



**HØRING – FORSLAG TIL UTREDNINGSPROGRAM FOR HAVBRUK TIL HAVS.**  
Områdene Norskerenna sør, Frøyabanken nord og Trænabanken.

Martin Biuw, Ole Folkedal, Tina Kutti, Frode Oppedal, Kjell Rong Utne,  
Frode B. Vikebø, Vidar Wennevik og Bjørn Ådlandsvik.

**Havforskningsinstituttet**  
**2023**



## Høringssvar fra Havforskningsinstituttet til Forslag til utredningsprogram for offentlig overordnet konsekvensutredning av havbruk til havs med frist 24. mai 2023.

Fiskeridirektoratet (Fdir) har sendt ut forslag til utredningsprogram på vegne av Nærings- og fiskeridepartementet (NFD) for havbruk til havs (HTH) i områdene Norskerenna sør, Frøyabanken nord og Trænabanken. Havforskningsinstituttet (HI) har valgt å dele høringssvar i 2 deler; 1) Fiskevelferd; 2) Miljøpåvirkning.

HI gir her høringssvar på om utredningsprogrammet er dekkende for de utfordringer havbruk til havs i de tre aktuelle områdene kan medføre for fisk i merd og for naturverdier utenfor merden.

### **Fiskevelferd**

Grunnet sterkere naturkrefter i form av vannstrøm, bølger og vind enn ved kysten fordrer havbruk til havs (HTH) utvikling av ny teknologi og operasjonelle prosedyrer som er ulikt det tradisjonelle oppdrettet nært kysten. Konstruksjoner (skisserte og under utvikling) for HTH er fortrinnsvis mer rigide for å hindre deformasjon/innsnevring av oppholds-volum for fisken ved høy vannstrøm og kraftige bølger, og samtidig større for å kunne huse flere fisk per enhet. Høyere biomasse per enhet eller tettere aggregering av enheter er konstruksjonsmessig kostnadseffektivt, og underbygges av en forventning om at høy vannstrømstyrke til havs vil gi tilstrekkelig oksygentilgang for høy biomasse. Vi stiller spørsmål om denne forventningen er innfridd for de skisserte havområdene for konsekvensutredning. Dette omfatter bruk av ulike teknologiske løsninger, hvor f.eks. vannmiljøet kan være ulikt i ulike dybdesjikt og fisk i nedsenkede anlegg ikke nødvendigvis vil eksponeres for samme miljø som i overflatemerder. Videre krever nye teknologiske løsninger for oppdrettsmerder nytenkning av operasjonelle prosedyrer for f.eks. fangst av fisk til behandling for f.eks. lakselus, og beredskapskapasitet til å håndtere biomassen ved uforutsette hendelser.

### *Svømmekapasitet*

Havforskningsinstituttet sine estimerte grenseverdier for hva laks tolererer av vannstrømstyrke må ansees som konservative (Hvas et al., 2021a), særlig sett i lys av nyere studier som beskriver høy kapasitet til vedvarende svømming i sterk vannstrøm over dager (Hvas et al., 2021b) og over timer ved ekstrem vannstrøm ( $1.3 \text{ m s}^{-1}$ ) i større grupper av stor laks (Warren-Myers et al., in prep). For velferdsvurdering er det dessuten viktig å vurdere hvilke nivåer fisken faktisk vil eksponeres for relativt til målte og estimerte strømverdier for frie vannmasser. Vannstrømstyrken er normalt sterkere i de frie vannmasser utenfor merder enn inni da strukturer, inkl. not, demper strømstyrken. Det er rapportert en styrkereduksjon på 21.5 % i konvensjonelle merder (Klebert et al., 2015) som samsvarer med 20% reduksjon fra en empirisk modell (Løland, 1991). Videre kan biomassen og fiskens svømmeatferd spille en større rolle for å redusere vannstrømmen og påvirke retning (Gansel et al., 2014). Et eksempel på måling i senter av en konvensjonell merd med fisk tilsier ~40% reduksjon vs. utenfor i hovedstrøms-retning (Johansson et al., 2014). Det er derfor høyst rimelig å anta at strømstyrken som oppdrettsfisken vil oppleve er lavere enn målte og estimerte verdier. Valg av oppdrettsteknologi (strukturer inkl. soliditet av not/nett) med dertil påvirkning på vanngjennomstrømning vil også være førende for hva fisken opplever av vannstrømstyrke. For de 3 havområdene under konsekvensutredning tilsier oppgitt gjennomsnittlig og maksimal vannstrømstyrke at disse sannsynligvis er godt innenfor laksens svømmekapasitet.



