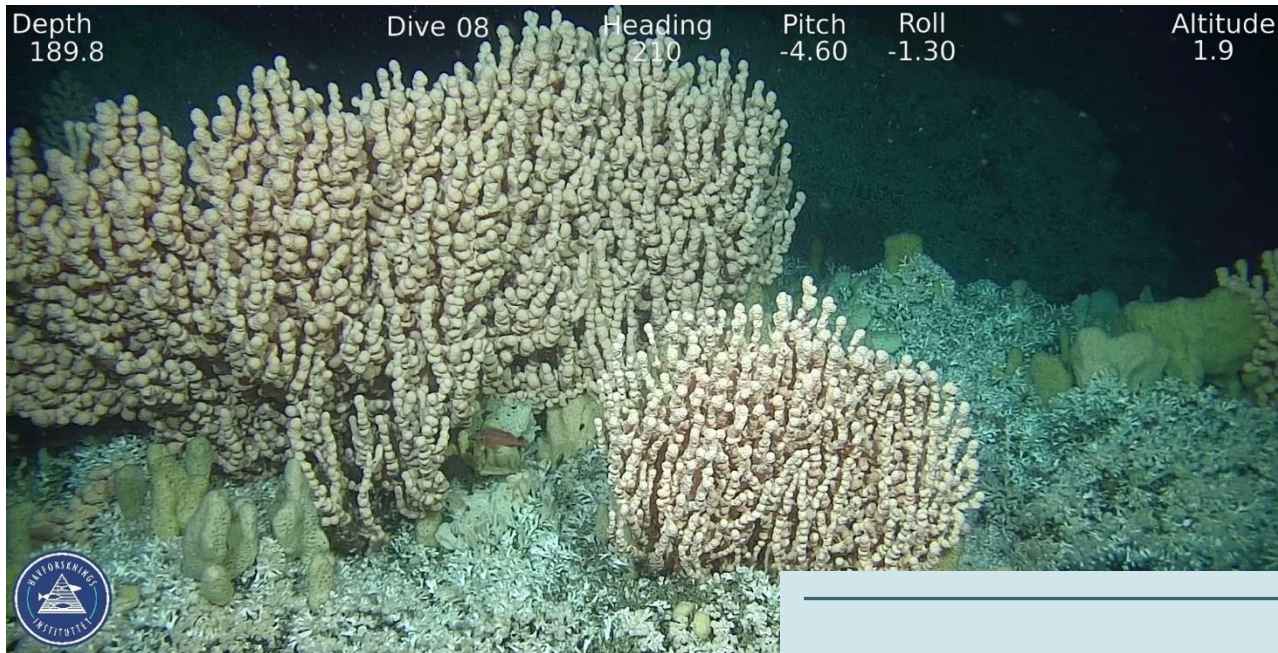


Nåværende kunnskap og metoder for å vurdere effekter av akvakulturutslipp på forvaltningsrelevante arter og hardbunnshabitater



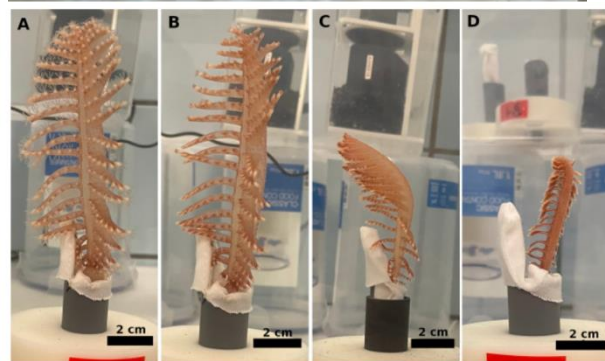
FHF-dialogmøte: Miljøundersøkelser for fremtiden

Katherine Dunlop
Bentisk Økologi, Havforskningsinstituttet, Tromsø

Studier Tilnærming

1. *Transplantasjonseksperimenter i felten*
2. *Eksponeringsforsøk i laboratoriet*
3. *Eksisterende anrikningsgradient*

2.



1.



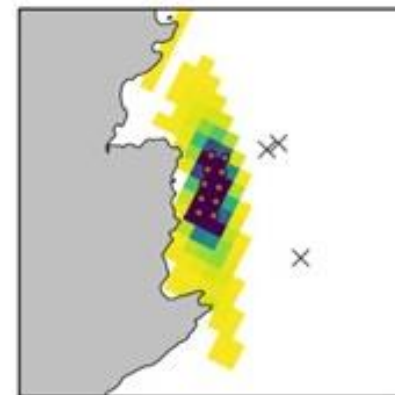
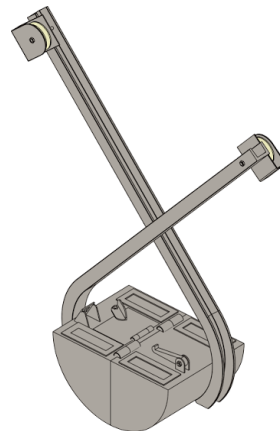
3.



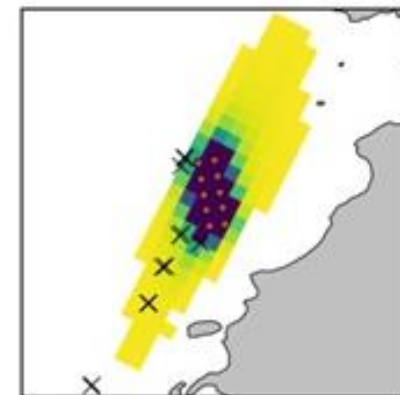
Kutti mfl. 2016; Laroche mfl. 2021; Taormina mfl. 2024

