

**Litteraturstudium:
Hvordan ta hensyn til
klima i marin
arealforvaltning**



Rapporttittel

Litteraturstudium: Hvordan ta hensyn til klima i marin arealforvaltning

Rapport nr.

M-3086|2025

Dato

05.12.2025

Antall sider

85

Oppdragsgiver

Miljødirektoratet

Oppdragsgivers referanse

Eva Degré

Prosjektleder

Johanne H. Rydsaa

Kvalitetskontroll

Kjersti Eline Tønnessen Busch

Forfatter(e)

Marthe Larsen Haarr,
Tale Skrove,
Johanne H. Rydsaa

Fotograf omslagsbilde

Erling Svensen

Sammendrag

De helhetlige forvaltningsplanene for norske havområder danner grunnlaget for en samordnet og økosystembasert havforvaltning. Klimaendringer påvirker både de fysiske og biologiske prosessene i havet og skaper endringer i miljøverdier som ligger til grunn for arealbaserte vurderinger. Denne litteraturstudien sammenstiller tilgjengelig forskning om hvordan klimaendringer påvirker marine miljøverdier og hvilke implikasjoner dette har for arealbasert forvaltning i norske havområder. Formålet er å gi et kunnskapsgrunnlag som kan støtte vurderinger av romlige prioriteringer og bidra til å styrke integreringen av klimahensyn i forvaltningsplanene.

INNHALDSFORTEGNELSE

SAMMENDRAG	5
BEGREPSLISTE	9
1. INTRODUKSJON	10
2. SYSTEMATISK LITTERATURSØK	11
3. BETYDNING AV KLIMAENDRINGER FOR AREALBASERT FORVALTNING	14
3.1 KLIMAENDRINGER OG STRATEGIER I AREALBASERT FORVALTNING.....	14
3.1.1 <i>Arealplanlegging og marine bevaringsområder</i>	19
3.1.2 <i>Adaptiv forvaltning av bevaringsområder</i>	28
3.1.3 <i>Fangstreguleringer og økosystembasert forvaltning</i>	30
3.1.4 <i>Evaluering av forvaltningsstrategier</i>	35
3.2 KLIMAENDRINGENES BETYDNING FOR FORFLYTNING AV MILJØVERDIER	38
3.2.1 <i>Hovedtrekk i forflytning av miljøverdier i nordiske farvann</i>	40
3.2.2 <i>Utfordringer til forvaltning i nordiske områder</i>	45
3.2.3 <i>Anbefalte forvaltningsstrategier ved forflytning av miljøverdier</i>	47
3.3 FORVALTNINGEN AV SÆRLIG VERDIFULLE OG SÅRBARE OMRÅDER (SVO-ER) I ET KLIMAPERSPEKTIV.....	50
3.3.1 <i>Rapporterte effekter av klimaendringer på SVO-er og relaterte marine områder</i>	51
3.3.2 <i>Anbefalinger til forvaltning relevant for SVO</i>	54
4. OBSERVASJONS- OG MODELLVERKTØY FOR EVALUERING AV KLIMAEFFEKTER	57
4.1 OBSERVASJONSVERKTØY	57
4.2 MODELLVERKTØY	58
4.2.1 <i>Klima- og havmodeller</i>	59
4.2.2 <i>Økosystemmodeller</i>	61
4.2.3 <i>Artsdistribusjonsmodeller</i>	64
4.2.4 <i>R-pakker og statistikk</i>	67
4.3 EVALUERINGSVERKTØY	69
5. SYNTSEFUNN OG ANBEFALINGER TIL NORSK FORVALTNING	74
4 LITTERATURLISTE	77
TABELL A1	81

« The far-reaching services and options provided by ocean and cryosphere-related ecosystems can be supported by protection, restoration, precautionary ecosystem-based management of renewable resource use, and the reduction of pollution and other stressors (high confidence). Integrated water management (medium confidence) and ecosystem-based adaptation (high confidence) approaches lower climate risks locally and provide multiple societal benefits. However, ecological, financial, institutional and governance constraints for such actions exist (high confidence), and in many contexts ecosystem-based adaptation will only be effective under the lowest levels of warming (high confidence).»

– IPCC, 2019: Summary for Policymakers, IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate

SAMMENDRAG

De helhetlige forvaltningsplanene for norske havområder danner grunnlaget for en samordnet og økosystembasert havforvaltning. Klimaendringer påvirker både de fysiske og biologiske prosessene i havet og skaper endringer i miljøverdier som ligger til grunn for arealbaserte vurderinger. Denne litteraturstudien sammenstiller tilgjengelig forskning om hvordan klimaendringer påvirker marine miljøverdier og hvilke implikasjoner dette har for arealbasert forvaltning i norske havområder. Formålet er å gi et kunnskapsgrunnlag som kan støtte vurderinger av romlige prioriteringer og bidra til å styrke integreringen av klimahensyn i forvaltningsplanene.

Litteraturstudien bygger på et systematisk søk etter forskning som kobler klimaendringer og forvaltning. Dette omfatter studier som vurderer forvaltningsstrategier, klimaeffekter på miljøverdier og verktøy som brukes til å analysere slike endringer. Totalt ble 104 vitenskapelige artikler, sju nordiske grålitteraturreporter og én IPCC-rapport gjennomgått og vurdert for relevans. Hoveddelen av litteraturen viser at klimaendringer påvirker arter, habitater og økosystemfunksjoner på måter som utfordrer dagens romlige forvaltningsregimer. Forskyvning av miljøverdier, særlig knyttet til temperaturfølsomme arter og økologiske nøkkelfunksjoner, trekkes frem som en sentral problemstilling. Dette gjelder også for særlig verdifulle og sårbare områder (SVO), der flere av vurderingskriteriene – som gyteområder, oppvekstområder og andre funksjonelle naturverdier – kan endre seg over tid.

Studier som omhandler forvaltningsstrategier viser at klimaendringer krever økt fleksibilitet i arealbasert forvaltning. Det pekes på tre overordnede tilnærminger: faste, adaptive og dynamiske strategier. Faste tiltak, som permanente bevaringsområder, har dokumenterte positive effekter, men er mindre robuste dersom miljøverdier flytter seg over tid. Adaptive tilnærminger legger til rette for regelmessig oppdatering av forvaltningsgrep basert på ny kunnskap, mens dynamiske tiltak gir mulighet for hyppige justeringer der endringene skjer raskt. Flere studier anbefaler kombinasjoner av disse tilnærmingene for å håndtere både gradvise og akutte endringer.

Arealplanlegging og særlig marine bevaringsområder er blant de mest omtalte verktøyene. Litteraturen viser at bevaringsområder kan bidra til å redusere kumulative påvirkninger og styrke økosystemenes motstandsdyktighet. Samtidig understrekes betydningen av å ta hensyn til forventede framtidige endringer ved utforming og justering av slike områder. Identifisering av områder som forventes å være mindre påvirket av klimaendringer, såkalte klimarefugier, og

vurdering av konnektivitet mellom områder pekes på som sentrale elementer i planlegging av klimarobuste nettverk av bevaringsområder. Innen fiskeriforvaltning viser litteraturen at økosystembaserte tilnærminger er viktige for å håndtere klimainduserte endringer i produktivitet, rekruttering og utbredelse. Tiltak som kombinerer fangstreguleringer og romlige restriksjoner, og som tar høyde for økosysteminteraksjoner, fremheves som mer robuste enn tiltak som retter seg mot enkeltarter.

Flere studier beskriver forflytning av miljøverdier i nordiske havområder, inkludert norske. Modellering og observasjoner viser at arters utbredelse endres som følge av økende temperatur, endrede strømforhold og mindre sjøis. Dette kan påvirke både eksisterende SVO-er og andre viktige miljøverdier i norske havområder, og det fremheves behov for å vurdere hvordan slike endringer bør inngå i romlige vurderinger.

Rapporten gjennomgår også relevante verktøy for å analysere klimaeffekter i arealbasert forvaltning, inkludert klimamodeller, havmodeller, økosystemmodeller, artsdistribusjonsmodeller og indikatorbaserte tilnærminger. Forvaltningsstrategi-evaluering (MSE) trekkes frem som et sentralt rammeverk for å teste ulike forvaltningstiltak og vurdere måloppnåelse under usikkerhet.

Litteraturstudien viser at det internasjonalt finnes en betydelig mengde forskning som kobler klimaendringer til arealbasert marin forvaltning, mens tilsvarende studier fra norske havområder er færre og i hovedsak knyttet til modellutvikling og testing snarere enn operativ anvendelse. Anbefalingene som foreligger for norske forhold ligger likevel i tråd med overordnede funn fra andre regioner. Forskingen understreker behovet for romlige analyser, scenariobaserte vurderinger og testing av ulike forvaltningsstrategier for å forstå og håndtere klimainduserte endringer. Langsiktige tiltak som marine bevaringsområder gir viktig forutsigbarhet, men bør suppleres med adaptive og fleksible mekanismer som kan respondere på endringer i miljøforhold og økosystemstruktur. Slike justeringer bør ta utgangspunkt i indikatorer og terskelverdier som oppdateres jevnlig.

En helhetlig og økosystembasert tilnærming løftes frem som sentral, inkludert integrering av sosioøkonomiske hensyn og vern av områder som klimarefugier, «bright spots» og korridorer for forflytning og konnektivitet. Det anbefales at ulike forvaltningsstrategier testes i et MSE-rammeverk for å koble klimaprognoser, økosystemmodeller og operative beslutningsprosesser, og dermed styrke grunnlaget for tilpasning av forvaltningen til et klima i endring.

SUMMARY

The integrated management plans for Norwegian marine areas form the foundation for coordinated and ecosystem-based ocean governance. Climate change affects both the physical and biological processes in the ocean and drives shifts in environmental values that underpin spatial assessments. This literature review synthesizes available research on how climate change influences marine environmental values and the implications this has for spatial management in Norwegian marine areas. The purpose is to provide a knowledge base that can support spatial prioritisation and strengthen the integration of climate considerations into the management plans.

The literature review is based on a systematic search for research that links climate change and management. This includes studies that assess management strategies, climate impacts on environmental values, and tools used to analyse such changes. In total, 104 scientific articles, seven Nordic grey literature reports, and one IPCC report were reviewed and assessed for relevance. The majority of the literature shows that climate change affects species, habitats, and ecosystem functions in ways that challenge current spatial management regimes. Shifts in environmental values – particularly those related to temperature-sensitive species and key ecological functions – are highlighted as a central issue. This also applies to particularly valuable and vulnerable areas (SVOs), where several of the assessment criteria, such as spawning grounds, nursery areas, and other functional natural values, may change over time.

Studies addressing management strategies show that climate change requires increased flexibility in spatial management. Three overarching approaches are identified: fixed, adaptive, and dynamic strategies. Fixed measures, such as permanent protected areas, have documented positive effects but are less robust when environmental values shift over time. Adaptive approaches allow for regular updates of management measures based on new knowledge, while dynamic measures enable frequent adjustments in rapidly changing contexts. Several studies recommend combining these approaches to address both gradual and acute changes.

Marine spatial planning, and in particular marine protected areas, are among the most frequently discussed tools. The literature shows that protected areas can help reduce cumulative impacts and strengthen ecosystem resilience. At the same time, it emphasises the importance of accounting for expected future changes when designing and adjusting such areas. Identifying locations that are expected to be less affected by climate change – so-called climate refugia – and assessing

connectivity between areas are highlighted as key elements in planning climate-robust networks of protected areas. Within fisheries management, the literature shows that ecosystem-based approaches are important for addressing climate-induced changes in productivity, recruitment, and distribution. Measures that combine harvest regulations with spatial restrictions, and that incorporate ecosystem interactions, are emphasised as being more robust than those targeting single species.

Several studies describe shifts in environmental values in Nordic marine areas, including Norwegian waters. Modelling and observational data show that species' distributions are changing as a result of rising temperatures, altered ocean environment, and reduced sea ice. This may affect both existing SVOs and other important environmental values in Norwegian marine areas, and the literature highlights the need to consider how such changes should be incorporated into spatial assessments. The report also reviews relevant tools for analysing climate impacts in spatial management, including climate models, ocean models, ecosystem models, species distribution models, and indicator-based approaches. Management strategy evaluation (MSE) is identified as a key framework for testing different management measures and assessing goal achievement under uncertainty.

The literature review shows that internationally there is a substantial body of research linking climate change to spatial marine management, while corresponding studies from Norwegian marine areas are fewer and primarily related to model development and testing rather than operational application. Nevertheless, the recommendations available for Norway are consistent with overarching findings from other regions. The research emphasises the need for spatial analyses, scenario-based assessments, and testing of alternative management strategies to understand and address climate-induced changes. Long-term measures, such as marine protected areas, provide important predictability but should be supplemented with adaptive and flexible mechanisms that can respond to changes in environmental conditions and ecosystem structure. Such adjustments should be grounded in indicators and threshold values that are updated regularly.

A holistic and ecosystem-based approach is highlighted as essential, including integration of socioeconomic considerations and protection of areas such as climate refugia, "bright spots," and corridors for movement and connectivity. It is recommended that different management strategies be tested within an MSE framework to link climate projections, ecosystem models, and operational decision-making processes, thereby strengthening the basis for adapting management to a changing climate.

BEGREPSLISTE

Forvaltningsstrategievaluering: Et rammeverk som brukes til å teste hvordan ulike forvaltningsstrategier fungerer under realistiske forhold, inkludert usikkerhet /Engelsk: Management Strategy Evaluation (MSE)

Klimarefugier: Områder hvor klimaendringer forventes å skje saktere eller i mindre grad enn i omkringliggende områder

Klimaresiliens: Klimarobusthet, motstandskraft mot klimaendringer, evne til å tåle og tilpasse seg klimaendringer

Konnektivitet: sammenheng eller sammenkobling, og i økologisk og marin forvaltningskontekst brukes ofte mer presise termer som økologisk sammenheng, økologisk forbindelse, spredningssammenheng, spredningsforbindelse, habitatforbindelse, forbindelse mellom bestander eller genetisk sammenheng (når det gjelder genetisk utveksling).

Maksimalt bærekraftig uttak: er det største høstingsnivået som kan tas ut av en bestand over tid uten at bestandens langsiktige reproduksjonsevne svekkes /Engelsk: Maximum Sustainable Yield, (MSY):

Marint bevaringsområde: Områder under en eller annen form for beskyttelse, herunder verneområder /Engelsk: Marine Protected Area (MPA)

Oppvelling: er prosessen der dypere, kjøligere og næringsrikt vann strømmer opp mot overflaten, vanligvis drevet av vind, havstrømmer eller kystnær topografi.

Økosystembasert fiskeriforvaltning: forvaltningsstrategi som tar sikte på å forvalte fiskebestander innenfor rammene av hele økosystemet de inngår i, i stedet for å fokusere på én art om gangen /Engelsk: Ecosystem-Based Fisheries Management (EBFM)

1. INTRODUKSJON

De helhetlige forvaltningsplanene for norske havområder er statens grunnlag for å samordne kunnskapsgrunnlag, avveieringer og prioriteringer knyttet til bruk og beskyttelse av havområdene¹. Planene skal sikre en økosystembasert forvaltning som ivaretar både naturverdier og samfunnsinteresser, og oppdateres jevnlig for å gjenspeile nye utviklingstrekk. Klimaendringer er et av de viktigste forholdene som påvirker både økosystemene og rammene for forvaltningen.

Klimaendringer påvirker fysiske og biologiske prosesser i norske havområder på måter som utfordrer dagens forvaltningspraksis. Økende havtemperatur, endringer i havstrømmer, tap av havis, havforsuring og skiftende produksjonsmønstre påvirker arters utbredelse og miljøverdier som ligger til grunn for arealbaserte vurderinger (IPCC, 2019). Særlig verdifulle og sårbare områder (SVO) er en sentral del av kunnskapsgrunnlaget i de helhetlige forvaltningsplanene, og bygger på kriterier knyttet til økologisk funksjon, sårbarhet, produktivitet og særegenhet (Eriksen et al., 2021). Klimadrevne endringer kan påvirke flere av vurderingskriteriene som ligger til grunn for SVO – blant annet gyteområder og oppvekstområder (Hansen et al., 2022b).

SALT har på oppdrag for Miljødirektoratet sammenstilt eksisterende kunnskap om betydning av klimaendringer for arealbasert forvaltning gjennom en systematisk litteraturstudie. Studien skal bidra med et kunnskapsgrunnlag som kan brukes i arbeidet med å vurdere behov for justering av romlige prioriteringer og for å styrke klimahensyn i forvaltningsplanene. For å sikre at litteraturstudien gir et relevant grunnlag for slike vurderinger er arbeidet avgrenset til forskning som behandler både klimaendring og forvaltning. Denne avgrensningen innebærer at studier som utelukkende fokuserer på fysiske eller biologiske klimaeffekter ikke inngår, med mindre de knytter slike effekter til forvaltningsmessige behov, beslutningsstøtte eller romlige vurderinger. Denne rapporten gir en målrettet oversikt over hvordan modellstudier, observasjonsdata og ulike forvaltningsstrategier brukes – og kan brukes – i arealbasert forvaltning under klimaendringer. Rapporten sammenstiller forskningsfunn, diskuterer relevansen for vurdering av miljøverdier og identifiserer sentrale kunnskapsmangler som grunnlag til det videre arbeidet med integrering av klimaendringer i arealbasert havforvaltning.

¹ Meld. St. 21 (2023-2024)

2. SYSTEMATISK LITTERATURSØK

Litteratursøk og -filtrering ble gjennomført i en to-steps prosess ved bruk av både den vitenskapelige søkemotoren Scopus og KI-tjenesten Elicit (www.elicit.com). I Scopus søkes det på nøkkelord, mens det i Elicit stilles et forskningsspørsmål hvor mulige kilder evalueres ut ifra tematisk innhold. De to søkemotorene returnerer derfor en del ulik litteratur og komplementerer hverandre. I Scopus er søkeresultatet ubegrenset, mens i Elicit returneres kun de topp 500 beste treffene. Ettersom klimaforskning er et felt som stadig utvikler seg var kun litteratur fra de siste 10 årene (2015-2025) evaluert.

Søkeord Scopus

climate AND change OR mitigation OR
adaptation AND marine AND area OR area-
based OR spatial AND management OR
planning OR conservation

Søkeord Elicit

Forskningsspørsmål stilt: How does climate
change impact area-based marine management
and what quantitative and qualitative tools are
used to evaluate this?

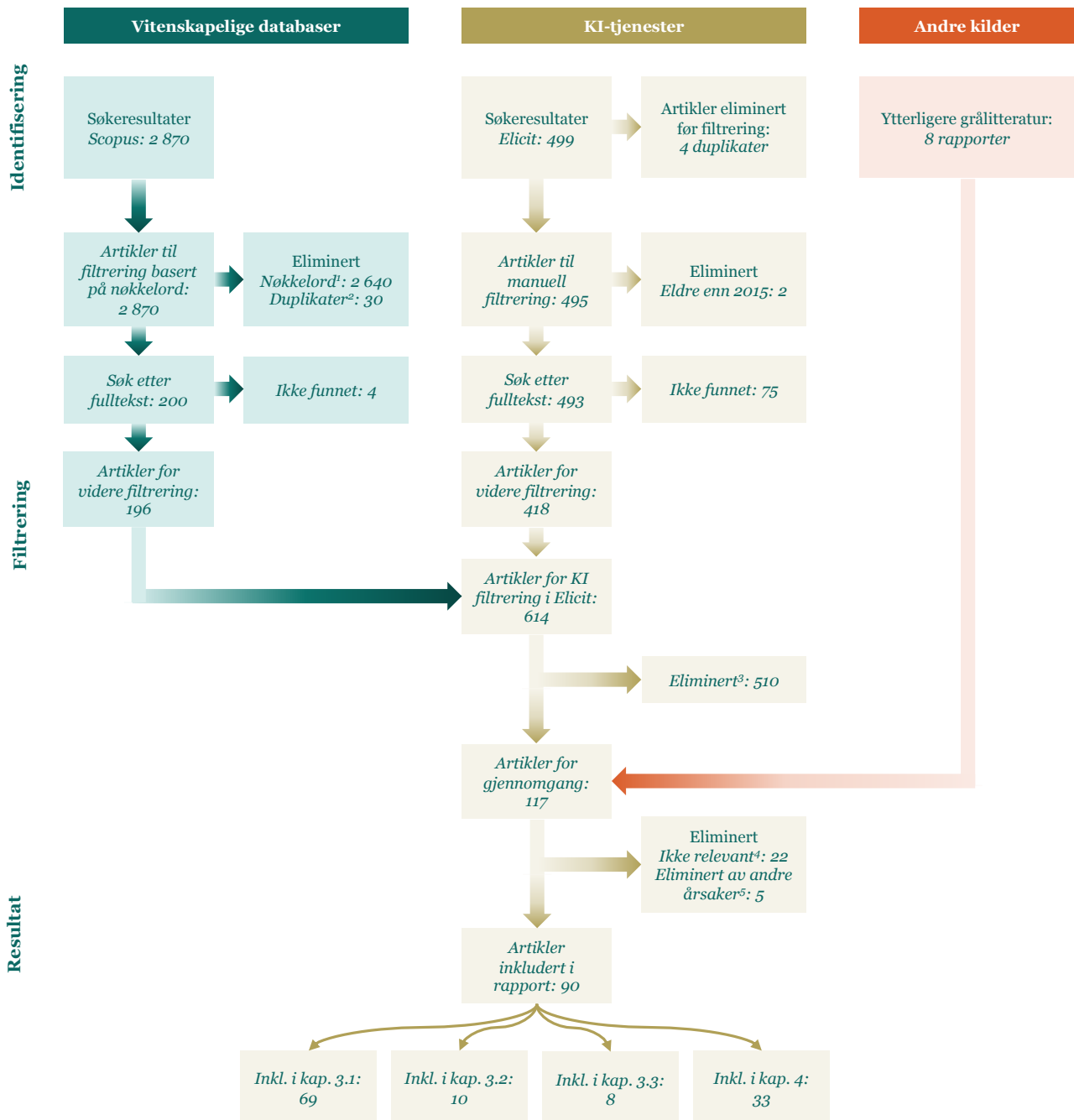
Filtrering av resultater var i hovedsak gjort automatisk og ved hjelp av KI. Søkeresultatene i Elicit ble gjennomgått manuelt for å luke ut eventuelle feilfiltreringer (f.eks. tilfeller hvor Elicit hadde inkludert både en publisert artikkel og et tidligere preprint av samme artikkel, eller artikler som i realiteten var eldre enn fra 2015). I tillegg søkte vi etter fulltekst i PDF-format og ekskluderte alle artikler som ikke kunne lokaliseres. I søkeresultatene fra Scopus var alle artikler hvis nøkkelord ikke inneholdt ordene «climate» og «management» ekskludert.

Automatisk filtrering i Elicit

For å bli inkludert i den endelige litteraturlisten måtte svaret på disse tre spørsmålene være «ja»:

1. Does the study focus on marine environments (not exclusively terrestrial or freshwater systems)?
2. Does the study explicitly address climate change impacts or climate-related variables?
3. Does the study explicitly link climate change impacts to management outcomes?

Deretter søkte vi etter fulltekst i PDF-format. Artikkene vi hadde tilgang til ble så lastet opp i Elicit og lagt til søkeresultatene der eventuelle duplikater ble fjernet. Dette resulterte i en samlet liste med artikler for videre filtrering (Figur 1). Den endelige filtreringen ble gjennomført automatisk i Elicit.



Figur 1: PRISMA-diagram for systematisk litteratursøk (Moher et al., 2015). ¹Automatisk filtrering hvor kun artikler med nøkkelord som inneholdt “climate” og “management” ble tatt med videre. ²Ekskludering av artikler som også var funnet i Elicit-søket. ³Kun artikler som Elicit klassifiserte som å ha et marint fokus, omhandle klimaendringer, og diskutere koblingen mellom klima og forvaltning var tatt med videre. ⁴Artikler som ved gjennomgang ikke ble vurdert som relevante for verken kapittel 3 (forvaltningsstrategier) eller kapittel 4 (verktøy) ble manuelt ekskludert i denne fasen. ⁵Noen få artikler ble også eliminert ved manuell gjennomgang pga. språk (andre enn engelsk, norsk, svensk eller dansk) eller så langt uoppdagede duplikater hvor f.eks. både pre-print og publisert artikkel var inkludert.

Etter filtrering gjensto 104 artikler fra Elicit og Scopus søkene for full manuell gjennomgang. Disse inkluderte 101 vitenskapelige artikler, én studentoppgave og to pre-print som ikke enda var fagfellevurdert. Alle disse, samt ytterligere 7 nordiske grålitteratur-rapporter og en IPCC-rapport ble gjennomgått i sin helhet og scoret for relevans for syntesen.

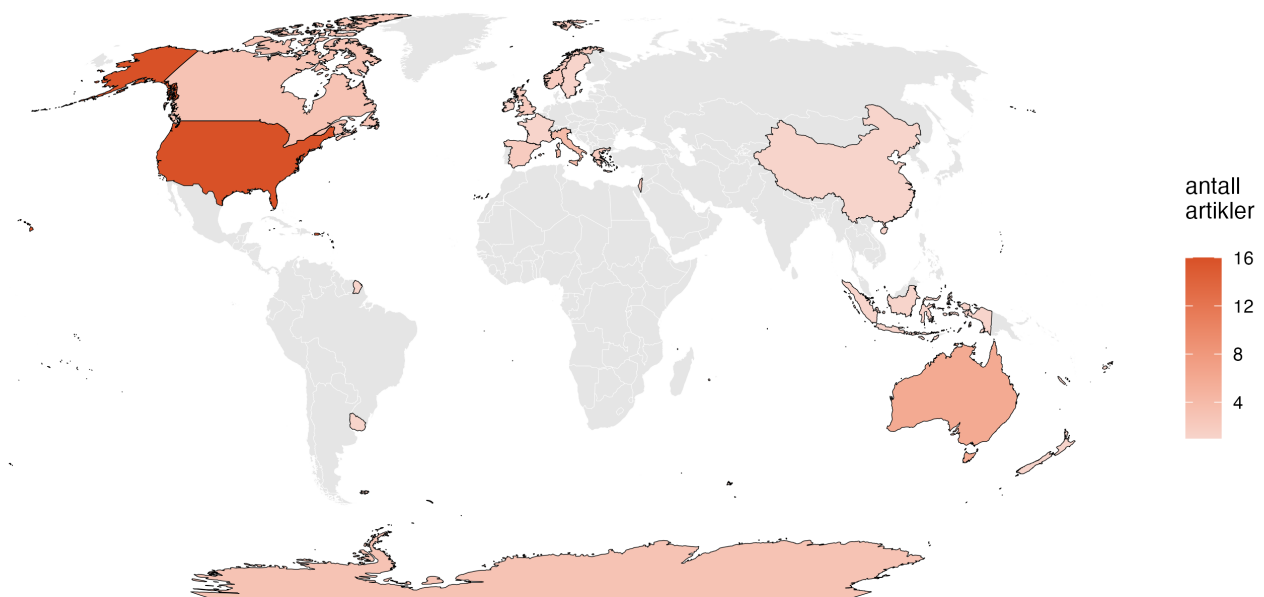
Relevans var vurdert ut ifra hvor vidt en artikkel dekket temaer som svarte på hovedspørsmålene i kapittel 3.1 (klimaendringer og strategier i arealbasert forvaltning), 3.2 (klimaendringenes påvirkning på forflytning på miljøverdier særlig relevante for norske farvann), 3.3 (klimaendringers påvirkning på SVO-er, begrenset til SVO-er i norske farvann og tilstøtende land med delte havområder), samt kapittel 4 (observasjons- og modellverktøy som vanligvis benyttes for evaluering av klimaeffekter). Artikler som ble vurdert som å ikke ha relevans for noen av disse fire (under)kapitlene ble ekskludert som irrelevante i denne fasen. I noen tilfeller siterte artikler andre studier som virket høyst relevante, og disse ble da søkt opp og også inkludert i syntesen (såkalt «snowballing», n=5).

3. BETYDNING AV KLIMAENDRINGER FOR AREALBASERT FORVALTNING

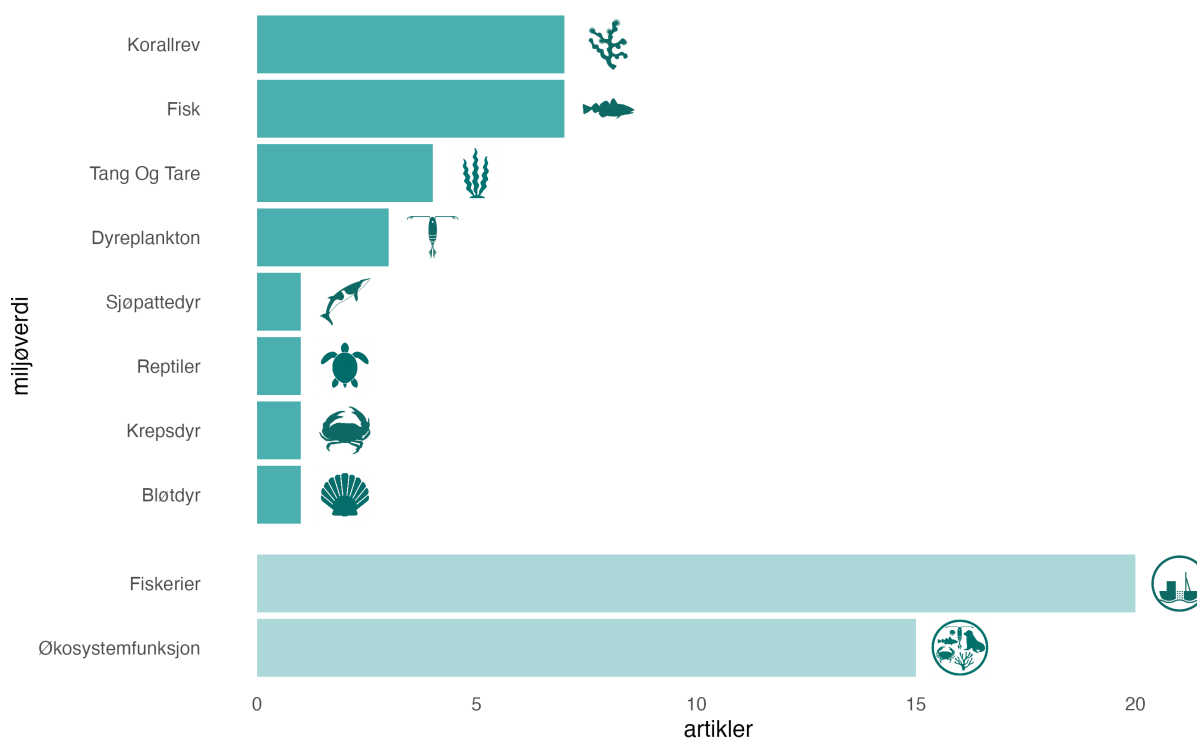
3.1 Klimaendringer og strategier i arealbasert forvaltning

Totalt 69 artikler omhandlet strategier for arealbasert forvaltning av marine ressurser under klimaendringer. Flertallet av disse var fra Nord-Amerika og en del fra Australia, men det var også noen studier fra Europa, Antarktis og Asia (Figur 2). Klimaendringer påvirker arter og økosystem på ulike måter og i ulik grad, noe som også reflekteres i rekkevidden av miljøverdier hvis forvaltning under klimaendringer er diskutert i litteraturen. Studiene som var inkludert i syntesen kan grovt deles inn i to hovedgrupper: én hvor fokus var enten på enkeltarter (f.eks. torsk) eller på relaterte grupper med arter (f.eks. ulike koraller), og den andre hvor fokus var bredere, da som oftest på fiskerier generelt (blanding av fisk og evertebrater) eller på ulike aspekter av økosystemfunksjon som biologisk mangfold, næringsnett, habitat, og forskjellige økosystem-tjenester. Sistnevnte var mest utbredt, og blant studier på enkeltarter eller mindre artsgrupper var koraller (da hovedsakelig tropiske revdannende koraller) og fisk mest utbredt (Figur 3).

