

Forskning og utvikling for realisering av

HAVBRUK TIL HAVS

Innspill til strategiske prioriteringer mot 2040
FØRSTE VERSJON

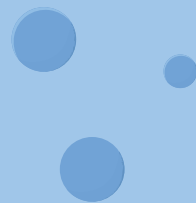




Forskning og utvikling for realisering av

HAVBRUK TIL HAVS

Innspill til strategiske prioriteringer mot 2040



Innhold

Sammendrag	6
1. Innledning	8
1.1 Bakgrunn	8
1.2 Visjon	9
1.3 Grunnleggende forutsetninger for havbruk til hav	9
1.4 Dokumentets innhold og arbeidsmåte	11
2. Forsknings- og utviklingsområder for havbruk til havs	12
2.1 Areal og lokaliteter, tildeling av tillatelser og vekst	12
2.1.1 Lokalitets- og områdevalg	12
2.1.2 Prosjektering av områder for havbruk til havs	12
2.1.3 Vurdering av bæreevne	12
2.1.4 Tildeling av tillatelser	13
2.2 Fiskehelse og fiskevelferd	13
2.2.1 Laksens tålegrenser offshore og laksens adferd	14
2.2.2 Interaksjon mellom fisk og produksjonsmiljø	14
2.2.3 Robust post-smolt og produksjonsmetode	14
2.2.4 Miljøforhold og hydrodynamikk	14
2.2.5 Kontinuerlig overvåking av fisken og sykdomsforebyggende tiltak	15
2.2.6 Biosikkerhet	15
2.2.7 Nye metoder for fiskehåndtering og ny teknologi som sikrer velferd	16
2.2.8 Robotikk for fisken	16
2.2.9 Digital tvilling for den biologiske prosessen	16
2.2.10 Personell og utdanning	16
2.3 Teknisk standard og drift	17
2.3.1 Teknisk standard	17
2.3.2 Marine konstruksjoner og hydrodynamikk	17
2.3.4 Operasjon av havbruksanlegg til havs og operasjonsvindu	18
2.3.5 Marine operasjoner og fartøy	18
2.4 Automatisering, digitalisering og menneskenes rolle	20
2.4.1 Robotikk og fjernstyring	20
2.4.2 Beslutningsstøtte og situasjonsforståelse	20
2.4.3 Sensorikk og menneske/maskin-interaksjon	22
2.4.4 Erfaringsbasert, taus kunnskap til algoritmene	22

2.5 Arbeidstakernes helse, miljø og sikkerhet	23
2.5.1 Sikkerhetsnivå	23
2.5.2 Helse, miljø og sikkerhet	23
2.5.3 Beredskap	23
2.5.4 Ferdighetstrening og simulatorer	23
2.6 Ytre miljø	24
2.6.1 Effekter av rømming fra havbaserte anlegg	24
2.6.2 Utslippsmodeller	25
2.6.3 Deteksjon og varsling av ekstern miljørisiko	25
2.6.4 Kombinasjon av datakilder	26
2.6.5 Visualisering og brukergrensesnitt	26
2.7 Finansiering	27
2.7.1 Risikoprofil	27
2.7.2 Andre juridiske forhold knyttet til finansiering og sikkerhet	27
2.7.3 Kontrakter for sentrale innsatsfaktorer	28
2.8 Offentlig tilrettelegging, forvaltning og tilsyn	29
2.8.1 Oppmerksomhet på helheten	29
2.8.2 Ringvirkninger	29
2.8.3 Faglig sterke sektormyndigheter	30
2.8.4 Reguleringsregimet, tillatelser og skatt	30
2.8.5 Juridisk ansvar	30
3. Strategi for realisering av forskningsbehov	31
3.1 Prioritering og rekkefølge	31
3.2 Innovasjonsmuligheter i verdikjeden og gjennom klyngesamarbeid	32
3.3 Forskningssamarbeid på tvers av fag og sektor	32
3.4 Utdanningsperspektiver	33
3.5 Virkemiddelapparatet	34
4 Konklusjon og anbefalinger	35

Sammendrag

Omfattende forsknings- og utviklingsbehov må adresseres når man skal industrialisere bærekraftig havbruk til havs i Norge. SalMar Aker Ocean, en ledende aktør i Norge innen utvikling av havbruk til havs, har med NTNU og SINTEF Ocean gått sammen i en arbeidsgruppe som har hatt som målsetning om å samle og beskrive de mest sentrale forsknings- og utviklingsbehovene. Dette arbeidet ble påbegynt våren 2022 og vårt foreløpige arbeid, samt anbefalinger videre, lanseres nå ved Brohode-konferansen på Frøya 26. oktober 2022. Til dette arbeidet har også Veterinærinstituttet (VI), Havforskningsinstituttet (HI), NTNU Samfunnsforskning, Universitetet i Stavanger (UIS), Universitetet i Oslo (UiO), BI, Massachusetts Institute of Technology (MIT), Universitetet i Tromsø (UiT), Nord Universitet (Nord) og Utror, en aktør med ambisjon om å ta en ledende rolle i utviklingen av havbruk til havs utenfor Helgelandskysten, kommet med bidrag. Andre fagmiljøer og institusjoner, også internasjonale, samt næringen og leverandører, inviteres herved til å bidra i fortsettelsen.

Havbruk til havs kan bli en ny og stor eksportindustri for Norge. Norge kan produsere store volum med bærekraftig og sunn sjømat som vil være sterkt etterspurt i det globale markedet og bygge en verdensledende leverandørnæring som betjener mange havregioner, samtidig som man tetter noe av gapet som vil komme som følge av redusert aktivitet innen olje og gass.

Sjømatnæringen regnes som en av tre kunnskapsnav eller superklynger for Norge. De to øvrige er petroleumbasert næringsliv og maritim sektor. Havbruk til havs vil måtte bygge på og utnytte alle disse tre kunnskapsnavene i Norge. Her vil våre fremste klynger kunne møtes, og det er derfor få teknologi- og kunnskapsområder hvor vi har et like godt utgangspunkt til å skape globale konkurransefortrinn. Mot 2050 kan havbruk til havs gi en årlig verdiskaping i størrelsesorden hundre milliarder kroner, med mange titalls tusen sysselsatte i verdikjeden og ringvirkingsnæringer som omfatter både distrikter og byer i Norge.

Havbruk til havs vil skje under helt andre fysiske forhold enn konvensjonell akvakultur i Norge. Selv om de fysiske og klimatiske forholdene vil være annerledes, vil likevel mange av de biologiske utfordringene med havbruk til havs være felles med konvensjonelt kystnært fiskeoppdrett, med kjente problemstillinger i dag som f.eks. lus, sykdommer og fiskevelferd. Imidlertid vil utfordringene kunne anta en annen karakter ved at aktiviteten foregår i andre produksjonssystem og -miljø. Her kan nevnes problemstillinger knyttet til fiskevelferd i høyere bølger og sterkere strømforhold og i større populasjoner. I tillegg vil havbruk til havs medføre en langt høyere grad av automatisering og instrumentering enn mer konvensjonelt havbruk, noe som igjen vil medføre økt krav til teknologi, utdanning og profesjonalisering av personell. Produksjonsmiljøet kan fra før være kjent fra maritim næringsaktivitet og olje og gass, men de teknologiske løsningene kan ikke overføres direkte da de i en annen og biologisk kontekst får en helt annen betydning, grunnet blant annet andre krav til tilstedeværelse, beredskap og forutsigbarhet. I tillegg til biologiske og tekniske aspekter, vil man i dette arbeidet ha en helhetlig tilnærming hvor man vil se på verdikjeden. Her er det også behov for å få med faglig bredde og dermed også inkludere problemstillinger innen samfunnsøkonomi, markedsføring, salg og distribusjon, juss, oseanografi, organisasjonsfag, forvaltning, sameksistens og bærekraft.

En samling av forsknings- og utviklingsområdene for havbruk til havs er viktig av mange grunner. Vi ønsker bl.a. å stimulere leverandørindustri, gründere og andre næringsaktører i verdikjeden til å drive frem kommersielle løsninger og innovasjoner de vet vil være etterspurt. En oversikt vil også bevisstgjøre utdannings- og forskningsinstitusjoner på hva det bør forskes på og undervises om, og videre støtte myndigheter i å legge til rette for best mulig forvaltning under risiko og usikkerhet. Sist, vil en slik oversikt over forsknings- og utviklingsbehov kunne påvirke beslutningstakere og opinion til å legge rette for best mulig vilkår og rammebetingelser for den nødvendige forskningen og utviklingen som skal til.

I tillegg til å identifisere de mest sentrale forsknings- og utviklingsbehov søker vi å beskrive mulige innfallsvinkler eller strategier til hvordan disse skal adresseres. En sentral del av dette vil være å prioritere. Her vil noe defineres som så kritisk at man må ha et større kunnskapsgrunnlag enn man har i dag om man i det hele tatt skal kunne starte med de første pilotene. Motsatt vil det være kunnskapsområder som er av en slik art at de først og fremst bare kan erverves igjennom nettopp erfaring fra drift og piloter. Og så er det kunnskap som vil være helt sentral og avgjørende for at havbruk til havs på sikt skal bli en bærekraftig og lønnsom industri, men som vil måtte utvikles over flere år mens man har de første anleggene i drift. Utover prioritering så omfatter sentrale forskningsstrategier som må utvikles klyngesamarbeid, utdanning og opplæring, virkemiddelapparat og støtteordninger samt koordinering og kunnskapsspredning av allerede eksisterende forskningsaktiviteter og programmer.

Arbeidsgruppa har foreløpig samlet og beskrevet de viktigste områdene og strategiene for forskning og utvikling i dette dokumentet med tittel «Forskning og utvikling for realisering av havbruk til havs». Dette dokumentets funksjon er å presentere en nåsituasjonsbeskrivelse basert på bidragsytere sine foreløpige tanker og meninger om de mest sentrale behovene, samt å gi et bilde på i sum hvor omfattende og komplekst dette vil være. Dokumentet skal derfor ikke leses som en ferdig og uttømmende oversikt over alle forskningsbehov man vil stå overfor, men forhåpentligvis fungere som en innledende oversikt som må utvides med andre eksperter, forskningsinstitusjoner og selskapers syn fremover. Forskningsområdene beskrevet er her strukturert etter regjeringens rapport fra 2018 «Havbruk til havs – ny teknologi – nye områder». I fortsettelsen anbefaler vi at arbeidet med å samle, beskrive, strukturere, koordinere og formidle kunnskap, om både utført og forskning og utvikling, samt manglende forskning og utvikling, bør gjøres av en organisasjon som finansieres av statlige midler.

Her har man flere andre og lignende organisasjoner å sammenligne seg med, hvor kanskje 21-prosessene er det som på sikt vil være mest nærliggende å se til. En statlig finansiert organisering med bred involvering fra næringen, vil sikre uavhengighet og stabil formidling av sentrale forskningsområder og vil samtidig kunne tilfredsstille både nye og eksisterende næringsaktører, akademias behov samt myndigheters behov for å hente ut kunnskapsgrunnlag når forvaltningen skal etableres og utvikles.

**Trondheim, 20. oktober 2022, på vegne av arbeidsgruppa,
Martin Føre, Asgeir Sørensen, Bjørn Egil Asbjørnslett og Marilena Greco, NTNU**

Kristine Hartmann, Marianne Halse, Arvid Hammernes, Thor Hukkelås og Jørgen Mjønes, SalMar Aker Ocean

Hans Bjelland og Kristine Størkersen, SINTEF Ocean

1. Innledning

Dette dokumentet søker å gi en samlet oversikt over forskningsbehov som myndigheter og næringsaktørene i verdikjeden for havbruk til havs må løse for at dette kan utvikles og industrialiseres de neste årene. Videre beskrives mulige strategier for hvordan man best kan møte disse behovene.

Dokumentet bygger videre på, og er delvis strukturert etter, Nærings- og fiskeridepartementets rapport fra desember 2018, «Havbruk til havs: Ny teknologi – nye områder». Rapportens hovedformål var å «identifisere behov for endringer i regelverket for å best mulig legge til rette for utvikling av havbruk til havs». Notatet vårt gjelder både forskningsbehov knyttet til kunnskapsbasert utvikling av forvaltningen og forskningsbehov for utviklingen av selve produksjonsformene.

Ambisjonene om videre utvikling av havbruksnæringen og havbruk til havs ble i 2021 beskrevet i «Havbruksstrategien – Et hav av muligheter» og bekreftet av ny regjering i Hurdalsplattformen. Det heter bl.a. at Regjeringen skal «utvikle et eget konsesjonsregime for oppdrett til havs med strenge krav til bærekraft og sameksistens mellom ulike havnæringer». Vi vil derfor her også belyse samfunnsøkonomiske og juridiske forhold knyttet til sameksistens, verdiskaping og bærekraft.

Graden av eksponering for naturforhold, plassering langs kysten, avstand til land og hvilken produksjonsteknologi som anvendes, omtales ofte i ulike termer for produksjonsformene. I det følgende benyttes «Havbruk til havs» om havbruksinstallasjoner og -produksjon i de ytre sjøområdene, utenfor dagens trafikkyssystem, 20 – 30 nautiske mil utenfor grunnlinjen. Produksjonsformen som omtales, vil dermed være langt mer eksponert enn anleggene som i dag ligger lengst ut fra kysten.

1.1 Bakgrunn

Å utvikle havbruk til havs i Norge kan bli et svært sentralt ledd i å møte dagens og fremtidige nasjonale og globale utfordringer og markedsbehov samtidig som det utnytter eksisterende nasjonale konkurransefortrinn, med tilhørende potensial for norsk verdiskaping og norske arbeidsplasser.

Verdens befolkning er forventet å øke frem mot en stabilisering på ca. 10 mrd. frem mot 2050. Dette er en økning på om lag 25 % fra dagens nivå på ca. 8 mrd. mennesker. Videre er det anslått at det gjennomsnittlige velstandsnivået vil øke i denne perioden, noe som vil medføre at proteinbehovet øker med hele 50-60 %. Man vet at dagens globale matproduksjon står for om lag 33 % av klodens CO₂-utslipp, 50 % av arealbruken på land, 70 % av ferskvannsforsbruket og hele 94 % av den negative påvirkningen av biodiversitet (IPCC og Nature Food). Oppdrettsfisk har et lavt klimaavtrykk per kg protein sammenlignet med andre animalske proteinkilder. Dette i kombinasjon med at en veldig liten andel av det vi spiser i dag kommer fra havet (både dagens fiskeri og kystnære akvakultur medberegnet) gjør at man kan anta at å utnytte havet til matproduksjon vil være en mulig løsning på globale miljø- og klimautfordringer knyttet til etterspørsel etter mat.

Det er mange årsaker til at det, med dagens biologi og teknologi kompetanse, er mangel på egnede kystnære områder for fiskeoppdrett i Norge og internasjonalt, eksempelvis lusepress, miljøbelastning, biosikkerhet, konkurrerende arealinteresser og regulatoriske begrensninger. Dette begrenser muligheten for videre vekst og motiverer utvikling av både produksjonssystemer som kan brukes i utsatte områder til havs, og systemer som kan brukes på land. Begge disse retningene vil kunne supplere og avlaste dagens produksjon gitt at en fasiliterer målrettet forskningsaktivitet for å løse hovedutfordringene tilknyttet disse. På lik linje som at inneværende dokument tar for seg den havbaserte retningen, vil en fremtidig innsats på å utvikle et tilsvarende dokument fokusert mot lukket produksjon være strategisk viktig for videre vekst på det området.

