

## Effektiv marin miljøovervåking av fjordresipienters tilstand og bæreevne

Kort tittel: *Fjordøkologi og antropogen påvirkning*

### DEL 1: Bakgrunn og regional relevans

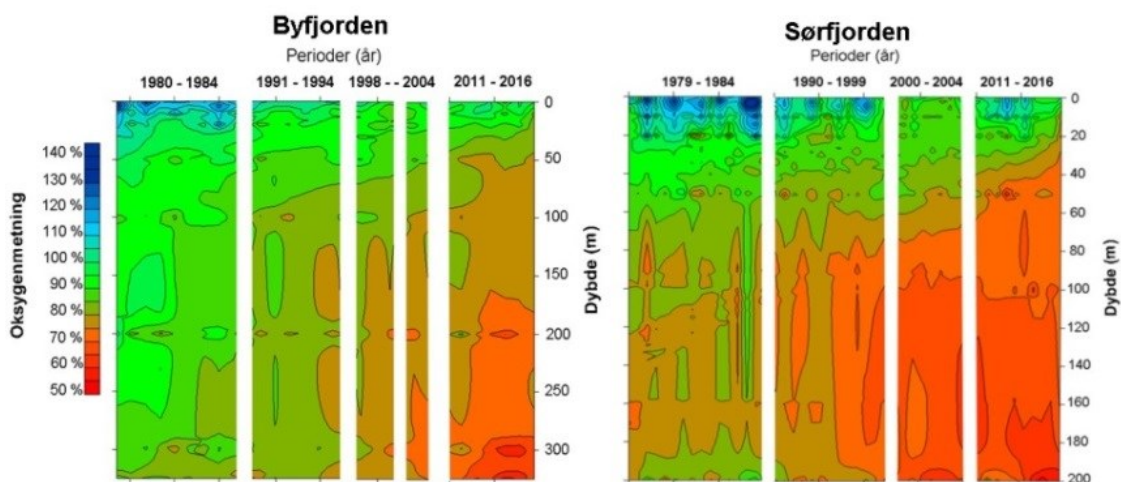
Kystområder er karakterisert av påvirkninger fra flere menneskeskapt stressorer som kan ha negativ effekt på det marine miljøet som endringer av økosystemfunksjoner og redusert biologisk mangfold.

Kyst- og fjordområder på Vestlandet er utsatt for påvirkning som følge av økt befolkning og endret befolkningsstruktur som bidrar til økt utslipp av organiske partikler og næringssalter fra husholdning (kloakk) og landbasert industri. I tillegg har det vært en betydelig vekst innen havbruk de siste 40 årene som gir utslipp av organisk materiale (fôr og fekalier) og løste næringssalter til sjø. Naturlig avrenning fra land er også en viktig kilde til næringssalter i kystvann og fjorder, og da særlig i indre fjordsystemer med stor ferskvannstilførsel. I Norge er det forventet økt nedbør og avrenning fra land, og klimamodeller spår at økningen i nedbør på Vestlandet vil utgjøre fra 0,3 til 2,7 % per tiår frem mot 2050 [1, 2]. Denne økningen i nedbør vil medføre mer naturlig avrenning fra land og større tilførsel av løste næringssalter til fjordsystemene som kan bidra til overgjødning og uønskede algeoppblomstringer (eutrofiering). Det er anslått at 20-25 % av algeproduksjonen sedimenterer [3], noe som vil tilføre betydelige mengder organisk materiale til bunnsbunnen i fjordbassenger.

Nedbryting av organisk materiale er oksygenkrevende, og dersom tilførsel av organisk materiale er større enn det nedbrytersamfunnet (bunnfauna; børstemark, snegler o.a.) kan ta unna, så vil dette akkumulere med økt bakteriell nedbryting og oksygenmangel i bunnvann og bunnsbunnen [4]. I tillegg kan klimatiske endringer med mer nedbør og økte sjøtemperaturer medføre redusert vannutskifting i fjordbassenger med direkte negativ effekt på oksygennivåer og det marine økosystemet [5-8]. Reduserte oksygennivåer vil føre til et skifte i økosystemet der oksygenkrevende, følsomme bunndyrarter i stadig større grad vil bli erstattet med arter som tåler lave oksygennivåer, og i verste fall med mindre effektive bakterielle nedbryterorganismer [8]. Eutrofiering og klimatiske endringer er følgelig blant de viktigste årsakene til oksygenfattig i kystvann og fjorder [9, 10], og det er antatt at områder med oksygenfattige (hypoksiske) eller oksygenfrie (anoksiske) forhold vil øke i omfang de neste 50 år som en konsekvens av økt tilførsel av næringsstoffer og redusert vannutskifting [11]. Hypoksi forholdene kan forverres med økende temperaturer [12], og oksygenreduksjonsraten vil antagelig være større i kystvann og fjorder enn i det åpne hav [13]. Klimaendringer kombinert med en voksende havbruksindustri og økt befolkningstetthet gjør at bærekraftig utvikling og -forvaltning av kystareal er mer relevant enn noensinne, for å sikre et godt og produktivt fjord- og kystmiljø. Det er viktig at kyst- og fjordområder har tilstrekkelig bæreevne for økt organisk belastning. Kunnskap om bæreevnene og vannkvalitet til ulike kystvannforekomster i regionen vil derfor være veiledende for hvor store utslipp ulike områder tåler. En grunnleggende kunnskap om det marine økosystemet (struktur, funksjon, tilstand), kilder til påvirkning og resipienters bæreevne er essensiell for forvaltningen og videre vekst i regionen. Faktorer som kan påvirke økologiske tilstander kan være komplekst (både antropogene og klimatiske), og det kan hende at viktigheten til de ulike faktorene har endret seg med tiden. Vi må derfor kjenne til fortiden for å forstå nåtiden og best mulig kunne forutsi fremtiden.

Bergen kommune har i samarbeid med Uni Research Miljø og Fiskeridirektoratet nylig gjennomført et kvalifiseringsprosjekt - *Marine miljøendringer og kilder til påvirkning i fjordsystemer omkring Bergen i perioden 1973-2016* (RFF Vest prosjektnr. 263572; heretter: Pilotprosjektet). Pilotprosjektet var en øvelse i innsamling, strukturering og re-analyser av historiske data fra det marine overvåkingsprogrammet «*Resipientovervåking av fjordsystemene rundt Bergen*» (heretter: Byfjordundersøkelsen), samt data vedrørende utslipp fra kommunale avløp og havbruksvirksomhet i to utvalgte kystvannforekomster (*Byfjorden* som viktig resipient for kommunale avløp; *Sørfjorden* som viktig resipient for fiskeoppdrett). Resultater og erfaringer fra pilotprosjektet har gitt et nytt og verdifullt perspektiv på metoder for beskrivelser av miljøtilstander som gir et viktig og nødvendig grunnlag for videre undersøkelser vedrørende økologiske og fysisk-kjemiske parametere i fjordsystemer. Statistiske analysemetoder av tidsserier med innsamlet data har gitt en mer presis og detaljert beskrivelse av miljøendringer som faktisk forekommer i de undersøkte områdene. Det har blitt påvist skifte i strukturen til bunnfaunasamfunnet som i stor grad sammenfaller med både menneskeskapt aktivitet og forringet vannkvalitet i fjordene (reduerte oksygenverdier, se Figur 1). De observerte oksygenendringene kan primært skyldes økt oksygenforbruk, redusert vannutskifting eller sannsynligvis en kombinasjon av disse faktorene. Dette er essensiell og ny informasjon som indikerer at nåværende marin miljøovervåking med gjeldende tilstandsklassifiseringer ikke er tilstrekkelig egnet for påvisning av langsiktige, regionale miljøendringer. Disse observasjonene krever videre studier. Preliminære resultater og erfaringer fra pilotprosjektet er allerede publisert og formidlet i ulike sammenhenger [14, 15], og har definert viktige kvalitetslementer som trengs for å dokumentere, samt definere konkrete

problemstillinger i det videre arbeid med å beskrive fjordøkologiske endringer og rangere viktige kilder til miljøpåvirkninger i ulike områder. Formålet vil være å gi kommuner og andre forvaltningsmyndigheter økt kunnskap om lokale marine miljøforhold og et styrket beslutningsgrunnlag for sikre økologisk bærekraftig samfunnsvekst og næringsutvikling på Vestlandet.