Ytterligere artikler med globalt eller tilnærmet globalt omfang: 10



Figur 2: Geografisk fordeling av artikler fra litteratursøket (vitenskapelige artikler fra Scopus og Elicit; ytterligere grålitteratur og «snowballing» er ikke inkludert) som var vurdert som relevante for kapittel 3.1; med andre ord antall artikler hvor arealbaserte forvaltningsstrategier var diskutert i relasjon til klimaendringer. Ved tilfeller hvor studien tok plass i flere lands havområder, men fortsatt innenfor en begrenset region er det mest sentrale landet i datasettet vist, og hvor dette ikke var tydelig vises affiliasjonen til hovedforfatter. Totalt antall artikler inkludert i figuren = 60.



Figur 3: Oversikt over miljøverdier dekket av artikler som var vurdert som relevante for kapittel 3.1; med andre ord antall artikler hvor arealbaserte forvaltningsstrategier var diskutert i relasjon til klimaendringer. Inkludert er vitenskapelige artikler fra Scopus og Elicit søk; ytterligere grålitteratur og «snowballing» er ikke inkludert i figuren. Mens en del artikler diskuterte effekter på og forvaltning av enkeltarter eller grupper av arter i samme taxa, dekket mange artikler fiskerier generelt (da ofte en blanding av fisk og evertebrater) eller ulike aspekter av økosystemfunksjon som biologisk mangfold, habitat, interaksjoner i næringsnettverket eller økosystemtjenester.

Av de 60 artiklene hvor arealbaserte forvaltningsstrategier var diskutert i relasjon til klimaendringer omhandlet to-tredjedeler ($n=40$) ulike former for arealplanlegging og/eller marin bevaring. De resterende artiklene omhandlet ulike fangstreguleringer, som oftest i kontekst av økosystembasert forvaltning. Merk at økosystembasert forvaltning også kan inkludere andre tilnærminger som marin bevaring. Ulike fangstreguleringer regnes som arealbasert gitt at reguleringer er gjeldende innenfor ulike geografiske avgrensinger som fangstsoner, regioner eller landegrenser. Et gjennomgående tema i flere studier er at klimaendringer påvirker miljøverdiene som forvaltes, og at kunnskapsgrunnlaget derfor ikke er statisk. Dette innebærer at forvaltningen må kunne innhente oppdatert kunnskap om endringer og tilpasse beslutningene deretter. For å være motstandsdyktig i et miljø i stadig endring, må forvaltningen med andre ord utvise en viss grad av fleksibilitet.

Verktøyene for å oppnå klimaresilient forvaltning av marine miljøverdier finnes allerede i form av adaptiv og føre-var økosystembasert forvaltning, men i mange tilfeller mangler fortsatt den nødvendige organisasjonsstrukturen for å omsette slike strategiske rammeverk og kriterier til klimaresilient marin forvaltning i praksis (Holsman et al., 2019). Ofte er disse utfordringene knyttet til ulike skalaer i forvaltning, forskning og relevante underliggende prosesser (se faktaboks).

Utfordringer ved klimaresilient forvaltning

1. Forvaltningsverktøyene som brukes regionalt, er ofte ikke tilpasset de samme systemene slik de fungerer under endrede klimaforhold.
2. Forvaltningspolitikk og klimaforskning opererer ofte på ulike romlige og tidsmessige skalaer, som sjelden er godt samordnet.
3. Forvaltningsmetoder tar i liten grad hensyn til samspill på tvers av skalaer, og blir dermed dårlig egnet til å håndtere gradvise endringer og ekstreme hendelser.
4. Manglende modellering av samfunnsøkonomiske konsekvenser gjør det vanskelig å beregne de samlede kostnadene for samfunnet, identifisere tilpasningsgrenser og vurdere klimarisiko og forvaltningsmessige avveininger på en helhetlig måte.

Fra Holsman *et al.* (2019)

Både klimaprognoser, inkludert miljøverdiers respons på klimaendringer, og forvaltnings-tilnærminger kan gjennomføres i ulike romlige og tidsmessige skalaer (Figur 4). I minste skala er raske intervensjoner, som blåskjellvarsel. Dette er hyppige og raske (f.eks. daglige) reaksjoner på lokale endringer. Hovedsakelig innenfor forvaltning diskuteres følgende tre skalaer: dynamisk (kort sikt), adaptiv (middels sikt), og fast (lang sikt) (Holsman et al., 2019). Ved dynamisk forvaltning brukes korttidsvarsler (ukentlige til sesongbaserte) for miljø og biologi for å støtte avgjørelser som reduserer risikoen for å krysse definerte økologiske og forvaltningsmessige vippepunkter. Dynamiske forvaltningsstrategier reagerer på ekstreme hendelser og raske endringer (<3 år), som for eksempel årlige sesongbaserte nullfiskesoner for å beskytte sårbare juvenile fisk (Defeo et al., 2025; Holsman et al., 2019). Gitt oppløsningen i prognoser og data for å danne det nødvendige kunnskapsgrunnlaget tas avgjørelser på et lokalt til regionalt nivå (Holsman et al., 2019).

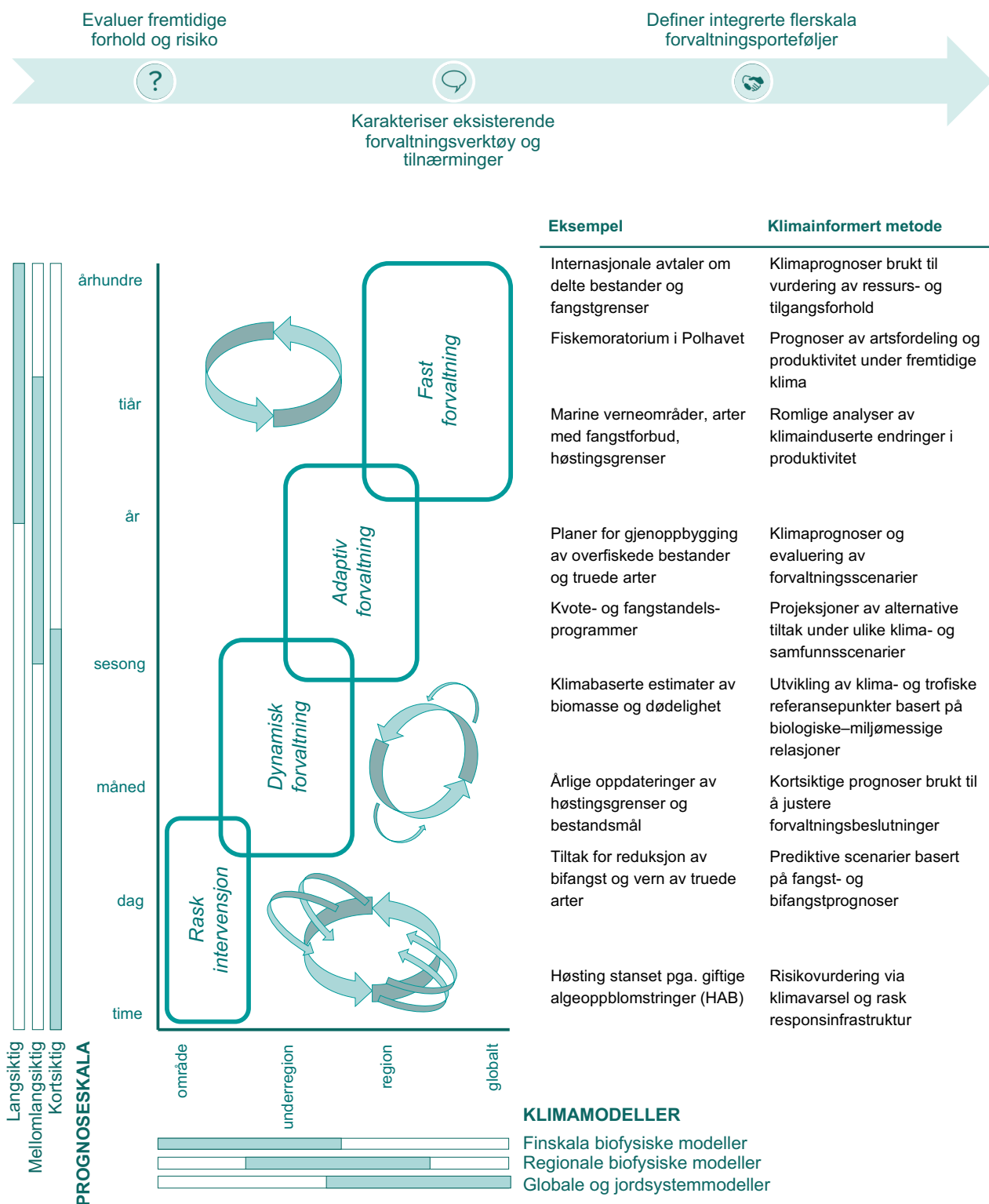
Adaptiv forvaltning tar et mellomlangsigte perspektiv (3-20 år). Her implementeres klimaspesifikke utløsermekanismer og grenseverdier (f.eks. ved å bruke klimaavhengige dødelighetsrater i modeller) i adaptive tiltak for å forhindre utilsiktede konsekvenser av samvirkende regionalt press og klimadrevne endringer (Holsman et al., 2019). Når klimaendringer ikke integreres i forvaltningsmodeller kan det føre til store ulikheter mellom predikerte data og faktiske observasjoner påfølgende år, noe som reflekterer usikkerhet i forvaltningsmodeller (Mazur

et al., 2023). For eksempel kan overfiske av nordvest-atlantisk torsk (*Gadus morhua*) ha vedvart uoppdaget i årevis ettersom kvotene ikke tok hensyn til klimadrevet nedgang i produktivitet; noe som sannsynligvis kunne ha vært unngått dersom klimaspesifikke dødelighetsrater i varme år hadde vært integrert i bestandsutredninger (Holsman et al., 2019). Adaptive tilnærminger kan bidra til å håndtere artsomfordeling som følge av klimaendringer (Ottersen et al., 2025a).

Når de først er etablert, kan faste forvaltningstiltak være praktiske å gjennomføre og krever som regel mindre data og ressurser enn dynamisk eller adaptiv forvaltning (Holsman et al., 2019). Samtidig bygger tiltak imidlertid ofte på antakelser om stabile miljømessige, økologiske og samfunnsøkonomiske forhold hvor parametere utover selve beskatningen antas å være relativt statiske (Holsman et al., 2019; Mazur et al., 2023). Faste forvaltningsstrategier er de mest langsiktige, men også generelt de minst klimaresiliente da de ikke reagerer på endringer (Holsman et al., 2019). Et eksempel er flyndre (*Paralichthys dentatus*) i nordvest-Atlanteren hvor det er et krav at fiskere leverer fangsten til faste mottak langs kysten tross en generell forflytning av bestanden nordover; noe som fører til betydelige kostnadsøkninger for den sørlige delen av flåten (Holsman et al., 2019). Samtidig kan faste forvaltningsplaner bidra til å støtte langsiktige samfunns mål. Dette kan inkludere for eksempel opprettholdelse av fiskemottak selv med forflytning av bestander og fiskeflåten, eller beskyttelse av kystflåten som anses som mindre fleksibel når det gjelder å tilpasse seg nye distribusjonsmønstre enn større havgående fartøy (Holsman et al., 2019; Ottersen et al., 2025a).

«For å redusere ringvirkninger av klimaendringer kan adaptive eller dynamiske strategier innlemmes i faste forvaltningsstrukturer for å muliggjøre inkrementelle justeringer. Da brukes langsiktige prognoser (20+ år) og utforskende scenarier for å veilede frekvensen av re-evalueringer av de faste strukturene, for eksempel marine bevaringsområder eller jurisdiksjongrenser, for å sikre fortsatt ytelse under klimaendringer» (Holsman et al., 2019).

Håndtering av miljøendringer krever en fleksibel og tilpasningsdyktig forvaltning, mens endringer i sosioøkonomiske og politiske rammer ofte må møtes med mer stabile og langsiktige tiltak. En effektiv forvaltning bør derfor kombinere både dynamiske, adaptive og faste elementer for å håndtere endringer på en helhetlig måte (Holsman et al., 2019). Fremtidige styrings- og politikkbeslutninger krever en helhetlig tilnærming; relativt statisk forvaltning av et system i endring vil sannsynligvis bli utfordret, noe som vil kreve både midlertidige tilpasningstiltak og permanent mer fleksible reguleringer (Ottersen et al., 2025a). En global vurdering av faste og



Figur 4: Oppsummering av ulike forvaltningstilnærminger og assosierte tidsmessige og romlige skalaer for klimaprognoser for å informere forvaltningen. Skalaene hvor ulike forvaltningstilnærminger overlapper er spesielt relevante for klimaresilient forvaltning. Tilpasset fra Figur 2, 3 og Tabell 1 i Holsman *et al.* (2019).

dynamiske forvaltningsformer viste at dynamisk forvaltning gir best resultater når mekanismene bak endringene er godt forstått, mens faste tiltak fungerer bedre der slike mekanismer er usikre (Holsman et al., 2019). Uavhengig av tilnærmingen er det vesentlig å inkludere klimaprognoser og sannsynlige effekter av klimaendringer i forvaltningsgrunnlaget ettersom det er tilfeller hvor miljøendringer og forflytning av arter kan føre til at disse ikke kan vedvare under både klimaendringer og fiskepress (Cheripka et al., 2025).

3.1.1 Arealplanlegging og marine bevaringsområder

Formålet med marin arealplanlegging er å veilede den romlige og tidsmessige fordelingen av menneskelige aktiviteter i hav- og kystområder for å oppnå økologiske, økonomiske og sosiale mål (Gissi et al., 2019). Det er et klart potensiale for å integrere forventede effekter av klimaendringer og tilpasninger i planleggingsverktøy, samtidig har dette vært gjort i relativt liten grad frem til nå (Corelli et al., 2024; Gissi et al., 2019; Tan and Fischer, 2022).

Flere syntesestudier har evaluert ulike forvaltningsplaner for marine bevaringsområder på verdensbasis, hovedsakelig begrenset av tilgjengeligheten på engelskspråklige planer. En analyse av drøyt 200 forvaltningsplaner avdekket at litt over halvparten nevnte klima (O'Regan et al., 2021). En annen analyse av snaut 200 planer fra 52 ulike land viser at mange planer bygger på vitenskapelige og forvaltningsmessige prinsipper som fremmer klimatilpasning, selv uten at klimaendringer eksplisitt nevnes: de fleste inkluderer for eksempel langsiktige mål (93,6 %) og strategier for å redusere trusler (99,4 %) (Lopazanski et al., 2023). Likevel varierte graden av eksplisitt klimaintegrering betydelig – fra ingen omtale (21,5 %) til detaljerte handlingsplaner (20,9 %) (Lopazanski et al., 2023). En tredje analyse av over 600 forvaltningsplaner for marine bevaringsområder avdekket 213 unike forvaltningstiltak, hvorav kun en liten andel (4,7 %) var praktiske tiltak rettet mot å styrke naturmangfoldet, mens nesten halvparten (45,5 %) kun var overvåkningstiltak (Corelli et al., 2024). I tillegg stammer hele 82 % av eksempler av klimatilpasning i planlegging av marine bevaringsområder fra tropiske korallrev, noe som fremhever behovet for forskning på andre økosystemer og habitattyper (Wilson et al., 2020). Men tross få dokumenterte, operative klimatilpasningstiltak i arealplanlegging (Corelli et al., 2024), var dette den vanligste arealbaserte forvaltningstilnærmingen diskutert blant artikler i den gjennomførte litteraturstudien.

Arealplanleggingstiltak representerer ofte faste forvaltningsstrategier, som for eksempel permanente bevaringsområder. Disse har blitt identifisert som gode tiltak for å dempe virkninger av klimaendringer, spesielt nullfiskeområder (Pentz et al., 2018). For eksempel predikerer

modellstudier at opprettelse av et bevaringsområde i Antarktis vil ha positiv effekt på pingvin- og hvalbestander selv under klimaendringer, da etablering av fangstfrie soner i områder der krill forventes å samle seg, og hvor flere predatorarter beiter, kan øke biomassen av begge grupper (Dahood et al., 2020a). Samtidig kan også arealplanleggingstiltak være adaptive og i noen tilfeller til og med dynamiske. For eksempel kan fleksible daglige og/eller sesongbaserte justeringer av reguleringer for skipsfart være en effektiv strategi for å redusere antall kollisjoner mellom skip og hvaler med minimal forstyrrelse av båttrafikk sammenlignet med faste reguleringer ettersom ferdselsårer for hval og dens adferd endrer seg i takt med blant annet temperatur (Hausner et al., 2021). Dynamiske fiskeristenginger brukes også i flere tilfeller som et alternativ til tradisjonelle bevaringsområder (Pentz et al., 2018). Samtidig krever slik dynamisk arealplanlegging hvor anbefalinger oppgraderes jevnlig i respons til ulike miljøvariabler en god forståelse av hvordan sistnevnte påvirker miljøverdien det skal tas hensyn til, og konstante endringer i brukerrettigheter kan være vanskelige å gjennomføre i praksis (Hausner et al., 2021).

For å forstå hvor vidt ulike arealplanleggingstiltak, inkludert marine bevaringsområder, utgjør effektive forvaltningsstrategier under klimaendringer er det først nødvendig å definere hvordan effekter og suksess måles. Det kan være krevende å måle den direkte betydningen av bevaring for økosystemenes motstandskraft mot klimaendringer, tross dokumenterte økologiske fordeler av vern (White et al., 2025). Dette skyldes både at resiliens, eller motstandskraft, er et komplekst begrep å definere og måle, og at egnede kontrollområder og lange tidsserier med data som er nødvendige for å stadfeste resultater ofte mangler. Et nyttig rammeverk for å definere resiliens kan være å skille mellom responsen på enkeltforstyrrelser – som involverer både størrelsen på reaksjonen og den påfølgende gjenopprettingstiden – og et systems langsiktige evne til å forbli nær en stabil tilstand i møte med pågående forstyrrelser (White et al., 2025).

Marint vern kan bidra til klimaresiliens gjennom flere ulike mekanismer (Tulloch et al., 2020). Studier har for eksempel vist at organismer innenfor bevaringsområder er friskere og har bedre kondisjon, noe som fører til økt toleranse ovenfor klimatisk stress. I tillegg huser bevaringsområder ofte større og eldre individer enn omkringliggende områder, noe som fører til raskere gjenoppretting etter forstyrrelse gitt høyere reproduksjonsevne hos større individer (White et al., 2025).

Forvaltningstiltak innenfor faste bevaringsområder (tidsperspektiv >25 år) kan også redusere andre lokale stressorer og dermed bidra til å «kjøpe tid» i forhold til negative effekter av klimaendringer ved å redusere kumulativt stress (Arafteh-Dalmau et al., 2023; Zentner et al., 2023).

Modelleringsstudier tilsier at et representativt og variert nettverk av marine verneområder kan bidra

til å opprettholde egnede habitat ved forflytning og endringer i utbredelse (Rubidge et al., 2024). En omfattende systematisk litteraturgjennomgang av 22 403 publikasjoner som omhandlet 241 marine bevaringsområder viser at disse kan styrke karbonlagring, kystbeskyttelse, biologisk mangfold, reproduksjonsevne hos marine organismer, samt fiskeres fangst og inntekt. De største fordelene oppnås i fullt eller høyt beskyttede områder og øker med bevaringsområdenes alder (Jacquemont et al., 2022).

Samtidig vil ikke nødvendigvis faste arealplanleggingstilnærminger, som permanente bevaringsområder, øke klimaresiliens i alle tilfeller. Etablerte nullfiskeområder i Middelhavet gir økt fiskebiomasse på tvers av temperaturgradienter (her antas det at relativt varmere områder i dag fungerer som en proxy for en temperaturøkning under fremtidige klimaendringer), men raten av nedgang i biomasse med økt temperatur var tilsvarende for nullfiskeområder som i fiskede områder (Frid et al., 2023). Samlet sett tyder dette på at kapasiteten til nullfiskeområder til å øke fiskebiomasse sammenlignet med omkringliggende områder vedvarer ved klimaendringer, men samtidig vil ikke marint vern kunne oppveie større biotiske endringer knyttet til klimaendringer (Frid et al., 2023). Den forventede forflytningen av arter fra sør mot nord (på den nordlige halvkule), for eksempel, vil sannsynligvis føre til at enkelte arter vil forlate noen MPA og introduseres i andre (Whitney et al., 2023).

Utforming og plassering av bevaringsområder kan ha stor betydning for hvor vidt de forventes å bidra til klimaresiliens eller ikke. Integrering av flere elementer i planleggingen av bevaringsområder (f.eks. syklonrisiko, kostnader for fiskerinæringen og representasjon av biologisk mangfold) kan bidra til å redusere usikkerheten om fremtidig tilstand for viktige habitater, men en mer omfattende tilnærming øker også kostnadene og arealomfanget av bevaringsområdene (Giffin et al., 2025). For å maksimere positive effekter på klimaresiliens anbefales det å vurdere minimum størrelse for bevaringsområder, vern av kritiske habitat og heterogenitet blant vernede habitat, reduksjon av andre stressfaktorer (f.eks. forurensing, høsting, skipstrafikk), ha fokus på bevaring av økosystemfunksjoner, samt legge til rette for bestandsøkning for nøkkelarter og andre sårbare eller truede arter som er viktige for økosystemfunksjon (Arafah-Dalmau et al., 2023; Wilson et al., 2020).

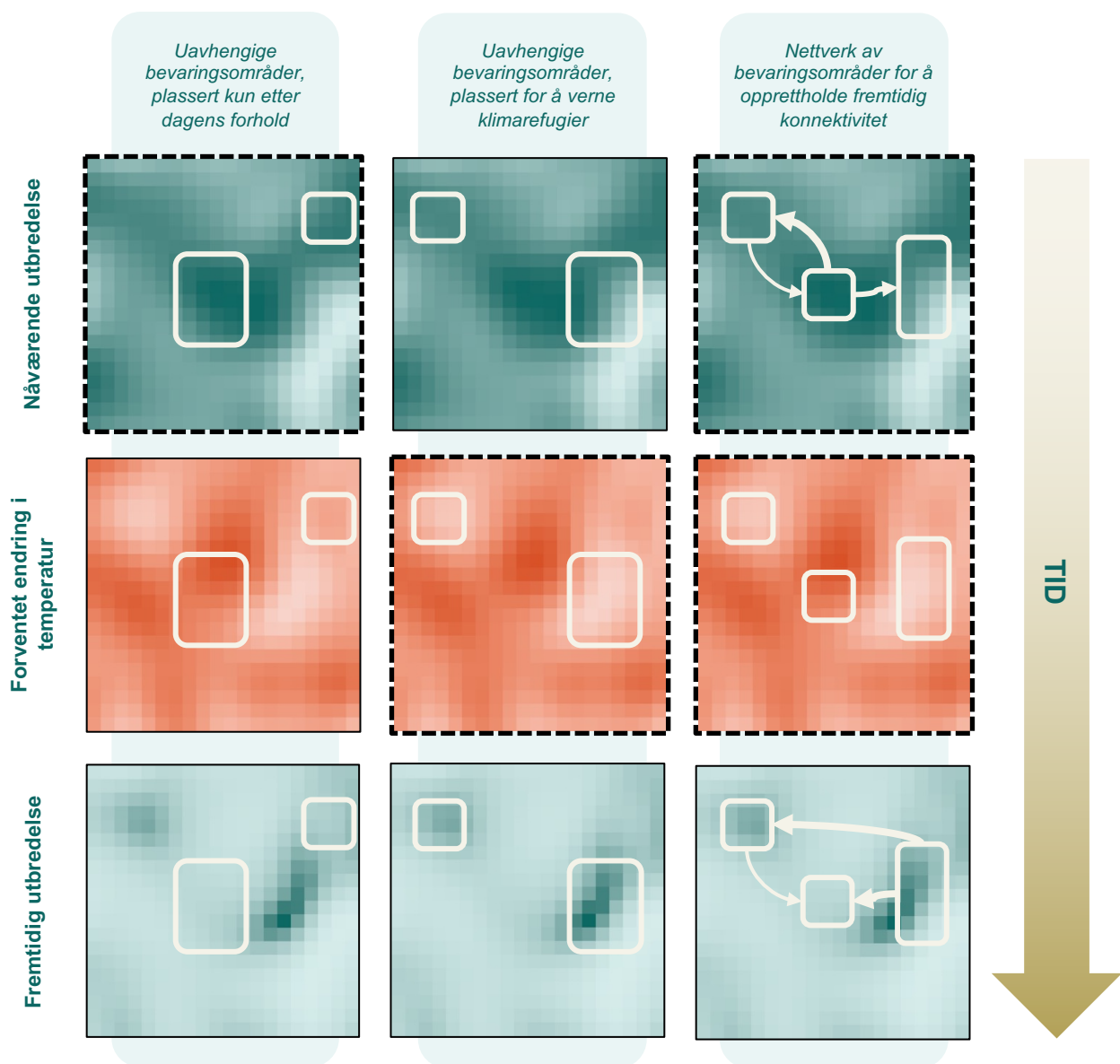
To spesifikke klimatilpasningstiltak som ofte legges frem som effektive for å øke klimaresiliens-effekten i planleggingen av marine bevaringsområder er (1) opprettelse av nettverk for å

oppretholde konnektivitet, og (2) fokus på bevaring av områder hvor klimaendringer forventes å skje saktere eller i mindre grad enn i omkringliggende områder – såkalte klimarefugier (Figur 5). Klimaendringer forventes å kunne redusere sammenhengen mellom økosystemer i bevaringsområder med opptil 50 % og godt designete nettverk som opprettholder konnektivitet tross endringer kan øke klimaresiliens og sikre at metapopulasjoner vedvarer (Arafeh-Dalmau et al., 2023; Hopkins et al., 2016). Nettverk må inkludere bevaringsområder som er av en egnet størrelse, strategisk plassert for å være funksjonelt sammenkoblet og store nok til å beskytte de underliggende biofysiske prosessene som opprettholder artsutbredelse og -sammensetning (Arafeh-Dalmau et al., 2023; Rubidge et al., 2024). Slike nettverk kan utgjøre en viktig klimatilpasningsstrategi, men krever modellering for å forstå både nåværende konnektivitet, krav for å maksimere og opprettholde den, og forventede endringer (Wilson et al., 2020).

Valg av bevaringsområder krever en aktiv utvelgingsstrategi og romlig prioritering. Selv om klimaendringer fører til visse gjennomsnittlige endringer i temperatur og andre abiotiske faktorer, er det stor romlig variasjon i størrelsesordenen på de forventede endringene (Bryndum-Buchholz et al., 2023). Det kan finnes områder eller lommer hvor denne effekten er mindre eller endringer saktere, og som antas å utgjøre viktige leveområder for ulike arter i fremtiden (Young et al., 2025; Zelli et al., 2025). Disse kan inkludere for eksempel områder med oppvelling av kaldere vann fra dypere områder mindre påvirket av varmere overflatevann, eller komplekse kystlinjer som skaper mikroklima (Young et al., 2025). Identifisering av høy- og lavrisikoområder gir viktig grunnlag for design og planlegging av klimarobuste bevaringsområde-nettverk (Lewis et al., 2023). Å fokusere bevaring i lavrisikoområder hvor endringer forventes å skje i mindre grad og/eller saktere, såkalte klimarefugier, for å beskytte gjenværende leveområder og opprettholde konnektivitet kan være en nyttig tilnærming (Arafeh-Dalmau et al., 2023; Buenafe et al., 2023; Champion et al., 2024; Chollett et al., 2022; Queirós et al., 2016; Young et al., 2025; Zelli et al., 2025).

Et argument for å beskytte refugier er at dette kan bety vern til det bredeste mangfoldet av arter i stedet for bare verne forstyrrelsestolerante arter i områder hvor endringer er store (Wilson et al., 2020). Å beskytte refugier kan også være en måte å «kjøpe tid» på for å la arter og økosystemer tilpasse seg endrede forhold. Når det finnes prognoser for en arts eller et habitats fremtidige utbredelse, kan bevaringsområder utformes for å prioritere de områdene for vern som enten vil huse viktige arter eller habitater i fremtiden (Wilson et al., 2020). Tilnærmingen kan brukes i ulik romlig skala både for prioritering av plassering av bevaringsområder langs kysten og for prioriteringer innenfor etablerte bevaringsområder (Young et al., 2025). Identifisering og vern av

mikroklimarefugier, altså områder som forventes å tilby klimarefugier i en skala på få km², anses som hensiktsmessig i den grad de kan identifiseres, da dette er områder som kan bidra til å opprettholde og fornye bestander i omkringliggende mer belastede områder. Det er ikke like relevant å identifisere klimarefugier i en romlig skala som er vesentlig større enn et gjennomsnittlig verneområde (Arafteh-Dalmau et al., 2023). Konseptet klimarefugier kan også brukes innen regulering og arealplaner for akvakultur hvor områder som forventes å ha mer stabilt gode vekstforhold nå og i fremtiden for oppdrettsarten prioriteres for oppdrettsanlegg (Cubillo et al., 2021; Palmer et al., 2021).



Figur 5: Konseptskisse vern av klimarefugier. Grønne panel viser artsutbredelse og oransje forventede temperaturendringer basert på klimaprognoser; mørkere farger tilsvarer høyere verdier. Eksempelet er rent teoretisk og fremtidig utbredelse en enkel invers funksjon mellom tidligere utbredelse og temperaturendringer som en illustrasjon. Stiplede linjer viser forholdene langt til grunn for valg av lokaliteter. Firkanter viser teoretiske bevaringsområder. Piler i nettverks-scenarioet viser til konnektivitet (f.eks. larvetransport) mellom bevaringsområder.

Anbefalingen om å prioritere klimarefugier og områder med forventede positive endringer for marine bevaringsområder grunner hovedsakelig i ressursfordeling. Det anses som hensiktsmessig å flytte de ofte begrensede ressursene for bevaring bort fra områder der negative, klima-drevne endringer forventes å skje i størst grad og produktiviteten forventes å synke, spesielt ettersom det å begrense kommersiell utvinning i disse områdene ikke nødvendigvis øker bærekraften til lokale bestander (Queirós et al., 2016).