Norge er en havnasjon. I boken «Et kunnskapsbasert Norge» fra 2012 skriver Torger Reve og Amir Sasson at sjømatnæringen er ett av tre kunnskapsnav eller superklynger for Norge. De to øvrige er petroleumbasert næringsliv og maritim sektor. Havbruk til havs vil, som man også kan lese av dette dokumentet, kunne bygge på og utnytte alle disse tre kunnskapsnavene i Norge. Med riktig tilrettelegging vil her altså våre fremste nasjonale klynger kunne møtes og det er derfor få teknologi- og kunnskapsområder hvor vi har et like godt utgangspunkt til å skape globale konkurransefortrinn. Dette er trolig også vårt mest nærliggende potensial når vi skal skape nye bærekraftige verdier fra havet. Mot 2050 har havbruk til havs potensiale til å gi en årlig verdiskaping på i størrelsesorden hundre milliarder kroner, med 30 - 50 000 sysselsatte i verdikjeden og ringvirkingsnæringer. Norge kan både produsere store volum med sunn sjømat for det globale markedet og bygge en verdensledende leverandørnæring som betjener mange havregioner og skape en helt ny global industri som utnytter havet for matproduksjon og avlaster landjorda.

Man møter helt nye kunnskaps- og innovasjonsutfordringer når en bærekraftig verdikjede for havbruk til havs skal utvikles. Dette omfatter blant annet krevende værforhold, en mer kompleks verdikjede, rivalisering med andre aktører i havrommet, miljøavtrykk, fiskehelse og -velferd, logistikkutfordringer i storskala produksjon, og håndtering av ekstremhendelser. Utfordringene kan bare løses gjennom forsknings- og innovasjonsprosjekter som kombinerer kompetanse fra forskningsmiljøer, bedriftene i verdikjeden og offentlig forvaltning. Det er avgjørende at Norge utvikler en helhetlig forsknings- og innovasjonsstrategi for havbruk til havs som mobiliserer de relevante kunnskapsaktørene i prosesser hvor de jobber sammen, som ser sammenhengene mellom de ulike områdene hvor vi mangler kunnskap og løsninger, hvor det er transparens og deling av data mellom aktørene, og som evner å prioritere ved at man fjerner flaskehalsene for bærekraftig havbruk i riktig rekkefølge.

1.2 Visjon

Vi ønsker å oppnå et «bærekraftig havbruk til havs på biologiens premisser», og vil bidra til at dette kunnskapsbasert kan realiseres gjennom forskning og utvikling.

Med bærekraftig, mener vi å hensynta miljø, fisk, mennesker, økonomiske og sosiale forhold, slik at havbruk til havs vil representere en positiv videreutvikling fra dagens kystnære alternativer og annen proteinproduksjon for øvrig. Dette innebærer at det er behov for kunnskap og en tilhørende industri som sikrer en utnyttelse av havet for matproduksjon som ikke reduserer tåleevnen, fremtidig biodiversitet eller potensial for fremtidig verdiskaping, både for miljøet lokalt der aktiviteten foregår eller miljøet og klimaet globalt. Tilsvarende er det behov for å hensynta sosiale og økonomiske forhold. Dette gjelder for hele verdikjeden, og inkludert før.

På biologiens premisser betyr at vi alltid skal la biologien styre rekkefølgen. Biologien omfatter fisken eller det som dyrkes, og miljøet og menneskene som er påvirket. Det vil være biologien som først setter rammene for all annen aktivitet i denne industrien, og dette prinsippet bør også være med oss når vi skal stille de sentrale forskningsspørsmålene.

1.3 Grunnleggende forutsetninger for havbruk til hav

Havbruk til havs vil ha helt andre forutsetninger enn kystnært havbruk. De siste årenes forflytning av produksjonen fra fjordbaserte til mer eksponerte lokaliteter kan være krevende og utfordrende for produksjonen, men kan bygges videre på eksisterende teknologier og prosedyrer. Betingelsene og forholdene for havbruk ved eksponerte kystnære lokaliteter vil fremdeles være styrt av mange de samme mekanismene som på fjordbaserte lokaliteter (f.eks. tidevannsstrømmer). De vil også være skjermet fra havdønninger av den ytterste barrieren med skjær og holmer langs kysten. Havbruk til havs representerer et vesentlig skifte fra dette. Her vil havstrømmer trolig ha en mye større innflytelse på lokale og regionale forhold enn tidevannsstrømmer, og en vil ha lite som skjermer mot havtilstander som oppstår langt til havs og beveger seg mot kysten.

Blant de endrede fysiske betingelsene vil størrelser som sjøtemperatur, bølgehøyder, vind, strømforhold, innbyrdes avstander og avstand til land være noen av det viktigste man må forholde seg til. Dette gjør at det fra et menneskelig og teknologisk perspektiv vil være betydelig mer krevende å få til. Men, det er også dette perspektivet som gjør havbruk til havs verdt å forske videre på; nemlig at det er teknologien som må utvikles for å tilpasse seg biologien, og ikke omvendt. Forutsetningene for lakseproduksjon til havs ligger godt til rette med hensyn på en jevnere strøm av oksygenrikt vann samt mer stabile og optimale sjøtemperaturer enn man har kystnært,

Selv om de fysiske forhold vil være annerledes, vil likevel mange av de biologiske utfordringene med havbruk til havs være felles med konvensjonelt kystnært fiskeoppdrett, med kjente problemstillinger i dag som f.eks. lus, sykdommer og fiskevelferd. Imidlertid vil utfordringene kunne anta en annen karakter ved at aktiviteten foregår i andre produksjonssystem og -miljø. Dette miljøet kan være «kjent» fra maritim næringsaktivitet og olje og gass, uten at det betyr at de samme teknologiske løsningene kan overføres direkte da biologisk produksjon krever full oppetid på enkelte kritiske systemer for fisken. F. eks. er ikke full nedstengning aktuelt med levende biomasse. Dette betyr dermed større tilstedeværelse via blant annet fjernstyrte og autonome operasjoner og systemer med høye krav til pålitelighet, tilgjengelighet og sikkerhet. I tillegg må man ta hensyn til at nye problemstillinger vil oppstå underveis og ikke vil være kjente før man har begynt utviklingen med fysiske piloter.

Et viktig neste steg vil derfor være å først identifisere de mest sentrale kunnskapshullene ved å evaluere dagens kunnskap om havbruk opp mot de nye forutsetninger og rammebetingelser, og så foreslå forskningsområder og -aktiviteter som kan bidra til å fylle disse. Noen av kunnskapshullene som vil være sentrale og som vil sette premisser for resten av forskningen, er mer kjennskap til fiskens adferd og trivsel i et mer eksponert miljø, med sterkere strøm og større bølgehøyder. Selv om havet isolert sett er et mer naturlig sted for laksen i en vekstfase, er likevel oppdrett i havet i stor skala upløyd mark, og vi må være sikre på at det ikke oppstår betingelser som gjennom (menneskeskapte) teknologiske og operasjonelle valg gjør at fisken ikke trives eller

dør. Et eksempel på dette er forståelsen av **miljøforhold og hydrodynamikk** i en havbasert merd med et stort antall fisk og fiskens velferd i et miljø med større bølger.

En av de viktigste betingelsene for havbruk til havs er tilgang til egnede produksjonsarealer. Utenfor grunnlinjen vil en primært måtte konkurrere eller søke samarbeid og synergier med etablerte næringer som fiskeri og olje og gass, samt relativt nye næringer som havvind, noe som gjør **regulering og arealtildeling** til et sentralt tema. En annen nødvendig forutsetning er tilgang til **produksjons-, anleggs-, robot og fartøyteknologi** tilpasset forholdene til havs, slik at en kan sikre både anleggsintegritet og kontinuerlig drift. **Kontinuerlig drift** vil her være et ufravikelig krav ettersom en av biologiske hensyn ikke kan stenge ned produksjonen i havbruk ved behov slik en kan i andre sektorer som olje og gass og vindkraft. Dette betinger at en kan gjennomføre en rekke daglige (f.eks. fôring og inspeksjon) og behovsbetingede (f.eks. avlusning og vedlikehold) operasjoner, og dermed at f.eks. fartøy som inngår i disse er i stand til å operere lengre til havs. Det er imidlertid også trolig at værforhold og økte avstander til land vil redusere mulighetene for menneskelig tilstedeværelse, noe som betyr at operasjoner i større grad må kunne gjennomføres via **fjernstyring eller autonomi**.

Det vil også være viktig å sikre at personellets forhold innen **helse, miljø og sikkerhet (HMS)** er ivaretatt både på anlegg og fartøy. Det vil tilsvarende også være behov for å opprettholde **beredskap** som kan sikre både folk, fisk og ytre miljø dersom uønskede hendelser eller situasjoner oppstår. Selv om dette er forutsetninger også for konvensjonelle lokaliteter, vil de tydeliggjøres på anlegg til havs som følge av de fysiske forholdene og avstand til land. Den mest fremtredende biologiske betingelsen for havbruk til havs er at **fisken tåler** og gis gode forhold i produksjonen. Den må ha evne til å håndtere strøm, bølger og turbulensforhold. En må selvsagt sikre at **produksjonsforholdene er tilpasset fiskens behov**, slik som **oksygentilgang**, er tilstrekkelig gode til å oppfylle fiskens behov. Havbruk til havs vil også måtte vise seg **bærekraftig** med hensyn til interaksjonen med det ytre miljøet rundt anlegget. Her vil mange av parameterne som er viktige

i kystnært havbruk, eksempelvis tilgang til fôr og fôrråstoff, utslipp av næringsstoffer, potensial for smitte gjennom patogen og parasitter til omgivelsene, rømming og øvrig påvirkning på biodiversitet fortsatt være ledende elementer.

For at havbruk til havs skal bli en vellykket industri som tilfredsstillende forutsetningene over må produksjonen være **tilstrekkelig lønnsom** til å dekke de økte kostnader i både investering og drift et slikt skifte vil medføre. Dette vil kreve kunnskap om hva som gir en forutsigbar drift og **sikrer tilgang til kapital**. En **kunnskapsbasert utvikling** av forvaltningen vil her også inngå som et helt essensielt element.

Å tilfredsstille dette brede spekteret av forutsetninger, sammen med en helhetlig **samfunnsøkonomisk lønnsomhet** vil være en forutsetning for næringens omdømme og deres sosiale lisens i norske farvann. Det er viktig å ta innover seg at havbruksnæringen, hvorvidt den er plassert offshore eller langs kysten, fortsatt vil være gjenstand for mange og ulike forventninger fra samfunnet. Styrken på den sosiale lisensen påvirker hvilken tillit næringen har blant myndighetsaktører og publikum, hvor stor velvilje næringen møtes med, og hvor gunstig, fleksibel og tilpasningsdyktig det forvaltningsmessige rammeverket er for næringen.

1.4 Dokumentets innhold og arbeidsmåte

Dette dokumentet er utarbeidet av SINTEF Ocean og NTNU med bidrag fra Havforskningsinstituttet (HI), Veterinærinstituttet (VI), NTNU Samfunnsforskning, Universitetet i Stavanger (UiS), Universitetet i Oslo (UiO), Universitetet i Tromsø og Nord Universitet. Sentral bidragsyter fra næringen har vært SalMar Aker Ocean, med innspill fra Utror. Andre bidragsytere og sparringspartnere har videre vært blant annet Massachusetts Institute of Technology (MIT) ved professor Michael Triantafyllou og Torger Reve, professor emeritus ved BI.

Dokumentet består av fire kapitler. Kapittel 2 beskriver de identifiserte forskningsspørsmålene vi ser på det nåværende tidspunkt, kapittel 3 beskriver hvordan disse forskningsspørsmålene kan besvares, og kapittel 4 oppsummerer og foreslår konkrete aksjoner og arbeid videre. Kapittel 2 utgjør hoveddelen av dokumentet og er bygd opp etter den struktur som Nærings- og Fiskeridepartementet allerede bruker i dag i sitt arbeid med regelverksutforming og forvaltning for havbruk til havs.

Arbeidet med dokumentet ble påstartet i mai 2022 av SalMar Aker Ocean, NTNU og SINTEF og ble etter noen innledende workshops utvidet med de andre beskrevne bidragsyterne i juli, august og september 2022.

2. Forsknings- og utviklingsområder for havbruk til havs

Utvikling av havbruk til havs krever en samordnet nasjonal strategi og forskningsinnsats på tvers av fagområder. Hvis naturvitenskaplige, teknologiske og økonomisk-administrativ forskning skal kunne få virke i praksis, må også det rettslige og politiske rammeverket legges til rette for det gjennom innovasjoner også innenfor disse feltene.

Forskningsområdene nedenfor er videre i hovedsak strukturert etter del 3 av rapporten «Havbruk til havs: ny teknologi – nye muligheter» fra 2018.

2.1 Areal og lokaliteter, tildeling av tillatelser og vekst

I dette avsnittet beskrives overordnede FoU-behov for valg og tildeling av lokaliteter for havbruk, for en helhetlig og områdebasert prosjektering av havområder med felles infrastruktur, og for en dynamisk og kunnskapsbasert måling og dokumentasjon av bæreevne og belastning for et område.

2.1.1 Lokalitets- og områdevalg

Det er behov for økt kunnskap om hvordan miljøforholdene i mulige områder for havbruk utenfor grunnlinjen varierer i rom og tid. Et ukjent element er hvordan forekomsten av patogener og parasitter er på havlokaliteter, og hvordan dette påvirker interaksjonen mellom villfisk og oppdrettsaktivitet. Også mer detaljert kunnskap om hvordan dyr i den naturlige næringskjeden til havs utnytter arealet i dag, herunder gyteområder, oppvekstområder, jaktområder m.m. være viktig grunnlag for denne prosessen. Valg av lokalitet og område er derfor avhengig av god kunnskap om forholdene slik at en kan vurdere om et område er egnet for havbruk eller ikke.

FoU-oppgave:

Utvikle metoder og teknologi for å kombinere ulike hensyn i lokalitets- og områdevalg, ved hjelp av både sensordata, modelldata og fysiske og biologiske data for å gi et mer komplett data-grunnlag og beslutningsstøtte.

2.1.2 Prosjektering av områder for havbruk til havs

Havbruk skal ha en god sameksistens med miljøet og andre næringer til havs, og også mot kystområdene som kan påvirkes av aktiviteten til havs. Dette vil kreve en grundig vurdering av og plan for havområdene. I tillegg vil hvert område for havbruk kreve en omfattende infrastruktur og logistikk. Siden bygging og utplassering av anlegg til havs vil være betydelig mer kostbart og krevende enn nært land er det behov å prosjektere infrastruktur samtidig for flere anlegg i samme område, fremfor å gjennomføre en egen prosess for hvert enkelt anlegg for slikt som energiforsyning, logistikk og forankring. Innen andre sektorer som olje og gass og havvind har slik områdebasert prosjektering av havområder vist seg nødvendig for at industrien skal etablere seg best mulig på nye arealer. Dette vil også insentivere aktører i næringskjeden som skal etableres og utvikles for å realisere satsingen.

FoU-oppgave:

Utvikle metoder for helhetlig prosjektering av infrastruktur for havområder hvor flere aktiviteter og anlegg vil bli lokalisert, samordnet med miljøforhold og annen industri til havs og langs kysten.

2.1.3 Vurdering av bæreevne

Det er behov for å utvikle kunnskap og metoder for å vurdere en lokalitets bæreevne både i forkant av, i løpet av og etter en driftsfase på et anlegg. Dagens MOM-undersøkelser bør suppleres med automatisk innsamling av data fra en observasjonspyramide, eks. NTNU AMOS, bestående av sensorbærende plattformer som opererer i verdensrommet (satellitter), i luft (droner), på vannoverflaten (båter, og ubemannede båter), i vannsøylen (undervannsfarkoster) og på bunn (landere), ved hjelp av instrumenter som f.eks. akustiske sonarer og hyperspektrale kamera i tillegg til prøvetagning for nyere DNA-sekvensering. Kombinasjon av observasjoner fra sensorbærende plattformer med numeriske modeller av oseanografiske og økologiske prosesser kan gi en helt ny forståelse.

FoU-oppgave:

Frembringe metoder, numeriske modeller og teknologi for kartlegging og mer kontinuerlig og dynamisk vurdering og dokumentasjon av bæreevne både før, under og etter en produksjonsyklus. Definere måleparametere som karakteriserer god bæreevne for en lokalitet.