Rensefisken er generelt av mindre størrelse enn laksen, men sammenlignet med laks av lik vekt er den kritiske svømmehastigheten til rognkjeks og berggylt (ved respektive arter sin optimum temperatur) om lag 1/3 av laksens (Hvas et al., 2021a). For rensefisk er havområdene uegnet basert på at vannstrømstyrken er over deres toleransegrenser (Hvas et al., 2021a).

#### *Lav vannstrøm, høy biomasse, stor merd og forbruk av oksygen*

Mens fokus og dertil fremlagt datagrunnlag på vannstrømstyrke er rettet mot bekymring for hva fiskens kan tolerere av høy vannstrømstyrke, så er viktigheten av vannstrømstyrke i den andre enden av skalaen underkommunisert. Datagrunnlaget tilsier at vannstrømstyrken for samtlige havområder til utredning er variabel, hvor detaljerte måling for f.eks. utkanten av Frøyabanken nord (omsøkt for Smart Fish Farm) viser tidevannsdrevet vannstrøm og dermed periodisk lav vannstrømstyrke. Eksempelvis, vedlegg til søknad for Smart Fish Farm viser perioder på ~4 timer hvor strømstyrken på 60 m dyp er mellom 10 og 5 cm s<sup>-1</sup> (Figur 5.5, DNV, 2021), hvor tilsvarende data er ikke vist for øvre vannlag. Det vil være behov for å dokumentere lengden på perioder med lav vannstrøm, og særskilt der en forventer at fisken fortrinnsvis vil oppholde seg.

Det er vist en negativ skalerings-effekt av størrelse på merder (52 vs. 76 m diameter) og biomasse på oksygen-nivåer, som tydeliggjør behovet for å vurdere miljøet mot størrelse av oppdretts-enheter (Oldham et al., 2018). De fleste prosjerterte havmerdene er betydelig større (horisontalavstand og biomasse) enn konvensjonelle store merder. F.eks. har Smart Fish Farm en oppgitt diameter på 164 m. Foruten økt oksygenforbruk og behov for vannutskiftning med økt biomasse, kan den større biomassen i seg selv dempe vannstrøm/vannutskiftning.

Vår anbefaling er at det ut fra faktiske strømmålinger på lokalitetsnivå foretas modelleringer av vanngjennomstrømning basert på valgt teknologi. Videre, estimater av opptaksrater av oksygen må hensynta fiskestørrelse (biomasse) og temperatur, samt kritiske vurderinger i forhold til økt opptak som følge av mulig stress/hurtigere svømming (Hvas et al., 2017b) og mulig redusert opptaksfunksjon som følge av patologiske endringer eller alger (AGD-eksempel i Hvas et al., 2017d). Biomassen er sjelden jevnt fordelt over tilgjengelig volum i åpne laksemerder. Laksens svømmedyp bestemmes i stor grad av lys og temperatur. Så lenge lysforholdene tillater stiming vil fisken oppholde seg på høyest mulig temperatur opp til 16-17°C, og i mørket/om natten vil den normalt posisjonere seg i øvre vannlag (Oppedal et al., 2011). Dette tilsier at lokal fisketetthet og dertil oksygenforbruksrate innen dybdesjikt ofte er 2 til 5 ganger høyere enn fiskens ideelle fordeling over hele merdvolumet. Tiltak for å øke vannutskiftningsraten er mulig, og estimert effekt av tiltak ved antatt behov bør sannsynliggjøres.