**Figur 1.** Oksygenmetning. Målinger fra ulike dyp i Byfjorden og Sørfjorden i perioden 1979 – 2016. Figurene viser at oksygennivåene i vannsøylen er synkende i begge fjordene. Dette kan være en indikasjon på redusert vannutsifting og oksygenløslighet eller økt oksygenforbruk eller en kombinasjon av disse. Data fra RFF Vest pilotprosjekt (nr. 263572).

## DEL 2: Innovasjonen

### 1. Innovasjonsgrad

Dagens marine miljøovervåking følger nasjonale standarder og veiledere for beskrivelser av tilstander i kystvann [16, 17]. Klassifisering av økologisk tilstand i fjordbassenger er basert på biologiske indekser som beskriver sammensetningen av bløtbunnsfauna på tidspunktet for prøvetaking, men tar i liten grad hensyn til komplekse påvirkningsfaktorer. Diversitetsindeksen (Shannon-Wiener,  $H'$ ) er en biologiskindeks som har blitt brukt i standardiserte overvåkingsprogrammer i flere tiår, både nasjonalt og internasjonalt. Data som beskriver diversitet i bløtbunnsfauna er derfor tilgjengelig i historiske miljødata, men undersøkelser har vist at denne indeksen ikke er sensitiv nok til å fange opp viktige langtidstrender og endringer i bunnfaunasamfunnet [15]. Nye indekser har kommet til de senere år, men har vist å ikke være optimalt tilpasset norske forhold (AMBI og Norwegian Quality Index; NQI). Det er av denne grunn blitt utviklet en ny og bedre biologisk indeks (Norwegian sensitivity index; NSI) med basis i norske faunadata [18]. Denne indeksen ble innført i norske standarder i 2013 og inngår følgelig ikke i eldre miljødata.

Nyhetselementer og innovasjonen i prosjektet handler om å utnytte eksisterende og verdifulle tidsserier med data for å bedre dokumentere og beskrive langtidseffekter av miljøpåvirkninger på økosystemet. Slike tidsserier med miljødata er sjeldne, men finnes for **indre- og ytre fjordssystemer omkring Bergen**. Preliminære undersøkelser med data fra disse tidsseriene har nylig blitt gjennomført i et pilotprosjekt (Bergen kommune; RFF prosjekt nr. 263572). Metoder og erfaringer ervervet fra dette pilotprosjektet skal benyttes til videre undersøkelser og analyser av tidsserier med data som vil belyse komplekse sammenhenger i flere fjordssystemer i regionen. **Nye tilnærminger** med bruk av statistiske analysemetoder av eksisterende tidsserier med meteorologiske data og miljødata fra marine overvåkingsprogram gir en mer presis og detaljert beskrivelse av langsiktige miljøendringer sammenlignet med standardiserte tilstandsklassifiseringer. Historiske data skal tilrettelegges for re-analyser og beskrivelser av bløtbunnsfauna med bruk av NSI og elementer av NSI (samme modifiserte metoder som i pilotprosjektet). Videre skal tidsserier med utslippsdata fra ulike menneskeskapt aktiviteter bidra til kvantifisering og rangering av påvirkningskilder som kan korreleres med eventuelle påviste endringer i økosystemet i ulike fjorder. Dette prosjektet representerer dermed **det første omfattende og vitenskapsbaserte studiet** av den kombinerte naturlige variasjonen (vannutsifting, nedbør) og regionale langtidseffekter av ulike menneskelige påvirkninger (utslipp) på det marine økosystemet i norske fjorder. En slik omfattende undersøkelse og dokumentasjon vedrørende langtidseffekt av miljøpåvirkning vil være viktig for miljøforvaltningen i fremtidig kystzoneplanlegging med tanke på miljøvern, etablering av nye tettsteder langs kysten og næringsutvikling i det marine miljø. *Hvilke områder har størst potensiale for fremtidig vekst og utvikling? Hvilke områder har blitt mer sårbare?*

Påvisning av miljøendringer og **ny og økt kunnskap** om effekt av menneskeskapt påvirkning er nødvendig for å kunne iverksette riktige og effektive tiltak for å opprettholde gode eller akseptable miljøtilstander i fjordsystemene. Erfaringer og resultater fra prosjektet vil derfor også bidra til en forbedret strategi med tanke

på miljøovervåking som vil ha stor betydning for både **nasjonal og internasjonal** miljøforvaltning. I tillegg vil denne innovasjonen også bidra til å oppnå **FN sine bærekraftsmål** som vedrører: *Mål 2 (Utrydde sult)* og *Mål 14 (Liv under vann)*. Disse målene spesifiserer viktigheten av å bevare og bruke hav og marine ressurser på en måte som fremmer bærekraftig utvikling og sikre matproduksjon, samt forvalte og verne økosystemene i havet og langs kysten på en bærekraftig måte for å unngå omfattende skadevirkninger [19].

## 2. Verdiskapingspotensial og nytteverdi for offentlig sektor

Offentlige forvaltningsmyndigheter hos kommuner, Fiskeridirektoratet og Fylkesmannen har ansvar for en bærekraftig forvaltning av våre naturressurser og kystarealer gjennom arealplanlegging, kystsoneplan, behandling av søknader om utslippstillatelse, lokalitetstillatelse og annet. Fremtidig forvaltning av kystsonen med tanke på miljøvern, næringsvirksomhet og planlegging trenger dokumentasjon som beskriver og predikerer resipienters tilstand, bæreevne og viktige påvirkningskilder.