2.1.4 Tildeling av tillatelser

Rammene for dagens tillatelsessystem i akvakulturloven og laksetildelingsforskriften er i hovedsak utviklet på grunnlag av forutsetningene ved konvensjonelt oppdrett i kystnære områder fra næringens startfase.

Tildeling av tillatelser har over tid blitt gjennomført på ulike måter, og endret seg i takt med endringer i politiske mål og i møte med ulike markedsutfordringer. Fra 2017 ble det etablert et nytt system for vekst for kommersielle tillatelser, i tillegg til ordningen med utviklingstillatelser. Senere har det kommet også forslag om miljøteknologitillatelser og havbruk til havs. Tillatelsessystemet er under utredning med frist i mars 2023, og det forventes endringer i utformingen av tillatelsessystemet. For tillatelser til havbruk til havs ble det våren 2022 foreslått en ordning og en tildelingsprosess som er ganske annerledes enn det som gjelder for kystnært havbruk. Blant annet innebærer det en stegvis prosess, der miljø og bæreevne står sentralt, samtidig som prosessen skal koordineres på nasjonalt nivå. Flere sektormyndigheter skal involveres i prosessen, og næringsaktørene må selv stå for flere utredninger for å demonstrere kapasiteten. Viktige spørsmål knyttet til prosessen og rammeverket for tildeling av tillatelser for havbruk til havs handler om utfordringene og konsekvensene, hvordan man kan få gjennomført gode utredninger, god dialog og samhandling mellom sentrale myndighetsaktører, og hvordan systemet kan sikre at tillatelsene bidrar til å ivareta næringsinteresser og samfunnsinteresser samt sikrer forsvarlig produksjon.

Eksempelvis er det fortsatt usikkert hvor man kan åpne for havbruk til havs, hvordan man skal tildele tillatelser i "blokkene" (og hvor mange aktører som kan operere innenfor samme blokk), hvilke utredninger og beslutninger som skal følge hverandre og hvilken kunnskap man må ha på plass for å sikre produksjon på en forsvarlig måte med hensyn til miljøet, fisken, menneskene, næringsaktørene og samfunnet. (Se mer om dette i kapittel 2.8 om forvaltning.) Dermed vil det være behov for mer kunnskap om hvordan et system for tildeling og øvrig forvaltning av tillatelser som balanserer hensynet til forvaltningsbyrde/ressursbruk, tilpasning av produksjon etter bærekraftskriterier og verdiskapning for samfunnet. På denne måten sikrer en at lokal bæreevne ikke overskrides.

FoU-oppgaver:

Studere utfordringer og konsekvenser av den skisserte tildelingsprosessen for havbruk til havs, hvordan den kan ivareta ulike hensyn og hvordan denne prosessen på lengre sikt kan tilpasses kunnskapsbehov og kontinuerlig oppdatert erfaringskunnskap. Kunnskap om hvordan havbruk til havs på en bærekraftig måte kan sameksistere med andre næringer til havs og på kysten.

2.2 Fiskehelse og fiskevelferd

Siden fisken er det sentrale elementet i enhver havbruksoperasjon, er det nødvendig med et eget FoU-område rettet mot fiskevelferd og fiskehelse på havbaserte lokaliteter. Noen av de viktigste forskningsspørsmålene er beskrevet i det følgende:

Fiskens interaksjon med miljøforholdene. Selv om mengden kunnskap om atferd, velferd, helse og vekst for fisk i oppdrett gradvis har vokst de siste tiårene, er fiskens betingelser offshore såpass forskjellige fra det den opplever i kystnære farvann at det vil være behov for en målrettet forskningsinnsats mot å belyse dette.

Oksygenmetning og gjennomstrømning i anlegget. Det er svært viktig å øke kunnskapen om dette ettersom disse er faktorer som er helt kritiske for fiskens velferd, overlevelse og vekst.

Fiskens adferd i og respons på eksponert miljø som bølger og strøm. En må blant annet undersøke hvordan fisken responderer på værforholdene offshore, ettersom dette er kunnskap som vil være sentralt for både anleggsdesign og utvikling av nye metoder. Eksempelvis kan det å designe anlegg slik at fisken klarer å utvise sine naturlige responsmønstre mot ekstreme sjøtilstander gi store velferdsmessige fordeler.

Utvikling av ny metodikk. Det må utvikles ny metodikk på en lang rekke områder, som for eksempel digital helse- og velferdsovervåkning på individ- og gruppenivå, både for analyse og beslutningstøtte og som prediksjonsverktøy. Metodikk som dokumenterer fiskens velferd i nye innretninger, utstyr og konstruksjoner, samt kontinuerlig velferds- og helsemonitorering, herunder lus, andre velferdsindikatorer, adferdsendringer og lignende.

2.2.1 Laksens tålegrenser offshore og laksens adferd

Laksens adferd i eksponert miljø er ansett som en av hovedutfordringene for offshore havbruk. Det er behov for å få bedre kunnskap om laksens tålegrenser for strøm, bølger og kombinasjoner av disse, og hvordan disse forholdene innvirker i konstruksjoner beregnet for offshore havbruk. For å sikre at man bruker lokaliteter som er tilpasset laksen, må man kartlegge tålegrenser og kritiske parametere og hvilke områder som er optimale, blant annet avhengig av størrelse, årstid og produksjonsform offshore. Følgende forskningsspørsmål må besvares:

- Hvilke strømintensiteter og varighet vil laksen tolerere, også i kombinasjon med bølger
- Hvilke toleransegrense for bølger har laksen, og hvordan responderer den på ulike bølgedynamikk.
- Hva er laksens adferdsrespons på eksponert strøm- og bølgedynamikk i kombinasjon med rigid merd/nettingstruktur.
- Hva er toleransegrense for laks (størrelse, temperatur, type fisk/robusthet)
- Kan man stimulere fisken til å oppholde seg på dypere i vannsøylen ved uvær

FoU-oppgave:

Studere og avdekke laksens adferdsrespons i høye bølger og sterk strøm, samt hvilke toleransegrenser laksen har.

2.2.2 Interaksjon mellom fisk og produksjonsmiljø

Havbruk til havs vil medføre større merdkonstruksjoner med et annet design enn merdkonvensjonelle anlegg. Det er derfor viktig å studere hvordan dette påvirker fiskens velferd i merdene. Tidlige pilotforsøk i regi av utviklingstillatelsesregimet (eksempelvis Ocean Farm 1) og forskning i laboratorieskala har antydning at større skala kan gi positive effekter på vekst hos laks, men dette er noe som bør undersøkes videre.

FoU-oppgave:

Frembringe mer kunnskap om hvordan fiskens adferd påvirkes av store merdkonstruksjoner med et annet design enn konvensjonelle anlegg.

2.2.3 Robust post-smolt og produksjonsmetode

En forutsetning for offshore oppdrett er å utvikle en fisk som er tilpasset produksjonen. Dette krever produksjon av post smolt (eller «offshore smolt») som er fysiologisk og biologisk tilpasset disse betingelsene, med optimalisering opp mot det miljøet den skal møte. Dette betyr:

- Å utvikle en produksjonsform og produksjonsprotokoller for offshore smolt (veksthastighet, salinitet, smoltifisering, lysbruk, organutvikling, vannkvalitet etc.) som gjør den tilpasset strøm og værforholdene.
- Å stimulere fiskens robusthet med hensyn til:
 - Stresstoleranse og robusthet mot ytre påvirkninger og smitte
 - Kondisjonering
 - Biosikker produksjon for offshore-smolt
 - Ernæring (fôrbehov og råvarer som sikrer robust fisk i rask vekst)

FoU-oppgave:

Studere og avdekke laksens adferdsrespons i høye bølger og sterk strøm, samt hvilke toleransegrenser laksen har.

2.2.4 Miljøforhold og hydrodynamikk

Miljøforhold i store enheter og nye konstruksjoner er ansett som en av hovedutfordringene for offshore havbruk. Det er viktig å ha nok tilgang på oksygen, kjenne strømdynamikk og bæreevne i konstruksjoner og på lokaliteter.

Det må etableres modeller for miljøforhold basert på hydrodynamikk i ulike konstruksjoner under ulike forhold og biomasser. Disse må inkludere:

- Fiskens biomasse og effekt på strømbildet og vannutskifting
- Tilgjengelig oksygen i gitt konstruksjon under gitte forhold
- Konstruksjonens innvirkning på strøm, spesielt under lavere strømintensiteter
- Metoder for å estimere/modellere eller måle fiskens oksygenforbruk for å evaluere hvordan produksjonen påvirker lokal oksygenmetning.

FoU-oppgave:

Etablere modeller for oksygentilgang basert på hydrodynamikk i ulike konstruksjoner under ulike forhold og biomasser.

2.2.5 Kontinuerlig overvåkning av fisken og sykdomsforebyggende tiltak

Kontinuerlig overvåkning av fiskens tilstand i oppdrettsanlegg, er rettslig påkrevd og ønskelig fra både et etisk og produksjonsmessig perspektiv. I konvensjonelle anlegg gjennomføres dette ved en kombinasjon av manuell inspeksjon av fisken og instrumentering (f.eks. kamera). En slik praksis vil være vanskelig å overføre til havbasert havbruk ettersom manuell inspeksjon krever at en henter ut individuelle fisk, noe som ikke er trivielt i de krevende miljøforhold en møter lenger ut fra kysten. Videre krever flere tilgjengelige metoder en viss nærhet til fisken, noe som kan være utfordrende i de større anleggstypene som planlegges til havs.

FoU-oppgave:

Utvikle nye teknologiske metoder for overvåkning av fisk i havbaserte anlegg som er mindre avhengige av nærhet til- og håndtering av fisken.

Når man går over til produksjon i enheter med større antall individer og stor biomasse, må man i større grad kunne foreta sanntids overvåkning av helse og velferd, samt forutsi eventuelle problemer på tidlige stadier for å kunne forebygge eller forhindre utvikling med negativ påvirkning på fiskevelferd. Dette kan sikres med:

- Digital helse- og velferdsovervåkning på individ- og gruppenivå for analyse og beslutningstøtte, på sikt prediksjon.
- Å identifisere indikatorer for helse, immunitets og velferdsstatus samt målemetoder for disse.
- Miljøovervåkning og «værvarel»- prediksjon av smitte, strøm og bølger.
- Deteksjon av smitte, biomarkører og stressparametere i vann eller lignende.

FoU-oppgave:

Utvikle metoder for helse- og velferdsovervåkning på individ- og gruppenivå, samt helseovervåkning for beslutningsstøtte og prediksjon av viktige parametere.

2.2.6 Biosikkerhet

Den viktigste faktoren for å unngå sykdom i matfiskproduksjon er å unngå introduksjon og etablering av smitte i populasjonen. Dette gjelder for introduksjon både via biologisk materiale, utstyr og via vannstrømmen. Biosikkerhet er essensielt, og man har behov for både mer kunnskap om det, samt å finne løsninger for hvordan samarbeide om og håndtere biosikkerhet mellom ulike soner og selskap i en verdi- og logistikk-kjede. Personellet må også ha kompetanse og ressurser slik at de kan gjøre de tiltak som kreves for å hindre rømminger, sykdom, spredning av agens osv. For å oppnå best mulig biosikkerhet må en fokusere på følgende områder:

- Tidlig deteksjon av smitte i anlegg, smittevarsel eller prognose, herunder lakselus og aktuelle gamle og potensielt nye sykdomsagens.
- Ha kunnskap om hensiktsmessig avstand mellom anlegg og områder og modellering tilpasset offshore strømningsbilder.
- Driftsrutiner, prosedyrer og ansattes mulighet til å ivareta biosikkerhet på en forsvarlig måte.
- Modellering for optimal lokalitetsstruktur som hensyntar agens levetid og egenskaper.
- Påvirkning fra kystnært oppdrett til og fra offshore oppdrett.

FoU-oppgave:

Utvikle metoder, driftsrutiner og kunnskap for å unngå introduksjon og etablering av smitte i populasjonen, samt unngå spredning av smitte mellom anlegg.

Lakselus er en krevende parasitt i konvensjonelt oppdrett. Det er viktig at offshore oppdrett sikrer at lus forebygges. Det bør legges vekt på forskning som vurderer forebyggende metoder mot lakselus tilpasset offshore miljø.

FoU-oppgave:

Etablere metoder tilpasset offshore miljø som kan forebygge mot lakselus, samt forebygge spredning til andre anlegg.

2.2.7 Nye metoder for fiskehåndtering og ny teknologi som sikrer velferd

Håndtering av fisk er ansett som den mest kritiske operasjonen gjennom produksjonsfasen. Ved oppdrett offshore må man utvikle løsninger som kan håndtere vær og konstruksjon. Det er viktig at alle teknologiske løsninger er utprøvd og testet velferdsmessig forsvarlig for fisk (iht. dyrevelferdsloven og akvakulturdriftsforskriften). De tekniske innretningene skal være tilpasset og hensynta laksen og operabilitet 24/7 i et røft miljø. Det må utvikles:

- Metodikk som dokumenterer fiskens velferd i nye innretninger, utstyr og konstruksjoner.
- Identifisere grenseverdier for laks ved håndtering.
- Kontinuerlig velferd og helsemonitorering, herunder lus, velferdsindikatorer, adferdsendringer og lignende.

FoU-oppgave:

Utvikle metodikk som sørger for uttak av store mengder fisk uten velferdsmessig påvirkning i et røft miljø. Her er økt kunnskap om toleransegrenser for fisk med hensyn til tetthet, varighet, belastninger osv. svært viktig.

2.2.8 Robotikk for fisken

Et krav for forsvarlig og biosikker drift er at man til enhver tid kan fjerne syke/døde/svake individer underveis i produksjonen. Dette representeres en betydelig robotikk-utfordring for å kunne gjøre dette på en sikker og forsvarlig måte. Det er videre viktig å utvikle metodikk for vasking av konstruksjoner og not og forsvarlig fjerning av organisk materiale fra struktur.

FoU-oppgave:

Utvikle robotikk som kan detektere og fjerne svake/syke/døde fisk så raskt som mulig underveis i produksjonssyklusen. Videre må det utvikles robotikk for effektiv vasking og rengjøring av notvegg og bunn, samt skrog.

2.2.9 Digital tvilling for den biologiske prosessen

Et langsiktig mål for fremtidens havbruksnæring er å utvikle en, eller et sett med digitale tvillinger for biologiske prosesser i havbruk. Disse vil være en kombinasjon av matematiske modeller, observasjoner på individ- og gruppenivå og data fra miljøsensorer som vil gi en felles beskrivelse av tilstanden til hele populasjonen i et anlegg.

Slike verktøy kan brukes til å besvare svært mange viktige forskningsspørsmål som beskrevet ovenfor. I tillegg vil en digital tvilling utviklet for den biologiske prosessen i havbruk kunne benyttes som en Digital Assistent, altså som beslutningsstøtte for operatører under gjennomføring av de forskjellige operasjonene som gjøres på anleggene.

FoU-oppgave:

Utvikle en digital tvilling for den biologiske prosessen i havbruk. Dette er et langsiktig mål for fremtidens havbruksnæring.

2.2.10 Personell og utdanning

På grunn av alt som er nevnt ovenfor, både når det gjelder endrede produksjonsforhold og langt høyere grad av automatisering, så vil man ha behov for personell med kompetanse og ressurser nok til å ivareta fiskevelferden til oppdrettsfisken samtidig som de håndterer biosikkerhet og det ytre miljøet.

FoU-oppgave:

Utvikle tilpassede utdanningsløp for personell som skal operere og drifte de høyt automatiserte havbruksanleggene til havs.

2.3 Teknisk standard og drift

Nye konsepter som Ocean Farm 1 (SalMar Aker Ocean) og Havfarmen (Nordlaks) viser at nye anleggsdesign og et mer krevende miljø vil kreve nye løsninger og en annen metodikk for utvikling og drift av anleggene. Dette vil også gjelde fartøy og annet utstyr som inngår i operasjonene ved anlegget.