Metoder – Anrikningsgradient organisk utslipp

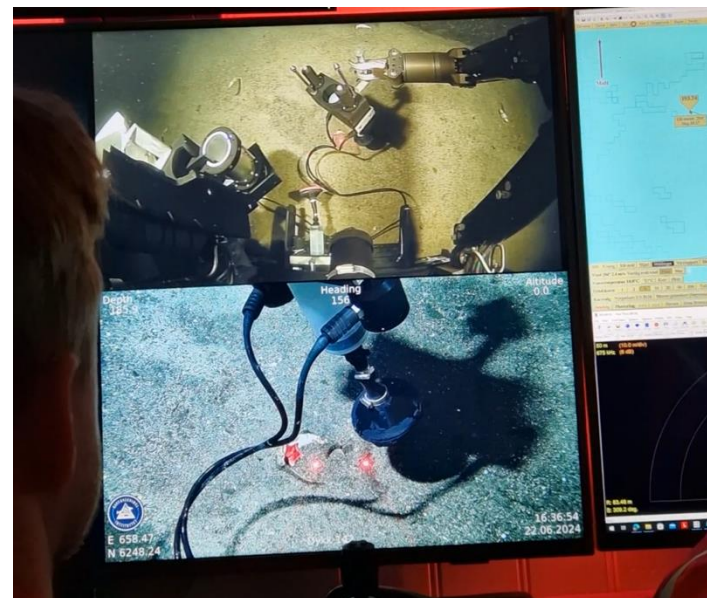
- Avstand til anlegg
- Grabprøver – infauna
- Modellering av spredning og sedimentering
- SIBS (Substrate Independent Benthic Sampler) - DNA-ekstraksjon/16S sekvensering/bioinformatikk/b-MBI
- b-MBI bygd på sammensetning av bakteriegrupper knyttet til utslipp



Kråknes (12239)



Storvika (22335)

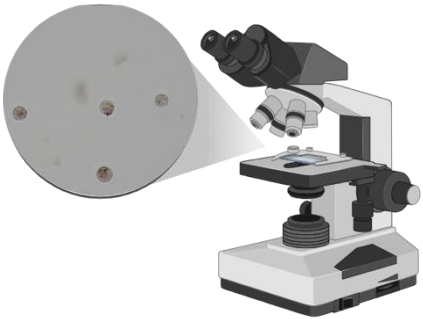


Metoder



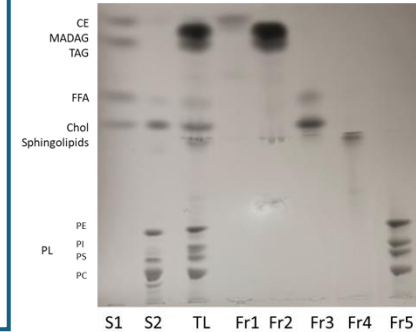
- Visuelle helsetilstand
- Vekst
- Tetthet av arter

Fysisk observasjoner



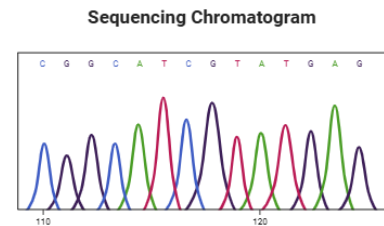
- Lysosomal membranstabilitet
- Oksygenforbruk og ammoniumsekresjon
- Ernæringstatus (lipid- og fettsyranalyser)
- Reproduksjon (Histologi)

Fysiologi og metabolisme



- Microbiome (16s rRNA)
- Transkriptomanalyse (RNA-seq)
- DNA-metylering
- Telomerlengde (APN)

Molekylære



Fokus arter

Svamp

Viftesvamp



Craniella spp.



Weberella spp.