Prosjektet er et interkommunalt samarbeid som også inkluderer Fiskeridirektoratet, og vil bidra til felles innsats i miljøovervåking og utarbeidelse av maler for innsamling, strukturering og arkivering av data som vil sikre et verdifullt og viktig grunnlag for fremtidig bærekraftig forvaltning av kyst- og fjordsystemer og miljø forskning i regionen. Prosjektet vil gi økt og viktig kunnskap om marin miljøpåvirkning og forståelse av hva slags langtidseffekt dette har for kystområder i ulike fjordtyper. Resultater fra prosjektet vil også bidra til at marin miljøovervåking blir optimalisert slik at endringer og årsaker til endringer i miljøtilstander blir oppdaget på et tidligst mulig tidspunkt. Dette vil sikre at de beste tiltak kan iverksettes på en kostnadseffektiv måte. Kunnskapen som erverves om undersøkte fjordsystemer vil også heve kvaliteten på beslutningsgrunnlaget ved saksbehandling av slike tema som vedrører utslipp i fjordene. Nye prosjekter og utbygginger kan bli forsinket på grunn av miljøspørsmål. Effektiv saksbehandling i slike miljø saker vil bidra til at samfunnet sparer tid og penger i gjennomføring av prosjekter. Et styrket og mer robust beslutningsgrunnlag vil forenkle saksbehandling og korte ned på behandlingstiden. Dette gir ikke bare reduserte kostnader både for saksbehandlende enhet, men en raskere saksgang er også svært verdifull for alle involverte parter i en saksbehandling. Kartlegging av miljøtilstander i ulike fjordsystemer omkring Bergen vil også ha stor nytteverdi for oppdrettsnæringen (havbruksindustrien). Produksjon av laksefisk i både åpne og lukkede systemer krever tilgang til god vannkvalitet for å sikre god vekst og velferd hos fiskene. Områder med lave oksygenverdier, eller områder som viser tendenser til synkende oksygenverdier, vil ikke være særlig egnet for fremtidig etablering av nye oppdrettslokalteter. Prosjektet vil identifisere hvilke områder i fjordsystemene omkring Bergen som er mest hydrografisk stabil (god vannutskifting) og som har størst bæreevne mtp økt tilførsel av næringsstoffer (organisk materiale, næringsalter). Denne kunnskapen vil bidra til å sikre en videre bærekraftig matfiskproduksjon i regionen.

## DEL 3: Forskning og utvikling

### 3. Forskningsbehov<sup>1</sup>

Befolkningsstrukturen i Bergen og omegn har endret seg de siste 40 årene etter etablering av Stor-Bergen i 1972 (kommunesammenslåing av Fana, Åsane, Arna og Laksevåg). I tillegg har broer som Sotrabraua (åpnet i 1971), Askøybrua (1992), Nordhordlandsbrua (1994) og Osterøybrua (1997) bidratt til endret befolkningsstruktur med etablering av nye tettsteder i bl.a. Bergen, Askøy, Meland, Lindås, Osterøy, Fjell og Sund. Dette har medført betydelige omlegginger av utslippspunkter til hovedfjordsystemet [20]. Fremtidig videre befolkningsvekst og etablering av nye tettsteder krever planlegging av kommunale avløp og effektive renseanlegg for utslipp til sjø. Det må også tas hensyn til en stadig voksende oppdrettsnæring og muligheter for etablering av nye landbaserte industrivirksomheter. Det er imidlertid mangelfull kunnskap og dokumentasjon vedrørende langtidseffekter og regional påvirkning av menneskeskapte aktiviteter på det marine miljø i kyst- og fjordsystemer. Det finnes ingen undersøkelser som har gitt en samlet vurdering på hva slags effekt komplekse kilder til påvirkning kan ha regionalt i fjordsystemene omkring Bergen. Det er av denne grunn **behov for en grunnleggende og detaljert kunnskap** om fjordresipienters regionale status mht. tilstand og bæreevne. Forskningsbehov til innovasjonen i prosjektet omfatter analyser av historiske data for re-beskrivelse og vurdering av ulike fjordsystemer omkring Bergen som har vært viktige resipienter for ulike typer menneskelige aktiviteter de siste 40 årene. Dette er nødvendig for å dokumentere endringer som vedrører økosystemets struktur og funksjon for evaluering av resipientenes bæreevne for fremtidige utslipp. Det finnes en rekke studier fra Østersjøen og Nordsjøen som viser at langsiktige overvåkingsprogrammer er **nødvendig for å kunne dokumentere miljøendringer** [21, 22]. Dette skyldes at endringene fra år til år kan være så små at de lett kan bli oversett eller registrert som ikke signifikante endringer. Det finnes imidlertid **få vitenskapelige studier** som har adressert direkte effekt av kommunale- og industrielle utslipp til kyst og

---

<sup>1</sup> Litteraturlister: Google Scholar, ISI Web of Science, DOAJ, BIBSYS

fjordsystemer i Norge, med Oslofjorden som et unntak [23, 24]. Den største vitenskapelige innsatsen har fokusert på effekt av utslipp fra fiskeoppdrett i sjø [25-27], men det er det fremdeles uvisst hvordan og i hvilken grad fiskeoppdrett og kommunale utslipp påvirker miljøet og økosystemet regionalt og over tid [28, 29]. Bunnnyrsamfunnet er oftest brukt til å beskrive økologiske tilstander («helsetilstanden») i kystområder og fjorder i henhold til gjeldende standarder og veiledere [17]. Det er imidlertid lite fokus på funksjonen til disse bunndyrene i økosystemet. Dette er en informasjon som er essensiell for å forstå eventuelle endringer i bunnfaunasamfunnet, og som burde vært selve grunnlaget for **hvorfor** vi overvåker et økosystem [30-32]. Formålet med marine overvåkingsprogram bør derfor ha et større fokus å identifisere effekt av påvirkning fremfor bare å dokumentere en endring, da dette vil gi et **bedre grunnlag for fremtidige tiltak** [33]. Miljøeffekter som gir endringer i bunndyrsamfunnet kan også reflekteres i endringer på høyere trofiske nivåer (som f.eks. villfisk) som en respons eller indikator på miljøendringer [8]. Visse typer bunndyr er viktige byttedyr for ulike bunnavlevende fiskearter og krepsdyr, som derfor kan påvirkes direkte av endringer i bunndyrsamfunnet [34]. Slike økologiske kaskade effekter er lite studert, og det finnes ingen tilgjengelig dokumentasjon fra Vestlandet som beskriver slike komplekse effekter.

Fjorder og særlig terskelfjorder har naturlig noe dårligere vannutskifting enn eksponerte områder, og er følgelig mer sårbare for overgjødning og partikulært organisk utslipp fra f.eks. fiskeoppdrett og kommunale avløp (kloakk). Dette scenarioriet er imidlertid lite undersøkt og i stor grad uvisst med **behov for dokumentasjon** [29, 35]. Terskelfjorder har i tillegg også blitt mer sårbare for utslipp de siste årene som følge av klimaeffekter som har bidratt til reduserte oksygenivåer i hav og kystvann [8, 10]. Vi vet derfor ikke med sikkerhet hvor mye utslipp fjordene våre tåler. Det finnes ikke systematiske langtidsmålinger av miljøtilstand i kystvann fra Vestlandet og nordover som er eldre enn 5 år [35]. Det har blitt gjennomført ulike marine overvåkingsprogram i flere tiår i kystområder på Vestlandet, men datagrunnlaget fra disse undersøkelsene har ikke blitt utnyttet fullt ut til beskrivelser av viktige endringer over tid. Byfjordundersøkelsen har gjennomført marin miljøovervåking siden 1970-tallet som beskriver økologiske- og fysisk-kjemiske tilstander i ulike fjorder omkring Bergen [36-41]. Samlet sett har dette overvåkingsprogrammet bidratt til et betydelig antall undersøkelser og svært mye tilgjengelige historiske data fra perioden 1973 - 2017. Denne lange perioden med overvåking gir derfor en **unik mulighet til å vitenskapelig analysere og vurdere langsiktige trender** og ulike typer miljøendringer i et historisk perspektiv. Utfordringen med dette datasettet er at klassifisering av de forskjellige miljøparametrene og metoder har endret seg underveis i undersøkelsesperioden. Dette betyr at nyere data ikke er direkte sammenlignbare med eldre data. I presenterte rapporter fra Byfjordundersøkelsen blir derfor historiske undersøkelser kun brukt som referansemateriale. I tillegg er rådatamaterialet fra de eldste rapportene kun tilgjengelig i trykt form. Denne utfordringen med å samle og analysere lange tidsserier med miljødata fra marine overvåkingsprogrammer er et **nasjonalt og internasjonalt problem** og ikke unikt for Byfjordundersøkelsen [22, 31, 42]. Data fra marine overvåkingsprogram er allikevel verdifulle og kan utnyttes til å beskrive langtidseffekter av menneskeskapt påvirkning i kyst- og fjordresipienter. Disse dataene må digitaliseres og struktureres før videre analyser. Beskrivelser av regionale langtidseffekter av komplekse forhold som inkluderer både utslipp og klimaeffekter i fjordsystemer omkring Bergen vil bidra til viktig basalkunnskap om dynamiske tilstander og bæreevne til ulike resipienter i regionen. Prosjektet vil gi en økt forståelse om hvordan økosystemet fungerer og hvordan økosystemet responderer på ulike typer påvirkning. Denne kunnskapen er **nødvendig for fremtidige konsekvensutredninger og tiltak**, og vil bidra til mer effektiv og bærekraftig kystsoneforvaltning for fremtidig vekst og utvikling i regionen.