I dette avsnittet beskrives FoU-behov relatert til anleggsdesign, den tekniske standard anlegg skal forholde seg til, samt driften av slike anlegg til havs.

2.3.1 Teknisk standard

Selv om det i dag finnes en norsk teknisk standard for havbruk (NS9415), er denne utviklet med hensyn på konvensjonelle anlegg på skjermede lokaliteter. Det er derfor sannsynlig at de andre konstruksjonstypene og mer krevende miljøforholdene på havbaserte lokaliteter vil kreve et nytt regelverk, enten i form av en revidert versjon av NS9415 eller en helt ny standard. Etableringen av en slik standard vil være et konkret hjelpemiddel for å sikre at anlegg designet for havbasert oppdrett kan opereres under miljøforholdene til havs og sikre mot uønskede hendelser som rømming og anleggshavari.

Videre er dagens servicefartøy, brønnbåter, fôrfartøy og andre fartøy ikke designet for å operere under miljøforholdene man finner offshore, noe som også vil kreve innsats på utviklingen av nye tekniske standarder for fartøysdesign. I dette arbeidet vil overføring av kunnskap fra eksisterende offshoreindustri være nyttig. Siden flere av disse fartøyene vil opereres av aktører fra forskjellige ledd i produksjonsskjeden, vil dette kreve mobilisering, samarbeid og en felles innsats på tvers av næringen.

FoU-oppgave:

Undersøke hvilke tekniske standarder som gjelder, og hvilke nye som må utvikles for anlegg og servicefartøyer med hensyn til hvilke kriterier og grenseverdier som vil gjelde.

2.3.2 Marine konstruksjoner og hydrodynamikk

Fremtidige anlegg til havs vil kunne kombinere fleksible komponenter (f.eks. not og tau) med rigide konstruksjoner, og sannsynligvis være betydelig større enn dagens konvensjonelle anlegg. Det vil derfor være viktig å fortsette å studere interaksjonene mellom fleksible og rigide konstruksjoner for å sikre robuste anlegg. Viktige verktøy i slik forskning vil være en kombinasjon av laboratorieeksperimenter for å undersøke detaljer i materialinteraksjoner, fullskalastudier for å kartlegge bevegelser for anlegg til sjøs, samt numeriske analyser. Det er behov for å ta hensyn til fysiske, miljømessige og teknologiske utfordringer, for å forbedre design av anlegg, og hvordan disse driftes slik at en kan garantere anleggsintegritet, gi gode forhold for fisken og øke operasjonsgrensene for derved å øke produktivitet og bærekraft.

FoU-oppgave:

Studere interaksjon mellom fleksible og rigide konstruksjoner og å videreutvikle måle- og overvåkningssystemer for å unngå skader og uønskede hendelser som for eksempel rømming.

Et viktig ledd i forskningen på dette området vil være fysisk og matematisk modellering av slike systemer. Dette kan omfatte skalering av modelltester i lab når hydroelastisitet eller viskøs strømming har betydning, og numeriske prediksjoner av vannstrømmen gjennom not. Dette kan også kreve nyutvikling ettersom dagens mest avanserte numeriske verktøy og laboratorier for hydrodynamiske studier er begrenset både kostnadmessig og med tanke på pålitelighet når en kjører scenarier der komplekse systemer skal interagere med miljøet og fisken. Dette gjelder spesielt når ulineære forhold oppstår, noe som typisk kan skje når et avanserte anlegg utsettes for irregulære bølger og strøm.

FoU-oppgave:

Utvikle nye teoretiske og numeriske verktøy, samt metoder for modelltesting (f.eks. hybride metoder) som gir effektive og pålitelige analyser av havbruk-sanlegg til havs.

2.3.4 Operasjon av havbruksanlegg til havs og operasjonsvindu

Det vil bli svært viktig å utvikle nye eller revidere eksisterende metoder for operasjonsgjennomføring til havs. Slike operasjoner må sikres gjennomført på biologiens og fiskens premisser. Det finnes eksempler fra konvensjonelt fiskeoppdrett der en har opplevd betydelig dødelighet etter håndteringsoperasjoner, og da spesielt operasjoner som involverer trenging. Slike operasjoner vil også måtte gjøres i havbruk til havs, og grunnet forholdene på slike lokaliteter og anleggenes strukturelle egenskaper og fysiske skala, vil kreve utvikling av ny teknologi og etablering av nytt regelverk for å kunne gjennomføres på en trygg måte.

Værvindu og operasjonsplanlegging. For å sikre seg at en unngår å overskride begrensninger ved operasjoner, må en søke å finne operasjonsvinduer hvor de enkelte operasjonene kan gjennomføres. Det må utvikles beslutningsstøttesystemer som gjør det mulig å foreta en konkret risikovurdering og definere operasjonsvinduer ut fra grenseverdier for akseptabel risiko. System for overvåking og kontroll av operasjonen må etableres for å sikre at en holder seg innenfor akseptabel risiko. Dersom det oppstår uforutsette forhold så en kommer utenfor operasjonsvinduet, må en ha rutiner for beredskap.

Beregningene av værvindu må koples tett opp mot aktuell værtilstand og spesielt værvarsel. Et eksempel: Hvis man planlegger å starte en operasjon som er avhengig av godt vær, f.eks. lav bølgehøyde og lite vind og som vil vare i minimum 4 timer, så er det ikke tilrådelig å starte denne hvis værmeldingen viser at vinden vil øke til kuling styrke om 2 timer.

Operasjonsvindu og brukergrensesnitt. All informasjonen som er relatert til operasjonsvindu må presenteres i et brukergrensesnitt som gir operatører best mulig beslutningsstøtte. Så lenge alt går bra innenfor de kriterier som er gitt, er det minimalt med informasjon som trengs. Operatøren trenger beskjed fra systemet tidsnok til å unngå farlige situasjoner. Brukergrensesnittet for å vise flerdimensjonale bevegelser kan være utfordrende. For mange forhold vil en klare seg med alarmer som utløses når bevegelsene overgår definerte akseptkriterier.

FoU-oppgave:
Forbedre operasjonsplanlegging og beregning av værvindu for forskjellige typer operasjoner.
Utvikle intuitive brukergrensesnitt som gir best mulig beslutningsstøtte.

2.3.5 Marine operasjoner og fartøy

Selv om en teknisk standard ikke vil dekke fartøysdesign, er det trolig mulig å overføre en del kunnskap fra allerede etablert offshoreindustri her. Siden flere av disse fartøyene vil opereres av aktører fra forskjellige ledd i produksjonskjeden, vil dette kreve mobilisering, samarbeid og en felles innsats på tvers av næringen.

Et annet overordnet mål for forskningen vil være å utvikle nye eller revidere eksisterende metoder for operasjonsgjennomføring til havs ettersom det trolig er vanskelig å overføre dagens praksis ved konvensjonelt havbruk direkte til havbruk til havs. Slike operasjoner må også sikres gjennomført på fiskens premisser. Det finnes eksempler fra konvensjonelt fiskeoppdrett der en har opplevd betydelig dødelighet etter håndteringsoperasjoner, og da spesielt operasjoner som involverer trenging.

Slike operasjoner vil også måtte gjøres i havbruk til havs, og grunnet forholdene på slike lokaliteter og anleggenes strukturelle egenskaper og fysiske skala, vil kreve utvikling av ny teknologi og etablering av nytt regelverk for å gjennomføres på en trygg måte.

Marine operasjoner er et uttrykk som omfatter installasjon og drift av marine konstruksjoner og systemer og bør også være et eget forskningstema ettersom operasjonsfilosofi (CONOPS) til havs vil være forskjellig fra i fjordene. Hovedmålet med en slik filosofi vil være å sørge for at operasjoner blir utført på riktig måte og til riktig tid hver gang så en unngår utfordringer som følge av uforutsette hendelser. Et sentralt element i dette arbeidet vil være å fasilitere en situasjonsforståelse for operatøren som muliggjør gjennomføring av daglige nødvendige oppgaver som tilsyn til fisken og føring. Dette vil kreve en forskningsinnsats innen integrasjon av sensorikk og prediktive modeller slik at disse gir et felles bilde for operatøren, samt hvordan operasjoner skal gjennomføres på høyt nivå.

Med maritime operasjoner tilknyttet havbruk menes hele den marine delen av verdikjeden som er knyttet til produksjon av sjømat, spesielt operasjoner knyttet til installasjon og drift av oppdrettsanlegg i sjøen og transport av levende fisk. Dette omfatter for eksempel forankring, føring, avlusing, fartøyer til bruk ved utsett av smolt og laksetransport m.m.

Båtanløp og Dynamisk Posisjonering (DP). Båtanløp må skje uten å skade anlegget. Dette kan gjøres ved å ha sikker fortøyning eller ved bruk av dynamisk posisjonering (DP). Bruk av dynamisk posisjonering er vanlig på en rekke områder innen offshore

olje & gass virksomhet og bør bli et krav for servicebåter som skal operere ved og i nærheten av havbasert anlegg. Et viktig krav her er kontaktfri operasjon og at en holder en definert minsteavstand til anlegget. Videre at fartøyet drifter bort fra anlegget ved feil som gjør at posisjonen ikke kan opprettholdes. Det er videre viktig å utrede hvilke krav til oppetid og redundans som skal settes for DP systemene ombord og dermed også til hvilken DP-klasse disse må ha for å operere ved havbaserte anlegg.

Brønnbåter. Brønnbåter er store og avanserte fartøy som representerer store krefter og verdier og som brukes for levering av smolt til sjøanlegg og levende fisk til slakteri. De eksisterende brønnbåtene laster over siden. De nye og større fartøyene vil etter hvert gå over til å laste over baugen. Tilpasning ved bruk av relativ dynamisk posisjonering blir spesielt viktig for brønnbåter som skal operere ved havbaserte anlegg. I forbindelse med henting av fisk, er det behov for trenging av fisken og overføring via slange. Dette er operasjoner som representerer en fare for rømming.

Fôrbåter. Dette er store fartøy som leverer fôr til fôrsiloer på anleggene. Spesielt i dårlig vær vil det kreve kontroll med bevegelser og krefter. En må sikre seg at fartøyer ikke representerer en fare for fôrflåter eller anlegg, f.eks. ved bruk av dynamisk posisjonering. Fartøyer som anløper anlegg går gjerne mellom mange anlegg. Ruteplanlegging og logistikk blir derfor viktige områder.

Laste- og losseoperasjoner omfatter smolt, fôr, fisk og utstyr. Til dette brukes det kran eller slange, og en trenger kontroll med bevegelser og krefter. Her trenger en god planlegging og informasjon om værvindu basert på definerte terskelverdier

Avhengig av hvilken metode som benyttes, vil beslutningstøtte i form av værvindu være viktig da avlusing kan være en risikofylt operasjon for fisken som stiller store krav til værforhold.

FoU-oppgaver:

Utarbeide krav til design, operasjon og eventuell klassing av servicefartøyer som skal benyttes i havbasert oppdrett.

Presisere hvordan krav skal håndteres mellom kontraktspartene: Utvikling av metodikk for å oppnå delt situasjonsforståelse mellom alle aktørene som inngår i maritime operasjoner er svært viktig. Utvikle lovverk og kontraktshåndtering

2.4 Automatisering, digitalisering og menneskenes rolle

Økt automatisering av operasjoner på havbruksanlegg vil kreve forskningsaktiviteter innen en lang rekke områder.

2.4.1 Robotikk og fjernstyring

Et viktig element innen automatisering vil være økt bruk av mobile plattformer som beveger seg i merdvolumet og kan gjennomføre inspeksjon og lette intervensjonsoppgaver. Slike verktøy er allerede i bruk av dagens industri i form av ubemannede og fjernstyrte undervannsfarkoster/roboter som brukes til vaske- og inspeksjonsoppdrag. Det er imidlertid et stort uforløst potensial i hvilke oppgaver en kan se for seg slike systemer kan løse, og i hvor stor grad de kan gjennomføre slike operasjoner autonomt.

Et annet viktig element er såkalte intelligente konstruksjoner, dvs. konstruksjoner som ved hjelp av datakraft og andre hjelpemidler eksempelvis kan sende informasjon om egen tilstand til kontrollsystemet ombord og til land, eller gjennomføre mindre operasjoner som heving/senkning av not. Slike løsninger har i liten grad blitt uttestet ved konvensjonelt havbruk, mye grunnet at slike løsninger er vanskelige å gjennomføre på en trygg og pålitelig måte på fleksible konstruksjoner. Ved havbruk til havs vil dette bildet endre seg ettersom konstruksjonene i større grad vil ha rigide komponenter som forenkler monteringen av eksempelvis vinsjer og sensorikk.

Selv om forskningsaktiviteten innen robotikk i havbruk er økende, vil det være nødvendig med økt innsats på dette området ettersom steget fra fjernstyrt til autonom operasjon under vann er krevende. Automatiserte operasjoner ved hjelp av intelligente konstruksjoner og roboter vil kreve utvikling av nye metoder innen overvåking og styring, som internet of robotic things. Det vil være viktig å sørge for at en klarer å samle de data en trenger for å gjennomføre slike operasjonene, samt at en utvikler metoder for automatisert beslutningsstøtte som lar konstruksjonene/farkostene og ikke minst operatørene ombord og i land nyttiggjøre seg disse data.

Automatiseringen medfører at tradisjonelle juridiske rettsregler må tas opp til fornyet vurdering. Regelverket må tilpasses større bruk av automatisering samt digital styring og rapportering. Det gjelder særlig regler om internkontroll; ansvarssubjekt både mellom private aktører og overfor myndighetene; utformingen av rapporteringskravene og kontrollen; samt både offentlige- og private sanksjoner ved overtredelse av regelverket.

FoU-oppgave:

Utvikling av havbruksrobotikk og automatiserte operasjoner.

Tverrfaglig forskningsaktivitet innen robotikk, automasjon, autonomi, sensorikk, kybernetikk, interaksjonsdesign, juss og ikke minst innen biologi.

2.4.2 Beslutningsstøtte og situasjonsforståelse

Vi omgir oss med stadig mer automatiserte og autonome systemer, som droner i lufta, på land og på sjøen, autonome skip, selvkjørende biler, høyt automatiserte oppdrettsanlegg osv. Uansett hvor pålitelige og sikre slike systemer er, så vil de før eller siden enten feile eller det vil oppstå situasjoner i omgivelsene (for eksempel ekstremvær) som fører til feilsituasjoner. Det store spørsmålet blir da om mennesket er i stand til å overta kontrollen og forbli i «loopen».

«The Paradox of Automation» sier at desto mer avansert, pålitelig og velfungerende et automasjonssystem er, desto viktigere blir operatøren. Dette virker jo unektelig som et paradoks ved første øyekast, men vår inngripen og håndtering av en situasjon blir desto mer viktig desto mer avansert automasjonssystemet er. Vi automatiserer de enkleste, regelstyrte rutineoppgavene, mens de krevende kognitive oppgavene overlates fortsatt til mennesker.

Ved at vi automatiserer prosesser og handlinger som tidligere ble manuelt utført gjør at vi flytter menneskene over i en annen rolle til å fungere som overvåker og forberedt til å overta når automatikken feiler. En konsekvens av automasjonsparadokset er derfor at operatører av automasjonssystemer må opparbeide seg ferdigheter i å håndtere feilsituasjoner for å «være i loopen». På sikt bør det utvikles visse (minste)standarder som kan legges til grunn juridisk i spørsmål som nevnt over i 3.3 om tilpasning av regelverk.

FoU-oppgave:

Design og utvikle systemene med tanke på å gi operatørene og brukerne og systemene selv optimal situasjonsforståelse og støtte til å ta de beste beslutningene og til å iverksette de beste aksjonene både i normal drift, men i særdeleshet når feil oppstår eller når automatikken ikke klarer å løse oppgavene.