Andre forskningsmiljø har også påpekt forskningsbehovet for å sannsynliggjøre hvordan vannstrøm og oksygenforhold forandres gjennom stor biomasse (1000- 10 000 tonn) i fremtidige havanlegg, samt påpeker at aktuelle områder bør undersøkes i forhold til dypvannshypoksi og oppkomme av oksygenfattig vann (Morro et al., 2021). Etersom planlagte anlegg til havs gjerne er dypere enn konvensjonelle merder, mens andre baseres på nedsenkning for å unngå krefter og lus i øvre vannlag (<20 m dybde), så bør vannforholdene kartlegges tilstrekkelig dypt.

#### *Bølger*

Det finnes lite vitenskapelig dokumentasjon på laksens atferd i bølger, annet enn fra relativt grunne merder på Færøyene (Johannesen et al., 2020; 2021). Det har på Færøyene ved flere anledninger



vært rapportert dødelighet under perioder med høye bølger. Anekdotiske bevis tilsier at dette skyldtes dårlig oppsett av nøter og tilhørende deformasjoner, samtidig høy vannstrøm og grunne lokaliteter. Oppsummert viser de vitenskapelige resultatene at det er komplekse interaksjoner mellom bølger og vannstrømstyrke på laksens atferd og vertikaldistribusjon, hvor de hydrodynamiske effektene er størst i dagslys. Med svak vannstrøm-styrke beveget laksen seg dypere gitt økende bølgehøyde, mens sterk vannstrøm førte til at fisken stod relativt grunt uavhengig av bølgehøyde. Deformasjon av not både av bølger og vannstrøm spilte inn på fiskens atferd i studiene fra Færøyene, og disse effektene forventes ikke for HTH hvor skisserte merd-konsepter er mer rigide og dypere. I to nylige HI-arbeider har vi sett at laksen er svært tilpasningsdyktig i forhold til bølgelignende forhold. Svømmekapasitet i fluktuerende vannstrøm (typisk for bølger) er høyere enn ved konstant vannstrøm (Athammer, 2023). Etter langtids eksponering for turbulente forhold vokser og trives laksen normalt og tilpasser seg de bølgelignende forholdene etter få dager (Barbier, 2023).

### **Miljøpåvirkning**

#### *Smittespredning*

Når det gjelder smittefare ved havbruk til havs har modellstudier blitt gjort med lakselus som kan smitte over lengst avstand. Rapporten (Ådlandsvik, 2019) tar for seg potensielt smittepress til og fra anlegg ved kysten. Hovedkonklusjonen er at utenfor 20-30 nautiske mil er dette kraftig redusert sammenlignet med smittepress mellom eksisterende lokaliteter ved kysten.

Potensielt smittepress mellom lokaliteter til havs har ikke vært systematisk studert. Dette kan gjøres med nye modellstudier med kombinert strømmmodell og partikkeltransport for hvert område. Dette kan legge føringer på hvordan anlegg bør posisjoneres i forhold til hverandre. Et enkelt prinsipp i så måte er at anlegg bør posisjoneres på tvers av hovedstrømretning.

Sannsynlighet for at anlegg til havs smittes av virus eller parasitter avhenger av hvilken teknologi som brukes. Dette må tas hensyn til ved konsekvensvurderingen.

#### *Postsmoltvandring*

En bekymring i forbindelse med utvikling av havbasert akvakultur er potensiell påvirkning på utvandrende vill postsmolt fra elvene. Dersom HTH medfører økt utslipp av lakselus eller annen smitte, vil dette kunne medføre redusert overlevelse på utvandrende postsmolt dersom de beveger seg gjennom smittefeltene nedstrøms HTH-områdene. Dersom oppdrettsaktiviteten på kysten opprettholdes på nåværende nivå, kan dette bli en form for «dobbeltsmitte», dvs. økt dødelighet som følge av smitte fra kystnært oppdrett, og ytterligere dødelighet ved smitte fra HTH-områder.