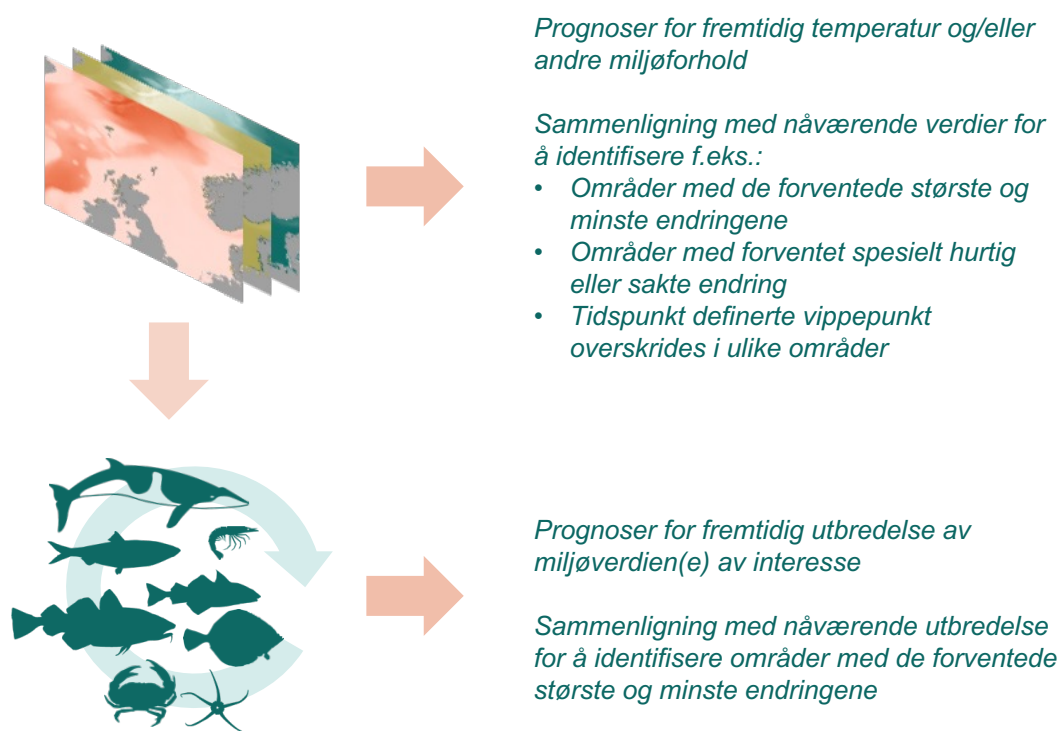
Konseptet klimarefugier er utbredt i litteraturen, og flere ulike tilnærminger er brukt for å identifisere dem. Grovt sett kan disse klassifiseres etter hvor vidt de kun vurderer klimamodeller og forventede endringer i miljøforhold, eller om de også bruker biologiske modeller for å predikere hvordan endringer i miljøforhold kommer til å påvirke miljøverdien(e) av interesse (Figur 6).

Den minst dataintensive tilnærmingen for å identifisere klimarefugier er å basere prognosene kun på klimamodeller, og det er mulig å vurdere ulike variabler og kriterier. Prosessen består av tre trinn: (1) valg av klimaprognoser, som innebærer å bestemme seg for klimamodeller, utslippsscenarier og klimavariabler, (2) beregning av klimaindikatorer fra modellutdata; og (3) valg av tilnærming for å identifisere refugier basert på klimaindikatorene. Temperatur er den vanligste og generelt sikreste indikatoren å modellere (for eksempel raten av oppvarming, frekvens av hetebølger, o.l.), men andre indikatorer som havforsuring og oksygennivå kan også inkluderes (Buenafe et al., 2023).

For å lokalisere klimarefugier fra indikatorer kan en ta ulike tilnærminger, og strengere terskelverdier vil identifisere de mest klimasmarte områdene, mens lavere terskelverdier tillater en bredere definisjon av klimarefugia. Merk at ulike klimaindikatorer kan identifisere ulike refugier, og valg av indikatorer må derfor vurderes nøye. Valg av klimamodeller som brukes til å lage indikatorene har mindre påvirkning enn hvilke indikatorer som velges og hvilken tilnærming som tas for å identifisere refugier fra disse (Buenafe et al., 2023).

Konseptet «klimahastighet» («climate velocity») er en mye brukt klimaindikator, og refererer til en kombinasjon av tidspunkt, retning og størrelsesorden på forventede klimaendringer som en indikasjon på hvor raskt arter må forflytte seg for å forbli innenfor sine klimatiske toleransevinduer (Arafteh-Dalmau et al., 2021; Cheripka et al., 2025; Kyprioti et al., 2021; Whitney et al., 2023). For eksempel kan prognoser for overflatetemperatur brukes til å kvantifisere eksponeringen av ulike bevaringsområder for fremtidig oppvarming ved å (1) kvantifisere den predikerte hastigheten og

omfanget av oppvarming innenfor en gitt tidsramme, (2) beregne tidspunkter for når fremtidig overflatetemperatur innenfor bevaringsområdene går inn i nye tilstander ved å bli mer ulike enn like tidligere forhold, og (3) rangere bevaringsområder i henhold til deres anslåtte eksponering (Champion et al., 2024). Klimahastighet fungerer best som en indikator i større skala til identifisering av makroklimarefugia, og merk at områder som ikke endrer seg, ikke nødvendigvis er områder med mindre oppvarming (Arafteh-Dalmau et al., 2021).



Figur 6: Identifisering av forventede klimarefugier hvor endringer og effekter av klimaendringer forventes å være minst (samt klima «hotspots» hvor endringer og effekter forventes å være størst). Grovt sett kan metoder klassifiseres etter hvor vidt kun klimaprognoser brukes, eller om en også bruker drift-, artsutbredelse- eller økosystemmodeller for å direkte predikere fremtidige påvirkning på miljøverdier ved klimaendringer

Bruk av klimaindikatorer istedenfor utbredelsesmodeller kan fungere som robuste generiske proxyer for artsspesifikke responser, og er en pragmatisk tilnærming til å utforme klimasmarte arealbaserte forvaltningsplaner som tar hensyn til hundrevis til tusenvis av arter (Buenafe et al., 2023). Å kun vurdere forventede endringer i klimaforhold krever bare klimamodeller (og ikke for eksempel økosystemmodeller i tillegg) gir færre krav til datagrunnlaget (Buenafe et al., 2023). Samtidig er det en forenklet tilnærming da den ikke tar stilling til organismers respons til klimaendringer og ikke er tilpasset ulike miljøverdier (Champion et al., 2024).

Identifiseringen av klimarefugier kan tas et steg videre ved å inkludere statistiske analyser som beskriver hvordan miljøverdier reagerer på klimaendringer (Arafeh-Dalmau et al., 2023; Kyprioti et al., 2021; Lewis et al., 2023; Young et al., 2025). For eksempel ble 20 år med data på tareskogutbredelse i et nettverk av bevaringsområder i Australia analysert opp mot ulike miljøvariabler (Young et al., 2025). Den resulterende statistiske modellen ble deretter matet med fremtidige miljøvariabler simulert av en klimamodell for å predikere hvordan tareskogutbredelsen kommer til å se ut i 2090. Dagens og fremtidens forventede utbredelse ble deretter sammenlignet for å rangere ulike bevaringsområder etter sannsynlighet for hvor vidt de vil utgjøre klimarefugier eller ikke; resultatet er et kart med anbefalinger for prioritering for bevaring (Young et al., 2025). Klimarefugier for tareskog har også blitt kartlagt langs kysten av California på lignende vis ved å analysere historiske data for tareskogpersistens (vedvarende tareskog) og variasjon i havoverflatetemperatur (Arafeh-Dalmau et al., 2023). Langs østkysten av Canada ble klimarefugier undersøkt ved å identifisere vippepunkt for når visse terskelverdier for ulike arter nås og en biologisk respons er forventet (Lewis et al., 2023). Resultatene ble brukt til å undersøke forventet utbredelse av arter innenfor potensielle bevaringsområder, samt hvordan dette forventes å endre seg under ulike klimaprognoser (Lewis et al., 2023).

En rekke studier har også brukt etablerte artsdistribusjonsmodeller eller økosystemmodeller sammen med klimaprognoser for å predikere både hvordan miljøet og miljøverdiers utbredelse vil endre seg for å identifisere klimarefugier og klima «hotspots» (hvor de største endringene forventes å skje) (Queirós et al., 2021, 2016; Zelli et al., 2025). En relativt vanlig tilnærming for å lokalisere klimarefugier er å kjøre utbredelsesmodeller for ulike arter av interesse for forskjellige klimascenarier for å finne områder som forventes å (for)bli viktige leveområder. Ulike modeller og endepunkter kan gi ulike resultater, og de mest robuste resultatene oppnås ved å sammenligne flere modeller for ulike miljøverdier og klimaendepunkt (Bryndum-Buchholz et al., 2023; Buenafe et al., 2023; Kyprioti et al., 2021; Queirós et al., 2021). For eksempel, har et ensemble av hele 54 ulike økosystemmodeller kjørt med ulike klimaprognoser og forventede endringer i havtemperatur, oksygen, pH og økosystemproduktivitet blitt sammenstilt i en metaanalyse for å predikere klimarefugier og «hotspots» i Nordsjøen og omkringliggende områder (Queirós et al., 2016). Klimarefugier og «hotspots» kan predikeres ved å blant annet identifisere celler i modellrutenettet med størst endringer (positive og negative) (Bryndum-Buchholz et al., 2023). En tilsvarende modelleringstilnærming, også her styrket ved å sammenligne flere modeller, kan også brukes til å predikere mønstre i konnektivitet og larveutveksling mellom ulike områder i dag og ved klimaendringer, for å evaluere robusthet i design av bevaringsområde-nettverk (Chollett et al.,

2022). Slike flermodell-tilnærminger tillater forvaltere å koble klimaendringer og organismers biologiske responser når de identifiserer prioriterte områder; samtidig krever det store mengder data og er tidkrevende (Buenafe et al., 2023). For områder hvor tilstrekkelige data eller resurser ikke er tilgjengelige for modellering er det mulig å beregne klimarisiko gjennom ekspertworkshops og innspillsprosesser (Barausse et al., 2022).

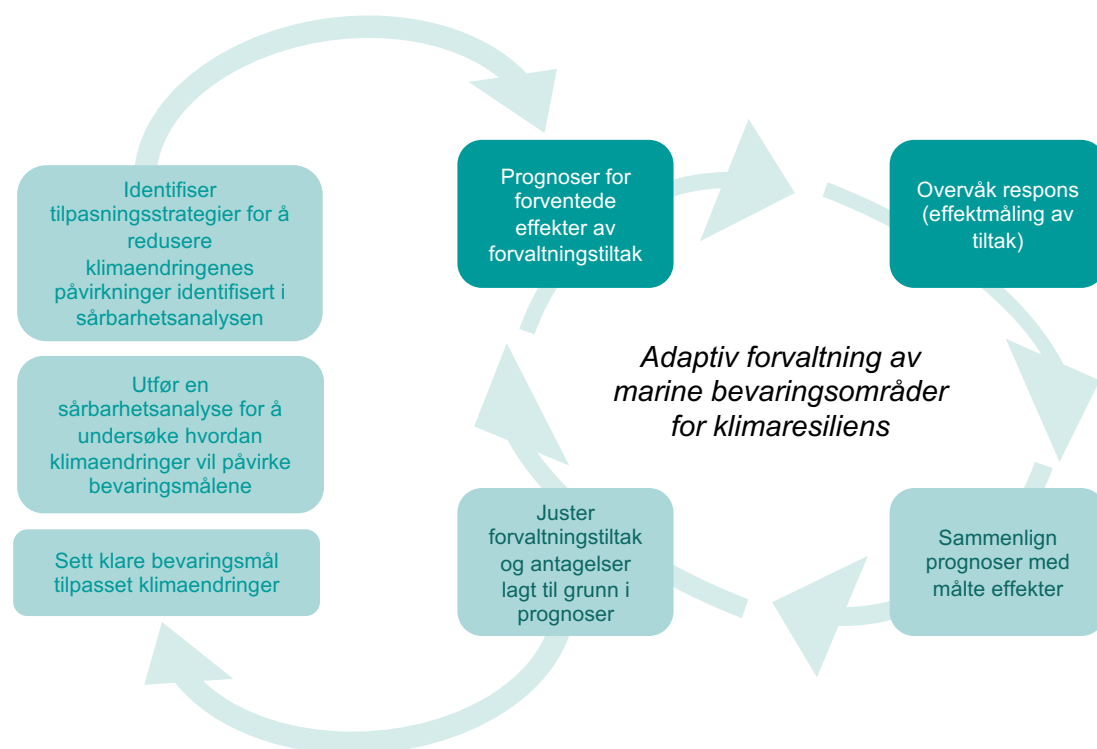
Det er nyttig å skille mellom interne og eksterne klimarefugier. Kjente områder med høy forekomst av miljøverdier og egnede habitater som også forventes å bli klimarefugier betegnes som interne, mens områder som forventes å kunne bli gode habitater i fremtiden selv om de ikke nødvendigvis har høy forekomst av miljøverdier i dag regnes som eksterne (Zelli et al., 2025). Interne klimarefugier de viktigste å beskytte, spesielt for arter med begrensede spredningsmuligheter, for å kunne opprettholde tilstrekkelig tetthet og «befolke» potensielle eksterne klimatiske refugia, men i et langsiktig perspektiv anbefales det å vurdere begge typer klimarefugier for bevaring for å beskytte fremtidige leveområder (Young et al., 2025; Zelli et al., 2025). Det anbefales også å prioritere vern av klimarefugier som forventes å ha god konnektivitet til andre omkringliggende områder og dermed bidra med larver og «seeding» av områder utenfor (Chollett et al., 2022). I tillegg til god konnektivitet, er det ideelt at områder scorer tilsvarende på flere kriterier for definisjoner av klimarefugier, men er ikke dette tilfellet må variabler avveies på et vis (Chollett et al., 2022).

Det er også anbefalt å vurdere vern av områder der endringer på økosystemnivå forventes å være betydelige og positive (dvs. øke over tid) og dermed der produktiviteten forventes forbli høy (f.eks. på grunn av tilkomst av nye arter), også utenom klimarefugier (Queirós et al., 2021, 2016). Klimarefugier og «hotspots» er motsatte ender av spekteret i forhold til forventet hastighet og størrelsesorden av endringer. Mens vern av klimarefugier generelt anbefales prioritert, gir identifisering av «hotspots» også muligheter for pilottesting av klimatilpasninger i de minst klimasmarte områdene og bidra til å legge til rette for ulike arters evne til å tilpasse seg og utvikle seg (Champion et al., 2024; Wilson et al., 2020). Mellom ytterkantene av endring er det også mulig å finne såkalte «bright spots», definert som områder hvor oseanografiske prosesser forventes å muliggjøre forflytninger og som kan fungere som korridorer hvor levevilkår i hvert fall midlertidig er gode og dermed støtte bærekraftig utvikling fremover (Queirós et al., 2021). Bevisst og bærekraftig forvaltning av «bright spots» sammen med vern eller annen arealplanlegging i klimarefugier kan bidra til å redusere negative effekter av klimaendringer på miljøverdier (Queirós et al., 2021).

3.1.2 Adaptiv forvaltning av bevaringsområder

Det er mange eksempler på faste forvaltningstilnærminger, som permanente bevaringsområder. Samtidig var det opprinnelige konseptet bak marin arealplanlegging en tiltenkt adaptiv prosess som innebærer å utforske alternative måter å nå forvaltningsmål på, forutsi resultatene av disse, implementere ett eller flere, overvåke for å lære om effektene, og deretter bruke resultater til å oppdatere kunnskap og justere forvaltningstiltak (Figur 7) (Gissi et al., 2019; White et al., 2025). Et flertall av forvaltningsplaner for marine bevaringsområder viser til behov for en adaptiv tilnærming (Lopazanski et al., 2023). Adaptiv forvaltning bruker ny informasjon til iterativt å oppdatere forvaltningsmål og -metoder, og kan brukes i marine verneområder for å kontinuerlig reagere på pågående klimaendringer (Wilson et al., 2020). Dette kan adressere usikkerhet rundt klimaendringer i bevaringsplanlegging, ettersom planer kan oppdateres, for eksempel gjennom omregulering eller omdefinering av grenser for bevaringsområder (Wilson et al., 2020). Jo raskere endringer forekommer, jo mer nødvendig vil det være å vurdere adaptive forvaltningstilnærminger. Eksempler kan være implementering av nye bevaringsområder nordover etter hvert som forflytning skjer (Whitney et al., 2023) eller regulering av skipsfart for å begrense spredning av nye arter (Iacarella et al., 2020).

Ved adaptiv forvaltning av bevaringsområder må det først settes klare bevaringsmål (Wilson et al., 2020). Disse må deretter tilpasses for å være effektive med klimaendringer og re-evalueres over tid (Wilson et al., 2020). For eksempel, når vippepunkt for temperatur (eller andre miljøforhold) nås kan arter forlate bevaringsområder designet for å verne dem; samtidig kan andre nye arter komme inn og næringsnett og økosystemfunksjoner endres (Bryndum-Buchholz et al., 2023; Lewis et al., 2023). Forflytning av arter grunnet klimaendringer gir et annet perspektiv på nye arter i et verneområde da disse ikke nødvendigvis kan ses på som invasive fremmedarter lengre (Hopkins et al., 2016). Neste steg er å utføre en sårbarhetsanalyse for å undersøke hvordan klimaendringer forventes å påvirke bevaringsmålene. Deretter kan en sårbarhetsvurdering undersøke hvordan klimaendringer kan påvirke hvor vidt bevaringsmålene vil bli oppfylt i fremtiden. Det tredje trinnet består av å identifisere og velge klimatilpasningsstrategier for å redusere påvirkninger identifisert i sårbarhetsanalysen. Regulering og graden av vern innenfor bevaringsområder må vurderes basert på forvaltningsmål; nullfiskeområder vil beskytte både lokale arter og nye arter grunnet forflytning, noe som kan være både positivt og negativt avhengig av målsetninger (Cheripka et al., 2025). Til slutt, som et fjerde generelt trinn, må bevaringsområder kontinuerlig overvåkes for effektivitet for å sikre at bevaringsmålene blir oppfylt (Wilson et al., 2020).



Figur 7: Konseptskisse adaptiv forvaltning. Adaptert fra White et al. (2025) med tillegg fra Wilson et al. (2020).

Det kan være utfordrende å gjennomføre adaptiv forvaltning i praksis (Hopkins et al., 2016). Én utfordring kan være variasjon i skalaen som ulike faktorer kan forvaltes på; noen kan forvaltes effektivt innenfor grensene til individuelle verneområder mens andre krever helhetlig forvaltning på et større geografisk nivå (Rettig et al., 2023). For eksempel kan fritidsfiske og tråling i Kosterhavet bevaringsområde i Sverige reguleres lokalt for å beskytte ålegress og reker, mens eutrofiering må reguleres på et mye større nivå i hele Skagerrak (Rettig et al., 2023). Resultater er heller ikke alltid de samme for ulike arter, så prioriterte områder for én art er ikke nødvendigvis de samme områdene som bør prioriteres for en annen, noe som videre kompliserer arealbasert forvaltning generelt og adaptive tilpasninger (Young et al., 2025).

En kombinasjon av faste og adaptive strategier kan være ideelt for å opprettholde både forutsigbarhet og tilpasningsevne (Bryndum-Buchholz et al., 2023). Faste bevaringsområder med lengre tidsperspektiv (>25 år) tillater bestander å øke samt bidrar til å øke bestanden utenfor verneområdet; det er spesielt viktig med permanente verneområder nær internasjonale grenser hvor bestander ofte påvirkes av ulike forvaltningsplaner, helst med samarbeid på tvers av disse (Arafteh-Dalmau et al., 2023; Whitney et al., 2023). Adaptivt vern (5-10 år) eller dynamiske sesongbaserte reguleringer bør brukes i tillegg til og ikke istedenfor faste verneområder (Arafteh-Dalmau et al., 2023). Teoretiske modelleringsstudier antyder at langsiktige adaptive forvaltningsplaner hvor

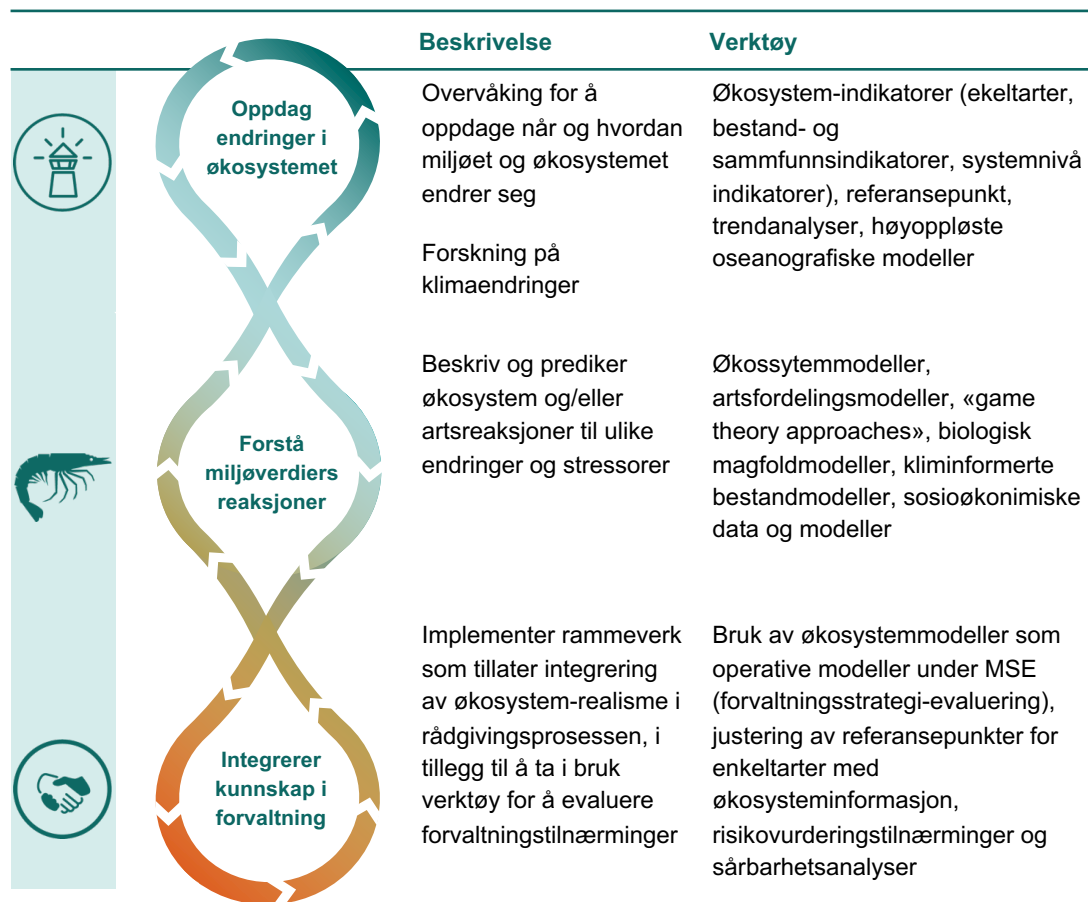
grensene for bevaringsområder flyttes nordover i takt med forflytningen av arter (ca. 20 km nordover hvert 20. år) har positiv effekt (Cashion et al., 2020). Det er viktig at adaptiv forvaltning baseres på konkrete mål og terskelverdier (Bryce and Hunter, 2024). Generelt styrkes også klimatilpasset forvaltning av kunnskapsutveksling på tvers av interessenter (f.eks. forvaltere, forskere og fiskere) (Mazaris et al., 2023).

3.1.3 Fangstreguleringer og økosystembasert forvaltning

Marint vern og bevaringsområder var mest representert i litteraturen som et forvaltningstiltak under klimaendringer, men ulike fangstreguleringer og kombinasjoner av dette og vern i form av økosystembasert forvaltning var også fokus for flere studier. Som for forvaltningsplaner for marine bevaringsområder, omtaler fiskeriattaler også sjeldent klimaendringer eksplisitt selv om klimaendringer i økende grad påvirker fiskeriforvaltningen (Koubrak and VanderZwaag, 2020). Studier på forvaltning av enkeltarter i isolasjon var lite representert i den endelige litteraturkatalogen, som kan tas som en indikasjon på at dette generelt ikke er en strategi som er anbefalt opp mot klimatilpasninger. Dette skyldes nok i stor grad at selv om fangstregler for enkeltarter er svært vanlige (Tokunaga et al., 2023) så kan maksimalt bærekraftig utbytte (MSY) på systemnivå være mindre enn summen av individuelle arters MSY. Dette fordi relaterte rovdyrbestander er mindre produktive enn det som ville vært forventet til oppgang i én og én art (Olsen et al., 2018). Å oppnå bærekraftig høsting av flere arter kan begynne med trinnvise justeringer av individuelle fiskerier som beveger seg mot høstingsrater som tar hensyn til ulik produktivitet, sårbarhet og økosystemroller på tvers av flere trofiske nivåer (Olsen et al., 2018). Dersom beslutningsregler inkluderer indikatorer for ikke-målarter legger dette grunnen for økosystembasert forvaltning (Klein and Watters, 2020).

Ved økosystembasert fiskeriforvaltning (EBFM) søker en å bevare integriteten og mangfoldet i økosystemer, samt tilfredsstille samfunnsmessige og menneskelige behov (Plagányi and Hobday, 2015; Ruiz-Díaz, 2023; Skern-Mauritzen et al., 2018). Sentralt i EBFM er fokuset på kumulative effekter på tvers av menneskelige aktiviteter, identifisere avveininger mellom menneskelig bruk og interaksjoner mellom bruk og økosystemprosesser (Skern-Mauritzen et al., 2018). EBFM-prosessen er adaptiv av natur da den krever overvåking av miljø- og økosystemendringer, en forståelse av effekter av disse, og integrering og reaksjoner på dette innlemmet i forvaltningsplaner (Figur 8). EBFM ble introdusert som en helhetlig tilnærming til fiskeriforvaltning på 1990-tallet, og tar hensyn til det komplekse settet av biologiske, fysiske, økonomiske og sosiale faktorer knyttet til

forvaltning (Saba et al., 2023), og det er generelt akseptert at økende bruk av marine ressurser og rom krever økosystembasert fiskeriforvaltning (Skern-Mauritzen et al., 2018).



Figur 8: De grunnleggende stegene i økosystembasert forvaltning, samt oversikt over noen av de tilgjengelige verktøyene for gjennomføring. Adaptert fra Barbeaux et al. (2020) og modifisert basert på Ruiz-Díaz (2023) og Saba et al. (2023).

Indikatorer muliggjør evaluering av et økosystems status og identifisering av endringer i de rådende forholdene, samt tjener som grunnlag for å overvåke endringer og justere forvaltningstiltak (Barbeaux et al., 2020; Ruiz-Díaz, 2023; Saba et al., 2023). En god indikator må ha et teoretisk grunnlag, være følsom for forstyrrelser, lett kvantifiserbar, kostnadseffektiv og enkel å forstå. Ingen enkelt indikator kan fange opp alle endringene som kan forekomme; derfor er en kombinasjon av indikasjoner nødvendig. Det er viktig å inkludere indikatorer og forvaltningsmål som fokuserer både på å bevare arter (finfiltertilnærminger), og økologiske eller miljømessige aggregasjoner på høyere nivå, som habitater, bioregioner eller samfunn (grovfiltertilnærminger) (Wilson et al., 2020). For å spare tid og ressurser bør antallet indikatorer holdes så lavt som mulig, samtidig som forvaltningskravene oppfylles (Ruiz-Díaz, 2023). Det er viktig å merke at effektiviteten til FBM

som forvaltningsstrategi vil være svært avhengig av korrekt og nøyaktig valg av indikator (Klein and Watters, 2020). Indikatorer kan grov sett klassifiseres i to hovedtyper:

- Indikatorer utledet fra individer, bestander og samfunn (Ruiz-Díaz, 2023). Disse er gjerne mekanismebasert og kan inkludere for eksempel størrelsesbaserte, trofibaserte (f.eks. gjennomsnittlig trofisk nivå), livshistoriebaserte (f.eks. levetid) og artsbaserte indikatorer (f.eks. artsrikdom, funksjonelt mangfold). De kan defineres ved hjelp av overvåkingsdata, fangstdata og økologiske modeller, og gir en proaktiv måte å sette realistiske mål og vurdere effekt i ulike kontekster (Ruiz-Díaz, 2023; White et al., 2025).
- Indikatorer på økosystemnivå som gir informasjon om økosystemets produksjons-grenser (Ruiz-Díaz, 2023). Disse er et godt utgangspunkt for å oppdage endringer ettersom de sporer få økosystemkomponenter og er relativt raske å beregne. For eksempel evaluerer Fogarty-indeksen forholdet mellom totale fangster og total primærproduktivitet i økosystemet, og oppdager tidlige tegn på overfiske (Link and Watson, 2019). Indikatorer som kan avdekke begynnende regimeskift er også nyttige her (Ruiz-Díaz, 2023) (se f.eks. Contamin and Ellison, 2009 og Sardanyés et al., 2024 for konkrete indikatorforslag).

Mens økosystem- og bestandsendringer overvåkes ved bruk av de identifiserte indikatorene er det også vesentlig å forstå økosystemets og arters reaksjoner på stressorer for å tolke overvåkingsresultater og sette terskelverdier for handling (Barbeaux et al., 2020; Ruiz-Díaz, 2023; Saba et al., 2023). Her er utbredelsesmodeller (både for enkeltarter og samfunn) og økosystemmodeller nyttige (Barbeaux et al., 2020; Ruiz-Díaz, 2023). Økosystemer kan ofte komme seg etter kortsiktige lavintensitetsforstyrrelser, men når forstyrrelser oppstår for ofte, eller når flere forstyrrelser påvirker systemet i løpet av kort tid (dvs. før systemet er gjenopprettet), er gjenoppretting begrenset eller skjer kanskje ikke i det hele tatt. Å kvantifisere den interaktive effektstørrelsen av forstyrrelser er én måte å få innsikt i hvordan disse forstyrrelsene kumulativt påvirker økosystemet (Weijerman et al., 2015). Først når gode terskel- og referanseverdier er forstått kan informasjonen fra indikatorovervåking oversettes til beslutningsregler og innlemmes i forvaltningsplanen og justeringer på en effektiv måte (Barbeaux et al., 2020; Klein and Watters, 2020; Ruiz-Díaz, 2023; Saba et al., 2023). Selve beslutningsreglene er faste og ikke dynamiske, men siden responsen endres avhengig av verdiene til indikatorene, reagerer forvaltningen adaptivt på endrede forhold (Klein and Watters, 2020).

Økt variasjon i bestandsovervåkingsdata er ofte en tidlig indikasjon på at en sterk nedgang er i vente, og når dette overvåkes på økosystemnivå kan tiltak for å unngå kollaps også involvere reaksjoner på farevarsler i for eksempel byttedyr til målarter (Plagányi and Hobday, 2015). Dette er ett eksempel på hvordan økosystembasert forvaltning kan bidra til mer robuste fiskerier enn isolert forvaltning av enkeltarter.

Økosystembasert forvaltning gir større muligheter for å tilpasse seg endringer enn forvaltning av enkeltarter i isolasjon (Ruiz-Díaz, 2023). Ved forvaltning av enkeltarter gjøres det ofte en del antagelser relatert til prosesser som reproduksjonssuksess, dødelighet og vekst, men som igjen avhenger av en rekke faktorer, som for eksempel tilgjengelighet av byttedyr, som ikke nødvendigvis er statiske under klimaendringer og derfor er modellantagelser ikke oppfylt. Økosystembasert forvaltning tillater integrering av slike endringer inn i kunnskapsgrunnlaget for beslutninger og er dermed en mer helhetlig tilnærming (Ruiz-Díaz, 2023). En evaluering av forvaltning av stillehavstorsk i Alaska, for eksempel, viste at en kollaps i 2017 sannsynligvis kunne vært dempet med en bredere proaktiv, og mindre reaktiv, økosystemtilnærming (Barbeaux et al., 2020). En flerårig hetebølge i 2014-2016 førte til redusert kroppskondisjon av fisken, samt massedød av sjøfugl og flere hvalstrandinger. Disse signalene ble ikke integrert som føre-var hensyn i forvaltningen, og kvoter ikke redusert i respons til hetebølgen før det ble klart at bestanden var kraftig redusert i 2017, noe som førte til store økonomiske tap for fiskere (Barbeaux et al., 2020).

Økosystembaserte strategier gir flerdoble gevinster ved å kombinere klimatilpasning, karbonlagring og kystbeskyttelse. Samtidig fremmer integrerte styrings- og planleggingsrammer mer samordnede tiltak på tvers av sektorer, mens sosioøkonomisk integrasjon sikrer bærekraftige og sosialt forankrede løsninger. Det er derfor generelt et behov for bedre integrasjon mellom vitenskap og politikk, samt for sammenhengende, tverrsektoriell styring for å omsette kunnskap til effektive løsninger (Fuchs et al., 2025). Inkludering av interessenter og lokalsamfunn i prosessen kan bidra til å minimere avveininger mellom å oppnå politiske mål (f.eks. bevaringsmål) og sosioøkonomiske problemer (f.eks. å opprettholde økonomiske inntekter eller matforsyning) (Ruiz-Díaz, 2023).