Beslutningsstøtte er et stort og omfattende begrep som får stadig økt oppmerksomhet etter hvert som graden av automatisering og kompleksitet øker innenfor omtrent alle områder i samfunnet vårt. Begrepet omfatter ikke bare støtte til menneskelige kognitive prosesser, men i økende grad også til hvordan programmere korrekt beslutningstaking med påfølgende aksjoner i automasjonssystemer og spesielt for autonome systemer av forskjellig karakter. Dette gjelder ikke bare i normale, dagligdags situasjoner som for eksempel under fôring, men spesielt når feilsituasjoner oppstår.

For noen i spesielle yrkesgrupper kan forskjellen på en god og en dårlig beslutning få dramatiske konsekvenser og i verste fall tap av menneskeliv, store materielle skader eller økonomiske tap. En engelsk betegnelse på mennesker i disse yrkesgruppene er Critical Time Decision Makers (CTDM) og eksempler på disse er flyvere, styrmenn, leger, finansanalytikere etc. Operatører, både de som er ombord på fremtidens høyt automatiserte havbruksanlegg og de som er i land og i andre deler av driftsorganisasjonen er utvilsomt i denne kategorien mennesker.

Noen av hovedårsakene til dette er at anleggene som vil bli utviklet og installert langt til havs vil bli langt større, inneholde langt mer fisk, ha langt mer komplekse, automatiserte systemer samt være utsatt for tøffe værforhold. Konsekvensene av å ta feil beslutninger og aksjoner i en gitt situasjon vil derfor kunne ha langt mer kritiske konsekvenser enn for mer tradisjonelle, kystnære anlegg.

God situasjonsforståelse er en forutsetning for å kunne ta gode og tidsriktige beslutninger. Dette gjelder både for mennesker og i like stor grad for maskiner og autonome systemer. På engelsk kalles begrepet for Situation Awareness (SA) og har en formell definisjon som deles i tre segmenter: 1) persepsjon, det vil si oppfatning av elementene i miljøet, 2) forståelse av den aktuelle situasjonen du er i og 3) projeksjon av fremtidig status. Dette fører så til en beslutning med påfølgende aksjon. Manglende eller utilstrekkelig situasjonsforståelse har blitt identifisert som en av hovedfaktorene i ulykker som tilskrives menneskelige feil.

Grunnlaget for å oppnå god SA er at man har intuitivt forståelig visualisering av situasjonen og at operatørene har opparbeidet seg mentale modeller gjennom praktisk erfaring og ferdigheter ved bruk av realistiske simulatorsystemer.

Visualisering av situasjonen, både når det gjelder biomassen, ytre miljø og tilstand på eksempelvis maskiner og automasjonssystemer er, som nevnt viktig for å oppnå adekvat SA. Dette gjelder nåværende situasjon og ikke minst predikert utvikling av f.eks. været. Visualisering av undervannssituasjonen i et oppdrettsanlegg er en spesielt utfordrende oppgave siden vi ikke kan benytte noen av våre egne sanser for å skaffe oss dette situasjonsbildet som er nødvendig for å observere hvor fisken befinner seg og hvilken atferd den har. Vi er derfor avhengig av en stor mengde forskjellige sensortyper som eksempelvis undervannskamera, hydroakustiske sensorer, miljøsensorer osv., og avanserte algoritmer for å sette sammen data i tid og rom fra forskjellige informasjonskilder før den visualiseres og benyttes som input til for eksempel atferdsmodeller.

FoU-oppgave:

Utvikling av metoder og teknologi for visualisering av undervannssituasjonen som er nødvendig for å oppnå best mulig forståelse for situasjonen under vann i store, offshore havbruksanlegg.

2.4.3 Sensorikk og menneske/maskin-interaksjon

Operasjonskonseptene (CONOPS) for både anlegg og servicefartøyer til havs vil være forskjellig fra kystnærtoppdrett. Nye operasjonskonsepter vil bli basert på en høyere grad av instrumentering, overvåking, automatisering og ikke minst forskjellige former for beslutningsstøtte til operatørene. En forutsetning for god beslutningsstøtte er, som nevnt å gi operatørene best mulig situasjonsforståelse. Dette gjelder hver enkelt operatør og ikke minst å gi et team delt og felles situasjonsforståelse.

FoU-oppgave:

Kunnskap om situasjonsforståelse gjennom integrasjon av sensorikk og prediktive modeller for operatørene på forskjellige nivåer (inkludert ombord i servicefartøyer) som muliggjør gjennomføring av daglige nødvendige oppgaver som tilsyn til fisken og føring i tillegg til adekvat reaksjon og håndtering av feilsituasjoner.

Utviklingen av gode og intuitive brukergrensesnitt eller menneske/maskin-interaksjon (MMI) vil ha avgjørende innvirkning på om de høyt automatiserte systemene vil bli akseptert og brukt av brukerne. Tillit til automasjonssystemene er et nøkkelord her og det er viktig at brukerne selv spiller en viktig rolle ved videreutvikling av menneske/maskin-grensesnitt når det gjelder å finne gode løsninger tilpasset brukerens behov og kompetanse.

Menneske/maskin-interaksjon (MMI) er studien omkring interaksjonen (samhandlingen) mellom mennesker (brukere) og datamaskiner. De viktige elementene ved denne samhandlingen involverer utformingen av både maskinvare og programvare, og resulterer i et «produkt» hvor bl.a. estetikk, brukervennlighet, ergonomi, kognitiv teknologi, design, psykologi og sosiologi spiller en stor rolle for hvordan sluttbrukeren oppfatter samhandlingen. Det er utfordringer knyttet til samspillet mellom brukerens kompetanse, hans operative hverdag og nye teknologiske systemer. Det er store forskjeller på brukere og dette er noe en må ta hensyn til ved utforming.

Hensiktsmessig utforming av menneske- maskin grensesnittet er en forutsetning for effektiv bruk av informasjon. Det er ønskelig å ha modulære løsninger som i størst mulig grad kan bygges sammen til integrerte system. Et eksempel er integrerte brosystemer, trafikksentraler o.l.

Det er lett å drukne i informasjon som en kanskje ikke helt vet påliteligheten av. For at ikke det skal bli en hemsko og risikofaktor, trengs det effektive, situasjons- og brukertilpassede informasjonsfilter. Informasjonen må sjekkes og tilrettelegges for bruk til det aktuelle behov. Det må være en grundig avveining av hva som kan og skal automatiseres, og hvilke sikkerhetsrutiner en har ved teknologisk svikt eller ved feilaktig eller manglende informasjonen av systemer og rutiner for bruk av systemer.

Den raske teknologiske utviklingen stiller også store krav til grunnutdanning og videreutdanning. Med referanse til det som er tidligere skrevet om automasjonsparadokset, så må brukeren må være i stand til å takle situasjoner selv om deler av det teknologiske utstyret svikter.

2.4.4 Erfaringsbasert, taus kunnskap til algoritmene

Føring gjøres i hovedsak i dag ved at erfarne røktere observerer fiskens atferd og pellets ved hjelp av undervannskamera og bestemmer start, stopp ut fra dette. Det er per i dag få automatiserte føringssystemer som «lukker loopen» automatisk, men dette er et klart mål å utvikle. Et forskningsområde som vil få økt betydning er hvordan å overføre erfaringsbasert, såkalt taus kunnskap som erfarne operatører har opparbeidet seg til algoritmene og automasjonssystemene. Dette området tilskrives ofte utviklingen av kunstig intelligens, men sett i relasjon til automasjonsparadokset beskrevet ovenfor, så er det viktig å utvikle algoritmer for beslutningstagning som er transparente og «forklarlige».

En av mange metoder som er under utvikling for dette er Case-Based Reasoning. Dette er en metode som etterligner hvordan vi mennesker resonnerer og tar beslutninger. Nå vi står ovenfor en situasjon som krever at vi tar en beslutning med tilhørende aksjon, så forsøker hjernen å lete fram til om vi har opplevd en tilsvarende situasjon («case») og hvilke valg vi da gjorde og hvilket utfall og resultat det hadde. Vi velger da som oftest det tilfellet som samsvarer best med den aktuelle situasjonen og som ga best resultat.

FoU-oppgave:

Utvikle metodikk som kan fungere som beslutningsstøtte for operatørene ved gjennomføring av de forskjellige operasjoner og som på sikt kan bygges inn i automasjonssystemene. Et typisk eksempel på dette er å utvikle føringssystemer som kan fjernstyres og "lukke loopen" og som kan opptre autonomt i perioder hvor været ikke tillater menneskelig tilstedeværelse ombord.

2.5 Arbeidstakernes helse, miljø og sikkerhet

Selv om automasjon og mekanisering kan bidra til å redusere behovet for rent manuell arbeidskraft, vil det å sikre personellens forhold innen helse, miljø og sikkerhet (HMS) være vel så viktig på havbaserte lokaliteter som nært land. Kreftene fra både naturgitte forhold og store konstruksjoner ved slike lokaliteter øker også risikoen ved det manuelle arbeidet. Det vil kunne oppstå nye og lite kjente faremomenter som kan ha større konsekvensomfang sammenlignet med lokaliteter nært land.

2.5.1 Sikkerhetsnivå

Personell skal kunne utføre daglig drift om bord samt entre anlegget på en sikker måte. Sikkerheten må være på et nivå som gjenspeiler de faktiske forhold og hvilke krav som bør stilles til opplæring og kompetanse om bord. Alle operasjoner som foregår med personell vil kreve samspill mellom menneske, teknologi, organisasjon og biologi.

FoU-oppgave:

Kartlegge eksisterende farer i oppdrettsnæringen samt nye farer lengre ut på havet for å danne et godt grunnlag for å avgjøre sikkerhetsnivået. Utrede forutsetninger, muligheter og barrierer knyttet til ulike risikoscenarioer som havari, brann, algeoppblomstring, massedød etc. med vekt på samarbeidsordninger på tvers av næringer, i havbruksnæring, forpliktende avtaler i og mellom næring, og med myndigheter.

2.5.2 Helse, miljø og sikkerhet

For å sikre personellens forhold innen helse, miljø og sikkerhet (HMS) på havbaserte lokaliteter vil det bli avgjørende å utvikle et regime med gode skiftordninger, hvileforhold, kompetanse, redundans i bemanning og andre forhold som gjør at personellet kan være årvåkne under operasjonene. Arbeidsvilkårene og operasjonene må planlegges på en grundig måte, og vil muligens ligne mer på petroleums- eller sjøfartsvilkårene enn på dagens havbruk (jmf. seksjon 5.3 om drift). Reguleringen må dermed endres og videreutvikling av standarder om hva som må gjøres av utredninger før anlegg kan settes i drift.

FoU-oppgave:

Utvikle kunnskap om gode skiftordninger, hvileforhold, kompetanse, redundans i bemanning og andre forhold som gjør at personellet kan være årvåkne under operasjonene.

2.5.3 Beredskap

Tilsvarende vil det også være behov for å opprettholde en form for beredskap som kan sikre personell dersom uønskede hendelser eller situasjoner oppstår. Siden direkte intervensjon ikke nødvendigvis vil være mulig til enhver tid vil slike tiltak trolig måtte være en kombinasjon av aktive (f.eks. utrykningsfarkoster) og passive (f.eks. soner der personellet kan søke sikkerhet under uvær) tiltak. Synergi og sameksistens med andre aktiviteter på Norskehavet kan være avgjørende for å ivareta personell i en beredskapssituasjon. Det bør gis nærmere regler om slike nødsituasjoner, som presiserer tradisjonelle nødrettsregler.

FoU-oppgave:

Kartlegge det totale risikobildet for personell ved å drive oppdrett til havs og dermed ha det som bakgrunn ved utarbeidelse av risikostyring, sikkerhetsnivå og beredskapskapasiteter det er behov for. Reglene må sikre samordning med andre sentrale hensyn og ulike faser av virksomheten. Kunnskap om tilgang på reserve-kapasitet - utstyr, personell, båter.

2.5.4 Ferdighetstrening og simulatorer

Trening av piloter har i en årrekke vært basert på bruken av realistiske simulatorer og har i de siste årene også fått stor utbredelse innen skipsfart. Det vil få svært stor betydning etter hvert som høyt automatiserte oppdrettsanlegg blir installert.

Det som i første rekke er målet med ferdighetstreningen i realistiske simulatorsystemer, er å kunne automatisere så mye som mulig av både beslutningstaking og aksjoner i de forskjellige situasjonene som kan oppstå.

FoU-oppgave:

Utvikle simulatorsystemer og treningsopplegg som er spesialtilpasset de nye produksjonsfasilitetene for havbruk til havs og teamene som skal operere og betjene disse.

2.6 Ytre miljø

Det finnes en rekke ukjente faktorer ved interaksjonen mellom havbruk til havs og det ytre miljø.

Rømming har vært en av de største innvendingene mot kystnært havbruk. Selv om det å flytte produksjonen lenger fra kysten fører til større avstand mellom anlegg og lakseelver, tilbringer laksen store deler av sitt voksne liv til havs. Det er ukjent hvorvidt dette betyr at rømming fra havbaserte lokaliteter også kan medføre blanding av vill- og oppdrettsfisk. Havbaserte lokaliteter må produsere mer fisk per enhet for å være lønnsomme. Dette medfører implisitt at antallet fisk som forsvinner under rømmingshendelser eller i verste fall anleggshavari kan bli betydelig større enn for konvensjonelle merder. Det er dermed viktig å anse rømming og hindring av rømming som et svært viktig element i havbruk til havs.

Miljøinteraksjoner. Viktige miljøinteraksjoner som lus, parasitter, patogener og utslipp av næringsstoffer, er i stor grad knyttet til sirkulasjonen på lokaliteten, både med tanke på hvordan anlegget påvirker disse, og hvordan eksterne nivå på disse påvirker fisken i anlegget. Selv om havbruk til havs trolig vil ha større avstander mellom anlegg, mer konsistente strømmønstre, og spredning i større vannvolum er det lite er kjent om hvordan denne dynamikken vil være.

Utslipp. Det finnes også lite kunnskap om hvordan utslipp av næringssalter, fekaller o.a. vil påvirke lokale næringskjeder til havs. En trenger også mer kunnskap om effektene av uorganiske utslipp som mikroplast og not-impregneringsstoffer på lokal flora og fauna ettersom nyere studier har vist at disse kan ha større biologisk påvirkning en tidligere antatt.

Klimaendringer. Et annet element som er helt sentralt når det gjelder interaksjon med ytre miljø er klimaendringer ettersom mange miljøfaktorer som er sentrale for fiskeproduksjon (primær temperatur og oksygen) er følsomme for dette. Endrede klimaforhold på stor skala kan også kunne påvirke større strømningsmønstre til havs, noe som kan gi store konsekvenser på lang sikt.

Tilpasning av regelverk. Det bør forskes på i hvilken utstrekning gjeldende regelverk for sentrale faktorer som i tradisjonelt kystnært oppdrett som nevnt over er egnet for havbruk til havs. Forskningen bør ta hensyn til Regjeringens varslede arbeid om en sektorovergripende havmiljølov; med særlig henblikk på å identifisere og samordne særskilte spørsmål for havbruk. De mange forskriftene som stiller krav til driften bør vurderes forenklet eller ikke gjort gjeldende utenfor grunnlinjen, med formål om å gi mer spesialiserte og velegnede driftsregler for miljøhensyn til havs.

2.6.1 Effekter av rømming fra havbaserte anlegg

Selv om det har blitt gjort tidligere studier på effekter av rømt fisk fra kystnære lokaliteter, har dette vist seg å være et vanskelig forskningsfelt ettersom det er krevende å spore fisken over tilstrekkelig store områder etter simulert rømming. Denne problematikken vil sannsynligvis være enda mer utfordrende med havbruk til havs siden det potensielle utbredelsesområdet etter rømming her vil være betydelig større. En konkret forskningsaktivitet her vil derfor være å frembringe ny metodikk for å spore eller oppdage rømt fisk fra anlegg. Etableringen av en robust metodikk for dette vil videre kunne føre til målrettede studier for å undersøke konsekvensene av slike hendelser. Her kan en se for seg å bruke tilsvarende metodikk som har vært forsøkt for kystnært havbruk, der en simulerer rømming med et sett markørfisk som slippes ut, og siden registrerer hvor disse ender opp til slutt.