#### 4. Mål og delmål

**Hovedmål:** Hovedmålet med prosjektet er å kartlegge bæreevnen til ulike resipienter i fjordsystemer omkring Bergen, og hvordan disse har endret seg over tid med hensyn til utslipp og påvirkning fra næringsvirksomhet (fiskeoppdrett) og bebyggelse (kommunale utslipp). Dette er viktig og nødvendig kunnskap i kystsonoplanlegging for fremtidig befolkningsvekst og næringsutvikling i regionen.

**Delmål 1 (M1):** Økosystemet. Et viktig delmål er å dokumentere faktiske økologiske endringer og miljøtilstander i ulike terskelfjorder. Dette skal gjennomføres med statistiske trendanalyser av biologiske og fysisk-kjemiske parametre.

**Delmål 2 (M2):** Antropogen påvirkning. Dokumentere viktigste kilder for tilførsel av organisk materiale og næringssalter i ulike fjorder i modellområdet. Innsamling av data som kan kvantifisere utslipp fra kommunale avløp og fiskeoppdrett.

**Delmål 3 (M3):** Resipienters bæreevne og effekt av tiltak. Dokumentere grad og effekt av antropogen påvirkning i resipienter i et langtidsperspektiv og beskrive effekt av kommunal rensing av avløp. Statistiske trend- og korrelasjonsanalyser av utslipp (M2) og økologiske parametre (M1) vil identifisere viktige drivere til observerte endringer i de respektive fjordene i modellområdet i perioden 1973-2017.

## 5. Forsknings spørsmål

En viktig målsetning med dette prosjektet vil være å overføre erfaringer og ervervet kunnskap fra pilotprosjektet. Denne allerede ervervede kunnskapen vil minimere risiko i hovedprosjektet for å ikke oppnå essensielle målsetninger vedrørende påvise endringer i bunnfaunastruktur og viktige årsaker til slike endringer. Det overordnede målet i prosjektet er å etablere ny kunnskap og forståelse av struktur og funksjon til økosystemet i økonomisk viktige terskelfjorder på Vestlandet. Dette skal gjøres gjennom re-beskrivelser av miljø- og økologiske tilstander ved å analysere historiske dataserier fra perioden 1973 – 2017.

Arbeidspakke 1 (AP1)	Arbeidspakke 2 (AP2)	Arbeidspakke 3 (AP3)
<b>M1:</b> Økosystemet	<b>M2:</b> Antropogen påvirkning	<b>M3:</b> Bæreevne og effekt av tiltak
<b>F1.1.</b> Hvilke økologiske endringer kan påvises? <b>L1.1.</b> Statistiske trendanalyser	<b>F2.1.</b> Hvordan har kommunale utslipp endret seg over tid? <b>L2.1.</b> Innsamling og analyse av kommunale data	<b>F3.1.</b> Har utslipp påvirket bunnfaunastrukturen i fjordbassenger? <b>L3.1.</b> Statistiske analyser med data fra L2.1, L2.2 og L1.1.
<b>F1.2.</b> Har miljøendringer påvirket villfisk populasjoner? <b>L1.2.</b> Sammenligne gamle og nye fangstrapper	<b>F2.2.</b> Hvordan har utslipp fra havbruk endret seg over tid? <b>L2.2.</b> Innsamling og analyse av havbruksdata	<b>F3.2.</b> Hva slags miljøeffekt har renseanlegg? <b>L3.2.</b> Sammenligne bunnfauna før og etter rensing.

**Forsknings spørsmål 1.1. (F1.1).** *Hvordan har økosystemet og miljøtilstander i ulike terskelfjorder endret seg i perioden 1973-2017?*

**Løsningsforslag 1.1 (L1.1).** AP1 bygger på erfaringer og resultater fra det gjennomførte pilotprosjektet med miljødata fra det marine overvåkingsprogrammet Byfjordundersøkelsen, men også tilgjengelige data fra andre marine miljø- og resipientundersøkelser kan brukes i prosjektet (f. eks. MOM C-undersøkelser, Blue Planet Hordaland, overvåking av marinbiologiske forhold ved oljeterminalene på Sture og Mongstad, m.fl.).

Rapporterte data fra disse undersøkelsene er offentlig tilgjengelig, i trykt eller digitalisert form, og foreligger i henhold til metoder og standarder som var gjeldende på undersøkelsestidspunktet. Følgelig må data kvalitetssikres, struktureres og digitaliseres slik at de kan brukes i videre analyser. Kvalitetssikringen beror på å kontrollere metoder og standarder som er lagt til grunn for datamaterialet som er rapportert og arkivert. Valg av statistiske metoder bestemmes av tilgjengelig datamengde og dataformat (kvalitativ eller kvantitativ). Analyseresultater vil bli presentert deskriptivt med statistisk signifikans der dette er mulig og hensiktsmessig. Det vil bli brukt multivariate analysemetoder for å undersøke sammenhenger mellom ulike variabler (avhengige og uavhengige) i tid og rom. Slike metoder vil vise endringer i miljøtilstander basert på ulike miljøparametere (biotiske og abiotiske) i de undersøkte områdene og tidsrom. Modellområdet i prosjektet vil omfatte viktige resipienter for kommunale avløp og fiskeoppdrett innenfor samme områder som har blitt undersøkt i Byfjordundersøkelsen. Dette inkluderer dypområder (fjordbassenger; dypere enn fjordterskelen) i Veafjorden, Sørfjorden, Osterfjorden, Salhusfjorden, Radfjorden, Kvernafjorden, Byfjorden, Hjeltefjorden, Herdla fjorden, Raunafjorden, Korsfjorden og Fensfjorden (se Figur 2). Alle miljødata og -variabler fra prosjektet skal tilrettelegges for arkivering i en eksisterende og offentlig tilgjengelig database (Vannmiljø) slik at disse kan brukes til videre forskning og i forvaltningsøyemed i fremtiden.