Kålrabisvamp

Koraller

Sjøtre



Risengrynkorall



Bambuskorall



Sjøfjær



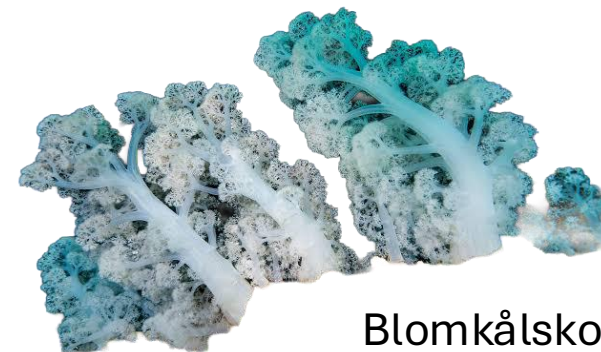
Sjøbusk



Øyekorall



Blomkålskorall

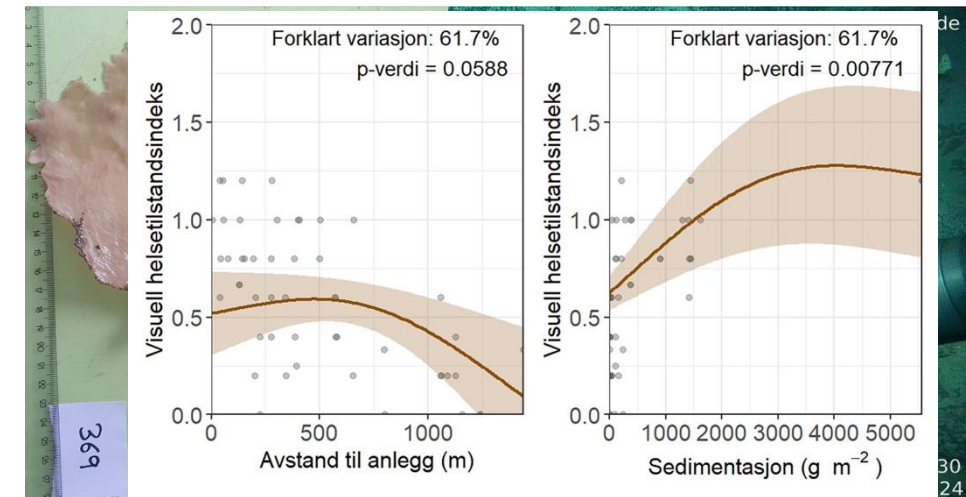
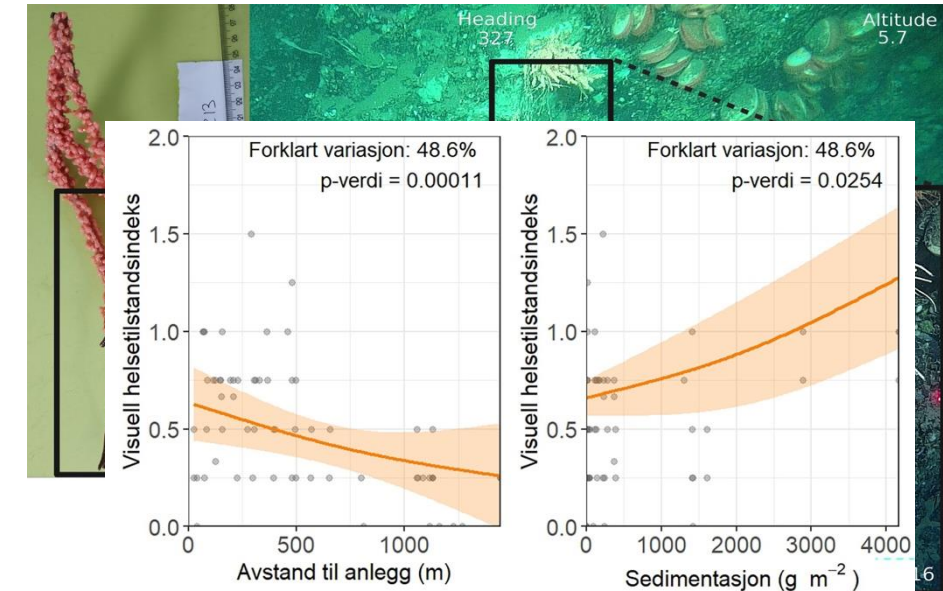


Fysisk observasjoner

Eksisterende anrikningsgradient

- Dårligere helsetilstand knyttet til høyere modellert sedimentering og nærhet til anlegg for viftesvamp og risengrynkorall
- Disse to artene viste tap, tynning og revner av vevet som kunne observeres med ROV
- Sjøtre: Ingen sammenheng mellom visuelle helsetilstand og avstand til anlegg
- Kålrabisvamp og sjøbusk viste en svak sammenheng med avstand/sedimentasjon, men med lavere sikkerhet

Visuelle helsetilstand

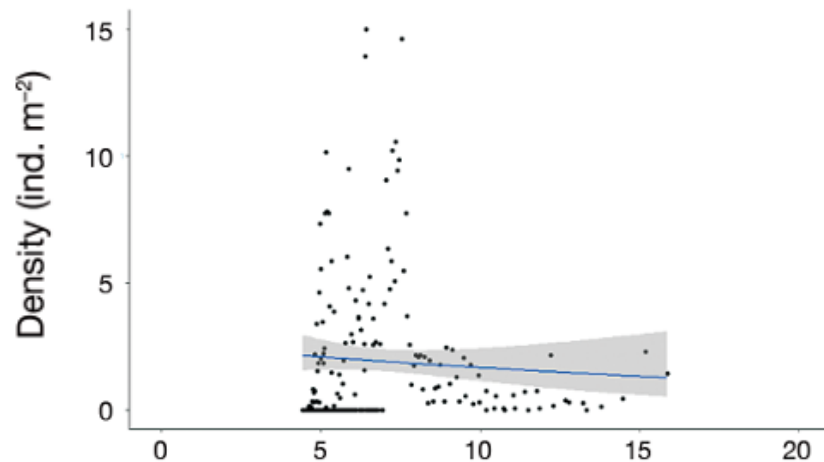


Fysisk observasjoner

Vekst

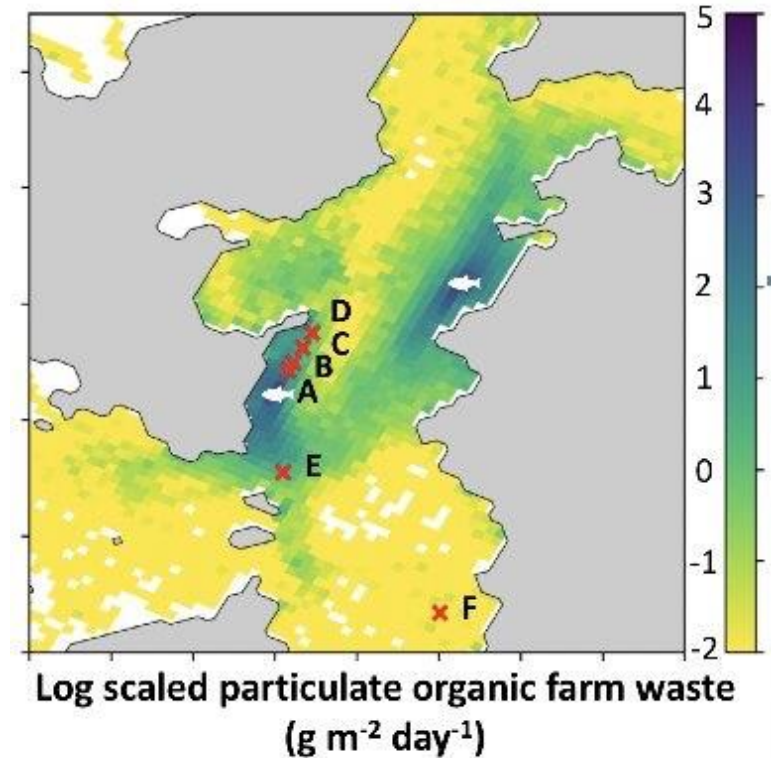
Transplantasjonseksperiment med øyekorall – 70 % nedgang i vekst opptil 1 km fra anlegg

Blomkålskoraller (*Duva florida*)



Tetthet

Eksisterende anrikningsgradient – Nedgang i tettheten av svamper og blomkålskoraller ved økt sedimentering