Gjeldende reguleringer om forhindring av og tiltak ved rømming bør analyseres juridisk med henblikk på behov for tilpasninger til havbruk til havs. Det gjelder både tekniske krav til anlegg, gjenfangstplikten og den økonomiske ansvarsfordelingen.

FoU-oppgave:

Frembringe ny metodikk for å spore og/eller oppdage rømt fisk fra anlegg og videre undersøke konsekvensene av slike hendelser.

2.6.2 Utslippsmodeller

Et forskningsmål på dette FoU-området vil være å frembringe nye løsninger for overvåking og estimering av utslipp fra havbaserte anlegg, herunder lus, patogener, mikroplast og næringsstoffer fra fôr/faeces. Tilsvarende vil det også være ønskelig å estimere eller måle fiskens oksygenforbruk for å evaluere hvordan produksjonen påvirker lokal oksygenmetning.

I tillegg målinger, vil utslippsmodeller som kan predikere både mengde og utbredelse av utslipp fra anlegg være viktige verktøy for å vurdere vekselvirkninger med lokalt/regionalt miljø, samt hvor stort «nedslagsfeltet» nedstrøms fra anlegget er (dvs. hvor godt eventuelle utslipp spres i vannmassene).

Slike modeller kan typisk utvikles med basis i oseanografiske og økologiske modeller som gir estimater på strømning og sirkulasjon i og rundt anlegget, en metodikk som tidligere har blitt brukt til å studere både økologisk dynamikk og spredning av lus i kystnære områder. En konkret forskningsoppgave vil derfor være å utvikle/videreutvikle oseanografiske og økologiske modeller som gir høy nok oppløsning og detaljnivå for områdene en planlegger oppdrett til havs. I tillegg vil slike modeller måtte utvides til å kunne modellere spredningen av parasitter, patogener, mikroplast og næringsstoffer, og ikke minst oppdateres med observasjoner fra sensorbærende plattformer, ref. Kap. 2.1. Denne typen verktøy kan benyttes til å estimere vekselvirkninger med annen industri f.eks. olje og gass og fiskeri, for å bedre vurdere sameksistens.

FoU-oppgave:

Utvikle/videreutvikle oseanografiske og økologiske utslippsmodeller som gir høy nok oppløsning og detaljnivå for områdene en planlegger oppdrett til havs. Modellene må også omfatte hvordan spredningen av parasitter, patogener, medisiner, mikroplast og næringsstoffer skjer og oppdateringer fra observasjoner/målinger i rom og tid.

2.6.3 Deteksjon og varsling av ekstern miljørisiko

Et viktig forskningsmål er knyttet til risikofaktorer for produksjonen som skyldes omgivelsene og det ytre miljøet. Det første steget mot å få bedre oversikt over ekstern miljørisiko for produksjonen vil være å utvikle nye observasjonsmetoder for å måle eller estimere forekomster av alger, maneter, patogener og parasitter til havs ved bruk av observasjonspyramiden, ref. Kap. 2.1. Dette vil være betydelig mer krevende enn for kystnære lokasjoner siden vannvolumet som er relevant vil være betraktelig større. Her kan tidligere forskning på bruk av satellitter og luftdroner med kamera og hyperspektrale avbildere for å registrere algeoppblomstring legges til grunn. Det er imidlertid ikke sikkert at slike metoder vil være tilstrekkelige for å fange opp andre organismer like godt. Metoder som kan supplere dette arbeidet kan være såkalte «vessels of opportunity», dvs. å utstyre farkoster som ferdes i området en er interessert i med målesystemer som kan analysere vannprøver mens de gjennomfører operasjoner, eller permanente målestasjoner. Slike plattformer vil imidlertid bare gi målinger i deres umiddelbare nærhet, så det vil også være behov for å utvikle andre og nye løsninger for å skaffe et mer helhetlig bilde av slike faktorer.

FoU-oppgave:

Utvikle nye metoder og teknologi for å modellere, måle, estimere og prediktere forekomster av alger, maneter, patogener og parasitter til havs. I tillegg må det etableres systemer for varsling dersom en oppblomstring eller spredning måles eller predikteres.

2.6.4 Kombinasjon av datakilder

Alle de ovennevnte forskningstema har behov for data og informasjon som både kan skaffes av eksisterende målesystemer, og vil kreve utviklingen av nye systemer. Det er imidlertid også viktig at en sørger for at slike data blir anvendelige for beslutnings- og operasjonsstøtte, og da vil det ofte være behov for å syntetisere data fra forskjellige kilder i en felles holistisk beskrivelse. Dette er et område som vil kreve forskningsinnsats ettersom flere av datakildene som kreves har vidt forskjellige format og romlig/tidsmessig skala. Dette vil kreve forskningsinnsats på mange områder som estimering og dataassimilering, sensorikk, modellering og kunstig intelligens. Her kan en også hente inspirasjon og metodikk fra pågående arbeid innen utviklingen av den såkalte observasjonspyramiden. I dette arbeidet søker en å kombinere systemer som gir målinger som spenner fra global skala med grov oppløsning (typisk satellitter), via systemer som opererer med høyere oppløsning på regional skala (luftdroner) til systemer som opererer lokalt med høy oppløsning (overflatefarkoster og undervannsfarkoster). Det endelige målet med dette arbeidet kunne derfor vært utviklingen av en tilsvarende observasjonspyramide rettet spesifikt mot havbasert havbruk.

Det bør undersøkes hvordan et slikt arbeid kan samordnes med forvaltningens miljøkontroll, slik at vurderingene den gjør etter det såkalte «føre var-prinsippet», blir treffende, og ikke unødig forsiktig.

FoU-oppgave:

Studere og utvikle metodikk for å sy sammen data og informasjon fra forskjellige kilder til en felles holistisk situasjonsbeskrivelse og situasjonsbilde av miljøforhold.

2.6.5 Visualisering og brukergrensesnitt

Et felles forskningsmål for alle områdene ovenfor er å utvikle gode metoder for visualisering av situasjonsbildene og hvordan gjøre data og informasjonen anvendelig for beslutnings- og operasjonsstøtte. Informasjonen vil være dynamisk og variere over tid og rom og utviklingen av gode og intuitive brukergrensesnitt er derfor av helt avgjørende betydning for om informasjonen blir benyttet og oppfattet som nyttige verktøy i forbindelse med driften av havbruksanleggene. Informasjonen bør legges inn som lag i et kartsystem eller Geografisk informasjonssystem (GIS) og kombineres med digitale terrengmodeller, bunntopografi, værvarsel etc.

FoU-oppgave:

Utvikle gode og intuitive brukergrensesnitt med visualisering av situasjonsbildet i sanntid og prediktert utvikling av eksempelvis algeoppblomstring

2.7 Finansiering

Finansiering og sikkerhetsstillelse for havbruk til havs vil som ved de tekniske og operasjonelle aspektene være vesensforskjellig fra konvensjonelt kystnært oppdrett. Overordnet og mest nærliggende; i havbasert oppdrett vil de største investeringene ligge i de fysiske anleggene og i infrastrukturen, mens det i dagens oppdrett ligger i selve tillatelsene.

2.7.1 Risikoprofil

Følgelig vil også risikoprofilen være annerledes, med større usikkerhet knyttet til biologiske, operasjonelle og finansielle aspekter relatert til teknologi og anlegg, men med kanskje mindre usikkerhet for eksterne effekter som f.eks. påvirkning fra andre anlegg og aktører. Likevel vil det være slik at ikke bare verdien av installasjonene, men også verdien av fremtidig inntjening av produksjonen i dem – *i kraft av tillatelsen* – vil ha stor finansiell betydning. En kan derfor ikke underspille verdien på tillatelsene i denne sammenheng, noe en ser f.eks. i petroleumsnæringen hvor denne tillatelsens mer indirekte funksjon som svært sentral finansieringskilde, er fremtredende. Den samlede risiko (og gevinst) vil dessuten generelt sett være betydelig høyere enn for dagens konvensjonelle oppdrett de neste tiårene, både som følge av større investeringsbehov, og som en naturlig følge av at dette er nytt og uprøvd.

Disse utgangspunktene skaper et sammensatt juridisk problemkompleks som til alt overmål forutsetter lovendringer og inspirasjon fra andre sektorer, særlig petroleum og skipsfart. Sentrale spørsmål er hvilke rettighetsregister installasjonene skal registreres i, og forholdet mellom verdien i tillatelsen og installasjonen og annet driftstilbehør. Tilsvarende bør det utredes om det bør legges opp til en modell etter panteloven med «sompant» eller løsninger som er mer like «prosjektpantet» i petroleumsnæringen.

Offshore-installasjoner antas i mange tilfeller å ville ha lang levetid, opp mot 25 år eller mer, og finansieringens løpetid forventes til en viss grad å måtte reflektere dette. Levetiden vil innebære at det er sannsynlig at det også vil bli et annenhåndsmarked for slike konstruksjoner. Konstruksjonenes art og verdi tilsier derfor at det kan være behov for å kunne finansiere og enkelt pantsatte disse separat fra resten av den aktuelle virksomhets aktivamasse. Det samme gjelder også tilstøtende behov, som forsikring, mulighet for ulike eiere/leierett, tvangsrealisering med mer.

Når ulike finansinstitusjoner vurderer kredittverdighet, betjeningsevne mv., står den regulatoriske risikoen i virksomheten som skal finansieres sentralt. Det er derfor

svært viktig at reglene for finansiering samordnes på en treffende måte med andre regulatoriske og kommersielle krav, slik at enkeltelementer ikke motvirker hverandre.

2.7.2 Andre juridiske forhold knyttet til finansiering og sikkerhet

Det kan fort bli behov for en ikke ubetydelig grad av fremmedfinansiering og bruk av særlig spesialiserte tjenesteleverandører for havbruk til havs. Det vil gjelde både i innovasjonsfasen (se kapittel 3.2 om klyngessamarbeid); byggefasen; og driftsfasen. Reglene om finansiering mv. bør dermed ta hensyn til disse nære sammenhengene mellom i) ulike faser i prosessen; ii) ulike aktører som bidrar i den; og iii) den samlede reguleringsrisikoen fra de mange ulike reguleringene av disse elementene.

Fremmedfinansiering: NFD har i 2018-rapporten lagt til grunn at eksisterende ordninger for, og erfaring med skip og andre flytende innretninger, gjør at skipsregistrene (inkludert skipsbyggingsregisteret) fremstår som det mest hensiktsmessige rettighetsregisteret. På samme tid tilsier konsesjonselementet og det allerede etablerte akvakulturregisteret at det ikke kan bli aktuelt å kopiere den maritime modellen fullt ut. Det kan videre tenkes at forholdet mellom installasjoner og andre sentrale innsatsfaktorer på den ene siden og tillatelsens direkte eller indirekte verdi på den andre siden, tilsier at elementer fra petroleumsnæringen bør adopteres.

Oppfyllellesvern for sentrale kontrakter i verdikjeden:

Som det fremgår av bl.a. delkapitlene om teknisk standard, maritime operasjoner, HMS og biosikkerhet vil havbruk til havs dessuten forutsette en særlig sammenknyttet verdikjede. Den nærmere adgangen til å fastholde og kreve kontraktmessig oppfyllelse der det ikke finner sted, og forholdet til vern mot kolliderende rettsstiftelser etter regler om fremmedfinansiering som nevnt over, vil derfor kunne stå sentralt.

FoU-oppgave:

Studie av finansieringsstrukturer i forskjellige land, og deres påvirkning på kapital og risikovilje

Dette vil videre kreve utredning og forståelse av problematikk og utfordringer knyttet til pantsetting, forsikring, registrering, eierskap og skatteforhold for å nevne noe. Forutsigbarhet og oversiktighet er andre nøkkelaspekter som også vil må ligge til grunn for forskning og løsningsrom.

Bærekraft er også et sentralt tema innenfor det finansielle og samfunns-økonomiske aspektet ved havbruk til havs. En fremtidsrettet tilnærming til bærekraft støttes opp av forskning og et økende vitenskapelig faktagrunnlag, knyttet til miljø og klima, men også knyttet til hvordan samfunnet kan innrette seg for å adressere bærekraftsutfordringer og FNs bærekraftsmål ved hjelp av blant annet nye og tilpassede økonomiske modeller, og andre teoretiske perspektiver som for eksempel industriell økologi, «doughnut economics», sirkulær økonomi, grønn vekst og bærekraftige forretningsmodeller. Mange av disse rammeverkene og teoriene imøtekommer og adresserer bærekraftsutfordringene på økonomiske, sosiale og miljømessige forhold. I forlengelsen av det økende vitenskapelige faktagrunnlaget ser man også økende krav fra myndigheter i form av nye lover, regler og forordninger. EUs taksonomi som gjennom sitt krav til at man må bidra vesentlig positivt til minst ett av bærekraftsmålene og ikke ha vesentlig negativ effekt på noen av de andre, er et eksempel på dette. Det blir viktig å få juridiske avklaringer på det nærmere forholdet mellom taksonomien og havbruk til havs.

FoU-oppgave:

Studere hvordan havbruk til havs skal kunne tilpasse seg en grønn økonomi hvor aktiviteten som foregår samlet kan bidra til positive avtrykk og ringvirkninger, både for miljø og samfunn og økonomi.

Viktige fagområder og begrep som må fortolkes og forstås inn mot havbruk til havs vil være bioøkonomi, sirkulærøkonomi, industriell økologi og bærekraftige forretningsmodeller.

Utvikling av nye ingredienser for fôr vil på sikt være en svært sentral del i det å oppnå en bærekraftig verdikjede for havbruk til havs.

2.7.3 Kontrakter for sentrale innsatsfaktorer

Havbruk til havs vil som nevnt forutsette en særlig sammenknyttet verdikjede. Usikre spørsmål i norsk formuerett generelt, og havbruksrett spesielt, om adgang til registrering av sentrale avtaler med formål om rettsvern mot kolliderende avtaler og rettsstiftelser, vil derfor stå sentralt i forskningen på dette punktet. Reglene om akvakulturregisteret skal i stor grad forstås tilsvarende som de for grunnboken om fast eiendom, og her kan slike avtaler i prinsippet registreres med rettsvern. Skipsregisteret gir langt mindre muligheter for slik registrering. På samme tid er det viktig å se reglene om finansiering og sikkerhet på den ene siden i sammenheng med offentligrettslige regler om tilsyn mv. på den andre siden. Eksempelvis kan mye tilsi at tilsynsmyndigheten for operasjonell sikkerhet bør ligge hos Sjøfartsdirektoratet. I så fall må de nærmere reglene om dette tilpasses at registreringsordningen følger av akvakulturregisteret, og ikke skipsregisteret.

2.8 Offentlig tilrettelegging, forvaltning og tilsyn

Realisering av havbruk til havs bør kunne gi nye arbeidsplasser og økt verdiskaping langs kysten. Slik vi har sett med utviklingstillatelsene så bidrar store teknologiske, biologiske og organisatoriske utfordringer til at næringsliv og forskningsmiljøer i hele Norge engasjeres og utvikles. Realiseringen av havbruk til havs kan videreføre en stadig voksende havbrukssektor og kan ha store positive ringvirkninger. For å virkeliggjøre et slikt verdiskapingspotensial langs hele kysten, og sikre at dette er en kompetansemessig utvikling som fortsatt er verdensledende og i front, krever det større innsikt og forståelse av hvordan vi tar ut og forvalter et slikt potensiale. Det er nødvendig å vite mer om hvordan også det offentlige kan tilrettelegge for å sikre at dette er en utvikling som først og fremst er basert på norsk næringsliv og kunnskap, og som bidrar til samfunnsutvikling i alle ledd.