Eksempel: Økosystembasert forvaltning med kombinasjon av fangstreguleringer og vern

Biomassen til de fleste kommersielle artene i Nordøst-Atlanteren forventes å bli negativt påvirket av klimaendringer og modelleringsstudier predikerer en middelerverdi på -5 % biomasse per grad (°C) oppvarming når bestander er fisket til MSY. Marine bevaringsområder med nullfiske predikeres å kunne redusere denne nedgangen i biomasse. For individuelle bestander predikerer modeller en gjennomsnittlig øking i biomasse på 3,4 % per tiendedel av dens utbredelse som beskyttes av nullfiskeområder. Beskyttes 30 % av artens utbredelse av nullfiskeområder forventes en øking i biomasse på 10 %, men effekten er mindre (5 %) dersom det ikke tas hensyn til artsspesifikk utbredelse ved valg av nullfiskeområder (noe som tilsier ulike nullfiskereguleringer for ulike arter). Fiske utenfor nullfiskeområdene påvirker ikke disse resultatene negativt, men den største økingen i biomasse forventes dersom fiskekvotene settes til kun 75 % av MSY utenfor bevaringsområdene. Dersom dette gjennomføres i tillegg til at 30 % av bestanders utbredelse beskyttes av nullfiskeområder kompenserer den forventede øking i biomasse fra disse grepene nesten den forventede nedgangen på grunn av klimaendringer under en gjennomsnittlig temperaturstiging på 2,6-2,9 °C. Samtidig, på grunn av stenging av store areal for fiskeri predikeres det at landinger går ned 3-5 % for allerede bærekraftig beskattede bestander (ikke fisket over 100 % av MSY) selv om den totale biomassen øker. For bestander som er overfisket per i dag (fisket over MSY), forventes en endring til bærekraftig beskatning sammen med store nullfiskeområder å øke fangsten (Cheung et al., 2024).

Databegrensninger blir ofte sett på som en av de største hindringene for å fremme EBFM (Ruiz-Díaz, 2023; Skern-Mauritzen et al., 2018). Det er vanskelig å forbedre forvaltningen hvis den nåværende systemtilstanden og interaksjonene er dårlig forstått, og det er vanskelig å kvantifisere interaksjoner og avveininger hvis dataene som trengs for å parametrisere modeller ikke er tilgjengelige. En konsekvens av EBFM er et økt fokus på bærekraftig forvaltning av kommersielt mindre viktige, ofte databegrensede, bestander (Skern-Mauritzen et al., 2018). Ulike modeller (f.eks. økosystem-modeller) som brukes til å generere mye av kunnskapsgrunnlaget har også usikkerheter knyttet til dem i ulik grad alt etter modellkompleksitet og tilgjengelighet og kvalitet på inputdata.

Flere alternativer har blitt foreslått for å kvantifisere og uttrykke modellusikkerheter. Disse inkluderer en rekke metoder for å estimere grenser for overfiske og kvotesetting for bestander som gjerne mangler tilstrekkelige fangst- og kartleggingsdata (Skern-Mauritzen et al., 2018). Avhengig av databegrensninger kan tilnærmingene i stor grad være basert på å låne parametere fra

vitenskapelig litteratur om lignende bestander i samme eller andre systemer, sammenstillingsregler fra metaanalyser, og sammenlignende studier som viser hvordan for eksempel naturlig dødelighet og vekst samvarierer, slik at det å vite det ene gir et estimat på det andre (Skern-Mauritzen et al., 2018). Modellusikkerheter kan kvantifiseres og reduseres ved blant annet bruk av modellensembler, tilpasning av modeller til observasjoner og data, utførelse av risikoanalyse, og sensitivitetsanalyser (Ruiz-Díaz, 2023). Modellensembler består av flere økosystemmodeller brukt på samme system, som brukes til å evaluere usikkerhet ved å sammenligne modellutdata. På grunn av funksjonene som er innlemmet i hver modell, kan unik dynamikk og strukturer fanges opp av forskjellige modeller. Derfor impliserer lignende utfall på tvers av modeller høyere sannsynlighet for disse utfallene. Det finnes to typer modellsammenligning: (1) utvikling av alternative modeller som bruker de samme inputene, kalibrerings- og valideringsmetodene, og konstruksjon av separate modeller, eller (2) sammenligning av fundamentalt ulike modeller, som en kombinasjon av konseptuelle og kvalitative modeller med interessentkartleggingsøvelser for å finne kunnskapshull og fremheve usikkerhet gjennom en deltakende prosess (Ruiz-Díaz, 2023).

3.1.4 Evaluering av forvaltningsstrategier

Det er mange valgmuligheter innenfor forvaltningen, og å velge en tilnærming kan være komplekst. For å informere gode valg er det anbefalt å teste ulike scenarier eller valgmuligheter gjennom simulering eller modellering for å evaluere den sannsynlige effekten på bestander og økosystemer av hver tilnærming. Den vanligste anbefalingen for å gjennomføre slike analyser er forvaltningsstrategi-evaluering (MSE) rammeverket. MSE-rammeverket tillater en kvantitativ evaluering av forvaltningsstrategiers evne til måloppnåelse, samt en formell ramme for risikovurdering av disse, og kan også bidra til å redusere modellusikkerheter (Mazur et al., 2023; Plagányi and Hobday, 2015; Ruiz-Díaz, 2023; Saba et al., 2023). Forvaltningsmål er ofte konkurrerende, så fokuset med en MSE er å evaluere avveininger mellom strategier for å identifisere forvaltningstilnærminger som best balanserer konkurrerende behov og sikrer bærekraft i fiskeriene, samtidig som de møter interessentenes behov. En MSE gir også åpenhet ved å gjøre avveiningene og logikken bak beslutninger eksplisitte og tydelige (Hollowed et al., 2020; Saba et al., 2023).

Å definere mål og ytelsesmålinger, adressere usikkerheter, identifisere gjennomførbare forvaltnings-alternativer, simulere anvendelse av disse, presentere resultater og velge en forvaltningsstrategi er de grunnleggende aspektene ved MSE-prosessen (Ruiz-Díaz, 2023). Prosessen består av to nøkkelkomponenter, den operative modellen og forvaltningsstrategien

(inkludert vurderings-prosessen) (Ruiz-Díaz, 2023). Den operative modellen kan for eksempel være ulike fiskeri- eller økosystemmodeller (Mazur et al., 2023; Plagányi and Hobday, 2015; Ruiz-Díaz, 2023). Tilbakemeldingssløyfen mellom den operative modellen og forvaltningsstrategiene som evalueres er en avgjørende komponent for å identifisere både den beste tilnærmelsen og økosystemets respons på denne (Merino et al., 2019; Ruiz-Díaz, 2023). Prosessen gjentas en rekke ganger (f.eks. 100 eller 500) for å oppnå en sikrere evaluering av ulike strategier (Jacobsen et al., 2022; Mazur et al., 2023). Bruk av MSE basert på middels til langsiktige prognoser for å gjennomgå potensielle klimarelaterte fallgruver i eksisterende forvaltning er spesielt viktig ved adaptive tilnærminger hvor modeller og prognoser ikke nødvendigvis er gode nok over den aktuelle tidsskalaen (Holsman et al., 2019).

Eksempel: Strategisk design av bevaringsområdenettverk i sørlige California

Modellstudie for å undersøke om et bevaringsområder-nettverk som var designet basert på dagens larveutveksling kommer til å fortsatt være effektiv i senere år gitt klimaendringer og resulterende endringer i konektivitet. Hvor langt og hvor larver driver vil avhenge av gytetidspunkt og utviklingstid (lengde på larvestadiet), og varierer derfor mellom arter. Høyere temperaturer fører generelt til raskere utvikling og dermed kortere drivtid, noe som kan endre konektivitetsmønstre. En MSE (forvaltningsstrategievaluering) predikerer at et nettverk av verneområder som utgjør nullfiskeområder i 7-20 % av kystnære farvann avhengig av art mest sannsynlig vil gi betydelig høyere fiskeriinntekter på slutten av århundret enn scenarioer uten vern. Tilpasning og flytting av verneområder for å kontinuerlig maksimere plasseringen av verneområder med tanke på konektivitet og landinger gir noe høyere inntekter enn å beholde dagens ideelle nettverksdesign, men gevinsten var minimal (ca. 5 %), spesielt sett i lys av hvor krevende det vil være å jevnlig oppdatere og endre strukturen på nettverket. Samtidig er fremtidige landinger og inntekt forventet å være betydelig lavere derom verneområder var plassert tilfeldig og ikke optimalisert, selv om samme andel av regionen var vernet. (Rassweiler et al., 2020)

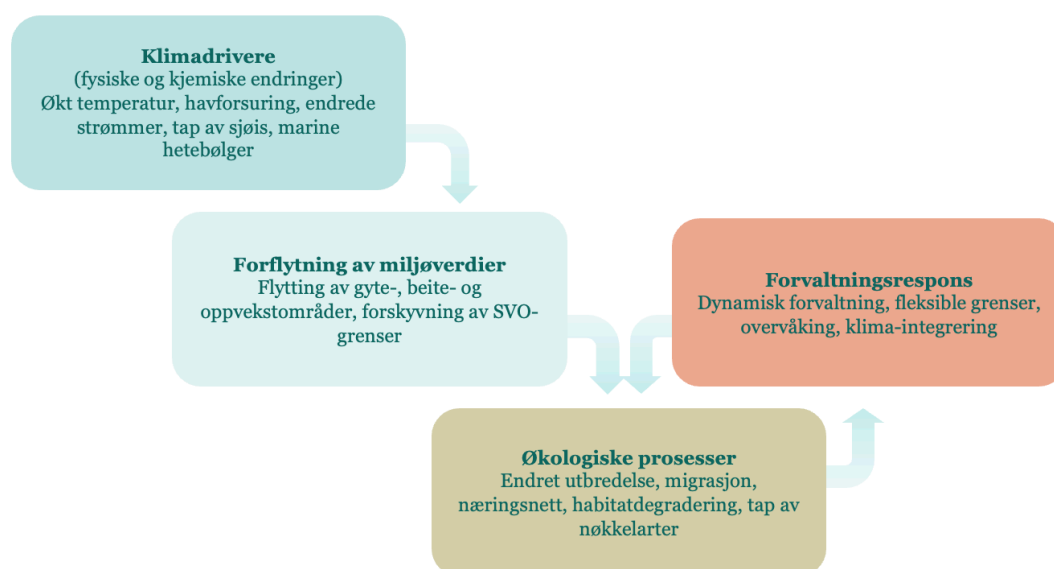
MSE simuleringer har blitt gjennomført i en rekke studier for evaluering av ulike forvaltningsmål, inkludert definisjon av høstingskontrollregler som tar hensyn til den viktige rollen til fôrarter, definere romlige avgrensinger, vurdere nivådelte høstingsstrategier, valg av indikatorer, samt evaluere måloppfyllelse for økosystembasert forvaltning (Klein and Watters, 2020; Ruiz-Díaz, 2023). MSE har blitt brukt til å teste konsekvenser av modellfeil og klimaeffekter (bl.a.

temperaturavhengig naturlig dødelighet for torsk) på bestandsvurdering og fangstkontrollregler for en rekke bunnfiskarter i nordvest-Atlanteren (Mazur et al., 2023). Jacobsen et al. (2022) benyttet et MSE-rammeverk for å undersøke hvordan klimainduserte endringer i bevegelsesmønstre hos stillehavsløsing påvirker fiskeriforvaltningen i USA og Canada og testet tre forvaltningsstrategier og tre mulige bevegelsesmønstre kombinert til ni scenarier. MSE-rammeverket har blitt brukt til å vise at for sverdfiskfisk som fiskes med drivgarn i California er dynamiske romlige stengninger mer effektive i å redusere bifangst enn statiske tiltak, samtidig som de kan tilpasses klimaendringer, selv om det innebærer praktiske utfordringer for både fiskere og forvaltere (Smith et al., 2023). For atlantisk tunfisk har MSE-analyser vist at gjeldende system for fangstkontrollregler er relativt robust ovenfor klimaendringer og også indentifisert terskler der dagens forvaltning kan bli sårbar (Merino et al., 2019). MSE-analyser kan også brukes til å identifisere de beste strategiene for bevaringsområder, inkludert hvor vidt disse bør komplementere fangstreguleringer eller ikke (Klein and Watters, 2020; Ofir et al., 2023; Priyanto, 2020). Simuleringer har også vist at det i noen tilfeller kan være vanskelig å identifisere velfungerende forvaltningsstrategier under de mest pessimistiske klimascenarioene (Yin et al., 2025).

En MSE er relativt dataintensiv og krever omfattende modellering, og får datafattige regioner eller fiskerier er også andre tilnærminger tilgjengelige. Noen forfattere har for eksempel brukt en Bayesiansk nettverkstilnærming for å evaluere sannsynligheten og usikkerheten av kumulative påvirkninger (Furlan et al., 2019), eller en kombinasjon av hurtig screening og semikvantitativ vurdering for å relativt raskt evaluere store antall mulige tiltak (Ogier et al., 2020). En annen tilnærming er kvalitative nettverksmodeller (QNM). En QNM er egnet i tilfeller der data er begrenset og/eller beslutninger må tas raskt (Marzloff et al., 2016; Reum et al., 2020). QNM-er er konseptuelle modeller som løser nøkkelvariablene som utgjør systemet av interesse, og koblinger mellom variabler spesifiseres basert på kjente, antatte eller hypotetiske årsakssammenhenger. Den matematiske formen for sammenhengene mellom et hvilket som helst par av variabler trenger ikke å spesifiseres; bare tegnet på endring (dvs. positivt, nøytralt eller negativt) som en økning i nivået av én variabel forårsaker i en annen er spesifisert. En QNM er godt egnet for databegrensede situasjoner, enkel å skreddersy basert på spørsmålet, og egner seg til visualisering, noe som kan forbedre åpenheten og tillate nærmere gransking av og innspill fra bredere bruker- og målgrupper. Direkte og indirekte effekter og tilbakemeldinger er integrert i modellprediksjoner som er kvalitative av natur, men likevel nyttige for å sammenligne potensiell effekt, risiko og avveininger knyttet til ulike forvaltningstiltak (Marzloff et al., 2016; Reum et al., 2020).

3.2 Klimaendringenes betydning for forflytting av miljøverdier

Klimaendringer, og da spesielt stigende temperaturer, fører globalt sett til endringer i arters utbredelse hvor (på den nordlige halvkule) utbredelsesgrensene trekker nordover (IPCC, 2019; Parmesan and Yohe, 2003). Forflytninger og endringer i utbredelse ventes å føre til endringer i biologisk mangfold innenfor geografisk statiske forvaltningsområder og økosystemeffekter forsterkes når det gjelder flere arter (Marzloff et al., 2016; Whitney et al., 2023). I en analyse av svenske havområder ble den samlede belastningen fra en rekke påvirkningsfaktorer som forurensning, fiske og shipping vurdert, i tillegg til framtidige klimaeffekter – som endringer i saltholdighet, temperatur og isdekke. Resultatene viste at klimaendringenes påvirkning på det marine miljøet var like stor som, eller større enn, den samlede effekten av alle andre menneskeskapte påvirkninger (Wåhlström et al., 2022). Barentshavet og Norskehavet ligger langt fra større byer og har lavere aktivitetsnivå enn de svenske, og klimaendringenes relative betydning forventes derfor å være enda større enn i de svenske havområdene (Ottersen et al., 2025a).

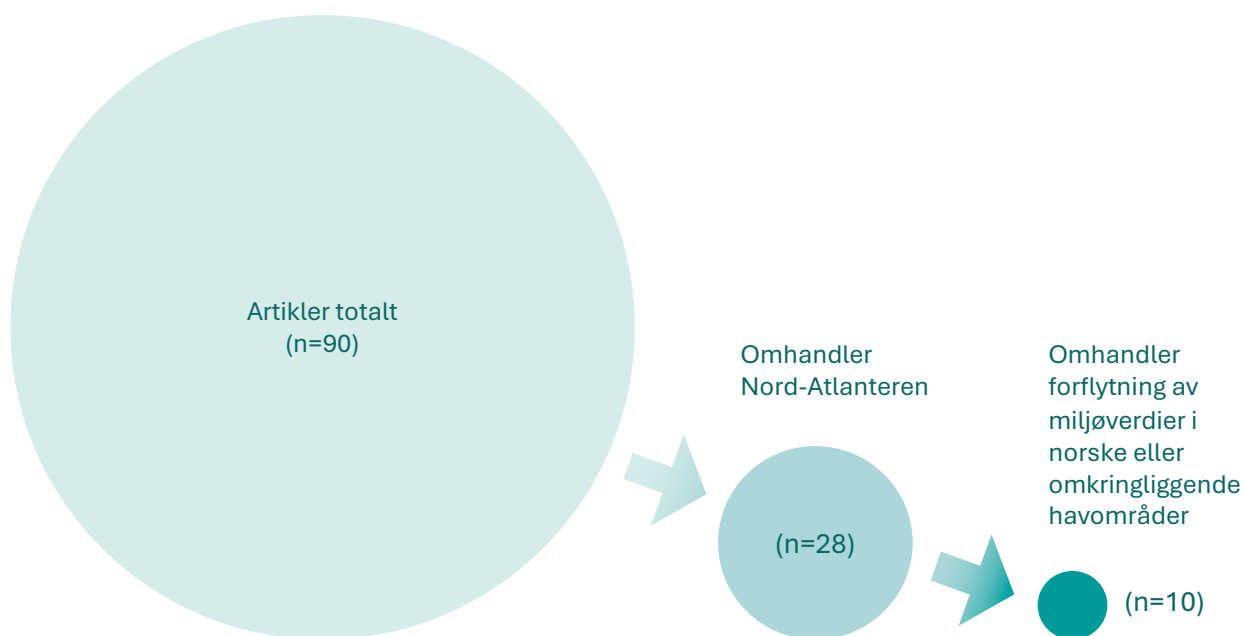


Figur 9. Figuren viser hvordan klimaendringer påvirker marine økosystemer og fører til forflytning av miljøverdier i norske havområder. Endringer i temperatur, forsuring, strømforhold og sjøis fører til økologiske skift som påvirker utbredelse, habitat og økosystemfunksjoner. Dette skaper behov for mer dynamisk og fleksibel arealforvaltning som integrerer klima- og økosystemdata.

Når arter og økosystemer, inkludert definerte miljøverdier, forskyves nordover eller til dypere vann, utfordres dagens forvaltningsgrenser, som i stor grad bygger på historiske fordelingsmønstre (Ottersen et al., 2025a). Dette er spesielt relevant for norsk forvaltning siden de norske havområdene dekker store klimagrader – fra tempererte farvann i Nordsjøen til arktiske økosystemer i Barentshavet. Dette stiller nye krav til en mer dynamisk og adaptiv forvaltning som

kan håndtere økologiske endringer på tvers av sektor- og forvaltningsnivåer (Figur 9), men studier har vist at økosystembasert klimatilpasning sannsynligvis bare vil være effektiv under de laveste oppvarmingsnivåene (IPCC, 2019).

Artiklene fra det systematiske litteratursøket som ligger til grunn for dette kapitlet inkluderer forsknings- og gråliteratur som beskriver forvaltningskonsekvenser og -strategier relatert til observerte og modellerte endringer i fordeling av miljøverdier i norske og nordiske farvann. Kun 10 av de til sammen 90 artiklene og rapportene i litteraturkatalogen omhandler forflytning av miljøverdier og påfølgende betydning for forvaltningen i norske eller omkringliggende havområder (Figur 10).



Figur 10. Andel og antall av artikler i litteraturkatalogen som omhandler Nord-Atlanteren generelt og forflytning av miljøverdier og forvaltning i norske eller omkringliggende havområder spesielt.

Hoveddelen av gråliteraturen relevant for dette kapitlet er norsk, eller skrevet av norske hovedforfattere og omhandler det som er gjort av undersøkelser på hvordan klimaendringene vil arte seg i norske farvann, hvordan det vil påvirke økosystemene og miljøverdiene. Mye er basert på modellering under forskjellige klimascenarier. Hovedtrekk fra disse er beskrevet i Kap. 3.2.1. I bare liten grad er konkrete forvaltningsgrep diskutert eller undersøkt i disse studiene. Det er i det hele tatt lite litteratur funnet her om utfordringer eller forvaltningsstrategier fra våre havområder, men det er hentet inn litteratur vurdert som relevant fra andre farvann, presentert i Kap. 3.2.2 og 3.2.3.

3.2.1 Hovedtrekk i forflytning av miljøverdier i nordiske farvann

Påvirkningen på miljøverdier i norske farvann er beskrevet i detalj i flere tidligere rapporter ledet av Havforskningsinstituttet, og bygger i stor grad på «*Miljøverdirapporten*»; *Særlig verdifulle og sårbare områder (SVO) i norske havområder* (Eriksen et al., 2021), skrevet på oppdrag for Faglig Forum for norske havområder, som gir en detaljert gjennomgang av miljøverdier og grenser i eksisterende særlig verdifulle og sårbare områder (SVO) og forslag til nye områder.

Havforskningsinstituttets rapport *Miljøverdiers sårbarhet i norske havområder* (Hansen et al., 2022b), eller «*Sårbarhetsrapporten*» ble utarbeidet av Havforskningsinstituttet og bygget videre på *Miljøverdirapporten*. Arbeidet ble gjennomført av en bredt sammensatt ekspertgruppe² og hadde som formål å vurdere sårbarheten til 21 ulike miljøverdier overfor et bredt spekter av menneskeskapte og klimarelaterte påvirkninger. Rapporten presenterte en systematisk vurdering av sårbarhet for hver miljøverdi for hver av de foreslåtte SVO-ene, og utgjorde et sentralt faglig grunnlag for senere risikovurderinger og oppdateringen av de helhetlige forvaltningsplanene for norske havområder. Rapporten konkluderte med at klimaendringer, særlig økende temperatur og havforsuring, forventes å få betydelig påvirkning på arktiske og is-avhengige økosystemer, samt på arter som er følsomme for endringer i havklima og næringsnett (Hansen et al., 2022b).

Samlet påvirkning i foreslåtte særlig verdifulle og sårbare områder i norske havområder «*Samlet påvirkningsrapporten*» (Hansen et al., 2022a) bygger videre på *Sårbarhetsrapporten* igjen, og vurderer risiko fra samlet menneskelig påvirkning fra 15 sektorer i de 19 foreslåtte SVO-ene og de tre havområdene ved hjelp av ODEMM-rammeverket ($\text{Risiko} = \text{Eksposering} \times \text{Sårbarhet}$).

Resultatene viser miljøverdiens sårbarhet for klimaendringer som kontekst, selv om klimaendringer ikke inngår i det kvantitative risikoregnskapet for sektorene. Effekter av klimaendringene er fokuset i «*Risikoanalysen*» (Sandø et al., 2022), en vurdering av risiko fra klimaendringer på 13 utvalgte nøkkelbestander (plankton, fisk og skalldyr) i Nordsjøen, Norskehavet og Barentshavet under tre SSP-utslippsscenarier (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP5-8.5). Rapporten bruker nedskalerte klimamodeller sammen med ekspertvurderinger for å beregne «*Akkumulert Retningseffekt*» (positiv/negativ).

Fokuset i forskningsprosjektet *NorScen- Nordiske klima Scenarioer (Nordic climate scenarios)* (Ottersen et al., 2023, 2025a) på oppdrag for Norsk Ministerråd er å gi beskrivelser av

² Denne tverrfaglige gruppen har fageksperter fra Havforskningsinstituttet, Akvaplan-niva, Forsvarets forskningsinstitutt, Norsk institutt for naturforskning, Norsk Polarinstitutt, og Centre for Environment, Fisheries, and Aquaculture Science (Cefas, Storbritannia).

klimaendringene i alle de nordiske havområdene under forskjellige fremtidsscenarioer. Prosjektets hovedfokus var på nedskalering av storskala fysiske modeller (klimamodeller) ved å ta i bruk egne modeller som er utviklet spesielt for Nord-Atlanteren og de enkelte nordiske havområdene. Rapporten bruker høyoppløselige regionale modeller for å vurdere effekten av ulike klimascenarioer (som SSP1-2.6 og SSP5-8.5) på Østersjøen, Nordsjøen, Norskehavet og Barentshavet, samt Limfjorden i Danmark. I disse modellene er fysikk koblet med kjemi, biologi og økologi og er ment å gi et robust kunnskapsgrunnlag for beslutningstakere. Resultater fra prosjektet er dokumentert i to rapporter; *Observed and expected future impacts of climate change on marine environment and ecosystems in the Nordic region* (første del) (Ottersen et al., 2023), som gir en oversikt over dagens kunnskap om hvordan klimaendringer påvirker (og er forventet å påvirke), fysiske havegenskaper, organismer og økosystemer i de nordiske havområdene, og *Effects of climate change on future environment and marine life in the Nordic sea areas* (hovedrapport) (Ottersen et al., 2025a), som presenterer resultatene av de nedskalerte klimascenariene for hvert av de nordiske havområdene.

Effektene av klimaendringene på økosystemene i de nordiske havområdene er fokusert i prosjektet *NorMECC -Nordic Marine Ecosystems in a Changing Climate* (Ottersen et al., 2025b), også på oppdrag for Nordisk Ministerråd. Prosjektet hadde som formål å gi en samlet oversikt over både observert og forventet framtidig klimarespons hos et bredt spekter av marine arter i nordiske havområdene Østersjøen, Nordsjøen, Norskehavet, Islandshavet, havområdene rundt Grønland og Barentshavet. Rapporten bygger på en omfattende gjennomgang av vitenskapelig litteratur og andre relevante kunnskapskilder publisert fram til februar 2025. I tillegg gir rapporten et kort sammendrag av innspill fra nordiske forvaltere og beslutningstakere, som identifiserer hvilke klimarelaterte påvirkningsfaktorer som anses som de største truslene mot marine økosystemer i de nordiske havområdene.

Her gis kun en kort oppsummering av hovedtrekkene i klimaendringenes påvirkning på miljøverdiene i norske farvann, basert på disse mest sentrale undersøkelsene. Formålet er å danne en ramme for de forvaltningsmessige utfordringene og anbefalingene som følger av de dokumenterte og forventede effektene av klimaendringer på miljøverdiene.

Klimaendringene fører til omfattende fysiske og biologiske endringer i norske havområder, inkludert havnivåstiging, økende sjøtemperatur, økt frekvens av ekstremvær, endret salinitet, lavere oksygennivå, havforsuring og tap av sjøis (Ottersen et al., 2025a, 2023; Sandø et al., 2022). Disse

endringene påvirker arters leveområder, økologiske prosesser og samspillet mellom arter, noe som i økende grad fører til forflytning av miljøverdier; endringer i hvor arter, bestander og økosystemfunksjoner forekommer geografisk og over tid (Ottersen et al., 2025a) (Figur 11).

Nordsjøen–Skagerrak vurderes mest utsatt for effekter av klimaendringer av alle norske havområder. Høyere temperaturer og lavere oksygeninnhold vil redusere leveområdene for kaldtvannsarter som torsk og sild (Sandø et al., 2022). I tillegg er planktonsamfunnene forventet å forskyves mot arter med lavere næringsverdi (mer *Calanus helgolandicus*, mindre *C. finmarchicus*), som svekker næringsgrunnlaget for fisk. Økosystemets struktur kan endres fundamentalt, med færre kaldtvannsarter og høyere andel varmetolerante arter (Hansen et al., 2022b; Ottersen et al., 2023).

Hovedtrekk i klimapåvirkning

- ✓ Forskyvning i artssammensetning nordover og mot mer varmetolerante arter.
- ✓ Endringer i gyte- og oppvekstområder, som påvirker bestandsdynamikken.
- ✓ Svekkelse av viktige økologiske funksjoner (planktonproduksjon, næringskjeder, is-avhengige habitater).
- ✓ Større risiko for tap av miljøverdier knyttet til arktiske arter, sjøfugl og marine pattedyr.
- ✓ Økt usikkerhet i økosystemresponsen, som gjør føre-var-tilnærming og adaptiv forvaltning avgjørende.

Barentshavet (Nordlig grense)
opplever den sterkeste effekten av global oppvarming, som fører til tilbaketrekning av sjøis og forskyvning mot mer boreale arter

Norskehavet (Overgangsområde)
opplever en blanding av effekter. Mange arter her har mulighet til å flytte seg nordover, andre kommer til. Produksjon av raudåte er forventet å øke, noe som vil få positive konsekvenser for pelagiske fiskebestander.

Nordsjøen og Skagerrak (Sørlig grense)
er en "hot spot" for klimaendringer. Mange arter her lever allerede ved eller over sin øvre temperatortoleransegrense med reduksjon i kaldtvannspregede økosystemer

Figur 11. Hovedtrekk i klimaendringenes påvirkning på økosystemene i de norske forvaltningsområdene. Oppsummering basert på *Risikoanalysen* og Ottersen et al., (2023, 2025a, 2025b).

I Norskehavet er temperaturøkningen forventet å bli mer moderat. Men, forsuring og endret strømregime (Norskekyststrømmen og Atlanterhavsstrømmen) kan påvirke plankton-produksjonen og gyteområder (Ottersen et al., 2025b). Dette innebærer en risiko for forskyvning i trofiske

koblinger – altså endring i næringskjeden, fordi ulike arter reagerer forskjellig på temperatur og næringstilgang. Flere fiskebestander er ventet å ha en positiv effekt av klimaendringene her (Sandø et al., 2022). Barentshavet og Lofoten-området viser størst absolutte fysiske endringer i temperaturøkning, som fører til is-reduksjon og nordlig forskyvning av boreale arter (Ottersen et al., 2025b, 2023; Sandø et al., 2022). Polartorsk og is-avhengige arter er de mest sårbare miljøverdiene i disse områdene (Hansen et al., 2022b), og det er observert en allerede pågående “borealisering” (varmere, mer atlantisk økologi) på bekostning av det arktiske.

Kunnskapsgrunnlaget om artenes respons på klimatiske påvirkninger utvikles stadig, og risikoanalyser bør oppdateres etter hvert som ny kunnskap blir tilgjengelig (Sandø et al., 2022). Noen av prosessene som følger av klimaendringene er oppsummert i Figur 12. Klimaendringene vil føre til reduksjon i kaldtvannspregede økosystemer, særlig i Nordsjøen og Skagerrak. Migrasjon av arter nordover vil føre til forskyvning i artssammensetning – nordover og mot mer varmetolerante arter. Endringer i gyte- og oppvekstområder vil påvirke bestandsdynamikken, og reduksjon i planktonproduksjon og is-avhengige habitater vil føre til svekkelse av viktige økologiske funksjoner. Dette vil kunne skape større risiko for tap av miljøverdier knyttet til arktiske arter, sjøfugl og marine pattedyr. Dette vil også gi økt usikkerhet i økosystemresponsen, som gjør forevar-tilnærming og adaptiv forvaltning avgjørende (Hansen et al., 2022b; Ottersen et al., 2023; Sandø et al., 2022).



Figur 12. Oversikt over klimaendringenes påvirkning på økosystemkomponentene.

Forventede endringer i forskjellige økosystemkomponenter

Oversikt over observerte og forventede endringer i forskjellige økosystemkomponenter er presentert i Ottersen et al., (2023).



Primærproduksjon

Framtidig produksjon avhenger mest av tilgangen på næringssalter, lagdeling i havet, og vindforhold. Utviklingen i nordiske havområder er ulik i nord og sør og denne forskjellen forventes å fortsette framover. Satellittdata viser så langt ingen klimadrevet endring i Norskehavet, en liten økning i Grønlandshavet og en klart økende trend i Polhavet.