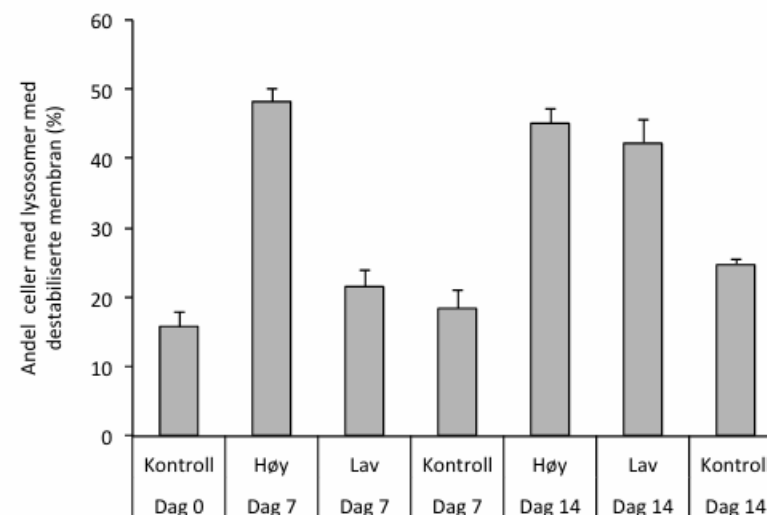
Total particulate material flux (g m⁻² d⁻¹) standardised to maximum production



Cellulært stress - Lysosomal membranstabilitet (LMS)

- *Eksisterende anrikningsgradient*: Høyere andel ustabile celler hos viftesvamp og kålrabisvamp nær oppdrettsanlegg
- *Eksponeringsforsøk* - kålrabisvamp: Andel celler med lysosomer med ustabile membraner var høyere hos svamper eksponert for fiskefôr sammenlignet med upåvirkede svamper
- *Transplantasjonseksperimenter*: Høyere andel ustabile celler hos øyekorall 250 m fra anlegget

Eksponeringsforsøk
kålrabisvamp



Kutti mfl. 2016; Dunlop mfl. 2026; Kutti mfl. 2022

Fysiologi og metabolisme

Eksisterende anrikningsgradient

Lipidmengde og fettsyresammensetning

- Relativ økning i totalt fettinnhold ved økt sedimentasjon hos sjøtre
- Tegn på endringer i lipidmengde og fettsyresammensetning hos viftesvamp og kålrabisvamp

O₂ forbruk

- Begrensede endringer, med en svak økning hos sjøtre ved økt sedimentasjon
- *Transplantasjonseksperiment* – øyekorall: lavere oksygenforbruk innenfor influensområdet



Mikrobiom (16S)

- Tidlig endringer i struktur ved sedimentering for viftesvamp
- Noen endringer i sammensetningen av bakteriesamfunn langs anrikningsgradienter for kålrabisvamp, risengrynkorall og sjøtre



RNA-seq

- Ulike responser for hver art (viftesvamp, kålrabisvamp, og sjøtre)
- Opp- og nedregulering av ulike cellulære prosesser

Metodesammenligning

Metode	Kostnad	Tidsbruk	Bruksområde
Visuell helsetilstandsvurdering	Lav	Rask	Overvåking
Modellert sedimentasjon	Lav–moderat	Rask	Overvåking
b-MBI (SIBS + 16S)	Moderat–høy	Rask–moderat	Overvåking
LMS	Lav–moderat	Moderat	Overvåking + Forskning
O ₂ -forbruk / NH ₄ ⁺	Lav–moderat	Moderat	Forskning
Lipid- og fettsyreprofiler	Moderat	Moderat–lang	Forskning
16S rRNA seq (mikrobiom)	Moderat–høy	Moderat	Forskning
RNA-seq (transkriptom)	Høy	Lang	Forskning
Telomerlengde	Lav–moderat	Moderat	Forskning

Kombinert metoder

- Metoder som kan avdekke endringer i helsetilstand langs en anrikningsgradient og over tid under påvirkning (prøvetaking og uinngripende metoder)
- Sammensatt Indeks:  Visuell helsetilstand +  b-MBI indeks

Kalibrert med fysiologi og molekylær metoder

 - Lovende resultater for sjøtre, risengrynkorall, kålrabisvamp og viftesvamp
 - Bør testes videre
 - Viktig å kombinere metoder

Ulike metoder fanger stress
over ulike tidsskalaer



Visuell helse alene kan misse
tidlige stressresponser



b-MBI alene sier ikke noe
om artertilstand



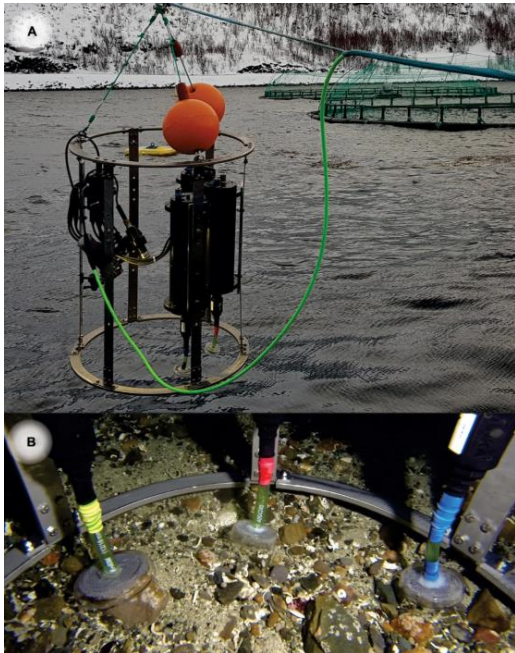
Veien videre

- Nåværende metoder for å måle endringer langs anrikningsgradienter og ved varierende påvirkning
- Flere er nylig testet, lave prøvestørrelser på få lokaliteter og behov for ytterligere validering
- Grenseverdier
- BACI (før, etter, kontroll, påvirkning)
- Kombinasjon av metoder – vevsprøvetaking med uinngripende metoder

