2015. Exposed aquaculture in Norway. Presented at the OCEANS 2015-MTS/IEEE Washington, IEEE, pp. 1–10.
- Bjørndal, T., Tusvik, A., 2019. Economic analysis of land based farming of salmon. *Aquaculture Economics & Management* 23, 449–475. <https://doi.org/10.1080/13657305.2019.1654558>
- Fenstad, A., 2021. Se oversikten: 20 selskaper utvikler lukkede oppdretts-anlegg i sjø for å komme lakselus til livs [WWW Document]. URL <https://www.tu.no/artikler/20-selskaper-utvikler-lukkede-oppdrettsanlegg-i-sjo-her-er-oversikten/513167> (accessed 5.19.22).
- Hersoug, B., 2022. “One country, ten systems” – The use of different licensing systems in Norwegian aquaculture. *Marine Policy* 137, 104902. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104902>
- Kristiansen, D., Endresen, P.C., Lader, P., Su, B., Volent, Z., Aksnes, V., 2018. SJØFLO - Sjøegenskaper og forankring til flytende lukkede oppdrettsanlegg (Sluttrapport).
- Føre, H.M., Thorvaldsen, T., Osmundsen, T.C., Asche, F., Tveterås, R., Fagertun, J.T., Bjelland, H.V., 2022. Technological innovations promoting sustainable salmon (*Salmo salar*) aquaculture in Norway. *Aquaculture Reports* 24, 101115. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101115>
- Netzer, R., Ribičić, D., Aas, M., Cavé, L., Dhawan, T., 2021. Absolute quantification of priority bacteria in aquaculture using digital PCR. *Journal of Microbiological Methods* 183, 106171. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2021.106171>
- Osmundsen, T.C., Olsen, M.S., Gauteplass, A., Asche, F., 2022. Aquaculture policy: Designing licenses for environmental regulation. *Marine Policy* 138, 104978. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.104978>
- Rosten, T.W., Ulgenes, Y., Henriksen, K., Terjesen, B.F., Biering, E., Winther, U., 2011. Oppdrett av laks og ørret i lukkede anlegg-forprosjekt. SINTEF, Trondheim.
- Rurangwa, E., Verdegem, M.C.J., 2015. Microorganisms in recirculating aquaculture systems and their management. *Reviews in Aquaculture* 7, 117–130. <https://doi.org/10.1111/raq.12057>
- Su, B., Tsarau, A., Endresen, P.C., Kristiansen, D., Lader, P.F., 2021. Numerical study of closed rigid fish cages in waves and comparison with experimental data. *Ocean Engineering* 233, 109210. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.109210>
- Villar-Navarro, E., Garrido-Pérez, C., Perales, J.A., 2021. Recycling “waste” nutrients back into RAS and FTS marine aquaculture facilities from the perspective of the circular economy. *Science of The Total Environment* 762, 143057. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143057>