Sekundærproduksjon: dyreplankton

I Nordsjøen blir hoppekrepsarten *Calanus finmarchicus* utkonkurrert av en nært beslektet, men mer varmekjær art som har spredt seg nordover. Denne arten er mindre næringsrik og gyter på et annet tidspunkt av året, noe som reduserer mattilgangen for fisken, som blant annet torsk i tidlige livsstadier. Endringer i dyreplanktonsammensetningen er foreløpig ikke observert i Norskehavet, men også observert i Barentshavet. Men modellene predikerer en tydelig økning i framtidig dyreplanktonproduksjon i de nordligste delene av de nordiske havområdene, og en svak økning i Norskehavet og kystnære områder.



Fisk

Den klareste effekten på fisk i norske havområder er at flere økologisk og kommersielt viktige bestander har endret utbredelse raskt i varme år, for deretter å vende tilbake når havet ble kjøligere. Noe som kan begrense slike forskyvninger, er at de fleste fiskearter ikke er tilpasset vintermørket i nord, hvor lav primærproduksjon og redusert sikt svekker beitevilkårene. Nye studier av langtidstrender for fisk i det nordøstlige Atlanterhavet viser at mange bestander kan få en positiv utvikling avhengig av omfanget av klimaendringene, mens polartorsk i nord og torsk i Nordsjøen og kystnære områder i sør trolig vil få store problemer.



Sjøpattedyr

Flere hvalarter i nord opplever allerede store utfordringer som følge av klimaendringer. Redusert isdekke og høyere havtemperatur påvirker beiteområder og øker risikoen for rovdyrangrep, slik som hos hvithval rundt Svalbard. Narhval og grønlandshval rammes av tap av leveområder og økende varmestress, mens grønlandssel og klappmyss kan få ytterligere bestandsnedgang på grunn av dårligere isforhold. Seler og hvaler i Nordsjøen og Skagerrak antas å være mindre utsatt, ettersom de tåler større temperatursvingninger.



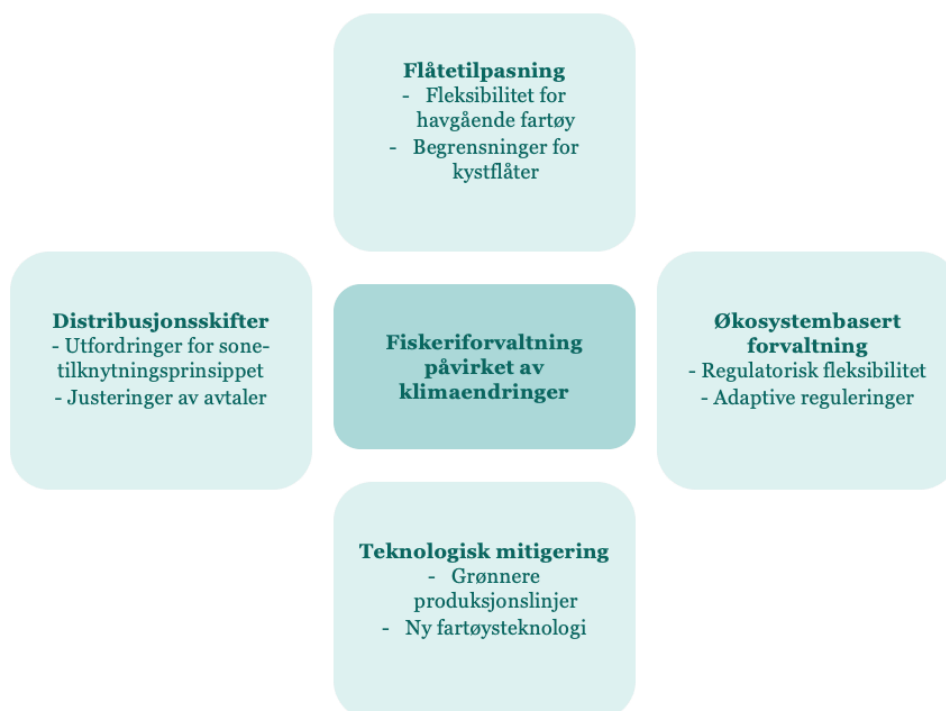
Bunnlevende dyr

Det er observert en tydelig nordlig forskyvning i både mengden av bunnlevende dyr og sammensetningen av tempererte bunnsamfunn, særlig i Barentshavet, men også langs norskekysten. I områdene rundt Svalbard er det registrert økende forekomst av boreale arter og tilbakegang av arktiske. I Nordsjøen har flere arter utvidet sitt utbredelsesområde nordover. Klimaendringene påvirker bunnfaunaen gjennom endringer i temperatur, næringstilførsel og havstrømmer, noe som igjen påvirker mattilgang og reproduksjon. Framskrivninger viser at utbredelsen av 75 bunnlevende arter i Nordsjøen i hovedsak vil forskyves nordover, og at over 60 prosent av artene kan miste deler av sine egnede leveområder mot år 2099.

3.2.2 Utfordringer til forvaltning i nordiske områder

NorScen-prosjektet hadde som grunnleggende mål å forbedre forståelsen av virkningene av klimaendringer og å tilrettelegge for økonomisk og samfunnsmessig tilpasning ved å tilby detaljerte regionale data for beslutningstakere. Prosjektet ble gjennomført under Nordisk ministerråds program "Marin forvaltning og klima". For å få ny innsikt i framtidige økonomiske og samfunnsmessige konsekvenser av klimaendringer for fiskeri- og havbrukssektoren i Norden, ble det som del av prosjektet arrangert en workshop i Bergen i mai 2024. Workshopen samlet en tverrfaglig ekspertgruppe bestående av økonomer, oseanografer og biologer, samt én representant fra fiskerinæringen – alle forskere som arbeider i skjæringspunktet mellom naturvitenskap og samfunnsmessige konsekvenser (Ottersen et al., 2025a).

Flere forvaltningsstrategier ble diskutert (og gjengitt i Ottersen et al., 2025a, Kap. 8), samt forventet utvikling, utfordringer og tilpasningsstrategier for både fiskeri og akvakultur. Deltakerne bemerket at fremtidige styrings- og politikkbeslutninger krever en helhetlig tilnærming og at forvaltning og reguleringer vil bli utfordret, noe som krever midlertidige tilpasningstiltak og permanent mer fleksible reguleringer. Spesifikke forvaltnings- og tilpasningsstrategier innen fiskeriforvaltning og -tilpasning ble diskutert og gjengitt i hovedrapporten, og er oppsummert i Figur 13.



Figur 13. Oppsummering av forvaltningsstrategier diskutert under NorScen workshop.

Klimaendringer forventes å få store og komplekse konsekvenser for fiskeriene i Norden, og selv om noen fiskere vil oppfatte endringene som naturlig variasjon, understrekes det at klimaeffektene fram mot 2100 vil gå langt utover det arter og bestander tidligere har vært tilpasset (Ottersen et al., 2025a).

Det er behov for regulatorisk fleksibilitet, som vil si fleksible og adaptive reguleringer for å håndtere artsomfordeling som følge av klimaendringer, og også alternative forvaltningsmetoder, som inkluderer økosystembasert forvaltning og kvoter for flere arter. Håndtering av distribusjonsskifter og endringer i fiskedistribusjon (som torsk som flytter østover i Barentshavet) kan nødvendiggjøre justeringer av eksisterende avtaler, slik som den norsk-russiske avtalen, noe som utfordrer konsepter som sone-tilknytningsprinsippet. Det kan innebære flåtetilpasning, da større havgående fartøy anses som mer fleksible når det gjelder å tilpasse seg nye distribusjonsmønstre og arter enn kystflåter (Ottersen et al., 2025a).

Endringer i arters utbredelse vil utfordre dagens internasjonale forvaltningsregime, særlig prinsippene om sonetilhørighet og historisk fiske, som ligger til grunn for kvotefordeling mellom land, men som verken er tydelig operasjonalisert eller godt tilpasset permanente klimainduserte forskyvninger. Eksempler som Barentshavet viser at etablerte avtaler kan måtte revideres dersom gyte- og beiteområder flytter på seg. Dette stiller krav om langt mer fleksible nasjonale og internasjonale reguleringer, samtidig som fiskere må tilpasse seg både økologiske endringer og nye regelverk. Også nasjonale ordninger — som norske drivstoffsubsidier og leveringsforpliktelser — vil bli utfordret når artssammensetningen endres og nye arter etablerer seg, og i et framtidig energisystem uten fossile drivstoff vil det være behov for helt nye teknologier og reguleringer (Ottersen et al., 2025a).

Også andre studier peker på at utvidelser og endringer i artsutbredelse kan by på utfordringer i forvaltning på tvers av landegrenser og i internasjonale samarbeid (Stokke, 2024). For eksempel, tidlig på 2000-tallet utvidet makrellbestanden sitt utbredelsesområde. I mange år hadde bestanden vært konsentrert i Norskehavet, men makrellbestanden vokste betydelig og ble mer tilgjengelig i de tilstøtende Islands- og Grønlandshavene. En umiddelbar regulatorisk utfordring som disse endringene medførte var fremveksten av to nye aktører i makrellfisket – Island og Grønland, som begge gjorde krav på andeler av den totale kvoten – noe som ble forverret av Færøyenes krav om en større andel på grunn av endringen i bestanden. Å håndtere denne direkte effekten ble ytterligere komplisert av den indirekte effekten av nye vanskeligheter med å gi troverdig og legitim

vitenskapelig rådgivning. Det oppsto en uenighet om de ulike undersøkelsesmetodene som ble foretrukket av forskere fra de ulike landene, noe som ga næring til mistanke om at innspillene til rådgivningsprosessen var forvrengt av politiske hensyn til tross for at de var forankret i de velrenommerte prosedyrene til *The International Council for Exploration of the Sea* (ICES). Retrospektive vurderinger bidro til utfordringen ved at ICES hadde undervurdert makrellbestanden i flere år, delvis på grunn av dens endrede utbredelse (Stokke, 2024).

En mer beskjeden, men betydelig, romlige endring er også registrert for nordøstarktisk torsk i Barentshavet (Stokke, 2024). Historisk forekommer bestanden hovedsakelig i Norges og Russlands EEZs, men i noen år er den også tilgjengelig i lønnsomme mengder i det åpne havområdet «smutthullet». Siden tidlig på 2000-tallet har en kombinasjon av relativt høye havtemperaturer og en stor bestandsstørrelse ført til en nord- og østoverutvidelse, med noe større sonemessig tilknytning til den russiske EEZ enn tidligere. En lignende utvikling er også observert for flere andre bestander, inkludert blåkveite, som tidligere ble forvaltet utelukkende av Norge, men som ble anerkjent som en delt bestand i 2009. Som med de pelagiske bestandene i De nordiske hav, har de romlige endringene som skjer i Barentshavet også ført til forespørsler om reforhandling av kvotetildelinger, noe som gjør den regulatoriske forvaltningsoppgaven vanskeligere (Stokke, 2024).

3.2.3 Anbefalte forvaltningsstrategier ved forflytning av miljøverdier

Mens flere studier har fokusert på modellering og dokumentasjon av observerte og forventede effekter av klimaendringer, inkludert forflytning av arter, i norske havområder, så har få av disse tatt det neste steget videre med å evaluere ulike forvaltningsstrategier for å håndtere disse endringene. Det er derfor begrenset med litteratur og resultater å oppsummere her, og et hovedfunn av syntesen på dette punktet er avdekking av kunnskapshull og behov for neste steg fremover for å fylle dette.

På generelt grunnlag (ikke spesifikt for norske havområder) anbefales det i områder hvor artsutbredelser trolig vil forskyves nordover, med konsekvenser for fiskeflåters tilgang, romlig forvaltning og kvotefordeling, nøye håndtering av usikkerhet i klimamodeller, bedre integrasjon av samfunnsøkonomiske scenarier, og økt samarbeid med interessenter for å utvikle klimatilpasset fiskeriforvaltning (Smith et al., 2023). Det anbefales videre å prioritere adaptive økosystembaserte forvaltningsstrategier, som å opprettholde habitattilknytning, utvide grensene for marine bevaringsområder og sikre tilgrensende landområder for å lette artenes migrasjon (Corelli et al., 2024). Vern av forventede klimarefugier i en bestands sørlige utbredelse har blitt vist å kunne bidra

til saktere forflytning nordover og også en sterkere bestand etter hvert som forflytningen foregår (Bryndum-Buchholz et al., 2023). Det er ytterligere et behov for internasjonalt samarbeid og utviklingen av en omfattende, åpent tilgjengelig database for å dele kunnskap og fremme effektive klimatilpasningstiltak på tvers av globale bevaringsnettverk (Corelli et al., 2024).

Når fiskebestandene i norske og omkringliggende havområder har opplevd betydelige endringer i geografisk utbredelse, har regionale fiskeriforvaltningsorganer ofte funnet det vanskelig å bli enige om regulatoriske tiltak som er i tråd med de beste tilgjengelige vitenskapelige rådene (Stokke, 2024). En enkel, men likevel anvendelig måte å evaluere regulatorisk ytelse, er å observere andelene av kvoter som er godkjent av brukerstatene, som er i tråd med de beste tilgjengelige rådene om høstingspress. Dette målet gir en ytelsespoengsum på 1 når beslutningstakere fullt ut følger vitenskapelige råd og gradvis senker poengsummene etter hvert som beslutningstakere avviker fra vitenskapelige råd, noe som muliggjør en sammenligning av ytelsesnivåer på tvers av tilfeller og over tid. I 2012 var denne scoren 1 for torsk og sild i nordøst-Atlanteren, men kun 0,83 for kveite og 0,69 for makrell. For makrell ble det ikke oppnådd noen internasjonal avtale om kvoter det året, og summen av kvoter (927 000 tonn) var betydelig høyere enn nivået anbefalt av forskere (639 000 tonn;) (Stokke, 2024).

Det var kun én modelleringsstudie avdekket i litteraturstudien som omhandlet forvaltningsgrep ved endringer i artsutbredelse i norske havområder. Olsen et al. (2018) brukte økosystemmodeller (Atlantis, se 4.2.2) til å undersøke effektene av ulike forvaltningsgrep under forskjellige scenarier for åtte case-studier, hovedsakelig i Nord-Amerika, men også Australia og ett case med Norskehavet og Barentshavet. Modellene var kjørt 50 år frem i tid (scenarier beskrevet i faktaboks).

I alle scenarier bortsett fra basisscenariet ble drivere (f.eks. havforsuringsdødelighet eller doblet fiskedødelighet) brukt i år 1 og holdt konstante gjennom simuleringen. Dette tillater sammenligning av simuleringene under samme tidshorisont, men det er en grov forenkling av virkeligheten (Olsen et al., 2018). For eksempel er havforsuring i virkeligheten en gradvis endring som skjer over år eller til og med tiår, mens endringer i fiskeriforvaltning og marint vern vanligvis er umiddelbare hendelser. Endringer i havforsuring, marint vern og kvotereguleringer var simulert uavhengig hver for seg og resultater sammenlignet med hverandre og et basisscenario; samtidig erkjente forfatterne at samspillet mellom disse ofte er av mer interesse for forvaltningen, men hadde ikke mulighet til å vurdere interaksjoner, da slike kombinatoriske analyser raskt blir tids- og beregningskrevende og ville ha økt kompleksiteten i analysen utover ressursene som var tilgjengelige for forfatterne.

Scenariene testet var som følger:

1. Basisscenariet med «business as usual» og dagens fiskeriforvaltning for hvert økosystem.
2. Havforsuring hvor økt dødelighet (0,5 og 1 %) blant forkalkende organismer var lagt til basisscenariet. Økningen i havets pH som følge av akkumulert atmosfærisk CO₂ som løses opp i sjøvann vil endre havforholdene for forkalkende organismer, som bløtdyr og koraller.
3. Arealbasert forvaltning med marine bevaringsområder. Tre hypotetiske scenarier for nullfiskeområder ble brukt for å evaluere effekten av størrelsen på disse. Marine bevaringsområder ble utvidet fra kysten og utover inntil 10, 25 og 50 % av kontinentalsokkelen var stengt for alt fiske. Videre ble fiskeratene i områder utenfor bevaringsområdene opprettholdt på fiske-dødelighetsratene i basisscenariet. Derfor representerer scenarier for marine verneområder tilfeller der fiskeinnsats fjernes heller enn å fortrenses.
4. Kvotereguleringer hvor fiskedødelighetsratene (F) på arter som ble fisket i basisscenarioet ble doblet, halvert og eliminert, noe som førte til tre ekstra scenarier per modell.

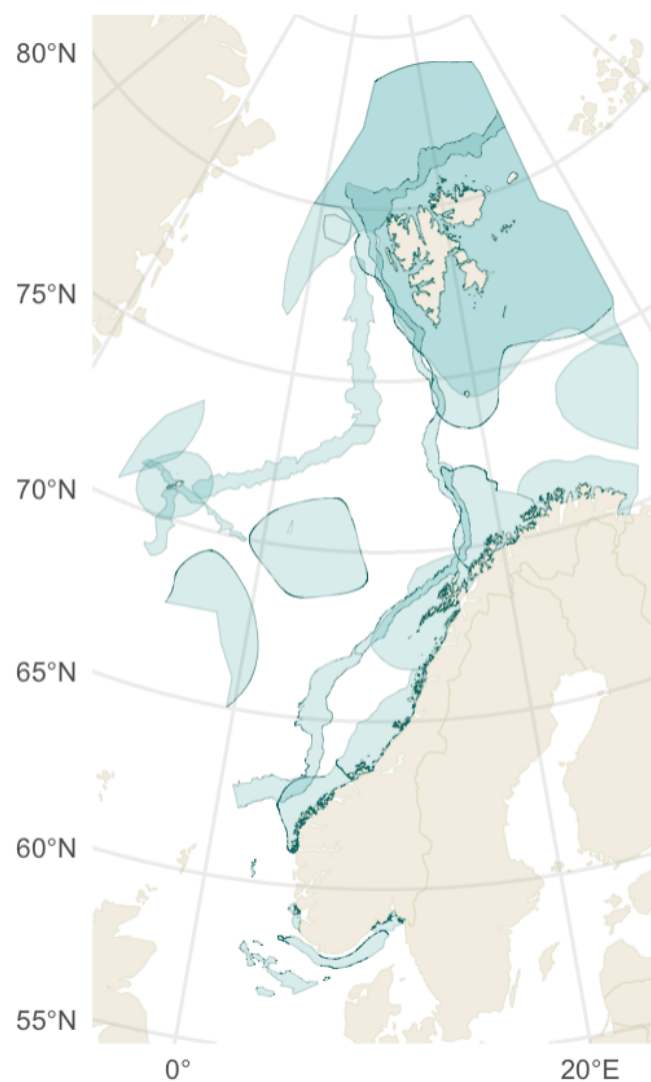
Resultater ble rapportert som respons i biomasse for ulike funksjonelle grupper og indikatorer hvor endringer var målt som forskjellen mellom 5-års gjennomsnittet for slutten av simuleringene (år 45-50) og samme mål for basisscenariet. Forfatterne vurderte sju økologiske indikatorer: ratio mellom bunnlevende og pelagisk fisk; andel rovfisk; gjennomsnittlig trofisk nivå av biomasse; forholdet mellom total, pelagisk og bunnlevende biomasse og primærproduksjon; og ratio mellom bunnlevende og pelagisk biomasse. Forfatterne vurderte også 12 fiskeriindikatorer: total fangst; fangst av fisk, bunnlevende og pelagiske arter; andel av bestander over forvaltningsmål (dvs. over BMSY); ratio av pelagisk, bunnlevende og total fangst til primær produktivitet; gjennomsnittlig trofisk nivå av fangst; utnyttelsesgrad av kun fisk (summert fangst/summert biomasse); utnyttelsesgrad av alle målarter (total summert fangst/total summert biomasse); og fangstverdi. Fiskeriindikatorene er også direkte relevante for å måle de økonomiske responsene, enten direkte som verdien av fangsten eller indirekte som biomassen av landinger (Olsen et al., 2018).

Resultater fra simuleringene for Norskehavet og Barentshavet indikerer at dette området forventer å oppleve noen de største negative effektene av havforsuring blant de åtte case-studiene, da spesielt på bunnlevende organismer (Olsen et al., 2018). Implementering av marine bevaringsområder hvor halvparten av kontinentalsokkelen stenges for fiske forventes å øke fangsten av pelagisk fisk med nesten 50 % over baselinescenariet, samtidig som det forventes noe nedgang i verdien av fiskerier. Resultater fra endringer i fiskeridødelighet presenteres ikke for havområdet (Olsen et al., 2018).

Mens studien ikke gir direkte forvaltningsråd ettersom hovedmålet var sammenligning av økosystemrespons på tvers av ulike systemer heller enn identifisering av optimale forvaltningsstrategier, så er det en begynnelse på prosessen med å oversette klima- og økosystemprognoser til forvaltningsråd.

3.3 Forvaltningen av særlig verdifulle og sårbare områder (SVO-er) i et klimaperspektiv

Kun åtte studier i litteratursøket omhandlet klimaendringers påvirkning på områder som omfatter svært verdifulle og sårbare områder (SVO) (Figur 14) og forvaltningen av disse, samt én studie fra den svenske siden av Skagerrak som grenser til Norge. I tillegg inkluderes to rapporter fra Havforskningsinstituttet på oppdrag for Faglig Forum.



Figur 14. Dagens SVO-er. Kartdata hentet fra geonorge.no.

3.3.1 Rapporterte effekter av klimaendringer på SVO-er og relaterte marine områder

«Sårbarhetsrapporten» Hansen et al. (2022b) ledet av Havforskningsinstituttet for Faglig Forum, som bygger på «Miljøverdirapporten» (Eriksen et al., 2021), undersøker sårbarheten til miljøverdiene til et bredt spekter av påvirkninger som klimaendringer, forsuring, forurensning, støy, fysisk forstyrrelse, fremmede arter og smitte. De gjennomførte en systematisk vurdering av totalt 17 ulike påvirkninger på ni hovedgrupper av miljøverdier, inkludert plankton, bunnfauna, fisk, sjøfugl, marine pattedyr og næringsnett, samt en gjennomgang av sårbarhet for hver SVO (Hansen et al., 2022b). Påvirkningen av klimaendringer er relatert til hvert havområde, og rapporten peker på at temperaturøkning, havforsuring og endringer i havstrømmer og isdekke forventes å få særlig stor betydning for arktiske og is-avhengige økosystemer, samt for arter som er avhengige av stabil tilgang på plankton og byttedyr i tidlige livsstadier. De arktiske komponentene i Barentshavet og næringsnettene i Norskehavet vurderes som særlig sårbare. Klimaendringer, sammen med bifangst, skiller seg ut blant påvirkningsfaktorene ved at mange av miljøverdiene har høy sårbarhet for disse. Følgende delkapittel sammenfatter funn fra studier som omhandler hvordan klimaendringer påvirker arter, habitater og økosystemer i og omkring svært verdifulle og sårbare områder (SVO-er), samt hvordan forvaltningen kan tilpasses i lys av slike endringer. Studienes geografiske fokus spenner fra Barentshavet og Norskehavet til Nordsjøen og Skagerrak, og bygger i hovedsak på modellbaserte analyser og kunnskapssynteser, med enkelte empiriske bidrag. Samlet belyser de hvordan økende temperatur, forsuring og endrede havstrømmer påvirker økologiske prosesser og artssammensetning i norske havområder.

Endringer i artssammensetning og næringsnett som følge av oppvarming er særlig godt dokumentert i Barentshavet. Her drøfter Skern-Mauritzen et al. (2018) hvordan økosystembasert fiskeriforvaltning (EBFM) kan videreutvikles i møte med raske klimaendringer og økende menneskelig aktivitet. Varmere vann og redusert isdekke har gjort at boreale arter som torsk (*Gadus morhua*) og hyse (*Melanogrammus aeglefinus*) har ekspandert nordover, mens arktiske arter har fått innsnevret leveområder og minkende bestander. Dette har endret artssammensetning og næringsnettdynamikk, og gjort økosystemet mer sårbart for forstyrrelser (Skern-Mauritzen et al., 2018).

Selv om Barentshavet er et datarikt system, fremheves utfordringer knyttet til manglende kunnskap om enkelte arter, habitater og prosesser, samt raske miljøendringer som gjør historiske referanser mindre relevante (Skern-Mauritzen et al., 2018). Tradisjonelle referansepunkter for enkeltarter anses fortsatt som nyttige, men må vurderes i en økosystemkontekst. Klimaendringer og endrede

næringsnettforhold bør inngå både i taktiske beslutninger om årlige kvoter og i strategiske beslutninger om langsiktige høstingsnivåer. De trekker fram en norsk studie som konkluderte med at flerarts- og økosystemmodeller bør tas i bruk der miljøendringer og artsinteraksjoner har en dokumentert og målbar effekt på bestandsutviklingen.³ I Barentshavet er slike tilnærminger allerede brukt for torsk, hyse og lodde, og vurderes som relevante for flere arter som sild, reke og uer.

Forvaltningen av databegrensede arter omtales som særlig utfordrende i et klima i endring, da temperaturøkning påvirker vekst, rekruttering og dødelighet både direkte og indirekte. Testing av høstingsstrategier i flerartsmodeller anbefales spesielt for arter med nøkkelfunksjoner i økosystemet, som dyreplankton og mesopelagiske organismer. Den norske føre-var-forvaltningen av raudåte (*Calanus finmarchicus*), der kvoten er satt til én prosent av stående biomasse, trekkes frem som et eksempel på en forsiktig og økosystemorientert tilnærming (Skern-Mauritzen et al., 2018). Artikkelen fremhever også behovet for å håndtere effekten av torskens økte dominans i økosystemet, som kan føre til nedgang i lodde og arktiske arter. Dette har blant annet ført til innføring av en totrinns høstingsregel i den norsk-russiske fiskerikommisjonen, med lavere fiskerate ved middels bestandsnivåer. Videre trekkes etableringen av den norsk-russiske arbeidsgruppen for integrert økosystemvurdering (WGIBAR) under ICES frem som et viktig tiltak for å fremme helhetlig, kunnskapsbasert forvaltning av Barentshavet (Skern-Mauritzen et al., 2018).

Klimaendringenes økologiske og sosioøkonomiske konsekvenser i samme region er undersøkt av Koenigstein et al. (2016), som kombinerte intervjuer og workshops med utvikling av en systemdynamisk modell for Barentshavet og det nordlige Norskehavet. Modellen simulerte effekter av havoppvarming, forsuring og fiskepress på økosystemet, inkludert arter fra zooplankton til hval. Resultatene viste tydelige forskjeller mellom klimascenariene. Under scenarioet med kun oppvarming ble det modellert økning i de fleste fiskebestander samt i spekkhoggere og sjøfugl, mens arter som spermhval, sel, krill og polartorsk viste nedgang. Dette ble vurdert som positivt for fiskerinæringen, men negativt for turisme og miljøinteresser på grunn av redusert artsmangfold. I scenariet med både oppvarming og forsuring gikk de fleste bestandene kraftig tilbake som følge av redusert energiopptak og økte metabolske kostnader. Dette førte i modellen til betydelig nedgang i økonomisk utbytte, med prognoser om torskekollaps mot slutten av århundret. Interessenter beskrev dette som «økonomisk smertefullt», med risiko for tap av levebrød og økte konflikter mellom

³ Huse et al. 2018: https://www.hi.no/resources/publikasjoner/fisken-og-havet/2018/fisken_og_havet_nr_7-2018_flerbestandsrapporten.pdf

kystflåte og større fartøy. Studien konkluderer med at klimaendringer kan gi både økologiske og sosioøkonomiske konsekvenser i nordlige havområder. Strengere kvoter i perioder med bestandsnedgang, bedre regulering av bifangst og en mer fleksibel ressursutnyttelse gjennom fangst av nye arter som makrell og krabbe ble fremhevet som mulige tilpasningstiltak.

For Nordsjøen viser en omfattende modelleringsstudie (Queirós et al., 2016) at klimaendringer kan føre til tydelige geografiske forskjeller i utviklingen av fiskebestander. Studien identifiserte *hotspots* for både negative og positive endringer i fiskebestander og vurderte graden av vern i disse områdene. Områder med forventet negativ utvikling, det vil si tap av egnet habitat eller redusert produktivitet, ble hovedsakelig identifisert langs den østlige og nordøstlige kysten av Storbritannia. Kun 21 % av disse områdene var (eller var planlagt å bli) beskyttet, og de fleste overlapper med planlagte soner for havvindutbygging. I kontrast ble hotspots for positiv endring, hvor fisk forventes å omfordele seg til, identifisert i den nordøstlige delen av studieområdet, nær norskekysten (sørvestlandet). Mindre enn en tidel av disse områdene er omfattet av eksisterende eller planlagt vern, og omtrent halvparten overlapper med foreslåtte havvindområder.

Studien peker på en potensiell forskyvning av fiskearter mot dypere deler av den nordøstlige Nordsjøsokkelen, i tråd med at disse områdene antas å forbli kjøligere og dermed representere klimatiske refugier for flere arter. Videre viste modellprosjeksjonene ($n = 11$) signifikante negative endringer ved bunnen av næringsnettene i den nordvestlige delen av den nordøstlige atlantiske sokkelen, uten at noen av disse områdene er under vern. Samtidig forekomst av negative *hotspots* for både fisk og lavere trofiske nivåer nord for Aberdeen Bank og den nordatlantiske fronten antyder en sterk kobling i næringsnettene, støttet av empiriske observasjoner. Områder med positive endringer i næringsgrunnlag og produktivitet ble kun identifisert i et lite område av Skagerrak, hvor det allerede finnes både marine verneområder og vindparker (Queirós et al., 2016).

For Nordøst-Atlanteren, inkludert norske SVO-er, viser modelleringer (Cheung et al., 2024) at klimaendringer forventes å redusere biomassen for de fleste kommersielle fiskearter i Nordøst-Atlanteren. Modellberegninger anslår en gjennomsnittlig nedgang på om lag 5 prosent per grad oppvarming når bestandene høstes på nivå med maksimalt bærekraftig uttak (MSY). Etablering av nullfiskeområder kan dempe denne effekten. For enkeltbestander er det beregnet en økning i biomasse på om lag 3,4 prosent for hver tiendedel av artens utbredelse som omfattes av nullfiske. Dersom 30 prosent av utbredelsesområdet beskyttes, øker biomassen med rundt 10 prosent. Effekten reduseres til cirka 5 prosent dersom plasseringen av nullfiskeområder ikke tar hensyn til

artens utbredelse. Dette indikerer behov for artsrettet tilpasning ved etablering av slike områder. Fiske utenfor nullfiskeområdene har liten innvirkning på resultatene. Den største biomasseøkningen oppnås når fiskepresset samtidig reduseres til 75 prosent av MSY ($F/F_{MSY} = 0,75$). I et slikt scenario vil økningen i biomasse nesten kompensere for det forventede tapet som følge av klimaendringer ved en temperaturøkning på 2,6–2,9 °C. For bærekraftig beskattede bestander med 15–30 prosent nullfiskeareal forventes en reduksjon i landinger på 3–5 prosent, til tross for økt total biomasse. For overbeskattede bestander kan derimot en overgang til bærekraftig uttak kombinert med nullfiskeområder gi økning i fangst på om lag 6 prosent ved 15 prosent vern og 10 prosent ved 30 prosent vern, som følge av *spillover*-effekter fra verneområdene.