Kunnskap og metoder: akvakulturutslipp på hardbunnshabitater

- Organisk og uorganisk materiale samles inn med en sugeprovvetaker (SIBS)
- Ekstraksjon av miljø-DNA (eDNA), etterfulgt av metabarkoding av bakterielle 16S rRNA-gener – **b-MBI**
- Visuelle indikatorer på anrikning

< 200 m

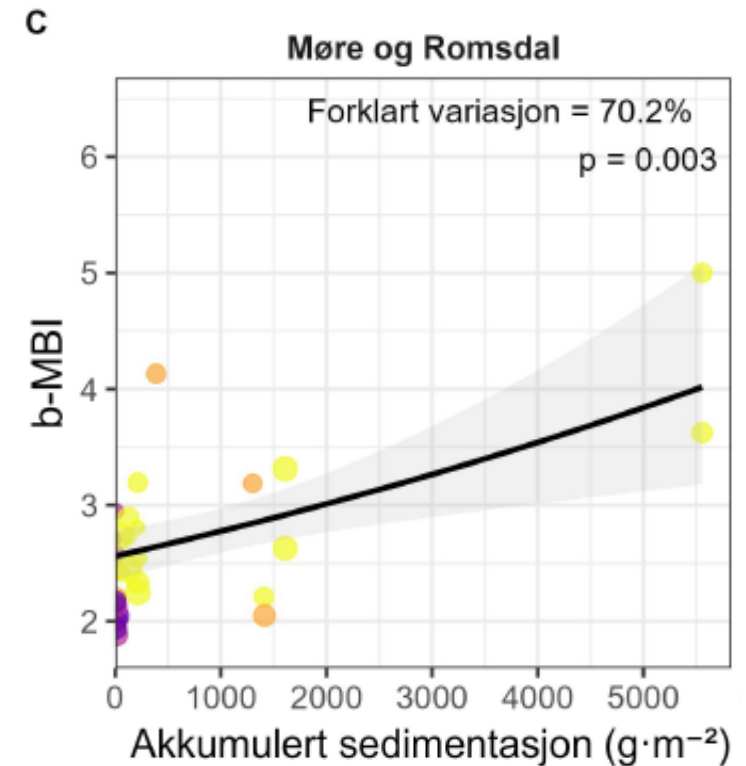
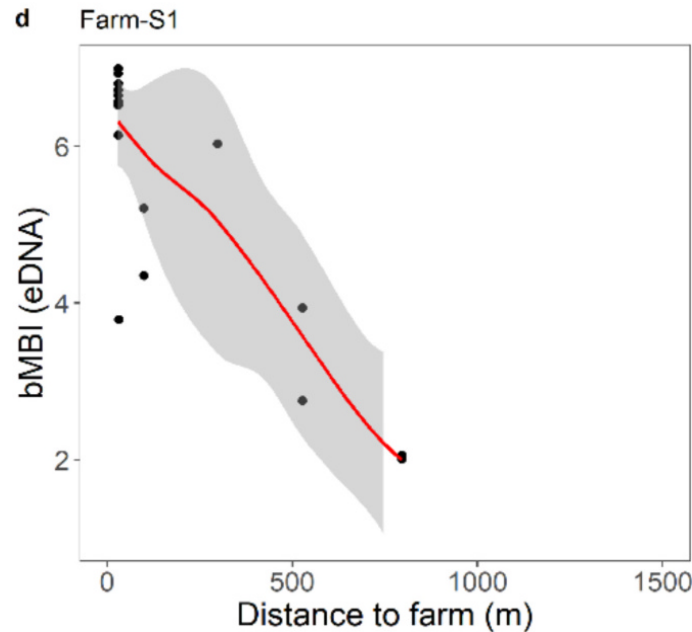
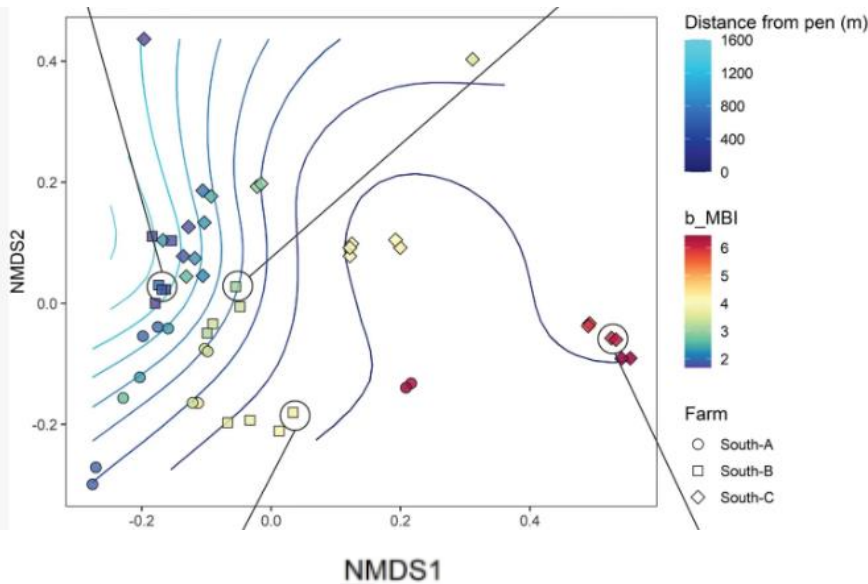


> 200 m



Bacterial Metabarcoding Biotic Index (b-MBI)

- b-MBI samsvarte med avstand til anlegget og viste sensitivitet overfor anrikningsgradienten (Keeley mfl. 2021, 2025)
- b-MBI samsvarte også med modellert sedimentasjon (Dunlop mfl. 2026)



Visuelle indikatorer på anrikning

Organisk belastning:



Fekalier og fôr

+

Nedbrytende organisk materiale



Økologisk påvirkning:



Hvite bakterier

+

Opportunistiske børstemark



Table 1

Categorisations of the level of impact from visual enrichment effects (VEE: white bacteria, OPA's) visual organic loading (VOE: Feed/fecal pellets and decomposing material) based on the range of percentage coverage of visual indicators on the visible seafloor area in SIBS images (overleaf).