2.8.1 Oppmerksomhet på helheten

For å få dette til må vi ha bedre innsikt i hvilke utfordringer leverandørindustrien, havbruksselskapene og lokale, regionale og statlige myndigheter har for å kunne bidra. Slik «Havbruk til Havs»-rapporten (2018) pekte på, er det nødvendig med både nasjonale og regionale virkemidler i verktøykassen for å skape gode forutsetninger for innovasjon i næringslivet, og videre vekst og verdiskaping. Det er en viktig forskningsoppgave å finne frem til disse verktøyene, og medvirke til kapasitet og kompetanse i næringslivet er rigget for en slik utvikling. Havbruk til havs krever tilrettelegging på land. Samordning mellom ulike nivå av offentlige myndigheter og på tvers av sektorene er viktig for å sikre at tilretteleggingen på land er best mulig. Det innebærer også at kommunene og fylkeskommunene har en god forståelse av sin rolle, og sine bidrag til en slik utvikling. Forskning som setter søkelys på disse problemstillingene, er nødvendig.

FoU-oppgave:

Kartlegge sektorens forutsetninger, muligheter og utfordringer med hensyn til kompetanse, kapasitet, geografisk spredning, og vekst. Gi økt innsikt i behov for mulige endringer i virkemiddelapparatet, og offentlige myndigheters rolle i tilrettelegging.

2.8.2 Ringvirkninger

Det er knyttet stor usikkerhet til hvilke ringvirkninger samfunnet, og spesielt kystsamfunnene vil få av økt produksjon mange nautiske mil ut i havet. I «Havbruk til Havs»-rapporten (2018) diskuteres regional infrastruktur tilknyttet transport, men dette forutsetter at fisken vil fraktes til land i Norge, en forutsetning som fort kan vise seg å ikke holde mål. Det hersker også stor usikkerhet om hvor ringvirkningene vil finne sted. Hvilke regioner som er best rustet, og ikke minst tilgjengelige, for å bidra til en slik storstilt satsing er uklart.

Det er et stort potensial for verdiskaping og store ringvirkninger. Et sentralt element i utformingen av tillatelsesregimet og tilhørende rammevilkår er hvordan gevinstene ved å tildele areal og tillatelser til havbruksproduksjon offshore skal komme samfunnet til gode på best mulig måte (samt hvordan gevinstene skal distribueres/omfordeles). Utfordringene for å imøtekomme ulike forventninger og interesser samtidig som man ivaretar allerede vedtatte politiske visjoner og strategier knyttet til bærekraft og bruk av havet bør utredes for å synliggjøre ulike behov og skape bedre forståelse for hvordan disse kan håndteres.

FoU-oppgave:

Studere potensielle lokale, regionale og nasjonale ringvirkninger av realisering av havbruk til havs. Her er det allerede mange politiske visjoner, målsetninger og strategier som til sammen viser hvordan sosial bærekraft skal inkluderes i og vurderes ved utvikling av havbaserte næring

2.8.3 Faglig sterke sektormyndigheter

Dagens havbruksforvaltning er svært kompleks og innebærer en lang rekke myndighetsaktører. Dette har både fordeler og ulemper. Når det gjelder havbruk til havs er det behov for å utrede hvordan dette skal håndteres forvaltningsmessig, utover en planleggingshorisont og over i regulering av tillatelser på lokalitet og oppfølging av drift. En mulig strategi kan være å kopiere dagens forvaltning, evt. å begrense myndighetsansvaret til en eller få aktører, men dette kan også ha negative effekter som redusert spisskompetanse, uavhengighet mellom myndighetsområder, redusert tillit til forvaltning, og vurderinger av legitimitet i avgjørelser og vurderinger, samt at det er store kostnader knyttet til omfattende offentlig kontroll og regulering. Vi har behov for økt kunnskap om hvordan næringsliv og offentlige myndigheter sammen kan sikre etterlevelse av regelverk, og oppfølging av produksjon. Havbruk til havs, som i mer kystnære områder, står overfor en rekke utfordringer knyttet til prioritering av ulike bærekraftsdimensjoner. I møte med tydelige klimaendringer og en sterkere bevissthet i samfunnet om menneskets påvirkning på naturen så vil slike viktige avveininger være av økende betydning fremover. Det krever at vi har en havbruksforvaltning som har tydelig kompetanse på sine områder, og som fremstår som ansvarlig og legitim. Havbruk til havs medfører i tillegg mange nye problemstillinger som vi ennå ikke har svar på, og som også, når gjelder organisering av forvaltningen og tilhørende regelverk, bør møtes på nye måter.

FoU-oppgaver:
Utvikle metoder for inkludering av relevante fagfelt og sektormyndigheter tidlig i næringsutvikling og offentlige prosesser, samt for samordning av tilsyn.

2.8.4 Reguleringsregimet, tillatelser og skatt

Utforming av et hensiktsmessig forvaltningsrammeverk krever en oppmerksomhet på og vurderinger av hvilke hensyn og mål som må balanseres og implementeres for å gi gode insentiver til en vellykket satsing på havbruk til havs. Det er her nødvendig å vurdere eksisterende reguleringer og hvor det er behov for nye. Forskning bør bidra til en mer helhetlig vurdering av hvilke ulike interesser som bør inkluderes. Dette er svært viktig tidlig i prosessen med å utvikle reguleringsregimet og rammevilkårene for havbruk til havs. En slik vurdering vil skape større åpenhet om viktige interesser (både for næringsliv og samfunn) og hvordan disse blir forsøkt ivaretatt.

For å sikre en bærekraftig verdiskaping for samfunn og bedrifter er det trolig nødvendig å se på flere modeller for regulering, tillatelsesregime og skattlegging av havbruk til havs. Det er nødvendig å få kunnskap om hvordan helheten i offentlige rammebetingelser og reguleringer påvirker incentiver til å internalisere effekter på miljø i investering og drift, risiko i investeringsbeslutninger, internasjonal konkurranseevne og produksjonskostnader, og incentiver til å innovere. Analysene bør også ta innover seg at:

- Verdikjeden for havbruk til havs er mer kompleks og har større kapitalbehov enn i konvensjonelt havbruk.
- Havbruk til havs må investere i nye kapasiteter som ikke har anvendelse utenfor verdikjeden (f.eks. fartøyer), at
- Havbruk til havs kan ha behov for «redundant» kapasitet (f.eks. brønnbåtkapasitet i tilfelle ekstremhendelser),
- Det kan være nødvendig med muligheter for fleksibilitet i trinnvise investeringer (f.eks. på en blokk),
- Det kan være nødvendig med muligheter for en stegvis utviklingsprosess mot offshore havbruk for aktører som trenger å teste, demonstrere, dokumentere teknologiske konsepter før store investeringsbeslutninger tas,
- Det kan være nødvendig med samdrift og partnerskap på blokker for å oppnå nødvendig skalaøkonomi knyttet til investeringer og drift
- Det kan være muligheter for å utforme nye skattemodeller som sikrer større investeringer og større inntekter til samfunnet.

FoU-oppgaver:
Skape bedre innsikt og problemforståelse for hvordan ulike former for samordning og samarbeid innad i forvaltningen og, ulike modeller for hybrid arbeidsdeling mellom forvaltning og næring kan bidra til utformingen av et hensiktsmessig og kostnads-effektivt rammeverk for oppfølging av havbruk til havs.

2.8.5 Juridisk ansvar

Regler om rapportering på bakgrunn av internkontroll bør utformes med sikte på å unngå skarpe hendelser («barrierestyring»). Juridisk forskning vil kunne trekke vekslers på petroleumsretten på dette punktet. Tradisjonelle juridiske krav til skyld ved spørsmål om erstatningsansvar, forvaltningssanksjoner og straff, bør vurderes nærmere.

FoU-oppgaver:
Studier av og utvikling av lover, regler og kontrakter.

3. Strategi for realisering av forskningsbehov

Der forrige kapittel oppsummerer det en forventer vil være de viktigste forskningsbehovene en må tilfredsstille for å muliggjøre havbasert oppdrett utenfor norskekysten, foreslås det i dette kapitlet en del ulike strategier for å imøtekomme disse. Overordnet vil en strategisk tilnærming være viktig for å muliggjøre en rask, enkel og mest mulig kostnadseffektiv og verdiskapende tilnærming til hvert enkelt forskningsområde, noe som også kan gi synergier og overførbarhet til andre områder. Strategien skal bidra til (1) riktig prioritering av FoU-ressurser i forhold til områder der samfunn/næring har faktiske kunnskapsbehov, (2) effektiv kunnskapsformidling til private og offentlige aktører som skal innovere og investere, (3) mobilisering av og effektiv samhandling mellom nødvendige kunnskapsaktører innenfor FoU-sektoren, næring og offentlig forvaltning, og (4) sikre at kunnskapen som frembringes gjennom forskning kan benyttes i utdanningsøyemed. Disse aspektene må også vurderes opp mot (5) mulighetsrommet innenfor dagens virkemiddelapparat både nasjonalt og internasjonalt.

Siden forskningsområdene nevnt i forrige kapittel til sammen utgjør et komplekst, delvis overlappende og tverrfaglig bilde, må strategien tuftes på nasjonalt samarbeid på tvers av fag og sektorer. En kritisk suksessfaktor for at strategien skal lykkes vil derfor være at en involverer private og offentlige brukere av kunnskapen i alle fasene av FoU-prosessene. Dette betinger at myndighetene og forskningsrådet legger til rette for et effektivt samarbeid.

3.1 Prioritering og rekkefølge

En viktig del av en forskningsstrategi er å prioritere riktig forskning til riktig tid, dvs. at en må beskrive hvilke kunnskapshull som må tilfredsstilles først og som haster, og hvilke som kan gjøres senere. I dette tilfellet vil dette være en øvelse i å vurdere forskningsområder og spørsmål opp mot de utfordringer en tror vil være gjeldende for havbruk til havs og hvilke av disse som er mest prekære. Samarbeid mellom fagfelt, forsknings- og utdanningsinstitusjoner, forvaltning og næringsaktører er av ytterste viktighet her, og noe vi har god tradisjon for i Norge.

For å sikre en strukturert tilnærming til dette arbeidet bør FoU-oppgavene kategoriseres i henhold til i hvilken rekkefølge disse bør adresseres, samt deres antatte kritikalitet for at en skal lykkes med havbruk til havs. Dette vil være en sentral del av det videre arbeidet med denne strategien, og være viktig for å kunne stake ut forskningskursen i fremtiden.

Det finnes trolig forskjellige metoder for å gjennomføre en slik kategorisering. Et forslag til mulige kategorier kan være:

- Kategori 1: Må på plass før fullskala pilot
- Kategori 2: Må besvares gjennom første pilot(er)
- Kategori 3: Må løses på mellomlang sikt (5-10 år)
- Kategori 4: Må løses på lang sikt (10-20 år)

I tillegg til å antyde en kronologisk rekkefølge, vil en kategorisering i henhold til disse kategoriene også spille den sannsynlige utviklingen av denne industrien, fra tidlige piloter, via oppramping, til fullskala industrialisering og internasjonalisering.

3.2 Innovasjonsmuligheter i verdikjeden og gjennom klyngesamarbeid

Havbruk til havs kan bli en sentral drivkraft i å videreutvikle dagens havbruksnæring i Norge til å bli en betydelig eksportindustri som dekker den komplette verdikjeden fra fiskeyngel til bearbeiding, markedsføring og salg av fisk. Selv om eksport av fisk av høy kvalitet vil gi stor verdiskapning, vil trolig tilstøtende områder som ingeniørtjenester, fabrikasjon/sammenstilling av marine konstruksjoner og skip, landanlegg, utstyr, verifikasjon, sertifisering og finans ha tilsvarende verdiskapingspotensial. Norge kan dermed etter samme modell som sektorene innen maritim og olje og gass få frem en lønnsom utstøys- og tjenesteindustri som over tid vil kunne levere en vesentlig andel av sine varer og tjenester til internasjonale markeder.

Som nevnt innledningsvis (kap. 1.2) vil utvikling av havbruk til havs bygge på tre av de største og mest effektive klyngene vi har i Norge. Å utnytte dette fortrinnet til å løse flere av de beskrevne forskningsbehovene vil trolig være både den mest nærliggende og verdiskapende tilnærmingen. Ved god samhandling mellom disse klyngene kan biologi, teknologi og kunnskap kobles sammen på en slik måte at Norge kan skaffe seg komparative fortrinn av stor betydning for innovasjonsevne og lønnsomhet. På sikt ser en for seg at havbruk til havs kan utvikles til å bli en selvstendig klynge. Det er også viktig å presisere i denne sammenheng at man bør ha et nasjonalt perspektiv hvor man anser Norge for klyngen, og ikke ulike regioner i Norge og hvor ofte konkurranseforhold og motsetninger mellom disse får fokus.

Et viktig steg i å sikre en god næringsutvikling innen havbruk til havs vil være å fasilitere grobunn for oppstartsselskaper/gründerbedrifter, samtidig som en støtter opp om veletablerte industrilokomotiv innen bransjen. Dette vil resultere i en sunn industri bestående av både større konsortier som kan fungere som totalleverandører, og mindre bedrifter som kan bidra med høyteknologiske spesialløsninger eller tjenester rettet mot spesifikke utfordringer eller kunnskapshull. I denne utviklingsprosessen vil det trolig være gunstig å se til utviklingen en har sett i annen norsk industri som har lykkes internasjonalt, eksempelvis maritim og olje og gass-sektorene.

Et viktig tiltak for å sikre industriell nytteverdi er at en sørger for at forskningsaktivitetene så langt det lar seg gjøre blir forankret i konkrete behov i næringen. I tillegg bør forskningsaktivitetene også formes slik at det er lite krevende å i fremtiden utlede innovasjoner eller produkt som vil gjøre industrien i stand

til å etablere seg til havs. Dette kan være krevende dersom forskning og utviklingsarbeid holdes adskilt, og et sentralt element i forskningsstrategien er derfor at forskning der industri og forskningsaktører kan utføre reelt samarbeid om å løse næringens utfordringer.

3.3 Forsknings samarbeid på tvers av fag og sektor

Å frambringe løsninger som svarer på FoU-oppgavene listet i forrige kapittel vil være et komplekst arbeid. Det vil derfor være behov for at forskningsarbeidet blir gjennomført på en tverrfaglig og -sektoriell måte. Et eksempel her kan være forsøk på å frembringe en helhetlig løsning for kunnskapsbasert lokalitetsvalg til havs. Dette arbeidet ville trolig omfattet en konsolidering mellom forskningsaktører innen forskjellige fagfelt som biologi/økologi, oseanografi, konstruksjons- og hydrodynamikk, og samfunnsvitenskap, industrisektorer som olje og gass, fiskeri, og kraftproduksjon, samt de offentlige etater som representerer konkurrerende virksomhet og arealbehov til havs. Et annet eksempel på slike tverrgående behov kan illustreres med at en for å utvikle nye verktøy for kontinuerlig overvåkning av fisk vil ha behov for samarbeid mellom aktører innen teknologisk forskning og biologer med dypere innsikt i fysiologi og helse, samt en leverandørindustri som er kapabel og villig til å industrialisere eventuelle forskningsresultater på dette området.

Selv om flere av FoU-oppgavene relatert til havbruk til havs vil være nye og ulike de en har i tradisjonell havbruksnæring, er det viktig at en tilpasser seg relevant forskningsaktivitet som enten er pågående eller som har blitt gjennomført. Det vil derfor være viktig å sikre systematisk innhenting og koordinering av kunnskap skapt av ulike forskningsinitiativ rettet mot havbruk. Eksempelvis finnes det flere pågående Sentre for Forskningsbasert Innovasjon (SFI) som har fokus mot havbrukssektoren som kan besitte relevant og sentral kunnskap og erfaring. SFI Exposed som er rettet inn mot eksponert havbruk har åpenbare paralleller og skjæringspunkter med havbruk til havs, men det er også viktig at resultatene fra andre sentre som SFI CtrlAqua, SFI Blues og SFI Smart Ocean studeres. Det finnes også relevante initiativ innenfor den relativt nye ordningen for Grønn Plattform som ble etablert i 2021. Her vil senteret Lavutslippskjede for Havbruk til Havs ha en særstilling ettersom den er orientert mot nettopp dette området, og således kan ses på som en pilotsatsning i forkant av at strategien blir etablert.