**Figur 2.** A: Fensfjorden, B: Radfjorden, C: Kvernafjorden, D: Osterfjorden, E: Sørfjorden, F: Veafjorden, G: Herdlefjorden, H: Hjeltefjorden, I: Byfjorden og Salhusfjorden, J: Raunefjorden, K: Korsfjorden.

**Biotiske data.** Alle artslistene med bunndyr må oppdateres til dagens gjeldende nomenklatur for å gjennomføre nye, biologiske beregninger av et samlet datasett fra hele undersøkelsesperioden. Data og variabler vil tilrettelegges for videre statistiske trendanalyser som vil vise eventuelle endringer i bunnfaunastruktur, individtetthet og artsdiversitet. Dette arbeidet er en direkte videreføring av metoder og erfaringer fra pilotforsøket. Preliminære undersøkelser fra pilotprosjektet [15] viste at en kombinert bruk av langtidsserier og de økologiske gruppene definert av en nyutviklet sensitivitetsindeks utviklet for norske forhold (NSI) er langt mer sensitiv og beskrivende for å dokumentere endringer i det bentiske økosystemet sammenlignet med standard metodene gitt i gjeldende veiledere [17].

**Abiotiske data.** Fysisk-kjemiske kvalitetselementer som inngår i standard overvåkingsprogrammer inkluderer temperatur, oksygenkonsentrasjon, salinitet, næringssalter og sediment (organisk materiale, kornfordeling). Preliminære resultater fra pilotprosjektet viste signifikant økning i temperatur i dypvann og reduksjon i oksygenverdier i hele vannsøylen i de undersøkte fjordbassengene i perioden 1979 - 2016. Videre undersøkelser vil vise om de samme trendene kan påvises i andre fjordsystemer i modellområdet, og i hvilken grad. Prosjektet skal også beskrive endringer i næringssaltkonsentrasjoner (fosfor/fosfat, nitrogen/nitrat) fra ulike dyp (profilmålinger) i ulike fjordsystemer. I tillegg skal det gjennomføres trendanalyser av salinitetsdata fra ulike dyp og årstider som kan korreleres med tilgjengelige klimadata fra meteorologisk institutt og BKK. Dette vil gi en indikasjon på om ferskvannstilførsel og avrenning fra land har endret seg i et langtidsperspektiv. Resultater fra disse undersøkelsene vil vise hvilke fjorder som er mest påvirket og som har vist størst eller minst endring i tidsrommet 1973 – 2017. Resultater vil også vise hva slags abiotiske variabler som er mest beskrivende for de viktigste miljøendringer.

**Forskningsspørsmål 1.2. (F1.2).** *Har endringer i miljøtilstanden i de indre fjordsystemene påvirket marin villfisk populasjon i området?*

**Løsningsforslag 1.2 (L1.2).** Preliminære resultater fra pilotprosjektet viser at miljøtilstanden (bunnfauna og hydrografiske variabler) i Sørfjorden har endret seg signifikant siden år 2000. Dette kan ha også ha påvirket høyere trofiske nivåer (marin villfisk populasjoner) i økosystemet. Dette kan enkelt undersøkes ved å sammenligne fangstrapporter fra marinbiologiske undersøkelser i fjordsystemene omkring Osterøy fra 1980- og 90- tallet med nye innsamlinger. Det skal gjennomføres nytt fiske på samme steder med samme metoder som beskrevet i disse tidligere undersøkelsene. Rapportene er tilgjengelige og inneholder detaljerte opplysninger om line- og garnfiske, stedsangivelse, dyp, agntype, dato, fiskearter, kjønn, vekt, lengde og mageinnhold [43-46]. I tillegg vil det bli samlet inn offentlig tilgjengelige data vedrørende kystfiske (fangstrapporter) i de samme fjordsystemene. Resultat fra et slikt komparativt studie vil vise om endringer i bunnfauna (byttedyr) og vannkvalitet (oksygennivåer) har hatt en påviselig effekt på forekomst av marine villfisk i indre fjordsystemer.

**Forskningsspørsmål 2.1 (F2.1).** *Har det vært endringer i kommunale utslipp til ulike resipienter i modellområdet de siste 40 år?*

**Løsningsforslag 2.1 (L2.1).** Historiske data vedrørende utslipp (personequivallenter), rensegrad og renseprinsipper fra alle respektive kommuner vil bli samlet for å kartlegge og kvantifisere utslippsmengder til resipientene fra historiske og eksisterende utslippspunkt over tid i modellområdet. Slike data er arkivert hos de ulike kommunene som er samarbeidspart i prosjektet, og dataene foreligger enten i form av trykte rapporter eller i digital form eller begge deler. Data må følgelig struktureres og digitaliseres for videre analyser og vurderinger. Samme metode som i pilotprosjektet. Innsamling og strukturering av data vedrørende endringer og justeringer i de samme parameterne vil bli veiledende for fremtidig digital arkivering av data i interne databaser hos kommunene.

**Forskningsspørsmål 2.2 (F2.2).** *Har det vært endringer i utslipp fra havbruk og intensiv oppdrett i ulike fjorder i modellområdet de siste 40 år?*

**Løsningsforslag 2.2 (L2.2).** I prosjektet vil det bli samlet inn produksjonsdata fra havbrukslokalteter som har eller har hatt fiskeproduksjon i modellområdet. Slike data inkluderer plassering av oppdrettsanlegg (kartkoordinater), årlige produksjonsdata som fiskeart, fôrtype, fôrforbruk, biomasse og brakkleggingsperioder. Slike data vil vise hvordan lokalitetstettheten, produsert biomasse og utslipp fra havbruk har endret seg over tid i de ulike fjordene i modellområdet. Historiske produksjonsdata er arkivert hos Fiskeridirektoratet, men kun data etter 2005 er digitalisert per i dag. Innsamling av ikke-digitaliserte data vedrørende produksjonsdata kunne ikke gjennomføres i det kortvarige pilotprosjektet pga. tid og ressursbruken dette krevdes, men dette vil bli realisert i det utvidede, flerårige hovedprosjektet. Alle innsamlede data må struktureres og digitaliseres for videre analyser. Krav om presisjon (nøyaktighet i oppgitte verdier) og opplysningsplikt (frekvens for innsendelse av data) overfor myndigheter har endret seg

over tid. Robustheten til alle data må derfor kontrolleres. Digitale historiske data vil bli arkivert i interne databaser hos Fiskeridirektoratet for fremtidig bruk.

**Forskningsspørsmål 3.1 (F3.1).** *Hvordan har multiple effekter som naturlig avrenning fra land, kommunale- og havbruks utslipp påvirket miljøet og bunnfaunastrukturen i ulike fjordbassenger i modellområdet?*

**Løsningsforslag 3.1 (L3.1).** I pilotprosjektet ble det observert økning i organisk materiale i bunnsediment i fjordbassenger fra Byfjorden og i Sørfjorden gjennom perioden 1973 til 2016. Denne økningen viste positiv korrelasjon (statistisk signifikant) med antall individer av bunndyr i samme områder. Dette kan indikere en respons på bunnfaunasamfunnet ved økt tilførsel av næringsstoffer. Kilden til påvirkning er imidlertid ikke tilstrekkelig dokumentert i det gjennomførte pilotprosjektet da det kun ble samlet data fra Bergen kommune og ikke andre kommuner som har samme fjordsystemer som resipient. Utvidet undersøkelse og innsamling av historiske data fra alle respektive kommuner og oppdrettslokalteter (L2.1 og L2.2) skal brukes til statistiske trend- og korrelasjonsanalyser med data fra L1.1 for å dokumentere viktigste påvirkningskilder og økologisk effekt på resipienter. Disse analysene må også ta hensyn til næringsstoffsalt nivåer i områder med stor ferskvannstilførsel (indre fjorder).