Score	Category		Acceptance level	
0	Natural		Acceptable	
1	Possible enrichment, but can be natural		Acceptable	
2	Clear signs of early stages of enrichment		Acceptable, but enrichment noted	
3	Clearly strongly enriched		Should be avoided	
4	Very highly enriched		Must be avoided / remedied	

	Category	Rationale	Range	Category
Visual ecological effects	None	White Bacteria Normal/natural state	0	0
	Trace	Can occur natural, but unlikely. Even if natural, still indicates enrichment	0.0001-1	1
	Patchy - minority low	Traces of fringes of shells and small objects. Early stages, but indicative of high enrichment	1.01-10	2
	Patchy - minority high	More obvious patches, fringes on objects larger and more obvious, but not majority of area	10.01-30	3
	Patchy - majority	Extensive coverage, but still patchy and not mat forming	30.01-75	4
	Mat	Complete or near-complete (>75 %) mat of white bacteria, usually over layer of organic sludge	> 75	5
	None	OPA's Natural unenriched state	0	0
	Occasional	Occasional individual opportunistic polychaetes visible on the surface. Could be natural.	0.01-2	1
	Patchy - minority	One or a few patches of high density OPA's. Unusual in natural setting, likely strong enrichment	2.01-10	2
	Patchy - minority high	Several patches or clumps of OPA's, but <50 % of surface area	10.01-50	3
Visual organic loading	Prolific	High densities of polychaetes evident on most of the surface area. Very high enrichment, but not azoic / anaerobic. Still biologically functional	>50	4
	None	Feed and fecal pellets Natural	0	0
	Occasional	Occasional feed and fecal pellets	0.0001-0.01	2
	Few pellets	Several pellets visible, only small proportion of image	0.02-5	3
	Considerable	Numerous pellets visible, maybe in large patches, but less than half the visible area	5.01-50	4
	Severe spill	Extensive coverage of feces and feed pellets indicating heavy recent deposition of feed spill	>50	5
	Decomposing Material			
	None	Normal/ natural	0	0
	Traces	Traces of loose organic matter, possibly associated with farm	0.0001-1	1
	Small patches / low coverage	Small patches or light scattering of loose organic matter, probably associated with farms	1.01-5	2
	Large patches	Large areas of organic matter, but majority of area occupied by apparently natural sediment	5.01-50	3
	Majority coverage	Extensive coverage of farm-derived, not distinct organic matter, area of natural sediment still visible	50.01-90	4
	Solid sludge layer	Thick, dark organic sludge layer. Apparent depth > 5 cm. Natural sediment not visible	>90	5

Visuelle indikatorer på anrikning – er de koblet til anrikning?

Endring over produksjon

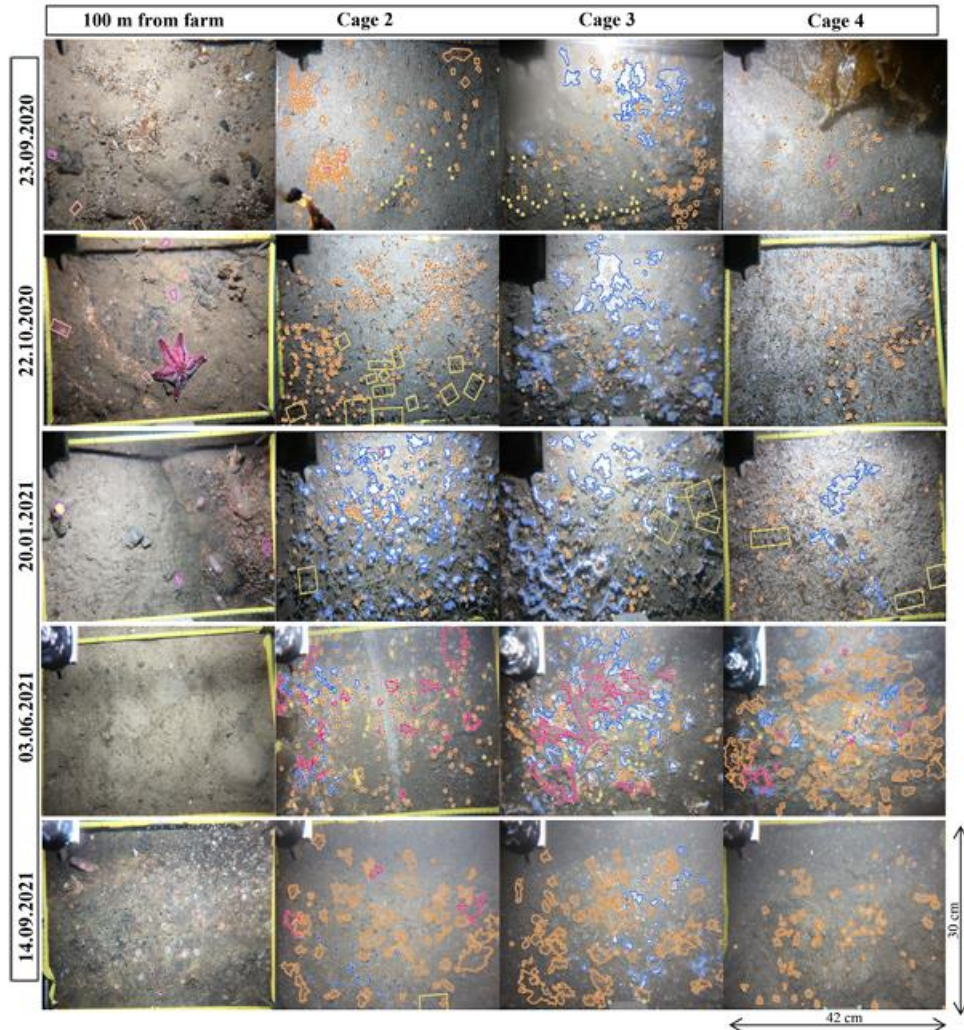
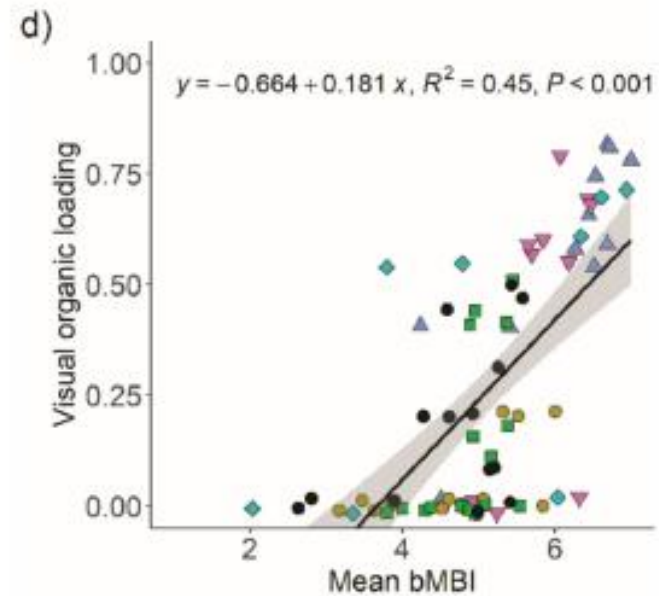
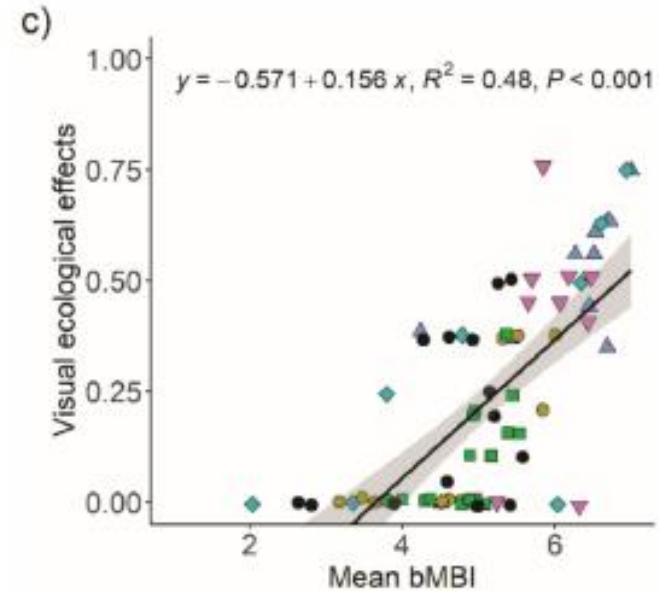