I det foreslåtte programmet for konsekvensvurdering er det presisert at vurderingen skal gjøres ut fra eksisterende datasett. Hos ulike forskningsinstitusjoner har det vært gjennomført forsøk med telemetri som har gitt noe kunnskap om postsmoltvandring i fjord og på kysten og forsøk med merking av utvandrende vinterstøinger med ulike datalagringsmerker. I tillegg foreligger det data fra trålfangst av postsmolt i noen områder hos Havforskningsinstituttet. Noen av disse studiene har gitt verdifull kunnskap om hvilke faktorer som påvirker vandringsretningen til fisk, og denne kunnskapen er forsøkt inkorporert i vandringsmodeller. De fleste av disse studiene, og alle studiene gjennomført på postsmolt, er foretatt i fjorder eller på kysten. I hvilken grad de samme mekanismene og vandringsvalgene er gyldig i fasen hvor postsmolten vandrer ut til beiteområdene i havet er imidlertid ukjent.



Det er derfor grunn til å anta at de foreliggende datasettene og modellene som kan anvendes for å beskrive postsmoltvandring i forhold til de tre HTH-områdene vil ha en for begrenset presisjon til å faktisk vurdere konsekvensene av akvakulturaktivitet i disse områdene. Ikke minst fordi HTH-områdene ligger såpass langt til havs at et stort antall laksebestander, både norske bestander og bestander fra land lengre sør, potensielt kan ha vandringsruter som gjør at de kan bli påvirket. Imidlertid vil evaluering av eksisterende datasett kunne gi en forståelse av usikkerheten i modellene og også identifisere hvilke tiltak for styrking av datagrunnlaget som er nødvendig for å gi god nok presisjon.

Men det synes allerede klart at det er et behov for mer målrettet kunnskapsinnhenting før en *reell og realistisk* konsekvensvurdering kan gjøres. Forskrift om konsekvensutredninger av 22. juni 2017 nr. 854 (KU-forskriften) sier at det kan være nødvendig å innhente ny kunnskap dersom «*miljøverdien er sårbar og skadepotensialet stort*». Videre sier forskriften at «*for de tilfellene det er gjennomført lite eller ingen kartlegging, skal det gjennomføres ny kartlegging eller nye undersøkelser hvis det er indikasjoner på at planområdet innehar viktige verdier eller miljøutfordringer*».

### *Sjøpattedyrfordeling*

#### Utbredelse

Mange arter av sjøpattedyr har utbredelsesområder som omfatter store deler av havområdene langs norskekysten. Noen arter bruker disse områdene som migrasjonskorridorer på vandring mellom beiteområder i nordlige farvann og reproduksjonsområder på sørligere breddegrader, dette gjelder bardehvalene og spermhval. Andre sjøpattedyr beiter langs norskekysten året rundt, og spesielt to arter av sel (steinkobbe og havert) har reproduksjonsområder langs store deler av norskekysten, også nært de tre områdene som er under konsekvensvurdering her. Havforskningsinstituttet foretar regelmessig inventering av alle kaste- og hårfellingslokaliteter for både steinkobbe og havert langs norskekysten. Hele kysten dekkes over en femårsperiode, og seneste inventeringsperiode som omfatter de områdene som er relevant i denne sammenhengen ble sluttført i 2022.