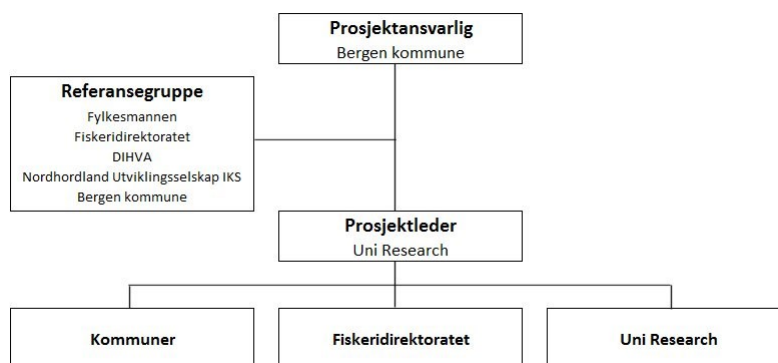
**Forskningsspørsmål 3.2 (F3.2).** *Hva slags effekt har tiltak som kommunale renseanlegg og ulike renseprinsipper på bunnfaunastrukturen og miljøet?*

**Løsningsforslag 3.2 (L3.2).** Sammenligne struktur og funksjon til bunnfauna før og etter ulike typer tiltak. Det vil bli fokusert på områder der slike tiltak har forekommet og der det også har vært utført resipientundersøkelser i en periode før og etter. Beskrivelser av bunnfauna sin struktur (sammensetning, artsdiversitet og dominante arter) i perioder før og etter vil vise om tiltak har påvirket bunndyrsamfunnet, i hvilken grad, og hva som kjennetegner funksjonen til grupper eller arter som var mest dominant før og etter. Dette vil bli testet i ulike områder med ulike typer tiltak (innført rensing eller endret renseprinsipp) for å få en økt forståelse av respons til det bentiske økosystemet og om denne responsen kan brukes som en generell modell for fjordsystemer som mangler tilstrekkelig historiske miljødata.

#### DEL 4: Prosjektorganisering

##### 6. Prosjektleder og prosjektgruppe

Prosjektgruppen fra pilotprosjektet (Bergen kommune, Uni Research og Fiskeridirektoratet) er i hovedprosjektet utvidet til å inkludere flere kommuner som har interesser i modellområdet.



- **Bergen Kommune.** Bergen kommune er prosjekteier med Anne S. Cornell (Rådgiver hos Vann- og avløpsetaten) som prosjektansvarlig.
- **Askøy kommune.** Trude Bjørkås vil bistå med innsamling av kommunale data (AP2) fra Askøy kommune
- **Fjell kommune og Fjell VAR.** John Torkildsen og Andreja Peternelj vil bistå med innsamling av kommunale data (AP2) fra Fjell kommune
- **Sund Vatn og Avlaup.** Michal Forland vil bistå med innsamling av kommunale data (AP2) for Sund kommune
- **Vaksdal kommune.** Gjertrud Karevoll vil bistå med innsamling av kommunale data (AP2) for Vaksdal kommune
- **Nordhordland Utviklingsselskap IKS** (nordhordland.net). Bent Gunnar Næss vil representere og koordinere innsats og datainnsamling (AP2) for sine medlemskommuner som er involvert i prosjektet (Lindås kommune, Radøy kommune, Meland kommune og Osterøy kommune).

- **Uni Research Miljø** (uni.no). Trond E. Isaksen (PhD) er prosjektleder og har ansvar for den faglige fremdriften og gjennomføringen av prosjektet. Per-Otto Johansen, Thomas Dahlgren og Einar Bye-Ingebrigtsen vil bistå i det forskningsrelaterte arbeidet som inkluderer kvalitetssikring og analyse av data (AP1, AP2, AP3). Per Johannessen (pensjonist, tidligere forsker ved Universitetet i Bergen og Uni Research) har forsket på fjordene omkring Bergen siden 1970 og han har ledet eller bidratt faglig ved gjennomføringen av Byfjordundersøkelsen siden 1973. Johannessen vil bidra med sin faglige kompetanse og bistå i gjennomføringen av innsamlingen av marine fiskearter rundt Osterøy som er en gjentakelse av fisket som han selv utførte og rapporterte på 80- og 90-tallet (AP1).
- **Fiskeridirektoratet**. Seniorrådgiver Erik Vikingstad og rådgiver Henrik Rye Jakobsen i tilsynseksjonen i kyst- og havbruksavdelingen og vil bidra til innsamling av historiske produksjonsdata fra oppdrettslokaliteter i modellområdet (AP2).
- **Referansegruppe**. Referansegruppen skal bidra med verdifull støtte og veiledning for utførelse av prosjektet og er representert av Fylkesmannen i Hordaland, Fiskeridirektoratet, DIHVA (Driftsassistansen i Hordaland – Vann og avløp IKS), Nordhordland Utviklingsselskap IKS og Bergen kommune.

## 7. Aktiviteter i prosjektet

Nr.	Faglig innhold	Kostnad Industriell forskning	Kostnad eksperimentell utvikling	Kostnader totalt
Løsning L1.1	Økosystem og miljø			1 800
Løsning L1.2	Marin villfisk			600
Løsning L2.1	Kommunale utslipp			950
Løsning L2.2	Produksjonsdata havbruk			400
Løsning L3.1	Resipientens bæreevne			300
Løsning L3.2	Effekt av tiltak			250
<b>Sum</b>	<b>Hele prosjektet</b>			<b>4 300</b>

## 8. Fordeling av ansvar

Navn på partner	Ansvarlig for løsningsforslag	Deltar også i løsningsforslag
Kommuner	L2.1	L3.1, L3.2
Fiskeridirektoratet	L2.2	L3.1
Uni Research	L1.1, L1.2, L3.1, L3.2	L2.1., L2.2.