Fig. 2. Examples of images of the sea floor underneath farm cages. Each column represents a different location (100 m from the farm, Cages 2, 3 and 4) and each row a different date (dd/mm/yy). IOE are highlighted by colours, as annotated using the BIIGLE software: surface covered by (blue) bacterial mats, (orange) organic pellets, and (pink) opportunistic polychaete complexes (OPC), and (yellow squares) counts of polychaete aggregations



b-MBI

Visuelle indikatorer på anrikning

 Fiskeridirektoratet

[Yrkesfiske](#) / [Akvakultur](#) / [Areal og miljø](#) / [Fritidsfiske](#) / [Turistfiske](#)

Fiskeridirektoratet / Akvakultur / Veiledere / Alternativ overvåking av hard- og blandingsbunn ved marine akvakulturanlegg

Alternativ overvåking av hard- og blandingsbunn ved marine akvakulturanlegg

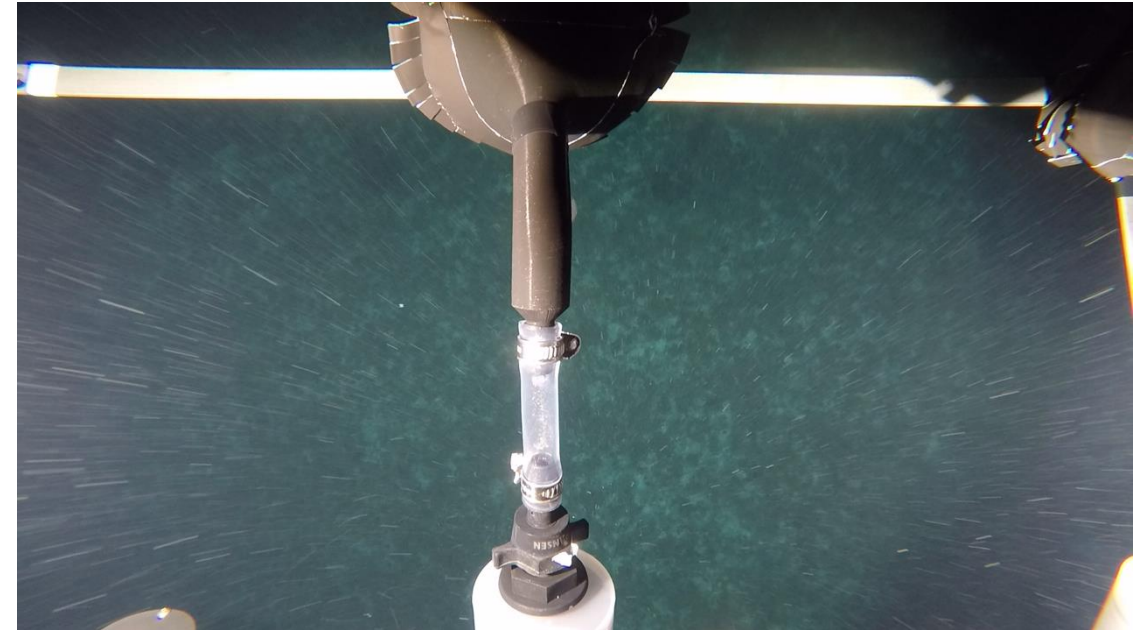
Veileder som viser metode og utstyr for alternativ overvåking av hard- og blandingsbunn ved marine akvakulturanlegg.