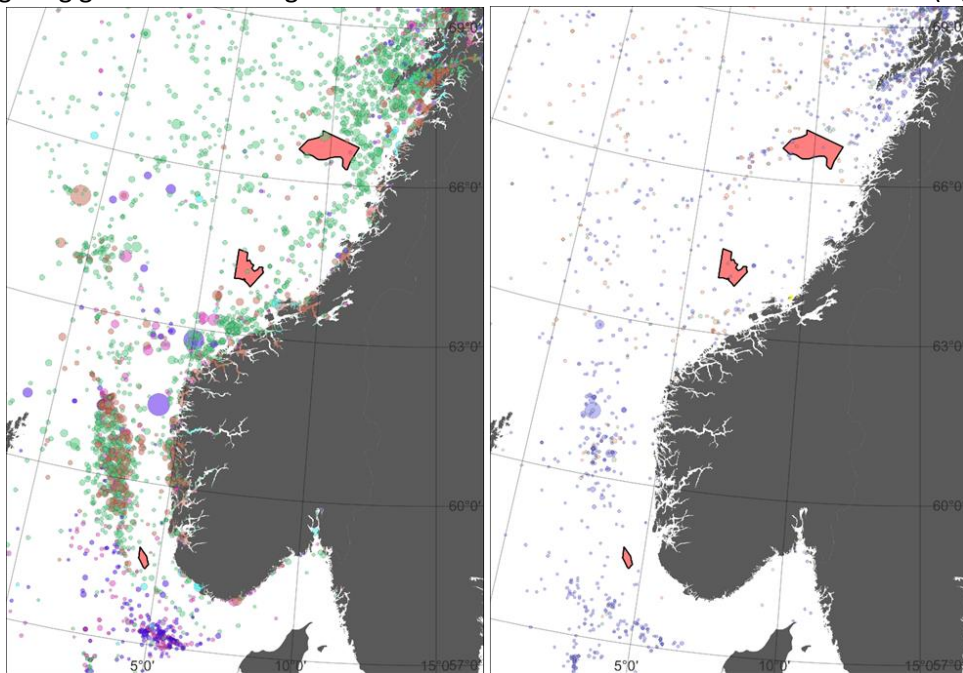
Selv om disse inventeringene gir et godt bilde av hvilke hvile- og reproduksjonsområder som brukes, gir det begrenset kunnskap om selenes områdebruk under beitevandring til havs. Merking med satellitt- eller GPS-merker har blitt utført i begrenset omfang på steinkobber og på noen få havarter i norske farvann. Mesteparten av de merkedata som dekker de aktuelle områdene er fra midten av 1990-tallet, mens hovedfokus for merkeforsøk i senere år har vært på steinkobber i ytre Oslofjord. For å beskrive utbredelse til disse dyrene til havs kreves omfattende merking på de lokaliteter som ligger i nærheten av områder som er under vurdering for havbruk eller annen aktivitet (f.eks. havvind). Data fra merkeforsøk tyder på at det er lite sannsynlig at steinkobbe vil ha noen interaksjon med de aktuelle havbrukslokalitetene, fordi steinkobbene er mer tilknyttet kystnære områder og fjorder. Det er mer sannsynlig at havert kan opptre i disse områdene. Merking av havert i Storbritannia har vist at havert forflytter seg over store områder i Nordsjøen og noen dyr også til norskekysten. Det vil derfor være sannsynlig at også havarter i Rogaland, Trøndelag og Nordland i perioder kan befinne seg i alle tre områdene, kanskje særlig i de to nordligste hvor det er flere havarter enn i Rogaland. Derimot er det kjent fra satellitt- og GPS-merking at havert fra Storbritannia bruker Nordsjøbassenget i stor grad, og kan besøke kystområder langs norskekysten. En havertunge, som ble merket ved Myken (Nordland), forflyttet seg på sin første svømmetur helt ut til vestkanten av Røstbanken.



Når det gjelder hval foreligger data fra visuelle tellinger fra fartøy, dels fra regelmessige tokt som utføres av Havforskningsinstituttet (ulike havområder dekkes i ulike år, med en syklus på 5-6 år), samt en database med tilfeldige observasjoner gjort over mange år fra en rekke ulike fartøy (bl.a. kystvakten). HI sine telletokter gir et godt bilde av utbredelsen til ulike hvalarter i juni-juli, når disse tellingene utføres. Derimot gir de begrenset informasjon om vandringsmønster og utbredelse til andre årstider. Her kan tilfeldige observasjoner fra andre fartøy gi nyttig tilleggsinformasjon. For noen arter kan satellittmerking gi informative data på vandringsmønster til individer. Slik merking av spekkhogger og knølhval har i de senere årene bygget opp et verdifullt datasett på vandring til disse artene langs norskekysten, først og fremst fra seinvinter og vårsesongen.

#### Frøyabanken og Trænabanken

Disse to områdene overlapper med viktige beiteområder og migrasjonsruter for flere hvalarter. Databasen for tilfeldige observasjoner som dekker perioden 1964-2022 viser at bardehvaler som vågehval, knølhval, finnhval, samt tannhvaler som nise, springere (kvitnos og kvitskjeving), spekkhogger og grindhval er vanlig forekommende med beiteaktivitet i disse områdene (Fig 1).