I kystnære områder viser en studie fra Kosterhavet MPA i Sverige (Rettig et al., 2023) at økte havtemperaturer som følge av klimaendring kan føre til økt biomasse av ålegras, dersom lys- og næringsforholdene er gode og nedbeitingen er lav. Studiet så også på reker, og fant at selv om reker hovedsakelig påvirkes av tråling og overfiske, så kan vekstrate, rekruttering og overlevelse også påvirkes av stigende temperaturer. Reke er et viktig byttedyr for torsk, men studiet viser at forholdet mellom dem blir svakere ved økende temperaturer (Rettig et al., 2023).

For havbruksnæringen undersøkte Cubillo et al., (2021) hvordan klimaendringer kan påvirke fysiologiske, vekstrelaterte og økonomiske effekter for sentrale marine arter, inkludert atlantisk laks i Norge, gjennom modellering av ulike klimascenarier. Ved å koble klimavariabler direkte til produksjons- og forvaltningsutfall, gir studien et eksempel på hvordan modellbasert kunnskap kan brukes til å redusere sårbarhet og støtte bærekraftige beslutninger i marine næringer. Studien retter seg ikke spesifikt mot SVO-er, men kan likevel være relevant fordi plassering og regulering av oppdrettsanlegg kan skje innenfor eller i tilknytning til slike områder.

3.3.2 Anbefalinger til forvaltning relevant for SVO

Flere av de identifiserte studiene diskuterer hvordan forvaltningssystemer kan tilpasses for å håndtere klimainduserte endringer i marine økosystemer. Tilnærmingene spenner fra utvikling av økosystembasert forvaltning til etablering av marine bevaringsområder, regulering av fiskeri og samarbeid på tvers av landegrenser. Anbefalingene gitt for norske havområder, inkludert SVO-er, i disse studiene samsvarer med de generelle anbefalingene (uavhengig av havområde) som var beskrevet i kapittel 3.1.

Utviklingen av EBFM trekkes frem som en sentral strategi for å møte raske miljøendringer. Skern-Mauritzen et al. (2018) anbefaler at utviklingen av EBFM i Barentshavet må ta utgangspunkt i de raske økologiske endringene som følger av klimaoppvarming, økende fiskeriaktivitet og konkurranse med andre næringer. Forvaltningen bør ta høyde for at boreale arter utvider seg nordover mens arktiske arter går tilbake, og at slike endringer i artssammensetning og næringsnett øker systemets sårbarhet for forstyrrelser. De fremhever at forvaltningen må baseres på oppdatert og adaptiv kunnskap, ettersom tidligere erfaringer i økende grad blir mindre relevante i et system som endrer seg raskt. De understreker at en effektiv EBFM ikke nødvendigvis krever mer komplekse modeller, men en bredere vurdering av økologiske, klimatiske og menneskelige faktorer i beslutningsgrunnlaget.

Videre anbefales at tradisjonelle referansepunkter for enkeltarter tilpasses økosystemets kontekst, og at klimaeffekter og interaksjoner mellom arter integreres i både kortsiktige kvotebeslutninger og langsiktige strategier. Flerarts- og økosystemmodeller bør tas i bruk der klimaendringer har dokumentert påvirkning, mens databegrensede arter bør forvaltes etter føre-var-prinsippet, slik som praksisen for *Calanus finmarchicus* (Skern-Mauritzen et al., 2018).

Koenigstein et al. (2016) peker på at forvaltningen i Barentshavet og det nordlige Norskehavet må ta høyde for både økologiske og sosioøkonomiske konsekvenser av klimaendringer. Studien viser at forventede endringer i temperatur, forsuring og artssammensetning vil kunne kreve justering av kvoter, endringer i fordelingen mellom fartøygrupper og tilpasning av fangststrategier. Strengere reguleringer i perioder med bestandsnedgang, kombinert med mer fleksible kvotesystemer og økt kontroll med ulovlig fiske, vurderes som viktige tiltak for å støtte gjenoppbygging av bestandene. Videre peker studien på behovet for å øke tilpasningsevnen i fiskerinæringen gjennom diversifisering av målrettede arter, for eksempel økt satsing på krabbe, makrell og bløtdyr, for å redusere økonomiske tap når tradisjonelle bestander svekkes. Forfatterne fremhever betydningen av et tettere samspill mellom forskning, forvaltning og brukergrupper, slik at beslutninger bygger på både vitenskapelig kunnskap og lokale erfaringer. Samlet sett understrekes nødvendigheten av en fleksibel, kunnskapsbasert og adaptiv forvaltning for å møte de kombinerte utfordringene fra havoppvarming og forsuring, og for å opprettholde både økologisk og økonomisk bærekraft i regionen.

Arealbasert vern fremheves som et sentralt virkemiddel for å øke motstandskraften mot klimaendringer. Cheung et al. (2024) anbefaler at nullfiskeområder brukes som et sentralt virkemiddel i forvaltningen for å møte klimaendringenes konsekvenser for fiskeressurser i Nordøst-

Atlanteren. I kombinasjon med redusert fiskepress, viser resultatene at slike områder kan bidra til å gjenoppbygge overbeskattede bestander og samtidig gi langsiktige gevinster for avhengige fiskerier. De understreker at nullfiskeområder bør inngå som en del av en bred portefølje av tiltak i utviklingen av klimaresiliente gjenoppbyggingsplaner for fiskebestander. Studien anbefaler at nasjonale forvaltningsmyndigheter integrerer nullfiskeområder og redusert fisketrykk i fremtidige strategier for å oppnå både regionale og globale mål for biodiversitet og bærekraftig ressursforvaltning.

Også i kystnære systemer trekkes vern fram som et viktig forvaltningsverktøy. Rettig et al. (2023) peker på at en innenfor marine bevaringsområder kan forvalte bruken av et område gjennom begrensninger i frekvens av bunntåling og bruk av fritidsbåter. For å beskytte ålegras anbefales også å innføre strengere reguleringer for oppankring, spesielt for fritidsbåter i sensitive områder. Ålegras avhenger også av næringstilgang, men næringstilgangen avhenger hovedsakelig av faktorer utenfor bevaringsområdet og har begrenset med muligheter til regulering innenfor verneområdet.

Effektiv forvaltning av klima- og økosystempåvirkninger krever samarbeid på tvers av forvaltningsnivåer og landegrenser. Skern-Mauritzen et al. viser til behovet for internasjonalt og tverrsektorielt samarbeid, blant annet gjennom felles plattformer som WGIBAR under ICES, for å sikre helhetlig, kunnskapsbasert og klimaresilient forvaltning av Barentshavet. Rettig et al. (2023) peker på at flere av faktorene som påvirker marine økosystemer påvirkes av prosesser som strekker seg over store geografiske områder, og viser til at tverrnasjonalt samarbeid i Skagerrak-regionen, blant annet om næringssaltforvaltning, kan gi synergier for restaurering av kystøkosystemer og styrking av toppredatorbestander.

Rettig et al. (2023) peker videre på dyrking av blåskjell som en mulighet til å bidra til å bedre forholdene for ålegras ved å bedre lysforhold gjennom å filtrere vannet, men at negative lokale effekter ved dette kan veie opp for de positive effektene. Innen havbruksnæringen viser Cubillo et al. (2021) hvordan modellbasert kunnskap kan brukes til å redusere sårbarhet og støtte bærekraftige beslutninger under endrede klimaforhold. Offshore-oppdrett fremheves som en mulig strategi for å redusere eksponering for temperaturvariasjoner og kystnære påvirkninger.

4. OBSERVASJONS- OG MODELLVERKTØY FOR EVALUERING AV KLIMAEFFEKTER

I dette kapitlet følger en presentasjon av observasjons- og modellverktøy som vanligvis benyttes for evaluering av klimaeffekter på økosystemer og forvaltning av marine ressurser og arealer. Fokus er på å gi et godt bilde på hvilke verktøy som opptrer hyppigst i litteraturen, hva de brukes til, og hvor tilgjengelige disse er for forvaltningen for evaluering av klimaendringers effekter i norske havområder.

Vurderingen av hvor tilgjengelige tiltakene er for forvaltningen følger en gradert skala:

1. Grønn: Åpent tilgjengelige verktøy som er lette å implementere.
2. Gul: Åpent tilgjengelige verktøy som krever mye trening/ferdighet å implementere
3. Orange: Semi-tilgjengelige verktøy som krever spesiell kompetanse og ressurser for å implementere
4. Rød: Ikke tilgjengelige for forvaltningen

Videre er verktøyene kategorisert etter type, og en kort beskrivelse av bruksområder, tilgjengelighet av de mest sentrale verktøyene basert på hyppighet i litteraturen er gitt i Tabell A1 (nederst i rapporten). Videre beskrivelse av bruken av de forskjellige verktøyene fra litteraturen er gitt i kapittel 4.1.1-4.1.4.

4.1 Observasjonsverktøy

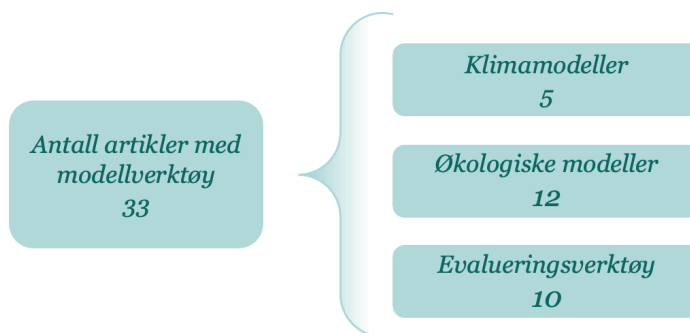
Satellittdata brukes ofte som observasjonsgrunnlag for store havområder i forvaltningssammenheng. Slike data gir informasjon om blant annet overflatetemperatur, klorofyll og andre klima- og økosystemvariabler som er relevante for marin arealforvaltning. De gir både øyeblikksbilder av store geografiske områder og lange tidsserier som muliggjør overvåking av endringer over tid. Tilgjengeligheten varierer fra ferdige prosesserte datasett som er enkle å hente ut, mens andre må prosesseres og analyseres, noe som ofte krever spesialiserte verktøy og kompetanse.

For eksempel, er SST («Sea Surface Temperature», eller havoverflatetemperatur) brukt som et mål for å vurdere hvor raskt og sterkt havoverflatetemperaturen endrer seg for å sammenligne temperaturtrender mellom ulike regioner for å vurdere klimarisiko og behovet for tilpasning i

forvaltningen av marine bevaringsområder (Tan and Fischer, 2022, Patrizzi and Dobrovolski, 2018). Også informasjon om utbredelsen av spesielle arter kan hentes ut fra kombinasjonen av satellittdata og andre aggregerte datasett, distribuert og tilgjengeliggjort på diverse plattformer (Patrizzi and Dobrovolski, 2018). Andre har tatt i bruk hyperspektrale bilder for måling av habitattyper og batymetri langs kysten (grunt vann <20 m dybde) målt fra fly, som kan gi høyere romlig oppløsning i forhold til f.eks. satellittdata (Davies et al., 2016).

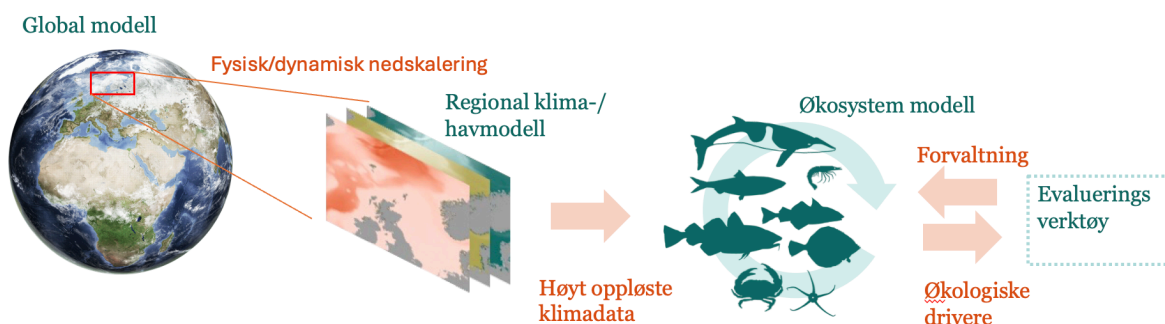
4.2 Modellverktøy

Modellverktøyene i forvaltningslitteraturen kan deles inn i følgende grove kategorier: klimamodeller inkludert havmodeller, økosystem-modeller og forvaltningsmodeller.



Figur 15. Fordeling av modellverktøy i litteraturstudiet.

I noen studier brukes én av disse, eller ferdige data produsert med en av dem. I andre studier brukes flere modeller etter hverandre, eller «koblet» med hverandre, og kjøres som én modell (Figur 16).



Figur 16. Oversikt over modellsystemer (grønt) og koblinger mellom dem (rødt).

Tilgjengeligheten til modelldataene brukt vurderes på bakgrunn av om modellverktøyene må settes i bruk (gjøre simuleringer) for å fremskaffe data, noe som ofte krever både dataressurser og spisskompetanse, eller om ferdig produserte og ofte prosesserte datasett finnes åpent tilgjengelig for bruk.

I tilfellet med ferdige datasett er mulighetene for spesielle tilpasninger begrenset. *Model assumptions* er parametere og datasett som ligger til grunn for modelleringen men ikke direkte inkluderes i modellen, men som kan påvirke resultatene mye (f.eks. ikke alle økosystemmodeller inkluderer fiskeriaktiviteter, eller habitat, etc.) (Whitney et al., 2023). Oppløsningen på ulike modeller er også en viktig betraktning da den for eksempel kan være grovere enn oppløsningen som er relevant i forvaltningsøyemed (Whitney et al., 2023).

Videre følger en kort presentasjon av modellverktøyene som har kommet opp i litteratursøket, kategorisert etter type og brukskategori. Beskrivelsene inkluderer tilfeller der forfattere har ferdige tilgjengelige datasett produsert ved hjelp av de aktuelle modellene.

4.2.1 Klima- og havmodeller

Klima- eller jordsystemmodeller predikerer hvordan temperatur og andre abiotiske faktorer vil se ut og endre seg i fremtiden. De inkluderer ofte komponenter fra de forskjellige delene av klimasystemet, og vil i tilfellet med jordsystemmodeller typisk inkludere en atmosfæremodell, en havmodell og en økosystemmodell. Avhengig av formålet med simuleringen, vil andre komponenter som simulerer spesielle deler av systemet inkluderes.

En utfordring med modellresultater er at det er vanskelig å rangere resultater fra forskjellige modeller etter sannsynlighet eller beregne usikkerhet (Chollett et al., 2022; Hollowed et al., 2020). Flere studier bruker derfor mer enn én modell (ensembler) og sammenligner resultater for mest mulig robuste konklusjoner. Noen studier bruker klimaframskrivninger fra flere globale klimamodeller hentet fra CMIP6⁴-databasen.

⁴ <https://wcrp-cmip.org/cmip-phases/cmip6/>

Eksempel: Bruk av ensembledata til å forutsi tidspunkt og omfang av habitatsendringer under ulike klimascenarier

Lewis et al., (2023) temperaturdataene i ensemble-gjennomsnittet til tre klimamodeller; – Alfred Wegener Institute (AWI), Hadley Centre Atmospheric (HAD) og Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL) – for å redusere usikkerhet i estimatene, som ble brukt til å beregne «time of emergence» (ToE). ToE ble definert som året der gjennomsnittstemperaturen oversteg en arts øvre toleransegrense i minst to påfølgende år, noe som indikerer en overgang til et termisk stressende habitat. Dette ble gjort for 30 fisk- og virvelløse arter i Scotian Shelf–Bay of Fundy-regionen. Fra modellensemblet hentet de ut gjennomsnittlige årlige havoverflatetemperaturer (SST) med 0,25° oppløsning for perioden 2015–2100 under to fremtidige scenarier: SSP1-RCP2.6 (lavt utslipp) og SSP5-RCP8.5 (høyt utslipp). Denne tilnærmingen gjorde det mulig å forutsi tidspunkt og omfang av habitatendringer under ulike klimascenarier.

Den romlige oppløsningen på klima-/jordsystemmodeller som brukes vil påvirke hvor godt disse fungerer i kystnære områder hvor strømforhold o.l. kan være mye mer komplekse. Det er ofte nødvendig å nedskalere globale klimamodeller til en mer relevant romlig oppløsning ved å bruke mer høyoppløste modeller i forvaltningssammenheng.

Nedskalering av globale klimamodeller var hovedfokus i forskningsprosjektet NorScen, der nedskaling av globale fysiske modeller ble gjort ved å ta i bruk egne modeller som er utviklet spesielt for Nord-Atlanteren og de enkelte nordiske havområdene. Rapporten bruker høyoppløselige regionale modeller for å vurdere effekten av ulike klimascenarier (som SSP1-2.6 og SSP5-8.5) på økosystemene i de forskjellige havområdene. Den regionale havmodellen NEMO-SCOB⁵ ble valgt for Østersjøen og Nordsjøen, FlexSem⁶ for Limfjorden, og NEMO-NAA10km⁷ for Norskehavet og Barentshavet (Ottersen et al., 2025a). I *Risikoanalysen* ble også NEMO-NAA10km brukt med sjøismodellen LIM3⁸. Randbetingelser ble basert på nedskalerte scenarier fra den norske jordsystemmodellen Norwegian Earth System Model; NorESM2-MM⁹. NorESM er en global jordsystemmodell utviklet i Norge som simulerer samspillet mellom atmosfære, hav, is, land og

⁵ <https://bg.copernicus.org/articles/21/2087/2024/>

⁶ <https://marweb.bios.au.dk/flexsem/>

⁷ <https://gmd.copernicus.org/articles/12/363/2019/>

⁸ https://www.mercator-ocean.eu/wp-content/uploads/2015/06/lettre_28_en.pdf#page=16

⁹ <https://gmd.copernicus.org/articles/13/6165/2020/>

biosfære. Modellen bygger på kodeinfrastrukturen fra CESM/CCSM (NCAR, USA), men har norske tilpasninger, særlig i hav- og biogeokjemiske komponenter. Den utvikles i samarbeid mellom institusjoner som Bjerknes Senter for klimaforskning og Met.no samt flere andre klima- og forskningsmiljøer i Norge. NorESM brukes til å studere fortidens, nåtidens og framtidens klima, herunder simuleringer for internasjonale prosjekter som CMIP6, og bidrar med resultater til rapporter fra Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

På kortere tidsskala kan sesongvarsler også være relevante for visse forvaltningsstrategier (Plagányi and Hobday, 2015). Selv om det legges mye vekt på de langsiktige endringene knyttet til klimaendringer og beslutningene som kan føre til en bærekraftig fremtid, blir kortere tidsskalaer ofte sett på som viktigere av mange beslutningstakere da årlige og sesongmessige variasjoner i miljøforhold som havtemperatur i de øvre lagene, kan endre vekstraten til oppdrettsarter eller fordelingen av ville bestander. Disse konsekvensene kan igjen kreve endringer i fiske- eller oppdrettspraksis for å opprettholde produksjonen av marint protein fra fiske og akvakultur.

4.2.2 Økosystemmodeller

Økosystemmodeller er verktøy som beskriver samspillet mellom biologiske komponenter, det abiotiske miljøet, og prosessene og interaksjonene som former et økosystem innenfor et gitt fysisk område. Slik kan de brukes til å forbedre forståelsen av økosystemet og forutsi hvordan det vil respondere på ulike påvirkninger (Ruiz-Díaz, 2023).

Økosystemmodeller kan brukes til å informere strategiske og taktiske forvaltningsråd. Strategiske råd kan inkludere brede politiske spørsmål som å oppnå mål for biologisk mangfold, opprettholde økosystemtjenester og ta hensyn til sosioøkonomiske påvirkninger; å gi langsiktige retninger. Taktisk rådgivning, derimot, opererer på en finere skala og gir kortsiktige råd; det krever spesifisering av for eksempel kvoter for å oppfylle de politiske målene. Å utvikle en økosystemmodell for å informere fiskeriforvaltning innebærer å finne et kompromiss mellom modellkompleksitet (og relaterte usikkerheter) og modellytelse for å svare på forvaltningsspørsmålet (Ruiz-Díaz, 2023).

Ulike typer modeller inkluderer artsfordelingsmodeller (species distribution models), habitatmodeller (habitat suitability models), bestandsdynamikkmodeller (population dynamics models) og trofiske modeller (trophic web models) (Azevedo et al., 2024). De spenner fra enkeltartsmodeller koblet med fysiske oseanografiske modeller, til modeller som fokuserer på deler

av økosystemet (MICE - Models of Intermediate Complexity for Ecosystem assessments), til hele økosystem; «ende-til-ende modeller».

Den taksonomiske oppløsningen kan være ganske grov og representasjonen av ulike økosystemprosesser begrenset i globale økosystemmodeller; regionale høyoppløste modeller kan være nødvendige, men er ikke alltid tilgjengelige (Bryndum-Buchholz et al., 2023). Bruk av flere modeller med ulike styrker og grad av kompleksitet kan være hensiktsmessig (Dahood et al., 2020b). Bruk og evaluering av flere eksisterende modeller kan også bidra til å redusere nødvendigheten for å utvikle nye, spesielt tilpassede modeller (Dahood et al., 2020b).

Økosystemmodeller kan være nyttige verktøy for å undersøke effekter av «multiple stressors», inkludert klimaendringer, fiskeri, forurensning, for å kunne planlegge de beste forvaltningsstrategiene for truede habitater og økosystem (Priyanto, 2020). Men, det er viktig å erkjenne at modeller ofte har en begrenset evne til å fange opp synergistiske effekter mellom klimaendringer og andre menneskeskapte påvirkninger, særlig fiskepress, som sannsynligvis vil forsterke klimainduserte endringer (Plagányi and Hobday, 2015).

Ende-til-ende marine økosystemmodeller kan inkludere dynamikken i hele økosystemet fra fysikk og abiotiske faktorer til menneskelige brukere. Med varierende kompleksitet gir disse modellene en nyttig plattform for å utforske effektene av forvaltningsalternativer (Olsen et al., 2018).

Den norske modellen NORwegian ECOlogical Model End-To-End -NORWECOM.E2E¹⁰ er et koblet fysisk- biogeokjemisk modellsystem som brukes til å studere de lavere trofiske nivåene i de norske havområdene, primærproduksjon, sekundærproduksjon, næringsbudsjetter og spredning av partikler som fiskelarver og forurensning. Modellen er tidligere validert ved sammenligning med feltdata i De nordiske hav og Barentshavet, og er brukt blant annet i *Risikoanalysen*. NORWECOM koblet med havmodellen ROMS er blitt brukt til å produsere framtidige klimaprojeksjoner av fysiske og biogeokjemiske miljø, og brukt for å vurdere havbruk (Cubillo et al., 2021), til å beregne biomasse og produksjon av *C. Finmarchicus* (Skern-Mauritzen et al., 2018), samt hvor stor del av produksjonen som ble overført videre oppover i næringsnettet.

¹⁰ <https://arvenetternansen.com/norwecom/>

Atlantis¹¹ er en tredimensjonal, romlig eksplisitt ende-til-ende økosystemmodell utviklet av CSIRO i Australia. Modellen integrerer biofysiske, økonomiske og sosiale komponenter i marine økosystemer og har siden begynnelsen av 2000-tallet blitt tatt i bruk verden over, med rundt 30 aktive modeller i dag. Atlantis-modelleringen søker ikke én optimal forvaltningsstrategi, siden det ofte er motstridende mål mellom bevaring og utvinning, men kvantifiserer sosioøkologiske avveininger mellom alternative forvaltningsscenarier, og kan dermed fungere som et viktig beslutningsstøtteverktøy. Modellen representerer fysisk oseanografi, næringssirkulering, trofisk dynamikk fra primær-produsenter til topp-predatorer og fiskeri i et tredimensjonalt område, med region-spesifikk parameterisering. Atlantis kan settes opp med to-veis kobling mellom økosystemkomponenter og menneskelige sektorer, noe som gjør det mulig å undersøke økosystem-menneskelige interaksjoner av miljømessige og menneskeskapte påvirkninger. Atlantis-modeller kan inkludere en detaljert representasjon av menneskelig påvirkning (f.eks. oljeutvinning), fiskeflåtenes egenskaper som målarter, redskaper og fiskeplassering, og forvaltningsgrenser, inkludert marine verneområder. Systemet er brukt for økosystemmodellering rundt hele kloden; fra tropiske korallrev rundt Guam i Stillehavet (Weijerman et al., 2015), til Nord-Amerika, Australia og Barentshavet (Olsen et al., 2018).

NoBa Atlantis¹² er en parameterisering av Atlantis, som inneholder 53 arter og dekker De nordiske hav og Barentshavet med 60 polygoner med opp til 7 dybdelag og som er brukt av bl.a. Havforskningsinstituttet. NoBa inkluderer aldersoppløste komponenter for nøkkelarter i disse områdene, og hver av artene flytter seg rundt i området avhengig av gytemigrasjon og tilgang på mat (Ottersen et al., 2025b, 2025a; Sandø et al., 2022).

Dynamiske økosystemmodeller er designet for å synliggjøre ulike økosystemprosesser som er vanskelige å måle, og modeller er den eneste framgangsmåten vi har til å prøve å forutse effekter av klimaendringer og forvaltningsavgjørelser i fremtiden (Hjøllo et al., 2021). Slike modeller er ikke spesielt utbredt innenfor forvaltning generelt, i stor grad grunnet usikkerhet. Samtidig er usikkerhet et element av en hvilken som helst forvaltningsstrategi, også når empiriske observasjoner ligger til grunn. Det som er viktig er å forstå og kommunisere den tilhørende usikkerheten. En rekke modeller har blitt grundig testet gjennom sensitivitetsanalyser og validering de siste 30 årene og kan være verdifulle verktøy innenfor forvaltning. Modeller som integrerer både trofiske interaksjoner,

¹¹ <https://research.csiro.au/atlantis/>

¹² <https://imr.brage.unit.no/imr-xmlui/handle/11250/2637663>

hydrodynamiske og kjemiske modeller, og menneskelig påvirkning kan være spesielt nyttige (Hjøllo et al., 2021).

“... usikkerhet et element av en hvilken som helst forvaltningsstrategi, også når empiriske observasjoner ligger til grunn. Det som er viktig er å forstå og kommunisere den tilhørende usikkerheten.”

Hjøllo et al., 2021

Ecopath with Ecosim¹³ (EwE) er en gratis programvaresuite for økologisk og økosystembasert modellering. EwE består av tre hovedkomponenter: Ecopath, som gir et statisk, massebalansert øyeblikksbilde av økosystemet; Ecosim, et tidsdynamisk simuleringsverktøy for å utforske ulike forvaltnings- og politikkvalg; og Ecospace, en romlig og tidsmessig dynamisk modul utviklet for å analysere effekter av og optimal plassering av marine verneområder. Ecospace er en variant med romlige aspekter. Dette er et hyppig brukt modellsystem brukt blant annet til å teste ulike forvaltningsstrategier under klimascenarioer (Ofir et al., 2023), og er én av flere modeller i Hollowed et al. (2020) og Dahood et al. (2020a). EwE er brukt til å studere økosystemer i hele verden, fra å vurdere effekten av ulike scenarier for marine verneområder under ulike klima- og fiskeriforhold rundt den antarktiske halvøya (Dahood et al., 2020a), til å undersøke hvordan klimaendringer og menneskelig aktivitet påvirker fiskeriene på den israelske kontinentalsokkelen i det østlige Middelhavet (Ofir et al., 2023). Studier har fremhevet modellens evne til å fange opp trender i arters utbredelse og bestandsstørrelse, samt dens nytteverdi for å utforske ulike scenarier for marine verneområder. Den erkjenner likevel visse begrensninger, blant annet usikkerhet knyttet til framskriving av framtidig havisreduksjon (Dahood et al., 2020a).

4.2.3 Artsdistribusjonsmodeller

Økologisk nisjeteori -som beskriver de miljøforholdene en organisme er avhengig av for å overleve og reproducere - kan brukes i modeller for å forutsi hvordan arter vil respondere på framtidige miljøendringer ved å identifisere hvilke habitater de sannsynligvis vil bruke i framtiden. Slike framskrivninger er teorien bak *artsfordelingsmodeller* (Species Distribution Models, SDM) eller *bioklimatiske nisjemodeller* (Whitney et al., 2023). SDM-er kan deretter kobles til romlige beslutningsverktøy for å prioritere tiltak som beskytter framtidige habitatbehov og utvalgte arter.

¹³ <https://ecopath.org/>

Flere studier har brukt artsdistribusjonsmodeller (SDM-er) for å undersøke forventet forflytning av arter innenfor eksisterende eller planlagte verneområder (f.eks., Rubidge et al., 2024). SDM-er kan brukes til å eksplisitt teste fremtidige endringer i habitatets egnethet og selv om de var det mest brukte verktøyet for å innlemme klimaendringer i en global gjennomgang av romlige prioriteringsteknikker er det fortsatt relativt få studier som benytter SDM-er til å teste endringer i arters distribusjon som følge av klimaendringer innenfor rammen av design av marine bevaringsområder.

Egenskapsbaserte modeller («trait-based models») beskriver strukturen og funksjonen til økologiske samfunn (communities) ut fra organismenes egenskaper. Den egenskapsbaserte metoden er basert på det darwinistiske prinsippet om naturlig seleksjon, som hevder at individer optimaliserer sin kondisjon og ytelse ved å tilpasse seg miljøet. Overvåking av variasjoner i egenskaper (f.eks. målinger av morfologi, fysiologi og fenologi) i et økosystem er nyttig for å fange opp systemnivåresponsen på klimaendringer og muliggjør forbedrede forvaltningsråd. Størrelsesspektrummodeller er ett eksempel på at egenskapsbaserte modeller får større plass for å estimere påvirkningen av klimaendringer på bestandsproduktivitet (Ruiz-Díaz, 2023).

Konseptstudier har vist hvordan egenskapsbaserte, mekanistiske modeller for artsutbredelse av enkelt-arter (for eksempel europeisk ansjos) kan brukes til å utforske sårbarheten til marine arter for miljø- og klimaendringer, og produsere kvantitative resultater for å informere fiskeriforvaltningen (Mangano et al., 2020, 2019). Studiene påpeker at for å være effektive, må slike modeller baseres på høyt oppløste inputdata.

The Dynamic Energy Budget Model¹⁴ (DEB-modellen) beskriver hvordan organismer tar opp og bruker energi til vedlikehold, vekst og reproduksjon. Modellen bygger på kjente fysiologiske egenskaper for arten og viser hvordan energibruken påvirkes av miljøforhold som mattilgang og temperatur, samtidig som den tar hensyn til metabolske begrensninger (Mangano et al., 2023, 2020, 2019). Også Sarà et al., (2018) brukte DEB-modellen for å simulere effektene av klimaendringer på Middelhavs-havabbor (oppdrett) i kombinasjon med FiCIM¹⁵ (Fish Cage Integrated Model) for å simulere effekten på akkumulasjon av organisk materiale.

¹⁴ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304380020301782>

¹⁵ <https://www.int-res.com/abstracts/aei/v5/aei00093>

Spillteoribaserte tilnærminger kan bidra til å forstå endringen i migrasjonsveier for svært trekkende arter («highly migratory species»). En migrasjonsspillmodell har for eksempel blitt utviklet for tunfisk som fokuserer på migrasjonsdynamikk som fører til den "ideelle frie distribusjonsstrategien", som er den evolusjonære strategien for habitatvalg der arter distribueres over flere områder der konkurransen er minimert og «fitness» er maksimert (Ruiz-Díaz, 2023). Denne typen modell er ikke bare nyttig for å undersøke svært trekkende arter, men også distribusjonsendringene av grensekryssende og spredte populasjoner, siden den gir grunnlaget for en diskusjon om hvordan denne endringen påvirker internasjonale avtaler.