## 9. Kostnader og finansiering (i 1000 kroner)

Navn på partner	Tot. kost til FoU aktivitet	Egenfinansiering fra partner
Kommuner		1090
Fiskeridirektoratet		210
Uni Research	3 000	
<b>Sum</b>	<b>3 000</b>	<b>1 300</b>

## DEL 5: Realisering av innovasjonen og utnyttelse av resultater

### 10. Realisering av innovasjonen og utnyttelse av resultater

Innovasjonen skal tilrettelegge innsamlet data slik at disse kan implementeres, innen utgangen av prosjektperioden, i søkbare arkiver hos kommunene og Fiskeridirektoratet og i eksisterende, offentlig tilgjengelige databaser (Vannmiljø). Dette vil gjøre data lettere tilgjengelig og anvendelig for ulike behov i fremtiden. Tilgjengeliggjøring av de lange tidsseriene med miljødata er spesielt viktig for fremtidig statistiske analyser og forskning, da slike langtidsserier er en mangelvare både regionalt, nasjonalt og internasjonalt. For kommunene vil et slikt arkiv gi en god oversikt over utvikling og endring av kommunale avløpsanlegg og rensningsanlegg. Dette vil ha stor nytteverdi for planlegging av nye, eller utvidete pålagte miljøovervåkinger i aktuelle resipienter. Fiskeridirektoratet og Fylkesmannen vil få bedre oversikt over regionale langtidseffekter av havbruksvirksomhet i ulike kystvannforekomster som vil gi et styrket grunnlag i vurdering av miljøpåvirkning og for iverksetting av nødvendige tiltak. Det er viktig at de lange tidsseriene med miljødata blir gjort tilgjengelig for fremtidig statistiske analyser og forskning. Resultater fra prosjektet skal formidles i form av presentasjoner og publikasjoner. I tillegg skal resultatene med konklusjoner samles i en offentlig tilgjengelig rapport. For kommunene vil en samlet oversikt over langsiktige regionale konsekvenser av ulike typer utslipp, og i hvilken grad klimaendringer kan påvirke fjordøkologien, ha stor betydning for forvaltning og planlagte rensningsnivå av kommunale avløp. Oppdatert kunnskap om bæreevnen til resipientene vil bli veiledende for offentlig forvaltning (både kommuner, Fiskeridirektoratet og Fylkesmannen) i forbindelse med behandling av utslippstillatelser. Beskrivelse av bæreevnen og robusthet til ulike resipienter mtp utslipp vil bli brukt som verktøy i planlegging av resipientovervåkingsprogrammer.



Egenskaper og tilstander til ulike resipienter vil bestemme frekvens for undersøkelser, hvilke parametere som må undersøkes og når innsamling av data bør gjennomføres (årstider). Overvåkingsprogrammer blir gjennomført etter gjeldende standarder og veiledninger som bl.a. skal beskrive økologiske tilstander basert på et sett med biologiske indekser. Innovasjonen vil gi svar på hvor godt de ulike biologiske indeksene treffer mht langtidseffekter av miljøpåvirkning. Denne kunnskapen er viktig for riktig tolking av resultater fra gjennomførte miljøundersøkelser, og følgelig for å fatte riktige beslutninger i miljøforvaltningsspørsmål.

## 11. Risikoelementer

En viktig målsetning med dette prosjektet vil være å overføre erfaringer og ervervet kunnskap fra pilotprosjektet. Denne allerede ervervede kunnskapen vil minimalisere risiko i hovedprosjektet for ikke å oppnå essensielle målsetninger vedrørende innsamling av data for dokumentere viktig kilder til påvirkning og beskrive resipienters status og tilstand. Det medfører ingen iverksettingsrisiko, markedsrisiko, finansieringsrisiko eller andre risikoelementer for realisering av denne innovasjonen. Dette gjelder for alle partnere i dette prosjektet. Realisering av innovasjonene kan enkelt implementeres i kommunenes og Fiskeridirektoratets rutiner uten behov for store investeringer eller økt ressursbruk. Den største utfordringen vil bli å få inn opplysninger og data fra de tidligste årene som er like detaljerte og fullstendige som de nyeste dataene. Det har vært endringer i rapporteringsplikter og rapporteringsgrad gjennom tidene som kan medføre hull i dataseriene fra kommuner og Fiskeridirektoratet. Alle innsamlede data vil uansett bidra i større eller mindre grad til å belyse utvikling i befolkningsstruktur og havbruksvirksomhet de siste 30-40 år, og dermed bidra til å oppnå prosjektets hovedmålsetning.

## DEL 6: Miljøkonsekvenser og kjønn

### 12. Miljøkonsekvenser

Hovedmålet med prosjektet er å utvikle kunnskap, metoder og erfaring som skal sikre et sunt og bærekraftig fjordmiljø for fremtidig samfunnsvekst og næringsutvikling i regionen. Dette skal sikres ved å gi den offentlige sektor bedre beslutningsgrunnlag i problemstillinger som vedrører bruk og forvaltning av kystareal.

### 13. Rekruttering av kvinner, kjønnsbalanse og kjønnsperspektiv

Det er et felles mål for alle samarbeidsbedrifter og FoU- institusjonen i dette prosjektet å møte kravene i de offisielle anbefalingene for likestilling der kvinner oppfordres til å søke stillinger og særlig lederstillinger. Flere av prosjektpartnere i samarbeidskommunene er kvinner, hvorav Anne S. Cornell fra Bergen kommune er prosjektansvarlig.

## DEL 7: Referanser

### 14. Referanser

1. Førland, E.J., E. Alfnes, *et al.* (2007) *Climate change and natural disasters in Norway. An assessment of possible future changes.* Met.no report 6/2007. Meteorologisk Institutt Rapport.: 120 s.
2. Hanssen-Bauer, I., E.J. Førland, *et al.* (2017) *Climate in Norway 2100 – a knowledge base for climate adaptation.* NCCS report no.1 / 2017: 48 s.
3. Andersen, S., T. Strohmeier, *et al.* (2014) *Karbonfangst og matproduksjon i fjorder.* Rapport fra Havforskningen Nr. 7-2014.
4. Torrissen, O., P.K. Hansen, *et al.* (2016) *Næringsutlipp fra havbruk – nasjonale og regionale perspektiv.* Rapport fra Havforskningen. Nr.21-2016.: 19 p.
5. Aure, J. (2016) *Kystklima.* Havforskningsrapporten-2016. Fiskeridirektoratet Særnummer 1-2016.: 50-52.
6. Weslawski, J.M., M.A. Kendall, *et al.* (2011) *Climate change effects on Arctic fjord and coastal macrobenthic diversity-observations and predictions.* *Mar Biodiver.* **41**(1): 71-85.
7. Holte, B., E. Oug, *et al.* (2005) *Soft-bottom fauna and oxygen minima in sub-arctic north Norwegian marine sill basins.* *Mar Biol Res.* **1**(2): 85-96.
8. Levin, L.A., W. Ekau, *et al.* (2009) *Effects of natural and human-induced hypoxia on coastal benthos.* *Biogeosciences.* **6**(10): 2063-2098.
9. Diaz, R.J. and R. Rosenberg (2008) *Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems.* *Science.* **321**(5891): 926-929.
10. Breitburg, D., L.A. Levin, *et al.* (2018) *Declining oxygen in the global ocean and coastal waters.* *Science.* **359**(6371): 1-11.
11. Levin, L.A. and D.L. Breitburg (2015) *Linking coasts and seas to address ocean deoxygenation.* *Nat Clim Change.* **5**(5): 401-403.
12. Vaquer-Sunyer, R. and C.M. Duarte (2011) *Temperature effects on oxygen thresholds for hypoxia in marine benthic organisms.* *Global Change Biol.* **17**(5): 1788-1797.
13. Wong, P.P., I.J. Losada, *et al.* (2014) *Coastal systems and low-lying areas, in Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, C.B. Field, et al., (Editors): Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA., pp. 361-409.*