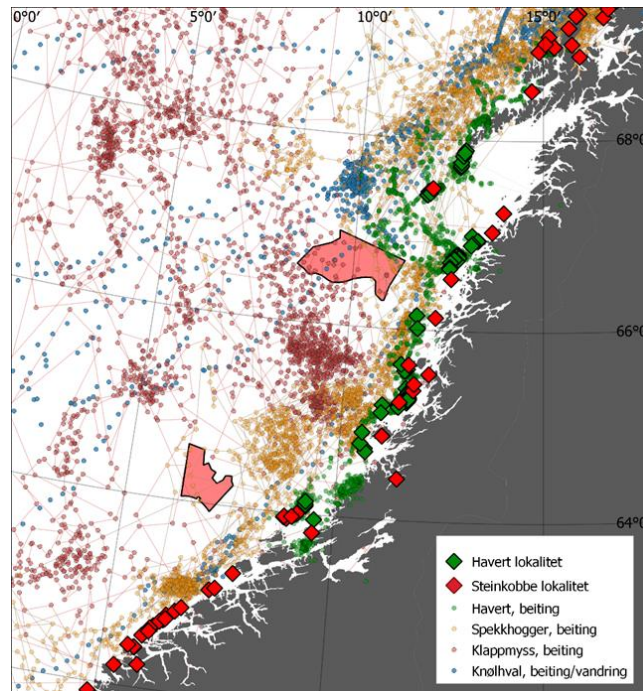
*Figur 1. Tilfeldige observasjoner av vanlig forekommende tannhvaler (venstre panel; grønn=spekkhogger, oransje=grindhval, lilla, rosa og lysblå=springer (kvitnos og kvitskjeving) og bardehvaler (høyre panel; lilla=vågehval, grønn=knølhval, rød=finnhval).*

Satellittmerking har i senere år kartlagt vandringsruter til individuelle hval. Slike data viser bl.a. at spekkhogger er vanlig forekommende i nærheten av disse områdene, spesielt når de følger gytevandringen til NVG-sild fra Nord-Norge til gyteområdene utenfor Sør-Trøndelag og Møre-kysten (Fig 2). Knølhval kan også følge disse gytevandringene til NVG-sild under den innledende fasen av migrasjonene til mer sørlige strøk i Atlanterhavet (Fig 2). I tillegg ligger områdene nært flere kjente kaste- og hårfellingsplasser til steinkobbe og havert av betydelig størrelse (Fig 2). Spesielt havert antas





å foreta lange beitevandring ut mot eggakanten og mest sannsynlig til grunne banker innenfor dette området, slik som Frøyabanken, mens steinkobbe trolig holder seg i mer kystnære farvann. Satellittmerking av klappmyss utenfor Østgrønland i 2007 og 2008 (Vacquie-Garcia et al., 2017) har vist at også denne arten foretar regelmessige vandring fra hvileplasser i Grønlandshavet til sokkelskråninger og banker bl.a. langs norskekysten, bl.a. områder rundt Trænabanken og Frøyabanken (Fig. 2).



*Figur 2. Kaste- og hårfellingsplasser for havert (grønne diamanter) og steinkobbe (røde diamanter), samt posisjoner fra satellitt- eller GPS-merker fra havert, klappmyss, spekkhogger og knølhval (grønne, røde, oransje og blå sirkler). Informasjon om kaste- og hårfellingsplasser, samt merkedata for havert kommer fra inventeringer og merkeprosjekter utført av Havforskningsinstituttet. Merkedata for spekkhogger og knølhval kommer fra prosjekter ledet av UiT, og utført i samarbeid med HI.*

#### Norskerenna sør

Selv om både vågehval og nise er vanlig forekommende i Nordsjøbassenget er det ikke mye som tyder på at Norskerenna er et viktig beiteområde for disse artene. Flere mindre kaste- og hårfellingsplasser til steinkobbe finnes langs kysten i nærheten til dette området, men det er ukjent i hvor stor grad de foretar vandring lang fra kysten. Det er også en liten kasteplasse for havert på Kjør i Rogaland og det kan tenkes at havert derfra kan opptre i det aktuelle området i Norskerenna. Ettersom haverten antas utføre lengre beitevandring enn steinkobbe vil de kunne foreta beitemigrasjoner til dette området også fra kjente lokaliteter lengre nord og sør langs norskekysten, samt også fra bl.a. Storbritannia (Carter et al., 2017, Fig 1b).