Eksempel: Kombinasjon av artsmodellering og beslutningsverktøy for å prioritere de mest virkningsfulle tiltakene for sjøfugl

Gee et al., (2024) brukte integrerte populasjonsmodeller for å vurdere hvilke områdebaserte forvaltningsverktøy (ABMT-er) som best kunne sikre overlevelsen til den kritisk truede sjøfuglen Kuaka (*Pelecanoides whenuahouensis*). Tilnærmingen kombinerte state-space Cormack–Jolly–Seber-modeller, generelle lineære blandede modeller og hierarkiske tellingsmodeller for å estimere vitale rater, bestandsstørrelse og framtidige bestandsutviklinger. Modellresultatene ble deretter brukt i en systematisk vurdering av ulike forvaltningstiltak, der usikkerhet i gjennomføring og etterlevelse ble håndtert gjennom beslutningstrær. Ekspertvurderinger av framtidige trusler og forventede tiltakseffekter ble integrert via beta-PERT-fordelinger, som omsetter ekspertanslag til sannsynlighetsfordelinger. Samlet ga dette et transparent og robust rammeverk som gjorde det mulig å sammenligne kostnadseffektivitet og bevaringsgevinster, og dermed prioritere de mest virkningsfulle tiltakene for Kuakabestanden.

På samme måte som klimamodellresultater samles og sammenlignes i CMIP, finnes også Fish-MIP¹⁶; *the Fisheries and Marine Ecosystem Model Intercomparison Project* som er et nettverk av mer enn 100 marine økosystemforskere og -modellerere fra hele verden (Bryndum-Buchholz et al., 2023). Prosjektet bruker en ensembletilnærming der resultater fra flere økosystemmodeller kombineres. Modellene drives med standardiserte inndata fra ulike jordsystemmodeller (ESM-er), samfunnsøkonomiske scenarioer (SSP-er) og forenklede fiskeriscenarioer. De marine

¹⁶ <https://fishmip.org/>

økosystemmodellene opererer både globalt og regionalt, og varierer i hvordan de representerer næringsnett og økosystemstruktur. Økosystemkomponenter beskrives gjennom størrelsesklasser, funksjonelle grupper, trofiske nettverk, artsgrupper eller livshistoriske stadier, mens koblingene mellom dem uttrykkes gjennom spise-nettverk, diettkomposisjon eller energioverføring, og en rekke simuleringer er tilgjengelig for nedlastning.

4.2.4 R-pakker og statistikk

Åpent tilgjengelige R-pakker og andre verktøy/metoder i grenseland mellom økologiske modeller og statistikk er ikke inkludert i Tabell A1, da det ikke er nødvendig med vurdering av tilgjengelighet. Disse kan likevel være nyttige å vite om og inkluderer for eksempel å bruke GIS-basert Bayesiansk nettverkstilnærminger (BN), som i Furlan et al., (2019), hvor metoden ble brukt for å undersøke klimaendringers virkninger og evaluere sannsynlighet og usikkerhet knyttet til kumulative påvirkninger i marine miljøer. Rammeverket fungerer som et beslutningsstøtteverktøy for å drive risikobasert marin forvaltning og beslutningstaking, samt fremme maritim arealplanlegging og klimatilpasning, ved å fremheve sentrale påvirkninger. Den statiske naturen til BN-modeller begrenser evnen til å representere mer komplekse interaksjoner og tidsmessige endringer i marine økosystemer. For å støtte mer adaptiv marin arealplanlegging og fange dynamiske spatio-temporale mønstre, er det nødvendig med fremtidige forbedringer, særlig gjennom utvikling av Dynamiske Bayesianske Nettverk (DBN-er) integrert med GIS (Furlan et al., 2019).

Andre har benyttet R-pakken MIZER¹⁷, blant annet som én av flere «økosystemmodeller» i Hollowed et al. (2020). Arafteh-Dalmau et al. (2021) brukte R-pakken VoCC¹⁸ for å beregne «climate velocity», som er en pakke for å kalkulere hastigheten til klimaendringer og relaterte måleenheter. De brukte også AquaMaps¹⁹ for utbredelsesdata.

¹⁷ <https://sizespectrum.org/mizer/>

¹⁸ <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13295>

¹⁹ <https://www.gbif.org/tool/81356/aquamaps-predicted-range-maps-for-aquatic-species>

Eksempel: Fire sammenkoblede sosial-økologiske modeller i Future Seas

I Future Seas-prosjektet ble forvaltningsstrategievaluering (MSE) brukt til å evaluere statiske og dynamiske romlige stengninger for å redusere bifangst i drivgarnsfisket etter sverdfisk (J.A. Smith et al., 2023). MSE brukes til å vurdere effektiviteten av ulike forvaltningsstrategier under skiftende forhold, som klimainduserte endringer i artenes utbredelse.

Gjennom kobling av klimaframskrivninger, økologiske og økonomiske modeller ble framtidige scenarioer analysert fram til 2100 for tre arter: stillehavssardin, sverdfisk og albakor-tunfisk. Modellene kombinerte kvantitative og kvalitative metoder for å evaluere forvaltningens effektivitet på tvers av økologiske, økonomiske og romlige dimensjoner. Den inkluderte også en modell for å simulere fiskeriinnsats og fiskernes respons på dynamiske stengninger. Metoden er en lukket simuleringssløyfe som inkluderer variasjon i både økologiske og forvaltningsmessige prosesser. Operasjonsmodeller beskriver de økologiske systemene (for eksempel fiskebestander), mens vurderingsmodeller simulerer menneskelige dimensjoner (som fiskeriatferd) og forvaltningsstrategier (for eksempel fangstkvoter). Dynamiske tilbakemeldingssløyfer mellom modellene gjør det mulig å justere strategier fortløpende.

Modeller for fiskeriatferd

Disse modellene simulerer hvordan fiskere tilpasser seg endrede miljøforhold og forvaltningsstrategier. I Future Seas-prosjektet ble fiskeriatferd integrert i MSE for sverdfisk, der en agentbasert modell ble brukt til å simulere fiskeriinnsats. Dette gjorde det mulig å undersøke hvordan fiskere kan tilpasse seg dynamiske stengninger og klimainduserte endringer i artenes utbredelse.

Modeller for sosial sårbarhet

Disse modellene vurderer hvor sårbare fiskerisamfunn er for klimaendringer, inkludert endringer i ressursfordeling og fiskeridynamikk. Modellene brukt til å analysere samfunnsengasjement og struktur i albakor-fiskeriet. Analysene identifiserte hvilke lokalsamfunn som er mest involvert i fiskeriet, og vurderte deres potensielle eksponering for klimainduserte endringer i fangst og utbredelse.

End-to-end-modeller

Disse modellene integrerer fysiske, økologiske og samfunnsøkonomiske komponenter for å gi et helhetlig bilde av klimaendringers konsekvenser for marine økosystemer og fiskerier. Disse ble brukt til å studere hvordan klimaendringer påvirker bestandsdynamikk og fangst av sardiner. Modellene inkluderte fysiske og biogeokjemiske havprognoser, økologiske prosesser (som gyting og beiteatferd) og sosioøkonomiske faktorer (som fiskeriinnsats og landinger på havner).

Disse fire modellene ble brukt komplementært i Future Seas-prosjektet for å dekke viktige kunnskapshull og utvikle mer klimaklare og helhetlige forvaltningsstrategier for fiskeriene i California Current System.

Eksempel på enklere tilnærming

Cisneros-Mata et al. (2019) brukte en «Pella-Tomlinson's surplus production model» kombinert med en økonomisk modell å projisere fremtidig biomasse, landinger og fortjeneste over tre tiår. Modellen predikerer biomasse ett år frem i tid om gangen, basert på fjorårets (t) biomasse, den årlige beskatningsgraden («annual harvest», beregnet som produktet av fiskeridødelighet og biomasse), en vekstparameter, «carrying capacity»/økosystemets bæreevne, og en variabel kalt «Pella-Tomlinson's shape parameter». Den økonomiske modellen er basert på beskatningsgrad, fartøykostnader, fiskeridødelighet og to kostandsparametere hvorav den ene reflekterer kostnader per innsatsenhet (CPUE). Klimaendringer inkluderes i modelleringen ved å endre verdiene for bæreevne og vekstparameteren basert på forventede endringer ifølge litteratur fra det relevante eller lignende økosystemer og/eller ekspertmeninger. Biologiske parametere ble bestemt ved hjelp av informasjon for de aktuelle artene når disse var tilgjengelige, eller for lignende arter fra andre regioner når lokale data ikke var tilgjengelige. Økonomiske parametere ble utviklet ved hjelp av offisiell fangststatistikk og prisinformasjon, samt estimerte kostnadsdata. Helhetlig er dette en tilnærming som er enklere / mindre dataintensiv enn økosystemmodellering som inkluderer klima-/jordsystemmodeller.

4.3 Evalueringsverktøy

Verktøy som brukes til å vurdere klimaeffekter på marine systemer og forvaltningsvalg varierer fra modeller for arealprioritering til rammeverk for strategitestning og indikatorer for klimarobusthet. Litteraturen viser et mangfold av tilnærminger som skiller seg i kompleksitet, formål og tilgjengelighet for forvaltningen.

Marxan er et åpent, fritt tilgjengelig program utviklet for å løse oppgaven med å utforme et sett av verneområder som dekker nødvendige naturverdier med minst mulig samlet areal og kostnad. Marxan har nesten 7000 brukere i snaut 200 land, og det foreligger derfor også en rekke opplærings- og hjelperessurser for å ta det i bruk (se <https://marxansolutions.org>).

Programmet bruker en optimaliseringsalgoritme som gjennom gjentatte beregninger finner løsninger som gir lavest mulig samfunnsøkonomisk kostnad samtidig som definerte mål for bevaring av arter og naturtyper oppfylles (Davies et al., 2016).



Figur 17: Eksempel på stegene i en Marxan-analyse, med utgangspunkt i Davies et al. (2016).

Whitney et al. (2023) beskriver hvordan artsfordelingsmodeller (SDM/bioklimatiske nisjemodeller) kan kobles til Marxan for å prioritere framtidige habitatbehov, mens Arafteh-Dalmau et al. (2021) og Davies et al. (2016) beskriver bruken av simuleringsalgoritmen (simulated annealing), måloppnåelse, kostlag og kompakthetskontroll. De beskriver blant annet en case fra Ningaloo Marine Park (Australia) som viser hvordan eksisterende nullfiskesoner kan justeres for å øke klimaresiliens gjennom utvidelse mot dypere vann og koblingskorridor mellom soner.

Zonation er et prioriteringsverktøy som identifiserer områder med høy betydning for bevaring av biologisk mangfold. Verktøyet kan integrere habitatkvalitet, økologisk konnektivitet, trusler, kostnader og arealstatus (Patrizzi and Dobrovolski, 2018). Zonation nevnes ellers i litteraturen som et alternativ eller tillegg til Marxan for romlig prioritering (Buenafe et al., 2023; Whitney et al., 2023).

Eksempel: Bruk av Zonation i kombinasjon med nisjemodeller

Patrizzi and Dobrovolski (2018) modellerte utbredelsen av truede sjøstjernearter i Brasil ved hjelp av økologiske nisjemodeller. Etter en faktoranalyse valgte de syv sentrale miljøvariabler og brukte Maxent v3.3.3 (en mye brukt algoritme for SDM) for å beregne habitat-egnethet basert på artsforekomster og miljødata. Disse modellene ble så brukt i Zonation 4.0 for å identifisere og rangere områder med høy bevaringsverdi. Forfatterne inkluderte også eksisterende verneområder og et kostnadslag basert på menneskelig påvirkning for å utvikle og sammenligne tre ulike forvaltningsscenarier. Studien understreker samtidig at nisjemodeller ikke tar høyde for biotiske interaksjoner, evolusjon eller spredning, noe som skaper usikkerhet i prediksjoner av framtidig utbredelse.

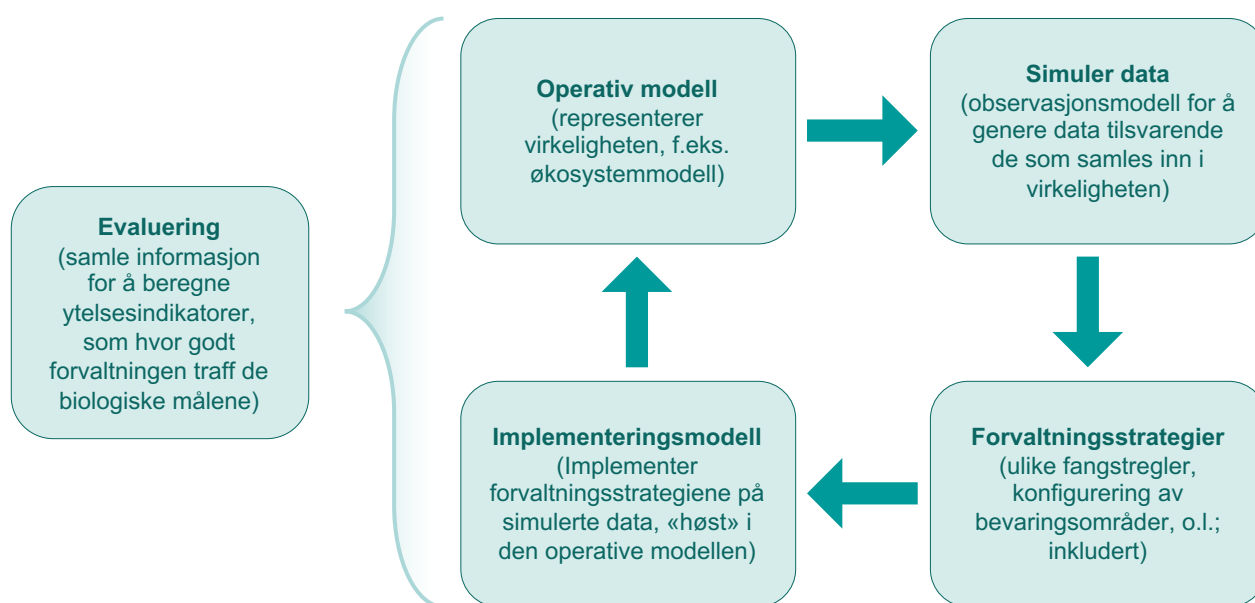
«Symphony» er en metode utviklet av Sveriges Havs- og vannmyndigheten (HaV) for å kvantifisere og sammenstille miljøbelastninger i marine økosystemer. Symphony har vært integrert i Sveriges nasjonale havplanlegging siden 2017 og har inngått i planleggings-, dialog- og evalueringsfasene.²⁰ Metoden muliggjør objektiv vurdering og sammenligning av kumulativ miljøpåvirkning mellom ulike havplanleggingsalternativer, og brukes som grunnlag for en økosystembasert tilnærming i planprosesser²¹. Wåhlström et al. (2022) benyttet Symphony-modellen i sine analyser og integrerte klimaeffekter ved å legge til endringer i temperatur, salinitet og havisdekke som nye påvirkningsfaktorer på lik linje med øvrige menneskeskapte belastninger. Klimadataene kom fra flere ensembler av globale klimamodeller, nedskalert med en regional atmosfære–hav-modell under RCP4.5- og RCP8.5-scenariene. Sensitivitetsverdier for klimarelaterte påvirkninger ble utviklet

²⁰ <https://www.havochvatten.se/planering-forvaltning-och-samverkan/havsplanering/svensk-havsplanering/havsplaneringsprocessen/atta-fram-planforslag/symphony---ett-planeringsverktyg-for-havsplanering.html>

²¹ https://www.havochvatten.se/download/18_52d593d41624ea1d549cfe1d/1708680065493/rapport-symphony-integrerat-planeringsstod-for-statlig-havsplanering-utifran-en-ekosystemansats.pdf

gjennom ekspertpaneler og Delphi-metoden. Dette gjorde det mulig å vurdere kumulative effekter av klimaendringer sammen med eksisterende påvirkninger på marine økosystemer.

Gjennomføring av MSE-analyser krever flere modeller og verktøy i grunnen, inkludert økosystemmodeller eller lignende som den operative modellen (Figur 18). Det er derfor ikke nødvendigvis et enkelt verktøy å ta i bruk. Samtidig er det utviklet flere R-pakker som kan bistå med gjennomføring, blant annet den mer generelle «openMSE»²² og mer case-spesifikke pakker som «groundfish-MSE» laget for evaluering av bunnfiskfiskerier i nordvest-Atlanteren²³ (Mazur et al., 2023). Gjennomføring av MSE vil først kreve en overveielse av ønsket operativ modell (f.eks. modell lagt til grunn for økosystembasert forvaltning), tilgjengelige data for parameterisering av ulike modeller (og derfor analysens kompleksitet), typen forvaltningsstrategier som skal evalueres og kriterier for måloppnåelse før det mulig å vurdere hvor vidt slike R-pakker kan benyttes for å forenkle prosessen.



Figur 18: Skisse av stegene i MSE-rammeverket. Forenklet fra Mazur et al. (2023) med prosessbeskrivelser fra Jacobsen et al. (2022) og informasjon om R-pakken openMSE (<https://openmse.com>).

En Pareto-analyse er et prioriteringsverktøy når det er mange og komplekse faktorer å ta hensyn til ved en prioritering eller rangering, som f.eks. ved valg av områder for prioritering av vern eller andre arealbaserte forvaltningsstrategier. En Pareto-analyse er en alternativ løsning til tradisjonell

²² <https://openmse.com>

²³ <https://github.com/lkerr/groundfish-MSE>

vektning av variabler/hensyn og innebærer bruk av flermåls-rangering og vurdering av alle variablene og deres avveininger eksplisitt. En vurderer avveiningen mellom hvert par av variabler, identifiserer Pareto-grensen (f.eks. et sett med gjennomførbare verdier som gir gode løsninger for alle variabler), og rangerer deretter steder etter deres nærhet til Pareto-grensen (Chollett et al., 2022).

DPSIR-rammeverket (Driver–Pressure–State–Impact–Response)²⁴ brukes for å identifisere miljøpåvirkninger i et område (Azevedo et al., 2024; Furlan et al., 2019; Rettig et al., 2023). Det kan blant annet brukes til å identifisere hva som kan reguleres lokalt og hva som må reguleres på regionalt, nasjonalt og internasjonalt nivå (Rettig et al., 2023), og det kan også muliggjøre valg av områder for f.eks. vern som har mindre belastning totalt.

Klimarobusthetsindeksen (CRI)²⁵ er et verktøy som brukes til å vurdere i hvilken grad overvåkningsplaner for marine verneområder (MPA) tar hensyn til klimaendringenes påvirkning gjennom analyse, planlegging og overvåking (Bryce and Hunter, 2024). Indeksen vurderer klimarobustheten basert på 12 spørsmål som dekker sentrale aspekter ved klimatilpasning og adaptiv forvaltning. CRI gir poeng til planene ut fra om de omtaler klimaendringenes effekter, har mål og strategier knyttet til klima, forplikter seg til overvåking og tilpasning, beskriver basisforhold og indikatorer, setter mål og terskelverdier, og viser samarbeid med eksterne aktører. Hver plan får en poengsum fra 0 til 28, der høyere poengsum viser større klimarobusthet. Studien bruker CRI til å avdekke styrker og svakheter i planene og foreslå forbedringer for bedre klimatilpasning og motstandskraft (Bryce and Hunter, 2024).

Som del av økosystembasert forvaltning omtaler Ruiz-Díaz (2023) indikatorer for å fange begynnende regimeskift. Eksempler inkluderer STARS (Sequential t-test Analysis of Regime Shifts; R-pakken *rshift*) og «shiftograms» (illustrative diagnostikkmetoder). Slike verktøy kan peke på strukturelle endringer i tidsserier og brukes som tidlig varsling.

²⁴ <https://www.eionet.europa.eu/gemet/no/concept/15365>

²⁵ <https://www.frontiersin.org/journals/marine-science/articles/10.3389/fmars.2021.711085/full>

5. SYNTSEFUNN OG ANBEFALINGER TIL NORSK FORVALTNING

Litteraturstudien avdekket en relativt stor mengde studier som indikerer at det skjer en del forskning på feltet internasjonalt, spesielt i USA (både på tareskog og fiskerier) og Australia (hovedsakelig korallrev). Samtidig har det vært gjennomført lite forskning som konkret kobler klima og arealbasert forvaltning i norske havområder. Her har det meste av forskningen fokusert på testing, modellutvikling og eksperimentering, men lite på implementering og håndtering i forvaltning som er det neste steget.

Tross relativt lite litteratur fra norske og omkringliggende havområder, er de få tilgjengelige anbefalingene i tråd med de overordnede syntesefunnene og anbefalinger for andre havområder og økosystem. Grovt oppsummert kreves det romlige analyser, scenariobaserte vurderinger og testing av forvaltningsstrategier for å forstå klimaendringers effekter, samt adaptiv og fleksibel forvaltning for å tilpasse seg dem. Faste langsiktige forvaltningsstrategier kan gi en grad av forutsigbarhet og er også viktige for å tillate nok tid til å se effekter av tiltak (f.eks. marine bevaringsområder); samtidig er det nødvendig å inkludere et minimum av adaptive og dynamiske tilpasninger for å reagere på pågående endringer. Adaptive justeringer må baseres på overvåking av ulike indikatorer hvor terskelverdier som trigger en endring fastsettes på forhånd og revurderes jevnlig med ny kunnskap.

Adaptiv forvaltning kan komme i konflikt med andre politiske mål, så dette må tas hensyn til i et helhetlig perspektiv. En økosystembasert tilnærming hvor også sosioøkonomiske hensyn integreres er jevnt over anbefalt som den mest robuste tilnærmingen til forvaltning av miljøverdier under klimaendringer. Dette inkluderer marint vern med ideelt sett nullfiskeområder, og med spesielt fokus på vern av klimarefugier, områder med forventet positiv endring, korridorer for forflytning, og opprettholdelse av konnektivitet. Spesifikke fangstregler og konfigurering av bevaringsområder bør undersøkes gjennom en forvaltningsstrategievaluering (MSE). Slike analyser er et bindeledd mellom klimaprognoser, økosystemmodeller og forvaltningsstrategier og nødvendig for å minske gapet mellom modelltesting og faktisk operasjonell forvaltning.

Det fins i dag et ubegrenset bredt spekter av modeller og -koblinger som har vist at de kan beskrive globale så vel som regionale klimaendringer, økosystemprosesser og -responser og peke på fremtidige utfordringer for økosystemer og miljøverdier. Utfordringen ligger i å avgjøre hvordan

disse modellene kan tas i bruk av forvaltningen. Dette krever valg om hvilke modeller som burde benyttes, hvordan usikkerhet omkring modellresultater skal håndteres og hvordan modellresultatene kan brukes til å ta konkrete beslutninger om arealbruk, klimatilpasning og vern.

Det er gjort mye avansert både klima- og økosystemmodellering i norske havområder. Det er tatt i bruk globale klimamodeller og globale klimadatasett og gjort regionale nedskaleringer skreddersydd til norske og nordiske forhold, som igjen er koblet til state-of-the-art økosystemmodellering for å undersøke arts- og område-spesifikke effekter av klimaendringene for å tilrettelegge for god og kunnskapsbasert forvaltning.

Studiene i litteraturanalsen viser at modellene kan bidra med å identifisere regionspesifikke klimaendringer og hvordan disse påvirker økosystemer og nøkkelarter, samt å kartlegge både klimarefugier og områder med særlig høyt klimapress. Det inkluderer også analyser av korridorer og økologisk sammenheng mellom vernede områder og økosystemer, for å forstå hvordan arter kan forflytte seg under endrede miljøforhold. På bakgrunn av dette vurderes hvilke områder som er spesielt godt egnet for vern eller etablering av nullfiskeområder.

Når det gjelder å ta i bruk avanserte modellverktøy så krever det faglig spisskompetanse og store dataressurser, og er arbeid forbeholdt spesielle fagmiljøer. Mange studier har også benyttet seg av datasett som er gjort åpent tilgjengelig gjennom diverse lokale eller internasjonale initiativer, som har vist seg svært nyttige for undersøkelser relatert til forvaltning.

De neste stegene i utviklingen av arealbasert forvaltning under klimaendringer i norske havområder bør, for å være i tråd med generelle anbefalinger fra litteraturen, være å benytte etablerte klima- og økosystemmodeller til:

- (1) Kartlegging av størrelsesorden og tempo for pågående og fremtidige forventede endringer for å identifisere klimarefugier (mindre eller saktere endringer), «hotspots» (største eller raskeste endringer), «bright spots» (endringer forekommer, men flere er positive) og konnektivitets-korridorer. Dette er nødvendig for å informere romlig planlegging og prioritering for arealbasert forvaltning. I første omgang kan analyser gjøres kun basert på klimaprognoser. Deretter benytt ulike artsfordelings- og økosystemmodeller og kjør disse med ulike klimascenarier for ytterligere data for identifisering av mulige refugier, «hotspots» og «bright spots».

- (2) Identifisering av relevante økosystembaserte indikatorer og terskel- og referanseverdier av disse som bør trigge en justering i forvaltning.
- (3) Testing av ulike økosystembaserte forvaltningsstrategier i et MSE-rammeverk før verktøy settes i praktisk bruk. Evalueringen bør inkludere ulike fangstregler og konfigurering og regulering av marine bevaringsområder, samt triggere for adaptive tilpasninger. Mulige figureringer av bevaringsnettverk kan identifiseres ved hjelp av blant annet Marxan eller Zonation. Formålet med gjennomføring av MSE er å forbedre kunnskapsgrunnlaget for avgjørelser.

Oppsummerte anbefalinger

Oppsummert er anbefalingene fra litteraturen at det på kort sikt jobbes for å identifisere klimarefugier, «hotspots», «bright spots» og korridorer for forflytning og konnektivitet. På mellomlang sikt anbefales det å gjennomføre testing og risikoevaluering av økosystembaserte forvaltningsstrategier, inkludert konfigurering og regulering av bevaringsområder, innenfor et MSE-rammeverk. Det er også nødvendig å definere forvaltningsmål, indikatorer og terskelverdier for re-evaluering og justeringer i forvaltning. På lang sikt anbefales det å gå over til økosystembasert forvaltning som inkluderer en kombinasjon av fangstreguleringer og bevaringsområder med tiltak og planer med planlagte re-evalueringer og justeringer i ulike tidsskala, samt iverksetting av nødvendig overvåking for å informere adaptive justeringer.

LITTERATURLISTE

- Arafeh-Dalmau, N., Brito-Morales, I., Schoeman, D.S., Possingham, H.P., Klein, C.J., Richardson, A.J., 2021. Incorporating climate velocity into the design of climate-smart networks of marine protected areas. *Methods in Ecology and Evolution* 12, 1969–1983. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13675>
- Arafeh-Dalmau, N., Munguia-Vega, A., Micheli, F., Vilalta-Navas, A., Villaseñor-Derbez, J.C., Précoma-de la Mora, M., Schoeman, D.S., Medellín-Ortiz, A., Cavanaugh, K.C., Sosa-Nishizaki, O., Burnham, T.L.U., Knight, C.J., Woodson, C.B., Abas, M., Abadía-Cardoso, A., Aburto-Oropeza, O., Esgro, M.W., Espinosa-Andrade, N., Beas-Luna, R., Cardenas, N., Carr, M.H., Dale, K.E., Cisneros-Soberanis, F., Flores-Morales, A.L., Fulton, S., García-Rodríguez, E., Giron-Nava, A., Gleason, M.G., Green, A.L., Hernández-Velasco, A., Ibarra-Macías, B., Johnson, A.F., Lorda, J., Malpica-Cruz, L., Montañón-Moctezuma, G., Olguín-Jacobson, C., Parés-Sierra, A., Raimondi, P.T., Ramírez-Ortiz, G., Ramírez-Valdez, A., Reyes-Bonilla, H., Saarman, E., Saldaña-Ruiz, L.E., Smith, A., Soldatini, C., Suárez, A., Torres-Moye, G., Walther, M., Watson, E.B., Worden, S., Possingham, H.P., 2023. Integrating climate adaptation and transboundary management: Guidelines for designing climate-smart marine protected areas. *One Earth* 6, 1523–1541. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2023.10.002>
- Azevedo, A., Guerra, A., Martins, I., 2024. Seamounts ecological modelling: A comprehensive review and assessment of modelling suitability to emergent challenges. *Ocean and Coastal Management* 251. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2024.107050>
- Barausse, A., Meulenber, C., Occhipinti, I., Abordi, M., Endrizzi, L., Guadagnin, G., Piron, M., Visintin, F., Vižintin, L., Manzardo, A., 2022. A Methodological Proposal for the Climate Change Risk Assessment of Coastal Habitats Based on the Evaluation of Ecosystem Services: Lessons Learnt from the INTERREG Project ECO-SMART. *Sustainability* 14, 7567. <https://doi.org/10.3390/su14137567>
- Barbeaux, S.J., Holsman, K., Zador, S., 2020. Marine Heatwave Stress Test of Ecosystem-Based Fisheries Management in the Gulf of Alaska Pacific Cod Fishery. *Front. Mar. Sci.* 7, 703. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00703>
- Bryce, K., Hunter, K.L., 2024. Enhancing climate change planning and adaptive management in marine protected areas through targets, thresholds, and social-ecological objectives. *Front. Mar. Sci.* 11, 1339871. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1339871>
- Bryndum-Buchholz, A., Blanchard, J.L., Coll, M., Du Pontavice, H., Everett, J.D., Guet, J., Heneghan, R.F., Maury, O., Novaglio, C., Palacios-Abrantes, J., Petrik, C.M., Tittensor, D.P., Lotze, H.K., 2023. Applying ensemble ecosystem model projections to future-proof marine conservation planning in the Northwest Atlantic Ocean. *Facets* 8, 1–16. <https://doi.org/10.1139/facets-2023-0024>
- Buenafe, K.C.V., Dunn, D.C., Everett, J.D., Brito-Morales, I., Schoeman, D.S., Hanson, J.O., Dabalà, A., Neubert, S., Cannicci, S., Kaschner, K., Richardson, A.J., 2023. A metric-based framework for climate-smart conservation planning. *Ecological Applications* 33, e2852. <https://doi.org/10.1002/eap.2852>
- Cashion, T., Nguyen, T., Ten Brink, T., Mook, A., Palacios-Abrantes, J., Roberts, S.M., 2020. Shifting seas, shifting boundaries: Dynamic marine protected area designs for a changing climate. *PLoS ONE* 15, e0241771. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241771>
- Champion, C., Lawson, J.R., Whiteway, T., Coleman, M.A., 2024. Exposure of marine protected areas to future ocean warming: Indices to guide climate adaptation planning. *Ocean and Coastal Management* 254. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2024.107143>
- Cheripka, A.M., Borrett, S.R., White, J.W., 2025. Managing range-shifting, competing species in marine reserve networks: the importance of reserve configuration and transient dynamics in age-structured populations. *Theor. Ecol.* 18, 4. <https://doi.org/10.1007/s12080-024-00601-8>
- Cheung, W.W.L., Palacios-Abrantes, J., Roberts, S.M., 2024. Projecting contributions of marine protected areas to rebuild fish stocks under climate change. *NPJ Ocean Sustainability* 3. <https://doi.org/10.1038/s44183-024-00046-w>
- Chollett, I., Escovar-Fadul, X., Schill, S.R., Croquer, A., Dixon, A.M., Beger, M., Shaver, E., Pietsch McNulty, V., Wolff, N.H., 2022. Planning for resilience: Incorporating scenario and model uncertainty and trade-offs when prioritizing management of climate refugia. *Global Change Biology* 28, 4054–4068. <https://doi.org/10.1111/gcb.16167>
- Cisneros-Mata, M.A., Mangin, T., Bone, J., Rodriguez, L., Smith, S.L., Gaines, S.D., 2019. Fisheries governance in the face of climate change: Assessment of policy reform implications for Mexican fisheries. *PLoS ONE* 14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222317>
- Contamin, R., Ellison, A.M., 2009. Indicators of regime shifts in ecological systems: What do we need to know and when do we need to know it. *Ecological Applications* 19, 799–816. <https://doi.org/10.1890/08-0109.1>
- Corelli, V., Boerder, K., Hunter, K.L., Lavoie, I., Tittensor, D.P., 2024. The biodiversity adaptation gap: Management actions for marine protected areas in the face of climate change. *Conservation Letters* 17, e13003. <https://doi.org/10.1111/conl.13003>
- Cubillo, A.M., Ferreira, J.G., Lencart-Silva, J., Taylor, N.G.H., Kennerley, A., Guider, J., Kay, S., Kamermans, P., 2021. Direct effects of climate change on productivity of European aquaculture. *Aquacult. Int* 29, 1561–1590. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00694-6>
- Dahood, A., De Mutsert, K., Watters, G.M., 2020a. Evaluating Antarctic marine protected area scenarios using a dynamic food web model. *Biological Conservation* 251, 108766. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108766>
- Dahood, A., Klein, E.S., Watters, G.M., 2020b. Planning for success: Leveraging two ecosystem models to support development of an Antarctic marine protected area. *Marine Policy* 121, 104109. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104109>
- Davies, H.N., Beckley, L.E., Kobryn, H.T., Lombard, A.T., Radford, B., Heyward, A., 2016. Integrating climate change resilience features into the incremental refinement of an existing marine park. *PLoS ONE* 11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161094>
- Defeo, O., Franco, B.C., Piola, A.R., Buratti, C.C., Cardoso, L.G., Cortés, F., Gianelli, I., Giorgini, M., Jorge-Romero, G., Lercari, D., Meerhoff, E., Ortega, L., Perez, J.A.A., Prandoni, N., Sant'Ana, R., 2025. Facing oceanographic, fisheries, and governance hotspots: Scientific evidence and policy implications from the southwest South Atlantic Ocean. *Marine Policy* 173. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2024.106584>
- Eriksen, E., Meeren, G.I. van der, Nilsen, B.M., Quillfeldt, C.H. von, Johnsen, H., 2021. Særlig verdifulle og sårbare områder (SVO) i norske havområder - Miljøverdi (No. 2021–26), Rapport fra havforskningen. Havforskningsinstituttet.
- Frid, O., Malamud, S., Di Franco, A., Guidetti, P., Azzurro, E., Claudet, J., Micheli, F., Yahel, R., Sala, E., Belmaker, J., 2023. Marine protected areas' positive effect on fish biomass persists across the steep climatic gradient of the Mediterranean Sea. *Journal of Applied Ecology* 60, 638–649. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14352>
- Fuchs, G., Kroos, F., Scherer, C., Seifert, M., Stelljes, N., 2025. Exploring marine conservation and climate adaptation synergies and strategies in European seas as an emerging nexus: a review. *Frontiers in Marine Science* Volume 12-2025.
- Furlan, E., Torresan, S., Critto, A., Lovato, T., Solidoro, C., Lazzari, P., Marcomini, A., 2019. Cumulative Impact Index for the Adriatic Sea: Accounting for interactions among climate and anthropogenic pressures. *Science of The Total Environment* 670, 379–397. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.021>
- Giffin, A.L., Tulloch, V.J.D., Andradi-Brown, D.A., Connolly, R.M., Malani-Tagicakibau, U., Areki, F., Brown, C.J., 2025. Incorporating cyclone risk in the design of marine protected and conserved areas as an ecosystem-based adaptation approach. *Conservation Biology* 39, e14437. <https://doi.org/10.1111/cobi.14437>
- Gissi, E., Fraschetti, S., Micheli, F., 2019. Incorporating change in marine spatial planning: A review. *Environmental Science & Policy* 92, 191–200. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.12.002>
- Hansen, C., Johanna Myrseth Aarflot, Elena Eriksen, Berengere Husson, Per Fauchald, Geir Odd Johansen, Lis lindal Jørgensen, Gro van der Meeren, Nina Mikkelsen, Geir Ottersen, Cecilie H. von Quillfeldt, Mette Skern-Mauritzen, 2022a. Samlet påvirkning i foreslåtte særlig verdifulle og sårbare områder i norske havområder (No. 2022–46), Rapport fra havforskningen. Havforskningsinstituttet.