14. Isaksen, T.E. and E. Bye-Ingebrigtsen (2017) *Marin miljøtilstand i fjordsystema kring Bergen*. Konferanse om naturmangfold i sjø. Arr. Fylkesmannen i Hordaland, miljøvern- og klimaavdelinga. Bergen 07.11.2017.
15. Johansen, P.-O., T.E. Isaksen, *et al.* (2018) *Temporal changes in benthic macrofauna on the west coast of Norway resulting from human activities (paper in press; accepted 29.01.18)*. Mar Pollut Bull.
16. ISO-16665:2014 (2014) *Water quality — Guidelines for quantitative sampling and sample processing of marine soft-bottom macrofauna*. International Organization for Standardization: 33 s.
17. Veileder-02:2013 (2015) *Klassifisering av miljøtilstand i vann. Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver (revidert 2015)*. Vannportalen: 254 s.
18. Rygg, B. and K. Norling, *Norwegian Sensitivity Index (NSI) for marine macroinvertebrates and an update of Indicator Species Index (ISI)*. NIVA Report SNO 6475-2013. 2013: NIVA, Oslo.
19. Regjeringen (2017) *One year closer. Status report for Norway's progress towards the implementation of the 2030 Agenda*. Status report 2016. Norway's progress towards the implementation of the UN's 2030 Agenda for Sustainable Development. Norwegian Ministry of Finance and Norwegian Ministry of Foreign Affairs.: 48 s.
20. Johannessen, P., R. Sætre, *et al.* (2010) *Bergensfjordene - natur og bruk*. Havforskningsinstituttet, Uni Research, Universitetet i Bergen, Bergen kommune. 191 s.
21. Frid, C.L.J., P.R. Garwood, *et al.* (2009) *The North Sea benthic system: a 36 year time-series*. J Mar Biol Assoc UK. **89**(1): 1-10.
22. Ellingsen, K.E., N.G. Yoccoz, *et al.* (2017) *Long-term environmental monitoring for assessment of change: measurement inconsistencies over time and potential solutions*. Environ Monit Assess. **189**(11): 16.
23. Dale, B., T.A. Thorsen, *et al.* (1999) *Dinoflagellate Cysts as Indicators of Cultural Eutrophication in the Oslofjord, Norway*. Estuar Coast. Shelf Sci. **48**(3): 371-382.
24. Rosenberg, R., J.S. Gray, *et al.* (1987) *Petersen's benthic stations revisited. II. Is the Oslofjord and eastern Skagerrak enriched?* J Exp Mar Biol Ecol. **105**(2): 219-251.
25. Bannister, R.J., I.A. Johnsen, *et al.* (2016) *Near- and far-field dispersal modelling of organic waste from Atlantic salmon aquaculture in fjord systems*. ICES J Mar Sci. **73**(9): 2408-2419.
26. Husa, V., T. Kutti, *et al.* (2014) *Regional impact from fin-fish farming in an intensive production area (Hardangerfjord, Norway)*. Mar Biol Res. **10**(3): 241-252.
27. Kutti, T., P.K. Hansen, *et al.* (2007) *Effects of organic effluents from a salmon farm on a fjord system. II. Temporal and spatial patterns in infauna community composition*. Aquaculture. **262**(2-4): 355-366.
28. Souza, F.M., K.M. Brauko, *et al.* (2016) *Complex spatial and temporal variation of subtropical benthic macrofauna under sewage impact*. Mar Environ Res. **116**: 61-70.
29. Price, C., K.D. Black, *et al.* (2015) *Marine cage culture and the environment: effects on water quality and primary production*. Aquacult Env Interac. **6**(2): 151-174.
30. Hughes, B. (2014) *Monitoring: Garbage In Yields Garbage Out*. Fisheries. **39**(6): 243-244.
31. Yoccoz, N.G., J.D. Nichols, *et al.* (2001) *Monitoring of biological diversity in space and time*. Trends Ecol Evol. **16**(8): 446-453.
32. Frid, C.L.J. (2011) *Temporal variability in the benthos: Does the sea floor function differently over time?* J Exp. Mar Biol Ecol. **400**(1-2): 99-107.
33. Borja, A., G. Chust, *et al.* (2016) *'The past is the future of the present': Learning from long-time series of marine monitoring*. Sci. Total Environ. **566**: 698-711.
34. Johannesen, E., L.L. Jorgensen, *et al.* (2017) *Large-scale patterns in community structure of benthos and fish in the Barents Sea*. Polar Biol. **40**(2): 237-246.
35. Husa, V., P.K. Hansen, *et al.* (2017) *Utslipp av pertikulære og løste stoffer fra oppdrettsanlegg*. Risikoreport norsk fiskeoppdrett 2017. Fisken og havet, særnr. 2-2017: 99-116.
36. Kvalø, S.E., J.T. Hestetun, *et al.* (2017) *Resipientovervåking av fjordsystemene rundt Bergen 2011-2016. Sammendragsrapport*. SAM e-rapport 06-2017. Uni Research: 33 s.
37. Johannessen, P.J. (1985) *Overvåking av fjordene rundt Bergen, 1979-1984*. Sluttrapport. Bergen kommune, kommunalavd. Teknisk utbygging, VVA avdelingen: 57 s.
38. Botnen, H.B., Ø.F. Tvedten, *et al.* (1996) *Byfjordundersøkelsen - overvåking av fjordene rundt Bergen 1994 med oppsummering av resultater fra 1973-1994*. IFM Rapport nr. 11, 1996. Universitetet i Bergen: 192 s.
39. Botnen, H.B., E. Heggøy, *et al.* (2002) *Byfjordundersøkelsen - overvåking av fjordene rundt Bergen - Miljøundersøkelse i 2001*. IFM Rapport 5, Universitetet i Bergen: 158 s.
40. Heggøy, E., P.O. Johansen, *et al.* (2005) *Byfjordundersøkelsen - Overvåking av fjordene rundt Bergen. Marinbiologisk miljøundersøkelse i 2004*. VestBio Nr. 6. Universitetet i Bergen: 194 s.
41. Johannessen, P.J. (1974) *Byfjordsundersøkelsen 1973-1974*. Delrapport nr. 2. Biologisk resipientundersøkelse av fjordene rundt Bergen. - Biologisk stasjon, Universitetet i Bergen.: 85 s.
42. Nichols, J.D. and B.K. Williams (2006) *Monitoring for conservation*. Trends in Ecology & Evolution. **21**(12): 668-673.
43. Johannessen, P.J., I. Rishheim, *et al.* (1991) *Marinbiologiske undersøkelser av fjordsystemet innenfor Salhus*. Datarapport nr.2. Forundersøkelser i perioden 1.10 1989 - 30.9 1990. Rapport nr. 13. IFM, Universitetet i Bergen: 58 s.
44. Johannessen, P.J., K. Sjøtun, *et al.* (1990) *For- og etterundersøkelser i forbindelse med flytebro over Salhusfjorden. Resipientundersøkelser av biologiske forhold*. Datarapport nr.1. Data innsamlet 1.8 1988 - 30.9 1989. IFM, Universitetet i Bergen: 89 s.
45. Tvedten, Ø.F., P.J. Johannessen, *et al.* (1994) *Marinbiologiske undersøkelser av fjordsystemet innenfor Salhus*. Datarapport nr.3. IFM Rapport nr. 10. IFM, Universitetet i Bergen. 94 s.
46. Ervik, A., A. Fosshagen, *et al.* (1982) *Biologiske undersøkelser i forbindelse med flytebru over Salhusfjorden. Vurdering av biologiske virkninger av flytebru over Salhusfjorden*. Statens Vegvesen Hordaland. RA 0014-53: 107 s.