### Mulige effekter av havbruksanlegg på sjøpattedyr

Dataene fra tilfeldige observasjoner og satellittmerking som er presentert viser at flere arter er vanlig forekommende i havområdene som innefatter de tre havbruksområdene under utredning her. Samtidig tegner det seg et bilde der de viktigste vandringsrutene ikke ser ut til å krysse gjennom de tiltenkte områdene, men at de først og fremst går fra områdene utenfor Lofoten inn mot kysten nord for Trænabanken. Selv om dette kan tyde på begrenset omfang av interaksjoner mellom sjøpattedyr og havbruk er det viktig å poengtere at disse dataene ikke nødvendigvis er representativt for hele populasjoner. Satellittmerking er begrenset til et fåtall individer per art, og tilfeldige observasjoner fra fartøy vil påvirkes av tidspunkt på året og hvor de vanligste navigasjonsrutene går.

Det er kjent fra tradisjonelt fiskeoppdrett at problemer kan oppstå når fremfor alt sel tiltrekkes merder og kan ødelegge nettene. Dette har ledet til store problemer i bl.a. Storbritannia, Chile og Canada, og det er også rapportert fra norske farvann, men i mindre skala. Lignende interaksjoner kan oppstå også ved havbruk til havs, som mest sannsynlig vil tiltrekke seg sjøpattedyr, men i hvor stor grad dette utgjør et konkret problem avhenger av hvordan anleggene er utformet. Lukkede system, eller system med sterke/rigide nett, vil mest sannsynlig kunne holde sel og andre sjøpattedyr unna, mens anlegg med materialer som brukes i tradisjonelle oppdrettsanlegg kan bli utsatt for depredasjon fra sel og eventuelt andre sjøpattedyr.

### *Spredning av organisk avfall og forurensing*

Viktige naturverdier ligger nedstrøms av noen av de foreslåtte HTH-områdene. Det bør undersøkes i hvilken grad organisk avfall eller andre utslipp spres i retning sårbare naturverdier og ved hvilke konsentrasjoner de opptrer i ulik avstand. Dette bør overvåkes både gjennom observasjoner og ved numerisk modellering for å identifisere spredningspotensial og realisert påvirkning.

### *Klimaendringer*

Global middeltemperatur i 2011-2020 er 1.09 °C over middelet for 1850-1900 (IPCC AR6) som følge av klimagassutslipp. Samtidig er temperaturøkningen akselererende. Selv om måletsetningen er å redusere klimagassutslipp er de globale utslippene stadig økende og Norge har kun redusert sine utslipp med 4.7 % i forhold til 1990 selv om ambisjonen for 2030 er et kutt på 55 %. Effekter av HTH på marine økosystemer vil komme som en del av flere andre antropogene påvirkningsfaktorer og samtidige klimaendringer. I vurderingene av de enkelte foreslåtte HTH-feltene må det derfor både vurderes hvilke effekter kjente påvirkningsfaktorer fra HTH vil kunne ha på økologisk og økonomisk viktige økosystemkomponenter, hvordan dette slår ut additivt / synergistisk med andre samtidige antropogene påvirkninger og hvordan økosystemstruktur og -funksjon kan endre seg med klimaendringer. Som et eksempel er det vist at gytefeltet for Nordøstarktisk torsk har flyttet seg nord/sør med naturlige svingninger i miljø mellom varme og kalde perioder. Klimagassutslipp og tilhørende global oppvarming resulterer i havforsuring, hetebølger, økt stratifisering i vannsøylen og redusert oksygen i vannsøylen. Dette ventes å redusere biologisk produktivitet, endre artssammensetning og fenologi, og dermed påvirke fødetilgang og fordeling av egnede habitater for de ulike arter. Annen antropogen påvirkning kommer samtidig med at marine økosystemer er under press fra klimaendringer. Konsekvensutredninger med bakgrunn i dagens økosystemtilstand er derfor ikke nødvendigvis representativ for tilstand om 10 eller 20 år.