- Hansen, C., Solfrid Sætre Hjøllø, Geir Ottersen, Mette Skern-Mauritzen, 2022b. MILJØVERDIERS SÅRBARHET I NORSKE HAVOMRÅDER (No. 2022–33), Rapport fra havforskningen. Havforskningsinstituttet.
- Hausner, A., Samhouri, J.F., Hazen, E.L., Delgerjargal, D., Abrahms, B., 2021. Dynamic strategies offer potential to reduce lethal ship collisions with large whales under changing climate conditions. *Marine Policy* 130. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104565>
- Hjøllø, S., Van Leeuwen, S., Maar, M., 2021. Marine research and management topics addressed by process-based ecosystem models. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 680, 1–6. <https://doi.org/10.3354/meps13963>
- Hollowed, A.B., Holsman, K.K., Haynie, A.C., Hermann, A.J., Punt, A.E., Aydin, K., Ianelli, J.N., Kasperski, S., Cheng, W., Faig, A., Kearney, K.A., Reum, J.C.P., Spencer, P., Spies, I., Stockhausen, W., Szuwalski, C.S., Whitehouse, G.A., Wilderbuer, T.K., 2020. Integrated Modeling to Evaluate Climate Change Impacts on Coupled Social-Ecological Systems in Alaska. *Front. Mar. Sci.* 6, 775. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00775>
- Holsman, K.K., Hazen, E.L., Haynie, A., Gourguet, S., Hollowed, A., Bograd, S.J., Samhouri, J.F., Aydin, K., 2019. Towards climate resiliency in fisheries management. *ICES Journal of Marine Science* 76, 1368–1378. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsz031>
- Hopkins, C.R., Bailey, D.M., Potts, T., 2016. Perceptions of practitioners: Managing marine protected areas for climate change resilience. *Ocean and Coastal Management* 128, 18–28. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.04.014>
- Iacarella, J.C., Lyons, D.A., Burke, L., Davidson, I.C., Theriault, T.W., Dunham, A., DiBacco, C., 2020. Climate change and vessel traffic create networks of invasion in marine protected areas. *Journal of Applied Ecology* 57, 1793–1805. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13652>
- IPCC, 2019. Summary for Policymakers, in: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–35.
- Jacobsen, N.S., Marshall, K.N., Berger, A.M., Grandin, C., Taylor, I.G., 2022. Climate-mediated stock redistribution causes increased risk and challenges for fisheries management. *ICES Journal of Marine Science* 79, 1120–1132. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsac029>
- Jacquemont, J., Blasiak, R., Le Cam, C., Le Gouellec, M., Claudet, J., 2022. Ocean conservation boosts climate change mitigation and adaptation. *One Earth* 5, 1126–1138. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.09.002>
- Klein, E.S., Watters, K.M., 2020. Comparing feedback and spatial approaches to advance ecosystem-based fisheries management in a changing Antarctic. *PLoS ONE* 15, e0231954. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231954>
- Koenigstein, S., Ruth, M., Gößling-Reisemann, S., 2016. Stakeholder-Informed Ecosystem Modeling of Ocean Warming and Acidification Impacts in the Barents Sea Region. *Front. Mar. Sci.* 3. <https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00093>
- Koubrak, O., VanderZwaag, D.L., 2020. Are transboundary fisheries management arrangements in the Northwest Atlantic and North Pacific seaworthy in a changing ocean? *E&S* 25, art42. <https://doi.org/10.5751/ES-11835-250442>
- Kyprioti, A., Almpandou, V., Chatzimentor, A., Katsanevakis, S., Mazaris, A.D., 2021. Is the current Mediterranean network of marine protected areas resilient to climate change? *Science of the Total Environment* 792. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148397>
- Lewis, S.A., Stortini, C.H., Boyce, D.G., Stanley, R.R.E., 2023. Climate change, species thermal emergence, and conservation design: a case study in the Canadian Northwest Atlantic. *FACETS* 8, 1–16. <https://doi.org/10.1139/facets-2022-0191>
- Link, J.S., Watson, R.A., 2019. Global ecosystem overfishing: Clear delineation within real limits to production. *Sci. Adv.* 5, eaav0474. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aav0474>
- Lopazanski, C., Foshay, B., Couture, J.L., Wagner, D., Hannah, L., Pidgeon, E., Bradley, D., 2023. Principles for climate resilience are prevalent in marine protected area management plans. *Conservation Letters*. 16, e12972. <https://doi.org/10.1111/conl.12972>
- Mangano, M.C., Corbari, L., Giacoletti, A., Berlino, M., Kay, S., Ciraolo, G., Sarà, G., 2023. Planning precision aquaculture activities in a changing and crowded sea. *Aquaculture* 577, 739881. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739881>
- Mangano, M.C., Giacoletti, A., Sarà, G., 2019. Dynamic Energy Budget provides mechanistic derived quantities to implement the ecosystem based management approach. *Journal of Sea Research* 143, 272–279. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2018.05.009>
- Mangano, M.C., Mieszkowska, N., Helmuth, B., Domingos, T., Sousa, T., Baiaomonte, G., Bazan, G., Cuttitta, A., Fiorentino, F., Giacoletti, A., Johnson, M., Lucido, G.D., Marcelli, M., Martellucci, R., Mirto, S., Patti, B., Pranovi, F., Williams, G.A., Sarà, G., 2020. Moving Toward a Strategy for Addressing Climate Displacement of Marine Resources: A Proof-of-Concept. *Frontiers in Marine Science* Volume 7-2020.
- Marzloff, M.P., Melbourne-Thomas, J., Hamon, K.G., Hoshino, E., Jennings, S., Van Putten, I.E., Pecl, G.T., 2016. Modelling marine community responses to climate-driven species redistribution to guide monitoring and adaptive ecosystem-based management. *Global Change Biology* 22, 2462–2474. <https://doi.org/10.1111/gcb.13285>
- Mazaris, A.D., Dimitriadis, C., Papazekou, M., Schofield, G., Doxa, A., Chatzimentor, A., Turkozian, O., Katsanevakis, S., Lioliou, A., Abalo-Morla, S., Aksissou, M., Arcangeli, A., Attard, V., El Hili, H.A., Atzori, F., Belda, E.J., Ben Nakhla, L., Berbash, A.A., Bjorndal, K.A., Broderick, A.C., Camifias, J.A., Candan, O., Cardona, L., Cetkovic, I., Dakik, N., De Lucia, G.A., Dimitrakopoulos, P.G., Diraq, S., Favilli, C., Fortuna, C.M., Fuller, W.J., Gallon, S., Hamza, A., Jribi, I., Ben Ismail, M., Kamarianakis, Y., Kaska, Y., Korro, K., Koutsoubas, D., Lauriano, G., Lazar, B., March, D., Marco, A., Minotou, C., Monsinjon, J.R., Naguib, N.M., Palialexis, A., Piroli, V., Sami, K., Sönmez, B., Sourbès, L., Sözbilen, D., Vandepierre, F., Vignes, P., Xanthakis, M., Köpsel, V., Peck, M.A., 2023. Priorities for Mediterranean marine turtle conservation and management in the face of climate change. *Journal of Environmental Management* 339, 117805. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117805>
- Mazur, M.D., Jesse, J., Cadrin, S.X., Truesdell, S.B., Kerr, L., 2023. Consequences of ignoring climate impacts on New England groundfish stock assessment and management. *Fisheries Research* 262, 106652. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2023.106652>
- Merino, G., Arrizabalaga, H., Arregui, I., Santiago, J., Murua, H., Urtizberea, A., Andonegi, E., De Bruyn, P., Kell, L.T., 2019. Adaptation of North Atlantic Albacore Fishery to Climate Change: Yet Another Potential Benefit of Harvest Control Rules. *Front. Mar. Sci.* 6, 620. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00620>
- Moher, D., Shamseer, L., Clarke, M., Ghersi, D., Liberati, A., Petticrew, M., Shekelle, P., Stewart, L.A., 2015. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Syst Rev* 4, 1. <https://doi.org/10.1186/2046-4053-4-1>
- Ofir, E., Corrales, X., Coll, M., Heymans, J.J., Goren, M., Steenbeek, J., Amitai, Y., Shachar, N., Gal, G., 2023. Evaluation of fisheries management policies in the alien species-rich Eastern Mediterranean under climate change. *Front. Mar. Sci.* 10, 1155480. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1155480>
- Ogier, E., Jennings, S., Fowler, A., Frusher, S., Gardner, C., Hamer, P., Hobday, A.J., Linanne, A., Mayfield, S., Mundy, C., Sullivan, A., Tuck, G., Ward, T., Pecl, G., 2020. Responding to Climate Change: Participatory Evaluation of Adaptation Options for Key Marine Fisheries in Australia's South East. *Front. Mar. Sci.* 7, 97. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00097>
- Olsen, E., Kaplan, I.C., Ainsworth, C., Fay, G., Gaichas, S., Gamble, R., Girardin, R., Eide, C.H., Ihde, T.F., Morzaria-Luna, H.N., Johnson, K.F., Savina-Rolland, M., Townsend, H., Weijerman, M., Fulton, E.A., Link, J.S., 2018. Ocean futures under ocean acidification, marine protection, and changing fishing pressures explored using a worldwide suite of ecosystem models. *Frontiers in Marine Science* 5. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00064>
- O'Regan, S.M., Archer, S.K., Friesen, S.K., Hunter, K.L., 2021. A Global Assessment of Climate Change Adaptation in Marine Protected Area Management Plans. *Front. Mar. Sci.* 8, 711085. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.711085>
- Ottersen, G., Arneborg, L., Maar, M., Almroth-Rosell, E., Fredriksson, S., Gonzalez, S., Hansen, C., Hieronymus, M., Hordoir, R., Janus, J., Liu, Y., Nilsen, I., Sando, A.B., Saraiva, S., Schourup-Kristensen, V., Skogen, M.D., 2025a. Effects of climate change on future environment and marine life in the Nordic sea areas, TemaNord. Nordic Council of Ministers. <https://doi.org/10.6027/temanord2025-527>

- Ottersen, G., Blenckner, T., Hátún, H., Maar, M., Niiranen, S., Schourup-Kristensen, V., Yletyinen, J., 2025b. Nordic Marine Ecosystems in a Changing Climate (No. 2025:541), TemaNord.
- Ottersen, G., Børshheim, K.Y., Arneborg, L., Maar, M., Rosell, V.S.-K. (AaU), Elin Almroth, Hieronymus, M., 2023. Observed and expected future impacts of climate change on marine environment and ecosystems in the Nordic region.
- Palmer, S.C.J., Barillé, L., Kay, S., Ciavatta, S., Buck, B., Gernez, P., 2021. Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) growth modelling and indicators for offshore aquaculture in Europe under climate change uncertainty. *Aquaculture* 532. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736116>
- Parmesan, C., Yohe, G., 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421, 37–42. <https://doi.org/10.1038/nature01286>
- Patrizzi, N.S., Dobrovolski, R., 2018. Integrating climate change and human impacts into marine spatial planning: A case study of threatened starfish species in Brazil. *Ocean and Coastal Management* 161, 177–188. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.05.003>
- Pentz, B., Klenk, N., Ogle, S., Fisher, J.A.D., 2018. Can regional fisheries management organizations (RFMOs) manage resources effectively during climate change? *Marine Policy* 92, 13–20. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.01.011>
- Plagányi, É.E., Hobday, A.J., 2015. Using marine models to road-test climate-smart management responses and strategies and prepare decision makers. Presented at the Proceedings - 21st International Congress on Modelling and Simulation, MODSIM 2015, pp. 1483–1489.
- Priyanto, A.T., 2020. Integrating coral reef ecosystem services into marine planning (PhD Thesis). The University of Queensland. <https://doi.org/10.14264/87131cd>
- Queirós, A.M., Huebert, K.B., Keyl, F., Fernandes, J.A., Stolte, W., Maar, M., Kay, S., Jones, M.C., Hamon, K.G., Hendriksen, G., Vermard, Y., Marchal, P., Teal, L.R., Somerfield, P.J., Austen, M.C., Barange, M., Sell, A.F., Allen, I., Peck, M.A., 2016. Solutions for ecosystem-level protection of ocean systems under climate change. *Global Change Biology* 22, 3927–3936. <https://doi.org/10.1111/gcb.13423>
- Queirós, A.M., Talbot, E., Beaumont, N.J., Somerfield, P.J., Kay, S., Pascoe, C., Dedman, S., Fernandes, J.A., Jueterbock, A., Miller, P.I., Sailley, S.F., Sará, G., Carr, L.M., Austen, M.C., Widdicombe, S., Rilov, G., Levin, L.A., Hull, S.C., Walmsley, S.F., Nic Aonghusa, C., 2021. Bright spots as climate-smart marine spatial planning tools for conservation and blue growth. *Global Change Biology* 27, 5514–5531. <https://doi.org/10.1111/gcb.15827>
- Rettig, K., Hansen, A.S., Obst, M., Hering, D., Feld, C.K., 2023. A bayesian network to inform the management of key species in Kosterhavet National Park under contrasting storylines of environmental change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 280. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2022.108158>
- Reum, J.C.P., McDonald, P.S., Long, W.C., Holsman, K.K., Divine, L., Armstrong, D., Armstrong, J., 2020. Rapid assessment of management options for promoting stock rebuilding in data-poor species under climate change. *Conservation Biology* 34, 611–621. <https://doi.org/10.1111/cobi.13427>
- Rubidge, E.M., Robb, C.K., Thompson, P.L., McDougall, C., Bodtke, K.M., Gale, K.S.P., Ban, S., Tayler Brown, K.H., Sahanatien, V., Ouchi, S., Friesen, S.K., Ban, N.C., Hunter, K.L., Pena, A., Holdsworth, A., Martone, R., 2024. Evaluating the design of the first marine protected area network in Pacific Canada under a changing climate. *FACETS* 9, 1–18. <https://doi.org/10.1139/facets-2023-0126>
- Ruiz-Díaz, R., 2023. Using an EBFM lens to guide the management of marine biological resources under changing conditions. *Fish and Fisheries* 24, 199–211. <https://doi.org/10.1111/faf.12719>
- Saba, V., Borggaard, D., Caracappa, J.C., Christopher Chambers, R., Clay, P.M., Colburn, L.L., Deroba, J., DePiper, G., du Pontavice, H., Fratantoni, P., Ferguson, M., Gaichas, S., Hayes, S., Hyde, K., Johnson, M., Kocik, J., Keane, E., Kircheis, D., Large, S., Lipsky, A., Lucey, S., Mercer, A., Mesek, S., Miller, T.J., Morse, R., Orphanides, C., Reichert-Nguyen, J., Richardson, D., Smith, J., Vogel, R., Vogt, B., Wikfors, G., 2023. NOAA fisheries research geared towards climate-ready living marine resource management in the northeast United States. *PLOS Climate* 2. <https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000323>
- Sandø, A.B., Solfrid Sætre Hjøllø, Cecilie Hansen, Morten D Skogen, Robinson Hordoir og Svein Sundby, 2022. Risikoanalyse for de norske havområdene om direkte og indirekte virkninger av klimaendringer på marine økosystemer under ulike utslippsscenarioer (No. 2022–41), Rapport fra havforskningen. Havforskningsinstituttet.
- Sará, G., Gouhier, T.C., Brigolin, D., Porporato, E.M.D., Mangano, M.C., Mirto, S., Mazzola, A., Pastres, R., 2018. Predicting shifting sustainability trade-offs in marine finfish aquaculture under climate change. *Global Change Biology* 24, 3654–3665. <https://doi.org/10.1111/gcb.14296>
- Sardanyés, J., Ivančić, F., Vidiella, B., 2024. Identifying regime shifts, transients and late warning signals for proactive ecosystem management. *Biological Conservation* 290, 110433. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110433>
- Skern-Mauritzen, M., Olsen, E., Huse, G., 2018. Opportunities for advancing ecosystem-based management in a rapidly changing, high latitude ecosystem. *ICES Journal of Marine Science* 75, 2425–2433. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy150>
- Smith, J.A., Pozo Buil, M., Muhling, B., Tommasi, D., Brodie, S., Frawley, T.H., Fiechter, J., Koenigstein, S., Himes-Cornell, A., Alexander, M.A., Bograd, S.J., Cordero Quirós, N., Crowder, L.B., Curchitser, E., Green, S.J., Hardy, N.A., Haynie, A.C., Hazen, E.L., Holsman, K., Le Fol, G., Lezama-Ochoa, N., Rykaczewski, R.R., Stock, C.A., Stohs, S., Sweeney, J., Welch, H., Jacox, M.G., 2023. Projecting climate change impacts from physics to fisheries: A view from three California Current fisheries. *Progress in Oceanography* 211. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2023.102973>
- Stokke, O.S., 2024. Climate Change and Institutional Resilience in Arctic Environmental Governance. *PaG* 12, 7369. <https://doi.org/10.17645/pag.7369>
- Tan, J.S.D., Fischer, A.M., 2022. Suggestions for marine protected area management in Australia: a review of temperature trends and management plans. *Reg Environ Change* 22, 92. <https://doi.org/10.1007/s10113-022-01949-5>
- Tokunaga, K., Kerr, L.A., Pershing, A.J., 2023. Implications of fisheries allocation policy on anticipated climate change impacts. *Marine Policy* 148, 105402. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105402>
- Tulloch, V.J.D., Turschwell, M.P., Giffin, A.L., Halpern, B.S., Connolly, R., Griffiths, L., Frazer, M., Brown, C.J., 2020. Linking threat maps with management to guide conservation investment. *Biological Conservation* 245. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108527>
- Wählström, I., Hammar, L., Hume, D., Pålsson, J., Almroth-Rosell, E., Dieterich, C., Arneborg, L., Gröger, M., Mattsson, M., Zillén Snowball, L., Kågesten, G., Törnqvist, O., Breviere, E., Brunnabend, S.-E., Jonsson, P.R., 2022. Projected climate change impact on a coastal sea—As significant as all current pressures combined. *Global Change Biology* 28, 5310–5319. <https://doi.org/10.1111/gcb.16312>
- Weijerman, M., Fulton, E.A., Kaplan, I.C., Gorton, R., Leemans, R., Mooij, W.M., Brainard, R.E., 2015. An Integrated Coral Reef Ecosystem Model to Support Resource Management under a Changing Climate. *PLoS ONE* 10, e0144165. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144165>
- White, J.W., Hopf, J.K., Arafteh-Dalmau, N., Ban, N.C., Bates, A.E., Claudet, J., Lopazanski, C., Sunday, J.M., Caselle, J.E., 2025. Measurements, mechanisms, and management recommendations for how marine protected areas can provide climate resilience. *Marine Policy* 171, 106419. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2024.106419>
- Whitney, C.K., Cheung, W.W.L., Ban, N.C., 2023. Considering the implications of climate-induced species range shifts in marine protected areas planning. *Facets* 8, 1–10. <https://doi.org/10.1139/facets-2022-0041>
- Wilson, K.L., Tittensor, D.P., Worm, B., Lotze, H.K., 2020. Incorporating climate change adaptation into marine protected area planning. *Global Change Biology* 26, 3251–3267. <https://doi.org/10.1111/gcb.15094>
- Yin, J., Xue, Y., Li, Y., Zhang, C., Xu, B., Ren, Y., Chen, Y., 2025. Efficacy of fisheries management strategies in mitigating ecological, social, and economic risks of climate warming in China. *Journal of Environmental Management* 373, 123859. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123859>

- Young, M.A., Critchell, K., Sams, M.A., 2025. Using predictive models to identify kelp refuges in marine protected areas for management prioritization. *Ecological Applications* 35. <https://doi.org/10.1002/eap.3084>
- Zelli, E., Ellis, J., Pilditch, C., Rowden, A.A., Anderson, O.F., Geange, S.W., Holland, L.P., Stephenson, F., 2025. Bottom-trawling affects the viability of climate refugia for vulnerable marine ecosystem indicator taxa. *Ocean and Coastal Management* 269. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2025.107768>
- Zentner, Y., Rovira, G., Margarit, N., Ortega, J., Casals, D., Medrano, A., Pagès-Escalà, M., Aspillaga, E., Capdevila, P., Figuerola-Ferrando, L., Riera, J.L., Hereu, B., Garrabou, J., Linares, C., 2023. Marine protected areas in a changing ocean: Adaptive management can mitigate the synergistic effects of local and climate change impacts. *Biological Conservation* 282. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110048>

TABELL A1

Vurdering av tilgjengelighet:

1. Grønn: Åpent tilgjengelige verktøy som er lette å implementere.
2. Gul: Åpent tilgjengelige verktøy som krever mye trening/ferdighet å implementere
3. Orange: Semi-tilgjengelige verktøy som krever kunnskap og ressurser for å implementere
4. Rød: ikke tilgjengelige for forvaltningen

Observasjonsverktøy	Beskrivelse	url	Brukt i studier
Satellittdata			
Aqua, Terra-MODIS og SeaWiFS	BIO-ORACLE er et omfattende globalt datasett med marine miljøvariabler i rasterformat, basert på månedlige satellittobservasjoner fra ulike havovervåkingssensorer . Datasettet har en romlig oppløsning på 5 bueminutter (tilsvarende ca. 9,2 km) og brukes til analyser av marine miljøforhold og økologisk modellering.	https://www.bio-oracle.org/	(Patrizzi and Dobrovolski, 2018)
Ocean biodiversity information System (OBIS)	Globale datasett på mangfold, utbredelse og mengde av marine organismer, presentert i et integrert og standardisert format	https://obis.org/	(Patrizzi and Dobrovolski, 2018)
Global biodiversity information facility	Et internasjonalt nettverk og en datainfrastruktur finansiert av verdens regjeringer	https://www.gbif.org/	(Patrizzi and Dobrovolski, 2018)
AquaMaps	er en metode for å lage modellbaserte, storskala prediksjoner av dagens kjente utbredelse av marine arter. Modellene bygges på anslag for artenes miljøtoleranser med hensyn til dybde, saltholdighet, temperatur, primærproduksjon og deres tilknytning til havis eller kystområder.	https://www.gbif.org/tool/81356/aquamaps-predicted-range-maps-for-aquatic-species	
Flyfoto			
HyMap airborne hyperspectral imagery	flymontert multispektral sensor	https://airbornescience.nasa.gov/instrument/HyMap , https://airbornescience.nasa.gov/instrument/HyMap https://www.coastalwiki.org/wiki/HyMap:_Hyperspectral_seafloor_m	(Davies et al., 2016)

		apping_and_direct_bathymetry_calculation_in_littoral_zones	
Modellverktøy			
Klimamodeller			
NorESM	global jordsystemmodell utviklet i Norge som simulerer samspillet mellom atmosfære, hav, is, land og biosfære	https://www.nor-esm.org	Risikoanalysen
CMIP6	Database med klimamodelldata brukt i rapporter fra Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)	https://wcrp-cmip.org/cmip-phases/cmip6/	Chollett et al., 2022; Hollowed et al., 2020
Havmodeller			
NEMO		https://bg.copernicus.org/articles/21/2087/2024/	
	Fysisk havsirkulasjonsmodell som kan kjøres i både regionale og globale konfigurasjoner	https://gmd.copernicus.org/articles/12/363/2019/	Risikoanalysen, NorScen, NorMecc
Økosystemmodeller og datasett			
Ecopath med Ecosim	Gratis programvaresuite for økologisk og økosystembasert modellering. Består av tre hovedkomponenter: Ecopath, som gir et statisk, massebalansert øyeblikksbilde av økosystemet; Ecosim, et tidsdynamisk simuleringsverktøy for å utforske ulike forvaltnings- og politikkvalg; og Ecospace, en romlig og tidsmessig dynamisk modul utviklet for å analysere effekter av og optimal plassering av marine verneområder.	https://ecopath.org/	Hollowed et al. (2020), Dahood et al. (2020), (Cashion et al., 2020), (Ofir et al., 2023), (Adrian Dahood et al., 2020)
Atlantis	Tredimensjonal, romlig eksplisitt ende-til-ende økosystemmodell, og har blitt brukt over hele verden (for tiden 30 eksisterende modeller) siden utviklingen tidlig på 2000-tallet.	https://research.csiro.au/atlantis/	(Olsen et al., 2018), Weijerman et al., 2015
NoBa Atlantis	en parameterisering av Atlantis, som inneholder 53 arter og dekker De nordiske hav og Barentshavet med 60 polygoner med opp til 7 dybdelag og som er brukt av bl.a. Havforskningsinstituttet	https://imr.brag.e.unit.no/imr-xmlui/handle/11250/2637663	Risikoanalyse, NorScen, NorMacc
NORWECOM.E2E	Koblet fysisk- biogeokjemisk modellsystem som brukes til å studere de lavere trofiske nivåene i de norske havområdene, primærproduksjon, sekundærproduksjon,	https://arvenett.ernansen.com/norwecom/	Risikoanalysen, NorScen, Cubillo et al., 2021, Skern-

	næringsbudsjetter og spredning av partikler som fiskelarver og forurensning.		Mauritzen et al., 2018, Anon, 2017
Fish-MIP	the Fisheries and Marine Ecosystem Model Intercomparison Project) som er et nettverk av mer enn 100 marine økosystem forskere og modeller fra hele verden	https://fishmip.org/	(Bryndum-Buchholz et al., 2023).
Evalueringsverktøy			
SYMPHONY	Utviklet av Sveriges Havs- og vannmyndigheten (HaV) for å kvantifisere og sammenstille miljøbelastninger i marine økosystemer. SYMPHONY har vært integrert i Sveriges nasjonale havplanlegging siden 2017 og har inngått i planleggings-, dialog- og evalueringsfasene.	https://www.havochvatten.se/planering-forvaltning-och-samverkan/havsplanering/svensk-havsplanering/havsplaneringsprosessen/atta-fram-planforslag/symphony---ett-planeringsverktyg-for-havsplanering.html#h-symphonyvetplaneringsverktygforhavsplanering	Wahlström et al. (2022)
DPSIR-rammeverket (Driver–Pressure–State–Impact–Response)	Brukes til å vurdere og håndtere miljøproblemer. Driving forces er de samfunnsmessige drivkreftene bak menneskelig aktiviteter, pressures er belastningene disse aktivitetene skaper, state beskriver miljøets tilstand, impacts er konsekvensene av endringer i denne tilstanden, og responses er samfunnets tiltak for å håndtere situasjonen.	https://www.eionet.europa.eu/gemet/no/concept/15365	(Azevedo et al., 2024; Furlan et al., 2019; Rettig et al., 2023)
Marxan	Programbare utviklet for å løse oppgaven med å utforme et sett av verneområder som dekker nødvendige naturverdier med mist mulig samlet areal og kostnad.	https://marxansolutions.org/what-is-marxan/	(Davies et al., 2016) . (Whitney et al., 2023)(Arafah-Dalmau et al., 2021)
Zonation	Zonation 5 er et romlig prioriteringsverktøy som identifiserer områder med høy betydning for bevaring av biologisk mangfold. Verktøyet bruker rasterdata på arters, habitaters og økosystemtjenesters utbredelse for å rangere områder etter biodiversitetsverdi. Zonation kan integrere habitatkvalitet, økologisk konektivitet, trusler, kostnader og arealstatus, og gir dermed en kvantitativ metode for romlig planlegging og beslutningsstøtte.	https://zonationteam.github.io/Zonation5/	(Patrizzini and Dobrovolski, 2018), (Buenafe et al., 2023; Whitney et al., 2023)
Klimarobusthetsindeks (CRI)	Verktøy som brukes til å vurdere i hvilken grad overvåkingsplaner for marine verneområder (MPA) tar hensyn til	https://www.frontiersin.org/journals/marine-science/articles/	(Bryce and Hunter, 2024)

klimatendringenenes påvirkning gjennom	<u>10.3389/fmars.2</u>
analyse, planlegging og overvåking	<u>021.711085/full</u>

**Framtidstro for havet,
kysten og folket.**