Biologiske indikatorer og grenseverdier



Visuell og miljø-DNA (bakterier)

- Visuelle indikatorer er mer “binære”, men gir en indikasjon på “organisk belastning” og “økologiske effekter”
- 16S rRNA-tilnærmingen er mer sensitiv
- Indikerer anrikning på lokalt nivå, men krever avanserte ferdigheter og utstyr



Veien videre

- To uavhengige metoder for å kvantifisere utslippspåvirkning på hardbunn

Neste trinn:

- Regional validering mot norske mikrobielle samfunn
- Kombinerte metoder for overvåking – utvikling av dybevannsmetoder
- Effektiv overvåking av hardbunn er mulig...



VISUELL HELSEVURDERING AV HORNKORALLER OG SVAMPARTER LANGS EN PÅVIRKNINGSGRADIENT FRA AKVAKULTURANLEGG

Metode og resultater fra VDWS-prosjektet

Katherine Mary Dunlop, Ana S. Gomes, Mona Maria Fuhrmann



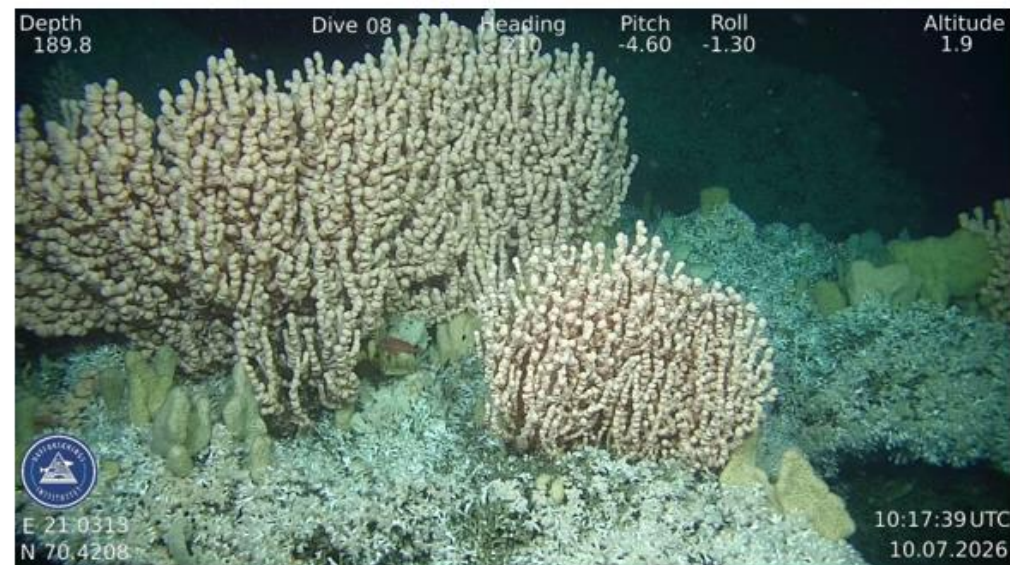
MARINE GRUNNKART



NATURTYPER ETTER MILJØDIREKTORATETS INSTRUKS

Kartlegging av dype forvaltningsrelevante
marine naturtyper, med variabler og metodikk

Katherine Mary Dunlop, Mona Maria Fuhrmann, Barbro Taraldset Haugland, Genoveva Gonzalez-Mirelis, Frithjof Moy og Sigurd Espeland

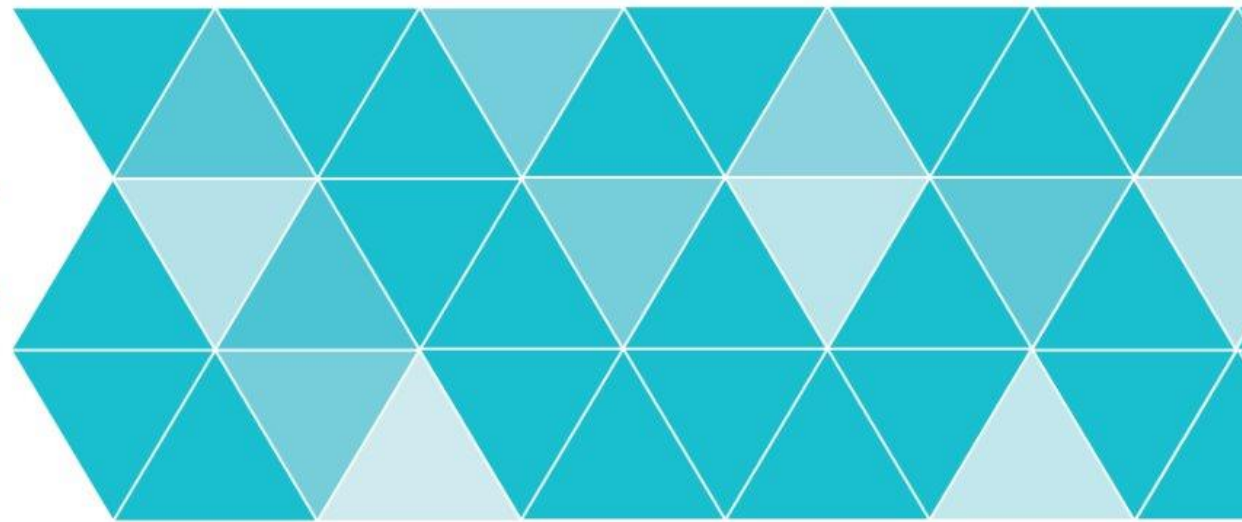


katherine.mary.dunlop@hi.no

Råd: post@hi.no



125
ÅR



2025

Takk for oppmerksomhet

Finansiert av:



The Research
Council of Norway



Nærings- og
fiskeridepartementet