## Referanser

- Athammer, R.R., 2023. Wave after wave - fluctuating water currents increase coping and welfare of groups of Atlantic salmon (*Salmo salar*) tested in a swim tunnel system. Master oppgave ved Universitetet i Bergen, 1. juni 2023.
- Barbier, E., 2023. The adaptability of Atlantic salmon (*Salmo salar*) to novel turbulent environments. Erasmus joint master in aquaculture, environment, society, 1 June 2023.
- Carter, M. I. D., Russell, D. J. F., Embling, C. B., Blight, C. J., Thompson, D., Hosegood, P. J., & Bennett, K. A. (2017). Intrinsic and extrinsic factors drive ontogeny of early-life at-sea behaviour in a marine top predator. *Scientific Reports*, 7(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15859-8>
- Gansel, L., Rackebrenth, S., Oppedal, F., McClimans, T. A. 2014. Flow Fields Inside Stocked Fish Cages and the Near Environment. *J. Offshore Mech. Arct. Eng.* <https://doi.org/10.1115/1.4027746>
- Hvas, M., Folkedal, O., Imsland, A., Oppedal, F. 2017b. The effect of thermal acclimation on aerobic scope and critical swimming speed in Atlantic salmon, *Salmo salar*. *J. Exp. Biol.* 220, 2757-2764.
- Hvas, M., Karlsbakk, E., Mæhle, S., Wright, D., Oppedal, F., 2017d. The gill parasite *Paramoeba perurans* compromises aerobic scope, swimming capacity and ion balance in Atlantic salmon. *Conservation Physiology* 5: cox066; doi:10.1093/conphys/cox066
- Hvas, M., Folkedal, O., Oppedal, F. 2021a. Fish welfare in offshore salmon aquaculture. *Rev. in Aquacult.* doi: 10.1111/raq.12501
- Hvas, M., Folkedal, O., Oppedal, F. 2021b. What is the limit of sustained swimming in Atlantic salmon post smolts? *Aquacult. Envir. Interact.* DOI: 10.3354/aei00401
- Johannesen, Á., Patursson, Ø., Kristmundsson, J., Pæturonur Dam, S., Klebert, P. 2020. How caged salmon respond to waves depends on time of day and currents. *PeerJ* 8:e9313 <https://doi.org/10.7717/peerj.9313>
- Johannesen, Á., Patursson, Ø., Kristmundsson, J., Pæturonur Dam, S., Mulelid, M., Klebert, P. 2021. Waves and currents decrease the available space in a salmon cage. 2021. *bioRxiv.* <https://doi.org/10.1101/2021.07.23.453560>
- Johansson, D., Laursen, F., Fernö, A., Fosseidengen, J.E., et al. 2014. The interaction between water currents and salmon swimming behaviour in sea cages. *PLOS ONE* 9:e97635
- Klebert, P., Patursson, Ø., Endresen, P.C., Rundtop, P., Birkevold, J., Rasmussen, H.W. 2015. Three-dimensional deformation of a large circular flexible sea cage in high currents: field experiment and modeling. *Ocean Eng* 104:511–520
- Løland, G. 1991. Current forces on and flow through fish farms. PhD dissertation, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.
- Morro, B., Davidson, K., Adams, T. P., ..., Planellas, S. R. 2021. Offshore aquaculture of finfish: Big expectations at sea. *Reviews in Aquaculture.* DOI: 10.1111/raq.12625
- Oldham, T., Oppedal, F., Dempster, T. 2018. Cage size affects dissolved oxygen distribution in salmon aquaculture. *Aquacult. Env. Interact.* 10. 149-156.
- Oppedal, F., Dempster, T., Stien, L. H. 2011. Environmental drivers of Atlantic salmon behaviour in sea-cages: a review. *Aquaculture* 311. 1–18.
- Vacque-Garcia, J., Lydersen, C., Biuw, M., Haug, T., Fedak, M. A., & Kovacs, K. M. (2017). Hooded seal *Cystophora cristata* foraging areas in the Northeast Atlantic Ocean—Investigated using three complementary methods. *PLoS ONE*, 12(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187889>
- Ådlandsvik, 2019, Havbruk til havs – smittespredning. Rapport fra havforskningen 2019-58