I tillegg til at FoU-oppgavene angitt i forrige kapittel varierer i tema, vil også den mest effektive framgangsmåten og metodikken for å belyse og løse disse variere. Relevante metoder i slike framgangsmåter kan være rene simuleringsstudier med matematiske modeller, laboratoriestudier i kontrollerte miljø, feltforsøk i små/mellomskalaanlegg, til fullskala eller nær-fullskala industrielle piloter. Noen FoU-oppgaver vil kreve at en begynner med kontrollerte labforsøk for å gjennomføre proof of concept, så følger opp med småskala forsøk for å verifisere at prinsippet fungerer i større skala, før en til sist demonstrerer industrirelevans i et kommersielt anlegg. Eksempel på slike oppgaver kan være utviklingen av nye sensorsystemer for måling på fisk og løsninger innen robotikk. Andre FoU-oppgaver, som utvikling av nye konstruksjonsmaterialer/notmaterialer, kan på sin side kreve at en i forkant av hvert forsøkssteg gjennomfører numeriske analyser for å spare seg prøv-og-feil i praksis. Helt på den andre siden av skalaen finner en også oppgaver som kun kan gjennomføres ved å forholde seg til en industriell driftssituasjon, eksempelvis der intervju med personell på lokaliteter er en sentral kilde til informasjon.

Til sist bør det også nevnes at en på sikt bør sørge for en standardisering av uttrykk innenfor forskningen på havbruk til havs. Et felles begrepsapparat kan være viktig for å sikre at forskningen blir gjennomført på en effektiv og målrettet måte ettersom en da enklere kan orientere seg rundt hva som har blitt gjort før/blir gjort andre steder, og relatere dette til egen forskning. En kan da også redusere sjansen for dobbeltarbeid i at en får en mer kontekstuavhengig relasjon mellom forskningstema og funn.

3.4 Utdanningsperspektiver

Norge har et nasjonalt prinsipp om at høyere utdanning skal tilby forskningsbasert undervisning. Målsettingen bak dette kan tolkes både i retning av at en ønsker at undervisere skal holde seg faglig oppdaterte og dermed gi studentene oppdatert informasjon, og at en ønsker å gi studentene innblikk i hvordan underviste fag har en anvendelse i den virkelige verden. For sektorer som havbruk kan også forskningsbasert utdanning ha en positiv effekt på fremtidig rekruttering. Ettersom det vil være økt behov for teknologiutvikling og -bruk innen havbasert oppdrett sammenliknet med i den etablerte kystnære industrien vil trolig også behovet for å rekruttere høyt utdannede kandidater være større. Et sentralt element i den langsiktige realiseringen av havbruk til havs som nytt norsk industrisegment vil derfor være å sørge for at elementer fra forskningen innen dette området blir assimilert inn i utdanningsprogrammene ved universiteter og høyskoler i Norge. På den måten kan en både sikre tilfang av fremtidige arbeidstakere for bransjen, og rekruttering til forskningsområdet i akademia og instituttsektoren.

Selv om næringen også i fremtiden vil ha behov for arbeidstakere som er spesialiserte innenfor enkeltfelt, vil trolig behovet for ny kompetanse sammensatt av elementer fra enkeltfelt øke. Dette behovet er også illustrert av den omfattende tverrfaglige profilen til FoU-oppgavene i forrige kapittel. Utdannelsesløpene som kan skape slik kompetanse eksisterer ikke i dag, og UoH-sektoren bør derfor ta ansvaret for å tilby slike studier i fremtiden for å tilfredsstille dette behovet for relevant arbeidskraft. Eksempelvis kan en sørge for at studenter som går tekniske utdanninger som ingeniørstudier kan få et fagtilbud som også går inn i biologiske og humanistiske fag, og dermed gir en bredere kunnskapshorisont. Tilsvarende kan en tilby biologistudenter og veterinærer emner som gir økt innsikt i teknologiske og humanistiske elementer, og likeledes gi humanister emnetilbud som også berører teknologi og biologi.

Det bør gis støtte til opprettelsen av et eget valgfag om havbruksrett ved andre juridiske læresteder i tillegg til UiT.

3.5 Virkemiddelapparatet

Siden forskning og utviklingsarbeid krever både arbeidskraft og infrastruktur, vil finansiering være et sentralt element i å oppnå denne strategiens overordnede mål, og dermed oppfylle dens visjon. Som nevnt tidligere vil det å løse FoU-oppgavene oppgitt i forrige kapittel være en tverrfaglig øvelse som kan tuftes på forskjellige former for forskningsmetodikk og arbeid over forskjellige tidshorisonter. Disse aspektene har også innvirkning på hvilke virkemidler en kan benytte til forskningen. Mange forskningsløp vil ha behov for innledende grunnforskningsaktivitet for å først undersøke basisprinsipp som ligger til grunn. Dette vil typisk gjelde aktiviteter som kan kategoriseres som å ha lavt Technology Readiness Level (TRL)-nivå, og vil i hovedsak gjennomføres av akademia og instituttsektoren. Senere i løpene kan det imidlertid melde seg behov for større konkrete behov for industrimedvirkning, spesielt dersom en løsning eller et konsept nærmer seg prototyping eller innovasjon. Andre løp kan igjen være tuftet på å tilpasse eksisterende løsninger med høyere TRL-nivå anvendelsen til havs, og dermed ha mindre behov for en innledende fase. Avhengig av FoU-oppgavenes behov vil det derfor være relativt stor variasjon i både tidshorizonten som er nødvendig for å komme fra start til endelig industriell nytteverdi, og på hvilken skala/nivå en ønsker å anrette FoU-arbeidet. En vellykket strategi vil derfor være avhengig av å ha et diversifisert virkemiddelapparat som tilbyr finansiering for aktivitet langs alle disse forskjellige dimensjonene.

Nasjonalt vil offentlige finansieringsorganer som Norges Forskningsråd (NFR) og Innovasjon Norge (IN), samt privatfinansierte fond som Fiskeri- og Havbruksnæringens Forskningsfond (FHF) spille en viktig rolle. Til sammen finansierer disse aktørene et spenn av forskjellige prosjektformat, fra fullfinansierte grunnleggende forskerprosjekter, via prosjekter som krever betydelig egeninnsats fra industri og samarbeid på tvers av sektorer, til rene utviklingsprosjekter mer rettet mot konkret produktutvikling i den enkelte bedrift enn generisk forskning. Dette gir forskningen en verktøykasse som kan være med på å dekke forskningsaktiviteter som befinner seg på alt fra minimalt til maksimalt TRL-nivå. Eksempelvis kan en se for seg at innledende studier av ny teknologi eller radikalt ny metodikk (lav TRL) er best gjennomført i Forskerprosjekter

med liten industrideltakelse. Tilpasningen av etablerte løsninger til anvendelser innenfor havbasert havbruk (middels TRL) vil antakeligvis best gjøres gjennom samarbeidsprosjekter eller innovasjonsprosjekter der næring og forskningen skal samarbeide tett. Det siste steget fra proof-of-concept til endelig produkt (høy TRL) vil trolig være best gjennomført via hel- eller delfinansierte industriprosjekter der forskningen har en mer rådgivende enn utførende rolle. I noen tilfeller vil en trolig ønske å fokusere på større problemstillinger som berører flere av FoU-oppgavene nevnt i forrige kapittel, og dermed krever mer langsiktig forskning (dvs. utover 3-4 år). Slike løp vil typisk være mest effektivt finansiert gjennom de mer langsiktige ordningene fra NFR, som Sentre for Forskningsbasert Innovasjon (SFI) og grønn plattform. Dersom den industrielle utviklingen innenfor havbruk til havs virkelig skyter fart vil kunnskapsbehovet øke, samtidig som industrisektoren vil bli enda mer etablert. En kan dermed også i ytterste konsekvens på lang sikt se for seg at spesielt langvarige og forskningstunge ordninger som for Sentre for Fremragende Forskning (SFF) kan vise seg å være et mulig virkemiddel.

Et annet nasjonalt virkemiddel som kan benyttes i langsiktige initiativ er den eksisterende ordningen med forskningstillatelser for produksjon av matfisk. Det finnes i dag en rekke slike tillatelser som drives av forskningsinstitusjoner, universiteter og industriaktører. Felles for alle disse er at de har forpliktet seg til å benytte en stor andel av inntektene fra tillatelsene til å finansiere forskning innenfor et spesifikt område (f.eks. lus, helse og førsammensetning). Opprettelsen av slike tillatelser med hensyn på å utforske og teste spesifikke teknologiske og metodiske løsninger for havbruk til havs kunne gi et betydelig bidrag på den langsiktige siden av forskningen.

I tillegg til de nasjonale virkemidlene kan internasjonale arenaer som EUs rammeverkprogram også være en relevant kilde for finansiering av forskning og utvikling, spesielt i tilfeller der en har behov for samarbeid utover landets grenser for å sikre seg nødvendig kompetanse. Dette vil imidlertid nødvendigvis åpne mer for at kunnskapen frembragt i prosjektsammenheng skal formidles internasjonalt i like stor grad som nasjonalt, noe som gjør veien for at aktører fra andre land skal benytte seg av resultatene kortere.

4 Konklusjon og anbefalinger

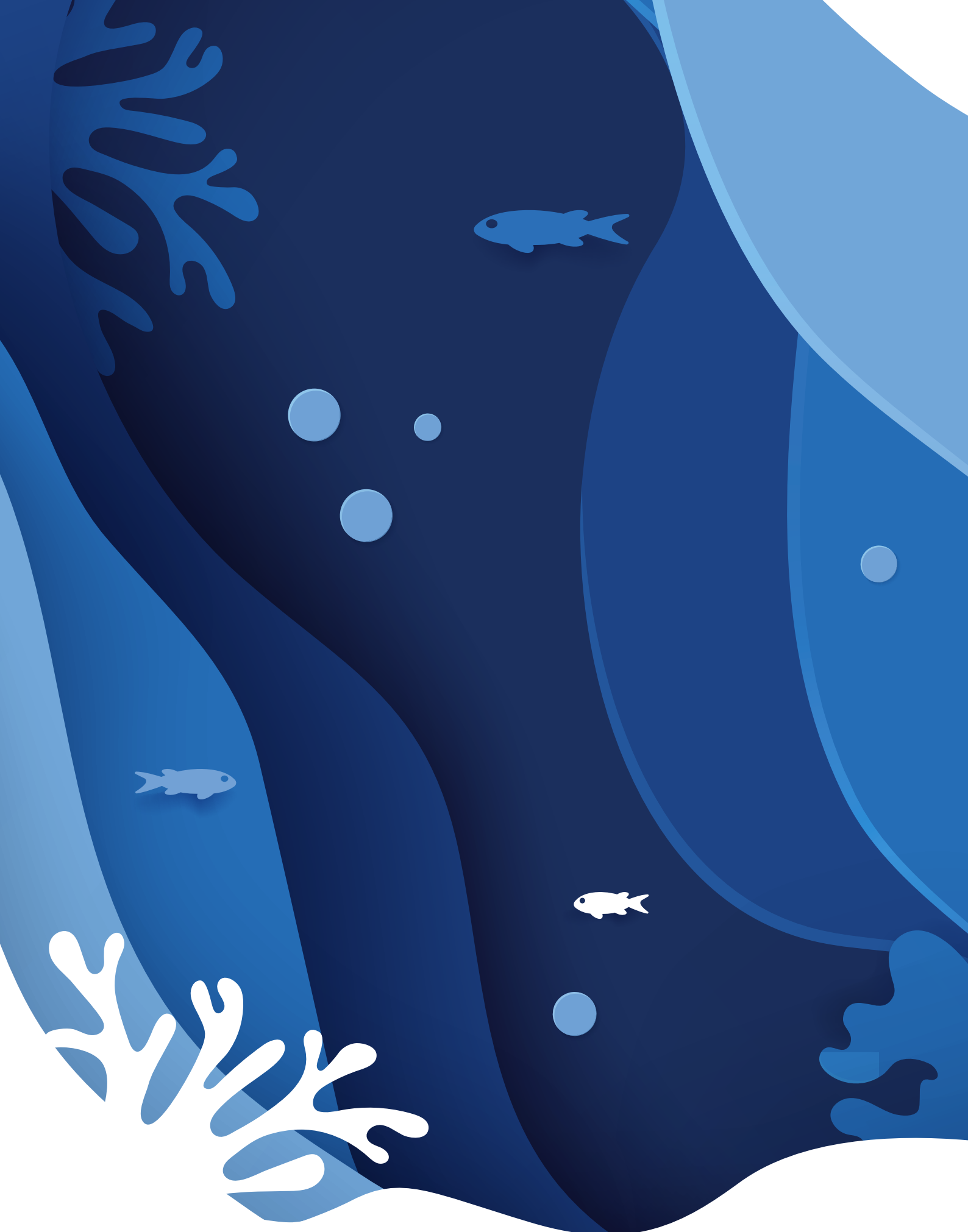
Verdens voksende befolkning har et økende behov for sunn mat produsert på en bærekraftig måte. Mange peker på havet som fremtidens matfat. Havbruk til havs vil være en viktig bidragsyter og kan bli et nytt norsk industri- og eksporteventyr. Men oppdrett langt til havs vil by på nye og store utfordringer når det gjelder samvirke mellom biologi, miljø, teknologi og mennesker. Derfor er det viktig at vi kan møte disse utfordringene gjennom å bygge ny kunnskap ved å sette søkelys på viktige FoU-oppgaver.

Dette dokumentet beskriver en strategisk tilnærming til dette arbeidet som kan fungere som et veikart for fremtiden. Konkrete anbefalinger:

1. Tidslinje og prioritering for FoU-oppgaver og hvordan arbeidet skal gjennomføres.
2. FoU-oppgavene bør løses ved tverrsektorielt samarbeid og mellom aktører fra institutt-, utdannings- og industrisektoren i hele verdikjeden for å sikre både praktisk nytte og vitenskapelig kvalitet.
3. FoU-oppgavene er høyt tverrfaglige, noe som krever samarbeid på tvers av fagdisipliner i større grad enn tidligere innenfor havbruksforskningen.
4. Utdanningsinstitusjoner må sørge for at resultatene fra forskningen blir brukt i undervisning. Dette vil være med på å sikre rekruttering og at fremtidens arbeidsstyrke har kjennskap til havbruk til havs.

En vellykket og nøytral gjennomføring av FoU-arbeidet er avhengig av noe offentlig finansiering. Det er derfor viktig at virkemiddelapparatet tilbyr finansieringsordninger som kan videreføre dette arbeidet med å samle og koordinere arbeid med forsknings- og utviklingsbehov, samt støtte aktivitet fra grunnforskning til industriell innovasjon, og med både kort og lang tidshorisont. Skal man lykkes med å bygge en ny stor industri som kan ha internasjonalt eksportpotensial må eksisterende kunnskapsmiljøer og klynger knyttet til havbruk, offshore olje og gass og maritim utnyttes og man må ha et nasjonalt perspektiv på dette og hvor det er ulike regioner og miljøer langs kysten av Norge støttet opp av kunnskapsmiljøene i de store byene som sammen finner løsningene.

Arbeidet med havbruk til havs ble igangsatt av forrige regjering og er videreført av dagens regjering med tydelige ambisjoner i Hurdalsplattformen: Norge skal lede an i utviklingen av verdens mest produktive og miljøvennlige havbruksnæring med produksjon av matressurser til et voksende verdensmarked. Norge skal utvikle et eget konsesjonsregime for oppdrett til havs med strenge krav til bærekraft og sameksistens mellom ulike havnæringer. Forskning og utvikling er nødvendig for å realisere disse målene. Vi har i dette dokumentet beskrevet hvordan forskning kan bidra til et bærekraftig havbruk til havs på biologiens premisser.



Forskning og utvikling for realisering av **Havbruk til havs**
Trondheim, 20. oktober 2022